

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İÇTEN YANMALI MOTORLARDA KULLANILAN YAKITLAR VE  
ALTERNATİF YAKITLARIN YANMA HIZLARININ ÖLÇÜMÜ**

Mak.Müh.Orkun ÖZENER

**FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Makinaları Programında  
Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr.Muammer ÖZKAN**

**İSTANBUL,2006**

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	iv
KISALTMA LİSTESİ.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
ÖNSÖZ.....	xi
ÖZET.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
1 GİRİŞ.....	1
1.1 Amaç ve Yöntem.....	3
2 LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	5
2.1 Ön Karışımli Laminar Alevler.....	5
2.2 Laminar Alevin Yapısı.....	6
2.3 Laminar Alev Hızı.....	8
2.3.1 Laminar Alev Teorileri.....	8
2.4 Alev Hızı Ölçüm Yöntemleri.....	10
2.4.1 Bunsen Brülörü Metodu (Bunsen Beki ).....	10
2.4.2 Küresel Kaptta Sabit Hacim Metodu.....	14
2.4.3 Sabun Köpüğü (Sabit Basınç) Metodu.....	15
2.4.4 Partikül Takibi Metodu.....	16
2.4.5 Düzgü Alev Brülörü Metodu.....	17
2.4.6 Optik Yöntem.....	19
2.5 Deneysel Sonuçlar.....	19
2.5.1 Karışım Oranının Laminar Alev Hızına Etkisi.....	19
2.5.2 Yakıt Moleküler Yapısının Laminar Alev Hızına Etkisi.....	21
2.5.3 İnert Katkı Maddelerinin Laminar Alev Hızına Etkileri.....	23
2.5.4 Reaktif Katkı Maddelerin Eklenmesinin Laminar Alev Hızına Etkileri.....	24
2.5.5 Basıncın Laminar Alev Hızına Etkisi.....	26
2.5.6 Başlangıç Sıcaklığının Laminar Alev Hızı Üzerine Etkisi.....	27
2.5.7 Alev Sıcaklığının Laminar Alev Hızına Etkileri.....	29
3 DENEY DÜZENİNİN TASARIMI.....	30
3.1 Yanma Hızı Ölçüm Yönteminin Belirlenmes.....	30
3.2 Deney Düzenegi Elemanlarının Seçimi ve Özellikleri.....	31
3.2.1 Yanma Tüpü Çapının ve Uzunluğunun Seçimi.....	31
3.2.2 Yanma Tüpünün Isıtılması.....	33
3.2.3 Homojenizasyon.....	33
3.2.4 Optik Algılayıcılar.....	33
3.2.5 Sinyal İşleme Ünitesi.....	34
3.3 Deney Düzeneginin Montajı.....	35

3.4	Deney Akış Şeması .....	41
4	DENEY SONUÇLARI.....	48
4.1	Deney Yakıtları ve Özellikleri .....	48
4.2	Ölçüm Bölgelerinin Tanımlanması .....	50
4.3	Deneysel Sonuçlar.....	52
4.3.1	Sıcaklığın Fonksiyonu Olarak Yanma Tüpü Boyunca Alev Hızı Değişimi.....	52
4.3.1.1	Kurşunsuz Benzin İçin Elde Edilen Deney Sonuçları Grafikleri.....	52
4.3.1.2	Nafta İçin Elde Edilen Deney Sonuçları Grafikleri .....	54
4.3.2	Ölçüm Bölgelerinde Karışım Oranına Bağlı Olarak Alev Hızı Değişimi.....	56
4.3.2.1	Kurşunsuz Benzin İçin Elde Edilen Deney Sonuçlarının Grafikleri .....	56
4.3.2.1.1	T=100 °C İçin Elde Edilen Deney Sonuçlarının Grafikleri .....	56
4.3.2.2.	Nafta İçin Elde Edilen Deney Sonuçlarının Graikleri.....	58
4.3.2.2.1	T= 20°C İçin Elde Edilen Deney Sonuçlarının Grafikleri.....	58
4.3.2.2.2	T = 50°C İçin Elde Edilen Deney Sonuçlarının Grafikleri.....	59
4.3.2.2.3	T = 100°C İçin Elde Edilen Deney Sonuçlarının Grafikleri.....	62
4.3.3	Ö. Bölgelerinden Elde Edilen Değerlerin K.Oranına Bağlı Karşılaştırılması .....	64
4.3.3.1	Kurşunsuz Benzin İçin Elde Edilen Değerlerin Karşılaştırılması.....	64
4.3.3.2	Nafta İçin Elde Edilen Değerlerin Karşılaştırılması .....	64
4.3.3	Ölçüm Bölgelerinden Alınan Değerlerin Sıcaklığa Bağlı Karşılaştırılması.....	65
4.3.3.1	Kurşunsuz Benzin İçin Elde Edilen Değerlerin Karşılaştırılması.....	65
4.3.3.2	Nafta İçin Elde Edilen Değerlerin Karşılaştırılması .....	69
4.3.4	Nafta ve K.Benzin İçin Elde Edilen Değerlerin Karşılaştırılması .....	74
4.3.4.1	Yanma Tüpü Boyunca Hız Değişiminin Karşılaştırılması .....	75
4.3.4.2.	Aynı Ö.Bölgelerindeki Aynı Deney Şartlarındaki Hızların Karşılaştırılması .....	77
4.3.4.3	Karışım O. Bağlı Olarak Aynı Sıcaklıktaki Değerlerin Karşılaştırılması .....	82
4.4.	Deney Görüntüleri.....	84
4.4..1	Aynı Şarttaki Deney Görüntülerinin Karşılaştırılması .....	89
4.5	Deney Esnasında Alınan Osiloskop Görüntüleri .....	98
5	SONUÇLAR .....	101
5.1	Kurşunsuz Benzin İçin Elde Edilen Sonuçlar.....	101
5.2	Nafta İçin Elnde Edilen Sonuçlar.....	103
5.3	Nafta ve Kurşunsuz Benzin İçin Elde Edilen Değerlerin Karşılaştırılması.....	105
5.4	Elde Edilen deney Görüntülerinin Yorumu .....	107
	KAYNAKLAR .....	108
	ÖZGEÇMİŞ .....	109

## SİMGE LİSTESİ

<i>A</i>	Yüzey alanı
<i>At</i>	Tüp kesit alanı
<i>Af</i>	Alev yüzey alanı
<i>Ar</i>	Argon
<i>B</i>	Gaz difüzyonu
<i>C</i>	Karbon
<i>CO</i>	Karbonmonoksit
<i>CO<sub>2</sub></i>	Karbondioksit
<i>C<sub>5</sub>H<sub>12</sub></i>	Pentan
<i>C<sub>6</sub>H<sub>14</sub></i>	Heksan
<i>C<sub>2</sub>H<sub>6</sub></i>	Etan
<i>C<sub>4</sub>H<sub>6</sub></i>	Bütan
<i>d</i>	Çap
<i>E</i>	Enerji
<i>H</i>	Hidrojen
<i>HC</i>	Hidrokarbon
<i>He</i>	Helyum
<i>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></i>	Hidrojen peroksit
<i>HO<sub>2</sub></i>	Hidrojen dioksit
<i>k</i>	Spesifik tüketim miktarı
<i>Le</i>	Sabit (Levis Sayısı)
<i>N</i>	Azot
<i>n</i>	Mol sayısı
<i>O</i>	Oksijen
<i>OH</i>	Hidroksil
<i>p</i>	Yanma odasının anlık basıncı
<i>R</i>	Sitokiometrik hava miktarı
<i>Re</i>	Reynold's sayısı
<i>RR</i>	Reaksiyon oranı
$\bar{R}$	Universal gaz sabiti
<i>r</i>	Yarıçap
<i>ri</i>	Sabun köpüğünün başlangıç yarıçapı
<i>rf</i>	Yanmış gazların oluşturduğu kürenin yarıçapı
<i>S</i>	Kükürt
<i>SO<sub>2</sub></i>	Kükürtdioksit
<i>Si</i>	Silisyum
<i>SL</i>	Laminar alev hızı
<i>t</i>	Süre
<i>T</i>	Sıcaklık
<i>Tu</i>	Yanmamış gazların sıcaklığı
<i>Tb</i>	Yanmış gazların sıcaklığı
<i>u</i>	Ortalama hava hızı
<i>Ur</i>	Ölçülen alev hızı
<i>X</i>	Fraksiyon mol sayısı

$x$	Mesafe
$V$	Hız
$V_t$	Tüp içindeki akış hızı
$V_{flame}$	Alev ön cephesinin ilerleme hızı
$Y$	Kütle fraksiyonu
$Z$	Yakıtça zenginlik
$\psi$	Yanmamış gazların kütle difüzyonu
$\mu$	Viskozite
$\rho$	Yoğunluk
$\gamma$	Spesifik oran
$\delta$	Malzeme kalınlığı
$\tau$	Reaksiyon süresi
$\lambda$	Kondüksiyon ısı transfer katsayısı
$\varepsilon$	Reaksiyon oranını diferansiyel ifadesi
$a$	Hava (İndis)
$f$	Alev (İndis)
$i$	Başlangıç (İndis)
$0$	Ortam (İndis)
$p$	Reaksiyon ürünleri (İndis)
$r$	Reaksiyona girenler (İndis)
$t$	Yanma borusu (İndis)
$u$	Yanmış gazlar (İndis)
$\rho_u$	Yanmamış gazların yoğunluğu
$\rho_b$	Yanmış gazların yoğunluğu

## **KISALTMA LİSTESİ**

FA	Foto Algılayıcı
MON	Motor Oktan Sayısı (Motor Octane Number )
NASA	National Aeronautics and Space Administration
RON	Araştırma Oktan Sayısı (Research Octane Number)
VLI	Buhar Kilitleme İndisi

## ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1	Deney düzeneği prensip şeması.....4
Şekil 2.1	Laminar alevin bölgeleri .....6
Şekil 2.2	Yanma dalgası,yanmamış gazlar ve yanmış gazların konumlandırılması .....8
Şekil 2.3	Bunsen brülörü elemanları ..... 10
Şekil 2.4	Ön karışımlı etilen alevi ..... 11
Şekil 2.6	Ön karışımlı bir alevin anlık görüntüsü ..... 11
Şekil 2.7	Konik alevin yapısı ..... 13
Şekil 2.8	Sabun köpüğü metodunda alev oluşumu..... 15
Şekil 2.9	Partikül takibi metodu..... 16
Şekil 2.10	Düzgün alev brülörü ..... 18
Şekil 2.11	Optik yöntem ..... 19
Şekil 2.12	Karışım laminar alev hızına etkisi ..... 20
Şekil 2.13	Karışım laminar alev hızına etkisi-2 ..... 20
Şekil 2.14	Moleküler yapının laminar alev hızına etkisi ..... 21
Şekil 2.15	Moleküler yapının laminar alev hızına etkisi -2 ..... 23
Şekil 2.16	İnert maddelerin laminar alev hızına etkisi ..... 24
Şekil 2.17	Reaktif katkı maddelerinin laminar alev hızına etkisi ..... 25
Şekil 2.18	Reaktif katkı maddelerinin laminar alev hızına etkisi ..... 25
Şekil 2.19	Basıncın laminar alev hızına etkisi ..... 26
Şekil 2.20	Başlangıç sıcaklığının laminar alev hızına etkisi ..... 28
Şekil 2.21	Başlangıç sıcaklığının laminar alev hızına etkisi-2 ..... 28
Şekil 2.22	Alev sıcaklığının laminar alev hızına etkisi ..... 29
Şekil 3.1	Fotoalgılayıcı kullanılmış olan alev hızı ölçme düzeneği ..... 30
Şekil 3.2	Nemli ortamda alev ineleme deneyesel sistemi ..... 31
Şekil 3.3	Tüp çaplarına göre metanın yanabilirlik bantları ..... 32
Şekil 3.4	Vishay BPW 96 Fototransistör ..... 34
Şekil 3.5	BPW 96 Bağlı spektral duyarlılığı..... 34
Şekil 3.6.	Deney düzeneği prensip şeması..... 36
Şekil 3.7	Deney düzeneği 3 boyutlu montaj resmi..... 37
Şekil 3.8	Yanma tüpü 3 boyutlu montaj resmimi..... 38
Şekil 3.9	Sirkülasyon tüpü 3 boyutlu montaj resmi ..... 39
Şekil 3.10	Ateşleme problemleri kesit resim ..... 40
Şekil 3.11	Deney akışı I.aşama ..... 44
Şekil 3.12	Deney akışı II.aşama ..... 45
Şekil 3.11	Deney akışı III.aşama ..... 46
Şekil 3.12	Deney akışı IV.aşama ..... 47
Şekil 4.1	Yanma tüpü sinyal noktaları..... 50
Şekil 4.2	Deney düzeneği sinyal noktaları..... 50
Şekil 4.3	Deney ölçüm bölgeleri ..... 51
Şekil 4.4	$My/Mh = 1/5$ için boru boyunca alev hızı değişimi grafiği ..... 52
Şekil 4.5	$My/Mh = 1/10$ için boru boyunca alev hızı değişimi grafiği ..... 52
Şekil 4.6	$My/Mh = 1/15$ için boru boyunca alev hızı değişimi grafiği ..... 53
Şekil 4.7	$My/Mh = 1/8$ için boru boyunca alev hızı değişimi grafiği ..... 54
Şekil 4.8	$My/Mh = 1/10$ için boru boyunca alev hızı değişimi grafiği ..... 54
Şekil 4.9	$My/Mh = 1/15$ için boru boyunca alev hızı değişimi grafiği ..... 55
Şekil 4.10	$T = 100^{\circ}C$ için 1.ölçüm bölgesindeki ortalama alev hızı değişimi grafiği ..... 56
Şekil 4.11	$T = 100^{\circ}C$ için 2.ölçüm bölgesindeki ortalama alev hızı değişimi grafiği ..... 56
Şekil 4.12	$T = 100^{\circ}C$ için 3.ölçüm bölgesindeki ortalama alev hızı değişimi grafiği ..... 57

Şekil 4.13	T= 20°C için 1.ölçüm bölgesindeki ortalama alev hızı değişimi grafiği	58
Şekil 4.14	T= 20°C için 2.ölçüm bölgesindeki ortalama alev hızı değişimi grafiği	58
Şekil 4.15	T= 20°C için 3.ölçüm bölgesindeki ortalama alev hızı değişimi grafiği	59
Şekil 4.16	T= 50°C için 1.ölçüm bölgesindeki ortalama alev hızı değişimi grafiği	60
Şekil 4.17	T= 50°C için 2.ölçüm bölgesindeki ortalama alev hızı değişimi grafiği	60
Şekil 4.18	T= 50°C için 3.ölçüm bölgesindeki ortalama alev hızı değişimi grafiği	61
Şekil 4.19	T= 100°C için 1.ölçüm bölgesindeki ortalama alev hızı değişimi grafiği	62
Şekil 4.20	T= 100°C için 2.ölçüm bölgesindeki ortalama alev hızı değişimi grafiği	62
Şekil 4.21	T= 100°C için 3.ölçüm bölgesindeki ortalama alev hızı değişimi grafiği	63
Şekil 4.22	1.Ölçüm bölgesindeki alev hızının sıcaklık ile değişim grafiği	64
Şekil 4.23	2.Ölçüm bölgesindeki alev hızının sıcaklık ile değişim grafiği	65
Şekil 4.24	3.Ölçüm bölgesindeki alev hızının sıcaklık ile değişim grafiği	65
Şekil 4.25	My/Mh= 1/5, Ölçüm Bölgesi 1.Bölge	66
Şekil 4.26	My/Mh= 1/5, Ölçüm Bölgesi 2.Bölge	67
Şekil 4.27	My/Mh= 1/5, Ölçüm Bölgesi 3.Bölge	67
Şekil 4.28	My/Mh= 1/10, Ölçüm Bölgesi 1.Bölge	68
Şekil 4.29	My/Mh= 1/10, Ölçüm Bölgesi 2.Bölge	68
Şekil 4.30	My/Mh= 1/10, Ölçüm Bölgesi 3.Bölge	69
Şekil 4.31	My/Mh= 1/8, Ölçüm Bölgesi 1.Bölge	70
Şekil 4.32	My/Mh= 1/8, Ölçüm Bölgesi 2.Bölge	70
Şekil 4.33	My/Mh= 1/8, Ölçüm Bölgesi 3.Bölge	71
Şekil 4.34	My/Mh= 1/10, Ölçüm Bölgesi 1.Bölge	71
Şekil 4.35	My/Mh= 1/10, Ölçüm Bölgesi 2.Bölge	72
Şekil 4.36	My/Mh= 1/10, Ölçüm Bölgesi 3.Bölge	72
Şekil 4.37	My/Mh= 1/15, Ölçüm Bölgesi 1.Bölge	73
Şekil 4.38	My/Mh= 1/15, Ölçüm Bölgesi 2.Bölge	73
Şekil 4.39	My/Mh= 1/15, Ölçüm Bölgesi 3.Bölge	74
Şekil 4.40	T=50°C, My/Mh=1/10 için nafta ve k.benzin hızlarının karşılaştırılması	75
Şekil 4.41	T=100°C, My/Mh=1/10 için nafta ve k.benzin hızlarının karşılaştırılması	75
Şekil 4.42	T=100°C, My/Mh=1/15 için nafta ve k.benzin hızlarının karşılaştırılması	76
Şekil 4.43	My/Mh= 1/10, T=50°C, Ölçüm Bölgesi 1.Bölge	77
Şekil 4.44	My/Mh= 1/10, T=50°C, Ölçüm Bölgesi 2.Bölge	77
Şekil 4.45	My/Mh= 1/10, T=50°C, Ölçüm Bölgesi 3.Bölge	78
Şekil 4.46	My/Mh= 1/10, T=100°C, Ölçüm Bölgesi 1.Bölge	78
Şekil 4.47	My/Mh= 1/10, T=100°C, Ölçüm Bölgesi 2.Bölge	79
Şekil 4.48	My/Mh= 1/10, T=100°C, Ölçüm Bölgesi 3.Bölge	78
Şekil 4.49	My/Mh= 1/15, T=100°C, Ölçüm Bölgesi 1.Bölge	80
Şekil 4.50	My/Mh= 1/15, T=100°C, Ölçüm Bölgesi 2.Bölge	80
Şekil 4.51	My/Mh= 1/15, T=100°C, Ölçüm Bölgesi 3.Bölge	81
Şekil 4.52	T=100°C, Ölçüm Bölgesi 1.Bölge	82
Şekil 4.53	T=100°C, Ölçüm Bölgesi 2.Bölge	82
Şekil 4.54	T=100°C, Ölçüm Bölgesi 3.Bölge	83
Şekil 4.52	T=100°C, Ölçüm Bölgesi 1.Bölge	82
Şekil 4.53	T=100°C, Ölçüm Bölgesi 2.Bölge	82
Şekil 4.53	T=100°C, Ölçüm Bölgesi 3.Bölge	83
Şekil 4.55	My/Mh=1/5 T=50°C K.Benzin denemesinde elde edilen görüntü	84
Şekil 4.56	My/Mh=1/10 T=50°C K.Benzin denemesinde elde edilen görüntü	84
Şekil 4.57	My/Mh=1/5 T=100°C K.Benzin denemesinde elde edilen görüntü	85
Şekil 4.58	My/Mh=1/8 T=25°C Nafta denemesinde elde edilen görüntü	85
Şekil 4.59	My/Mh=1/10 T=25°C Nafta denemesinde elde edilen görüntü	86

Şekil 4.60	My/Mh=1/15 T=25°C Nafta denemesinde elde edilen görüntü .....	86
Şekil 4.61	My/Mh=1/8 T=50°C Nafta denemesinde elde edilen görüntü .....	86
Şekil 4.62	My/Mh=1/10 T=50°C Nafta denemesinde elde edilen görüntü .....	87
Şekil 4.63	My/Mh=1/15 T=50°C Nafta denemesinde elde edilen görüntü .....	87
Şekil 4.64	My/Mh=1/8 T=100°C Nafta denemesinde elde edilen görüntü .....	87
Şekil 4.65	My/Mh=1/10 T=100°C Nafta denemesinde elde edilen görüntü .....	87
Şekil 4.66	My/Mh=1/15 T=100°C Nafta denemesinde elde edilen görüntü .....	88
Şekil 4.67	My/Mh=1/5 T=50°C K.Benzin denemelerinden elde edilen toplu görüntü .....	89
Şekil 4.68	My/Mh=1/10 T=50°C K.Benzin denemelerinden elde edilen toplu görüntü .....	90
Şekil 4.69	My/Mh=1/5 T=100°C K.Benzin denemelerinden elde edilen toplu görüntü .....	91
Şekil 4.70	My/Mh=1/8 T=25°C Nafta denemesinde elde edilen toplu görüntü .....	92
Şekil 4.71	My/Mh=1/10 T=25°C Nafta denemelerinden elde edilen toplu görüntü .....	92
Şekil 4.72	My/Mh=1/15 T=25°C Nafta denemelerinden elde edilen toplu görüntü .....	93
Şekil 4.73	My/Mh=1/8 T=50°C Nafta denemelerinden elde edilen toplu görüntü .....	94
Şekil 4.74	My/Mh=1/10 T=50°C Nafta denemelerinden elde edilen toplu görüntü .....	95
Şekil 4.75	My/Mh=1/15 T=50°C Nafta denemelerinden elde edilen toplu görüntü .....	95
Şekil 4.76	My/Mh=1/8 T=100°C Nafta denemelerinden elde edilen toplu görüntü .....	96
Şekil 4.77	My/Mh=1/10 T=100°C Nafta denemelerinden elde edilen toplu görüntü .....	96
Şekil 4.78	My/Mh=1/15 T=100°C Nafta denemelerinden elde edilen toplu görüntü .....	97
Şekil 4.79	K.Benzin My/Mh= 1/5 T=100 °C 1.Ölçümde alınan osiloskop görüntüsü .....	98
Şekil 4.80	Nafta, My/Mh= 1/10 T=50 °C 1.Ölçümde alınan osiloskop görüntüsü .....	99
Şekil 4.81	Nafta, My/Mh= 1/10 T=100 °C 1.Ölçümde alınan osiloskop görüntüsü .....	100

## ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 Alevlerin sınıflandırılması .....	2
Çizelge 2.1 Reaktivitenin laminar yanma hızına etkisi .....	22
Çizelge 3.1 Deney düzeneği akış şeması .....	43
Çizelge 4.1 Kurşunsuz benzin özellikleri .....	48
Çizelge 4.2 Naftanın özellikleri .....	49
Çizelge 5.1 Kurşunsuz benzin ile yapılan deneyler .....	101
Çizelge 4.2 Naftanın ile yapılan deneyler .....	103

## ÖNSÖZ

Araştırmaya ve deneysel incelemeye yönelik olan tez çalışmamda sonuca gitmemi sağlayan değerli tez hocam Yrd.Doç.Dr.Muammer ÖZKAN'a , çalışmamın her aşamasında değerli görüş ve fikirleri benimle paylaşan Sn.Prof.Dr.Orhan DENİZ'e , Anabilim Dalı Başkanımız Sn.Prof İrfan YAVAŞLIOL'a , çalışmam boyunca özellikle deney sisteminin geliştirilmesinde ve deneylerin gerçekleştirilmesi esnasında yardımlarını esirgemeyen Sn.Yrd.Doç.Dr.Tarkan SANDALCI'ya ,düzeneginin montaj işlemlerinde esnasında yardımlarını esirgemeyen laboratuvar teknisyenlerimize ve tüm çalışmam boyunca desteğini benden esirgemeyen çalışma arkadaşlarım ve aileme teşekkürlerimi sunarım.

## **ÖZET**

20. asrın ikinci yarısıyla birlikte dünya üzerinde artan enerji ihtiyacı,enerji üretiminde önemli bir yer tutan yanma prosesinin karakteristiklerinin daha iyi anlaşılmasını zorunlu kılmıştır.Bu nedenle araştırmacılar yıllardır yanma ve alev ve karakteristikleri üzerinde çalışmaktadırlar.Yanma ve alev üzerindeki en önemli çalışma konularından biriside alev hızıdır.Yapısal olarak en basit olan ancak kompleks yanma mekanizmalarının incelenmesine temel alınan alev türü ise ön karışımli laminar alevdir.

Bu çalışmanın ilk iki bölümünde ; laminar alev hızı üzerine yapılmış olan önceki çalışmalar verilmektedir.Üçüncü bölümde ise çalışmada kullanılmış olan deney düzeneği anlatılmaktadır. Dört ve beşinci bölümlerde ise deney sonuçları ve yorumları verilmiştir.

Çalışma boyunca ana olarak başlangıç sıcaklığının ve karışım oranının laminar alev hızına olan etkisi araştırılmıştır. Karışım oranının stokiometriye yaklaşması ile birlikte alev hızının arttığı. Sıcaklığın artışı ile birlikte ise alev hızı değerlerinin değışken sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler :** Yanma,Ön Karışımli Alev,Alev Hızı

## **ABSTRACT**

The combustion process has become the mostly investigated process by the second half of the 20th century due to the need of understanding and manipulating this complex process in a world demanding more energy. Because of that, for years the researchers has investigating the combustion process and the flame phenomena and its characteristics. The most significant research subject about a flame is the flame speed. Then the basic concept for the flame is premixed laminar flame which is the fundamental research subject for complex flame research.

In first two chapter of this work; the survey about the laminar flame speed experiments and theories are covered. Then in the third chapter of this work the experimental setup is explained. The results and the comments are discussed in the fourth and fifth chapter.

Mainly the effect of the initial temperature and mixture ratio on laminar flame speed are investigated within this work. It is observed that by mixture ratios getting closer to the stoichiometric ratio the laminar flame speed increased in harmonious with the theory. The increase in the initial mixture temperature resulted in alternating laminar flame speeds.

**Key Words :** Combustion , Premixed Laminar Flame, Flame Speed

## 1. GİRİŞ

Günümüz dünyasında taşımacılık, enerji üretimi ve ısıtma için kullanılan enerjinin % 90 a yakın kısmı sıvı, katı yada gaz yakıtların yakılması ile elde edilmektedir. Bu bağımlılığın içinde bulunduğumuz yüzyıl içerisinde de devam edeceğini ve bu nedenle ; verimlilik ve çevre kirliliğini önleme açısından daha efektif teknolojiler geliştirmenin ne denli önemli olduğu düşünülürse , yanma prosesinin önemi de ortaya çıkacaktır. (Borman , 1998)

Yanma basit olarak ortaya ısı çıkaran ve hızlı bir oksidasyon prosesi olarak ele alınabilir. Ekzotermik prosesin yer aldığı ince bölge ise alev olarak adlandırılmaktadır. (Turns, 1996)

Genel anlamda bakıldığında alevleri iki ana kategoride incelemek mümkündür.

- I- Ön karışımli alevler.
- II- Difüzyonlu alevler.

Ön karışımli alevlerde ; yakıt ve oksidan herhangi bir belirgin kimyasal reaksiyondan önce moleküler düzeyde karışmış durumdadır. Otto motorlarında oluşan alev, ön karışımli yanma için verilebilecek örneklerden birisidir.

Difüzyonlu alevlerde ise ; yakıt ve yükseltgen yani tepkirler reaksiyonun başlamasından önce birbirlerinden ayrı durumlarda bulunmaktadır. Reaksiyon , yakıt ve oksidanın birbiri ile karıştığı ve aynı zamanda reaksiyona girdiği ara kesişim yüzeyinde meydana gelir . Bu nedenle enerjinin açığa çıkışı karışım prosesi ile direk olarak ilintilidir . Alev bir boyutlu değildir Basit bir mum alevi difüzyonlu yanmaya örnek olarak verilebilir. (Turns)

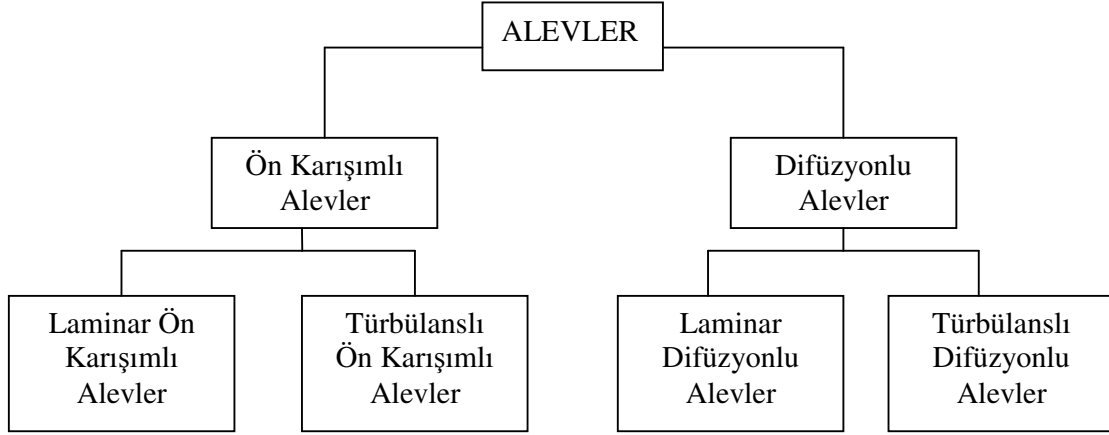
Alevleri ise alt başlıklar halinde şu şekilde gruplamak mümkündür.

- I- Ön Karışımli alevler : Laminar ön karışımli alevler , türbülanslı ön karışımli alevler.
- II- Difüzyonlu alevler : Laminar difüzyonlu alevler , türbülanslı difüzyonlu alevler.

Ortam şartlarında durgun bir yakıt-hava karışımı içerisinde bir ısı kaynağı ile reaksiyon başlatıldığında oluşan alev laminar alev olarak adlandırılabilir. Reaksiyon oldukça ince bir

bölgede gerçekleşir ve yanma hızları oldukça düşüktür. Bir Bunsen Brülörü alevi laminar ön karışımli statik bir aleve örnektir.

Türbölansli ön karışımli alevlerde ise ; ısınmn açığa çıkışı laminar alevlere nazaran çok daha hızlı olmaktadır. Ortamdaki türbölans alevin yayılım hızını artırmaktadır. Motorlarda ve fırın yakıcılarında karşılaşılabileceğimiz alevlerin bir kısmı türbölansli ön karışımli yanmadır. (Borman,1998)



Çizelge 1.1. Alevlerin sınıflandırılması

Laminar tek boyutlu alevler ise bir çok karmaşık türbölansli yanma modelinde ana temel element olarak kullanılmaktadır ve alev hızının belirlenmesi ise yanma teorisinin temel elementi olarak kabul edilmektedir. Ancak ; alev hızının ölçülmesinde kullanılan birbirinden farklı yöntemler, çözülmesi gereken bir çok zorluğu da beraberinde getirmiştir. (Poinsot,2005)

Alev hızının tanımlayabilmek ve belirleyebilmek için öncelikle alevin yapısı, oluşumu ve yayılımı genel olarak incelenmelidir.

Alev ancak tutuşabilirlik sınırları yerine getirilmişse oluşur. Tutuşabilirlik sınırları sağlanmış yakıt-hava karışımı ateşleme ile tutuşur ve bundan sonra oluşan alev cephesi ile yanmanın devamı alevin kendisi tarafından gerçekleştirilir.

Alev cephesi oluşuktan sonra yanmanın devam edebilmesi yani alev cephesinin ilerlemesi birçok etmene bağlıdır. Bunlardan ilki ve en önemlisi sıcaklıktır. Yakıt-hava karışımı tutuştuktan sonra yanmanın devamlılığı alev tarafından gerçekleştirilir. Alev cephesi yanma odasında ilerlerken önünde bulunan ve henüz yanmamış olan yakıt-hava karışımını ısıtır ve tutuşturur. Bu olay zincirleme reaksiyon gibi davranarak alev cephesinin yayılmasını sağlar. Eğer ortam ve yanma odası çeper sıcaklıkları düşük ise alev merkezinden çeperlere ve ortama ısı transferi fazla olacaktır. Isı transferi ile alevin termodinamik enerjisinin boşa harcanması, zaman geçtikçe alev merkezinin dolayısıyla alevin soğumasına neden olacaktır. Soğuyan alev çekirdeği önünde bulunan yakıt-hava karışımını yanmaya hazır duruma getiremeyecek duruma gelecektir. Bunun yanında düşük çeper sıcaklıkları nedeni ile alev cephesinin çeperlere çarpan kısımları söner bu da alev cephesinin hızını azaltır.

Alev oluşumunda asıl önemli kısmı alevin çekirdeğidir. Yanma buradan başlayarak çevreye doğru yayılır. Bu yayılım ortam şartlarına bağlı olarak laminar veya türbülanslı olabilir.

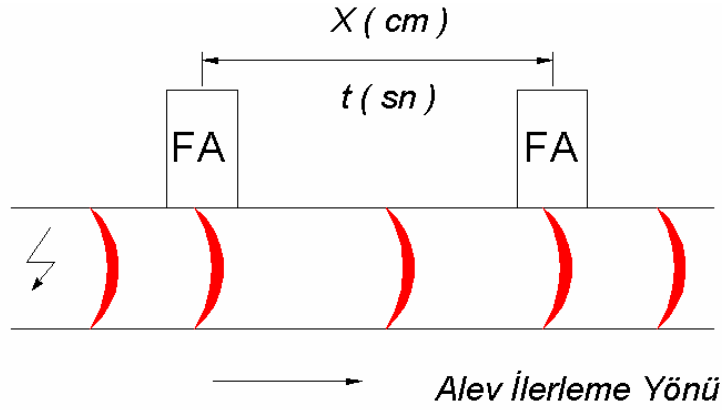
Temel olarak baktığımızda yanma hızı; alev cephesinin çekirdeğinin belirli bir zaman aralığında almış olduğu yoldur. Ancak alev çekirdeğinin merkezinin sistemde saptanması zordur. Bu ancak gelişmiş sistemler yardımı ile algılanabilir. Kullanılacak kontrol ve ölçme mekanizmasındaki elemanlar alev cephesinin belirli noktalarındaki sıcaklıkları ölçerek alev çekirdeğini saptayabilirler. ( Jarosinski,1986 )

### **1.1 Amaç ve Yöntem**

Çalışmamızın amacı ana olarak otomotiv sanayinde kullanılan temel ve alternatif yakıtlardan bir kaçının atmosferik şartlardaki ön karışımli laminar alev hızlarını belirleyebilmektedir. Otomotiv sanayisinde ve yakıt teknolojisine sağlanan yaşanan gelişmeler enerjinin açığa çıkışını direk olarak etkileyen yanma hızlarına olan ilgiyi (özellikle fakir limitlerdeki yanma hızlarına ) artırmıştır.

Bu amaçtan yola çıkarak çalışmamız da alev hızını ; alev cephesinin belirlenmiş olan (  $X$  ) mesafesini ne kadar sürede aldığını belirlemeye yarayan bir optik yöntem kullanarak belirmeye çalıştık.

Basit olarak tanımlamak gerekirse deney düzeneğimiz , foto algılayıcılardan ve bir yanma tüpünden oluşmaktadır.Foto algılayıcılar üzerine düşen ışık ile birlikte çıkış sinyali üreten elektronik parçalardır. Yanmanın başlamasının ardından yanma tüpü içerisinde ilerleyen alev cephesi 1.foto algılayıcının önünde geçtiğinde bir sinyali üretmektedir, alev cephesi ikinci algılayıcının önünden geçtiğinde ise ikinci bir sinyal daha üretilmektedir. Daha sonra bir sinyal işleme ünitesinde bu iki sinyal arasındaki zaman farkı belirlenmektedir ve  $V= x/t$  bağıntısından yararlanılarak alev hızı hesaplanmaktadır.



Şekil 1.1 Deney düzeneği prensip şeması

## 2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

### 2.1 Ön Karışımli Laminar Alevler

Bir sistemdeki yakıt ve oksidanın (yükseltgen) patlamalı bir reaksiyon verebilmesi için gerekli olan şartlar özellikle o sistemin basıncına ve sıcaklığına bağlıdır.

Oda sıcaklığında ve atmosfer basıncı şartları altında verilmiş olan bir ön karışımli bir yakıt / oksidan sistemi aslen reaktif değildir. Ancak sistemin herhangi bir bölgesinden ateşlenmesi ; sistemde bir patlama gerçekleşmesi için sıcaklığın yeteri kadar yükselmesine (yada sistem içerisinde yüksek konsantrasyon da radikallerin oluşmasına) ve belirli karışım limitleri içerisinde bulunulması şartı ile gaz karışımının bulunduğu sistem içerisinde yayılabilecek olan patlamalı bir reaksiyon meydana getirmesine sebep olabilir. Gaz karışımının, sistem içerisinde yayılabilen patlamalı bir reaksiyon verebilmesi için karışımın içinde bulunması gerektiği bu limitler yanabilirlik limitleri olarak adlandırılmaktadır.Yanabilirlik limitleri içerisinde bulunan ön karışımli bir yakıt/oksidan kompozisyonu uzun bir tüp içerisine depolanır ve karışım herhangi bir ağız kısmından ateşlenirse ,yanma dalgası tüpün diğer kısmına doğru yayılmaya başlayacaktır.

Yanma dalgasının hızı transport prosesleri ile kontrol edilmektedir.Bu prosesler ise ana olarak kondüksiyonla ısı transferi ve radikallerin difüzyonudur.Yanma dalgası normal olarak alev olarak adlandırılmaktadır.Yanma dalgasından aynı zamanda bir akışın varlığı yada deflegrasyon (yanma dalgasının hareketi ) olarakta söz etmek mümkündür.

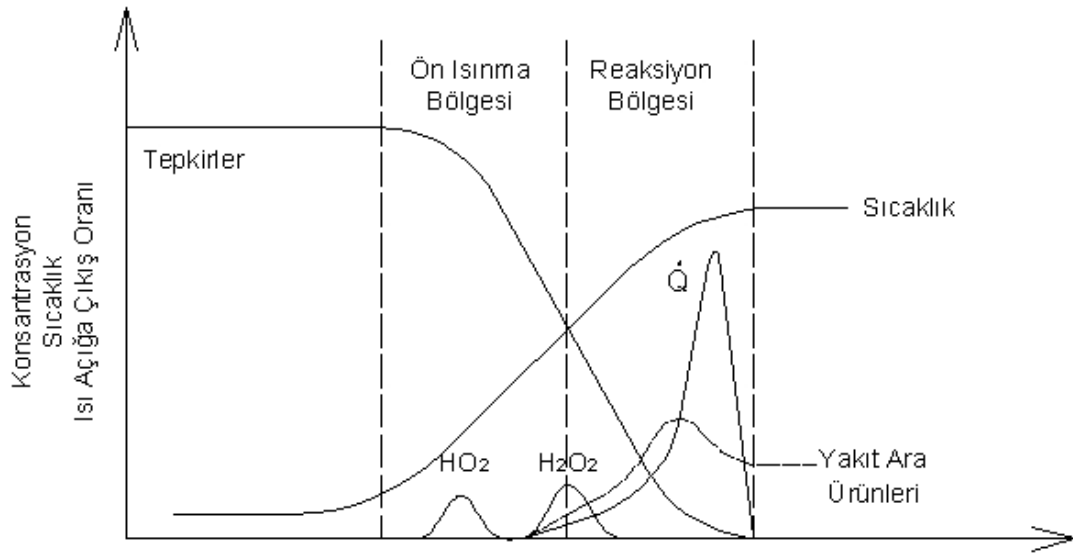
Yanma dalgasının hızı ses hızının altında ise subsonik yanma dalgası (deflagrasyon) olarak adlandırılır. Eğer yanma dalgasının hızı ses hızının üstünde ise yanma dalgası süpersonik yanma dalgası (detonasyon ) olarak adlandırılır. (Glassman,1996)

## 2.2 Laminar Alevin Yapısı

Laminar alevi ana olarak üç bölge ile karakterize etmek mümkündür.

Bu bölgeler;

- 1-Ön ısınma Bölgesi,
- 2-Reaksiyon Bölgesi,
- 3-Yeniden Kombinasyon Bölgesi



Şekil 2.1 Laminar alevin bölgeleri. ( Turns ,1996 )

Reaksiyon bölgesinde ısıl bozunma ve CO ve H<sub>2</sub> gibi ara ürünlerin harcandığı reaksiyonlar görülür. Metan gibi çok stabil bir molekülü düşündüğümüzde de ,alev içerisinde geçirdiği kısa zamanda ısıl bozunma reaksiyonlarının oluşumu zordur. Ancak çok az sayıda ısıl bozunma reaksiyonu meydana gelebilir. Fakat doymuş hidrokarbonların büyük kısmında ,fark edilebilir bir bozunma görülür ve reaksiyon bölgesinin bu kısmını terk eden yakıt partikülleri ana olarak ; olefinler , hidrojen ve düşük sayılı hidrokarbonlardır.

Alevdeki reaksiyon bölgesinin karakteristiği ve kompozisyon değişimi

- 1- Yanmamış gazların alev bölgesine doğru olan konvektif akışı,

2- Radikallerin konvektif akışa zıt yönde ön ısınma bölgesine doğru difüzyonu ile belirlenir.

