



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Gaz yakıt-oks. ön kar. alevl. yanma
hız. ölç. için bir yöntem gelişt.

Yüksek Lisans Tezi

Serap Kocabıyık

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Kim
2500070

95

GAZ YAKIT-OKSİJEN ÖN KARIŞIMLI ALEVLERİNİN
YANMA HIZLARINI ÖLÇMEK İÇİN BİR YÖNTEM
GELİŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KİM. MÜH. SERAP KOCABIYIK

İSTANBUL - 1990

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
KÜTÜPHANE DOKÜMANTASYON
DAİRE BAŞKANLIĞI

Kot R 361
:.....128.....
Alındığı Yer :...Fen.Bil.Enstitüsü.....
Tarih :...25/3/1992.....
Fatura :.....-.....
Fiyatı : 25.000 TL.
Ayniyat No : 1/1
Kayıt No : 48250
UDC :
Ek :

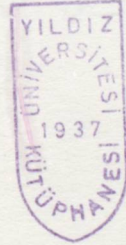
*

Y. T. Ü.

KÜTÜPHANE DOK. DAİRE BAŞKANLIĞI

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GAZ YAKIT-OKSİJEN ÖN KARIŞIMLI ALEVLERİNİN
YANMA HIZLARINI ÖLÇMEK İÇİN BİR YÖNTEM
GELİŞTİRİLMESİ



YÜKSEK LİSANS TEZİ

KİM. MÜH. SERAP KOCABİYİK

İSTANBUL - 1990



GAZ YAKIT-OKSİJEN ÖN KARIŞIMLI ALEVLERİNİN
YANMA HIZLARINI GELİŞTİRMEK İÇİN BİR YÖNTEM
GELİŞTİRİLMESİ

Tez Savunma Tarihi : 15 Haziran 1990

Tez Yöneticisi : Prof.Dr.Neşet KADIRGAN

Jüri Üyeleri : Yrd.Doç.Dr. Süha AKÇİZ
Yrd.Doç.Dr. Esen BOLAT

Bu tez Yıldız Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından desteklenmiştir.(Fon Proje No: 87-B-04-08-20)

TEŞEKKÜR

Tez konumu veren ve çalışma süresince öneri ve yardımlarıyla destek olan Sayın Prof.Dr.Neşet KADIRGAN'a,

Tez konusu almamı yönlendiren Bölüm Başkanımız Sayın Prof.Dr.Salih DİNÇER başta olmak üzere, bana bilimi ve mühendisliği öğreten bütün öğretim üyelerine,

Deneysel bölümde yardımlarını gördüğüm Fizik Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Yrd.Doç.Dr.Süha AKÇİZ'e, Sayın Metin SALTİK'a ve özellikle de Kimya Yüksek Mühendisi Jale GÜLEN'e,

İlgi ve desteğinden dolayı Sayın Yrd.Doç.Dr.Esen BOLAT'a,

Araştırmalar için gerekli mali kaynağı sağlayan Yıldız Üniversitesi Araştırma Fonu'na,

Tezimi okuyup değerlendiren jüri üyelerine ve çalışmam sırasında bana destek olmak için ellerinden geleni esirgemeyen ARKADAŞLARIMA ve AİLEME

TEŞEKKÜR EDERİM.

ÖZET

Bu tezde önce ön karışımli oksijen-gaz yakıt alevlerinin özellikleri, kullanım alanları ve yanma hızlarının önemi üzerine bir derleme yapıldı.

Deneysel çalışmada alevi yaktığımız hamlacıdan geçen gazların debisini ölçen debimetreler kalibre edildi. Gazların çıkış debileri üzerine, hamlaca giren gazların basınçlarının etkisi incelendi ve gaz debileri ile basınç arasında ampirik bir bağıntı bulundu.

Ön karışımli alevlerde iç koninin yüksekliğini ölçerek yanma hızı belirleme yöntemini sınamak için en hızlı yanan gaz karışımı olarak oksijen-asetilen alevleri kullanıldı. Çıkış hızı büyük olan, dolayısıyla da laminerlikten uzaklaşan en olumsuz örnekler üzerinde çalışıldı.

İç koninin yüksekliği ölçülerek bulunan yanma hızları yakıtça fakir alevlerde debi artışı ile azalmakta, zengin alevlerde ise artmaktadır. Ancak bu değişimler çok fazla değildir. Yöntem her zenginlik için karakteristik bir yanma hızı bulmayı sağlamaktadır.

Alev difüzyondan gelen havanın etkisini incelemek için bir cam kılıf içerisinde, kendi atmosferinde yakılmış ve bu alev havada yanan alevle kıyaslanmıştır. İdeal koni durumundan sapma eğilimi de fotoğraf çekilerek incelenmiştir. Yakıtça zengin alevlerde yanma hızı üzerine sekonder hava akımının etkisinin daha önemli olduğu, ayrıca fakir alevlerde primer yanma bölgesinin ideal bir iç koni oluşturduğu, zengin alevlerde ise ideallikten sapma olduğu sonucuna varılmıştır.

ABSTRACT

In this thesis a review on the properties of premixed oxy-fuel flames, the technology of oxy-fuel gas processes and the importance of burning velocities was first done.

In the experimental work, the flowmeters measuring the flow rates of gases passing through the burner were calibrated. Then the influence of pressure of gases entering the burner, on the flow rates of gases was studied and an empirical relation was found between pressure and flow rates of gases.

The flames of oxy-acetylene, the mixture with the greatest burning velocity, were used to test the validity of an experimental method which determines the burning velocity by measuring the height of the inner cone. The work was done on samples with large out flow rates and therefore mostly deviated from laminar flow.

The burning velocities determined by measuring the height of inner cone decrease for fuel poor flames but increase for fuel rich flames as flow rates increase. These variations are not too excessive and the method permits the determination of a flame propagation speed characteristic to each oxygen-fuel ratio.

The flame was burned in a glass tube, in its own combustion atmosphere to test the influence of diffused air and it was compared with the flame burned in air. The flame was photographed to determine its trend of deviation from ideal cone state. It was concluded that for fuel rich flames the effect of secondary air flow on the burning velocity is more important. Also it was determined that for fuel poor flames the primary burning zone is forming an ideal inner cone where as for fuel rich flames a deviation from ideality occurs.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEŞEKKÜR	
ÖZET	
ABSTRACT	
TABLO LİSTESİ	
ŞEKİL LİSTESİ	
1. GİRİŞ	1
2. GAZ YAKIT- OKSİJEN ALEVLERİ ÜZERİNE	
GENEL BİLGİLER	3
2.1. Gaz Yakıtlar.....	3
2.1.1. Gaz Yakıtların Tanımı ve Fiziksel Özellikleri	3
2.1.2. Gaz Yakıtların Dağıtım ve Depolanması.....	6
2.2. Yanma ve Alev Türleri	7
2.2.1. Kontrollü Yanma ve Patlama	7
2.2.2. Homojen ve Heterojen Yanma	7
2.2.3. Oksijen ya da Hava ile Yanma	8
2.2.4. Ön Karışımli Laminer Alevlerin Yapısı	8
2.2.5. Laminer ve Türbülansli Alevler	10
2.3. Ön Karışımli Laminer Alevlerin Yapısı	11
2.3.1. Tek Boyutlu Ön Karışımli-Laminer Alevlerin Yapısı	11
2.3.2. İncelediğimiz Alevlerin Yapısı	14
2.4. Alevlenme Sınırları	17
2.5. Alevlerin Kimyasal Özellikleri	23
2.6. Alev Sıcaklığı	24
2.7. Alevden Metale Isı İletimi	26
2.8. Gaz Yakıt- Oksijen Alevlerinin Kullanım Alanları	28
2.8.1. Alev Prosesleri	28
2.8.2. Oksijen Prosesleri	30
3. YANMA HIZI ÜZERİNE GENEL BİLGİLER	32
3.1. Yanma Hızı Ölçümünde Kullandığımız Yöntem	32
3.2 Yanma Hızının Uygulamadaki Önemi	34
3.2.1. Alevlerin İçten Yanması	34
3.2.2. Gaz Yakıtlar Arasında Dönüşüm	40

3.2.3. Isı İletimi	41
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	42
4.1. Deney Düzenegi	42
4.2. Kalibrasyon Çalışması	44
4.3. Gazların Debi Hesaplamasında Kullanılacak Olan Bağıntının Belirlenmesi	47
4.4. Alev Boyu Ölçme Denemeleri	49
4.5. Çeşitli Zenginliklerde Hava İçinde Ölçülen Alev Boyları	52
4.6. Kılıf İçine Yerleştirilmiş Alevin Yanma Hızının Ölçülmesi	64
4.7. Alev Fotoğraflarının İncelenmesi	72
4.8. İç Koni Ucunda Çıkış Hızı Hesabı	72
4.9. Deneysel Sonuçların Değerlendirilmesi	74
5. SONUÇ	78
KAYNAKLAR	80
ÖZGEÇMİŞ	

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1. Gaz hidrokarbonlar4
Tablo 2. Gaz hidrokarbonların fiziksel özellikleri5
Tablo 3. Stokiyometrik hava-yakıt karışımlarında, karışımın patlaması ya da yanması için, gereken minimum sıcaklık(tutuşma sıcaklığı)17
Tablo 4. Alevlenme sınırları18
Tablo 5. Hava-asetilen karışımlarının alt ve üst tutuşma sınırlarının değişimi22
Tablo 6. Gaz yakıtların stokiyometrik karışımlarının alev sıcaklıkları25

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Bunsen beki	9
Şekil 2. Smithells Separatörü	9
Şekil 3. Sabit konumlu bir alevin tanımında kullanılan sistem	11
Şekil 4. Ön karışımllı, tek boyutlu alev boyunca konsantrasyon ve sıcaklık eğrileri	12
Şekil 5. %9,6 CH ₄ -%21,3 O ₂ -%9,1 Ar bileşimli ön karışımllı düşük basınç alevlerindeki radikallerin dağılımı	13
Şekil 6. Ön karışımllı, laminer alevlerin yapısı	14
Şekil 7. Hava difüzyonun engellendiği durumda alev yapısı	15
Şekil 8. İç koninin içindeki radikallerin ışımaya şiddeti	16
Şekil 9. CH ₄ -hava ve H ₂ -hava karışımlarında basıncın tutuşabilirlik sınırlarına etkisi	21
Şekil 10. Basınç ve sıcaklığın tutuşma sınırlarına etkisi	21
Şekil 11. Hava-hidrojen karışımlarında sıcaklığın tutuşabilirlik sınırlarına etkisi	21
Şekil 12. Hava/CO karışımlarında sıcaklığın tutuşma sınırlarına etkisi	21
Şekil 13. Hesaplanmış adyabatik alev sıcaklıkları,	24
Şekil 14. Sıcaklık farkının etkisi	27
Şekil 15. Hamlaş ucunda yanma hızının bulunması	32
Şekil 16. Alev içeri girme durumları	35
Şekil 17. Brülör delik kesiti	36
Şekil 18. Oksijen-Hidrojen alevlerinin içeri girmesinde toplam gaz debisi	38
Şekil 19. Oksijen-asetilen alevlerinin içeri girmesinde toplam gaz debisi	38
Şekil 20. Oksijen-Hidrojen alevlerinin içeri girmesinde sıcaklık etkisi	39
Şekil 21. Oksijen-asetilen alevlerinin içeri girmesinde sıcaklık etkisi	39

Şekil 22.Gaz ocağı beki ya da brülörü	40
Şekil 23.Deney düzeneği	43
Şekil 24.Asetilen gazı kalibrasyon eğrisi	45
Şekil 25.Oksijen gazı kalibrasyon eğrisi	46
Şekil 26.Debi ile basınç arasındaki bağıntının belir- lenmesi	48
Şekil 27.m değerinin bulunması	48
Şekil 28.Yanma hızının ve alev boyunun toplam debi ile değişimi ($R=0,35$)	49
Şekil 29.Yanma hızının ve alev boyunun toplam debi ile değişimi ($R=0,5$)	54
Şekil 30.Yanma hızının ve alev boyunun toplam debi ile değişimi ($R=0,75$)	55
Şekil 31.Yanma hızının ve alev boyunun toplam debi ile değişimi ($R=1$)	56
Şekil 32.Yanma hızının ve alev boyunun toplam debi ile değişimi ($R=1,25$)	57
Şekil 33.Yanma hızının ve alev boyunun toplam debi ile değişimi ($R=1,5$)	58
Şekil 34.Yanma hızının ve alev boyunun toplam debi ile değişimi ($R=1,75$)	59
Şekil 35.Yanma hızının ve alev boyunun toplam debi ile değişimi ($R=2$)	60
Şekil 36.Yanma hızının ve alev boyunun toplam debi ile değişimi ($R=2,27$)	61
Şekil 37.Aynı toplam debide yanma hızlarının zenginlik- likle değişimi	62
Şekil 38.Aynı iç koni boylarında yanma hızlarının zenginlikle değişimi	63
Şekil 39.Cam kılıf içinde yanma hızının ve alev boyu- nun toplam debi ile değişimi ($R=0,35$)	65

Şekil 40.Cam kılıf içinde yanma hızının ve alev boyunun toplam debi ile değişimi ($R=0,5$)	66
Şekil 41.Cam kılıf içinde yanma hızının ve alev boyunun toplam debi ile değişimi ($R=1$)	67
Şekil 42.Cam kılıf içinde yanma hızının ve alev boyunun toplam debi ile değişimi ($R=1,5$)	68
Şekil 43.Cam kılıf içinde yanma hızının ve alev boyunun toplam debi ile değişimi ($R=2$)	69
Şekil 44.Kendi atmosferinde yanan alevlerin aynı toplam debide yanma hızının zenginlikle değişimi ...	70
Şekil 45.Kendi atmosferinde yanan alevlerin aynı iç koni yüksekliğinde yanma hızının zenginlikle değişimi	71
Şekil 46.İç koni ucunda alev çıkış hızının aynı toplam debide zenginlikle değişimi	73
Şekil 47.Alev Fotoğrafları	75
Şekil 48.Aynı debide kılıflı ve kılıfsız alevlerin yanma hızlarının zenginlikle değişimi	77

1. GİRİŞ

Bu yüksek lisans tezinde yapılan çalışma Yıldız Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından desteklenen geniş kapsamlı bir projenin bölümlerinden biridir. Genel olarak, gaz yakıtların düşük basınçtaki alevleri, deney ve hesapların kolaylığından ötürü, hava ile yakılan atmosferik basınçtaki alevleri ise çok kullanılmaları nedeniyle, kimyasal bileşimleri, sıcaklıkları ve ısı iletimleri açısından yaygın olarak incelenmiştir.

Gerçekleştirilmek istenen genel projede amaç; kaynak, lehim, yüzey temizleme, kaplama yerel metalurjik işlemler cam işleri, oksijenle kesme gibi alev proseslerinde kullanılan ön karışımli oksijen-gaz yakıt alevlerinin yanma hızlarını ve bu alevlerden metallere ısı iletimini ölçmektir. Bulunacak değerlerin literatürde var olan (1),(2) sıcaklık ve kimyasal kompozisyon verileri ile ilişkileri incelenecektir. sonuçta her alev prosesi için gaz yakıtlar birçok yönden kıyaslanacak, özellikle doğal gazın bu proseslerin hangilerini gerçekleştirebileceği irdelenecektir.

Alevlerden metallere ısı iletimini kıyaslamak için pirinç ve cam çubukları kesmeye dayalı bir yöntemin geçerliliği daha önce araştırılmıştır (3). Bu çalışmada ise alevlerin yanma hızlarını ölçecek bir yöntem üzerinde durulmaktadır.

Bilindiği gibi konveksiyonla ısı iletimi üzerinde en önemli etken, brülörden çıkış hızıdır. Brülörden çıkış hızı ise yanma hızı ile sınırlıdır. Ayrıca yanma hızı yakıt dönüşümünün, diğer bir deyişle aynı brülörde çeşitli yakıtların aynı gücü vererek birbirlerinin yerine kullanılmasının en önemli parametrelerinden biridir.

Bu tezde yanma hızı, iç koninin yüksekliği ölçülerek hesaplanmaktadır. Gazların brülörden çıkış debilerinin, alevi çevreleyen atmosferin ve yakıt-oksijen oranının yanma hızları üzerine etkisi incelenmiştir. Gaz yakıt olarak asetilen, oksitleyici olarak saf oksijen kullanılmıştır. Böylece yöntem

yanma hızının en yüksek olduğu, alevin laminerlikten en çok saptığı diğer bir deyişle en olumsuz koşullarda sınanmıştır.

2. GAZ YAKIT-OKSİJEN ALEVLERİ ÜZERİNE GENEL BİLGİLER

2.1. Gaz Yakıtlar

2.1.1. Gaz Yakıtların Tanımı ve Fiziksel Özellikleri

Burada önemli olan gaz yakıtları, sıvı yakıtlardan ayırtılmaktır. Teknik olarak bir yakıtta, atmosfer sıcaklığı ve basıncında tümüyle gaz ise, gaz yakıt adı verilir. Bu, kaynama sıcaklığı çevre sıcaklığının altında ya da çevre sıcaklığındaki buhar basıncı 1 atmosferin altında demektir. Eğer yüksek basınç altında sıvı halde depolanmışsa, sıvılaştırılmış gaz adını alır. Ayrıca sıvı yakıtların kaynama noktası çevre sıcaklığından yüksektir.

Gaz ile sıvı yakıt arasındaki sınır görüldüğü gibi çok net değildir. Çünkü, çevre sıcaklığı genel olarak 20-25°C alınırsa da bazı yakıtlar yazın gaz, kışın sıvı yakıt varsayılabilir. Ancak bu sıcaklık ve basınçla sıvı gaz değişiklikleri, düşük kritik sıcaklığı olan gaz yakıtlar için söz konusu değildir. Bilindiği gibi kritik sıcaklık öyle bir sıcaklıktır ki, gazlar bu sıcaklığın üzerinde çok büyük basınç altında bile sıvılaştırılmaz. Hidrojen, karbon monoksit ve bazı özel koşullarda gaz olan H-C-O bileşikleri dışında bütün gaz yakıtlar hidrokarbondurlar.

Tablo 1 de gaz hidrokarbonlar görülmektedir. Kimyasal yanma özellikleri (yanma hızı ve sıcaklığı) sağa, fiziksel özellikler (kaynama sıcaklığı, kritik sıcaklık) yukardan aşağıya, buhar basıncı aşağıdan yukarı artar. İlk kesikli çizgi sıvılaşamayan gazlarla sıvılaştırılabilir gazları, ikinci kesikli çizgi gazlarla sıvıları ayırır. Etan, etilen ve asetilen sınır durumundadır (4).

Gaz yakıtlarının fiziksel özellikleri ise tablo 2 de görülmektedir.

Tablo 1. Gaz hidrokarbonlar

	Tek Bağlı (-) $C_n H_{2n+2}$	Çift Bağlı (=) $C_n H_{2n}$	Üçlü Bağlı (≡) $C_n H_{2n-2}$	İki Çift Bağlı (= =) $C_n H_{2n-2}$
C_0	H_2 Hidrojen			
C_1	CH_4 Metan			
C_2	C_2H_6 Etan	C_2H_4 Eten(Etilen)	C_2H_2 Etin (Asetilen)	
C_3	C_3H_8 Propan	C_3H_6 Propen (Propilen)	C_3H_4 Propin Metil asetilen)	C_3H_4 Propadien (Allen)
C_4	C_4H_{10} Bütan	C_4H_8 Büten	C_4H_6 Bütün	C_4H_6 Butadien
C_5	C_5H_{12} Pentan	C_5H_{10} Penten	C_5H_8 Pentin	C_5H_8 Pentadien

Yanma Hızı
Yanma Sıcaklığı

Kaynama Sıcaklığı

Tablo 2. Gaz hidrokarbonların fiziksel özellikleri

Grup	Yakıt Gazı Adı	Kritik Sıcaklık (°C)	Kaynama Noktası (°C)	20°C'de Buhar basıncı (atm)	Havaya Göre Bağlı Yoğunluk
C ₀	Hidrojen	-240	-253	-	0,07
C ₁	Metan	-82	-162	-	0,55
C ₂	Etan	32	-88	36,11	1,05
	Etilen	9	-104	49,39*	0,98
	Asetilen	36	-84	42,24	0,91
C ₃	Propan	97	-42	7,63	1,56
	Propilen	92	-47	8,99	1,49
	Metilasetilen	128	-23	4,08	1,41
	Propadien(Allen)	120	-34	6,40	1,42
C ₄	Bütanlar				
	n-Bütan	152	0	1,09	2,07
	iso-Bütan	135	-11	1,97	2,07
	Bütenler				
	1-Bütilen	146	-6	1,70	1,93
	2-Bütilen	160	3	0,95	1,94
	iso-Bütilen	145	-6	1,49	1,94
	Bütünler				
	Etilasetilen	191	9	0,54	1,96
	Dimetilasetilen	215	27	0,20	1,94
	Bütadienler				
	1.2 Bütadien	171	15	0,07	1,92
	1.3 Bütadien	152	-4	1,36	1,88

* (9 °C de)

2.1.2. Gaz Yakıtların Dağıtım ve Depolanması

Genel olarak sıvılaştırılabilir gaz yakıtlar tüplerde sıvı halde depolanır ve dağıtılır. Bu konuda yaygın örnekler; LPG, bütan, propan, ayrıca Tetrene, MAPP, Apashi patent adları ile satılan bir ve iki çifte bağlı bileşikler içeren ve rafinelere kraking ürünleri olan gaz karışımlarıdır (5).

Kritik sıcaklıkları düşük olduğu için sıvılaştırılmayan gazların tüketimi çok ise, bu gazlar dağıtım zorluğuna ve yatırımın yüksekliğine karşın boru hatlarıyla dağıtılırlar. Havagazı ve doğal gaz bu konuda en önemli iki örnektir. Ayrıca bu gazları, çok düşük sıcaklıklarda sıvı halde depolama çok büyük kütleler için söz konusudur. Örneğin doğal gazın büyük tankerlerle kıtalar arası taşınması ya da Ereğli'de yapımına başlanan sıvılaştırılmış doğal gaz terminali uygulamaya iki örnektir. Etilen 9°C' nin altında sıvılaştırılabildiği için, sıvılaştırılmayan gazlar bağımsız ve küçük çapta kullanımlar için 225 atmosfer basınç altında depolanır ve taşınırlar. Alet işlemleri için CO, H₂ ve O₂ bu biçimde tüketiciye ulaşmaktadır.

Asetilenin depolanması özel bir durumdur. Yapısındaki üçlü bağ nedeni ile kararsız bir gazdır. Diğer bir deyişle, oksijen olmadan da patlayabilir. Bu nedenle ya kullanım yerinde karpitten kullanılacağı zaman elde edilir ya da asetondaki çözeltisi ponza taşına emdirilmiş olarak saklanır ve dağıtılır. 1 hacim aseton, 20 hacim asetilen çözebilir. Kullandığımız asetilen de bu biçimde depolanıp dağıtılmaktadır.

Çifte ya da üçlü bağlı birçok hidrokarbonlar, eter, aseton ya da benzen gibi organik bileşiklerde; ayrıca hafif hidrokarbonlar ağır olanlarda çözülebilir (4).

Bütün gazlar hacimce genişlerken, buharlaşırken çözeltiyi terk ederken soğurlar. Dolayısıyla büyük debilerde gaz kullanıldığında, özellikle kışın regülatörün ya da deponun ısıtılması gerekebilir. Tek farklı gaz hidrojenidir. Çünkü, hidrojen genişlerken ısınır. Yazın regülatörün soğutulması gerekli olabilir.

2.2. Yanma ve Alev Türleri

Yanma basit olarak ısı açığa çıkaran bir kimyasal reaksiyon biçiminde tanımlanabilir. Yanma üzerine fiziksel, kimyasal ve aerodinamik büyüklüklerin etkisi karmaşık olup, bunlar sonuçta oluşan yanmanın türü ve biçimini belirlerler. Aşağıda yanma türlerinden söz edilmektedir (6,7,5,8,3).

2.2.1. Kontrollü Yanma ve Patlama

Alev birbirinden tümüyle farklı iki değişik mekanizmaya göre ilerler. Eğer alevin iletimi, şok dalgalarıyla oluyorsa buna patlama (eksplozyon-detonasyon), kondüksiyonla oluyorsa kontrollü yanma (deflegrasyon) adı verilir.

Detonasyonda patlama dalgası cephesinde aynı anda iki olay görülür; bir şok ya da kompresyon dalgası ve gaz karışımının kimyasal bir reaksiyonla yanması. Patlama, belirli bir gaz karışımı, sıcaklık ve basınçta belirli hızda yayılır. Bu hız saniyede birkaç bin metre dolayındadır.

Kontrollü yanmada (deflegrasyon) ise ısı, kondüksiyonla iletilir. Yanma hızı, sıcaklık ve basınç dışında birçok etkene bağlıdır ve patlamaya göre çok yavaştır. Hızı saniyede birkaç desimetre ile birkaç metre arasında değişir. Bu tezde kontrollü yanma hızı ölçülmüştür.

2.2.2. Homojen ve Heterojen Yanma

Yakıt ve oksijen, yanma reaksiyonu sırasında değişik fazda ise heterojen, aynı fazda ise yanma homojendir. Kömürün yanması heterojen yanmaya örnek olarak verilebilir. Bu tür yanmada yanma hızına kimyasal reaksiyon yanısıra, havanın kömür yüzeyine doğru difüzyonu ya da yanma ürünleri ile piroliz sonucu açığa çıkan uçucu yakıt gazlarının kömür yüzeyinden dışarı doğru iletimi etki eder. Yanma hızı yavaş, kontrollü zordur. Tam yanma için stokiometrik miktardan daha fazla hava gerekir.

Homojen yanmada yakıt, ya gaz ya da üzerindeki alevden kondüksiyon ve radyasyonla gelen ısı tarafından buharlaştırılan bir sıvıdır (örneğin; doğal gaz ya da alkol yanması).

Homojen yanma sıcak, hızlı ve tamdır. Bu çalışmada homojen yanma ile ilgilenilmiştir.

2.2.3. Oksijen ya da Hava ile Yanma

Yakıt, hava ya da oksijenle yakılabilir. Saf oksijenle yapılan yanma sıcak, hızlı ve konsantredir; özel alev işlemlerinde yüksek sıcaklık eldesi için kullanılır. Konvansiyonel ısıtmada yakıt, bedava oksijen kaynağı olan havayla yakılır. Hava ile yanan alevin boyutları, aynı debide yakıtın saf oksijenle yandığı aleve göre daha büyüktür, alev daha soğuk ve yaygındır. Aynı miktar yakıtın hava ya da saf oksijenle yanması aynı miktar ısıyı açığa çıkarır. Ancak saf oksijenle yanma sırasında ortamda azot bulunmadığı için açığa çıkan yanma ısı çok daha az sayıda yanma ürünü arasında dağılır, dolayısıyla alev ufak ve çok sıcak olur.

Oksijenle yanan alevlerin, hava ile yanan alevlere göre sıcaklıkları 1000 °C kadar, yanma hızları ise yaklaşık 10 kez daha fazladır. İncelediğimiz yüksek sıcaklıktaki alevlerde oksitleyici olarak oksijen kullanılmıştır.

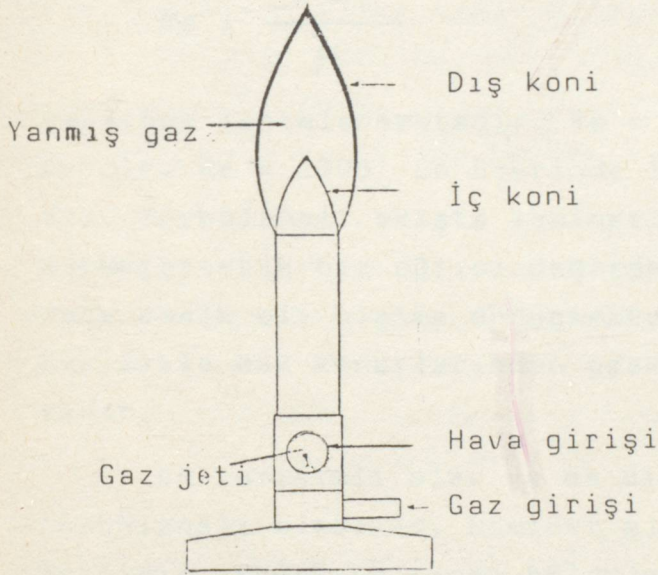
2.2.4. Ön Karışımli Alev ve Difüzyon Alevi

Genel olarak alev, yüksek sıcaklıkta olan ve çıkardığı ısı ile bu sıcaklığın sürmesini sağlayan bir yanma reaksiyonu biçiminde tanımlanabilir. Alev, reaktif moleküllerinin uyarılması sonucu oluşan ve yayan tepkimeler biçiminde kimyasal süreçleri, aynı zamanda hem madde hem enerji aktaran fiziksel süreçleri içerir.

