


29129

BUHAR KAZANLARINDA EXERGY METODU İLE
YANMA VERİMLİLİĞİNİN ANALİZİ

Suat ÖNAL



Erciyes Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü'ne
Makina Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi Olarak Sunulmuştur.

MART - 1993

Erciyes Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne

Bu çalışma, jürimiz tarafından Makina Anabilim Dalı'nda
Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

14 / 03 / 1993

Başkan : Doç. Dr. Ali ERİŞEN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Vedat ALTUNTOP

Üye : Yrd. Doç. Dr. Suat CANBAZÖĞLU

Ali Erışen
Vedat Altuntop
Suat Canbazoğlu

ONAY:

Yukarıda imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait
olduğunu onaylarım.

05/07/1993

Mehmet Sahin
Enstitü Müdürü
Prof. Dr. Mehmet SAHİN
REKTÖR

Ö Z G E Ç M İ Ş

Adı Soyadı : Suat ÖNAL
Baba Adı : Kemal
Ana Adı : Türkan
Doğum Yeri : Toprakkale - 1961

İlk ve Ortaokul ile Lise eğitimini Osmaniye'de tamamladıktan sonra 1982 yılında Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 1983-1984 yıllarında vatani hizmetini Lv.Yedek Subay olarak Adana'da tamamladı. 1985-1989 yılları arasında Diyarbakır ve Nevşehir Köyhizmetlerinde makina mühendisi olarak görev yaptı. 1987-1988 öğretim yılında Ankara'da 9 ay süre ile Devlet Memurları Yabancı Diller Eğitim Merkezinin İngilizce bölümüne devam ederek A kuru sertifika aldı.

1989 yılında naklen Ç.Ü.Osmaniye Meslek Yüksekokuluna Öğretim Görevlisi olarak geçti. 1989-1990 yıllarında YÖK/Dünya Bankası II.Endüstriyel Eğitim Projesi kapsamında 9 ay süre ile İngiltere'nin Bradford şehrinde eğitim gördü.

Halen Ç.Ü.Osmaniye Meslek Yüksekokulunda olup son 2 yıldan beri Teknik Müdür Yardımcılığı görevini de yürütmektedir.

TEŞEKKÜR

Her zaman değerli katkılarıyla beni ve bu çalışmamızı yönlendiren kıymetli hocam Sayın Doç.Dr.Ali ERİŞEN'e şükranlarımı sunarım.

Kayseri Orta Anadolu Mensucat Fabrikası Kazan Dairesi Ünitesinde, gerçek işletme şartlarında yanma ürünü olarak ortaya çıkan gazların ölçüm çalışmaları esnasında büyük bir gayretle yardımcı olan teknik elemanlar ile bu çalışmada tüm emeği geçenlere;

Ayrıca tezin yazılımına yardımcı olan Abdullah ÇALTAK'la öğrencilerim Cem GEÇİT ve Kadir AYKIRI'ya da teşekkür ederim.

Suat ÖNAL

Ö Z E T

Günümüzde küçük, orta ve büyük sanayimizin büyük bir çoğunluğunda buhar enerjisinden yararlanılmakta, bu amaçla da buhar kazanları kullanılmaktadır.

Enerji tasarrufu ve ekonomiklik yönünden buhar kazanlarının işletme kapasitesine göre seçilmesi ve diğer bir takım kriterlerin gözönünde bulundurulmasının yanısıra, kazanlarda kullanılan yakıtın en iyi bir şekilde yakılmasını sağlamakta çok önemli bir husustur. Diğer taraftan yakıtın tam yanmasının sağlanmasıyla, toplumumuzun en büyük sorunlarından birisi olan çevre kirliliği de kısmen önlenmiş olacaktır.

Bu çalışma da ısıtma yüzeyleri 250 m^2 ve 365 m^2 olan Alev-Duman borulu Skotch tipi iki Buhar Kazanı için yanma olayı; egzoz gazlarının deneysel analizi ile incelenmiştir.

Termodinamiğin II. kanunu çerçevesinde atmosfere atılan yanma ürünü gazların ekserjileri, değişik yakıt debileri ve değişik hava fazlalık katsayıları için hesaplanarak yanma verimliliği hakkında yorum yapılmıştır.

ABSTRACT

Nowadays vapour energy has been used in industrial areas of various sizes, and boilers have been designed to get vapour energy.

For saving energy and being economical to select the type and size of boilers in accordance with the capacity and need of the establishment and some other aspects, such as supplying the best result of combustion of fuel for boilers, is a very important matter; besides, if we get the optimum efficiency of combustion of fuel one of the vital problems of the nature, which is the air pollution, will be partly solved.

In this study two skotch type vapour boilers which have 250 m² and 365 m² heating surfaces have been used for various combustion and combustion product gases have been analysed by means of experiments.

It has been come to a conclusion on the efficiency of combustion by calculation of the exergy of combustion product gases for different flowrate of fuel and different excess air rate based on the second law of thermodynamics.

KULLANILAN SEMBOLLER

- η = Verim
 Q = Bir sisteme dışardan verilen ısı
 E = Enerji
 W = Sistemin yaptığı iş
 T = Sıcaklık
 T_o = Çevre Sıcaklığı
 P = Basınç
 P_o = Çevre basıncı
 H, h = Entalpi, özgül entalpi
 S, s = Entropi, özgül entropi
 U, u = İç enerji, özgül iç enerji
 I = Tersinmezlik (irreversibility)
 K, k = Kullanılabilirlik, özgül kullanılabilirlik
 X, x = Kullanılabilir enerji, özgül kullanılabilir enerji
 \mathcal{E} = Ekserji
 X_k = Kimyasal reaksiyondan çıkan gaz bileşeninin hacimsel oranı
 X_k^o = Reaksiyondan çıkan gazın standart havadaki hacimsel oranı
 S_n = Mol bazında stokiometrik oran
 S_m = Kütle bazında stokiometrik oran
 O/Y = Oksijen / Yakıt
 H/Y = Hava / Yakıt
 HFk = Hava Fazlalık Katsayısı (excess air rate)
 NCV = Yakıtın net kalori değeri (net calorific value)
 φ = Kimyasal ekserjinin net kalori değerine oranı
 Q_y = Yakıt debisi

İNDİSLER

tr	= Tersinir
K	= Isı kaynağı
j	= J. ısı kaynağı
c	= Carnot
p	= Isı pompası
tm	= Termomekaniksel
ch	= Kimyasal
top	= Toplam
f	= Faydalı

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

BÖLÜM-1

GİRİŞ	1
-------------	---

BÖLÜM-2

KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
--------------------------	---

BÖLÜM-3

BUHAR KAZANLARI	5
3.1. Buhar Kazanlarının Sınıflandırılması	5
3.1.1. Büyük Su Hacimli Kazanlar	6
3.1.1.1. Alev Borulu Kazanlar	6
3.1.1.2. Duman Borulu Kazanlar	6
3.1.1.3. Alev-Duman Borulu Kazanlar	6
3.1.2. Küçük Su Hacimli Kazanlar	7
3.2. Büyük Su Hacimli Kazanların Değerlendirilmesi	8
3.3. Küçük Su Hacimli Kazanların Değerlendirilmesi	8
3.4. Bazı Kazan Çeşitlerinin Konstrüktif Özellikleri	9
3.5. Buhar Kazanı Ana Parçaları	10
3.5.1. Ocağ	10
3.5.2. Brülör	10
3.5.3. Asıl Isıtma Yüzeyi	11
3.5.4. Ekonomizer	11
3.5.6. Kızdırıcı	11
3.5.7. Hava Isıtıcısı	11
3.6. Buhar Kazanı Yardımcı Cihazları	11

3.6.1.	Besleme Suyu Pompası	11
3.6.2.	Üfleme Vantilatörü	11
3.6.3.	Çekiş Aspiratörü	12
3.6.4.	Kontrol Cihazları	12

BÖLÜM-4

YAKITLAR VE YANMA

4.1.	Yanma Tanımı	13
4.2.	Stokiyometrik Hava	13
4.3.	Hava Fazlalık Katsayısı	14
4.4.	Yakıtlar	14
4.4.1.	Katı Yakıtlar	14
4.4.1.1.	Antrasit	15
4.4.1.2.	Semi Antrasit	15
4.4.1.3.	Yarı Bitümlü kömür	15
4.4.1.4.	Bitümlü Kömür	15
4.4.1.5.	Linyit Kömürü	15
4.4.1.6.	Kok Kömürü	15
4.4.1.7.	Semi Kok Kömürü	15
4.4.1.8.	Briket	16
4.4.1.9.	Trup	16
4.4.2.	Sıvı Yakıtlar	16
4.4.2.1.	Benzin	16
4.4.2.2.	Gazyacı	16
4.4.2.3.	Motorin	16
4.4.2.4.	Çok İnce ve İnce Fuel-Oil	17
4.4.2.5.	Orta Fuel-Oil	17
4.4.2.6.	Orta Ağır Fuel-Oil	18
4.5.	Sıvı Yakıtların Üstünlükleri	19

BÖLÜM-5

İKİNCİ KANUN VE EKSERJİ ANALİZİ

5.1.	Termodinamiğin İkinci Kanunu	20
5.2.	Tersinir İş	21
5.3.	Tersinmez İş ve Tersinmezlik	22

5.4.	Kullanılabilir Enerji	22
5.5.	Ölü Hal ve Denge Kavramları	23
5.6.	Formasyon Entalpisi	24
5.7.	Akış Kullanılabilirliği	24
5.8.	Yakıtların Kimyasal Ekserjisi	26

BÖLÜM-6

YANMIŞ GAZLARIN EKSERJİSİ İLE İLGİLİ BİR UYGULAMA

6.1.	Uygulamanın Yapıldığı Yer	28
6.2.	Bacagazları Kuru Hacim Yüzdeleri	29
6.3.	Bacagazları Ekserjilerinin Hesabı	36

BÖLÜM-7

SONUÇ	46
KAYNAKLAR	48
EKLER	49

BÖLÜM- I

GİRİŞ

Gittikçe artan dünya nüfusu ve yükselen yaşam standartlarına paralel olarak enerjiye olan talebin devamlı ve hızlı bir şekilde artması, dünyanın doğal enerji kaynaklarının giderek azalması gibi bir takım önemli etkenler; İnsanoğlunu mevcut olan sınırlı enerji kaynaklarını en ekonomik şekilde kullanmaya ve yeni enerji kaynakları aramaya yönlendirmiştir.

Mevcut enerji kaynaklarını en ekonomik bir şekilde kullanmak, herhangi bir işlemdeki kayıpları (tersinmezlikleri) minimuma indirmekle sağlanır. İşte bu kayıpların belirlenmesi Termodinamiğin konusuna girer.

Termodinamiğin I. kanunu enerjinin niceliği, II. kanunu ise niteliği yani bir değişime uğrama yeteneği ile uğraşır. Enerjinin bir değişime uğraması sonucunda maximum iş elde edilmesi, Makina Mühendisliği Enerji dalının temel konularından birini oluşturmaktadır.

İç enerji, ısı enerjisi, kimyasal enerji gibi bazı enerji türleri tersinir değişime uğradıktan sonra, son olarak çevre şartlarında denge durumuna gelirler ve bu denge durumunda hala belirli bir enerjilerinin olmasına rağmen, sahip oldukları bu enerjinin tamamını işe çevirmek mümkün olmaz. Buradan anlaşılacağı gibi enerjinin ancak bir kısmı kullanılabilen diğer kısmı ise faydalanılamayan enerji olarak ortaya çıkmaktadır.

