

23230

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOĞAL GAZ YAKAN SİSTEMLERDE
ENERJİNİN GERİ KAZANILMASININ
ARAŞTIRILMASI
(EKONOMİZÖR İRDELEMESİ)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAK.MÜH.VOLKAN KALELİ

İSTANBUL-1992

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEŞEKKÜR

ÖZET

SUMMARY

I- GİRİŞ	1
II- DOĞAL GAZ VE BACA GAZININ ÖZELLİKLERİ	3
2.2.1. Amaç ve Yöntem	3
2.2.2. Doğal Gaz Hakkında Genel Bilgiler	3
2.2.3. Diğer Yakıtlarla Doğal Gaz Arasındaki Temel Farklar	5
2.2.4. Doğal Gazın Bileşimi	6
2.2.5. Hesaplar İçin Ön Açıklama	7
2.2.6. Hesaplarda Kullanılan Semboller	8
2.2.7. Gazların Molar Hacimleri, Ağırlıkları, Alt ve Üst Isıl Değerleri	11
2.2.8. Yakıt İçin Kullanılan Formüller	11
2.3. Stokiometrik Yanma	13
2.3.1. Stokiometrik Yanmada Kullanılan Kimyasal Reaksiyonlar	13
2.3.2. Stokiometrik Yanmada Kullanılan Formüller	14
2.4. Yarı Yanma	17
2.4.1. Yarı Yanmada Kullanılan Kimyasal Reaksiyonlar.	18
2.4.2. Yarı Yanmada Kullanılan Formüller	18
2.5. Gerçek Yanma	21
2.5.1. Gerçek Yanmada Kullanılan Formüller	22
2.6. Herhangi Sıcaklıkta Duman Gazının Yoğunluğu . . ve Özgül Hacmi	24
2.7. Çiğ Noktası Sıcaklığının Belirlenmesi	25
2.8. Duman Gazları İçin Formüller	26
2.8.1. Duman Gazlarının Sabit Basıncıta Özgül Isıları	26
2.8.1.1. Herhangi Sıcaklıkta Ortalama Özgül Isı ve Entalpi Değeri	28

	<u>Sayfa</u>
2.8.2. Belli İki Sıcaklık Arasındaki Ortalama Özgül Isı ve Entalpi Değerleri	29
2.9. Bilgisayarla Çıkarılan Değerler	29
3. Yanmanın Kontrolü	32
3.1. Amaç	32
3.2. Oswald Diagramı	33
3.2.1. Açıklamalar	33
3.2.2. Oswald Diagramının Çizimi	34
III- FABRİKADA YAPILAN BACA GAZI ÖLÇÜMÜ	37
3.1. Ölçüm İçin Genel Bilgiler ve Amaç	37
3.2. MSI 2000 P Gaz Analiz Cihazının Tanıtımı	41
3.3. Fabrikada Yapılan Ölçümlerin Sonuçları	43
3.4. Ölçüm Değerlendirmesi	43
IV- GERİ KAZANMA ÖNERİLERİ	47
4.1. Geri Kazanma Miktarının Hesap Yöntemi	47
4.2. Kazanlar İçin Geri Kazanım Önerileri	49
4.2.1. Kazanlar İçin Lay-Out ve Alternatif Öneriler	49
4.3. Düşünülen Geri Kazanım Sistemi	50
4.3.1. Geri Kazanım Sisteminde Kullanılan Semboller	50
4.3.2. Sistemin Dizaynı	52
4.3.2.1. Kanatlı Borunun Verileri	52
4.3.2.2. Su Debisi ve Boru Adedinin Hesabı	53
4.3.2.3. Film Katsayılarının Hesabı	55
4.3.2.4. Ortalama Logaritmik Sıcaklık Farkı	60
4.3.2.5. Duman Gazının Transfer Edildiği Yüzey ve Toplam Boru Adedi	61
4.3.2.6. Duman Gazının Gececeği Alan	62
4.3.2.7. Ekonomizörün Boyutları, Alan ve Hızın Kontrolü	62
4.3.2.8. Bilgisayarla Çıkarılan Ekonomizör Boyutları	65
4.3.2.9. Basınç Kaybı	68

V- SONUÇ	69
VI- EKLER	70
6.1.1. 2.8.2.'deki İntegralin Çözümü	70
6.1.2..Lagrange Enterpolasyon Formülü	71
6.2. Bilgisayarla Çıkarılan Diagramlar	72
6.3. Değişik Sıcaklıklara Tekabül Eden Özgül ısı ve Entalpi Değerlerini Veren Tablolar	84
6.4. Stokiyometrik, Yarı ve Gerçek Yanmada Kullanılan Formüllerin Tablolar Halinde Gösterilmesi	89
6.5. Bilgisayar Programı	93
KAYNAKLAR	100
ÖZGEÇMİŞ	102

TEŐEKKÖR

Bu tezin seçilmesinde ve çalışmalarımın her aşamasında yardımcı olan Sayın Hocam Yard.Doç.Dr.Burhan SUNGU'ya ayrıca teknik ve diğerkonularda yardımlarını esirgemeyen Arçelik ayırova tesisleri, Araştırma Bölümü Uygulama Departmanı Başkanı Doç.Dr.Sayın Yalçın TANES'e teőekkörü zevkli bir görev sayarım.

Volkan KALELİ

ÖZET

Doğal gazın yurdumuzda kullanılmaya başlanmasının yakın bir geçmişi vardır. Sanayimizde de kullanılmaya yakın zamanlarda başlanmıştır.

İlk olarak doğal gaz hakkında genel bilgiler ve özellikleri verilmiştir. Daha sonra, doğal gazın yanması sonucu oluşan gazlar stokiometrik ve yarı yanma durumundaki değerler, yanmanın kontrolü için Oswald diagramının çiziminde gereklidir. Bunun için doğal gazın stokiometrik ve yarı yanma durumlarındaki formülleri ve değerleri belirlenmiştir. Çizilen bu Oswald diagramı fabrikada yapılan baca gazı ölçümü için önemlidir. Ayrıca gerçek yanma durumundaki değerler dizayn edilecek geri kazanım sistemi için gereklidir.

Tezin sonunda, doğal gaz yakan bir fabrikadan alınan verilere göre bir geri kazanım sistemi dizayn edilmiştir.

SUMMARY

The use of natural gas in the world and in our country has started in recent years.

Firstly, there is given about natural gas, general information and its specifications. And then, after burning the natural gas, in the case of stoichiometric and semi combustion, we need Oswald diagram to control the combustion. That's Why there is given the formulas of the combustion. On the other hand, this diagram is important for the measurement of gas analysis in the factory. The real combustion of natural gas is necessary for designing the heat recovery system.

At the end of the thesis, with the data given by the factory wich use natural gas, a heat recovery system is designed.

I- GİRİŞ

Enerji, günümüzde vazgeçilmez ihtiyaçlarımızdan biridir. Enerji tüketimi teknolojik gelişmelere ve dünya nüfus artışına paralel olarak sürekli artmaktadır. Artan talebi karşılamak ve enerji arzının sürekliliğini sağlamak amacı ile çok pahalı olan yeni enerji kaynaklarını geliştirme projeleri, tüm sanayileşmiş ülkelerde sürdürülmektedir.

Daha birkaç yıl önce bir çok işletmede yardımcı malzeme olarak görülen "enerji" bugün imalat maliyetlerini etkileyen bir faktördür. Aniden yükselen enerji fiyatları ve azalan enerji rezervleri, bizleri enerji tasarrufuna ve alışlagelmiş enerji kullanımını modernize etmeye zorlamaktadır.

Enerji tasarrufunun güncel bir sorun olan çevre kirliliğinin azalmasına önemli bir katkıda bulunacağı gerçeği, konunun önemini arttırmıştır. Bu nedenle enerji tasarrufu, son yılların üzerinde en çok sözü edilen konularından biri olmuştur.

Ülkemizde enerji üretim ve tüketim değerleri birincil enerji ihtiyacımızın %42 sinin, ithal enerji ile sağlandığını göstermektedir. Bu açıdan bakınca, ülkemiz için enerjinin daha verimli kullanılması gerekliliği büyük bir önem kazanmaktadır. Özellikle sanayi sektöründe enerji kullanım veriminin arttırılması, enerji maliyetlerini düşüneceğinden rekabet gücünün artmasına da sebep olmaktadır. Yeni bir enerji kaynağı olan doğal gazın, daha verimli kullanılabilmesi için yapılan çalışmaların amaçlarından bir tanesi de, budur. Gerek yapısal özelliği ve gerekse temiz bir yakıt oluşu nedeni ile bugün doğal gaz, sanayi sektöründe elektrik üretimi ve diğer yakıtlar (Fuel-oil, kömür, motorin vb..) yerine, ısıtma sistemlerinde kullanılarak enerji maliyetlerinin düşmesine ve verimin yükselmesine neden olmaktadır.

Sanayi dalları, doğal gaza dönüşerek sadece doğrudan dönüşümün gerektirdiği bir takım yararları sağlamakla kalmayacak, aynı zamanda tasarruf potansiyelini iyi kullandıkları takdirde başka yararlar sağlama olanağı da bulacaklardır;

Yakıta bağlı tasarruflar şunlardır:

- İşçilik maliyeti
- Elektrik
- Linyitteki taşlar
- Kül nakliyesi
- Kazan ve ızgaraların tamiri
- Fuel-oil Ön ısıtması.

II- DOĞAL GAZ BACA GAZININ ÖZELLİKLERİ

2.2.1. Amaç ve Yöntem

Doğal gaz, bilindiği gibi yeni bir enerji kaynağıdır ve sanayide değişik amaçlar için kazan ve fırınlarda kullanılmaya başlanmıştır. Başlangıçta doğal gazın yanma şekli ortaya konulmuş ve bu yanmanın sonucunda oluşan duman gazlarının ısisından yararlanarak bir ısı geri kazanım sistemi dizaynı amaçlanmıştır.

Doğal gazı meydana getiren komponentlerin mol yüzdesi bilindiğine göre, yanma sonucunda oluşacak duman gazlarının miktarı belirlenir. Bu duman gazlarının ısisından yararlanarak belli sıcaklıklar arasında ne kadar atık ısinin geri kazanılabileceği hesaplanır. Fabrikada yapılan baca gazı ölçüm sonuçları, doğal gaz için çizilen Oswald diagramında değerlendirilir. Daha sonra, ortaya konulan alternatif önerilerin birine göre, bir geri kazanım sistemi dizayn edilir.

2.2.2. Doğal Gaz Hakkında Genel Bilgiler

İnsanoğlu tarafından binlerce yıldan beri bilinmesine rağmen, doğal gazın yaygın olarak kullanılması 1960 yıllarından sonradır. Organik teoriye göre diğer fosil yakacaklar gibi doğal gazda milyonlarca yıl önce yaşamış bitki ve hayvan artıklarından oluşmuştur. Yeryüzü kabukları arasına gömülen bu atıklar, basınç ve ısı etkisi ile, kimyasal değişikliklere uğrayarak, doğal gazı meydana getirmiştir.

Genelde doğal gaza sıradağ yamaçlarında petrol yatakları ile birlikte veya serbest olarak rastlanılmaktadır. Bu gün üretilen doğal gazın yaklaşık %40 kadarı petrol ile aynı yataklardan sağlanmaktadır.

Doğal gaz çeşitli hidrokarbonları içeren, özellikle metan ağırlıklı bir enerji kaynağı olup, serbest gaz rezervlerinden çıkarılmakta veya petrol yataklarından petrol çıkarımı sırasında elde edilmektedir. Daha sonra içindeki bazı maddeler arıtılarak boru hattıyla veya -161°C de sıvılaştırılmış olarak tankerlerle taşınmaktadır. Sıvılaştırılmış doğal gazın günlük kullanımlar için likit petrol gazı gibi sıvılaştırılarak küçük ölçekli tüketime arzı mümkün değildir. Ancak sistemin emniyeti ve aşırı yük talebini karşılamak maksadıyla, ana sisteme entegre depolama yapmak mümkündür. Depolama sistemleri arasında, yeraltı depoları ve LNG terminalleri yaygın olarak kullanılan sistemlerdir.

1986 yılı itibarı ile dünyadaki güvenilir doğal gaz rezerv miktarı yaklaşık 100 trilyon m^3 değerindedir. Bu miktarın en büyük oranı, %43 ile S.S.C.B.'de, %13'ü İran'da, %5.6'sı A.B.D.'de, %4.2'si Katar'da, %3.6'sı Cezayir'de, %2'si Norveç ve Hollanda'dadır.

Yurdumuzda ise yapılan bütün araştırmalara rağmen, maa-
lesef henüz büyük bir doğal gaz rezervi bulunamamıştır. Mardin civarındaki yaklaşık 1 milyar m^3 değerinde küçük bir rezervden başka, Trakya'daki rezervin 14 milyar m^3 olduğu tahmin edilmektedir. Trakya'daki bu rezervin yılda 400-450 milyon metreküp tüketim ile 15 yıl kullanılabileceği beklenmektedir.

1985 yılı sonu itibarı ile dünyadaki doğal gaz üretimi 1.8 trilyon $\text{m}^3/\text{yıl}$ değerindedir. Bu miktarın %36'sını S.S.C.B., %27'sini A.B.D, %5 Kanada, %4 Hollanda ve %2'sini İngiltere, Cezayir, Meksika, Endonezya üretilmiştir. Üretilen bu gazın %36'sını A.B.D ve Kanada, %14 A.T. Ülkeleri, %32'sini Doğu Bloku Ülkeleri tüketmiştir.

Hükümetimiz ve S.S.C.B. (B.D.T.) Hükümeti arasında yapılan 18 Eylül 1984 tarihli anlaşmaya göre, yurdumuza Rusya'dan 1988'de 2 milyar m^3 , 1989'da 3 milyar m^3 , 1990'da 3.3 milyar m^3 , 1991'de 3.5 milyar m^3 , 1992'de 4.7 milyar m^3 ve 1993'de 5 milyar m^3 doğal gazın ithal edilmesi kararlaştırılmıştır.

Bugün birçok ülkede endüstriyel enerji tüketiminin yaklaşık %26'sı sıcak gazlar ve sıvılar şeklinde atılarak kaybolmaktadır. Bu kayıp, atık ısı geri kazanımı temel tekniklerinin uygulanması ile önemli ölçüde azaltılabilir. Enerji fiyatlarındaki artış ısı geri kazanım ekipmanları için yapılan yatırımları, kârlı ve çoğunlukla bir kaç ayla, bir kaç yıl arasında değişen sürelerde kendini öder hale getirmiştir. Bu imkanın iyi değerlendirilebilmesi için uygun ve etkili bir ısı geri kazanım sisteminin geliştirilmesi önem taşımaktadır.

Isı geri kazanım ekipmanlarının yapılan yatırım masraflarını geri ödeyebilmesi için belirli bir sürenin geçmesi gereklidir. Bu sürenin kısa olması, ekipmanın ısı geri kazanım veriminin yüksek olması ve düzenli bir şekilde işletilmesi ile sağlanabilir.

2.2.3. Diğer Yakıtlarla Doğal Gaz Arasındaki Temel Farklar

Doğal gaz, kül bırakmaz, böylece kül alma sistemine gerek yoktur. Dağıtım ve yakmada temizdir. Kurum üfleyicilerine ve atık gaz temizleme tesislerine gerek yoktur. Yanma sonrası çevreye diğer tüm yakıtlardan daha az zararlı madde yayar. Kükürt içermez ve yoğunlaşma sıcaklığı düşük baca gazı üretir (60-70°C). Baca gazları, yakıtın içinde kükürt bulunmadığından, daha az korozyiftir ve daha düşük sıcaklıklara inilebilmesi sayesinde baca gazları ısısından daha fazla yararlanılabilir. Yanmaya giren miktar kolayca ölçülüp hassas olarak denetlenebilir. Böylece daha düşük hava fazlalığı sağlanabilir. Alev boyu ve tutuşma gecikmesi süresi fuel-oil ve pülverize kömüre göre daha kısadır. Böylece kazan boyutları küçüldüğünden maliyet azalır. Diğer endüstriyel gazlarla karşılaştırıldığında yanma hızı düşüktür. Bu nedenle brülör tasarımında, stabilizerin, gövdenin, gaz nozüllerinin tasarım ve imalatında özel itina gerekmektedir. Normalde kurum oluşturmaz. Karışım daha iyi, yanma daha hızlı olduğu taktirde alev parlaklığı azalmaktadır. Sıcak karbon parçacıklarının yokluğu

alevin emisivitesini (yayınımını) zayıflatır ve yanma odası ısı geçişini azaltarak baca gazı sıcaklığını yükseltir. Doğal gaz baca gazında daha fazla neme yol açmaktadır.

2.2.4. Doğal Gazın Bileşimi

Kimyasal Kompozisyon (Mol yüzdesi olarak)

		Garanti edilen (%)	Fiili % (%)
Metan	CH ₄	min 85	97.736
Etan	C ₂ H ₆	max 7	0.288
Propan	C ₃ H ₈	max 3	0.100
Bütan	C ₄ H ₁₀	max 2	0.042
Pentan	C ₅ H ₁₂	max 1	0.016
Karbon dioksit	CO ₂	max 3	0.023
Oksijen	O ₂	max 0.02	-
Azot	N ₂	max 5	0.792

Kükürt

Hidrojen sülfür (H₂S) max 5.10 mg/Sm³

Mekraptan kükürt max 15.30 mg/Sm³

Toplam kükürt max 102.00 mg/Sm³

Sm³ = 15°C ve 1.01325 bar mutlak basınçtaki 1 m³ gazın hacmine karşılık gelir.

* Hesaplar fiili değerlere göre yapılmıştır.

2.2.5. Hesaplar İçin Ön Açıklama

Baca gazı hesapları için kullanılan formüllerin tanıtımı gerekmektedir. Bu nedenle öncelikle hesaplarda kullanılan sembollerin tanıtımı, gerekli gazların molar hacimleri, ağırlıkları ve ısı değerlerini gösteren tablolar göreceğiz. Daha sonra stokiometrik ve yarı yanma formülleri Oswald diagramını çizmede yardımcı olacaktır. Gerçek yanma formülleri ise, gerçek hava fazlalık katsayısı ile gerçek duman gazı miktarını bilerlemeye yarayacaktır. Gerçek duman gazlarının miktarını bildiğimize göre, bu gazların sabit basınçta ısınma ısılarını ve entalpilerini hesaplamak kolaylaşacaktır. Bu değerler geri kazanılacak miktarın hesaplanmasında yardımcı olacaktır.

2.2.6. Hesaplarda Kullanılan Semboller

	Hacimsel		Kütlesel	
	Sembol	Birim	Sembol	Birim
Gazın Yüzde miktarı	r_i	%	g_i	%
Gazın mol ağırlığı	V_{m_i}	Sm^3/kmol	m_i	kg/kmol
T A M Y A N M A * $\lambda = 1$				
Gerekli min.O ₂ miktarı	Ovmin	$\text{Sm}^3\text{O}_2/\text{Sm}^3\text{y}$	Ogmin	$\text{kgO}_2/\text{kg y}$
Gerekli min. hava miktarı	Lvmin	$\text{Sm}^3\text{H}/\text{Sm}^3\text{y}$	Lgmin	$\text{kgH}/\text{kg y}$
Her bir duman gazı miktarı	V_i	$\text{Sm}^3\text{i}/\text{Sm}^3\text{y}$	M_i	$\text{kgi}/\text{kg y}$
Duman gazında yakıttan gelen gazın miktarı	V_{x_i}	$\text{Sm}^3\text{i}/\text{Sm}^3\text{y}$	M_{x_i}	$\text{kgi}/\text{kg y}$
Toplam duman gazı miktarı	Vmin	$\text{Sm}^3\text{d}/\text{Sm}^3\text{y}$	Mmin	$\text{kgd}/\text{kg y}$
Toplam kuru duman gazı mik.	Vmink	$\text{Sm}^3\text{kd}/\text{Sm}^3\text{y}$	Mmink	$\text{kgkd}/\text{kg y}$
Kuru duman gazı içindeki max.CO ₂ oranı	Kmax	%	-	-

Not = i Harfi indisleri bilertmektedir (Tablo 1'e bakınız)

* λ = Hava fazlalık katsayısı

Sm^3 = Standart metreküp (15°C, 1, 01325 bar)

	Hacimsel		Kütlesel		
	Sembol	Birim	Sembol	Birim	
Toplam duman gazı miktarı	V_{min}	$\text{Sm}^3/\text{Sm}^3\text{y}$	M_{min}	kgd/kgy	↑ Y A R I Y
Toplam kuru duman gazı miktarı	V_{mink}	$\text{Sm}^3\text{kd}/\text{Sm}^3\text{y}$	M_{mink}	kgkd/kgy	A N M A
Kuru duman gazı içindeki CO oranı	q_{max}	%	-	-	↓
Kuru duman gazı içindeki O_2 oranı	0	%	-	-	
Gerçek duman gazındaki her bir gazın miktarı	V_{g_i}	$\text{Sm}^3_i/\text{Sm}^3\text{y}$	M_{g_i}	kg_i/kgy	↑ G E R Ç E K
Toplam gerçek duman gazı miktarı	V_g	$\text{Sm}^3\text{d}/\text{Sm}^3\text{y}$	M_g	kgd/kgy	
Toplam gerçek kuru duman gazı miktarı	V_{gk}	$\text{Sm}^3\text{kd}/\text{Sm}^3\text{y}$	M_{gk}	kgkd/kgy	$\lambda > 1$
i gazının gerçek duman gazındaki oranı	$Y_i = \frac{V_{g_i}}{V_g}$		$X_i = \frac{Y_i \cdot m_i}{\sum Y_i \cdot m_i}$ ya da $X_i = \frac{M_{g_i}}{M_g}$	*	Y A N M A ↓

* Hesaplarda bu formül kullanılmıştır.

H_u = Yakıtın alt ısı değeri (kJ/Sm^3)

H_o = Yakıtın üst ısı değeri (kJ/Sm^3)

ρ_i = i gazının yoğunluğu (kg/m^3)

ρ_y = Yakıtın yoğunluğu (kg/Sm^3)

	Hacimsel		Kütlesel	
	Sembol	Birim	Sembol	Birim
i gazının ısıma ısısı	C_{p_i}	$\text{kJ}/\text{Sm}^3\text{K}$	C_{p_i}	kJ/kgK
Ortalama duman gazı ısıma ısısı	C_{pvo}	$\text{kJ}/\text{Sm}^3\text{K}$	C_{pmo}	kJ/kgK
Ortalama duman gazı entalpisi	H_m	kJ/Sm^3	H_m	kJ/kg

C_{po}, h_o = İki sıcaklık arasındaki ortalama özgül ısı ve entalpi (kJ/kgK), (kJ/kg)

R_i = i gazının gaz sabiti (kJ/kgK)

R_d = Toplam duman gazının gaz sabiti (kJ/kgK)

ρ_l = Duman gazının yoğunluğu (kg/m^3)

ρ_o = Standart şartlardaki duman gazının yoğunluğu (kg/Sm^3)

$\bar{R}$ = Evrensel gaz sabiti ($8.31429 \text{ kJ}/\text{kmolK}$)

P = Çevre basıncı (kPa)

v_l = Duman gazının özgül hacmi (m^3/kg)

T_o = Standart şartlardaki duman gazı sıcaklığı (288 K)

T = Herhangi sıcaklıktaki duman gazı sıcaklığı (K)

2.2.7. Gazların Molar Hacimleri, Ağırlıkları, Alt ve Üst Isıl Değerleri

Arkada görülen Tablo 1'de, bize standart şartlarda (15°C , 1 bar), doğal gazın (Metan, Etan, Bütan, Propan, Pentan, Azot, Karbondioksit) özgül ağırlığını, alt ve üst ısı değerlerini, ayrıca N_2 , O_2 , CO_2 ve subuharından oluşan duman gazının yoğunluğunu hesap etmek için, ayrıca yanma formüllerinde kullanmak için gerekli sayılar vardır.

Tablo 1'de 0°C den, 15°C ye geçmek için mükemmel gaz denkleminde;

$$\frac{P_o.V_o}{T_o} = \frac{P_l.V_l}{T_l}$$

$$V_l = \frac{T_l}{T_o} \cdot V_o \quad \text{şeklinde hesaplanmıştır.}$$

$$P_o = P_l = 1.01325 \text{ bar olarak alınmıştır.}$$

$$V_o = \text{Nm}^3$$

$$V_l = \text{Sm}^3$$

2.2.8. Yakıt (Doğal Gaz) için Kullanılan Formüller

Yoğunluk:

$$\rho_y = \rho_{\text{CH}_4} \cdot r_{\text{CH}_4} + \rho_{\text{C}_2\text{H}_6} \cdot r_{\text{C}_2\text{H}_6} + \rho_{\text{C}_3\text{H}_8} \cdot r_{\text{C}_3\text{H}_8} +$$

$$\rho_{\text{C}_5\text{H}_{12}} \cdot r_{\text{C}_5\text{H}_{12}} + \rho_{\text{N}_2} \cdot r_{\text{N}_2} + \rho_{\text{CO}_2} \cdot r_{\text{CO}_2}$$

$$\rho_y = 0.6816 \text{ kg/Sm}^3$$

Isıl Değerler:

$$Ho = HoCH_4 \cdot rCH_4 + HoC_2H_6 \cdot rC_2H_6 + HoC_3H_8 \cdot rC_3H_8 +$$

$$HoC_4H_{10} \cdot rC_4H_{10} + HoC_5H_{12} \cdot rC_5H_{12}$$

$$Ho = 37211.7 \text{ kJ/Sm}^3$$

$$Hu = HuCH_4 \cdot rCH_4 + HuC_2H_6 \cdot rC_2H_6 + HuC_3H_8 \cdot rC_3H_8 +$$

$$HuC_4H_{10} \cdot rC_4H_{10} + HuC_5H_{12} \cdot rC_5H_{12}$$

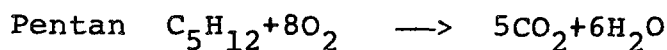
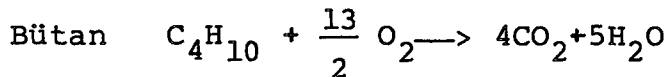
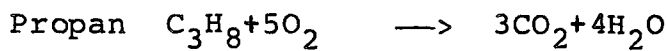
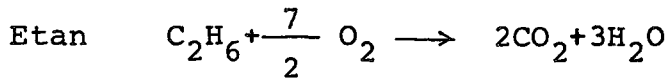
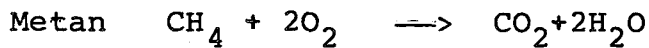
$$Hu = 33504.4 \text{ kJ/Sm}^3$$

2.3. Stokiyometrik Yanma

Oswald diagramı ve yanma denklemlerinin oluşturulması için stokiyometrik yanma reaksiyonlarının bilinmesi gerekmektedir.

2.3.1. Stokiyometrik Yanmada Kullanılan Kimyasal Reaksiyonlar

Doğal gazı meydana getiren Metan, Etan, Propan, Pentan tam yanma durumunda aşağıdaki gibi çeşitli oranlarda oksijen ile birleşerek, çeşitli oranlarda Karbondioksit ve su buharı ortaya çıkarırlar.



2.3.2. Stokiyometrik Yanmada Kullanılan Formüller

Amacımız, Oswald diagramını oluşturmak olduğundan stokiyometrik yanma durumunda, kuru duman gazları içindeki maximum Karbondioksit miktarını bulmamız gerekmektedir. Bunun için aşağıdaki denklemlerden yararlanılır.