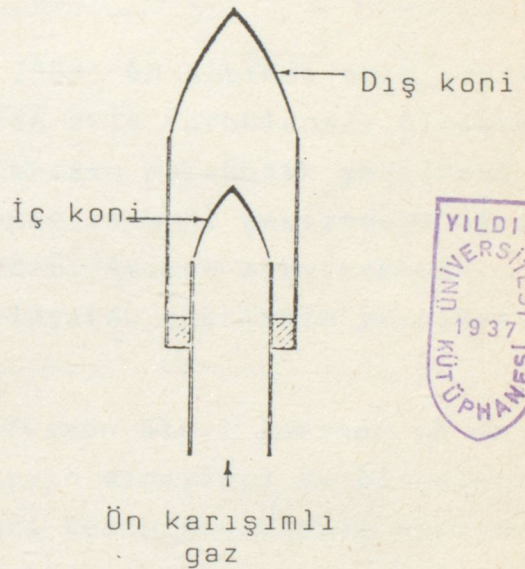
Reaktif gazların önceden mükemmel biçimde karıştığı ortamda ortaya çıkan alev ön karışımli alev, başlangıçta ayrı ayrı akan iki gazın ortak yüzünde meydana gelen reaksiyon sonucu beliren alev ise difüzyon alevidir. Difüzyon alevinin en iyi örneği mumdur. Burada alev sıcaklığı yakıt kaynağı olan mumun buharlaşmasını sağlamakta, buharlaşan mumda çevredeki hava ile karışıkça yanmaktadır.

Bunsen beki (Şekil 1) her iki alev tipini tanıtmak için kullanılabilir. Bunsen beki tabanına yakın bir yerden basınçlı

gaz verilen bir metal borudan oluşur. Beke giren gaz, tabana yakın püskürtücüden geçer. Bu yüzden püskürtücü çevresinde basınç düşer ve hava yandaki delikten içeri girer. Gaz ile hava tübün üst tarafına doğru yol alırken karışırlar. Alevin iç konisi önceden karışmış alevin reaksiyon bölgesidir. Karışım yakıtça zengindir ve yanmış gazların bileşimi tam yanmaya karşılık değildir. Dış koni, yanmış gazlarla atmosfer havası arasında olan bir difüzyon alevinden oluşan ikinci bir yanma bölgesidir. Her ikisi de bek kenarından başlayan bu koniler Smithells Separatörü ile ayrılabilirler (Şekil 2).



Şekil 1. Bunsen beki



Şekil 2. Smithells Separatörü

Deneysel çalışmamızda ön karışımli alevler kullandık. Hem ön karışımli difüzyonun birlikte olduğu, hem de bir separatörle ayrıldığı durumlarda ölçümler yaptık.

Yaygın yakıt türlerinin çoğu, hidrojen ve karbon bileşiklerinden oluşur. Bazen yakıtın bileşiminde bağlı halde oksijen de bulunur. Önceden karışımli alevler, karbon monoksitin yanarak karbon dioksit'e dönüşmesinin son aşaması nedeniyle mavi olma eğilimindedir. Difüzyon alevleri ise, parlak ve bazen dumanlıdır. Ön karışımli alevler sıcaktır ve sı-

nırları bellidir. Difüzyon alevleri ise karışma cephesinin hareketlerinden ötürü dalgalanırlar.

Yanmanın tam olması, alevde sarı bölge görülmemesi için kısmen de olsa ön karıştırma yararlıdır. Yanma için gerekli havanın eksik kalan bölümü ise difüzyonla sağlanır.

2.2.5. Laminer ve Türbülanslı Alevler

Laminer ve türbülanslı akışta geçiş bölgesinin karakterize edilmesi için, Reynolds sayısı (Re) kullanılmaktadır ve u ortalama hız, d çap ve μ viskozite olmak üzere

$$Re = \frac{u d \rho}{\mu}$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Re = 2300' ün altında akış laminerdir. Re = 2300' ün üzerinde ise akış türbülanslı olmaktadır. Türbülanslı akışta laminer akışın parabolik şeklindeki karakteristik hız eğrisi değişmekte ve koni şeklindeki eğri daha basık bir biçime dönüşmektedir. Ayrıca alev cephesi, özellikle bek kenarlarından uzaklaşarak çok fazla yayılmaktadır.

Ön karışımli alev ya da difüzyon alevi laminer ya da türbülanslı olabilir. Laminer alevin sınırları ve bölgeleri bellidir, soğuk ve sıcak bölgeleri kesin sınırlarla ayrılmıştır, oldukça küçük hacimlidir. Mutfak ocaklarının alevleri laminer alevlerdir. Türbülanslı alevler daha dağınıktır. Alevin bir noktasında önemli bileşim ve sıcaklık oynamaları olur. Daha çok kazanlarda yeğlenirler.

Bizim incelediğimiz ve alev proseslerinde kullanılan alevler laminer alevlerdir.

2.3. Ön Karışıklı Laminer Alevlerin Yapısı

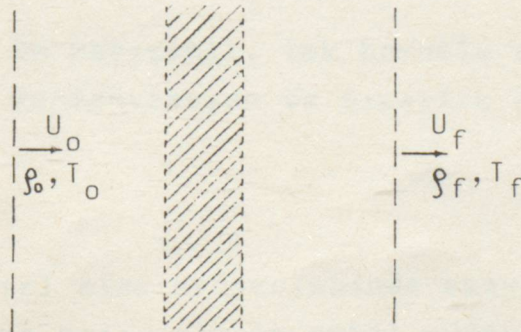
2.3.1. Tek Boyutlu Ön Karışıklı Laminer Alevlerin İncelenmesi

Ön karışıklı laminer akışlı alevler teorik ve deneysel olarak yanma kimyası çalışmaları için difüzyon alevlerinden ve türbülanslı alevlerden daha kullanışlıdır. En basit inceleme ise tek boyutlu alevlerde yapılabilir.

Alev, ışıklı bir reaksiyon bölgesi oluşturan ve kendi kendine ilerleyen bir ekzotermik reaksiyon sonucu ortaya çıkmaktadır. Alev yanma hızı adı verilen karakteristik bir hızla sabit konumlu bir gazda ilerleyebilmektedir ya da reaktif gaz alev cephesine doğru aynı hızla gönderilirse alev cephesi sabit konumda tutulabilir. Genellikle ikinci tür alev kararlı olmamaktadır, ancak uygun biçimde bir yanma odası ya da yakıcı yardımıyla gerçekleştirilebilmektedir.

Alevin özellikleri olayın üniform kesitli uzun tüp içinde olduğu düşünülerek, yani alevin tek boyutta (x eksenini) değişim göstermesi sağlanarak incelenmiş ve gaz akışı laminer ve çap boyunca üniform kabul edilmiştir. Böylece alev düzlemsel ve akışa diktir. Gaz akış hızı sabit konumlu alev elde edilecek biçimde ayarlanmıştır.

Eğer alevin arka ve önünde iki düzlem göz önüne alınırsa (Şekil 3), aşağıdaki korunum bağıntıları uygulanabilir.



Sabit konumlu
alev

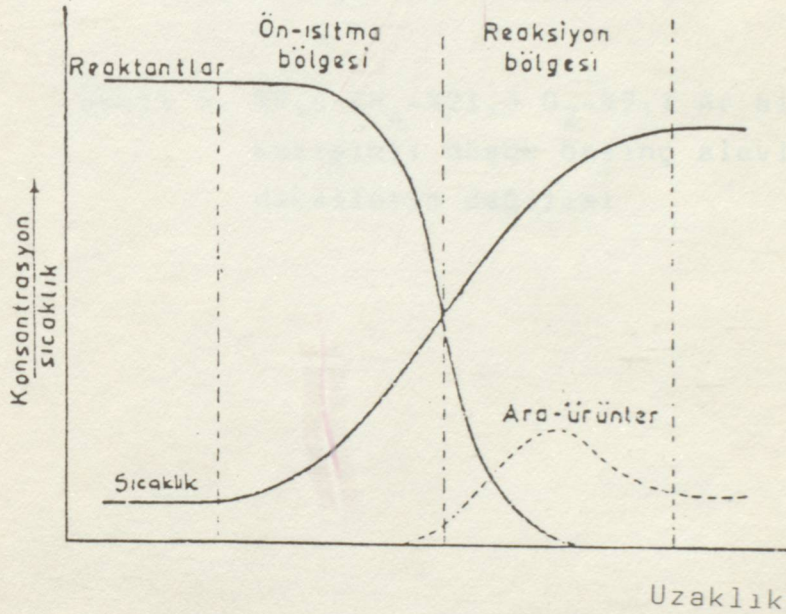
Şekil 3. Sabit konumlu bir alevin tanımında kullanılan sistem.

$$\text{Kütle konumu} : \rho_o u_o = \rho_f u_f = \dot{m}$$

$$\text{Momentum " : } P_o + \rho_o u_o^2 = P_f + \rho_f u_f^2$$

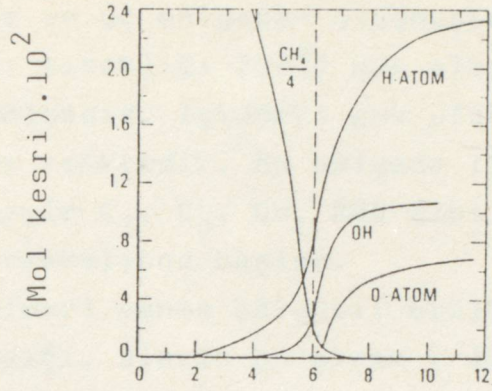
u_o , u_f , başlangıç ve son hızı; \dot{m} , geçiş bölgesinden akan kütleli debiyi; ρ_o , ρ_f , başlangıç ve son yoğunluğu; P basıncı göstermektedir.

Alevin iç yapısı incelenirse, alev boyunca sıcaklığın ürün konsantrasyonlarıyla birlikte düzgün bir artış gösterdiği ve yakıt molekülleri konsantrasyonunda uygun biçimde azalmayı izlediği ortaya çıkar (Şekil 4) (6).



Şekil 4. Ön karışım, tek boyutlu alev boyunca konsantrasyon ve sıcaklık eğrileri

Endüstriyel alev proseslerinde alevin reaksiyon mekanizması ve yanma hızı, alevin metal yüzeylerine indirgen, nötr ya da yükseltgen etkisi alev bölgesindeki radikallerin dağılımı aşağıdaki şekilde görülmektedir (Şekil 5)(9).



Brülör ağızından uzaklık (mm)

Şekil 5. %9,6 CH₄-%21,3 O₂-%9,1 Ar bileşimli ön karışımli düşük basınç alevlerindeki radikallerin dağılımı

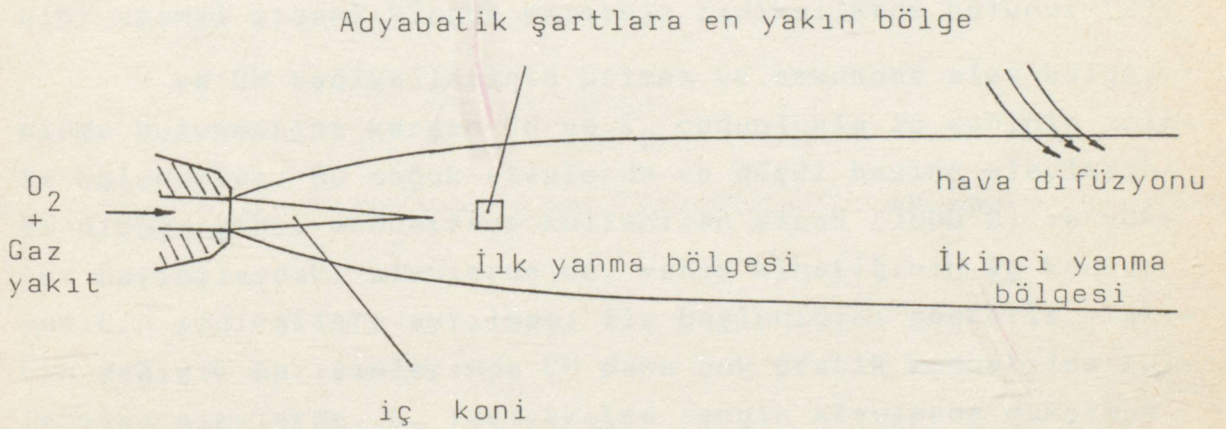
2.3.2. İncelediğimiz Alevlerin Yapısı

Gerçekte, alev işlemlerinde kullandığımız alevler iç boyutludur ve üç bölgeden oluşmuştur (Şekil 6).

- İç koni; sıcaklığı 250°C nin altında, görece soğuk ve indirgen bir bölgedir. İçindeki çok ufak isparçacıkları nedeniyle beyaz-sarı renktedir. Bu bölgede ilk yanma bölgesinden gelen ısı etkisiyle C_2 , C_3 , OH , ROO gibi kimyasal radikaller oluşur ve yanma reaksiyonu başlar.

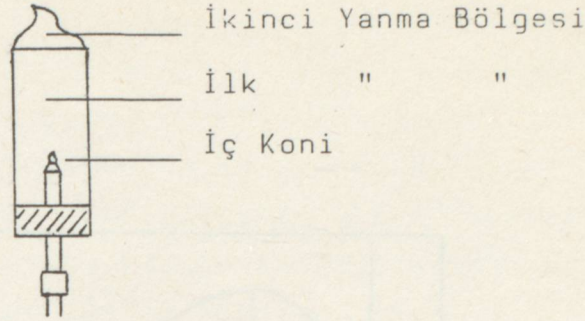
- İlk (primer) yanma bölgesi; brülörden gelen oksijen ve yakıtın yandığı, alevin en sıcak (3000°C) bölgesidir. Alev mantosu da denilen bu bölge H ve OH radikallerince zengindir. İç koninin ucundaki koşullar adyabatik yanma koşullarına uygundur.

- İkinci (sekonder) yanma bölgesi; yakıt fazlasının difüzyonla aleve karışan hava oksijeni ile yakıldığı bölgedir. Sıcaklık 2000°C dolayında olup CO_2 , H_2O gibi kararlı yanma ürünleri oluşur. İkinci yanma, yakıt ve oksijenin karışmadığı difüzyon alevlerine benzerlik gösterir (10).



Şekil 6. Ön karışımli, laminer alevlerin yapısı.

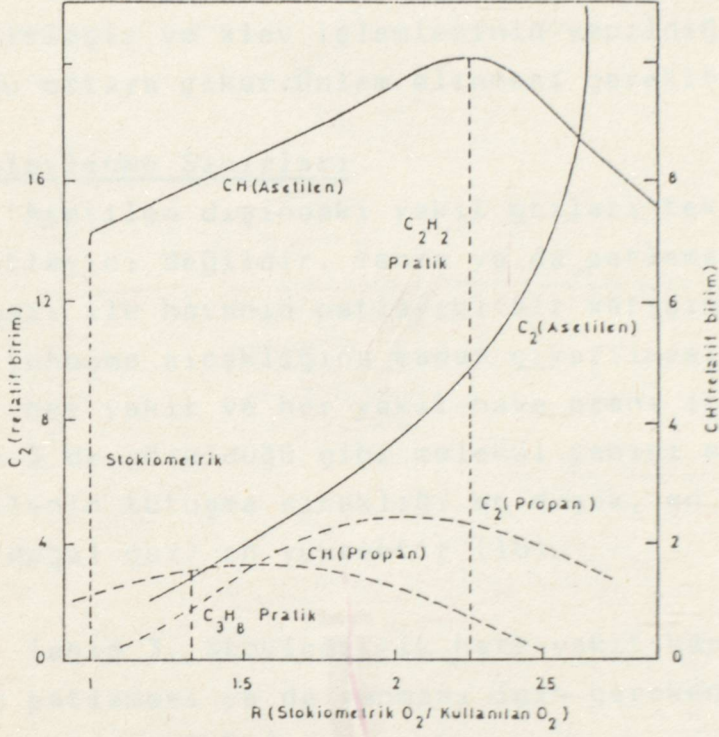
Biz denemelerimizin bir bölümünde ilk ve ikinci yanma bölgelerini, bir boru yardımıyla hava akımını engelleyerek ayırdık (Şekil 7).



Şekil 7. Hava difüzyonunun engellendiği durumda alev yapısı

Oksijen-gaz yakıt ön karışımli laminer alevlerde iç koni ucu adyabatik koşullara yakındır. Çünkü gaz alevlerinde, sıvı ve katı yakıt alevlerinden farklı olarak radyasyonla ısı iletimi düşüktür. Dolayısıyla sıcaklık 3000°C ' yi bulur ve bilinen hava-yakıt alevlerinden farklı olarak yalnız CO , CO_2 , H_2O , H_2 gibi kararlı bileşikler yanısıra H , OH , O , gibi normal sıcaklıklarda kararsız radikallerde bulunur (2).

H ve OH radikallerinin primer ve sekonder alev bölgesinde bulunmasına karşın CH ve C_2 çoğunlukla iç koninin içinde bulunurlar. Bu soğuk alevlerde ve düşük basınç alevlerinde olduğu gibi, endüstride kullanılan sıcak (3000°C) ve yüksek basınçlardaki alevlerde de, yanma kinetiğinin iç konide yakıtın radikallere ayrılması ile başladığını gösterir. Yakıtın değişik karışımlarında CH daha çok pratik endüstride kullanılan alevlerde, C_2 ise yakıtca zengin alevlerde maksimum değere ulaşır. Asetilen-oksijen karışımlarında yakıtça çok zengin ($R > 2.5$) alevlerde C_2 hızla artar, buna paralel olarak da is oluşumu gözlenir (Şekil 8) (8).



Şekil 8. İç koninin içindeki radikallerin ısınma şiddeti.

Ön karışımli alevlerde önemli bir özellik NO_x oluşumudur. $1400^{\circ}C$ yi aşan sıcaklıklarda havanın oksijen ve azotu birleşerek korozif ve sağlığa zararlı NO_x leri oluştururlar. Hava ile yanan ön karışımli alevlerde, ilk yanma bölgesinde ($2000^{\circ}C$) NO_x oluşumu vardır. Oksijenle yanan alevlerin ilk yanma bölgesinde NO_x oluşmaz; ancak ikinci yanma bölgesinde ($2000-2500^{\circ}C$) difüzyonla gelen havanın azotu oksijen ile birleşir ve alev işlemlerinin yapıldığı ortamlarda NO_x sorunu ortaya çıkar. Önlem alınması gerekir(12).

2.4. Alevlenme Sınırları

Asetilen dışındaki yakıt gazları tek başına yanıcı ya da patlayıcı değildir. Yanma ya da patlamanın olması için yakıt gazı ile havanın patlayıcı bir karışım oluşturması, sonrada tutuşma sıcaklığına kadar çıkarılması gerekir. Tutuşma oranı her yakıt ve her yakıt-hava oranı için değişiktir. Tablo 3'de görüldüğü gibi molekül yapısı en kararsız olan asetilenin tutuşma sıcaklığı en düşük, en kararlı olan metanın (doğal gaz) en yüksektir (10).

Tablo 3. Stokiometrik hava-yakıt karışımlarında, karışımın patlaması ya da yanması için gereken minimum sıcaklık (tutuşma sıcaklığı).

Gaz yakıt	C_2H_2	H_2	CO	CH_4	C_2H_6	C_2H_4	C_3H_8	C_4H_{10}
Sıcaklık($^{\circ}C$)	335	530	610	645	530	540	510	480

Alevin gaz karışımının bir tarafından diğer tarafına ısıl iletkenlikle yayıldığı varsayılırsa karışımın kompozisyonu alevlenme sınırları denilen iki sınır (alt ve üst) arasında değişmesi gerekir. Alt sınır aşağısında karışım bir sonraki dilimi tutuşturacak kadar sıcaklık veren bir yanma yapmaz yani yanma yapabilecek yakıtı içermez. Üst sınır üzerinde ise oksijen miktarı çok azdır.

Alevlenme sınırları, gaz karışımı içinde yakıt buharı ya da yakıt gazının hacim yüzdesi olarak tanımlanırlar. Termik karakteristikler üzerinde ya da yanıcı karışımla yanma arası (kapalı kaptaki alev, tüp, brülör vb.) arasında ısı alışverişine etkiyen tüm faktörler alevlenme sınırlarını değiştirirler. Alevlenme sınırları kabın şekli ve boyutlarıyla, kenarların cinsi ile, alevin yayılma yönü ile (yukardan aşağı inen, aşağıdan yukarı çıkan ya da yatay yayılma) ve tutuşturma türü ile değişirler.

Tablo 4. Alevlenme sınırları

Gaz		Alevlenme sınırları		Gözlemler
Yakıt	Yakıcı	Alt sınır	Üst sınır	
H ₂	Hava	9,4 8,7	71,5 75,5	(Suyla yarı doymuş reaktif) d=2,5; a.d.a doymuş reaktif küresel (1000 cm ³)
NH ₃	Hava	16,5 17,1	26,8 26,4	Küresel kap (500 cm ³) d=7,5 cm ; y.d.a
	O ₂	14,8	"	d=7,5 cm ; "
CS ₂	Hava	1,06	"	d=7,5 "
		1,91	35	d=7,5 "
CO	Hava	12,8	72	d=7,62 } a.d.a d=5,08 } d=2,54 } d=2,5 ; y.a
		13,1	72	
13,2		71		
15,9		"		
	O ₂	16,7	93,5	d=1,9 ; a.d.a
CH ₄	Hava	5.5	"	d=2.5 suyla doymuş } 5.35 14.85 d=7.5 " yarı doymuş } y.d.a 5.95 13.35 d=7.5 " " " } 6.30 12.80 d=2.5 " " " } a.d.a 6.1 " d=2.5 " doymuş }

Tablo 4 (devam)

Gaz		Alevlenme sınırları		Gözlemler		
Yakıt	Yakıcı	Alt sınır	Üst sınır			
	O ₂	5.4 6.3 5.8	12.80 " "	d=2.54 d=2.54 d=2.54	y.d.a a.d.a y.a	
C ₂ H ₆	Hava	3.12 3.15 3.15 3.22 3.26 3.32	14.95 14.8 12.85 11.75 10.15 10.0	d=7.5 d=5.0 d=7.5 d=5.0 d=7.5 d=7.0	y.a y.a a.d.a	Su ile yarı doymuş
C ₃ H ₈	Hava	2.4 2.4 1.92	7.3 6.69 5.50	d=2.5 d=2.0 d=2.0	y.a a.d.a y.d.a	Su ile doymuş
n-C ₅ H ₁₂	Hava	1.45	7.50	d=5.0	y.d.a	
C ₂ H ₄	Hava	3.02 3.20 3.33	34 23.7 15.5	d=7.5 d=7.5 d=7.5	y.d.a y.a a.d.a	Su ile yarı doymuş
C ₂ H ₂	Hava	2.60 2.68 2.78	80 78.5 71.0	d=7.5 d=7.5 d=7.5	y.d.a y.a a.d.a	Su ile yarı doymuş
C ₆ H ₆	Hava	1.41 1.46	" "	d=7.5 d=7.5	y.d.a y.a ; a.d.a	
CH ₃ OH	Hava	7.05 7.30 7.45 6.40	" " " 13.5	d=7.5 d=7.5 d=7.5 d=5.0	y.d.a y.a a.d.a y.a	Susuz Susuz
C ₂ H ₅ OH	Hava	3.56 3.70 3.75	" " "	d=7.5 d=7.5 d=7.5	y.d.a y.a a.d.a	Susuz
(C ₂ H ₅) ₂ O	Hava	1.71 1.75 1.85	48 40 6.40	d=7.5 d=7.5 d=7.5	y.d.a y.a a.d.a	Susuz

Tablo 4 (devam)

Gaz		Alevlenme sınırları		Gözlemler		
Yakıt	Yakıcı	Alt sınır	Üst sınır			
CH ₃ CHO	Hava	3.97	57	d= 7.5	y.d.a	} Susuz
		4.23	16.7	d= 7.5	y.a	
		21	48	d= 7.5	"	
		4.27	13.7	d= 7.5	a.d.a	
(CH ₃) ₂ CO	Hava	2.89	11.80	d= 7.5	a.d.a	} Susuz
		2.92	11.90	d= 7.5	"	
		2.93	8.60	d= 7.5	y.d.a	

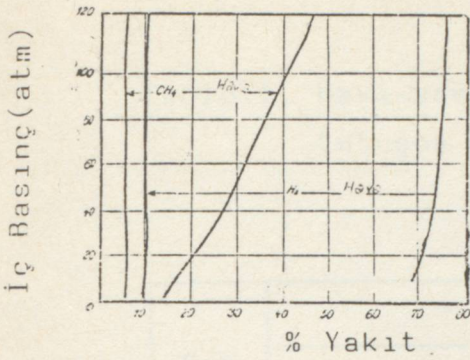
(d: Silindirik borunun çapı(cm); y.a: Yatay alev; y.d.a:yukarı doğru alev ; a.d.a: Aşağı doğru alev.)

Tabloda yukarıda sayılan faktörlerin etkisi, özellikle tüp çapının , yayılma yönünün etkisi görülmektedir.

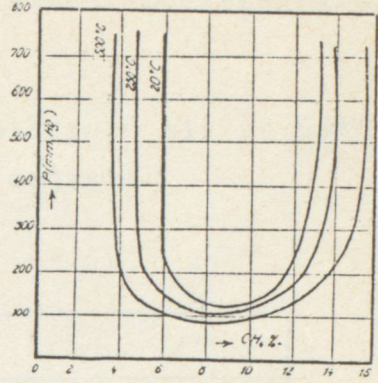
Genellikle tübün iç çapı 6-7 cm geçtiğinde iç çapın yanma hızına etkisinin kalmadığı varsayılır.

Alevlenme sınırlarını başlangıç basıncı ve sıcaklığı da etkiler: a) Belli bir basınçtan sonra basıncın yükselmesi tutuşma sıcaklığını düşürür. Alevin ısı iletkenlikle ilerleyebilmesini sağlayan tutuşma sıcaklığı yüksek basınçta yüksek olmayabilir. b)Diğer yandan yüksek basınçla da yakıt yüzdesi olarak alt sınır daha küçük, üst sınır daha yüksektir. Diğer bir deyişle tutuşabilirlik bölgesi gaz karışımının ısınmasıyla genişler. Bu 9. şekilde H₂- hava ve CH₄-hava karışımları için görülmektedir. Basınç düşürülürse tutuşabilirlik alanı daralır alt ve üst sınır birbirlerine yaklaşırlar ve öyle bir kritik basınca ulaşır ki bunun altında kompozisyon ne olursa olsun tutuşmaz. 10. şekilde CH₄-hava karışımları için bu durum görülmektedir.

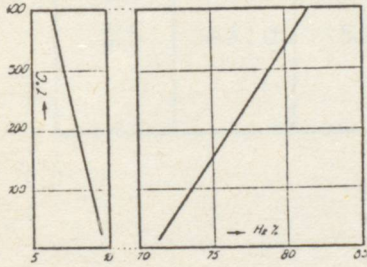
c) Başlangıç sıcaklığı yükseltirirse tutuşma bölgesi genişler. 540 °C de %90,45 H₂ içeren H₂-hava karışımında yani normal sıcaklıkta belirlenmiş üst tutuşma sınırının epeyce uzağında tutuşma sağlanabilmiştir. Aynı şekilde %92,9 CO içeren CO-hava karışımı 720 °C de tutuşturulabilmiştir.



