

154578

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ALEVIN MODELLENMESİ

Makine Müh. Cemil Murat DODANLI

FBE Otomotiv Anabilim Dalı, Enerji Makineleri Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Orhan DENİZ

PROF. DR. H. ERTUĞRUL ARSLAN

Doc. Dr. Sükran BELDENMİR

İSTANBUL, 2004

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ.....	i
KISALTMA LİSTESİ.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vi
ÖNSÖZ.....	vii
ÖZET.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Tezin Amacı.....	1
1.2. Tezin Kapsamı.....	2
1.3. Önceki Çalışmalar ve Tarihsel Gelişim.....	2
1.4. Günümüzdeki Çalışmalar.....	4
1.5. Alev ve Yanma Olayının İrdelenmesi.....	4
2. MODELLEME.....	9
2.1. Serbest Diffüzyonlu Alevin Tanımı.....	9
2.2. Modelin Tanımı.....	12
2.3. Yapılan Tanımlamalar ile Gerçek Alev Arasındaki Fark.....	13
2.4. Oluşturulan Modelin Sağladığı Çözüm Kolaylıkları.....	14
2.5. Gerekli Matematik ve Teorik Altyapının Oluşturulması.....	15
2.5.1. Fick ve Stefan Diffüzyon Teoremleri.....	15
2.5.2. Alevin Birim Hacminden Ortama Salınan Isı Enerjisi.....	18
2.5.3. Akım Çizgilerinin Kırınımı ve Alev Cephesinin Oluşumu.....	31
2.5.4. Alevin Kütleli Korunumu ve Sonuçları.....	34
2.5.5. Aksi Simetrik Alevin Tanımı ve Kütleli Korunumu.....	35
2.5.6. Aksi Simetrik Alev için Oblique Geometri Önermesi.....	36
2.5.7. Aksi Simetrik Alev için Nümerik Analiz Yöntem Önermesi.....	40
2.5.8. Aksi Simetrik Alev için Bilgisayar Destekli Çözüm Önermesi.....	43
2.5.9. Yakıtın Isıl Değer Analiz Teoremleri.....	44
2.5.10. Isıl Güç Hesabı.....	46
2.5.11. Yakıt Sarfiyatının Belirlenmesi.....	46

2.5.12. Verim Hesabı.....	47
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	55
3.1. Gerekli Ön Bilgiler.....	56
3.2. Kullanılan Deneysel Düzenekleri ve Yapılan Deneysel Çalışmalar.....	65
3.3. Deneysel Sonuçları.....	70
3.4. Deneysel Sonuçlarının Analizi.....	70
4. MODELİN DENEY SONUÇLARINA UYGULANMASI.....	74
4.1. Gerekli Ön Bilgiler ve Hesaplamalar	74
4.2. Alevin Geleneksel Yöntem ile Isıl Hesabı.....	79
4.3. Alevin Geometrik Yöntem ile Isıl Hesabı.....	80
4.4. Geleneksel ve Geometrik Yöntemlerin Karşılaştırması.....	80
5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME.....	81
KAYNAKLAR.....	83
EKLER.....	84
Ek 1 Yanma Ürünleri Analiz Denklemleri.....	85
Ek 2 Alev Fotoğrafları.....	86
ÖZGEÇMİŞ.....	89

SİMGE LİSTESİ*

P_i	Basınç [Pa veya kPa],
V_i	Hacim, [m^3], [lt]
V_A	Alevin iç ve dış cephesi arasında kalan yanan hacim [m^3]
v_i	Hız [m/s]
u_i	Alevin iç yada dış cephesine normal olan hız vektörünün niceliği [m/s]
M_i	Tek bir gaz molekülünün kütlesi [kg]
m_i	Genel olarak kütle [kg] (Gazlar için toplam kütle veya tek bir molekülün kütlesini ifade eder. $m_i = M_i \cdot N_i$)
\bar{v}_i	Herhangi bir hız vektörünün bileşeni [m/s]
T_i	Mutlak sıcaklık değeri [$^{\circ}K$]
R	Gaz Sabitesi [kJ/kg. $^{\circ}K$]
R_u	Üniversal gaz sabitesi ($R_u = 8.31451$ kJ / kmol. $^{\circ}K$ [J/mol. $^{\circ}K$])
k_b	Üniversal Boltzmann gaz sabitesi ($k_b = 1.380658(10^{-23})$ J/ $^{\circ}K$.molekül)
k	Adyabatik gaz sabiti (hava için, $k = 1.41$)
n_i	“ i “ maddesinin mole sayısı [mole]
N_{AV}	Avagadro sayısı ($N_{AV} = 6.022136.(10^{23})$ molekül/mole)
N_i	“ i “ maddesinin molekül veya atom sayısı
P_{Atm}	Standart atmosfer basıncı (20 $^{\circ}C$, Deniz Seviyesinde, $P_{Atm} = 101.325$ kPa)
P_0	Ortam Basıncı, [kPa], (Atmosfer ortamı için $P_0 = P_{Atm}$)
m_i''	“ i “ maddesinin kütleli akışı, [kg/s. m^2]
l	Uzunluk veya boy, [m], (fitil boyu veya uzunluk)
Y_i	Kütleli fraksiyon, (“ i ” maddesinin toplam madde miktarına oranı)
ρ_i	“ i “ maddesinin özgül kütlesi, [kg/ m^3]
D_{AB}	A maddesinin B maddesi içindeki diffüzyon katsayısı, [m^2/s]
H_U	Yakıtın alt ısı değeri, [kJ/kg]
$(H_U)_K$	Yakıtın üst ısı değeri, [kJ/kg]
λ	Hava fazlalık katsayısı
ϕ	Yakıt fazlalık katsayısı, ($\phi = \lambda^{-1}$)
O_{min}	Yakıtı stokiometrik olarak yakmak için gerekli oksijen miktarı, [kg O_2 /kg yakıt]
L_{min}	Yakıtı stokiometrik olarak yakmak için gerekli hava miktarı, [kg hava/kg yakıt]
c	Yakıt molekülünde bulunan karbon atomlarının kütleli fraksiyonu

* Tüm simgelerdeki alt indisler genel olarak “ i “ ile ifade edilmiştir. Mevcut simgenin alt indisi olmayabilir. SI birim sistemi esas alınarak ana birimler [köşeli parantez içinde] ifade edilmiştir. Üniversal ve mutlak sabit sayıların sayısal değerleri verilmiştir. Mutlak sabitelerin özel koşulları belirtilmiş, gerekli açıklamalar (parantez içinde ifade edilmiştir).

h	Yakıt molekülünde bulunan hidrojen atomlarının kütleli fraksiyonu
s	Yakıt molekülünde bulunan kükürt atomlarının kütleli fraksiyonu
o _y	Yakıt molekülünde bulunan oksijen atomlarının kütleli fraksiyonu
w	Yakıtın birim kütlesi içinde bulunan suyun kütleli fraksiyonu
x	Yakıt yapısında bulunan karbonun yanma sonucu karbon-monoksit'e dönüşen kısmının kütleli fraksiyonu
b _e	Kütleli yakıt sarfiyatı, [kg/s]
η _y	Yanma verimi
A _F	Fitilin yüzey alanı, [m ²]
S _F	Fitilin çevresel uzunluğu [m]
P _i (T)	"i" maddesinin, "T" sıcaklıktaki basıncı, [Pa]
(M _w) _i	"i" maddesinin molar kütlesi, [gr/mol]
ΔH	Mutlak entalpi farkı, [kJ]
Δh	Özgün entalpi farkı, [kJ/kg]
H _i	Mutlak entalpi değeri, [kJ]
h _i	Özgün entalpi değeri, [kJ/kg]
ΔS	Mutlak entropi farkı, [kJ/°K]
Δs	Özgün entropi farkı, [kJ/kg.°K]
S _i	Mutlak entropi değeri, [kJ/°K]
s _i	Özgün entropi değeri, [kJ/kg.°K]
Z	Reaktant moleküllerinin birim zamandaki çarpışma sayısı, [Col/s]
υ	Ortalama çarpışma hızı, [m/s]
σ	Ortalama atom çapı, [m]
μ	İndirgenmiş atomik kütle, [kg]
π	Pi sayısı, [π = 3.14159.....]
e	Neper logaritmasının tabanı, [$e = \frac{1}{0!} + \frac{1}{1!} + \frac{1}{2!} + \frac{1}{3!} + \dots + \frac{1}{n!} + \dots = 2.718281.$]
[A]	"A" maddesinin molar konsantrasyonu, [mol/l]
k _f	İleri reaksiyon hız sabitesi, [(molarite/s).(molarite) ⁿ], ("n" sabitinin sayısal değeri reaksiyona göre değişen tam sayıdır.)
k _r	Geri reaksiyon hız sabitesi, [(molarite/s).(molarite) ⁿ], ("n" sabitinin sayısal değeri reaksiyona göre değişen tam sayıdır.)
P	Ortamda bulunan molekül taneciklerinin çarpışma olasılığı
N _{Av} ⁻¹	Reaktantların indirgenmiş molar konsantrasyonu
E _A	Mevcut kimyasal reaksiyonun aktivasyon enerjisi, [kJ/kg]
C _d	Düzeltilme katsayısı

C_{Sbt}	Her hangi bir sabit sayı
μ	İstatistiksel ortalama
δ	İstatistiksel değişim aralığı
σ_n	Nominal standart sapma
σ_{n-1}	En iyi ihtimal için standart sapma
t_w	Standart t dağılımı için %W 'lik simetrik aralığı veren " t " katsayısı



KISALTMA LİSTESİ*

EMW	Elektro Manyetik Dalgalar, [Electro Magnetic Waves]
CRT	Katot ışınları yayan tüplerin genel adı, [Cathode Ray Tubes]
NŞA	Normal Şartlar Altında
STP	Standart Basınç ve Sıcaklık, [Standart Temperature & Pressure]
SLR	Merceği değişebilen, refleks fotoğraf makinesi [Single Lens, Reflex]
DIN	Alman Endüstriyel Normları, [Deutsche Industrie Norm]
ASA	Amerikan Standartları Kurumu, [American Standards Association]
ISO	Uluslararası Standartlar Organizasyonu, [International Standards Organization]
PDF	Olasılık Dağılımı Fonksiyonu, [Probability Density Function]
HC	Hidro-Karbon, [Hydro-Carbon]



* Türkçe ve uluslar arası kısaltmaların yanında Türkçe açılımı verilmiştir. Uluslar arası kısaltmaların orijinal dilindeki açılımı köşeli [parantez] içinde verilmiştir. Tüm kısaltmalar ile ilgili açıklamalar gerekli ise (parantez) içinde yazılmıştır.

ŞEKİL LİSTESİ

- Şekil 2.1 Alevin yapısal gösterimi
- Şekil 2.2 Alevin termodinamiksel modelinin gösterimi
- Şekil 2.3 Alev cephesinin izafi hareketinin gösterimi
- Şekil 2.4 Diffüzyon olayının gösterimi
- Şekil 2.5 Alevin yanan hacmi içinden geçen kontrol hacminin gösterimi
- Şekil 2.6 Sabit hacim prosesi eğrisi
- Şekil 2.7 Alevin birim hacmindeki enerji miktarını gösteren eğri
- Şekil 2.8 Adyabatik gaz sabitesinin, iş gazının atom sayısına bağlı değişim eğrisi
- Şekil 2.9 Alevin hacmi içinde belirlenmiş olan sanal cephenin gösterimi
- Şekil 2.10 Alev hacmi içinde belirlenmiş olan sanal birincil ve ikincil cepheler
- Şekil 2.11 Alevin sıcaklığının entropiye bağlı değişimini veren eğri
- Şekil 2.12 Alevin cephelerinden geçen iş gazının akım çizgilerinin kırınımı
- Şekil 2.13 Alevin yanan hacmi içinde tanımlanmış olan kontrol hacmi
- Şekil 2.14 Alevin iç cephe profil eğrisinin gösterimi
- Şekil 2.15 Alev profil eğrisinin kartezyen koordinat sistemi üzerinde gösterimi
- Şekil 2.16 Egzotermik kimyasal reaksiyonun entropiye bağlı entalpi eğrisi
- Şekil 3.1 Normal dağılım eğrisi
- Şekil 3.2 Deney düzeneğinin şematik şekli
- Şekil 3.3 Mum alevinin iç ve dış profil eğrilerinin ölçümlendirilmiş şekli
- Şekil 3.4 Deney düzeneğinin şematik şekli
- Şekil 3.5 %vol O₂ ölçümlerinin istatistiksel analiz eğrileri
- Şekil 3.6 %vol CO₂ ölçümlerinin istatistiksel analiz eğrileri
- Şekil 3.7 Ppm/vol HC ölçümlerinin istatistiksel analiz eğrileri
- Şekil 3.8 Birim zamandaki kütle kaybı ölçümlerinin istatistiksel analiz eğrileri
- Şekil 4.1 Siklo yapılı Hidro-Karbon molekülünün genel şekli
- Şekil 4.2 Açık zincir yapılı Hidro-Karbon molekülünün genel şekli

ÇİZELGE LİSTESİ

- Çizelge 3.1 Alevin profil eğrilerinin ölçülen boyutları
- Çizelge 3.2 Gaz analizi ölçüm sonuçları
- Çizelge 3.3 Birim zamandaki kütle değişimi ölçüm sonuçları
- Çizelge 3.4 Ölçüm sonuçlarının istatistiksel analizi
- Çizelge 3.5 Bileşke güvenilirlik faktörü tablosu



ÖNSÖZ

Büyük bir çaba göstererek yaptığım tezin iyi ve kötü bir çok anılar bıraktığını ifade etmek isterim. Ancak şunu özellikle belirtmek isterim ki, eğer hayatta şu anda bulunduğumuz nokta bize mutluluk veriyor ise, bunu geçmişte yaşadığımız iyi ve kötü günleri hepsine borçluyuz.

Tezin konusunun benim için ilgi çekici olması ve daha önceki bilgisel alt yapım ile uyumlu olması tezdeki başarımın en önemli anahtarı olduğuna inanmaktayım. Bunun da ötesinde teorik düşünceyi geliştirirken şimdiye kadar sahip olduğum felsefe bilgisinin büyük bir fayda gösterdiği inkar edilmez bir gerçektir. Ayrıca düşünceyi geliştirme noktasında çevremizdeki insanlar ile elimizdeki düşünceyi kritize etmek geliştirmiş olduğumuz düşüncenin ne derece doğru olduğunun anlaşılmasında önemi şüphesiz ki büyüktür. Gerçek denilen kavramları doğru sorgulamak ve rasyonel düşünce mantığı ile deterministik yaklaşımlar yapmak suretiyle ancak doğru teorik düşünceler geliştirilebilir.



ÖZET

Alevin Modellenmesi ismi ile sunumu yapılmış olan mevcut tez, serbest diffüzyonlu alev ile ilgili teorik ve deneysel çalışmalar içermektedir. Alev ile ilgili olarak ortaya konulan teorik yaklaşım, alevin termik nicelikleri ile geometrik nicelikleri arasında bağıntı oluşturmaktadır. Söz konusu bağıntının doğruluğu yapılan deneysel çalışmalar ile değerlendirilmiştir. Yapılan deneysel çalışmaların sonucunda elde edilen ölçüm değerleri ile teorik hesaplamalar arasında %3.428'lik bağıl hata belirlenmiştir.

Tez kapsamında ortaya konulan teorik çalışmalar sabit basınç ortamında yanan diffüzyonlu alevin (serbest diffüzyonlu alevin), birim hacmindeki ısı enerjisinin sabit olduğunu göstermektedir. Bu ifade alevin hacmi ile termik parametreler arasında bağıntı oluşturmamıza olanak sağlamıştır. Sabit basınç ortamında yanan diffüzyonlu alevin şekli ne kadar değişirse, değişsin alevin ısı gücü sabit ise hacminin sabit olduğunu kabul etmek birçok bakımdan çözüm kolaylığı sağlamıştır. Çünkü alevin yandığı ortamda şeklinin sürekli olarak değiştiği bilinen bir gerçektir. Ayrıca yapılan kabulün pratik uygulamalar ile uyum sağlamasının en önemli sebebi serbest diffüzyonlu alev oluşturmak amacı ile kullanılan bir çok yakıcı ünite yakıt debisi ile alevin ısıl gücünü kontrol altında tutmasından kaynaklanmaktadır.

Bu sebep itibariyle yapılan teorik yaklaşım serbest diffüzyonlu alev ile ilgili daha önce yapılmış olan, yaklaşımlardan daha farklı bir bakış açısı ile teorik çözüm önermektedir.

ABSTRACT

The actual thesis which is presented as *The Modeling of Flame*, consist of theoretical and experimental studies on free diffusive flame. According to new theoretical approach, flames thermic parameters can be calculated by using flames geometrical parameters. Also these theoretical approaches investigated by the experimental studies. The results of experimental studies had been compared with the teorical calculations and 3.428% of relative error detected between the theoretical and the experimental results.

The theoretical studies presented for consideration about the diffusive flame, which; is combusting under the constant pressure medium (free diffusive flame), has constant heat energy at the flames unite burning volume. According to this definition flames thermal parameters can be related with the flames geometrical parameters, therefore; under the constant pressure medium, this theoretical definition allows many theoretical facilities without dependency of various flames shapes. Also the most evident specification of flames geometry is effected by the continuously varying flame shape. The theoretical assumptions have had conformity with the practical applications, because; the free diffusive flame burners controlling the flames power release by controlling the fuel consumption

Therefore, actual study presents a different theoretical perspective besides of pervious studies, for the free diffusive flame.





1. GİRİŞ

Tez dâhilinde modellemesi yapılan alev aslında hepimizin çok yakından tanıdığı mum, gaz lambası gibi serbest diffüzyon ile yakıtın buharlaştığı ve ortamdaki hava ile kendiliğinden birleşmek suretiyle yanıcı karışımı oluşturan alevlerdir. Mevcut çalışmanın konusu basit gibi durmasına karşılık aslında yapısında termodinamik, termokimyasal, kimyasal kinetik, ısı ve kütle transferi bilimlerine dayalı bir altyapısı vardır. Yanma biliminin günümüzde halen popüler olmasının en önemli sebebi ise dünya üzerinde hazır olarak kullanılan enerjinin büyük bir kısmının termik esaslı olmasından ileri gelir. Mevcut termik enerjinin büyük bir kısmının yanma olayı ile elde edildiği ise bilinen bir gerçektir. (Turns, 1996) Yakıt hammaddelerini doğadan çıkarma, taşıma ve kullanıma hazır hale getirmek için yapılan işleme maliyetlerinin her geçen gün artması, mevcut kaynakların doğada sınırlı olması ve dünya üzerinde artan nüfusun talebi göz önüne alındığında mevcut olan kaynakların daha verimli kullanılmasını gerektirmektedir. Bu sebepten dolayı yakıtları yakarken en ideal şekilde yanmasını sağlayacak yakıcı ünitelere her geçen gün artan bir talep vardır. Yapı itibariyle yakıcı üniteler basit gibi durmasına karşılık aslında tasarımlarında gerekli geometrik ve fiziksel parametreleri elde etmek için uzun ve zahmetli çalışmalara ihtiyaç vardır.

1.1. Tezin Amacı

Yapılan çalışma ile alevin geometrik formuna dayalı bir alev modeli geliştirilmeye çalışılmıştır. Çünkü yakıcı ünitelerinde genellikle yanma ürünlerine göre değil, alevin şekli ve rengi göz önüne alınarak bir çok teknik eleman tarafından yakıcı ünitelerinin ayarları yapılmaktadır. Yanma ürünlerinin analizini yaparak ayar yapmak için pahalı cihazlar ve iyi yetişmiş teknik personele ihtiyaç vardır. Bu konuda iş yapan teknik elemanlar ise mevcut ayarları yaparken genellikle tecrübeye dayalı bir bilgi ile hareket etmektedirler. Şüphesiz ki tecrübe kişiden kişiye değişim gösteren bir bilgi birikimi olup, mevcut konu üzerine çalışan teknik personelin ortak paylaşılabileceği bilginin artması ise alevin geometrik formu üzerine yapılan çalışmaların artışı ile doğru orantılıdır. Tez dâhilinde incelenen konu, alevin formu üzerine yapılan çalışmaların en primitif örneği olup, alt yapı niteliğinde ve basite indirgenmiş bilgiler taşımaktadır. Bu sebep itibariyle mevcut tezin gelecekte alev formu üzerine yapılacak çalışmalara farklı bir bakış açısı getireceği yönündeki kanaatimi önemle ifade etmek isterim. Bunun yanı sıra alev ile ilgili yeni model oluşturulurken yeni geliştirilmiş olan ve bölüm 2.5.2 'de yer alan ve farklı bir bakış açısı sağlayan denklem 2.13 temel alınmıştır. Söz konusu

denklem alevin birim hacminden ortama salınan ısı enerjisinin sabit olduğunu ifade etmektedir. Bunun sonucu olarak alevin şekline dayalı bir model geliştirmek teorik açıdan kolaylaşmaktadır. Alevin şeklinin değişken olduğu göz önüne alınacak olursa günümüze kadar alevin şekline dayalı tam bir model geliştirilememiştir. Fakat alevin ısı gücü sabit alınacak olursa, alevin şekli ne kadar değişirse, değişsin alevin hacminin değişmediği rahatlıkla kabul edilebilir. Bu durum ise pratik uygulamalarda kabul edilebilecek bir uygulama olup, genellikle birçok yakıcı ünite için kütleli yakıt sarfiyatı sabittir. Bunun sonucu olarak alevin ısıl gücünü sabit kabul etmenin çok da yanlış bir yaklaşım olmayacağı yönündeki kanaatimi belirtmek isterim. Bu sebep itibarıyla modelin faydalı bilgiler taşıdığını ve gelecekte mevcut konu üzerinde çalışacak araştırmacılara temel nitelikte, teorik ve deneysel bilgiler sunması dolayısı ile tezin bilimsel amaca hizmet ettiğini belirtmek isterim.

1.2. Tezin Kapsamı

Tez dâhilinde sabit basınç ortamındaki serbest diffüzyonlu alevin yanması incelenmiş, mevcut alev için alevin modellenmesi yapılmış ve mevcut modelleme yapılırken matematiksel ve geometrik yöntemler kullanılmıştır. Elde edilen matematiksel ve geometrik bilgiler deneysel olarak elde edilmiş olan alev görüntülerine tatbik edilmiş ve sonuçları hakkında gerekli yorumları yapmak suretiyle tez nihayete erdirilmiştir. Tez dâhilinde deneysel çalışma olarak alevin fotoğrafları çekilmiş ve yanma ürünlerinin gaz kompozisyonu ile birim zamandaki kütleli yakıt sarfiyatı ölçülmüştür. Alevin görüntülenmesi için mum alevi kullanılmış ve makro çekim tekniği ile alevin görüntüsü elde edilmiştir.

1.3. Önceki Çalışmalar ve Tarihsel Gelişim

Serbest diffüzyonlu alev olarak nitelediğimiz alev, elektrikli aydınlanma sistemleri geliştirilinceye kadar asırlar boyunca ısınma ve aydınlanma amacı ile kullanılmıştır. Bu sebepten dolayı mevcut konu üzerine yapılmış olan önceki çalışmalara değinirken tarihsel gelişimi göz önünde bulundurmanın faydalı olacağını önemle ifade etmek isterim.

Elektrikli aydınlanma üzerine yapılan ilk uygulamalar 19. yy. sonlarında başlamıştır. Bu döneme kadar aydınlanma amacı ile mum ve gaz lambaları kullanılmıştır. Petrol kökenli yakıtların da ilk uygulamaları 19. yy. sonuna rastlar. Bu döneme kadar aydınlanma amacı ile kullanılan yakıtlar Balina yağı, Bitkisel yağlar, Hayvansal yağlar, Parafin türevi katı yakıtlardır. 1784 'de Belçikalı Profesör J. P. Minckeler tarafından keşfedilen

ve kömürden elde edilen hava gazı 1792 senesinde ilk defa aydınlanma amacı ile kullanılmıştır. Yağ esaslı yakıtları yakmak amacı ile kullanılan yağ lambaları daha sonra petrolün keşfedilmesi ve gaz yağının kullanılmaya başlanması ile gaz lambası adını almıştır. Bu tip yakıcı üniteler ile ilgili bilinen ilk çalışma İsveçli kimyager M. Argand'ın 1784'de icat ettiği gaz lambasıdır. M. Argand, kılcal tüpçüklerden oluşan fitil ile yakıt debisini kontrol etmeyi başarmıştır. M. Argand'ın lambası üzerinde çalışan B. Thompson, düzensiz hava akışının alevi olumsuz etkilediğini fark etmiştir. B. Thompson, 1810 yılında gaz lambası için cam bir muhafaza tasarlamıştır. Ayrıca B. Thompson'nun tasarladığı muhafaza sahip olduğu geometrik şekli vasıtasıyla hava akışını da düzenler. Yazılı kaynaklara göre bu dönemde yaklaşık olarak yüze yakın değişik gaz lambası tasarımı ile ilgili deneysel çalışmanın B. Thompson tarafından yapıldığı ve "The management of light in illumination" isimli bir kitabın B. Thompson tarafından yayınlandığı ifade edilmiştir. (Borman & Ragland, 1998), 1855 yılında Alman kimyager, Profesör Robert Bunsen, geliştirmiş olduğu bek ile ilk defa alev sıcaklığını, yanma hızını ve alevin entalpisini ölçmeyi başarmıştır. Kendisinin geliştirmiş olduğu yakıcı ünite halen kullanılmakta olup, Bunsen beki olarak isimlendirilmektedir. Fransız bilim adamı Mallard 1868 yılında alev provokasyonu üzerine ilk çalışmayı yapmıştır. Bu çalışmadan etkilenen Profesör Le Chatelier 1883 tarihinde ilk bilinen alev teorisini geliştirmiş ve Le Chatelier ilkesini ortaya koymuştur. 1900 yılında Chapman ve Jouguet yapmış oldukları çalışma ile ilk defa detonasyon hızını teorik olarak hesaplamış ve normal yanma(deflegrasyon) ile patlama(detonyasyon) arasındaki farkı ortaya koymuştur. 1928 senesinde Burke ve Schumann diffüzyonlu alev boyu ve şekline ilişkin ilk teorik çalışmayı yapmıştır. Alman bilim adamı Jost, 1938 senesinde yanma ile ilgili ilk kitabı yayınlamış ve daha sonra 1951 senesinde Jost'un yayınladığı kitap Lewis ve Von Elbe tarafından yeniden düzenlenmiştir. Roket motorları üzerine çalışan Alman bilim adamı Von Braun ilk defa sıvı yakıtlı roket motorlarını tasarlamış ve etil alkolü roket yakıtı olarak kullanmıştır. İlk tasarımı olan ve II Dünya Savaşında Almanlar tarafından kullanılan Pülso-Jet motorlu V1 roketini daha sonra geliştirdiği V2 roketi izlemiştir. V2 roketi günümüzde kullanılan roketlerin ilk örneği olarak nitelendirilmektedir. Savaştan sonra Amerika'ya göç eden Von Braun, NASA uzay programına katılmış ve ilk yörünge uçuşunu yapan X400 roket motorlu uçak, Titan I ve Titan II roket motorlarını ve son olarak Ay uçuşlarında kullanılan ve saf hidrojen ile oksijeni yakıt olarak kullanan Satürn roket motorlarını tasarlamıştır. Özellikle uzay uçuşları yanma üzerine yapılan çalışmaları arttırmış ve Bu dönemde ilk

laminar alev teorisi Von Karman ve Hirschfelder tarafından ortaya konulmuştur. 1970'li yıllardan sonra yanma ile ilgili çalışmalar yakıt ekonomisi üzerine yoğunlaşmış ve 1980'li yıllardan sonra doğal kaynaklı ve doğaya zararı en az olan yakıt ve yakıcı üniteler üzerine çalışılmıştır.

1.4. Günümüzdeki Çalışmalar

Günümüzde devam etmekte olan çalışmalar temelde yanma ürünlerinin analizi üzerine yapılmakta olup. Çevreye ve doğaya zararı en aza indirecek şekilde yanma olayı ile ilgili çalışmalar popülaritesini korumaktadır. Bunun yanı sıra yanma verimini artırıcı çalışmalar ile daha ucuz ve doğal kaynaklı alternatif yakıtlar üzerine yapılan çalışmalar hala devam eden çalışmalar arasında yer almaktadır. (Turns, 1996) Tezin konusuna yakın bilimsel çalışmalar incelenecek olursa. Alev görüntüleme teknikleri ve mevcut teknikler ile alevin yapısındaki kimyasal dönüşüm mekanizmaları ve mevcut mekanizmaların alevin hangi bölgelerinde oluştuğu incelenmektedir. Yapılan çalışmalar göz önüne alınacak olursa, mevcut tezin konuya daha farklı bir perspektif ile yaklaştığı ve alevin geometrisi ile termik nicelikler arasında ilişki kurduğu rahatlıkla görülebilir.

1.5. Alev ve Yanma Olayının İrdelenmesi

Genellikle alev ve yanma terimleri birbirine karıştırılan terimlerdir. *Yanma olayı bir maddenin yapısındaki elementlerin oksijen ile birleşmek suretiyle gerçekleştirdiği egzotermik reaksiyondur.* Yanma olayı sonucunda ortama ısı enerjisi ve yanma ürünleri salınır. Her yanma olayında alev görünmez. Aynı şekilde her alev görülen reaksiyonda yanma olayı değildir. Alev yapı itibariyle maddenin dördüncü hali olan plazma fazında gerçekleşen bir kimyasal reaksiyondur. Fakat plazma fazında gerçekleşen her reaksiyon da alev değildir. *Alev belli bir hacmi olan ve mevcut hacim içinde maddenin plazma fazında gerçekleşen termo-kimyasal bir olay,* olarak tanımlanır. Çünkü nükleer reaksiyonlarda plazma fazında gerçekleşen reaksiyonlar olması dolayısı ile alevin sadece termo-kimyasal reaksiyonlarda ortaya çıktığını önemle belirtmek şarttır. Ayrıca ark, flüoresans lambalar, televizyonların tüpleri, X ışını tüpleri ve diğer tüm CRT'ler genel olarak plazma fazında çalışan elemanlar olduğunu hatırlamakta yarar vardır. Aşağıdaki örnek reaksiyonların olayı daha iyi anlamamıza yardımcı olacağı kanaatindeyim.





Yukarıdaki (1.1), (1.2) ve (1.3) no'lu reaksiyonlar yanma olayı olup aynı zamanda alev görülen reaksiyonlardır. Fakat (1.4) no'lu demirin oksitlenme reaksiyonu olup. Sadece yanma reaksiyonudur. Ortamda alev görünmez. (1.5) ve (1.6) no'lu reaksiyonlarda ise alev görünmesine rağmen mevcut reaksiyonlar yanma reaksiyonu değildir. (1.7) no'lu reaksiyon ise termit reaksiyonu olup. Kundakçı olarak tabir edilen suçluların yangın çıkarmak amacı ile kullandığı ve demiryolu işçilerinin çatlayan tren raylarını kaynatmak amacı ile kullandığı. Kütlece 1kg toz alüminyum ile 3.219kg demir oksit kırmızısının* karıştırılması ile elde edilen toz tutuşturulduktan sonra üzerine su dökülse dahi sönmeyen ve yüksek enerjili bir alevin görüldüğü kısmi yanma reaksiyonu olarak nitelenir. Reaksiyona kısmi yanma reaksiyonu denmesinin en önemli sebebi ise reaksiyonun dış ortamdan oksijene ihtiyacı olmayan reaksiyon olmasından ileri gelir. Son (1.8) no'lu reaksiyon ise barut olarak nitelenen maddenin yanma reaksiyonudur. Barut yapı itibarıyla kütlece %76 Güherçile olarak, halk arasında bilinen di-üretik tuz olan, potasyum nitrat ile %10 kükürt ve %14 toz kömürün karışımından ibaret tarihte bilinen en iptidai patlayıcı madde olarak nitelenir. Reaksiyon incelenecek olursa potasyum nitrat kükürtle birleşmek suretiyle öncelikli olarak ortamdaki karbonu yakmak için gerekli olan oksijen ile ısı enerjisini üretir. Yani yakıcı olarak işlev görür. Karbon ise oksijen ile birleşerek hem yüksek enerjili ısı enerjisini üretir. Hem de yanma ürünü olan karbondioksit gazını üreterek yaklaşık olarak 30 katlık bir hacim artışı sağlar. Bu özelliği yüzünden barut oksijene ihtiyaç duymadan patlayan ve fişeklerin içinde havasız ortamda dahi görev yapan tek ve alternatifsiz patlayıcı olarak hala önemini korumaktadır. (Austin, 1984) Mevcut reaksiyonların alev ile yanma olaylarının daha iyi şekilde anlaşılmasına katkısının yanı sıra son iki reaksiyonun özel yapıları

* Demir oksit kırmızısı, aynı zamanda boya maddesi olarak kullanılmaktadır. Venedik Kırmızısı olarak piyasada satılmaktadır.

nedeni ile kısmi yanma reaksiyonları olduğu unutulmamalıdır. Çünkü bu reaksiyonlarda yanıcı madde ile yakıcı madde bir arada olmasına karşın reaksiyon gerçekleşmemiştir. Reaksiyonun başlaması için sadece ısı enerjisine ihtiyaç olup. Oksijene ihtiyaç yoktur. Tam yanma reaksiyonlarında ortamdaki oksijenin tüketildiği unutulmamalıdır. Bir başka deyişle tam yanma reaksiyonlarında yakıcı madde atmosferde bulunan oksijenden temin edilir. Genel olarak yanma biliminde yer alan yanma türleri ortamdaki oksijen ile yakıtın yanıcı karışımı ne şekilde oluşturduğu esas alınarak yanma türleri sınıflandırılır. (Ör: Diffüzyonlu yanma, Premix yanma, v.b.)