Termodinamiğin II. kanununa göre kayıpları en aza indirecek gelişmiş ve karmaşık işlemler için yapılan yatırımlar teknolojinin ilerlemesine bağlı olarak gün geçtikçe işletmeler

açısından daha da ekonomik olmaktadır. II. kanun analizi, son yıllarda tasarımcıların yararlandığı başlıca kaynaklardan biri haline gelmiş ve termodinamikçilerin üzerinde çalıştıkları en önemli konulardan biri olmuştur.

Enerji sistemlerinin Termodinamiğin II. kanunu kapsamında incelenmesine yönelik çalışmalar, analizde seçilen parametreye bağlı olarak Entropi bazlı çalışmalar ve enerji bazlı çalışmalar olarak iki ana grupta incelenebilir. Bununla birlikte içerik ve amaç açısından da;

- Sistem performansı, verimlilik, tersinmezliklerin ve entropi üretiminin belirlenmesine yönelik çalışmalar.

- İkinci kanun esaslı ekonomiyi de kapsayan termoekonomik analize yönelik çalışmalar olarak gruplandırılabilir.

Mevcut enerji kaynaklarını en ekonomik kullanma çalışmalarının yanı sıra, özellikle fosil yakıt rezervlerinin günden güne azalıyor olmasından dolayı son zamanlardaki çalışmalar güneş enerjisi ve nükleer enerji üzerinde ağırlık kazanmaya başlamıştır.

BÖLÜM- II

KAYNAK ARAŞTIRMASI

BORAT [1], "Termokimyasal Denge ve Yanma" adlı kitabında Termokimyasal denklemlerin toplanabilirliği, Termokimyasal denge ve Hava fazlalık katsayısına bağlı olarak yanma olaylarını ele almıştır.

ÖZTÜRK ve GÖĞÜŞ [2], "Termodinamiğin İkinci Kanunu - Cilt II" adlı çalışma toplantısı bildiriler kitabında, çeşitli yerli ve yabancı bilim adamlarının bu konudaki çalışmalarını derlemişlerdir.

ILLIES [3], "Buhar Kazanları - Termodinamik ve Mukavemet Esasları", ONAT [4], "Buhar Kazanlarının Isıl Hesapları", GENÇELİ [5], "Buhar Kazanları", ÖZKAN [6], "Buhar Kazanları ve Isıl Hesapları" , ile TMMOB Makina Mühendisleri Odası [7], "Sanayi Kazanları ve Ek Donatım İşletme El Kitabı"nda Buhar Kazanları konusunu ele alarak Buhar Kazanları çeşitlerinin çalışma, işletme, teknik ve konstrüksiyon özellikleri üzerinde durmuşlardır.

DOĞAN, KARTAL ve KÜLCÜ [8], "Baca ve Egzoz Gazlarının Kayseri'nin Hava Kirliliğine etkisi" adlı Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Araştırma Projesinde; baca gazlarının deneysel analiz çalışmaları üzerinde durmuşlar ve değişik yakıtlar için emisyon faktörlerini hesaplamışlardır.

ÖZTÜRK [9], "Termodinamik Özellik Bağlantıları" adlı kitabında Mükemmel Gazların özelliklerini ve Basınç-Özgül Hacim-Sıcaklık gibi temel termodinamik özellikleri ele almıştır.

KOTAS [10], "Isı üniteleri Analizinde Ekserji Metodu" ve [11], "Isı üniteleri için Ekserji Kavramı" adlı kitaplarında Ekserjinin açıklaması ve analizi üzerinde durmuştur.

MORAN [12], "Kullanılabilirlik Analizi" adlı kitabında enerjinin etkin bir şekilde kullanılmasına yönelik çalışmalarda bulunmuştur.



BÖLÜM - III

BUHAR KAZANLARI

Buhar yaklaşık ikiyüzelli yıldan beri insanlığın hizmetindeki en büyük güçlerden biridir. Buharın sahip olduğu ısı enerjisi, ısıtma, kurutma ve pişirme işlemleri için kullanılabilen, ayrıca iç enerjisinden yararlanılarak buhar türbini veya buhar makinası gibi güç makinalarında mekanik enerjiye de dönüştürülebilmektedir [4].

Buhar kazanı tanım olarak istenilen basınç, sıcaklık ve miktarda buhar üreten bir cihazdır. Buhar üretmek için, herhangi bir yolla elde edilen ısı enerjisi kapalı bir kap içerisindeki sıvıya verilerek bu sıvının buharlaştırılması sağlanır. Buhar kazanlarında buharlaştırma için verilen ısı enerjisi çeşitli yakacakların yakılmasından, elektrik enerjisinden, nükleer enerjiden veya elde edilen ısı enerjisinin uygun şekilde değerlendirilmesinden elde edilebilir. Günümüzde bu ısı enerjisi çoğunlukla fosil yakacaklardan sağlanmaktadır [5].

3.1. BUHAR KAZANLARININ SINIFLANDIRILMASI

Buhar kazanlarını; kullanma yerlerine (sabit, hareketli, kara tipi, deniz tipi), yakacak cinslerine (katı, sıvı, gaz), basınçlarına (alçak basınçlı, orta basınçlı, yüksek basınçlı, süper kritik basınçlı) ve ocaklarına (içten ocaklı, dıştan ocaklı) göre değişik şekillerde sınıflandırmak mümkündür. Fakat günümüzde Buhar Kazanları daha çok konstrüktif faktörlere bağlı olarak sınıflandırılmaktadır. Bunlar ise büyük su hacimli kazanlar (duman borulu), küçük su hacimli kazanlar (su borulu) ve özel kazanlar olarak bilinmektedir.

3.1.1. Büyük Su Hacimli Kazanlar (Duman Borulu Kazanlar)

Kazan hacmine göre su kapasitesinin fazla olduğu kazanlardır. Yakılan yakıttan elde edilen ısı suya direkt alttan verilmez. Kazanların ön ve arka yüzeyleri arasına yerleştirilen boruların içerisinde ısı geçirilmektedir. Bunlarda alev borulu kazanlar, duman borulu kazanlar ve alev-duman borulu kazanlar olmak üzere üç kısma ayrılırlar.

3.1.1.1 Alev Borulu Kazanlar

Daha ziyade geçmiş yıllarda çok kullanılan bu kazanlar günümüzde fazla kullanılmamaktadır . Bu kazanlar silindirik bir gövde ile bu gövdenin içine yerleştirilmiş bir, iki , üç veya dört alev borusundan meydana gelmiştir. Ocak alev borusunun hemen başlangıç kısmındadır. Alev boruları düz veya dalgalı (hafif kıvrımlı) şekilde imal edilmektedir. Isıl gerilmelere karşı mukavemetlerinin ve yüzeylerinin daha fazla olması nedeni ile dalgalı alev boruları düz alev borularına göre daha çok tercih edilir. Alev borularının dizayn şekline göre yatay alev borulu kazanlar ve dik alev borulu kazanlar adını alırlar.

3.1.1.2 Duman Borulu Kazanlar

Bu tip kazanlarda ocak adı verilen yanma odasında yakılan yakıttan elde edilen sıcak duman gazları ; çapları, alev borulu kazanlardaki alev borularına nispeten daha küçük olan çok sayıdaki duman boruları içinden geçirilerek suyun buharlaşması sağlanır. Kazanın ön ve arka yüzeyleri arasına yerleştirilen boruların zamanla değiştirilebilmesi düşüncesi ile kaynaklı bağlantı yerine makinetolu bağlantı tercih edilir. Duman borulu kazanlar; dik duman borulu kazanlar, dönüş duman borulu kazanlar (Horizontal Return Tubular) ve lokomotif kazanları olmak üzere üç kısma ayrılırlar.

3.1.1.3. Alev-Duman Borulu Kazanlar

Yakıtların ocak içinde yakılmasıyla meydana gelen gazların birden çok boru kademesinden geçirilmek suretiyle atmosfere atıldığı kazan çeşitidir. Genellikle yakıt alev borusunun başlangıç kısmında yakılır. (Ocak alev borusunun başlangıcındadır.) Sıcak duman gazları alev borusunu boydan boya geçtikten sonra duman borularına geçer. Asıl ısıtma yüzeylerinin büyük bir kısmı duman borularından oluşur. Alev borulu kazanlara

göre daha küçük hacim kaplamaları nedeniyle üstünlük sağlarlar. Lokomobil kazanlar, skotch (iskoç) tipi kazanlar, alev geri dönüştü kazanlar ve alçak basınçlı buhar üreten dansk tipi kalorifer kazanları Alev -Duman borulu kazanlar grubuna girerler.

Skotch tipi buhar kazanlarının ısıtma yüzeyleri fazla olduğundan ısı ekonomileri oldukça iyidir. Bu nedenle küçük ve orta büyüklükteki işletmelerde çok kullanılan bir buhar kazanı türüdür. Duman gazlarının kazan içerisindeki geçiş sayısı iki veya üç kısımdan olabilir, alev boruları ise çoğunlukla dalgalı tipten imal edilir.

3.1.2. Küçük Su Hacimli Kazanlar (Su Borulu Kazanlar)

Bu tip kazanlar, bir yada birkaç küçük hacimli deponun boru demetleriyle birbirlerine bağlanmalarıyla meydana gelirler. Yüksek kızdırma sıcaklığı ve fazla miktarda basınçlı buhar üretimi, su borulu kazanlar ile mümkündür. Bu kazanlarda genel olarak su önceden ısıtılır ve kaynama durumuna gelen su küçük çaplı boruların içerisinde, sıcak duman gazları ise boruların dışarısından geçirilir. Boruların içerisinde oluşabilecek kireçlenmelerin temizlenmesi güç olduğundan besleme suyunun çok iyi arıtılması, mümkün olduğu kadar suyun sertliğinin giderilmesi gerekir. Boru boyları genellikle 5-6 metre uzunluğunda, çapları ise 80- 100 mm arasındadır. Orta ve büyük kapasiteli işletmelerde, elektrik santrallerinde kullanılan bu kazanların seksiyonlu, dik borulu ve radyasyonlu olan tipleri vardır. seksiyonlu kazanlar yüksek basınçlar için uygun değildir. (En fazla 35 bar) Bu nedenle fazla kullanılmazlar. Dik borulu kazanlarda ise ocak duvarlarının yüksek sıcaklıkta tam zarar görmemesi için duvarlara soğutma boruları yerleştirilmekte bu ise soğutma borularındaki ısı geçişlerinin fazla miktarda olmasına neden olmaktadır. Bu sebeple buharlaşma borularının ocakla çok yakın olması arzu edildiğinden radyasyon tipli olan buhar kazanı çok kullanılmaktadır. Bu tip kazanlarda bütün su boruları ocak cidarlarındadır ve ısı geçişi esas olarak radyasyonla olmaktadır. Ocağı terkeden duman gazları kızdırıcı, su ısıtıcı ve hava ısıtıcı gibi ekonomizerlerden geçirildikten sonra atmosfere atılır. Günümüzde büyük kapasitelerde yüksek basınçlardaki buhar üretimi radyasyonlu kazanlar ile sağlanmaktadır.

3.1.3. Özel Kazanlar

Buhar kazanlarındaki verimin, buhar yükünün, basıncının ve sıcaklığının her geçen gün daha büyük değerlerde istenmesi nedeniyle özel buhar kazanları geliştirilmiştir. Buhar

yükünü arttırabilmek için bu tip kazanların çoğunda su sirkülasyonu ilave bir pompa ile sağlanır. Fosil yakıtlar yerine güneş enerjisi veya atom enerjisi kullanılabildiği gibi sistemin verimini arttırmak amacıyla fosil yakıtlar için özel yakma sistemleri kullanılır [5].

3.2. BÜYÜK SU HACİMLİ KAZANLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Avantajları :

- Yapı olarak basittirler.
- İşletme, kullanım, bakım ve temizlikleri kolaydır.
- Geç soğurlar.