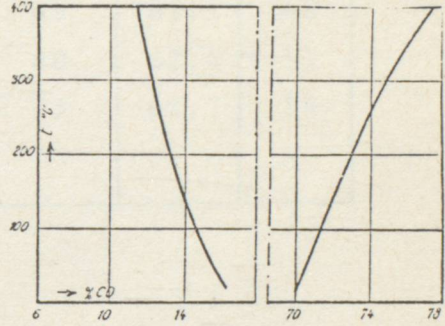
Şekil 9. CH_4 -hava ve H_2 -hava karışımlarında basıncın tutuşabilirlik sınırlarına etkisi.



Şekil 10. Basınç ve sıcaklığın tutuşma sınırlarına etkisi.



Şekil 11. Hava-hidrojen karışımlarında sıcaklığın tutuşabilirlik sınırına etkisi.



Şekil 12. Hava/CO karışımlarında sıcaklığın tutuşma sınırlarına etkisi.

10. şekil sıcaklık etkisini CH_4 -hava karışımlarında, 11. şekil H_2 -hava karışımlarında, 12. şekil CO-hava karışımlarında göstermektedir.

Tutuşabilirlik sınırları ısı iletilme mekanizmasına bağlı etkenler yanısıra, alevin başladığı ve yayıldığı iç çeperin cinsine de bağlıdır. Kabın kenarlarının önceki denemelerden etkilenen yapısı, tutuşabilirlik sınırlarını değiştirir.

5. tablo C_2H_2 -hava karışımları için çeşitli çaplardaki tüplerde, eşit deneysel koşullarda yukarı, aşağı ya da yana

yayılma için alt ve üst tutuşma değişimini göstermektedir.

Tablo 5. Hava-asetilen karışımlarının alt ve üst tutuşma sınırlarının değişimi

Çap (mm)	Yayılma					
	Yukarı		Aşağı		Yatay	
	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt	Üst
10	61,4	45	53,7	41	—	45
15	62,2	48	58,3	45	61,1	48
20	62,8	51	60,7	40	62,4	51
25	63,0	54	62,1	53	62,7	54

Tutuşabilirlik sınırlarına çeperlerin etkisinin incelendiği deneylerden şu sonuçlar çıkarılabilir :

1. Teorik açıdan gaz yakıtların tutuşabilirlik sınırları yalnız ısıl etkenlere değil, aynı zamanda çeperlerin durumu gibi kimyasal reaksiyon mekanizmasına bağlı etkenlere de bağlıdır.
2. Pratik açıdan tutuşabilirlik sınırları, iyi belirlenmiş deneysel koşullar için geçerlidir. Bilinen koşulların bazıları basınç, sıcaklık, kap boyutları, çeper cinsi ve alevin yayılma yönüdür. Bunlara son derece güç belirlenen çeper yüzeyinin durumunu da eklemek gerekir (7).

2.5. Alevlerinin Kimyasal Özellikleri

Alevler kimyasal yapıları açısından dörde ayrılırlar.

1- Nötr Alevler : Pratikte kaynak işlerinde kullanılır. Bu alevler ilk yanma bölgesinde indirgendir, hava katkısıyla ikinci yanma bölgesinde nötr olurlar. Bu tür alevlerde yakıtça zenginlik : Asetilen için $R=2,27$; propan için $R=1,33$; metan için $R=1,14$. Kullanılan nötr alevler çok sıcak değildir. Metalleri oksitlemedikleri için yükseltgen alevlere yeğlenir.

2- İndirgen Alevler : Nötr alevlerden yakıtça daha zengindirler. Çok indirgen alevler isli olmaları nedeniyle kullanılmazlar. Az indirgen alevler metalik yüzeylerden oksitleri gidermek için kullanılabilirler.

3- Yükseltgen (Oksidan) Alevler : Nötr alevlere göre oksijençe zengindirler. En sıcak alevler az yükseltgen alevlerdir. Oksijenle kesme işlemlerinde kullanılırlar.

4- Stokiometrik Alevler : ($R=1$). Yakıt ve oksijen stokiometrik oranlarda (1 mol H_2 + 0,5 mol O_2 ; 1 mol CH_4 + 2 mol O_2 ; 1 mol C_2H_2 + 2,5 mol O_2 gibi) önceden karıştırılır. Difüzyonla gelen havanın etkisiyle çok yükseltgendirler. Ancak hava almayan işlemlerde kullanılırlar (5).

Yanma ürünlerinin bileşimi, kimyasal, fiziksel ve ısı özellikleri yanma sırasında karıştırılan hava-yakıt oranına bağlıdır. Yakıtın tam olarak reaksiyona girdiği yani karbon dioksit ve suya dönüştüğü duruma stokiometrik yanma denilmektedir. Ancak her zaman yakıt-hava oranı stokiometrik değildir. Isıl işlemlerde kullanılan alevlerde yakıtça zengin, kazanlarda ise yakıtça fakir karışımlar kullanılır. Hava-yakıt oranlarını veren parametreler, hava fazlalık katsayısı (n) ve yakıtça zenginliktir (R) (10).

$$n = \frac{1}{R} = \frac{1 \text{ mol yakıt için kullanılan hava miktarı}}{1 \text{ mol yakıt için gerekli stokiometrik hava miktarı}}$$

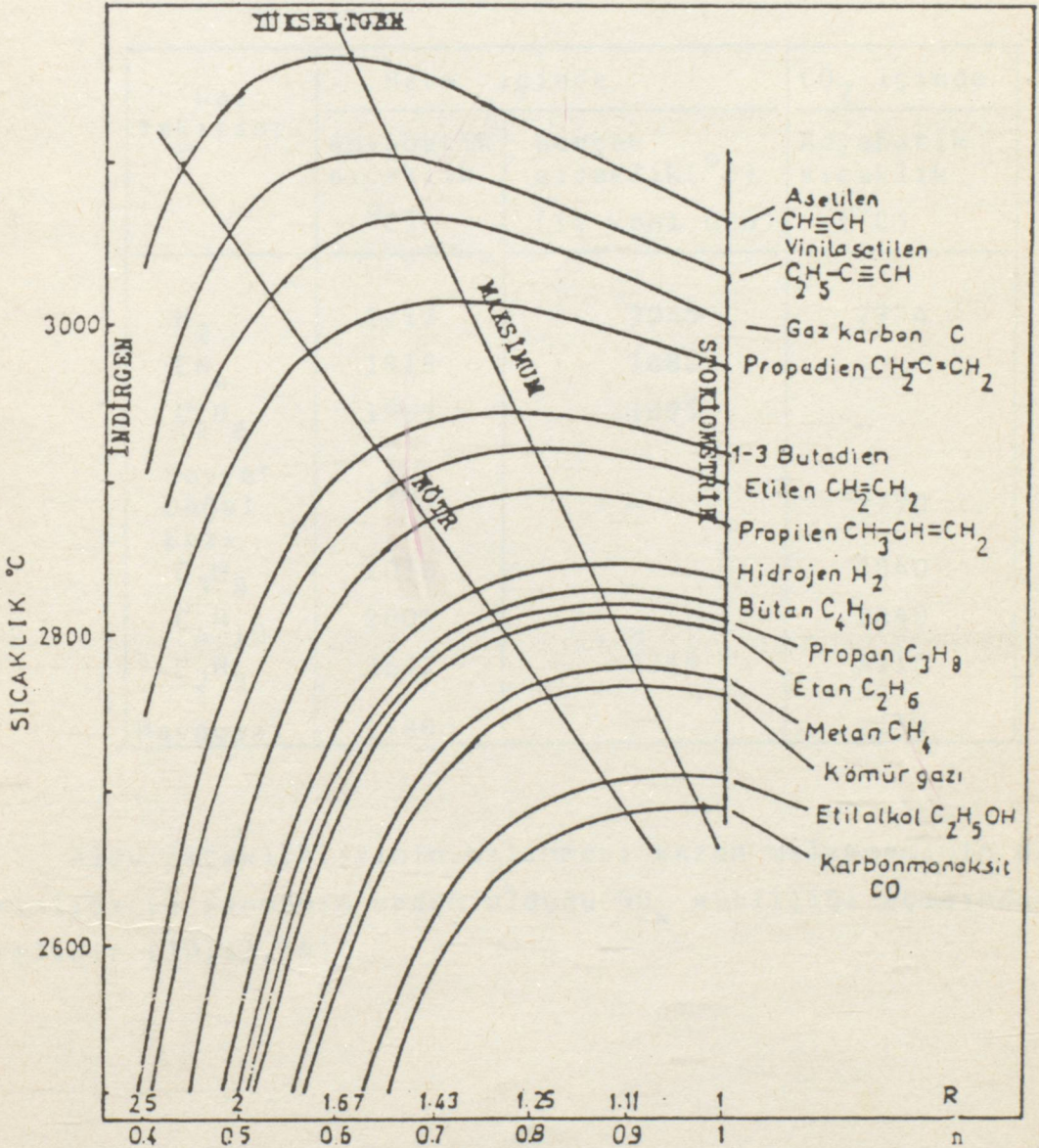
$R = 1$: Stokiometrik yanma

$R > 1$: Yakıtça zengin, havaca fakir karışım

$R < 1$: Yakıtça fakir, havaca zengin karışım

2.6. Alev Sıcaklığı

Alev sıcaklığı endüstriyel uygulamalarda önemli bir et- kendir. Yanma ile açığa çıkan ısı tümüyle yanma ürünlerini ısıtmak için kullanılmış ve dışarıya ısı iletimi olmamışsa; bu durumdaki sıcaklık adyabatik yanma sıcaklığıdır. Yakıt-oksijen karışımlarının yanma enerjisi ısıtma ve H, OH gibi radikalle- re ayrışmada harcanır. Şekil 13'te çeşitli yakıt-oksijen ka- rışımlarının yakıtça zenginliğin fonksiyonu olarak adyabatik sıcaklıkları görülmektedir.



Şekil 13. Hesaplanmış adyabatik alev sıcaklıkları

Gaz yakıtlarda, iç koninin ucunda radyasyonla ısı iletimi çok önemli olmadığından burada adyabatik sıcaklığa yaklaşılr. Yüksek sıcaklık için oksitleyici olarak hava yerine oksijen kullanılır. Bir mol yakıtın oksijenle yanması sonucu açığa çıkan ısı daha az miktarda yanma ürününe dağılacığından sıcaklık daha yüksek olur. Ayrıca oksijenle yanma hızı da artar.

Tablo 6. Gaz yakıtların stokiometrik karışımlarının alev sıcaklıkları

Gaz Yakıtlar	Hava içinde		CO ₂ içinde
	Adyabatik sıcaklık (°C)	Gerçek sıcaklık (°C) (iç koni ucu)	Adyabatik sıcaklık (°C)
H ₂	2210	2045	2974
CH ₄	1918	1880	—
C ₂ H ₆	1969	1895	—
Sovyet Doğal Gazı	1945	—	2770
C ₃ H ₈	2010	—	2840
C ₄ H ₁₀	2005	—	2840
C ₂ H ₂	2632	2319	3110
Havagazı	1980	—	2730

Alev sıcaklıklarının bilinmesi kazan malzemesinin dayanıklılığını ve yanmanın neden olduğu NO_x kirliliğini açısından önemlidir (10,13,14).

2.7. Alevden Metale Isı İletimi

Oksijenle yanan alevlerden açığa çıkan ısının metale iletimi üç şekilde olur.

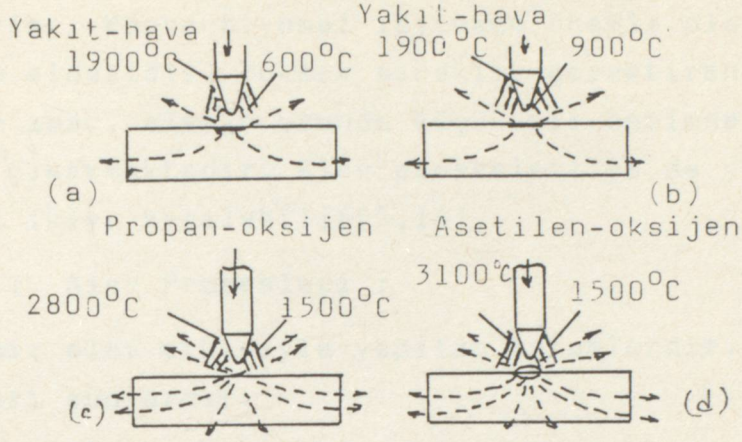
En önemli pay konveksiyona aittir. Konveksiyonla ısı iletimi, gazların sıcaklığının brülörden çıkış hızının ve yanma hızının bir fonksiyonudur.

Radyasyonla ısı iletimi, iç koninin ucunda 3000°C de bile % 8,5 dolayındadır. İç koni ucundaki sıcaklık adyabatik sıcaklığa yakındır.

İç koni uç sıcaklığı 3000°C dolayındadır. Metal parçası daha soğuktur (1500°C). 3000°C de kimyasal radikallere ayrılmış olan yanma ürünleri, 1500°C deki metal üzerinde egzotermik reaksiyonla birleşirler ve metale ısı iletirler. Bu ($H + H \rightleftharpoons H_2 + \text{ısı}$) dengesi sıcak alevde sol taraf, soğuk metal yüzeyinde sağ taraf lehinedir. Bu tür ısı iletimi havayla yanan alevlerde çok önemsizdir.

Alevlerin metale ısı iletibilmeleri için metal yüzeyin alevden soğuk olması gerekir. 1500-2000°C deki hava-yakıt alevleri metalik yüzeyleri 500-1000°C dolayına kadar ısıtabilir. Isı, alevden metal yüzeyine geçince, yüzey ısınır ve çevresine radyasyon, kondüksiyon ve konveksiyon ile ısı yayar. Zamanla alev/metal sıcaklık farkı azalır, metal/çevre sıcaklık farkı artar ve bir dengeye ulaşılır (Şekil 14).

Kaynak yapmak için metali eritmek gerekir. Bu 1500°C de eriyen çelik için 3000°C lik alev sıcaklığı gerektirir. Bu nedenle kaynak için asetilen-oksijen alevleri kullanılır (15,3).



Şekil 14. Sıcaklık farkının etkisi.

- Parçaya ısı gelişi, ısı kaybından fazla parça ısınır.
- Parçaya gelen ısı, giden ısıya eşit. Sistem dengededir.
- Isı gelişi, ısı kaybına eşit.
- Isı gelişi, ısı kaybından fazla, parça erir.

2.8. Gaz Yakıt- Oksijen Alevlerinin Kullanım Alanları

Yakıt gazları büyük çapta konvansiyonel ısıtma için kullanılırlar. Konvansiyonel ısıtmada önemli olan yüksek ısı verim eldesidir. Yüksek sıcaklık gerektiren alev proseslerinde amaç, alevin ucunda küçük bir hacimde, büyük bir güç açığa çıkarmaktadır. Alev prosesleri ya da yerel ısıtma prosesleri ikiye ayrılabilir(5,16).

2.8.1. Alev Prosesleri :

Yalnız alev etkisiyle yapılan işlemlerdir. Endüstriyel uygulamaları şunlardır:

Otojen Kaynak : İki metal parçasını eriterek birleştirme tekniğidir. Kaynağı yapacak alevi oluşturmada yakıcı gaz olarak genellikle oksijen kullanılır. Yanıcı gaz olarak asetilen, hidrojen, metan, propan, propan bütan karışımı (LPG) , havagazı , benzin veya benzol buharı kullanılmaktadır.

Kaynak tekniği açısından yanıcı gazın aşağıdaki koşullara sahip olması istenir:

- a- Yüksek bir ısı değer,
- b- " " alev sıcaklığı,
- c- " " tutuşma hızı,
- d- Erimiş haldeki kaynak banyosunu havanın zararlı etkilerine karşı koruyabilme,
- e- Artıksız bir yanma,
- f- Ucuz ve kolay üretilebilme.

Kaynak alevi incelenirken, alevin dört özelliği dikkate alınmalıdır:

- Kaynak alevinin ısısal özelliği: Alev sıcaklığının metallerin erime sıcaklığından yüksek olması gerekir. Çünkü iletkenlik, ısınma ve konveksiyon kayıpları kullanılan sıcaklığı önemli derecede düşürür.
- Kaynak alevin kimyasal özelliği: Kaynak yapılan metal ve alaşımın cinsine göre ya nötr ya da hafif redükleyici bir alev kullanılır. Oksitleyici bir alev, düşük mekanik özelliklere

sahip bir kaynak dikişinin ortaya çıkmasına neden olur.

- Kaynak alevinin endüstriyel özelliği : Bunlar pratik yönünden önemli olup, değerlendirilmelerinin güçlüğü nedeniyle ihmal edilen alevin kararlılık ve ayar elastikiyeti özellikleridir. Alevin kararlılığı, yanma hızına ve yanıcı gaz ile oksijen karışım oranına bağlıdır. Yanma hızı dikkate alınır, oksijen alevi diğerlerine göre daha kararlıdır. Yanıcı-yakıcı oranına göre alevlerin kullanım yerleri şöyle belirtilebilir:
- 1- Yanıcı : yakıcı oranı 1:1 olan nötr alevler bakır ve çelik kaynağında kullanılır.
 - 2- Oksijeni az, yanıcısı fazla ise tam yanma yoktur. (O_2 ve H_2) fazla miktardadır. Alüminyum kaynağında kullanılır.
 - 3- Oksijen fazla, yanıcısının az olduğu alevler piring (Cu-Zn alaşımı) kaynağında kullanılmaktadır.
- Kaynak alevinin ekonomik özelliği; iki etkene bağlıdır:
- a- Kaynağın yapılma hızı (alev sıcaklığının yüksek olması gerekir) ,
 - b- Yanma için gerekli oksijen miktarı (alevin maliyetine etkir) (17).

Lehim : Heterojen bir birleştirme yöntemidir. İki metalik malzeme, kendileri erimedenden, erime derecesi daha küçük olan bir ek malzemenin (lehim alaşımı) erimesiyle birleştirilirse, bu işleme lehim adı verilir. Lehim alaşımları, pratikte her çeşit probleme cevap verebilecek çeşittedir. Uygulamada tel, çubuk, levha, çeşitli formda parçacıklar, talaş, tane ve toz biçiminde bulunur.

Lehimleme işlemi, lehimin erime sıcaklığına göre ikiye ayrılır. Erime sıcaklığı $450^{\circ}C$ nın altında ise birleştirmeye yumuşak lehimleme, $450^{\circ}C$ nın üzerinde ise sert lehimleme adı verilir. Erime derecesi $900^{\circ}C$ nın üzerinde olanlara da Yüksek Sıcaklık Lehimleri denir.

Lehimlemenin kaynaktan farkı, birleştirilecek esas malzemenin erimemesi ve lehimleme sıcaklığının da, birleştirilen parçaların erime sıcaklığından daha küçük olmasıdır.

Diğer alev prosesleri ise; alevle yüzeysel tavlama, temizleme, metal kaplama ve bazı metallerin eritilmesidir.

Alevle temizleme, metallerin yüzeyindeki oksitlerin ani ısıtmanın verdiği ısıl şok ile temizlenmesidir. Pasın hızla ısıtılmasıyla ortamdaki uzaklaşan su buharı, demir oksitleri toz haline getirir ve döker.

Metal kaplama sırasında, alevle kaplama metali birlikte, toz halinde püskürtülür.

Birtakım metallerin eritilmesine, bu sırada metalin oksitlenmesini önlemek için, indirgen bir doğal gaz aleviyle eşlik edilebilir (18).

2.8.2. Oksijen Prosesleri

Kesme hattında, metal malzemeye oksidasyon sıcaklığına (yakma sıcaklığına) kadar ön ısıtma (tavlama) yapılır. Bu sıcaklık 760°C - 870°C dolayındadır ve bu sıcaklığa kadar ısıtılan metal parlak kırmızı bir renk verir. Bu sırada o bölgeye gönderilen oksijen, metalin ani olarak metal oksidi olmasını sağlar. Oksijenle kesmede koşul, oluşan metal oksidin erime sıcaklığının, esas metalin erime sıcaklığından daha düşük olmasıdır. Böylece metal eritilmeden, kesme hattı boyunca oksit haline getirilmiş metal eritilerek ve yanmış gazlar basınçlı oksijen tarafından kesme ağzından uzaklaştırılarak kesme gerçekleştirilmiş olur.

Belirtilen oksit-termal kesme koşulları için, oksit-asetilen, oksit-propan ve oksit-doğal gaz alev sıcaklıkları ve ısıları yeterlidir. Bu üç alevin kullanılmasında % 0,25'e kadar karbon içeren düşük karbonlu çelikler bir problem çıkarmazlar. Çok az alaşımlı ve % 0,30'un üzerinde karbon içeren orta karbonlu çeliklerde, kesme kenarında biraz sertleşme görülebilir. % 0,35'in üzerindeki karbonlu çeliklerde ise, kesme kenarı çatlamalarını önlemek için 260°C - 315°C dolayında malzemeye kesmeden önce ön tavlama uygulamak gerekir (19).

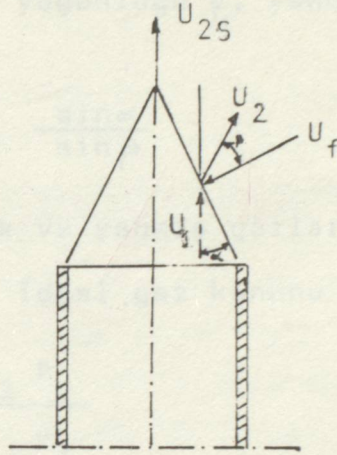
Eğer bir metalin oksitinin erime noktası metalin kendisinin erime noktasından daha yüksekse; bu metal, oksijen akı-

mına sıcak demir tozu verilerek kesilebilir. Demir tozu yararlanarak, metalin kesilmesi için gerekli sıcaklıkta bir sıvı püskürtür (8).

3. YANMA HIZI ÜZERİNE GENEL BİLGİLER

3.1. Yanma Hızı Ölçümünde Kullandığımız Yöntem

Ön karışımli alevlerin ilk yanma bölgesinde kimyasal reaksiyon, soğuk karışımın ısı iletkenlikle ısıtılması sonucu olur. Buna karşın ikinci yanma bölgesinde, ilk yanma bölgesinden gelen gazların difüzyonla gelen havayla karışması belirleyici rol oynar. Bizim incelediğimiz ilk yanma özellikleridir.



Şekil 15. Hamlaç ucunda yanma hızının bulunması.

Karışımın akış ve yanma hızı arasındaki eşitlik şöyledir:

$$U_f = U_1 \cdot \sin\alpha$$

Burada α , U vektörünün yanma yüzeyi ile yaptığı açıdır. Ayrıca ilk yanmadan çıkan gazların U_2 hızı, β açısı yapar.

U_f yanma hızı ve gazların U_1 çıkış hızı, iç koninin S yüzeyi boyunca değişirler. Ancak U_f değerinin bütün yüzey boyunca ortalaması olan bir \bar{U}_f değerinin bütün yüzey boyunca ortalaması olan bir \bar{U}_f yanma hızı bulunabilir.

$$\bar{U}_f = \frac{1}{S} \iint U_f ds$$

$$\bar{U}_f = \frac{1}{S} \iint U_1 \sin\alpha ds = \frac{1}{S} \iint U_1 dS_t = \frac{Q_T}{S}$$

Eğer iç koni yeterince koniye benziyorsa ve iç koninin

önemli bir bölümü brülörün ağzından uzaktaysa U_f' teki değişiklikler çok önemli olmaz. Dolayısıyla da \bar{U}_f değeri, karışım için aynı değeri alır, hamlaç ağzı ve toplam gaz debisinden bağımsız hale geçer.

Biz bu tezde yanma hızının, \bar{U}_f değerinin ne denli sabit olduğunu inceledik. Asetilen-oksijen gaz karışımları kullanarak en olumsuz koşullarda çalıştık.

İç koninin ucunda gazların çıkış hızı :

Soğuk karışım yoğunluğu ρ_1 , yanmış gazların yoğunluğu ρ_2 ise ;

$$U_{2S} = \frac{\rho_1}{\rho_2} U_1 \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$$

T_1 ve T_2 soğuk ve yanmış gazların sıcaklığı; n_1 ve n_2 mol sayıları olsun. İdeal gaz kanunu geçerli sayılırsa;

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{n_2 T_2 P_1}{n_1 T_1 P_2}$$

İç koninin tepesinde $\alpha = \frac{\pi}{2}$, $\beta = 0$;

$$U_{2S} = \frac{\rho_1}{\rho_2} \cdot U_1 = \frac{n_2 T_2 P_1}{n_1 T_1 P_2} U_1$$

Yanma bölgesinde basınç düşüşü çok zayıf olduğu için (hava ile yanmada bir kaç mm, oksijenle yanmada birkaç cm) $P_1 = P_2$ alınabilir.

$$U_{2S} = \frac{n_2 T_2}{n_1 T_1} \cdot U_1$$

İç koninin tepesinde $n_2 T_2$, $n_1 T_1$ ve soğuk gazların hızı (U_1) bilindiğinde (U_{2S}) hesaplanabilir.

Alev işlemlerinde kullandığımız nokta iç koninin,ucu olduğu için, bu noktada (U_{2S})'i hesaplamak, alev işlemlerinin etkinliğinin ölçümünde önemli bir parametredir(3,10,20,7).

3.2. Yanma Hızının Uygulamadaki Önemi

Bu bölümde yanma hızlarının endüstride ya da gündelik yaşamdaki önemi konusunda birkaç örnekten söz edeceğiz.

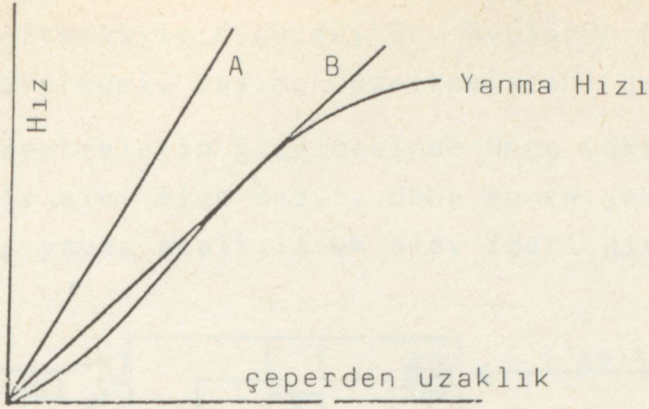
3.2.1. Alevlerin İçten Yanması

Yanma hızı, alevin brülör içine girip içten yanmasının önlenmesi için incelenmesi gerekli bir büyüklüktür. R.F.Suddendorf ve M.B.Denton'un spektroskopide kullanılan H_2-O_2 ve $C_2H_2-O_2$ alevlerinin yanma hızları üzerine yaptıkları çalışma aşağıda özetlenmektedir (21).

Bir brülör ağzında ön karışımlı kararlı bir alevin yakılabilmesi bir çok etkene bağlıdır. Tutuşma sırasında yakıt-oksitleyici karışımlar bir reaksiyon bölgesi (alev cephesi) oluştururlar. Yanma hızı denilen alev yayılma hızı, çıkan gazların hızından az ise alev brülör ağzından uçar. tam tersi olduğunda; yani yanma hızı yakıt gazlarının çıkış hızını geçtiğinde alev brülör ağzından içeri girer, içten yanma olur. Bu iki uç arasında (uçma ve içeri girme), yanma hızının gaz karışım hızıyla dengelendiği durumlarda kararlı alev görülür.

Genel olarak yanma hızı alev cephesinin çoğu yerinde aynı biçimde olmasına karşın bek kenarlarında; delik duvarlarının ani soğutma etkisi ile sığırma düşer. Bu nedenle soğuk delik çeperleri, alevin içeri girip yanmasını önleyici bir etkiye sahiptir. Çeperden (duvardan) kısa bir uzaklıkta (ani soğutma uzaklığı) gaz karışımının yanma hızı artar. Bu bölgede içeri girme, gazların çıkış hızını yanma hızından fazla tutarak önlenir (Şekil 16). Eğer alevin herhangi bir bölgesinde gaz akış hızı, yanma hızı altına düşerse ya da brülör sıcaklığı, delik duvarının ani soğutma etkisini azaltacak kadar yükselirse alev içeri girer ve içten yanma olur.