Alevin nasıl bir yapıya sahip olduğunun daha iyi anlaşılması için maddenin dördüncü hali olan plazma fazının üzerinde durmak kuşkusuz faydalı olacaktır. Bu sebepten dolayı maddenin üçüncü fazı olan gaz fazından plazma fazına dönüşümü anlamak gerekir. Gaz fazında bulunan maddenin yapısındaki tanecikler serbestçe ortamda hareket eden ve içine buldukları kabın iç çeperlerine çarpışmak suretiyle içinde buldukları kabın iç yüzeylerine momentum uygulayan bir yapıya sahiptir. Gaz moleküllerinin momentum etkisi bizlerin basınç etkisi olarak nitelendirdiğimiz etkisidir. Bilindiği üzere momentum bir taneciğin hızı ile kütlesine bağlı fiziksel bir nicelik olup. Matematiksel olarak aşağıdaki (1.9) no'lu denklemde görüldüğü şekilde ifade edilir.

$$\text{Momentum} = M.v \quad (1.9)$$

Yukarıdaki ifadede yer alan "M" tek bir gaz molekülünün kütlesi ve "v" ise gaz molekülünün hızıdır. Gaz moleküllerinin ortalama bileşke hareket hızları genel kinetik enerji denkleminde rahatlıkla elde edilebilir.

$$\frac{1}{2}.M.v^2 = k_b.T \quad (1.10)$$

(1.10) no'lu ifade düzenlenecek olursa tek bir gaz molekülünün ortalama hareket hızı aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$v = \sqrt{\frac{2.k_b.T}{M}} \quad (1.11)$$

yukarıdaki denklemler genel olarak göz önüne alınacak olursa şu sonuçlara varabiliriz. Eğer bir kap içinde bulunan gazı ısıtacak olursak. Kap içinde bulunan gaz moleküllerinin çarpışma hızları artacak ve bunun sonucu olarak içinde bulunduğu kabın iç çeperlerine daha hızlı bir şekilde çarpıştıkları için kabın iç yüzeylerine uyguladıkları momentum kuvveti artacak ve momentum kuvvetinin doğurmuş olduğu basınç kuvveti

de artış gösterecektir. Gerçekte bir kap içinde bulunan gaz ısınca gözlenen basınç artışı gazların kinetik teorisine göre yukarıdaki ifade ile açıklanır.(H.White, D.White & M.Gould, 1968) Fakat yukarıdaki hız ifadesinin bileşke hız olduğu unutulmamalıdır. Kabin genel olarak şekli küp olarak alınacak olursa. Kabin tüm iç yüzeylerine gazın uyguladığı basınç kuvveti eşit olduğuna göre x, y, z, eksenlerindeki hız vektörlerinin eşit norma sahip olduğunu söyleyebiliriz.

$$v_x \cong v_y \cong v_z = \bar{v} \quad (1.12)$$

$$v = \sqrt{\bar{v}_x^2 + \bar{v}_y^2 + \bar{v}_z^2} \quad (1.13)$$

$$v = \bar{v} \cdot \sqrt{3} = 1.732 * \bar{v} \quad (1.14)$$

Basınç kuvvetine sebep olan "v" hızı Boltzmann gaz denklemi ifadesinde yerine konulacak olursa. Aşağıda bulunan ve gazın basıncına bağlı olarak çarpışma hızını veren ifadeyi elde ederiz.

$$\frac{P.V}{N} = \frac{3}{2} M \cdot \bar{v}^2 \quad (1.15)$$

$$P.V = N \cdot k_b \cdot T \quad (1.16)$$

Yukarıda bulunan (1.16) no'lu denklem Boltzmann gaz denklemi olup. İdeal gaz denklemini ve gazların kinetik teorisini açıklayan temel ifadedir. Yukarıdaki ifade Stefan-Boltzmann denklemi ile karıştırılmamalıdır. Boltzmann denklemi ideal gaz denkleminin "N" adet gaz molekülü için düzenlenmiş özel halidir.

Gaz denklemleri incelenecek olursa özet olarak gaz moleküllerine verilen ısı enerjisinin taneciklerin hızı olarak tezahür ettiği rahatlıkla görülebilir. Gazlara verilen ısı enerjisi arttırılacak olursa, moleküller öyle bir hız seviyesine ulaşır ki, Bu hız seviyesinde moleküller kendi etraflarındaki elektronlardan ayrışırlar. Böylece gaz molekülleri iyonlaşarak bir elektron bulutu içinde hareket etmeye başlar. İyonları oluşturan tanecikler gazların yaptığı çarpışma hareketini yapmanın yanı sıra titreşim hareketi de yapmaya başlarlar. İşte bu hareketin sonucu olarak alevin ortama yaydığı ışık görülür. Alevin ışık yaymasının sebebini daha iyi anlamak için ünlü fizikçi Maxwell Planck 'ın ortaya koyduğu ve EMW(Elektro Manyetik Dalgaların) oluşması için gerek yeter şartı tanımladığı şu ifade dikkat çekicidir. "EMW elektrik yüklü taneciklerin ivmeli hareketinin sonucunda oluşurlar." Işık yapı itibariyle aslında EMW dalga olup. EMW

spektrumundaki dalga boyu* 3800 A^0 (Ultraviolet) ile 7400 A^0 (Infrared) arasında kalan görünür bölgesi ışık olarak nitelenir. (Avallone & Baumeister III, 1997), Gaz moleküllerinin plazma fazında yaptığı titreşim hareketi incelenecek olursa, titreşim hareketinin karakteristik özelliğinin ortaya koyduğu ivmeli hareket sonucunda plazmanın ışık yayması açıklanabilir. Plazmanın yaydığı ışık EMW Spektrumunun görünür ve görünmez bölgesinde yer alan ışık dalgalarıdır. Yapı itibariyle alev plazmasının yaydığı ışıklar incelenecek olursa; alevin yapısında görünür ışık ile ifade edilen bölgenin yaydığı ışığın yanı sıra alevin kör bölgesi olarak nitelenen bölgenin yaydığı infrared ışınları termal kamera vasıtasıyla rahatlıkla görüntülenebilir.



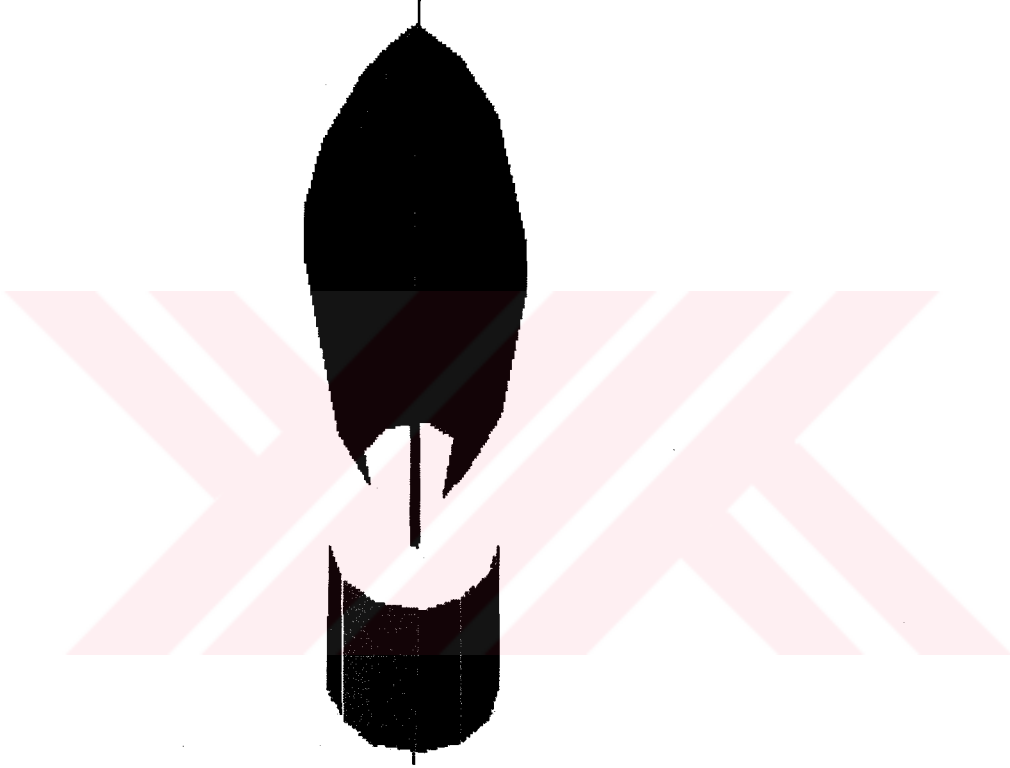
* Işığın dalga boyu Angstrom ölçü birimi ile ölçülür. Angstrom kısaca “ A^0 ” ile gösterilir. Mertebesi ise metrenin 10^{-10} değerindedir. [$1 \text{A}^0 = 10^{-10}$ Metre]

2. MODELLEME

Genel olarak alevin modellenmesi yapılırken öncelikli olarak gerekli bilimsel kabuller ve tanımlamalar yapılacak ve daha sonra alev ile ilgili matematiksel alt yapı oluşturulacaktır.

2.1 Serbest Diffüzyonlu Alevin Tanımı

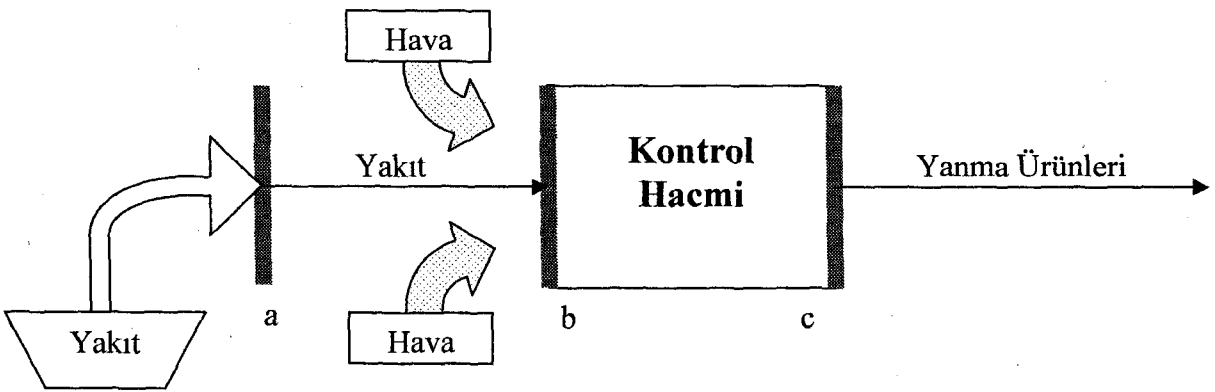
Modelini oluşturacağımız alevin serbest diffüzyonlu alev olduğunu daha önce Bölüm 1.2 'de dile getirmiştik. Fakat mevcut alevin tanımını yapmamıştık.



Şekil 2.1 Alevin yapısal gösterimi

Bu sebepten dolayı “Serbest Diffüzyonlu Alev” kelimesinden yola çıkarak modelini oluşturacağımız alevin tam bir tanımını yapmak gerekmektedir. “Serbest Diffüzyonlu Alev” kelimesi içinde yer alan “Serbest” teriminin ifade ettiği temel husus alevin hiçbir cebri akım kuvvetine zorlanmadan oluşturulduğu anlamına gelir. Bir başka deyişle alevin yapısındaki akım çizgilerinin kendiliğinden doğal konveksiyon kuvvetlerinin sonucunda oluştuğunu ifade etmektedir. Yakıt alevin üretmiş olduğu ısı enerjisinin belli bir kısmını kullanarak gaz fazına geçer. Daha sonra ortamdaki hava ile kendiliğinden karışmak suretiyle yanıcı karışımı oluşturur. Yakıt hava karışımı şekil 2.1 'de gösterilen yeşil renkli alevin iç cephesi ile mor renkli fitil arasında kalan bölgede gerçekleşir. Şekil

2.1 'de gösterilen kırmızı renkli alevin dış cephesidir. Alevin dış cephesi ile iç cephesinin birleştiği bölgeye "Alevin Konturu" adı verilir. Aksi simetrik alevler için alevin konturunun çembersel geometriye sahip olduğu kabul edilir. Bu konturun neden olduğu boşluktan fitil alevin merkezine doğru ilerler. Fitil ile kontur arasında kalan boşluktan hava alevin merkezine giriş yapar. Havanın girişine neden olan akım kuvvetleri ise tamamen doğal akım kuvvetleridir. Fitil yüzeyinden buharlaşan yakıt alevin merkezinde bulunan havaya diffüze olmak suretiyle yanıcı karışımı oluşturur. Daha sonra bu karışım kazanmış olduğu akım hızı (Kinetik Enerji) ile alevin iç cephesine hücum eder. Bu sebepten dolayı alevin iç cephesinin yüzey alanı; yakıt hava karışımının, alevin kontrol hacmine giriş yaptığı akım kesitini ifade eder. Alevin iç cephesi ile dış cephesi arasında kalan kontrol hacmin de yanma olayı gerçekleşir. Daha sonra yanma ürünleri alevin dış cephesinden dış ortama atılır. Alevin dış cephesinden ortama yanma ürünleri atıldığı için alevin dış cephesinin yüzey alanı da yanma ürünlerinin akım kesitini ifade eder. Alevin dış cephesi ile iç cephesi arasında kalan hacme ise alevin yanan hacmi denir. Alevin yanan hacmi kontrol hacmi olarak alınacak olursa, kontrol hacmine alevin iç cephesinden yanıcı karışım girerken, dış cepheden yanma ürünleri alevin kontrol hacmini terk eder. Yanma olayı kimyasal reaksiyonlar sonucunda gerçekleştiği için tüm kimyasal reaksiyonlarda olduğu gibi kütle korunum yasası geçerli olup. Alevin iç cephesinden birim zamanda giren yanıcı karışımın kütlesi ile alevin dış cephesinden birim zamanda ortama salınan yanma ürünlerinin kütlesi birbirine eşittir.



Şekil 2.2 Alevin modelsel gösterimi

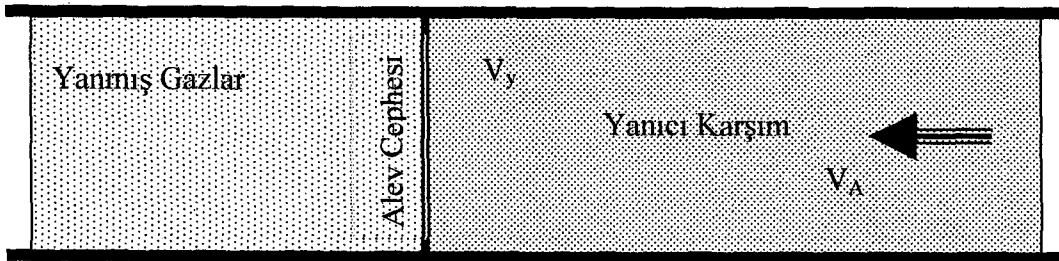
Şekil 2.2 'de alevin daha iyi anlaşılması için kontrol yüzeyleri "a", "b" ve "c" ile gösterilmiş olup. Bu yüzeyler sırası ile yakıtın buharlaştığı fitil yüzeyi, yanıcı karışımın

alevin kontrol hacmine giriş yaptığı iç cephe yüzeyi ve yanma ürünlerinin ortama salındığı dış cephe yüzeyleridir. “b” ve “c” ile gösterilen iç ve dış cephe yüzeyleri arasında yer alan alevin kontrol hacmi içinde yanma olayı gerçekleşir. “a” ve “b” arasında kalan bölge alevin çekirdeği olup. Bu bölgede yakıt hava karışımı diffüzyon ile teşkil olur. “a” ile gösterilen yakıtın buharlaştığı fitil yüzeyi olup. Bu bölgeye yakıt sıvı fazda fitilin gözenekli yapısı sayesinde kılcallık etkisinin sebep olduğu kohezyon kuvvetinin etkisi ile taşınır. Yakıt sıvı yada katı fazda olabilir. Katı fazdaki yakıtlar alevin üretmiş olduğu ısı enerjisinin bir kısmını kullanarak önce sıvı faza daha sonra fitil yüzeyinde gaz fazına geçer. (Ör: Mum)

Serbest diffüzyonlu alevler açık ortamlarda yandıkları için alevin her noktasındaki basınç sabit olup. Yanma basıncı dış ortam basıncına eşittir. Eğer dış ortam atmosfer alınacak olursa yanmanın referans basıncı atmosfer basıncı olur. Alevin her noktasındaki basıncın sabit olması dolayısı ile sistemin termodinamik denklemleri oluşturulurken Sabit Basınç Prosesi esas alınmıştır. Şekil 2.2 ‘de gösterilen alevin iç cephesinden kontrol hacmine nüfuz eden ve alevin dış cephelerinden kontrol hacmini terk eden gazlara kısaca iş gazı diyecek olursak. Sabit basınçta kontrol hacmine nüfuz eden; iş gazının yanma sonucu açığa çıkan ısı enerjisi ile yoğunluğunun azaldığı ve hacminin genişlediği ve yine kontrol hacmine girdiği basınçta prosesi tamamladığı düşünülecek olursa. Sistemin termodinamiksel olarak sabit basınç prosesini ifade ettiği açıkça görülür.

Ayrıca yanıcı karışımın mevcut sıcaklıktaki yanma hızı, alevin iç cephesine nüfuz eden yanıcı karışımın akım çizgileri ve akım hızı; alevin iç cephe profil eğrisinin şeklini ve yerini tayin eder. Çünkü alevin iç cephe profil eğrisi; akım hızının yanma hızına eşit olduğu noktalar kümesinin geometrik yeridir.

Bu ifadeyi daha iyi anlayabilmek için şekil 2.3 ‘te gösterilen boru şeklinde, sonsuz uzun



Şekil 2.3 Alev cephesinin izafi hareketi

bir kanal düşünelim. Bu borunun içi yanıcı karışım ile doldurulmuş olsun. Eğer bu karışım sol taraftan ateşlenecek olursa, alev cephesi sağ tarafa doğru “ v_y “ Adyabatik yanma hızı ile ilerler. Eğer boru içindeki yanıcı karışıma sol tarafa doğru “ v_A “ Akım hızı verilecek olursa, alev cephesinin mutlak hızı, yanma hızı ile akım hızının mutlak farkına eşit olur. Boru içinde bulunan akışkanın akım hızı yanma hızına eşit olursa, alev cephesinin mutlak hızı sıfır olur. Bu durumda alev cephesi boru içinde sabit bir yerde kalır.

Yukarıdaki temel bilgiden yola çıkacak olursak, alevin iç cephesinin geometrik yeri, yanıcı karışımın akım hızı ile yanma hızının eşit olduğu noktalar kümesi tarafından oluşturulduğunu rahatlıkla söyleyebiliriz. Bu durum alevin iç cephesinin yerini belirlemede teorik açıdan bir çok kolaylıklar getirmektedir. Eğer alevin iç cephesine hücum eden yanıcı karışımın akım çizgilerinin geometrik formunu veren analitik eğri denklemi ve mevcut akım çizgilerinin alevin iç cephesine hücum açısı biliniyor ise alevin iç cephe profil eğrisinin denklemi oblique fonksiyonların diferansiyelinden rahatlıkla bulunabilir. (Ross, 1984) Bir başka deyişle alevin iç cephe profil eğrisinin analitik denklemi ve yanıcı karışımın alevin iç cephesine hücum açısı biliniyor ise akım çizgilerinin analitik denklemi de oblique fonksiyonların diferansiyelinden rahatlıkla bulunabilir. Mevcut bilgi basit gibi durmasına karşın teorik açıdan birçok çözüm kolaylığı getiren önemli bir yaklaşım olduğu için tez dâhilinde bölüm 2.5.6 ‘da oblique fonksiyonların diferansiyelinden bahsedilmiş ve alevin iç cephe eğrisinden yola çıkarak yanıcı karışımın akım çizgilerinin analitik denklemini ne şekilde bulabileceğimiz gösterilmiştir.

2.2. Modelin Tanımı

Her teorik çözüm getiren modellerde olduğu gibi mevcut tez dâhilinde irdelenen model içinde bazı teorik kabuller yapmak suretiyle gerçek alev yaklaşım yapılmıştır. Aynı şekilde her teorik çözüm getiren sistemin başarısı da yapılan teorik kabullerin gerçek ile ne kadar bağdaştığı ile sınırlıdır. Bu sebepten dolayı alevin modelini oluştururken yapılabilecek birçok kabul ele alınmış ve mevcut kabullerin gerçek ile ne kadar bağdaştığı uzun bir süre boyunca kritik edilmiş ve aşağıda yer alan mevcut kabuller çerçevesinde söz konusu alev modeli geliştirilmiştir.

- I. Model ısı gücü sabit olan alevleri kapsar, yani alevin birim zamanda ürettiği ısı enerjisinin sabit olduğu anlamına gelir. Bu durum pratikte birim

zamanda kütlege yakıt sarfiyatı ve yanma veriminin çarpımının sabit olduğu sistemler için geçerlidir.

- II. Model alevi üç bölgede inceler. Bu bölgeler; alevin iç cephesinin içindeki alev çekirdeği bölgesi, alevin iç ve dış cephesi arasında kalan alev hacmi bölgesi ve alevin dış cephesinin dışında kalan ve yanma ürünlerinin salındığı dış ortam bölgesidir.
- III. Model sabit basınç ortamında yanan alevler için geçerlidir. Bunun sonucu olarak alevin her noktasındaki basınç dış ortam basıncına eşittir.
- IV. Model alevin yandığı ortamın sıcaklığının sabit olduğunu kabul eder. Yani sıcaklığın zamanın fonksiyonu olarak değişimi sıfırdır.
- V. Model dâhilinde alevin üretmiş olduğu ısı enerjisinin tamamının dış ortama salındığı kabul edilir.
- VI. Yanma ürünlerinin salındığı dış ortamın hacmi alev hacmine oranla sonsuz büyük olduğu kabul edilir.
- VII. Model dâhilinde alevin yapısını oluşturan iş gazı yanma reaksiyonları sonucunda ne kadar değişime uğrarsa uğrarsın, termodinamiksel analizlerde efektif atomik özelliklere sahip sabit iş gazı kabul edilir.
- VIII. Model ideal gaz teorisini temel almaktadır.
- IX. Model alevin iç ve dış cephesi arasında kalan bölgenin sonsuz sayıda ve sonsuz incelikteki cephe katmanlarından oluştuğunu kabul eder.
- X. Model denklem 2.13'ü esas almaktadır. Bunun sonucunda yukarıda şimdiye kadar ortaya koyduğumuz kabuller çerçevesinde alevin şekli ne kadar değişirse değişsin, alevin hacminin sabit olduğu anlamına gelir.
- XI. Alevin aksi simetrik formu esas olup, şimdiye kadar yukarıda ortaya koyduğumuz kabuller ve şartlar altında, alevin aksi simetrik formu için yapılmış olan çözümler alevin diğer tüm formları için geçerlidir.

2.3 Yapılan Tanımlamalar ile Gerçek Alev Arasındaki Fark

Alev için oluşturduğumuz model de iş gazının viskozitesi, Van der Waals bağları, dış ortamda oluşabilecek cebri akım etkileri ve dış ortamda oluşabilecek ani sıcaklık değişiklikleri dikkate alınmamıştır. Bunun yanı sıra termodinamik hesaplamalarda ideal gaz teorisi esas alındığı için ideal gaz teorisinin neden olduğu hatalar modelimize dâhil

olmuştur. Bu söylediklerimizin ötesinde difüzyonlu alev dış ortamdan hava difüze olmasına rağmen modelimiz dâhilinde bu söylediğimiz dikkate alınmamıştır. Alevin çekirdek bölgesine iş gazının (havanın) doğal akım kuvvetlerinin etkisi ile kendiliğinden alevin kontur bölgesi ile fitil arasındaki boşluktan aktığı ve fitil yüzeyinden buharlaşan yakıtın iş gazına tek yönlü olarak difüze ettiği kabul edilerek model geliştirilmiştir. Ayrıca alevin aksi simetrik formu esas alınmış ve alev dış akım kuvvetlerinin etkisi ile ne kadar şekil değiştirirse, değiştirsin alev hacminin sabit olduğu kabul edilmiştir. Ayrıca alevin aşırı soğuması sonucunda oluşan is oluşumu modelimiz ile açıklanamaz.

2.4. Oluşturulan Modelin Sağladığı Çözüm Kolaylıkları

Oluşturduğumuz modelin klasik alev ile ilgili olarak getirdiği çözüm kolaylıklarından bahsetmek faydalı olacaktır. Bu faydaları dile getirmeden önce bölüm 2.5.2'de bahsettiğimiz ispatın getirdiği farklı yaklaşımı ifade etmekte yarar vardır. Alevin birim hacmindeki ısı enerjisi sabit ise, birim zamanda sarf edilen yakıtın kütlesi ve yanma veriminin çarpımı sabittir. Yani alev ne kadar şekli değişir ise değişsin alevin hacminin sabit olduğu anlamına gelir. Alevin aksi simetrik geometrisi için çözüm yapılmış ise bu çözüm yukarıda sözünü ettiğimiz şartlar altında oluşabilecek tüm geometri varyasyonları için geçerlidir. Bunun yanı sıra modelin sağladığı çözüm kolaylıklarını kısaca şu şekilde sıralayabiliriz.

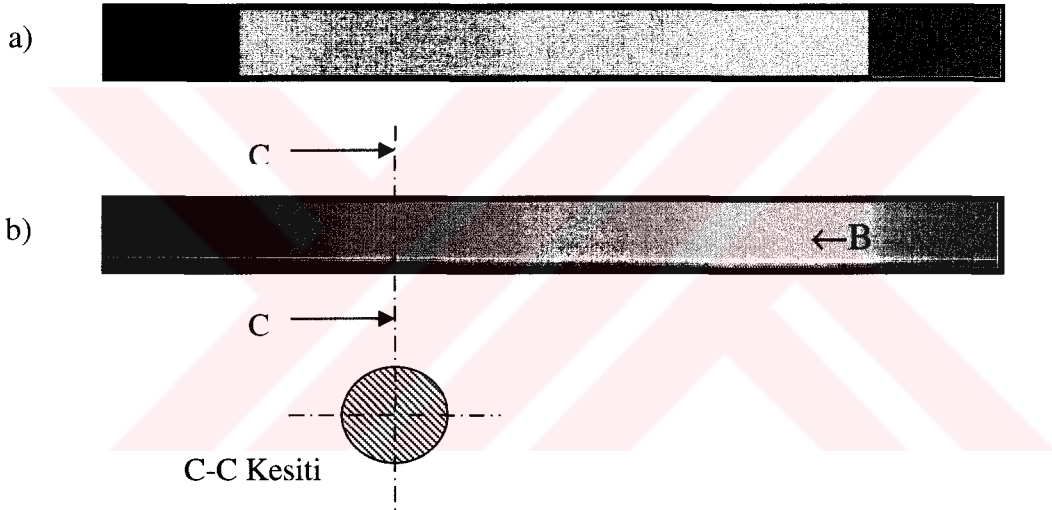
- I. Alevin hacmi ile alevin yapısında taşıdığı ısı enerjisi birbirine bağlı iki parametredir. Bunun sonucu olarak ikisinden birinin bilinmesi diğerinin bulunmasına olanak sağlar.
- II. Alevin iç cephesinin geometrisi ve alevin yapısında taşıdığı ısı enerjisi biliniyor ise alevin dış cephesinin geometrisi bulunabilir.
- III. Alevin dış cephesinin geometrisi ve alevin yapısında taşıdığı ısı enerjisi biliniyor ise alevin iç cephesinin geometrisi bulunabilir.
- IV. Alevin iç ve dış cephelerinin geometrileri belirlenmiş ise alevin yapısında taşıdığı ısı enerjisi bulunabilir.
- V. Alevin yandığı ortamın basıncı sabit olduğu sürece alevin aksi simetrik formu için yapılmış olan çözüm, aynı şartlar altındaki tüm geometrik formlar için geçerlidir.

2.5. Gerekli Matematik ve Teorik Altyapının Oluşturulması

Bu bölümde modelin sağladığı bilgiler çerçevesinde serbest difüzyonlu alevin analizi için gerekli olan teorik ve matematiksel alt yapı oluşturulmuştur. Bu bölümde bahsettiğimiz bilgilerin bazıları geliştirilmiş, geriye kalan kısmı ise daha önce yapılmış olan çalışmalardan derlenmiştir. Aşağıda bölüm 2.5.1 'de başlayıp, 2.5.12 'inci bölümün sonuna kadar olan bölümler yukarıda sözünü ettiğimiz bilgileri içermektedir.

2.5.1. Fick ve Stefan Diffüzyon Teoremleri

Bu bölümde alevin iç cephesinin içinde kalan çekirdek bölümünde yakıt hava karışımının kendiliğinden nasıl oluştuğu incelenecektir. Bunun yanı sıra bu bölümde yer alan bilgiler 2.5.3 ve 2.5.11 no'lu bölümlerde yer alan denklemlere temel teşkil etmektedir.