Dezavantajları :

- Büyük ve hantal oldukları için taşınmaları zordur.
- Esnek bir çalışmaya sahip değildirler.
- Yüksek basınç elde edilemez (Max 15 - 20 atü)
- Elde edilen buharın kuruluk derecesi azdır. (Islak buhar)
- Buhar elde etmek için geçen başlangıç süresi fazladır . [7]

3.3. KÜÇÜK SU HACİMLİ KAZANLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Avantajları :

- Elde edilen buharın kuruluk derecesi fazladır.
- Ağır ve hantal olmayıp nakilleri kolaydır.
- Su hacminin küçük olması nedeniyle çabuk ısınırlar ve başlangıçta buhar elde etme süresi kısadır.
- Kritik üstü basınç elde edilebilir.

Dezavantajları :

- İşletilmeleri daha zordur.
- Kullanılan su sertliğinin çok düşük olması gerekir.
- Su boruları küçük çaplı olduğundan kireçlenme etkisi çabuk görülür.
- Bakımı ve temizlenmeleri zordur .

3.4. BAZI KAZAN ÇEŞİTLERİNİN KONSTRÜKTİF ÖZELLİKLERİ

Bazı kazanlara ait konstrüktif özellikler Tablo 1, Tablo 2, Tablo 3 ve Tablo 4 'te görülmektedir [5].

Tablo 1- Yatay Alev Borulu Kazanlar

	Tek Ocaklı Yatay Alev Borulu	İki Ocaklı Yatay Alev Borulu
Kazan ısıtma yüzeyi (m ²)	20 - 55	50 - 150
Buhar yükü (Kg Buhar / m ² h)	25 - 40	25 - 40
Basınç (Bar)	16 - 20	16 - 20
Gövde çapı (D)	1,5 - 1,8	2 - 2,6
Kazan boyu (m)	4,1 - 9	5,8 - 12,4
Kazan yüksekliği (m)	2 - 3	3 - 4
Alev borusu çapı (m)	0,7 - 0,9	0,7 - 1,1
Su ağırlığı / Buhar debisi (Kg Su / Kg Buhar / h)	8 - 10	7,2 - 8,8
Su hacmi / Isıtma yüzeyi (m ³ Su / m ²)	0,2 - 0,25	0,18 - 0,22
Buhar debisi (Kg / h)	1400	3500

Tablo 2 - Dik Alev Borulu Kazanlar

Kazan ısıtma yüzeyi (m ²)	En fazla 20
Buhar yükü (Kg Buhar / m ² h)	15 - 30
Basınç (Bar)	15
Gövde çapı (D)	0,7 - 1,5
Kazan yüksekliği (m)	2 - 4
Alev borusu çapı (m)	0,55 - 1,35
Su ağırlığı / Buhar debisi (Kg su / Kg Buhar / h)	5
Su hacmi / Isıtma yüzeyi (m ³ Su / m ²)	0,07
Buhar debisi (Kg / h)	En fazla 600

Tablo 3 - Skotch Tipi Kazanlar

Kazan ısıtma yüzeyi (m ²)	300
Buhar yükü (Kg Buhar / m ² h)	25
Basınç (Bar)	15
Gövde çapı (D)	4
Kazan Boyu (m)	1,8 - 4
Duman borusu çapı (mm)	63,5 - 89
Alev borusu çapı (m)	0,5 - 1,2
Su hacmi / Isıtma yüzeyi (m ³ Su / m ²)	0,09
Su ağırlığı / Buhar debisi (kgsu/kg buhar/h)	3,6
Buhar debisi (kg/h)	7500

Tablo 4 - Radyasyonlu Kazanlar

Kazan ısıtma yüzeyi (m ²)	100 - 3000
Buhar yükü (Kg Buhar / m ² h)	80 - 100
Basınç (Bar)	32 - 160
Kızdırma sıcaklığı (C)	550 - 600
Su hacmi / Isıtma yüzeyi (m ³ su/m ²)	0,042
Su ağırlığı / Buhar debisi (kgsu/kg buhar/h)	0,3

3.5. BUHAR KAZANI ANA PARÇALARI

3.5.1. Ocak

Yanmanın meydana geldiği hacimdir. Genellikle kazan içinde, bazende dışında bulunur.

3.5.2. Brülör

Sıvı veya gaz yakıtları yakmaya yarayan alettir. Sıvı yakıtlar önce ısıtılıp vizkoziteleri

düşürüldükten sonra pülverize halde püskürtülürken hava ile karıştırılıp yakılırlar.

3.5.3. Asıl Isıtma Yüzeyi

Yakılan yakıttan elde edilen ısının suya aktarıldığı yüzeydir. Yani baca gazlarının kazan içerisinde dolaştırılan su boruları ile temas ettiği yüzeydir.

3.5.4. Ekonomizer

Baca gazlarının ısılarından yararlanılarak kazana gönderilen besleme suyunun sıcaklığını arttırmaya yarayan kısımdır.

3.5.6. Kızdırıcı

Kazanda elde edilen doymuş buharın Cehennemliğe (ocakın en sıcak kısmı) yerleştirilen boru demetinden geçirilerek kızdırıldığı kısımdır.

3.5.7. Hava Isıtıcısı

Hava ekonomizeri olarak adlandırılır. Ocak içerisinde yanmanın iyileştirilmesi ve ocak sıcaklığının yükseltilmesi amacıyla yakma havasının baca gazları ile önceden ısıtılmasıdır. [6]

3.6. BUHAR KAZANI YARDIMCI CİHAZLARI

Kazanın çalışma emniyetini ve otomatik kontrolünü sağlamak amacıyla kullanılan ilave cihazlardır.

3.6.1. Besleme Suyu Pompası

Kazan işletme basıncının biraz üstünde bir basınçla kazana su takviye eden pompadır. Genellikle kademeli santrifuj tip pompa kullanılmaktadır.

3.6.2. Üfleme Vantilatörü

Yanma için gerekli havayı sağlar.

3.6.3. Çekiş Aspiratörü

Yanmış baca gazlarının cebri çekişle atmosfere atılmasını sağlar.

3.6.4. Kontrol Cihazları

Basınç, sıcaklık gibi buhar karakteristiklerini, üretilmek istenen buhar çeşidine göre kontrol etmeye yarayan cihazlardır. Manometre, su seviye göstergesi, emniyet vanaları, yakıt seviye göstergesi, kazan termostatu, termometreler, su sayacı, yakıt ve buhar sayaçlarıdır.



BÖLÜM - IV

YAKITLAR VE YANMA

4.1. YANMA TANIMI :

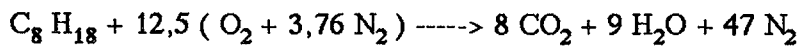
Buhar kazanlarında buhar üretilmesi için yeterli sıcaklık seviyesinde bir ısı kaynağına ihtiyaç vardır. Bu amaçla genellikle buhar kazanlarının ocaklarında fosil yakıtların yakılmasıyla ısı enerjisi temin edilir. İşte yakıt içerisindeki yanabilir elemanların havanın oksijeni ile çok hızlı bir kimyasal reaksiyona girerek çevreye ısı ve ışık yayması yanma olarak tanımlanır. [4]

Yanma elemanları (Reactant) yakıt ve havadaki oksijendir. Yanma ürünleri (Combustion product) ise tam yanma için genellikle karbondioksit, su buharı ve ısı enerjisidir.

4.2. STOKİOMETRİK HAVA (TEORİK HAVA) MİKTARI

Yanma olaylarında stokiometrik karışım denince teorik yanma anlaşılmalıdır. Diğer bir ifadeyle C,H,O,N sistemlerinde CO₂, H₂O ve N₂ 'yi yanma ürünü olarak verecek karışıma stokiometrik karışım, bu karışımı sağlamak için gerekli havaya ise stokiometrik hava (Teorik hava) miktarı denilir. [1]

Oktan yakıtının yanmasını sağlayacak stokiometrik karışım ve stokiometrik oran aşağıdaki şekildedir.



Havanın içerisinde O_2 ve N_2 ' den başka karışımlarda vardır. Bunların etkileri N_2 ' ye ilave edilerek gerçekte $M_{N_2} = 28,011$ gr. olan 1 mol azot gazının kütlesi hesaplamalarda $M_{N_2} = 28,161$ gr. olarak alınır. Bu durumda mol bazında stokiometrik oran

$$S_n = (O / Y)_{n,s} = 12,5 \text{ kmol } O_2 / \text{ kmol Yakıt}$$

$$S_n = (H / Y)_{n,s} = 59,5 \text{ kmol Hava} / \text{ kmol Yakıt}$$

kütle bazında oran

$$S_m = (O / Y)_{m,s} = 3,5 \text{ Kg } O_2 / \text{ Kg Yakıt}$$

$$S_m = 15,09 \text{ Kg Hava} / \text{ Kg Yakıt}$$

olarak bulunur. [1]

4.3. HAVA FAZLALIK KATSAYISI (HFK)

Yanma esnasında kullanılan gerçek hava miktarının yakıtın yanması için gerekli stokiometrik (Teorik) hava miktarına olan oranıdır. Yanmayı tam sağlamak için yanma odasına gönderilen gerçek hava miktarı daima teorik hava miktarından bir miktar fazladır. Bu durumda $HFK > 1$ olur.

Yakıt kullanılan bir işletmede yanmanın tam olup olmadığı, o işletmenin ekonomikliği hususunda önemli rol oynar. Doğal olarak kötü bir yanma için kayıplar artacak ve ısı ekonomisi çok düşecektir. Yanmanın eksik veya tam olduğuna yanmış gazların miktarına bakılarak karar verilir. Tam yanma sonucu yakıt bileşimindeki karbon tamamen karbondioksit olarak ortaya çıkar. Yanma sonucunda karbon monoksit meydana geliyorsa, yanmanın eksik olarak gerçekleştiği anlaşılır. [13]

4.4. YAKITLAR

Yakıldıkları zaman ortama kullanılabilir miktarlarda ısı veren maddelerdir. Fiziksel durumlarına göre katı yakıtlar, sıvı yakıtlar ve gaz yakıtlar olarak sınıflandırılırlar.

4.4.1. Katı Yakıtlar

Bitkisel menşeli veya kömür cinsi olan yakıtlardır.

4.4.1.1. Antrasit

Bilinen kömürlerin en sertidir. İçindeki karbon oranı çok yüksektir, yavaş yanar.

4.4.1.2. Semi Antrasit

Antrasite göre daha çabuk yanar. Külü ve curufu azdır.

4.4.1.3. Yarı Bitümlü Kömür

Dış görünüş olarak semi antrasiti andırır. fakat daha yumuşak, hemde uçucu maddeleri daha fazladır. Isı değeri yüksek, rutubet değeri düşük ve kükürt oranları küçük olduğundan kolay yanar. Yanma sonucu çıkan duman gazları azdır. İyi bir katı yakıt cinsidir.

4.4.1.4. Bitümlü Kömür

Dünyada mevcut kömürlerin en büyük kısmını yumuşak kömür diye bilinen bu kömür cinsi teşkil eder.

4.4.1.5. Linyit Kömürü

Siyah renkli, rutubet derecesi yüksek olan bir kömür çeşididir. Bitümlü kömürlere benzerler.

4.4.1.6. Kok Kömürü

Gazları alınmış olan kömürdür.

4.4.1.7. Semi Kok Kömürü

Bitümlü kömürlerin yarı koklaştırılmasıyla elde edilen bu yakıtlar dumansız olarak yanar ve ısı değeri kok kömürüne göre daha yüksektir .

4.4.1.8. Briket

Taş kömürü, linyit, kok ve semi kok gibi çeşitli tabii veya hazırlanmış katı yakıtların kurutulup toz haline getirildikten sonra preslenmesiyle elde edilir.