Bu difüzyon ise H atomları tarafından domine edilmektedir.Sonuç olarak ise düşük sıcaklıklı olan ön ısınma bölgesinde belirgin miktarlarda HO<sub>2</sub> oluşumu görülmektedir.Ön ısınma bölgesindeki düşük sıcaklıklardan dolayı kolayca HO<sub>2</sub> radikalleri oluşmaktadır.

Bu sıcaklıklarda  $H + O_2 \Rightarrow OH + O$  zincirleme dallanma reaksiyonu gerçekleşmez ve HO<sub>2</sub> radikalleri daha sonra hidrojen peroksit H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ye dönüşürler. Hidrojen peroksit ön ısınma bölgesindeki sıcaklıklarda bir çözünme göstermemektedir ve reaksiyon bölgesine konvekte (konveksiyon nedeni ile transfer olurlar ) olarak daha yüksek sıcaklıklarda OH radikallerini oluşturur ki bu bölgede OH radikalleri ağırlıktadır.

Reaksiyon bölgesinin ilk kısmında O ve H a göre daha fazla OH bulunması , OH'ın yakıtın üzerine doğru nüfuzu ile birlikte yakıtın bozunmasının ana nedendir.OH'ın yakıttan abstraksiyon (ayrılma) oranı H ve O 'nun abstraksiyon oranı ile aynı orana geldiğinde , OH'ın abstraksiyonu ortamı domine etmektedir.

Reaksiyon bölgesinin sonraki kısmı ise ara ürünlerin harcandığı ve CO ' nun CO<sub>2</sub> ye dönüştüğü bölgedir. CO'nun dönüşümü sistemdeki ana ısı açığa çıkışını meydana getirmektedir ve be nedenledir ki ısının açığa çıkış oranı eğrisi maksimum sıcaklıkta pik yapar.Ancak bu eğride ani olarak bir düşüş gözlemlenmektedir ki bu düşüşün nedeni CO'nun çabucak tükenmesi ve arta kalan yakıt ara ürünleridir.Sıcaklık ise daha yumuşak ve eksponansiyel bir yükseliş gösterir.Bunu nedeni ise ısının nispeten daha soğuk kalmış gazlara difüzyonudur.

Yeniden kombinasyon bölgesinde ise reaksiyonların oldukça egzotermik olmasına rağmen ,buradaki reaksiyona giren radikallerin oldukça düşük konsantrasyonda olmaları nedeni ile sıcaklık profili bu faza çok fazla bir tepki vermez. (Glassman ,1996)

### 2.3 Laminar Alev Hızı

Alev hızı ; ( laminar alev hızı yada yanma hızı olarakta adlandırılır) basit olarak şu şekilde tanımlanmaktadır.Alev hızı ,yanma dalgası nedeni ile hareket eden yanmamış gazların , dalga yüzeyi normaline doğrultusundaki hızıdır



Şekil 2.2 Yanma dalgası yanmış gazlar ve yanmamış gazların konumlandırılması. (Glassman,1996)

#### 2.3.1 Laminar Alev Teorileri

Laminar alev hızını analiz eden teorileri ana olarak 2 grupta toplama mümkündür.Bu teoriler tarihsel gelişim sıralaması ile şu şekildedir.

1-Termal Teori

2-Difüzyon Teorisi

Termal teori , Mallard ve Le Chatelier'in yaptığı çalışmalara dayanmaktadır. Bu teori tabakalar arasındaki ısı transferi mekanizmasının alevin yayılmasını kontrol ettiğini ifade etmektedir.Bu nedenle enerji korunumu temelini oluşturmaktadır. Mallard ve Le Chatelier'in ortaya koyduğu postülat alevin iki tabakadan meydana geldiğini ve bu iki tabaka arasında ateşlemenin meydana geldiğini ifade etmektedir.

Daha sonraları araştırmacılar tarafından termal teori üzerine geliştirmeler yapılmıştır.Yapılmış olan bu geliştirmelerden en kayda değer olanı Zeldovich ve Frank-Kamenetskii tarafından

yapılmış olan geliştirmediir.Yapmış oldukları geliştirme daha sonradan Semenov tarafından detaylandırıldığı için Semenov teorisi olarakta bilinmektedir.

Bu teori ise ana olarak ısınının difüzyonu ile birlikte moleküllerin difüzyonunu da ele almıştır.Ancak serbest radikallerin yada atomların difüzyonunu ele almamıştır.Sonuç olarak yaklaşımları ana olarak bir termal mekanizma üzerine dayanmaktadır ve bu yaklaşım deneysel alev hızı çalışmalarındaki incelemelerde kullanılan korelasyonlarda sıkça kullanım alanı bulmaktadır.

Mallard ve Le Chatelier'in teorisinde olduğu gibi Semenov'da bir ateşleme sıcaklığı kabulü yapmıştır.Ancak sonuç denklemin daha efektif bir şekilde kullanılabilir olması için , yapılan yaklaşımlarla bu terim elemine edilmiştir.Teori, reaksiyon mekanizmasının sadece ısı mekanizma ile kontrol edilmediğini ; ek olarak radikaller gibi aktif ürünlerin difüzyonunu da ele alır.Düşük atomik ve moleküler kütleli parçacıklar sistem içerisinde geriye doğru difüze olarak yeni reaksiyonların olmasına sebep olabilir.

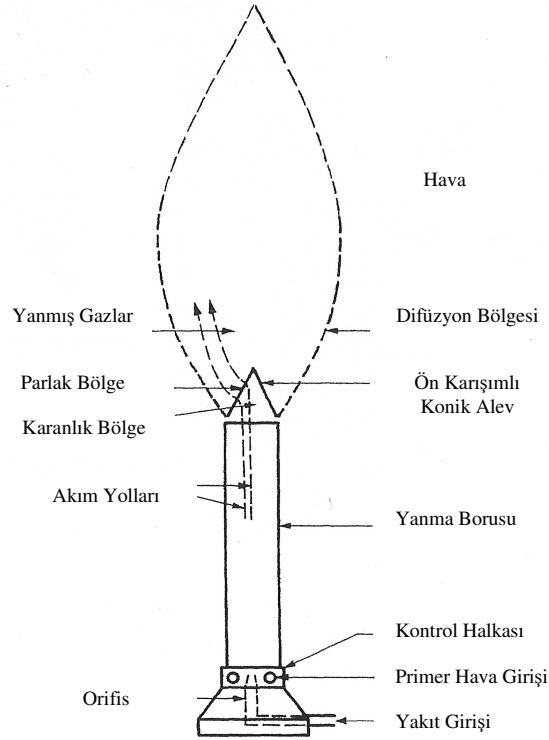
Parçacıkların difüzyonu teorisi ise ilk olarak 1934 yılında Lewis ve von Elbe tarafından geliştirilmiştir.(Ozon reaksiyonu temelinde ele alınmıştır). Tanford ve Pease ise bu teoriyi daha da ileriye götürerek, buradaki radikallerin difüzyonu faktörünün etkisinin termal teorideki sıcaklık gradiyenti faktörüne göre daha önemli olduğunu ortaya koymuşlardır.

Termal teori yaklaşımın da ; daha yüksek ortam sıcaklığı daha yüksek bir reaksiyon sonu sıcaklığını ve daha yüksek bir reaksiyon oranını meydana getirmektedir.Buda alev hızını artırmaktadır. Benzer olarak difüzyon teorisinde ; daha yüksek sıcaklık daha fazla ayrılmaya ve daha fazla miktarda radikalın geriye doğru difüzyonunu ve sonuç olarak alev hızının artması sonucu doğurmaktadır.

## 2.4 Alev Hızı Ölçüm Yöntemleri

### 2.4.1. Bunsen Brülörü Metodu ( Bunsen Beki )

Bunsen Brülörü , laminar statik alevin hızının tayinin de kullanılan en basit düzenektir. Bu sistemde gaz yakıt, brülörün alt tarafından sokulur.Buradaki gaz yakıtın oluşturmuş olduğu jet, kontrol halkasında bulunan deliklerden ilk havanın sisteme girmesini sağlar.Bu esnada yakıt ile hava tüpün yukarısına doğru ilerlerken karışmaya başlarlar ve tüpün en üst noktasına ulaşmadan önce iyi bir şekilde karışmış olan yakıt ve hava karışımı homojen olarak kabul edilir .Alev brülörün tepesinin çok yakınında oluşur.Yakıt beslenmesi sabit bir düzeye gelene kadar , hareketsiz havanın çevrelediği alev kararlı ve sabit bir şekilde kalır.(Kuo,2005)

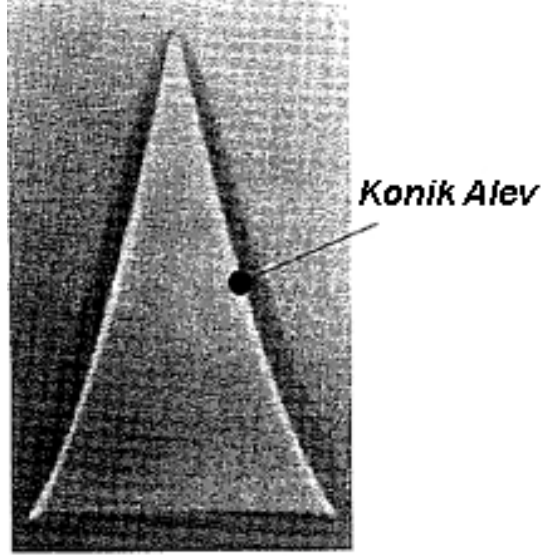


Şekil 2.3. Bunsen brülörü elemanları. (Kuo,2005)

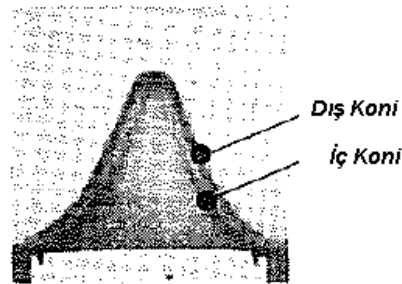
Şekil 2.4 de Gaydon ve Wolfhard tarafından görüntülenmiş olan konik bir ön karışımli etilen-hava alevi görülmektedir.Weinberg tarafından görüntülenen konik bir ön karışımli alev görüntüsü ise Şekil 2.5 te görülmektedir.Weinberg tarafından görüntülenen ön karışımli bir alevin anlık görünür (dış koni) ve schlieren (iç koni) konileri ise Şekil 2.6 te görülmektedir.



Şekil 2.4 Ön Karışımli etilen alevi ( Kuo, 2005)



Şekil 2.5 Ön karışımli konik alev (Kuo , 2005)



Şekil 2.6 Ön karışımli bir alevin anlık görüntüsü (Kuo,2005)

Fotoğraflardan da görüldüğü gibi alevin içinde reaksiyonun meydana geldiği ve ısı açığa çıkışının gerçekleştiği parlak bir bölge bulunmaktadır. Parlak koninin altında ise yanmamış gaz moleküllerin akış yönlerini değiştirip, dikey doğrultudan dışarı doğru akmaya başladığı (Şekil 2.3 de de gösterilen ) karanlık bölge bulunmaktadır. Parlak Bölge'nin hemen altında yanmamış gazların sıcaklığı kritik seviyeye ulaşmasıyla birlikte hızlı kimyasal reaksiyonlar başlar. Yanmış gazlar yanma bölgesini terk ederken genişlerler ve daha sonra çevredeki

havanın etkisi ile seyrelir ve soğumaya başlarlar. Şekil 2.3 de bir Bunsen Brülöründeki genel akış karakteristiğini gösteren akım çizgileri görülmektedir.

Parlak Bölge'nin kalınlığı genellikle 1 mm geçmez. Glassman' a göre Parlak Bölge'nin rengi karışımın yakıt hava oranına bağlı olarak değişmektedir. Karışım fakir olduğu zaman , bu bölgedeki yüksek konsantrasyondaki CH radikalleri nedeni ile koninin yüzey bölgesi koyu menekşe rengini almaktadır Karışım zengin olduğu zaman ise bu bölgedeki yüksek konsantrasyondaki C<sub>2</sub> molekülleri nedeni ile koni yüzeyi yeşil renk almaktadır. Yüksek sıcaklıktaki yanmış gazlar ise CO<sub>2</sub> ve su buharının radyasyonundan kaynaklanan kırmızımsı bir renk gösterirler. Karışımın çok zengin olması durumunda ise karbon partikülleri oluşur ve güçlü bir sarı ışımaya oluşur .

Bunsen Brülörün' de elde edilen ön karışımli alev difüzyon alevi ile karşılaştırıldığın da daha temiz olmakla birlikte efektif sıcaklıklarla birlikte şiddetli yanmalarda oluşturabilmektedir. Şekil 2.3 de de görüldüğü gibi yakıt brülöre bir orifisden veya nozuldan geçerek girmektedir ki bu da ilk havanın içeriye girmesini sağlar. Yakıt hava karışımı alevin geri dönüşünü önlemeye yeterli bir hız ile tüpe girer. Bu nedenle yanma olayı brülörün tepesinde gerçekleşmektedir. Hava miktarını iyi sağlayabilmek için hava delikleri yeterli büyüklükte olmalıdır . Ancak Bunsen Brülöründe sisteme giren hava miktarı genellikle gazların tam yanması için yeterli değildir.

Bunsen Brülörü'nün ölçüleri sınırlıdır. Tüpün iç çapının minimum değeri yakıt hava karışımının sönmelerini engelleyecek minimum değer olmalıdır. Çapın değerinin üst sınırını ise alevin geri-dönüş eğilimi belirler. Bu değer alevin geri dönmesini engelleyecek en üst seviye olmalıdır. Belirlenmiş olan bir besleme basıncı için brülörün çıkış portunda alev elde edebilmek için belirli bir maksimum gaz hızı vardır. Bu nedenle büyük brülörlerde alevin geri dönüşünü engellemek ve tüpün her noktasında yeterli gaz hızlarına ulaşmak için ortalama hız artırılmalıdır.

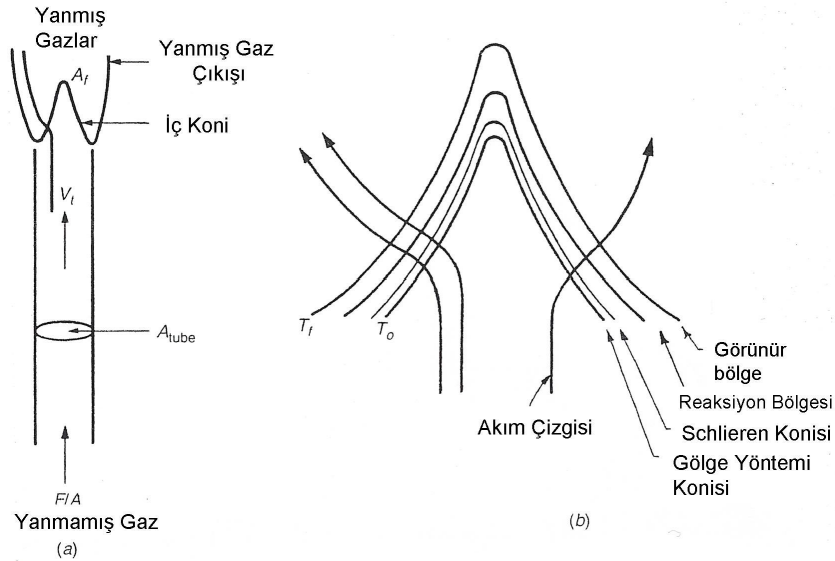
Daha iyi bir karışım elde edebilmek ve gaz jetinin yeterli türbülansı sağlayabilmesi için uzun brülörler tercih edilir. Fakat uzunluk gereğinden fazla olursa sistemde istemeyen dirençler oluşur ve buda sisteme giren hava miktarını azaltır. Örnek olarak doğal gaz için tüpün boyunun uzunluğu iç çapın yaklaşık 6 katı olmalıdır. Yüksek hızlı ön karışımli alevlerde ise

daha uzun bir tüp gerekir. Bu tüpün boyu da tüpün iç çapının yaklaşık 10 katı olmalıdır. Genellikle tüpün iç çapı 1 cm dolayındadır. Bu konstrüksiyon parametreleri sayesinde Bunsen Brülörü birçok alanda kullanılmaktadır.

Konik laminer alevin akışı şekil gösterilmiştir. Burada en içteki koninin yüzey alanına  $A_f$ , tüpün yatay kesitinin alanına  $A_t$  ve tüpün içersindeki akış hızına  $V_t$  dersek laminar statik alevin hızı  $S_L$ ;

$$S_L = V_t \frac{A_t}{A_f} \quad (2.1)$$

şeklin de hesaplanır.



Şekil 2.7. Konik alevin yapısı (Kuo,2005)

Laminar alev hızı formülü oldukça basit görünmesine rağmen,  $S_L$ 'in belirlenmesin de bazı zorluklar vardır. Bunun nedeni ise yüzey alanı  $A_f$ 'nin net olarak belirlenemeyişidir. Bu alanı saptayabilmek amacıyla optik yöntemler kullanılır. Bu optik yöntemde koninin gölgesinden yararlanılarak  $A_f$  alanının hesabı yapılmaya çalışılır. Basit olduğu için çoğu deneyde bu koni gölgesi yöntemi kullanılmakta olup bu teknik Schlieren tekniklerine göre daha basittir. Gölge koni gerçek soğuk olduğu için daha doğru sonuçlar vermektedir.

Bilim adamları magnezyum oksit partikülleri ile yaptıkları deneyler de; akış çizgilerinin schlieren konisine ulaşana kadar sabit doğrusal bir düzlem de kaldıklarını ve daha sonra

görünür koniye ulaşmadan önce brülör ekseninden saptıkları gözlemlenmiştir. Bu deneyler bir çok araştırmacıya; schlieren konisinin alev hızı değişiminin belirlenmesi konusunda kullanımında öncü olmuştur. Genellikle , alev bölgesi kalınlaştıkça ölçümde yapılan hata oranı da büyümektedir.

Bu yöntemin en önemli avantajı sistemin basit, esnek ve değişken başlangıç sıcaklık ve basınç değerlerine uyum sağlayabilmesidir. Fakat bunun yanında oldukça fazla dezavantajı da vardır.

Bunlar;

- i. Konik alevin taban kısmında, kimyasal ürünlerin atmosferik ortama difüzyonları sonucu hava-yakıt oranı değişmektedir. Buda gözlemlenen alev hızının ölçülen hava-yakıt oranından farklı bir oran için gözlemlenmiş olması sorununu ortaya çıkarmaktadır.
- ii. Duvarın sönme olayı üzerine etkilerini tamamıyla azaltmak çok zordur.
- iii. Alev konisi objektif gibi davranarak, gölge ölçümünde hatalara ve dolayısıyla hız değerinde yanlışlıklara neden olabilir.
- iv. Büyük çaplı tüplerde yetersiz hava girişinden dolayı , alevin geri dönüşünü eğilimi ortaya çıkmaktadır. (Kuo,2005)

#### **2.4.2. Küresel Kaptı Sabit Hacim Metodu**

Laminer alev Bunsen Metodu' nda olduğu gibi durağan bir yapıya sahip olmayabilir. Laminer alev küresel bir odacıkta da ilerleyebilir. Bu metotta yanabilir karışım rijit ve çapı yaklaşık 30 cm olan küresel bir tüpün içerisinde ateşlenir. Alev ilerlerken, yanmış gazların genişlemesi henüz yanmamış olan gazların basınç ve sıcaklığının adyabatik sıkıştırma nedeniyle artmasına neden olur. Sıcaklığın artması alev hızının sürekli olarak merkezden çeperlere doğru artmasına neden olur. Bu metotta yanmış gazların oluşturduğu küresel bölgenin büyüklüğü ve tüp içerisindeki basınç ; alev hızını saptayabilmek için eş zamanlı ve anlık olarak ölçülürler.

### 2.4.3. Sabun Köpüğü ( Sabit Basınç) Metodu

Bu metotta bir sabun kabarcığı içerisinde sıkıştırılmış ve bir çift elektrodun çevresinde bulunan homojen yanabilir bir karışım kullanılır. Başlangıçta gaz karışımı sabun köpüğü içerisinde ateşlenir. Alev hızını hesaplamak için yaklaşık bir değer vermesi açısından şu formül kullanılabilir .

$$S_L = \frac{V_{flame} \cdot r_i^3}{r_f^3} \quad (2.2)$$

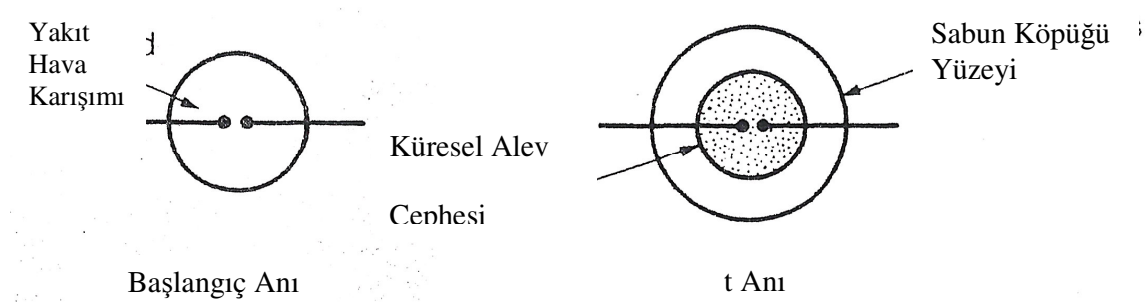
$V_{flame}$  : Alev ön cephesinin ortalama ilerleme hızı.

$r_i$  : Sabun köpüğünün başlangıç yarı çapı

$r_f$  : Yanmış gazların oluşturduğu kürenin yarı çapı

Bu metotta alev hızını ölçmek için bazı kabuller yapmaktayız. Bu kabuller ;

- 1 ) Küresel alev gaz karışımı içerisinde radyal yönde düzenli bir şekilde yayılmaktadır.
- 2 ) Basınç sabit kalmaktadır.
- 3 ) Alev cephesinin ilerlemesi çeşitli optik yöntemlerle izlenebilir.

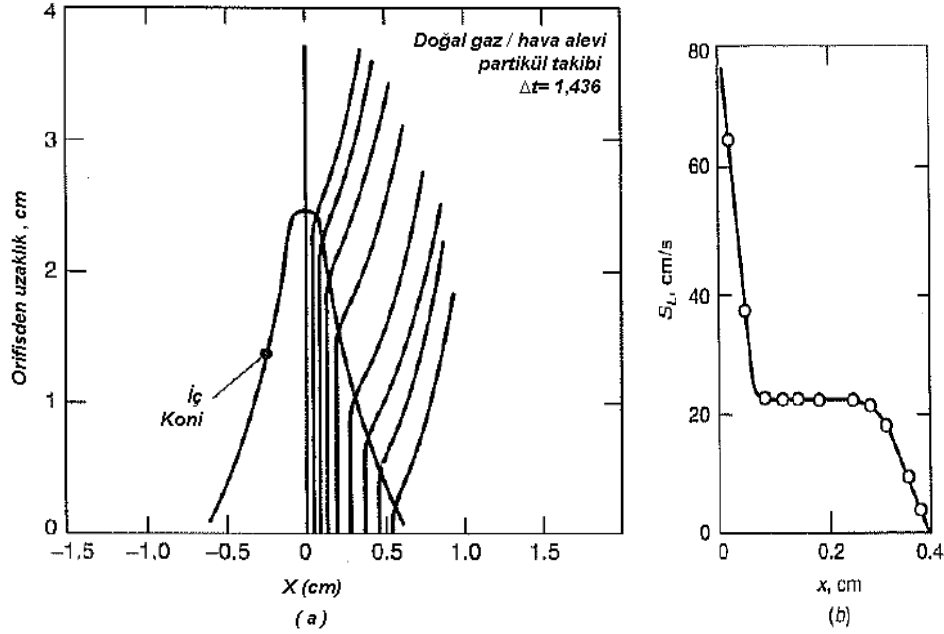


Şekil 2.8 Sabun köpüğü metodunda alev oluşumu. (Kuo,2005)

### 2.4.4. Partikül Takibi Metodu

Dairesel yakıcılarda elde edilen konik alevler de , alev yüzey formunun düzlüğünden bahsetmek imkansızdır.Buda alevi görüntülemekte kullanılacak olan partiküllerin izlediği

yolların görüntülenmesini zorlaştırmaktadır. Bu zorluğun üzerinden gelmek amacıyla Lewis ve Von Elbe dörtgen brülörlerin kullanılmasını önermişlerdir. Bu metotta gaz akımının içindeki küçük magnezyum oksit partiküllerinin kenarından süreksiz aydınlatma yaptığı keşfedilmiştir. Bu yöntemde fotoğrafta partikülün izi görülür ve daha sonra da partikülün yönü görülür. Partikülün hızı ardışık fotoğraflar yardımıyla bulunabilir .Bu yöntemin bir örneği Şekil 2.9 da görülmektedir.



Şekil 2.9 Partikül takibi metodu (Kuo,2005)

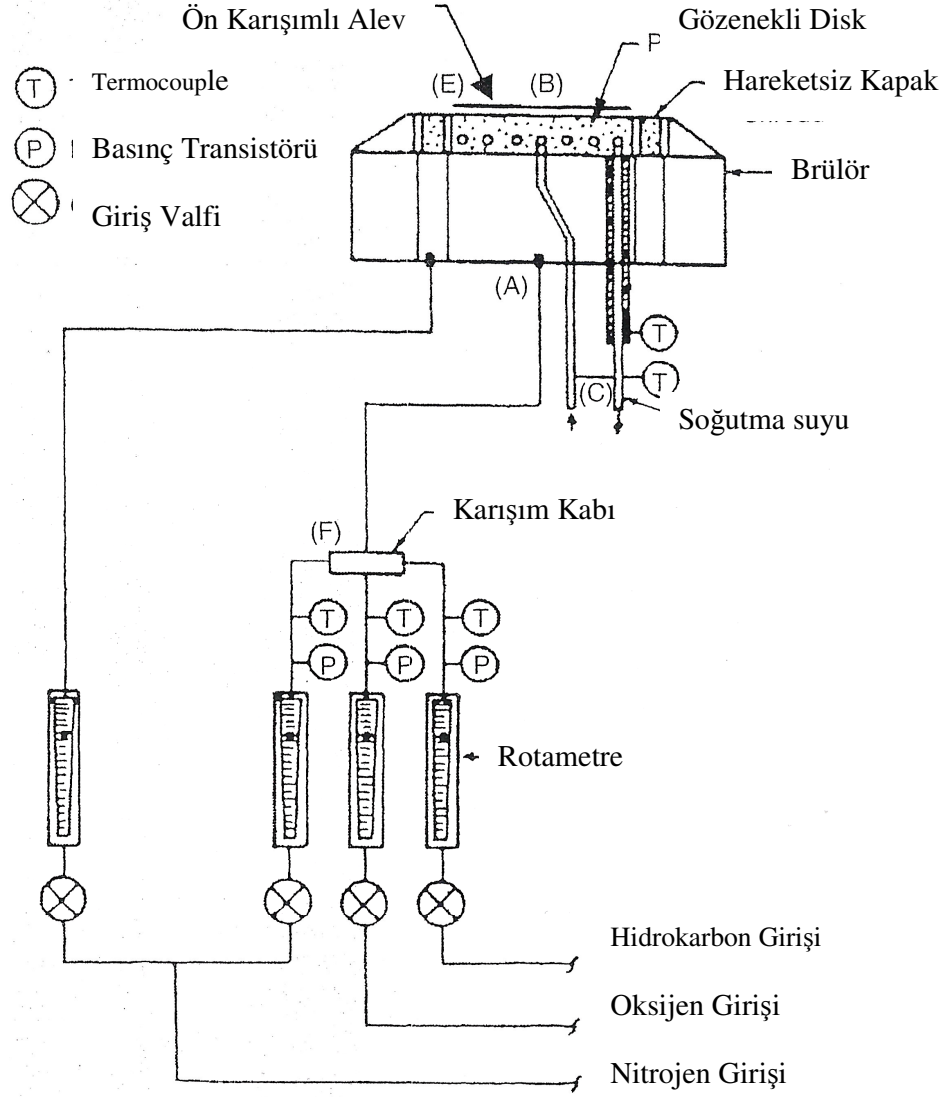
Kullanılan brülörün genişliği 0,755 cm'dir. Eğer daha geniş brülörler kullanılırsa, alev cephesinin hızının tüm bölgelerde üniform olması koşulu ile alev hızı yükselecektir. Lewis ve Von Elbe çalışmasında alev hızının gerçek bir fiziksel büyüklük olduğunu göstermişlerdir. ( Bu Şekil 2.9 b de ki düz bölge üzerinden de gözlemlenebilir.)

Bu yöntemin yetersiz yanı, katı partiküllerin yüzeydeki katalitik etkilerden dolayı yanma prosesini etkilemesi ve dolayısıyla  $S_L$  değerini değiştirici yönde etki göstermesidir.. Gazı tam olarak izleyecek partiküllerden daha büyük partiküllerin olması da alev hızının yanlış çıkmasına neden olacaktır. Bu yöntem sıradan alev hızlarını ölçmek için oldukça güç ve yorucu bir yöntemdir .

### 2.4.5. Düzgün Alev Brülörü Metodu

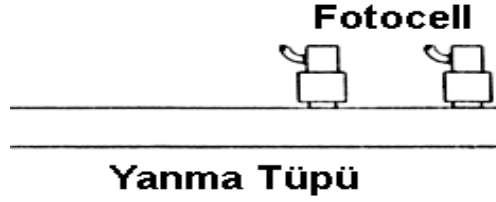
Bu yöntem alev hızı ölçümünde hemen hemen en doğru sonuçları veren yöntemdir. Çünkü bu yöntem en basit alev cephesini ele alır .Sistem genel olarak gözenekli bir metal disk, yada çıkışı sıra halinde (çapı 1mm veya daha az olan ) küçük tüplerden oluşan büyük bir akış tüpünden oluşur. Modern bir düzgün alev brülörü Şekil 2.10 da görülmektedir. Modern bir brülör sinterlenmiş ve gözenekli bir yapıdan oluşan bronz yada paslanmaz çelikten imal edilmiş su soğutmalı bir brülördür. Bu brülör sistemi ise koruyucu gazın (genellikle nitrojen ) girişi için sinterlenmiş, gözenekli bir halka ile çevrelenmiştir. Bu elemanların tümü ise soğutma suyu girişi, yakıt girişi ve koruyucu gazın bağlantılarının bulunduğu ana gövdenin içerisinde yer almaktadır.

Gaz Karışımı genellikle yüksek akış oranlarında ateşlenir .Bu sistemde dışarı sızan yanmış gazlar kontrol altına alınarak ızgara boyunca daha kararlı bir alev elde edilebilir. Bu yöntem 15 cm/s veya daha düşük hızdaki alev hızlarını ölçmek için daha uygundur. Daha yüksek alev hızlarında ise alev cephesi şeklini brülörden uzakta kazanmaktadır.Böyle bir durumda ise alev ön cephesi koni şeklini almaktadır. Spalding ve Botha gözenekli disk soğutarak daha yüksek alev hızlarını ölçmeyi başarmışlardır. Sistemin soğutulmasından dolayı alev ön cephesini gözenekli diske yaklaşmakta ve stabilize bir duruma gelmektedir.Bu durumda adyabatik laminar alev hızını elde edebilmek için deney farklı soğutma oranlarında tekrarlanmalıdır.Daha sonra  $S_L$  değerleri ve bu değerlerin elde edildikleri ve soğutma oranları grafiğe dökülmelidir.Son olarak ise bu grafik sıfır soğutma olduğu durumu simüle edecek şekilde uzatılarak adyabatik alev sıcaklığı  $S_L$  elde edilmelidir. Bu prosedür ile tutuşma sınırları içerisinde ; karışım oranlarını değiştirmek suretiyle alev hızları ölçülebilir.



Şekil 2.10 Düzgün alev brülörü (Kuo,2005)

## 2.4.6 Optik Yöntem



ŞEKİL 2-11 Optik Yöntem (Gerstein,1950)

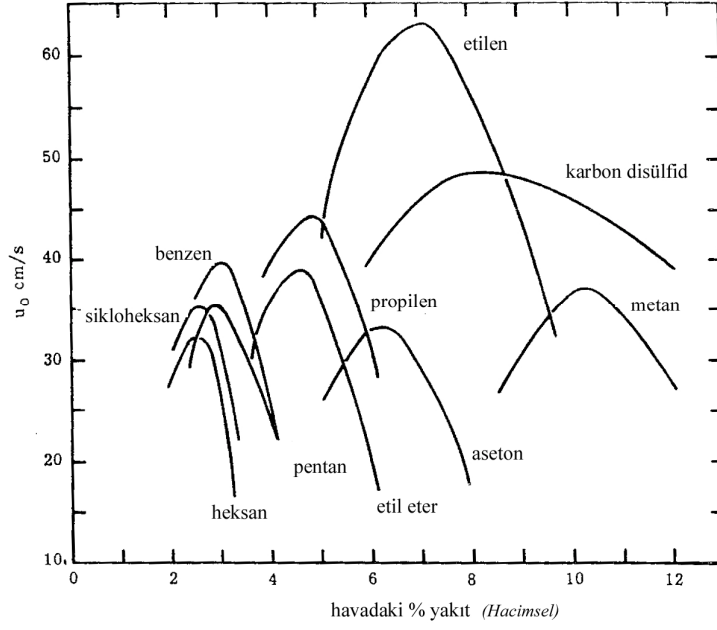
Bu yöntemde bir tüp içerisinde ilerleyen alevin yaymış olduğu ışıktan yararlanılır. Alev cephesi yanma tüpü içerisinde ilerler iken sistem üzerine koyulan optik algılayıcıların önünden geçen alev bir sinyal üretir ve sinyal arası geçen süre elektronik bir düzenele belirlenerek alev hızı bulunur. Yöntem uygulanma biçimi açısından basit olması sebebiyle bir çok uygulama alanı bulmaktadır.

## 2.5. Deneysel Sonuçlar

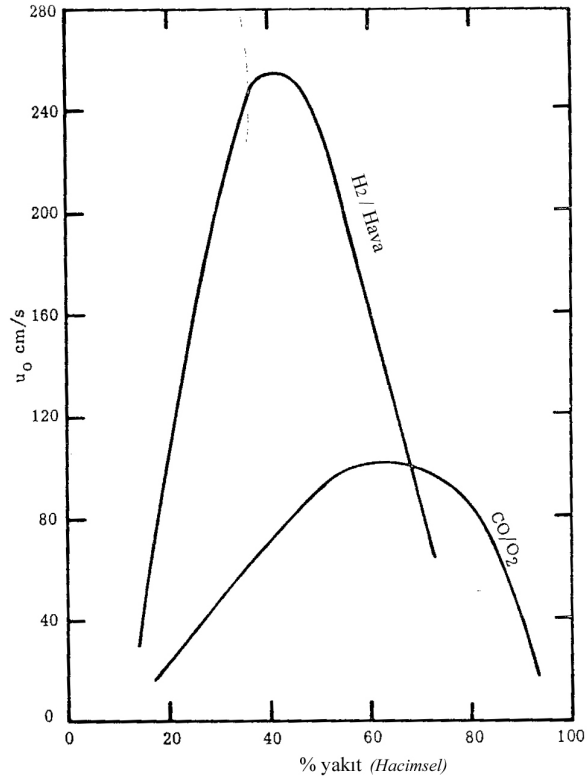
### 2.5.1 Karışım Oranının Laminar Alev Hızına Etkisi

Laminar alev hızının; yakıt/oksidan oranı ile değişimi ana olarak sıcaklığın karışım oranı ile değişiminden etkilenmektedir. Hidrokarbon yakıtlar için ,maksimum alev hızı genellikle stokiometrik oran yada bu orandan biraz daha zengin yakıt/oksidan oranlarında oluşur. Çeşitli hidrokarbon/hava alevlerinin yanma hızları yakıt yüzdesinin bir fonksiyonu olarak Şekil 2.12 ve Şekil 2.13 de gösterilmektedir. (Kuo )

Genel bir yaklaşım yapıldığında; maksimum alev sıcaklığına sahip olan karışım aynı zamanda maksimum alev hızına sahip karışım olarak nitelendirilebilir. Çok fakir ve çok zengin karışımlarda alevin yayılması ve stabil bir yanma dalgası elde etmek imkansızdır çünkü ya çok fazla oksidan vardır yada çok fazla yakıt. Bu nedenle üst ve alt yanabilirlik limitleri belirlenmiştir. (Kuo,2005)



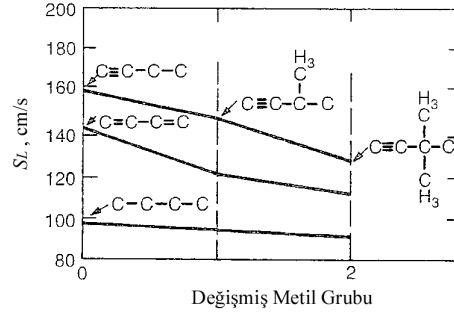
Şekil 2.12 Karışım oranının laminar alev hızına etkisi. (Kuo-2005)



Şekil 2.13 Karışım oranının laminar alev hızına etkisi - 2 (Kanury,1984)

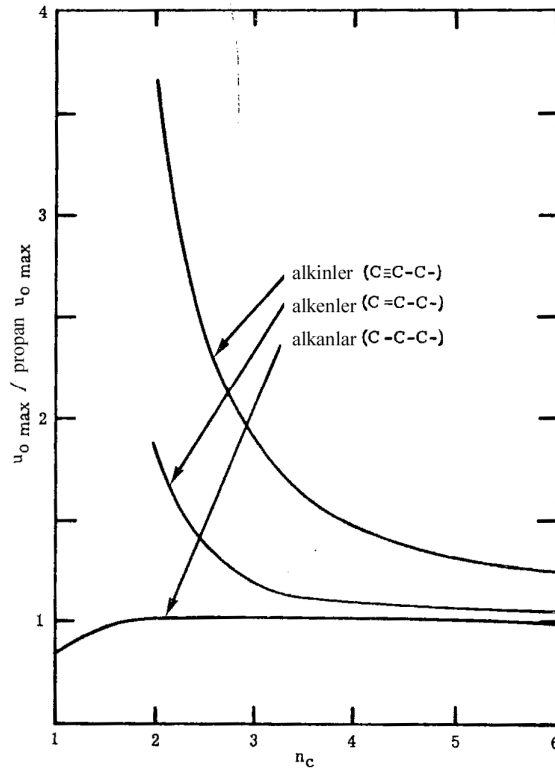
### 2.5.2 Yakıt Moleküler Laminar Yapısının Alev Hızına Etkisi

Yakıt yapısı ile alev hızını ilişkilendirmek için Gerstein ve Reynolds tarafından çalışmalar yapılmıştır. Alev hızının değişiminin metil grupları ile olan ilişkisi Şekil 2.14 te görülmektedir



Şekil 2.14 Moleküler yapının laminar alev hızına etkisi (Kuo,2005)

Gerstein ve Reynolds moleküler ağırlıklık arttıkça yanabilirlik limitlerinin daha da daraldığını ortaya koymuşlardır. (Bu Şekil 2.14 ve 2.15 te de görülmektedir) . Şekil 2.15 te alev hızı üç farklı hidrokarbon ailesi için karbon atomu sayısının bir fonksiyonu olarak verilmiştir.



Şekil 2.15 Moleküler yapının laminar alev hızına etkisi -2 . (Kanury ,1984)

Doymuş hidrokarbonlar için (Alkanlar yada parafinler olarak ta bilinirler ;  $C_2H_6$  -etan , $C_3H_8$  -propan , $C_5H_{12}$  –pentan ve  $C_6H_{14}$  – heksan ) alev hızı yaklaşık olarak 70 cm/s civarındadır ve hemen hemen moleküller içerisindeki hidrokarbon sayısından bağımsızdır.

Doymamış hidrokarbonlar için (Alkenler yada olefinler olarakta bilinmektedirler ;  $C_2H_4$  – etilen , ve  $C_3H_6$  gibi, asetilen serisi olarakta bilinen aklınler ;  $C_2H_2$  – asetilen , $C_4H_6$  – bütan , $C_5H_8$  pentin ) ise düşük karbon sayılı moleküller için laminar alev hızı daha yüksektir.Grafikten de görüleceği gibi  $n_{\text{karbon}}$  ( karbon atomu sayısının ) 1 ile 4 arasında alev hızında ani olarak bir düşüş gözlemlenmektedir.  $n_{\text{karbon}} \geq 4$  ü geçmesinden sonra ise alev hızındaki düşüş yavaşlamaktadır.Karbon sayısının 8'e ulaşması ile birlikte ise  $n_{\text{karbon}} \geq 8$  için alev hızının düşüşünde bir doygunluk gözükmektedir.