1- Tam Yanma için gerekli minimum Oksijen miktarı

a) Hacimsel; O_{vmin}

$$O_{vmin} = \left(\frac{2r_{CH_4}}{V_{mCH_4}} + \frac{7}{2} \frac{r_{C_2H_6}}{V_{mC_2H_6}} + \frac{5.r_{C_3H_8}}{V_{mC_3H_8}} + \frac{13}{2} \frac{r_{C_4H_{10}}}{V_{mC_4H_{10}}} + \frac{8.r_{C_5H_{12}}}{V_{mC_5H_{12}}} \right) \cdot V_{mO_2}$$

$$O_{vmin} = 1.9765 \text{ Sm}^3 O_2 / \text{Sm}^3 y$$

b) Kütleesel; O_{gmin}

$$O_{gmin} = O_{vmin} \cdot \frac{\rho_{O_2}}{\rho_y}$$

$$O_{gmin} = 3.9284 \text{ kgO}_2 / \text{kg y}$$

2- Gerekli minimum hava miktarı

a) Hacimsel; L_{vmin}

$$L_{vmin} = \frac{O_{vmin}}{0.21}$$

$$L_{vmin} = 9.4120 \text{ Sm}^3 H / \text{Sm}^3 y$$

b) Kütlesel; L_{gmin}

$$L_{gmin} = \frac{O_{gmin}}{0.2329}$$

$$L_{gmin} = 16.8674 \text{ kgH/kgy}$$

Tam yanmada baca gazı içindeki gazların miktarı

3- Karbondioksit

a) Hacimsel; VCO₂

$$V_{CO_2} = \left(\frac{r_{CH_4}}{V_{mCH_4}} + \frac{2.r_{C_2H_6}}{V_{mC_2H_6}} + \frac{3.r_{C_3H_8}}{V_{mC_3H_8}} + \frac{4.r_{C_4H_{10}}}{V_{mC_4H_{10}}} + \frac{5.r_{C_5H_{12}}}{V_{mC_5H_{12}}} \right) \cdot V_{mCO_2}$$

$$V_{CO_2} = 0.9844 \text{ Sm}^3\text{CO}_2/\text{Sm}^3\text{y}$$

b) Kütlesel; MCO₂

$$M_{CO_2} = V_{CO_2} \cdot \frac{\rho_{CO_2}}{\rho_y}$$

$$M_{CO_2} = 2.7067 \text{ kgCO}_2/\text{kgy}$$

4- Su buharı

a) Hacimsel; VH₂O

$$V_{H_2O} = \left(\frac{2.r_{CH_4}}{V_{mCH_4}} + \frac{3.r_{C_2H_6}}{V_{mC_2H_6}} + \frac{4.r_{C_3H_8}}{V_{mC_3H_8}} + \frac{5.r_{C_4H_{10}}}{V_{mC_4H_{10}}} + \frac{6.r_{C_5H_{12}}}{V_{mC_5H_{12}}} \right) V_{mH_2O}$$

$$V_{H_2O} = 1.9740 \text{ Sm}^3 H_2O / \text{Sm}^3 y$$

b) Kütleli; M_{H_2O}

$$M_{H_2O} = V_{H_2O} \cdot \frac{\rho_{H_2O}}{\rho_y}$$

$$M_{H_2O} = 2.2079 \text{ kg } H_2O / \text{kg } y$$

5- Azot

Azot yanmaya katılmayacağından, baca gazı ile birlikte dışarıya atılır. Havanın ve yakıtın ($V \times N_2$) içindeki Azot miktarları şu formülle hesaplanır.

a) Hacimsel; V_{N_2}

$$V_{N_2} = 0.79 \text{ Lvmin} + V \times N_2$$

$$V_{N_2} = 7.4434 \text{ Sm}^3 N_2 / \text{Sm}^3 y$$

b) Kütleli; M_{N_2}

$$M_{N_2} = V_{N_2} \cdot \frac{\rho_{N_2}}{\rho_y}$$

$$M_{N_2} = 12.9528 \text{ kg } N_2 / \text{kg } y$$

6- Toplam duman gazı miktarı

a) Hacimsel; V_{min}

$$V_{min} = V_{CO_2} + V_{H_2O} + V_{N_2}$$

$$V_{min} = 10.4019 \text{ Sm}^3\text{d}/\text{Sm}^3\text{y}$$

b) Kütlesel; M_{min}

$$M_{min} = M_{CO_2} + M_{H_2O} + M_{N_2}$$

$$M_{min} = 17.8675 \text{ kgd/kgy}$$

7- Toplam kuru duman gazı miktarı

$$V_{mink} = V_{min} - V_{H_2O}$$

$$V_{mink} = 8.4279 \text{ Sm}^3\text{d}/\text{Sm}^3\text{y}$$

8- Toplam kuru duman gazındaki Karbondioksit oranı,
 K_{max}

$$K_{max} = \frac{V_{CO_2}}{V_{mink}} \cdot 100$$

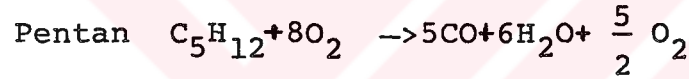
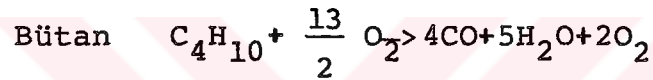
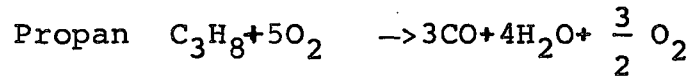
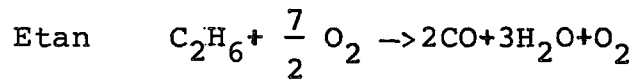
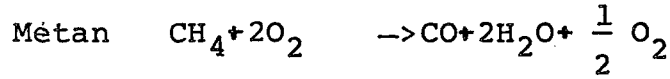
$$K_{max} = \% 11.6781$$

2.4. Yarı Yanma

Oswald diagramının tam oluşturulması için yarı yanma reaksiyonlarına gereksinim vardır.

2.4.1. Yarı Yanmada Kullanılan Kimyasal Reaksiyonlar

Doğal gazı meydana getiren bileşenlerin yarı yanma sonucunda Karbonun tamamının Karbonmonoksit'e dönüştüğü fikrinden hareketle, aşağıdaki gibi çeşitli oranlarda Karbonmonoksit, su buharı ve Oksijen ortaya çıkmaktadır.



2.4.2. Yarı Yanmada Kullanılan Formüller

Yukarıdaki reaksiyonlara göre duman gazları için aşağıdaki denklemler oluşmuştur.

1- Karbonmonoksit

a) Hacimsel; VCO

$$V_{CO} = \left(\frac{r_{CH_4}}{V_{mCH_4}} + \frac{2 \cdot r_{C_2H_6}}{V_{mC_2H_6}} + \frac{3 \cdot r_{C_3H_8}}{V_{mC_3H_8}} + \frac{4 \cdot r_{C_4H_{10}}}{V_{mC_4H_{10}}} + \frac{5 \cdot r_{C_5H_{12}}}{V_{mC_5H_{12}}} \right) \cdot V_{mCO}$$

$$V_{CO} = 0.9904 \text{ Sm}^3\text{CO/Sm}^3\text{y}$$

b) Kütlesel; MCO

$$MCO = VCO \cdot \frac{\rho_{CO}}{\rho_y}$$

$$MCO = 1.7223 \text{ kgCO/kgy}$$

2- Su buharı

a) Hacimsel; VH_2O

$$VH_2O = \left(\frac{2 \cdot rCH_4}{VmCH_4} + \frac{3 \cdot rC_2H_6}{VmC_2H_6} + \frac{4 \cdot rC_3H_8}{VmC_3H_8} + \frac{5 \cdot rC_4H_{10}}{VmC_4H_{10}} + \frac{6 \cdot rC_5H_{12}}{VmC_5H_{12}} \right) \cdot VmH_2O$$

$$VH_2O = 1.9740 \text{ Sm}^3H_2O/\text{Sm}^3y$$

b) Kütlesel; MH_2O

$$MH_2O = VH_2O \cdot \frac{\rho_{H_2O}}{\rho_y}$$

$$MH_2O = 2.2079 \text{ kgH}_2O/\text{kgy}$$

3- Oksijen

a) Hacimsel; VO_2

$$VO_2 = \left(\frac{rCH_4}{VmCH_4} + \frac{2 \cdot rC_2H_6}{VmC_2H_6} + \frac{3 \cdot rC_3H_8}{VmC_3H_8} + \frac{4 \cdot rC_4H_{10}}{VmC_4H_{10}} + \frac{5 \cdot rC_5H_{12}}{VmC_5H_{12}} \right) \cdot \frac{VmO_2}{2}$$

$$VO_2 = 0.4949 \text{ Sm}^3O_2/\text{Sm}^3y$$

b) Kütlesel; MO_2

$$MO_2 = VO_2 \cdot \frac{\rho_{O_2}}{\rho_y}$$

$$MO_2 = 0.9838 \text{ kgO}_2/\text{kgy}$$

4- Azot

Havadaki ve yakıttaki Azot miktarı reaksiyona girmeden baca gazından dışarı atılmaktadır.

a) Hacimsel; VN_2

$$VN_2 = 0.79 \cdot Lv_{min} + V \times N_2$$

$$VN_2 = 7.4434 \text{ Sm}^3 N_2 / \text{Sm}^3 y$$

b) Kütlesel; MN_2

$$MN_2 = VN_2 \cdot \frac{\rho_{N_2}}{\rho_y}$$

$$MN_2 = 12.9528 \text{ kgN}_2/\text{kgy}$$

5- Toplam duman gazı miktarı

$$Vy_{min} = VCO + VH_2O + VO_2 + VN_2$$

$$Vy_{min} = 10.9031 \text{ Sm}^3 d / \text{Sm}^3 y$$

6- Toplam kuru duman gazı miktarı

$$V_{\text{mink}} = V_{\text{min}} - V_{\text{H}_2\text{O}}$$

$$V_{\text{mink}} = 8.9290 \text{ Sm}^3\text{kd}/\text{Sm}^3\text{y}$$

7- Kuru duman gazındaki Karbonmonoksit oranı; q_{max}

$$q_{\text{max}} = \frac{V_{\text{CO}}}{V_{\text{mink}}} \cdot 100$$

$$q_{\text{max}} = \%11.092$$

8- Kuru duman gazındaki Oksijen Oranı; O

$$O = \frac{V_{\text{O}_2}}{V_{\text{mink}}} \cdot 100$$

$$O = \%5.54$$

2.5. Gerçek Yanma

Teorikte stokiometrik yani hava fazlalık katsayısı (λ) 1 ile yanmaktadır. Gerçekte ise, iyi bir yanmanın gerçekleşmesi için gerekli olan şartlar; yeterli ortam sıcaklığı, yeterli yakıt-hava karışımı ve yeterli yanma zamanıdır. Yanma reaksiyonlarında, yanma evrelerinin tamamlanması için Oksijen ve yakıt moleküllerinin yeterli ortam sıcaklığında karşılaşması ve yeterli yanma zamanının sağlanması gerekmektedir.

Yakma havasının yetersiz kalması durumunda yeterli Oksijen bulamayan Karbon, Karbonmonoksit şeklinde reaksiyon verir ki, bu reaksiyon Karbondioksit reaksiyonuna göre daha az ısı elde edilir.

Ortamda fazla hava bulunması, ortam sıcaklığının düş-

mesine neden olacaktır. Pratikte teorik hava miktarı ile tam yanma sağlamak mümkün olmamakta, yanıcı maddelerin bir kısmı yanma olanağı bulamadan dışarı atılmakta ve eksik yanma gerçekleşmektedir. Bu nedenle ortama teorik miktarın biraz üstünde hava verilmesi gerekmektedir.

2.5.1. Gerçek yanmada kullanılan formüller

Yanma sonucu oluşan reaksiyonlarda Karbonun tamamı (Stokiometrik yanmada olduğu gibi) Karbondioksit'e dönüştüğü varsayılmıştır. Karbonmonoksit miktarı sıfır kabul edilmiştir. Açığa çıkan duman gazları aşağıdaki gibidir:

1- Karbondioksit

a) Hacimsel; V_{gCO_2}

$$V_{gCO_2} = V_{CO_2}$$

$$V_{gCO_2} = 0.9444 \text{ Sm}^3\text{CO}_2/\text{Sm}^3\text{y}$$

b) Kütleesel; M_{gCO_2}

$$M_{gCO_2} = M_{CO_2}$$

$$M_{gCO_2} = 2.7067 \text{ kgCO}_2/\text{kgy}$$

2- Su buharı

Su buharı miktarında bir değişiklik olmadığı kabul edilerek, stokiometrik yanma durumundaki miktara eşit kabul edilmiştir.

a) Hacimsel; V_{gH_2O}

$$V_{gH_2O} = V_{H_2O}$$

$$V_{gH_2O} = 1.9740 \text{ Sm}^3\text{H}_2\text{O}/\text{Sm}^3\text{y}$$

b) Kütlesel; M_{gH_2O}

$$M_{gH_2O} = M_{H_2O}$$

$$M_{gH_2O} = 2.2079 \text{ kgH}_2\text{O}/\text{kgy}$$

3- Azot

Stokiometrik havadaki Azot miktarını hava fazlalık katsayısı (λ) ile çarpmak gerekir. Ve buna yakıtın içindeki Azot miktarı (V_{xN_2}) da eklenir.

a) Hacimsel; V_{gN_2}

$$V_{gN_2} = 0.79 \cdot \lambda \cdot L_{vmin} + V_{xN_2}$$

$$V_{gN_2} = 8.9305 \text{ Sm}^3\text{N}_2/\text{Sm}^3\text{y}$$

b) Kütlesel; M_{gN_2}

$$M_{gN_2} = 0.7671 \cdot \lambda \cdot L_{gmin} + M_{xN_2}$$

$$M_{gN_2} = 15.5406 \text{ kgN}_2/\text{kgy}$$

4- Oksijen

Gerçek yanmada, tam yanmada olduğu gibi gerekli minimum oksijen miktarı Karbondioksit ve Su buharına dönüşür . Fakat geride kalan ($\lambda-1$) lik oksijen miktarı baca gazı ile dışarı atılır.

a) Hacimsel; V_{gO_2}

$$V_{gO_2} = (\lambda - 1) O_{vmin}$$

$$V_{gO_2} = 0.3953 \text{ Sm}^3 O_2 / \text{Sm}^3 y$$

b) Kütlesel; M_{gO_2}

$$M_{gO_2} = (\lambda - 1) O_{gmin}$$

$$M_{gO_2} = 0.7856 \text{ kgO}_2 / \text{kgy}$$

5- Toplam duman gazı miktarı

Yukarıdaki belirtilen gazların gerçek duman gazı miktarını verir.

a) Hacimsel; V_g

$$V_g = V_{gCO_2} + V_{gH_2O} + V_{gO_2} + V_{gN_2}$$

$$V_g = 12.2843 \text{ Sm}^3 d / \text{Sm}^3 y$$

b) Kütlesel; M_g

$$M_g = M_{gCO_2} + M_{gH_2O} + M_{gO_2} + M_{gN_2}$$

$$M_g = 21.2410 \text{ kgd/kgy}$$

2.6. Herhangi Sıcaklıkta Duman Gazının Yoğunluğu ve Özgül Hacmi

Duman gazlarının ideal gaz olduğu kabul ediliyor;

İlk durumdaki denklem: ($P_o = 101.325 \text{ kPa}$; $T_o = 288K$)

$$P_o = \rho_o \cdot R_d \cdot T_o \quad (1)$$

İkinci durumdaki denklem: ($P_1 = 101.325 \text{ kPa}$;

$$T_1 = [273 + t_{dg} (^{\circ}\text{C})] \text{K}$$

$$P_1 = \rho_1 \cdot R_d \cdot T_1 \quad (2)$$

duman gazının gaz sabiti

$$R_d = X_{CO_2} \cdot R_{CO_2} + X_{N_2} \cdot R_{N_2} + X_{H_2O} \cdot R_{H_2O} + X_{O_2} \cdot R_{O_2}$$

1.denklemden

$$\rho_o = \frac{P_o}{R_d \cdot T_o} \quad \text{bulunur.}$$

(1) ve (2) denklemleri oranlanırsa herhangi sıcaklıkta-
ki duman gazının yoğunluğu:

$$\rho_1 (\text{kg/m}^3) = \rho_o \cdot \frac{288}{273 + t_{dg}}$$

Özgül hacim:

$$v_1 (\text{m}^3/\text{kg}) = \frac{1}{\rho_1}$$

2.7. Çiğ Noktası Sıcaklığının Belirlenmesi

Doğal gazda Kükürt bulunmaması nedeni ile baca gazın-
daki Kükürtdioksit ve su buharının yoğunlaşarak, ısı transfer
yüzeylerinde korozyon oluşturması tehlikesi yoktur. Bu neden-
le baca gazı su buharının çiğ noktası sıcaklığına kadar düşü-
rülebilir.

Su buharının duman gazı içindeki hacimsel oranı su buharının kısmi basıncının, duman gazının basınç oranına eşittir.

$$\frac{V_{H_2O}}{V_g} = \frac{P_{H_2O}}{P}$$
$$P_{H_2O} = P \cdot \frac{V_{H_2O}}{V_g}$$

Burada $P = 101.325 \text{ kPa (N.Ş.A.)}$

Yukarıda bulunan su buharının kısmi basıncına (P_{H_2O}) tekabül eden doyma (çiğ noktası) sıcaklığı Tablo A-8.2'deki buhar tablosundan lineer enterpolasyonla belirlenir.

2.8. Duman Gazları İçin Formüller

Duman gazlarının ideal gaz olduğunu kabul ederek, duman gazını oluşturan; Karbondioksit, Azot, Oksijen ve su buharının sabit basınçtaki özgül ısı denklemlerinden yararlanarak her sıcaklığa tekabül eden özgül ısı ve entalpi değerleri belirlenebilir. (Ekler kısmında bu tablolar verilmiştir.) Ayrıca belli iki sıcaklık arasındaki ortalama özgül ısı ve entalpi değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler bize ileride geri kazanma miktarını belirlemede yardımcı olacaktır.

2.8.1. Duman Gazlarının Sabit Basıncıta Özgül Isıları

$$CP_1 = -3.7357 + 30.529 \cdot \theta^{0.5} - 4.1034 \cdot \theta + 0.024198 \cdot \theta^2$$

$$CP_2 = 39.06 - 512.79 \cdot \theta^{-1.5} + 1072.7 \cdot \theta^{-2} - 820.4 \cdot \theta^{-3}$$

$$CP_3 = 37.432 + 0.020102 \cdot \theta^{1.5} - 178.57 \cdot \theta^{-1.5} + 236.88 \cdot \theta^{-2}$$

$$CP_4 = 143.05 - 183.54 \cdot \theta^{0.25} + 82.751 \cdot \theta^{0.5} - 3.6983 \cdot \theta$$

Tablo A-8.2
Basınca Göre Düzenlenmiş Su ve Su Buharı Tablosu

Basınç	Sıcaklık	Özgül hacim		Entalpi				Entropi		
		$v_f \times 10^3$	v_g	h_f	h_{fg}	h_g	s_f	s_{fg}	s_g	s_{sat}
MPa	°C	m ³ /kg	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kgK	kJ/kgK	kJ/kgK	kJ/kgK
0.0112	0.01	1.0002	206.2	0.00	2501.6	2501.6	0.0000	9.1573	9.1573	
1.0	6.9828	1.0001	129.20	29.34	2485.0	2514.4	0.1060	8.8709	8.9767	
1.5	13.036	1.0006	87.98	54.71	2470.7	2525.5	0.1957	8.6331	8.8288	
2.0	17.513	1.0012	67.01	73.46	2460.2	2533.6	0.2607	8.4639	8.7246	
2.5	21.096	1.0020	54.26	88.45	2451.7	2540.2	0.3119	8.3321	8.6440	
3.0	24.100	1.0027	45.67	101.00	2444.6	2545.6	0.3544	8.2241	8.5785	
3.5	26.696	1.0033	39.48	111.85	2438.5	2550.4	0.3907	8.1325	8.5232	
4.0	28.983	1.0040	34.80	121.41	2433.1	2554.5	0.4225	8.0530	8.4735	
4.5	31.035	1.0046	31.14	129.99	2428.2	2558.2	0.4507	7.9828	8.4335	
5.0	32.898	1.0052	28.19	137.77	2423.8	2561.6	0.4763	7.9197	8.3960	
6.0	36.183	1.0064	23.74	151.50	2416.0	2567.5	0.5209	7.8103	8.3312	
7.0	39.025	1.0076	20.53	163.38	2409.2	2572.6	0.5591	7.7176	8.2767	
8.0	41.534	1.0086	18.10	173.86	2403.2	2577.1	0.5925	7.6371	8.2296	
9.0	43.787	1.0096	16.20	183.28	2397.9	2581.1	0.6224	7.5657	8.1881	
10.	45.833	1.0102	14.67	191.83	2392.9	2584.8	0.6493	7.5018	8.1511	
12.	49.446	1.0119	12.36	206.96	2384.3	2591.2	0.6963	7.3909	8.0872	
14.	52.574	1.0133	10.69	220.02	2376.7	2596.7	0.7367	7.2967	8.0334	
16.	55.361	1.0147	9.433	231.59	2370.0	2601.6	0.7721	7.2148	7.9869	
18.	57.826	1.0160	8.445	241.99	2363.9	2605.9	0.8036	7.1424	7.9460	
20.	60.086	1.0172	7.650	251.45	2358.4	2609.9	0.8321	7.0773	7.9094	
22.	62.162	1.0183	6.995	260.14	2353.3	2613.5	0.8581	7.0183	7.8766	
24.	64.082	1.0194	6.447	268.18	2348.6	2616.8	0.8820	6.9646	7.8466	
26.	65.871	1.0206	5.980	275.67	2344.2	2619.9	0.9041	6.9147	7.8188	
28.	67.567	1.0216	5.579	282.69	2340.0	2622.7	0.9248	6.8685	7.7933	
30.	69.174	1.0223	5.229	289.30	2336.1	2625.4	0.9441	6.8256	7.7695	
32.	70.615	1.0232	4.922	295.55	2332.4	2628.0	0.9623	6.7851	7.7476	
34.	72.009	1.0241	4.650	301.48	2328.9	2630.4	0.9795	6.7471	7.7266	
36.	73.374	1.0249	4.408	307.12	2325.5	2632.6	0.9958	6.7112	7.7070	
38.	74.658	1.0257	4.190	312.50	2322.3	2634.8	1.0113	6.6771	7.6886	
40.	75.886	1.0265	3.993	317.65	2319.2	2636.9	1.0261	6.6448	7.6709	
50.	81.365	1.0301	3.240	340.56	2305.4	2646.0	1.0912	6.5035	7.5967	
60.	85.954	1.0333	2.732	359.93	2291.6	2651.6	1.1456	6.3873	7.5327	
70.	89.959	1.0361	2.365	376.77	2283.3	2660.1	1.1921	6.2883	7.4804	
80.	93.512	1.0387	2.087	391.72	2274.0	2665.8	1.2340	6.2022	7.4352	
90.	96.713	1.0412	1.869	405.21	2265.6	2670.9	1.2696	6.1258	7.3954	
100.	99.632	1.0434	1.694	417.51	2257.9	2675.4	1.3027	6.0571	7.3598	
120.	104.81	1.0476	1.428	439.36	2244.1	2683.4	1.3609	5.9375	7.2984	
140.	109.32	1.0513	1.236	458.42	2231.9	2690.3	1.4108	5.8356	7.2465	
160.	113.32	1.0547	1.091	475.38	2220.9	2696.2	1.4550	5.7467	7.2017	
180.	116.93	1.0579	0.9772	490.70	2210.8	2701.5	1.4944	5.6678	7.1622	
200.	120.23	1.0608	0.8854	504.70	2201.6	2706.3	1.5301	5.5967	7.1268	
220.	123.27	1.0636	0.8098	517.62	2193.0	2710.6	1.5623	5.5322	7.0945	
240.	126.09	1.0663	0.7465	529.64	2184.9	2714.5	1.5919	5.4728	7.0657	
260.	128.73	1.0688	0.6925	540.87	2177.3	2718.2	1.6208	5.4180	7.0389	
280.	131.20	1.0712	0.6460	551.44	2170.1	2721.5	1.6471	5.3668	7.0140	
300.	133.54	1.0735	0.6056	561.43	2163.2	2724.7	1.6716	5.3193	6.9908	
320.	135.75	1.0757	0.5700	570.90	2156.7	2727.6	1.6948	5.2745	6.9693	
340.	137.86	1.0779	0.5385	579.92	2150.4	2730.3	1.7168	5.2321	6.9489	
360.	139.86	1.0799	0.5103	588.53	2144.4	2732.8	1.7376	5.1921	6.9297	
380.	141.78	1.0819	0.4851	596.77	2138.6	2735.3	1.7574	5.1542	6.9116	
400.	143.62	1.0839	0.4622	604.67	2133.0	2737.8	1.7764	5.1179	6.8943	
420.	145.39	1.0858	0.4415	612.27	2127.5	2739.8	1.7945	5.0834	6.8778	
440.	147.09	1.0876	0.4228	619.60	2122.1	2741.9	1.8120	5.0503	6.8623	
460.	148.73	1.0894	0.4053	626.67	2117.2	2743.9	1.8287	5.0186	6.8473	
480.	150.31	1.0911	0.3896	633.50	2112.2	2745.7	1.8448	4.9882	6.8330	
500.	151.84	1.0928	0.3747	640.12	2107.4	2747.5	1.8604	4.9588	6.8192	
520.	153.33	1.0945	0.3611	646.53	2102.7	2749.3	1.8754	4.9305	6.8059	
540.	154.76	1.0961	0.3485	652.76	2098.1	2750.9	1.8899	4.9033	6.7932	
560.	156.16	1.0977	0.3367	658.81	2093.7	2752.5	1.9040	4.8769	6.7809	
580.	157.52	1.0993	0.3257	664.69	2089.3	2754.0	1.9176	4.8516	6.7690	
600.	158.84	1.1009	0.3155	670.42	2085.0	2755.5	1.9308	4.8267	6.7575	
620.	160.12	1.1024	0.3059	676.01	2080.8	2756.9	1.9437	4.8027	6.7464	
640.	161.38	1.1039	0.2968	681.46	2076.8	2758.2	1.9562	4.7795	6.7357	
660.	162.60	1.1053	0.2883	686.78	2072.7	2759.5	1.9684	4.7568	6.7252	
680.	163.79	1.1068	0.2803	691.98	2068.8	2760.8	1.9802	4.7348	6.7150	

Yukarıda C_p kJ/kmolK, $\theta = \frac{T(\text{Kelvin})}{100}$ cinsinden ifade edilmiştir.

Özgül ısıları kJ/kmolK cinsinden kJ/kgK ve kJ/Sm³K durumuna geçmek için aşağıdaki tablodan yararlanılır.

	C_{pCO_2}	C_{pN_2}	C_{pO_2}	C_{pH_2O}
kJ/kgK	C_{p1}/mCO_2	C_{p2}/mN_2	C_{p3}/mO_2	C_{p4}/mH_2O
kJ/Sm ³ K	$C_{p1}/VmCO_2$	C_{p2}/VmN_2	C_{p3}/VmO_2	C_{p4}/VmH_2O

2.8.1.1. Herhangi Sıcaklıkta Ortalama Özgül Isı ve Entalpi Değeri

Sırası ile hacimsel ve kütleli ortalama özgül ısılar:

$$* \quad C_{pvo} = Y_{CO_2} \cdot C_{pCO_2} + Y_{N_2} \cdot C_{pN_2} + Y_{O_2} \cdot C_{pO_2} + Y_{H_2O} \cdot C_{pH_2O}$$

$$* \quad C_{pmo} = X_{CO_2} \cdot C_{pCO_2} + X_{N_2} \cdot C_{pN_2} + X_{O_2} \cdot C_{pO_2} + X_{H_2O} \cdot C_{pH_2O}$$

$$h_2 - h_1 = \int_{T_1}^{T_2} C_p \cdot dT$$

$$h_2 - h_1 = C_{pmo} \cdot (T_2 - T_1)$$

başlangıç değerleri

$$h_1 = 0, T_1 = 273 \text{ K alırsak}$$

herhangi sıcaklıkta entalpi değeri

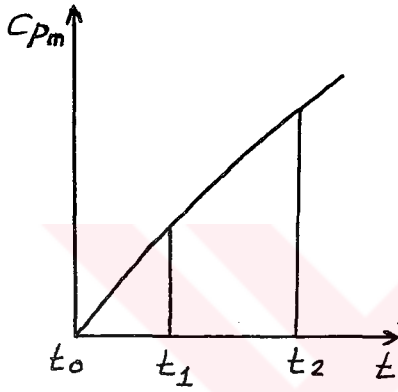
$$* \quad h_2 = C_{pmo} \cdot T_2 \quad \text{şeklinde.}$$

* Özgül ısı ve entalpi değerleri tablolar halinde ekler kısmında verilmiştir.