4.4.1.9. Trup (Turba)

Bataklık yerlerde bitkilerin dekompoze olmasıyla meydana gelirler.

4.4.2. Sıvı Yakıtlar

Genellikle ham petrolün damıtılması (distilasyon) sonucu elde edilen ürünlerdir. Ham petrol, bitki ve hayvan fosillerinin çok uzun süre toprak altında kalması ve bu arada bir takım bakteriyolojik etkilerle değişime uğraması sonucu oluşan siyah renkli yamcı bir sıvıdır. Ham petrolün rafinerilerde kademeli distilasyonu sonucu elde edilen sıvı yakıtlara teknikte yakıt yağları (fuel - oil) denmektedir. Tablo 5'te ASTM tarafından hazırlanan yakıt yağları özellikleri verilmiştir [7].

Ham petrolün rafineride distile edilmesi suretiyle elde edilen sıvı yakıtlar sırasıyla : Benzin, gazyağı, motorin, çok ince fuel - oil, ince fuel - oil, orta fuel - oil, orta ağır fuel - oil ve çok ağır fuel - oil'dir. Çok ağır fuel - oiler distilasyon sonunda ortaya çıkan artıklardır.

4.4.2.1. Benzin

Otomobillerde kullanılan ve oktan sayısı ile ifade edilen sıvı yakıtlardır. Oktan sayısı 90 değerinin altında olursa normal benzin, üzerinde olursa süper benzin olarak adlandırılmaktadır.

4.4.2.2. Gazyağı

Günümüzde azda olsa aydınlatma ve ısıtma için kullanılmaktadır.

4.4.2.3. Motorin

Dizel motorlarında kullanılan yakıttır. Mazot olarakta bilinir. genellikle yüksek devirli ve ufak güçlü dizel motorlarının tahrikinde kullanılmaktadır.

Tablo 5. Fuel-Oil için karakteristik deęerler

Numarası	No 1	No 2	No 4	No 5	No 6
Tip	Damıtılmış (Gaz yağı)	Damıtılmış	Çok Hafif Artıklar	Hafif Artıklar	Artıklar
Renk	Açık	Amber	Siyah	Siyah	Siyah
API gravitesi (15 °C)	40	32	21	17	12
Yoğunluk (15 °C) (gr/cm3)	0.8251	0.8654	0.9279	0.9529	0.9861
Viskozite (38 °C'de) Cst (Santistok)	1.6	2.68	15.0	50.0	360.0
Viskozite (38 °C'de) Saybolt Univ.	31	35	77	232	
Akma noktası (C)	-18	-18	-12	0	18
Pompalama Sıcaklığı (C)	Atmosferik	Atmosferik	-9	1	38
Atomizasyon Sıcaklığı (C)	Atmosferik	Atmosferik	-4	54	93
Karbon artıklar (%)	Eser	Eser	2.5	5.0	12.0
Kükürt (%)	0.1	0.4-0.7	0.4-1.5	max. 2.0	max. 2.8
Oksijen ve Azot (%)	0.2	0.2	0.48	0.7	0.92
Hidrojen (%)	13.2	12.7	11.9	11.7	10.5
Karbon (%)	86.5	86.4	86.10	85.55	85.70
Su ve Çökelli (%)	Eser	Eser	max. 0.5	max. 1.0	max. 2.0
Küf (%)	Eser	Eser	0.02	0.05	0.08
Isıl değer (Kcal/lı) (kJ/lı)	9121 38125	9387 39240	9720 40630	9853 41185	9986 41740

4.4.2.4. Çok İnce ve İnce Fuel - Oil

Orta güçlü ve orta devirli dizel motorları, gaz türbinleri ve küçük meskenlerin kalorifer tesislerinde kullanılmaktadır.

4.4.2.5. Orta Fuel - Oil

Orta devirli dizel motorları, gaz türbinleri ve merkezi ısıtma tesislerinde kullanılmaktadır. 4 numara fuel - oil olarakta bilinir.

4.4.2.6. Orta Ağır Fuel - Oil

Yüksek devirli büyük güçlü dizel motorlarında, fırın ve merkezi ısıtma tesislerinde kullanılan bu yakıt cinsi 5 numara fuel - oil olarakta bilinir. Distilasyon ürünlerinin sonuncusudur.

4.4.2.7. Ağır ve Çok Ağır Fuel - Oil

Her türlü kazan, fırın ve ocak tesisi ile ağır devirli büyük dizel motorlarında ve özel konstrüksiyona haiz büyük gaz türbinlerinde kullanılan yakıtlardır. 6 numara fuel - oil, ağır mazot veya bunker C olarakta bilinir. Distilasyon artığı olmaları sebebi ile kimyasal terkipleri, ham petrolün menşei ve uygulanan distilasyon metoduna göre değişir. Siyah renkli bu yakıt normal hava şartlarında akıcı değildir. Bu nedenle bir ön ısıtma ile viskozitelerinin düşürülmesi gerekir [13].

Fuel - Oiller de özgül ısı $0,4 - 0,6 \text{ kcal / kg C}$, buharlaşma ısısı $70 - 90 \text{ kcal / kg}$ arasında değişir. Su oranı ve kükürt oranı % 1' in altındadır. Bazen ağır fuel - oillerde % 3' e kadar çıkmaktadır.

4.4.3. Gaz Yakıtlar

Gaz yakıtlar yanma sonucu hiç artık bırakmayışı çok az hava fazlalığına ihtiyaç duyulmasından dolayı buhar üretimi için ideal yakıtlardır. Hava gazı, su gazı gibi sentetik olanlarından başka ham petrolün distilasyonundan üretilen sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) ve doğal gaz gibi çeşitleri vardır. Buhar kazanlarında kullanılacak en önemli gaz yakıt doğal gazdır. Ülkemizde yeterli miktarda doğal gaz kaynakları olmadığından çoğunlukla buhar kazanlarında 6 numara fuel - oil kullanılmaktadır.

Tablo 6'da 15 C sıcaklıkta ve 1 bar basınçta doğal gazların karakteristikleri verilmektedir.

Tablo 6. 15 C sıcaklık ve 1 bar basınçtaki kuru tipik doğal gazların karakteristikleri

% Hacim								Yoğunluk kg/m ³	Üst ısı değeri	
CO ₂	N ₂	H ₂ S	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂		kJ/m ³	kJ/kg
5,50	—	7,00	77,73	5,56	2,40	1,18	0,63	0,900	39470	43915
3,51	32,00	0,50	52,54	3,77	2,22	2,07	3,44	1,058	32510	30750
26,20	0,70	—	59,20	13,90	—	—	—	1,080	31580	29260
0,17	87,69	—	10,50	1,64	—	—	—	1,140	5060	4440
0,20	0,60	—	99,20	—	—	—	—	0,719	37420	52125
—	0,60	—	—	79,40	20,00	—	—	1,411	71980	51960
—	0,60	—	—	21,80	77,70	—	—	1,774	88860	50150

4.5. SIVI YAKITLARIN ÜSTÜNLÜKLERİ

Sağladıkları kolaylıklar nedeni ile bütün dünyada olduğu gibi ülkemizde de bir çok sanayi tesisi ya doğrudan doğruya sıvı yakıt ile çalışmak üzere kurulmuş, veya katı yakıtlı sistemlerden sıvı yakıtlı sistemlere geçiş yapılmıştır. Sıvı yakıtların katı yakıtlara göre aşağıdaki gibi üstünlükleri vardır.

- Isı değerleri aynı ağırlıktaki en iyi kömüre göre takriben % 35 daha fazladır.
- Elde edilecek aynı ısı miktarı için gerekli depolama hacmi, sıvı yakıtlarda katı yakıtlara göre % 50 daha azdır.
- Sıvı yakıt kullanılan tesislerde yanma sonucunda kül kalmadığından ocakların temizlenmesine ihtiyaç yoktur.
- Sıvı yakıtların depo edilmeleri halinde ısı değerlerinde herhangi bir azalma olmaz.
- Sıvı yakıt kullanımında yanma için gerekli hava tam olarak ayar edilebildiğinden baca kaybı daha düşüktür.
- Sıvı yakıt kullanılan tesislerde yakma işlemi o anda mevcut olan yük ile ilgili olarak otomatik bir şekilde ayarlanabilir.
- Sıvı yakıt kullanılması ile yanma verimi yükselir.
- Sıvı yakıtla çalışan tesislerde gerekli personel sayısı daha azdır.

BÖLÜM V İKİNCİ KANUN VE EKSERJİ ANALİZİ

5.1. TERMODİNAMİĞİN İKİNCİ KANUNU

Termodinamiğin birinci kanunu enerjinin korunumu olarakta bilinir. Birinci kanuna göre bir sisteme verilen ısı enerjisi ya sistemin iç enerjisini artırmış veya sistem üzerinede bir iş yapmıştır.

dQ = Sisteme dışardan verilen ısı

dE = Enerjideki değişim

dW = Sistemin yaptığı iş olarak gösterilmek üzere

$dQ=dE+dW$ dir [1].

İkinci kanunda ise T sıcaklığındaki bir ısı kaynağından çekilen ısı *ancak* bir kısmı işe dönüştürülebilir. Bunun maksimum değeri de T_0 civar (yakın çevre) olmak üzere Carnot verimi kadardır. Isı enerjisinin bir kısmı tersinmezlikler sonucu kayba uğramıştır.

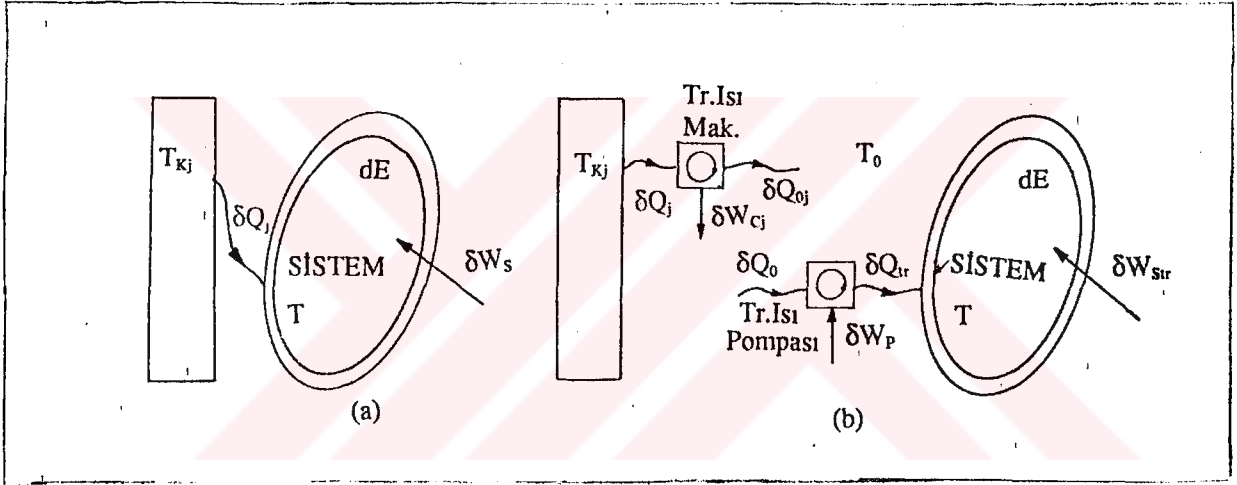
$$\eta_c = 1 - T_0 / T$$

İşte bu nedenle herhangi bir işlemin iyilik derecesini termodinamiğin ikinci kanunuyla tespit etmek daha sağlıklı sonuç verir. Bir işlemin iyilik derecesi ikinci kanun çerçevesinde; işlem esnasında net entropi artışı, tersinmezlik, kayıp iş tayini, kullanılabilir enerji analizi, ekserji analizi (akış kullanılabilirliği) gibi metodlarla hesaplanır.