Şekil 2.14 te de görüldüğü gibi yer değişime uğrayan metil grubu ve yakıt yapısının alev hızı üzerinde önemli bir etkisi olduğu görülmektedir. Gerstein çalışmasında alev hızının değişik metil gurubu değişimlerine göre incelendiğinde ; hızın moleküler yapıdan çok alev sıcaklığından etkilendiğini ortaya koymuştur.

Farklı sayıda karbon atomları taşıyan yakıtların laminar alev hızlarının farklı çıkmasının ana nedeni ise termal difüzyon hızındaki değişiklik olarak açıklanabilir ki buda yakıtın moleküler ağırlığının bir fonksiyonudur.

Bu açıdan bakıldığında alev hızı için  $S_L \sim \sqrt{\alpha \cdot RR}$  tanımlamasının geçerli olduğu söylenebilir ancak; bu sadece basit kimyasal yapılar için geçerlidir. Yakıtın reaktivitesi alev hızını önemli ölçüde etkileyebilir.Örnek olarak C-Si bağı ile Si-H bağı arasında belirgin bir reaktif farklılık vardır.İlgili alev hız değerleri çizelge 2.1 de görülmektedir.Bu nedenle farklı reaktiviteye sahip bileşikler için farklı yanma sistemleri düşünülmelidir.(Kuo,2005)

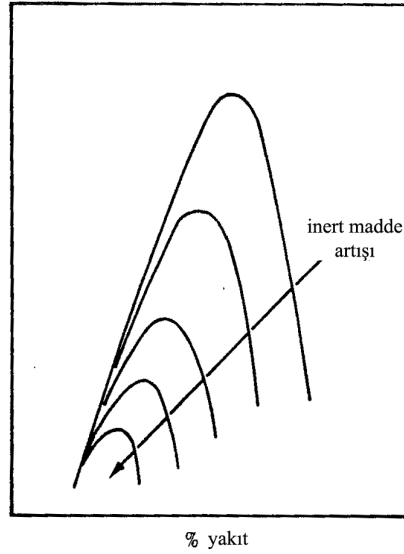
Yakıt	SL(cm/s)	Tf(K)	Reaktivite
$(CH_3)_4C$	33	2254	
$(CH_3)_4Si$	60	2247	$(CH_3)_4C'$ den büyük
$(C_2H_5)_2SiH_2$	11	2278	Yüksek Reaktivite
$(C_4H_9)SiH_3$	148	2290	↓
$SiH_3$	Anlık Yanabilir		Aşırı Reaktif

Çizelge 2.1 Reaktivitenin laminar yanma hızına etkisi (Kuo 2005)

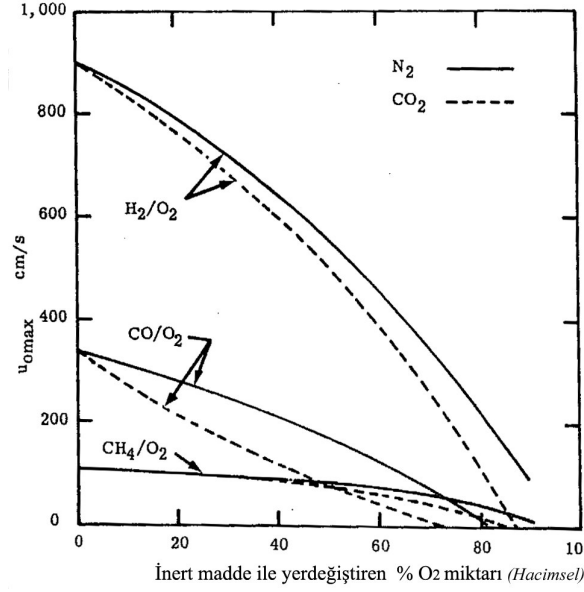
### 2.5.3 İnerit Katkı Maddelerin Laminar Alev Hızına Etkisi

$\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{He}$ , ve  $\text{Ar}$  kimyasal olarak inerit maddelerdir (soy materyal) .Ancak bu maddeler fiziksel özellikleri ile (kondüktivite, spesifik özgül ısı vb..) özellikleri ile karışıma etki ederler. Bir çok araştırmacı bu katkı maddelerinin alev hızı üzerine olan etkilerini incelemiştir.  $\text{H}_2/\text{O}_2$ ,  $\text{CO}/\text{O}_2$ , ve  $\text{CH}_4/\text{O}_2$ , karışımlarına karbondioksit ve nitrojen katkı olarak eklendiğinde ,

- i- Alev hızını azaltmıştır.
- ii- Yanabilirlik bandını daraltmıştır
- iii- Maksimum alev hızının daha düşük yüzdeli yakıt kompozisyonunda oluşmasına neden oluşturmıştır.



Şekil 2.15 İnerit maddelerin laminar alev hızına etkileri (Kanury,1984)

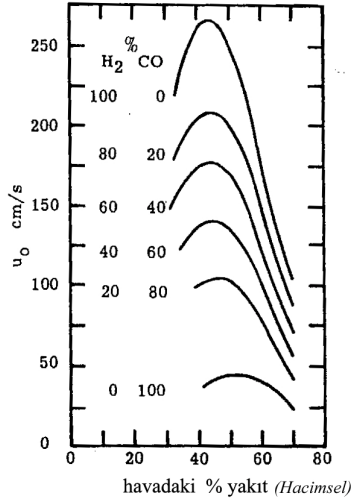


Şekil 2.16 İnerit maddelerin laminar alev hızına etkileri (Kanury,1984)

Şekil 2.15 te bu etkilerin grafiğe dökülmüş hali görülmektedir.Şekil 2.16 da ise bu etkilerin sayısal bazda yapılmış bir değerlendirilmesi görülmektedir.

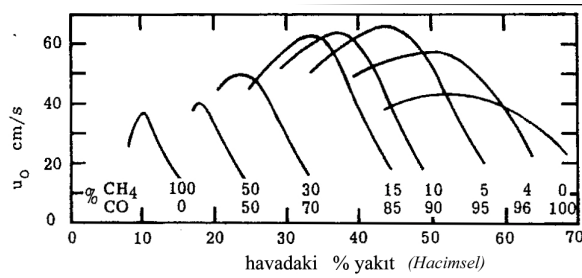
#### 2.5.4 Reaktif Katkı Maddelerin Eklenmesinin Laminar Alev Hızına Etkileri

Reaktif olan ve aynı zamanda kendisinde havayla yanabilen az bir miktar hidrojenin  $H_2$  bir CO/hava karışımı içerisinde karıştırıldığını düşünürsek,zincirleme mekanizmanın etkisi ile alevin yayılma hızını artıracaktır.Şekil 2.17 de de görüldüğü gibi sistemdeki CO nun yüzdesel olarak  $H_2$  ile yer değiştirmesi arttıkça , eğrinin CO/Hava karışımı için elde edilen eğriden gittikçe uzaklaşmaktadır.



Şekil 2.17 Reaktif katkı maddelerinin laminar alev hızına etkileri (Kanury,1984)

Bu örnekten farklı olarak ;eğer farklı karışımların alev hızları çok az farklılık gösteriyor ise ; her iki yakıt arasındaki karışımın geçiş eğrileri benzer olacaktır.Bu olguya örnek olarak bir CO/hava karışımı düşünelim ve sistemde yüzdesel anlamda büyük miktarda CO/CH<sub>4</sub> yer değişimi olduğunu düşünelim.Bu durumda Şekil 2.18 te de görüldüğü gibi hız eğrisi sola doğru kayacaktır.ve ilk olarak maksimuma % 5 CO nun CH<sub>4</sub> ile yer değiştirmiş olması durumunda ulaşacaktır. Açıkça görüldüğü gibi CO/hava sistemine CH<sub>4</sub> eklenmiş olması ; CH<sub>4</sub> kaynaklı hidrojen atomları nedeni ile reaksiyon oranının yükselmiş olmasıdır.



Şekil 2.18 Reaktif katkı maddelerinin laminar alev hızına etkileri -2 (Kanury,1984)

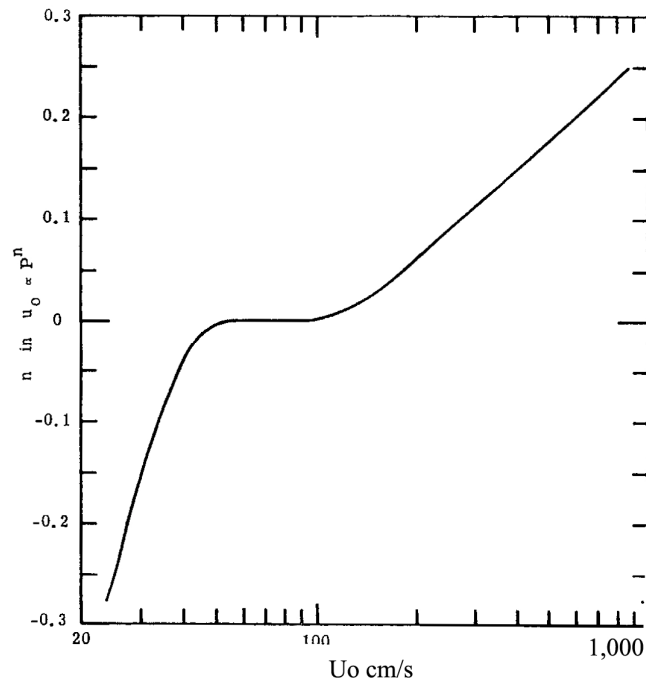
Eğer iki yada ikiden fazla aynı yanma hızlarına sahip olan yanabilir karışımlar herhangi bir oranda karıştırılarak kullanılır ise ; yanma hızı herhangi bir şekilde değişmeyecektir.Bu nedenle limit karışımların karışımlarının kendileri de bir limit karışımdır.Yada bunu

maksimum alev hızı veren karışımlarının karışımlarının da maksimum alev hızı karışımları olduğu şeklinde ifade etmek mümkündür.(Kanury,1984)

İçten yanmalı motorlarda kullanılan vuruntu önleyici katkıların ise ana amacı karışımın ateşleme sıcaklığını yükselterek, ön ateşlemeye engel olmak olduğundan ana olarak görevleri düşük sıcaklıktaki oksidasyonun önüne geçmektir. Bu nedenle bu katkılar ; özellikle yüksek sıcaklık prosesi ile kontrol edilen alev hızı üzerinde pek fazla etkin olmamaktadır.(Kuo,2005)

### 2.5.5 Basıncın Laminar Alev Hızına Etkisi

Lewis sabit hacim bombası metodunu kullanarak; basıncın , çeşitli hidrokarbon /O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>/Ar/He karışımlarının alev hızları üzerine etkisini araştırmıştır.Bunun sonucunda  $S_L \sim P^n$  önermesini yapmıştır. Buradaki “n” Lewis basınç indeksidir. Lewis çeşitli karışımlar için bu “n” indeksini belirlemiştir. Şekil 2.19 Lewis’ın çeşitli hidrokarbon karışımları için belirlemiş olduğu n indeksini göstermektedir.(Kanury ,1984)



Şekil 2.19 Basıncın laminar alev hızına etkisi (Kanury,1984)

Lewis  $S_L < 50$  cm/s olduğu durumlarda basıncın azalması ile birlikte  $S_L$  'in arttığını (yani “n” indeksi negatiftir.);  $50 < S_L < 100$  cm/s için ise  $S_L$  in basınçtan bağımsız olduğunu;  $S_L > 100$  cm/s için ise basınç arttıkça  $S_L$  ine arttığını gözlemlemiştir.

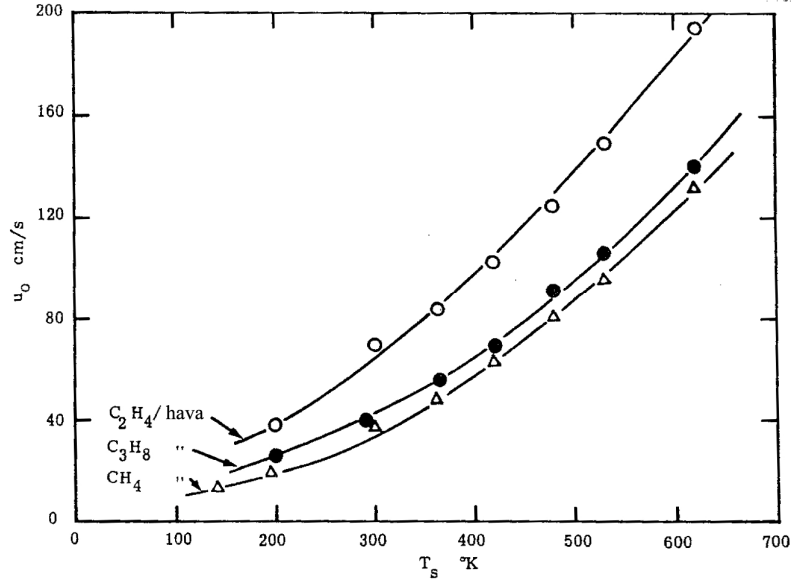
Termal teori ve Zeldovich-Frank-Kamanetsky-Semenov'un teorilerinden elde edilen sonuç ise  $S_L \sim p^{(n-2)/2}$  olduğudur. Buradaki “n” ise toplam reaksiyon derecesini göstermektedir. Lewis'in elde ettiği sonuçlar ile bu korelasyonu birlikte ilişkilendirecek olur isek.

- i-  $S_L < 50$  cm/s için Lewis'in elde ettiği basınç ilişkisi sonuçlar bu reaksiyonun reaksiyon derecesinin 2 den küçük olduğunu göstermektedir.
- ii-  $50 < S_L < 100$  cm/s olduğu durumlarda ise Lewis'in alv hızını basınçtan bağımsız olarak değiştirdiğini gözlemlemiştir. Buda bu hız bandındaki toplam reaksiyon derecesinin 2 olduğunu göstermektedir.
- iii-  $S_L > 100$  cm/s için ise toplam reaksiyon derecesi 2 den büyüktür.

$S_L \sim p^{(n-2)/2}$  ilişkisi deneysel verilerle de desteklenmektedir. Örnek olarak etilenoksitin ( $C_2H_4O$ ) birinci derecede dekompozisyon reaksiyonu için  $S_L \sim \sqrt{p^{-1}}$  bağıntısı gözlemlenmiştir. Yapılan deneylerin bir çoğundada 2.derece hidrokarbon reaksiyonları için laminar alev hızı basınçtan bağımsız olarak belirlenmiştir. (Kuo,2005)

### 2.5.6 Başlangıç Sıcaklığının Laminar Alev Hızı Üzerine Etkisi

Dugger başlangıç sıcaklığının  $S_L$  üzerindeki etkisini irdeleyebilmek için üç farklı hidrokarbon için sabit basınç altında bir dizi deney gerçekleştirmiştir. Şekil 2.20 de bu deneyin sonuçları görülmektedir. Grafikten de görüldüğü gibi tüm hidrokarbon/hava karışımları için  $T_0$  'ın (başlangıç sıcaklığı) artması ile birlikte  $S_L$  de artmaktadır. Başlangıç sıcaklığının yükselmesi ,hızlanan moleküllerin birim zamanda daha çok etkin (reaksiyon verebilir ) çarpışma yapmasına neden olacağından dolayı reaksiyonun hızı dolayısıyla da alev hızı artacaktır.

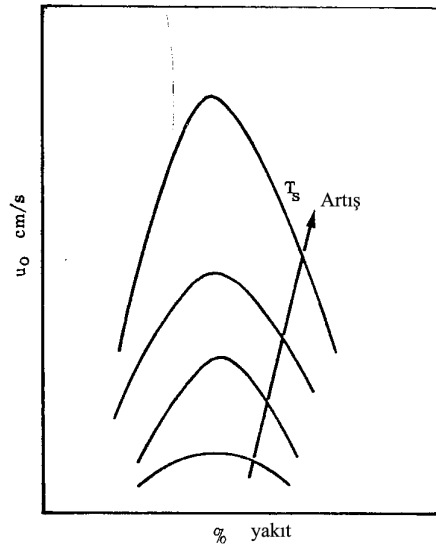


Şekil 2.20 Başlangıç sıcaklığının laminar alev hızı üzerine etkisi .(Kanury,1984 )

Deneysel olarak elde edilen verileri denklem 2.3 teki gibi korele etmek mümkündür.

$$S_L \sim T_0^m \quad (2.3)$$

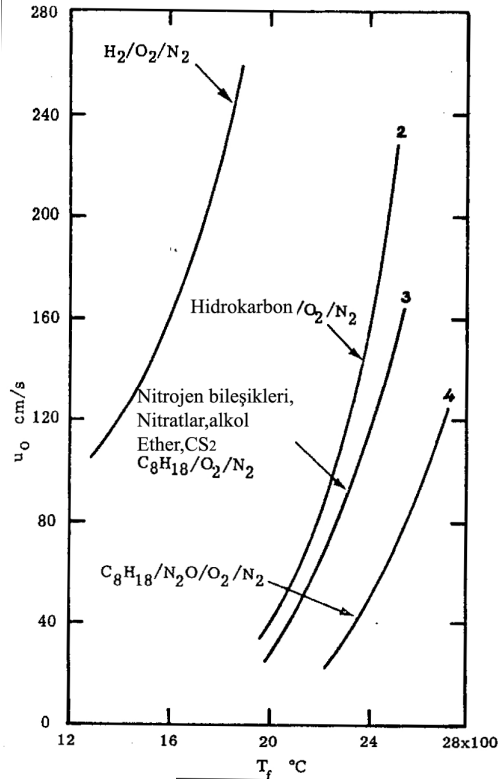
Buradaki “m” 1,5 ile 2 arasında değişmektedir.



Şekil 2.21 Başlangıç sıcaklığının laminar alev hızı üzerine etkisi -2 .(Kanury,1984 )

### 2.5.7 Alev Sıcaklığının Laminar Alev Hızına Etkisi

Şekil 2.22 de çeşitli karışımlar üzerinde yapılmış deneylerde; alev sıcaklığının ,laminar alev hızına olan etkileri görülmektedir.Şekilden de de görüldüğü gibi alev sıcaklığının alev hızı üzerindeki etkisi oldukça belirgindir.Bu veriler bize  $S_L$  in üzerinde etki eden baskın faktörün  $T_f$  olduğunu göstermektedir ki bu yaklaşım Zel'dovich'in yaklaşımı ile reaksiyon oranının ana olarak  $T_f$  e bağlı olduğu görüşü ile örtüşmektedir.



Şekil 2.22 Alev sıcaklığının laminar alev hızına etkisi (Kanury,1984)

Yüksek sıcaklıklarda yanma bölgesinde ayrılma (bozunum) reaksiyonları ana olarak yanma bölgesini domine etmektedir.Bu reaksiyonlar ise bir çok serbest radikalın oluşmasına neden olmaktadır.Bu serbest radikaller ise zincirleme reaksiyonun taşıyıcısı olarak görev yaparak reaksiyonu ve dolayısıyla da alevin yayılmasını (yani alev hızını) desteklemektedir.Bu radikaller ne kadar hafif olurlar ise sistemin içerisinde o kadar kolay difüze olabilirler.Bu nedenledir ki H atomları alev hızını artırıcı yönde etki göstermektedir..(Kuo,2005)

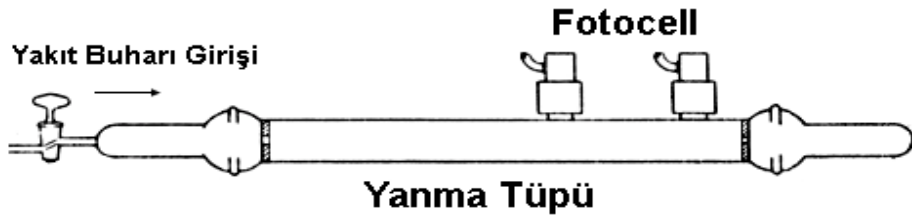
### 3. DENEY DÜZENEĞİNİN TASARIMI

Önceki bölümlerde anlatmış olduğum literatür çalışmasının ardından ,laminar alev hızı ölçümü için kullanacak olduğumu düzeneğin tasarım aşamasına geçildi.

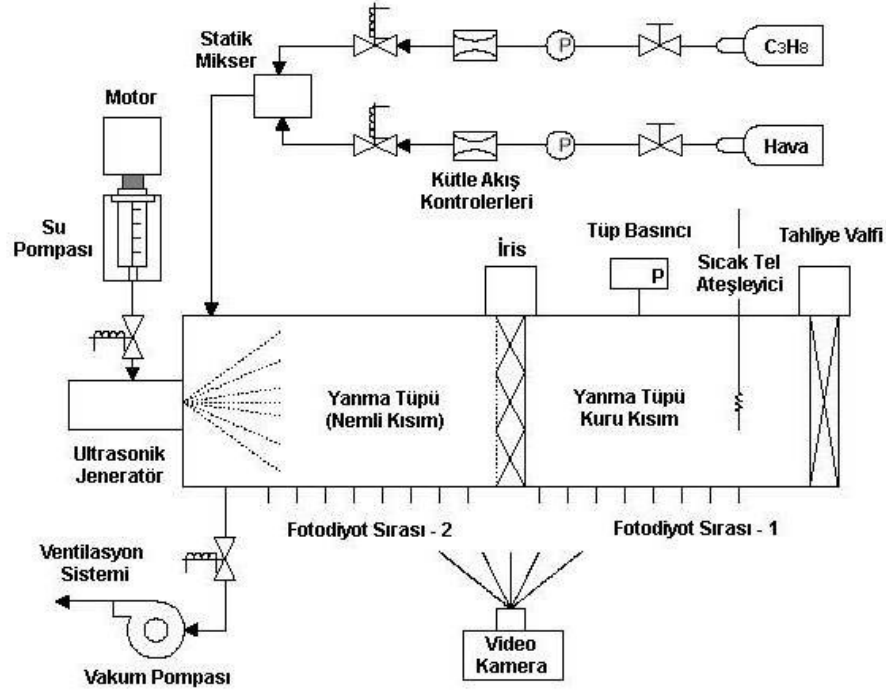
#### 3.1 Yanma Hızı Ölçüm Yöntemin Belirlenmesi

Tasarım aşamasının ilk kısmında öncelikle hangi alev hızı ölçüm yönteminin kullanılacağı belirlendi.

Bu amaçla, 1950 yılında Melvin Gerstien,Oscar Levine ve Edgar L.Wong'un “ The Determination of Fundamental Burning Velocities of Hydrocarbons by a Revised Tube” adlı çalışmalarındaki ; bir tüp içerisinde ilerleyen alevin hızının aralıklı fotoalgılayıcılar ile (optik yöntem ) ölçülmesine dayanan yöntem baz alındı. Bu yöntem daha sonraları daha gelişmiş sensörlerin de de kullanımı birlikte geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Yöntemin en büyük avantajı kompleks ölçüm yöntemlerine nazaran çok daha basit olarak kurulabilmesiyle birlikte oldukça doğru sonuçlar vermesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 3.1 Fotoalgılayıcı kullanılmış olan alev hızı ölçme düzeneği ( Gerstein,1950)



Şekil 3.2- Nemli ortamda alev incelemesi deneysel sistemi (NASA, 2006)

### 3.2. DeneY Düzeneyi Elemanlarının Seçimi ve Özellikleri

#### 3.2.1 Yanma Tüpü Çapının Ve Uzunluğunun Seçimi

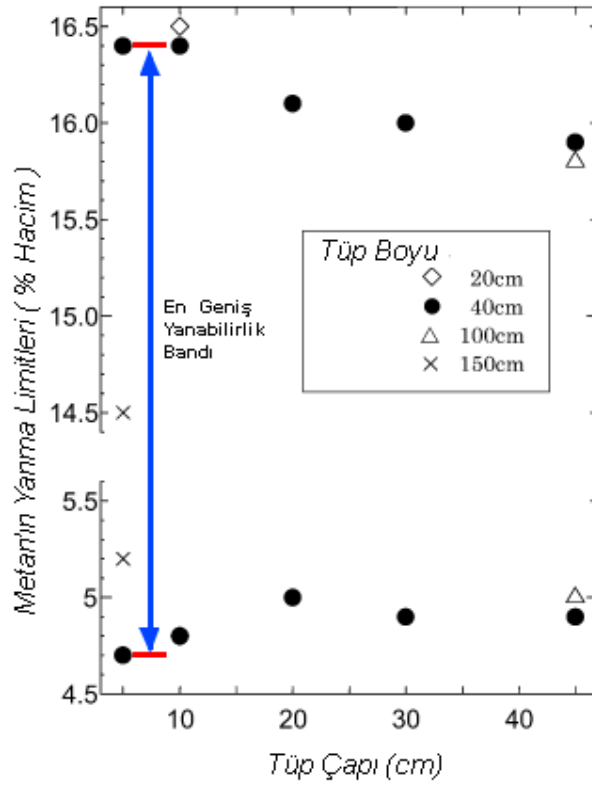
Ölçüm yönteminin belirlenmesinin ardından , alevin ölçüm esnasında içerisinde ilerleyeceği tüpün çapı belirlenmiştir.

Yanma tüpü çapının seçiminde ana olarak iki husus göz önüne alınmıştır

- i- Deneyler esnasında oldukça geniş bir yanabilirlik bandında çalışabilmek için tüp çapı seçiminde birinci öncelikli olarak olabildiğince geniş bir yanabilirlik bandı sağlayan çapın seçimi göz önünde bulundurulmuştur.
- ii- Alevin oluşumu ve yayılımı esnasında alevden yanma tüpü duvarlarına doğru ısı transferinin artışı ; oluşan alevin sönmeye yada artan ısı transferi ile birlikte soğuyan alev cephesi nedeni ile alev hızı ölçümünde hata oranının artışına sebep

olmaktadır.Bu nedenle tüp çapının bu ısı transfer kaybını minimize edilmesi de göz önünde bulundurulmuştur.

Bilimsel literatür incelendiğinde yanma limitlerinin en geniş bantta yer aldığı tüp çapı ~ 51 mm olduğu görülmektedir.(H.F.Coward ,G.W.Jones - Limits of flammability of gases and vapours ,2003 ; A.Takashi ,Y. Urano,K.Tokuhashi,S.Kondo – Effect of Vessel Size and Shape on Experimental Flammability Limit of Gases - 2003). Bu nedenle yanma tüpünün çapı 51 mm olarak seçilmiştir.



Şekil 3.3 – Tüp çaplarına göre metanın yanabilirlik bantları (Tokuhashi,2003)

Yanma tüpü uzunluğu ise alevin ölçüm için yeterince gelişerek yayılabileceği ve ölçüm enstrümanlarının test tüpü üzerine rahatça yerleştirilebilmesi açısından şekilde 1,5 metre olarak seçilmiştir.

### 3.2.2 Yanma Tüpünün Isıtılması

Deneylemiz esnasında yanma sıcaklık başlangıçlığı faktöründe inceleyeceğimiz etkenlerden biri olduğundan dolayı tüpün cidarları; hem hava-yakıt buharı karışımı başlangıç sıcaklığını değiştirebilmek için hem de yanma esnasında yanma dalgasından tüp duvarına olan ısı transferini minimize edebilmek açısından ısıtılması gerekmiştir.

Bu amaçla 6 adet 500 Watt gücünde (Toplam 3 kw) lık ısıtıcı kullanılmıştır.

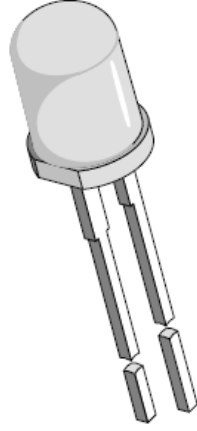
### 3.2.3 Homojenizasyon

Yanma tüpü içerisinde laminar bir alev elde edebilmek için en önemli şartlardan biriside yanma tüpü içerisinde bulunan karışımın tüpün içerisine homojen olarak dağılmış olmasıdır. Dene düzenliğini geliştirirken prototip aşamasında yapmış olduğumuz çalışmalar da , homojenleşmemiş karışımların ( aynı şartlarda ) alev hızı açısından farklı sonuçlar verdiğini gözlemledik.Bu nedenle sistem geliştirilerek sıcak yakıt buharı- hava karışımını sirküle edebilecek şekilde yeniden tasarımılandı ve ek olarak iki adet sirkülasyon fanı sistemin içerisinde monte edildi.

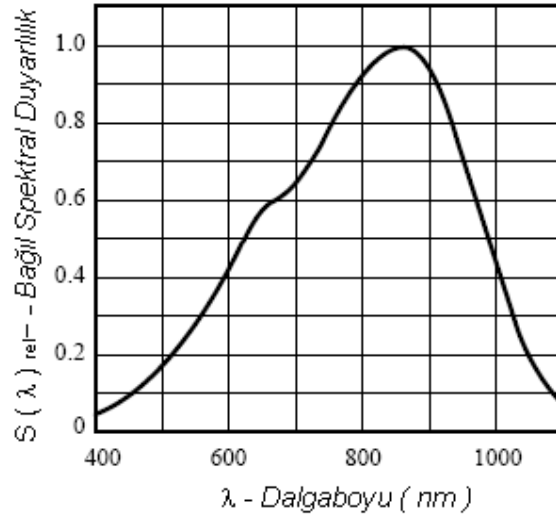
### 3.2.4 Optik Algılayıcılar

Optik algılayıcıların sistem üzerindeki görevi ; alev dalgası yanma tüpü içerisinde ilerler iken alev dalgasının önünden geçmesi ile birlikte bize işlenebilir bir sinyal göndermektir.

Bu işlem için ise VISHAY marka BPW 96 model foto transistörler kullanılmıştır . Sistem üzerinde bu transistörü kullanmamızın nedeni ise ; ultraviyole ışık dalga boyuna ( ~ 400nm ) yakın bölge ve ~ 1000 nm dalga boyundaki infrared ışık dalga boyu arasındaki kalan bölgede yeterli işlenebilir sinyal çıkış gerilimi vermesidir.



Şekil 3.4 Vishay BPW 96 fototransistör (Vishay Telefunken)



Şekil 3.5 BPW 96 Bağıl spektral uyarlılığı (Vishay Telefunken)

Çalışmamız esnasında yanma tüpü içerisinde de alev hızı değişimini de görebilmek için sistem üzerine 25'er cm aralıkla dört adet optik algılayıcı kullandık.

### 3.2.5 Sinyal İşleme Ünitesi

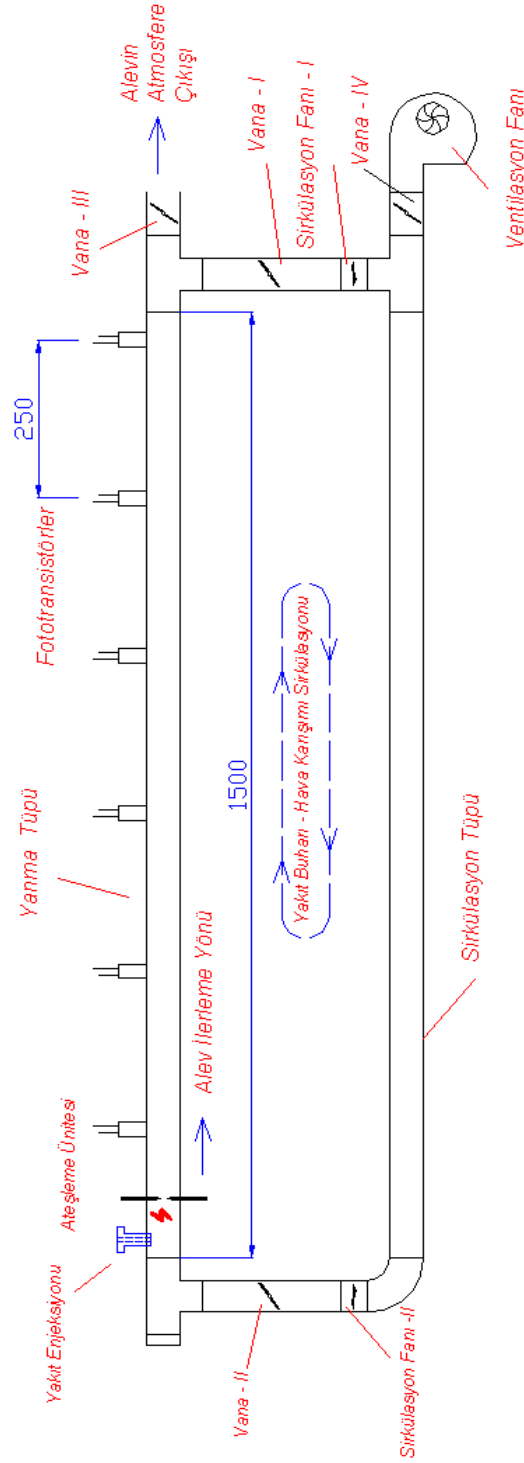
Fototransistörlerden gelen sinyal gerilimini alarak iki transistör arasındaki alev hızını hesaplamak amacıyla bir elektronik devre oluşturulmuştur. Elektronik devre gelen her iki sinyal arasındaki zamanı sayarak, mikro işlemcisi üzerine yer alan programda sabit olarak girilmiş olan transistörler arası mesafeye bölerek alev hızını vermek üzere tasarlanmıştır.

Ön deneylerimiz esnasında Le Croy 424 Wavesurfer marka 4 kanaldan kayıt yapabilen osiloskopla da tasarlanmış olan elektronik devre ile birlikte paralel çalışacak şekilde bağlanmıştır.

Elektronik devre çıkışındaki veri ile osiloskop ekranındaki veriler karşılaştırıldığında verilerin osiloskopdan çok daha hassas olarak okunabildiği görülmüştür. Bu nedenle ön deneylerin ardından sinyaller yine elektronik devre üzerinden geçirilerek fakat bu sefer osiloskop üzerinden okunmuştur.

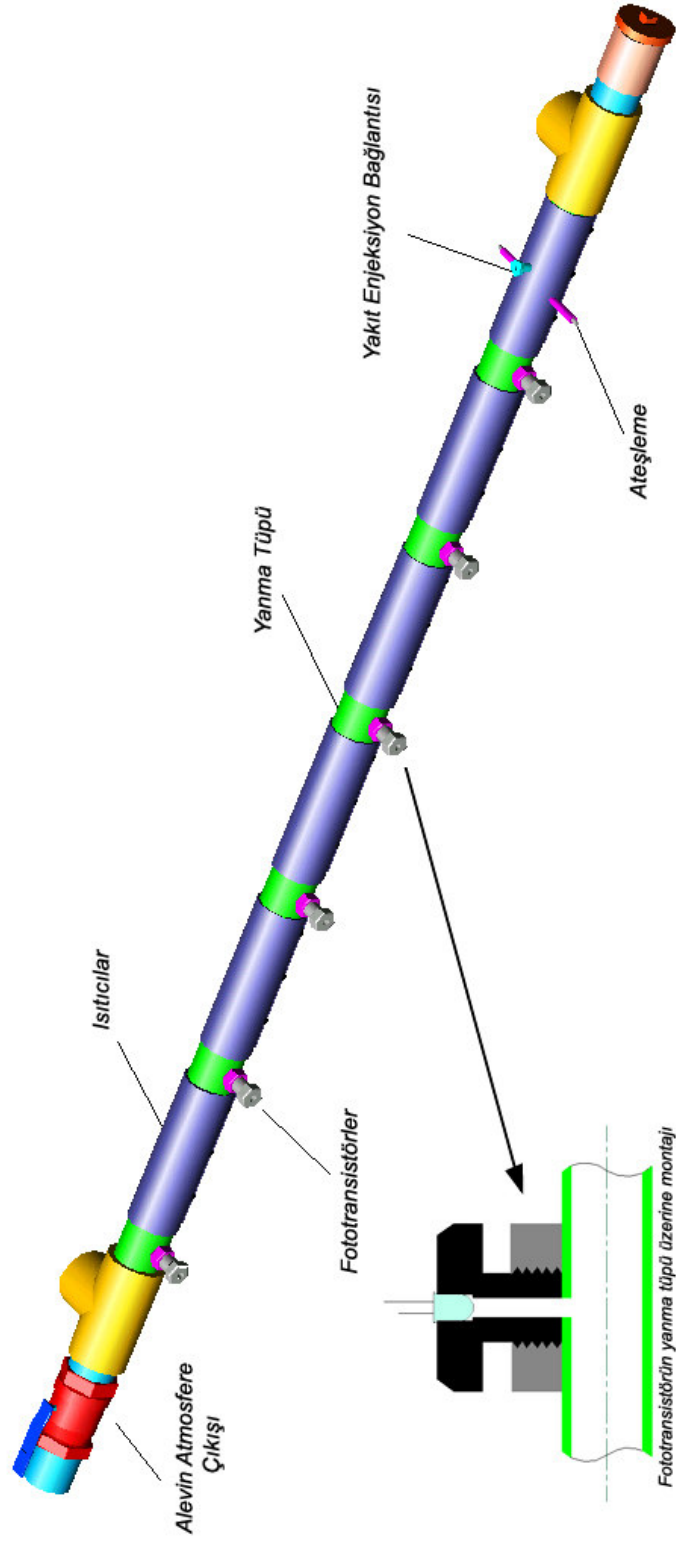
### 3.3 Deney Düzeneginin Montajı

Aşağıdaki şekilde daha önceden belirlenmiş olan tasarım kriterlerine göre imal edilmiş olan deney düzeneginin 2 boyutlu şeması ve 3 boyutlu simülasyon resimleri görülmektedir.

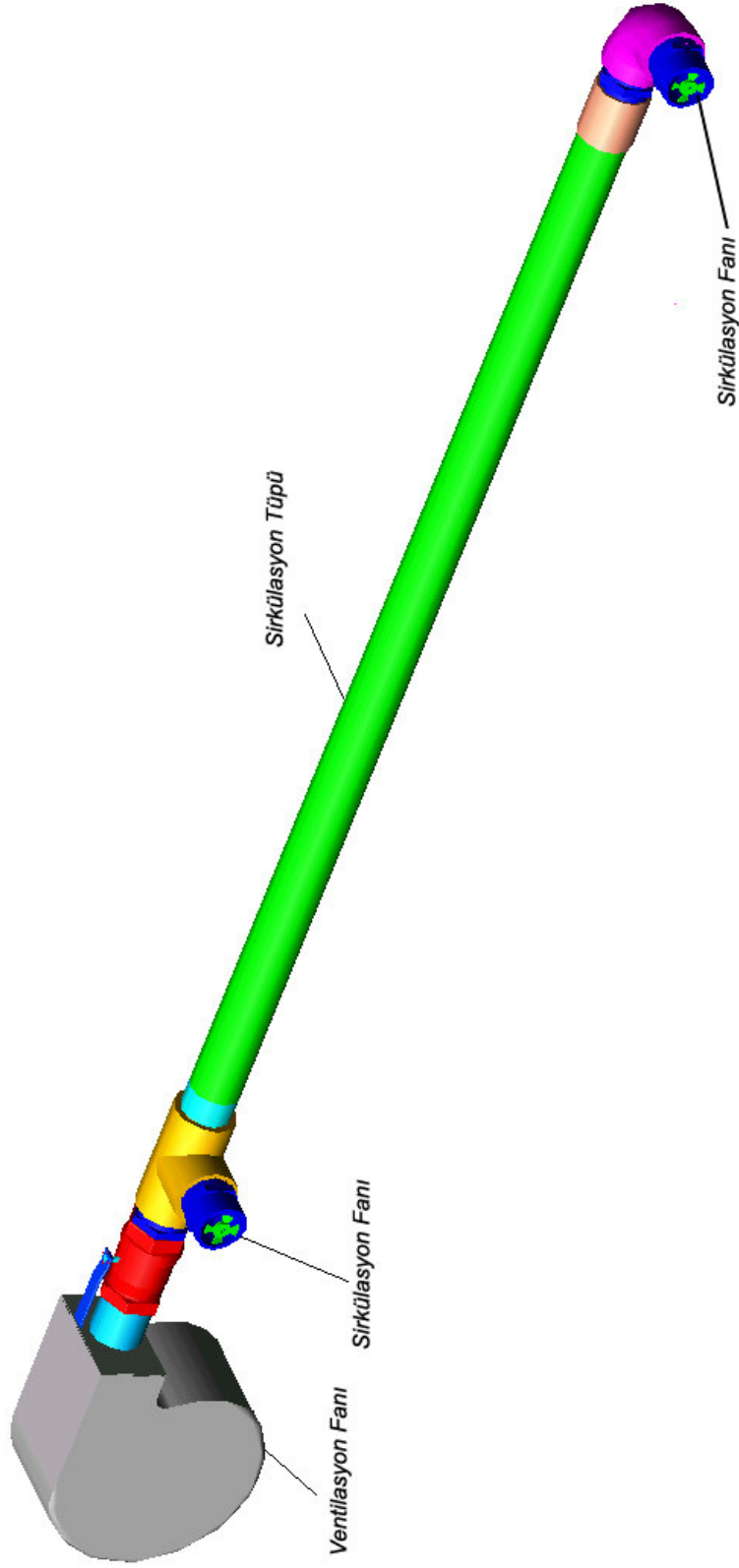


Şekil 3.6 Deney düzenegi prensip şeması

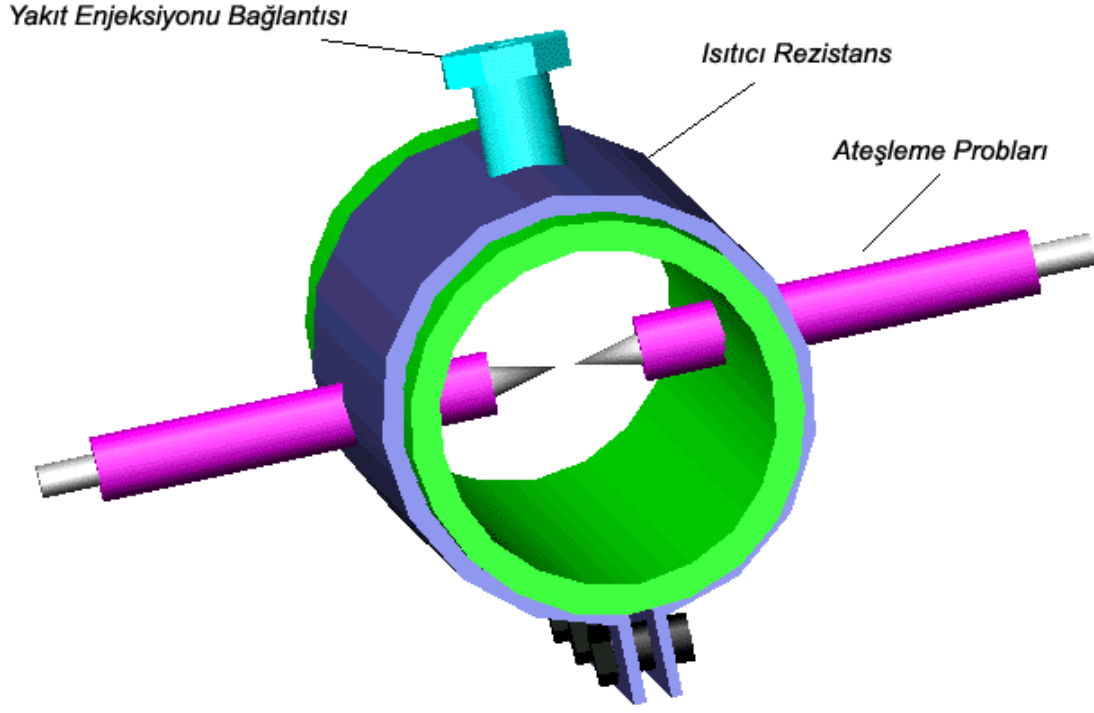




Şekil 3.8 Yanma tüpü 3 boyutlu montaj resmi



Şekil 3.9 Sirkülasyon tüpü 3 boyutlu montaj resmi



Şekil 3.10 – Ateşleme probları kesit resim

### 3.4 Deneyin Akış Şeması

Tasarlanan deney düzeneği üzerinde işlem akışı ana olarak 4 aşamadan oluşmaktadır.