2.8.2. Belli İki Sıcaklık Arasındaki Ortalama Özgül Isı ve Entalpi Değerleri

Ortalama değerler yöntemine göre

$$C_{p0} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} C_{pm} \cdot dt}{t_2 - t_1}$$



Yukarıdaki denklemde integral θ (teta) cinsinden ifade edilmelidir.

$$* \quad C_{p0} = \frac{\int_{\theta_1}^{\theta_2} C_{pm} \cdot d\theta}{t_2 - t_1} \cdot 100$$

$$h_o \text{ [kj/kg]} = C_{p0} \cdot (t_2 - t_1)$$

2.9. Bilgisayarla Çıkarılan Değerler .

Daha evvelki konularda doğal gazın bileşimi, yakıtın alt, üst ısıl değerleri ve yoğunluk formülleri, ayrıca yanma ile ilgili formüller verilmiştir. İşlemlerin kolaylığı açısından bunlar bilgisayar ile yapılmıştır.

* integralin çözümü ekte verilmiştir.

Metan(%)=? 97.736
Etan(%)=? 0.288
Propan(%)=? 0.1
Butan(%)=? 0.042
Pentan(%)=? 0.016
Azot(%)=? 0.792
CO2(%)=? 0.023
Lamda=? 1.2

TAM YANMA		YARI YANMA	
Ovmin [Sm3 O2/Sm3 Y]	1.976537	VCO [Sm3 CO/Sm3 Y]	.9904151
Lvmin [Sm3 Hava/Sm3 Y]	9.412082	VO2 [Sm3 O2/Sm3 Y]	.4949854
VCO2 [Sm3 H2O/Sm3 Y]	.9844504	VH2O [Sm3 H2O/Sm3 Y]	1.974019
VH2O [Sm3 H2O/Sm3 Y]	1.974019	VN2 [Sm3 N2/Sm3 Y]	7.443465
VN2 [Sm3 N2/Sm3 Y]	7.443465	Vymin [Sm3 dg/Sm3 Y]	10.90312
VMIN [Sm3 dg/Sm3 Y]	10.40193	Vymink [Sm3 kdg/Sm3 Y]	8.929096
Vmink [Sm3 dg/Sm3 Y]	8.427916	Qmax [%]	11.092
Kmax [%]	11.6781	O [%]	5.543511
Ogmin [kg O2/kg Y]	3.928437	MCO [kg CO/kg Y]	1.722328
Lgmin [kg Hava/kg Y]	16.86749	MO2 [kg O2/kg Y]	.9838008
MCO2 [kg CO2/kg N2]	2.706759	MH2O [kg H2O/kg Y]	2.207901
MH2O [kg H2O/kg Y]	2.207901	MN2 [kg N2/kg Y]	12.95287
MN2 [kg N2/kg Y]	12.95287	Mymin [kg dg/kg Y]	17.86753
Vmmin [kg dg/kg Y]	17.86753		

GAZLARIN GERCEK DEGERLERI

VgCO2 [Sm3 dg/Sm3 Y]= .9844504 ;[%] 8.013857
VgN2 [Sm3 dg/Sm3 y] = 8.930576 ;[%] 72.6988
VgO2 [Sm3 dg]Sm3 Y] = .3953076 ;[%] 3.217977
VgH2O [Sm3 dg/Sm3 Y] = 1.974019 ;[%] 16.06938
Vg [Sm3 dg/Sm3 Y] = 12.28435

MgCO2 [kg dg/kg Y] = 2.706759
MgN2[kg dg/kg Y] = 15.54068
MgH2O [kgdg/kg Y] = 2.207901
MgO2 [kg dg/kg Y] = .7856876
Mg [kg dg/kg Y] = 21.24103

YAKITIN ISIL DEGERLERI ve YOGUNLUGU

Ho [kcal/Sm3]= 8887.881
Hu [kcal/Sm3]= 8002.408
Roy [kg/Sm3]= .6816346

3. Yanmanın Kontrolu

3.1. Amaç

Bütün yanma olaylarında, yanma ürünlerinin analiz edilmesi ile yanmanın iyi veya kötü olduğu hakkında bir fikir elde edilebilir. Bu şekilde yanmanın hangi hava fazlalık katsayısında yapıldığı duman gazları içinde CO , H ve $CxHy$ gibi yanmamış ürünlerin bulunup bulunmadığı incelenebilir. Böylece hem hava kirliliği açısından, hem de yakacak ekonomisi açısından sistem kontrol altına alınır. Gaz analiz cihazları, fiziksel ve kimyasal prensiplere dayanan yöntemler olmak üzere iki ana grupta toplanabilir. Sürekli ölçmelerde genellikle fiziksel esaslı cihazlar kullanılırken zaman zaman yapılan ölçümlerde kimyasal esaslı "Orsat" cihazı kullanılır.

Duman gazı analizi sonunda, çoğunlukla yanma ürünlerindeki CO_2 , O_2 ve CO ölçülür. Özellikle O_2 miktarı yanma olayının karakterini belirler. Bu bileşenin gereğinden fazla olması, yüksek hava fazlalık katsayısı ile çalışıldığını gösterir; gereksiz yere yanma reaksiyonuna iştirak etmeyen fazla hava ısıtılıp bacadan dışarı atılır. Diğer taraftan yanma ürünleri içinde yanmamış gaz ve CO bulunması, yanmanın tam olmadığını gösterir. Yanmanın tam olmaması ısı kaybı artırdığından ve dizayn edilen sistemin yeterli hava fazlalığında çalıştırılmasını sağlamak açısından, yanma kontrolu önem kazanır.

Yakacak analizi bilindiğinde ve bu yakacağın sonunda elde edilen yanma ürünlerinin analizinden yararlanarak hava fazlalık katsayısının bulunması için çeşitli grafik ve analitik yöntemler geliştirilmiştir. Gerçekte katı ve sıvı yakacaklar için kullanılan Oswald diagramı, belirli bir yanlışlıkla gaz yakacaklar için de kullanılabilir.

3.2. Oswald Diagramı

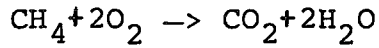
3.2.1. Açıklamalar

Oswald diagramı yanmanın kontrolü açısından önemli bir yer teşkil etmektedir. Yanma sonucunda ortaya çıkan karbondioksit ve oksijen miktarı bize yanmanın kalitesi hakkında bir fikir vermeye yeterlidir. Diagramı çizmek için, kuru duman gazlarındaki maximum karbondioksit oranı ve oksijen oranını bilmek yeterlidir. Duman gazlarının analizi fiziksel yada kimyasal olsun, hemen her zaman soğukta yapıldığından, duman gazı içindeki su buharı yoğuşmuştur. Bu yüzden ölçülen gaz bileşenleri kuru gaz hacmine göre değerlendirilirler.

Tam Yanma:

Tam yanma durumunda yakıtın içindeki Karbonun tamamının Oksijenle yanarak Karbondioksit'e dönüşmesidir.

Örnek olarak Metan'ı alırsak reaksiyon şöyle gerçekleşir.



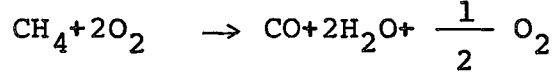
Metan'la reaksiyona giren Oksijen, gerekli minimum Oksijen miktarıdır. Bu miktar gerekli minimum hava miktarını belirlemeye yarar. Havanın %79'u Azot olduğuna göre, bu bize duman gazındaki Azot miktarını verir. O halde su buharını katmazsak, Karbondioksit ve Azot miktarları, toplam kuru duman gazını verir.

Maximum Karbondioksit Oranı:

$$K_{\max} = \frac{V_{\text{CO}_2}}{V_{\text{mink}}} \quad \text{şeklinde hesaplanır.}$$

Yarı Yanma:

Bu durumda Karbonun tamamı yine aynı miktar Oksijenle Karbonmonoksit'e dönüşür.



Yanmaya katılmamış Oksijen miktarı da baca gazı ile dışarı atılır. Duman gazları Karbonmonoksit, Oksijen ve Azot'tan oluşmaktadır.

Kuru duman gazları içindeki maximum Karbonmonoksit oranı:

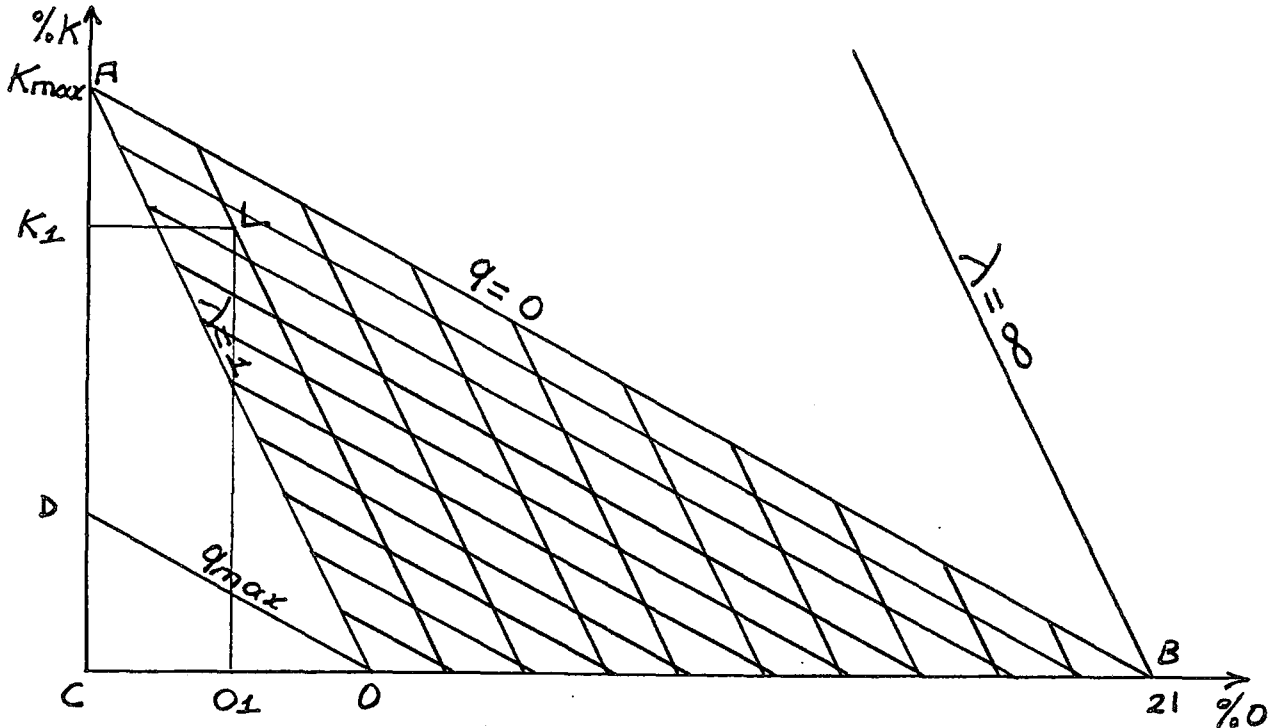
$$q_{\max} = \frac{V_{\text{CO}}}{V_{\text{mink}}}$$

Oksijen oranı:

$$O = \frac{V_{\text{O}_2}}{V_{\text{mink}}}$$

şeklinde hesaplanır.

3.2.2. Oswald Diagramının Çizimi



A noktası: Karbonun tamamı Karbondioksit'e dönüşür. Bu durum teorik yanma durumunda gerçekleşir ($\lambda=1$).

B noktası: Hava fazlalık katsayısı sonsuz. Bu durumda havanın içindeki Oksijenin hacimsel oranı olan %21 alınır. ($\lambda=\infty$)

C noktası: Karbondioksit ve Oksijen oranı sıfırdır.

O noktası: Teorik yanma durumunda Karbonun tamamı Karbonmonoksit'e dönüşür. ($\text{CO}_2 = 0$, $\lambda = 1$, $q = q_{\max}$)

AB doğrusu: Hava fazlalık katsayısı ne olursa olsun ($\lambda \geq 1$) Karbonun tamamı Karbondioksit'e dönüşür.

AO doğrusu: Teorik yanma. Fakat Karbonun tamamı Karbondioksit'e dönüşmeyebilir. Karbonmonoksit de ortaya çıkabilir.

AOC üçgeni: İçine doğru hava fazlalık katsayısı azalacağından bu durum yanmaya tamamen ters karakterde bir yanma bahis konusudur. Bu sebeple şekilde bu kısım boş bırakılmıştır.

Üçgenin Çizimi:

$K_{\max}$ ve O miktarları belli olduğuna göre üçgen ölçekli olarak çizilir. B noktasından AO doğrusuna paralel $\lambda = \infty$ doğrusu çizilir ve 10 eşit parçaya bölünür. Böylece aradaki hava fazlalık katsayıları belirlenir. AB doğrusuna paralel olarak OD doğrusu çizilir ve iki doğru arası da 10 eşit parçaya bölünerek q değerleri belirlenir.

Herhangi noktadaki değerlerin okunması:

Örnek olarak L noktasını alırsak, bu noktadan geçen λ doğrusu bize yakıtın hangi hava fazlalık katsayısı ile yakıldığını gösterir. K_1 ise bu hava fazlalık katsayısı ile yakılmış yakıtın sonucunda oluşan kuru duman gazı içindeki Karbondioksit oranını, O_1 Oksijen oranını belirtir. L noktasından geçen q doğrusu ise kuru duman gazındaki Karbonmonoksit oranını verir.

O halde bir duman gazı analizi sonucunda Karbondioksit ve Oksijen oranları biliniyorsa o yakıtın hangi hava fazlalık katsayısı ile yandığını (hava kaçaklarını dikkate alarak) ve Karbonun ne kadarının Karbonmonoksite dönüştüğü bulunabilir ve yanmanın kalitesi hakkında bir fikir sahibi olabiliriz.

III- FABRİKADA YAPILAN BACA GAZI ÖLÇÜMÜ

3.1. Ölçüm İçin Genel Bilgiler ve Amaç

Verimli bir yanma için doğru hava/yakıt oranları kullanmanın yanı sıra önemli olan diğer faktörlerde şunlardır:

- 1- Hava ve yakıtın iyice karışması,
- 2- Hava-yakıt karışımının tutuşma sıcaklığının sağlanması.
- 3- Tam yanma gerçekleşinceye kadar tutuşma sıcaklığının sağlanması.

Görüldüğü gibi zaman, sıcaklık ve karışma faktörleri de doğru yakıt-hava oranı kadar yanma verimliliğinde etkilidir. Genelde hiçbir zaman istenildiği gibi tam bir yakıt-hava ayarı sağlanamaz. Ayrıca, tam yanma için gerekli sıcaklığı, gerekli süre sağlamakla mümkün değildir. Dolayısı ile baca gazlarında yanmamış ürünlere rastlanabilir. Bu üç faktörün yanısıra yanmamış ürünlerin oluşmasına etken, başka faktörlerde vardır. Hava ayarını fazla tutmakla yanmamış gazların kalması önlenemez, fakat bu seferde havanın içindeki Azot, gereksiz yere ısıtılmış olacaktır. Yanma prosesi için iyileştirme bütün bu faktörlerin bir arada düzenlenmesini gerektirir.

Gaz yakıtların havayla karışımını sağlamak kolaydır, fakat fuel-oil kullanıldığında sıvı olduğu için iyi bir karışım sağlamak güçtür. Yaklaşık olarak doğal gaz yakıtı, bir tesisin baca gazında 100 ppm CO bulunurken, katı yakıtların yakılması ile 500 ppm elde edilir.

Kontrol mühendisliği açısından yakma havasının miktarını belirlemek için CO veya bir başka yanabilir gazı referans almak doğru değildir. Yalnızca CO'ı gözlemekle, her CO görüldüğünde fazla hava miktarını arttırmak yoluna gidilir. Oysa, atomizasyonun kötülüğü veya brülörlerin kirli olmasında baca

gazında CO görülmesine neden olur. Böyle bir durumda fazla hava miktarını arttırmak verimi daha da düşürür. Kontrolün etkin olabilmesi için yakıtın bileşimindeki çok büyük oynamalar için bile hava ayarında çok az ve hassas değişiklikler yapmak gerekir. Genellikle kazanlarda yapılan testler sonucunda kullanılan yakıt için optimum yakıt-hava ayarı bulunabilir. Bu testlerle şunlar belirlenebilir:

- 1- Kazan buhar kapasitesi.
- 2- Hava miktarı
- 3- Baca gazındaki O_2 yüzdesi
- 4- Baca gazındaki yanabilir gazların yüzdesi (Genellikle CO yüzdesi yeterli olmakla beraber bazı durumlarda Hidrojen yüzdesini de bilmek gerekir.)

Yakıtın ısııl değeri, brülör ayarı ve baca gazı sıcaklığı hakkında da bilgi toplamak gerekir. Genellikle yeni kazanlarda, baca gazındaki CO miktarı 200 ppm, O_2 miktarı 10.000 ppm ve fazla hava miktarı %5 olarak bulunur. Fakat test şartlarında elde edilen bu değerlerin sabit kalması hiçbir zaman mümkün olmaz. Bu şartlar sürekli sağlanabildiği taktirde, Oksijen yüzdesi veya yanabilir payların yüzdesini ölçen aletlere gerek kalmaz. Oysa, genellikle zamanla, brülör memeleri kirlenir, akışmetreler hassasiyetini kaybeder hava ısıtıcıları kaçak yapar ve ideal test şartlarından gittikçe uzaklaşılır. Dolayısı ile kazanlardan sorumlu mühendislerin her zaman ideal şartları sağlayabilmeleri için değişen şartlara göre sürekli ölçüm yapabilen aletlere ihtiyaç vardır.

- Yakma havası

Havanın bileşenleri aşağıdaki tabloda verilmiştir:

	<u>Hacim %</u>
Azot (N_2)	<u>78.03</u>
Oksijen (O_2)	20.99
Argon (Ar)	0.93
Karbondioksit (CO_2)	0.03
Hidrojen (H_2)	0.01
Toplam	100.00

Bu yüzdeler kuru hava için geçerlidir. Normalde mevsim ve bölgelere göre değişen nem miktarları bu yüzdeleri değiştirirler. Ayrıca havanın içinde az da olsa Neon, Helyum, Kripton, Xenon ve Ozon (O_3) bulunur.

Az miktarda, Hidrokarbonlar, Hidrojen peroksit, Kükürt, Kloridler, Sülfürik Asit ve toz vardır. Bu toz miktarı, temiz deniz havasındaki 250 parçacık / cm^2 den, tozlu bir havada 2.000.000 parçacık/ cm^2 ye kadar değişiklikler gösterir. En temiz günde bile hidrojen miktarı 200 ppm'e kadar çıkar.

- Hava kaçakları

Genellikle kazanlar atmosferik basınçlara yakın basınçlarda çalışırlar. Fakat yanma gazları kazandan geçtikçe basınç kaybederler. Çekiş fanına girişte içeriye hava sızmaları başlar. Bu noktada sıcaklık, tutuşma sıcaklığının altına düşer. Bu durumda havayla içeri giren Oksijen'i de ölçerek belkide düşük hava ile çamışmakta olan kazan için fazla havayla çalışıyor yorumunu yapmak olasıdır. Bu durumda baca gazında hem Oksijen fazlası, hem de yanmamış gazlar görülür. Havanın bileşiminde Karbonmonoksit de bulunabilir. Bu durumda Karbonmonoksit ölçümüne dayalı bir kontrol sistemi fazla hava miktarını gerektirecektir. Eğer içeri sızan havada CO yoksa, bu defa baca gazlarındaki Karbonmonoksit oranı değeri düşük görünecek ve kontrol sistemi yanma havasının miktarını azaltacaktır.

Görüldüğü gibi Oksijen ve Karbonmonoksit ölçümüne dayalı kontrol sistemi tek başına kazan kontrolü için yeterli değildir. Kazana en yakın yerde ölçüm yapıldığı ve sıcaklığın 760°C civarında olduğu yerlerde Oksijen ölçülebildiğinde, Karbonmonoksit ve Hidrojen için tutuşma noktasının henüz altında olduğundan daha sağlıklı sonuçlar alabilmek mümkündür.

-Yanma kalitesi

Yalnızca Karbonmonoksit veya yanıcı gazların miktarının bilinmesi yanmanın kalitesi hakkında fikir veremez. Sadece baca paylarındaki yanmamış gazların miktarını belirlemeye yarar. Gerekli ölçümler yapılmadığında tüm gazların yanabilmesi için genellikle çok fazla hava kullanılması gerekir.

Yanmanın kalitesini belirlemek için en doğrusu fazla havanın oksijenini belirlemektir. Fakat Zirkonyum Oksitli problarla yapılan ölçümlerde sadece net Oksijen belirleyebilmek mümkündür. Bu şekilde yanmamış gazlarla birlikte görülen Oksijeni ayırabilmeye imkan yoktur. Her ne kadar yanma kontrol sistemiyle ekonomik bir yanmayı sağlamak mümkünse de brülör memelerinin kirli veya ayarsız olması karşısında kontrol sistemi hiçbir önlem alamaz.

Yüksek sıcaklıklar için geliştirilmiş Zirkonyum Oksit Prob'lu analizörler ile 1520°C ye kadar olan sıcaklıklarda ölçüm yapılabilir. Bu tip analizörler çelik, cam, alüminyum endüstrisindeki fırınlarda kullanılır. Normal bir Zirkonyum Oksitli prob $700-800^{\circ}\text{C}$ 'a kadar kullanılabilir.

- Sonuçta

Yanma iyileşmesi sağlamak amacı ile, baca gazındaki Oksijen veya yanmamış gazların miktarını belirlemek için, yıllardır kullanılan ölçüm aletlerinde Zirkonyum Oksitli problemlerin kullanılmasına başlanmıştır. Böylece net Oksijen ölçülmesinde, daha doğru ve güvenilir sonuçlar alınmaya başlanmıştır.

Aynı şekilde baca gazındaki çok az miktardaki Karbonmonoksit'in bile infrared analizle ölçülebilmeye başlanması yanma kontrolünde önemli gelişmelerin olmasına katkıda bulunmuştur.

Sabit şartlarda net Oksijen kontrolü kazana sürekli bir ideal yakıt-hava ayarı sağlayacaktır. Yalnızca Karbonmonoksit kontrolü ise sürekli olarak bir miktar yanmamış gazların dışarı atılmasına sebep olacaktır. Brülör memesi kirlendiğinde veya karışım iyi olmadığında Karbonmonoksitle kontrol yanıltıcı olup fazla hava miktarının artmasına ve yanma verimliliğinin düşmesine neden olacaktır.

En iyi kontrol sistemi tek bir sinyal olarak herhangi bir yakıt-hava oranında gerekli ayarı sürekli sağlayabilecek yapıda olmalıdır. Bunun yanı sıra kazan operatörü için kazanın ve brülörün bakımı konusunda ek bilgi sağlanmalıdır.

3.2. MSI 2000 P Gaz Analiz Cihazının Tanıtımı

TİP:030

Portatif taşınabilen cihaz aşağıdaki ölçüm ve analizleri yapabilmektedir:

- Gaz ve oda sıcaklığı $^{\circ}\text{C}$ olarak
- Oksijen (O_2) miktarını % olarak
- Karbonmonoksit (CO) miktarını ppm olarak
- Karbondioksit (CO_2) miktarını ppm olarak
- Yanma verimi % cinsinden
- Hava fazlalık katsayısını (λ) hesap ediyor.

Baca dumanı gaz analiz tabancası ile emilmekte ve aynı anda termo elemanı ucu gaz sıcaklığını ölçmektedir.

Tabancaya bağlı hortumdan geçen duman kondensat ayırır-

cıdaki kaba filtreden geçer ve ordan da ince filtreden süzülerek cihaza girer. Gaz, elektronik ayarlı pompa ile ölçekli olarak duman analiz odasına iletilir. Buradaki duman eşit miktarda, elektronik olarak ölçülür ve analiz edilir.

MSI 2000 P Gaz Analiz Cihazının Ölçme ve Analiz Aralıkları:

a- Ölçülenler

	Ölçü aralığı
O ₂ Oksijen	2-20.9 %
CO Karbonmonoksit	0-4000 ppm
SO ₂ Kükürtdioksit	0-4000 ppm
NOx Azot Oksit	0-1000 ppm
T-Gaz Gaz sıcaklığı	0-1200 °C
T-Air Yakma havası sıcaklığı	0-100 °C

b- Hesap edilenler

- Karbondioksit % Oksijen miktarına göre hesap eder.
- Yanma verimi (EFF.) 0-99.9 %
- Hava fazlalık katsayısı (Exc.Air) 1-0

Ön filtre:

Kondensat ayırıcı içinde takılı ön filtre ile gazdaki pislikler filtre edilmektedir.

Cihaz ile analiz yapılan yakıt tipleri:

- Biogaz (%62 Metan)
- Likit gaz (Propan)
- Likit gaz (Bütan)
- Hava gazı

- Doğal gaz
- Linyit
- Kömür

3.3. Fabrikada Yapılan Ölçümlerin Sonuçları

Fabrikadaki kazan ve fırınlarda doğal gaz yakılmaktadır. 5 ayrı kazan ve fırınların yapılan duman gazı analizi şöyledir:

	Kazan 1	Kazan 2	Fırın 1	Fırın 2	Fırın 3
T-Air (°C)	29	30	32	28	30
T-Gas (°C)	149	133	191	258	178
CO ₂ (%)	9.3	9.6	5.9	6.9	1.8
O ₂ (%)	4.6	4.2	10.6	8.9	17.8
CO (ppm)	1	164	13	0	36
NO _x (ppm)	49	31	34	55	22
SO ₂ (ppm)	0	0	0	0	0
EFF. (%)	94.6	95.6	88.8	86.1	65.7
EXC.Air	1.28	1.25	2.02	1.74	6.74

3.4. Ölçüm Değerlendirmesi

Ölçümün sonucunda duman gazında Kükürtdioksit miktarının sıfır olması, doğal gazın içinde Kükürt bileşiğinin bulunmamasından ileri gelmektedir. En önemli hava kirleticisi olan NO_x bileşikleri A.B.D.'de 1982 standartlarına göre; 75-150

ppm NO_x olarak belirlenmiştir. O halde doğal gazın yanması sonucunda bu miktarların altında bir NO_x miktarı elde edildiğine göre, doğal gazın hava kirliliğine neden olmaması çevre kirliliği açısından bir avantaj sağlar.

Yanmanın kontrolü için duman gazındaki CO miktarını hacimsel oran olarak ifade etmeliyiz;

Cihazın kullanma talimatından alınan verilere göre:

Karbonmonoksit için 1 ppm = 1,25 mg/Nm³

O halde 1 ppm = % 1.25.10⁻⁴ kg/Nm³

Nm³, 1,01325 bar, 0°C için geçerlidir. Sm³ (1,01325 bar, 15°C) şartlarına geçmek için 2.2.7 deki mükemmel gaz denklemini uygularsak:

1 ppm = % 1.18489.10⁻⁴ kg/Sm³ olur.