Şekil 2.4 A ve B maddeleri arasındaki karşılıklı difüzyon olayı

Difüzyon olayını anlatabilmek için verilebilecek en iyi örnek; bir odanın ortasına konulmuş olan kolonyalı mendildir. Kolonyalı mendili odanın ortasına ilk koyduğumuz an itibariyle mendil üzerinde bulunan moleküllerin oda içindeki havaya diffüze olduğu rahatlıkla burnumuz tarafından tespit edilebilir. Belli bir süre sonra odanın her tarafı kolonya kokar. Bu olaya kısaca difüzyon denir. Difüzyon maddenin yüksek konsantrasyonlu ortamdan, düşük konsantrasyonlu ortama doğru kendiliğinden gerçekleşen kütle transferidir, Söz konusu kütle transferi maddenin bütün fazlarında gerçekleşebilir. Tüm difüzyon olayları için geçerli olan Fick difüzyon teoremi aşağıdaki temel denklem ile ifade edilir.

$$m_A'' = Y_A (m_A'' + m_B'') - \rho \cdot D_{AB} \cdot \frac{dY_A}{dx} \quad (2.1)$$

A ve B maddeleri arasında gerçekleşen diffüzyon olayında A maddesinin kütleli akışı (Birim zamanda, Birim kesit alandan geçen kütle miktarı) yukarıda verilen denklem ile ifade edilir. Bu olayı daha iyi anlayabilmek için Şekil 2.4 'deki sistemi düşünelim. Uzun bir boru içine konulmuş olan A ve B maddeleri serbest bırakılınca, karşılıklı olarak diffüzyon olayı başlar. Bu borunun herhangi bir C-C kesiti için A maddesinin kütleli akışı yukarıdaki temel denklem ile ifade edilir. Yukarıdaki denklemde bulunan Y_A terimi sistem içinde bulunan A maddesinin, toplam madde miktarına kütleli oranı veya fraksiyonu olarak tanımlanmıştır. Boru içinde A maddesinin yüksek konsantrasyonlu olarak bulunduğu sol taraftan, sağa doğru gittikçe, A maddesinin diffüzyon hızı azalır. Bu sebepten dolayı aynı denklemde bulunan, $\frac{dY_A}{dx}$ ifadesi, A maddesinin diffüzyon hızının azaldığını ifade etmektedir. Bunun sonucu olarak, $\frac{dY_A}{dx}$ ifadesi yukarıdaki denkleme eksi işaretli olarak geçmiştir. Bunun yanı sıra sistemin her noktasındaki A ve B maddelerinin kütleli fraksiyonlarının toplamının bir olduğunu hatırlamakta fayda vardır.

$$(Y_A + Y_B = 1) \quad (2.2)$$

Yukarıda verilen Fick diffüzyon denklemini hava içine diffüze olan uçucu sıvılar için ilk uygulayan Stefan olmuştur. Stefan'ın yaklaşımına göre havanın kütlesi sonsuz büyüklükte kabul edildiği için sadece gaz fazına geçen sıvı hava içine diffüze olur, yani diffüzyon tek yönlüdür. Uçucu sıvıdan, havaya doğru diffüzyon vardır. Hava, uçucu sıvının içine diffüze etmez. Bu durumu Stefan, Fick'in denklemini üzerinde değişiklik yaparak aşağıdaki şekilde göstermiştir.

$$m_A'' = Y_A \cdot m'' - \rho \cdot D_{AB} \cdot \frac{dY_A}{dx} \quad (2.3)$$

Yukarıdaki denklem de yer alan ortak ifadeler tekil hale getirilecek olursa;

$$-\frac{m_A''}{\rho \cdot D_{AB}} \cdot dx = \frac{dY_A}{1 - Y_A} \quad (2.4)$$

Sistemin diferansiyel denklemini elde edilir. Yukarıdaki diferansiyel denklemin çözümü yapılacak olursa;

$$-\int_0^L \frac{m_A''}{\rho \cdot D_{AB}} \cdot dx = \int_{Y_{A,i}}^{Y_{A,\infty}} \frac{dY_A}{1 - Y_A} \quad (2.5)$$

Uçucu sıvının yüzeyi 0 alınacak olursa, uçucu sıvı yüzeyinden L uzaklıktaki kütleli akı yukarıdaki denklem ile tanımlanır. Yukarıdaki tanıma göre sıvı yüzeyindeki kütleli fraksiyon katsayısı “i”, dış ortamdaki kütleli fraksiyon katsayısı “∞” indisleri ile ifade edilmiştir.

$$m''_A = \frac{\rho \cdot D_{AB}}{L} \cdot \ln \left[\frac{1 - Y_{A,\infty}}{1 - Y_{A,i}} \right] \quad (2.6)$$

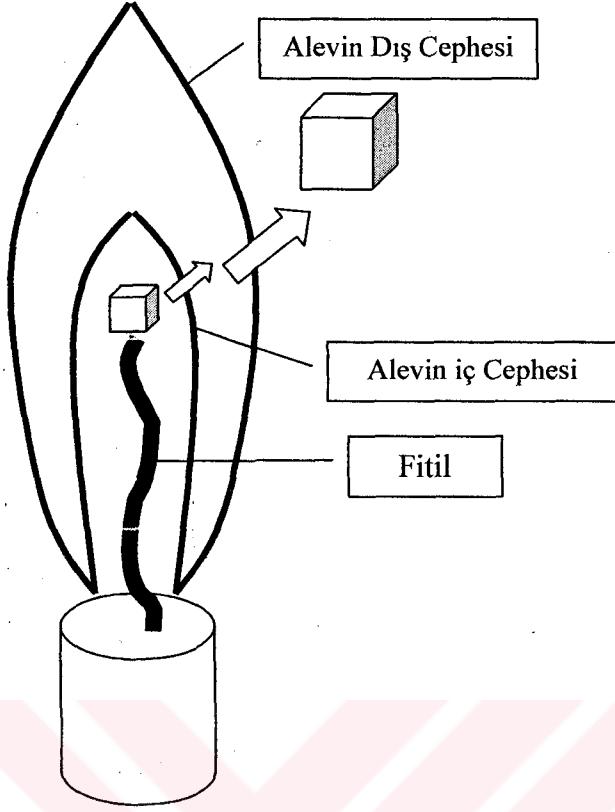
Entegral çözümü ile elde ettiğimiz denklem uçucu sıvıların diffüzyonunu açıklayan temel bir denklemdir. (Turns, 1996) Bu denklemde yer alan uçucu sıvı yakıt alınacak olursa, söz konusu denklemi serbest diffüzyonlu alevin yakıt sarfiyatını hesaplamak amacı ile kullanabiliriz. Modelimizde kullandığımız mum alevi için yakıtın buharlaştığı fitil yüzeyi “i”, alevin çekirdek bölgesindeki yakıtın kütleli fraksiyon katsayısı “∞” indisi ile gösterilmiş olur.

Bunun yanı sıra uçuculuk kavramının sıvıların bulunduğu koşulların sıcaklığına göre değiştiği unutulmamalıdır. Benzin gibi sıvılar oda sıcaklığında uçucu iken, su yaklaşık olarak 45°C (318°K) sıcaklıktan sonra hissedilir derecede uçuculaşır. Bu durum hepimizin kalorifer dilimleri arasına koyduğumuz nemlendirme kaplarından bildiğimiz bir tecrübedir.

Mumun parafini ise katı fazdan sıvı faza geçtikten sonra, daha yüksek sıcaklıkta diffüzyon yeteneğine ulaşabilir.

Diffüzyon denklemlerine bağlı olarak yakıt sarfiyatı hesaplanabilir. Fakat diffüzyona bağlı olarak yapılacak yakıt sarfiyatı hesabı değişken bir çok parametre yüzünden tam doğru sonuç vermeyeceği için yakıt sarfiyatı genellikle deneysel yöntemlerle ölçülür. Bundan başka yanıcı karışımın akım hızının hesabında da diffüzyon denklemlerinden yararlanılabilir. Alevin iç cephesine hücum eden yanıcı karışımın akım hızı alevin çekirdek bölgesinde büyük bir değişim gösterir. Yanıcı karışım fitil yüzeyinde büyük bir hız ile akarken, alevin iç cephe yüzeyine yaklaştıkça akım hızı azalır. Bu sebepten dolayı büyük bir değişim gösteren akım hızının hesabında kütleli akıyı kullanmak teorik açıdan bir çok kolaylık sağlar. Bölüm 2.5.3 ‘de alevin iç cephesine hücum eden yanıcı karışımın akım hızının diffüzyona bağlı olarak nasıl hesaplanabileceği yer almaktadır.

2.5.2. Alevin Birim Hacminden Ortama Salınan Isı Enerjisi

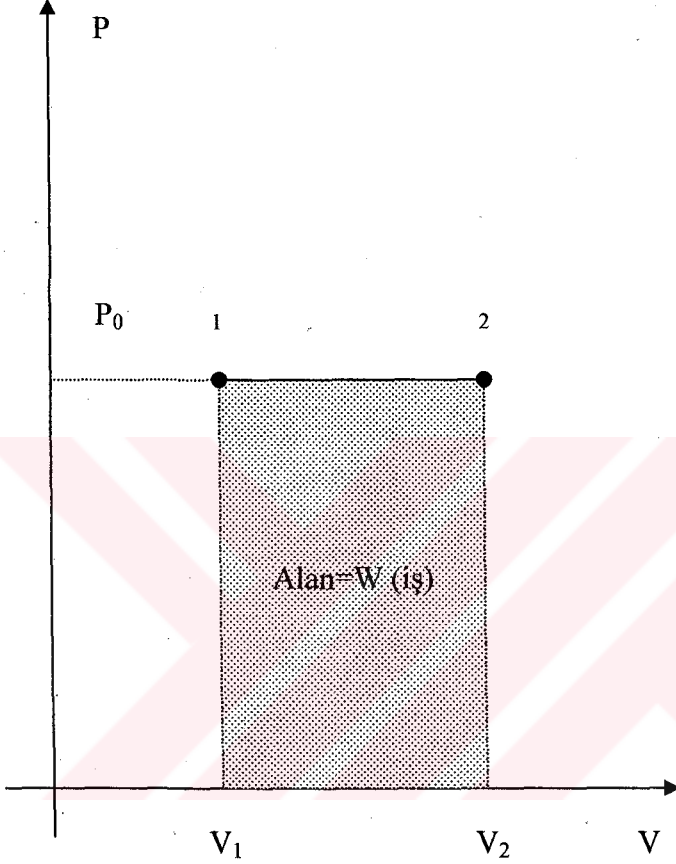


Şekil 2.5 İş gazının termodinamiksel davranışının gösterimi

Bu bölümde aleve termodinamiksel olarak yaklaşacağımız için alevin yapısında bulunan gazlar kısaca iş gazı olarak nitelendirilmiştir. Yanma reaksiyonları sonucunda açığa çıkan ısı enerjisi ile iş gazının sabit basınç şartları altında genişlediği kabul edilerek sistemin termodinamik çözümü yapılmıştır.

Termodinamiksel açıdan sistemi daha iyi anlamak için alevin iç cephesi ile dış cephesi arasında kalan hacme şekil 1.2 gösterildiği gibi kontrol hacmi, alevin iç ve dış cephe yüzeyleri ise kontrol yüzeyi olarak alınacak olursa, sistem daha iyi anlaşılabilir. Alevin iç cephe yüzeyinden kontrol hacmine giriş yapan gazı öyle bir küp eleman içine koyalım ki, bu küp elemanın dış cidarlarının ısı transfer katsayısı sonsuz büyüklükte olsun, böylece bu küpün içindeki gaz ile küpün dışındaki gaz arasında potansiyel sıcaklık farkı oluşmaz ve küpün her iki tarafındaki gazın entalpisi ve entropisi eşit olur. Ayrıca gazı kontrol etmek için kullanacağımız küpün dış cidarları sonsuz incelikte ve elastik modülü sıfır olan bir yapıya sahip olsun ki, içindeki iş gazı küpün iç cidarlarına hiçbir basınç kuvveti uygulamadan rahatlıkla küpü genişletebilsin. İşte sözünü ettiğimiz ideal küpün içine koyduğumuz iş gazını alevin iç cephesinden kontrol hacmine sokup, kontrol hacmi içinde sabit basınç prosesine tabi tuttuktan sonra alevin dış cephesinden

çıkan küpün uğradığı değişimi incelemek suretiyle sistemin termodinamiksel analizi yapılabilir. Fakat gerçekte iş gazı akım halinde olduğu unutulmamalıdır. Bu sebepten dolayı yukarıda sözünü ettiğimiz yöntem ile elde etmiş olduğumuz parametreleri mutlaka iş gazının akımı ile ilgili parametrelere dönüştürmeliyiz. Aksi takdirde elde edeceğimiz formüllerin hiçbir pratik anlamı kalmaz. Yapılan çalışma ise teorik düzeyde kalır.



Şekil 2.6 Sabit basınç prosesinin P-V diyagramında gösterimi

Sabit basınç prosesi için ısı enerjisinin diferansiyel değişimi;

$$dQ = m \cdot C_p \cdot dT \quad (2.7)$$

ile ifade edilir. Sisteme ideal gaz denklemini uygulayabilmek için ideal gaz denkleminin diferansiyelini elde etmemiz gerekir. Bu ifade de yer alan basınç, sıcaklık ve hacim değişken parametreler olduğuna göre,

$$P \cdot dV + V \cdot dP = m \cdot R \cdot dT \quad (2.8)$$

yukarıdaki ifade elde edilir. Denklem sabit basınç prosesi için uygulanacağından dolayı denklemde yer alan " $V \cdot dP$ " ifadesi sıfır olur. Bunun sonucunda denklem aşağıdaki son şeklini alır.

$$P.dV = m.R.dT \quad (2.9)$$

ilk başta vermiş olduğumuz denklem (2.7) 'de yer alan " C_p " sabitesini üniversal gaz sabitesine ve adyabatik gaz sabitesine bağlı olarak yazacak olursak, (Sontag & Van Wylen, 1991)

$$C_p = \frac{R.k}{k-1} \quad (2.10)$$

ve bu ifadeyi yukarıdaki (2.7) no'lu denklemde yerine yazacak olursak,

$$dQ = \left[\frac{k}{k-1} \right] m.R.dT \quad (2.11)$$

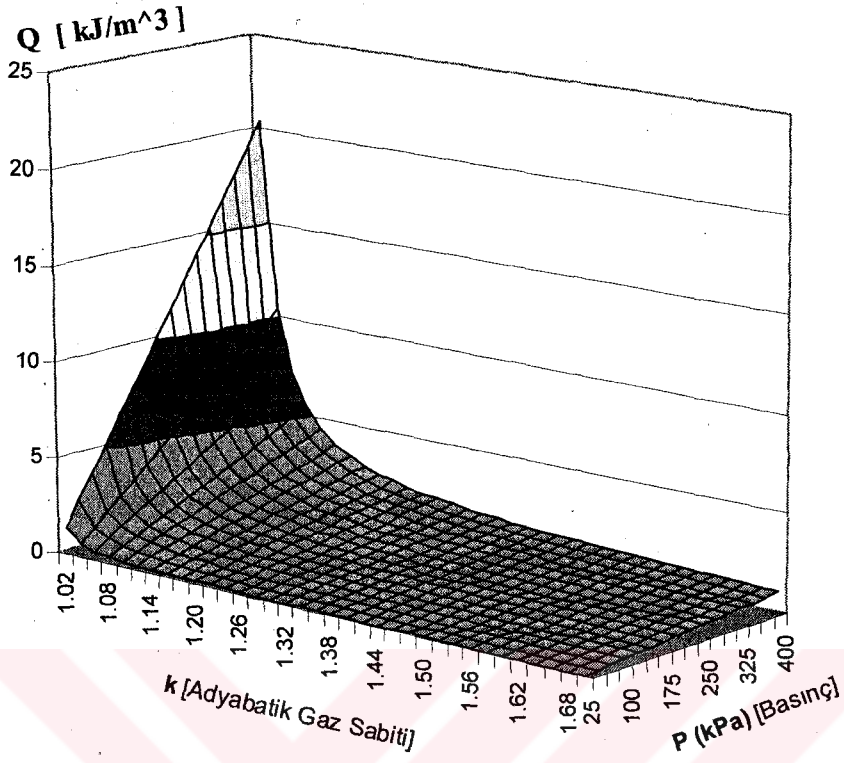
şeklini alır. Bu ifade de yer alan " $m.R.dT$ " yerine yukarıdaki (2.9) no'lu denklemde yer alan " $P.dV$ " yazılacak olursa, aşağıdaki denklem elde edilir.

$$dQ = \left[\frac{k}{k-1} \right] P.dV \quad (2.12)$$

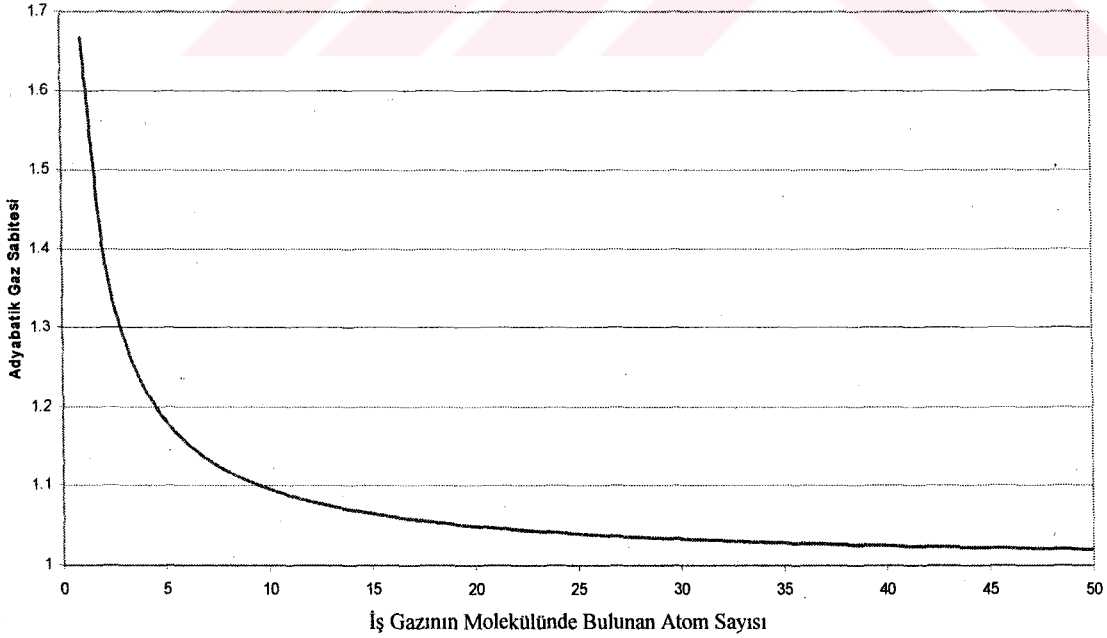
Fakat bu denklemde yer alan adyabatik gaz sabitesi ve basınç ifadesi sabit olarak kabul edildiği için denklemi düzenlemek suretiyle aşağıdaki gibi yazacak olursak, denklemi daha rahat yorumlayabiliriz.

$$\frac{dQ}{dV} = \left[\frac{k}{k-1} \right] P_0 \quad (2.13)$$

Bu denklem temel olarak şu anlama gelir. "Adyabatik gaz sabitesi ve ortam basıncı sabit olmak üzere, alevin birim hacmindeki ısı enerjisinin sabit olduğunu ifade etmektedir." Bunu daha iyi irdeleyebilmek için alevin birim hacminden ortama salınan ısı enerjisinin büyüklüğünün, Adyabatik gaz sabitesine ve ortam basıncına bağlı değişimini veren aşağıdaki grafiği irdelemek faydalı olacaktır. Aşağıdaki grafikte alevin birim hacmindeki ısı enerjisi " kJ/m^3 ", Ortam basıncı " kPascal " biriminde verilmiştir. Ayrıca havanın adyabatik gaz sabitesinin " $k=1.41$ " ve atmosfer basıncının normal şartlar altında " $P_{\text{Atm}} = 101.39 \text{ kPa}$ " olduğu düşünülecek olursa, normal şartlar altında yanan bir mum alevinin birim hacmindeki ısı enerjisinin büyüklüğünü daha iyi anlayabiliriz. Grafik dikkatlice incelenecek olursa düşey eksen alevin birim hacmindeki ısı enerjisini ifade etmektedir. Yatay düzlemde ise adyabatik gaz sabitesinin değişimi ve ortam basıncı gösterilmektedir. Ortam basıncı arttıkça ve/veya adyabatik gaz sabitesi azaldıkça alevin birim hacmindeki ısı enerjisinin arttığı rahatlıkla görülebilir.



Şekil 2.7 Alevin birim hacmindeki ısı enerjisinin P ve k bağılı değişimi



Şekil 2.8 Adyabatik gaz sabitesinin değişim grafiği

Özellikle alevin yapısını oluşturan iş gazının adyabatik sabitsi “k=1” değerine yaklaştıkça alevin birim hacmindeki ısı enerjisinin sonsuza doğru gittiği rahatlıkla görülebilir. Adyabatik gaz sabitesinin değeri iş gazının molekülünde bulunan atom sayısına bağlıdır. Adyabatik gaz sabitesinin olabilecek en yüksek değeri tek atomlu gazlar için “k=1,667” dir.(Sonntag & Van Wylen, 1991) Gaz molekülünü oluşturan atomların sayısı arttıkça adyabatik gaz sabitesinin değerinin azaldığı rahatlıkla yukarıdaki grafikte görülebilir. Adyabatik gaz sabitesinin olabilecek en düşük değeri ise sonsuz sayıda atomdan oluşan gaz molekülü için “k=1” olur. Gerçekte sonsuz sayıda atomdan oluşmuş gaz molekülü olamayacağına göre elde edilebilecek en küçük adyabatik gaz sabitesi değeri ise “k=1,02” olabilir. Bu durum büyük moleküllü hidrokarbonların buharlaştırılması ile elde edilebilir. Yukarıdaki denklemlerde belirtildiği gibi alevin birim hacmindeki ısı enerjisi sabittir. Bu ifadeden yola çıkacak olursak alevin tüm hacmindeki ısı enerjisi;

$$Q_A = \left[\frac{k}{k-1} \right] \cdot P_0 \cdot V_A \quad (2.14)$$

alevin kontrol hacmi içine birim zamanda girip çıkan iş gazı kütlesi, yani kütle akısı alevin ısıl gücünü verir.

$$\frac{\partial}{\partial t} \Rightarrow \left\{ dQ = \left[\frac{k}{k-1} \right] \cdot P_0 \cdot dV \right. \quad (2.15)$$

yukarıdaki ifadenin türevi alınarak;

$$\frac{dQ}{dt} = \left[\frac{k}{k-1} \right] \cdot P_0 \cdot \frac{dV}{dt} \quad (2.16)$$

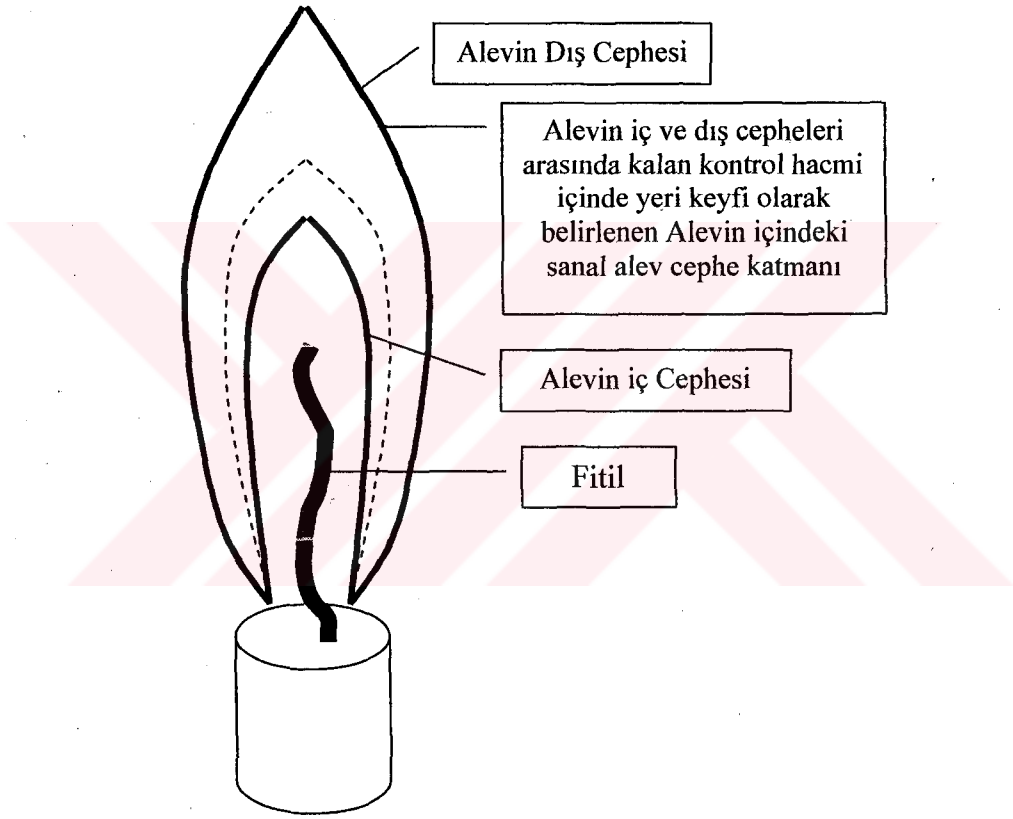
birim zamanda açığa çıkan ısı enerjisi; yani alevin ısıl gücü bulunur. Yukarıdaki ifadede yer alan hacmin zamana göre türevi iş gazının, yani alevin iç cephesinden içeri giren yakıt hava karışımının hacimsel debisidir. Yanma olayı kimyasal bir proses olduğu için ve yanan yakıt, hava karışımının üreteceği ısıl güç sabit olduğuna göre, alevin dış cephesinden ortama salınan yanma ürünleri için de aynı hacimsel debinin eşit olduğunu söylemek yanlış olmaz. Buna göre;

$$i = \{x \mid 1 \leq x < \infty, x \in Z^+, x \notin \{1, 2, y\}\} \quad (2.17)$$

olmak üzere; alevin iç ve dış cepheleri arasında tanımlanmış olan kontrol hacmi bölgesinde alevin, sonsuz incelikte ve sonsuz adet “i” sanal cephe katmanları için, aşağıdaki denklem geçerlidir.

$$\frac{dV}{dt} = A_i \cdot u_i \Rightarrow \left\{ \frac{dQ}{dt} = \left[\frac{k}{k-1} \right] \cdot P_0 \cdot A_i \cdot u_i \right. \quad (2.18)$$

Aşağıdaki şekil 2.9 ‘de gösterilen ve “i” indisi ile ifade edilen sonsuz adet ve sonsuz incelikteki sanal katmanlar, alevin gerçek olan ve “1y, 2y “ indisleri ile ifade edilen iç ve dış cephelerinden bağımsız olmak üzere, sonsuz küçük yakınlıkta alevin dış ve iç cepheleri için bu denklem uygulanacak olursa aşağıdaki sonuçlara ulaşılır.



Şekil 2.9 Alevin iç ve dış cephesi arasındaki sanal cephe katmanı

i) Alevin dış cephesi için $\rightarrow \therefore \frac{dQ}{dt} = \left[\frac{k}{k-1} \right] \cdot P_0 \cdot A_{1y} \cdot u_{1y} \quad (2.19)$

ii) Alevin iç cephesi için $\rightarrow \therefore \frac{dQ}{dt} = \left[\frac{k}{k-1} \right] \cdot P_0 \cdot A_{2y} \cdot u_{2y} \quad (2.20)$

yukarıdaki elde etmiş olduğumuz denklemi irdeleyecek olursak şu yaklaşımlarını yapmak yanlış olmaz.

Yukarıdaki kabuller ve matematiksel esaslar çerçevesi dahilinde, birinci denklem yorumlanacak olursa, alevin dış cephesinden çıkış yapan iş gazının(yanma ürünlerinin) akım hızı, dış cephe yüzey alanı, dış ortam basıncı ve yanma ürünlerinin adyabatik gaz sabitesi arttıkça alevin birim zamanda ortama saldığı ısı enerjisi(ısıl güç) artar.

Aynı şekilde ikinci denklem yorumlanacak olursa, alevin iç cephesinden alevin yanan hacmine hücum eden iş gazının(yakıt hava karışımının) akım hızı, oluşturduğu iç cephe alanı, dış ortam basıncı ve iş gazının adyabatik gaz sabitesinin sayısal değeri arttıkça alevin birim zamanda ortama saldığı ısı enerjisi(ısıl güç) artar.

Yukarıdaki (2.19) ve (2.20) denklemleri birbirine eşitlenecek olursa her iki denklemin taraf tarafa sadeleştirilmesi ile şu sonuç elde edilir.

$$A_{1y} \cdot u_{1y} = A_{2y} \cdot u_{2y} \quad (2.21)$$

Yukarıdaki ifade alevin iç bölgesinde *hacimsel debinin sabit* olduğunu gösteren önemli bir ifadedir. Aynı şekilde alevin iç ve dış cephesi arasında kalan bölgenin sonsuz adet ve sonsuz incelikteki cephe katmanlarından oluştuğunu kabul edecek olursak. Her katman için;

$$A_i \cdot u_i = c_{sbt} \Leftrightarrow i = \{x \mid 1 \leq x < \infty, x \in Z^+, x \notin \{1y, 2y\}\} \quad (2.22)$$

olur.

Yukarıdaki ifadeye göre alevin dış ve iç cephesi arasında kalan sonsuz adet "i" katmanları için mevcut katmanın yüzey alanı ile, mevcut katmana normal doğrultudaki hız bileşenlerinin normlarının çarpımı mevcut alevin her "i" değeri için sabit olup. Sabitenin nümerik değeri "c_{sbt}" 'dir.

Bunun yanı sıra 2.5.4, no'lu bölümdeki alevin süreklilik denklemi alevin iç ve dış cepheleri için yazılacak olursa;

$$u_{1y} \cdot \rho_{1y} = u_{2y} \cdot \rho_{2y} \quad (2.23)$$

ve yukarıdaki (2.23) no'lu denklem ile taraf tarafa bölünüp;

$$\frac{A_{1y} \cdot u_{1y}}{u_{1y} \cdot \rho_{1y}} = \frac{A_{2y} \cdot u_{2y}}{u_{2y} \cdot \rho_{2y}} \quad (2.24)$$

sadeleştirilir ise;

$$\frac{A_{1y}}{\rho_{1y}} = \frac{A_{2y}}{\rho_{2y}} \quad (2.25)$$

alevin iç ve dış cephesi arasında kalan her sonsuz ince ve sonsuz sayıdaki “i” katmanı için

şu aşağıdaki bağıntılar geliştirdiğimiz model için geçerlidir.

$$i = \{x \mid 1 \leq x < \infty, x \in Z^+, x \notin \{1y, 2y\}\} \quad (2.26)$$

$$\left. \begin{array}{l} A_i \cdot u_i = C_1 \\ u_i \cdot \rho_i = C_2 \\ \frac{A_i}{\rho_i} = C_3 \end{array} \right\} \Rightarrow \{C_1, C_2, C_3 = \text{sabit} \quad (2.27)$$

yukarıdaki sonuçlar dahilinde alev katmanları için aşağıda yer alan şu bağıntıları gerçekleştirebiliriz.

Sabit basınç prosesi için ideal gaz denkleminin diferansiyeli elde edilecek olursa;

$$P \cdot V = m \cdot R \cdot T \quad (2.28)$$

mevcut denklemden yola çıkarak alevin enerji seviyesini veren ifade aşağıdaki işlemler ile bulunur.

$$\therefore P \cdot dV + V \cdot dP = m \cdot R \cdot dT \quad (2.29)$$

$$\therefore P = \text{sabit} \Rightarrow P \cdot dV = m \cdot R \cdot dT \quad (2.30)$$

$$\therefore dE = P \cdot dV \Rightarrow dE = m \cdot R \cdot dT \quad (2.31)$$

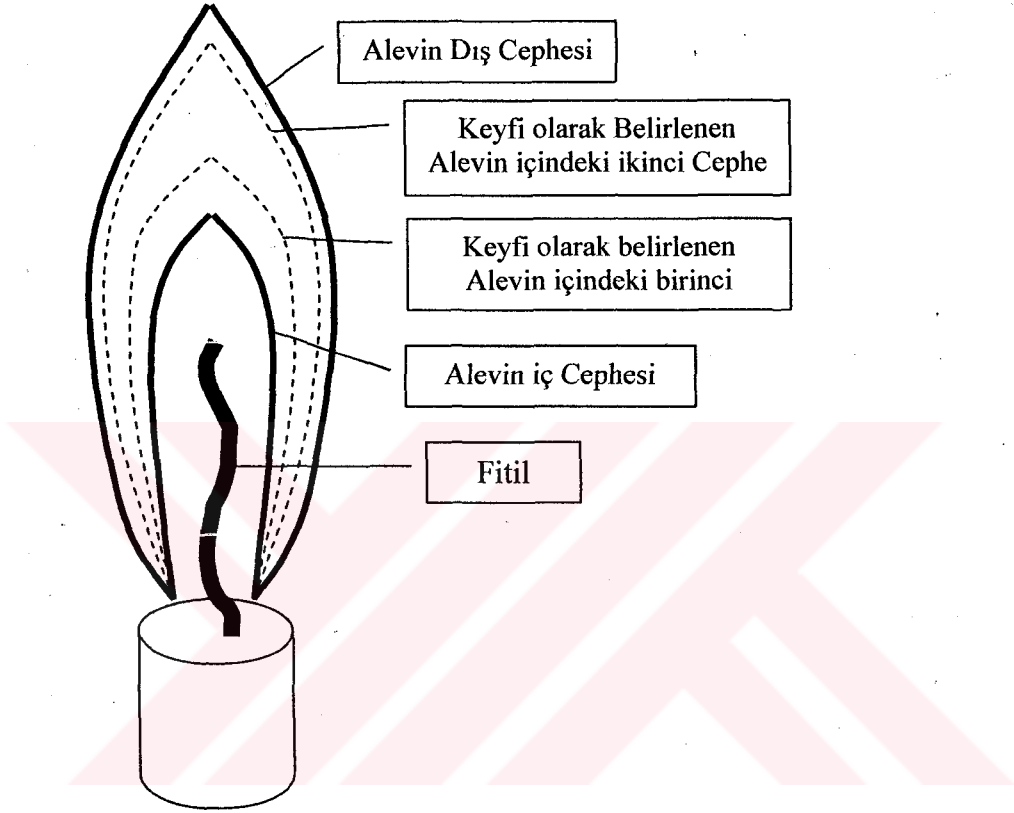
$$\therefore E = \int_{V_1}^{V_2} P \cdot dV = \int_{T_1}^{T_2} m \cdot R \cdot dT = m \cdot R \cdot (T_2 - T_1) \quad (2.32)$$

$$\therefore E = m \cdot R \cdot \Delta T \Leftrightarrow \Delta T = T_2 - T_1 \quad (2.33)$$

yukarıdaki işlemlerin sonucunda elde edilen enerji denklemine göre alevin her hangi iki cephesi arasındaki enerji seviyesi bu iki cephe arasındaki sıcaklık farkının fonksiyonudur. Yani alevin herhangi iki cephesi arasındaki kontrol hacmi içinde kalan bölgenin herhangi bir “dt” zamanı için iş gazının akımı dondurulduğu düşünülecek olursa, mevcut kontrol hacmi içindeki enerji; İki cephe arasındaki sıcaklık farkı, “R” üniversal gaz sabitesi ve iki cephe arasındaki sıcaklık farkı ile doğru orantılıdır. “T₁” ve “T₂” sıcaklık değerleri alevin dış ve iç cepheleri arasında kalan bölgenin içinde keyfi

olarak yerini belirleyebileceğimiz iki adet sanal alev cephelerinin sıcaklıklarıdır. “ T_1 ” sıcaklık değeri bu iki cephe arasında iç cepheye yakın olan, “ T_2 ” sıcaklık değeri de dış cepheye yakın olanın “°K” cinsinden sıcaklık değerleridir.