Çıkış deliği çapı küçülürse, delik duvarının soğutma etkisi daha önemlidir. Bu durumda hem gaz karışımının yanma hızı, hem de brülör ağzından ısı iletimi değişir, böylece düşük gaz çıkış hızları kararlı bir alevi taşıyabilir.



Şekil 16. Alev içeri girme durumları:

(A: İçeri girme yok; B:İçeri gireceği noktalar)

Alevin içeri girmesinde brülör uç sıcaklığı da önemlidir. Duvar deliğinin akış ve yanma hızını değiştirmesi yanı sıra gaz reaksiyonlarını soğutma etkisi de vardır. Bu, gaz karışımında zincir taşıyıcı reaksiyonlar için gerekli aktivasyon enerjilerini düşürerek içeri girmeyi önler.

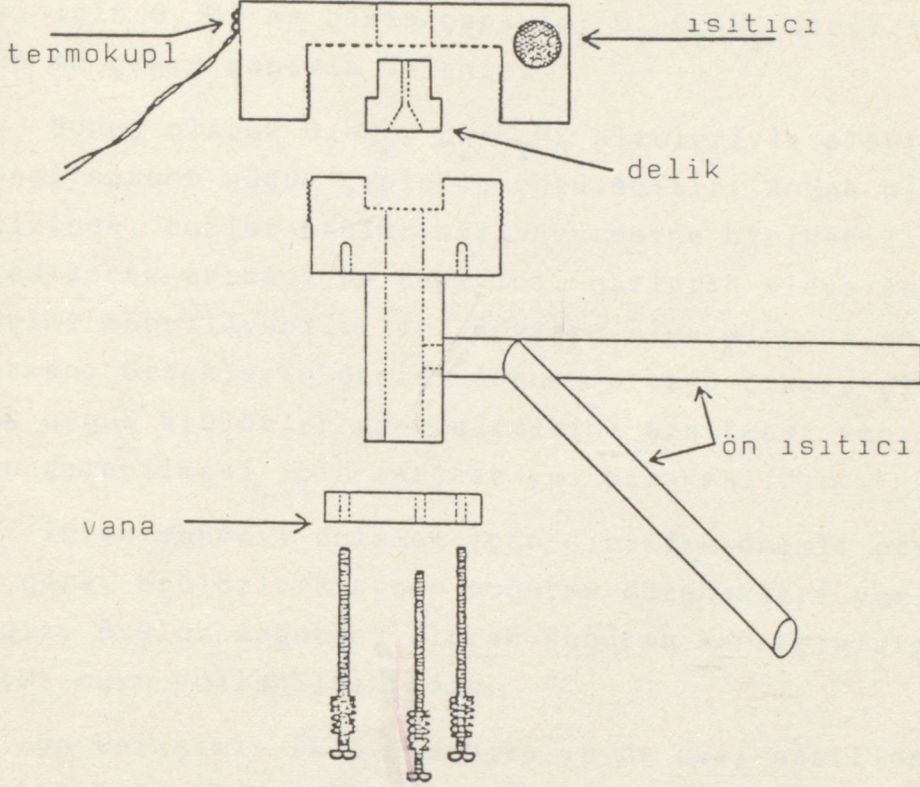
R.F. Suddendorf ve M.B.Denton tarafından yapılan çalışmada tek delikli bir brülör tasarımı tanımlanmış ve ön karışımli O_2-H_2 ve $O_2-C_2H_2$ alevleriyle çalışacak iyileştirilmiş brülörlerin tasarımı için gerekli veriler verilmiştir.

Alevin içeri girme parametrelerinin belirlenmesi için kullanılan brülör, patlama basıncına dayanacak sağlamlıkta, temel gaz karışımının karışmasını ve bu karışımın ön ısıtılmasını sağlayacak biçimde tasarlanmıştır. Brülör; temel, baş ve hareketli borudan (piston) oluşmuştur(Şekil 18).Yakıt ve oksitleyici yüksek türbülanslı bir bölgede karışırlar ve küçük bir odadan ($2,5 \text{ cm}^3$) geçerler. Bu oda içeride patlama etkisini azaltır. Basıncılı, yaylı ani giriş vanası içerdeki patlamanın etkilerini azaltmak için brülör altına yerleştirilmiştir. Ön ısıtma bakır boruda (5 inç) her gaz karışmadan önce olur. Boruların sıcaklığı, brülörün diğer bölgeleleriyle aynıdır. Brülör başı sıcaklıkları bir demir konstantan termokupl ile ayarlanmıştır. Bakır pistonun çapı 1,5cm dir ve temel ile baş arasında sıkıca tutulmaktadır.

Gaz akış hızları debimetreyle, sıcaklık su buharı ba-

sıncı düzeltmesiyle ölçülmüştür. Brülörün gaz akış hızına az direnç göstermesi, basınç düzeltmelerini gereksiz kılar.

Parametrelerin ölçülmesinde önce yakıt ve oksijenden kararlı bir alev elde edilir, daha sonra yakıt ve oksijen debisi yavaş yavaş azaltılarak alev içeri girene kadar azaltılır.



Şekil 17. Brülör delik kesiti.

18 ve 19' . şekillerde çeşitli zenginlik ve çıkış çaplarında içten yanmaya yol açan toplam debiler görülmektedir. Delik çapının azalmasıyla alevin girmesine neden olan toplam debi de düşer (küçük çaplardaki soğutma etkisi artması).

Bir brülör çeperinin ani soğutma etkisi, duvarın soğutma ve gaz karışımındaki zincir taşıyıcı reaksiyonları yok etmesine bağlıdır. Brülör sıcaklığının artması bu etkiyi azaltır. Sıcaklık kontrolü ile ani soğutmanın sıcaklıkla değişimi incelenebilir. Şekil 20 ve 21 , 373-473 ve 573 K de toplam gaz akış hızı değişimini göstermektedir. Bu şekillerde sıcaklık artışının içten yanmayı önlemek için istenen toplam debiyi arttırdığı görülmektedir. Bu, brülör ağzına ısı iletimi,

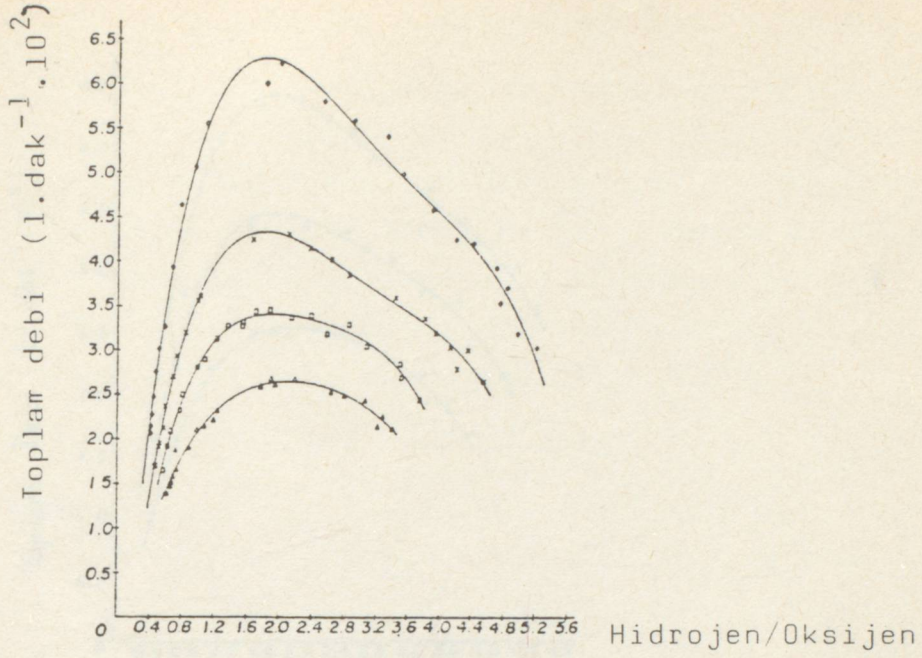
brülör ağız ile alev arasındaki sıcaklık farkının düşmesi ile azalır.

Alev spektrometrisinde kullanılacak brülörlerde, içten yanma olasılığını azaltmak ya da yok etmek gereklidir. Çeşitli çıkış çapları incelenerek uygun delik çapları belirlenebilir. Eğer brülör başı sıcaklığı 573 K ise, geri dönme O_2-H_2 alevi için 0,368 mm çıkış çapıyla; $O_2-C_2H_2$ alevi içinse 0,406 mm çıkış çapıyla önlenir.

Sonuç olarak O_2-H_2 , $O_2-C_2H_2$ alevleriyle alevin içeri girmesi sorunu küçük çaplarla çözülebilir. Ancak bir çözelti analizinde, tuzlar brülör ağız çevresine birikebilir ve analiz edilecek aerosol ve taşıyıcı, gazların alev serbestçe geçişini engelleyebilirler. Böylece alev girmesi sorunu çözüldürken, örneklerin geçişi sorunu ortaya çıkmış olur. Yapılacak uygun brülörler alev girmesini azaltması yanısıra örneğin gelebilmesi için serbest yol bırakmalıdır.

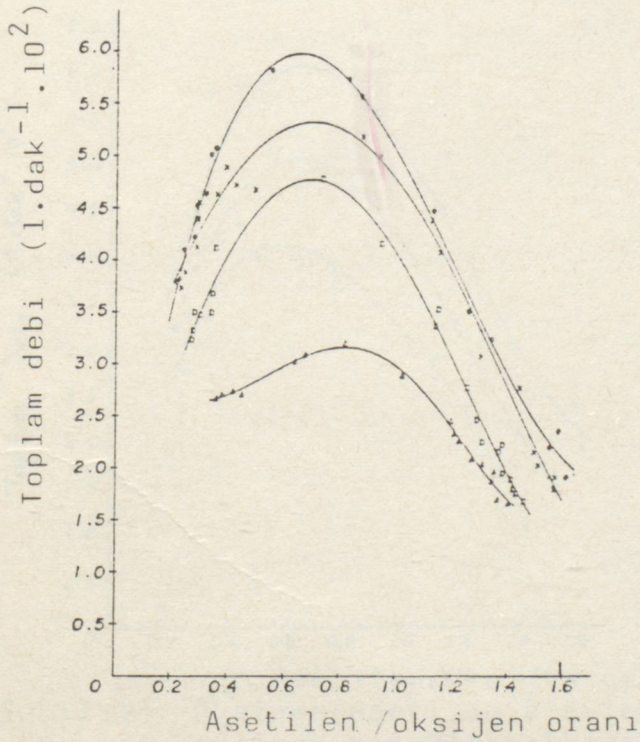
İçten yanmayı önlemek için sıcaklık önemli etken olduğuna göre, brülörlere uygun soğutma düzenekleri yerleştirilmelidir. Brülör soğutucu olarak soğutma kanatçıkları ya da soğutma suyu kullanılmaktadır.

Ön karışıklı oksijen-hidrojen ya da oksijen-asetilende güvenle kullanılabilen bir brülörün; çıkış çapı, yakıt-oksitleyici oranı ve brülör başı sıcaklığını içeren parametrelere bağlı olduğu görülmüştür.



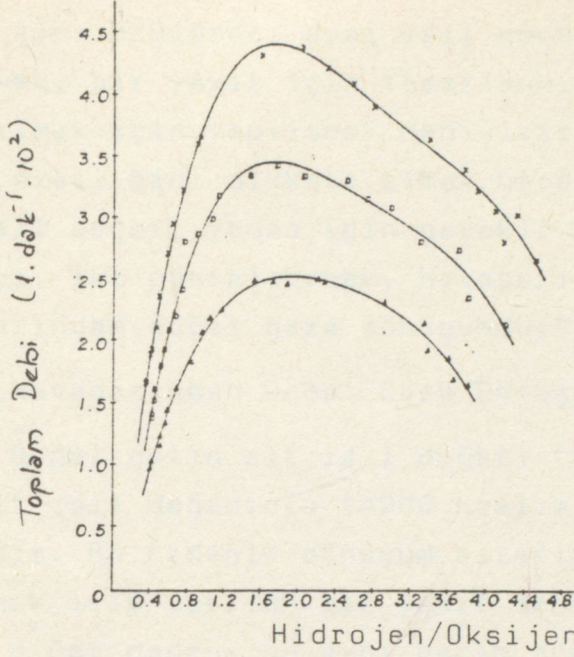
Şekil 18. Oksijen-hidrojen alevlerinin içeri girmesinde toplam gaz debisi.

(Brülör sıcaklığı 573 K, delik çapları: $\Delta=0,572$ mm; $\square=0,660$ mm; $\times=0,742$ mm; $\diamond=0,812$ mm)

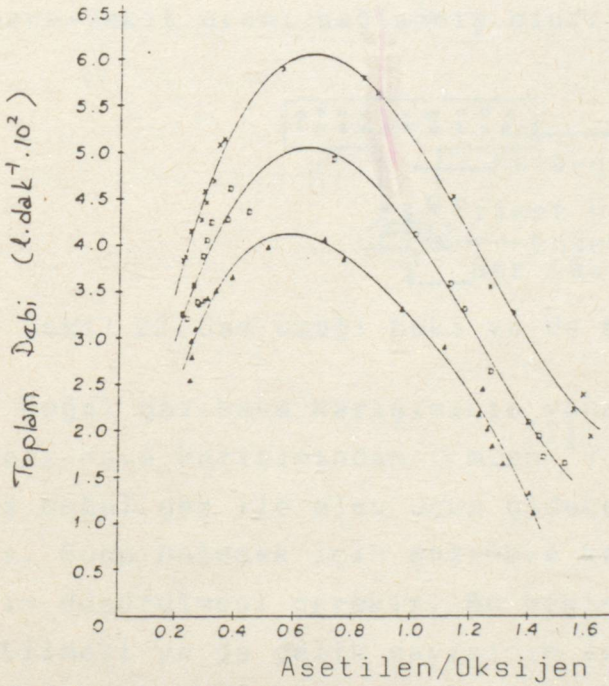


Şekil 19. Oksijen-asetilen alevlerinin içeri girmesinde toplam gaz debisi. (Brülör sıcaklığı 573 K, Delik çapları: $\Delta=0,508$ mm; $\square=0,533$ mm;

$\times=0,572$ mm; $\diamond=0,610$ mm.)



Şekil 20. Oksijen-hidrojen alevlerinin içeri girmesinde sıcaklık etkisi. (Delik çapı 0,742 mm. Brülör sıcaklığı $\Delta=373$ K; $\square=473$ K; $\times=573$ K)



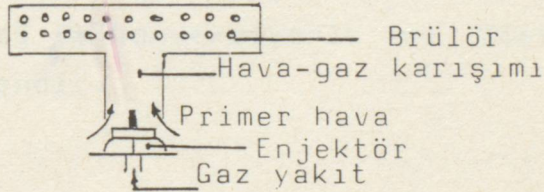
Şekil 21. Oksijen-asetilen alevlerinin içeri girmesinde sıcaklık etkisi. (Delik çapı 0,610 mm, Brülör sıcaklığı: $\Delta=373$ K; $\square=473$ K; $\times=573$ K)

3.2.2. Gaz Yakıtlar Arasında Dönüşüm

Aynı brülörde, aynı ısıl gücü çeşitli yakıtlarla sağlayabilmek, bir yakıt için tasarlanmış yakıcıda başka bir yakıt kullanabilmek için yapılacak değişikliklerde, ilgili gazların üç yanma özelliğini dikkate almak gerekir: Birim hacim başına alt ısıl değer, yanma için gerekli olan hava miktarı ve yanma hızı. İki güncel örnek, havagazı ve sıvılaştırılmış petrol gazından doğal gaza dönüşümdür(22).

—Havagazından Doğal Gaza Dönüşüm:

Doğal gazın alt ısıl değeri (8540 kcal.m^{-3}), havagazının alt ısıl değerinin (4000 kcal.m^{-3}) iki katından biraz fazladır. Bu nedenle dönüşüm sırasında aynı gücü(ısı yükünü) sağlamak için verilen gaz yakıt debisi yarıya düşürülmelidir. Bunun diğer nedeni de aynı hacim doğal gazın, havagazının iki buçuk katı havayla yanmasıdır. Basıncın düşürülmesi düşünülebilir. Fakat o zaman emilen primer hava debisi düşer, yanma sarı alevle olur. Bunu önlemek için, yakıt debisini düşürme enjektör çapını daraltarak yapılır (Şekil 22). Böylece istenen hava-yakıt oranı sağlanmış olur.



Şekil 22. Gaz ocağı beki ya da brülörü

Doğal gaz-hava karışımının yanma hızı ($0,43 \text{ m.sn}^{-1}$), havagazı-hava karışımından (1 m.sn^{-1}) düşük olduğundan, aynı ocakta doğal gaz ile alev uçup gidecek ve alev kopukluğu olacaktır. Bunu önlemek için gaz-hava karışımının bekten çıkış hızının düşürülmesi gerekir. Bu bekin alev deliklerinin genişletilmesi ya da delik sayısının artırılması ile yapılır.

—Sıvılaştırılmış Petrol Gazlarından Doğal Gaza Dönüşüm:

Sıvılaştırılmış petrol gazlarının alt ısıl değeri

(22.200 kcal.m⁻³) , doğal gazın alt ısı değerinin (8540 kcal.m⁻³) üç katına yakındır. Bu nedenle doğal gaz kullanıldığı zaman bekten geçecek yakıt debisi, sıvılaştırılmış petrol gaz debisinin üç katı olmalıdır. Bu enjektör çapının genişletilmesiyle sağlanır.

Aynı ısı gücü verecek gaz-hava karışımının debisi doğal gaz için sıvılaştırılmış petrol gazına göre biraz daha fazla; doğal gaz-hava karışımının yanma hızı ise (0.43 m.sn⁻¹) sıvılaştırılmış petrol gazı-hava karışımından (0.5 m.sn⁻¹) biraz düşük olduğundan bu dönüşüm sırasında bek deliklerinin çapı ve kesiti aynı bırakılmalı ya da biraz artırılmalıdır.

3.2.3. Isı İletimi

Gazlar brülörden ne kadar hızlı çıkarsa konveksiyonla ısı iletimi o kadar iyi olur ve birim zamanda verilen ısı güç de yüksek olur. Ancak brülörden çıkan gazların debisi belli bir değeri aşarsa kararlı alev elde edilemez; alev uçar. Bir gaz karışımının yanma hızının yüksek olması, o gaz karışımının alevin kararlılığı bozulmadan fazla debide verileceğini gösterir. Diğer bir deyişle; belli bir brülör için yanma hızı, ısı gücü ve konveksiyonla ısı iletimini sınırlayan en önemli etkidir.

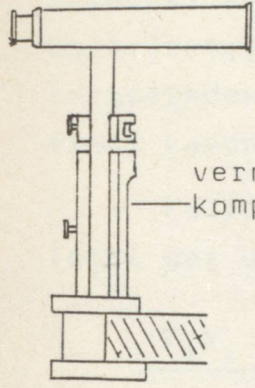
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Deney Düzenegi

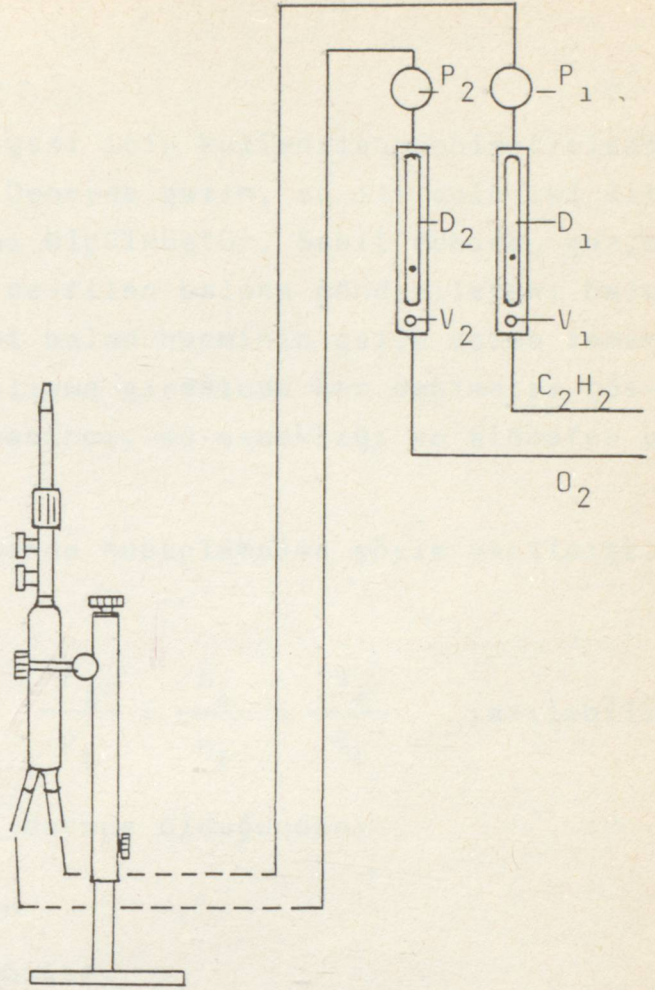
$O_2-C_2H_2$ ön karışımli alevlerin yanma hızının belirlenmesi için alevin iç koni yüksekliği katetometre ile ölçülmüştür. Katetometre, iki nokta (alev çıkış noktası ile iç koni tepesi) arasındaki düşey uzaklığı ölçmek için kullanılan bir alettir.

Şekil-23 de görüldüğü gibi tüplerden gelen gazlar, debimetre ve manometreden geçerek hamlaca girmektedir. Denemeler sırasında gazların debilerinin belirlenmesi amacıyla debimetreler kalibre edilmiştir. Her yakıtça zenginlik değeri için ayarlanan debilerde gaz çıkış basıncı manometrelerden okunmaktadır.

Kaynak koluna asetilen gazı, oksijen gazının emmesiyle girer. Karışan gazların yakılmasıyla elde edilen alevin, istenen debi değeri debimetre ile ayarlanarak kararlı hale gelmesi beklenir. Alevin iç konisi katetometreye bağlı olan verniyeli kompas ile ölçülür.



- Katetometre



Şekil 23. Deney düzeneği

D_1, D_2 : Bilyalı debimetreler (asetilen gazı debimetre bilyası carboloy, oksijen gazı debimetre bilyası tantal)

V_1, V_2 : Debimetre vanaları

P_1, P_2 : Manometreler

4.2. Kalibrasyon Çalışması

Asetilen ve oksijen gazı için kullanılan debimetrelerin kalibrasyonu yapılmıştır. Deneyde gazın, su ile dolu iki litrelik hacmi boşaltma zamanı ölçülmüştür. Sabit debide, gaz, su ile dolu kaba ters olarak çevrilen balona gönderilerek; balon içindeki suyu boşaltma yani balon hacminin gazla dolma zamanı belirlenmiştir. Yapılan çalışma sırasında her debimetre göstergesindeki gazın çıkış basıncı, su sıcaklığı ve atmosfer basıncı kaydedilmiştir.

Kalibrasyon çalışmasında hesaplamalar şöyle yapılmıştır. İdeal gaz denkleminde;

$$\frac{P_i V_i}{P_T V_T} = \frac{n_i RT}{n_T RT} \implies \frac{P_i}{P_T} = \frac{n_i}{n_T} = \frac{V_i}{V_T} \quad \text{yazılabilir.}$$

Gaz karışımı su buharı ile doymuş olduğundan;

$$P_{\text{atm}} = P_{\text{su}} + P_{\text{akışkan}}$$

aşağıdaki eşitliğe ulaşılabılır.

$$\frac{P_{\text{atm}} - P_{\text{su}}}{P_{\text{atm}}} = \frac{V_{\text{akışkan}}}{V_T}$$

Örneğin oksijen gazı için yapılan bir denemede, su sıcaklığı 14 °C ve atmosfer basıncı 768 mmHg idi.

14 °C de $P_{\text{su}} = 11.9807$ mmHg olduğuna göre;

$$\frac{768 - 11,9807}{768} = \frac{V_{\text{akışkan}}}{2}$$

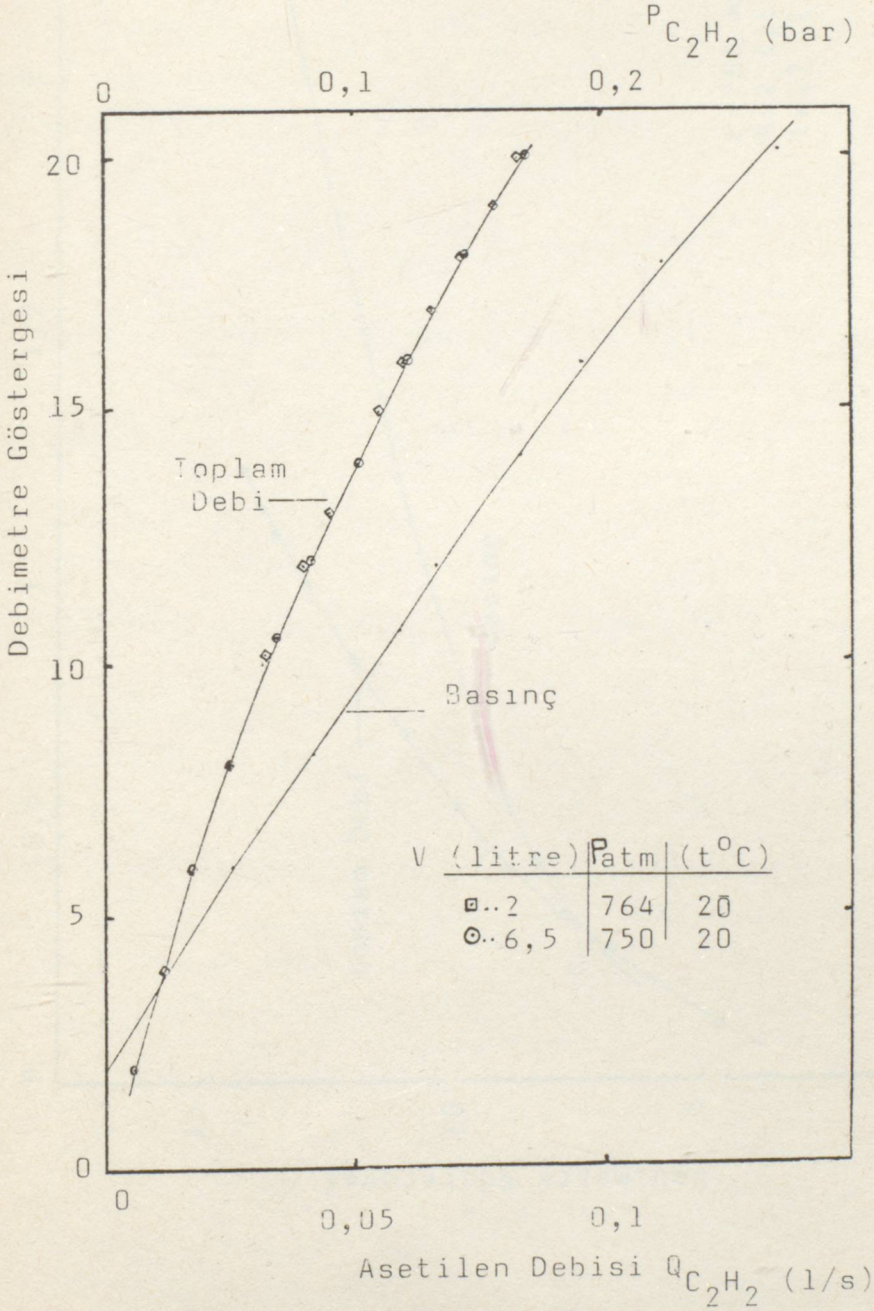
$V_{\text{akışkan}} = V_{O_2} = 1,968$ litre olarak bulunur.

Geçen süre ve gaz hacmi bilindiğine göre gazlar için debi hesaplanabilir.