#### I.Aşama :

Bu aşamada, belirlenmiş olan deney şartlarına göre hazırlanmış olan yakıt ; yakıt enjeksiyon bağlantısından ısıtılmış yanma tüpünün içerisine gönderilmektedir.Bu esnada sistemin herhangi bir şekilde atmosfere açık bir ucu yoktur. Yani ventilasyon fanı ve alev cephesinin atmosfere çıkacağı uçlardaki Vana IV ve Vana III kapalıdır.

Yakıtın gönderilmesi ile birlikte yakıt buharının hava ile homojen bir biçimde karışmasını sağlayan sirkülasyon fanları çalıştırılır. Fanların hemen önünde bulunan ve alev tüpü ile sirkülasyon tüpünün iletişimini kesmeye yarayan Vana I ve Vana II açık konumdadır.Sirkülasyon fanları deney şartlarında belirlenmiş olan süre kadar çalıştırılmaya devam edilir.

#### II.Aşama

Daha önceden deney şartlarında belirlenmiş olan sirkülasyon süresi tamamlandığında sirkülasyon fanları durdurulur ve Vana I ve Vana II kapatılır. Her iki tüp arasındaki bağlantı kesildikten sonra yakıt - hava karışımı deney şartlarında belirlenmiş olan dinlenme süresi kadar yanma tüpünün içerisinde dinlendirilir.

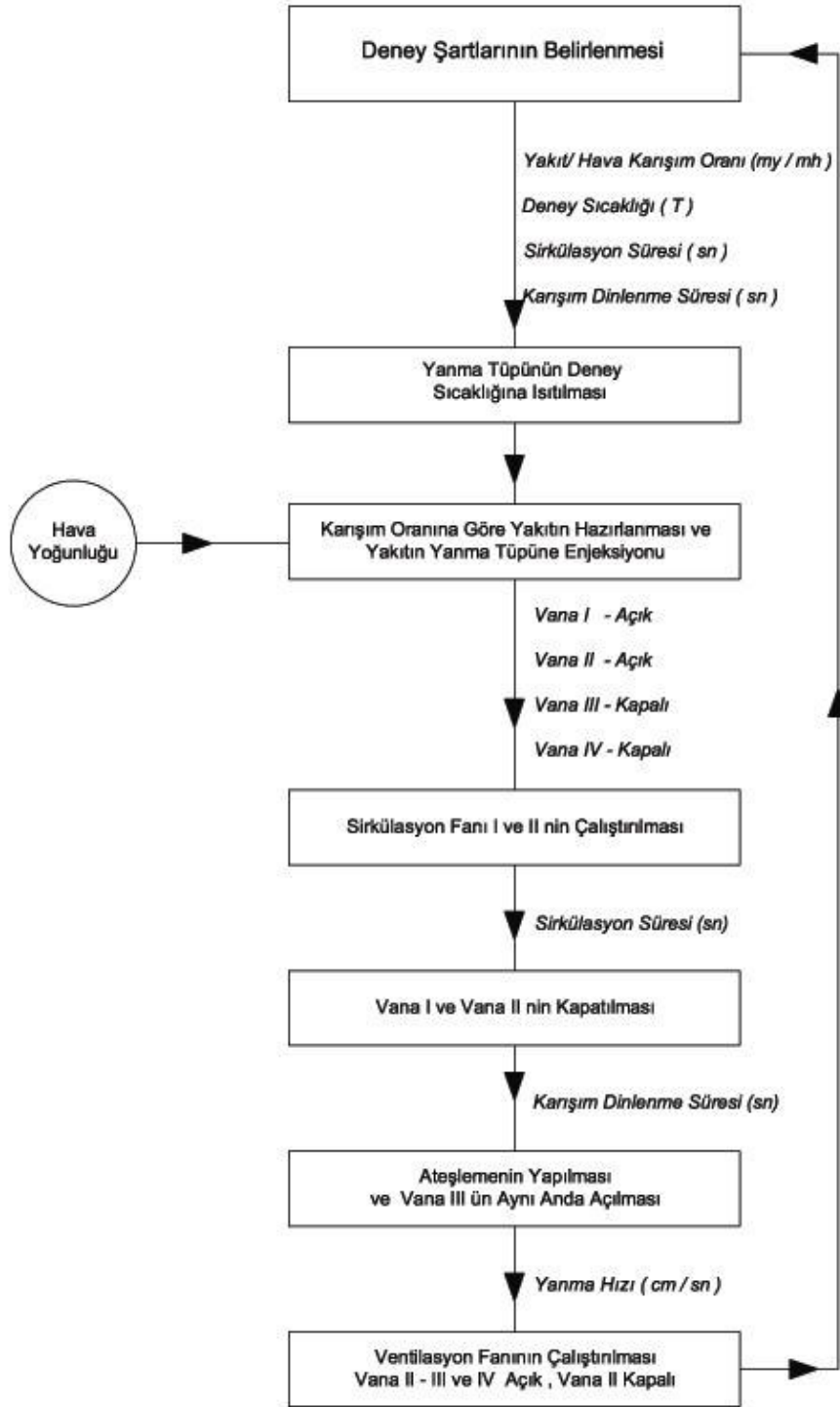
#### III.Aşama

Yakıt-Hava homojen karışımının dinlenme süresi dolduktan sonra ; sistemin ateşlenmesi ve Vana II ( yanma tüpünü atmosfere açan ) nin açılması aynı anda gerçekleştirilir. Oluşan alev cephesi yanma tüpü içerisinde ilerler iken her bir alevin önünden geçtiği her bir transistör bir sinyal üretir ( çıkış gerilimi verir ) . Bu sinyalde sinyal işleyici üniteye gönderilerek o esnada yanma tüpü içerisindeki hız tespit edilir.

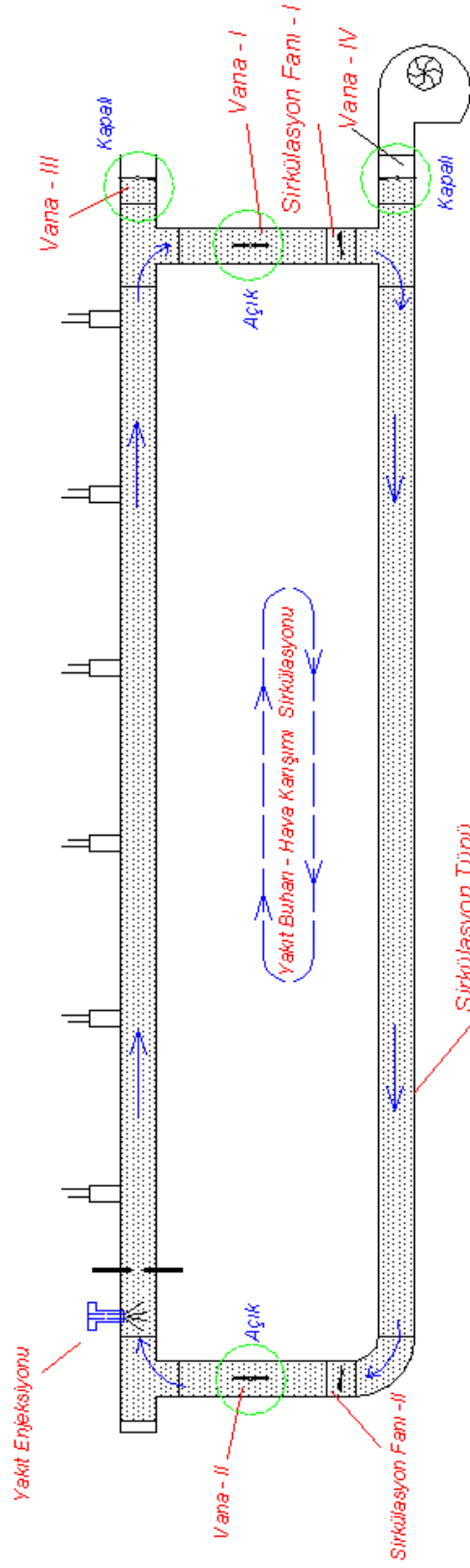
#### IV .Aşama

Yanmanın tamamlanmasının ardından , sirkülasyon tüneline hapsedilmiş olan yakıt-hava karışımının ve yanma tüpü içerisinde kalmış olabilecek olan reaksiyon ürünlerinin tamamen sistemden dışarı atılması için ; ventilasyon fanı çalıştırılır.Bu esnada Vana I kapatılarak temiz havanın sistemin her tarafını süpürmesi sağlanır. ( Vana II,Vana III,Vana IV açık konumdadır.). bu işlemden sonra sistem bir sonraki deney için hazır konuma gelmiştir.

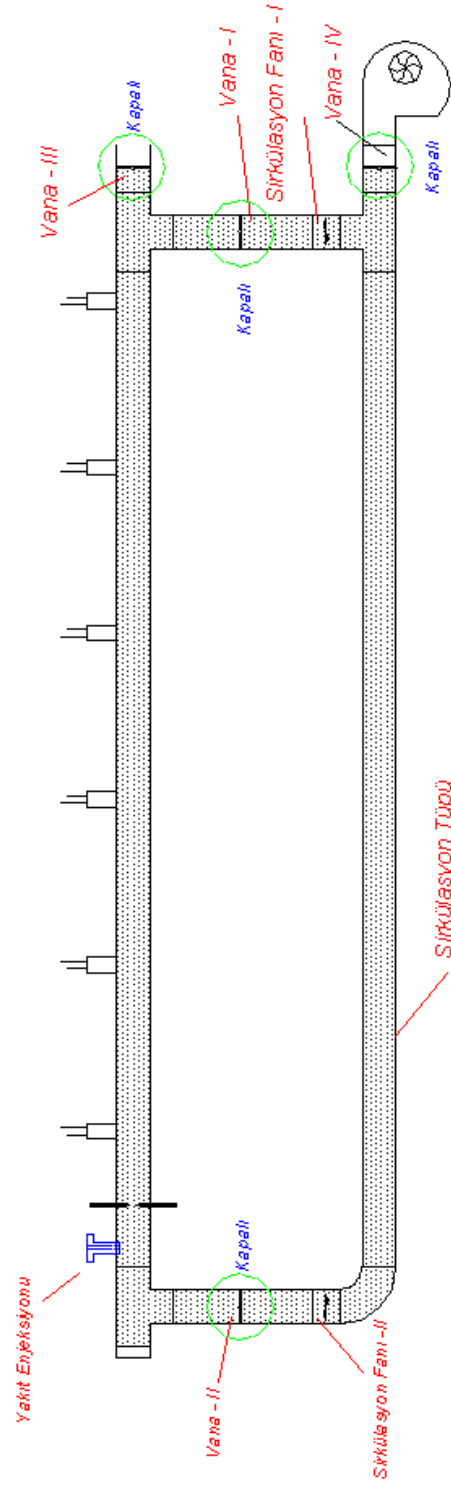
Aşağıdaki tabloda ve resimlerde deneyin akış şeması ve bu esnada deney düzeneği elemanlarının konumların görülmektedir.



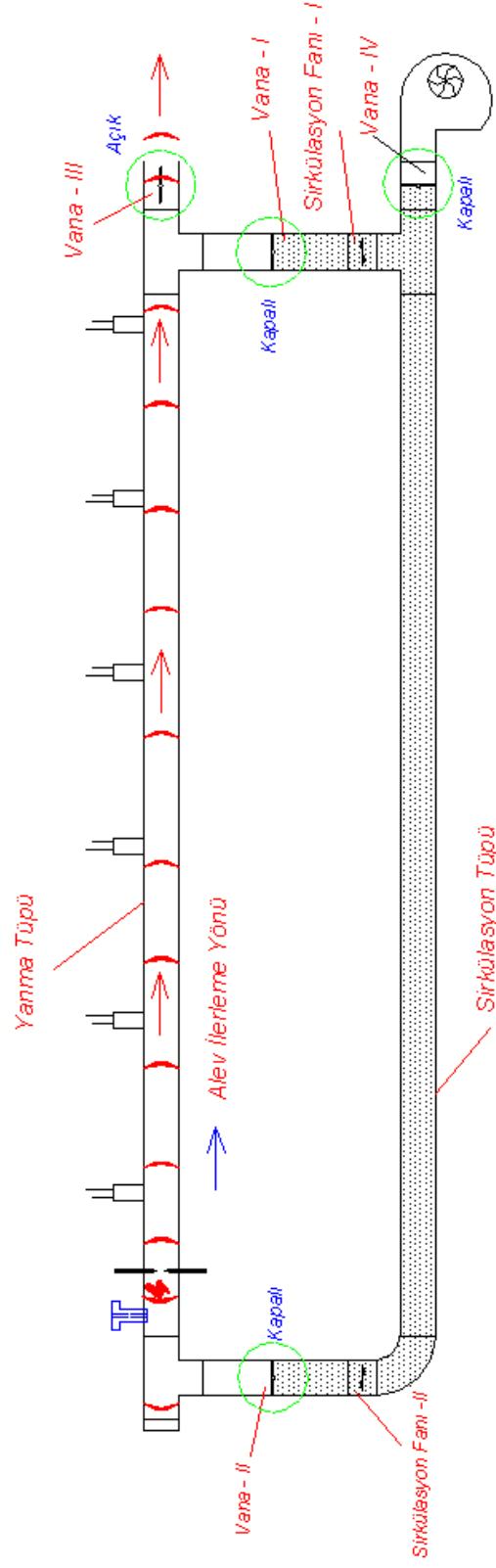
Çizelge 3.1 - Deney düzeneği akış şeması



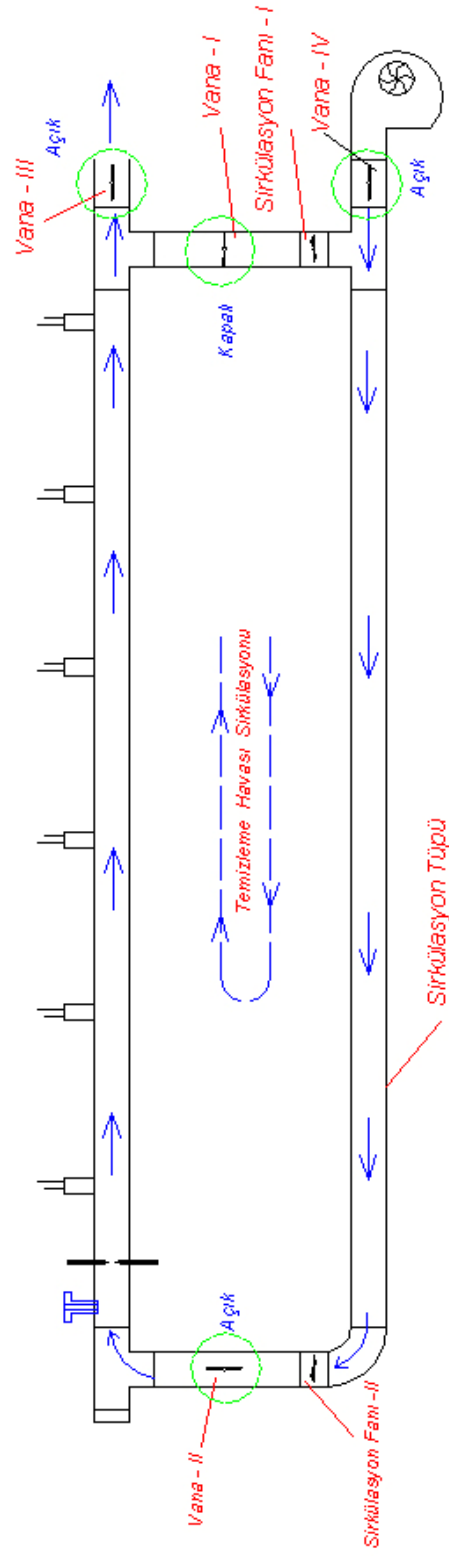
Şekil 3.11 Deney akışı I.aşama



Şekil 3.12 Denei akışı II.aşama



Şekil 3.13 Deney akışı III.aşama



Şekil 3.14 Deney akışı IV. aşama

#### 4. DENEY SONUÇLARI VE YORUMLAR

##### 4.1 Deney Yakıtları ve Özellikleri

Deneylelerimiz boyunca özellikleri daha önceden bilinen Benzin ve Nafta yakıtları kullanılmış olup kullanılmış olan yakıtların özellikleri aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir.

ÖZELLİK	BİRİM	DEĞER
Yoğunluk (15 °C'ta)	kg/m <sup>3</sup>	720-775
Damıtma		
70 °C'ta buharlaşma yüzdesi	% hacim	
Yaz (a)		15-48
Kış (b)		17-50
100 °C'ta buharlaşma yüzdesi	% hacim	
Yaz (a)		40-71
Kış (b)		43-71
150 °C'ta buharlaşma yüzdesi	% hacim	75
Son kaynama noktası	°C	210
Damıtma kalıntısı	% hacim	2
Mevcut gum (çözücüyle yıkanmış)	mg/100 mL	5
Oksidasyon kararlılığı	dakika	360
Araştırma Oktan Sayısı, RON (c)		95,0
Motor Oktan Sayısı, MON (c)		85,0
Kurşun	Mg/L	5
Kükürt	Mg/kg	500
Buhar basıncı	kPa	
Yaz (a)		45-60
Kış (b)		60-90
Buhar Kilitleme İndisi (VLI)*	Indis	
Yaz-Kış geçiş dönemi		1150
Benzen	% hacim	2,5
Olefinler	% hacim	18,0

Aromatikler	% hacim	50,0
-------------	---------	------

Çizelge 4.1 Kurşunsuz benzin özellikleri - (Tüpraş,2006)

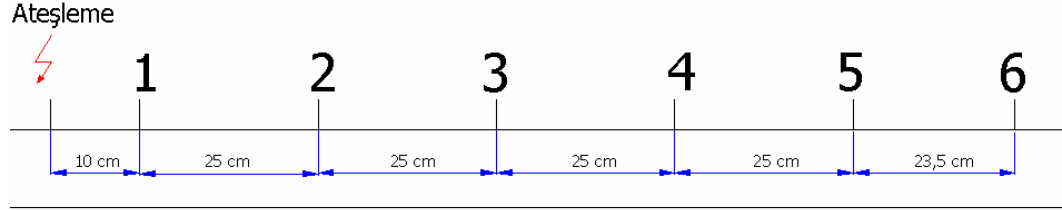
ÖZELLİK	BİRİM	DEĞER	LİMİT
Yoğunluk 15 °C	Kg/l	0.735	Min
Toplam sulfur	Wt %	0.1	Max
Kurşun	Ppb	30.0	Max
Damıtma	°C		
% 10		90	Min
% 50		110	Min
EP		190	Max
Buhar basıncı	kPa	35	Max
Pona Analizi	% hacim		
Parafinler		69	Max
Naftenikler		20	Min
Olefinler		1.0	Max
Aromatikler		10	Max

Çizelge 4.2 Nafta özellikleri - (Tüpraş,2006)

Çalışmamız esnasında öncelikle ön deneyler gerçekleştirilmiş olup her iki yakıt içinde 3 adet kütleli karışım oranı belirlenmiş olup Nafta için  $M_y / M_h$  : 1/8 , 1/10 ,1/15 Kurşunsuz Benzin için  $M_y / M_h$  : 1/5 , 1/10 ,1/15 kütleli karışım oranlarında çalışmıştır.

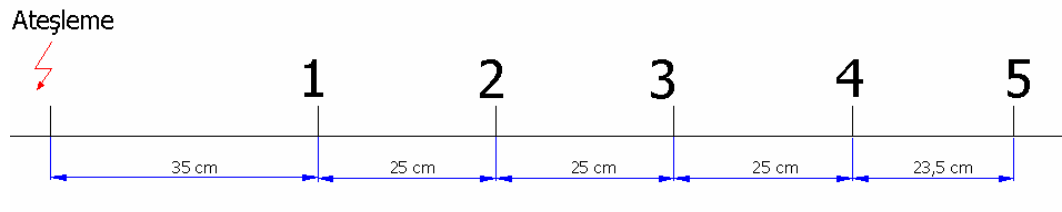
## 4.2 Ölçüm Bölgelerinin Tanımlanması

Deney düzeneğimizin üzerinde sinyal alabileceğimiz toplam 6 adet sensör noktası bulunmaktadır. Ön deneyler esnasında ; esas çalışmamızda sensörlerden efektif sinyal çıkışı alabilmek açısından 1-2-3-4 , 2-3-4-5 ve 3-4-5-6 nolu sinyal noktaları kullanılarak osiloskop sinyalleri incelenmiştir.



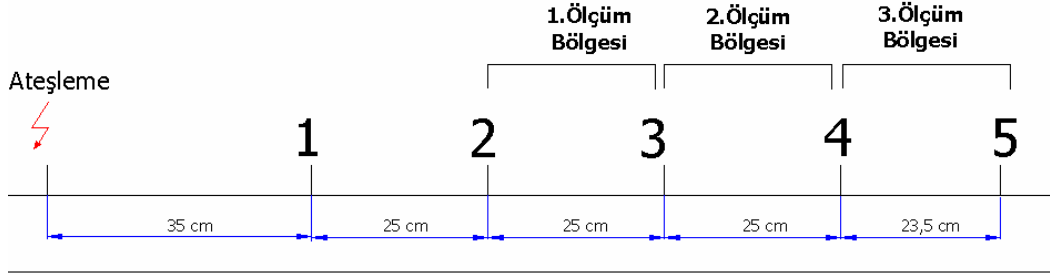
Şekil 4.1 Yanma tüpü sinyal noktaları

İncelenen osiloskop sinyallerinde 1 nolu sensöre gelen ilk sinyalin ardından belirli bir faz farkı ile ikinci bir sinyal daha geldiği görülmüştür. Yani sensörün önünden alevin ilk geçişinin ardından sensör önünde ikinci bir yanma daha gerçekleşmektedir. Bunun nedeni ise alev çekirdeği 10 cm lik kısa mesafe içerisinde henüz tam olarak gelişmemiş olmasından ve bu nedenle sensörün düzensiz sinyaller almasından kaynaklanmaktadır. Bu olumsuzluğun önüne geçebilmek ve tam gelişmiş yanma dalgası sinyallerini algılayabilmek için ateşleme noktasına en uzak olan sinyal noktalarının kullanımına karar verilmiş ve 1 numaralı sinyal noktası kapatılmıştır. Düzenek üzerinde hazırda bulunan 5 adet sinyal noktalarının kodlaması şu şekildedir.



Şekil 4.2 Deney düzeneği sinyal noktaları

Kullanılmış olduğumuz osiloskopta kayıt için toplam 4 kanal bulunduğundan dolayı deney aşamasında 2-3-4-5 nolu sinyal noktaları kullanılmıştır.1 nolu sinyal noktasına ise sensör bağlanmış ancak ilgili sensördeki sinyaller kayıt edilmemiştir.



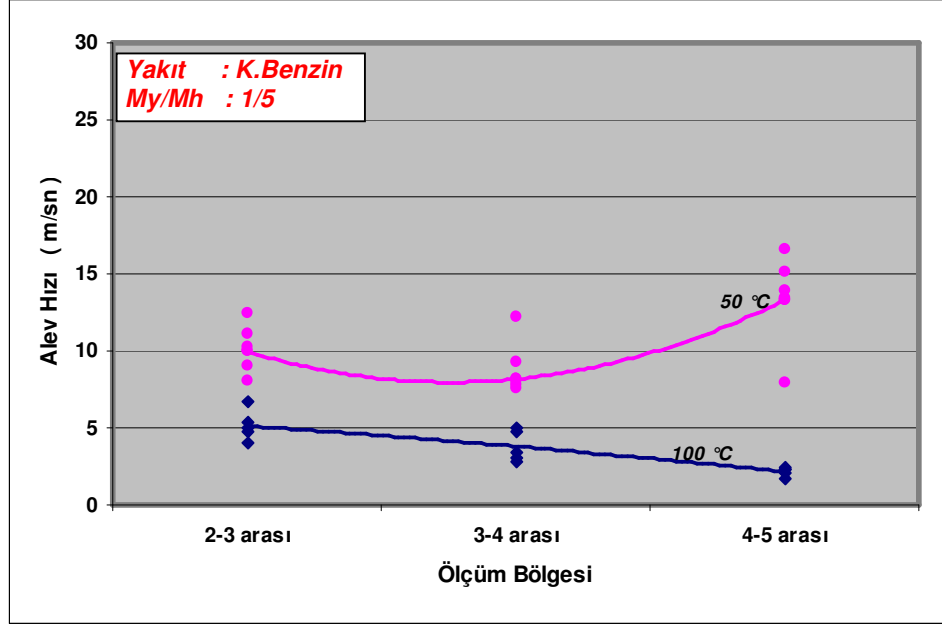
Şekil 4.3 Deney ölçüm bölgeleri

Çalışma esnasında kullanılan 2-3 nolu sensörler arası 1.Ölçüm Bölgesi , 2-3 nolu sensörler arası 2.Ölçüm Bölgesi 4-5 nolu sensörler arası ise 3.ölçüm bölgesi olarak adlandırılarak bu bölgelerdeki ortalama hızlar hesaplanmıştır.

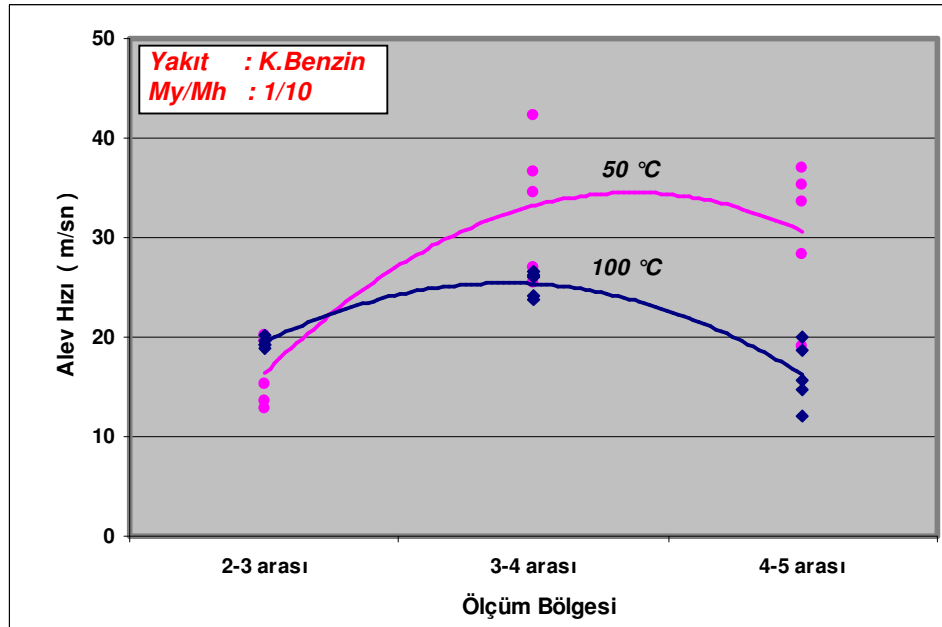
### 4.3 Deneysel Sonuçlar

#### 4.3.1 Sıcaklığın Fonksiyonu Olarak Yanma Tüpü Boyunca Hız Değişimleri

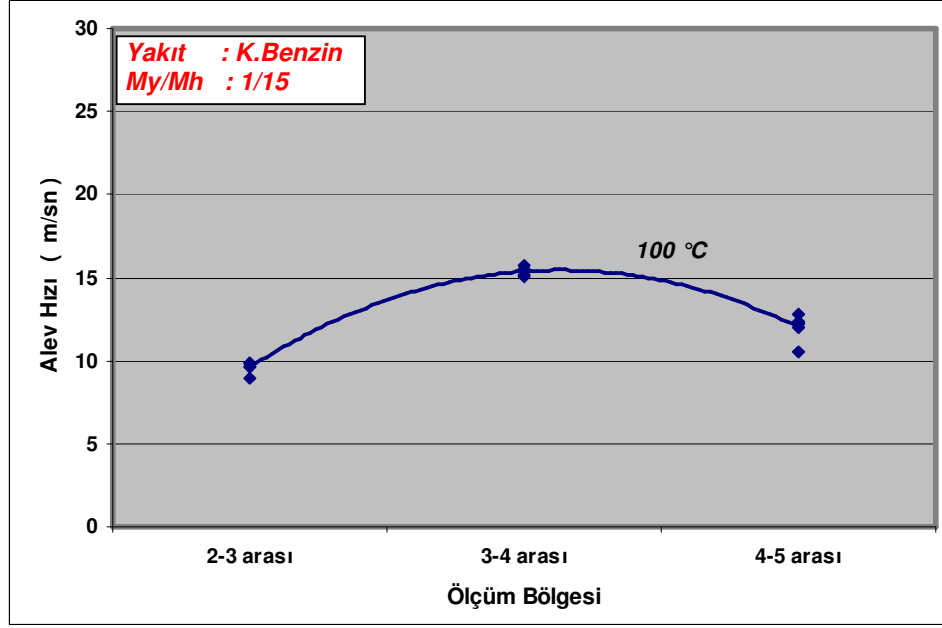
##### 4.3.1.1 Kurşunsuz Benzin İçin Elde Edilen Deneysel Sonuçları Grafikleri



Şekil 4.4 My/Mh = 1/5 için boru boyunca alev hızı değişimi grafiği

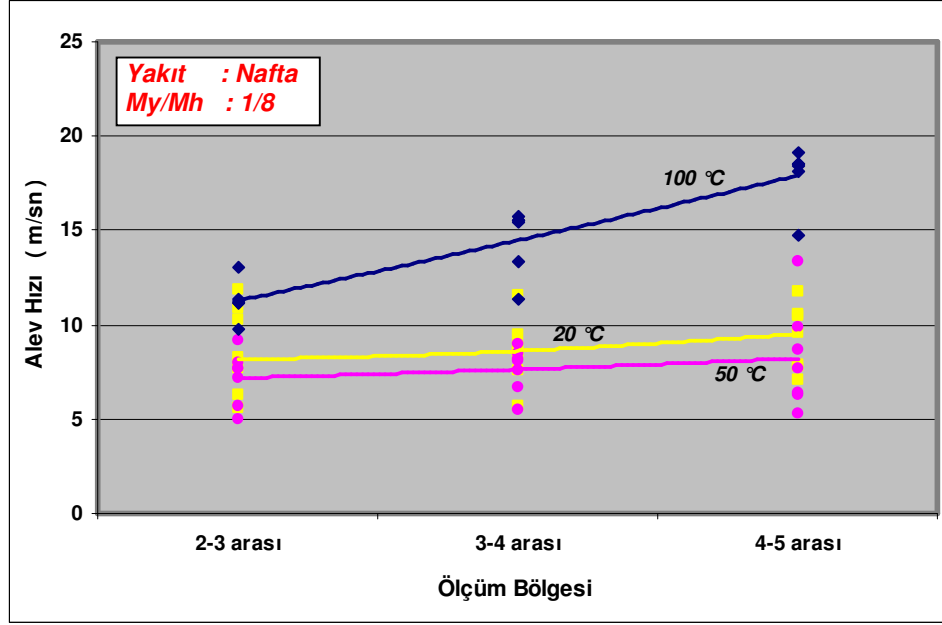


Şekil 4.5 My/Mh = 1/10 için boru boyunca alev hızı değişimi grafiği

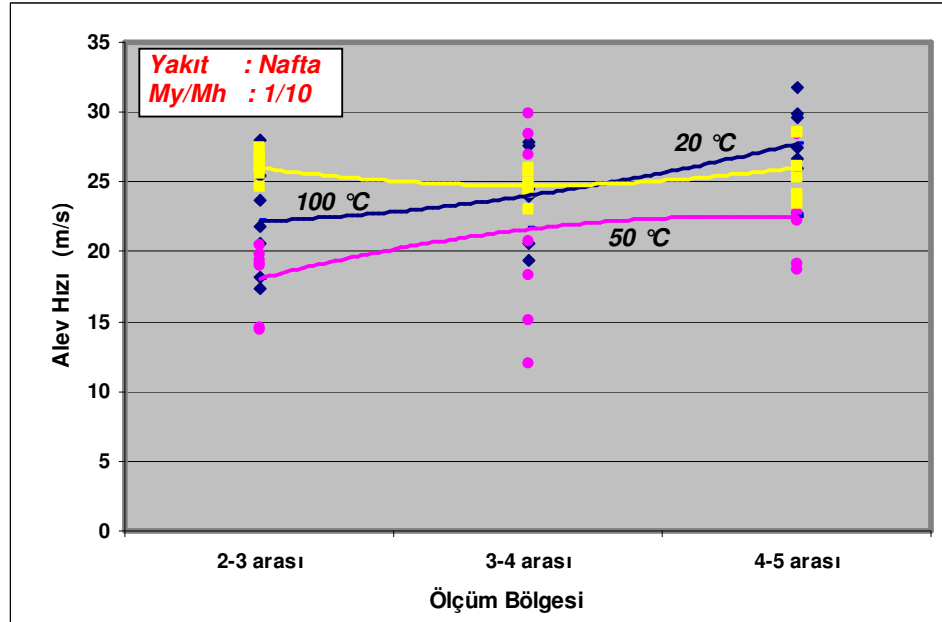


Şekil 4.6 My/Mh = 1/15 için boru boyunca alev hızı değişimi grafiği

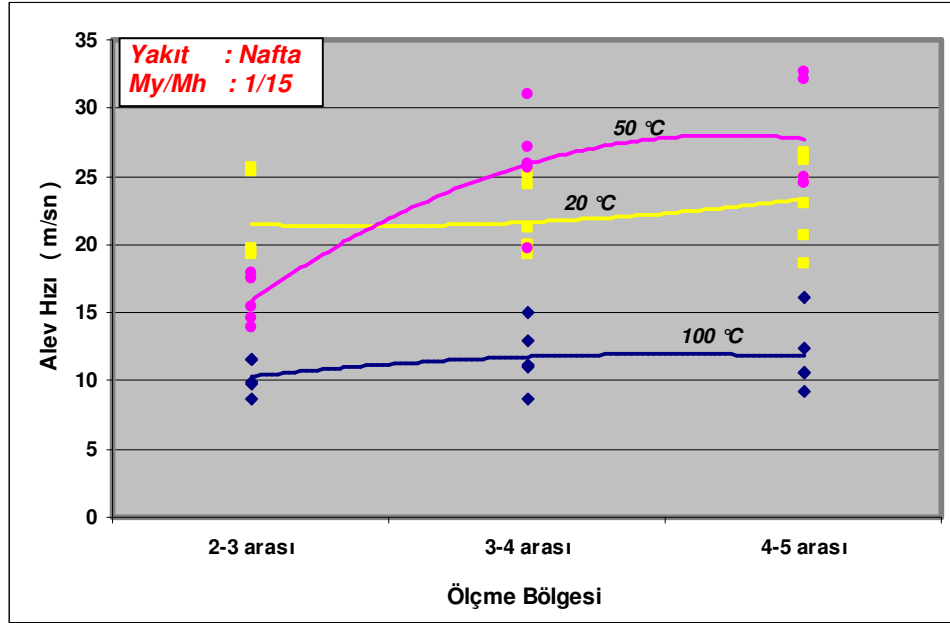
#### 4.3.1.2 Nafta İçin Elde Edilen Deneysel Sonuçları Grafikleri



Şekil 4.7 My/Mh = 1/8 için boru boyunca alev hızı değişimi grafiği



Şekil 4.8 My/Mh = 1/10 için boru boyunca alev hızı değişimi grafiği

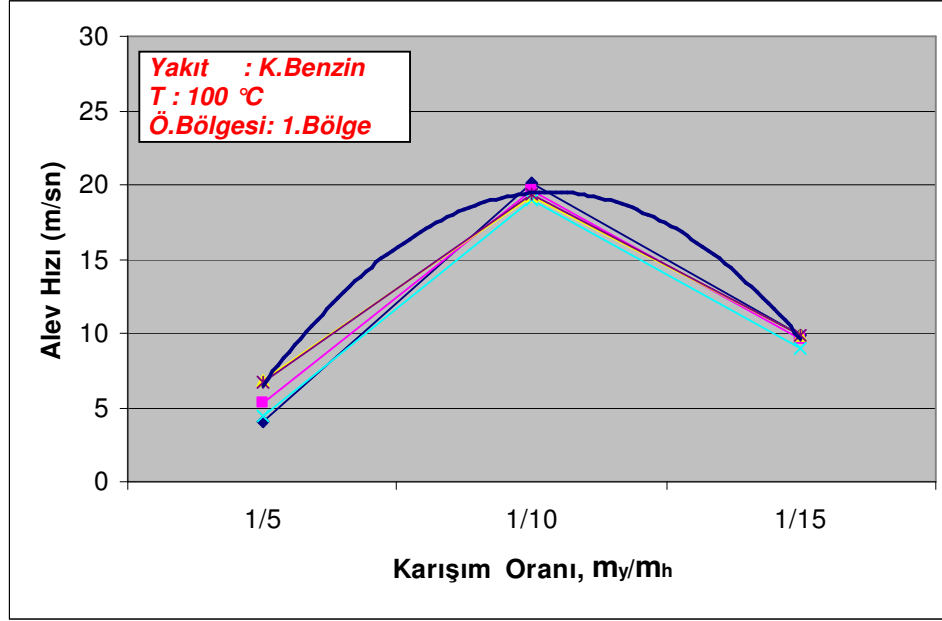


Şekil 4.9 My/Mh = 1/15 için boru boyunca alev hızı değişimi grafiği

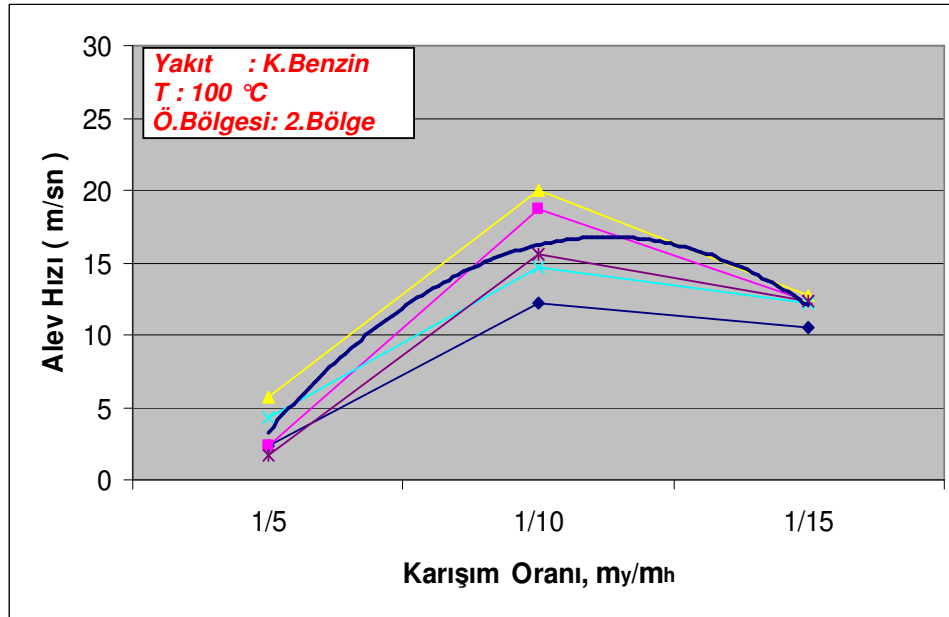
### 4.3.2 Ölçüm Bölgelerinde Karışım Oranına Bağlı Olarak Alev Hızının Değişimi Grafikleri