Eğer yerlerini keyfi olarak belirleyebileceğimiz bu iki cephe ile alevin dış ve iç cephesi olursa bütün alevin enerji seviyesini buluruz. Bu durumda “ T_1 ” ve “ T_2 ” sıcaklıkları alevin iç ve dış cephe sıcaklıkları olur ve tüm alevin enerji seviyesini hesaplamış oluruz.



Şekil 2.10 Alevin iç ve dış cephesi arasındaki sanal cephe katman çifti

Elde etmiş olduğumuz enerji denklemden yola çıkarak;

$$E = m.R.\Delta T \Leftrightarrow \Delta T = T_2 - T_1 \quad (2.34)$$

Yukarıdaki denklemde verilen enerji aynı zamanda ideal gaz teorisinin kinetik denkleminde verilen ve alevin dış ve iç cephesi arasındaki net enerji farkına eşittir. Bu durum termodinamik de yer alan egserji kavramı ile açıklanabilir. Yukarıdaki termodinamiksel denklemleri geliştirirken ortaya koyduğumuz ideal küp tanımına yeniden dönmek ve sistemin yapmış olduğu işi irdelemekte yarar vardır. Dikkat edilecek olursa ideal küpün elastiklik modülü sıfır olan bir yapıya sahip olduğunu konunun başında ifade etmiştik. Bunun sonucu olarak içine koyduğumuz gazın küpü genişletmek için harcadığı enerji sıfırdır. Bir başka deyişle küpü genişletmek için

gerçekte hiçbir iş yapmadığımızı söylememiz gerekir yani yukarıda ifade ettiğimiz enerji değişimi “E” aslında sanal bir iş olup, söz konusu enerji gazın yapısında kalmaktadır. Enerji hiçbir şekilde mekanik işe dönüşmemektedir. İşte teorik küp kavramı aslında bilimsel açıdan çelişkiler içeren bir çok kavrama çözüm getirmektedir. Bunu daha iyi anlayabilmek için adyabatik gaz sabitsinin “ k “ anlamını irdelemek gerekmektedir. Adyabatik gaz sabitesi matematiksel olarak sabit basınçtaki özgül ısınma ısının, sabit hacimdeki özgül ısınma ısısına oranı olarak tanımlanır.

$$k = \frac{C_p}{C_v} \quad (2.35)$$

Termodinamiksel olarak bir iş gazı sabit basınç prosesine tabi tutulacak olursa, gaza verilen ısı enerjisinin tamamı mekanik işe dönüşür. Yine aynı iş gazı sabit hacim prosesine tabi tutulacak olursa gaza verilen ısı enerjisi gaz tarafından iç enerji olarak depolanır. Bunun sonucu olarak adyabatik gaz sabitesi, gaza verilen ısı enerjisinin işe dönüşen kısmının depolanan enerjiye oranı olarak ifade etmek faydalı olacaktır. Yani iş gazına ısı enerjisi verince söz konusu iş gazı bu ısı enerjisinin bir kısmını mekanik işe dönüştürmekte geriye kalan kısmını ise depolamaktadır. Bu durum bizim karşımıza termik verim olarak ifade ettiğimiz temel kavramla çıkmaktadır. Halbuki alevin yanması düşünülecek olursa, yukarıda söylediklerimiz ile ters düşen şu durum dikkat çekicidir. Alevin sabit basınç şartları altında yandığını öne sürmek suretiyle sistemin çözümünü yaptık. Fakat yukarıda sabit basınç prosesi için sisteme verilen ısı enerjisinin tamamının mekanik işe dönüştüğünü söylemiştik. İşte ideal küp kavramı bu noktada devreye girer. Sabit basınç şartları altında sistemdeki ısı enerjisinin gazın yapısında kalmasını sağlar. Bu kavramdan yola çıkmak suretiyle aşağıdaki net iç enerji değişimi “E” gazların kinetik teorisine göre verilen net enerji değişimine eşit olması durumunu ortaya koyar ve bunun sonucu olarak aşağıdaki denklemleri oluşturma şansına sahip oluruz.

Buna göre;

$$E = m \cdot \left[g \cdot (z_2 - z_1) + (h_2 - h_1) + \frac{(u_2^2 - u_1^2)}{2} \right] \quad (2.36)$$

$$m \cdot R \cdot \Delta T = m \cdot \left[g \cdot (z_2 - z_1) + C_p \cdot (T_2 - T_1) + \frac{(u_2^2 - u_1^2)}{2} \right] \quad (2.37)$$

$$C_p = \frac{R.k}{k-1} \quad (2.38)$$

$$R.(T_2 - T_1) = g.(z_2 - z_1) + \frac{R.k}{k-1}.(T_2 - T_1) + \frac{(u_2^2 - u_1^2)}{2} \quad (2.39)$$

gazların yoğunluğunun düşük olması ve potansiyel seviye farkının neden olacağı enerji değişimi en fazla santimetre ile boyutları ölçülen alev için çok büyük bir değişim ifade etmemesi sebebiyle yukarıdaki denklemde bulunan “ $g.(z_2 - z_1)$ ” ifadesi ihmal edilecek olursa;

$$0 = R.\left(\frac{k}{k-1} - 1\right).(T_2 - T_1) + \frac{(u_2^2 - u_1^2)}{2} \quad (2.40)$$

$$0 = \frac{R}{k-1}.(T_2 - T_1) + \frac{(u_2^2 - u_1^2)}{2} \quad (2.41)$$

$$C_v = \frac{R}{k-1} \Rightarrow 0 = C_v.(T_2 - T_1) + \frac{(u_2^2 - u_1^2)}{2} \quad (2.42)$$

$$C_v.T_2 + \frac{u_2^2}{2} = C_v.T_1 + \frac{u_1^2}{2} \quad (2.43)$$

İfadesi elde edilir. Buna göre alevin iç cephesi ile dış cephesi arasında kalan bölge için sonsuz incelikte ve sonsuz “i” adet sanal alev cephesi katmanları için;

$$i = \{x \mid 1 \leq x < \infty, x \in Z^+, x \notin \{1, 2, y\}\} \quad (2.44)$$

$$C_v.T_i + \frac{u_i^2}{2} = \text{sabit} \quad (2.45)$$

Yukarıdaki toplam her zaman sabittir.

Alevin enerji denkleminde yola çıkarak aynı zamanda alevin ısı güç ifadesi elde edilebilir.

$$E = m.R.\Delta T \Leftrightarrow \Delta T = T_2 - T_1 \quad (2.46)$$

ifadenin zamana göre türevi alınacak olursa;

$$\frac{d}{dt} \Rightarrow \frac{dE}{dt} = \frac{dm}{dt}.R.\Delta T \quad (2.47)$$

Alevin birim zamanda ürettiği ısı enerjisi yada ısı gücü bulunur, türevi alınan ifade de bulunan kütlelerin zamana göre türevi ise iş gazının kütleli debisidir.

$$\left. \begin{aligned} N_A &= \frac{dE}{dt} \\ \dot{m} &= \frac{dm}{dt} \end{aligned} \right\} \Rightarrow N_A = \dot{m} \cdot R \cdot \Delta T \quad (2.48)$$

Yukarıda bulunan ifadeye göre alevin içinde seçilmiş olan iki adet keyfi alev cepheleri arasında üretilen ısı güç; iki cephe arasındaki sıcaklık farkına, iki cephe arasında kalan kontrol hacmi içinde akan gazın kütleli debisi ve üniversal gaz sabiti ile doğru orantılı olarak artar.

Eğer keyfi olarak seçilen iki alev cephesi alevin iç ve dış cepheleri olursa bu durumda alevin tümünün ürettiği ısı güç hesaplanır. Bu durumda “T₁” ve “T₂” sıcaklıkları alevin iç ve dış cephe sıcaklıkları olur.

Alevin yanması sonucu iş gazının uğradığı sabit basınç prosesi için sistemin entropi değişimi tüm termodinamik sistemlerde olduğu gibi alev içinde önem arz etmektedir. Entropi sistemin düzensizlik fonksiyonu olarak kısaca açıklanabilir. Bir başka deyişle sistemin entropisi arttıkça sistemin moleküllerin düzensizliği artmaktadır. Bu durumu alev için irdelemek kuşkusuz faydalı olacaktır.

$$dS = \frac{dQ}{T} \quad (2.49)$$

entropi yukarıdaki diferansiyel ile ifade edilir. (Sontag & Van Wylen, 1991), yukarıdaki diferansiyel ifade de yer alan “ dQ “ yerine (2.11) no’lu denklemdeki ifade yerine konulacak olursa aşağıdaki denklem bulunur.

$$dS = \left[\frac{k}{k-1} \right] \cdot m \cdot R \cdot \frac{dT}{T} \quad (2.50)$$

yukarıdaki ifade entegre edilecek olursa,

$$\int_{S_1}^{S_2} dS = \left[\frac{k}{k-1} \right] \cdot m \cdot R \cdot \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} \quad (2.51)$$

$$S_2 - S_1 = \left[\frac{k}{k-1} \right] \cdot m \cdot R \cdot \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) \quad (2.52)$$

Yukarıdaki entropi farkı kısaca “ ΔS “ olarak ifade edilecek olursa sistemin entropi değişimi aşağıdaki şekilde ifade edilmiş olur.

$$\Delta S = \left[\frac{k}{k-1} \right] m.R. \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) \quad (2.53)$$

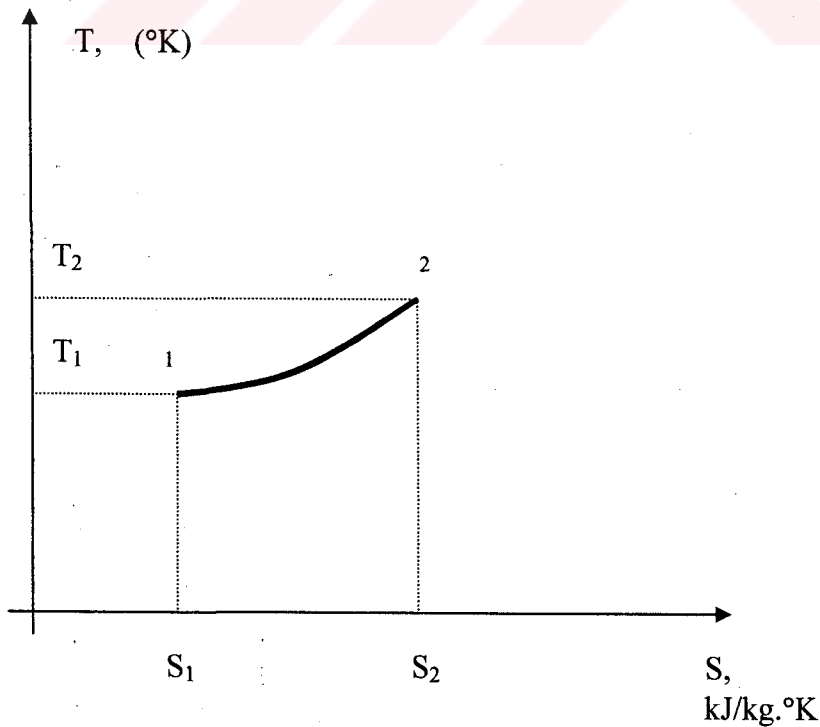
Fakat gazın kütlesini hesaplamak zor olduğu için genellikle entropi ifadeleri birim kütle başına düzenlenmiştir. Geleneksel olarak termodinamikte kütle başına analiz yapılırken parametreler küçük harf ile gösterildiği için aşağıdaki denklemlerde yer alan ve küçük harf ile gösterilmiş olan termodinamiksel fonksiyonlar birim kütle başına analiz yapıldığı anlamına gelmektedir.

$$\Delta s = \left[\frac{k}{k-1} \right] R. \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) \quad (2.54)$$

Yukarıdaki denklemde yer alan, adyabatik gaz sabitesi ve üniversal gaz sabiteleri yukarıdaki (2.10) denkleme göre aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\Delta s = C_p. \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) \quad (2.55)$$

yani alevin yanması sonucu iş gazının yapısında gerçekleşen entropi değişimi alevin iç cephesi ile dış cephesinin mutlak sıcaklık birimi olan derece kevinin cinsinden logaritmik oranı ve iş gazının sabit basınçtaki özgül ısınma ısısı olan " C_p " ile doğru orantılı olduğunu ifade etmektedir.



Şekil 2.11 Entropinin sıcaklığa bağlı değişim grafiği

Bu durum T-s diyagramında gösterilecek olursa, sabit basınç eğrisinin altında kalan alan sistemin üretmiş olduğu ısı enerjisini verir. Eğrinin üst ve alt sıcaklık farkları yukarıdaki entropi denklemlerinde yer alan “ T_1 “ ve “ T_2 “ sıcaklık farklarıdır. Yukarıda yer alan grafiği çizebilmek için entropinin sıcaklığa bağlı değişimini veren eğri denkleminin elde edilmesi gerekir. Bu sebepten dolayı yukarıdaki 2.50 no’lu denklemde yer alan entropinin sıcaklığa bağlı değişimini veren ifadenin birim kütle başına belirsiz entegrali alınmak suretiyle sabit basınç şartları altında entropi fonksiyonunun mutlak sıcaklığa bağlı değişimini veren ifade bulunabilir. Elde edilen ifadenin logaritmik olması dolayısı ile yukarıda yer alan eğrinin üstel bir fonksiyon olduğu görülebilir.

$$\int ds = \left[\frac{k}{k-1} \right] \cdot R \cdot \int \frac{dT}{T} \quad (2.56)$$

$$s = \left[\frac{R \cdot k}{k-1} \right] \cdot \ln(T) + C_{sbt} \quad (2.57)$$

yukarıdaki 2.10 no’lu denkleme göre entropinin değişimi düzenlenecek olursa,

$$s = C_p \cdot \ln(T) + C_{sbt} \quad (2.58)$$

yukarıdaki ifadeyi eğrinin çizimini kolaylaştırmak için “ $y=f(x)$ “ şeklinde düzenleyecek olursa,

$$T = k \cdot e^{\left(\frac{s}{C_p} \right)} \quad (2.59)$$

denkleminde yer alan “ k “ sabit sayısı, yukarıdaki entegrasyon sabitesi “ C_{sbt} “ ‘nin sonucudur. Eğrinin çizimini yapabilmek için “ k “ sabitesini bulmak gerekir. Bu sebepten dolayı yukarıdaki eğri üzerinde koordinatları bilinen herhangi bir nokta denklemde yerine konulmak suretiyle önce “ k “ sabitesi belirlenir, daha sonra eğrinin çizimi yapılır.

2.5.3. Akım Çizgilerinin Kırınımı ve Alev Cephesinin Oluşumu

Bu bölümde alevin iç cephesinin oluşumu ile ilgili olarak bölüm 2.1 ‘de ve şekil 2.3 ‘de bahsettiğimiz konu üzerinde duracağız ve alevin iç cephesinin oluşumunu inceledikten sonra yanıcı karışımın alevin iç cephesine hücum ederken oluşan kırınımı irdeleyeceğiz. Bu bölümde anlatacağımız konu alevin iç cephesinin oluşumu ile ilgili olarak daha

sonra bölüm 2.5.6 'da ifade edeceğimiz Oblique geometri önermesine temel teşkil ettiğini özellikle ifade etmekte fayda vardır.

Hareket halindeki cisimlerin ortam değiştirirken yön değiştirmesine kısaca kırınım denir. Kırınım olayı ışık, ses ve hareket halindeki cisimlerin ortam değiştirmesi esnasında gözlemlenen fiziksel bir olgudur. Kırınım olayının temelinde hız değişimi yatmaktadır. Hız değişiminin neden olduğu ivme yörünge değişimine neden olmaktadır. Aynı durum alev içinde geçerlidir. Alevin iç cephesine hücum eden yanıcı karışımın akım çizgilerinin alevin iç cephesine girdikten sonra yön değiştirmesinin ve yine alevin dış cephesini terk ettikten sonra da yön değiştirmesinin sebebi kırınım olayıdır. Alevin iç cephesine hücum eden yanıcı karışım için kırınım olayı aşağıdaki denklem ile ifade edilir. (Borman & Ragland, 1998)

$$V_y = V_A \cdot \sin(\alpha) \quad (2.60)$$

Alevin yanma hızının, akım hızına oranı alevin iç cephesine hücum eden yanıcı karışımın hücum açısının (alev cephesine, akım çizgisinin hücum ettiği noktadaki, akım çizgisinin teğeti ile alev cephesinin teğeti arasındaki açının) sinüsüne eşit olduğu aşağıdaki şekil 2.12 'de rahatlıkla görülebilir. Akım çizgilerinin kırınımının daha iyi anlaşılabilmesi için aşağıdaki şekilde doğrusal gösterilmiştir. Gerçekte akım çizgileri ve alevin iç cephesi eğrisel bir geometriye sahiptir. Yani eğrisel yörünge kırınıma uğramakta ve yön değiştirmektedir. Alevin iç cephesine hücum eden yanıcı karışımın akım çizgileri (yukarıdaki denklem 2.60 'a göre) alevin iç cephesinin her noktasında sabit " α " açısı ile kırınım yapar. Bir başka deyişle alevin akım çizgileri ile iç cephenin her noktası arasında sabit bir açı farkı söz konusudur. Bu bilgiden yola çıkarak alevin akım çizgilerinin geometrisi ile iç cephe geometrisi arasında matematiksel bir bağıntı oluşturabiliriz. İşte bu bağıntı analitik düzlemde tanımlanmış olan oblique fonksiyonların diferansiyel denklemi ile ifade edilebilir.

Yukarıdaki bağıntıda yer alan yanma hızı " V_y " yakıtın türüne bağlı olarak tablo halinde verilmektedir. Akım hızı " V_A " ise serbest diffüzyonlu alev için diffüzyon hızının fonksiyonudur. Yanıcı karışımın akım hızı diffüzyon hızına bağlı olarak aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

Eğer alevin iç cephe yüzey alanı " S " biliniyor ise iç cepheye hücum eden yanıcı karışımın akım hızı hacimsel debiye bağlı olarak aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$Q = S \cdot V_A \quad (2.61)$$

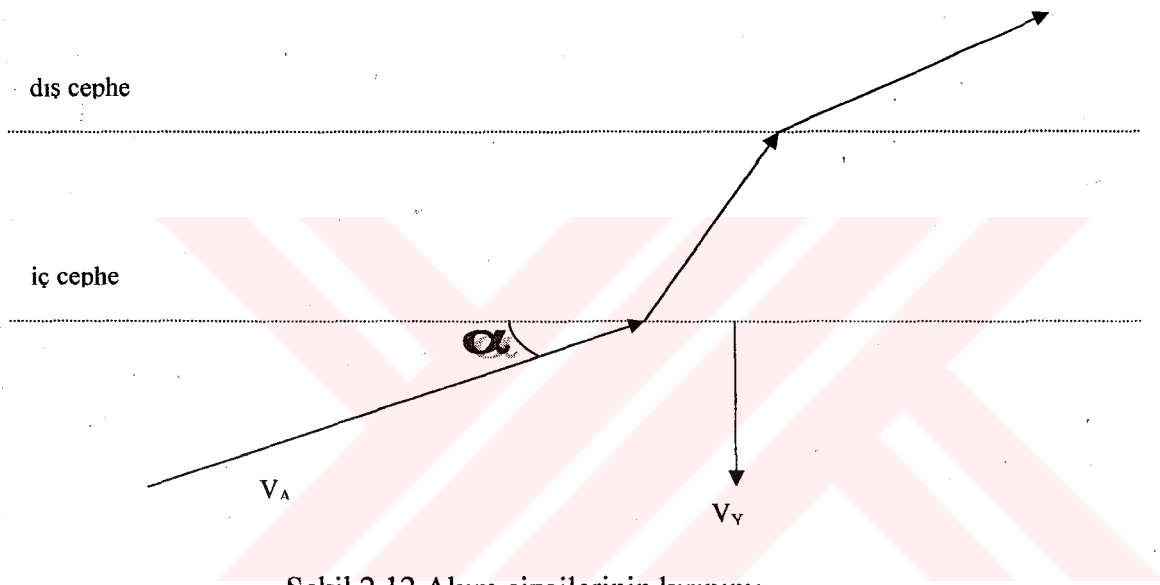
hacimsel debi aynı zamanda diffüzyon hızına, özgül kütle ve iç cephenin yüzey alanına bağlı olarak aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$Q = \frac{S \cdot m''_A}{\rho} \quad (2.62)$$

her iki denklem karşılıklı olarak eşitlenip, ortak terimler sadeleştirilecek olursa;

$$V_A = \frac{m''_A}{\rho} \quad (2.63)$$

iç cepheye hücum eden yanıcı karışımın akım hızı bulunabilir.



Şekil 2.12 Akım çizgilerinin kırınımı

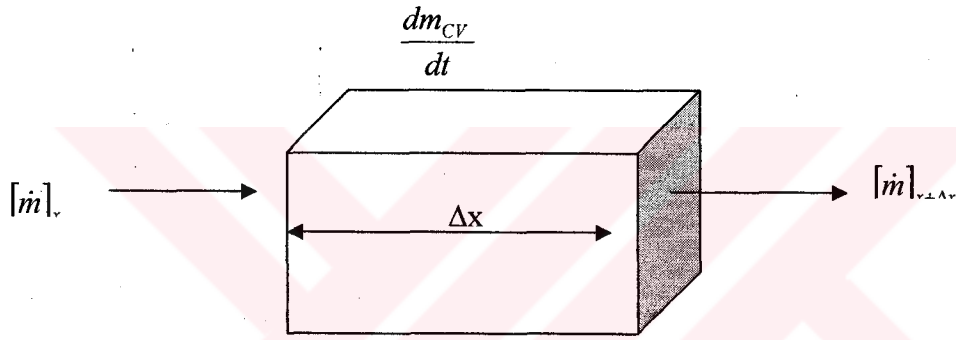
Bölüm 2.1 'de ve şekil 2.3 'de bahsettiğimiz deney aslında alevin iç cephesinin oluşumunu açıklayan temel husustur. Alevin iç cephesine doğru ilerleyen yanıcı karışım iç cepheye doğru yaklaştıkça akım kesitinin genişlemesinden dolayı hızı azalmaktadır. İlk başta yanma hızından daha büyük bir hız ile iç cepheye doğru ilerleyen yanıcı karışım, belli bir mesafe kat ettikten sonra akım hızı, yanma hızına eşit olur. Ayrıca alevin iç cephesi yanma hızı ile alevin merkezine doğru ilerleme eğilimi içindedir. İşte alevin iç cephesinin merkeze doğru ilerleme hızı ile yanıcı karışımın alevin merkezinden dışarıya doğru ilerleme hızının normal bileşeninin eşit olduğu sınır aslında alevin iç cephe yüzeyidir. Yanıcı karışımın akım hız vektörünün normal bileşeninin, yanma hızına eşit olduğu noktalar kümesi matematiksel olarak bize alevin iç cephesinin geometrik yerini tanımlar. Bu durumu matematiksel olarak oblique eğrilerin diferansiyeli ile açıklayabiliriz. Bir eğrinin teğetine sabit bir α açısı ile teğeti eğim

yapan eğri ailelerinin denklemleri arasında oblique denklem bağıntısı vardır. Bu bağıntıdan yararlanarak eğer alevin iç cephe profil eğrisinin denklemi biliniyor ise yanıcı karışımın akım çizgilerinin denklemi bulunabilir. Aynı şekilde yanıcı karışımın akım çizgilerinden bir tanesinin eğrisinin denklemi biliniyor ise alevin iç cephesinin profil eğrisinin denklemi bulunabilir.

Fakat söz konusu teorik yaklaşım ancak alevin çekirdek bölgesindeki akım laminar ise doğru sonuç verir.

2.5.4. Alevin Kütlesel Korunumu ve Sonuçları

Alevin kütleli korunumu ile kast edilen temel husus alevin iç ve dış cephesi arasındaki kontrol hacmi bölgesinde sabit kalan nicelikler ifade edilmektedir. Söz konusu



Şekil 2.13 Kontrol hacminden akan gaz kütlesinin gösterimi

nicelikler bölüm 2.5.2 ve 2.5.5’deki aksi simetrik alev ile ilgili tüm bölümlere temel teşkil etmektedir. Yanma esnasında kütle ve momentumun korunumunun sonucu olarak aşağıdaki temel süreklilik denklemi alev için geliştirilebilir.

Alev bölgesi içinde yukarıdaki şekil 2.13 ‘de gösterilen bir kontrol hacmi düşünelim. Bu kontrol hacmi içine giren madde miktarı “ $[\dot{m}]_x$ “, kontrol hacmini terk eden madde miktarı “ $[\dot{m}]_{x+\Delta x}$ ” ise, kontrol hacmini genişliği “ Δx “ ve kontrol hacmini akım kesiti “ A “ olmak üzere, kontrol hacmi içindeki madde miktarının değişimi aşağıdaki denklem ile ifade edilebilir.(Turns, 1996)

$$\frac{dm_{CV}}{dt} = [\dot{m}]_x - [\dot{m}]_{x+\Delta x} \quad (2.64)$$

Bu denklem daha açık olarak yazılacak olursa;

$$\frac{d(\rho \cdot A \cdot \Delta x)}{dt} = [\rho \cdot v_x \cdot A]_x - [\rho \cdot v_x \cdot A]_{x+\Delta x} \quad (2.65)$$

yukarıdaki denklemin çözümü ancak “ Δx ” ‘in sonsuz küçük değişimi için yapılabilir.

$$\frac{d\rho}{dt} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \left(\frac{[\rho \cdot v_x \cdot A]_x - [\rho \cdot v_x \cdot A]_{x+\Delta x}}{A \cdot \Delta x} \right) \quad (2.66)$$

yukarıdaki limitin çözümü yapılacak olursa, iki farklı değişken parametre meydana geleceği için denklem kısmi diferansiyel denklem olur.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{\partial (\rho \cdot v_x)}{\partial x} \quad (2.67)$$

kütlesel korunum nedeniyle alevin kontrol hacmi içindeki akış için kütleli debi sabit olur. (Turns, 1996)

$$\{\dot{m} = \text{sabit}\} \Rightarrow \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad (2.68)$$

bunun sonucu olarak;

$$\frac{\partial (\rho \cdot v_x)}{\partial x} = 0 \quad (2.69)$$

matematiksel olarak sabitlerin türevleri sıfır olduğu için aşağıdaki sonuca ulaşabiliriz.

$$\rho \cdot v_x = C_{sbt} \quad (2.70)$$

Yani alevin yanan hacmi içindeki her hangi bir nokta için, söz konusu noktadaki gazın yoğunluğu ile akım hızının çarpımının sabit olduğunu ifade eder. Bu ifadeye alevin süreklilik denklemleri denilebilir.

2.5.5. Aksi Simetrik Alevin Tanımı ve Kütleli Korunumu

Aksi simetrik alev ile kast edilen temel husus alevin merkezinden çizilen düşey doğruya göre alevin simetrik olmasıdır. Yani alevin iç ve dış cephe profil eğrileri merkezde çizilen düşey doğru etrafında 360° döndürülecek olursa, alevin iç ve dış cephe yüzeyleri elde edilir. Bu temel bilgiden yola çıkarak alevin kütleli korunumu için tanımlanmış olan temel ifade silindirik koordinat sisteminin diferansiyeline dönüştürülebilir. Silindirik koordinat sisteminde herhangi bir noktanın yeri orijine göre referans alınan iki eksen takımı ve bir açı ile tanımlanır. Bu eksenler radyal eksen ve kot eksenidir. Orijin merkezli ve kot eksenine dik düzlem üzerinde, radyal eksen ile yapılan açıda biliniyor ise silindirik koordinat düzleminde üç boyutlu olarak herhangi bir noktanın yeri tanımlanabilir.

Şekil 2.15 'de aksi simetrik alev, koordinat sisteminde gösterilmiştir. Yukarıdaki tanıma göre kot ekseni " y ", radyal eksen " x ", ile gösterilmiş olur. Kot eksenine göre alevin iç ve dış cephe profil eğrileri aksi simetriktir. Yani alevin iç ve dış cephe profil eğrileri kot eksenini etrafında döndürülecek olursa, alevin iç ve dış cephe yüzeyleri elde edilir.

Yukarıda ispatı yapılmış olan denklem 2.70 'i silindirik koordinat sistemi için düzenleyecek olursak, aksi simetrik alevin süreklilik denklemini elde ederiz. (Turns, 1996)

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \cdot (r \cdot \rho \cdot v_r) + \frac{\partial}{\partial x} \cdot (\rho \cdot v_x) = 0 \quad (2.71)$$

Yukarıdaki denklem 2.70 'de yer alan ifade alevin iç ve dış cephe eğrileri arasında kalan kontrol hacmi bölgesinde şekil 2.9 'da gösterildiği gibi keyfi olarak seçilmiş bir cephe katmanına normal olan hız vektörü " v_x " ile gösterilmiştir. Eğer hız vektörü silindirik koordinat sistemi için radyal ve kot bileşenlerine dönüştürülecek olursa, yukarıdaki denklem 2.71 elde edilir. Yani her iki denklem (2.70 ve 2.71) arasındaki temel fark hız vektörünün büyüklüğünün denklem 2.70 de bileşke, denklem 2.71 de bileşen olarak verilmiş olmasıdır.

Dikkat edilecek olursa denklemde açıya bağlı bir değişken yoktur. Bu durum alevin aksi simetrik olmasından ileri gelir. Yani alevin profil eğrilerinin kot eksenini etrafında döndürülmesi ile oluşan cephe yüzeyleri dönüş açısının fonksiyonu değildir. Dönüş açısının fonksiyonu olarak alevin iç ve dış cephe yüzeylerinin değişmemesinin sebebi ise alevin aksi simetrik olmasından ileri gelir. Bir başka deyişle yukarıdaki denklem alevin aksi simetrik olduğunu gösteren bir ifadedir.

2.5.6. Aksi Simetrik Alev için Oblique Geometri Önermesi

Oblique eğrilerinin diferansiyel bağıntısından yararlanmak suretiyle alevin iç cephesinin profil eğrisi ile yanıcı karışımın akım çizgilerinin eğri denklemleri arasında matematiksel bir bağıntı oluşturulabileceğimizi daha önce bölüm 2.1 ve bölüm 2.5.3 'de ifade etmiştik. Bu bölüm dâhilinde oblique fonksiyonların matematiksel tanımını yaptıktan sonra oblique eğriler arasındaki matematiksel bağıntının nasıl kurulduğunu bir örnek ile göstereceğiz. Bu bölüm dâhilinde ortaya konulan çalışmanın bilimsel bir önerme düzeyinde kalacağını hatırlatmakta fayda vardır. Gelecekte serbest difüzyonlu alev ile ilgili çalışma yapacak araştırmacılar için oblique geometri önermesinin faydalı olacağı doğrultusundaki inancımı önemle ifade etmek isterim.

Birbirinden farklı tanıma haiz ve eğri denklemleri reel sayılar kümesine tanımlanmış, iki farklı eğri ailesi için analitik düzlemde bu iki eğri ailesi takımının tüm kesişim noktalarından çizilecek teğetleri arasındaki açının hep aynı sabit α açısı olma koşulunu sağlayan tüm eğriler arasındaki ilişki oblique olarak tanımlanır.

Yukarıdaki bilimsel tanımı daha iyi anlayabilmek için örneklemek faydalı olacaktır. Odak noktaları ortak olan tüm elips eğrileri ile hiperbol eğrileri birbirlerini dik açı(90°) ile keser. Bu eğriler için matematiksel olarak 90° ile birbirlerinin oblique fonksiyonudur, tanımı kullanılır. Birbirleri ile dik kesişen oblique fonksiyonlar için ortogonal fonksiyon tanımı da kullanılabilir. Yani ortogonal fonksiyon, oblique fonksiyonun özel bir halidir.

Denklemleri belli olan bir eğrinin belli bir α açısı ile oblique olan eğrilerini bulmak için öncelikli olarak bu eğrinin denkleminin türevi olan sürekli bir fonksiyon olması gerekir. Aksi takdirde analitik olarak bu eğrinin oblique karşıtları bulunamaz. Aynı şekilde bulunacak olan oblique karşıt eğrilerinde türevi olan sürekli bir fonksiyon olması gerekir. Oblique fonksiyonların analitik çözümünde diferansiyel denklemlerin kullanılması dolayısı ile elde edeceğimiz oblique karşıt eğrinin diferansiyelinin analitik olarak çözümü olması gerekir. Aksi takdirde oblique karşıtların eğri denklemleri bulunamaz. Fakat nümerik olarak çözümü yapılarak yaklaşık olarak oblique karşıt eğriler çizilebilir. Bu tip sistemlerin nümerik çözümünde Runge-Kutta, Adams-Bashforth-Moulton, Milne-Simpson, Euler, Heun yöntemleri kullanılabilir.