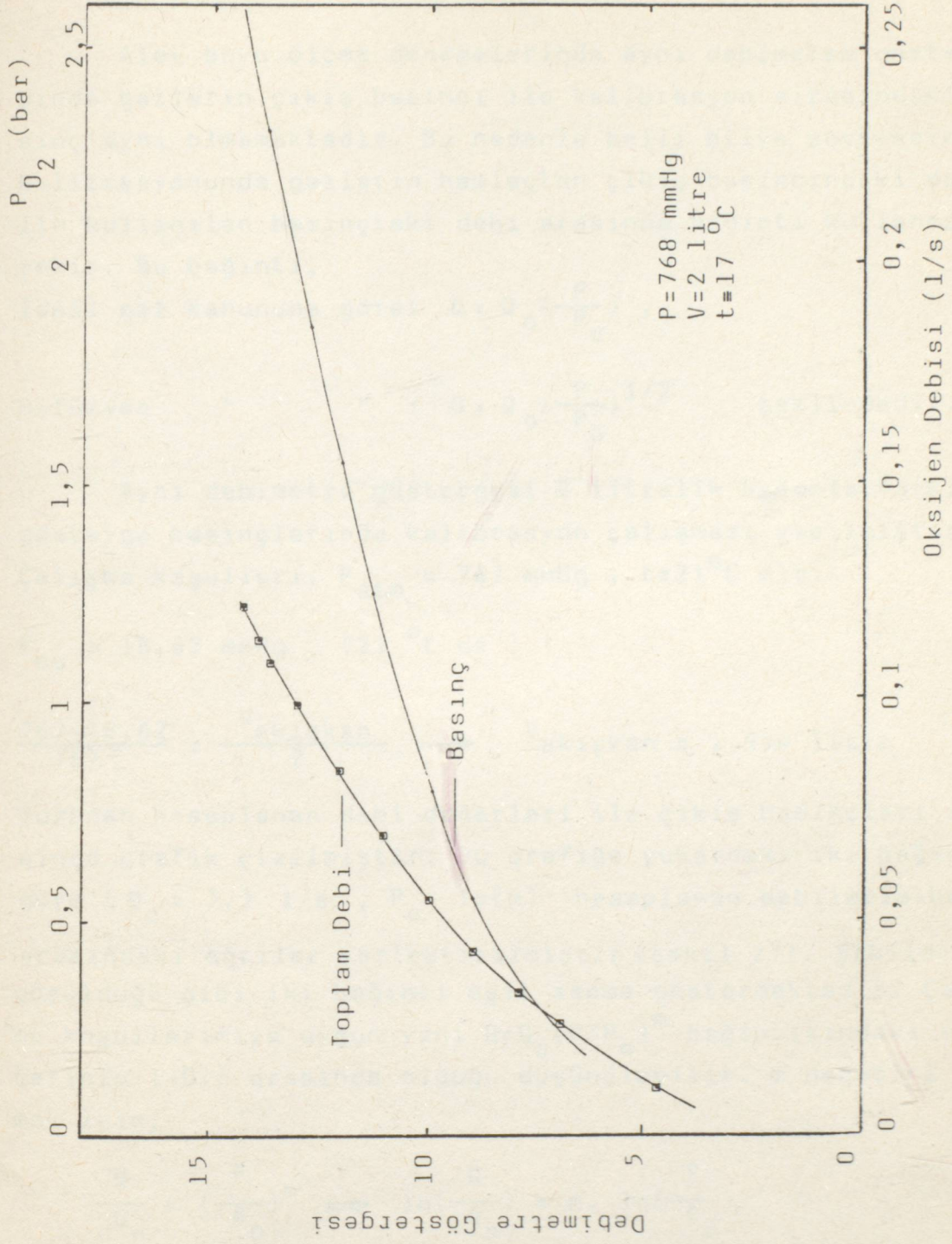
Kalibrasyon çalışması, balondaki suyun boşalması için

geçen zamanın ölçülmesinde olabilecek hatayı aza indirmek için 6,5 litrelik balonla tekrar yapılmıştır. Sonuçlar karşılaştırıldığında yüksek debilerde çok az sapma olduğu görülmüştür.

Oksijen ve asetilen gazlarına ait kalibrasyon eğrileri şekil 24-25 de görülmektedir.



Şekil 24. Asetilen gazı kalibrasyon eğrisi
(Debimetre bilyası: Carboloy; 3 nolu kaynak kolu)



Şekil 25. Oksijen gazı kalibrasyon eğrisi
(Debimetre bilyası: Tantal ; 3nolu kaynak kolu)

4.3. Gazların Debi Hesaplamasında Kullanılacak Olan Bağıntının Belirlenmesi

Alev boyu ölçme denemelerinde aynı debimetre göstergesinde gazların çıkış basıncı ile kalibrasyon sırasındaki basınç aynı olmamaktadır. Bu nedenle belli bilya seviyesinde kalibrasyonunda gazların hamlaçtan çıkış basıncındaki debi ile kullanılan basınçtaki debi arasında bağıntı kullanmak gerekir. Bu bağıntı,

$$\text{İdeal gaz kanununa göre: } Q = Q_0 \left(\frac{P}{P_0} \right),$$

$$\text{Difüzyon " " : } Q = Q_0 \left(\frac{P}{P_0} \right)^{1/2} \text{ şeklindedir.}$$

Aynı debimetre göstergesi 2 litrelik balonla farklı gösterge basınçlarında kalibrasyon çalışması yapılmıştır. Çalışma koşulları, $P_{\text{atm}} = 767 \text{ mmHg}$, $t = 21^\circ\text{C}$ dir.

$$P_{\text{su}} = 18,62 \text{ mmHg} \quad (21^\circ\text{C de})$$

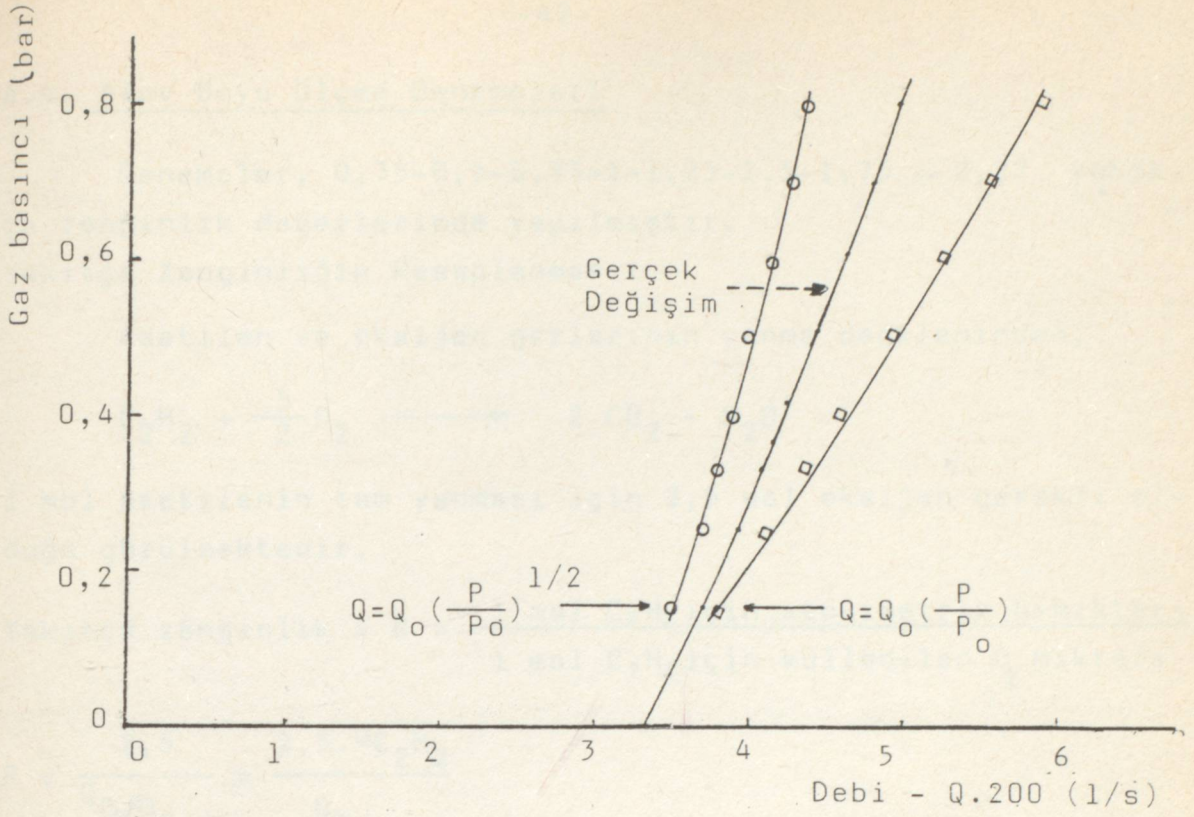
$$\frac{767 - 18,62}{767} = \frac{V_{\text{akışkan}}}{2} \rightarrow V_{\text{akışkan}} = 1,954 \text{ litre}$$

Buradan hesaplanan debi değerleri ile çıkış basınçları arasında grafik çizilmiştir. Bu grafiğe yukardaki iki bağıntıya göre ($Q_0 = 3,3 \text{ l/s}$, $P_0 = \text{latm}$) hesaplanan debilerle-basınç arasındaki eğriler yerleştirilmiştir (şekil 27). Şekildende görüldüğü gibi iki bağıntı eşit sapma göstermektedir. Çalışma koşullarımıza uygun yani $Q = Q_0 (P/P_0)^m$ bağıntısındaki m değerinin 1-0.5 arasında olduğu düşünülebilir. m değerini bulmak için,

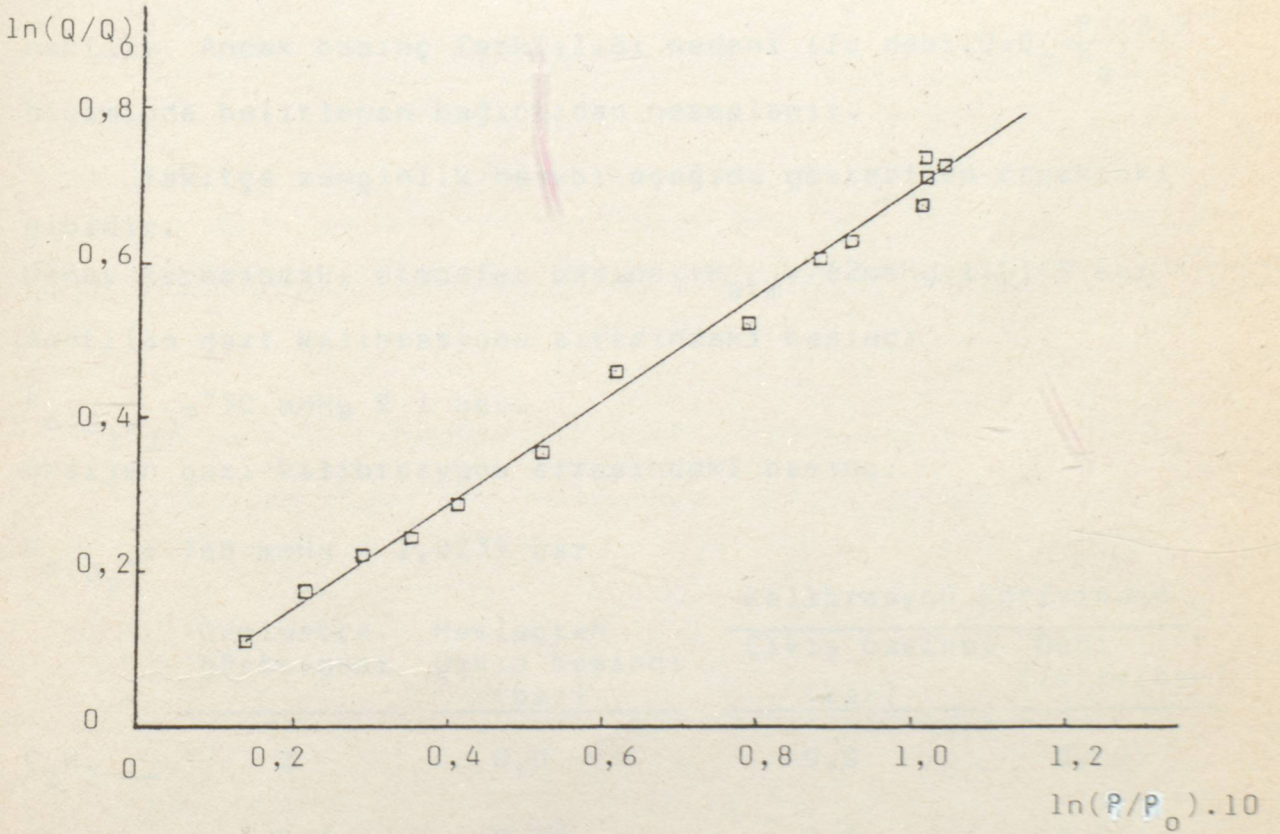
$$\frac{Q}{Q_0} = \left(\frac{P}{P_0} \right)^m \Rightarrow \ln\left(\frac{Q}{Q_0}\right) = m \cdot \ln\left(\frac{P}{P_0}\right)$$

eşitliğini, $y = mx$ eşitliğine benzeterek $\ln(Q/Q_0)$ ile $\ln(P/P_0)$ arasında grafik çizilmiştir (Şekil 27). Eğimden $m = 0,7$ olarak bulunmuştur. Böylece kullanacağımız eşitlik

$$Q = Q_0 \left(\frac{P}{P_0} \right)^{0,7} \text{ olarak belirlenmiştir.}$$



Şekil 26. Debi ile basınç arasındaki bağıntının belirlenmesi



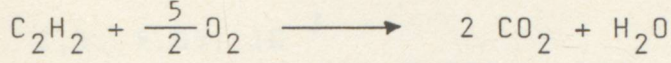
Şekil 27. m değerinin bulunması.

4.4. Alev Boyu Ölçme Denemeleri

Denemeler, 0,35-0,5-0,75-1-1,25-1,5-1,75 - 2,27 yakıt-
ça zenginlik değerlerinde yapılmıştır.

Yakıtça Zenginliğin Hesaplanması:

Asetilen ve oksijen gazlarının yanma denkleminde,



1 mol asetilenin tam yanması için 2,5 mol oksijen gerekli ol-
duğu görülmektedir.

$$\text{Yakıtça zenginlik} = R = \frac{1 \text{ mol } C_2H_2 \text{ için stokimetric } O_2 \text{ miktarı}}{1 \text{ mol } C_2H_2 \text{ için kullanılan } O_2 \text{ miktarı}}$$

$$R = \frac{2,5}{Q_{O_2}/Q_{C_2H_2}} = \frac{2,5 \cdot Q_{C_2H_2}}{Q_{O_2}}$$

Bu bağıntıda gazların debileri kalibrasyon eğrilerinden bulu-

nabilir. Ancak basınç farklılığı nedeni ile debi, $Q = Q_0 \left(\frac{P}{P_0} \right)^{0.7}$
biçiminde belirlenen bağıntıdan hesaplanır.

Yakıtça zenginlik hesabı aşağıda gösterilen örnekteki
gibidir.

Deney sırasındaki atmosfer basıncı: $P_{atm} = 762 \text{ mmHg} = 1,0159 \text{ bar}$

Asetilen gazı kalibrasyonu sırasındaki basınç:

$$P_o(C_2H_2) = 750 \text{ mmHg} \cong 1 \text{ bar.}$$

Oksijen gazı kalibrasyonu sırasındaki basınç:

$$P_o(O_2) = 768 \text{ mmHg} = 1,0239 \text{ bar}$$

	Debimetre göstergesi	Hamlaçtan Çıkış basıncı (bar)	Kalibrasyon Eğrisinden	
			Çıkış basıncı (bar)	Debi (litre/san)
C_2H_2 —	2	0,0	0,0	0,005
O_2 —	8,3	0,78	0,8	0,036

$$Q_{C_2H_2} = Q_{O_2(C_2H_2)} \left(\frac{P}{P_0} \right)^{0,7} = 0,005 \left(\frac{1,0159+0,0}{1+0,0} \right)^{0,7} = 5,05 \cdot 10^{-3} \text{ (1/s)}$$

$$Q_{O_2} = 0,036 \left(\frac{1,0159+0,78}{1,0239+0,8} \right)^{0,7} = 0,03561 \text{ (1/s)}$$

Bu durumda yakıtça zenginlik,

$$R = \frac{2,5 \cdot 5,05 \cdot 10^{-3}}{0,03561} = 0,354 \text{ olarak bulunur.}$$

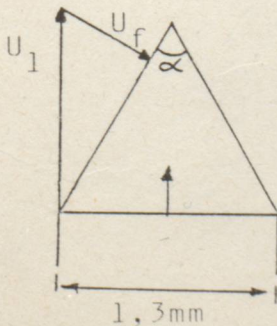
Alev boyu ölçme denemesi, her bir zenginlikte gazların sağlanabilen maksimum-minimum debileri arasında yapılmıştır. Yakıtça zenginlik deneme öncesi kabaca hesaplanıp deneme sırasında olan basınç değişimleri için tekrar hesap yapılmıştır.

Gazların akışı dolayısıyla alev kararlı hale geldiğinde ayarlanan zenginlik değerinde, alevin iç konisinin boyu katetometreyle belirlenmiştir. Bu, alevin kaynak kolu ağzıyla, iç koninin tepesi ayrı ayrı ölçülerek aralarındaki farktan bulunmuştur.

Yanma hızı hesabı alevin iç konisi üçgene benzetilerek yapılmıştır. Yakıtça az zengin alevlerin iç konisi üçgen şeklinde olmasına karşın yüksek debili ya da yakıtça zengin alevlerin iç konisinin tam bir üçgen şeklinde olduğu söylenebilir. Fakat bu durumun getireceği hatanın az olacağı düşünülebilir. Bu hatanın giderilmesi için alev fotoğrafları çekilmiştir.

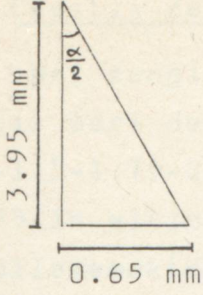
Yanma hızı hesabı şu şekilde yapılmıştır:

Yakıtça zenginliğin hesabında gösterilen örnekte alev boyu 3,95 mm olarak ölçülmüştür.



$$U_1: \text{Alev çıkış hızı} = \frac{Q_T}{\pi r^2}$$

$$U_f = \text{Yanma hızı} = U_1 \cdot \sin(\alpha/2)$$



$$a^2 = 3,95^2 + 0,65^2$$

$$a = 4,003 \text{ mm}$$

$$\sin(\alpha/2) = \frac{0,65}{4,003} = 0,16237 ; \alpha = 18,68^\circ$$

$$Q_T = Q_{C_2H_2} + Q_{O_2} = 0,04066 \text{ (1/s)}$$

$$U_1 = \frac{0,04066 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot (0,65 \cdot 10^{-3})^2} = 30,63 \text{ (m/s)}$$

$$U_f = 30,63 \cdot 0,16237 = 4,97 \text{ (m/s) olarak bulunur.}$$

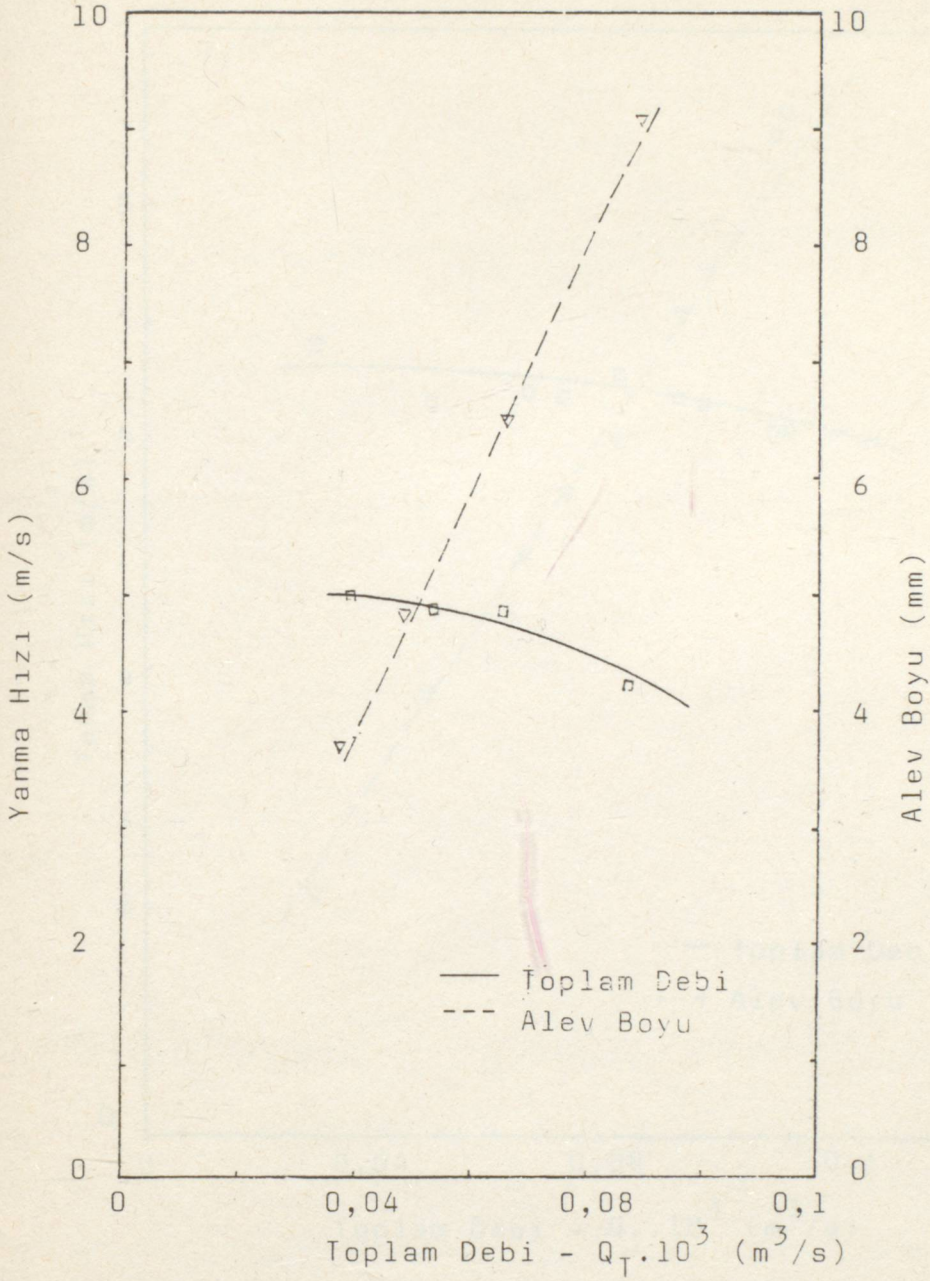
Değişik zenginliklerde hesaplanan yanma hızlarının toplam debiyle değişimi grafiksel olarak gösterilmiştir. Aynı grafiğe alev boyunun toplam debiyle değişimide konulmuştur.

4.5. Çeşitli Zenginliklerde Hava İçinde Ölçülen Alev Boyları

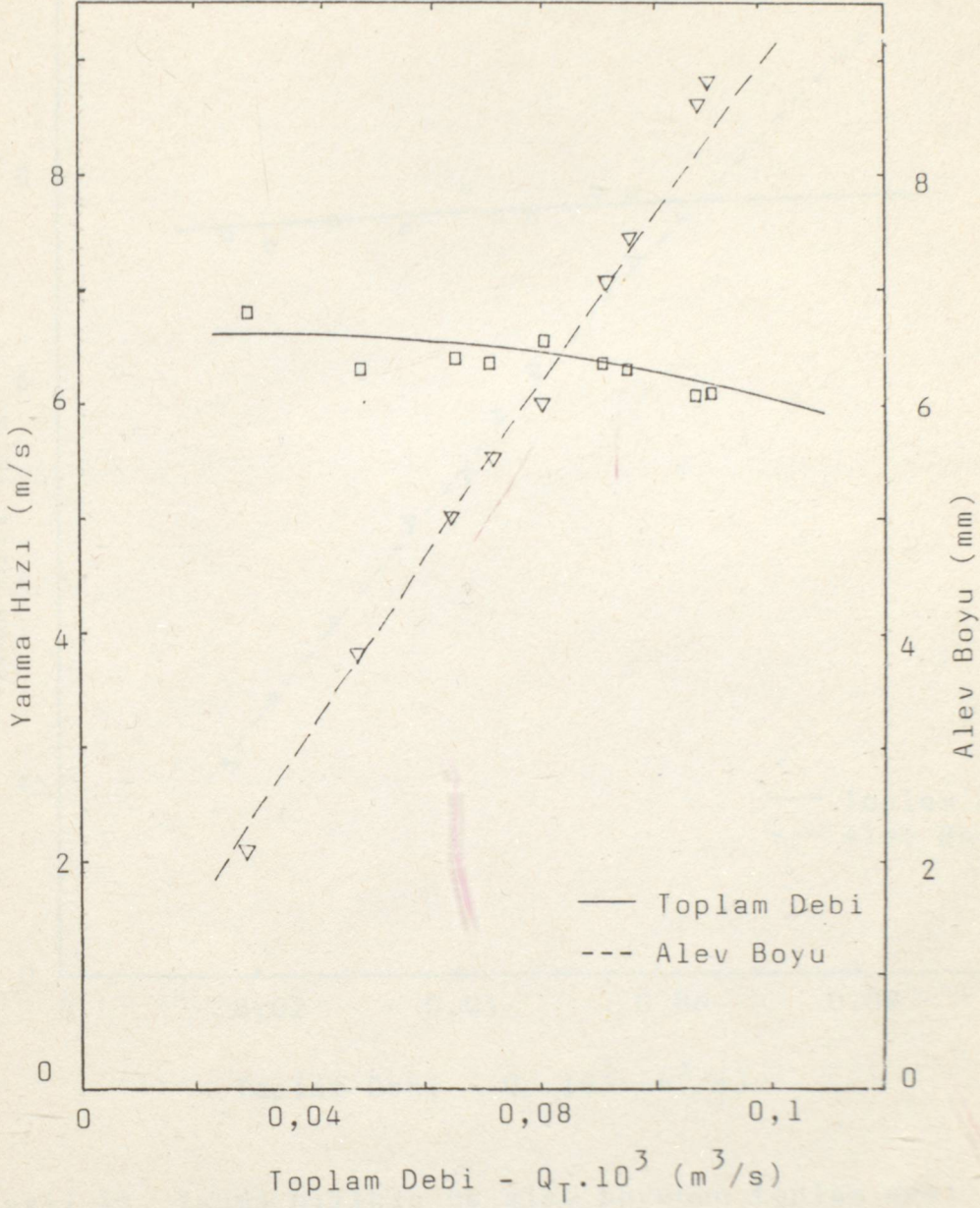
Her zenginlik için aynı hamlaçta çıkış debisi arttırılarak bir seri deneme yapılmıştır. Denemeler $R=0,35-0,5-0,75-1-1,25-1,5-1,75-2-2,27$ gibi dokuz seri için tekrarlanmıştır. $R=0,35$ 'in altında yeterli yakıt olmadığı için kararlı alev elde edilememektedir. Bu zenginlikte bile ancak birkaç debi için sonuç alınabilmektedir. Debi arttırılınca, kısa bir süre sonra, alev uçup gitmektedir. $R=2,27$ 'nin üzerinde ise birinci yanma bölgesinde is oluşumu başlamakta ve iç koninin sınırları belirsizleşmektedir.

Deneysel sonuçlar şekil 28 ile 36 arasında görülmektedir.