#### 4.3.2.1 Kurşunsuz Benzin İçin Elde Edilen Deneysel Sonuçların Grafikleri

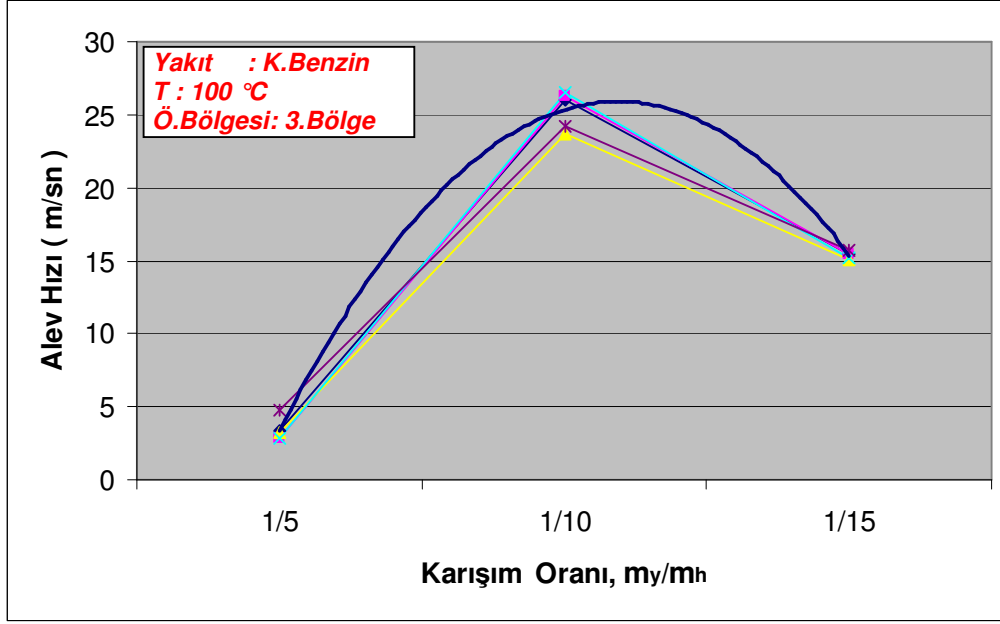
##### 4.3.2.1.1 $T=100^{\circ}\text{C}$ Sıcaklık İçin Elde Edilen Deneysel Sonuçların Grafikleri



Şekil 4.10  $T=100^{\circ}\text{C}$  için 1.ölçüm bölgesindeki ortalama alev hızı değişimi grafiği



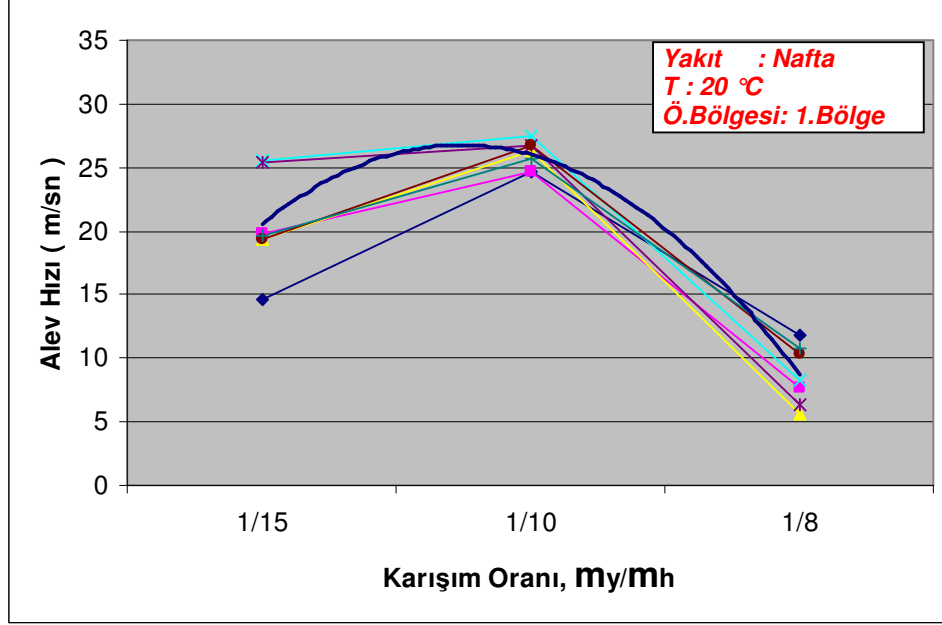
Şekil 4.11  $T=100^{\circ}\text{C}$  için 2.ölçüm bölgesindeki ortalama alev hızı değişimi grafiği



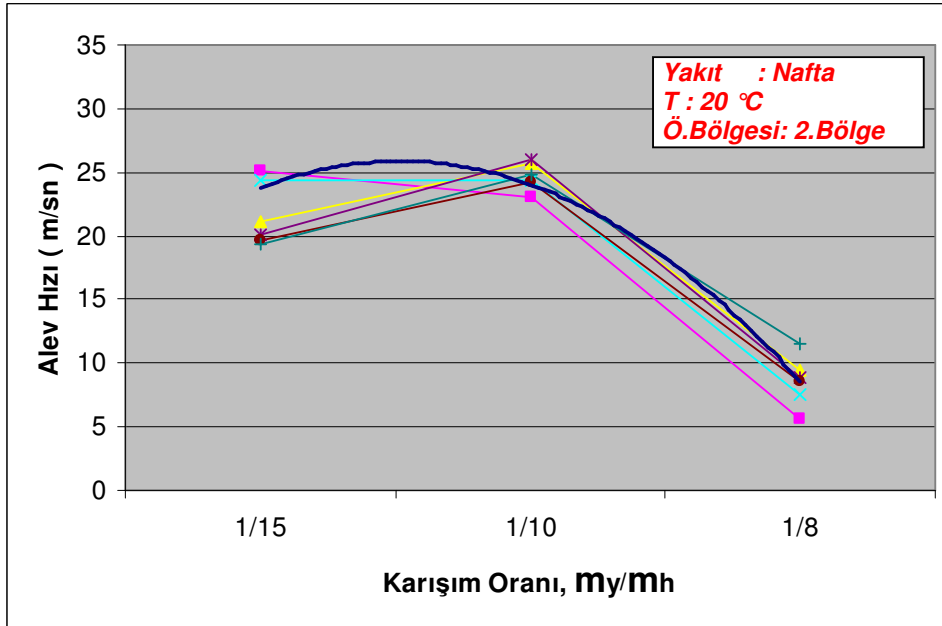
Şekil 4.12 T=100 °C için 3.ölçüm bölgesindeki ortalama alev hızı değişimi grafiği

### 4.3.2.2 Nafta İçin Elde Edilen Deney Sonuçlarının Grafikleri

#### 4.3.2.2.1 T=20°C İçin Elde Edilen Deney Sonuçlarının Grafikleri



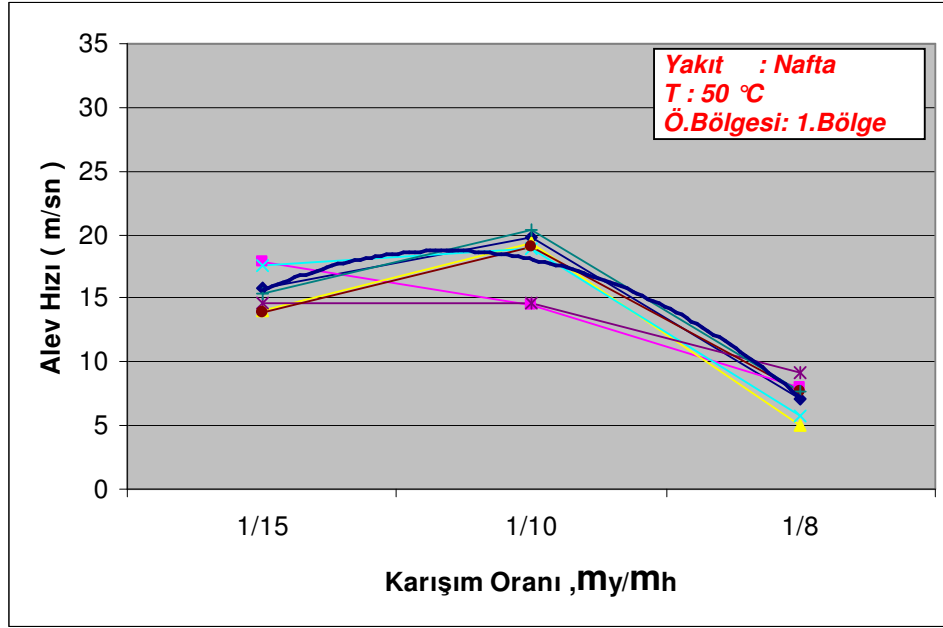
Şekil 4.13 T=20°C için 1.ölçüm bölgesindeki ortalama alev hızı değişim grafikleri



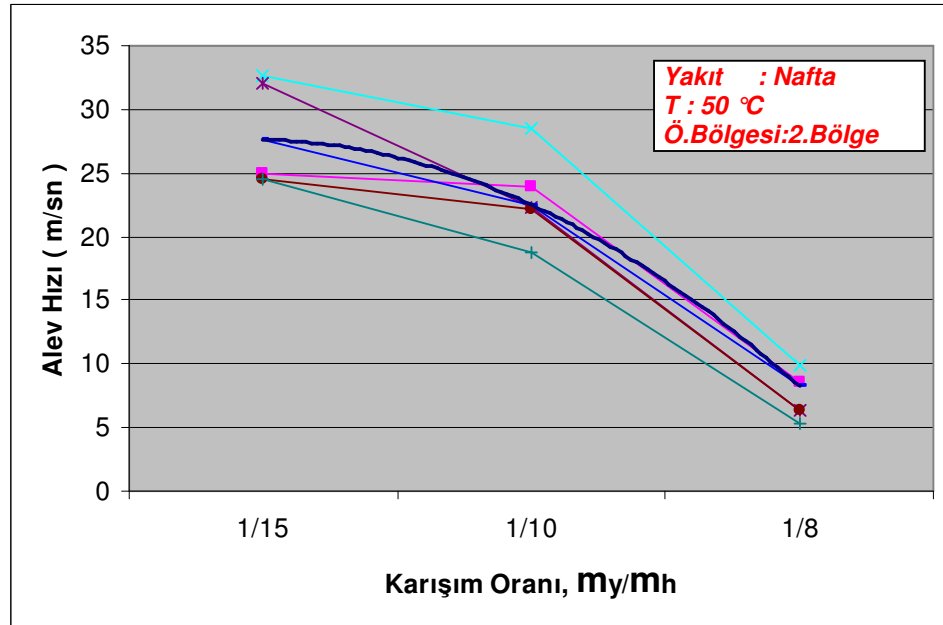
Şekil 4.14 T=20°C için 2.ölçüm bölgesindeki ortalama alev hızı değişim grafikleri



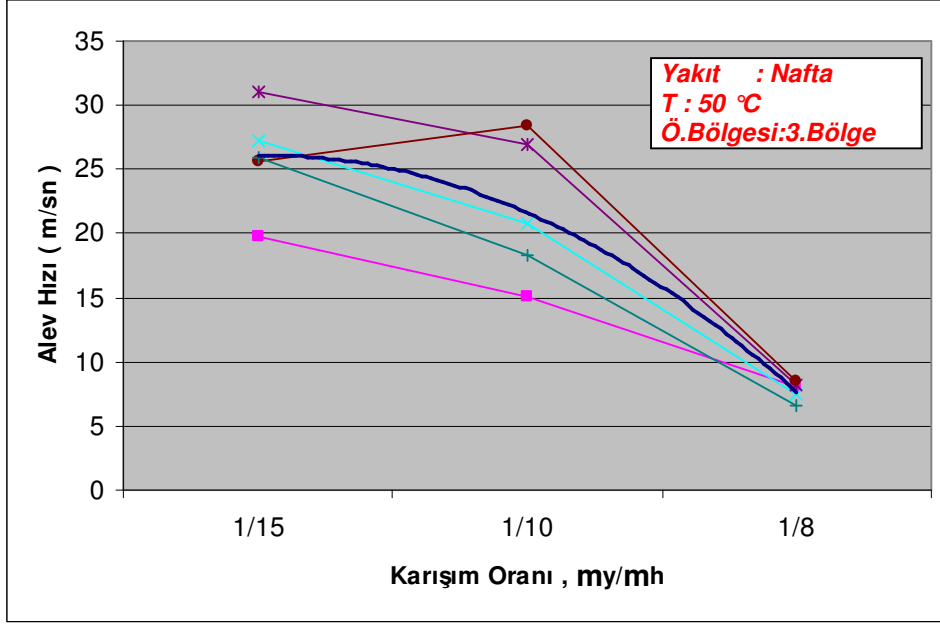
#### 4.3.2.2.2 T=50°C İçin Elde Edilen Deneysel Sonuçların Grafikleri



Şekil 4.16 T=50°C için 1.ölçüm bölgesindeki ortalama alev hızı değişim grafiği

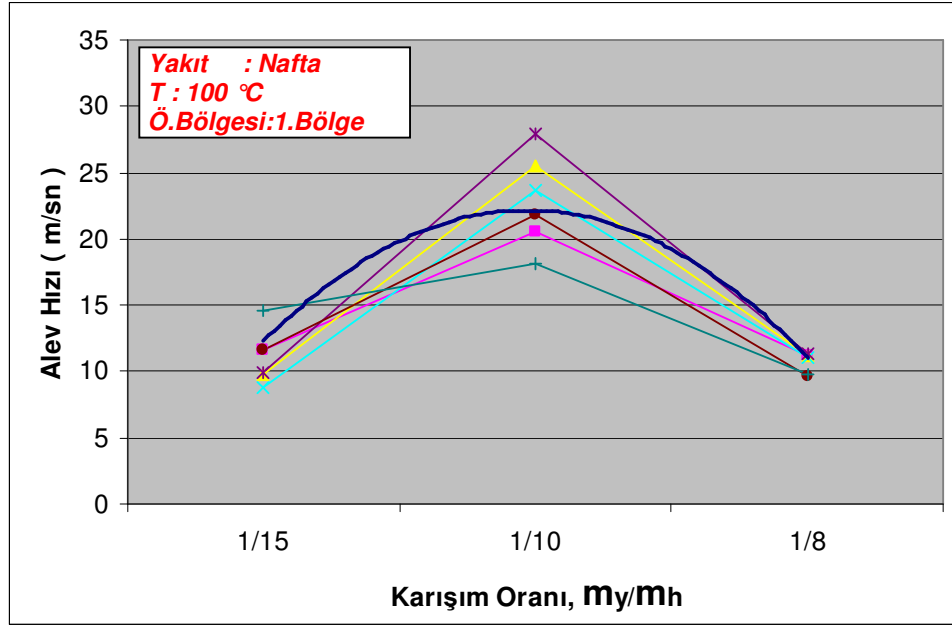


Şekil 4.17 T=50°C için 2.ölçüm bölgesindeki ortalama alev hızı değişim grafiği

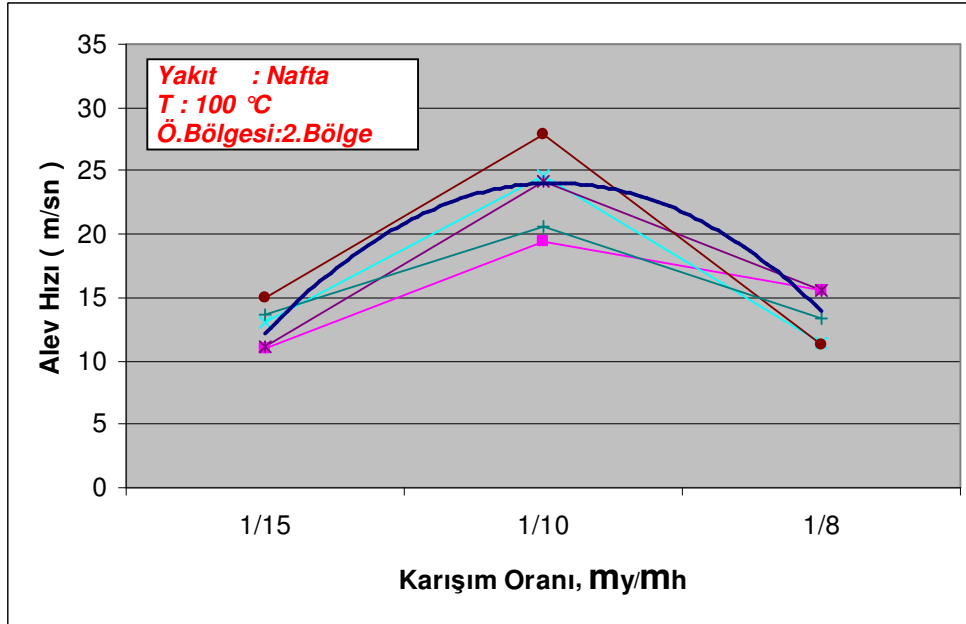


Şekil 4.18 T=50°C için 2.ölçüm bölgesindeki ortalama alev hızı değişim grafiği

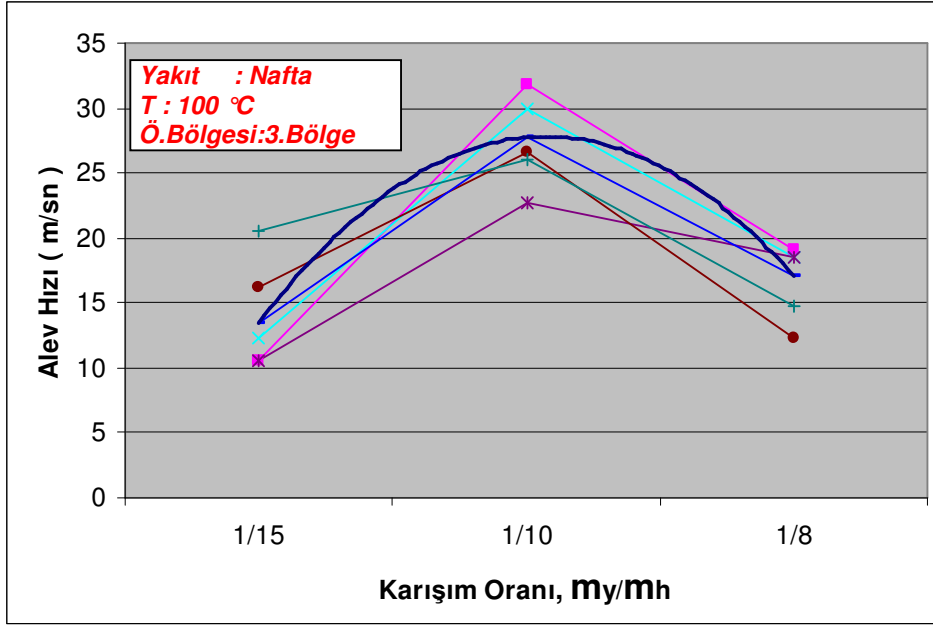
#### 4.3.2.2.3 T=100°C İçin Elde Edilen Deney Sonuçlarının Grafikleri



Şekil 4.19 T=100°C için 1.ölçüm bölgesindeki ortalama alev hızı değişim grafiği



Şekil 4.20 T=100°C için 2.ölçüm bölgesindeki ortalama alev hızı değişim grafiği



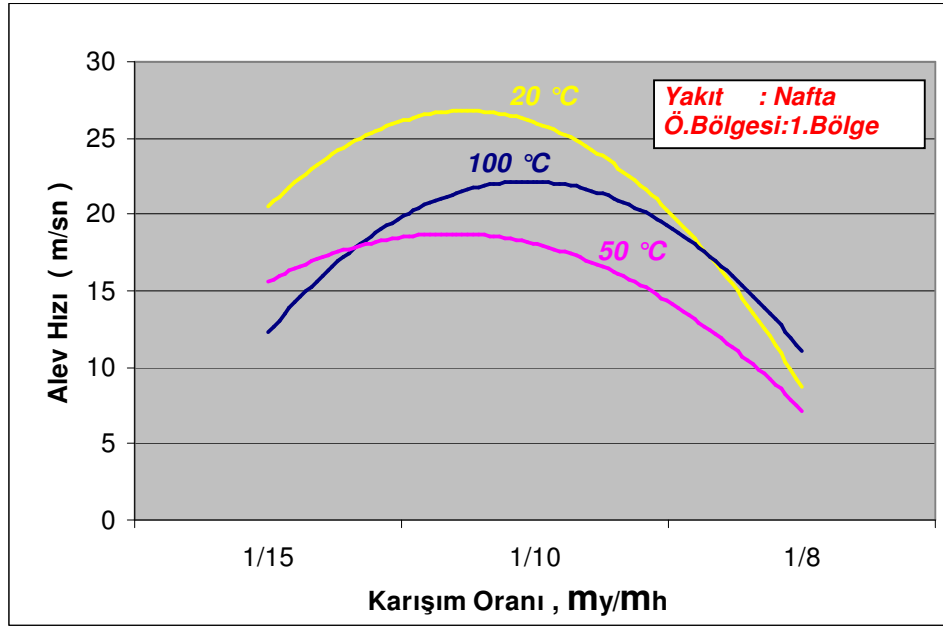
Şekil 4.21 T=100°C için 3.ölçüm bölgesindeki ortalama alev hızı değişim grafiği

### 4.3.3 Ölçüm Bölgelerinden Elde Edilen Değerlerin Karışım Oranına Bağlı Karşılaştırılması

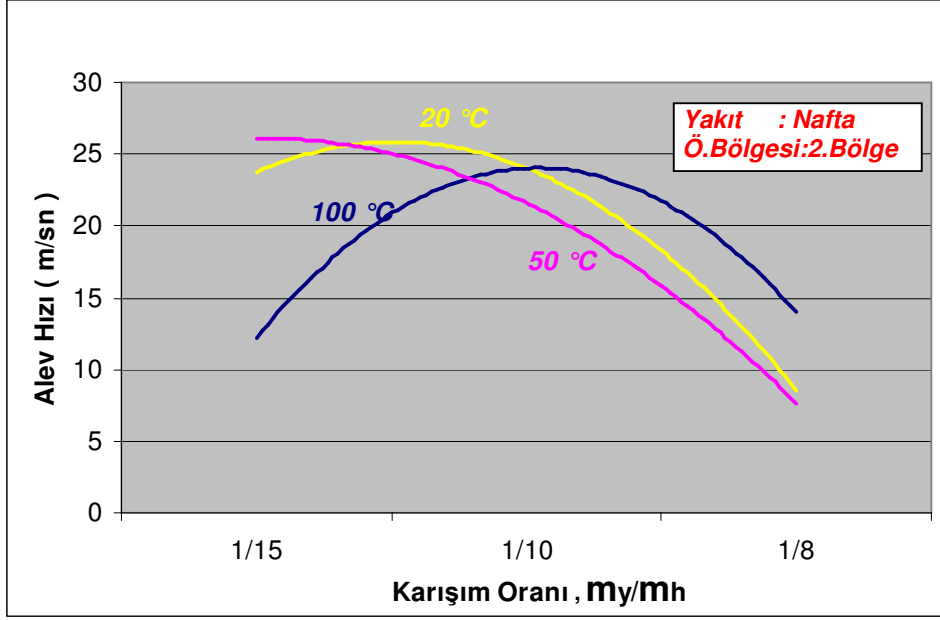
#### 4.3.3.1 Kurşunsuz Benzin İçin Elde Edilen Değerlerin Karşılaştırılması

Elde edilmiş olan deney sonuçları bir karşılaştırma yapabilmek için yeterli değildir. 25° C de 1/5 ve 1/15 karışım oranlarında yapılmış olan deneyler sistemiz tarafından işlenebilir sonuçlar vermediklerinden dolayı kurşunsuz benzin için bir karşılaştırma yapmak mümkün olmamıştır.

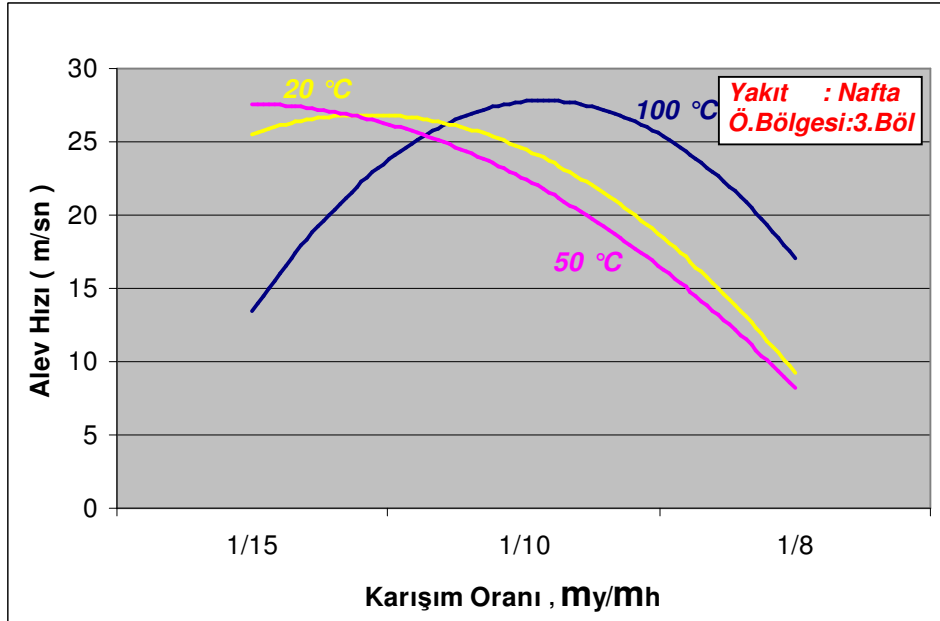
#### 4.3.3.2 Nafta İçin Elde Edilen Değerlerin Karşılaştırılması



Şekil 4.22 1.Ölçüm bölgesindeki ortalama alev hızının sıcaklık ile değişim grafiği



Şekil 4.23 2.Ölçüm bölgesindeki ortalama alev hızının sıcaklık ile değişim grafiği

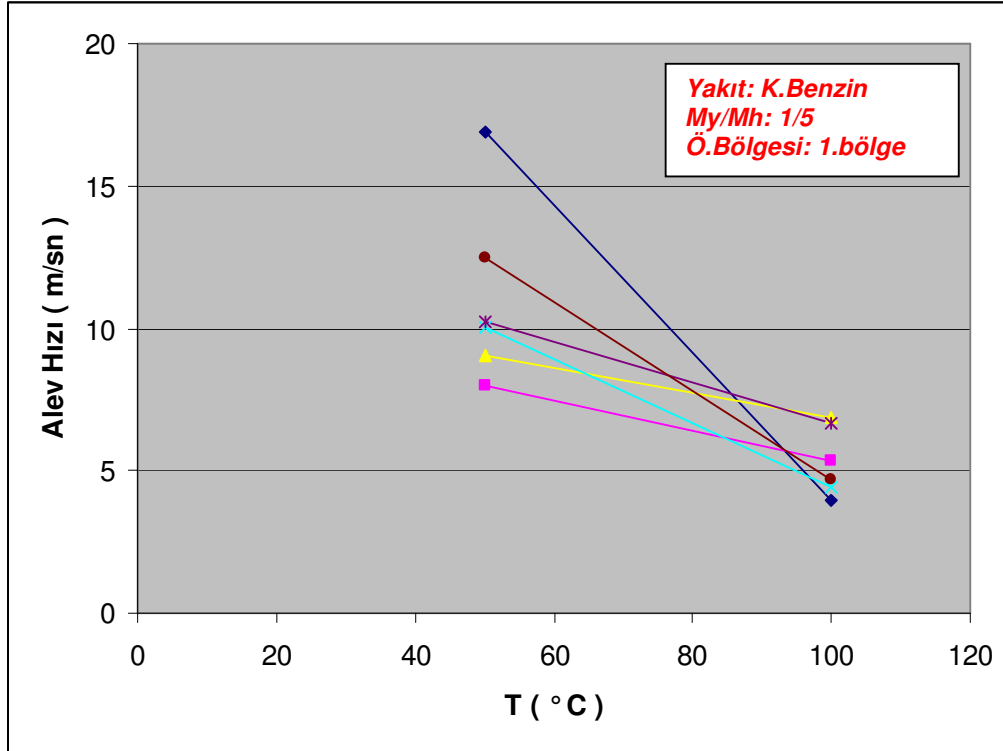


Şekil 4.24 3.ölçüm bölgesindeki ortalama alev hızının sıcaklık ile değişim grafiği

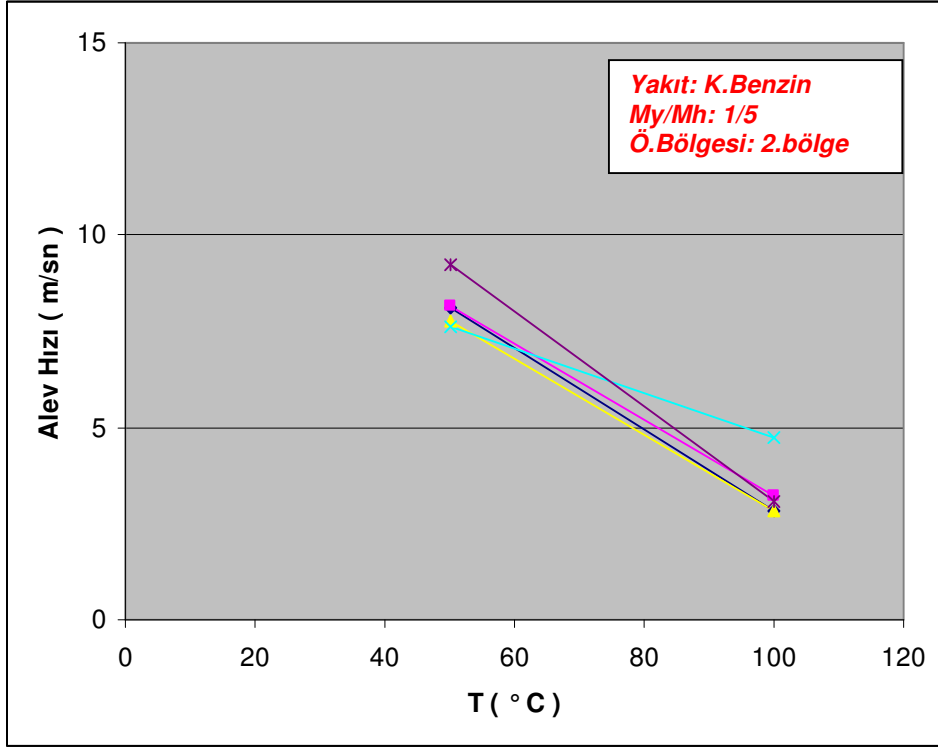
### 4.3.3 Ölçüm Bölgelerinden Alınan Değerlerin Sıcaklığa Bağlı Karşılaştırılması

#### 4.3.3.1 Kurşunsuz Benzin İçin Elde Edilen Değerlerin Karşılaştırılması

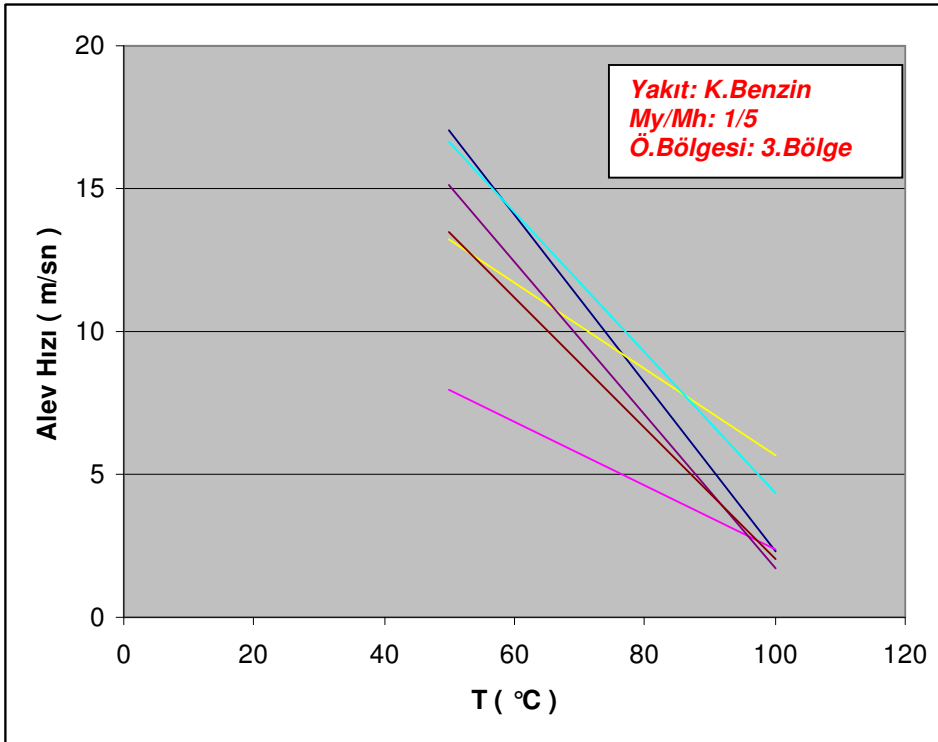
Kurşunsuz benzin ile yapılan deneylerde karşılaştırılmaya tabi tutulabilecek olan sadece  $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$  -  $My/Mh = 1/5$ ,  $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$  -  $My/Mh = 1/10$  ve  $T = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$  -  $My/Mh = 1/5$ ,  $T = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$  -  $My/Mh = 1/10$  karşılaştırılma grafikleri aşağıda görülmektedir



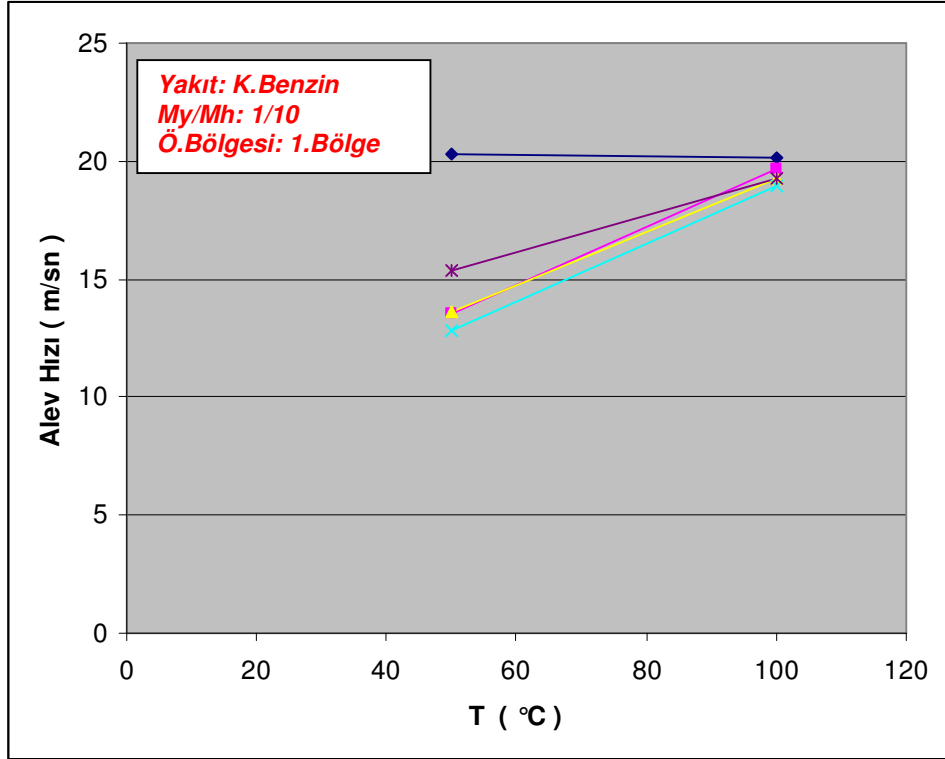
Şekil 4.25 ,  $My/Mh = 1/5$  , Ölçüm bölgesi 1.Bölge



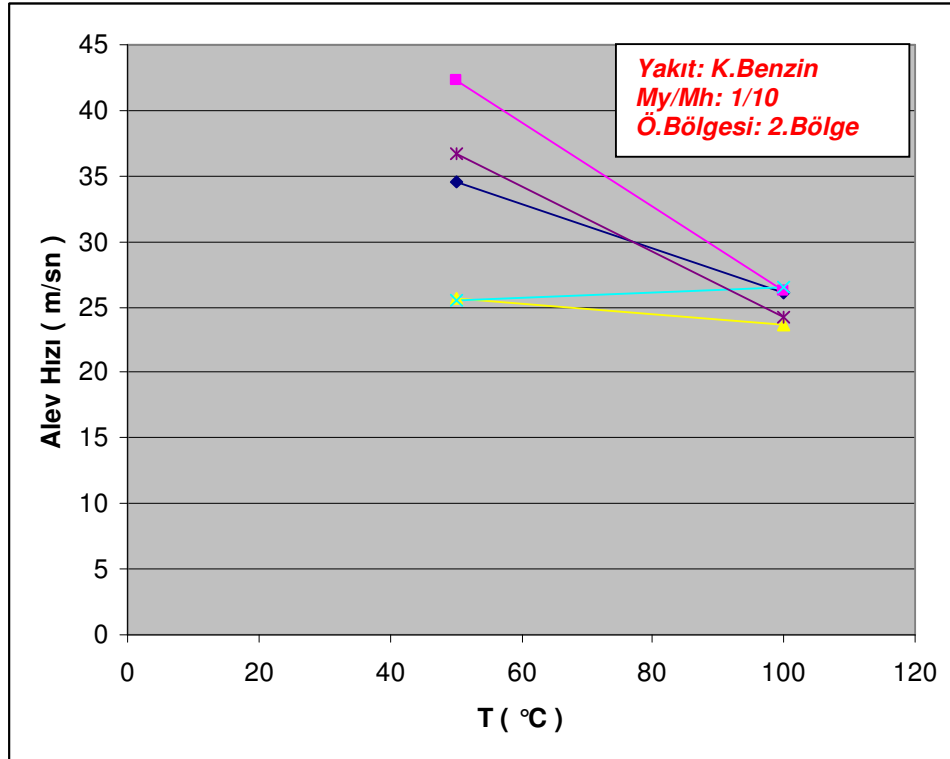
Şekil 4.26 My/Mh=1/5 Ölçüm bölgesi 2.Bölge



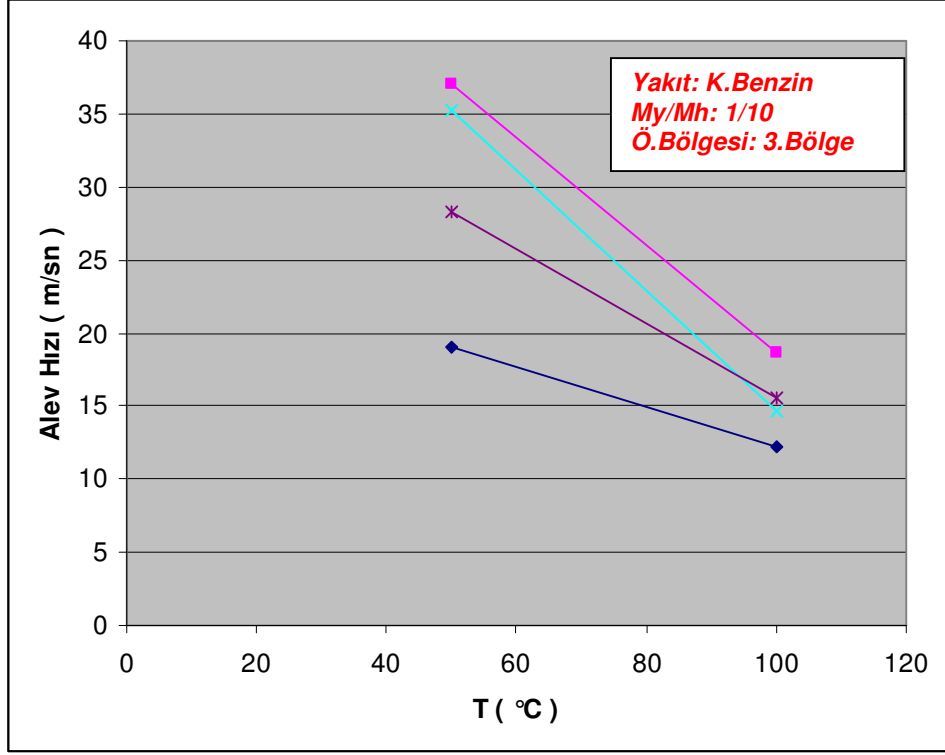
Şekil 4.27 My/Mh=1/5 Ölçüm bölgesi 3.Bölge