Karbonmonoksitin yoğunluğu:

$$\rho_{CO} = \frac{m_{CO}}{V_{mCO}} = \frac{28.011}{23.6308} = 1,1853 \text{ kg/Sm}^3$$

1 ppm = %0.999.10⁻⁴ Sm³CO/Sm³dg

Yapılan ölçümlerdeki maximum Karbonmonoksit miktarı olan 164 ppm'i hacimsel orana dönüştürelim:

$$V_{CO} = \% 0.01639 \text{ Sm}^3/\text{Sm}^3$$

$$q = \% 0.01639$$

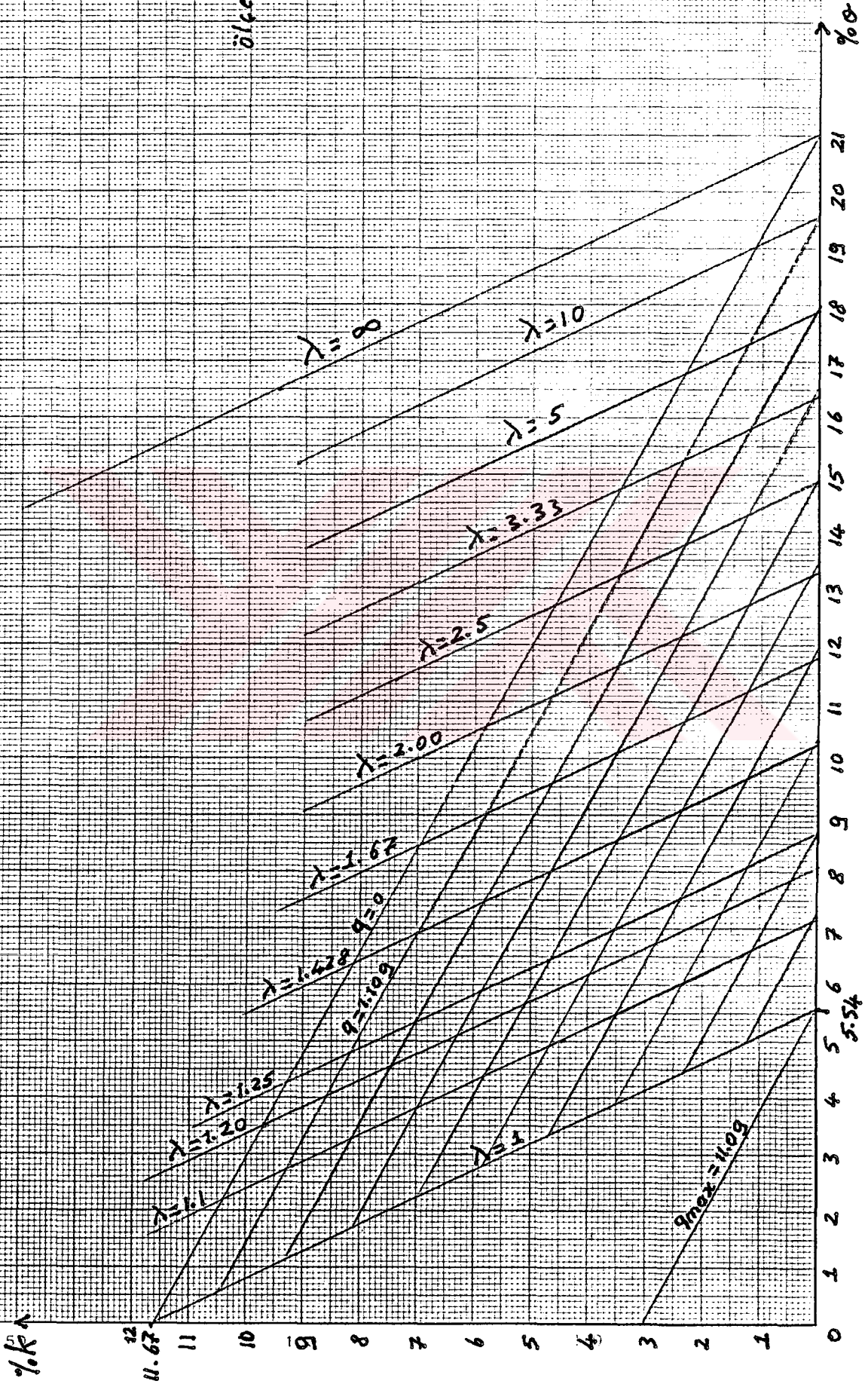
Bu durumu doğal gaz için çizilen Oswald diagramında incelersek, $\lambda = 1.2$ ile yanma sonucunda ortaya çıkan Karbonmonoksit değeri sıfıra çok yakın olduğundan yanmanın mükemmel olduğu söylenebilir.

Hava fazlalık katsayısı kazanlarda 1.2 ile yakılmakta, fakat ölçüm değerleri bunun üzerinde olduğu görülmektedir. Nedeni ise ölçümün yapıldığı yerde bir miktar hava kaçakları olmasıdır. Fırın 3'te yapılan ölçümdeki hava fazlalık katsayısının 6.74 olması ölçümün yanlış yapılmış olmasından kaynaklanmaktadır.



ölçek: 1/1

DOĞAL GAZ İÇİN OSWALD DİĞERAMI



IV- GERİ KAZANMA ÖNERİLERİ

4.1. Geri Kazanma Miktarının Hesap Yöntemi

Geri kazanım miktar tablosunu meydana getirmeden önce geri kazanma miktarının hesaplanması gerekir:

- Maximum duman gazı debisi; $\dot{W}(\text{kg/h}), \dot{m}_d(\text{kg/s})$
- Ortalama duman gazı özgül ısısı; $C_{Po}(\text{kJ/kgK})$
- Sıcaklık farkı; $\Delta t(^{\circ}\text{C}, \text{K})$
- Kazan kapasitesi (Brülör gücü); $Q_x(\text{Kw})$
- Yakıtın alt ısı değeri; $H_u(\text{kJ/Sm}^3)$
- Yakıtın özgül ağırlığı; $\rho_y(\text{kg/Sm}^3)$
- Birim kg yakıt için duman gazı miktarı; $M_g(\text{kg/kg})$

$$\text{Yakıt debisi} = \frac{Q_x \cdot 3600}{H_u} \quad (\text{Sm}^3/\text{h})$$

$$\dot{W} = \frac{Q_x \cdot 3600}{H_u} \cdot \rho_y \cdot M_g$$

$$\dot{m}_d = \frac{Q_x}{H_u} \cdot \rho_y \cdot M_g$$

Geri kazanma miktarı; Q_d

$$Q_d = \dot{m}_d \cdot C_{Po} \cdot \Delta t \quad (\text{Kw})$$

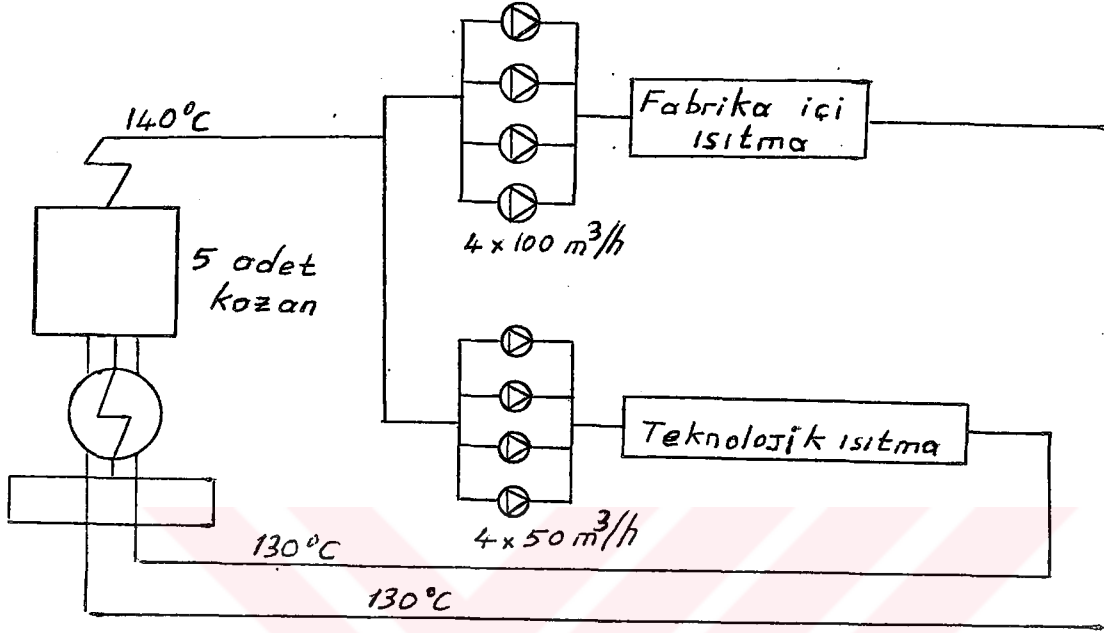
Tablo 2'de kazan ve fırınların kazan kapasitesi ve bacası gazı sıcaklığına göre geri kazanım tablosu görülmektedir. Hesaplarda duman gazının düşürüldüğü sıcaklık 140°C olarak alınmıştır. Daha fazla bilgi için 4.2. ve 4.3. bölümlerine bakınız.

Tablo. 2-

KAZAN/FIRIN	MAX BRULOR GUCU kw	BACA GAZI SICAKLIGI °C	DEBI Sm3/h	GERI KAZANIM MIKTARI kw	YANMA SURESI h/YIL	YILLIK GERI KAZANC kwh/YIL
KAZANLAR	2400	200	254	70.68843	5280	373234.9
FIRIN1	400	200	42	11.78141	5280	62205.82
FIRIN2	900	200	95	26.50816	5280	139963.1
FIRIN3	400	200	42	11.78141	5280	62205.82
FIRIN4	675	200	72	19.88112	5280	104972.3
FIRIN(5+7)	900	350	95	94.77182	3520	333596.9
FIRIN10	450	350	47	47.38592	3520	166798.4
FIRIN11	230	350	47	24.21947	3520	85252.52
FRIN9	450	200	43	13.25408	3520	46654.37
FIRIN8	410	200	24	12.07594	3520	42507.31
FIRIN12	87	200	9	2.562456	3520	9019.844
FIRIN13	380	200	40	11.19234	2640	29547.77
FIRIN14	270	200	28	7.952449	5280	41988.93
FIRIN 15;16;17	275	200	29	8.099716	5280	42766.5

4.2. Kazanlar İçin Geri Kazanım Önerileri

4.2.1. Kazanlar İçin Lay-out ve Alternatif Öneriler



Brülöre giren yakma havası sıcaklığı = 30°C

Besleme suyu sıcaklığı = 30°C

1. Alternatif

Yakma havasının ısıtılması

Brülöre giren yakma havası sıcaklığının yükseltilmesi brülörde sorun yaratmaktadır.

2. Alternatif

Besleme suyu sıcaklığının yükseltilmesi:

Besleme suyu sürekli kazana verilmiyor. Bu nedenle B.S. sıcaklığını yükseltmek verimli değil.

3. Alternatif

Kazandan 140°C 'de çıkan suyun fabrikada teknolojik ve fabrika içi ısıtmada, ısısından faydalanarak kazana 130°C 'de dönmektedir. Bu sıcaklığın duman gazlarının ısısından faydalanarak bir kaç derece yükseltilmesi mümkün olabilir.

Yukarıda açıklandığı gibi 1. ve 2. alternatifler uygun olmamakla beraber, 3. alternatife bir geri kazanım sistemi yerleştirilebilir; Kazana 130°C de dönen suyun sıcaklığını bir kaç derece arttırmayı düşünebiliriz.

4.3. Düşünülen Geri Kazanım Sistemi

Kazandan 200°C de çıkan duman gazlarını 140°C ye düşürmek sureti ile 130°C 'deki suyun sıcaklığını bir kaç derece arttırabiliriz. Buna dayanarak bir ekonomizör dizayn edilebilir. Ekonomizör kanatlı borulardan yapılırsa ısı transfer yüzey alanı artacağından, boyutlar küçülecektir.

4.3.1. Geri Kazanım Sisteminde Kullanılan Semboller

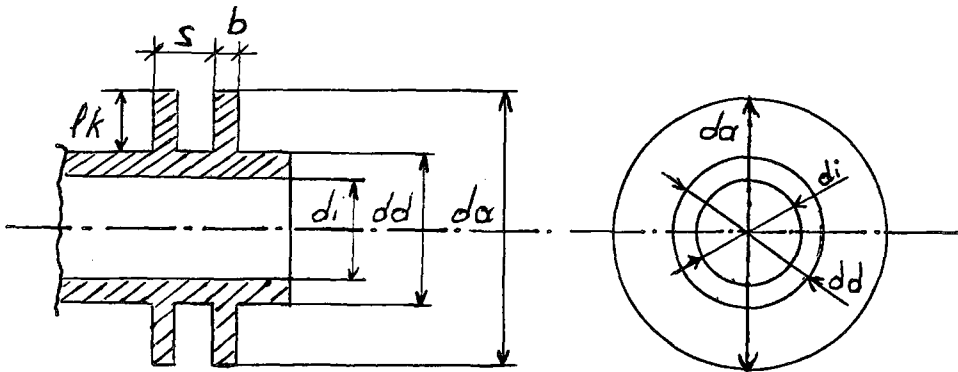
$Q_d (\text{Kw})$	: Duman gazı ısısı
$\dot{m}_d (\text{kg/s})$	: Duman gazı debisi
$CP_{mo} (\text{kJ/kg}^{\circ}\text{C})$	: Ortalama duman gazı ısınma ısısı
$\Delta t_d (^{\circ}\text{C}, \text{K})$	: Duman gazının sıcaklık farkı
$Q_s (\text{Kw})$	: Suyun ısısı
$\Delta t_{su} (^{\circ}\text{C}, \text{K})$	: Suyun sıcaklık farkı
$\dot{m}_s (\text{kg/s})$	: Su debisi
$d_a (\text{m})$	: Kanat çapı
$d_d (\text{m})$	: Dış çap
$d_i (\text{m})$	: İç çap

l_k (m)	: Kanat uzunluğu
b (m)	: Kanat Kalınlılığı
s (m)	: Hatve
λ_g (W/m ⁰ C)	: Duman gazlarının ortalama ısı iletım katsayısı
ν_g (m ² /s)	: Duman gazlarının ortalama kinematik viskozitesi
V_{max} (m/s)	: Maksimum duman gazı hızı
ρ_m (kg/m ³)	: Ortalama duman gazı yoğunluğu
Pr	: Duman gazının Prandlt sayısı
α_1 (W/m ² 0C)	: Kanatlı boru demetine dik çıkışta duman gazının film katsayısı
α_o (W/m ² 0C)	: Duman gazının ortalama film katsayısı
A_k (m ²)	: Kanat ısı transfer alanı
A_d (m ²)	: Çıplak boru ısı transfer alanı
A_t (m ²)	: Toplam ısı transfer alanı
A_x (m ² /m boru)	: Birim boy borudaki ısı transfer alanı.
ϵ_{kd}	: Dış yüzeye göre toplam kanat etkenliliği
η_k	: Kanat verimi
λ_k (W/m ⁰ C)	: Kanat malzemesinin ısı iletım katsayısı
λ_b (W/m ⁰ C)	: Boru malzemesinin ısı iletım katsayısı
m	: Kanat etkenlik sayısı
t_{dg} (0C)	: Duman gazının ekonomizöre giriş sıcaklığı
t_{da} (0C)	: Duman gazının ekonomizörden çıkış sıcaklığı
t_{sg} (0C)	: Suyun ekonomizöre giriş sıcaklığı
t_{sa} (0C)	: Suyun ekonomizörden çıkış sıcaklığı
ν_{su} (m ² /s)	: Suyun kinematik viskozitesi

V_{su} (m/s)	: Su hızı
K_d (W/m ² °C)	: Dış yüzeye göre toplam film katsayısı
n	: Boru adedi
z	: Boruların sıra sayısı
F (m ²)	: Duman gazlarının teorik olarak geçeceği alan
A_l (m ²)	: Kanatlı borunun işgal ettiği alan
V (m/s)	: Duman gazının gerçek hızı
A_o (m ²)	: Duman gazının gerçekte geçeceği alan
L_1 (m)	: Ekonomizörün uzunluğu
L_2 (m)	: Ekonomizörün ve boruların boyu
L_3 (m)	: Ekonomizörün yüksekliği
d_e (m)	: Kanatlı borunun eşdeğer çapı
ξ	: Sürtünme katsayısı
ΔP (kPa)	: Basınç kaybı

4.3.2. Sistemin Dizaynı

4.3.2.1. Kanatlı Borunun Verileri



da: 0.106 m.

dd: 0.052 m.

di: 0.048 m.

lk: 0.027 m.

b: 0.004 m.

s: 0.010 m.

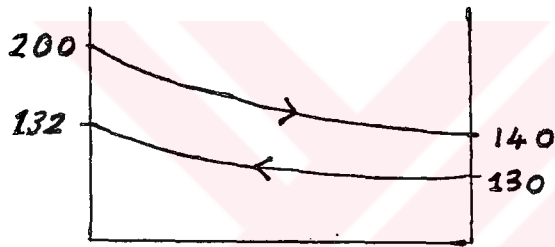
4.3.2.2. Su Debisi ve Boru Adedinin Hesabı

Duman gazının verdiği ısıya göre ve suyun sıcaklık artışına bağlı olarak su debisine bağlı olarak gerekli boru adedini tayin etmek gerekir.

$$Q_d = \dot{m}_d \cdot C_{Po} \cdot \Delta t$$

$$Q_d = 70.688 \text{ Kw (4.1 kısmına ve Tablo 2'ye bakınız.)}$$

Duman gazının verdiği ısı ile suyun sıcaklığını 130°C den 132°C çıkarmak istiyoruz.



$$Q_d = Q_s$$

$$Q_d = \dot{m}_s \cdot C_{Psu} \cdot \Delta t_{su}$$

$$\dot{m}_s = \frac{Q_d}{C_{Psu} \cdot \Delta t_{su}}$$

$$\dot{m}_s = \frac{70.688}{4.258 \cdot (132 - 130)}$$

$$\dot{m}_s = 8.300 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_s = F \cdot V_{su} \cdot \rho_{su} \cdot n$$

SU BUHARININ KISMI BASINCI [kPa]= 16.2823
Tablodan P1 [kPa] basincini giriniz=16
Tablodan T1 [°C] sıcaklığını giriniz=55.341
Tablodan P2 [kPa] basincini giriniz=18
Tablodan T2 [°C] sıcaklığını giriniz=57.826
Duman gazinin cig noktası sıcaklığı [°C]= 55.69176

Minimum duman gazı sıcaklığını giriniz [°C]? 140
1. Maximum duman gazı sıcaklığı= 200
2. Maximum duman gazı sıcaklığı= 350
1. Duman gazı ortalama özgül ısı C_{Po} [kJ/kgdg K]= 1.135956
2. Duman gazı ortalama özgül ısı C_{Po} [kJ/kgdg K]= 1.160361
1. Özgül entalpi h_o [kJ/kg]= 68.15737
2. Özgül entalpi h_o [kJ/kg]= 243.6759

$V_{su} = 1.22 \text{ m/s}$ kabul edildi.

$$n = \frac{\dot{m}s}{F.V_{su}.\rho_{su}}$$

$$n = \frac{\dot{m}s}{\frac{\pi \cdot d_i^2}{4} \cdot V_{su} \cdot \rho_{su}}$$

$$n = \frac{8.300}{\frac{\pi \cdot 0,048^2}{4} \cdot 1,22 \cdot 933,67} = 4,02$$

$n \approx 4$ kabul

Görüldüğü gibi suyun sıcaklığını 2°C artırmak için ancak 4 adet boru kullanılabilmektedir. O halde bu boru adetlerini ancak sıra sayısı (z) olarak kabul edip bir ekonomizör dizayn edebiliriz.

4.3.2.3. Film Katsayılarının Hesabı

1- Duman gazı tarafındaki film katsayısı, α_o

Duman gazı dairesel kanatlı üçgen dizili boru demetine dik yönde akmaktadır. Başlangıçta duman gazı hızını ve boru boyunu kabul etmek gerekir.

$V_{max} = 11.8 \text{ m/s}$ kabul edildi.

$$\alpha_1 = 0,251 \frac{\lambda g}{s^{0,35}} \cdot Pr^{0,35} \left(\frac{dd}{s}\right)^{-0,54} \cdot \left(\frac{1k}{s}\right)^{-0,14} \cdot \left(\frac{V_{max}}{v_g}\right)^{0,65}$$

$$t_{or} = \frac{t_{dg} + t_{da}}{2} = \frac{200 + 140}{2}$$

$$t_{or} = 170^{\circ}\text{C}$$

Duman gazının 170°C deki özellikleri

$$\rho_m = 0.7653 \text{ kg/m}^3$$

$$C_{pmo} = 1.1359 \text{ kJ/kgK}$$

$$v_g = 0.2731 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\lambda_g = 0.0331 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$$

$$Pr = \frac{\rho_m \cdot C_{pmo} \cdot v_g}{\lambda_g} = \frac{0.7653 \cdot 1.1359 \cdot 0.2731 \cdot 10^{-4}}{0.0331 \cdot 10^{-3}}$$

$$Pr = 0.7173$$

$$\alpha_1 = 0.251 \cdot \frac{0.0331}{0.010^{0.35}} \cdot 0.7173^{0.35} \cdot \left(\frac{52}{10}\right)^{-0.54} \cdot \left(\frac{27}{10}\right)^{-0.14} \cdot \left(\frac{11.8}{0.2731 \cdot 10^{-4}}\right)^{0.65}$$

$$\alpha_1 = 60.96 \text{ W/m}^2\text{C}$$

$$A_k = \frac{\pi}{2} (d_a^2 - d_d^2) + \pi \cdot d_a \cdot b$$

$$= \frac{\pi}{2} \cdot (0.106^2 - 0.052^2) + \pi \cdot 0.106 \cdot 0.004$$

$$A_k = 0.014734 \text{ m}^2$$

$$A_d = \pi \cdot d_d \cdot (s - b)$$

$$= \pi \cdot 0.052 \cdot (0.020 - 0.004)$$

$$A_d = 0.98 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_t = A_k + A_d$$

$$A_t = 0.01571 \text{ m}^2$$

$$L_2 = 0,856 \text{ m kabul}$$

$$A_x = A_t \cdot \frac{L_2}{s}$$

$$= 0.01571 \cdot \frac{0.856}{0.01}$$

$$A_x = 1,34513 \text{ m}^2/\text{m boru}$$

$$m = \sqrt{\frac{2 \cdot \alpha_1}{b \cdot \lambda_k}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 60.96}{0.004 \cdot 20}}$$

$$m = 38.82$$

$$\eta_k = \frac{\tanh(m \cdot l_k)}{m \cdot l_k}$$

$$\eta_k = 0.7432$$

$$\epsilon_{kd} = \frac{A_k \cdot \eta_k + A_d}{A_t}$$

$$= \frac{0,014734 \cdot 0,7432 + 0,98 \cdot 10^{-3}}{0,01571}$$

$$\epsilon_{kd} = 0,7592$$

$$\alpha_o = \epsilon k d . \alpha_1$$

$$= 0,7592 . 60,96$$

$$\alpha_o = 46,28 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

2- Su tarafındaki film katsayısı; α_i

$$t_{or} = \frac{t_{sg} + t_{sa}}{2} = \frac{130 + 132}{2}$$

$$t_{or} = 131^{\circ}\text{C}$$



131[°]C daki suyun özellikleri

$$\mu_{su} = 2.108.10^{-4} \text{ kg/ms}$$

$$C_{psu} = 4.258 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$$

$$\rho_{su} = 933.67 \text{ kg/m}^3$$

$$\lambda_{su} = 0.685 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$$

$$\begin{aligned} Pr &= \frac{\mu_{su} \cdot C_{psu}}{\lambda_{su}} \\ &= \frac{2,108 \cdot 10^{-4} \cdot 4.258}{0,685 \cdot 10^{-3}} \end{aligned}$$

$$Pr = 1,3103$$

$$\mu_{su} = \nu_{su} \cdot \rho_{su}$$

$$\nu_{su} = \frac{\mu_{su}}{\rho_{su}}$$

Su hızı daha önce (4.3.2.2) 1,22 m/s kabul edilmiştir.

$$Re = \frac{V_{su} \cdot d_i}{\nu_{su}} = \frac{V_{su} \cdot d_i \cdot \rho_{su}}{\mu_{su}}$$

$$Re = \frac{1,22 \cdot 0,048 \cdot 933,67}{2,108 \cdot 10^{-4}}$$

$$Re = 259372.5$$

Dittus ve Boelter'e göre

$0,6 \leq Pr \leq 100$ ve $Re \geq 10^4$ için

$$\begin{aligned} Nu &= 0,023 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{0.4} \\ &= 0,023 \cdot 259372,5^{0.8} \cdot 1,31,03^{0.4} \end{aligned}$$

$$Nu = 549,31$$

$$Nu = \frac{\alpha_i \cdot d_i}{\lambda_{su}} \Rightarrow \alpha_i = \frac{\lambda_{su} \cdot Nu}{d_i}$$

$$\alpha_i = \frac{0,685.549,31}{0,048}$$

$$\alpha_i = 7839,17 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

3- Toplam film katsayısının hesabı; Kd

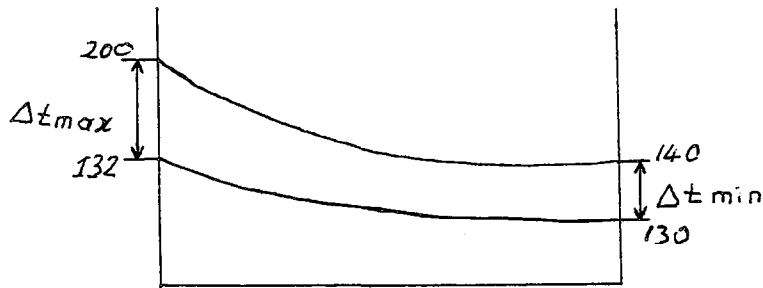
$$\frac{1}{Kd} = \frac{Ax}{A_i \cdot \alpha_i} + \frac{rd}{\lambda b} \cdot \ln\left(\frac{rd}{r_i}\right) + \frac{1}{\alpha_o}$$

$$\frac{1}{Kd} = \frac{1,3451}{0,1290 \cdot 7839} + \frac{0,052}{2,20} \ln\left(\frac{26}{24}\right) + \frac{1}{46,28}$$

$$Kd = 43.4055 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

4.3.2.4. Ortalama Logaritmik Sıcaklık Farkı

Duman gazı sıcaklığını 200°C'den 140°C ye düşürerek, su sıcaklığını 2°C arttırmak istiyoruz.