Bir işlem ideal (tersinir) bir işleme yaklaşırken net entropi değişimi, kayıp iş ve tersinmezlik küçülür. Bu değerlerin küçülmesiyle kayıp kullanılabilir enerji de küçülür ve tersinir bir işlemde ise sıfır olur. Buradan görüldüğü gibi kullanılabilir enerji kaybı kavramı, net entropi değişimi, tersinmezlik ve kayıp iş gibi farklı görünen kavramlarla yakın ilişkili ve benzer kavramdır [2].

5.2. TERSİNİR İŞ

Bir işlem çevresinde hiç bir iz ve tesir bırakmadan ilk haline dönebiliyorsa buna tersinir işlem denilir. Tersinir bir işlemde yapılan işin tamamına da tersinir iş denilir.



Şekil 1. Sistemin Hal Değişimi (a) ve Tersinir İşlemi (b).

Şekil 1'de görüldüğü gibi bir sistemin bir hal değişimindeki tersinir işin bulunması için, sistemin aynı hal değişiminin tersinir olmasıyla yapılan tersinir işin yanısıra ısı alışverişlerinin tersinir olması ile yapılan işlerde gözönünde bulundurulmalıdır. Bir veya daha fazla T_{kj} ısı kaynağından alınan gerçek ısılar tersinir bir ısı makinası ile civara verilirken yapılan iş ve tersinir hal değişimi için sisteme gereken ısıyı civardan sağlayan tersinir ısı pompasınınca verilen iş, sistemin tersinir işine eklenirse; bütün işlem için tersinir iş bulunmuş olur.

$$\delta W_{tr} = \delta W_{s,tr} + \delta W_p + (-\sum \delta W_{cj}) \quad (1)$$

Termodinamiğin birinci ve ikinci kanunları sisteme uygulanırsa

$$\delta W_{s,tr} = dE - \delta Q_{tr} = dE - T dS \quad (2)$$

$$\delta W_{cj} = (1-T_0/T_{kj}) \delta Q_j, \quad \delta W_p = (1-T_0/T) \delta Q_{tr} \quad (3)$$

elde edilir. Bu ifadeler (1) nolu denklemde yerlerine konulursa sistem için tersinir iş

$$\delta W_{tr} = -\sum (1-T_0/T_{kj}) \delta Q_j + dE - T_0 dS \quad (4)$$

bulunur [2].

5.3. TERSİNMEZ İŞ VE TERSİNMEZLİK

Termodinamikte tersinir iş ile gerçek iş arasındaki fark olarak tanımlanır.

Her gerçek hal değişiminin belirli bir hızı vardır ve bu değişim için termodinamik denge halinden sapmalar sonlu mertebededir. Bu nedenle gerçek hal değişimleri herhangi bir mertebede tersinmezdir. Tersinmezliğin başlıca nedenleri ise:

- Sürtünme
- Sonlu basınç farkında sıkıştırma ve genişleme
- Sonlu sıcaklık farkında ısı geçişi
- Yanma
- İki farklı maddenin karışımı
- Serbest düşme gibi olaylardır.

Tersinmezlik ifadesi

$$\delta I = \delta W - \delta W_{tr} = T_0 (dS - \sum \delta Q_j / T_{kj}) = T_0 dS_{Net} \quad (5)$$

5.4. Kullanılabilir Enerji (Available Energy)

Bir sistemin bulunduğu haldeki kullanılabilir enerjisi, yapılabileceği mümkün olan maksimum faydalı işin mutlak değeridir. Başka bir ifadeyle sistemin verilen bir halden ölü hale dönünceye kadar bütün işlemlerin tersinir olması ve ısı alışverişinin yalnız civarla olduğu durumda sistemden alınan iştir.

Bir sistemin çevre basıncı P_o a karşı yapılan hareketli sınır işi dışında kalan işi faydalı iş veya işin kullanılabilir enerjisi olarak tanımlanır.

$$W_f = dX_w = \delta W - (P_o dV) \quad (6)$$

Burada sistemin sınır işi değeri negatif alınmıştır.

Sistemin faydalı işi P_o çevre basıncına karşı yapılan hareketli sınır işi dışındaki tüm işlerin toplamı olduğuna göre tersinir faydalı iş (4) ve (6) nolu denklemlerden

$$\delta W_{tr,f} = -\sum(1-T_o / T_{kj}) \delta Q_j + dE + P_o dV - T_o dS \quad (7)$$

şeklinde bulunur.

$$dX = d(E + P_o V - T_o S) \text{ olur} \quad (8)$$

(8) nolu ifadenin integrali alındığında

$E = U + KE + PE$ ve ölü hal için $KE_o = 0$ olduğu göz önünde bulundurularak birim kütle için kullanılabilir enerji

$$X = u + P_o v - T_o s - g_o + V^2 / 2 + g(z-z_o) \quad (9)$$

olarak elde edilir. Bu ifadenin kinetik ve potansiyel enerji dışında kalan kısmına kullanılabilirlik (availability) denilir

$$k = u + P_o v - T_o s - g_o \quad (10)$$

5.5. ÖLÜ HAL VE DENGELER KAVRAMLARI

Bir sistem civarı (yakın çevresi) ile termodinamik denge halinde ise bu duruma ölü hal (dead state) denilir. Sistem ölü halde iken civarın sistem üzerine hiçbir tesiri olmaz ve sistem de artık hiç iş yapamaz durumdadır. Ölü halin seçilmesinde referans olarak yalnız ısı ve mekanik dengeler gözönüne alınırsa buna şartlı denge (restricted equilibrium) denilir. Isı ve mekanik dengenin yanında kimyasal denge de gözönüne alınırsa buna şartsız denge (unrestricted equilibrium) denilir [11].

Sistemin sıcaklığı referans civar sıcaklığına (T_0) eşitse bu durumda ısı denge mevcuttur ve sistemin ısı enerjisinden faydalanılamaz. Yani T_0 civar sıcaklığındaki bir sistem sıfır-derecede (zero-grade) ısı kaynağıdır.

Sistemin basıncı civarın basıncına (P_0) eşitse bu durumda mekanik denge söz konusudur. P_0 civar basıncının belirlenmesi, sistem hacminde bir değişme olduğu zaman sistem tarafından civara karşı yapılan işin değerlendirilmesi için gereklidir.

Yakıtlar ve kimyasal bileşikler civarla şartlı denge halinde olsalar bile atmosferdeki oksijen ile reaksiyona girmeye ve bunun sonucu ekzoterm reaksiyon ise ısı açığa çıkarma, endoterm reaksiyonsa ısı alma potansiyeline sahiptirler. Kimyasal reaksiyon sonunda civarla kimyasal denge (madde alışverişinin durması) şartınında sağlanması gerekir.

5.6. FORMASYON ENTALPİSİ (h^0_f)

Kimyasal reaksiyonlar süresince reaksiyona giren maddelerin cins ve miktarı değişir. Bu bakımdan atmosferde standart halde en kararlı yapıya (most stable form) sahip olan N_2 (gaz), H_2 (gaz), O_2 (gaz), Hg (sıvı), C (grafit) gibi maddelerin entalpileri sıfır kabul edilerek, bunlardan elde edilen CH_4 , H_2O , CO_2 gibi maddelerin oluşumu esnasında verilen veya çekilen ısıya o maddenin standart formasyon entalpi (standart enthalpy of formation) denir.

Standart hal: 25°C sıcaklık ve 1 bar basınç durumudur.

5.7. AKIŞ KULLANILABİLİRLİĞİ (FLOW AVAILABILITY)

Bir maddenin akış kullanılabilirliği (ekserji), akışın çevre ile termal ve kimyasal olarak etkileşebildiği prosesler vasıtasıyla, tersinir olarak ilk halinden çevre ile termal, mekanik ve kimyasal denge durumuna getirildiğinde elde edilebilecek maksimum iş miktarıdır [2].

Bu durumda bir madde akışının ekserjisini, termomekaniksel ve kimyasal ekserji olarak iki temel bileşenin toplamı olarak alabiliriz.

N bileşenden meydana gelen 1 mol gaz karışımı için termomekaniksel ve kimyasal ekserjileri yazacak olursak;

X_k : Reaksiyondan çıkan gazın hacimsel oranını

X_k^o : Reaksiyondan çıkan gaz cinsinin standart havadaki hacimsel oranını göstermek üzere

$$\epsilon_{tm} = \sum_{k=1}^N X_k [h_k(T) - h_k(T_o) - T_o [S_k(T) - S_k(T_o)]] \quad (11)$$

$$\epsilon_{ch} = X_k \cdot R \cdot T_o \ln (X_k P / X_k^o P_o) \quad \text{olur.} \quad (12)$$

1 mol gaz için toplam ekserji

$$\epsilon_{top} = \sum_{k=1}^N X_k [[h_k(T) - h_k(T_o) - T_o [S_k(T) - S_k(T_o)]] + R \cdot T_o \ln (X_k P / X_k^o P_o)] \quad (13)$$

veya

$$\begin{aligned} \epsilon_{top} = \sum_{k=1}^N X_k [[h_k(T) - h_k(T_o) - T_o [S_k(T) - S_k(T_o)]] + R \cdot T_o \ln (X_k / X_k^o) \\ + R \cdot T_o \ln (P / P_o)] \quad (14) \end{aligned}$$

bulunur. Reaksiyon sonucu çıkan gazların atmosfere atılması nedeniyle kısmi basınçlarının atmosfer basıncına eşit olarak kabul edilebileceği varsayımını yaparsak ($P=P_o$)

$$\epsilon_{top} = \sum_{k=1}^N X_k [[h_k(T) - h_k(T_o) - T_o [S_k(T) - S_k(T_o)]] + R \cdot T_o \ln (X_k / X_k^o)] \quad (15)$$

bulunur. Bu formül şayet kimyasal reaksiyon sonucu çıkan gazların bileşim olarak standart havanın içinde de mevcut olması durumunda kullanılır. Şayet kimyasal reaksiyon sonucu meydana gelen gaz cinsi, standart havanın içinde bileşim olarak yoksa; bu gazın ekserjisi

$$\epsilon_{top} = X_k \left[[h_k(T) - h_k(T_o) - T_o [S_k(T) - S_k(T_o)]] + R \cdot T_o \ln X_k + \epsilon_{ch,k} \right] \quad (16)$$

formülüyle bulunur [12].

Standart havanın hacimsel bileşimi tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Standart havanın (T_o, P_o) % hacimsel bileşimi

Madde	%Hacim
N ₂	75,67
O ₂	20,35
H ₂ O	3,03
CO ₂	0,0345
CO	0,0007
SO ₂	0,0002
H ₂	0,00005
Diğerleri	0,91455

5.8. YAKITLARIN KİMYASAL EKSERJİSİ

Bir yakıtın kimyasal bileşimi açık olarak biliniyorsa o yakıtın kimyasal ekserjisi

P_o : Standart çevre basıncını (standart environmental state)

P_{oo} : Standart ölü hali (standart dead state)

k: Yanma ürünlerini göstermek üzere

$$\epsilon_{ch} = -\Delta h_o + T_o \Delta S_o + R T_o \left[X_{O_2} \ln (P_{oo}/P_o) - \sum_k X_k \ln (P_{oo,k}/P_o) \right] \quad (17)$$

formülüyle bulunur [11].

Yalnız bu sadece gaz yakıtlar için mümkün olabilmektedir. Zira katı ve sıvı yakıtlar birçok kimyasal maddenin karışımından meydana geldiklerinden bunların reaksiyon entropilerindeki değişimi tespit etmek çok zordur. Bu nedenle katı ve sıvı yakıtların kimyasal ekserjisini hesaplamak üzere Szargut bir ampirik formül geliştirmiştir.