Şekil 4.28 My/Mh=1/10 Ölçüm bölgesi 1.Bölge

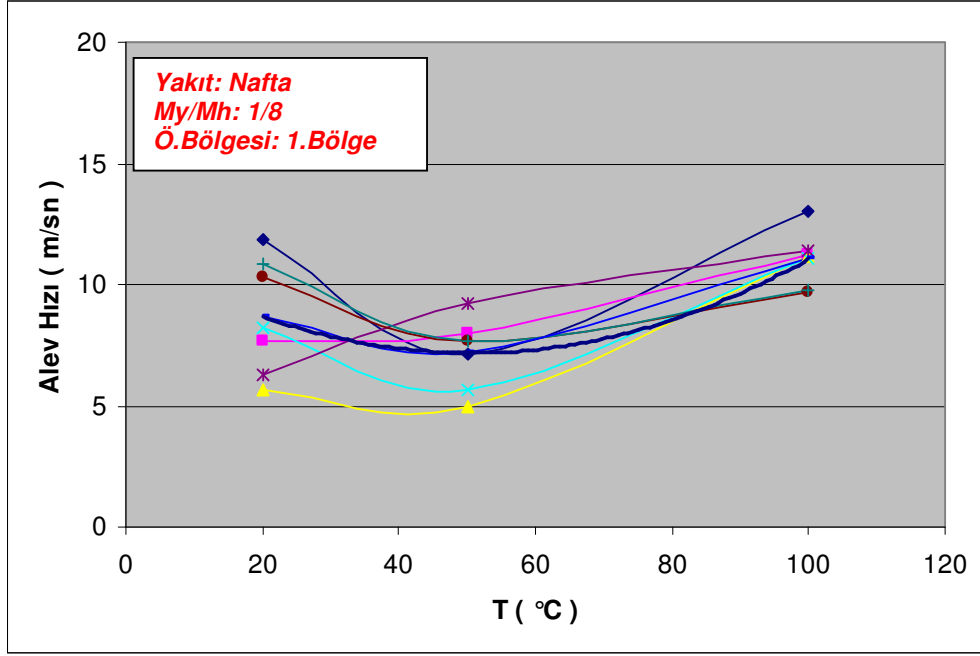


Şekil 4.29 My/Mh=1/10 Ölçüm bölgesi 2.Bölge

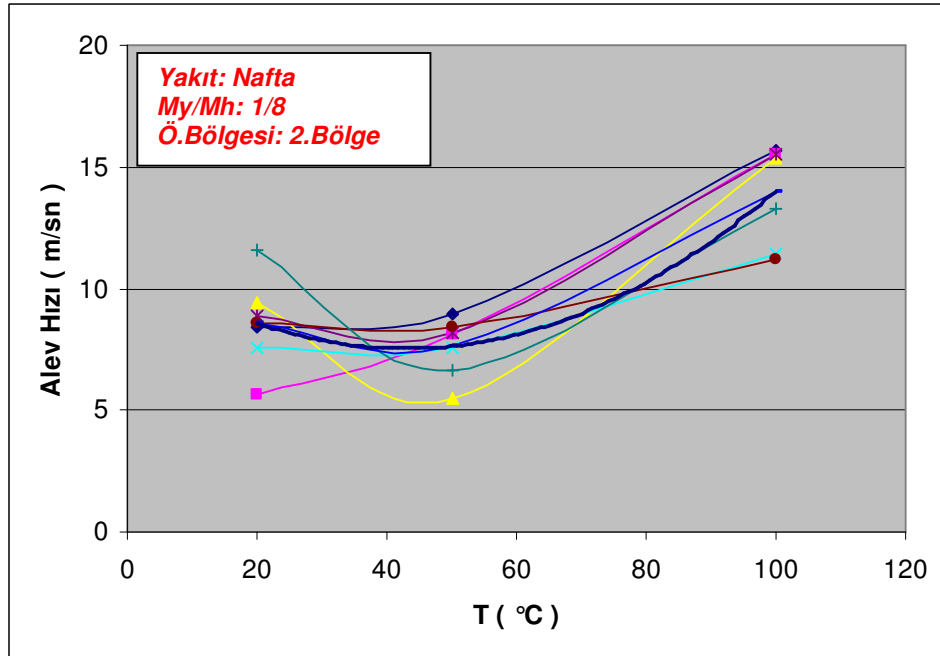


Şekil 4.30 My/Mh=1/10 , Ölçüm bölgesi 3.Bölge

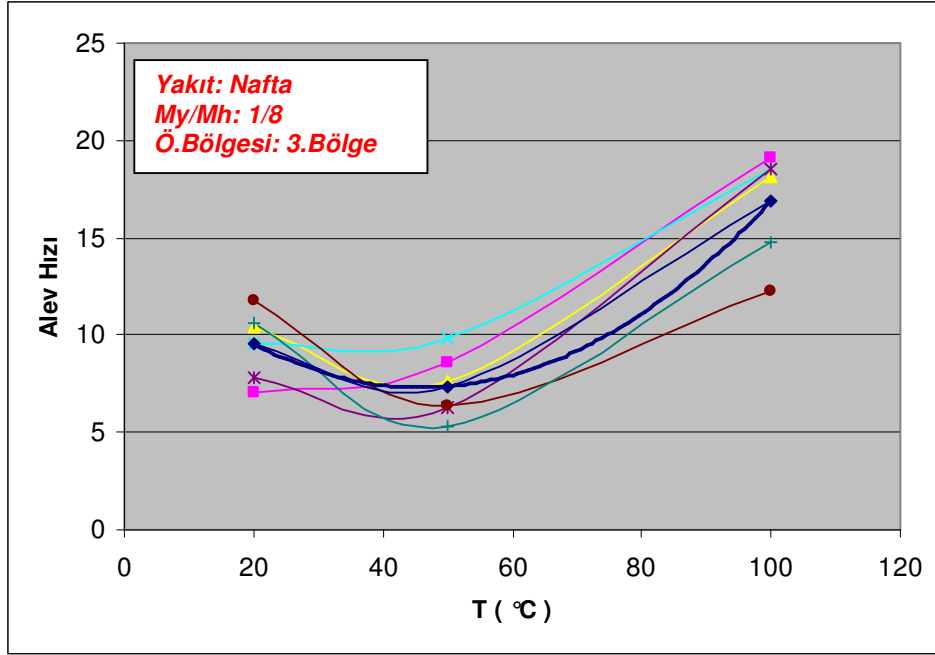
#### 4.3.3.2 Nafta İçin Elde Edilen Değerlerin Karşılaştırılması



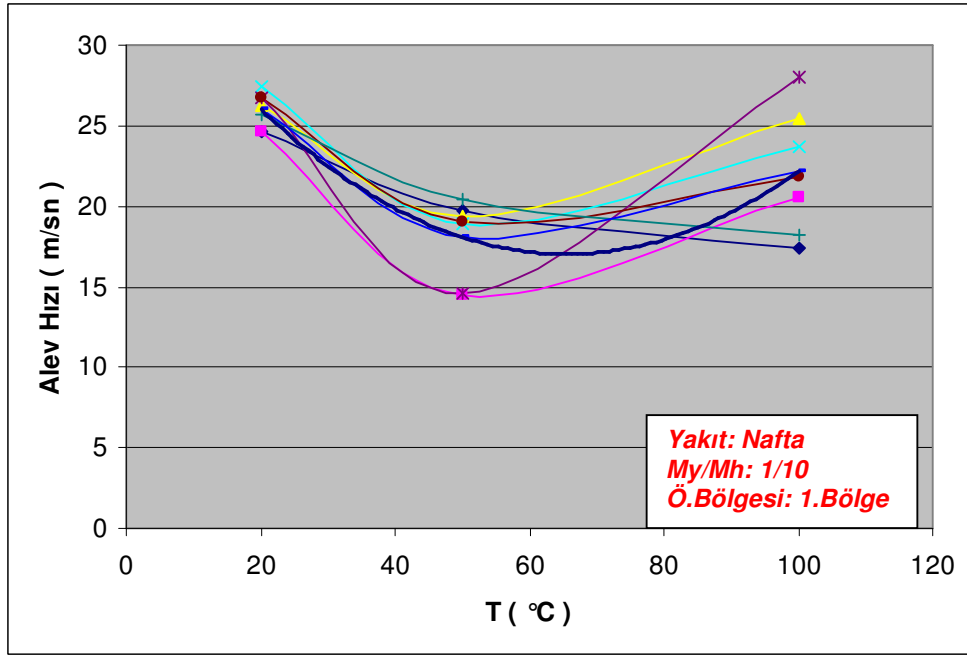
Şekil 4.31 My/Mh = 1/8 ,Ölçüm bölgesi 1.Bölge



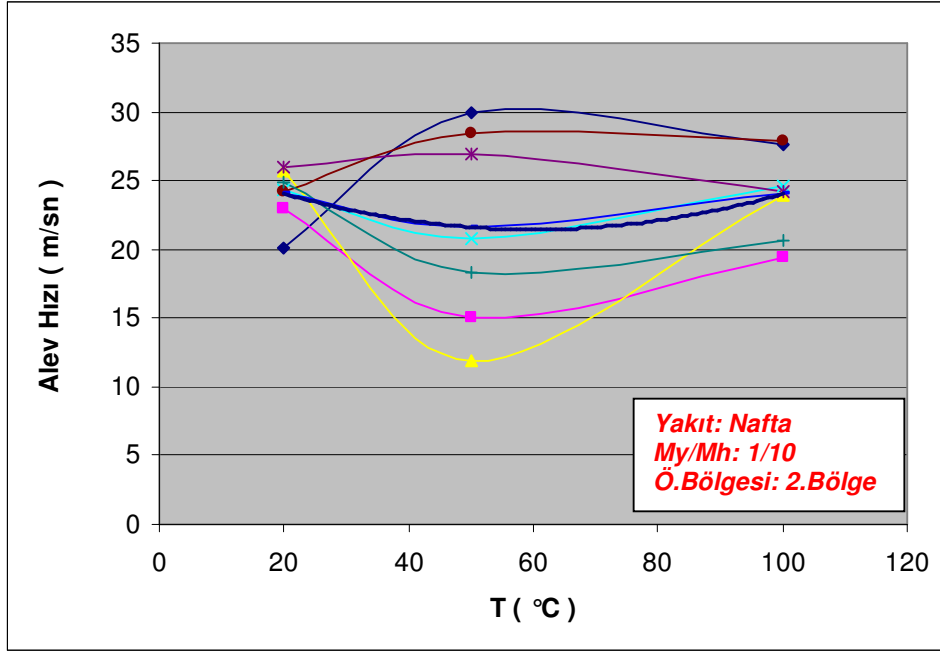
Şekil 4.32 My/Mh = 1/8 ,Ölçüm bölgesi 2.Bölge



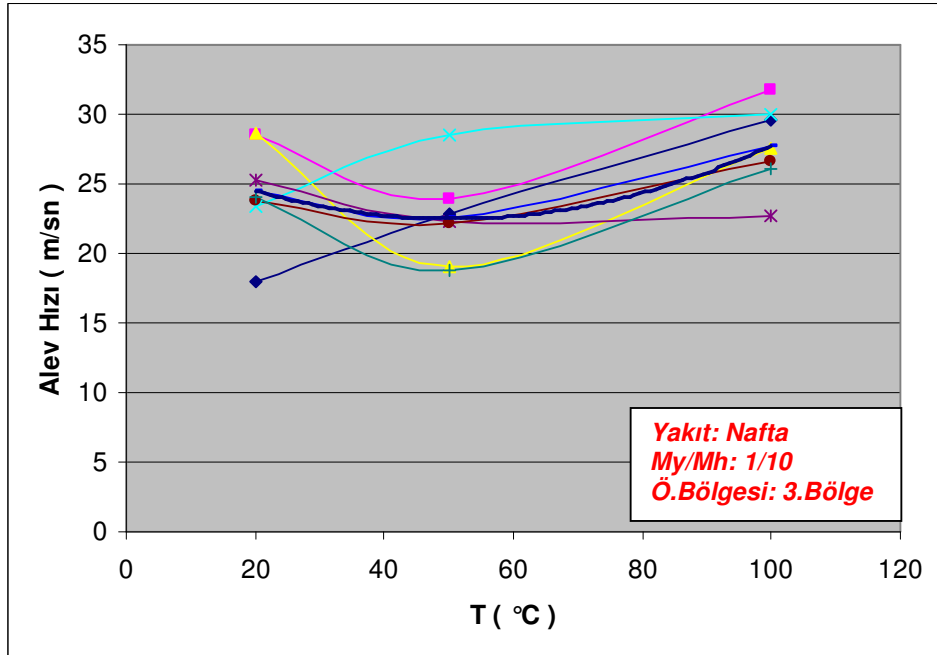
Şekil 4.33 My/Mh = 1/8 ,Ölçüm bölgesi 3.Bölge



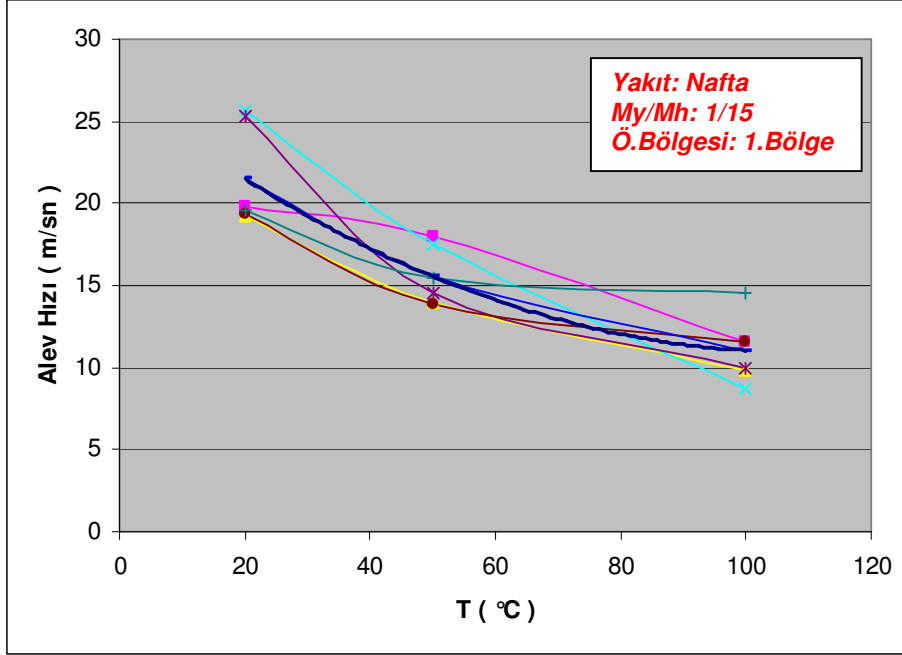
Şekil 4.34 My/Mh = 1/10 ,Ölçüm bölgesi 1.Bölge



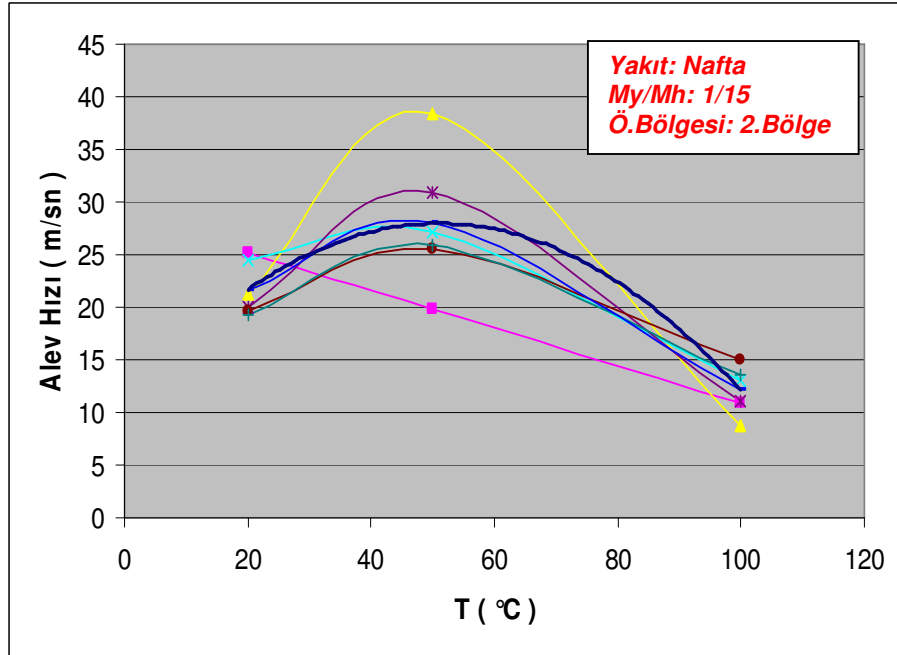
Şekil 4.35 My/Mh = 1/10 ,Ölçüm bölgesi 2.Bölge



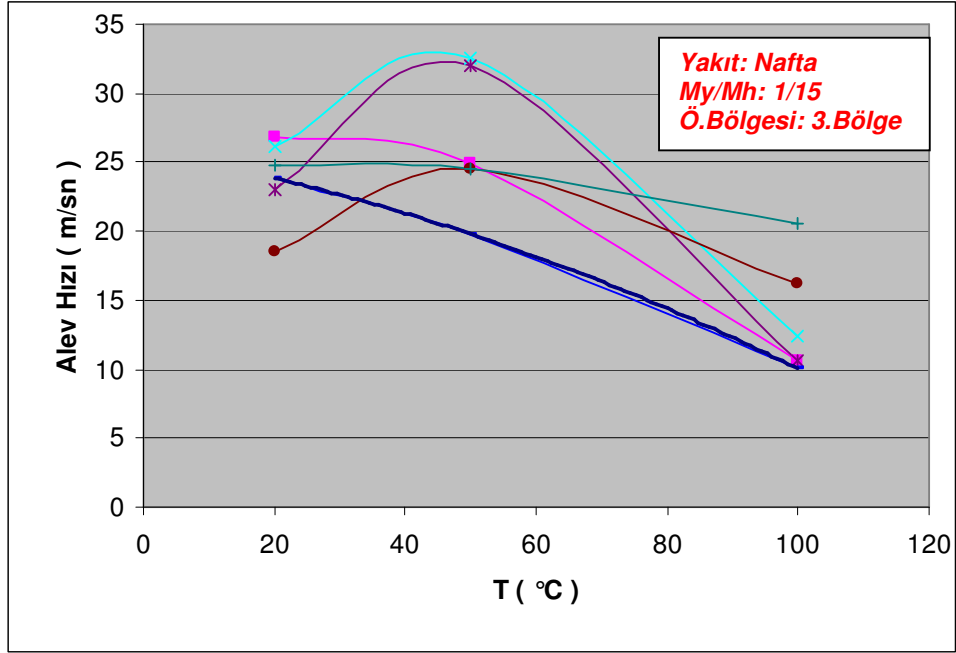
Şekil 4.36 My/Mh = 1/10 ,Ölçüm bölgesi 3.Bölge



Şekil 4.37 My/Mh = 1/15 ,Ölçüm bölgesi 1.Bölge



Şekil 4.38 My/Mh = 1/15 ,Ölçüm bölgesi 2.Bölge

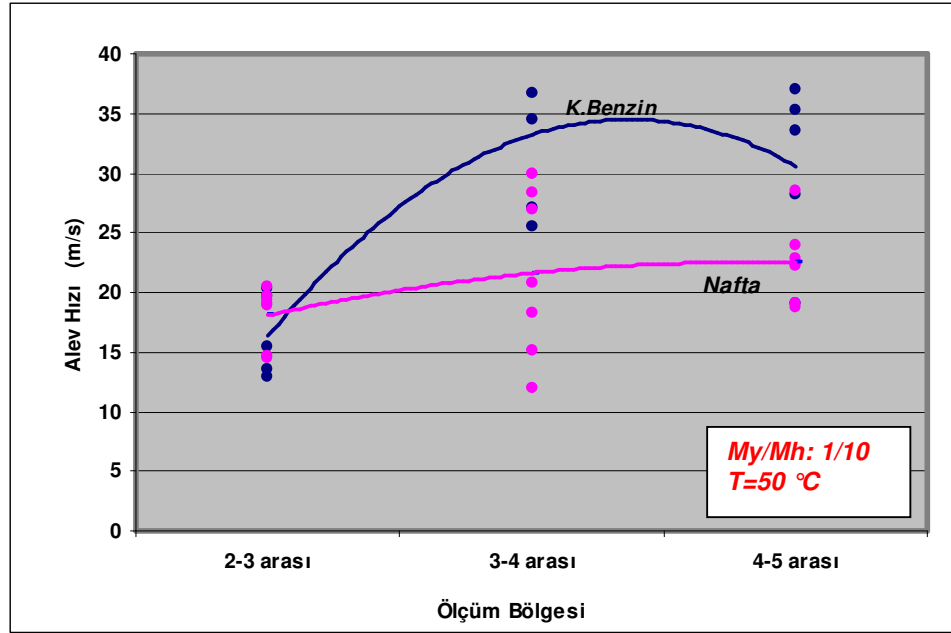


Şekil 4.38 My/Mh = 1/15 ,Ölçüm bölgesi :3.Bölge

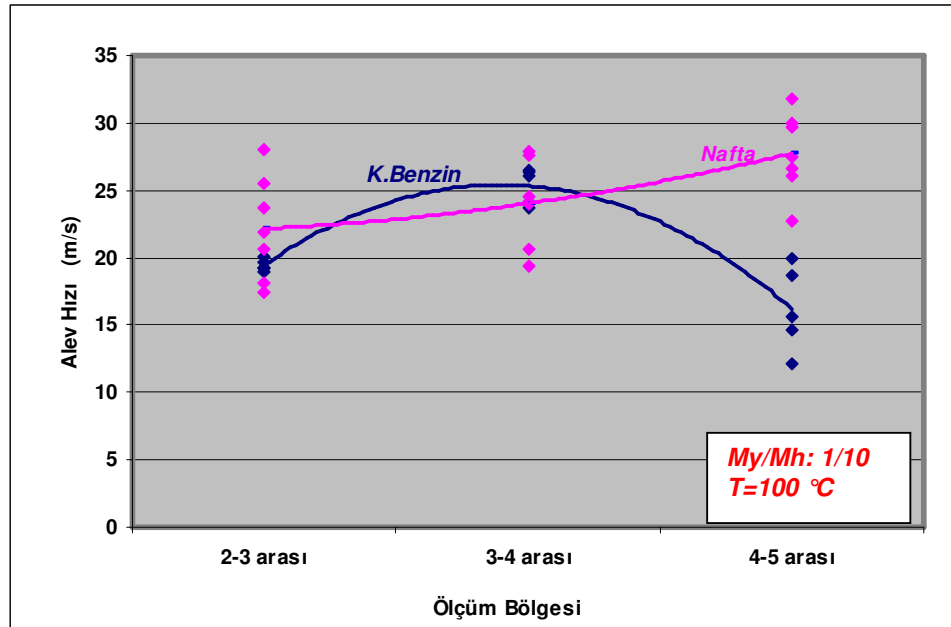
#### 4.3.4 Nafta ve Kurşunsuz Benzin İçin Elde Edilen Değerlerin Karşılaştırılması

##### 4.3.4.1 Yanma Tüpü Boyunca Hız Değişiminin Karşılaştırılması

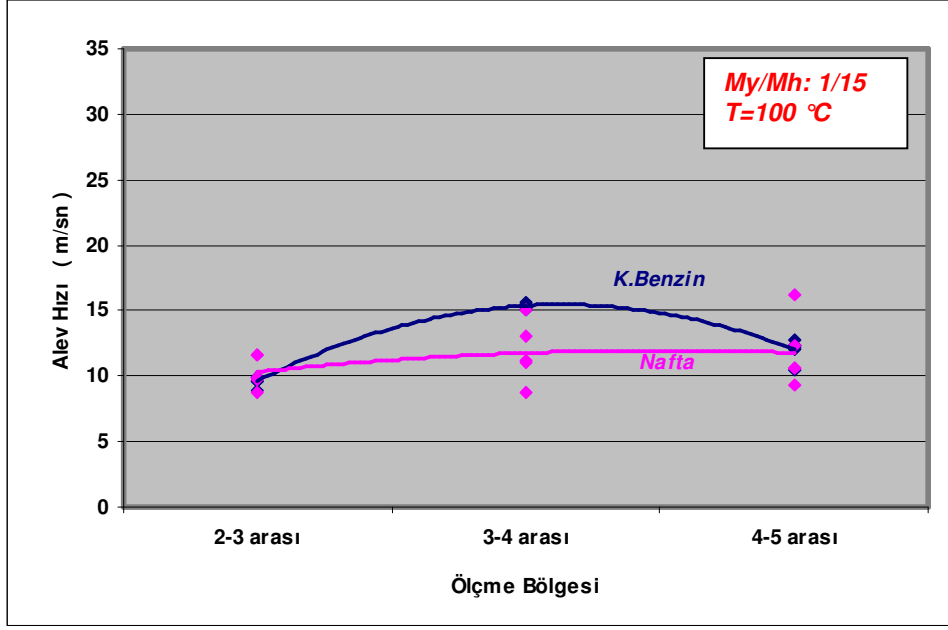
Karşılaştırma grafikleri sadece aynı şartlarda (aynı karışım oranı ve aynı sıcaklık için ) yapılan deneyler için çizilmiştir.  $T=50\text{ }^{\circ}\text{C}$  , $My/Mh=1/10$  ,  $T=100\text{ }^{\circ}\text{C}$  , $My/Mh=1/10$  , $T=^{\circ}\text{C}$  , $My/Mh=1/15$



Şekil 4.40  $T=50\text{ }^{\circ}\text{C}$  , $My/Mh=1/10$  için nafta ve k.benzin hızlarının karşılaştırılması



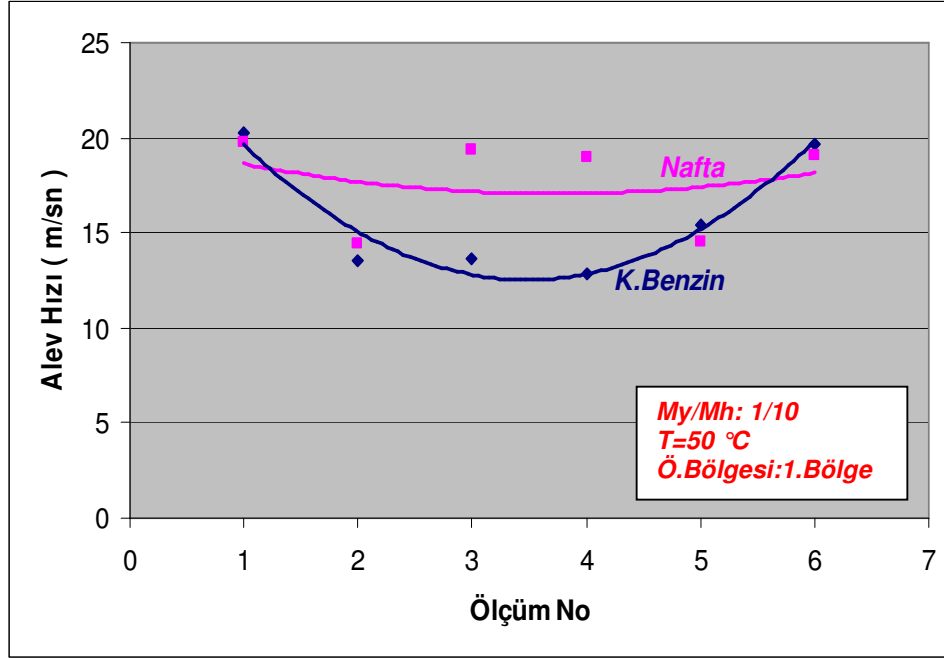
Şekil 4.41  $T=100\text{ }^{\circ}\text{C}$  , $My/Mh=1/10$  için nafta ve k.benzin hızlarının karşılaştırılması



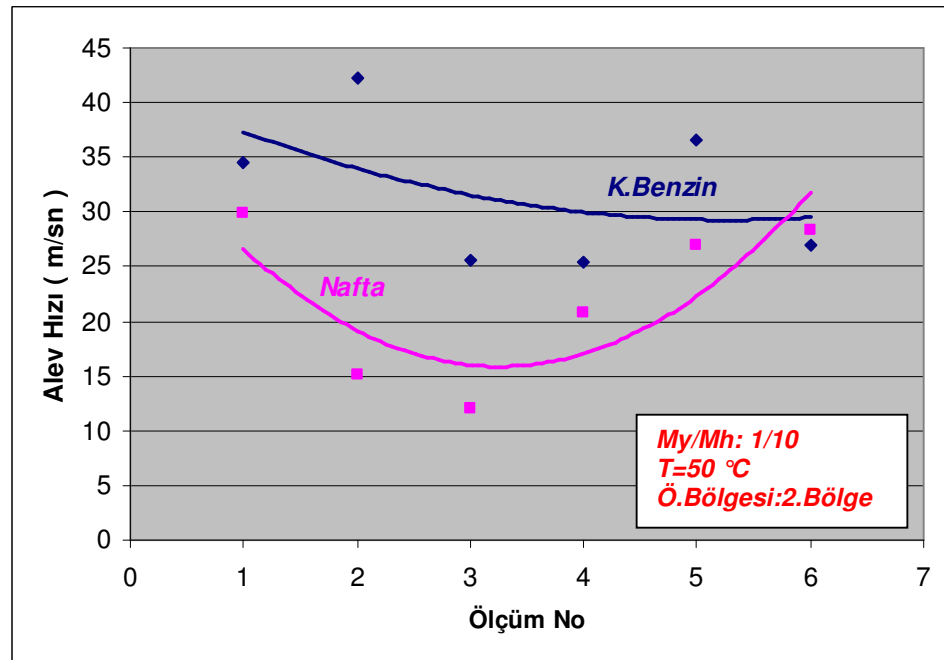
Şekil 4.42 T=100°C ,My/Mh=1/15 için nafta ve k.benzin hızlarının karşılaştırılması

#### 4.3.4.2 Aynı Ölçüm Bölgelerindeki Aynı Deney Şartlarındaki Hızların Karşılaştırılması

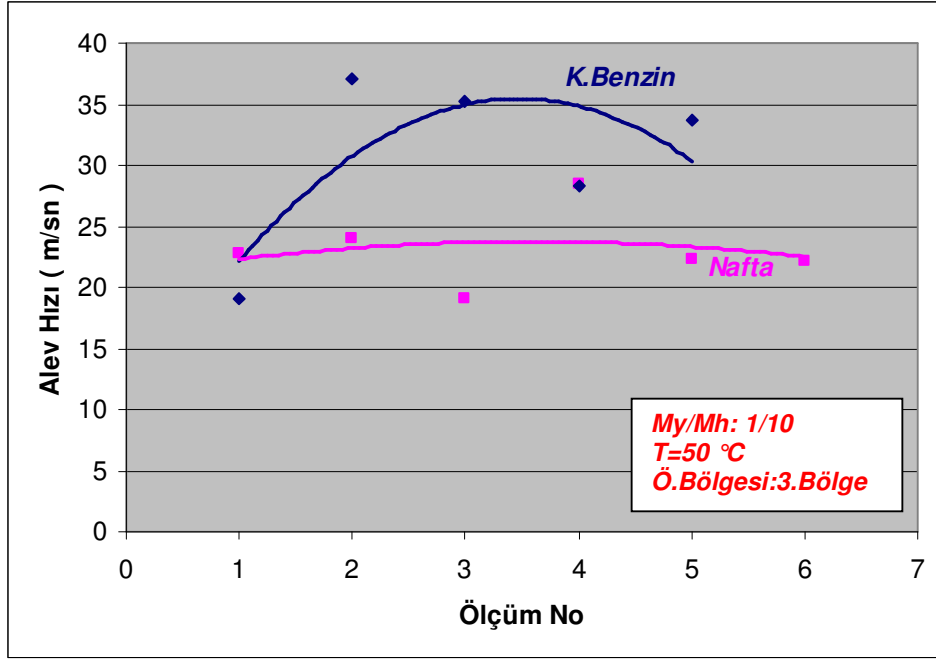
Karşılaştırma grafikleri sadece aynı şartlarda (aynı karışım oranı ve aynı sıcaklık için ) yapılan deneyler için (  $T=50\text{ }^{\circ}\text{C}$  , $My/Mh=1/10$  ,  $T=100\text{ }^{\circ}\text{C}$  , $My/Mh=1/10$  , $T=100\text{ }^{\circ}\text{C}$  , $My/Mh=1/15$  )



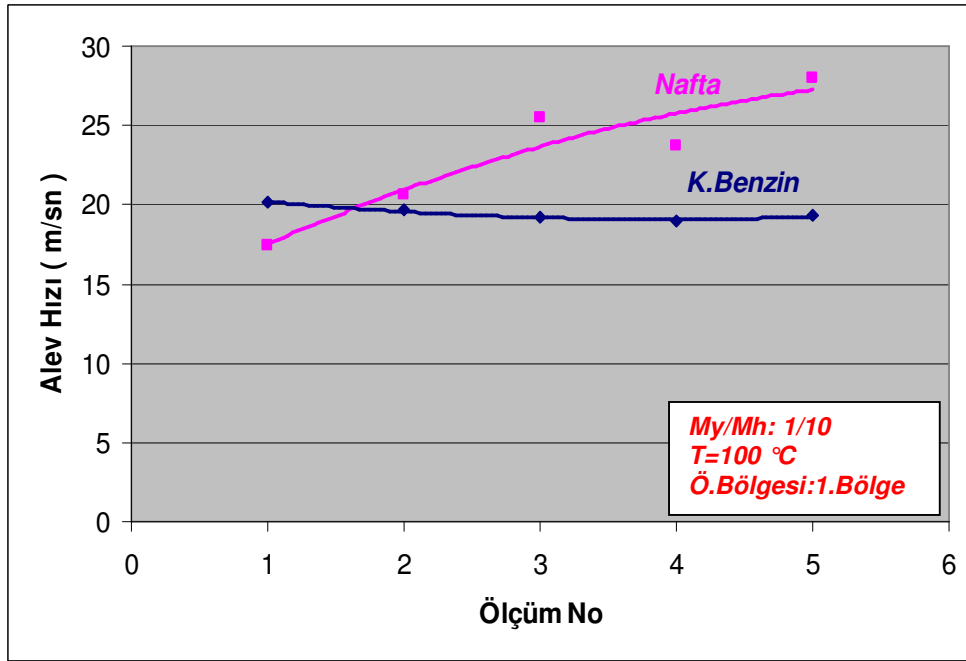
Şekil 4.43  $My/Mh = 1/10$  ,  $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$  , Ölçüm bölgesi : 1.Bölge



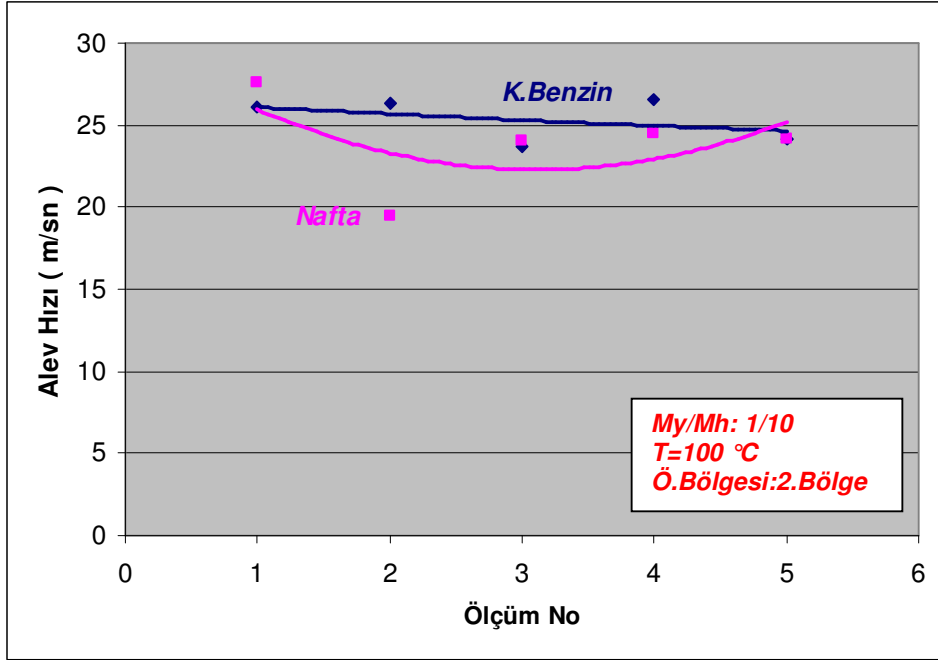
Şekil 4.44  $My/Mh = 1/10$  ,  $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$  , Ölçüm bölgesi : 2.Bölge



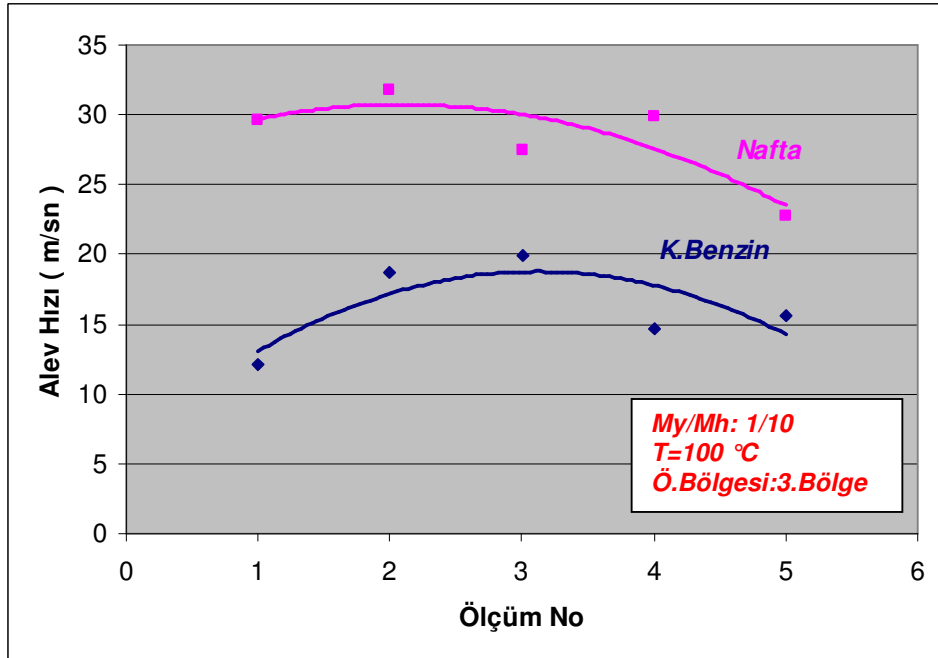
Şekil 4.45 My/Mh =1/10 ,T= 50 °C ,Ölçüm bölgesi : 3.Bölge



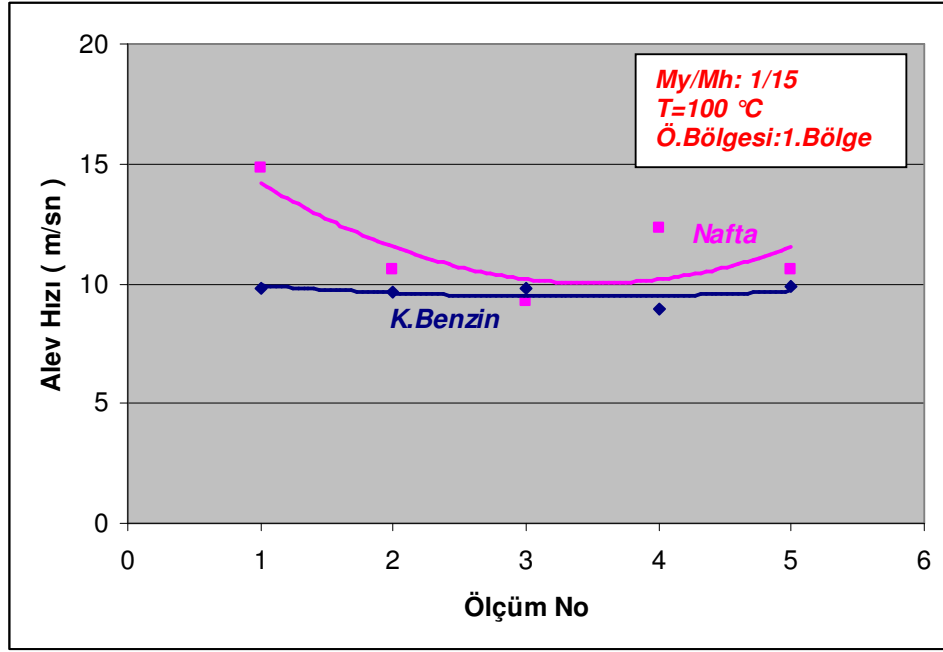
Şekil 4.46 My/Mh =1/10 ,T= 100 °C ,Ölçüm bölgesi : 1.Bölge