$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_{\max} - \Delta t_{\min}}{\ln \frac{\Delta t_{\max}}{\Delta t_{\min}}} = \frac{68 - 10}{\ln \frac{68}{10}}$$

$$\Delta t_m = 30,25\text{°C}$$

düzeltilme faktörü

$$\left. \begin{aligned} R &= \frac{t_{dg}-t_{da}}{t_{sa}-t_{sg}} = \frac{200-140}{132-130} = \frac{60}{2} = 30 \\ P &= \frac{t_{sa}-t_{sg}}{t_{dg}-t_{sg}} = \frac{132-130}{200-130} = \frac{2}{70} = 0,0285 \end{aligned} \right\} f = 1$$

4.3.2.5. Duman Gazının Transfer Edildiği Yüzey ve Toplam Boru Adedi; A,n

$$Q_d = K_d.A.f.\Delta t_m$$

$$A = \frac{Q_d}{K_d.f.\Delta t_m}$$

$$A = \frac{70.688.10^3}{43,405.1.30,25}$$

$$A = 53.8245 \text{ m}^2$$

$$n = \frac{A}{A_x} = \frac{53.8245}{1.3451} = 40.014$$

$n \approx 40$ adet boru

4.3.2.6. Duman Gazının Gececeği Alan ; F

Başlangıçta duman gazı hızını 11.8 m/s kabul etmiştik.
Buna göre;

$$\dot{m}d = F \cdot V_{max} \cdot \rho_m$$

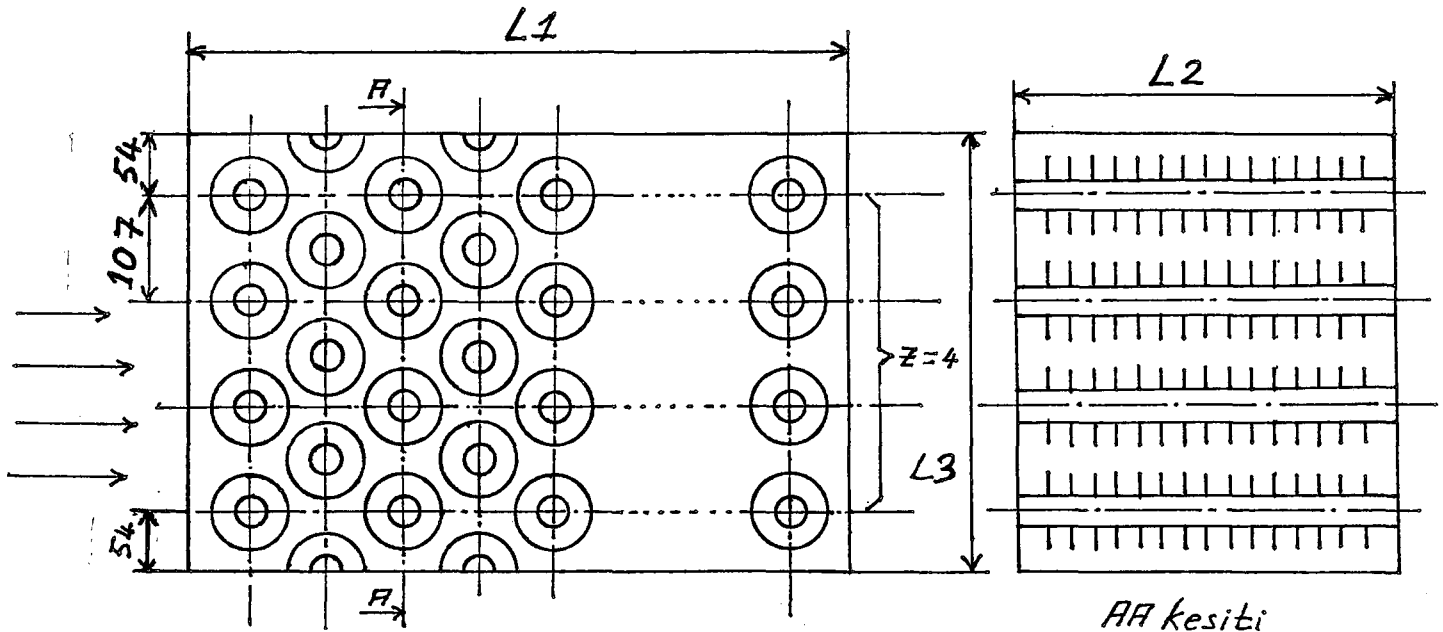
$$F = \frac{\dot{m}d}{V_{max} \cdot \rho_m}$$

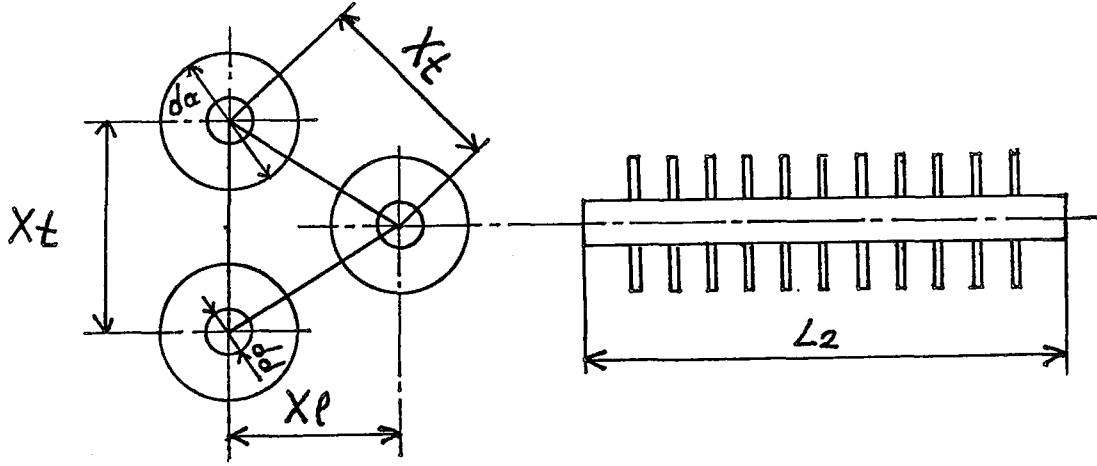
$$F = \frac{1.0371}{11,8.0,76529}$$

$$F = 0,1148 \text{ m}^2$$

4.3.2.7. Ekonomizörün Boyutları, Alan ve Hızın Kontrolü

Daha önce bulunan (4.3.2.5'te) boru adedine göre ekonomizörün boyutlarını tayin edebilir ve buna göre hız ve alan kontrolü yapabiliriz.





$$X_t = 0.107 \text{ m}$$

$$X_l = \sqrt{X_t^2 - \left(\frac{X_t}{2}\right)^2}$$

$$X_l = 0.09266 \text{ m}$$

Ekonomizörün boyutları

a- Yükseklik; L3

$$L_3 = 0.001(z+1) + z \cdot da$$

$$= 0.001(4+1) + 4 \cdot 0.106$$

$$L_3 = 0.429 \text{ m}$$

b- Uzunluk; L1

$$L_1 = X_l \left(\frac{n}{z} - 1 \right) + da + 2 \cdot 10^{-3}$$

$$= 0.09266 \left(\frac{40}{4} - 1 \right) + 0.106 + 2 \cdot 10^{-3}$$

$$L_1 = 0.9419 \text{ m}$$

c- Genişlik ; L2

L2 = 0.856 m(başlangıçta kabul edildi)

d- Kanatlı boruların işgal ettiği alan; A1

$$\begin{aligned} A1 &= (dd.L2 + lk.b.2. \frac{L2}{s}) . z \\ &= (0,052.0,856 + 0,027.0,004.2. \frac{0,856}{0,010}) . 4 \end{aligned}$$

$$A1 = 0,2520 \text{ m}^2$$

e- Duman gazının geçeceği alan; Ao

$$\begin{aligned} A_o &= L2.L3 - A1 \\ &= 0,856.0,429 - 0,2520 \end{aligned}$$

$$A_o = 0,1152 \text{ m}^2$$

f- Duman gazının hızı; V

$$\dot{m}d = A_o . V . \rho_m$$

$$V = \frac{\dot{m}d}{A_o . \rho_m}$$

$$V = \frac{1,0371}{0,1152.0,7653}$$

$$V = 11,76 \text{ m/s}$$

Başlangıçta duman gazının alanını 0,1148 m², hızını 11,8 m/s kabul etmiştik. Hata miktarı ise;

$$\text{Hata} = \frac{0,1152-0,1148}{0,1148} \cdot 100$$

$$\text{Hata} = \%0,32$$

Hata miktarı kabul edilebilir değerde olduğundan yukarıdaki boyutları alabiliriz.

4.3.2.8. Bilgisayarla Çıkarılan Ekonomizör Boyutları

Kanatlı borunun verileri bilgisayara girildikten sonra yapılan program sayesinde, bilgisayar bu verilere uygun ısı transfer yüzeyini, boru adedini, ekonomizörün boyutlarını ve hata miktarını buluyor. Bundan sonra ise film katsayılarını hesap ediyor.

Kanat capı [m]=? 0.106
Dis cap [m]=? 0.052
Iccap [m]=? 0.048
Kanat kalınlığı [m]? 0.004
Hatve [m]=? 0.01

İsi tr. yüzey alanı [m²]= 53.82452
Boru adedi= 40.01408
Duman gazinin gectigi debi [kg/s]= 1.037136
Duman gazinin gectigi alan(baslangicta) [m²]= .1148479

Xt= .107
Xl= .09266
Z= 4

Exchanger uzunlugu [m]= .94194
Exchanger yuksekligi [m]= .429
Duman gazinin gececegi alan [m²]= .1152176
Duman gazinin hizi [m/s]= 11.76214
Alan icin hata mik [%]= .3219151
Baslangictaki hiz [m/s]= 11.8
Boru boyu [m]= .8559999

GAZ TARAFI

Nu [m²/s]= 2.731341E-05
Lamda [W/mxC]= 3.310227E-02
m= 39.03983
Pr= .7173156
Yogunluk [kg/m³]= .7652979
itak .7432
Alfa1 [W/m²xC]= 60.96434
Ekd= .759218
Alfaort [W/m²xC]= 46.28522
SU TARAFI
Pr= 1.310345
Re= 259372.5
Nu= 549.3143
Su hizi [m/s]= 1.22
alfsu [W/m²xC]= 7839.173
FILM KATSAYISI
Kd [W/m²xC]= 43.4055

4.3.2.9. Basınç Kaybı; ΔP

Başlangıçta kanatlı borunun verilerine göre eşdeğer çap bulunur. Bundan sonra bu çap ve diğer verilere göre sürtünme katsayısı hesaplanır ve basınç kaybı bulunur.

$$d_e = \frac{A_d \cdot d_d + A_k \sqrt{\frac{A_k}{2 \cdot n_k}}}{A_t}$$
$$= \frac{0,98 \cdot 10^{-3} \cdot 0,052 + 0,01473 \sqrt{\frac{0,01473}{2 \cdot 1}}}{0,01571}$$

$$d_e = 0,08372 \text{ m}$$

$$Re = \frac{V_{\max} \cdot d_e}{\nu_g} = \frac{11,80 \cdot 0,08372}{0,2731 \cdot 10^{-4}}$$

$$Re = 36173,4$$

$$\xi = 1,463 \cdot Re^{-0,245} \left(\frac{X_t - d_d}{u} - 1 \right)^{0,7} \cdot \left(\frac{X_t - d_d}{d_d} \right)^{-0,9} \left(\frac{d_e}{d_d} \right)^{0,9}$$

$$= 1,463 \cdot 36173,4^{-0,245} \cdot \left(\frac{0,107 - 0,052}{0,006} - 1 \right)^{0,7} \cdot \left(\frac{0,107 - 0,052}{0,052} \right)^{-0,9} \cdot \left(\frac{0,08372}{0,052} \right)^{0,9}$$

$$\xi = 0,8273$$

$$\Delta P = \xi \cdot n \cdot \frac{V_{\max}^2}{2} \cdot \gamma \cdot 10^{-3}$$
$$= 0,8273 \cdot 40 \cdot \frac{11,8^2}{2} \cdot 0,76529 \cdot 9,81 \cdot 10^{-3}$$

$$\Delta P = 17,296 \text{ kPa}$$

V- SONUÇ

Doğal gazın yakıt olarak kullanımı diğer yakıtlara göre kül bırakmaması, kükürt bulundurmaması, yanmaya giren miktarın daha kolay denetlenmesi, çevre kirliliğini azaltması açısından bir avantaj sağlamakla beraber, duman gazı sıcaklığı fuel-oil ve kömüre nazaran daha düşük olmaktadır. Ancak birçok ülkede endüstriyel enerji tüketiminin yaklaşık %26'sı sıcak gazlar ve sıvılar şeklinde atılarak kaybolmaktadır. Bu kayıp, atık ısı geri kazanımı ile azaltılabilir. Ayrıca enerji fiyatlarındaki artış nedeni ile en uygun ve en etkili bir atık ısı geri kazanım sisteminin geliştirilmesi önem taşımaktadır.

Isı geri kazanım ekipmanlarının yapılan yatırım masraflarını geri ödeyebilmesi için belirli bir sürenin geçmesi gereklidir. Bu sürenin kısa olması ekipmanın ısı geri kazanım veriminin yüksek olması ve düzenli bir şekilde işletilmesi ile sağlanabilir.

Fabrikada yapılan analizler sonucu ve seçilen kazanıda maximum kapasitede çalışma durumunda duman gazı sıcaklığı 200°C olmakta iken pratikte bu sıcaklığın daha da altında olmaktadır. Ancak yine de bir prototip oluşturmaları için bir atık ısı geri kazanım sistemi dizayn edilmiştir. Fakat duman gazı sıcaklığının yeterli düzeyde yüksek olmaması nedeni ile kazana dönen tüm suyun sıcaklığı 1-2°C dahi artırılmıyor. Bu nedenle sistemin yerleştirilmesi ekonomik olmaktan dışarı çıkıyor.

Ancak, oluşturulan protip, yeterli ve sürekli atık ısı kaynağı mevcut olduğu, atık ısının kaynağının sıcaklığı uygun limitler arasında olduğu ve atık ısının mevcut tesiste kullanım alanı bulunduğu taktirde kullanılabilir.

VI- EKLER

6.1.1. 2.8.2. deki İntegralin Çözümü

$$\frac{X_i}{m_i} = T_i \text{ olarak kabul edildi.}$$

$$CP_{mo} = TCO_2 \cdot CP_1 + TN_2 \cdot CP_2 + TO_2 \cdot CP_3 + TH_2O \cdot CP_4$$

$$\int_{\theta_1}^{\theta_2} CP_{mo} \cdot d\theta = \int_{\theta_1}^{\theta_2} \left[-3.7357 \cdot TCO_2 + 39.06 \cdot TN_2 + 37.432 \cdot TO_2 + 143.05 \cdot TH_2O \right. \\ \left. + (30.529 \cdot TCO_2 + 82.751 \cdot TH_2O) \cdot \theta^{0.5} - (4.1034 \cdot TCO_2 \right. \\ \left. + 3.6989 \cdot TH_2O) \cdot \theta + 0.02419 \cdot TCO_2 \cdot \theta^2 - (512.79 \cdot TN_2 \right. \\ \left. + 178.57 \cdot TO_2) \cdot \theta^{-1.5} - (1072.7 \cdot TN_2 + 236.88 \cdot TO_2) \cdot \theta^{-2} \right. \\ \left. - 820.4 \cdot TN_2 \cdot \theta^{-3} + 0.020102 \cdot TO_2 \cdot \theta^{1.5} - 183.54 \cdot TH_2O \cdot \theta^{0.25} \right] d\theta$$

$$CP_{mo} = \left[(-3.7357 \cdot TCO_2 + 39.06 \cdot TN_2 + 37.432 \cdot TO_2 + 143.05 \cdot TH_2O) \theta \right. \\ \left. + (30.529 \cdot TCO_2 + 82.751 \cdot TH_2O) \frac{\theta^{1.5}}{1.5} - (4.1034 \cdot TCO_2 \right. \\ \left. + 3.6989 \cdot TH_2O) \frac{\theta^2}{2} + 0.02419 \cdot TCO_2 \cdot \frac{\theta^3}{3} - (512.79 \cdot TN_2 \right. \\ \left. + 178.57 \cdot TO_2) \frac{\theta^{-0.5}}{-0.5} - (1072.7 \cdot TN_2 + 236.88 \cdot TO_2) \frac{\theta^{-1}}{-1} \right. \\ \left. - 820.4 \cdot TN_2 \frac{\theta^{-2}}{-2} + 0.020102 \cdot TO_2 \cdot \frac{\theta^{2.5}}{2.5} \right. \\ \left. - 183.54 \cdot TH_2O \cdot \frac{\theta^{1.25}}{1.25} \right] \Big|_{\theta_1}^{\theta_2}$$

Denklemden θ yerine önce θ_2 , daha sonra θ_1 konup birbirinden çıkarılırsa denklem çözülmüş olur.

6.1.2. Lagrange Enterpolasyon Formülü

D6 diyagramını (6.2 bölümüne bakınız) çizmek için hava fazlalık katsayısına bağlı olarak çığ noktası sıcaklıkları aşağıdaki gibi belirlenmiştir. Şimdi bu noktalara göre bir polinom bulmak gerekli, bunun için Lagrange Enterpolasyon formülünü kullanıyoruz.

$\lambda(f_i)$	1	1.05	1.1	1.15	1.2	1.25
$TH_2O(x_i)$	59.2146	58.2741	57.3704	56.4976	55.6917	54.9004

$$L_i(x) = \prod_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^n \left(\frac{x-x_j}{x_i-x_j} \right)$$

$$P_n(x) = \sum_{i=0}^n L_i(x).f_i \quad \text{dir.}$$

Yukarıdaki formüllere ve noktalara göre polinomu bulalım.

$$L_0(x) = \frac{(x-1.05)(x-1.1)(x-1.15)(x-1.2)(x-1.25)}{(1-1.05)(1-1.1)(1-1.15)(1-1.2)(1-1.25)}$$

$$L_1(x) = \frac{(x-1)(x-1.1)(x-1.15)(x-1.2)(x-1.25)}{(1.05-1)(1.05-1.1)(1.05-1.15)(1.05-1.2)(1.05-1.25)}$$

$$L_2(x) = \frac{(x-1)(x-1.05)(x-1.15)(x-1.2)(x-1.25)}{(1.1-1)(1.1-1.05)(1.1-1.15)(1.1-1.2)(1.1-1.25)}$$

$$L3(x) = \frac{(x-1)(x-1.05)(x-1.1)(x-1.2)(x-1.25)}{(1.15-1)(1.15-1.05)(1.15-1.1)(1.15-1.2)(1.15-1.25)}$$

$$L4(x) = \frac{(x-1)(x-1.05)(x-1.1)(x-1.15)(x-1.25)}{(1.25-1)(1.25-1.05)(1.25-1.1)(1.25-1.15)(1.25-1.2)}$$

$$P5(x) = \sum_{i=0}^5 L_i(x) \cdot f_i$$

$$P5(x) = L_0(x) \cdot f_0 + L_1(x) \cdot f_1 + L_2(x) \cdot f_2 + L_3(x) \cdot f_3 + L_4(x) \cdot f_4 \\ + L_5(x) \cdot f_5$$

Ara işlemler yapıldıktan sonra

$$P5(x) = (x^2 - 2.45x + 1.5) \cdot (x - 1.15) \cdot (-9.10782 \cdot x^2 + 18.44x - 9.340) \\ + (x^2 - 2.05x + 1.05) \cdot (x - 1.1) \cdot (9.1045x^2 - 22.5215x + 13.9396)$$

6.2. Bilgisayarla Çıkarılan Diagramlar

Sıra ile diagramlar için kısa açıklamalar:

D1, D2 : Baca gazının ortalama entalpi değerinin 0 ile 500°C ve 60-300°C arasında değişik hava fazlalık katsayılarındaki değişimini göstermektedir.

D3, D4 : Baca gazlarının ortalama ısınma ısısının değerlerinin sıcaklığa bağlı olarak değişik hava fazlalık katsayılarındaki değişimini göstermektedir.

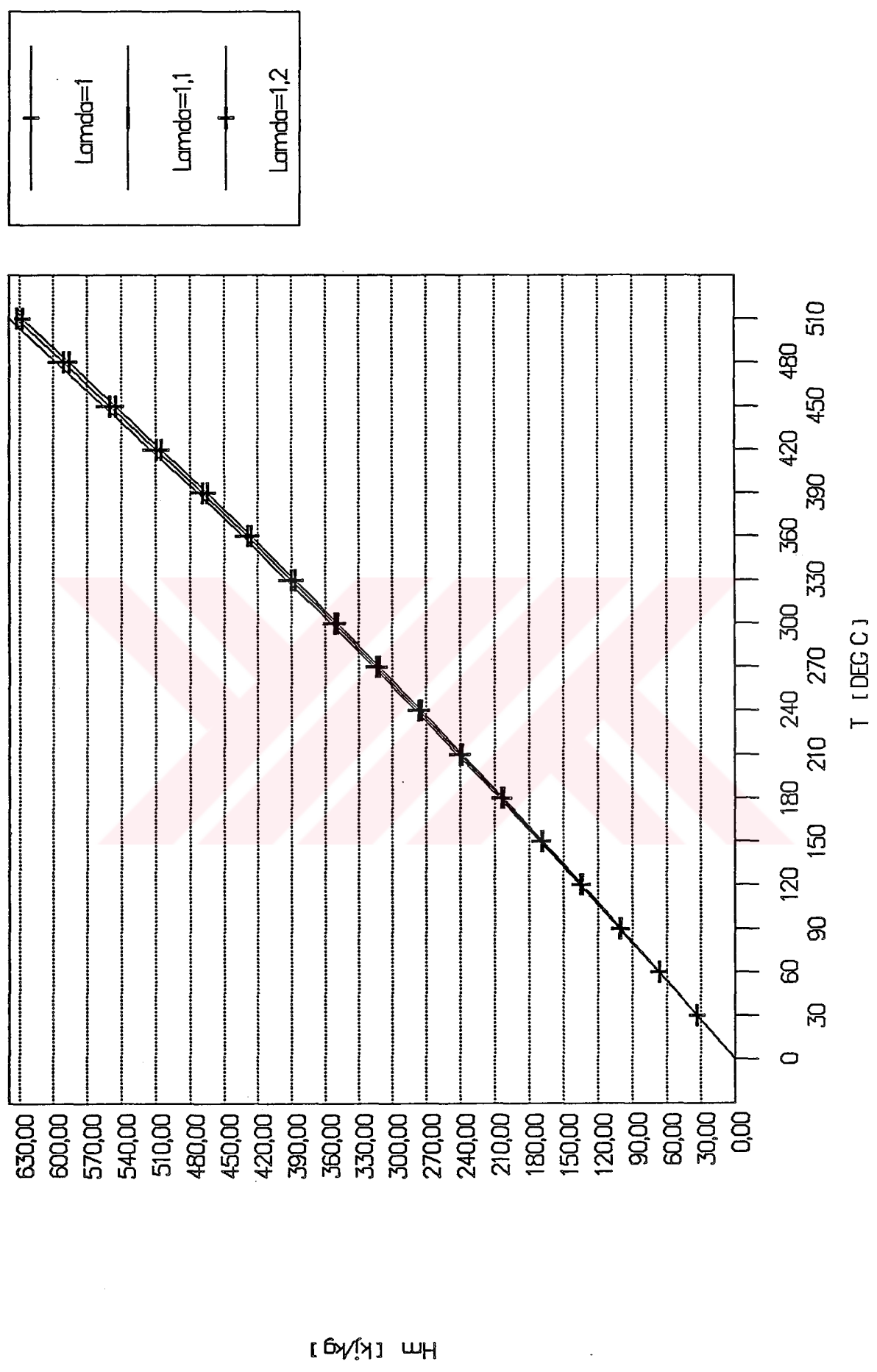
D5, D6 : Duman gazı yoğunluğunun sıcaklığın artışı ile birlikte azaldığını, bu arada hava fazlalığının bu durumu pek etkilemediği gözükmektedir. Duman gazının çiğ noktası sıcaklığının hava fazlalık katsayısı ile azaldığı gözükmektedir.

D7, D8 : Duman gazını meydana getiren komponentlerin yüzde miktarlarının hava fazlalık katsayısı ile nasıl değiştiği görülmektedir.

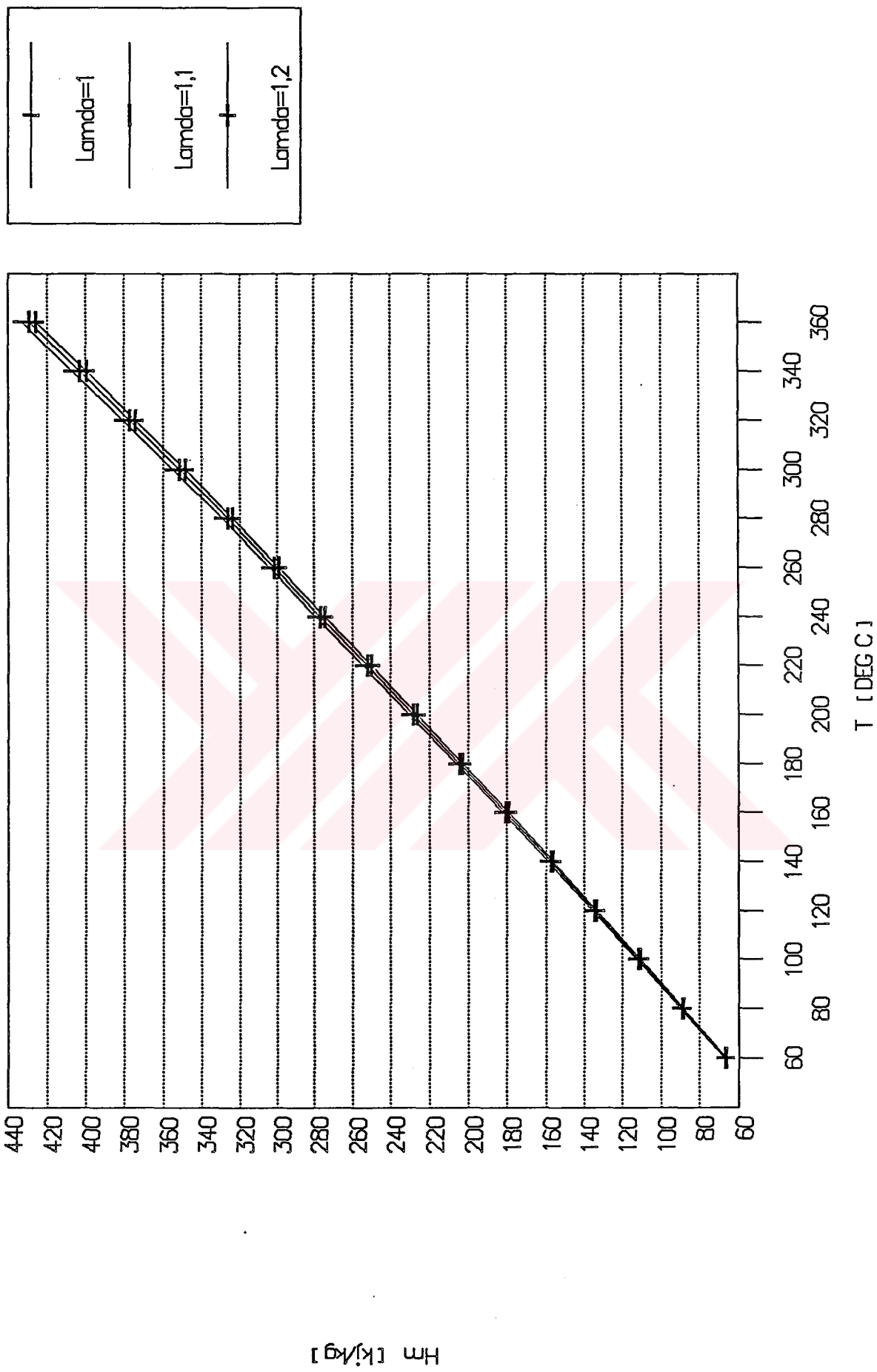
D9 : Duman gazının mol ağırlığı hava fazlalık katsayısının artması ile az bir miktar artış göstermektedir.

D10 : Özgül hava (L_g) ve özgül duman gazlarının (V_g) hava fazlalık katsayısının artışı ile doğru orantılı olarak artmaktadır.