ϵ_{ch} : Kimyasal ekserji

(NCV) : Yakıtın net kalori değeri (net calorific value)

ϕ : Kimyasal ekserjinin (NCV)'ye oranı olmak üzere

$$\phi = \epsilon_{ch} / (NCV) \quad \text{şeklindedir.} \quad (18)$$

Katı yakacaklar için ϕ sayısı bileşenlerin % kütlelerini almak üzere

$$\phi = 1,0437 + 0,1882 h/c + 0,061 o/c + 0,0404 n/c \quad (19)$$

Sıvı yakacaklar için

$$\phi = 1,0401 + 0,1728 h/c + 0,0432 o/c + 0,2169 s/c (1-2,0628 h/c) \quad (20)$$

formülleriyle bulunur. sayısı hassasiyeti

katı yakacaklar için \pm %1

sıvı yakacaklar için \pm % 0.38 dir.

Tablo 8'de tipik endüstriyel yakıtların sayıları verilmiştir [11].

Tablo 8.

Yakıtın Cinsi	Sayısı
Kok kömürü	1,05
Farklı cins kömürler	1,06-1,10
Odun	1,15-1,30
Fuel-Oil ve Petrol	1,04-1,08
Doğal gaz	1,04
Yüksek fırın Gazı	0,97-0,99
Hidrojen	0,985
Karbonmonoksit	0,973
Kükürt (rombik)	2,017

BÖLÜM VI

YANMIŞ GAZLARIN EKSERJİLERİ İLE İLGİLİ BİR UYGULAMA

6.1. UYGULAMANIN YAPILDIĞI YER

Deneyler Kayseri'nin merkezinde kurulu Orta Anadolu Mensucat Fabrikasının Kazan Dairesinde yapılmıştır. Bu fabrikada büyük miktarda blucin (kot) kumaş ve bez imalatı yapılmakta olup çoğunluğu ihraç edilmektedir.

Ham bezin ve blucinin üretim aşamasında bir çok yerde kurutma amacıyla buhar silindirleri (vapour rollers) kullanılmakta, bu silindirlerin içerisinde de buhar dolaştırılmaktadır. Fabrikanın buhar için işletme basıncı 7,2 atü, sıcaklığı da 160°C civarındadır. Gerekli olan bu buhar kazan dairesindeki kapasiteleri farklı 3 adet Alev Duman borulu Scotch tipi buhar kazanından elde edilmektedir.

Bu çalışmada 2 ve 3 nolu buhar kazanlarında işletme basıncını etkilemeyecek şekilde mümkün olabilecek yakıt debileri ve hava fazlalık katsayıları için baca gazı ölçümleri Gaco-Sn marka elektronik gaz analizörü ile yapılmış daha sonrada baca gazı bileşenlerinin ekserjileri hesaplanmıştır.

Ölçümler gerçek işletme şartlarında yakıt yakma havası manuel olarak değiştirilerek yapılmış ve bacagazı ölçüm değerleri elektronik gaz analizörü printerinden alınmıştır. Yine yakıt debileri manuel olarak değiştirilmiş, saatte yakılan fuel-oil miktarı yakıt sayacı vasıtasıyla belirlenmiştir.

Tablo 9 da 1,2 ve 3 nolu kazanlara ait bazı özellikler verilmiştir.

Tablo 9.

	1 Nolu	2 Nolu	3 Nolu
Isıtma yüzeyi (m ²)	200	250	365
Buhar kapasitesi (t/h)	6	8	15
1 t. 6 no fuel-oil için pratikte elde edilen buhar miktarı	13,8 t	14 t.	14,9 t.

6.2. BACA GAZLARI KURU HACİM YÜZDELERİ

2 nolu kazanda 23 adet ölçüm

3 nolu kazanda 5 adet ölçüm yapılmıştır.

Tablo 10 da 2 nolu kazan, $Q_y = 500$ kg / h için

Tablo 11 de 2 nolu kazan, $Q_y = 550$ kg / h için

Tablo 12 de 2 nolu kazan, $Q_y = 575$ kg / h için

Tablo 13 de 2 nolu kazan, $Q_y = 600$ kg / h için

Tablo 14 de 3 nolu kazan için değişik yakıt debileri ve hava fazlalık katsayılarında oluşan baca gazları ölçüm sonuçları verilmiştir.

Tablo 10. 2 nolu kazan $Q_y = 500$ kg / h için

	HFK=1,03	HFK=1,13	HFK=1,72	HFK=1,87	HFK=1,91	HFK=2,3
Gaz Sıcaklığı (K ^o)	479	501	510	514	505	511
% O ₂	0.7	2.4	9.2	9.7	9.9	11.7
CO (ppm)	1506	3878	0	0	84	276
% CO ₂	15.3	14	9	8.4	8.3	6.9
SO ₂ (ppm)	960	872	854	0	1198	1018
NO (ppm)	192	229	194	210	180	150
NO ₂ (mg/NM ³)	348	451	633	697	596	594

Tablo 11. 2 nolu kazan $Q_y = 550$ kg / h için

	HFK=1,40	HFK=1,47	HFK=1,57	HFK=1,72	HFK=1,87	HFK=2,09
Gaz Sıcaklığı (K^0)	514	516	517	521	523	525
% O_2	5.8	6.8	7.5	8.9	9.6	10.7
CO (ppm)	0	0	0	0	0	0
% CO_2	11.4	10.5	10.1	9.1	8.5	7.7
SO_2 (ppm)	0	0	0	0	0	0
NO (ppm)	260	244	234	206	190	170
NO_2 (mg/ NM^3)	625	645	639	627	621	608

Tablo 12. 2 nolu kazan $Q_y = 575$ kg / h için

	HFK=1,03	HFK=1,17	HFK=1,40	HFK=1,50	HFK=1,65	HFK=1,89
Gaz Sıcaklığı (K^0)	510	498	512	517	522	526
% O_2	0.7	3.1	5.5	6.9	8.1	10.1
CO (ppm)	1950	0	0	0	0	0
% CO_2	15.3	13.5	11.7	10.5	9.6	8.2
SO_2 (ppm)	1290	0	0	0	0	0
NO (ppm)	218	254	256	240	214	184
NO_2 (mg/ NM^3)	395	522	629	627	641	629

Tablo 13. 2 nolu kazan $Q_y = 600$ kg / h için

	HFK=1,16	HFK=1,27	HFK=1,40	HFK=1,55	HFK=1,76
Gaz Sıcaklığı (K^0)	516	521	525	529	533
% O_2	3.1	4.4	6.2	7.8	9.3
CO (ppm)	370	0	0	0	0
% CO_2	13.6	12.4	11.4	10.3	8.9
SO_2 (ppm)	830	1074	0	0	922
NO (ppm)	270	278	234	216	194
NO_2 (mg/ NM^3)	537	621	590	606	610

Tablo 14. 3 nolu kazan için

	Qy=1020 kg/h HFK=1,03	Qy=892 kg/h HFK=1,13	Qy=765 kg/h HFK=1,72	Qy=637 kg/h HFK=1,87	Qy=510 kg/h HFK=1,91
Gaz Sıcaklığı (K ⁰)	495	503	509	512	514
% O ₂	12.8	10.7	8.9	7.5	6.3
CO (ppm)	10	20	20	20	10
% CO ₂	6.1	7.6	9.1	10.1	11.1
SO ₂ (ppm)	214	736	832	842	1374
NO (ppm)	128	168	196	216	228
NO ₂ (mg/NM ³)	574	608	596	599	571

Gaz analizörü; baca gazlarından Karbondioksit ve Oksijeni yüzde olarak, karbonmonoksit, kükürtdioksit ve azotmonoksiti milyonda bir parça (parts per million) olarak, azotdioksiti ise normal metreküp içerisinde miligram cinsinden vermektedir. Geri kalan kısım ise yanma odasına gönderilen havanın içerisindeki azottur.

Her bir yanma işlemi sonunda ortaya çıkan baca gazlarının ekserjilerini hesaplamak için baca gazlarının elemanter analiz ile yaş hacim yüzdelerini bulmak gerekir.

Buhar kazanlarında kullanılan 6 numara fuel-oil (sıvı yakıt) bir bileşik olmayıp çeşitli elementlerin karışımıdır. Bu yakıtın kütleli yüzdesi tablo 15'te verilmiştir [15].

Tablo 15. 6 no fuel-oil'in kütleli yüzdesi

Madde	Kütle %
C	87.26
H	10.49
O ₂	0.64
N ₂	0.28
S	0.84
Ash	0.04

2 nolu kazanda 500 kg/h yakıt sarfiyatı ve 1,72 hava fazlalık katsayısı için baca gazlarının kuru hacim yüzdeleri Tablo 10 kullanılarak bulunur.

$$\text{CO}_2 : \% 9$$

$$\text{O}_2 : \% 9.2$$

$$\text{CO} : 0 \text{ ppm}$$

$$\text{SO}_2 : 854 \text{ ppm} = \% 0.0854$$

$$\text{NO} : 194 \text{ ppm} = \% 0.0194$$

$$\text{NO}_2 : 633 \text{ mg/Nm}^3$$

Azotdioksitin hacimsel yüzdesini ideal gazların hal denklemlerinden

$$PV=nRT \text{ (gazlar mol olarak alınır)}$$

$$PV=mRT \text{ (gazlar kütle olarak alınır)}$$

$$P / RT = m / V ; m / V = \rho \text{ olduğuna göre}$$

$$\rho = P / RT \text{ olur [9].}$$

Baca gazındaki azotdioksitin sıcaklığı $T=510^\circ\text{K}$, $\rho = 633 \text{ mg/Nm}^3$ olduğuna göre

$$P = 1 \text{ atm} = 1.01325 \text{ bar} = 101325 \text{ N/m}^2$$

$$R = 8.3144 \text{ J/mol}^\circ\text{K} = 180.72 \text{ J/kg}^\circ\text{K}$$

$$633 \cdot 10^{-6} \text{ kg/m}^3 = \frac{101325 \text{ N/m}^2 \cdot \text{mol}_{\text{NO}_2}}{180.72 \text{ J/kg}^\circ\text{K} \cdot 510^\circ\text{K}} \longrightarrow \text{mol}_{\text{NO}_2} = 0.0005757$$

$$\text{NO}_2 = \% 0.05757 \text{ olur.}$$

Burada baca gazları ideal gaz karışımı kabul edilmiş, baca gazı basıncının atmosfer basıncına eşit olduğu varsayılmıştır.

Baca gazlarının kalan yüzdesi N_2 'yi verecektir. Hesaplamalar tablo 16'da yapılmıştır.

Tablo 16. $Q_y = 500$ kg/h, $HFk=1.72$ $T_g=510$ °K için baca gazları kuru hacim, kütle ve yaş hacim tablosu.

GAZ cinsi	%HACIM(kuru)	XiMi	%KUTLE	BACA GAZI gr/kg yakıt	BACA G.MİK. mol/kg yakıt	%HACIM(yaş)
CO ₂	9.00000	3.96000	13.26656	3199.53333	72.71667	8.45137
CO	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
O ₂	9.20000	2.94400	9.86281	2378.64296	74.33259	8.63918
SO ₂	0.08540	0.05466	0.18311	44.16002	0.69000	0.08019
NO	0.01940	0.00582	0.01950	4.70234	0.15674	0.01822
NO ₂	0.05757	0.02649	0.08872	21.39664	0.46514	0.05406
N ₂	81.63763	22.85854	76.57931	18468.95080	659.60181	76.66107
H ₂ O	0.00000					6.09591
	100.00000	29.84949	100.00000	24117.28610	807.96296	100.00000

Kuru hacim yüzdesi, gazların mol ağırlığı ile çarpılarak XiMi değeri bulunur. Sonrada XiMi toplam ağırlığının içerisindeki gazların kütleli yüzdeleri hesaplanır.