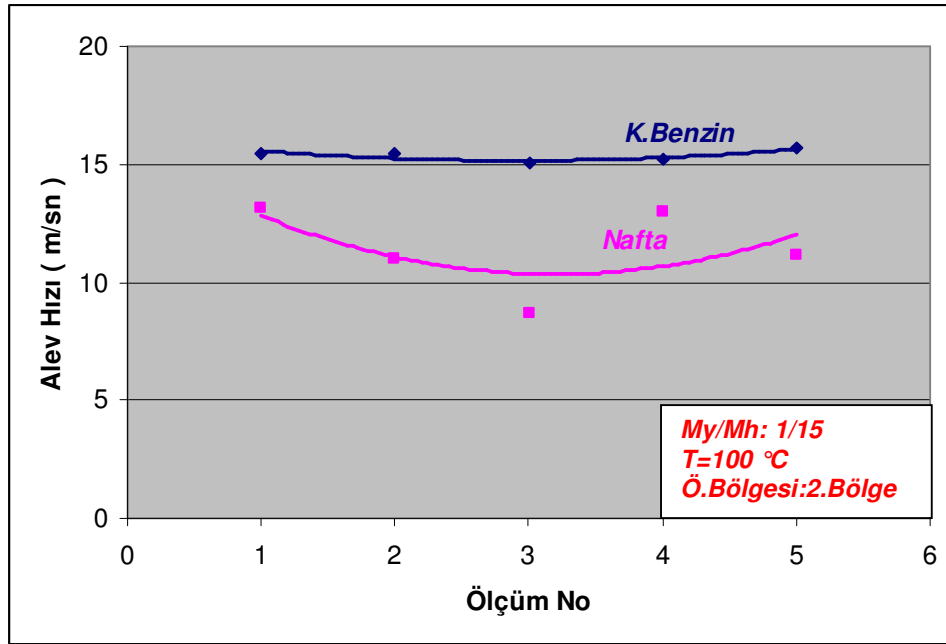
Şekil 4.47  $My/Mh = 1/10$ ,  $T = 100\text{ °C}$ , Ölçüm bölgesi : 2.Bölge



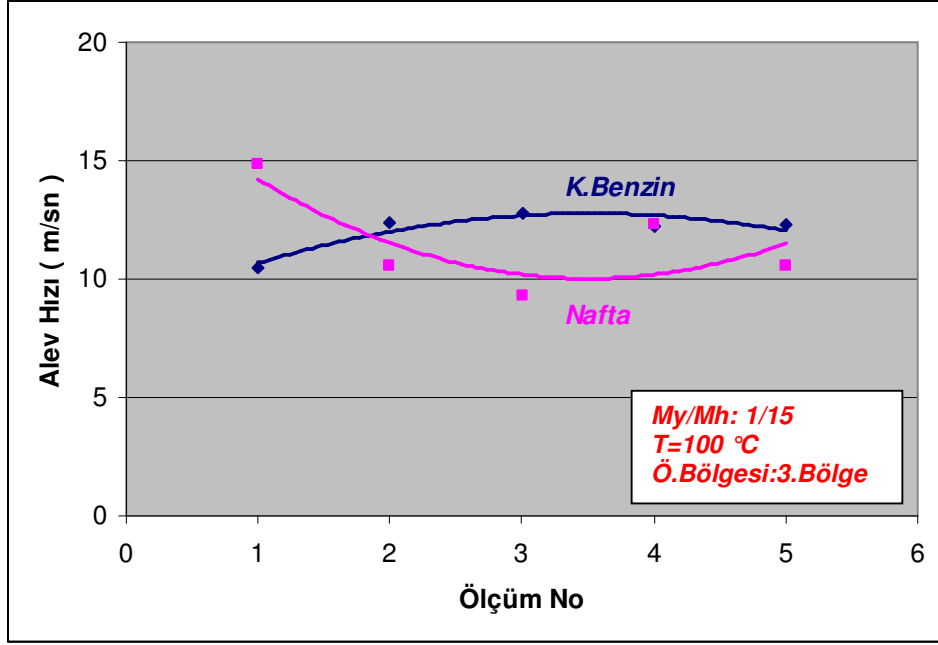
Şekil 4.48  $My/Mh = 1/10$ ,  $T = 100\text{ °C}$ , Ölçüm bölgesi : 3.Bölge



Şekil 4.49 My/Mh =1/15 ,T= 100 °C ,Ölçüm bölgesi : 1.Bölge



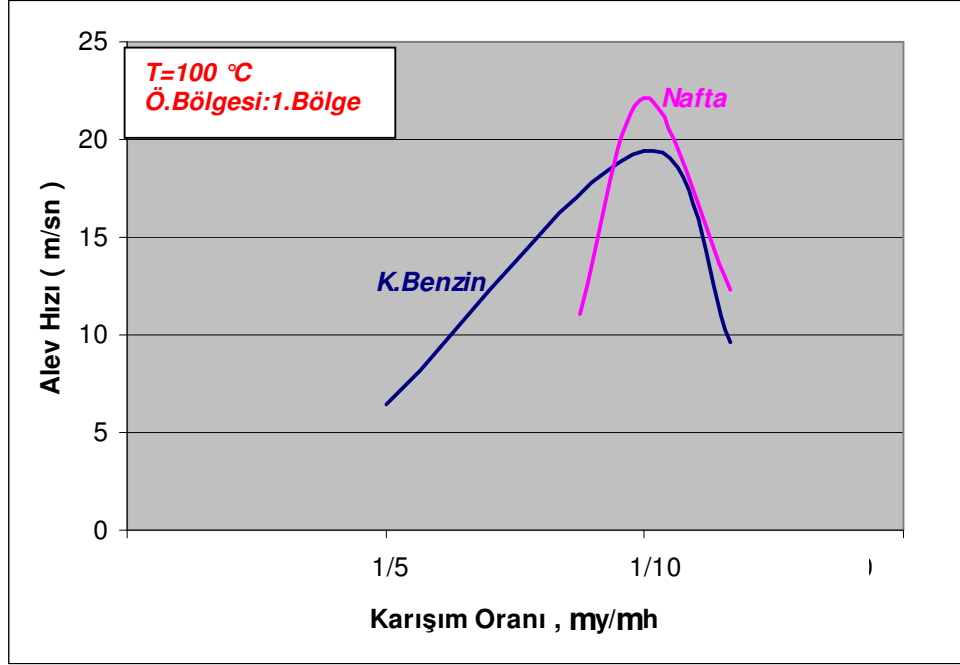
Şekil 4.50 My/Mh =1/15 ,T= 100 °C ,Ölçüm bölgesi : 2.Bölge



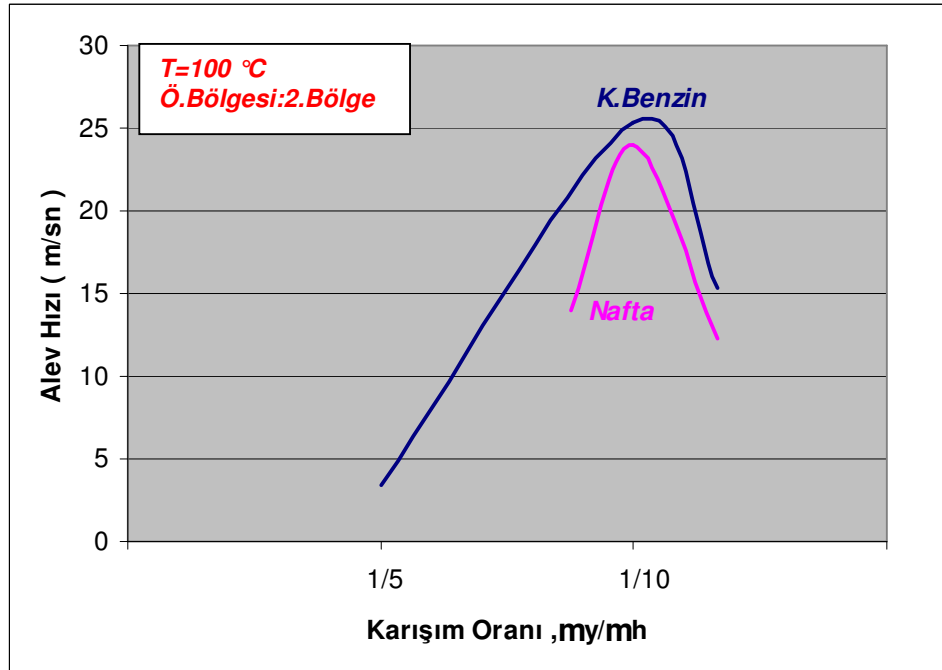
Şekil 4.51  $My/Mh = 1/15$ ,  $T = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , Ölçüm bölgesi : 3.Bölge

#### 4.3.4.3 Karışım Oranına Bağlı Olarak Aynı Sıcaklıktaki Değerlerinin Karşılaştırılması

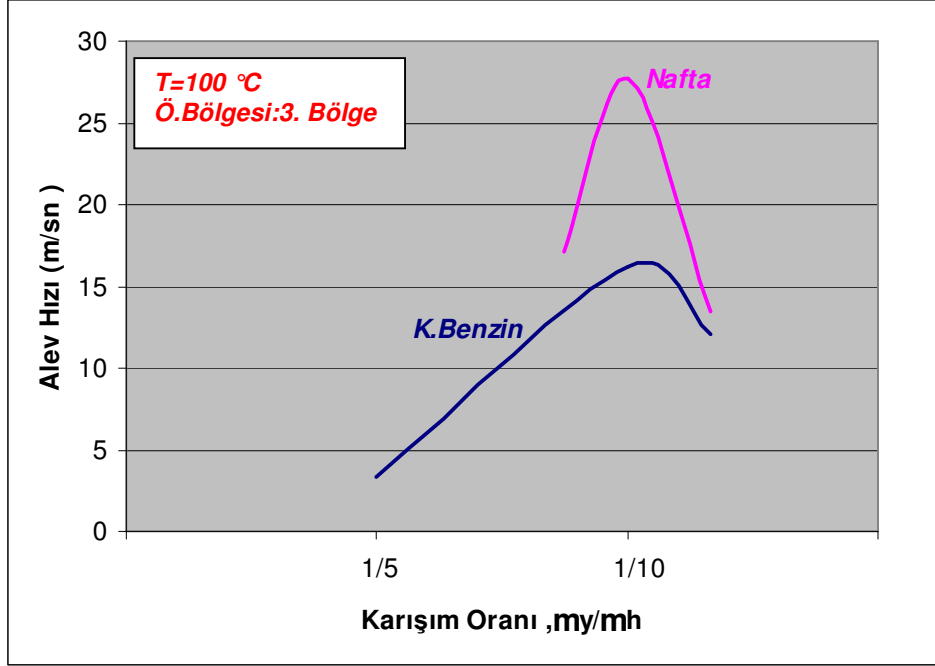
Bu bölümdeki karışım oranına bağlı karşılaştırma grafikleri farklı üç karışım oranı içinde değer alabildiğimiz tek sıcaklık olan 100 °C için çizilmiştir. ( Nafta için : T=100 °C, My/Mh= 1/8,1/10,1/15 ; Benzin için : T=100 °C , My/Mh= 1/5,1/10,1/15)



Şekil 4.52 T=100 , Ölçüm bölgesi : 1.Bölge



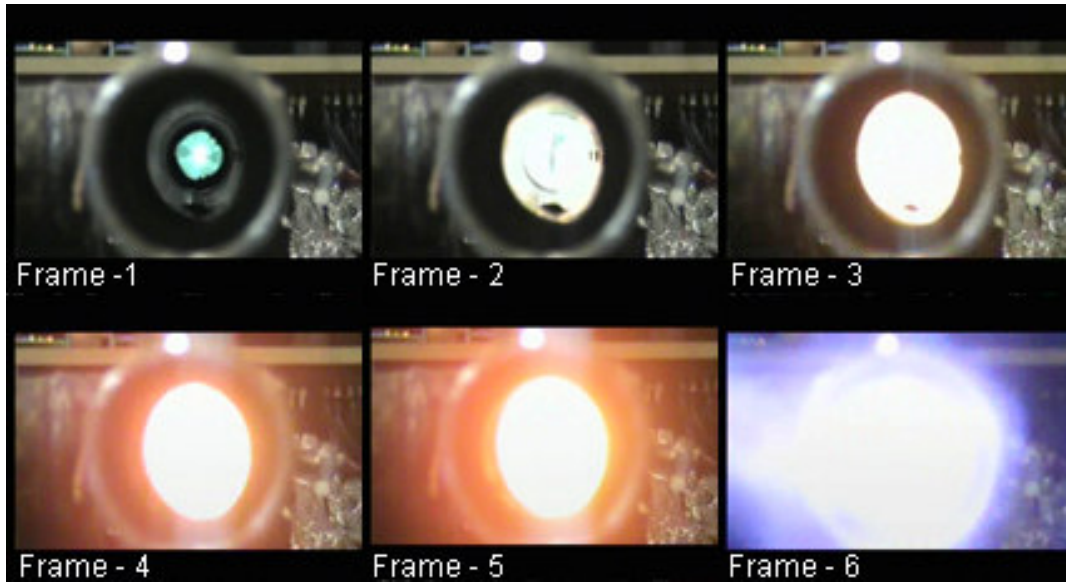
Şekil 4.53 T=100 , Ölçüm bölgesi : 2.Bölge



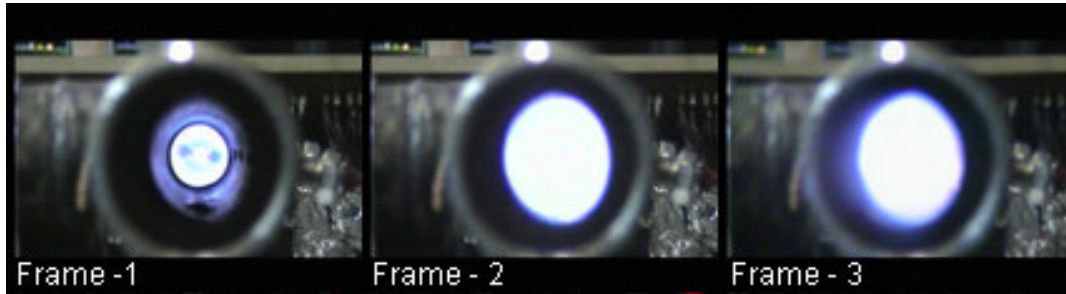
Şekil 4.54 T=100 , Ölçüm bölgesi : 3.Bölge

#### 4.4 Deneý Görüntüleri

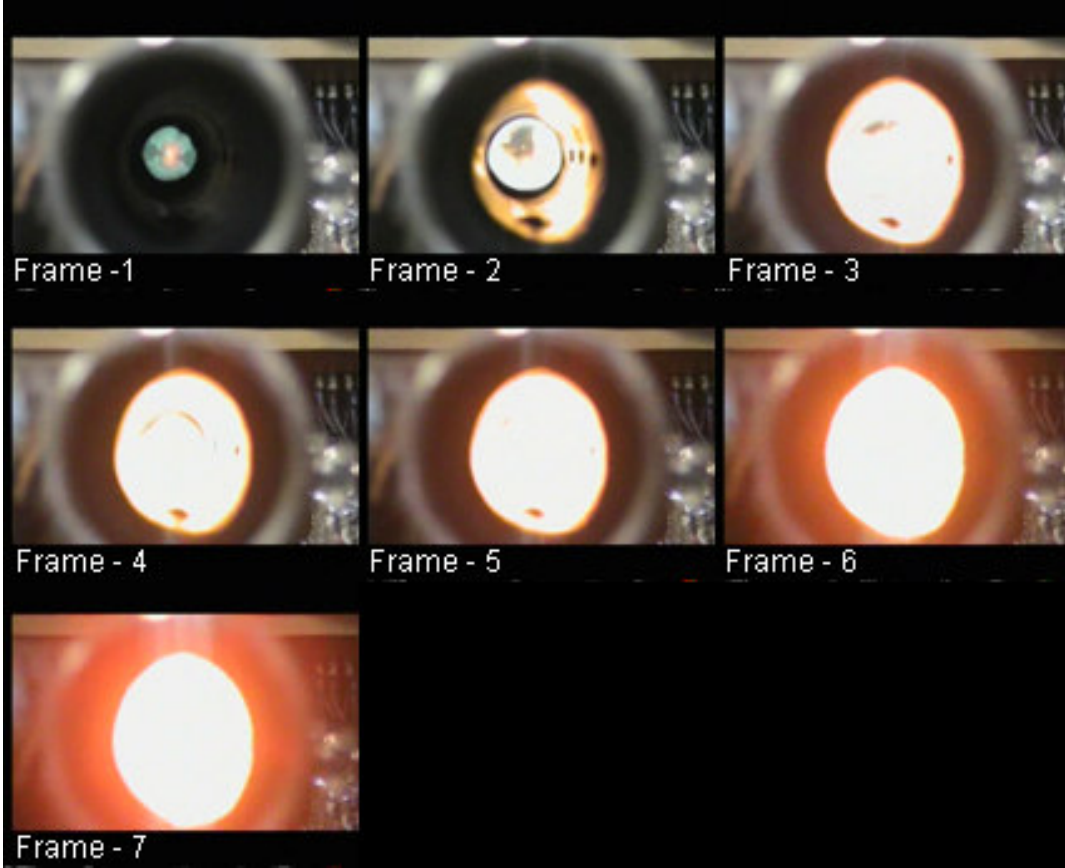
Deneý esnasındaki gerçekleştirilmiş olan yaklaşık 120 patlatmadan büyük bir kısmı saniyede 25 kare çekebilen normal bir kamera ile görüntülenmiştir. Bu görüntülerin hepsine burada yer vermek mümkün olmadığından dolayı her bir deneý grubundan bir örnek verilmiştir. Kamera görüntülerinden de anlaşıldığı gibi karışım oranı ve sıcaklıkların değişmesi ile birlikte alev cephesinin yaptđı ışımanın rengi de değişmektedir.



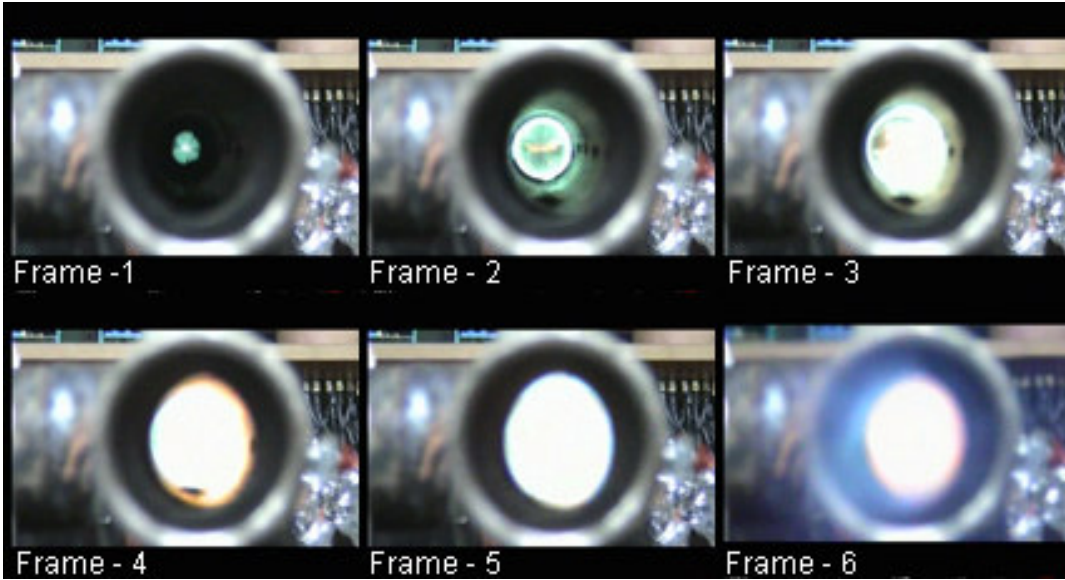
şekil 4.55  $My/Mh=1/5$  ,  $T= 50$  °C K.Benzin denemesinde elde edilen görüntü



şekil 4.56  $My/Mh=1/10$  ,  $T= 50$  °C K.Benzin denemesinde elde edilen görüntü



Şekil 4.57  $My/Mh=1/5$  , $T= 100$  °C K. Benzin denemesinde elde edilen görüntü



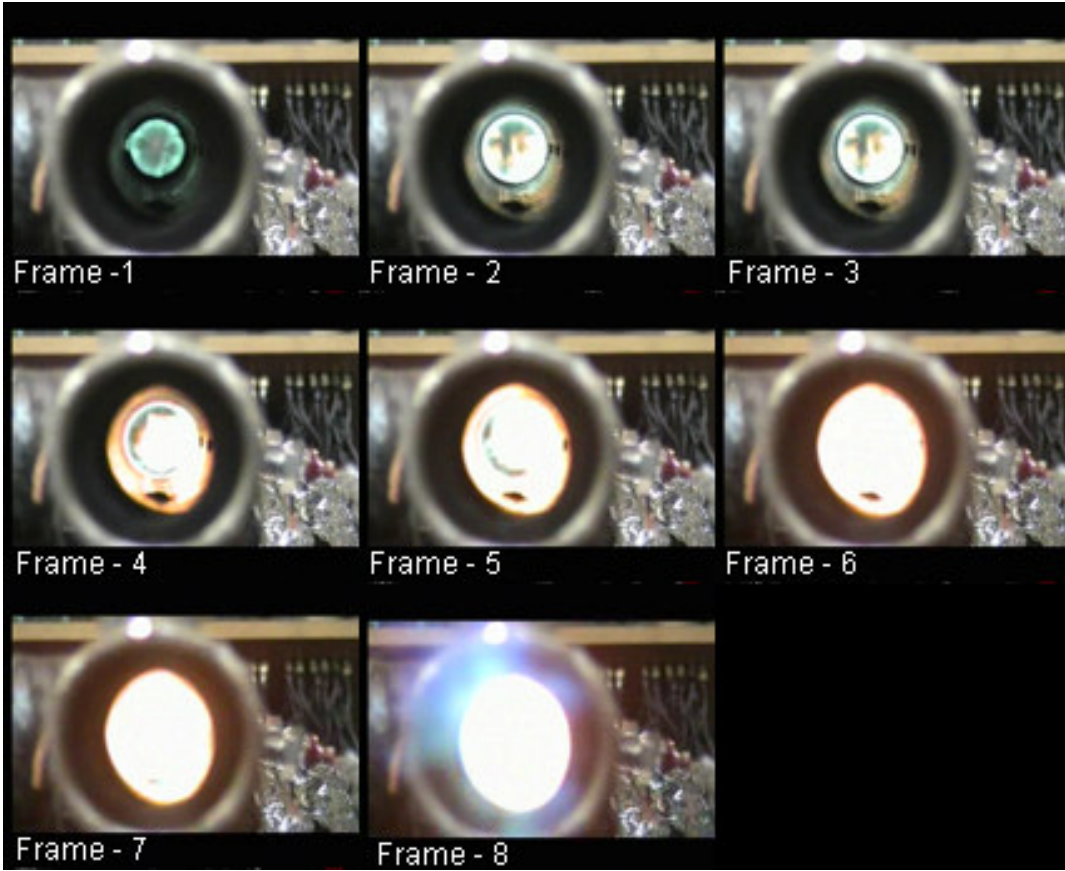
Şekil 4.58  $My/Mh=1/8$  , $T= 25$  °C Nafta denemesinde elde edilen görüntü



Şekil 4.59  $My/Mh=1/10$ ,  $T= 25$  °C Nafta denemesinde elde edilen görüntü



Şekil 4.60  $My/Mh=1/15$ ,  $T= 25$  °C Nafta denemesinde elde edilen görüntü



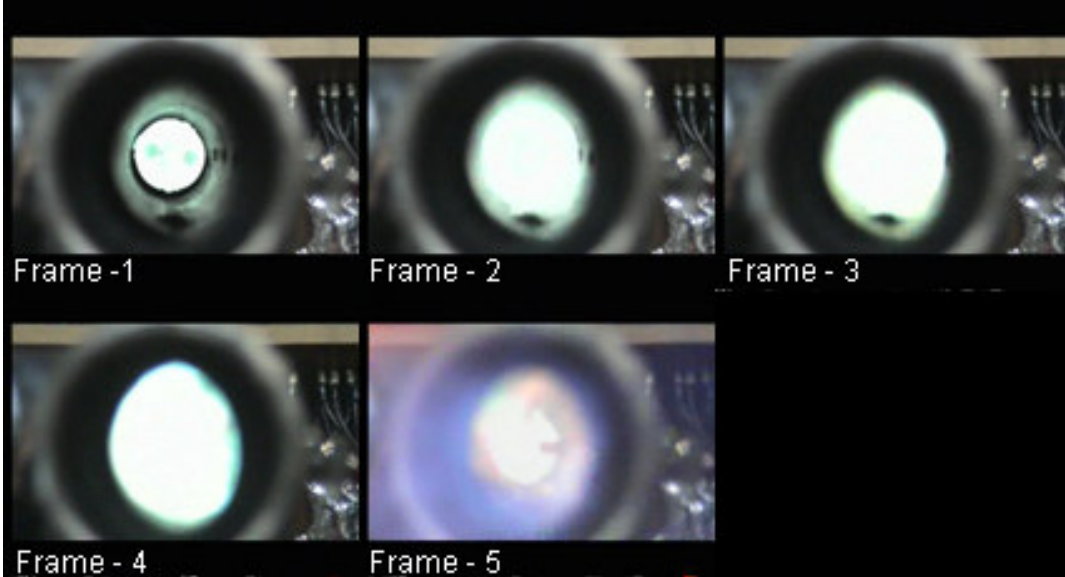
Şekil 4.61  $My/Mh=1/8$ ,  $T= 50$  °C Nafta denemesinde elde edilen görüntü



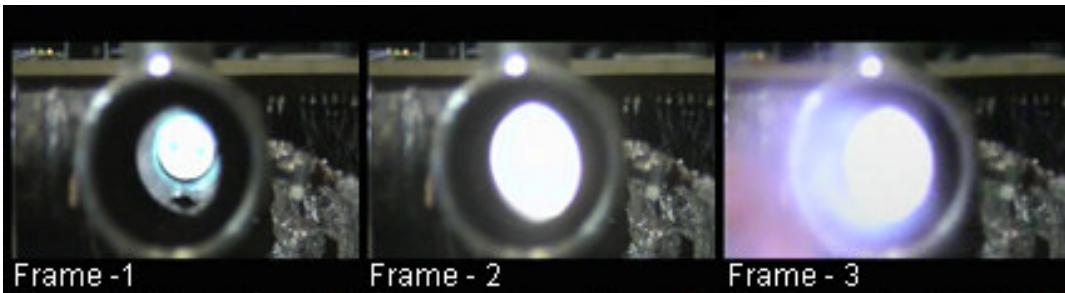
Şekil 4.62  $My/Mh=1/10$ ,  $T= 50$  °C Nafta denemesinde elde edilen görüntü



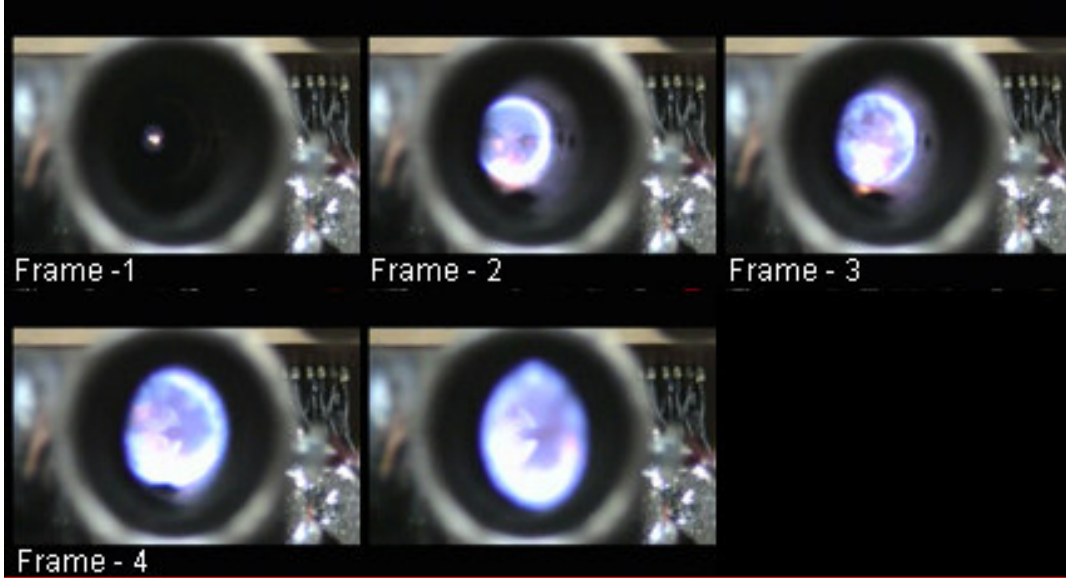
Şekil 4.63  $My/Mh=1/15$ ,  $T= 50$  °C Nafta denemesinde elde edilen görüntü



Şekil 4.64  $My/Mh=1/8$ ,  $T= 100$  °C Nafta denemesinde elde edilen görüntü



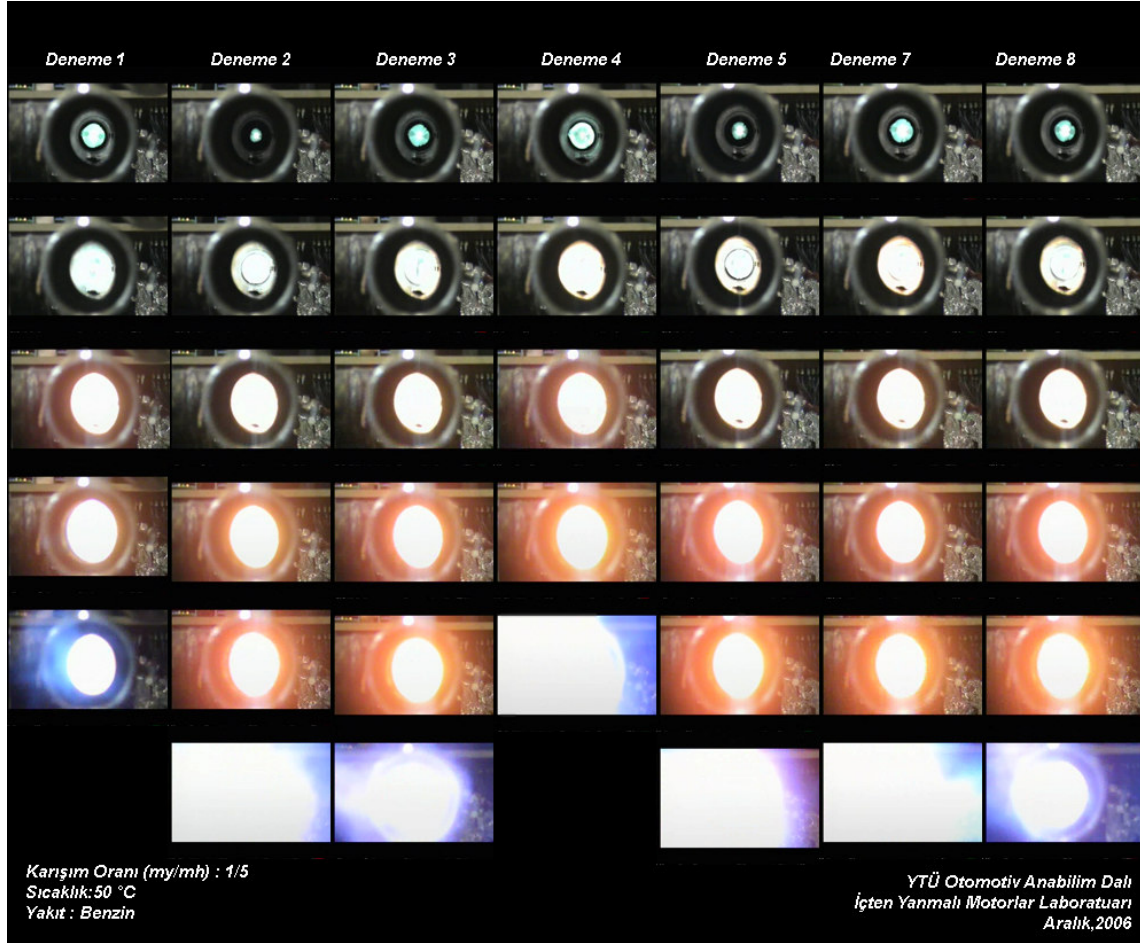
Şekil 4.65  $My/Mh=1/10$ ,  $T= 100$  °C Nafta denemesinde elde edilen görüntü



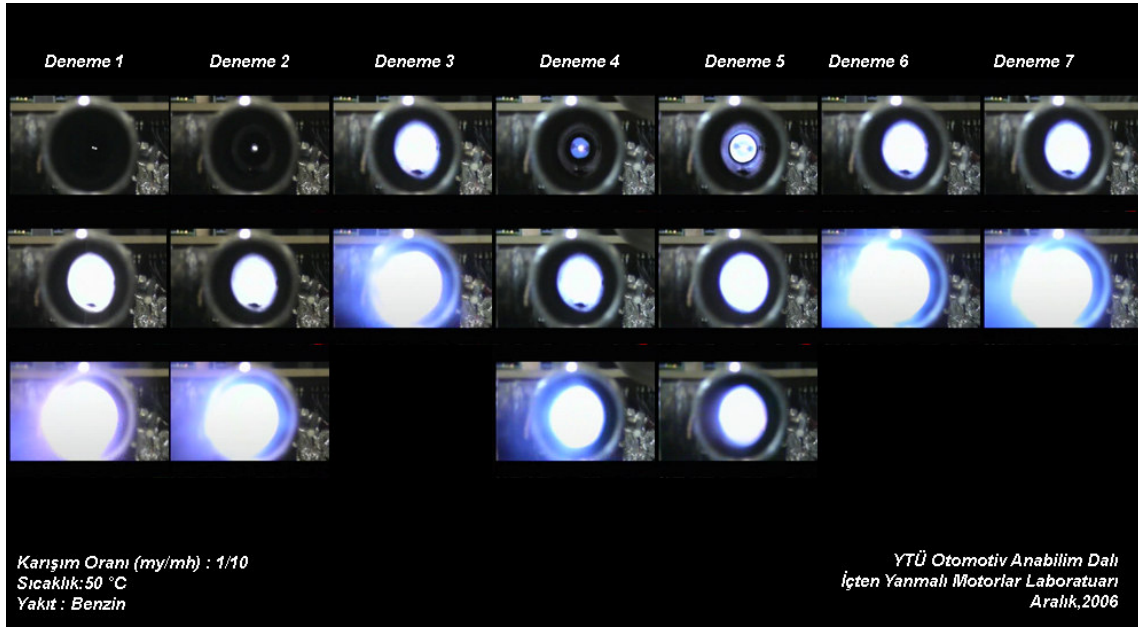
Şekil 4.66  $My/Mh=1/15$ ,  $T= 100$  °C Nafta denemesinde elde edilen görüntü

#### 4.4.1 Aynı Şarttaki Dene Görüntülerinin Karşılaştırılması

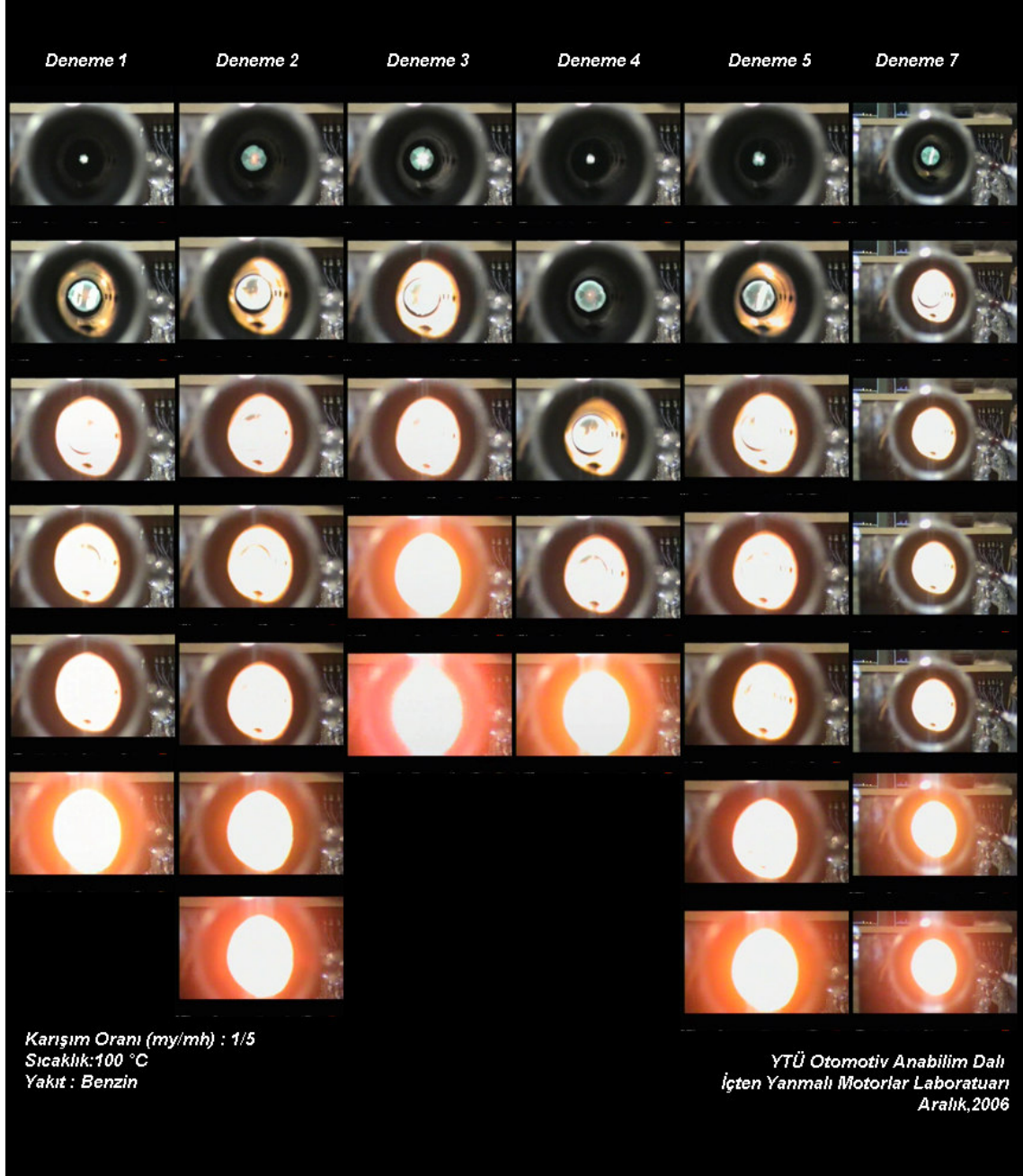
Aynı şarttaki deney görüntüleri yan yana birleştirilerek çalışma esnasında şartların tekrarlanabilirlikleri alev spektrumu gözlemlenmeye çalışılarak incelenmeye çalışılmıştır. Görüntülerden de görüldüğü gibi aynı şartlarda yapılmış deneylerdeki alev spektrumları hemen hemen aynıdır.