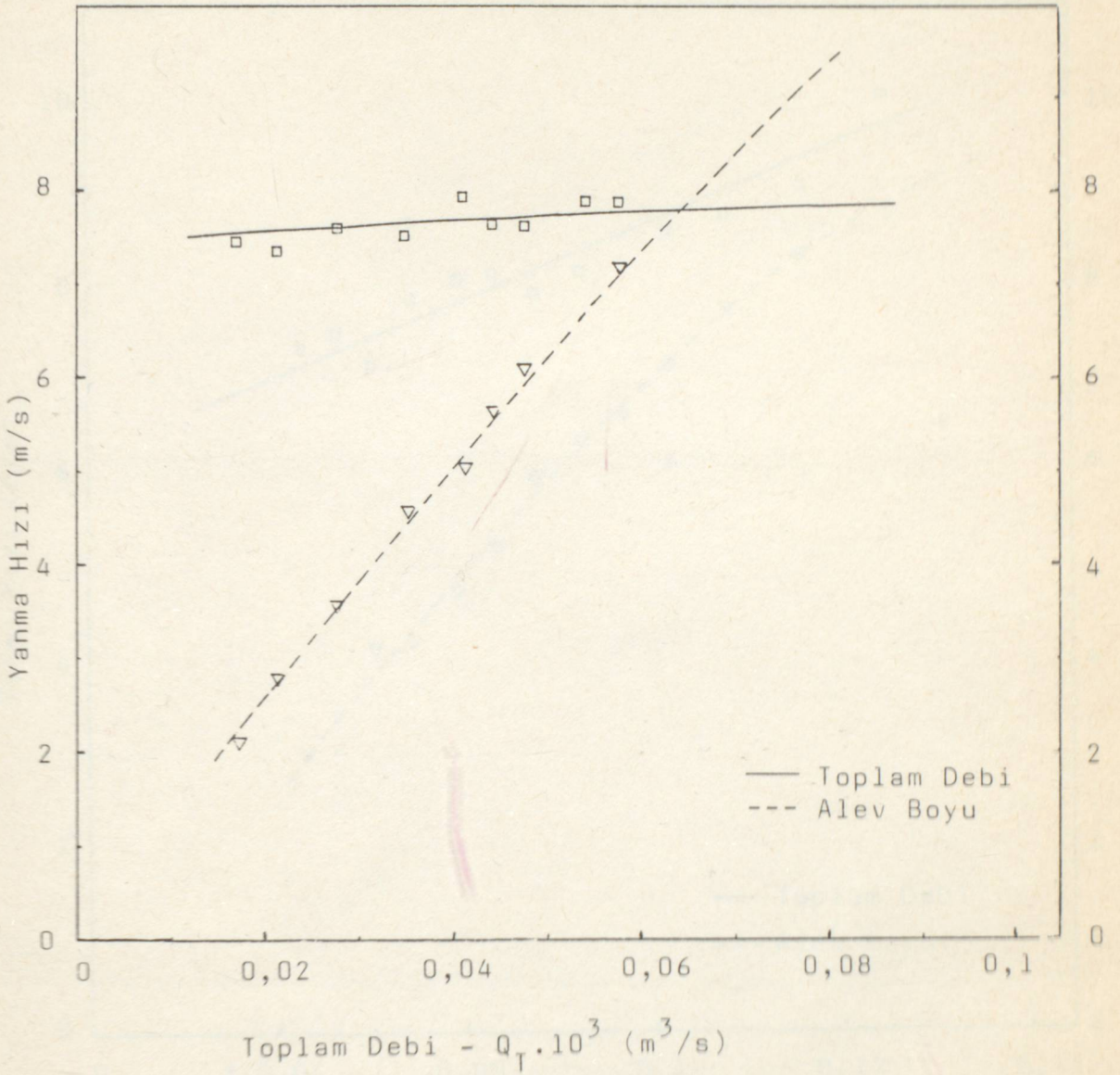
Çeşitli yakıt- O_2 karışımlarını kendi aralarında kıyaslamak için, aynı toplam debilerde yanma hızları kıyaslanmıştır (Şekil 37). Ayrıca ani soğutma etkisini eşitlemek için aynı iç koni boylarında yanma hızlarının zenginlikle değişimi incelenmiştir (Şekil 38).



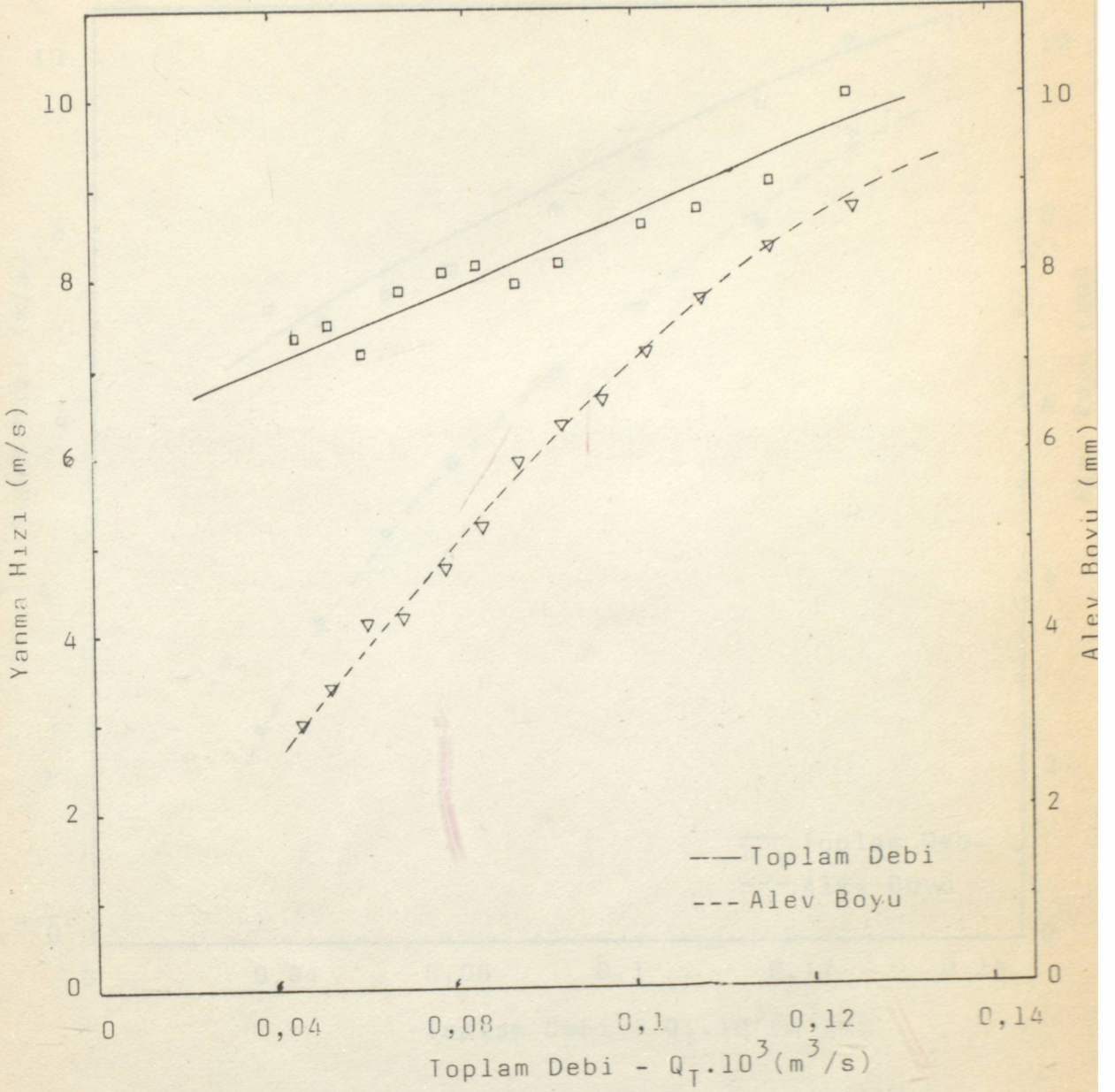
Şekil 28. Yanma hızının ve alev boyunun toplam debi ile değişimi ($R=0,35$; 3 nolu kaynak kolu delik çapı=1,3 mm)



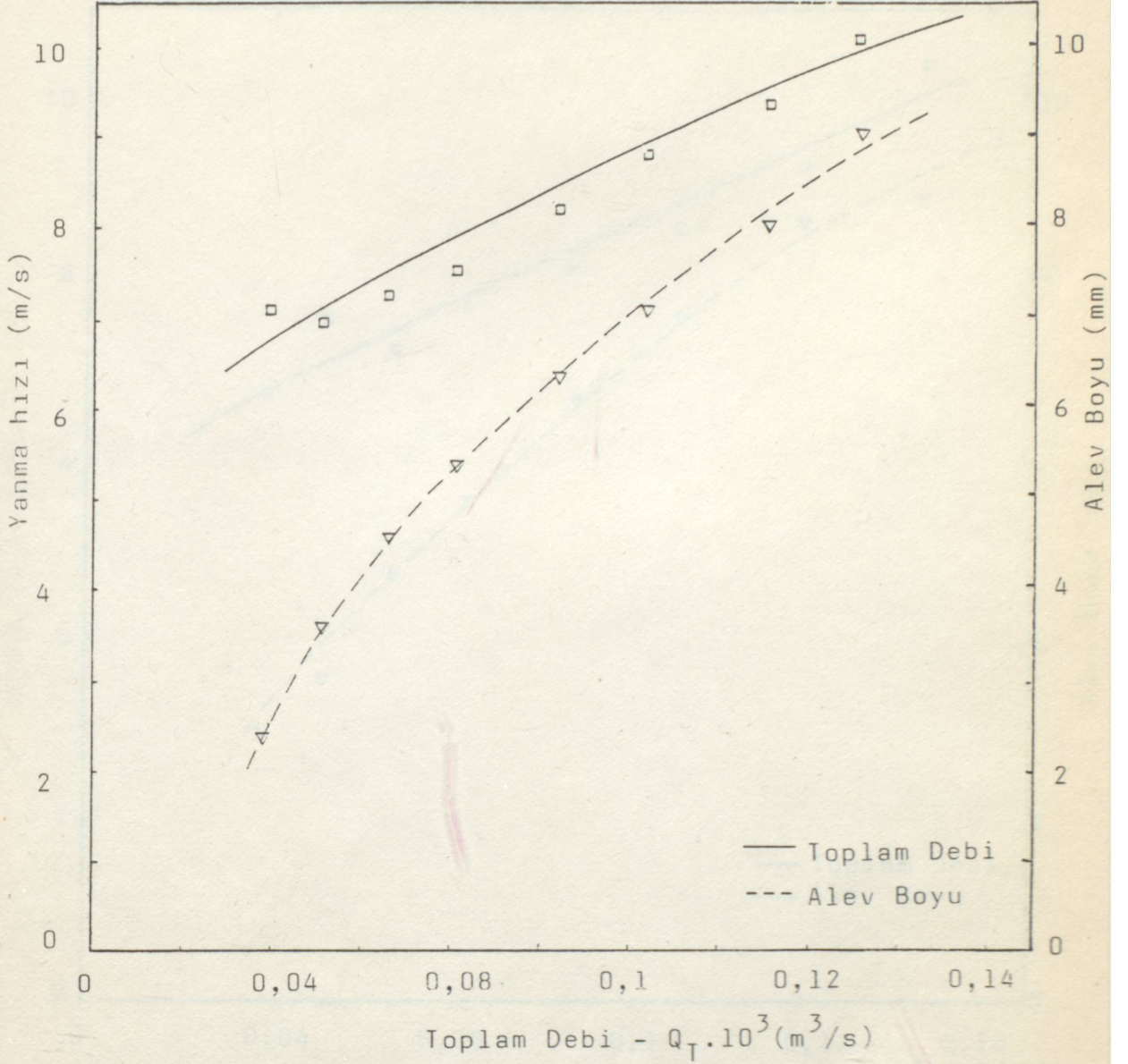
Şekil 29 . Yanma hızının ve alev boyunun toplam debi ile değişimi ($R=0,5$; 3 nolu kaynak kolu delik çapı=1,3 mm)



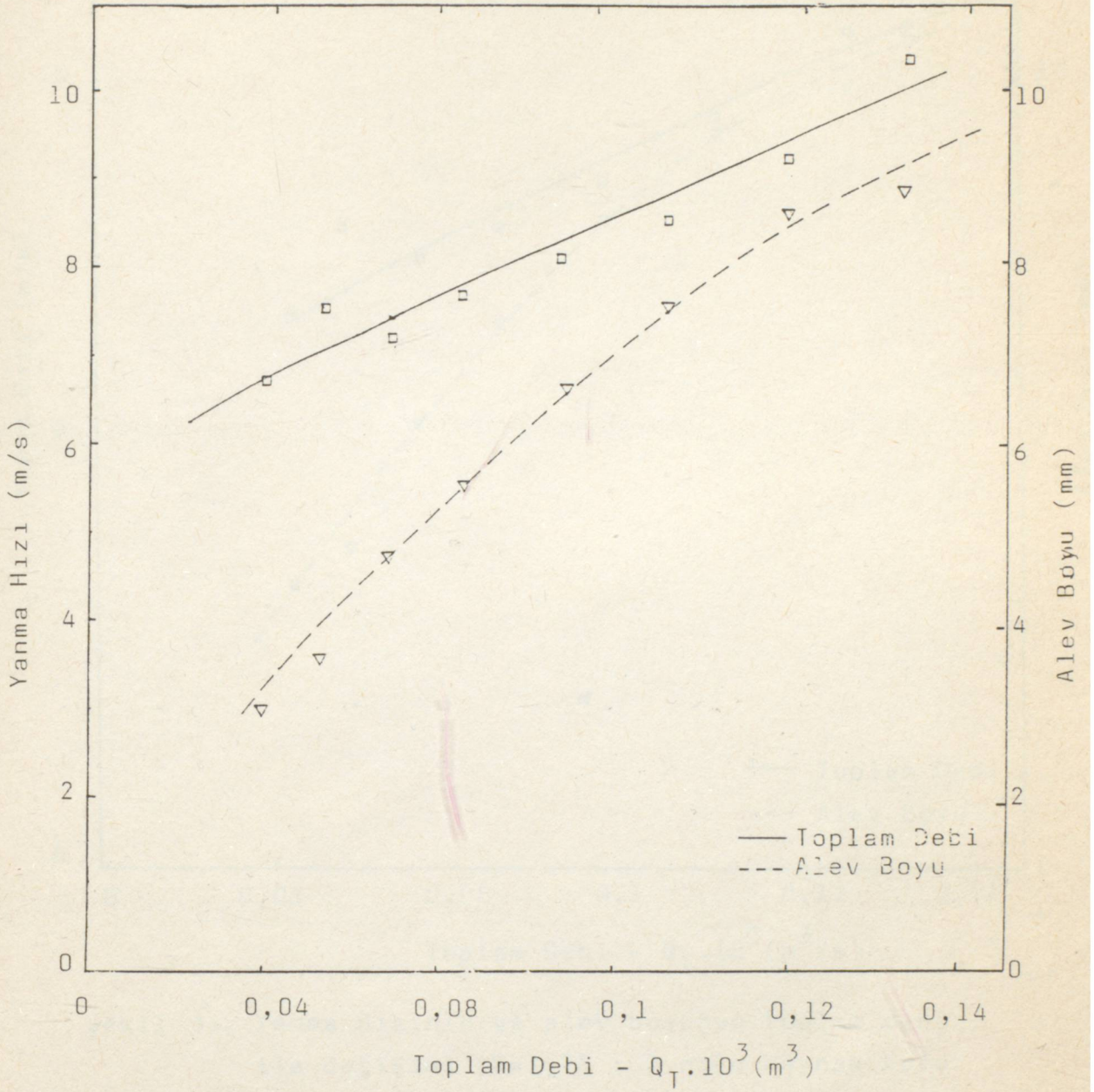
Şekil 30. Yanma hızının ve alev boyunun toplam debi ile değişimi ($R=0,75$; 3 nolu kaynak kolu delik çapı=1,3 mm)



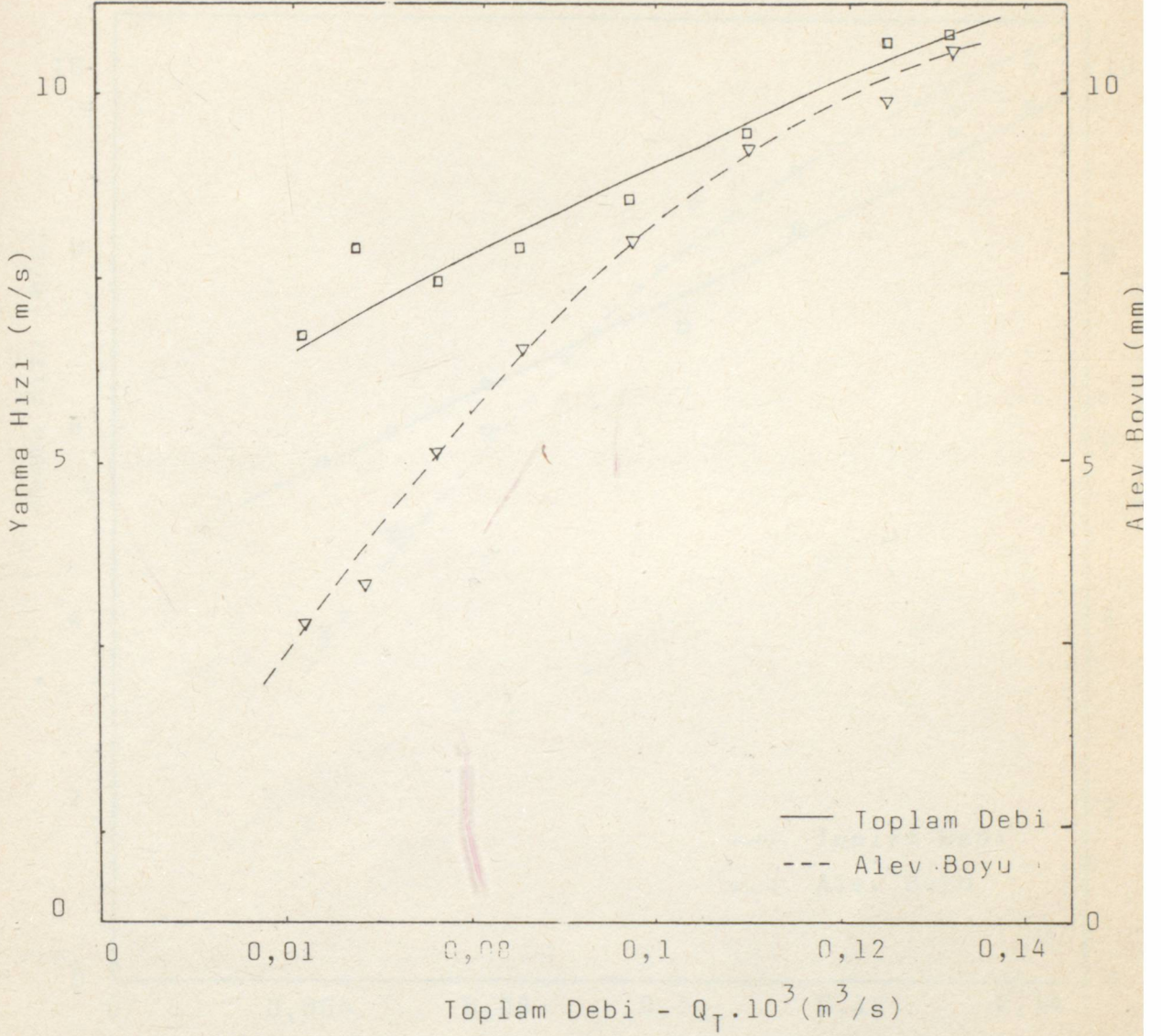
Şekil 31. Yanma hızının ve alev boyunun toplam debi ile değişimi (R=1 ; 3 nolu kaynak kolu delik çapı=1,3, mm)



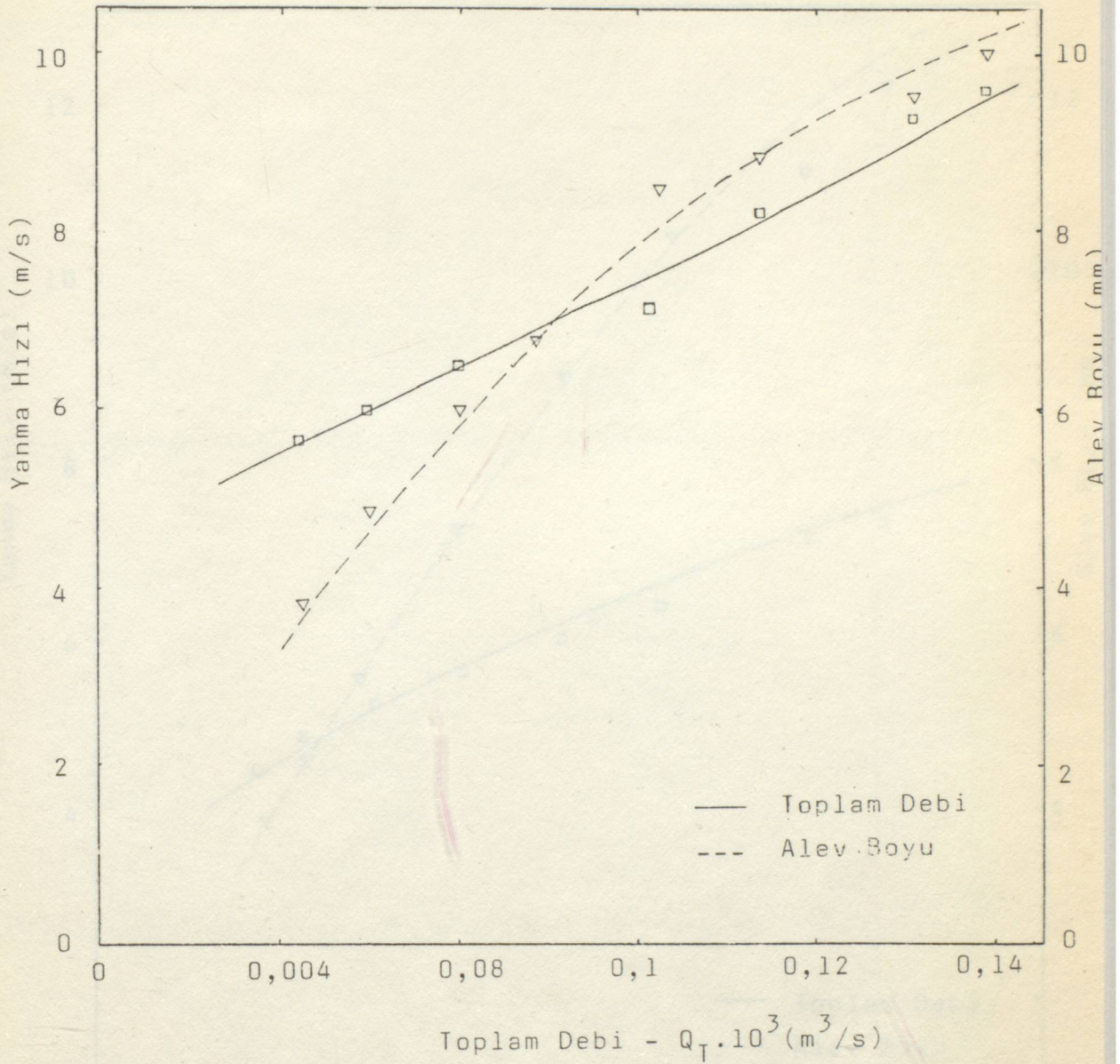
Şekil 32. Yanma hızının ve alev boyunun toplam debi ile değişimi ($R=1,25$; 3 nolu kaynak kolu delik çapı=1,3 mm)



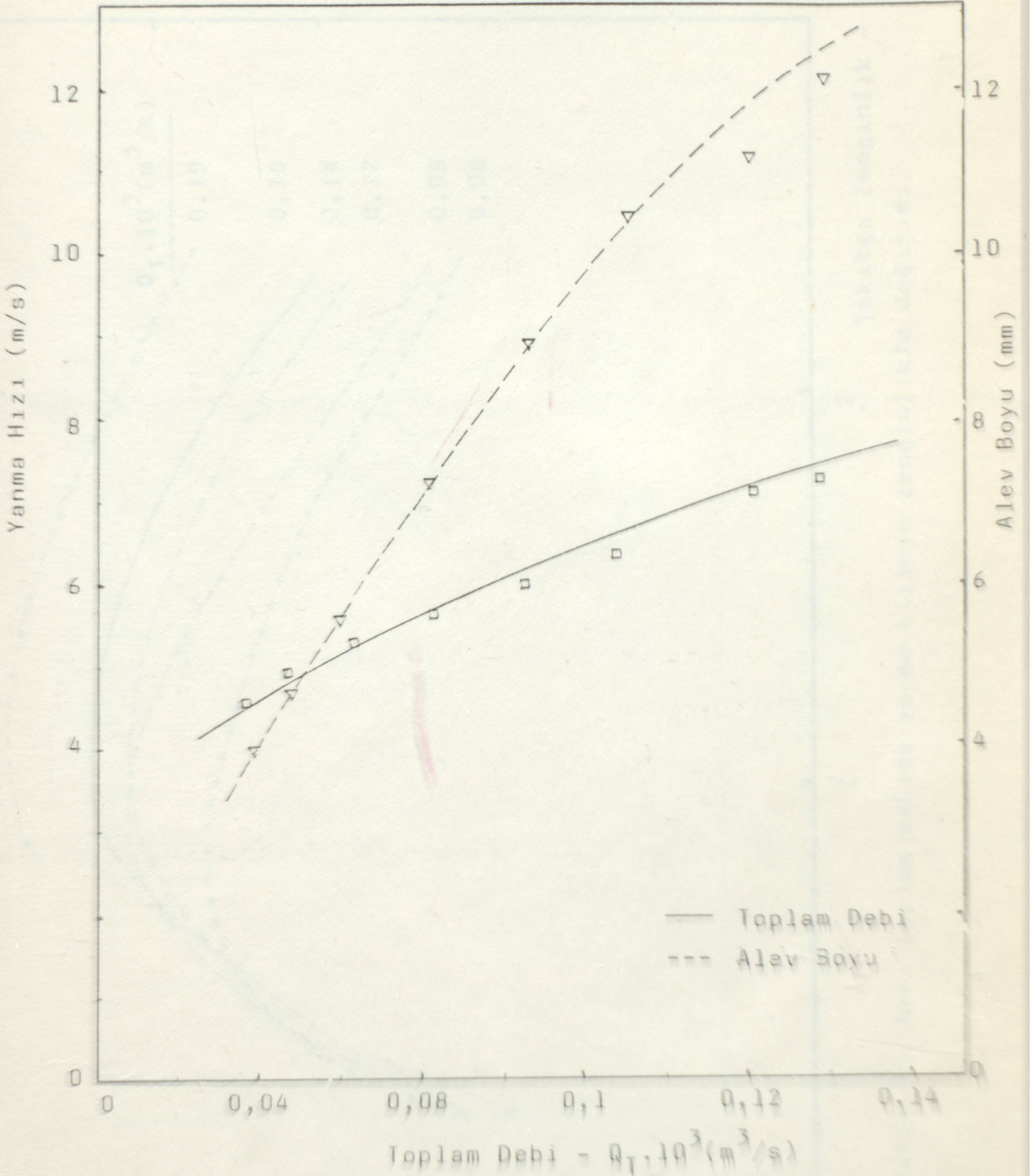
Şekil 33. Yanma hızının ve alev boyunun toplam debi ile değişimi ($R=1,5$; 3 nolu kaynak kolu delik çapı=1,3 mm)