Birbirleri ile oblique olan iki fonksiyonun kesiştiği noktalardaki açı farkı sabit olduğuna göre bu fonksiyonların kesiştiği tüm (x, y) noktalarından çizilecek teğetlerinin arasındaki açı farkı da sabittir. Bu iki fonksiyonun türevleri, her iki fonksiyonun teğetlerinin apsis ekseni ile yaptıkları açının tanjantı olduğuna göre, her iki fonksiyonun apsis ekseni ile yaptıkları açıların tanjant fark formülüne göre farkları sabittir. İşte bu temel bilgiden yola çıkarak her iki fonksiyon arasındaki bağıntının diferansiyel denklemleri elde edilebilir.(Ross, 1984)

$$\frac{dy}{dx} = f(x, y) \quad (2.72)$$

oblique karşıtlarını bulacağımız fonksiyonun diferansiyelini yukarıdaki şekilde düzenledikten sonra, açığa dönüştürülür.

$$\beta = \text{Arc tan} [f(x, y)] \quad (2.73)$$

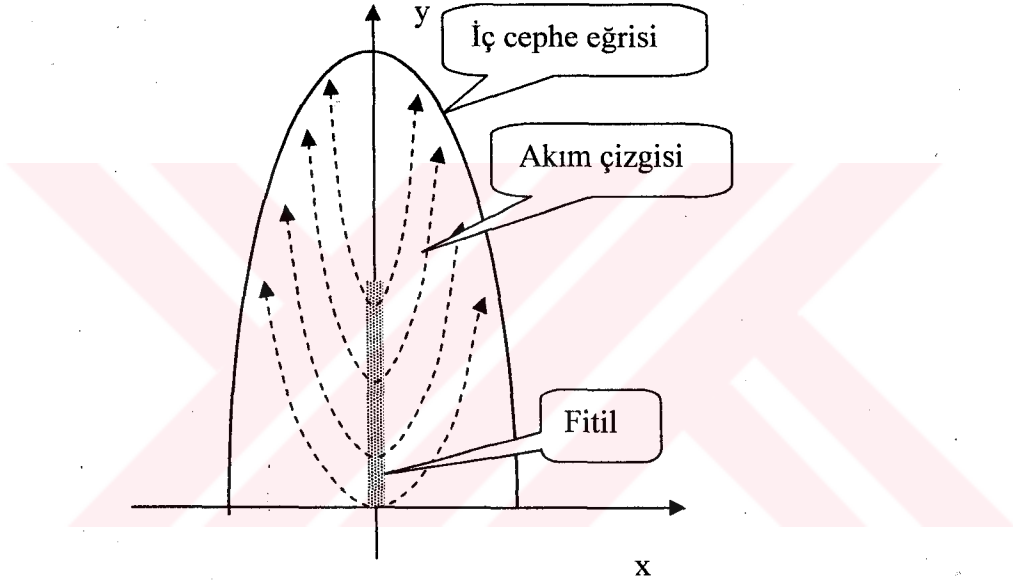
elde edeceğimiz oblique karşıtlar bu fonksiyondan α kadar fazla eğime sahip olduğuna göre oblique karşıtları aşağıdaki şekilde ifade edebiliriz.

$$\frac{dy_o}{dx} = \tan(\alpha + \beta) = \frac{\tan(\alpha) + \tan(\beta)}{1 - \tan(\alpha) \cdot \tan(\beta)} \quad (2.74)$$

yukarıdaki ifade de gösterilen y_o oblique karşıt fonksiyon olup, diferansiyel denklem olarak karşılığı aşağıda ifade edilmiştir.

$$\frac{dy_o}{dx} = \frac{\tan(\alpha) + f(x, y)}{1 - \tan(\alpha) \cdot f(x, y)} \quad (2.75)$$

yukarıdaki diferansiyelin çözümü ise aşağıda verilmiştir.



Şekil 2.14 Akım çizgilerinin iç cepheye hücumu

$$y_o = \left\{ \int \left[\frac{\tan(\alpha) + f(x, y)}{1 - \tan(\alpha) \cdot f(x, y)} \right] dx \right\} + C \quad (2.76)$$

“ y_o ” ile gösterilen denklem, “ y ” denkleminin “ α ” açılı oblique fonksiyonudur. Eğer açısı 90° alınacak olursa, bu tip fonksiyonlara ortogonal fonksiyon dendiğini daha önce söylemiştik. Ortogonal olan eğriler için oblique fonksiyonun diferansiyeli uygulanacak olursa, sistem çözülemez çünkü 90° ‘lik dik açının tanjantı sonsuzdur. Bu sebepten dolayı diklik şartının çözümünde yukarıdaki ifadendin kesrini sıfır yapan denklem araştırılır ve matematiksel olarak aşağıdaki diferansiyel denklem çözümü yapılarak “ y ” fonksiyonunun ortogonal fonksiyonu “ y_1 ” bulunur. (Ross, 1984)

$$\frac{dy_{\perp}}{dx} = -\frac{1}{f(x,y)} \quad (2.77)$$

şimdiye kadar ifade ettiklerimizi konumuza yakın bir örnek ile çözümünü yapmak faydalı olacaktır.

Örnek: Bir mumun fitilinden buharlaşan yakıtın alevin çekirdek bölgesinde çizdiği yörünge genel denklemi “ $y = a.x^2$ ” olan bir parabol olduğuna göre alevin iç cephesi nasıl bir geometriye sahip olur? (İç cepheye Akım çizgisi hücum açısı $\alpha=90^{\circ}$)

Çözüm: Birbirlerine dik olan eğriler ortogonal eğrilerdir.

$$y = a.x^2 \quad (2.78)$$

$$\frac{dy}{dx} = 2.a.x \quad (2.79)$$

yukarıdaki ifadede yer alan sabit sayı “ a “ yerine “ $a = \frac{y}{x^2}$ ” yazılacak olursa;

diferansiyel aşağıdaki son şeklini alır.

$$\frac{dy}{dx} = \frac{2y}{x} \quad (2.80)$$

elde ettiğimiz ifadeyi yukarıdaki 2.77 no’lu denklemde yerine koyacak olursak;

$$\frac{dy_{\perp}}{dx} = -\frac{x}{2y} \quad (2.81)$$

$$2y.dy = -x.dx \quad (2.82)$$

$$\int x.dx + 2. \int y.dy = C_{sbt} \quad (2.83)$$

$$x^2 + 2.y^2 = C_{sbt} \quad (2.84)$$

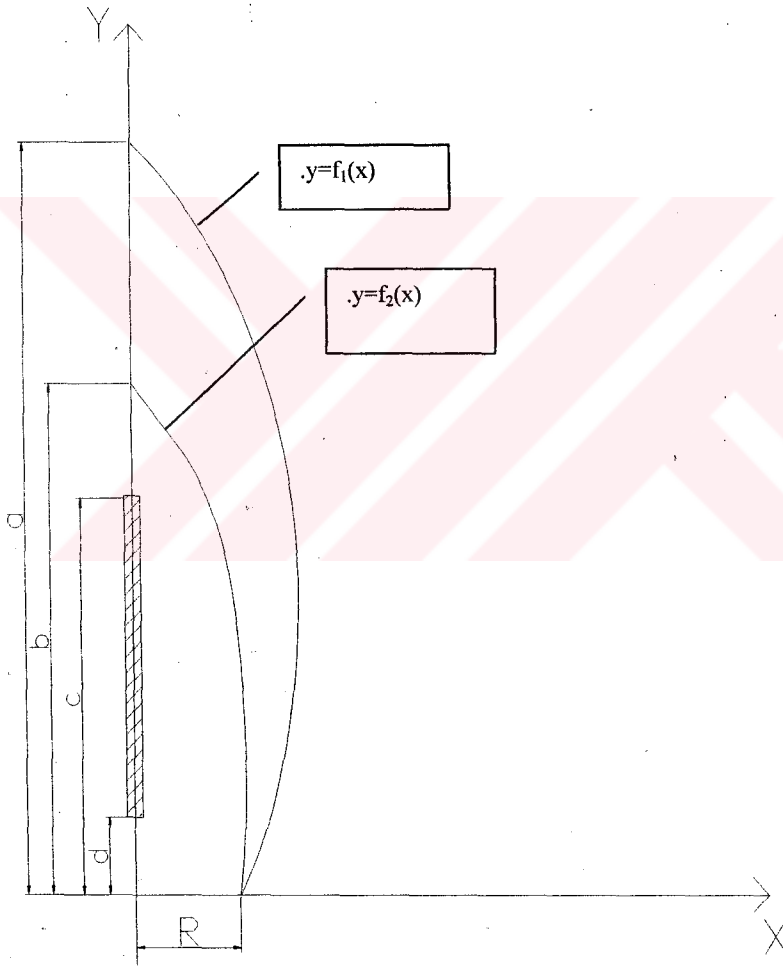
yukarıdaki denklemi uygun şekilde düzenlenecek olursa elips denklemi olduğu görülür.

$$\frac{x^2}{C_{sbt}} + \frac{y^2}{\left(\frac{C_{sbt}}{2}\right)} = 1 \quad (2.85)$$

$$\left. \begin{array}{l} C_{sbt} \rightarrow a^2 \\ \left(\frac{C_{sbt}}{2}\right) \rightarrow b^2 \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (2.86)$$

olur. Yani alevimizin iç cephesi eliptik bir geometriye sahiptir. (Ross, 1984) Aynı şekilde alevin iç cephesinin geometrisinden ve hücum açısından yararlanmak suretiyle fitilden buharlaşan yakıtın akım çizgilerinin geometrisi de tespit edilebilir.

2.5.7. Aksî Simetrik Alev için Nümerik Analiz Yöntem Önermesi



Şekil 2.15 Alevin iç ve dış cephe profil eğrilerinin analitik sistemde tanımı

Aksî simetrik alev için nümerik analiz yönteminden yararlanmak suretiyle deneysel olarak elde edilmiş olan iç ve dış cephe profil eğrilerinin denklemleri elde edilebilir.

$(x,y) \in \mathbb{R}$ olmak üzere reel sayılar kümesinde tanımlanmış olan apsis ve ordinat eksen takımları için alevin dış ve iç cephelerinin aksi simetrik eğri profilleri “ $y=f_1(x)$ ” ve “ $y=f_2(x)$ ” fonksiyonları ile tanımlanmış olsun. Buna göre mevcut eksen takımları üzerinde tanımlanmış olan özel noktalar; apsis eksenini üzerinde $x \in \{0,r\}$, ordinat eksenini üzerinde $y \in \{0,a,b,c,d\}$, noktaları ile şeklinde tanımlanmıştır. Buna göre alevin dış profil eğrisinin ordinat eksenini kestiği nokta “d”, alevin iç cephesinin ordinat eksenini kestiği nokta “c”, alevin iç ve dış cephe eğrilerinin kesiştiği nokta apsis eksenini üzerinde olmak üzere, mevcut noktanın apsis eksenini üzerindeki yeri “r”, ve yakıtın buharlaştığı fitilin boyu $[a,b]$ aralığında tanımlanmıştır.

Yukarıdaki mevcut tanımlara göre, alevin iç cephesi “ $y=f_2(x)$ ” fonksiyonu ile tanımlanmış olan eğrinin ordinat eksenini etrafında döndürülmesi ile elde edilir. Aynı şekilde alevin dış cephesi de “ $y=f_1(x)$ ” fonksiyonunun ordinat eksenini etrafında döndürülmesi ile elde edilir. Alevin profil eğrilerinin şeklini deneysel olarak tanımlayabilmek için alevin fotoğraf çekimi yapılır. Bu işlemden sonra elde edilen alev görüntüsü projeksiyon makinesi yardımı ile milimetrik kağıt üzerine düşürülür ve her iki cephe eğrisi milimetrik kağıt üzerine çizilir. Daha sonra milimetrik kağıt üzerine çizilen eğrilerin üzerinden enterpolasyon için yeterli miktarda noktanın koordinat değerleri toplanır. Enterpolasyon işlemi için toplanan noktaların sayısı arttıkça korelasyon katsayısının değeri artar, yani elde edilen eğri denklemi daha güvenilir olur. Fakat aşırı miktarda nokta için enterpolasyon hesabı yapmak matematiksel işlemleri zorlaştırdığı gibi sonuca ulaşma sürecinin uzamasına da neden olur. Bu işlemlerden sonra alevin iç ve dış cephelerine ait olan ve koordinat ekseninde tanımlanmış olan noktaların koordinat değerleri vasıtası ile bu noktalardan geçen eğrinin denklemi aşağıda ifade edeceğimiz enterpolasyon işlemleri ile tanımlı hale getirilir.

Mevcut profil eğrisinin denklemini en küçük kareler yöntemi ile belirlemek bir çok açıdan işlem kolaylığı sağlar. Bu kolaylıklardan en önemlisi eğri denkleminin genel şeklini belirleme olanağıdır. Elde edilen profil eğrisi ikinci dereceden polinomik bir fonksiyon olarak tanımlamak türev ve entegral işlemleri kolaylaşacaktır.

Eğrinin denkleminin genel şekli;

$$y = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 \quad (2.87)$$

olarak tanımlanmış olsun.

Buna göre eğri üzerindeki noktaların (x,y) koordinat değerleri biliniyor ise ve her belirlenen nokta için

$$\begin{bmatrix} n & \sum x_i & \sum x_i^2 \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum y_i \\ \sum x_i \cdot y_i \\ \sum x_i^2 \cdot y_i \end{bmatrix}$$

$$\begin{array}{l} \text{nok.} \\ 1. \\ 2. \\ 3. \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ n. \end{array} \begin{array}{l} \frac{x_i}{x_1} \quad \frac{y_i}{y_1} \\ x_2 \quad y_2 \\ x_3 \quad y_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ x_n \quad y_n \end{array} \Leftrightarrow \begin{array}{l} \sum x_i = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + \dots + x_n \\ \sum x_i^2 = x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2 + \dots + x_n^2 \\ \sum x_i^3 = x_1^3 + x_2^3 + x_3^3 + x_4^3 + \dots + x_n^3 \\ \sum x_i^4 = x_1^4 + x_2^4 + x_3^4 + x_4^4 + \dots + x_n^4 \\ \sum y_i = y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + \dots + y_n \\ \sum x_i \cdot y_i = x_1 y_1 + x_2 y_2 + \dots + x_n y_n \\ \sum x_i^2 y_i = x_1^2 y_1 + x_2^2 y_2 + \dots + x_n^2 y_n \end{array} \quad (2.88)$$

Matris denklem sisteminin çözümü ile “ $a_0, a_1, a_2,$ ” katsayıları elde edilir. Elde edilen katsayılar yukarıda verilen (2.87) no’lu polinom denklemde yerine konulacak olursa (x,y) kartezyen koordinat sisteminde profil eğrilerinin iç ve dış cephe eğrilerinin denklemi elde edilir.

Yukarıdaki enterpolasyon prosedürünün eğri denklemlerinin elde edilmesinde tercih edilme sebebi; en küçük kareler yönteminin deneysel olarak elde edilen noktalara en yakın geçen eğrinin denklemini nümerik olarak veren tek enterpolasyon yöntemi olmasıdır.

Elde edilen “ $y=f_1(x)$ ” ve “ $y=f_2(x)$ ” eğri denklemleri yardımı ile alevin iç ve dış cephelerinin yüzey alanları aşağıdaki integral işlemleri yardımı ile elde edilir.

$$A_{1y} = 2 \cdot \pi \cdot \int_0^d x_1 \sqrt{1 + \left[\frac{dx_1}{dy} \right]^2} \cdot dy \quad (2.89a)$$

$$A_{2y} = 2 \cdot \pi \cdot \int_0^c x_2 \sqrt{1 + \left[\frac{dx_2}{dy} \right]^2} \cdot dy \quad (2.89b)$$

Buna göre “ A_{1y} ” alevin dış cephe eğri profilinin “ $y=f_1(x_1)$ ” ordinat eksenini etrafında döndürülmesi ile elde edilen yüzeyin alanını yukarıdaki entegrasyon formülü yardımı ile

elde edilir. Aynı şekilde alevin iç cephe eğrisinin “ $y=f_2(x_2)$ ” ordinat ekseni etrafında döndürülmesi ile “ A_{2y} ” yüzey alanı elde edilir.

Bunun yanı sıra “ $y=f_1(x_1)$ ” ve “ $y=f_2(x_2)$ ” fonksiyonlarının aynı şekilde ordinat ekseni etrafında döndürülmesi ile oluşan katı cisimlerin hacmi ise aşağıdaki entegral işlemleri yardımı ile elde edilir.

$$V_{1y} = \pi \cdot \int_0^d x_1^2 \cdot dy \quad (2.90a)$$

$$V_{2y} = \pi \cdot \int_0^c x_2^2 \cdot dy \quad (2.90b)$$

Burada “ V_1 ” ve “ V_2 ” alevin dış ve iç cephe hacimleri olmak üzere alevin dış ve iç cepheleri arasındaki hacmi;

$$V_A = V_{1y} - V_{2y} \quad (2.91)$$

şeklinde ifade edilir. Bu hacme yanan hacim yada alevin hacmi denir. Yanma olayı dış ve iç cephe arasında gerçekleştiği için yanan hacim yada alev hacmi her iki alev cephesi eğri profillerinin ordinat ekseni etrafında dönmesi ile oluşturdukları katı cisimlerin hacim farkıdır.

Analizlerimizde alev hacmi ısı analiz için kullanılacaktır. Alevin dış ve iç cephesinin yüzey alanları ise alev hacmi içine giren ve çıkan kütle akısının belirlenmesi için kullanılacaktır.

2.5.8. Aksî Simetrik Alev için Bilgisayar Destekli Çözüm Önermesi

Bu yöntemi uygulayabilmek için alevin profil eğrilerinin analitik kurallara göre çizimini yapabileceğimiz, AutoCAD gibi programlara ihtiyacımız vardır. Bu yöntem deneysel çalışmalara daha yatkın olduğu için tez dâhilinde yapılan deneysel çalışmada kullanılmıştır.

Bu yöntemin uygulaması şu şekilde yapılır.

Alevin görüntüsü milimetrik kağıt üzerine düşürülür. Bu işlemten sonra elde ettiğimiz görüntünün boyutunu tayin etmek için ölçek belirlenir. Belirlenen alev görüntüsünün simetri ekseni cetvel ile çizilir ve referans alabileceğimiz bir orijin noktası belirlenir.

Yukarıdaki söylediğimiz işlemleri tamamladıktan sonra alevin iç ve dış cephe eğrileri üzerinde eğriyi tanımaya bileceğimiz belli sayıda nokta tayin edilir. Daha sonra tayin ettiğimiz noktaları doğrusal olarak birleştirmek suretiyle alevin görüntüsünü ne

yakınlıkta elde ettiğimiz belirlenir. Eğer elde ettiğimiz görüntü istenilen kalitede ise bu noktaların koordinat değerlerinden yararlanmak suretiyle alevin iç ve dış cephe eğrileri bilgisayarda çizilir ve alevin kontrol hacmi ile iç ve dış cephe yüzey alanları bilgisayar yardımı ile hesaplanır. Elde ettiğimiz görüntü istenilen yakınlık ile alevin formunu bize vermiyor ise alevin profil eğrileri üzerinde daha fazla nokta tayin etmemiz gerekir.

Elde edeceğimiz görüntü doğrulardan oluştuğu için alevin görüntüsünü yaklaşık olarak vermektedir. Bir başka deyişle uyguladığımız yöntem yaklaşık hesap yöntemidir. Nümerik analiz yöntemleri ile yapacağımız işlemleri azaltmaktadır.

Mevcut tez dahilinde alevin fotoğrafı 35 mm'lik dia-pozitif filme çekilmiştir. Elde ettiğimiz pozitif görüntü projeksiyon makinesi yardımı ile milimetrik kağıda düşürülmüştür. Ölçek belirleyebilmek için alev görüntüsünün yanına cetvel konulmuştur. Milimetrik kağıda yansıtılan alev görüntüsünün iç ve dış cephe eğrileri çizilmiştir. Daha sonra yukarıda sözünü ettiğimiz şekilde mevcut uygulama yapılmıştır.

2.5.9. Yakıtın Isıl Değer Analiz Teoremleri

Yakıtın alt ve üst ısıl değerleri, " H_U " ve " $(H_U)_K$ " deneysel olarak laboratuvar şartları altında yakıtın kalorimetre kabında yakılması sonucu yapılan ölçümler ile elde edilebileceği gibi, aşağıda verilen formüller yardımı ile yakıtların alt ve üst ısıl değerleri hesaplanabilir. Genel olarak piyasada kullanılan yakıtların (Ör: Benzin, Motorin, LPG, LNG, ..., vb.) ısıl değerleri tablo halinde hazır verilmektedir. Bunun yanı sıra doğadan çıkarılan yakıtların yapısında birçok farklı molekül yapısına sahip yakıt bileşeni olduğu için bu tip yakıtların ısıl değerlerinin belirlenmesinde deneysel yöntemler daha iyi sonuç verir. Ayrıca doğadan çıkarılan yakıtların çıkarıldığı yataklara göre yakıtın yapısındaki bileşen ham maddelerin birleşme oranları da değişim göstermektedir. Örneğin İtalya'daki Ravenna doğal gaz yatağından çıkan gazın yapısında %99.5 CH_4 , %0.1 C_3H_8 , %0.4 N_2 , %6.5 H_2S bulunurken, Amerika Birleşik Devletleri'nin Texas eyaletine bağlı LakeTown'da çıkarılan doğal gazın bileşenleri ise, %85.9 CH_4 , %5.8 C_2H_6 , %3.3 C_3H_8 , %1.6 C_4H_{10} , %1 C_5H_{12} , %0.2 CO_2 , %2.1 N_2 , %0.07 He gazlarının bileşiminden oluşmaktadır.(Telli, 1998) Bu bileşenlerinde oranları zamana göre değişim göstermektedir. Bu sebepten dolayı doğal kaynaklı yakıtları üreten, firmalar düzenli olarak piyasaya sundukları yakıtları ısıl değerlerini ve gerekli diğer özelliklerini talep edilmesi durumunda tüketiciye temin etmektedirler.

Şimdiye kadar söylediklerimizin dışında yakıtların yapısındaki bileşenler net olarak tespit edilebilir ise hesap yolu ile bu yakıtın ısıl değeri aşağıda verdiğimiz formüller

yardımları ile hesaplanabilir. Fakat patrikte tam olarak yakıtın yapısındaki bileşenleri tespit etmek mümkün olmadığı için ve yapılan kimyasal analizde mutlaka bir hata payı olacağı için aşağıdaki formüller sadece genel anlamda bize yakıtın ısı değerini yaklaşık olarak hesaplama olanağı sunar.

Mendeleev formülleri;

$$(\lambda \geq 1) \Rightarrow H_U = 34013 \cdot c + 125600 \cdot h + 10300 \cdot (s - o_y) - 2512 \cdot (9h + w) \quad (2.92a)$$

$$(\lambda < 1) \Rightarrow H_U = 34013(1-x)c + 10300cx + 125600h + 10300(s - o_y) - 2512(9h + w) \quad (2.92b)$$

Konovalof formülleri;

$$(\lambda \geq 1) \Rightarrow H_U = 85830 \cdot L_{\min} \quad (2.93a)$$

$$(\lambda < 1) \Rightarrow H_U = (119750 \lambda - 33910) \cdot L_{\min} \quad (2.93b)$$

Konu ile ilgili yanma ürünleri analiz formülleri;

$$O_{\min} = \frac{8}{3} \cdot c + 8 \cdot h + s - o_y \quad (2.94)$$

$$L_{\min} = \frac{O_{\min}}{0.232} \quad (2.95)$$

$$L = \lambda \cdot L_{\min} \quad (2.96)$$

$$x = \frac{3}{4 \cdot c} \cdot (1 - \lambda) O_{\min} \quad (2.97)$$

Üst ısı değer hesap formülleri;

$$(\lambda \geq 1) \Rightarrow (H_U)_K = \frac{H_U}{1 + \lambda \cdot L_{\min}} \quad (2.98)$$

$$(\lambda < 1) \Rightarrow (H_U)_K = \frac{H_U \cdot (1.32 \lambda - 0.32)}{1 + \lambda \cdot L_{\min}} \quad (2.99)$$

yukarıda verilen Mendeleev formülleri yakıtın yapısında bulunan yanıcı elementlere bağlı olarak alt ısı değerinin hesaplanmasında kullanılır. Konovalof formülleri ise yakıtın tam olarak (stokiyometrik) yakılması için tüketilmesi gerekli olan minimum hava miktarına göre alt ısı değerinin hesaplanmasında kullanılır. Buna göre tek tip kimyasal moleküle sahip yakıtların ısı değerinin hesabında Mendeleev formülleri tercih edilirken, yapısında kompozit halde bir çok yanıcı molekül türleri bulunduran yakıtlar için Konovalof

formülleri tercih edilir. Bazı durumlarda ise yakıtın ısı değeri yanma ürünlerine göre tayin gerekir. Böyle durumlarda Ek-1 'de yer alan yanma ürünü denklemlerini kullanmak suretiyle yakıtın yapısındaki bileşenleri hesaplamak gerekir.

2.5.10. Isıl Güç Hesabı

Alevin ısı gücü aynı zamanda yakıtın ısı değeri “ H_U ”, kütleli yakıt sarfiyatı “ b_e ” ve yanma verimine bağlı olarak tayin edilebilir. Buna göre alevin ısı gücü aşağıdaki denklem ile ifade edilebilir.

$$\frac{dQ}{dt} = H_U \cdot b_e \cdot \eta_y \quad (2.100)$$

Bu denklemde yer alan ifadelerin nasıl elde edilebileceği tez dahilinde diğer bölümlerde verilmiştir.

Yakıtın ısı değeri “ H_U ” tablolardan elde edilebileceği gibi bir önceki bölümde (bölüm 2.5.9) verilen denklemler vasıtasıyla hesaplanabilir.

Yakıt sarfiyatı “ b_e ” ölçüm yöntemiyle elde edilebileceği gibi bir sonraki bölümde (bölüm 2.5.11) verilen denklemler vasıtasıyla yaklaşık olarak hesaplanabilir. Fakat tezimiz dahilinde yaptığımız deneysel çalışmada deneysel olarak ölçüm tercih edilmiştir.

Yanma verimi deneysel olarak gaz ölçüm cihazlarından yararlanmak suretiyle yanma ürünlerinin analizine dayalı olarak elde edilebileceği gibi bölüm 2.5.12 'de verilen denklemler vasıtasıyla yaklaşık olarak tayin edilebilir.

2.5.11. Yakıt Sarfiyatının Belirlenmesi

Yakıt sarfiyatı genellikle ölçüm yolu ile elde edilen, bir ifade olup; birim zamanda kütlece ne kadar yakıt sarf edildiğini ifade eder. Bunun dışında yakıt bir fitil tarafından buharlaştırılıyor ise genel diffüzyon yasalarından yararlanmak suretiyle yakıtın sarfiyatı, yanma koşullarına bağlı olarak yaklaşık olarak hesaplanabilir. Buna rağmen yakıt sarfiyatı hakkında kesin sonuç almanın tek yolu ölçüm yapmaktır.

Yakıt sarfiyatını diffüzyona bağlı olarak hesaplamak için Bölüm 2.5.1 'de bulunan ve 2.1 no'lu Fick* diffüzyon denkleminde yola çıkarak elde edilen 2.6 no'lu Stefan denklemi yardımı ile aşağıdaki şekilde hesaplanır.

* “An Introduction to Combustion”, Stephen R. Turns, (1996) McGraw-Hill, Chapter 3, sayfa 70, (3.1) no'lu denklem ve buna bağlı olarak elde edilen sayfa 79,(3.40) no'lu denklem

$$\dot{m}_A'' = \frac{\rho \cdot D_{AB}}{l} \cdot \ln \left[\frac{1 - Y_{A,\infty}}{1 - Y_{A,i}} \right] \quad (2.101)$$

Yukarıdaki 2.101 no'lu temel Stefan denkleminde yola çıkarak, yakıtın fitil yüzeyindeki kütleli fraksiyonunu yakıtın ideal gaz denkleminde ve molar ağırlıktan yararlanarak suretiyle aşağıdaki gibi yazacak olursak.

$$Y_{A,i} = \frac{P_{Y.Buh} \cdot (T_{Yak})}{P_O} \cdot \frac{(Mw)_{(Yak)}}{(Mw)_{(Yak + Hava)}} \quad (2.102)$$

Buna bağlı olarak yakıt sarfiyatı aşağıdaki şekilde tanımlanabilir.

$$\dot{m}_A'' = \frac{b_e}{A_F} \quad (2.103)$$

$$b_e = \frac{A_F \cdot \rho \cdot D_{AB}}{l} \cdot \ln \left[\frac{1 - Y_{A,\infty}}{1 - Y_{A,i}} \right] \quad (2.104)$$

Yakıtın ortama diffüze edildiği fitilin uç bölgesindeki yüzeyin kesit alanı ihmal edilecek olursa; fitilin yakıtı diffüze ettiği yüzey alanının fitil boyuna oranı fitilin çevre uzunluğu olur. Bu "S_F" ile ifade edilir. Fitilin kesit alanı daire ise fitilin çevre uzunluğu fiti çapı "d_F" ile "Pi" sayısının çarpımına eşit olur.

$$S_F = \frac{A_F}{l} = \pi \cdot d_F \quad (2.105)$$

Buna göre yakıt sarfiyatı;

$$b_e = \rho \cdot S_F \cdot D_{AB} \cdot \ln \left[\frac{1 - Y_{A,\infty}}{1 - Y_{A,i}} \right] \quad (2.106)$$

2.5.12. Verim Hesabı

Sistemin yanma verimi moleküllerin yanma reaksiyonunu gerçekleştirme yüzdesi ile doğru orantılıdır. Mevcut olayı kimyasal kinetikte yer alan *Collosione* teorisine göre açıklayabiliriz.

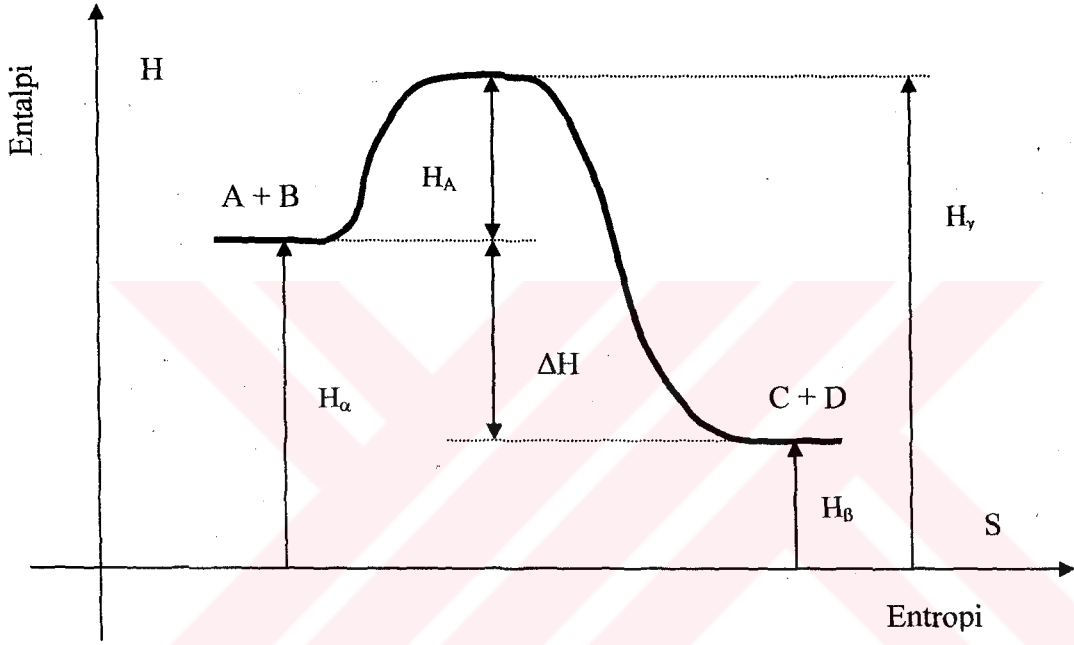
Collosione teorisine göre belli bir kimyasal reaksiyonun gerçekleşmesi ve reaksiyon sonucu arzu edilen ürünlerin oluşabilmesi için moleküllerin belli bir aktivasyon enerjisi ile çarpışması gerekir. Buna göre reaktantların konsantrasyonu ve titreşim kinetik

enerjisi (moleküllerin yapısında taşıdığı ısı enerjisi) moleküllerin çarpışma olasılığını veren en önemli parametrelerdir.

Aşağıda primitif olarak verilen yanma reaksiyonunda "A" ve "B" maddeleri reaktantlar yani yanma reaksiyonu için yakıt ve yakıcı, "C" ve "D" maddeleri ise ürünler olsun buna göre yanma reaksiyonu;



yukarıdaki şekilde gerçekleşir. Reaksiyon egzo-termik reaksiyon olduğu için reaksiyon



Şekil 2.16 Yanma reaksiyonunun H-S diyagramında gösterimi

denkleminin sağ tarafında entalpi değişimi sonucu açığa çıkan ısı enerjisi " ΔH " sıfırdan küçük gösterilmiştir.