Baca gazının kütleli bileşimi göz önüne alınırsa, 1 kg baca gazındaki karbon miktarı:

$$132.6656 * 12/44 + 0 * 12/28 = 36.181 \text{ gr.}$$

1 kg fuel-oil de 872,6 gr. karbon bulunduğuna göre (Tablo 15 de) 1 kg fuel-oil'den kaç kg baca gazının meydana geleceğini bulabiliriz.

$$872.6 / 36.181 = 24.117 \text{ kg baca gaz / kg fuel-oil}$$

hesaplanır .

Gazların kütle olarak baca gazındaki dağılımından mol olarak dağılımlarında hesaplanır.

Aslında baca gazında fuel-oil'in bileşiminde bulunan H₂ su buharı olarak çıkmakta fakat gaz analizörü su buharını ölçmemektedir. 1 kg fuel-oil'den meydana gelecek su buharının mol sayısı Tablo 17'den 52.45 mol olarak görülür.

Tablo 16

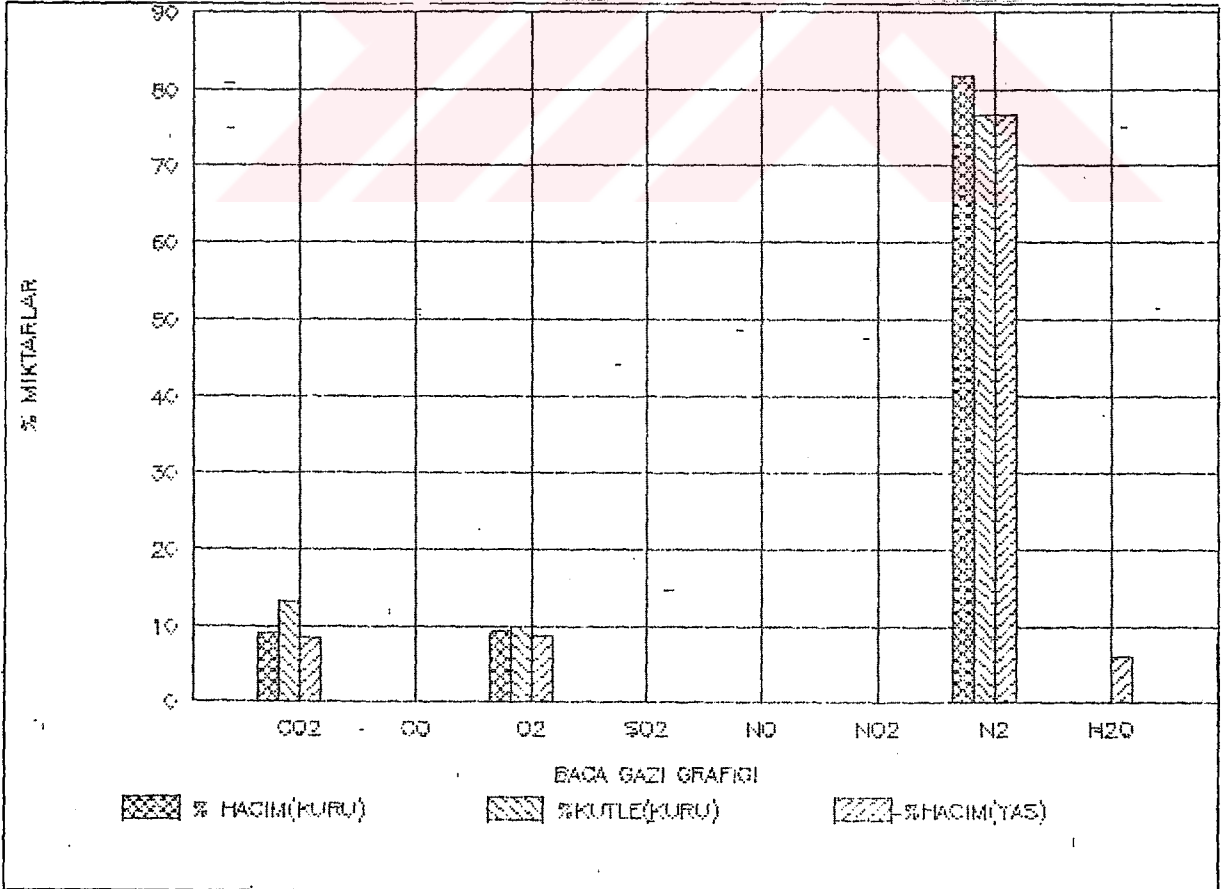
Qyakit = 500 kg/h

HFK = 1.72

Tg = 510 K

GAZ cinsi	%HACIM(kuru)	Ximi	%KUTLE	BACA GAZI gr/kg yakit	BACA G.MIK. mol/kg yakit	%HACIM(yas)
CO2	9.00000	3.96000	13.26656	3199.53333	72.71667	8.45137
CO	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
O2	8.20000	2.94400	9.66281	2378.64296	74.33259	8.63918
SO2	0.06540	0.05466	0.18311	44.16002	0.69000	0.08019
NO	0.01940	0.00582	0.01950	4.70234	0.15674	0.01822
NO2	0.05757	0.02649	0.08872	21.39664	0.46514	0.05406
N2	81.63763	22.85854	76.57931	18468.85080	659.60181	76.66107
H2O	0.00000					6.09591
	100.00000	29.84949	100.00000	24117.28610	807.96296	100.00000

Baca Gazlarının Kuru Hacim, Kütle, Yas Hacim Tabloları ve Grafiki



Tablo 17. 1 kg fuel-Oil'in yanması için gerekli teorik O₂ miktarı

Element	%Ağırlık	1 kg Fuel-Oil'deki mol sayısı	Yanma için gerekli teorik O ₂ mol sayısı	Baca gazındaki mol sayısı
C	87.26	72.71	72.71	72.71 CO ₂
H	10.49	52.45	26.22	52.45 H ₂ O
S	0.84	0.26	0.26	0.26 SO ₂
O ₂	0.64	0.2	-0.2	-
N ₂	0.28	0.1	-	0.1 N ₂

Tablo 16'dan 1 kg fuel-oil'in yanması için gerekli teorik O₂ miktarı 98.99 mol'dür.

Teorik O₂ kütlesi ise $98.99 \times 32 = 3167.68$ gr = 3.167 kg'dır. 1 mol havanın hacimce bileşenleri diğer gazlar ihmal edildiğinde

%79 N₂

%21 O₂ dir.

1 mol havanın kütlesi $0.79 \times 28 + 0.21 \times 32 = 28.84$ gr eder. Kütleli olarak havanın yüzdesi

ise %23.3 O₂

%76.7 N₂ dir.

Buradanda 1 kg fuel-oil'in yanması için

3.167 kg O₂ / kg fuel-oil veya $3.167 (100/23.3) = 13.592$ kg hava / kg yakıt

değerleri hesaplanır.

1 kg fuel-oil'in yakılması esnasında yakıtla birlikte giren elemanları yazacak olursak:
Kütleli olarak (gr cinsinden):

$872.6 \text{ C} + 104.9 \text{ H}_2 + 8.4 \text{ S} + 6.4 \text{ O}_2 + 2.8 \text{ N}_2 + (3167 \text{ O}_2 + 10425 \text{ N}_2)$ Yanma →

Hacimsel olarak (mol cinsinden):

$72.71 \text{ C} + 52.45 \text{ H}_2 + 0.26 \text{ S} + 0.2 \text{ O}_2 + 0.2 \text{ N}_2 + (98.96 \text{ O}_2 + 372.32 \text{ N}_2)$ Yanma →

Tablo 16'daki mol cinsinden bacagazı toplamına Tablo 17'deki bacagazı H₂O mol değeri eklenerek yaş hacim tablosu hesaplanır. Yaş hacim tablosu elde edildikten sonra baca gazlarının ekserjileri hesaplanabilir.

Diğer tüm ölçümler için bacagazlarının kuru hacim, kütle ve yaş hacim yüzdeleri hesaplanarak grafikleri çizilmiş, Ek-1'den Ek-27'ye kadar diğer Tablolar Ek'ler kısmında sunulmuştur.

6.3. BACAGAZLARI EKSERJİLERİNİN HESABI

Bacagazı olarak çıkan gazlardan CO₂, CO, O₂, SO₂, N₂ ve H₂O Tablo 7'de standart havanın içerisinde aynı bileşimde buldukları için ekserjileri 5.7. bölümündeki (15) formülüyle hesaplanır. NO ve NO₂ ise (16) formülüne göre hesaplanır.

Tablo 16. da Q_y=500 kg/h, HFK=1.72 T_g=510 °K için çıkan bacagazlarının ekserjilerini hesaplayalım.

Ek-28 ile Ek-35 arası tablolardan gazların entalpi ve entropi değerleri alınarak hesaplamalar yapılırsa Karbondioksitin ekserjisi

$$\mathcal{E}_{CO_2} = X_k \left[[h_k(T) - h_k(T_o) - T_o(S_k(T) - S_k(T_o))] + R \cdot T_o \ln \frac{X_k}{X_k^o} \right]$$

$$\mathcal{E}_{CO_2} = 0.0845137 \left[8774 - 298.15(21.9675) + 8.3144 \cdot 298.15 \ln \frac{0.0845137}{0.000345} \right]$$

$$\mathcal{E}_{CO_2} = 1340.5 \text{ kJ / kmol yakıt}$$

Karbonmonoksit baca gazlarında olmadığından ekserjisi sıfırdır.

$$\mathcal{E}_{CO} = 0$$

Kükürdioksitin ekserjisi

$$\mathcal{E}_{SO_2} = 0.0008019 \left[9240.1764 - 298.15(26.0924) + 8.3144 \cdot 298.15 \ln \frac{0.0008019}{0.000002} \right]$$

$$\mathcal{E}_{SO_2} = 13.086 \text{ kJ / kmol yakıt}$$

Oksijenin ekserjisi

$$\mathcal{E}_{O_2} = 0.863918 \left[6403.9 - 298.15(16.1317) + 8.3144 \cdot 298.15 \ln \frac{0.863918}{0.2035} \right]$$

$$\epsilon_{O_2} = -45.757 \text{ kJ / kmol yakıt}$$

Azotun ekserjisi

$$\epsilon_{N_2} = 0.7666107 [6209.9 - 298.15(15.6725) + 8.3144 * 298.15 \ln 0.7666107 / 0.7567]$$

$$\epsilon_{N_2} = 1203.119 \text{ kJ / kmol yakıt}$$

Su buharının ekserjisi

$$\epsilon_{H_2O} = 0.0609591 [727738 - 298.15(18.3414) + 8.3144 * 298.15 \ln 0.0609591 / 0.0303]$$

$$\epsilon_{H_2O} = 215.93 \text{ kJ / kmol yakıt.}$$

Azotmonoksitin ekserjisi

$$\epsilon_{NO} = X_k [h_k(T) - h_k(T_o) - T_o [S_k(T) - S_k(T_o)] + R \cdot T_o \ln X_k + e_{ch,NO}]$$

$$\epsilon_{NO} = 0.0001822 [6366.8 - 298.15(16.0683) + 8.3144 * 298.15 \ln 0.0001822 + 89040]$$

$$\epsilon_{NO} = 12.621 \text{ kJ / kmol yakıt.}$$

Azotdioksitin ekserjisi

$$\epsilon_{NO_2} = X_k [h_k(T) - h_k(T_o) - T_o [S_k(T) - S_k(T_o)] + R \cdot T_o \ln X_k + e_{ch',NO_2}]$$

$$\epsilon_{NO_2} = 0.0005406 [8599 - 298.15(21.55) + 8.3144 * 298.15 \ln 0.0005406 + 56220]$$

$$\epsilon_{NO_2} = 21.486 \text{ kJ / kmol yakıt.}$$

Toplam ekserji

$$\epsilon_{top} = \epsilon_{CO_2} + \epsilon_{CO} + \epsilon_{SO_2} + \epsilon_{N_2} + \epsilon_{H_2O} + \epsilon_{NO} + \epsilon_{NO_2}$$

$$\epsilon_{top} = 1340.5 + 0 + 13.086 - 45.757 + 1503.119 + 215.63 + 15.621 + 21.486$$

$$\epsilon_{top} = 2760.985 \text{ kJ / kmol yakıt.}$$

Azotmonoksitin standart kimyasal ekserjisi $\epsilon_{NO} = 89040$ kJ / kmol

Azotdioksitin standart kimyasal ekserjisi $\epsilon_{NO_2} = 56220$ kJ / kmol

Aynı ekserji hesaplamaları diğer 27 ölçüm içinde yapılırsa;