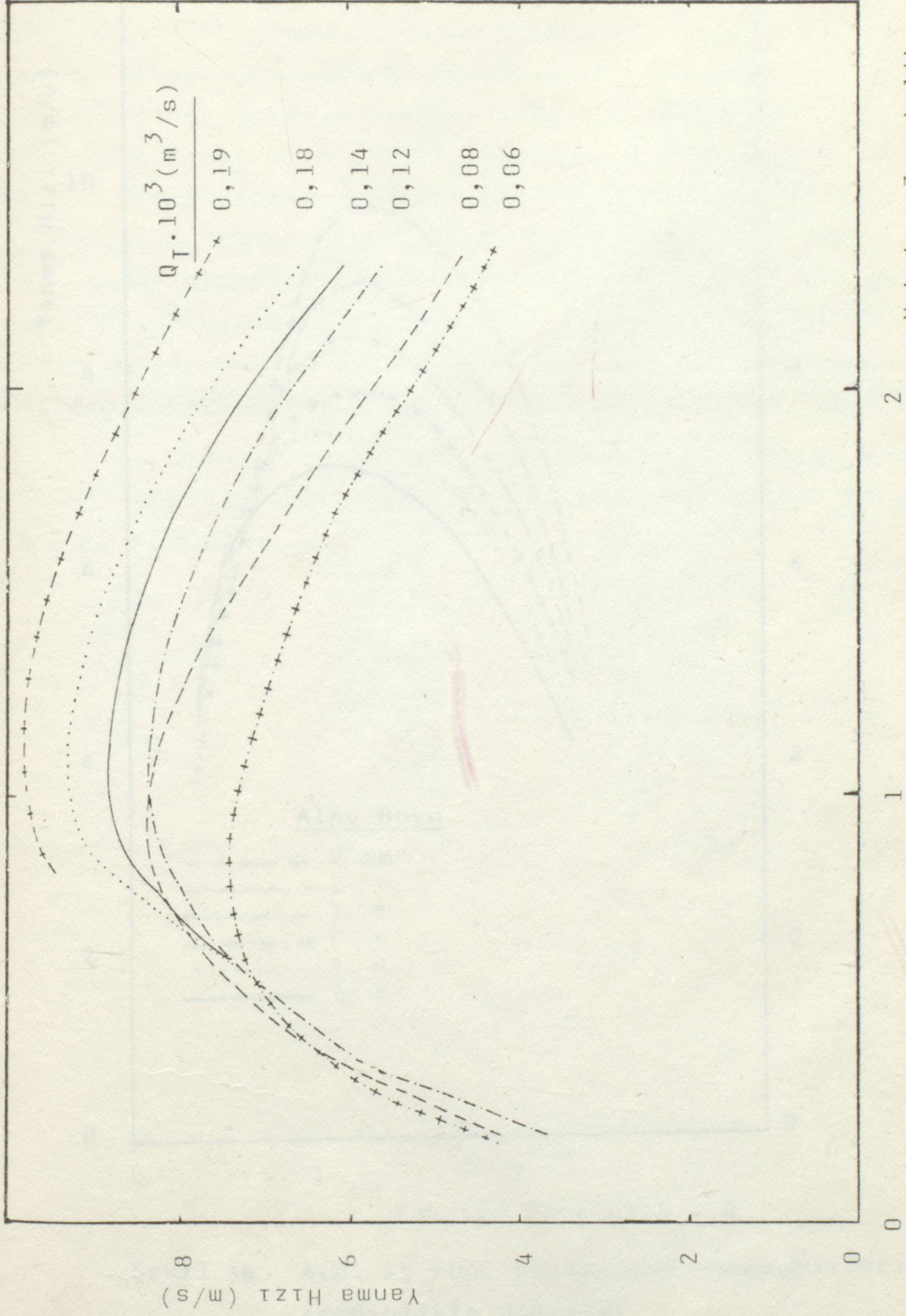
Şekil 34. Yanma Hızının ve alev boyunun toplam debi ile değişimi ($R=1,75$; 3 nolu kaynak kolu delik çapı=1,3 mm)



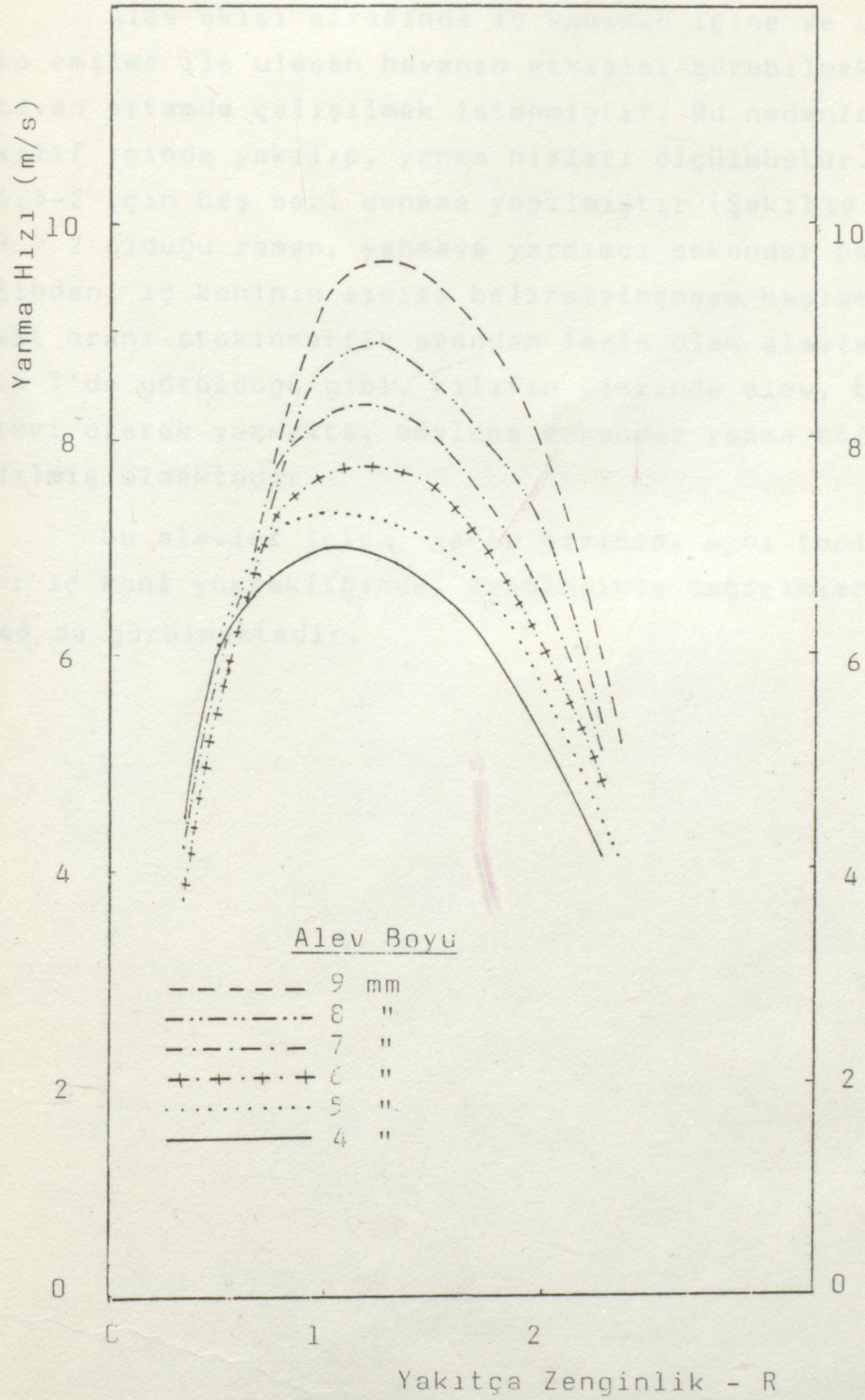
Şekil 35. Yanma hızının ve alev boyunun toplam debi ile değişimi (R=2 ; 3 nolu kaynak kolu delik çapı=1,3 mm)



Şekil 36, Yanma hızının ve alev boyunun toplam debi ile değişimi ($R=2,27$; 3 no.lu kaynak kolü delik çapı=1,3 mm)



Şekil 37. Aynı toplam debide yanma hızının zenginlikle değişimi.

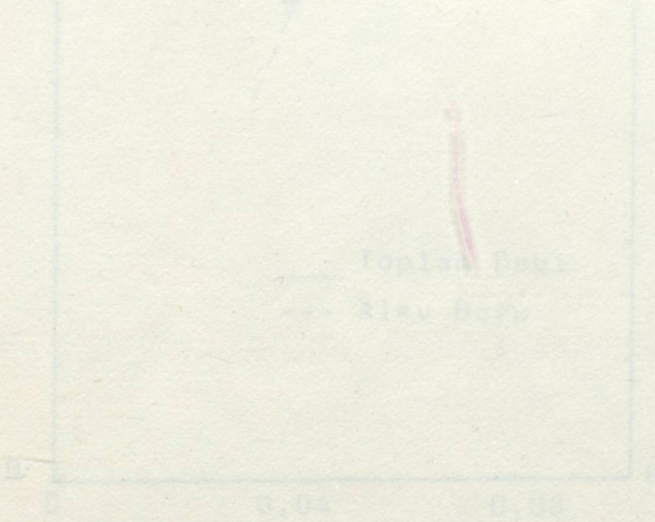


Şekil 38. Aynı iç koni boylarında yanma hızlarının zenginlikle değişimi

4.6. Kılıf İçine Yerleştirilmiş Alevin Yanma Hızının Ölçülmesi

Alev akışı sırasında iç koninin içine ve ucuna difüzyon ve emilme ile ulaşan havanın etkisini görebilmek için hava olmayan ortamda çalışılmak istenmiştir. Bu nedenle alevler cam kılıf içinde yakılıp, yanma hızları ölçülmüştür. $R=0,35-0,5-1-1,5-2$ için beş seri deneme yapılmıştır (Şekil39 -43 arası). $R > 2$ olduğu zaman, yanmaya yardımcı sekonder hava da olmadığından, iç koninin sınırı belirsizleşmeye başlamaktadır. Yakıt oranı stokiometrik orandan fazla olan alevlerde şekil 2 ve 7'de görüldüğü gibi, kılıfın üzerinde alev, bir difüzyon alevi olarak yanmakta, böylece sekonder yanma bölgesi izole edilmiş olmaktadır.

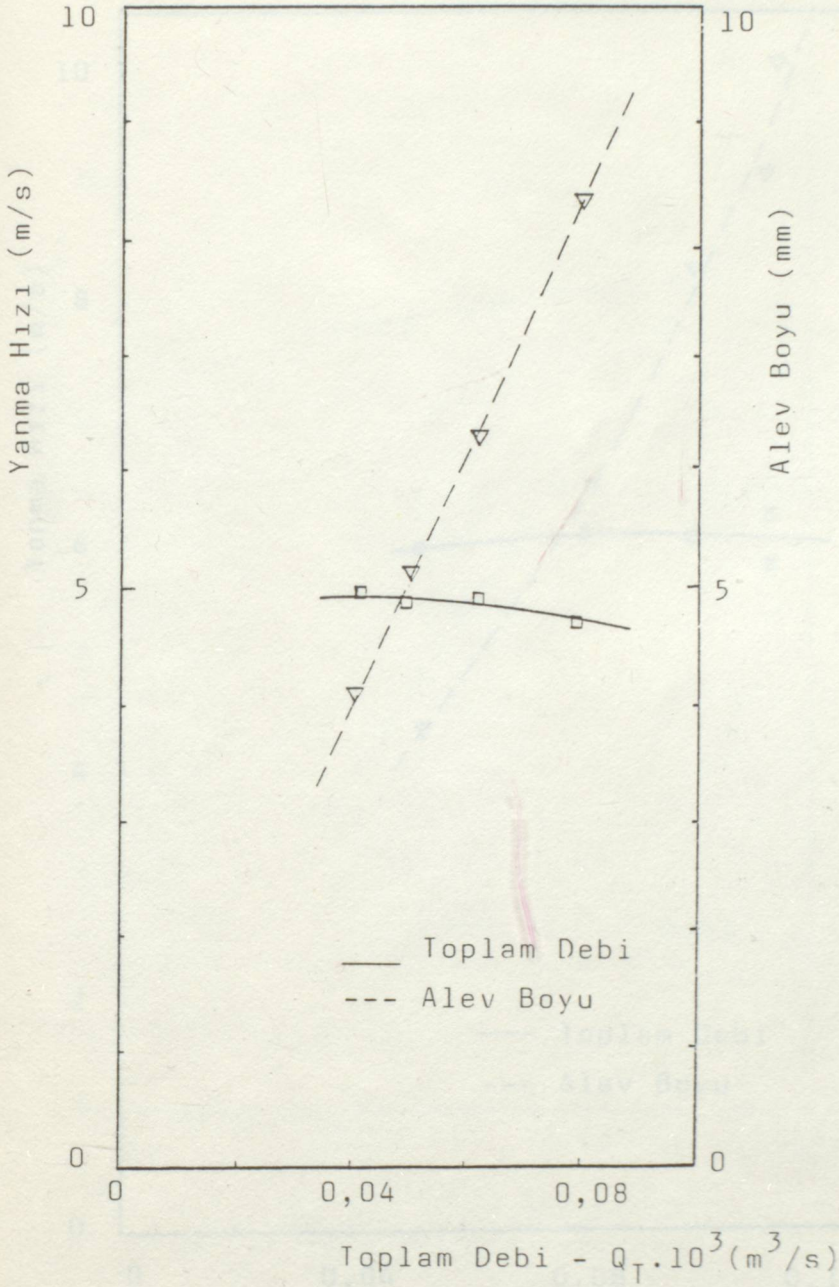
Bu alevler için; yanma hızının, aynı toplam debi ve aynı iç koni yüksekliğinde, zenginlikle değişimleri şekil44 ve 45 da görülmektedir.



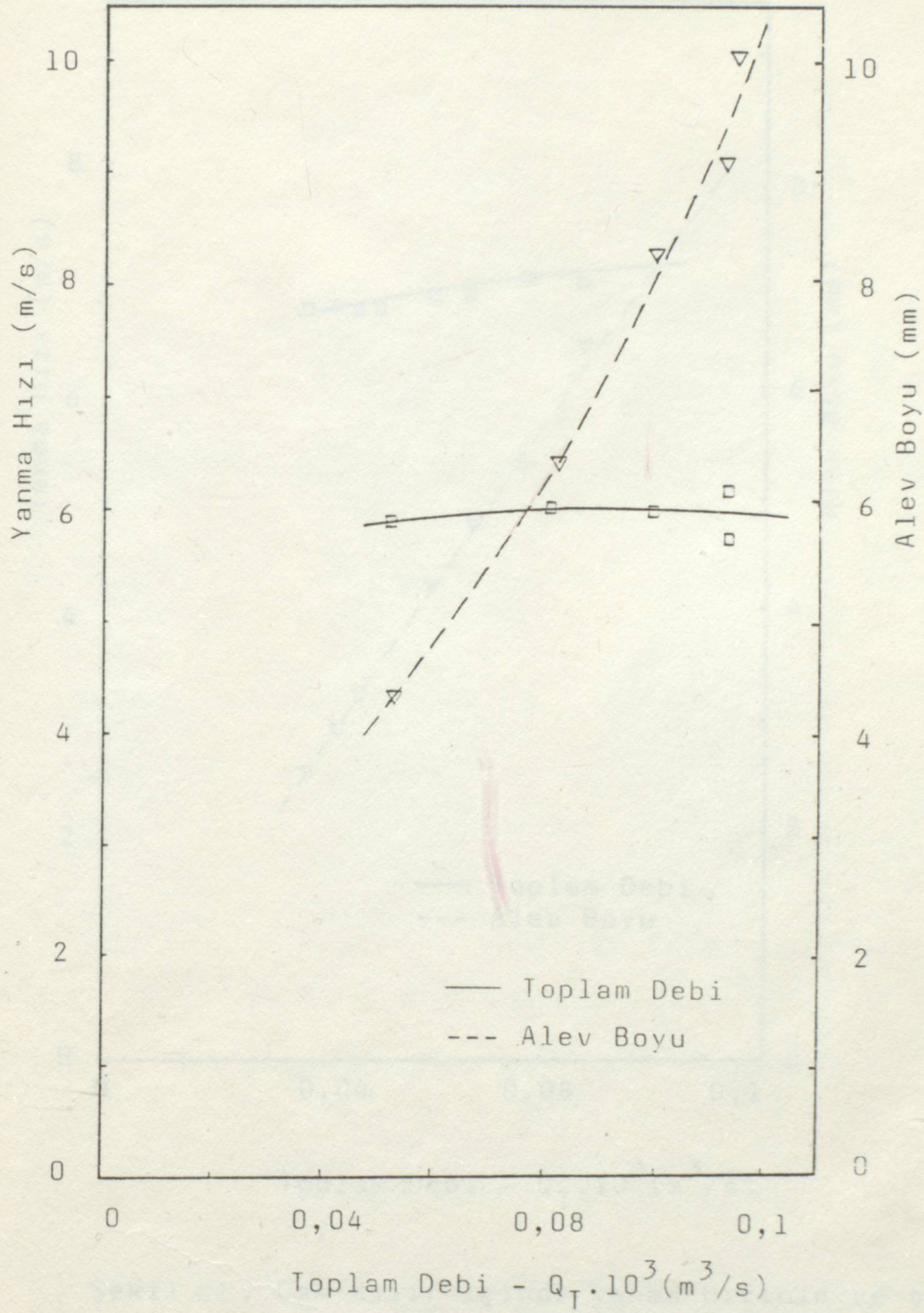
Toplam Debi = 0,10 m³/s

Şekil 44: Cam kılıf içinde yanma hızının toplam debi

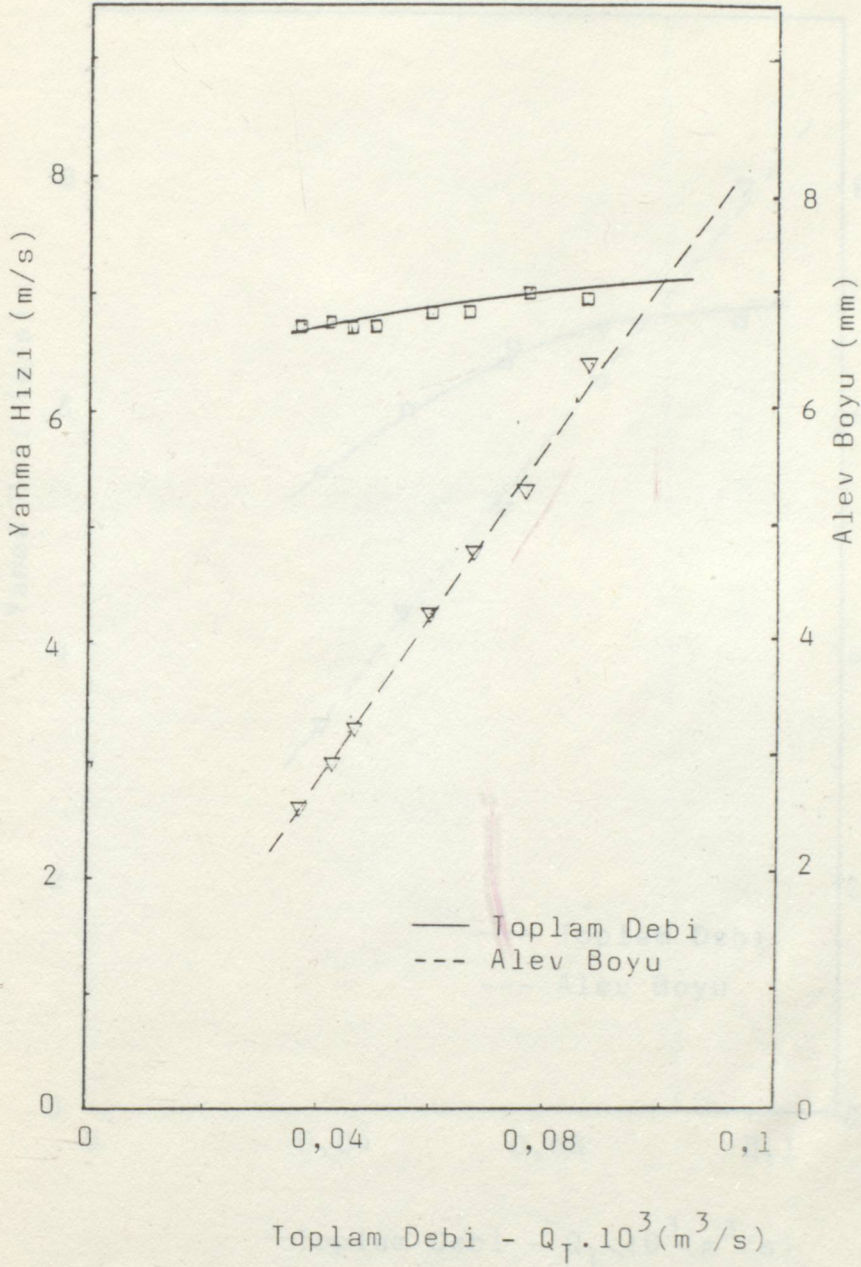
Oranına göre değişimi (R=0,35-0,5-1-1,5-2)



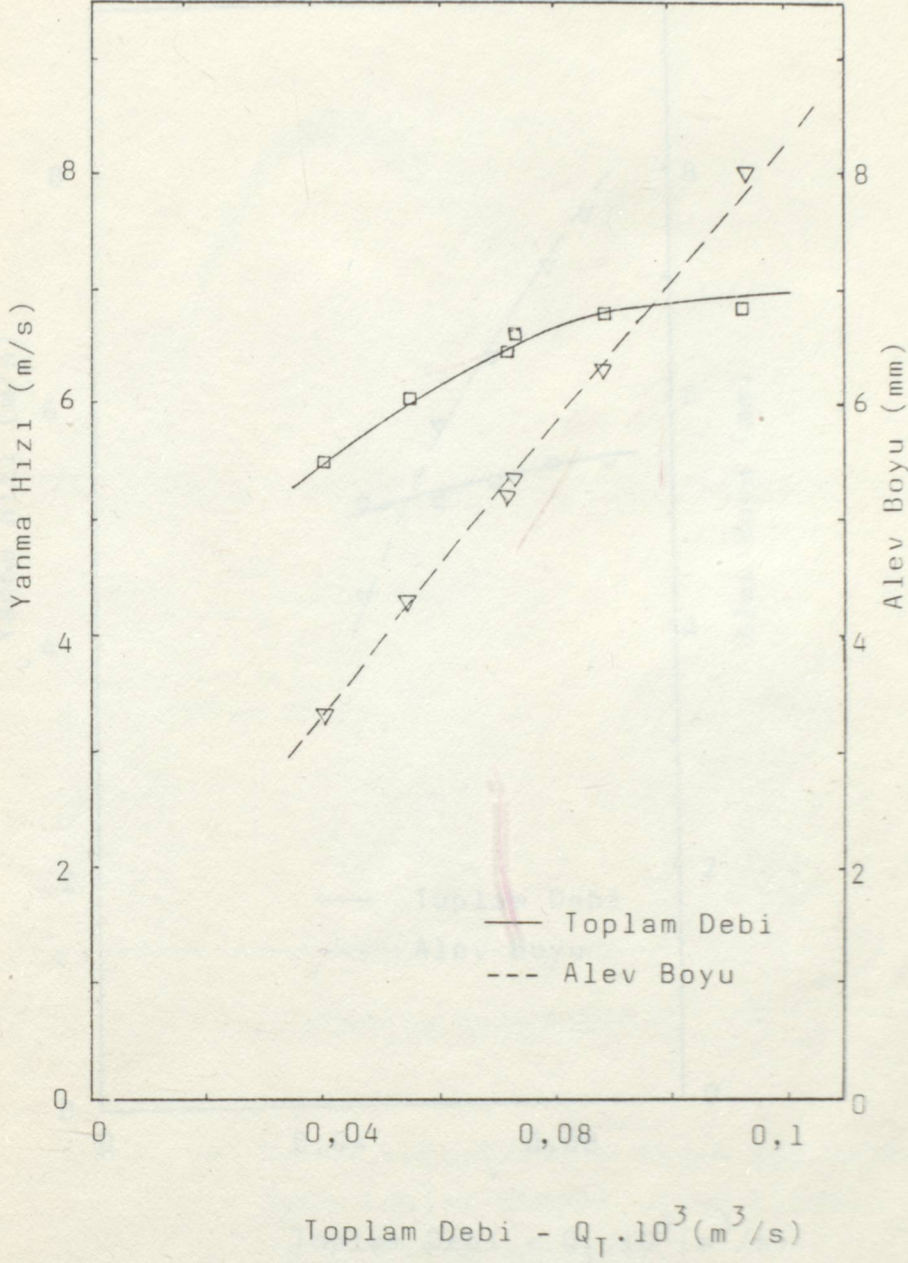
Şekil 39 . Cam kılıf içinde yanma hızının ve alev boyunun toplam debi ile değişimi ($R=0,35$)



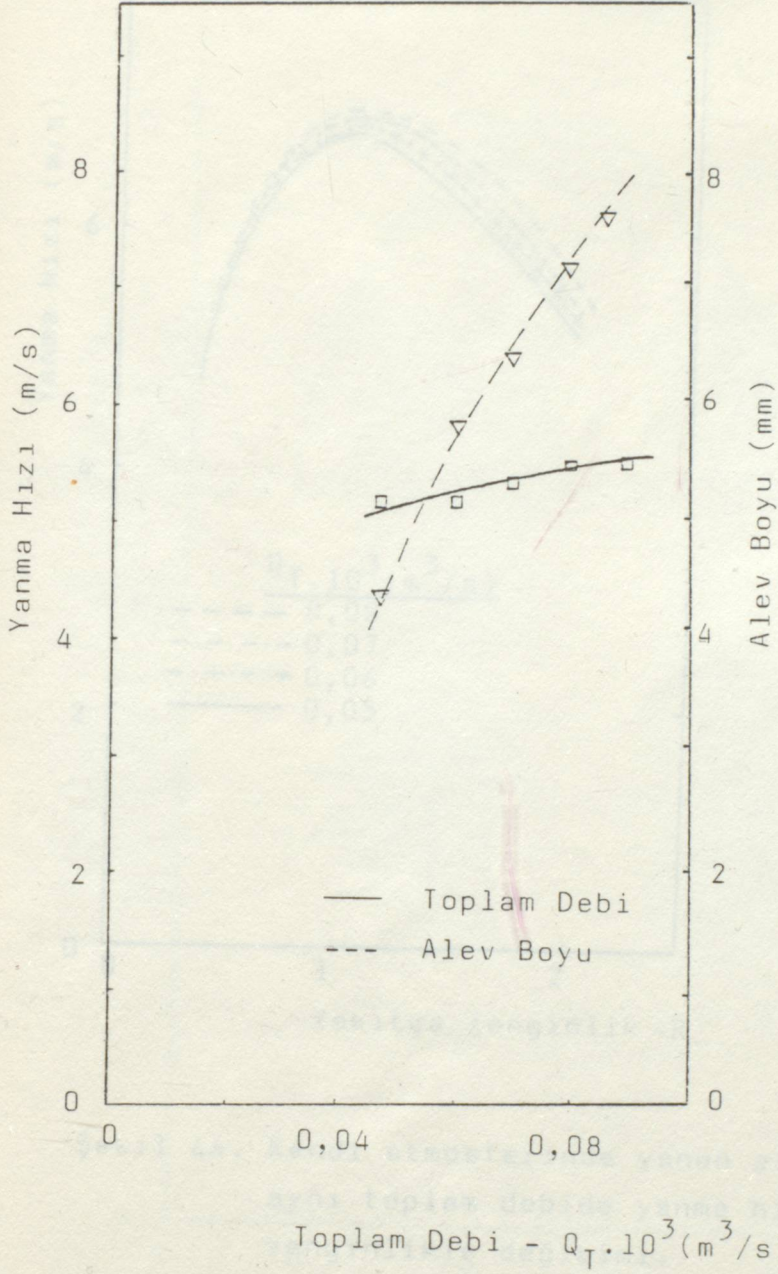
Şekil 40 . Cam kılıf içinde yanma hızının ve alev boyunun toplam debi ile değişimi ($R=0,5$)