Reaksiyon iki yönlü olup, iki yönlü ok ile gösterilmiştir. Reaksiyonun izole ortamda gerçekleştiği düşünülecek olursa; ilk başta ortamda sadece reaktantlar var olup, reaksiyon ileri yönde gerçekleştikçe ortamda yanma ürünleri ve ısı enerjisi birikmeye başlar. Bunun sonucu olarak ortamdaki yanma ürünlerinin konsantrasyonu ve ısı enerjisi belli bir seviyeye ulaştığı zaman reaksiyon ters yönlü olarak da gerçekleşmeye başlar.

Şekil 2.16 'da bir kimyasal reaksiyonun "H-S" diyagramında ne şekilde gerçekleştiği gösterilmiştir. Yatay eksen entropi olup, moleküllerin ortamdaki düzensizliğini ifade eder. Yani kimyasal reaksiyon ileri yönde gerçekleştikçe açığa çıkan ısı enerjisi; bir başka deyişle moleküllerin titreşim kinetik enerjisi arttırdığı için moleküller katı fazdan

plazma fazına doğru transformasyon geçirmesi sonucunda moleküllerin düzensizliği artar. Düşey eksen entalpi olup. Moleküllerin yapısında taşıdığı iç enerjiyi ifade eder. Buna göre reaksiyonun gelişimi incelenecek olursa, yüksek “ H_α ” iç enerjisine sahip “A” ve “B” maddelerinin reaksiyona girmesi için dışarıdan verilen “ H_A ” ısı enerjisi ile ısıtılarak “ H_γ ” aktivasyon enerji seviyesine ulaştırılır. Sistemin iç enerjisi aktivasyon enerji seviyesine ulaşınca kimyasal reaksiyon başlar ve bu noktadan sonra reaksiyon kendiliğinden gerçekleşir. Reaksiyon sonucu oluşan “C” ve “D” maddelerinin enerji seviyesi “ H_β ”, reaksiyona giren “A” ve “B” maddelerinin enerji seviyesinden daha düşük olduğu için her iki enerji seviyesinin farkı olan “ ΔH ” kadar ısı enerjisi ortama salınır. Bu reaksiyon sonucunda ortama ısı enerjisi salındığı için bu reaksiyona egzotermik reaksiyon adı verilir. Mevcut reaksiyonu yakıt, hava karışımı için irdelenecek olursak yakıt hava karışımı dışarıdan verilen ısı enerjisi ile aktive edilerek yanma reaksiyonu başlatılır. Yanma reaksiyonuna giren moleküller kendi yapılarında bulunan kimyasal bağ enerjisini ısı enerjisi olarak ortama salarken kendi bağ enerjilerini azaltarak daha kararlı molekül yapıları oluştururlar. Kimyasal kinetik de bir reaksiyonun eğilimi minimum enerji ve maksimum düzensizlik ilkesi ile açıklanır. Bu ilkeye göre bütün maddeler daha kararlı bağ yapısı oluşturma eğiliminde olup; her hangi bir madde kendi molekül yapısını daha kararlı yapıya ulaştıracağı ortamı elde edecek olursa kimyasal reaksiyonun başlaması için gerekli koşullar oluşmuş demektir. Bu ilke Benzin, hava karışımı için irdelenecek olursa büyük, karasız ve sıvı fazda daha düzenli yapıya sahip yakıt molekülleri havanın yapısındaki oksijen ile reaksiyona girerek; daha düzensiz gaz fazında ve kararlı küçük moleküller oluştururlar. (Benzinin yanması sonucunda CO, CO₂, H₂O, v.b. moleküller oluşur.) yani kimyasal reaksiyonlar yukarıdaki şekil 2.16 ‘da verilen koordinat eksen takımının sağ, alt köşesi yönünde reaksiyon gerçekleştirme eğilimi içindedir.

Birim zamandaki çarpışma miktarı ortamda bulunan moleküllerin molar konsantrasyonu, ortalama çarpışma hızı ve moleküllerin ortalama tanecik çapının karesi ile doğru orantılıdır.

$$Z = \left(\frac{n}{V} \right) \cdot \pi \cdot v \cdot \sigma^2 \quad (2.108)$$

yukarıdaki denklemi “A” ve “B” molekülleri arasında birim zamanda ve birim hacimde gerçekleşen çarpışma şeklinde tanımlayacak olursak;

$$\frac{Z_{AB}}{V} = \left(\frac{n_A}{V}\right) \cdot \left(\frac{n_B}{V}\right) \cdot \pi \cdot v \cdot \sigma_{AB}^2 \Leftrightarrow \sigma_{AB} = \frac{\sigma_A + \sigma_B}{2} \quad (2.109)$$

yukarıdaki denklemde yer alan ve tanecikler arasındaki ortalama çarpışma hızı “v”, ifadesi kinetik gaz teoreminde yer alan denklem ile ortam sıcaklığına bağlı olarak ifade edilebilir.

$$v = \sqrt{\frac{8 \cdot k_B \cdot T}{\pi \cdot \mu}} \Leftrightarrow \mu = \frac{m_A \cdot m_B}{m_A + m_B} \quad (2.110)$$

buna göre yukarıdaki (2.109) no’lu denklemi aşağıdaki şekilde ifade edebiliriz.

$$\frac{Z_{AB}}{V} = \left(\frac{n_A}{V}\right) \cdot \left(\frac{n_B}{V}\right) \cdot \sigma_{AB}^2 \cdot \sqrt{\frac{8 \cdot \pi \cdot k_B \cdot T}{\mu}} \quad (2.111)$$

yukarıdaki temel Collosione denklemi olup, “A” ve “B” maddesi arasında birim zamanda ve birim hacimde gerçekleşen çarpışma sayısını “A” ve “B” maddelerinin molar konsantrasyonuna ve ortam sıcaklığına bağlı olarak verir.

Mevcut denklemden yola çıkacak olursak “A” ve “B” maddesinin reaksiyon hızı aşağıdaki temel kimyasal kinetik denklem ile ifade edilir.

$$\frac{d[A]}{dt} = \left(\frac{Z_{AB}}{V}\right) \cdot P \cdot N_{AV}^{-1} \quad (2.112)$$

yukarıdaki denklemde yer alan diğer ifadeler ise; “P” ile ifade edilen çarpışma olasılığı ve “ N_{AV}^{-1} ” ile ifade edilen ortamda bulunan “A” ve “B” maddesinin indirgenmiş molar konsantrasyonudur.

Ortamda bulunan molekül taneciklerinin çarpışma olasılığı; ortamdaki molekül taneciklerinin yapısında taşıdığı enerji seviyesinin, mevcut kimyasal reaksiyon mekanizması için gerekli olan aktivasyon enerjisine, oranı ile doğru orantılıdır.

$$P \propto \frac{R \cdot T}{E_A} \quad (2.113)$$

yukarıdaki denklemde yer alan “ R.T “ ifadesi ortamdaki molekül taneciklerinin yapısında taşıdığı enerji seviyesini ifade eder. “ E_a “ ifadesi ise mevcut kimyasal reaksiyon için gerekli olan aktivasyon enerji seviyesi olup. Kimyasal kinetikle ilgili kitaplarda tablo halinde verilir.

Mevcut orantının yukarıdaki (2.112) no'lu denkleme katılabilmesi için orantının kimyasal reaksiyonun kinetik yapısını ne şekilde etkilediği ile ilgili yapılan deneysel çalışmalar sonucunda aşağıdaki bağıntı bulunmuştur.

$$P = e^{-\left(\frac{E_A}{R.T}\right)} \quad (2.114)$$

" N_{AV}^I " ile ifade edilen ortamda bulunan "A" ve "B" maddesinin indirgenmiş molar konsantrasyonu ise aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

$$N_{AV}^{-1} = [A][B] \quad (2.115)$$

yukarıda yapılan tanımlamalara göre; her hangi bir reaksiyonun reaksiyon hızı birim zamanda reaksiyona giren reaktant miktarı şeklinde tanımlanır. Reaksiyon hızı ortamda bulunan reaktantların konsantrasyonu ve sabit bir sıcaklık için reaktantların yapısında taşıdığı iç enerji ile doğru orantılıdır.

Gerçekte kimyasal reaksiyonların tepkimeleri ile ilgili hesaplamalarda çarpışma olasılığı ve birim hacimde, birim zamanda gerçekleşen çarpışma sayısı reaksiyon hız sabitesi olarak verilir.

$$k_{f,r}(T_{AB}) = \left(\frac{Z_{AB}}{V}\right).P \quad (2.116)$$

yukarıdaki ifade " T " sıcaklıkta, " A " ve " B " maddeleri arasında gerçekleşen reaksiyon için hız sabitesinin " k " olduğu anlamına gelir. İleri reaksiyon için " f ", geri reaksiyon için " r " indisi ile gösterilir. Reaksiyonların hız sabiteleri kimyasal kinetik ile ilgili kitaplarda tablo halinde verilmektedir. Reaksiyonun hız sabitesinin değeri reaksiyona giren atomların fiziksel niceliklerine ve atomların yapısında taşıdığı iç enerjiye(ısı enerjisine) bağlı olarak değiştiği için reaksiyon sabit alınacak olursa, reaksiyona giren atomlar sabit reaksiyon için değişmediğine göre tek değişken parametre sıcaklık olur. Bu sebepten dolayı kimyasal-kinetik tablolarda reaksiyonun hız sabitesi sıcaklığın fonksiyonu olarak verilir. Eğer reaksiyonun gerçekleştiği reaksiyon kabı izotermal ise reaksiyon sabitesi sabit değer alır. Bu durumda;

$$T = \text{Sabit} \Rightarrow k_{f,r} = k_{f,r}(T_{AB}) \quad (2.117)$$

şeklinde ifade edilir.

Şu ana kadar yaptığımız teorik ve matematiksel tanımlamalar çerçevesinde yukarıdaki 2.107 no'lu reaksiyon için " A " maddesinin hız denklemleri aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$\frac{d[A]}{dt} = -k_f \cdot [A][B] + k_r \cdot [C][D] \quad (2.118)$$

Gerçekte tüm reaksiyonlar iki yönlüdür. İleri yönlü reaksiyon hızı ile geri yönlü reaksiyon hızı arasındaki cebirsel fark bize net reaksiyon hızını verir. Kimyasal reaksiyonların gerçekleştiği ortamlarda değişken bir çok parametre yüzünden reaksiyon hız sabiteleri değişim gösterir. Bu durum kimyasal kinetik hesapları olumsuz olarak etkiler.(Turns, 1996) Fakat reaksiyonlardaki ileri ve geri hız sabiteleri orantılı olarak değişim gösterdiği için kimyasal kinetik ile ilgili hesaplamalar genellikle reaksiyonun denge koşulları esas alınarak yapılır. Bu kavram ünlü kimyager Le Chatelier tarafından geliştirilmiştir. Le Chatelier reaksiyonun her anı için aslında bir denge olduğunu öne sürmüştür. Le Chatelier'nin ortaya koyduğu yasa daha sonra bir çok bilim dalı tarafından kabul edilmiş ve evrensel bir yasa olmuştur. Bu sebepten dolayı Le Chatelier yasası çok geniş bir anlam taşımaktadır.

Le Chatelier yasasını kısaca şu şekilde özetleyebiliriz.

" Evrendeki tüm sistemler için denge esastır. Denge kısaca zıtlıkların eşitliği olarak tanımlanabilir. Sistemin dengesini bozacak bir etkide bulunursanız. Sistem yeni koşullar altında dengesini sağlamak için size tepki gösterir.

Sistem etkinin sebep olduğu değişiklikleri en aza indirmek için ne kadar çaba gösterirse göstereceği hiçbir zaman eski dengesine ulaşamaz çünkü eski dengesine ulaşması sonsuz sayıda ve büyüklüğü gittikçe azalan salınımlar ile mümkündür. Yani sistemin dengeden yoksun olduğu anlar içinde bir denge durumu söz konusudur. Buna kısaca dengesizliğin dengesi denilebilir. "

Yukarıdaki ifadeyi Le Chatelier matematiksel olarak ileri hız ile geri hız denklemlerini eşitleyerek göstermiştir.

$$k_f \cdot [A][B] = k_r \cdot [C][D] \quad (2.119)$$

Yukarıdaki ifade düzenlenecek olursa,

$$K_B = \left(\frac{k_f}{k_r} \right) = \frac{[C][D]}{[A][B]} \quad (2.120)$$

şeklini alır.

İleri ve geri hız sabitelerinin oranı yeni bir sabite ile ifade edilmiştir. Buna denge sabitesi “ K_B “ denir. Denge sabitesinin sayısal değeri daha kararlı olup, sıcaklık, basınç ve hacim parametrelerinden daha az etkilenir. Bunun sebebi ise reaksiyon hızına etki eden parametrelerin, her iki hız sabitesinin değerini paralel olarak arttırıp azaltmasından ileri gelir.

Denge sabitesinin daha kararlı sayısal değerinin olması, kimyasal kinetik hesapların daha güvenilir olmasını sağlar. Ayrıca yanma reaksiyonları için denge sabitesi yanma verimini belirleyen en önemli parametredir.

Yanma verimi kısaca, alevin kontrol hacmi içine giren yanıcı karışımın tam olarak yanma reaksiyonu gerçekleştiren oranı şeklinde tanımlanabilir. Bu tanıma göre denge sabitesi “ K_B “ arttıkça ileri yönlü reaksiyon hızı, geri yönlü reaksiyon hızına oranla daha fazla gerçekleştiği için yanma verimi artar. Bir başka deyişle alevin kontrol hacmi içinde gerçekleşen geri yönlü reaksiyonlar yanma verimini düşürmektedir.

Yanma veriminin %100 olması için geri yönlü reaksiyonun gerçekleşmemesi gerekir. Bu durum matematiksel olarak;

$$\{\eta_y = 1\} \Rightarrow \{k_r = 0\} \Rightarrow \{K_B = \infty\} \quad (2.121)$$

şeklinde gösterilebilir.

Yanma veriminin %0 olması için ileri yönlü reaksiyonunun gerçekleşmemesi gerekir. Bu durum matematiksel olarak;

$$\{\eta_y = 0\} \Rightarrow \{k_f = 0\} \Rightarrow \{K_B = 0\} \quad (2.122)$$

şeklinde gösterilebilir.

Yani yanma verimi ile denge sabitesi arasında matematiksel bir bağıntı söz konusudur. Bu bağıntı matematiksel olarak asimptotik bir bağıntı olup, ancak denge sabitesinin sonsuz değerinde %100 'lük yanma verimini vermektedir. Teorik olarak bu bağıntı aşağıdaki ifade ile gösterilir.

$$\eta_y = 1 - e^{-K_B} \quad (2.123)$$

Deneysel uygulamalarda ise yanma verimi ile denge sabitesi arasındaki bağıntıyı ifade eden yukarıdaki denkleme düzeltme katsayısı “ C_d “ eklenir. Bunun sebebi ise denge sabitesinin sayısal değeri laboratuarda standart koşullar altında elde edilmesinden ileri

gelmektedir. Deney koşullarının değişmesi yukarıdaki ifadenin geçerliliğini ortadan kaldırır.

$$\eta_y = 1 - e^{-C_d \cdot (K_B)} \quad (2.124)$$

Düzeltilme katsayısı “ C_d ” deneysel uygulama sırasında yapılan ölçümler ile tespit edilir. Deneysel uygulama koşulları değiştikçe düzeltme katsayısının “ C_d ” değeri değişecektir. Ayrıca yanma reaksiyonuna giren yanıcı karışım karma molekül yapısına sahip ise, denge sabitesi yerine eşdeğer denge sabitesinin kullanılması gerekir.

Şimdiye kadar ifade ettiğimiz denklemler ve teorik kabuller çerçevesinde yanma veriminin kimyasal kinetik ile açıklanabileceğini ortaya koyduk.

Yanma verimini etkileyen diğer parametreleri yukarıda ortaya koyduğumuz hususlar çerçevesinde açıklamak faydalı olacaktır.

Yanma verimini arttırabilmek için yanma odasındaki (yani reaktör kabındaki) yanma ürünlerini en iyi şekilde ortamdan uzaklaştırmak gerekir. Reaksiyon sonucu ortamında biriken yanma ürünlerinin konsantrasyonu arttıkça ters yönlü reaksiyon hızı artacak bunun sonucu olarak yanma verimi düşecektir.

Yanıcı karışımın yanma hızının üzerindeki bir hız ile ortama yanıcı karışım sevk etmek yanma verimini düşüren diğer bir unsurdur.

Yanma odasının ısı transferi artarsa yanıcı karışımın eşik enerjisi azalacağı için moleküllerin çarpışma olasılığı azalacak ve bunu sonucunda yanma verimi düşecektir.

Yanıcı karışımın teşkili esnasında yanıcı madde ile yakıcı madde ne kadar iyi karıştırılırsa, birim hacimde gerçekleşen çarpışma sayısının artışından dolayı yanma verimi artacaktır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Şimdiye kadar yaptığımız çalışmalar teorik düzeyde olduğu için mevcut çalışmaların gerçek ile ne kadar uyumlu olduğunu sınamak gereklidir. Bu amaç ile deneysel çalışmayı teze eklemek, kuşkusuz faydalı olmuştur. Deneysel çalışmanın tez kapsamında geliştirdiğimiz denklemlerin, gerçek alev ile ne derece uyumlu olduğunun anlaşılması açısından; tezi okuyanlara kısmen de olsa bir fikir vereceğine inanmaktayım. Fakat tez dâhilinde yapılan deneysel çalışmaya rağmen, tezin teorik ağırlıklı bir çalışma olduğu unutulmamalıdır. Bu sebepten dolayı tez kapsamında yapılan deneysel çalışma tezi okuyanlara fikir vermek amacı ile yapılmış ve sınırlı tutulmuştur. Kuşkusuz ki mevcut tez dahilinde yer alan tüm konuları deneysel olarak sınamak için daha uzun bir sürece ihtiyaç vardır. Diffüzyonlu alev olarak tez dahilinde mum alevi kullanılmıştır. Halbuki mum alevinden farkı bir çok diffüzyonlu alev türleri mevcuttur. Alev ile ilgili ortaya koyduğumuz ifadeleri genelleştirmek suretiyle ve değişik şartlar altında yanan diffüzyonlu alevler için yapılan deneysel çalışma sonuçlarını; mevcut denklemler ile test etmek suretiyle; söz konusu denklemlerin tam anlamı ile doğruluğu kanıtlanabilir.

Mevcut tez kapsamında ortaya koyduğumuz teorik ifadeleri test amacı ile alevin 35 mm 'lik E-6 formatında Krom Palet dia-pozitif filme fotoğrafları çekilmiş ve fotoğraftaki görüntüden yararlanmak suretiyle alevin iç ve dış cephe yüzey alanları ile iç ve dış cephe arasında kalan hacim yaklaşık olarak hesaplanmıştır. Bunun yanı sıra yanma ürünlerinin gaz kompozisyonu ölçülmüş ve mumun birim zamandaki kütle kaybı belirlenmiştir. Kuşkusuz ki bu ölçümleri aynı anda yapmak daha kesin sonuçlar elde edilmesi açısından faydalı olmasına rağmen eldeki kısıtlı imkanlar dahilinde maalesef bu gerçekleştirilememiştir. Bu sebepten dolayı ölçümleri yaparken fotoğrafta belirlediğimiz alevin boyu referans alınmış ve hep aynı alev boyu için ve aynı tip standart mum ile ölçümler yapılmıştır.(mum çapı 20mm, fitil çapı 1.5mm)

Deneysel sonuçlarını netleştirmek için istatistik analiz yöntemleri kullanılmış. Ayrıca ölçümlerdeki hata payı belirlenmiştir. Söz konusu analizlerde t dağılımı kullanılmış ve %98'lik ortalama merkezli simetrik kümülasyona giren sapma payı belirlenmiştir. Mevcut sapma payının hedeflenen %2'lik hata payına yakın bağıl hata veren ölçümler için hesaplamalar yapılmıştır. Söz konusu ölçümlerde %2'lik hata payı hedeflenmesine rağmen yaklaşık olarak %4 ile %6 arasında değişen bağıl sapmalar tespit edilmiştir. Daha sonra yapacağımız hesaplamalarda söz konusu hata paylarının göz önünde

bulundurulması tezi okuyanların daha iyi yorum yapabilmesi açısından kuşkusuz faydalı olacaktır.

Tezi okuyanlar açısından tabii ki en önemli merak edilecek konu; eğer deneyler aynı anda yapılsaydı sonuçların ne kadar değişeceği sorusu olacaktır. Daha iyi sonuç elde etmek için tam fotoğraf çekildiği anda gaz kompozisyonunu ve kütle kaybını ölçmek gerekirdi. Bu sebepten dolayı deney sonuçlarına deterministik açıdan yaklaşmak kuşkusuz faydalı olacaktır. Deterministik yaklaşımın bize sağlayacağı en önemli fayda eğer ölçümleri aynı anda yapsaydık istatistiksel olarak elde ettiğimiz güvenilirlik faktörlerinin ne kadar değişeceği sorusuna matematiksel bir yaklaşım getirmesidir. Bu sebepten dolayı olasılık teorilerinden yararlanmak suretiyle söz konusu olaya kısmen de olsa bir yaklaşım yapılmış ve tezi okuyanların yorumuna sunulmuştur.

3.1. Gerekli Ön Bilgiler

Tüm deneysel çalışmalarda olduğu gibi aslında deneyde ölçülen değeri tam olarak tespit edebilmek bir olasılıktır. Gerçek değeri tam olarak elde edebilmek için teorik olarak sonsuz adet ölçüm yapmak ve bu ölçümlerin ortalamasını almak gerekir ki, bu söylediğimiz ise imkânsızdır. Hatta bazı durumlarda deney şartlarını sağlamak tam anlamıyla o kadar güç olur ki, sınırlı sayıda ölçüm ile yetinmek zorunda kalırız. İşte böyle durumlar da ister istemez matematiksel bir yöntem olan olasılık teorilerini deneysel çalışmaya eklemek gerekir. Yani bir başka deyişle mevcut sonuçların dağılım aralığını tespit etmek veya gerçek değer ne kadar geniş bir aralıkta olması gerektiğini hesaplamak gerekir.

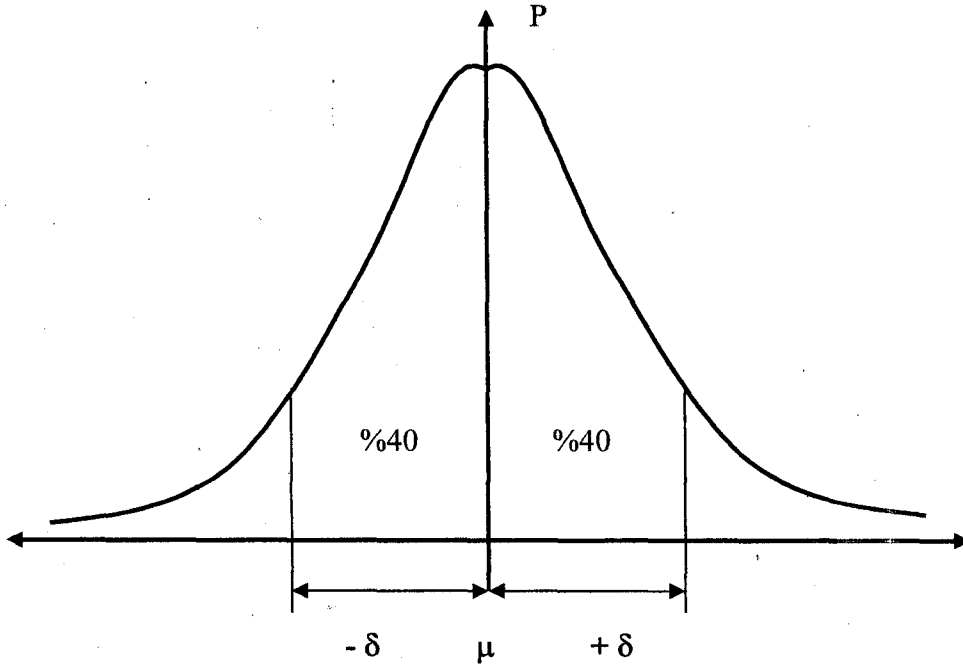
İşte bu söylediğimize kısaca istatistiksel yaklaşım denir. İstatistik olasılığın dağılımı olarak kısaca tanımlanabilir. Bu söylediğimizi bir örnek ile irdelemek faydalı olacaktır. Bunu anlatabilmek için verilebileceğimiz en güzel örnek dart oyunudur. Dart oyununda oyuncuların ellerindeki okları dart tahtasının merkezine isabet ettirmek için uğraştıklarını düşünelim ve iki tane oyuncumuz olsun. Bu oyunculardan bir tanesinin attığı oklar genelde merkeze çok yakın tahtaya isabet ederken, diğer oyuncunun attığı okların dart tahtası üzerinde daha geniş bir sahaya yayıldığını düşünelim. İşte bu yayılım ifade etmek için kullandığımız yöntem kısaca istatistiksel yöntem denir. Bu yayılım istatistik yöntemde olasılığın dağılımı veya olasılık yoğunluğu olarak ifade edilir. Dağılım eğrimizi Gauss eğrisi ile ifade edecek olursak, çan eğrisi en toplu olan oyuncu okları hedeflenen merkez noktaya en yakın isabet ettirdiği için çan eğrisinin tepe noktası diğer oyuncuya göre daha yüksek olacaktır. Bir başka deyişle merkez noktaya isabet

ettirme olasılığı daha yüksektir. Diğer oyuncun ise olasılığı daha geniş bir sahaya yayıldığı için merkezi tutturma olasılığı diğer oyuncuya göre daha azdır. Fakat her iki oyuncu için çizilecek Gauss eğrilerinin eksi sonsuz, artı sonsuz aralığındaki entegrali birdir. İşte buna kümülatif olasılık, olasılığın kümülasyonu veya birikimli olasılık denir. Birikimli olasılık kavramı olasılığın özgül kütle değerini veren çan eğrisi fonksiyonu ile apsis eksenini arasında kalan alandır. Birikimli olasılık kavramını anlatabilmek için verebileceğimiz en güzel örnek ise bir torba içine konulmuş özdeş toplar arasında yapılan çekiliş örneğidir. Bu toplardan bir tanesi işaretli olmak üzere torbada toplam yirmi top olsun. Buna göre işaretli topu çekme olasılığımız yirmide birdir. Torbadan bir top çektiğimizi düşünelim ve bu top arzu ettiğimiz işaretli top olmasın. Torbada on dokuz top kalır ve arzu ettiğimiz işaretli top bu on-dokuz top arasında mevcuttur. Bir başka deyişle gerçekleşmeyen her olasılık bir sonraki denemede arzuladığımız sonuca ulaşma olasılığımızı artırır. Yani çektiğimiz işaretsiz topun yirmide birlik olasılığı diğer on-dokuz topun olasılığını arttırmıştır. Buna kısaca kümülatif olasılık veya birikimli olasılık denir.

Birikimli olasılık kavramı ile olasılığın dağılım kavramı arasındaki ilişkinin matematiksel olarak dağılım eğrisinin entegralinin kümülasyonu verdiğini daha önce ifade etmiştik. Olasılığın dağılım eğrisinin sayısal değeri o andaki olasılığın gerçekleşme şansını bize verir. Birikimli olasılık ise her denemede sonuca daha çok yaklaştığımızı ifade eder. Bu bilgiler ışığında belirli sayıda deneme yaparak istediğimiz sonuca ne olasılık ile yaklaştığımızı bile şansımız vardır.

Deneysel çalışmada yaptığımız her ölçümde arzu ettiğimiz sonucu bulmanın bir olasılık işi olduğunu açıkça söylemiştik. Deney sonuçlarının Gauss eğrisini çizebilmek için belirli sayıda numune toplamak gerekir. Bu numunelerin ortalaması ve standart sapmasına bağlı olarak çan eğrisinin fonksiyonunu tanımlayabiliriz. Yukarıdaki tanımlar çerçevesinde çan eğrisinin tepe noktasının yeri ortalama tarafından, çan eğrisinin yatay eksenindeki yayılımı ise standart sapma tarafından belirlenir. Buna göre ortalama referans alınacak olursa, ortalama merkezli simetrik iki aralık içine giren ölçümlerin altında kalan alanın değeri standart t dağılımı ile belirlenir.

Bu sebepten dolayı mevcut tez dâhilinde yaptığımız çalışmada elde ettiğimiz sayısal sonuçların ne kadar güvenilir olduğunu belirleyebilmek için standart t dağılımını kullandık. Bu dağılım ölçüm sayısına ve standart sapmaya bağlı olarak istediğimiz aralığa giren sonuçların merkeze göre simetrik olarak ne aralıkta değiştiğini bize verir.



Şekil 3.1 Gauss dağılım eğrisi

Örneğin “ n “ adet ölçüm yaptığımızı düşünelim. Bu ölçümlerin ortalaması “ μ “ olsun. Eğer ortalama merkezli referans noktaya göre çan eğrisinin altında kalan %80 ‘lik alan için artı, eksi “ δ ” aralığında değişim gösteriyor ise yapmış olduğumuz ölçümlerin %80’lik kısmının bu aralıkta toplandığını ifade eder. (Holman, 1994)

Buna göre;

$$P(\mu - \delta < w < \mu + \delta) = \% 80 \quad (3.1)$$

bağımsız “ w ” olasılık değişkeni için yapılan ölçümlerin %80 ‘lik kısmı artı, eksi “ δ ” aralığında olduğu matematiksel olarak yukarıdaki denklem 3.1 ile gösterilir. (Larsen & Marx, 2001)

Deneysel çalışmada yapmış olduğumuz ölçümlerin büyük bir kısmı ne kadar dar aralığa yığılmış ise yapmış olduğumuz ölçümler o kadar güvenilirdir. Mevcut tez kapsamında yapılan ölçümlerin %98’lik kısmının ne kadar genişlikte bir alana yayıldığı test edilmiştir. Ayrıca bu aralığın neden olacağı bağıl hata payı hesaplanmıştır. Yani elde edeceğimiz sonuçların %98 güvenilir olması prensip olarak benimsenmiştir.

Standart t dağılımına göre eğer elde ettiğimiz sonuçların standart sapması ve adedi biliniyor ise, “ t “ değişkenine bağlı olarak “ δ ” aralığı aşağıdaki denklem 3.2 ile hesaplanır.

$$\delta = \frac{t \cdot \sigma}{\sqrt{n}} \quad (3.2)$$

yukarıdaki denklem 3.2 'de yer alan " t " değışkeni güvenilirlik faktörüne ve yapılan ölçüm adedine göre istatistik ile ilgili kaynaklarda tablo halinde verilmektedir. Mevcut tez dahilinde söz konusu " t " değeri J.P. Holman'ın (1994, McGraw-Hill) "Experimental Methods for Engineers" eserindeki sayfa 93'te bulunan tablo 3.7'e göre belirlenmiştir.

Şimdiye kadar ortaya koyduğumuz ifadeler tez dâhilinde yaptığımız gaz analiz deneyi ve kütle kaybı deneyi sonuçlarını analiz etmek için kullanılmıştır.

Bu söylediklerimizin ötesinde, eğer gaz analiz ölçümleri ile birim zamandaki kütle kaybı ölçümü aynı anda yapılışaydı sistemin güvenilirliği ne kadar değışirdi. Sorusunu cevaplamak için olasılık teorilerine başvurmak gereklidir.

" S ", " A " ve " B " kümeleri matematiksel uzayda tanımlanmış kümeler olmak üzere, tüm olasılık koşullarını kapsayan " S " kümesi içinde arzu ettiğimiz olayların tanımlandığı " A " ve " B " kümelerinin var olduğunu kabul edelim.

Buna göre " S " tanım kümesinin alt kümesi olan " A " ve " B " kümelerinin kapsadığı olayların olma olasılığı matematiksel olarak;

$$0 \leq P(A) \leq 1 \quad (3.3)$$

$$0 \leq P(B) \leq 1 \quad (3.4)$$

şeklinde gösterilir. Söz konusu " A " ve " B " olaylarının olmama olasılığını kapsayan kümeler ise " A^C " ve " B^C " şeklinde gösterildiğine göre; " A " ve " B " olaylarının olmama olasılığı ise matematiksel olarak;

$$0 \leq P(A^C) \leq 1 \quad (3.5)$$

$$0 \leq P(B^C) \leq 1 \quad (3.6)$$

şeklinde gösterilir. Buna göre her iki olayın olma ve olmama olasılıkları arasındaki matematiksel bağıntı ise;

$$P(A) = 1 - P(A^C) \quad (3.7)$$

$$P(B) = 1 - P(B^C) \quad (3.8)$$

şeklinde ifade edilir. Olasılık değeri bir ile sıfır arasında bir değerdir. Eğer olasılık değeri yüz ile çarpılacak olursa olasılığın gerçekleşme yüzdesini elde etmiş oluruz. Olasılık değeri bir ise söz konusu olay kesinlikle gerçekleşir. Eğer olasılık değeri sıfır ise söz konusu olayın gerçekleşme şansı yoktur. Her iki halükarda dahi gerçek olasılık değerini deneysel olarak elde etmek sonsuz adet denemeyi gerektirir. Örneğin yazı tura attığımızı düşünelim paranın iki yüzü mevcuttur. Bu yüzlerden birisi yazı diğeri turadır. Her iki yüzden tura gelme olasılığını arzuladığımızı farz edecek olursak, tura gelme olasılığı teorik olarak $\frac{1}{2}$ 'dir. Yani deneysel olarak ortalama her iki atıştan bir tanesinin tura gelmesini bekleriz. Örneğin altı atış yaptığımızı düşünelim bu atışlardan iki tanesi tura, dört tanesi yazı, geldiğini farz edelim. Deneysel olarak elde ettiğimiz sonuç $\frac{1}{3}$ olur. Eğer atış sayısını arttıracak olursak deneyin sonucunun teorik sonuca yaklaştığı rahatlıkla görülebilir. Teorik olasılık değeri arzu ettiğimiz ihtimalin olabilecek tüm ihtimallere oranı şeklinde tanımlanmıştır. Oysa deneysel olasılık değeri ise arzu ettiğimiz sonucu elde ettiğimiz deney sayısının, yapılan tüm deney sayısına oranı şeklinde tanımlanmıştır. Bu sebepten dolayı teorik olasılık değeri ancak sonsuz deneme ile elde edilebilir. Aynı şekilde deneysel olarak gerçek değeri sonsuz adet ölçüm ile elde edebiliriz. Bu sebepten dolayı deney sonuçlarına olasılık teorisi ile yaklaşmak çözüm açısından birçok kolaylık getirecektir. Bir başka deyişle ölçüm sonucu olarak aldığımız sonucun gerçek değer olma ihtimalinin ne olduğu? Sorusuna cevap bulmaya çalışacağız. Fakat elde ettiğimiz sonuçların deneysel sonuçlar olduğu tezi okuyanlar tarafından unutulmamalıdır.