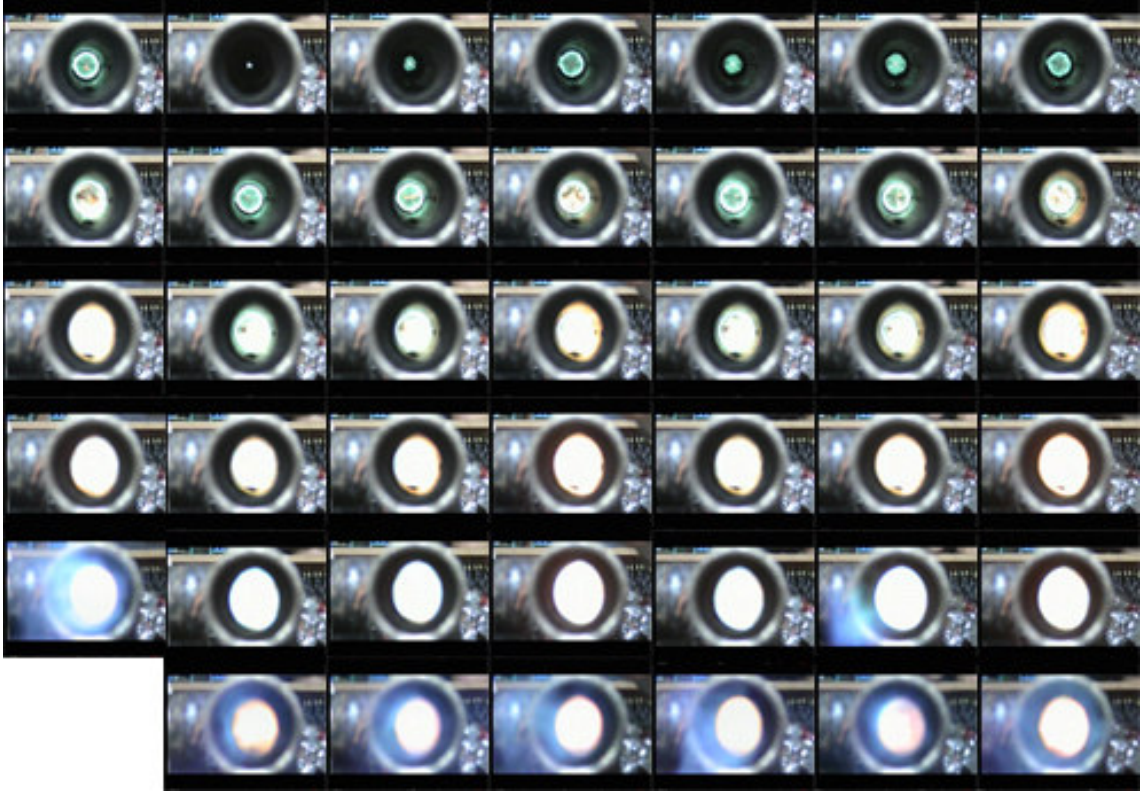
Şekil 4.67  $M_y/M_h=1/5$ ,  $T=50\text{ }^\circ\text{C}$  K.Benzin denemelerinden elde edilen toplu görüntü



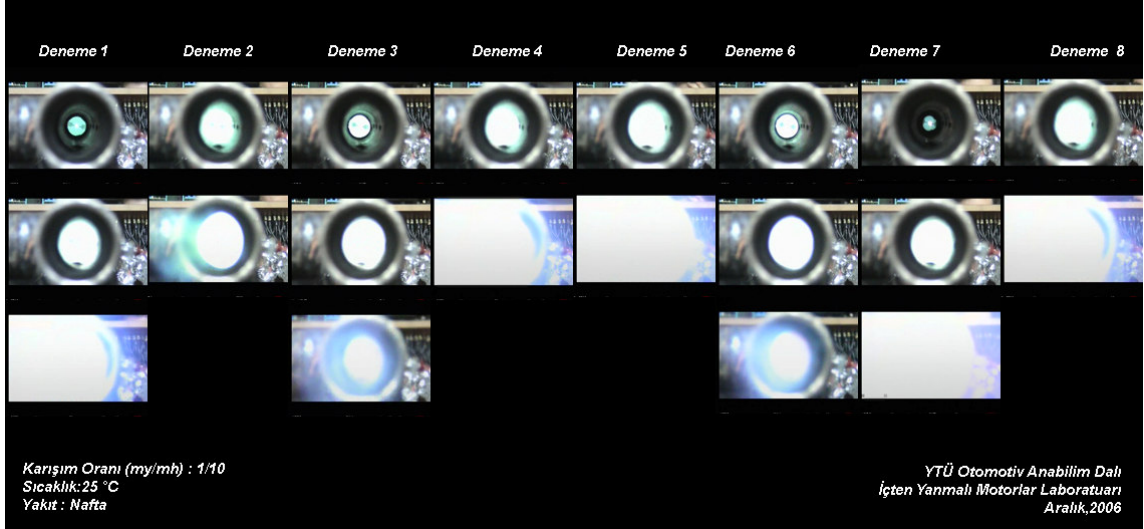
Şekil 4.68  $M_y/M_h=1/10$ ,  $T=50\text{ }^\circ\text{C}$  K.Benzin denemelerinden elde edilen toplu görüntü



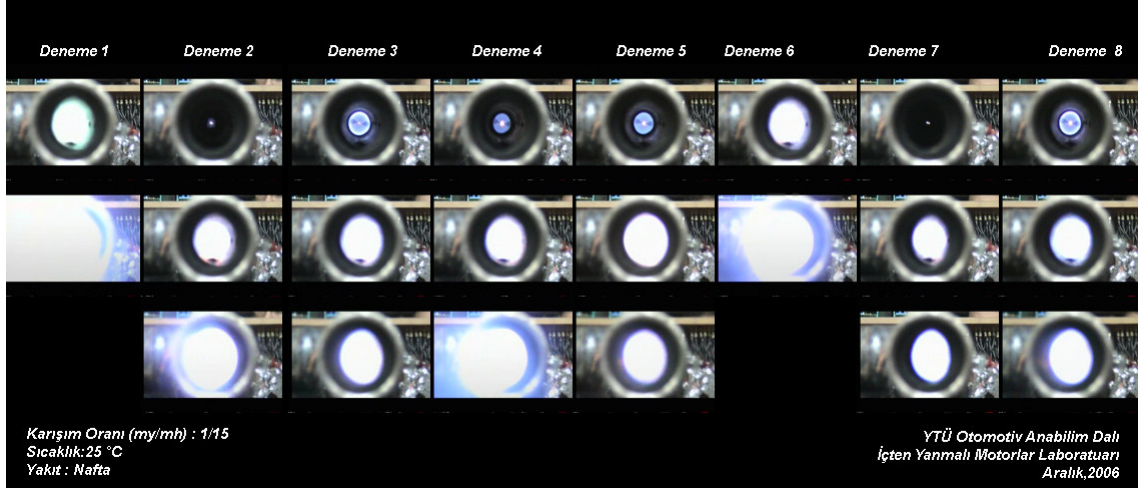
Şekil 4.69  $M_y/M_h=1/5$ ,  $T=100\text{ }^\circ\text{C}$  K.Benzin denemelerinden elde edilen toplu görüntü



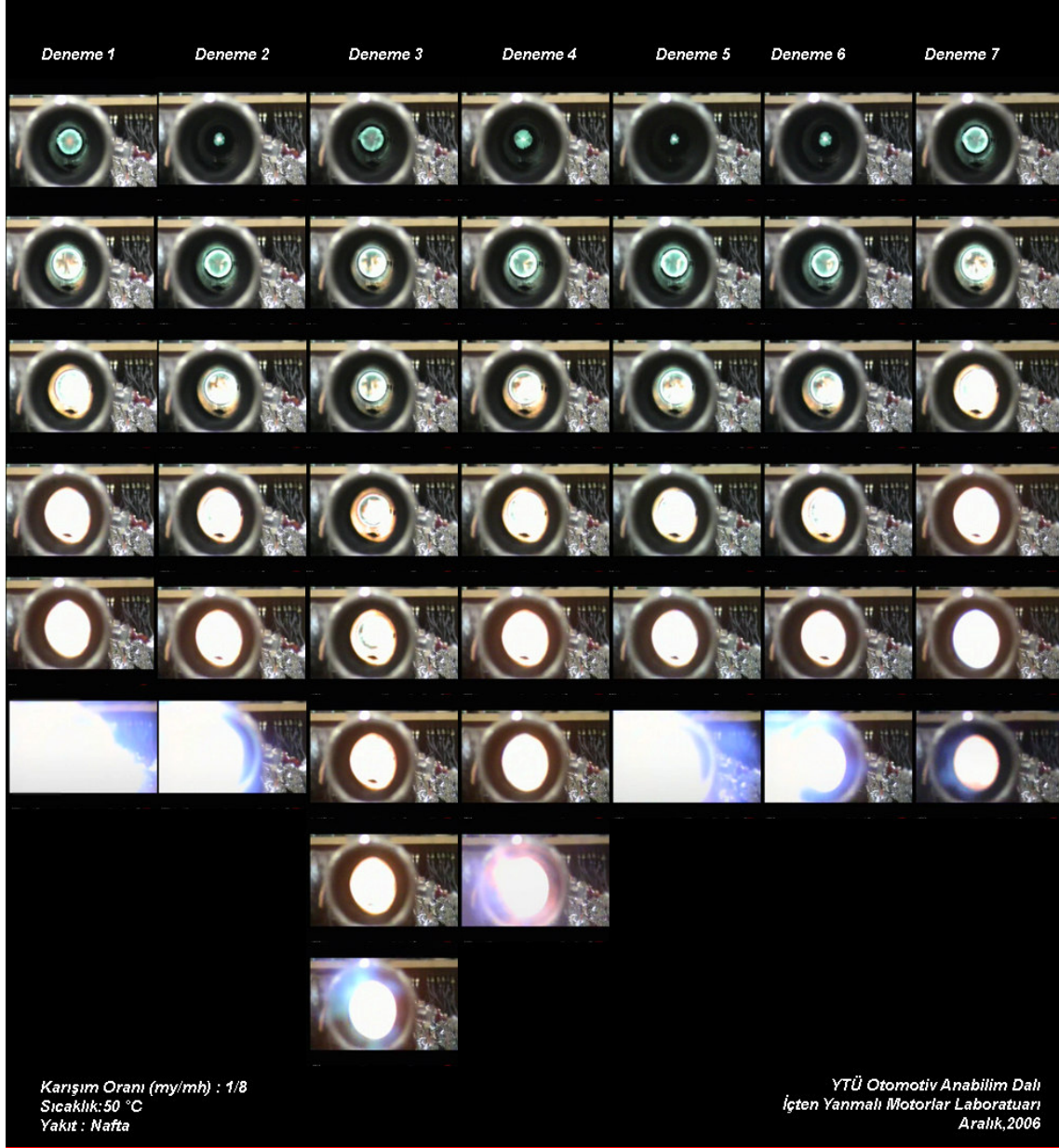
Şekil 4.70  $My/Mh=1/8$ ,  $T=25$  °C Nafta denemelerinden elde edilen toplu görüntü



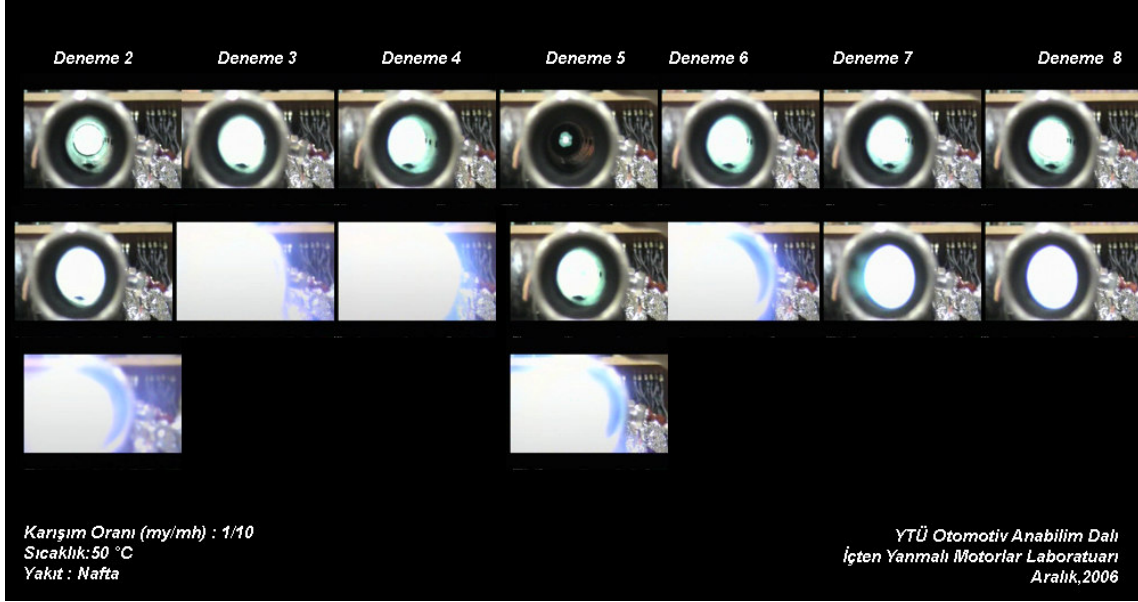
Şekil 4.71  $My/Mh=1/10$ ,  $T=25$  °C Nafta denemelerinden elde edilen toplu görüntü



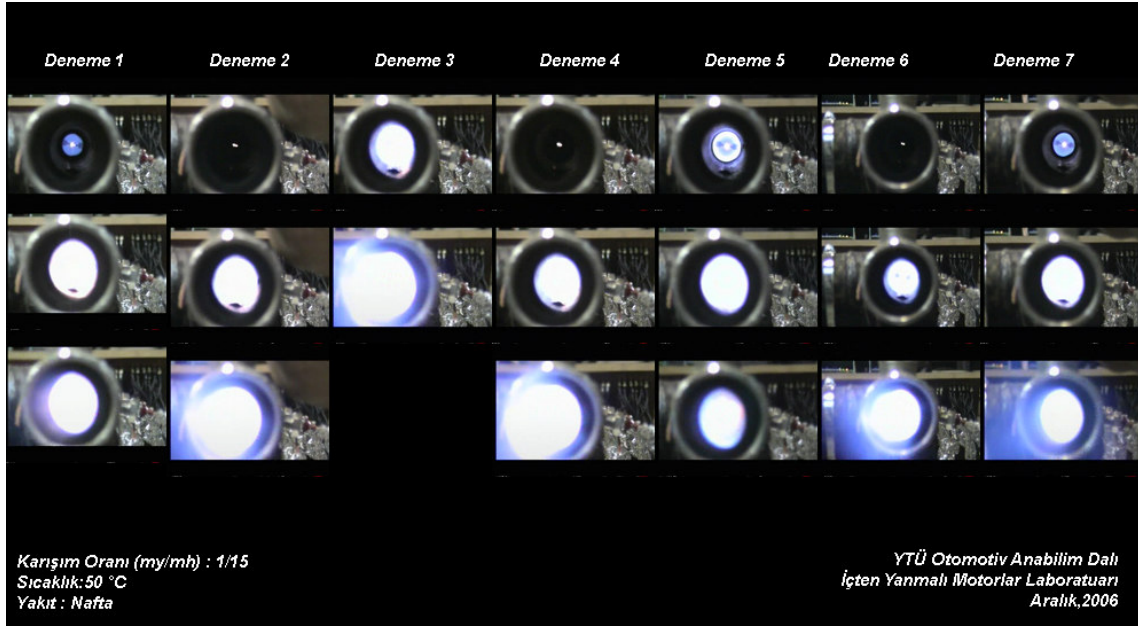
Şekil 4.72  $M_y/M_h=1/15$ ,  $T=25$  °C Nafta denemelerinden elde edilen toplu görüntü



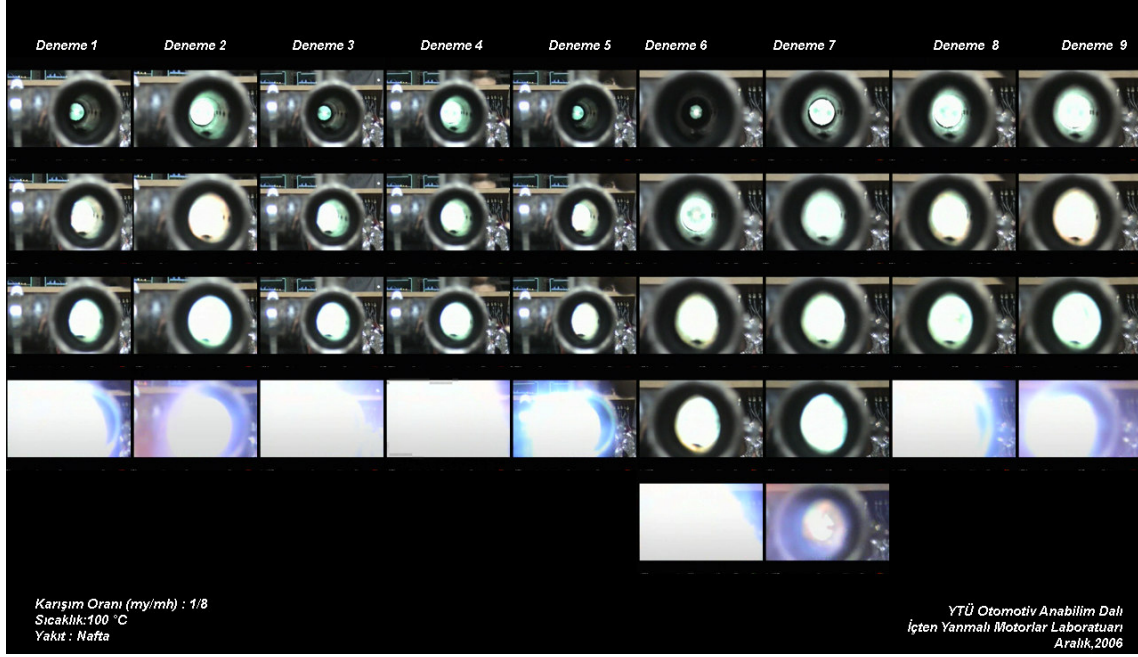
Şekil 4.73  $My/Mh=1/8$ ,  $T= 50$  °C Nafta denemelerinden elde edilen toplu görüntü



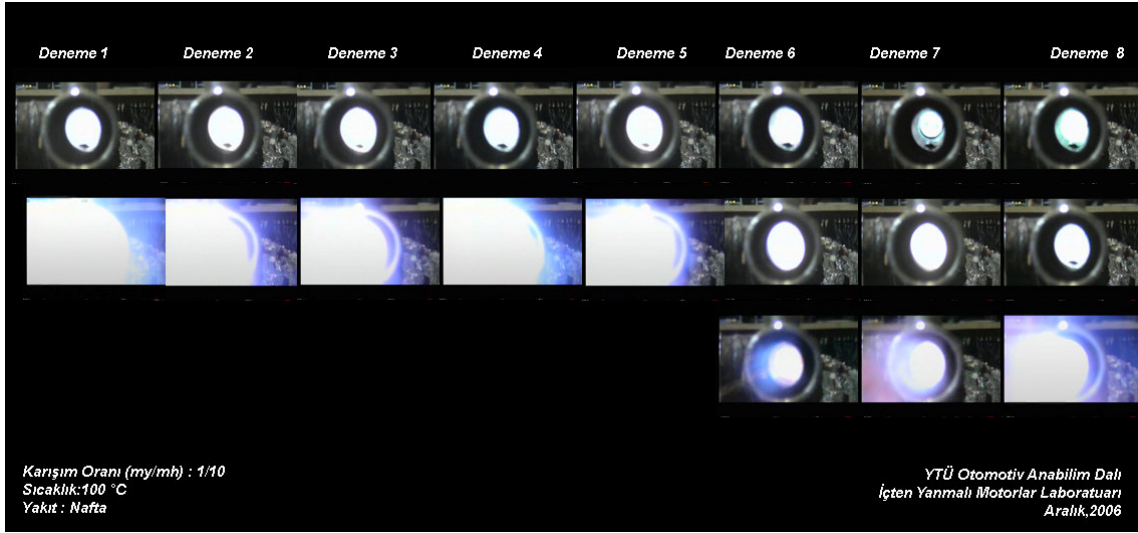
Şekil 4.74 My/Mh=1/10 ,T= 50 °C Nafta denemelerinden elde edilen toplu görüntü



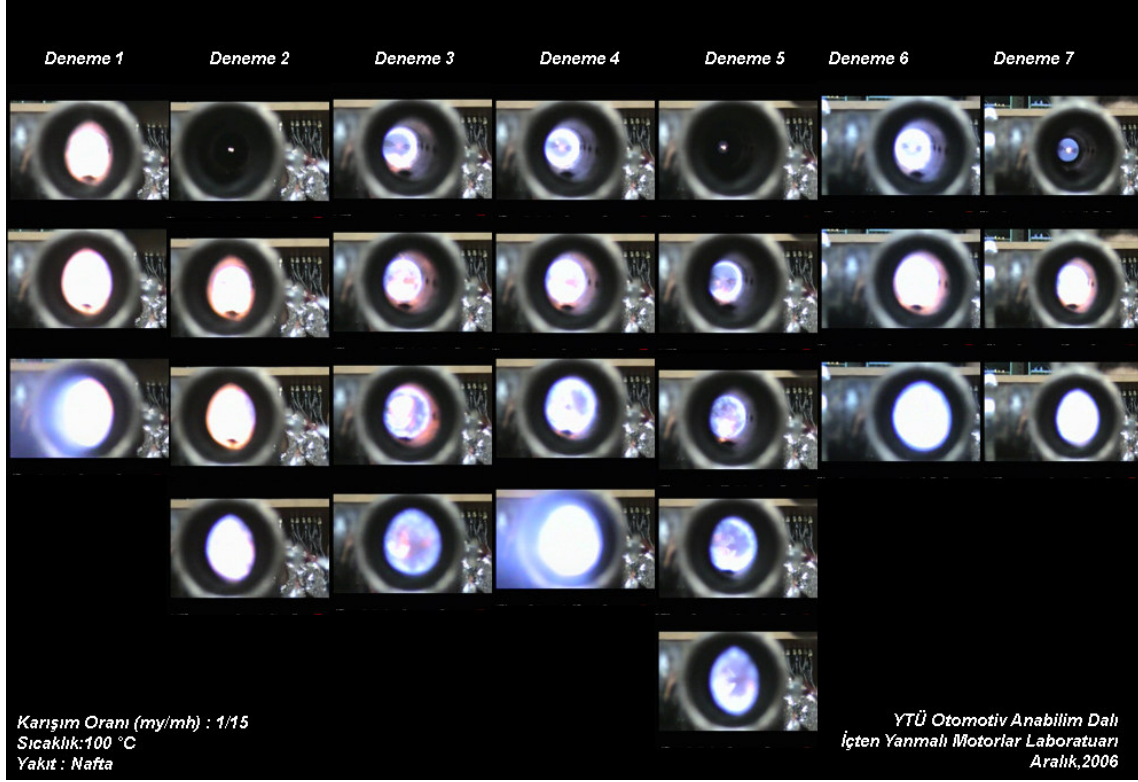
Şekil 4.75 My/Mh=1/15 ,T= 50 °C Nafta denemelerinden elde edilen toplu görüntü



Şekil 4.76  $My/Mh=1/8$ ,  $T= 100$  °C Nafta denemelerinden elde edilen toplu görüntü



Şekil 4.77  $My/Mh=1/10$ ,  $T= 100$  °C Nafta denemelerinden elde edilen toplu görüntü



Şekil 4.78  $M_y/M_h=1/15$ ,  $T=100\text{ }^\circ\text{C}$  Nafta denemelerinden elde edilen toplu görüntü

#### 4.5 Deneý Eshnasında Alınan Osiloskop Görüntüleri

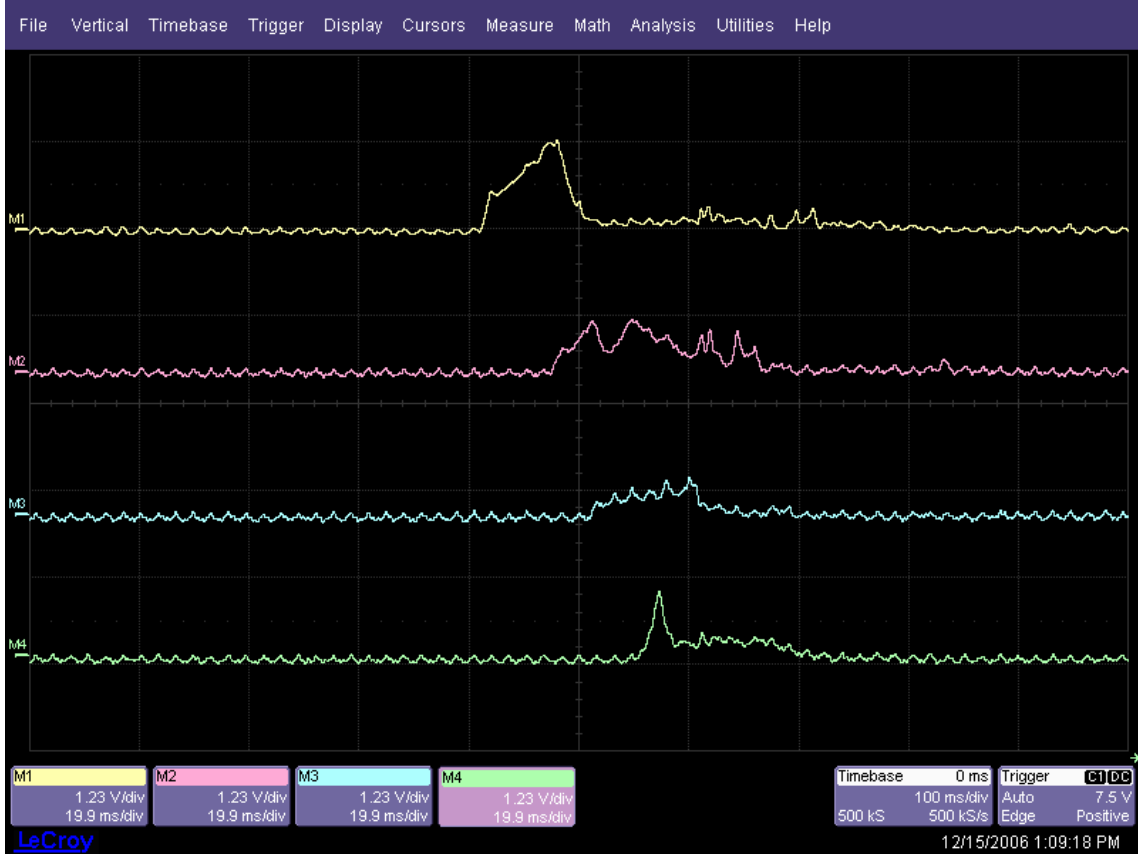
Tüm deneýler boyunca iki sinyal arasında ki zaman farkı okuma işlemleri osiloskoptan yapılmış olup,deneýlerimiz esnasında alınmış olan birkaç osiloskop ekran görüntüsü aşağıda görölmektedir.



Şekil 4.79 K.Benzin,My/Mh=1/5 T=100 °C 1.ölçümde alınan osiloskop ekran görüntüsü



Şekil 4.80 Yakıt: Nafta ,  $M_y/M_h=1/10$  ,  $T=50\text{ }^\circ\text{C}$  , 1.ölçümde alınan osiloskop ekran görüntüsü



Şekil 4.81 Yakıt: Nafta ,  $M_y/M_h=1/10$  ,  $T=100\text{ }^\circ\text{C}$  , 1.ölçümde alınan osilokop ekran görüntüsü

## 5.SONUÇLAR

### 5.1 Kurşunsuz Benzin İçin Elde Edilen Sonuçlar

*i-* Deneyler esnasında kurşunsuz benzin için Çizelge 5.2 de görülen karışım oranları denenmiştir..Sonuçları sıcaklık açısından ele aldığımızda ,denenmiş olan 3 karışım oranı içinde 20°C de yanma gerçekleşmemiştir. Sıcaklık 50°C ye yükseltildiğinde 1/5 ve 1/10 karışım oranı için yanma gözlemlenmiş ve alev hızı değerleri alınabilmıştır. Sıcaklık 100 °C ye yükseltildiğinde ise her üç karışım oranı içinde yanma gözlemlenmiştir ve alev hızı değerleri alınabilmıştır.

T (°C)	25 °C	50 °C	100 °C
My/Mh	1/5	1/5	1/5
My/Mh	1/10	1/10	1/10
My/Mh	1/15	1/15	1/15
	Yanma Gerçekleşmedi		
	Yanma Gerçekleşti		

Çizelge 5.1 Kurşunsuz benzin ile yapılan deneyler

*ii-* Kurşunsuz benzin ile yapılan deneylerde her sıcaklıkta bütün karışım oranları için yanma gözlemlenemediği için , karışım oranına bağlı olarak karşılaştırma sadece 100 °C de yapılmış olan deneyler için yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlar ölçüm bölgeleri bazında ayrı ayrı incelendiğinde ; her 3 ölçüm bölgesi içinde maksimum laminar alev hızının My/Mh = 1/10 karışım oranı ile yapmış olduğumuz denemelerde meydana geldiği görülmüştür.Karışım oranına bağlı olarak alınan hız değerlerinin ortalama eğrileri göz önüne alındığında kurşunsuz benzin için maksimum laminar alev hızının My/Mh=1/10,8 civarında oluşacağı ön görülmektedir. Bu sonuçlar ; maksimum laminar alev hızının stoyikometrik oranın (Kurşunsuz benzin için My/Mh=1/14,7) zengin tarafında (stoyikometrik orana çok yakın olmak koşuluyla ) olduğu literatür bilgisi ile örtüşmektedir.

*iii-* Kurşunsuz benzin için yapılan deneylerde elde edilen değerler ; yanma tüpü boyunca hızın değişimi bazında karşılaştırılmıştır. Bazı denemelerin yanabilirlik limitleri dışında kalması

nedeniyle ,karşılaştırılmalar sadece  $My/Mh=1/5$  ve  $My/Mh=1/10$  karışım oranlarında  $T=50^{\circ}C$  ve  $T=100^{\circ}C$  için yapılmıştır.

- $My/Mh= 1/5$  karışım oranında ,sıcaklığa bağlı olarak yanma tüpü boyunca hız değişimi incelendiğinde ,  $50^{\circ}C$  de gerçekleştirdiğimiz deneyde ; alevin yanma tüpü başlangıcında önce yavaşladığı daha sonra ise yanma tüpü çıkışına doğru tekrar hızlandığı gözlemlenmiştir.  $1/5$  karışım oranında  $100^{\circ}C$  de gerçekleştirdiğimiz denemede ise alev yanma tüpünün çıkışına doğru devamlı olarak yavaşlayarak ilerlemiştir.  $1/5$  karışım oranında her iki sıcaklık için ( $50^{\circ}C$  ve  $100^{\circ}C$ ) elde edilen değerler karşılaştırıldığında ise  $50^{\circ}C$  de gözlemlenen hızların  $100^{\circ}C$  de gözlemlenen hıza göre daha yüksek olduğu görülmüştür.
- $My/Mh= 1/10$  karışım oranında  $T=50^{\circ}C$  ve  $T=100^{\circ}C$  yapılan deneylerin sonuçları karşılaştırıldığında benzer karakteristikler gösterdiği görülmektedir.Alev yanma tüpünün ilk bölümlerinde hızlanmış , yanma tüpü çıkışına doğru yavaşlamıştır ve elde edilen sonuçlar yanma tüpü boyu boyunca hızın  $50^{\circ}C$  için  $100^{\circ}C$  den daha yüksek olduğunu göstermektedir.
- $1/15$  karışım oranı ve  $100^{\circ}C$  deki yanma hızları incelendiğinde ise , alevin tüp boyunca önce hızlandığı ve tüp çıkışına doğru yeniden yavaşladığı gözlemlenmiştir.

*iv-* Kurşunsuz benzin için elde edilen sonuçlar sıcaklığa bağlı olarak karşılaştırıldığında ise ;  $My/Mh = 1/10$  karışım oranı 1.ölçüm bölgesinde elde edilen sonuçlar haricinde sıcaklığın  $50^{\circ}C$  den  $100^{\circ}C$  ye çıkması ile birlikte yanma hızında bir azalma görülmüştür. $1/10$  karışım oranı için 1.ölçüm bölgesinde alınan değerlerde ise sıcaklığa bağlı olarak yanma hızının arttığı gözlemlenmiştir.

## 5.2 Nafta İçin Elde Edilen Sonuçlar

*i-* Deneylelerimiz esnasın da Nafta için aşağıdaki karışım oranları denenmiştir.ve denenmiş olan tüm karışım oranı ve sıcaklıklar için yanma gözlemlenmiştir.

T (°C)	25 °C	50 °C	100 °C
My/Mh	1/8	1/8	1/8
My/Mh	1/10	1/10	1/10
My/Mh	1/15	1/15	1/15
	Yanma Gerçekleşmedi		
	Yanma Gerçekleşti		

Çizelge 5.2 Nafta ile yapılan deneyler

*ii-* Nafta ile gerçekleştirdiğimiz olduğumuz deneylerden elde ettiğimiz sonuçları , karışım oranının fonksiyonu şeklinde yorumladığımızda;

- Yapılmış olan tüm deneylerde maksimum alev hızı  $My/Mh = 1/10$  karışım oranında elde edilmiştir.
- Karışım oranına bağlı olarak elde edilen alev hızı değerlerinin ortalama eğrileri değerlendirildiğinde Nafta için maksimum alev hızlarının  $My/Mh = 1/11$  civarında olduğu öngörülmektedir

Bu sonuçlar ; maksimum laminar alev hızının stoyikometrik oranın (Nafta için  $My/Mh = 1/14,7$ ) zengin tarafında (stoyikometrik orana çok yakın olmak koşuluyla ) olduğu literatür bilgisi ile örtüşmektedir.

*iii-* Nafta için elde ettiğimiz değerleri yanma tüpü boyunca hız değişimi açısından karşılaştırdığımızda elde ettiğimiz sonuçlar şu şekildedir.

- $My/Mh = 1/8$  karışım oranında alev hızı , tüp boyunca  $SL 100^{\circ}C > SL 20^{\circ}C > SL 50^{\circ}C$ 'dir ve hızlar tüpün çıkışına doğru artmaktadır.
- $My/Mh = 1/10$  karışım oranında ise alev hızı yanma tüpünün başlangıcında  $SL 20^{\circ}C > SL 100^{\circ}C > SL 50^{\circ}C$  iken yanma tüpünün çıkışına doğru  $SL 100^{\circ}C > SL 20^{\circ}C > SL$

50°C durumunu almaktadır. T=20°C deki denemede hız tüp boyunca hemen hemen sabit kalmasına rağmen diğer denemelerde hızın tüp boyunca arttığı gözlemlenmiştir.

- My/Mh = 1/15 karışım oranında ise alev hızı yanma tüpünün başlangıcında SL 20°C > SL 50°C > SL 100°C iken yanma tüpünün çıkışına doğru SL 50°C > SL 20°C > SL 100°C durumunu almaktadır ve her 3 şart içinde hız tüp boyunca artmaktadır.

( SL ) *Laminar Alev Hızı*

*iv* - Nafta için elde edilen alev hızı değerleri sıcaklığa bağlı olarak karşılaştırıldığında şu sonuçlar elde edilmektedir.

- My/Mh=1/8 ve My/Mh=1/10 için yapılan tüm deneylerde alev hızı ,sıcaklığın 20 °C den 50 °C ye yükselmesi ile azalmış , sıcaklığın 50°C den 100°C ye yükselmesi ile birlikte artmıştır.
- My/Mh=1/15 için yapılan deneylerde ise alev hızı sıcaklığın artması ile birlikte devamlı olarak azalmıştır.

### 5.3 Nafta ve Kurşunsuz Benzin İçin Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması

*i-* Her iki yakıt içinde elde edilen değerler karışım oranının fonksiyonu olarak karşılaştırılmıştır. K.Benzin için her üç karışım oranı (1/5,1/10,1/15) içinde değer alınabildiği tek sıcaklık 100°C olduğu için karşılaştırmalar sadece 100°C de ölçüm bölgelerinden alınan sonuçlar için yapılmıştır.

- 1.Ölçüm bölgesinden alınan değerler karşılaştırıldığında her iki yakıt içinde karışım oranına bağlı olarak elde edilen eğrilerin bölgesel olarak birbirleri ile kesiştiği görülmektedir.Stokiyometrik oran civarında nafta için elde edilen alev hızları yüksek iken ,zengin karışım oranlarında K.Benzin için elde edilen değerler daha yüksektir.Fakir limitlere doğru gidildiğinde ise alev hızları benzer değerler vermektedirler.
- Aynı şartlar için 2.Ölçüm bölgesinden alınan değerler karşılaştırıldığında ise ;tüm karışım oranları için K.Benzin için elde edilen değerlerin daha yüksek olduğu görülmektedir.
- 3.bölge değerleri karşılaştırıldığında ise Nafta için elde edilen değerlerin tüm karışım oranlarında K.Benzine oranla elde edilen değerlerden daha yüksek olduğu görülmektedir.

*ii-* Aynı karışım oranı ve Aynı sıcaklık için yapılan deneyler için (  $T=50^{\circ}\text{C}$  , $My/Mh=1/10$  ,  $T=100^{\circ}\text{C}$  , $My/Mh=1/10$  , $T=100^{\circ}\text{C}$  , $My/Mh=1/15$  ) elde edilen ölçüm sonuçları karşılaştırıldığında ise ;

- $My/Mh =1/10$  ve  $50^{\circ}\text{C}$  için 1.Ölçüm bölgesinde K.Benzin için elde edilen hız değerleri yüksek iken 2.ölçüm bölgesinde Nafta'nın alev hızı daha yüksek olarak görülmüştür.3.Ölçüm bölgesinde ise K.Benzinin hız değerleri Nafta'ya göre daha yüksektir.
- $My/Mh =1/10$  ve  $100^{\circ}\text{C}$  için 1.Ölçüm bölgesinde Nafta için elde edilen hız değerleri yüksek iken 2. ölçüm bölgesinde K.Benzin'in alev hızı daha yüksek

olarak görülmüştür.3.bölgede ise Nafta için elde edilen hız değerleri daha yüksektir.

- $M_y/M_h = 1/15$  ve  $100^\circ\text{C}$  için 1.Ölçüm bölgesinde Nafta için elde edilen hız değerleri yüksek iken 2. ölçüm bölgesinde K.Benzin'in alev hızı daha yüksek olarak görülmüştür. 3.bölgede ise K.Benzin için elde edilen değerler genel olarak Nafta için elde edilmiş değerlere oranla daha yüksektir.

#### 5.4 Elde Edilen Deney Görüntülerinin Yorumu

*i-* Çalışmalarımız esnasında sistemin atmosfere açılan ağız kısmına kurulan kamera yardımı ile alınan görüntüler incelendiğinde. Alev çekirdeğinin sıcaklığa ve karışım oranına bağlı olarak farklı renkte ışık saçtığı görülmektedir.

Zengin karışımlar – Yeşil

Çok Zengin Karışımlar – Sarı

Stokiyometrik Karışımlar – Mavi

Fakir Karışımlar – Ultraviyole

Yüksek Sıcaklıktaki Yanmış Gazlar – Kırmızı

Alev içerisinde aynı anda farklı kimyasal yapıda bir çok molekülün bulunması sebebi ile alev cephesinde aynı anda farklı ışınlar görülmüştür. Deneyler esnasında kullanmış olduğumuz foto-transistörlerinde gelen ışığın dalga boyuna göre farklı sinyal gerilimi veriyor olması nedeniyle osiloskopta okunan sinyal gerilimi değerleri de farklı dalga boylarında olmuştur. Alev hızını tayininde daha doğru bir saptama yapılabilmesi için aynı deney içerisinde aynı dalga boyundaki sinyaller göz önüne alınmıştır. Ancak çok daha efektif bir çalışma yapılabilmesi için geniş bant aralığında sinyal gerilimi verebilen bir foto transistorün (örnek olarak ultraviyole bölgede çalışabilen ) kullanılması daha uygun olacaktır.

**KAYNAKLAR**

Borman , G. Ragland , K. 1998 , Combustion Engineering

Dugger ,L.Gordon . 1954 Flame Velocity and Pre flame Reaction in Heated Propane Air Mixtures

Gerstien, Melvin .1950 , The Determination of Fundamental Burning Velocities of Hydrocarbons by a Revised Tube”

Glassman ,Irvin. 1996, Combustion

Jarosinski, J . 1986 ,A Survey of Recent Studies on Flame Extinction

Kanury, A.Murty.1984 , Introduction to Combustion Phenomena

Kilchyk,Viktor. 2000, Flammability Limits Of Carbon Monoxide And Carbon Monoxide - Hydrogen Mixtures In Air At Elevated Temperatures

Kuo,Kenneth K. 2005 , Principles of Combustion

NASA , National Aeronautics and Space Administration Microgravity Comb.Res.Cen.

Poinsot , T. Veynante, D . 2005 ,Theoretical and Numerical Combustion

Takahashi,Akifumi.,2003 Effect of Vessel Size and Shape on Experimental Flammability Limits Of Gases

Turns , S. 1996 , An Introduction to Combustion,

Telefunken

**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi 29.06.1980

Doğum yeri İstanbul

Lise 1995-1998 Özel Bilimsel Eğitim Merkezi Koleji

Lisans 1995-1998 Yıldız Üniversitesi Makine Fak.  
Makine Mühendisliği Bölümü-Enerji

**Çalıştığı kurumlar**

2004-2005 Mekanik Oto Bakım ve Servis Hiz.Ltd.Şti  
2005-Devam ediyor YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Araştırma Görevlisi