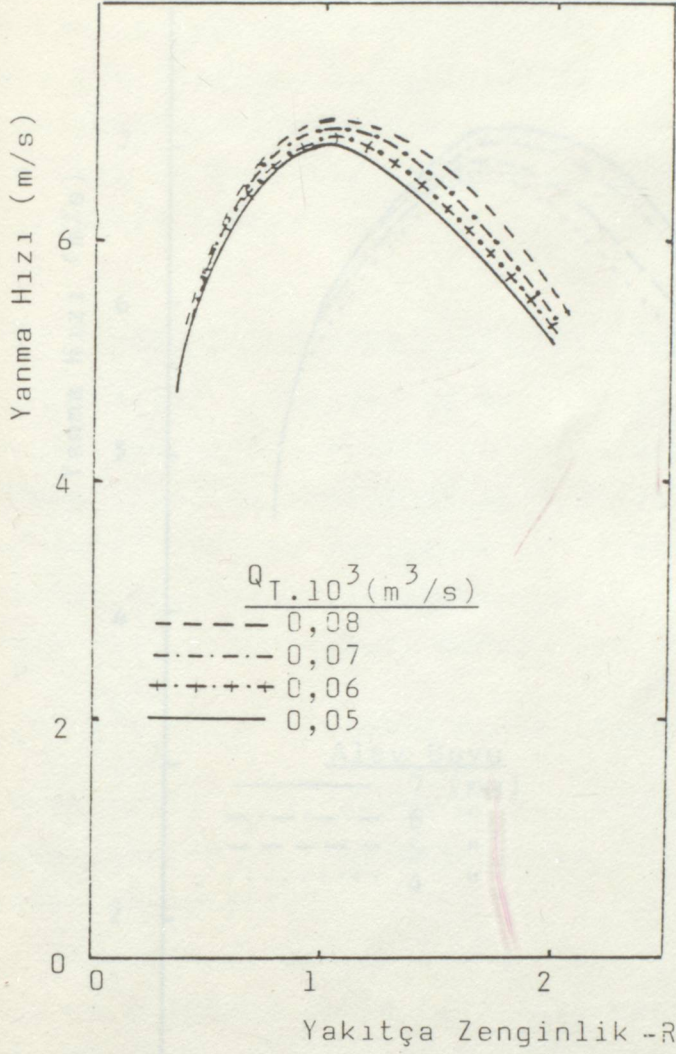
Şekil 41. Cam kılıf içinde yanma hızının ve alev boyunun toplam debi ile değişimi (R=1)



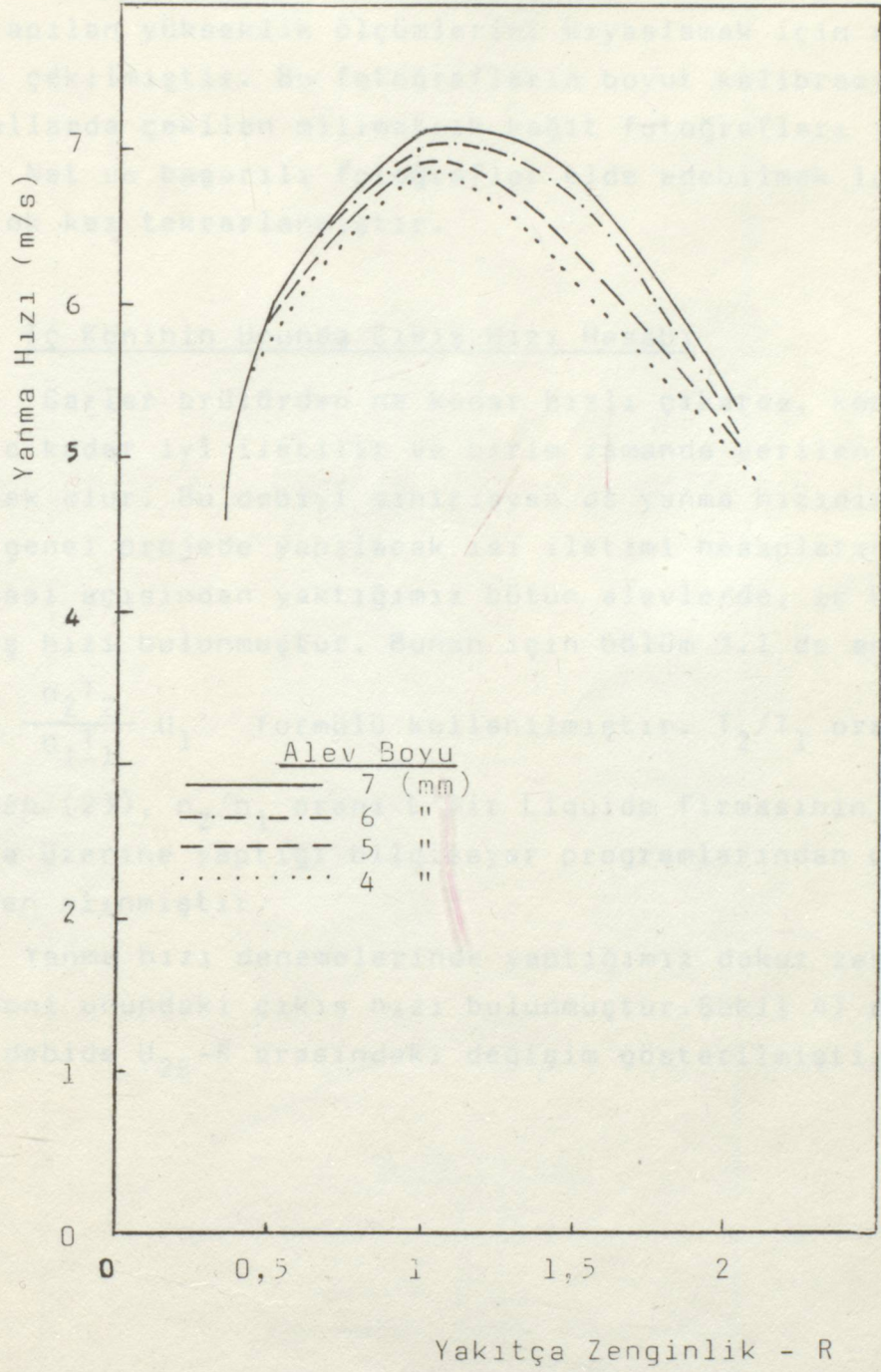
Şekil 42. Camkılıf içinde yanma hızının ve alev boyunun toplam debi ile değişimi ($R=1,5$)



Şekil 43 . Cam kılıf içinde yanma hızının ve alev boyunun toplam debi ile değişimi (R=2)



Şekil 44. Kendi atmosferinde yanan alevlerin aynı toplam debide yanma hızının zenginlikle değişimi.



Şekil 45. Kendi atmosferinde yanan alevlerin aynı iç koni yüksekliğinde yanma hızının zenginlikle değişimi.

4.7. Alev Fotoğraflarının İncelenmesi

Hem iç koninin ideallikten nedenli saptığını görmek, hem de yapılan yükseklik ölçümlerini kıyaslamak için alev fotoğrafları çekilmiştir. Bu fotoğrafların boyut kalibrasyonları aynı koşullarda çekilen milimetrik kağıt fotoğrafları ile yapılmıştır. Net ve başarılı fotoğraflar elde edebilmek için bu işlem birçok kez tekrarlanmıştır.

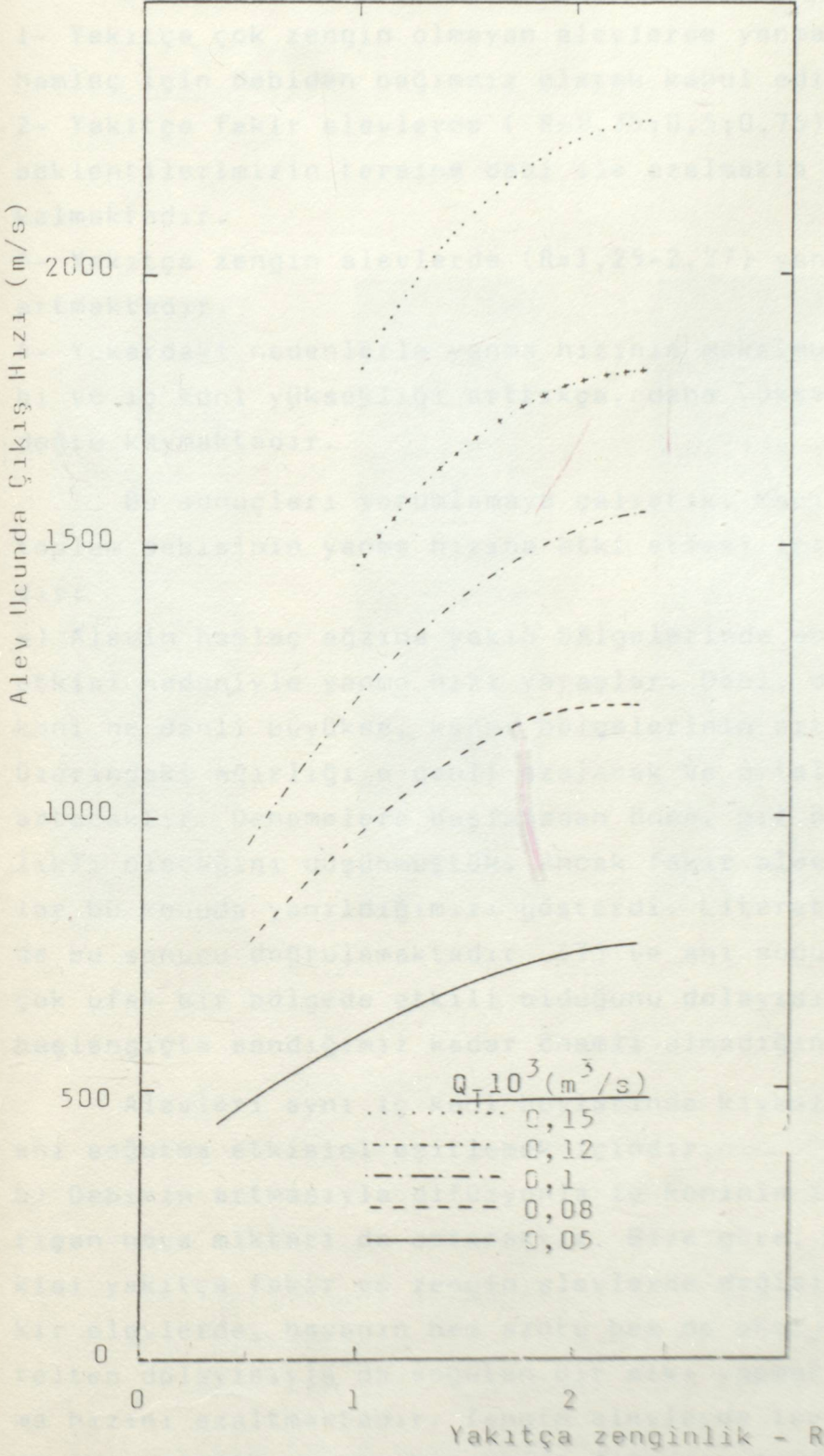
4.8. İç Koninin Ucunda Çıkış Hızı Hesabı

Gazlar brülörden ne kadar hızlı çıkarsa, konveksiyonla ısı o kadar iyi iletilir ve birim zamanda verilen ısıl güç de yüksek olur. Bu debiyi sınırlayan da yanma hızıdır. Bu bölümde, genel projede yapılacak ısı iletimi hesaplarına veri oluşturması açısından yaptığımız bütün alevlerde, iç koni ucundaki çıkış hızı bulunmuştur. Bunun için bölüm 3.1 de anlatılan

$U_{2S} = \frac{n_2 T_2}{n_1 T_1} U_1$ formülü kullanılmıştır. T_2/T_1 oranı litera-

türden (23), n_2/n_1 oranı L'Air Liquide firmasının adyabatik yanma üzerine yaptığı bilgisayar programlarından çıkan sonuçlardan alınmıştır.

Yanma hızı denemelerinde yaptığımız dokuz zenginlik için iç koni ucundaki çıkış hızı bulunmuştur. Şekil 47 de aynı toplam debide U_{2S} -R arasındaki değişim gösterilmiştir.



Şekil 46. İç koni ucunda alev çıkış hızının aynı toplam debide zenginlikle değişimi.

4.9 Deneysel Sonuçların Değerlendirilmesi

Deneysel sonuçları şu biçimde özetleyebiliriz.

- 1- Yakıtça çok zengin olmayan alevlerde yanma hızı, belli bir hamlaç için debiden bağımsız olarak kabul edilebilir.
- 2- Yakıtça fakir alevlerde ($R=0,35;0,5;0,75$) yanma hızı, beklentilerimizin tersine debi ile azalmakta ya da sabit kalmaktadır.
- 3- Yakıtça zengin alevlerde ($R=1,25-2,27$) yanma hızı, debi ile artmaktadır.
- 4- Yukardaki nedenlerle yanma hızının maksimum değerleri; debi ve iç koni yüksekliği arttıkça, daha yüksek zenginliklere doğru kaymaktadır.

Bu sonuçları yorumlamaya çalıştık. Kanımızca, gazların toplam debisinin yanma hızına etki etmesi için üç neden vardır:

a) Alevin hamlaç ağzına yakın bölgelerinde ani soğutma(ürkütme) etkisi nedeniyle yanma hızı yavaşlar. Debi, dolayısıyla da iç koni ne denli büyükse, kenar bölgelerinin ortalama yanma hızı üzerindeki ağırlığı o denli azalacak ve ortalama yanma hızı artacaktır. Denemelere başlamadan önce, biz bu etkinin ağırlıklı olacağını düşünmüştük. Ancak fakir alevlerdeki sonuçlar bu konuda yanıldığımızı gösterdi. Literatürdeki bilgilerde bu sonucu doğrulamaktadır (7) ve ani soğutma olayının çok ufak bir bölgede etkili olduğunu dolayısıyla, bu etkinin başlangıçta sandığımız kadar önemli olmadığını gösteriyor.

Alevleri aynı iç koni boylarında kıyaslamanın nedeni ani soğutma etkisini eşitlemek içindir.

b) Debinin artmasıyla difüzyonla iç koninin içine ve ucuna karışan hava miktarı da artacaktır. Bize göre, bu karışmanın etkisi yakıtça fakir ve zengin alevlerde değişik olmaktadır. Fakir alevlerde, havanın hem azotu hem de oksijeni ortamı seyrelten dolayısıyla da soğutan bir etki yapmakta ve bu da yanma hızını azaltmaktadır. Zengin alevlerde ise, havayla karışma iki çelişik sonucu bir arada doğurur; havanın oksijeni yanmayı tamamlayarak sıcaklığı ve yanma hızını arttırır. Bunu

doğrulamak için alevleri kendi atmosferinde yakarak inceledik. c) Debinin büyümesiyle, yanma hızı artma bile iç koni koni-likten sapar. Biz yanma yüzeyini üçgen biçiminde hesapladığımız için gerçeğin altında sonuç buluruz. Bu yanma hızını, gerçek yanma hızının üzerinde hesapladığımız sonucunu doğurur. Üçgenden sapma yakıtça fakir alevlerde daha az, zengin alevlerdeyse daha fazladır.



R=0,5

$Q_T=0,051(1/s)$



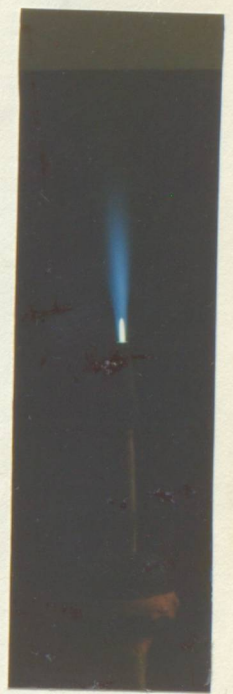
R=0,5

$Q_T=0,114(1/s)$



R=2

$Q_T=0,045(1/s)$



R=2

$Q_T=0,183(1/s)$

Şekil 47. Alev Fotoğrafları

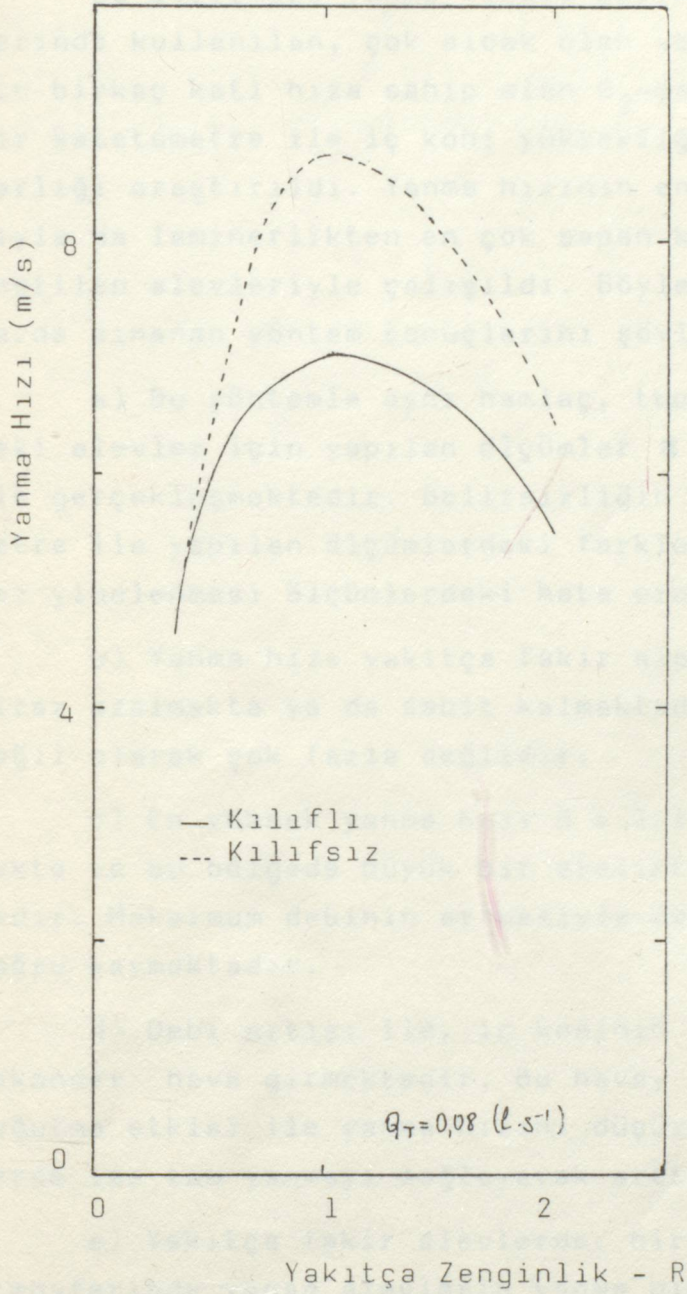
Bu nedenle yakıtça zengin alevlerde yanma hızı gerçekten artmasa da artar görünür. Bunu doğrulamak için alev fotoğrafı çekmek istedik.

Alevleri kendi atmosferlerinde yakınca, yakıtça fakir alevlerde debi artışı ile yanma hızı sabit kaldı. Yakıtça zengin alevlerde ise debi ile yanma hızı artışı azaldı.

Yakıtça fakir alevlerde kılıflı ve kılıfsız yanma hızları hemen hemen sabit iken, zengin alevlerde yüksek debiler-

de kılıflı alevlerin yanma hızları önemli derecede düşer. Bu yakıtça zengin alevlerde iç koninin içine ve ucuna karışan hava oksijenini yanma hızını arttırıcı etkisi olduğu düşüncesini doğrulamaktadır (Şekil'48).





Şekil 48. Aynı debide kılıflı ve kılıfsız alevlerin yanma hızlarının zenginlikle değişimi.

5. SONUÇ

Bu çalışmada yanma hızını belirlemek için alev işlemlerinde kullanılan, çok sıcak olan ve hava ile yanan alevlerin birkaç katı hıza sahip olan O_2 -gaz yakıt alevlerinde bir katetometre ile iç koni yüksekliğini ölçme yönteminin geçerliği araştırıldı. Yanma hızının en yüksek olduğu, dolayısıyla da laminerlikten en çok sapan karışım olan oksijen-asetilen alevleriyle çalışıldı. Böylelikle en olumsuz koşullarda sınınan yöntem sonuçlarını şöyle özetleyebiliriz:

a) Bu yöntemle aynı hamlaç, toplam debi ve zenginlikteki alevler için yapılan ölçümler \pm % 5'lik bir belirsizlik ile gerçekleşmektedir. Belirsizliğin nedeni uzaktan katetometre ile yapılan ölçümlerdeki farklılıklardır. Deneyin birçok kez yinelenmesi ölçümlerdeki hata oranını azaltacaktır.

b) Yanma hızı yakıtça fakir alevlerde, toplam debi ile biraz azalmakta ya da sabit kalmaktadır. Ancak bu değişimler bağıl olarak çok fazla değildir.

c) En yüksek yanma hızı $R = 1-1,5$ arasında elde edilmekte ve bu bölgede büyük bir aralıkta oldukça sabit kalmaktadır. Maksimum debinin artmasıyla daha yüksek R değerlerine doğru kaymaktadır.

d) Debi artışı ile, iç koninin içine ve uç bölgesine sekonder hava girmektedir. Bu hava, yakıtça fakir alevlerde soğutma etkisi ile yanma hızını düşürmektedir. Zengin alevlerde ise tam yanmayı sağlayarak arttırmaktadır.

e) Yakıtça fakir alevlerde, bir kılıfın içinde kendi atmosferinde yanan alevlerin yanma hızları, açık havada yanan alevlerinkine çok yakındır. Zengin alevlerde ise açık havada yanan alevlerin yanma hızları, kılıf içinde yanarlardan fazla olmakta ve bu fark zenginlikle artmaktadır.

f) Yakıtça zengin alevlerde, toplam debi arttığı zaman iç koni ideallikten sapmakta, yüzeyi aynı yükseklikteki ideal bir koniden fazla olmaktadır. Dolayısıyla da yanma hızı gerçekte artmasa da, artmış gibi gözükmektedir.

Oksijen-asetilen ön karışımli alevleri ile gerçekleştirdiğimiz bu denemeler, bütün O_2 -yakıt alevleriyle gerçekleştirilmesi sonucu, bu yakıtlar alev işlemleri açısından kıyaslanabilecek ve bunların birbirleri yerine nasıl kullanılacakları belirlenecektir.

1. KASIRCAN, N., "Oksijen-Gaz Yakıt Alevlerinde Kimyasal Denge", İTÜ İkinci Yarıyıl Sempozyumu, 11-12, İstanbul (1987)
2. SAKAÇ, M., "Değişik Alevlerden Metallerin İstifhalede Kullanılması İçin Alevin Metal ve İsmi Tabiiyatı İçin Bir Yöntem", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul (1990)
3. HILL, A. B., "Technology of Dry-Fuel Gas Processes, General Principles Involved", Welding and Metal Fabrication, 30(9), 118-121, (1971)
4. KASIRCAN, N., "Doğal Gazın Sentezi, İzolasyonu, Kurutulması, Filtresizliği, İstifhalede, İstifhalede Kullanılması İçin Bir Yöntem", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul (1990)
5. ERDOĞAN, S., "Alev ve Yakıt", Gazlar, 30(4), 30-34, E., İTÜ Mecmuası, 1-6, 22-24, 42-44, İstanbul (1974)
6. LEBLANC, P., "The Highest Temperatures of Pure Oxyacetylene on Inerts. Masson et al.", 15-16, 70-72, (1930)
7. HILL, A. B., "High Temperature Vapor Science and Technology", High Temperature Science, Academic Press, (1973)
8. KASIRCAN, N., "Doğal Gazın Sentezi İzolasyonu, Kurutulması, Filtresizliği, İstifhalede Kullanılması İçin Bir Yöntem", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul (1990)
9. KASIRCAN, N., KASIRCAN, M., "Oksijen-Gaz Yakıt Alevlerinde Kimyasal Denge", İTÜ İkinci Yarıyıl Sempozyumu, 11-12, İstanbul (1987)

KAYNAKLAR

1. SOUCHE, I., KADIRGAN, N., ELADALOUSSI, B., CHATALIC, A., BREGEON, B.G., " Some Aspect of Hydrogen Combustion and Its Potentialities Compared to Other Usual Fuels", Hydrogen Energy, 3, 1129-44, (1986)
2. KADIRGAN, N., " Oksijen- Gaz Yakıt Alevlerinde Kimyasal Denge", İTÜ İkinci Yanma Sempozyumu, 17-23, İstanbul (1989)
3. SARAÇ, A., " Değişik Alevlerden Metallere Isı İletiminin Kıyaslanması İçin Alevin Metal ve Cam Çubukları Kesme Sürelerine Dayalı Bir Yöntem", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Üniv., İstanbul (1990)
4. HEWITT, A.D., " Technology of Oxy-Fuel Gas Processes, General Principles Involved" , Welding and Metal Fabrication, 40(9), 318-322, (1972)
5. KADIRGAN, N., " Doğal Gazın Sanayide, Isınmada, Kurutmada, Pişirmede, Fırınlamada, Isıl İşlemlerde Doğrudan Kullanımı" Kimya Müh. Odası Doğal Gaz Okulu Notları, 171-178, İstanbul (1990)
6. BRADLEY, J.N., " Alev ve Yanma" , Çeviri: BORAT, O., BOYSAN, F., İTÜ Matbaası, 1-6, 24-34, 42-46, İstanbul (1974)
7. LEBEAU, P., " Les Hautes Temperatures et Leurs Utilisations en Chimie, Masson et C^{ie}, 11-16, 70-72, (1950)
8. Nasıl Çalışır Bilim, Teknoloji ve İcatlar Ansiklopedisi, Gelişim Yayınları 1 , 45-47, İstanbul (1980)
9. HASTIE, J.W., " High Temperature Vapors Science and Technology" , Materials Science Series, Academic Press, (1975)
10. KADIRGAN, N., " Doğal Gazın Yanma Özellikleri, Yanma Ürünleri ve Hava Kirliliği", Kimya Müh. Odası Doğal Gaz Okulu Notları, 221-225, 227-232, İstanbul (1990)
11. KADIRGAN, N., BREGEON, B., " Endüstride Kullanılan Gaz Yakıt- Oksijen Alevlerine C₂ ve CH Radikallerinin Deneysel İncelenmesi" , V. Kimya ve Kimya Müh. Sempozyumu, 71-73, Ankara (1988)

12. PRESS, H., " Formation des Oxydes lors du Soudage aux Gaz, Mesures pour la Prevention d'Atteintes a la Sante", Soudage et Techniques Connexes, 207-211, (1981)
- 13.KADIRGAN,N., " Doğal Gazın Sanayide Doğrudan Kullanımı", Kimya Müh. Dergisi, (133-134),46-49 (1989)
- 14.HEWITT; A.D., " Technology of Oxy-Fuel Gas Processes, Comparative Combustion Properties of Fuel Gases", Welding and Metal Fabrication, 40(11), 382-389,(1971)
- 15.HEWITT, A.D., " Technology of Oxy-Fuel Gas Processes,General Principles Involved", Welding and Metal Fabrication, 40(10),347-350, (1972)
- 16.HEWITT, A.D., " Technolgy of Oxy-Fuel Gas Processes, The Choice of Suitable Fuel Gases" Welding and Metal Fabrication, 40(12),416-422, (1972)
- 17.ANIK,S., Kaynak Tekniği 1, İTÜ (1973)
- 18.ANIK,S., " Sert Lehimlemenin Esasları", Kaynak Dünyası 15, (1990)
- 19.FIRATLI, E., " Metallerin Oksi-Doğal Gaz Alevi ile Kesilmesinde Ana Veriler", Makina Müh. Odası Doğal Gaz Sempozyum Bildirileri, 95-97, Eskişehir (1988)
- 20.RALLIS, C.I., GARFORTH, A.M., " The Determination of Laminar Burning Velocity", Prog. Energy Combust. Sci., (66), 303-329, (1981)
- 21.SUDDENDORF, R.F., DENTON, M.B., " Burning Parameters of Premixed Oxygen-Hydrogen and Oxygen-Acetylene Flames", Applied Spectroscopy, 28(1), 1974
- 22.KADIRGAN.N., " Konutlarda Doğal Gaza Dönüşüm", Kimya Müh. Odası Doğal Gaz Okulu Ders Notları, 35-36, İstanbul (1990)
- 23.KADIRGAN,N., CHALATIC, B.G., BREGEON. B.G. " Determination of H Radicals (ESR Spectroscopy), Temperature and OH Radicals (IR Spectroscopy) Distributions in Oxy-Fuel Flames at Atmospheric Pressure", 16 th Southeastern Seminar On Thermal Sciences 1, 117-133, (1982)

ÖZGEÇMİŞ

1964 yılı Çorum doğumluyum. İlkokul ve Ortaokulun ilk iki yılını, Çorum'da okudum. Daha sonra İstanbul Yeni Levent Lisesini bitirdim. 1983 yılında girdiğim Yıldız Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümünde, 1988 yılında yüksek lisans öğrenimine başladım. Aynı bölümde 1989'dan beri araştırma görevlisi olarak çalışmaktayım.