Yukarıda ortaya koyduğumuz teorik ifadelerde " A " olayı gaz analizi ve " B " olayı ise birim zamandaki kütle kaybı olarak alınacak olursa, " A " ve " B " olaylarının olma olasılığı, her iki olayın bağıl güvenilirlikleri olarak ifade edilebilir. Yani bir olayın olma olasılığı arttıkça o olayın gerçekleşme yüzdesi bir başka deyişle güvenilirliği artar. Deney sonucunun güvenilirliği ile kast edilen temel husus ölçülen değer, ne olasılık ile gerçek değere yakın olduğu veya ölçülen değer, gerçek değer olma ihtimalidir. Bu sebepten dolayı deney sonuçlarının güvenilirliği " A " ve " B " olayları olarak tanımladığımız olayların gerçekleşme olasılığıdır.

Teorik olarak bizim araştırdığımız konu her iki olayın aynı anda olma olasılığıdır. Bir başka deyişle her iki olay aynı anda olsaydı söz konusu olayların güvenilirlik yüzdesi ne olurdu? Sorusuna cevap bulmaya çalışacağız. Deneyler aynı anda yapılamadığı için söz

konusu olayın güvenilirlik yüzdesi doğal olarak ayrı, ayrı yapılan ölçümlerin güvenilirlik yüzdesinden düşük olacaktır.

Buna göre “ A “ ve “ B “ olayının olma olasılığı, matematiksel olarak; “ $A \cap B$ “ şeklinde gösterilir ve her iki olayın ayrı, ayrı olma olasılıkları ile arasındaki bağıntı ise denklemsel olarak;

$$P(A \cap B) = P(A).P(B) \quad (3.9)$$

şeklinde ifade edilir.(Larsen & Marx, 2001) Fakat Bu ifade her iki olayın aynı anda olma olasılığı anlamına gelmez. Her iki olayın aynı anda olma olasılığı ancak “ A “ olayı ile “ B “ olayının koşullu olasılıkları ile sağlanabilir.

Koşullu olasılık kavramı bir olayın olma olasılığını, başka bir olayın olma olasılığına bağlayan bir kavramdır. Bu kavram matematiksel olarak “ A “ olayının, “ B “ olayına bağlı olarak olma olasılığı şeklinde ifade edilir. Yani “ B “ olayı olduktan sonra “ A “ olayının olma olasılığı nedir? Sorusunu cevaplar.

“ A “ olayının, “ B “ olayına bağlı olasılığı matematiksel olarak, “ $A|B$ “ şeklinde gösterilir. Söz konusu olayın olma olasılığını “ $A \cap B$ “ ve “ B “ olaylarının olma olasılıklarına bağlayan denklem matematiksel olarak;

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} \quad (3.10)$$

şeklinde ifade edilir.(Larsen & Marx, 2001)

Buna göre matematiksel olarak, “ $A|B$ “ ve “ $B|A$ “ olaylarının bağıl olasılıklarının beraber gerçekleşmesi her iki olayın aynı anda gerçekleşmesi anlamına gelir. Bir başka deyişle hem “ A “ olayının, “ B “ olayından sonra olması, hem de “ B “ olayının, “ A “ olayından sonra olması durumunda matematiksel olarak her iki olay aynı anda olmuştur. Bu durum ise matematiksel olarak, “ $[(A|B) \cap (B|A)]$ “ şeklinde gösterilir ve denklemsel olarak;

$$P[(A|B) \cap (B|A)] = P(A|B).P(B|A) \quad (3.11)$$

ile ifade edilir. (Larsen & Marx, 2001)

Buna göre yukarıda ortaya koyduğumuz ifadeler kapsamında her iki ölçüm aynı anda yapılsaydı güvenilirlik yüzdeleri ne kadar değişirdi sorusuna teorik bir yaklaşım yapmış bulunuyoruz. Söz konusu yaklaşım olasılık teorilerini temel almaktadır. Ayrıca tezi okuyanlar tarafından özellikle yaklaşım olduğu unutulmamalıdır.

Tezi okuyanların aklına takılacak diğer bir soru ise yapılan deneysel ölçümlerde yeterli ölçüm verisinin toplanıp toplanmadığıdır. Tabii ki teorik olasılık kavramı ile deneysel olasılık kavramı arasındaki farktan dolayı söz konusu husus önem teşkil etmektedir. Deneysel çalışmada okunan ölçüm değerlerinin dalgalandığı bilinen bir gerçektir. Bu sebepten dolayı ne kadar ölçüm yapılması gerektiği önemli bir husustur. Gerekli miktarda toplanmayan ölçümler gerçek değere yaklaşmamız için yeterli olmadığı gibi yeterinden fazla toplanan deneysel ölçümün yarattığı dalgalanmalar yüzünden gerçek sonuçtan uzaklaşma durumu da söz konusudur. Bu sebepten dolayı ne kadar deneysel sonuç toplamamız gerektiği önem arz eden bir husustur.

Bu konu ile ilgili ilk yapılan teorik yaklaşım ünlü İsveçli matematikçi ve fizikçi Leonárd Euler tarafından (1769'da) ortaya konulan binomial dağılımdır. Bu dağılım aşağıdaki formül ile ifade edilir. (Larsen & Marx, 2001)

$$P_n(k) = \binom{n}{k} \cdot p^k \cdot (1-p)^{(n-k)} \quad (3.12)$$

yukarıdaki formül şu anlama gelmektedir.

“ n “ adet numune toplanan ve gerçekleşme olasılığı “ p “ olan bir olayda, toplanan “ n “ adet numuneden “ k “ adedinin gerçek değer olma olasılığını bize veren bir dağılım formülüdür. ($n > k$, olmak üzere)

Bu konu ile ilgili yapılan diğer bir yaklaşımda ünlü Fransız matematikçi Simeon Denis Poisson (1781-1840) tarafından yapılmıştır. Poisson tarafından ortaya konulan yaklaşıma Poisson Limiti veya Poisson Dağılımı denir. Söz konusu yaklaşım aslında Binom yaklaşımında yer alan numune adedini gösteren terimin “ $n \rightarrow \infty$ “ sonsuza itere edilmesi ile elde edilir. Yani “ p “ olasılıklı bir olayda sonsuz adet denemeden “ k “ adedinin gerçekleşme olasılığını veren bir formüldür. Lakin gerekli olanaklar sağlanacak olursa, zaman sınırlaması dışında sonsuz adet numune toplamamızın önünde teorik olarak hiçbir engel yoktur. Hatta bazen topladığımız numuneler sonsuz denilecek kadar çok alabilir. Poisson dağılımı aşağıdaki denklem ile tanımlanır. (Larsen & Marx, 2001)

$$P_\infty(k) = \frac{e^{-\lambda} \cdot \lambda^k}{k!} \quad (3.13)$$

Yukarıdaki denklemde yer alan “ λ ” terimine, olayın gerçekleşme faktörü denir. Bu faktör toplanan numune adedine ve olayın gerçekleşme olasılığına bağlı olarak;

$$\lambda = n.p \quad (3.14)$$

şeklinde tanımlanır.

Binom yaklaşımı yapılan ölçüm sayısına bağlıdır ve gerçek değer için yapılan ölçümler arasında olduğunu kabul eder. Bu sebepten dolayı deneysel çalışmalarda en yüksek olasılık değerleri binom formülü ile hesaplanır. Poisson yaklaşımı ise gerçek değer için sonsuz adet ölçüm arasında olduğunu kabul eder. Buna göre Poisson yaklaşımı deneysel çalışmalardaki en düşük olasılık değerini hesaplamak için kullanılır. Söz konusu yaklaşımların kullanım amacı yapılan ölçüm adedinin yeterli olup olmadığını tespit etmektir. Lakin daha öncede dile getirdiğimiz gibi deneysel olasılık ile teorik olasılık kavramları arasındaki farklılıktan dolayı yapılan ölçümlerin yeterli olup, olmadığı önemli bir husustur. O halde olasılık değerine bağlı olarak yapılan ölçümlerin yeterli olup, olmadığına nasıl karar vereceğimizi belirlemek gerekir. Bu sebepten dolayı tezi okuyanların yapılan ölçüm sayısının yeterli olup olmadığını daha iyi anlayabilmesi için bölüm 3.3'de Poisson ve Binom eğrileri her bir ölçüm için ayrı, ayrı verilmiştir.

Yukarıda ortaya koyduğumuz Binomial ve Poisson yaklaşımları gaz analizi deneyi ve birim zamandaki kütle kaybının ölçümü için tez kapsamında kullanılmıştır.

Tez dâhilinde yapılan diğer bir deney ise alevin fotoğraflarının çekimidir. Bu işlem alevin iç ve dış cephe yüzey alanları ile her iki cephe yüzeyi arasında kalan hacmi hesaplamak için yapılmıştır. Bu deney için alevin 35 mm'lik E-6, formatında Krom Palet Dia-pozitif filme fotoğrafları çekilmiş ve yapılan birçok çekim arasında uygun ölçümleri yapabileceğimiz fotoğraf karesi tespit edilmiştir. Bu tespit işlemi yapılırken alevin iç ve dış cephe profil eğrisi en düzgün olan ve aksi simetrik forma en yakın olan alev belirlenmiş ve uygulama kolaylığı açısından bölüm 2.5.8'de yer alan bilgisayar destekli çözüm yöntemi tatbik edilmiştir.

Film yüzeyi ışığa duyarlı gümüş tuzları ile kaplıdır. Bu tuzlar genel olarak gümüş-nitrat türeviden olan gümüş-klorür, gümüş-iyodür, gümüş-bromür, vb., tuzlardır. Bu tuzlar jelâtin ile karanlık ortamda karıştırılarak film asetati üzerine kaplanır.(Austin, 1984) Söz konusu gümüş tuzları ışık görünce kimyasal tepkimeye girerek, ayrışır. Bu işleme fotoğraflılıkta kısaca pozlanma denir. Film üzerindeki kaplama fazla pozlanacak olursa, görüntüyü oluşturacak tuzların tamamı kimyasal tepkimeye girdiği için film yanar veya aşırı parlak görüntü oluşur. Eğer film yeterince pozlanamaz ise film yüzeyinde görüntü ya hiç oluşmaz, yada çok silik bir görüntü elde edilir. İşte istenilen görüntüyü tam anlamı film üzerinde oluşturmak için yapılan işleme fotoğraflılıkta ışık ayarı denir. Işık

ayarı fotoğraf makinesinde iki parametrenin fonksiyonudur. Bunlar enstantane ve ekspozür(diyaffram) ayarıdır. Işık ayarını etkileyen diğer parametreler ise film üzerindeki ışığa duyarlı kaplamanın ışığa karşı olan duyarlılığı ve fotoğraf çekilecek ortamdaki ışık şiddetidir. Filmin ışığa karşı duyarlılığı amerikan standart'ında ASA indeksi ile, Alman standart'ında ise DIN indeksi ile ifade edilir. Her iki standart ISO standartları tarafından kabul edilmiş DIN ve ASA indekslerinin kesir olarak gösterimi benimsenmiştir. Piyasada mevcut olan filmlerin ambalajı üzerinde filmin ışığa karşı duyarlılığı belirtilmektedir. Örneğin film ambalajı üzerinde 21°/100 şeklinde gösterilen ifade 21-DIN, 100-ASA anlamına gelmektedir. Filmin ışığa karşı duyarlılığı iki katına çıkacak olursa, DIN değeri üç artarken, ASA değeri kendisi kadar artar. Yani piyasada satılan 21°/100 ışık duyarlılığı olan filmin iki katı ışığa duyarlı film 24°/200 şeklinde gösterilir. Fotoğraf makinesi üzerindeki ışık ayarları ortamdaki ışık miktarına ve filmin ışığa karşı olan duyarlılığına göre yapılır.

Enstantane ayarı pozlanma süresini ayarlar. Bu süreler genelde saniye altı süreler olabileceği gibi çok düşük ışıklı ortamlarda saniye üstü sürelerde olabilir. Enstantane ayarı genelde saniyenin kesri olarak ifade edilir. Örneğin 1/8000s, 1/4000s, 1/2000s, 1/1000s, 1/500s, 1/250s, 1/125s, 1/60s, 1/30s, 1/15s, 1/8s, 1/4s, 1/2s, 1s, gibi çok düşük ışıklı ortamlarda saniye üstü pozlanma süreleri tercih edilir. Örneğin 1s, 2s, 4s, 8s, 15s, 30s, ..., gibi. Dikkat edilecek olursa enstantane süreleri bir geometrik seri şeklinde kademeli olarak ayarlanmaktadır. Yani ortamdaki ışık akısı lümen cinsinden iki katına çıkacak olursa enstantane hızı bir kademe arttırılır. Enstantane işlevini fotoğraf makinesinde yerine getiren elemana obrütör denir. Obrütör normalde kapalıdır. Fotoğraf makinesinin deklanşörüne dokunulunca obrütör ayarlanan enstantane süresinde açılıp kapanarak fotoğrafı çeker.

Ekspozür ayarı ise objektiften yapılır. Objektifte bulunan insan gözünün irisi gibi çalışan bir diyaffram mevcuttur. Bu diyaffram ışığın aktığı kesiti kısarak ışık şiddetini candela cinsinden azaltır. Fotoğraf makinesi objektifi üzerinde ekspozür indeksi olarak gösterilen diyaffram ayar değerleri mevcuttur. Bu değer objektifin odak uzaklığının, iris diyafframın çapına oranı olarak tanımlanmış boyutsuz bir değer olup, kısaca ekspozür indeksi denir. Objektifin diyaffram çapı kısıldıkça ekspozür indeksi artar. Objektif üzerinde bulunan ekspozür indeks değerleri logaritmik bir seri olarak artış gösterir. Bu değerler 1.4, 2, 2.8, 4, 5.6, 8, 11, 16, 22, 32 şeklinde objektif üzerinde mevcuttur.

Ortamdaki ışık miktarına ve filmin ışığa karşı duyarlılığına göre fotoğraf makinesi üzerinde enstantane ve diyafram ayarı yapılır. Bu ayarlar film üzerindeki ışığa duyarlı kaplamanın gerekli miktarda ışığa maruz kalmasını sağlayacak şekilde pozometre vasıtasıyla ölçülerek yapılır. Günümüzdeki fotoğraf makinelerinin yapısında pozometre mevcuttur. Hatta otomatik olarak bu ayarlar fotoğraf makineleri tarafından yapılmaktadır. Pozometre ile ortamda yapılan ölçüme göre hangi enstantane hızına karşılık gelen diyafram ayarlarında çekim yapılabileceği tespit edilir. İşte bu noktada fotoğrafçı seçim yaparak fotoğraf çekimini ya enstantane hızı yüksek ve diyafram ayarı açık, yada enstantane hızı yavaş ve diyafram ayarı kısık olacak şekilde fotoğraf makinesinde ayarlar. Eğer yüksek hızlı ve diyafram ayarı açık olacak şekilde fotoğraf çekimi yapılacak olursa, pozlanma süresi çok kısa olduğu için hareketli cisimler daha net çıkar fakat diyafram ayarı açık olduğu için sadece odaklama ayarı yapılan uzaklıktaki cisimler net çıkar, odak ayarının uzağındaki ve yakınındaki cisimlerin görüntüsü bulanık çıkar. Bu tür çekime fotoğrafçılıkta yüksek apertürlü çekim denir. Diğer seçenek ise enstantane hızı yavaş ve diyafram ayarı kısık çekimdir. Bu tür çekimde enstantane hızı yavaş olduğu için pozlanma süresi uzun ve bunu sonucu olarak hareketli cisimler bulanık çıkar. Fakat diyafram ayarı kısık olduğu için odak ayarı yapılan mesafe orta nokta olmak üzere, diyafram kısıldıkça odak uzaklığı ayarı yapılan mesafenin uzağındaki ve yakınındaki cisimler netleşir. Buna fotoğrafçılıkta düşük apertürlü çekim yada geniş saha çekim adı verilir.

Tez dahilinde yapılan fotoğraf çekimleri yüksek apertürlü çekimlerdir. Sadece alevin fotoğrafı çekildiği için geniş saha çekime ihtiyaç yoktur. Ayrıca alev çekim esansında hareket etmektedir. Bu sebepten dolayı alevi çok küçük bir zaman aralığında görüntüleme ihtiyacı vardır. Bunu sonucu olarak ister istemez yüksek enstantane hızına ihtiyaç duyulmaktadır. Alevin fotoğraf çekimlerinde 2.8 ile 4 arasında değişen ekspozür indeksine karşılık, 1/125s 1/250s ve 1/500s arasında değişen enstantane değerleri kullanılmıştır.

3.2. Kullanılan Deney Düzenekleri ve Yapılan Deneysel Çalışmalar

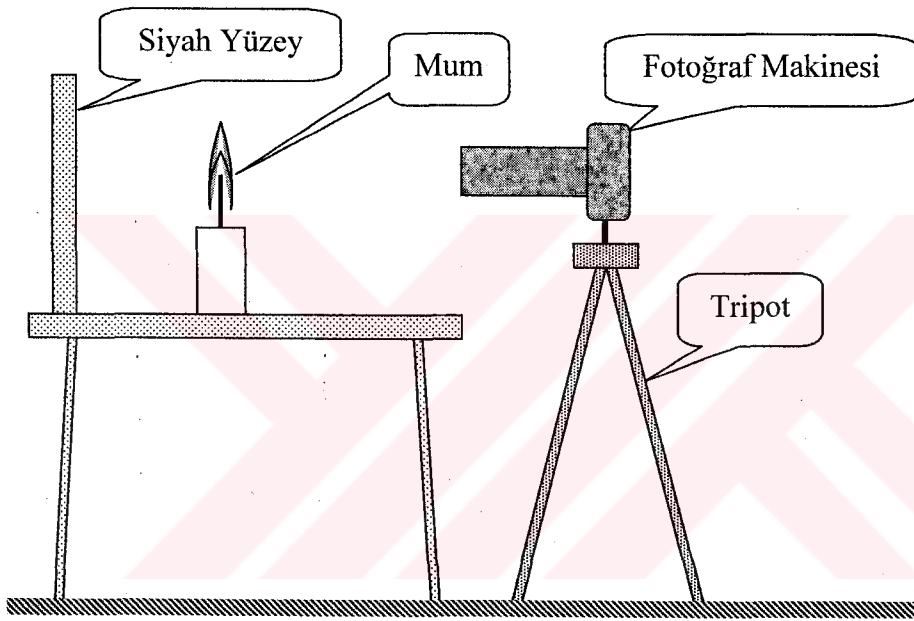
Tez dâhilinde üç farklı deney aynı mum alevi için yapılmıştır. Bu deneyler alevin fotoğrafının çekilmesi, yanma ürünlerinin gaz kompozisyonunun belirlenmesi ve mumun birim zamandaki kütle kaybının ölçümüdür. Söz konusu deneylerin ayrı, ayrı yapılması kuşkusuz elde ettiğimiz sonuçların güvenilirliğini azaltmıştır. Deney sonuçlarının daha sıhhatli olması açısından söz konusu ölçümlerin tek bir düzenekte ve

alevin fotoğrafının çekildiği anda yapılması gerekirdi. Ancak eldeki kısıtlı imkânlar dâhilinde gerçekleştirilememiştir.

Deneylere öncelikle alevin fotoğraf çekimi yapılarak başlanmıştır. Yapılan çekimlerde daha önceki bölümde dile getirdiğimiz kriterlere uygun alev formu seçilmiştir. Daha sonra seçilen alevin, alev boyu esas alınmış ve gaz analizi ölçümleri ile birim zamandaki kütle kaybı ölçümleri hep aynı boydaki alevler için gerçekleştirilmiştir. Ayrıca ölçümler esnasında mum çapı 20mm, fitil çapı 1.5mm olan mum kullanılmıştır.

Tez dâhilinde kullanılan deney düzenekleri ile ilgili ayrıntılar şunlardır.

Fotoğraf çekimi için 35mm'lik E-6 formatında Krom Palet dia-pozitif filme çekim



Şekil 3.2 Fotoğraf çekimi yapılan düzenek

yapabilen refleks tip, ekspozür ve enstantane ayarını objektiften gelen ışık miktarına göre yapabilen SLR fotoğraf makinesi kullanılmıştır. Fotoğraf çekimleri 135mm'lik odak uzaklığı olan telemetrik objektif ile yapılmıştır. Objektifin yakındaki nesnelere odak ayarı yapabilmesi ve görüntüyü büyütmesi için BW-52E Proksar mercek objektif önüne eklenmiştir. Ayrıca alevin dış cephesinden ortama salınan sıcak gazlar gözle görülmeyen infrared ışınları yaydığı için film üzerinde oluşan görüntüde alev olduğundan daha büyük gözükmektedir. Bu durumu önlemek için apolar infrared filtre mercek önüne eklenmiştir.

Fotoğraf çekimi yapılan düzenek şekil 3.2'de kısaca gösterilmiştir. Mum bir sehpa üzerine yerleştirilmiş ve yansımayı önlemek için arkasına siyah fon kağıdı kaplı tahta

konulmuştur. Fotoğraf çekimini kolaylaştırmak için fotoğraf makinesi tripot ayak üzerine yerleştirilmek suretiyle sabitlenmiştir.

Fotoğraf çekimi için objektifin önüne BW52-E Proksar mercek ve apolar infrared filtre takılmıştır. Daha sonra objektifin önünde duran mum için odak ayarı yapılmıştır.

Bu işlemden sonra fotoğraf çekilecek ortamda istenmeyen ışıkların görüntüyü bozmaması için odanın ışığı kapatılmış ve karanlık ortamda fotoğraf çekimi için gerekli ışık ayarı yapılmış ve fotoğraf çekimine başlanmıştır.

Fotoğraf çekimi yapılırken gerçek boyutu belirleyebilmek için mumun yanına bir cetvel konulmuş ve cetveldeki boyut ölçek belirleme işleminde referans alınmıştır.

Fotoğraf çekimi yaparken ayarlanan enstantane ve ekspozür ayarlarının bir üst ve bir alt değerleri denenmiştir. Toplam iki makara dia-pozitif film bu işlem için harcanmıştır.

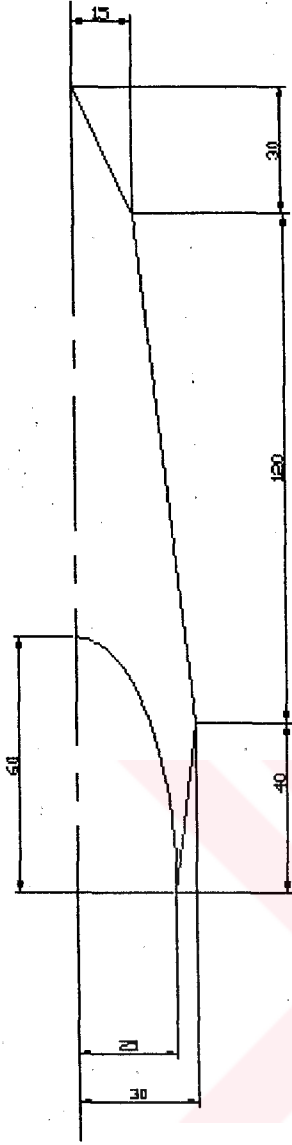
Daha sonra dia-pozitif filmin banyosu yaptırılmış ve film kesilerek çerçevelenmiştir. Bu işlemden sonra filmdeki görüntü kağıt üzerine projeksiyon makinesi ile dik düşürülmüş ve alevin iç ve dış cephe eğrilerinin çizimi yapılmıştır.

Bu işlemden sonra elde edilen çizimin boyutu ve ölçeği fotoğraftaki cetveldен belirlenmiş ve alev profil eğrilerinin simetri eksenі çizilmiştir.

Simetri eksenine göre alevin profil eğrileri simetrik olduğu için profil eğrilerinin AutoCAD programında çizimi yapılırken sadece simetri ekseninin tek tarafındaki profil eğrileri çizilmiş ve boyutlandırılmıştır. Çizim yapılırken alev gerçek boyutunun on katı büyültülecek şekilde ölçek belirlenmiştir. Yani çizim ölçeği $10/1$ alınmıştır. Buna göre şekil 3.3'de yer alan profil eğrilerinin boyut değerleri milimetrenin on katıdır.

Şekil 3.3'de yer alan alev görüntüsünün yanına hem yatay hem de düşey boyutları gösteren iki ek ölçek daha konulmuştur. Bunun sebebi çizilen görüntü A4 kağıda aktarılırken değişim göstermiştir.

Kuşkusuz alevin şeklinin düzgün olması yüzey ve hacim hesaplamalarını kolaylaştırmıştır. Alev hacmi, alevin iç ve dış cephe yüzey alanları ile ilgili sayısal değerler çizelge 3.1'de verilmiştir.



Ölçek: $10/1$ mm

—|—: 2mm Yatay

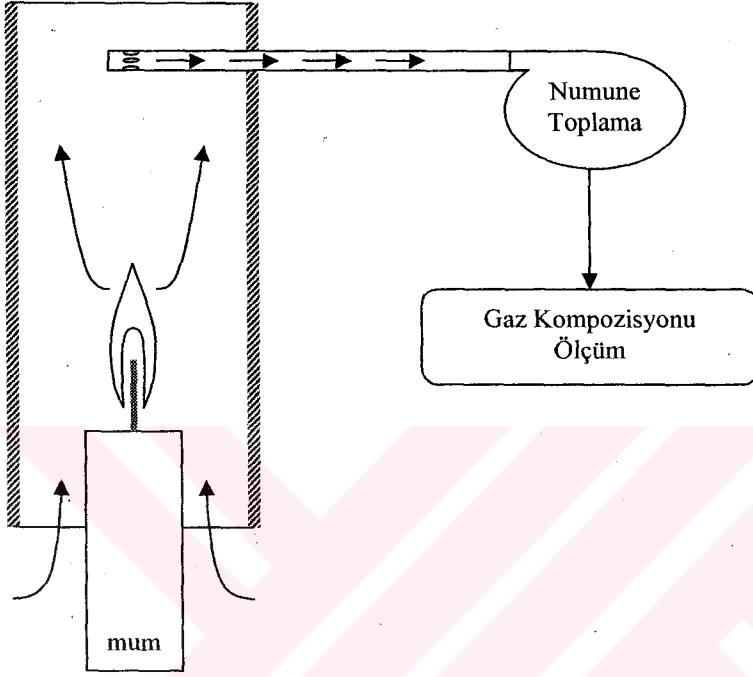
—|—: 2mm Düşey

Şekil 3.3 Fotoğraf çekimi ile belirlenen alevin cephe profil eğrileri

Çizelge 3.1 Fotoğraf çekimi ile alevin saptanan geometrik nicelikleri

Alev Hacmi	25.06 mm ³
Dış Cephenin Yüzey Alanı	256.423 mm ²
İç Cephenin Yüzey Alanı	117.809 mm ²
İç / Dış Cephe Yüzey Alanları Oranı	0.459
İç Cephe Yüzey Alanı / Alev Hacmi	4.701 mm ⁻¹
Dış Cephe Yüzey Alanı / Alev Hacmi	10.232 mm ⁻¹
Toplam Yüzey Alanı / Alev Hacmi	14.933 mm ⁻¹

Tez kapsamında yapılan diğere bir ölçümde gaz analizidir. Bu işlem için yanan mum alevinden ortama salınan gazların ölçümünü yapacak gaz analiz cihazı kullanılmıştır. Gaz analiz cihazı ortamdaki numune almak suretiyle çalışmaktadır. Bu sebepten dolayı alevin ortama yaydığı yanma ürünü gazlardan numune alabileceğimiz minyatür bir bacaya ihtiyaç vardır. Bu amaçla mum alevinin etrafına bir boru geçirilmiş ve borudan gaz analiz cihazının numune alması sağlanmıştır.



Şekil 3.4 Gaz analizi düzenneđi

Gaz analizi için ölçüm yapılmış olan düzenek genel hatları ile şekil 3.4'te gösterilmiştir. Mumun etrafına iç çapı 40mm olan boru geçirilmiştir. Boru boyu 120mm dir. Borunun alt tarafından hava girmekte üst tarafından yanma ürünü gazlar çıkmaktadır. Borunun üst tarafından 20 mm aşağıdan gaz analiz cihazının sondası yardımı ile gaz numunesi alınmakta ve alınan numunelerin sonuçları gaz analiz cihazından okunmaktadır. Ölçümler araka arkaya eşit zaman periyotlarında yapılmaktadır. Toplam dokuz okuma yapılmış ve bu okunan değerlerin istatistik analizi yapılmıştır.

Mum alevi ile ilgili yapılan son ölçüm ise mumun kütesinin birim zamandaki değişimidir. Bu işlem için 10^{-4} gramlık ölçüm hassasiyeti olan dijital terazi kullanılmıştır. Bu terazi üzerine konulan mumun birim zamandaki kütle azalımı kronometre yardımı ile ölçülmüştür. Ölçüm yöntemi olarak referans alınan kütle değerinin ne kadar zamanda tüketildiği ölçülmüştür.

3.3. Deney Sonuçları

Bir önceki bölüm dâhilinde ortaya konulan deneylerin sonuçları mevcut bölüm dâhilinde tablo halinde tezi okuyanların bilgisine sunulmaktadır. Ayrıca deneyde çekilen alev fotoğrafları Ek-2'de sunulmaktadır.

Deney yapılan ortam koşulları şunlardır.

Ortam sıcaklığı: $17^{\circ}\text{C} = 290^{\circ}\text{K}$

Bağıl Nem: %68

Ortam Basıncı: 98.607 kPa

Ortamdaki O_2 Konsantrasyonu: %20.7 (Volumetrik)

Çizelge 3.2 Gaz analizi deneyi ölçüm sonuçları:

Ölçüm Adedi	1	2	3	4	5	6	7	8	9
%Vol. CO_2	0.99	1.03	1.04	0.92	1.06	1.08	0.93	0.94	0.93
%Vol. O_2	19.1	19.1	19.1	19.1	19.2	19.1	19.2	19.2	19.2
Ppm/Vol HC	3	4	5	5	4	7	6	8	7

Çizelge 3.3 Birim zamandaki kütle değişimi deneyi ölçüm sonuçları:

Ölçüm Adedi	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Δm [gram]	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Δt [saniye]	53	59	60	62	58	56	56	58	56
B_e [10^{-3} gr/sn]	1.886	1.694	1.666	1.612	1.724	1.785	1.785	1.724	1.785

3.4. Deney Sonuçlarının Analizi

Bir önceki bölümde ortaya konulan deney sonuçlarının güvenilirliği ve numunelerin yeterli miktarda toplanıp toplanmadığı ile ilgili istatistik analizler bu bölüm dahilinde sunulmaktadır.

DeneySEL sonuçların analizinde şu yöntemler izlenmiştir.

- Sonuçların aritmetik ortalaması alınmıştır.
- Sonuçların nominal standart sapması belirlenmiştir.
- Sonuçlar arasında elde edilen maksimum ve minimum değerlerin farkı alınmıştır.

- iv. Standart t tablosundan “ t “ katsayısının değeri belirlenmiştir.
- v. Denklem 3.2’ye göre nominal sapma payı hesaplanmıştır.
- vi. Bağlı hata payı hesaplanmıştır.
- vii. Bağlı güvenilirlik değeri hesaplanmıştır.
- viii. Deney sonuçlarının Binom ve Poisson dağılım eğrileri her bir deney için ayrı, ayrı verilmiştir.