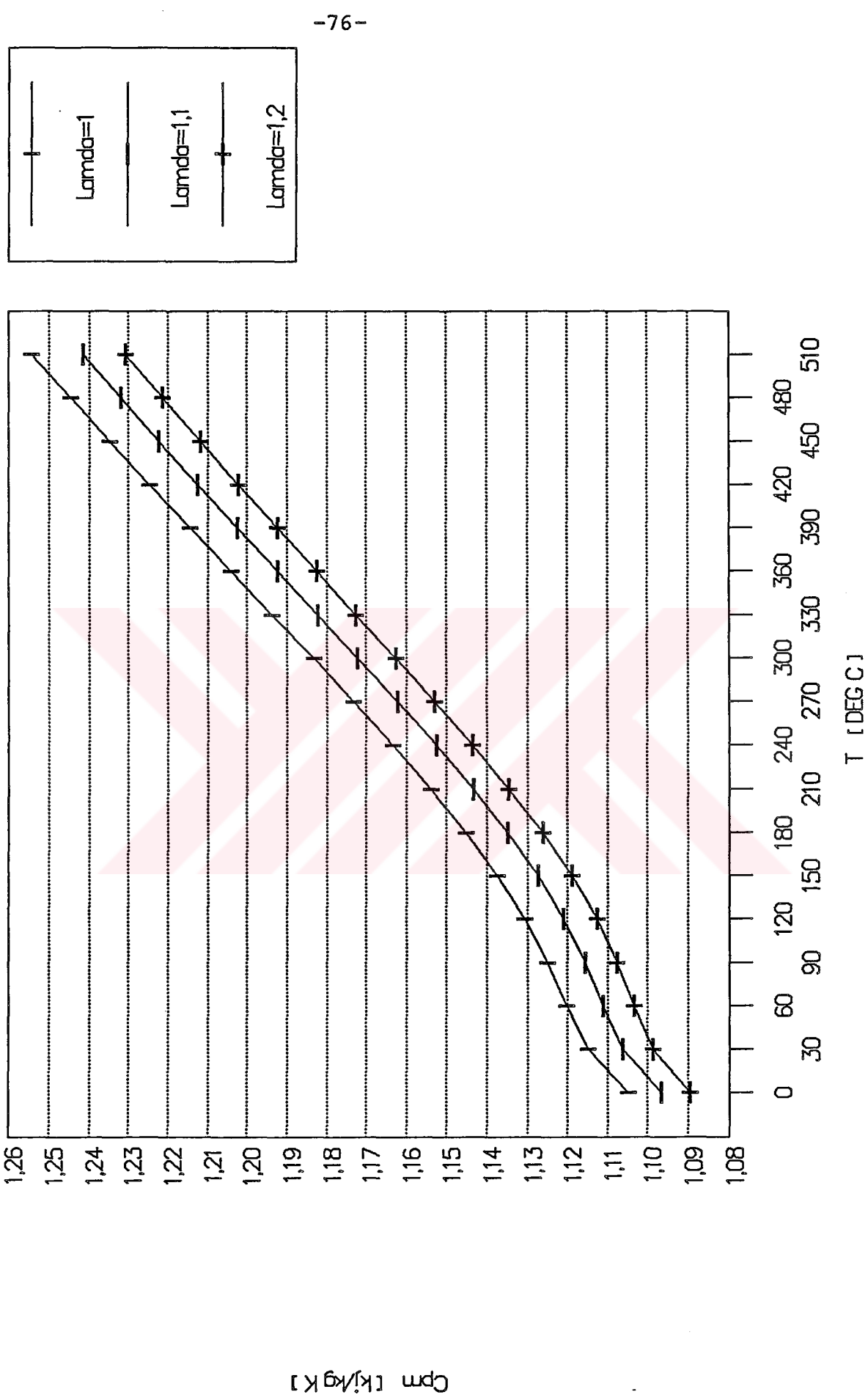
D1: BACA GAZININ H-T DIAGRAMI



D2: BACA GAZININ H-T DIAGRAMI

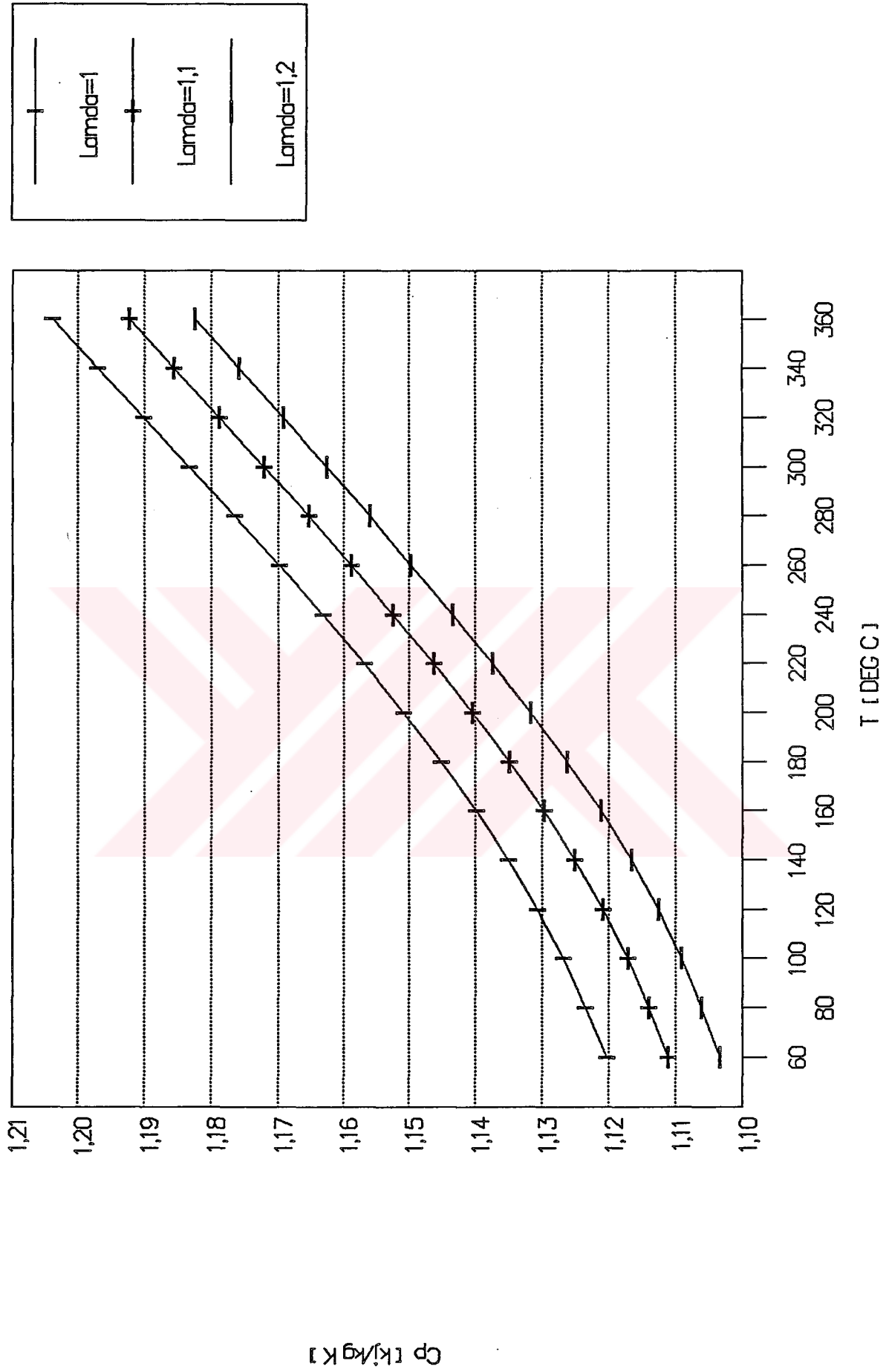


D3: BACA GAZININ Cp-T DIAGRAMI

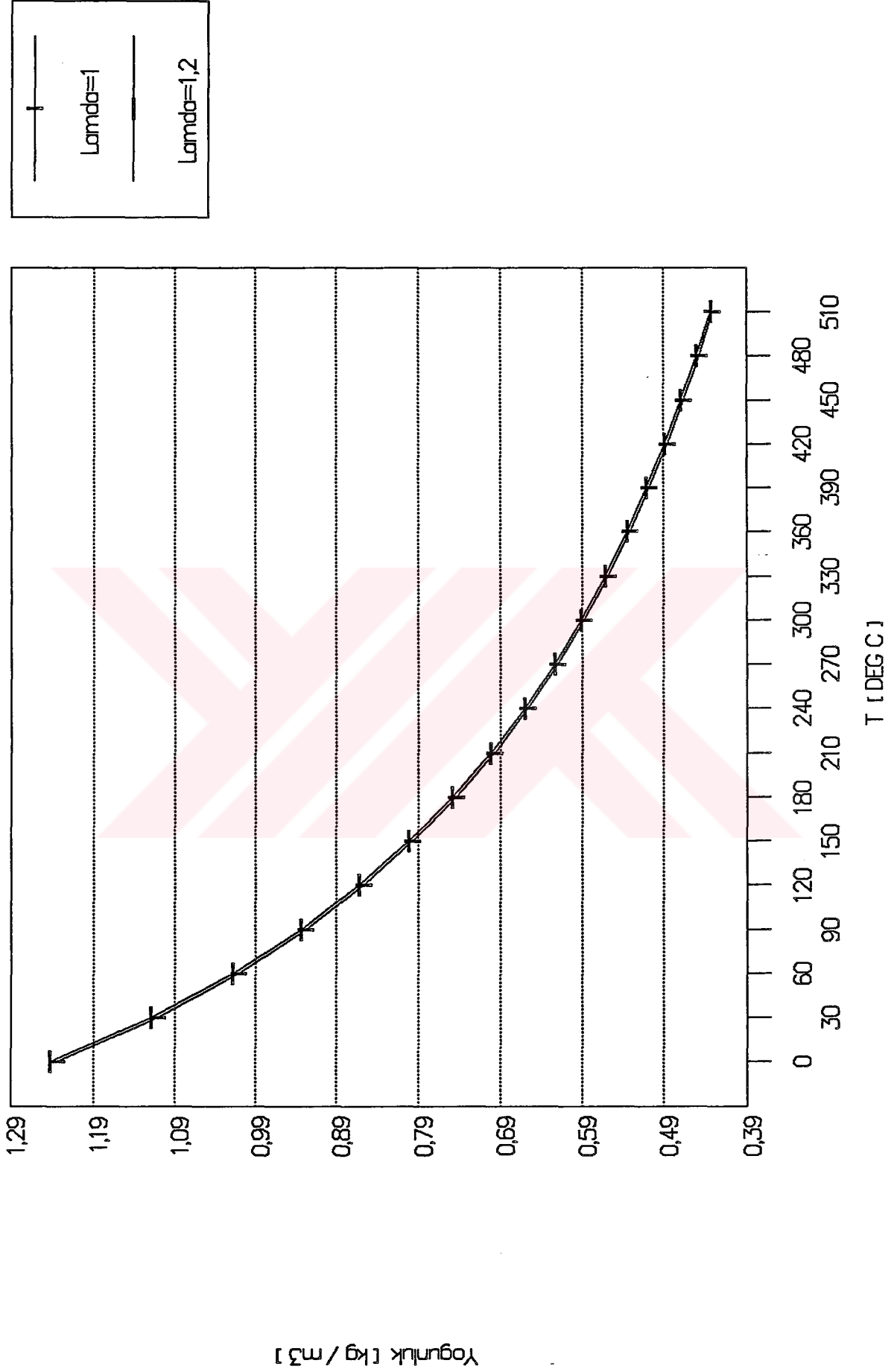


D4: BACA GAZININ Cp-T DIAGRAMI

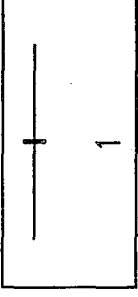
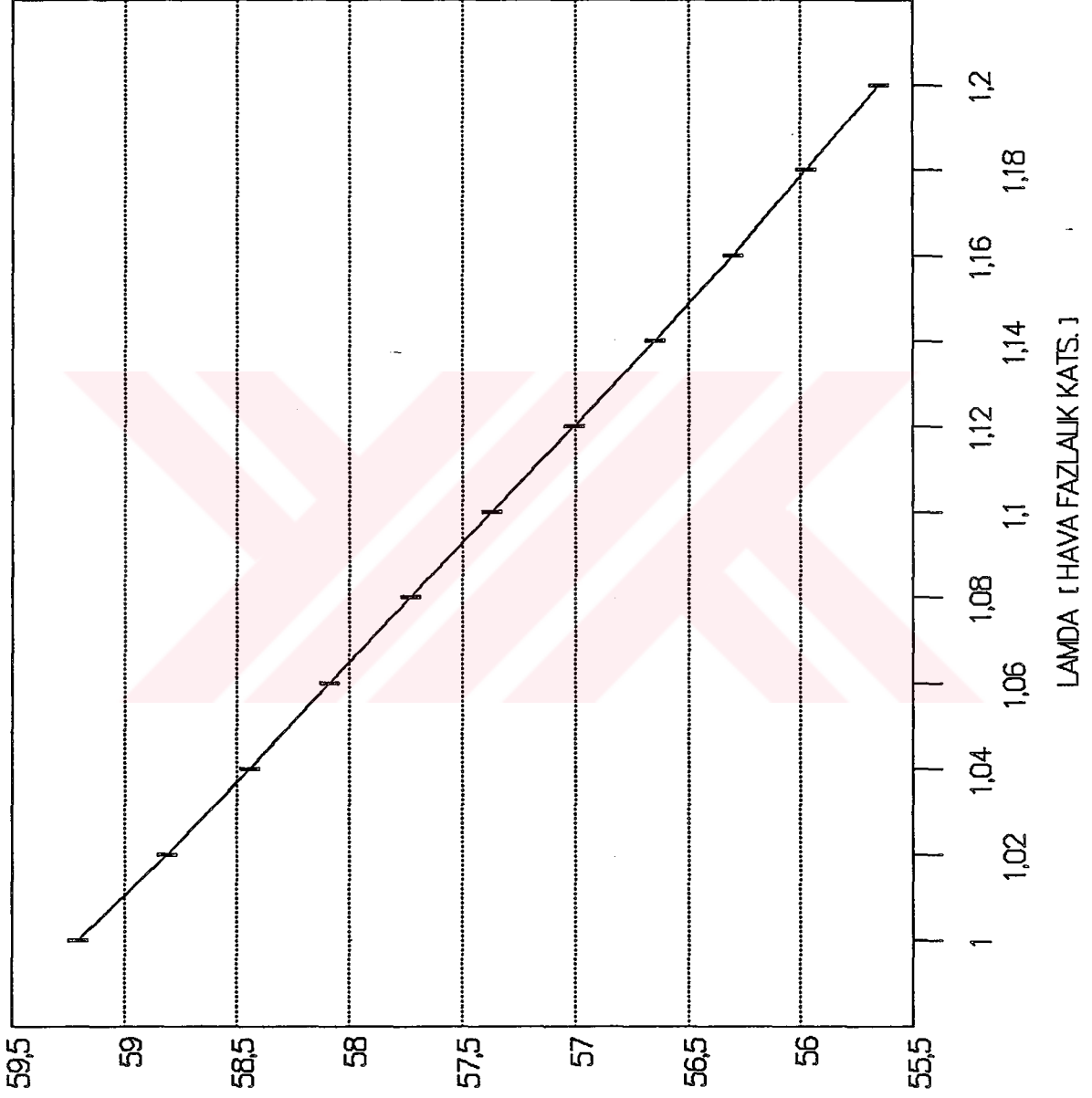
-77-



D5: Sıcaklığın duman gazının yoğunluğuna etkisi

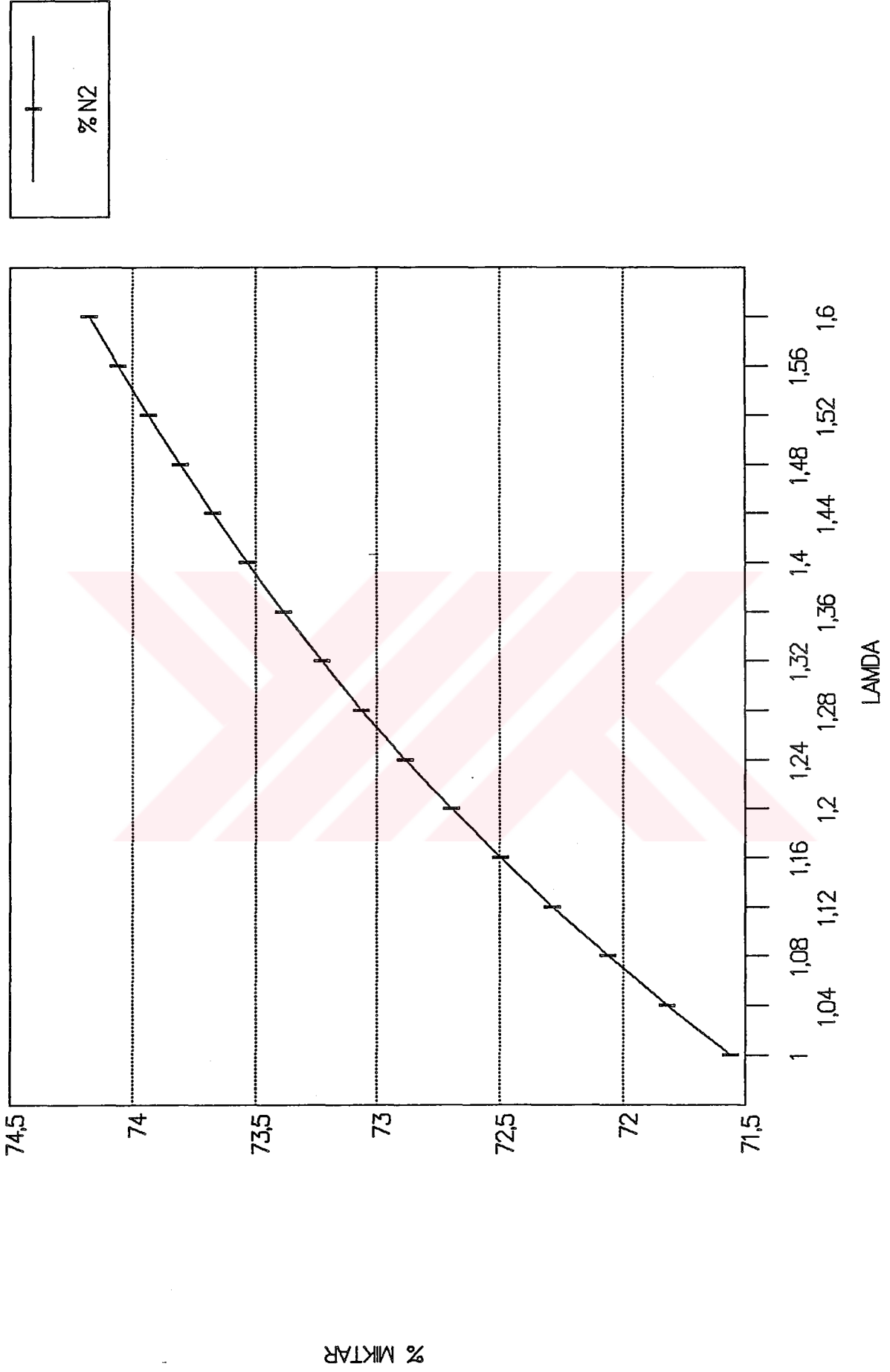


D6: Hava fazlalık katsayısına bağlı olarak çığ noktası sıcaklığının değişimi

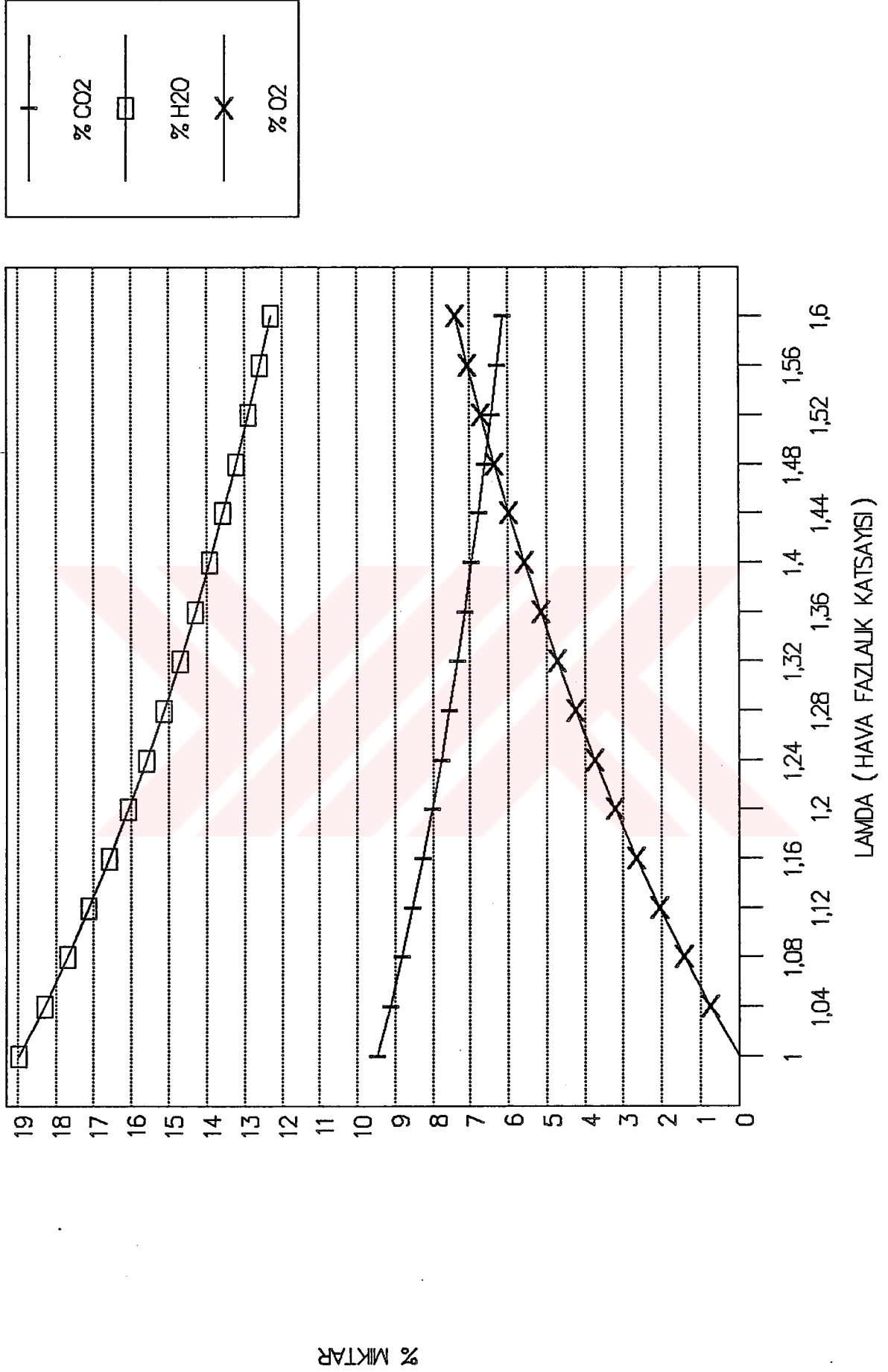


ÇIG NOKTASI SIC [DEĞ C]

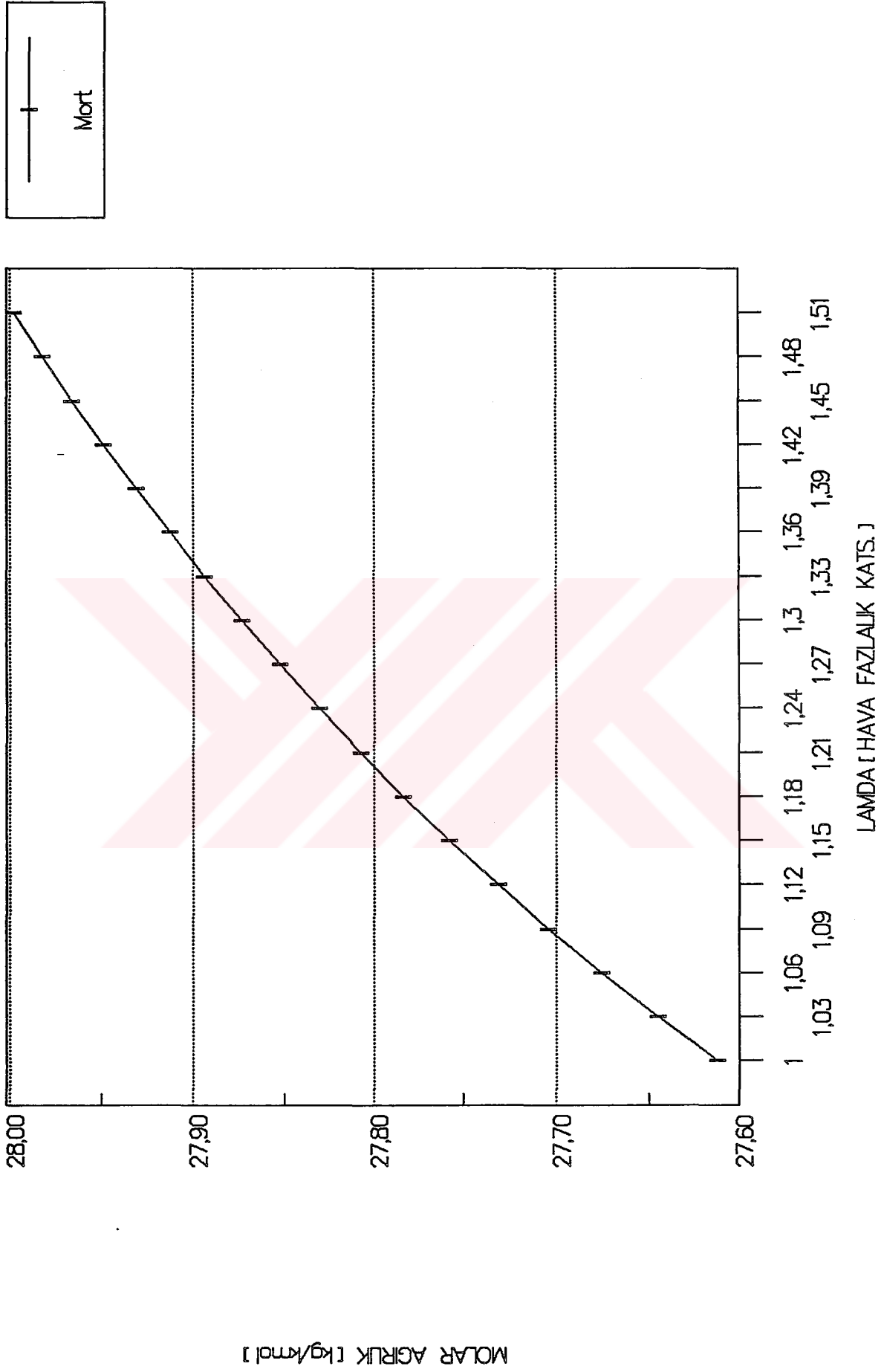
D7: Duman gazı içindeki komponentlerin değışimi