Çizelge 3.4 Ölçüm sonuçlarının istatistiksel analiz çizelgesi(tablosu)

	%vol CO ₂	%vol O ₂	ppm/vol.HC	Δt [saniye]	Be[10 ⁻³ gr/sn]
n (Numune Adedi)	9	9	9	9	9
μ (Ortalama)	0.991	19.144	5.44	57.5	1.74 (10 ⁻³)
σ (Standart Sapma)	0.0593	0.0496	1.571	2.49	0.0759 (10 ⁻³)
Δ (max.-min. Farkı)	0.16	0.1	5	9	0.0111 (10 ⁻³)
t ₉₈ (9 numune için)	2.896	2.896	2.896	2.896	2.896
δ (Nominal Sapma)	0.0572	0.083	1.516	2.412	0.0732 (10 ⁻³)
%ε (Bağlı Hata)	%5.5	%0.44	%21.81	%4	%4
%ℜ (Güvenilirlik)	%94.5	%99.56	%78.19	%96	%96

Çizelge 3.4’de yer alan deney sonuçlarından karbon-dioksit konsantrasyonu(%vol CO₂), oksijen konsantrasyonu(%vol O₂) ve duman gazındaki hidro-karbon miktarı(ppm/vol HC) aynı anda gaz analiz cihazı tarafından ölçülmüştür. Buna karşılık birim zamandaki kütle kaybı deneyi farklı düzenekte yapılmıştır. Bu sebepten dolayı eğer her iki deney aynı anda yapılmış olsaydı bağlı güvenilirlikleri (%ℜ) daha önce bölüm 3.1’de bahsettiğimiz yaklaşım ile hesaplanmış ve çizelge 3.5’de sunulmuştur. Söz konusu değerlerin yaklaşım olduğu unutulmamalıdır.

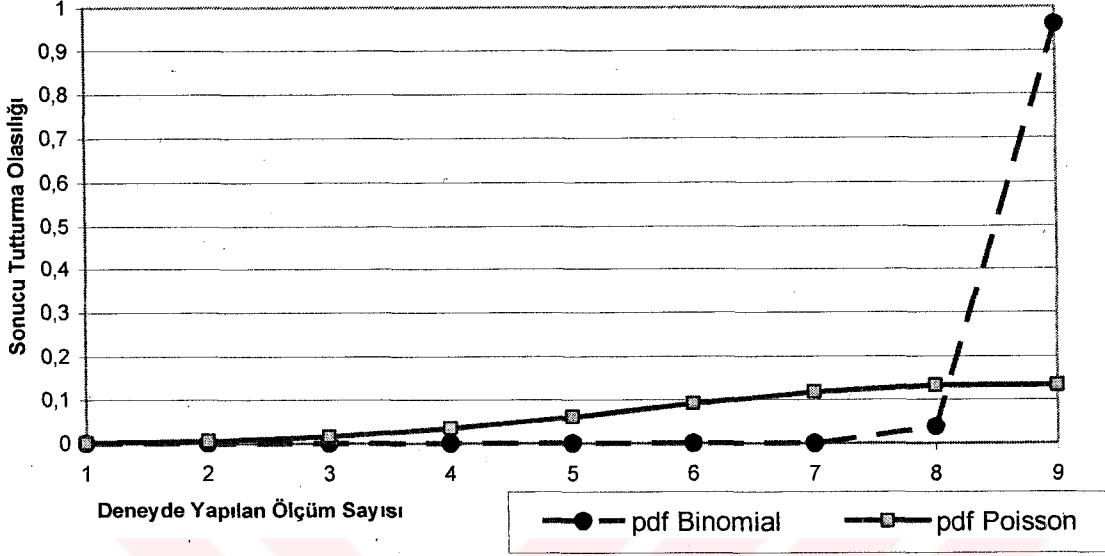
Çizelge 3.5 Bileşke Güvenilirlik Faktörü Çizelgesi(Tablosu)

P [(A B) ∩ (B A)] = %ℜ	Gaz analizi ölçümü güvenilirlik değerleri (%ℜ)		
	%vol. CO ₂	%vol. O ₂	ppm/vol. HC
B _c (%ℜ)	%90.72	%95.57	%75.06

Çizelge 3.5

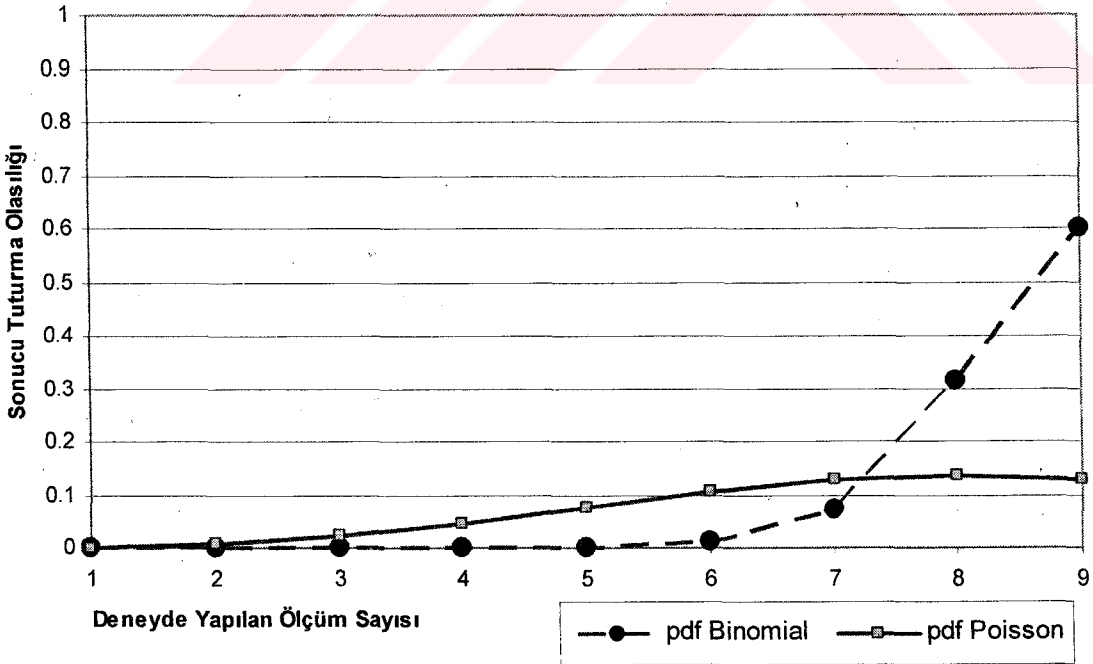
Yukarıdaki çizelgelerde verilmiş olan deney sonuçlarının Binom ve Poisson dağılım eğrileri her bir deney için ayrı, ayrı şekil 3.5, 3.6, 3.7 ve 3.8’de verilmiştir.

Gaz Analizi Deneyi Sonuçlarının İstatistiksel Analizi (%vol O₂)



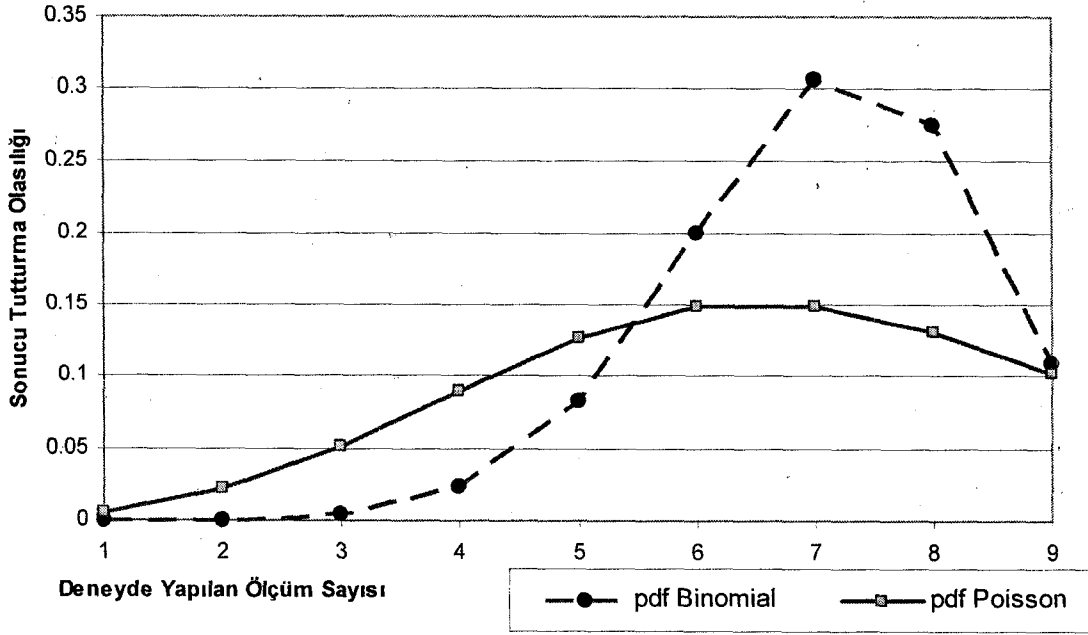
Şekil 3.5 İstatistiksel hata analizi eğrileri (Poisson ve Binom dağılımına göre)

Gaz Analizi Deneyi Sonuçlarının İstatistiksel Analizi (%vol CO₂)



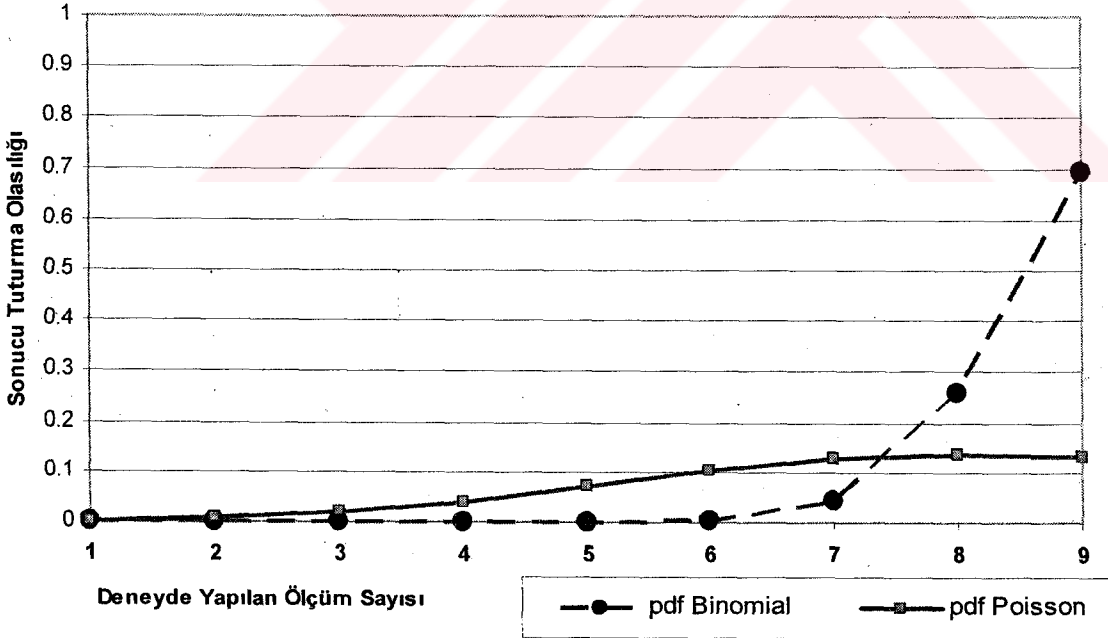
Şekil 3.6 İstatistiksel hata analizi eğrileri (Poisson ve Binom dağılımına göre)

Gaz Analiz Deneysel Sonuçlarının İstatistik Analizi (ppm/vol HC)



Şekil 3.7 İstatistiksel hata analizi eğrileri (Poisson ve Binom dağılımına göre)

Birim Zamandaki Kütle Kaybı Ölçümünün İstatistik Analizi



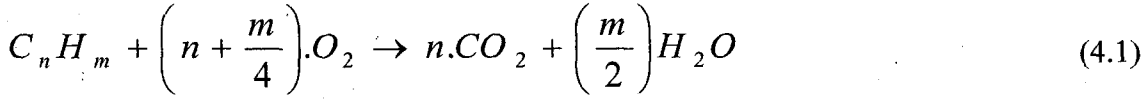
Şekil 3.8 İstatistiksel hata analizi eğrileri (Poisson ve Binom dağılımına göre)

4. MODELİN DENEY SONUÇLARINA UYGULANMASI

Elde etmiş olduğumuz deney sonuçları yardımı ile geliştirdiğimiz modelin bel kemiği niteliğindeki denklem 2.12 'nin doğruluğunu analiz edeceğiz. Bu söylediğimizi test etmek için alevin birim hacminden ortama salınan ısı enerjisini hem adyabatik alev sıcaklığı yöntemi ile hem de denklem 2.12 ile hesaplamak suretiyle söz konusu tez dâhilinde geliştirdiğimiz modelin ne kadar doğru ya da yanlış olduğunu tezi okuyanları kanaatine sunacağız.

4.1. Gerekli Ön Bilgiler ve Hesaplamalar

Yakıtın hidrojen ve karbondan oluştuğunu kabul edecek olursak, yakıtın genel yanma denklemi aşağıdaki gibi olur;



Ortamdaki oksijen konsantrasyonu (hacimsel)%20.7, iken yanma ürünleri içindeki oksijen konsantrasyonu (hacimsel)%19.14 seviyesine düşmüştür. Yani yakıtı yakmak için harcanan oksijen miktarı;

$$\%20.7 - \%19.14 = \%1.56 \quad (4.2)$$

(hacimsel) %1.56 dir.

İdeal gaz denkleminin molar düzenlenmiş şekli için;

$$PV = nRT \quad (4.3)$$

Deney şartlarında basınç ve sıcaklık sabit olduğu için hacimsel oran, molar fraksiyon(oran)'a eşit olur.

Bir başka değişle harcanan oksijenin molar fraksiyonu(oranı);

$$x_{O_2} = \frac{1.56}{100} = 0.0156 \quad (4.4)$$

Harcanan oksijen bir kısmı H₂O, diğer kısmı da CO₂ 'i oluşturmuştur.

Yanma ürünleri içindeki CO₂ (hacimsel)%0.991 olduğuna göre, CO₂ 'in molar fraksiyonu;

$$x_{CO_2} = \frac{0.991}{100} = 9.91 \cdot (10^{-3}) \quad (4.5)$$

Söz konusu değerleri yanma denkleminde yerine koyacak olursak;

$$n + \frac{m}{4} = 0.0156 \quad (4.6)$$

ve

$$n = 9.91(10^{-3}) \quad (4.7)$$

Denklem 4.6 ve 4.7'nin ortak çözümünden;

$$m = 0.02276 \quad (4.8)$$

olarak bulunur.

Yanma denklemindeki " m " ve " n " sayıları tamsayı olmalıdır. Bu sebepten dolayı her iki reel sayıyı tam sayıya dönüştürebilecek bir kat sayıya ihtiyaç vardır.

$$k.[9.91(10^{-3}) + 0.02276] = 1 \quad (4.9)$$

koşulunu sağlayacak " k " katsayısı hesaplanacak olursa;

$$k = 30.609 \quad (4.10)$$

olarak bulunur.

Buna göre yakıtın genel formülü;

$$C_n H_m \Rightarrow C_{kn} H_{km} \quad (4.11)$$

olarak ifade edilebilir. (k = 1, 2, 3, ...)

Yani bileşiğin genel formülü;

$$(C_{0.303} H_{0.696})_k \quad (4.12)$$

Söz konusu formüldeki kat sayıları tam sayıya tamamlayacak olursa, formülün genel denklemi;

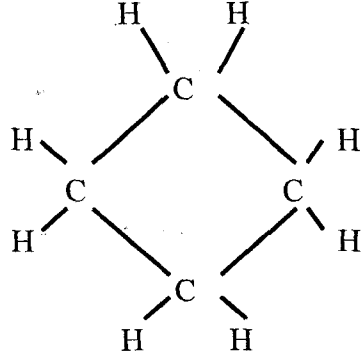
$$(C_3 H_7)_k \quad (4.13)$$

olur.

İşte bu noktada genel formül ile açık formül arasındaki farkın ne olduğunu açıklamak kuşkusuz faydalı olacaktır. Örneğin elimizde siklo-bütan bileşiği olsun. Bu bileşiğin molekül yapısı şekil 4.1'da görülmektedir.

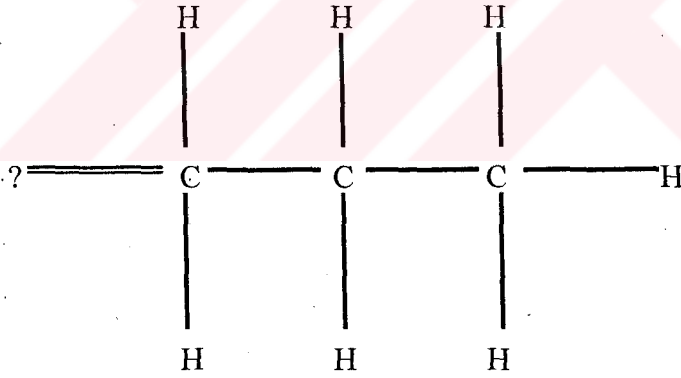
Söz konusu bileşik dört karbon, sekiz hidrojen atomundan oluşmaktadır. Buna göre bileşiğin açık formülü C_4H_8 olur. Bileşiğin yapısındaki hidrojen atomlarının iki tanesi

başına, bir karbon atomu düşmektedir. Buna göre hidrojenin karbonla bileşme oranı ikiye, bir olduğu için bileşiğin genel formülü $(CH_2)_k$ olur. Genel formül $(CH_2)_k$ şeklinde gösterilebileceği gibi C_nH_{2n} şeklinde de gösterilebilir. ($n = 1, 2, 3, \dots$)



Şekil 4.1 Siklo-Alkan bileşiğinin molekül yapısı

Deneyde kullanılan mum için yakıtın genel formülü $(C_3H_7)_k$ 'dır. Yakıtın genel yapısı şekil 4.2'de gösterilmiştir. Yakıtın molekül yapısına dikkat edilecek olursa, üç karbon ile yedi hidrojenin molekül oluşturamayacağı rahatlıkla görülebilir. Bu olayın sebebini bulabilmek için yapılan hesaplamalar sonucunda yakıtın genel formülünde neden yedi adet hidrojen atomu bulunduğunu araştırmak gerekir.



Şekil 4.2 Yakıt molekülünün genel yapısı

Söz konusu hesaplama yapılırken yanma formülü esas alınmıştır. Bu sebepten dolayı reaksiyona giren reaktantların tamamının yanma reaksiyonu sonucunda yandığı kabul edilerek çözüm yapılmıştır. Hâlbuki gerçekte yakıtın yapısındaki tüm hidrojen ve karbon atomlarının yanmadığını ve molekülün yapısındaki atomların bir kısmının reaksiyona girmeden HC partikülü olarak yanma ürünleri ile ortama salındığı bilinen bir gerçektir. Nitekim bu söylediğimiz yanmamış Hidro-Karbonlar deneyler esnasında ölçülmüştür. Fakat yapılan deneyde Hidro-karbonların miktarı net olarak ölçülememiş

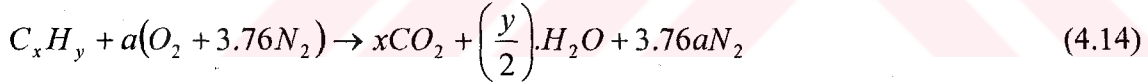
olduğu için deneyde yapılan ölçümlerin güvenilirlik yüzdesi düşüktür. Bu sebepten dolayı hidro-karbonlar ile ilgili olarak yapılan ölçüm sonuçları hesaplamalarda kullanılmamıştır.

Formülün genel yapısı eğer siklo-alkan ise C_nH_{2n} , açık zincir yapılı alkan ise $C_nH_{2(n+1)}$, olmak zorundadır. Buna göre $(C_3H_7)_k$ molekülü eğer siklo alkan ise $(C_3H_6)_k$, açık zincir yapılı ise $(C_3H_8)_k$, olmak zorundadır. (Rockett,1967)

Mum parafini için ortaya konulan genel formül, alkan tipi organik bileşiklerin formülü olmak zorundadır. Çünkü mum parafininin genellikle çok karbonlu ve açık zincir yapılı alkanlardan oluştuğunu biliyoruz. Fakat parafini elde edildiği kaynağa göre molekül yapıları değişim göstermektedir. Ayrıca parafinin yapısında birçok cins aklan molekülü bulunmaktadır. Bu sebepten dolayı tek tip parafin molekülü varmış gibi çözüm yapmak zorundayız. (Austin, 1984)

Bir başka değişle mum parafininin yapısındaki tüm alkanlara eşdeğer efektif bir alkan molekülüne ihtiyacımız vardır. Bu durumda efektif formülümüz $(C_3H_8)_k$, olur. Fakat yakıtın yapısındaki tüm atomlar yanma reaksiyonuna girmediği için net olarak reaksiyona giren bileşiğin formülü $(C_3H_7)_k$ olur.

$(C_3H_7)_k$ formülünü kullanarak yakıtı yakmak için gerekli olan hava, yakıt oranını elde edebiliriz.



ve

$$a = x + \frac{y}{4} \quad (4.15)$$

için stokiyometrik hava, yakıt oranı;

$$\frac{1}{f} = (A/F)_{St.} = \left(\frac{\dot{m}_{hava}}{\dot{m}_{yakıt}} \right) = 4.76a \frac{MW_{hava}}{MW_{yakıt}} \quad (4.16)$$

şeklinde tanımlanmıştır. (Turns, 1996)

Buna göre yakıtın molekül ağırlığı; (C=12, H=1 için;)

$$MW_{yakıt} = 3C + 7H = 43 \frac{gr}{mol} \quad (4.17)$$

havanın efektif molekül ağırlığı; (Turns, 1996)

$$MW_{hava} = 28.95 \frac{gr}{mol} \quad (4.18)$$

ve

$$\left. \begin{array}{l} x = 3 \\ y = 7 \end{array} \right\} \Rightarrow a = 4.75 \quad (4.19)$$

için yakıtı yakmak için gerekli olan hava, yakıt oranı;

$$\frac{1}{f} = (A/F)_{St.} = 15.22 \quad (4.20)$$

olur.

Yakıtın alt ısı değeri ise denklem 2.93a ve 2.95 yardımı ile hesaplanabilir. Her iki denklemi birleştirmek sureti ile;

$$H_U = 369957 \cdot O_{min} \quad (4.21)$$

olur. veya;

$$H_U \cong 370000 \cdot O_{min} \quad (4.22)$$

olarak yaklaşık hesaplamalarda kullanılabilir.

Yakıtı yakmak için harcanan oksijenin molar fraksiyonundan yararlanmak suretiyle gerekli olan minimum oksijen miktarı hesaplanabilir.

$$O_{min} = \frac{MW_{O_2}}{MW_{hava}} \cdot x_{O_2} \quad (4.23)$$

oksijenin molar kütlesi;

$$MW_{O_2} = 32 \frac{gr}{mol} \quad (4.24)$$

Buna göre gerekli olan minimum oksijen miktarı;

$$O_{min} = 0.0172 \frac{kg \cdot O_2}{kg \cdot yakit} \quad (4.25)$$

olur. Yakıtın alt ısı değeri;

$$H_U = 6379.36 \frac{kJ}{kg.yakit} \cong 6380 \frac{kJ}{kg.yakit} \quad (4.26)$$

olarak bulunur.

4.2. Alevin Geleneksel Yöntem ile Isıl Hesabı

Geleneksel yöntem ile alevin yapısında mevcut olan ısı enerjisi miktarını hesaplayabilmek için adyabatik alev sıcaklığını bulmak gerekir. Bu amaçla G. L. Borman ve K. W. Ragland (1998, McGraw Hill) "Combustion Engineering" eserinde sayfa 92'deki denklem 3.66'dan yararlanmak suretiyle adyabatik alev sıcaklığı hesaplanmıştır. Söz konusu denklem aşağıdaki 9.27 no'lu denklemdir.

$$T_A = T_0 + \frac{f}{f+1} \left(\frac{H_U}{C_p} \right) \quad (4.27)$$

Deney yapılan ortam için iş gazının sabit basınç özgül ısınma ısısının "C_p" sayısal değeri yine aynı eserden sayfa 572'deki tablodan alınmıştır alınmıştır.

$$C_p = 1.075 \frac{kJ}{kg.^{\circ}K} \quad (4.28)$$

Daha önceki bölümde elde ettiğimiz 9.20 ve 9.26 no'lu sonuçlar yardımı ile Adyabatik alev sıcaklığı yukarıdaki denklem 9.27 ile hesaplanacak olursa;

$$T_A = 656^{\circ}K \quad (4.29)$$

olarak bulunur.

Alevin kütlesi alevin hacmi ile özgül kütlelerinin çarpımıdır. Buna göre çizelge 3.1'deki alev hacmi ve iş gazının yoğunluğunun çarpımı alev kütlelerini verir.

$$m = \rho . V_A \quad (4.30)$$

İş gazının özgül kütle değeri G. L. Borman ve K. W. Ragland (1998, McGraw Hill) "Combustion Engineering" eserindeki sayfa 572'de bulunan tablodan alınmıştır.

$$\rho = 0.505 \frac{kg}{m^3} \quad (4.31)$$

Alevin kütlesi hesaplanacak olursa;

$$m = 1.265 (10^{-8}) kg \quad (4.32)$$

olarak bulunur.

Denklem 9.33'den yararlanmak sureti ile alevin yapısında mevcut bulunan ısı enerjisi termodinamiksel olarak hesaplanacak olursa;

$$Q = m.C_p.T_A \quad (4.33)$$

$$Q = 8.924 (10^{-6}) kJ \quad (4.34)$$

sonucuna ulaşılır.

4.3. Alevin Geometrik Yöntem ile Isıl Hesabı

Tez dâhilinde geliştirdiğimiz 2.14 No'lu denklemi kullanmak suretiyle alevin yapısında mevcut bulunan ısı enerjisini hesaplamak için ortamın basınç değerine, alev hacmine ve adyabatik gaz sabitesinin değerine ihtiyacımız vardır. Deney yapılan ortamdaki basınç değeri 98.607 kPa, Alev hacmi $25.06 \cdot (10^{-9}) \text{ m}^3$ ve adyabatik gaz sabitesi 1.41 alınacak olursa.

$$Q' = \left[\frac{k}{k-1} \right] \cdot P_0 \cdot V_A \quad (4.35)$$

$$Q' = 8.618 (10^{-6}) kJ \quad (4.36)$$

olarak bulunur.

4.4. Geleneksel ve Geometrik Yöntemlerin Karşılaştırılması

Her iki yöntem ile hesaplanan sonuçlar arasındaki bağıl hata payı denklem 9.37 ile hesaplanacak olursa;

$$\% \varepsilon = \frac{|Q - Q'|}{|Q|} \cdot 100 \quad (4.37)$$

Her iki hesap yöntemi arasındaki bağıl hata payı;

$$\varepsilon = \% 3.428 \quad (4.38)$$

bulunur.

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME:

Yukarıda elde ettiğimiz %3.428 hata payını daha iyi yorumlayabilmek için deneylerdeki ölçüm hatalarını göz önünde bulundurmamız gerekir. Yukarıda yapılan hesaplamalar incelenecek olursa sonuca en çok etki eden değerler oksijen ve karbondioksit konsantrasyonlarıdır. Her iki konsantrasyonun ölçümünde %5.5 ile %0.44 bağıl hata yapılmıştır.(Çizelge 3.4) Bu sebepten dolayı elde ettiğimiz %3.428 bağıl hatanın kabul edilebilir düzeyde olduğunu söylemek pek de yanlış olmayacaktır.





KAYNAKLAR

- Austin G.T., (1984), "Shreve's Chemical Process Industries", McGraw Hill, 5th International Edition
- Avallone, E.A., Baumeister III, T., (1997), "Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers", McGraw Hill, 10th International Edition
- Bennett, C.O., Myers, J.E., (1982), "Momentum, Heat and Mass Transfer", McGraw Hill, 3rd International Edition.
- Borman, G.L., Ragland, K.W., (1998), "Combustion Engineering", McGraw Hill, WBC, International Edition
- Holman, J.P., (1994), "Experimental Methods for Engineers", McGraw Hill, 6th International Edition
- Kreyszig, E., (1999), "Advanced Engineering Mathematics", John Wiley & Sons, 8th Edition, Ohio, USA.
- Larsen, R.J., Marx, M.L., (2001), "An Introduction to Mathematical Statistics and Its Applications", Prentice Hall, 3rd Edition, London UK.
- Mathews, J.H., (1992), "Numerical Methods for Mathematics, Science and Engineering", Prentice Hall, 2nd Edition, London UK.
- Ross, S.L., (1984), "Differential Equations", John Wiley & Sons, 3rd Edition, New Hampshire, UK.
- Sonntag, R.E., Van Wylen, G.J., (1991), "Introduction to Thermodynamics, Classical and Statistical", John Wiley & Sons, 3rd Edition, New York USA
- Telli, Z.K., (1998), "Yakıtlar ve Yanma", Palme Yayıncılık, 3. Baskı, Ankara
- Turns, S.R., (1996), "An Introduction to Combustion", McGraw Hill, International Edition
- White, H., White, D., Gould, D., (1968), "Physics", D. Van Nostrand Company Inc. Princeton University Edition, USA.

EKLER

Ek 1 Yanma Ürünleri Analiz Denklemleri

Ek 2 Alev Fotoğrafları



Ek 1 Yanma Ürünleri Analiz Denklemleri

($\lambda \geq 1$) Fakir ve stokiyometrik karışımlar için;

$$L_{CO_2} = \frac{11}{3} \cdot C \left[\frac{kg.CO_2}{kg.Yakaa} \right] \quad L_{CO_2}^V = \frac{C}{12} \left[\frac{kmol.CO_2}{kg.Yakaa} \right]$$

$$L_{H_2O} = 9H \cdot \left[\frac{kg.H_2O}{kg.Yakaa} \right] \quad L_{H_2O}^V = \frac{H}{2} \left[\frac{kmol.H_2O}{kg.Yakaa} \right]$$

$$L_{SO_2} = 2S \cdot \left[\frac{kg.SO_2}{kg.Yakaa} \right] \quad L_{SO_2}^V = \frac{S}{32} \left[\frac{kmol.SO_2}{kg.Yakaa} \right]$$

$$L_{N_2} = 0,768 \cdot L \cdot \left[\frac{kg.N_2}{kg.Yakaa} \right] \quad L_{N_2}^V = 0,79 \cdot L \cdot \left[\frac{kg.N_2}{kg.Yakaa} \right]$$

$$L_{O_2} = 0,232(\lambda - 1) \cdot L_{\min} \left[\frac{kg.O_2}{kg.Yakaa} \right] \quad L_{O_2}^V = 0,21 \cdot (\lambda - 1) \cdot L_{\min} \left[\frac{kmol.O_2}{kg.Yakaa} \right]$$

($\lambda < 1$) Eksik (Zengin karışımla) yanma için;

$$L_{CO_2} = \frac{11}{3} \cdot (1 - x) \cdot C \left[\frac{kg.CO_2}{kg.Yakaa} \right] \quad L_{CO_2}^V = \frac{1}{12} \cdot (1 - x) \cdot C \left[\frac{kmol.CO_2}{kg.Yakaa} \right]$$

$$L_{CO} = \frac{7}{3} \cdot x \cdot C \left[\frac{kg.CO}{kg.Yakaa} \right] \quad L_{CO}^V = \frac{x \cdot C}{12} \left[\frac{kmol.CO}{kg.Yakaa} \right]$$

$$L_{H_2O} = 9H \cdot \left[\frac{kg.H_2O}{kg.Yakaa} \right] \quad L_{H_2O}^V = \frac{H}{2} \left[\frac{kmol.H_2O}{kg.Yakaa} \right]$$

$$L_{SO_2} = 2S \cdot \left[\frac{kg.SO_2}{kg.Yakaa} \right] \quad L_{SO_2}^V = \frac{S}{32} \left[\frac{kmol.SO_2}{kg.Yakaa} \right]$$

$$L_{N_2} = 0,768 \cdot L \cdot \left[\frac{kg.N_2}{kg.Yakaa} \right] \quad L_{N_2}^V = 0,79 \cdot L \cdot \left[\frac{kg.N_2}{kg.Yakaa} \right]$$

$$x = \frac{3}{4 \cdot C} \cdot (1 - \lambda) \cdot O_{\min}$$

Ek 2 Alev Fotoğrafları





ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi	01 Eylül 1978	
Doğum Yeri	Büyükada	
İlk Öğrenimi	1984-1989	Özel Işık Lisesi
Orta Öğrenimi	1989-1995	Özel Ata Lisesi
Lise Öğrenimi	1995-1997	Edirne Anadolu Lisesi
Lisans	1997-2001	Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Müh. Bölümü
Yüksek Lisans	2001-2004	Yıldız Teknik Üniversitesi, FBE Enerji Dalı YL Programı

Çalıştığı Kurumlar

2001-2004	YTÜ, Makine Fak., Makine Müh. Bölümü, Otomotiv ABD, Araştırma Görevlisi.
-----------	---