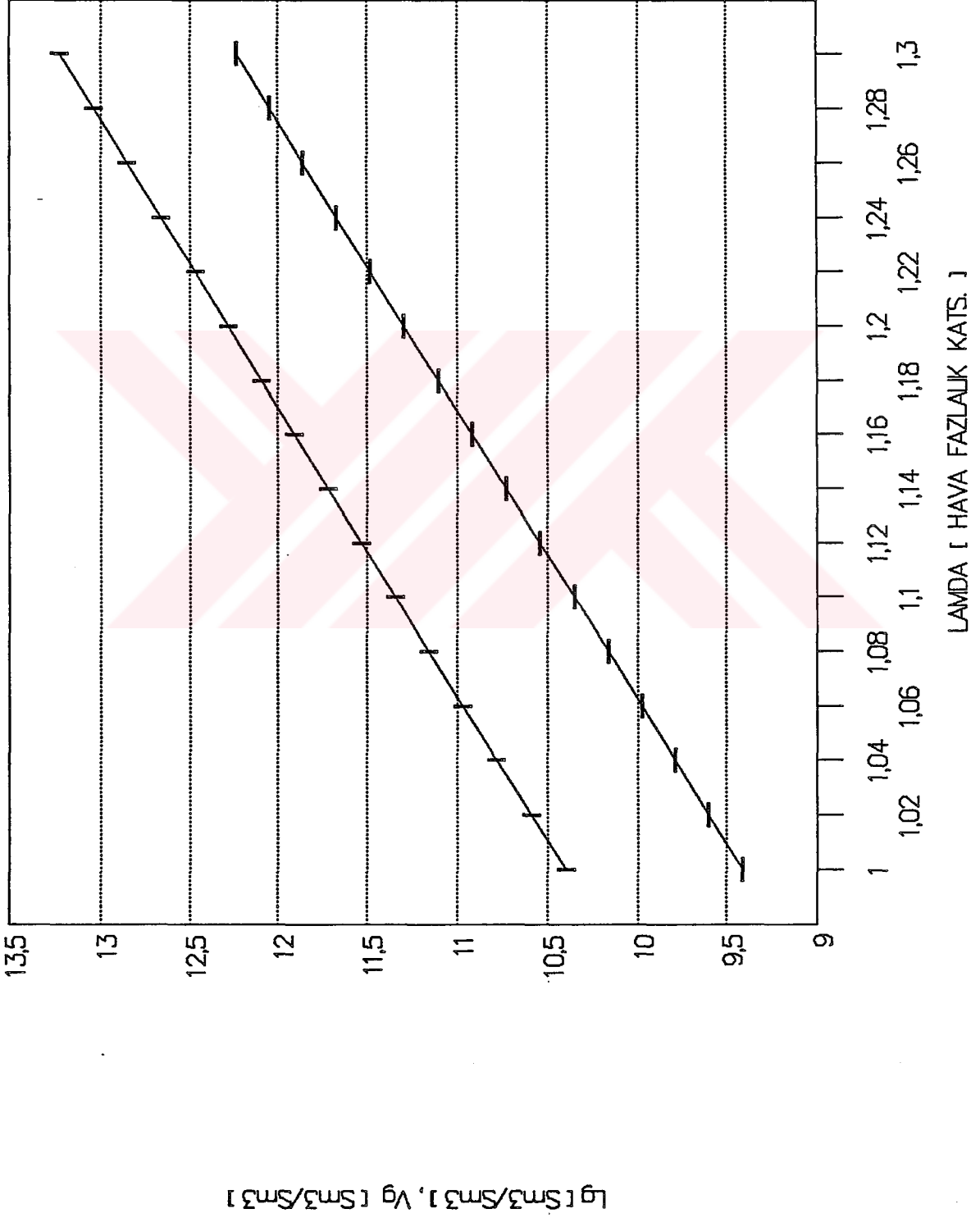
D8: Duman gazı içindeki componentlerin değişimi



D9: Duman gazının mol ağırlığının değişimi



D10: Gerekli özgül hava ve özgül duman gazının hava fazlalık katsayısına bağlı olarak değişimi



6.3. Değişik Sıcaklıklara Tekabül Eden Özgül Isı ve Entalpi
Değerlerini Veren Tablolar

T [°C]	0	10	20	30	40	50
CPN2 [kJ/Sm ³ K]	1.226616	1.231065	1.233664	1.235013	1.235549	1.235587
CPH2O [kJ/Sm ³ K]	1.428454	1.427621	1.427309	1.427471	1.428067	1.429059
CPO2 [kJ/Sm ³ K]	1.258168	1.253011	1.24981	1.248199	1.247881	1.248613
CPCO2 [kJ/Sm ³ K]	1.519591	1.541677	1.563101	1.583897	1.604098	1.623732
CPm [kJ/Sm ³ K]	1.283544	1.288249	1.291702	1.294323	1.296417	1.298202
Hm [kJ/Sm ³]	0	12.88249	25.83404	38.82969	51.8567	64.91008
CPN2 [kJ/kg K]	1.03462	1.038373	1.040565	1.041703	1.042155	1.042187
CPH2O [kJ/kg K]	1.87364	1.872548	1.872139	1.872351	1.873133	1.874434
CPO2 [kJ/kg K]	.9286931	.9248865	.922524	.9213348	.9210998	.9216402
CPCO2 [kJ/kg K]	.8108096	.8225944	.8340255	.8451218	.8559004	.8663766
CPm [kJ/kg K]	1.089639	1.093625	1.09655	1.098767	1.100538	1.102045
Hm [kJ/kg]	0	10.93626	21.93099	32.96302	44.02152	55.10225

T [°C]	60	70	80	90	100	110
CPN2 [kJ/Sm ³ K]	1.235356	1.235021	1.234697	1.234463	1.234376	1.234469
CPH2O [kJ/Sm ³ K]	1.430414	1.432103	1.434098	1.436376	1.438914	1.441691
CPO2 [kJ/Sm ³ K]	1.250199	1.252477	1.255314	1.2586	1.262247	1.266177
CPCO2 [kJ/Sm ³ K]	1.642827	1.661407	1.679496	1.697116	1.714285	1.731025
CPm [kJ/Sm ³ K]	1.299832	1.301422	1.303048	1.304762	1.3066	1.308582
Hm [kJ/Sm ³]	77.98995	91.09955	104.2439	117.4286	130.66	143.944
CPN2 [kJ/kg K]	1.041992	1.041709	1.041436	1.041239	1.041165	1.041244
CPH2O [kJ/kg K]	1.876212	1.878427	1.881044	1.884031	1.88736	1.891003
CPO2 [kJ/kg K]	.9228108	.9244921	.9265864	.9290122	.9317036	.9346049
CPCO2 [kJ/kg K]	.8765648	.8864788	.8961306	.9055318	.9146931	.9236249
CPm [kJ/kg K]	1.103422	1.104765	1.106138	1.107587	1.10914	1.110817
Hm [kJ/kg]	66.20534	77.33353	88.49106	99.68279	110.914	122.1898

T [°C]	120	130	140	150	160	170
CPN2 [kJ/Sm ³ K]	1.234763	1.235267	1.235985	1.236911	1.238042	1.239366
CPH2O [kJ/Sm K]	1.444689	1.447891	1.451283	1.454847	1.458574	1.462447
CPO2 [kJ/Sm ³ K]	1.27033	1.274653	1.279103	1.283645	1.288249	1.292889
CPCO2 [kJ/Sm ³ K]	1.747351	1.763281	1.778829	1.794011	1.80884	1.823329
CPm [kJ/Sm ³ K]	1.31072	1.313016	1.315472	1.318081	1.320839	1.323734
Hm [kJ/Sm ³]	157.2864	170.6921	184.1661	197.7122	211.3342	225.0348
CPN2 [kJ/kg K]	1.041492	1.041917	1.042522	1.043304	1.044258	1.045375
CPH2O [kJ/kg K]	1.894935	1.899135	1.903584	1.90826	1.913147	1.918228
CPO2 [kJ/kg K]	.9376701	.9408609	.9441461	.9474984	.9508966	.954322
CPCO2 [kJ/kg K]	.9323361	.9408356	.9491319	.9572326	.9651449	.9728754
CPm [kJ/kg K]	1.112626	1.114569	1.116649	1.118859	1.121195	1.123648
Hm [kJ/kg]	133.5151	144.894	156.3309	167.8288	179.3912	191.0201

T [°C]	180	190	200	210	220	230
CPN2 [kJ/Sm ³ K]	1.240873	1.24255	1.244387	1.24637	1.248487	1.250725
CPH2O [kJ/Sm K]	1.46646	1.470601	1.474858	1.479225	1.483692	1.488253
CPO2 [kJ/Sm ³ K]	1.297546	1.302202	1.306844	1.311459	1.316037	1.320572
CPCO2 [kJ/Sm ³ K]	1.837489	1.851333	1.864871	1.878114	1.891072	1.903753
CPm [kJ/Sm ³ K]	1.326759	1.329903	1.333157	1.33651	1.339952	1.343474
Hm [kJ/Sm ³]	238.8166	252.6816	266.6314	280.6672	294.7895	308.9991
CPN2 [kJ/kg K]	1.046645	1.04806	1.04961	1.051282	1.053068	1.054955
CPH2O [kJ/kg K]	1.923492	1.928923	1.934507	1.940234	1.946094	1.952076
CPO2 [kJ/kg K]	.9577594	.9611962	.9646221	.9680285	.9714081	.9747555
CPCO2 [kJ/kg K]	.9804309	.9878179	.9950414	1.002108	1.009021	1.015788
CPm [kJ/kg K]	1.126211	1.128876	1.131635	1.134477	1.137395	1.140382
Hm [kJ/kg]	202.7181	214.4865	226.3269	238.2402	250.227	262.2878

T [°C]	240	250	260	270	280	290
CPN2 [kJ/Sm ³ K]	1.253072	1.255519	1.258053	1.260667	1.26335	1.266093
CPH2O [kJ/Sm K]	1.492899	1.497627	1.502424	1.507292	1.512221	1.517205
CPO2 [kJ/Sm ³ K]	1.325056	1.329485	1.333854	1.338161	1.342403	1.346579
CPCO2 [kJ/Sm ³ K]	1.916166	1.928321	1.940224	1.951883	1.963307	1.974501
CPm [kJ/Sm ³ K]	1.347067	1.350722	1.354429	1.358185	1.361979	1.365806
Hm [kJ/Sm ³]	323.296	337.6804	352.1517	366.7099	381.3542	396.0838
CPN2 [kJ/kg K]	1.056935	1.058999	1.061137	1.063341	1.065604	1.067918
CPH2O [kJ/kg K]	1.958171	1.964371	1.970664	1.977049	1.983514	1.990051
CPO2 [kJ/kg K]	.9780654	.9813345	.9845596	.9877386	.9908697	.9939516
CPCO2 [kJ/kg K]	1.022411	1.028896	1.035247	1.041469	1.047564	1.053537
CPm [kJ/kg K]	1.143428	1.146527	1.149672	1.152857	1.156075	1.159321
Hm [kJ/kg]	274.4227	286.6318	298.9147	311.2713	323.701	336.203

T [°C]	300	310	320	330	340	350
CPN2 [kJ/Sm ³ K]	1.268889	1.27173	1.274609	1.277521	1.280459	1.283417
CPH2O [kJ/Sm K]	1.522244	1.527331	1.532461	1.537631	1.542839	1.548078
CPO2 [kJ/Sm ³ K]	1.350686	1.354724	1.358694	1.362595	1.366426	1.37019
CPCO2 [kJ/Sm ³ K]	1.985472	1.996227	2.006771	2.017112	2.027253	2.037201
CPm [kJ/Sm ³ K]	1.36966	1.373534	1.377425	1.381327	1.385235	1.389146
Hm [kJ/Sm ³]	410.8979	425.7956	440.7759	455.8378	470.9799	486.2011
CPN2 [kJ/kg K]	1.070276	1.072672	1.075101	1.077557	1.080035	1.08253
CPH2O [kJ/kg K]	1.99666	2.003333	2.010062	2.016844	2.023674	2.030547
CPO2 [kJ/kg K]	.9969832	.9999642	1.002894	1.005774	1.008602	1.01138
CPCO2 [kJ/kg K]	1.05939	1.065129	1.070755	1.076273	1.081684	1.086992
CPm [kJ/kg K]	1.162589	1.165876	1.169176	1.172486	1.175802	1.17912
Hm [kJ/kg]	348.7768	361.4216	374.1364	386.9205	399.7726	412.6919

T [°C]	360	370	380	390	400	410
CPN2 [kJ/Sm ³ K]	1.286391	1.289376	1.292369	1.295365	1.298362	1.301355
CPH2O [kJ/Sm K]	1.553347	1.558644	1.563963	1.569305	1.574665	1.580042
CPO2 [kJ/Sm ³ K]	1.373885	1.377514	1.381077	1.384574	1.388008	1.391379
CPCO2 [kJ/Sm ³ K]	2.04696	2.056536	2.065933	2.075156	2.084209	2.093097
CPm [kJ/Sm ³ K]	1.393056	1.396961	1.40086	1.404748	1.408624	1.412484
Hm [kJ/Sm ³]	501.5001	516.8757	532.3267	547.8516	563.4494	579.1185
CPN2 [kJ/kg K]	1.085039	1.087557	1.090081	1.092609	1.095136	1.09766
CPH2O [kJ/kg K]	2.037457	2.044406	2.051382	2.058389	2.065419	2.072472
CPO2 [kJ/kg K]	1.014108	1.016786	1.019416	1.021997	1.024532	1.02702
CPCO2 [kJ/kg K]	1.092199	1.097308	1.102322	1.107243	1.112074	1.116816
CPm [kJ/kg K]	1.182437	1.18575	1.189058	1.192356	1.195645	1.19892
Hm [kJ/kg]	425.6772	438.7276	451.8419	465.019	478.2579	491.5573

T [°C]	420	430	440	450	460	470
CPN2 [kJ/Sm ³ K]	1.304342	1.307321	1.310288	1.313243	1.316183	1.319106
CPH2O [kJ/Sm K]	1.585433	1.590837	1.59625	1.601672	1.6071	1.612532
CPO2 [kJ/Sm ³ K]	1.394689	1.397938	1.401128	1.404261	1.407337	1.410358
CPCO2 [kJ/Sm ³ K]	2.101822	2.110391	2.118806	2.127071	2.135188	2.143163
CPm [kJ/Sm ³ K]	1.416328	1.420153	1.423957	1.42774	1.431499	1.435233
Hm [kJ/Sm ³]	594.8576	610.6658	626.5411	642.4829	658.4893	674.5595
CPN2 [kJ/kg K]	1.10018	1.102692	1.105196	1.107688	1.110167	1.112633
CPH2O [kJ/kg K]	2.079543	2.086632	2.093732	2.100843	2.107963	2.115087
CPO2 [kJ/kg K]	1.029463	1.031862	1.034217	1.036529	1.0388	1.04103
CPCO2 [kJ/kg K]	1.121472	1.126044	1.130534	1.134943	1.139275	1.14353
CPm [kJ/kg K]	1.202181	1.205427	1.208655	1.211864	1.215054	1.218223
Hm [kJ/kg]	504.9162	518.3336	531.8083	545.339	558.9248	572.5646

T [°C]	480	490	500	510	520	530
CPN2 [kJ/Sm ³ K]	1.322012	1.324897	1.327763	1.330606	1.333427	1.336223
CPH2O [kJ/Sm K]	1.617969	1.623407	1.628846	1.634284	1.639719	1.64515
CPO2 [kJ/Sm ³ K]	1.413326	1.416241	1.419105	1.421918	1.424683	1.427401
CPCO2 [kJ/Sm ³ K]	2.150998	2.158696	2.166261	2.173695	2.181002	2.188182
CPm [kJ/Sm ³ K]	1.438943	1.442625	1.44628	1.449907	1.453506	1.457075
Hm [kJ/Sm ³]	690.6925	706.8861	723.14	739.4527	755.8231	772.2496
CPN2 [kJ/kg K]	1.115084	1.117518	1.119935	1.122333	1.124712	1.127071
CPH2O [kJ/kg K]	2.12222	2.129352	2.136486	2.143619	2.150747	2.157872
CPO2 [kJ/kg K]	1.04322	1.045371	1.047485	1.049562	1.051603	1.053609
CPCO2 [kJ/kg K]	1.147711	1.151818	1.155854	1.159821	1.16372	1.167551
CPm [kJ/kg K]	1.22137	1.224495	1.227597	1.230675	1.233728	1.236757
Hm [kJ/kg]	586.2578	600.0023	613.7983	627.6441	641.5386	655.481

T [°C]	540	550	560	570	580	590
CPN2 [kJ/Sm ³ K]	1.338996	1.341744	1.344467	1.347162	1.349832	1.352476
CPH2O [kJ/Sm K]	1.650578	1.655999	1.661415	1.666823	1.672221	1.67761
CPO2 [kJ/Sm ³ K]	1.430072	1.432698	1.435281	1.43782	1.440318	1.442776
CPCO2 [kJ/Sm ³ K]	2.195242	2.202182	2.209004	2.215712	2.222307	2.228794
CPm [kJ/Sm ³ K]	1.460615	1.464124	1.467603	1.471052	1.474469	1.477856
Hm [kJ/Sm ³]	788.7319	805.2683	821.8579	838.4994	855.1918	871.9348
CPN2 [kJ/kg K]	1.12941	1.131728	1.134024	1.136298	1.13855	1.14078
CPH2O [kJ/kg K]	2.164991	2.172102	2.179206	2.186299	2.193379	2.200448
CPO2 [kJ/kg K]	1.055581	1.057519	1.059426	1.0613	1.063144	1.064958
CPCO2 [kJ/kg K]	1.171318	1.175021	1.178661	1.18224	1.185759	1.18922
CPm [kJ/kg K]	1.239761	1.242739	1.245691	1.248617	1.251517	1.254391
Hm [kJ/kg]	669.4707	683.5063	697.587	711.712	725.8799	740.0909

6.4. Stokiyometrik, Yarı ve Gerçek Yanmada Kullanılan Formüllerin Tablolar Halinde Gösterilmesi

6.4.1. Stokiyometrik Yanmada Kullanılan Formüller

6.4.1.1. Hacimsel

$O_{vmin} = \left(\frac{2 \cdot rCH_4}{V_{mCH_4}} + \frac{7}{2} \cdot \frac{rC_2H_6}{V_{mC_2H_6}} + \frac{5 \cdot rC_3H_8}{V_{mC_3H_8}} + \frac{13}{2} \cdot \frac{rC_4H_{10}}{V_{mC_4H_{10}}} + \frac{8 \cdot rC_5H_{12}}{V_{mC_5H_{12}}} \right) \cdot V_{mO_2}$
$L_{vmin} = \frac{O_{vmin}}{0.21}$
$V_{CO_2} = \left(\frac{rCH_4}{V_{mCH_4}} + \frac{2 \cdot rC_2H_6}{V_{mC_2H_6}} + \frac{3 \cdot rC_3H_8}{V_{mC_3H_8}} + \frac{4 \cdot rC_4H_{10}}{V_{mC_4H_{10}}} + \frac{5 \cdot rC_5H_{12}}{V_{mC_5H_{12}}} \right) \cdot V_{mCO_2}$
$V_{H_2O} = \left(\frac{2 \cdot rCH_4}{V_{mCH_4}} + \frac{3 \cdot rC_2H_6}{V_{mC_2H_6}} + \frac{4 \cdot rC_3H_8}{V_{mC_3H_8}} + \frac{5 \cdot rC_4H_{10}}{V_{mC_4H_{10}}} + \frac{6 \cdot rC_5H_{12}}{V_{mC_5H_{12}}} \right) \cdot V_{mH_2O}$
$V_{N_2} = 0.79 \cdot L_{vmin} + V_{xN_2}$
$V_{mink} = V_{min} - V_{H_2O}$
$K_{max} = \frac{V_{CO_2}}{V_{mink}} \cdot 100$

6.4.1.2. Kütlesel

$$O_{gmin} = O_{vmin} \cdot \frac{\rho_{O_2}}{\rho_y}$$

$$L_{gmin} = \frac{O_{gmin}}{0.2329}$$

$$MCO_2 = VCO_2 \cdot \frac{\rho_{CO_2}}{\rho_y}$$

$$MN_2 = 0.7671 \cdot L_{gmin} + MxN_2$$

$$Mmin = MCO_2 + MH_2O + MN_2$$

6.4.2. Yarı Yanmada Kullanılan Formüller

6.4.2.1. Hacimsel

$VCO = \left(\frac{rCH_4}{VmCH_4} + \frac{2 \cdot rC_2H_6}{VmC_2H_6} + \frac{3 \cdot rC_3H_8}{VmC_3H_8} + \frac{4 \cdot rC_4H_{10}}{VmC_4H_{10}} + \frac{5 \cdot rC_5H_{12}}{VmC_5H_{12}} \right) \cdot VmCO$
$VH_2O = \left(\frac{2 \cdot rCH_4}{VmCH_4} + \frac{3 \cdot rC_2H_6}{VmC_2H_6} + \frac{4 \cdot rC_3H_8}{VmC_3H_8} + \frac{5 \cdot rC_4H_{10}}{VmC_4H_{10}} + \frac{6 \cdot rC_5H_{12}}{VmC_5H_{12}} \right) \cdot VmH_2O$
$VO_2 = \left(\frac{rCH_4}{VmCH_4} + \frac{2 \cdot rC_2H_6}{VmC_2H_6} + \frac{3 \cdot rC_3H_8}{VmC_3H_8} + \frac{4 \cdot rC_4H_{10}}{VmC_4H_{10}} + \frac{5 \cdot rC_5H_{12}}{VmC_5H_{12}} \right) \cdot \frac{VmO_2}{2}$
$VN_2 = 0.79 Lvmin + VxN_2$
$Vym_{in} = VCO + VH_2O + VO_2 + VN_2$
$Vym_{ink} = Vym_{in} - VH_2O$
$Q_{max} = \frac{VCO}{Vm_{ink}} \cdot 100$
$\theta = \frac{VO_2}{Vym_{ink}} \cdot 100$

6.4.2.2. Kütlesel

$M_{CO} = V_{CO} \cdot \frac{\rho_{CO}}{\rho_y}$
$M_{H_2O} = V_{H_2O} \cdot \frac{\rho_{H_2O}}{\rho_y}$
$M_{O_2} = V_{O_2} \cdot \frac{\rho_{O_2}}{\rho_y}$
$M_{N_2} = V_{N_2} \cdot \frac{\rho_{N_2}}{\rho_y}$
$M_{ymin} = M_{CO} + M_{H_2O} + M_{O_2} + M_{N_2}$

6.4.3. Gerçek Duman Gazı İçin Formüller

6.4.3.1. Hacimsel

$V_{gCO_2} = V_{CO_2}$
$V_{gH_2O} = V_{H_2O}$
$V_{gN_2} = 0.79 \cdot \lambda \cdot V_{ymin} + V_{xN_2}$
$V_{gO_2} = (\lambda - 1) \cdot V_{ymin}$
$V_g = V_{gCO_2} + V_{gH_2O} + V_{gO_2} + V_{gN_2}$

6.4.3.2. Kütlesel

$MgCO_2 = MCO_2$
$MgH_2O = MH_2O$
$MgN_2 = 0,7671.\lambda.Lgmin+MxN_2$
$MgO_2 = (\lambda-1).Ogmin$
$Mg = MgCO_2+MgH_2O+MgH_2O+MgN_2+MgO_2$

6.5. Bilgisayar Programı

Yapılan bilgisayar programı sayesinde şunlar hesap edilebilmektedir (Doğalgaz için):

1- Tam ve yarı yanma değerleri, Doğal gazın alt ve üst ısı değerleri, yoğunluğu

2- Değişik sıcaklıklara tekabül eden entalpi ve ısınma ısıları.

3- Duman gazının çiğ noktası sıcaklığı

4- Duman gazının gerçek yanma değerleri

5- İki sıcaklık arasındaki ortalama özgül ısı ve entalpi değerleri

6- Kazan ve fırınların geri kazanım miktarları

7- Ekonomizör dizaynı

```
1 CLS
5 CLEAR
10 REM GAZLARIN "Vm" DEGERLERI
20 VMCH4=23.5885:VMC2H6=23.3776:VMO2=23.6202:VMCO2=23.483:K01=23.6308
30 VMC3H8=K01:VMC4H10=K01:VMH2O=K01:VMCO=K01:VMN2=K01
35 REM GAZLARIN ALT VE UST ISIL DEGERLERI
36 H0CH4=37706!:H0C2H6=66060!:H0C3H8=94042!:H0C4H10=121874!:H0C5H12=149781!
37 HU1=33943!:HU2=60434!:HU3=86515!:HU4=112448!:HU5=138492!
40 REM GAZLARIN "Mg" DEGERLERI
50 MGCH4=16.043:MGC2H6=30.07:MGC3H8=44.097:MGC4H10=58.124:MGC5H12=72.151
60 MGN2=28.016:MGO2=32:MGC02=44.011:MGC0=28.011:MGH2O=18.016
65 REM GAZLARIN OZGUL AGIRLIGI
67 GAMACH4=MGCH4/VMCH4:GAMAC2H6=MGC2H6/VMC2H6:GAMAC3H8=MGC3H8/VMC3H8
68 GAMAC4H10=MGC4H10/VMC4H10:GAMAN2=MGN2/VMN2:GAMAO2=MGO2/VMO2
69 GAMAH2O=MGH2O/VMH2O:GAMACO2=MGC02/VMCO2:GAMACO=MGC0/VMCO:
   GAMAC5H12=MGC5H12/K01
70 INPUT "Metan(%)=";RCH4
80 INPUT "Etan(%)=";RC2H6
90 INPUT "Propan(%)=";RC3H8
95 INPUT "Butan(%)=";RC4H10:INPUT "Pentan[%]=";RC5H12
100 INPUT "Azot(%)=";RN2:INPUT "CO2[%]=";RCO2
110 INPUT "Lamda=";L1
120 K11=RCH4/VMCH4/100:K12=RC2H6/VMC2H6/100:K13=RC3H8/VMC3H8/100:
   K14=RC4H10/VMC4H10/100:K15=RC5H12/K01/100
125 H0=RCH4*H0CH4+RC2H6*H0C2H6+RC3H8*H0C3H8+RC4H10*H0C4H10+RC5H12*H0C5H12
126 HU=RCH4*HU1+RC2H6*HU2+RC3H8*HU3+RC4H10*HU4+RC5H12*HU5
130 GAMAY=(GAMACH4*RCH4+GAMAC2H6*RC2H6+GAMAC3H8*RC3H8+GAMAC4H10*RC4H10+GAMAC5H12
   *RC5H12+GAMAN2*RN2+GAMACO2*RCO2)/100
140 OVMIN=(2*K11+3.5*K12+5*K13+6.5*K14+8*K15)*VMO2
150 OGMIN=OVMIN*GAMAO2/GAMAY
153 CLS
154 FOR P=2 TO 80
155 LOCATE 1,P:PRINT "-"
157 LOCATE 20,P:PRINT "-"
158 NEXT P
160 REM MIN OXIJEN MIKTARI (LAMDA=1)
166 FOR J=1 TO 20
167 LOCATE J,1:PRINT "|":LOCATE J,80:PRINT ";|":LOCATE J,36:PRINT "|"
168 NEXT J
170 LOCATE 5,2:PRINT "Ovmin [Sm3 O2/Sm3 Y]"
171 LOCATE 5,25:PRINT ;OVMIN
180 LOCATE 14,2:PRINT "Ogmin [kg O2/kg Y]"
181 LOCATE 14,25:PRINT ;OGMIN
190 REM MIN HAVA MIKTARI
200 LVMIN=OVMIN/.21:LGMIN=OGMIN/.2329
210 LOCATE 6,2:PRINT "Lvmin [Sm3 Hava/Sm3 Y]"
211 LOCATE 6,25:PRINT ;LVMIN
220 LOCATE 15,2:PRINT "Lgmin [kg Hava/kg Y]"
221 LOCATE 3,8:PRINT "TAM YANMA"
222 LOCATE 15,25:PRINT ;LGMIN
230 REM DUMAN GAZLARI MIKTARI (LAMDA=1)
240 T11=K11+2*K12+3*K13+4*K14+5*K15:VCO2=T11*VMCO2
250 MCO2=VCO2*GAMACO2/GAMAY:VH2O=(2*K11+3*K12+4*K13+5*K14+6*K15)*VMH2O:
   MH2O=VH2O*GAMAH2O/GAMAY
255 TK1=(MGN2*RN2+MGCH4*RCH4+MGC3H8*RC3H8+MGC4H10*RC4H10+MGC2H6*RC2H6)/100
256 GGN2=MGN2*RN2*.01/TK1:GGCO2=MGC02*RCO2*.01/TK1
260 VN2=.79*LVMIN+RN2/100:MN2=.7671*LGMIN+GGN2
```

```
270 LOCATE 7,2:PRINT "VCO2 [Sm3 H2O/Sm3 Y]"
271 LOCATE 7,25:PRINT ;VCO2+RCO2/100
280 LOCATE 8,2:PRINT "VH2O [Sm3 H2O/Sm3 Y]"
281 LOCATE 8,25:PRINT ;VH2O
290 LOCATE 9,2:PRINT "VN2 [Sm3 N2/Sm3 Y]"
291 LOCATE 9,25:PRINT ;VN2
300 LOCATE 16,2:PRINT "MCO2 [kg CO2/kg N2]"
301 LOCATE 16,25:PRINT ;MCO2+GGCO2
310 LOCATE 17,2:PRINT "MH2O [kg H2O/kg Y]"
311 LOCATE 17,25:PRINT MH2O
320 LOCATE 18,2:PRINT "MN2 [kg N2/kg Y]"
321 LOCATE 18,25:PRINT ;MN2
330 REM TOPLAM DUMAN GAZI MIKT
335 VMIN=VCO2+VH2O+VN2+RCO2/100:VMMIN=MCO2+MH2O+MN2+GGCO2
336 LOCATE 10,2:PRINT "VMIN [Sm3 dg/Sm3 Y]"
337 LOCATE 10,25:PRINT ;VMIN
341 VMINK=VMIN-VH2O:K1MAX=VCO2/VMINK*100:VMMINK=VMMIN-MH2O
342 LOCATE 11,2:PRINT "Vmink [Sm3 dg/Sm3 Y]"
343 LOCATE 11,25:PRINT ;VMINK
345 LOCATE 12,2:PRINT "Kmax [%]"
346 LOCATE 12,25:PRINT ;K1MAX
350 LOCATE 19,2:PRINT "Vmin [kg dg/kg Y]"
355 LOCATE 19,25:PRINT ;VMMIN
370 REM YARI YANMA
380 VCO=T11*K01:VO2=T11*VMO2/2
390 MCO=VCO*GAMACO/GAMAY:MO2=VO2*GAMAO2/GAMAY
395 LOCATE 3,46:PRINT "YARI YANMA"
400 LOCATE 5,38:PRINT "VCO [Sm3 CO/Sm3 Y]"
401 LOCATE 5,61:PRINT ;VCO
410 LOCATE 6,38:PRINT "VO2 [Sm3 O2/Sm3 Y]"
411 LOCATE 6,61:PRINT ;VO2
412 LOCATE 7,38:PRINT "VH2O [Sm3 H2O/Sm3 Y]"
413 LOCATE 7,61:PRINT ;VH2O
414 LOCATE 8,38:PRINT "VN2 [Sm3 N2/Sm3 Y]"
415 LOCATE 8,61:PRINT ;VN2
430 LOCATE 15,38:PRINT "MO2 [kg O2/kg Y]"
431 LOCATE 15,61:PRINT ;MO2
440 VYMIN=VCO+VH2O+VN2+VO2+RCO2/100:VYMINK=VYMIN-VH2O:QMAX=VCO/VYMINK*100:OV1=VO
2/VYMINK*100
450 MYMIN=MCO+MH2O+MN2+MO2+GGCO2
460 LOCATE 9,38:PRINT "Vymin [Sm3 dg/Sm3 Y]"
461 LOCATE 9,61:PRINT ;VYMIN
470 LOCATE 10,38:PRINT "Vymink [Sm3 kdg/Sm3 Y]"
471 LOCATE 10,61:PRINT ;VYMINK
480 LOCATE 11,38:PRINT "Qmax [%]";
481 LOCATE 11,61:PRINT ;QMAX
490 LOCATE 12,38:PRINT "O [%]"
491 LOCATE 12,61:PRINT ;OV1
492 LOCATE 14,38:PRINT "MCO [kg CO/kg Y]"
493 LOCATE 14,61:PRINT ;MCO
494 LOCATE 16,38:PRINT "MH2O [kg H2O/kg Y]"
495 LOCATE 16,61:PRINT ;MH2O
496 LOCATE 17,38:PRINT "MN2 [kg N2/kg Y]"
497 LOCATE 17,61:PRINT ;MN2
500 LOCATE 18,38:PRINT "Mymin [kg dg/kg Y]"
501 LOCATE 18,61:PRINT ;MYMIN
530 REM GERCEK DUMAN GAZI MIKT "Vg"
540 VGN2=.79*L1*LVMIN+RN2/100:VGO2=(L1-1)*OVMIN
545 VG=VCO2+VGN2+VGO2+VH2O+RCO2/100
550 V1CO2=(VCO2+RCO2/100)/VG:V1N2=VGN2/VG
555 V1O2=VGO2/VG:V1H2O=VH2O/VG:P1H2O=V1H2O*101.325
556 TOP=V1CO2*MGCO2+V1N2*MGN2+V1H2O*MGH2O+V1O2*MGO2
557 G1CO2=V1CO2*MGCO2/TOP:G1N2=V1N2*MGN2/TOP:G1H2O=V1H2O*MGH2O/TOP:G1O2=V1O2*MGO
2/TOP
558 DIM RU(1),RCO2(1),RN2(1),RH2O(1),RO2(1)
```

```
559 RU(1)=8.31429:RCO2(1)=RU(1)/MGO2:RN2(1)=RU(1)/MGN2:RH2O(1)=RU(1)/MGH2O:RO2(
1)=RU(1)/MGO2
560 RDG=G1CO2*RCO2(1)+G1N2*RN2(1)+G1H2O*RH2O(1)+G1O2*RO2(1)
561 ROO=101.325/RDG/288
564 LOCATE 22,6
565 INPUT "Press 1 to cont";A:IF A=1 THEN 566 ELSE 565
566 CLS
567 LOCATE 2,10:PRINT "GAZLARIN GERCEK DEGERLERI"
568 LOCATE 4,2:PRINT "VgCO2 [Sm3 dg/Sm3 Y]"
569 LOCATE 4,25:PRINT ;VCO2+ RCO2/100
570 LOCATE 5,2:PRINT "VgN2 [Sm3 dg/Sm3 y]"
571 LOCATE 5,25:PRINT ;VGN2
575 LOCATE 6,2:PRINT "VgO2 [Sm3 dg/Sm3 Y]"
576 LOCATE 6,25:PRINT ;VGO2
577 LOCATE 7,2:PRINT "VgH2O [Sm3 dg/Sm3 Y]"
578 LOCATE 7,25:PRINT ;VH2O
579 LOCATE 8,2:PRINT "Vg [Sm3 dg/Sm3 Y]"
580 LOCATE 8,25:PRINT ;VG
581 LOCATE 4,35:PRINT ":[%]";V1CO2*100:LOCATE 5,35:PRINT ":[%]";V1N2*100
582 LOCATE 6,35:PRINT ":[%]";V1O2*100:LOCATE ,35:PRINT ":[%]";V1H2O*100
583 LOCATE 16,5:PRINT "YAKITIN ISIL DEGERLERI ve YOGUNLUGU"
595 VMGN2=.7671*L1*LGMIN+GGN2:VMGO2=(L1-1)*OGMIN
600 VMG=MCO2+VMGN2+VMGO2+MH2O+GGCO2
601 LOCATE 10,2:PRINT "MgCO2 [kg dg/kg Y]"
602 LOCATE 10,25:PRINT ;MCO2+GGCO2
605 LOCATE 11,2:PRINT "MgN2[kg dg/kg Y]"
606 LOCATE 11,25:PRINT ;VMGN2
613 LOCATE 12,2:PRINT "MgH2O [kgdg/kg Y]":LOCATE 12,25:PRINT ;MH2O
614 LOCATE 13,2:PRINT "MgO2 [kg dg/kg Y]":LOCATE 13,25:PRINT ;VMGO2
615 LOCATE 14,2:PRINT "Mg [kg dg/kg Y]":LOCATE 14,25:PRINT ;VMG
616 LOCATE 17,2:PRINT "Ho [kcal/Sm3]=";H0/4.1868/100
617 LOCATE 18,2:PRINT "Hu [kcal/Sm3]=";HU/4.1868/100
622 LOCATE 19,2:PRINT "Roy [kg/Sm3]=";GAMAY
626 LOCATE 21,6
627 INPUT "Press 1,2 to cont";A:IF A=1 THEN 628 ELSE:IF A=2 THEN 935 ELSE 626
628 REM DUMAN GAZLARININ ISINMA ISILARI
629 T=2.73:GG=0
630 FOR I=1 TO 10
634 CLS:K=20
635 FOR HH=1 TO 60 STEP 10
640 CPCO2=-3.7357+30.529*T^.5-4.1034*T+.024198*T^2
645 CPCO21=CPCO2/VMCO2:CPCO22=CPCO2/MGCO2
650 CPN2=39.06-512.79*T^-1.5+1072.7*T^-2-820.4*T^-3
655 CPN21=CPN2/K01:CPN22=CPN2/MGN2
660 CPH2O=143.05-183.54*T^.25+82.751*T^.5-3.6989*T
665 CPH2O1=CPH2O/K01:CPH2O2=CPH2O/MGH2O
670 CPO2=37.432+.020102*T^1.5-178.57*T^-1.5+236.88*T^-2
675 CPO21=CPO2/VMO2:CPO22=CPO2/MGO2
701 CPM1=V1CO2*CPCO21+V1N2*CPN21+V1H2O*CPH2O1+V1O2*CPO21
710 CPM2=G1CO2*CPCO22+G1N2*CPN22+G1H2O*CPH2O2+G1O2*CPO22
715 H1=CPM1*GG
717 H2=CPM2*GG
743 FOR F=2 TO 80
744 LOCATE 1,F:PRINT ;"- "
745 LOCATE 10,F:PRINT ;"- "
746 LOCATE 17,F:PRINT ;"- "
748 NEXT F
749 FOR J=1 TO 17
750 LOCATE J,1:PRINT "J":LOCATE J,80:PRINT ;"J"
754 NEXT J
755 LOCATE 2,2:PRINT ;"T [xC]"
760 LOCATE 2,K:PRINT ;GG
768 LOCATE 4,2:PRINT ;"CPN2 [kj/Sm3 K]"
769 LOCATE 4,K:PRINT ;CPN21
770 LOCATE 5,2:PRINT ;"CPH2O [kj/Sm K]"
```

```

790 LOCATE 5,K:PRINT ;CPH201
800 LOCATE 6,2:PRINT "CPO2 [kj/Sm3 K]"
801 LOCATE 6,K:PRINT ;CPO21
802 LOCATE 7,2:PRINT "CPCO2 [kj/Sm3 K]"
803 LOCATE 7,K:PRINT ;CPCO21
804 LOCATE 8,2:PRINT "CPm [kj/Sm3 K]"
805 LOCATE 8,K:PRINT ;CPM1
806 LOCATE 11,2:PRINT "CPN2 [kj/kg K]"
807 LOCATE 11,K:PRINT ;CPN22
808 LOCATE 12,2:PRINT "CPH20 [kj/kg K]"
809 LOCATE 12,K:PRINT ;CPH202
810 LOCATE 13,2:PRINT "CPO2 [kj/kg K]"
811 LOCATE 13,K:PRINT ;CPO22
812 LOCATE 14,2:PRINT "CPCO2 [kj/kg K]"
813 LOCATE 14,K:PRINT ;CPCO22
814 LOCATE 15,2:PRINT "CPm [kj/kg K]"
815 LOCATE 15,K:PRINT ;CPM2
816 LOCATE 9,2:PRINT "Hm [kj/Sm3]"
817 LOCATE 9,K:PRINT ;H1
818 LOCATE 16,2:PRINT "Hm [kj/kg]"
819 LOCATE 16,K:PRINT ;H2
830 T=T+.1:K=K+10:GG=GG+10
850 NEXT HH
855 LOCATE 18,6
890 INPUT "Press 1 to continue or 7 to quit";A
900 IF A=1 GOTO 930 ELSE 910
910 IF A=7 GOTO 935 ELSE 890
930 NEXT I
935 CLS
940 REM CIG NOKTASI SICAKLIGI
941 PRINT "SU BUHARININ KISMI BASINCI [kPa]=";P1H2O
942 INPUT "Tablodan P1 [kPa] basincini giriniz=";PE1
943 INPUT "Tablodan T1 [x] sicakligini giriniz=";TEK1
944 INPUT "Tablodan P2 [kPa] basincini giriniz=";PE2
945 INPUT "Tablodan T2 [x] sicakligini giriniz=";TEK2
946 TE=(TEK2-TEK1)*(P1H2O-PE1)/(PE2-PE1)+TEK1
947 PRINT "Duman gazinin cig noktasi sicakligi [x]=";TE
948 INPUT "Press 1 to cont.";TE1
949 IF TE1=1 THEN 950 ELSE 948
950 CLS
958 REM ORTALAMA OZGUL ISI VE ENTALPI
959 DIM CPM(4),CPM1(4),CPM2(4),LL(2),TT(2),Q(20),A(4),PD(20),TC(20),T(20),ZO$(15)
,TT1(10),LL1(5),TG(2)
960 INPUT "Minimum duman gazi sicakligini giriniz [x]";LL(1)
962 LL1(2)=200:LL(2)=350
965 TG(1)=(LL1(2)+LL(1))/2:RO1=RO0*288/(273+TG(1))
966 PRINT "1. Maximum duman gazi sicakligi=";LL1(2)
967 PRINT "2. Maximum duman gazi sicakligi=";LL(2)
968 TT(1)=(LL(1)+273)/100:TT(2)=(LL(2)+273)/100:TT1(1)=TT(1):TT1(2)=(LL1(2)+273)
/100
970 FOR PP=1 TO 2
980 CPM(PP)=(G1CO2*-3.7357+G1N2*39.06+G1O2*37.432+G1H2O*143.05)*TT(PP)+(G1CO2*30
.529+G1H2O*82.751)*TT(PP)^1.5/1.5-(G1CO2*4.1034+G1H2O*3.6989)*TT(PP)^2/2
990 CPM1(PP)=G1CO2*.02419*TT(PP)^3/3-(G1N2*512.79+G1O2*178.57)*TT(PP)^-.5/-.5+(G
1N2*1072.7+G1O2*236.88)*TT(PP)^-1/-1-G1N2*820.4*TT(PP)^-2/-2+G1O2*.020102*TT(PP)
^2.5/2.5-G1H2O*183.54*TT(PP)^1.25/1.25
995 CPM11(PP)=(G1CO2*-3.7357+G1N2*39.06+G1O2*37.432+G1H2O*143.05)*TT1(PP)+(G1CO2
*30.529+G1H2O*82.751)*TT1(PP)^1.5/1.5-(G1CO2*4.1034+G1H2O*3.6989)*TT1(PP)^2/2
996 CPM12(PP)=G1CO2*.02419*TT1(PP)^3/3-(G1N2*512.79+G1O2*178.57)*TT1(PP)^-.5/-.5
+(G1N2*1072.7+G1O2*236.88)*TT1(PP)^-1/-1-G1N2*820.4*TT1(PP)^-2/-2+G1O2*.020102*T
T1(PP)^2.5/2.5-G1H2O*183.54*TT1(PP)^1.25/1.25
1000 CPM2(PP)=CPM(PP)+CPM1(PP)
1010 CPM13(PP)=CPM11(PP)+CPM12(PP)
1020 NEXT PP
1030 CPM2(3)=(CPM2(2)-CPM2(1))/TOP/(TT(2)-TT(1))

```



```

1035 CPM13(3)=(CPM13(2)-CPM13(1))/TOP/(TT1(2)-TT1(1))
1040 PRINT "1. Duman gazi ortalama ozgul isisi CPo [kj/kgdg K]=";CPM13(3)
1045 PRINT "2. Duman gazi ortalama ozgul isisi CPo [kj/kgdg K]=";CPM2(3)
1050 PRINT "1. Ozgul entalpi ho [kj/kg]=";CPM13(3)*(LL1(2)-LL(1))
1052 PRINT "2. Ozgul entalpi ho [kj/kg]=";CPM2(3)*(LL(2)-LL(1))
1053 INPUT "Press 1 to cont.";UY
1054 IF UY=1 THEN 1055 ELSE 1053
1055 CLS
1058 REM GERI KAZANIM MIKTARI
1060 K=48:D1=5:L1=8:RESTORE 2500
1065 FOR LO=4 TO 17
1070 READ Q(2),TC(1)
1074 IF LO=9 OR LO=10 OR LO=11 THEN 1080 ELSE 1075
1075 Q(1)=GAMAY*VMG*CPM13(3)*(LL1(2)-LL(1))*100/HU:GOTO 1090
1080 Q(1)=GAMAY*VMG*CPM2(3)*(LL(2)-LL(1))*100/HU
1090 Q(LO)=Q(2)*Q(1):T(LO)=Q(2)*3600/HU*100:TC(LO)=Q(LO)*TC(1)
1100 LOCATE D1,K:PRINT ;Q(LO):LOCATE D1,60:PRINT TC(1):LOCATE D1,70:PRINT TC(LO)
1104 D1=D1+1
1105 NEXT LO
1107 RESTORE 2520
1110 READ T$,A$,B$,C$,L$
1115 LOCATE 2,17:PRINT T$:LOCATE 2,30:PRINT A$:LOCATE 2,46:PRINT B$:LOCATE 2,60:
PRINT C$:LOCATE 2,70:PRINT L$
1116 RESTORE 2530:READ D$,E$,F$,G$,H$,I$,J$
1117 LOCATE 3,3:PRINT D$:LOCATE 3,17:PRINT E$:LOCATE 3,30:PRINT F$:LOCATE 3,40:P
RINT G$:LOCATE 3,49:PRINT H$:LOCATE 3,60:PRINT I$:LOCATE 3,70:PRINT J$
1118 ZO(2)=20:RESTORE 2550
1119 FOR AA2=1 TO 6
1120 READ ZO$(1)
1121 LOCATE 4,ZO(2):PRINT ZO$(1)
1122 ZO(2)=ZO(2)+10:NEXT AA2
1133 RESTORE 2540
1134 FOR AA1=5 TO 18
1135 READ A(3)
1136 LOCATE AA1,40:PRINT A(3)
1137 NEXT AA1
1138 RESTORE 2510
1139 FOR A1=5 TO 18
1140 READ R$,A(1),A(2)
1150 LOCATE A1,3:PRINT R$:LOCATE A1,17:PRINT A(1):LOCATE A1,30:PRINT A(2)
1160 NEXT A1
2500 DATA 2400,5280,400,5280,900,5280,400,5280,675,5280,900,3520,450,3520,230,35
20,450,3520,410,3520,87,3520,380,2640,270,5280,275,5280
2510 DATA KAZANLAR,2400,200,FIRIN1,400,200,FIRIN2,900,200,FIRIN3,400,200,FIRIN4,
675,200,FIRIN(5+7),900,350,FIRIN10,450,350,FIRIN11,230,350,FRIN9,450,200,FIRIN8,
410,200,FIRIN12,87,200,FIRIN13,380,200,FIRIN14,270,200,FIRIN 15;16;17,275,200
2520 DATA MAX BRULOR,BACA GAZI,GERI KAZANIM,YANMA,YILLIK GERI
2530 DATA KAZAN/FIRIN,GUCU ,SICAKLIGI,DEBI,MIKTARI ,SURESI ,KAZANC
2540 DATA 254,42,95,42,72,95,47,47,43,24,9,40,28,29
2550 DATA kw,xC,Sm3/h,kw,h/YIL,kwh/YIL
2560 LOCATE 22,6:INPUT "Press 1 to cont";A:CLS
2565 REM DUMAN GAZI TARAFINDAKI ISI TR. KATS
2570 NUTOP=2.885E-05*V1O2+2.848E-05*V1N2+.000016*V1CO2+2.737E-05*V1H2O
2580 LAMOTOP=.03629*V1O2+.03484*V1N2+.02661*V1CO2+.02784*V1H2O
2590 DIM PR(4)
2600 PR(1)=RO1*CPM13(3)*NUTOP/LAMOTOP*1000!
2705 DIM DA(5),DD(1),DI(1),KN(1),KH(1),ALF(5),M(1),NU(2),AY(3)
2706 DIM NT(1),LZ(3),XT(1),XL(1)
2707 BO=.85:DA(3)=12!
2710 LOCATE 3,4:INPUT "Kanat capi [m]=";DA(1)
2720 LOCATE 4,4:INPUT "Dis cap [m]=";DD(1)
2730 LOCATE 5,4:INPUT "Iccap [m]=";DI(1)
2740 LOCATE 6,4:INPUT "Kanat kalinligi [m]";KN(1)
2745 LOCATE 7,4:INPUT "Hatve [m]=";KH(1)
2750 CLS:RESTORE 4000
2751 FOR Z1=1 TO 10

```

```
2752 READ ITAK
2753 FOR ZZ=1 TO 50
2765 DA(2)=(DA(1)-DD(1))/2
2770 ALF(1)=.251*LAMOTOP*PR(1)^.35/KH(1)^.35*(DD(1)/KH(1))^-0.54*(DA(2)/KH(1))^-0.
14*(DA(3)/NUTOP)^.65:PI=3.141592654#
2780 AK=PI*(DA(1)^2-DD(1)^2)/2+PI*DA(1)*KN(1):AD=PI*DD(1)*(KH(1)-KN(1))
2785 AT=(AK+AD)*BO/KH(1)
2790 M(1)=(2*ALF(1)/(KN(1)*20))^0.5:AIC=PI*DI(1)*BO
2805 ALF(2)=ALF(1)*(AK*ITAK+AD)/(AD+AK)
2810 REM SU TARAFINDAKI ISI TR. KATS.
2820 MU=.0002108:CPX=4.258:ROS=933.67:LAMS=.685:NUS=MU/ROS
2830 PR(2)=MU*CPX/LAMS*1000:VSU=1.22
2850 RE=VSU*DI(1)/NUS:NU(1)=.023*RE^0.8*PR(2)^0.4:ALF(3)=LAMS*NU(1)/DI(1)
2860 REM TOPLAM ISI TR. KATS.
2870 EKD=(ITAK*AK+AD)/(AK+AD)
2880 AY(1)=AT/(AIC*ALF(3))+DD(1)/40*LOG(DD(1)/DI(1))+(ALF(2))^-1
2890 AY(2)=1/AY(1)
2917 DTM=58/LOG(6.8)
2920 DA(4)=Q(4)*1000/(AY(2)*1+DTM):AX=(AD+AK)*BO/KH(1):AX1=DA(4)/AX
2935 AX2=INT(AX1):AX3=AX1-AX2
2940 DEBI=2400*GAMAY*VMG/HU*100
2950 F1=DEBI/(DA(3)*RO1):F2=2*(KH(1)-KN(1))*BO*DA(2)*Z1/KH(1)
3000 XT(1)=.107:XL(1)=.09266:Z=4
3030 LZ(3)=Z*DA(1)+(Z+1)*.001:LZ(1)=XL(1)*(AX2/Z-1)+DA(1)+.002
3040 AFP1=LZ(3)*BO:AFP2=(DD(1)*BO+DA(2)*KN(1)*2*BO/KH(1))*Z
3055 AFP3=AFP1-AFP2:HATA=ABS((F1-AFP3)*100/F1):HATA1=INT(HATA)
3060 IF HATA1<2 AND 39.9<AX1 AND AX1<40.3 THEN 3062 ELSE 3470
3062 LOCATE 3,4:PRINT "Isi tr. yuzey alani [m2]=";DA(4)
3063 LOCATE 4,4:PRINT "Boru adedi=";AX1
3064 LOCATE 5,4:PRINT "Duman gazinin gectigi debi [kg/s]=";DEBI
3065 LOCATE 6,4:PRINT "Duman gazinin gectigi alan(baslangicta) [m2]=";F1
3066 LOCATE 8,4:PRINT "Xt=";XT(1)
3067 LOCATE 9,4:PRINT "Xl=";XL(1)
3068 LOCATE 10,4:PRINT "Z=";Z
3075 LOCATE 12,4:PRINT "Exchanger uzunlugu [m]=";LZ(1)
3080 LOCATE 13,4:PRINT "Exchanger yuksekligi [m]=";LZ(3)
3085 LOCATE 14,4:PRINT "Duman gazinin gececegi alan [m2]=";AFP3
3090 LOCATE 15,4:PRINT "Duman gazinin hizi [m/s]=";DEBI/(AFP3*RO1)
3100 LOCATE 16,4:PRINT "Alan icin hata mik [%]=";HATA
3110 LOCATE 17,4:PRINT "Baslangictaki hiz [m/s]=";DA(3)
3115 LOCATE 18,4:PRINT "Boru boyu [m]=";BO
3116 INPUT "Press 1 to cont=";A:CLS
3120 LOCATE 3,4:PRINT "GAZ TARAFI"
3130 LOCATE 4,4:PRINT "Nu [m2/s]=";NUTOP
3140 LOCATE 5,4:PRINT "Lamda [W/mxC]=";LAMOTOP
3150 LOCATE 6,4:PRINT "m=";M(1):LOCATE 9,4:PRINT "itak";ITAK
3170 LOCATE 7,4:PRINT "Pr=";PR(1);AT:AIC
3180 LOCATE 8,4:PRINT "Yogunluk [kg/m3]=";RO1
3190 LOCATE 10,4:PRINT "Alfa1 [W/m2xC]=";ALF(1)
3200 LOCATE 12,4:PRINT "Alfaort [W/m2xC]=";ALF(2)
3210 LOCATE 11,4:PRINT "Ekd=";EKD
3220 LOCATE 13,4:PRINT "SU TARAFI"
3230 LOCATE 14,4:PRINT "Pr=";PR(2):LOCATE 15,4:PRINT "Re=";RE
3235 LOCATE 17,4:PRINT "Su hizi [m/s]=";VSU
3240 LOCATE 16,4:PRINT "Nu=";NU(1):LOCATE 18,4:PRINT "alfsu [W/m2xC]=";ALF(3)
3250 LOCATE 19,4:PRINT "FILM KATSAYISI":LOCATE 20,4:PRINT "Kd [W/m2xC]=";AY(2)
3460 INPUT ;A:CLS
3470 BO=BO+.001
3480 NEXT ZZ
3490 DA(3)=DA(3)-.1:BO=.85
3500 NEXT Z1
4000 DATA .7412,.7421,.7432,.7442,.7451,.7461,.7472,.7482,.7492,.75024
```

KAYNAKLAR

- 1- Atık ısı proses tekniği
Y.Ü. Master tezi, 1987, M.GÜVEN
- 2- A concise anyclopedia of heat transfer
1966, Kutateladze * Borishanski
- 3- Buhar Kazanlarının ısı hesapları
1988, Prof.Dr.K.ONAT * Dođ.Dr.O.GENCELİ * Dođ.Dr.A. ARISOY
- 4- Botaş Doğal Gaz Sempozyumu, Haziran 1988
- 5- Çayırova Arçelik Tesisleri Kimya Laboratuvarı Yanma
Notları
- 6- Doğal gaz dergisi, muhtelif sayıları
- 7- Ekonomizör Hesapları, Doç.Dr.Yalçın TANES
- 8- Enerji Ekonomisi, Yard.Dođ.Dr.Burhan SUNGU
- 9- Handbook of natural gas engineering
1960, TÜBİTAK
- 10- Handbook of heat transfer applications
1985, Rohsenof * Hartnett
- 11- Heat and mass transfer
1967, A. Lykov - B.Smolski
- 12- M.M.O. Doğal gaz seminerleri
- 13- Sayısal Analiz
1989, Prof.Dr.Behiç ÇAĞAL

- 14- Termodinamik, Cilt 1
1982, Prof.Dr.A.R. BÜYÜKTÜR
- 15- Termodinamik Problemleri
1984, A. ÖZTÜRK x A.KILIÇ
- 16- Quattro, Le tableur professionnel

ÖZGEÇMİŞ

1966 yılında İstanbul'da doğdu. 1972-1977 yılları arasında Aksaray Mahmudiye İlkokulu'nda okudu. 1977 yılında girdiği Galatasaray Lisesi'nden 1985'te mezun oldu. Aynı yıl Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği bölümüne girdi. 1990 yılının şubat'ında mezun oldu. Aynı yıl Y.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği bölümüne master öğrencisi olarak kayıt oldu.