Ek-1 :	Qy=500 kg/h	HFk =1.03	$\epsilon_{top} = 3613$ kJ / kmol yakıt.
Ek-2 :	Qy=500 kg/h	HFk =1.13	$\epsilon_{top} = 3593$ kJ / kmol yakıt.
Ek-3 :	Qy=500 kg/h	HFk =1.87	$\epsilon_{top} = 2719$ kJ / kmol yakıt.
Ek-4 :	Qy=500 kg/h	HFk =1.91	$\epsilon_{top} = 2581$ kJ / kmol yakıt.
Ek-5 :	Qy=500 kg/h	HFk =2.3	$\epsilon_{top} = 2446$ kJ / kmol yakıt.
Ek-6 :	Qy=550 kg/h	HFk =1.40	$\epsilon_{top} = 3237$ kJ / kmol yakıt.
Ek-7 :	Qy=550 kg/h	HFk =1.47	$\epsilon_{top} = 3109$ kJ / kmol yakıt.
Ek-8 :	Qy=550 kg/h	HFk =1.57	$\epsilon_{top} = 3048$ kJ / kmol yakıt.
Ek-9 :	Qy=550 kg/h	HFk =1.72	$\epsilon_{top} = 2931$ kJ / kmol yakıt.
Ek-10 :	Qy=550 kg/h	HFk =1.87	$\epsilon_{top} = 2861$ kJ / kmol yakıt.
Ek-11 :	Qy=550 kg/h	HFk =2.09	$\epsilon_{top} = 2758$ kJ / kmol yakıt.
Ek-12 :	Qy=575 kg/h	HFk =1.03	$\epsilon_{top} = 3998$ kJ / kmol yakıt.
Ek-13 :	Qy=575 kg/h	HFk =1.17	$\epsilon_{top} = 3407$ kJ / kmol yakıt.
Ek-14 :	Qy=575 kg/h	HFk =1.40	$\epsilon_{top} = 3260$ kJ / kmol yakıt.
Ek-15 :	Qy=575 kg/h	HFk =1.50	$\epsilon_{top} = 3120$ kJ / kmol yakıt.
Ek-16 :	Qy=575 kg/h	HFk =1.65	$\epsilon_{top} = 3034$ kJ / kmol yakıt.
Ek-17 :	Qy=575 kg/h	HFk =1.89	$\epsilon_{top} = 2853$ kJ / kmol yakıt.
Ek-18 :	Qy=600 kg/h	HFk =1.16	$\epsilon_{top} = 3692$ kJ / kmol yakıt.
Ek-19 :	Qy=600 kg/h	HFk =1.27	$\epsilon_{top} = 3544$ kJ / kmol yakıt.
Ek-20 :	Qy=600 kg/h	HFk =1.40	$\epsilon_{top} = 3384$ kJ / kmol yakıt.
Ek-21 :	Qy=600 kg/h	HFk =1.55	$\epsilon_{top} = 3242$ kJ / kmol yakıt.
Ek-22 :	Qy=600 kg/h	HFk =1.76	$\epsilon_{top} = 3078$ kJ / kmol yakıt.
Ek-23 :	Qy=510 kg/h	HFk =2.6	$\epsilon_{top} = 2103$ kJ / kmol yakıt.
Ek-24 :	Qy=637 kg/h	HFk =2.09	$\epsilon_{top} = 2577$ kJ / kmol yakıt.
Ek-25 :	Qy=765 kg/h	HFk =1.74	$\epsilon_{top} = 2765.2$ kJ/kmol yakıt.
Ek-26 :	Qy=892 kg/h	HFk =1.57	$\epsilon_{top} = 2982$ kJ / kmol yakıt.
Ek-27 :	Qy=1020 kg/h	HFk =1.43	$\epsilon_{top} = 3182$ kJ / kmol yakıt.

bulunur.

Yapılan tüm bu hesaplamalardan sonra

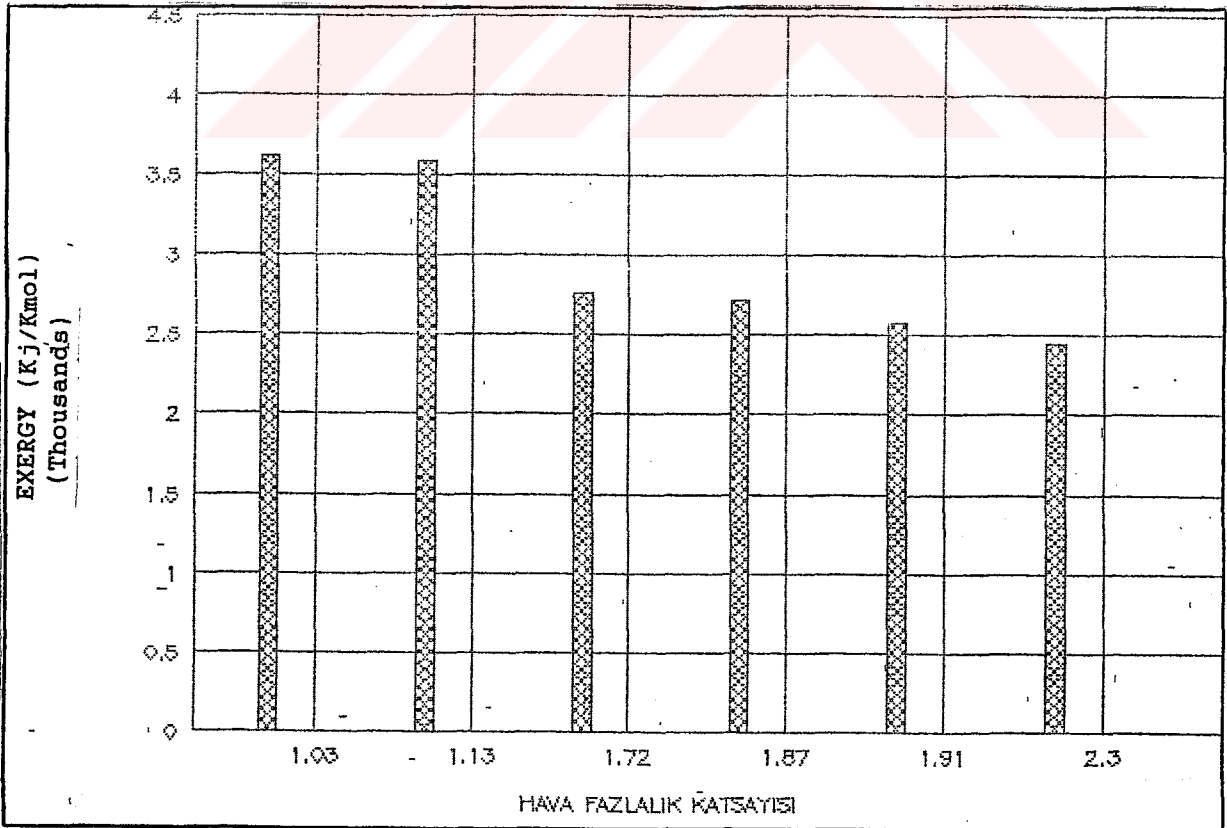
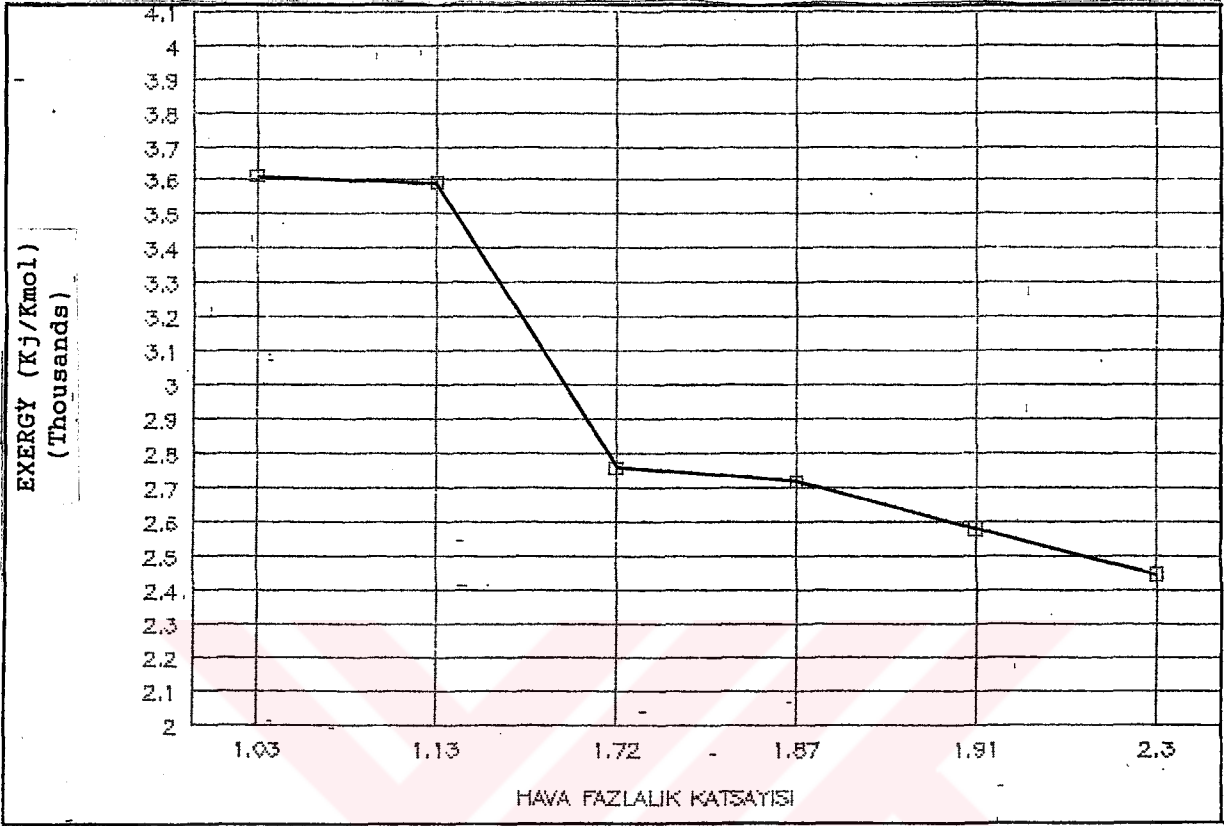
Qy=500 kg/h	için	Exergy-HFK	grafığı	Tablo 18'de
Qy=550 kg/h	için	Exergy-HFK	grafığı	Tablo 19'de
Qy=575 kg/h	için	Exergy-HFK	grafığı	Tablo 20'de
Qy=600 kg/h	için	Exergy-HFK	grafığı	Tablo 21'de
3 nolu kazan	için	Exergy-HFK	grafığı	Tablo 22'de

gösterilmiştir.



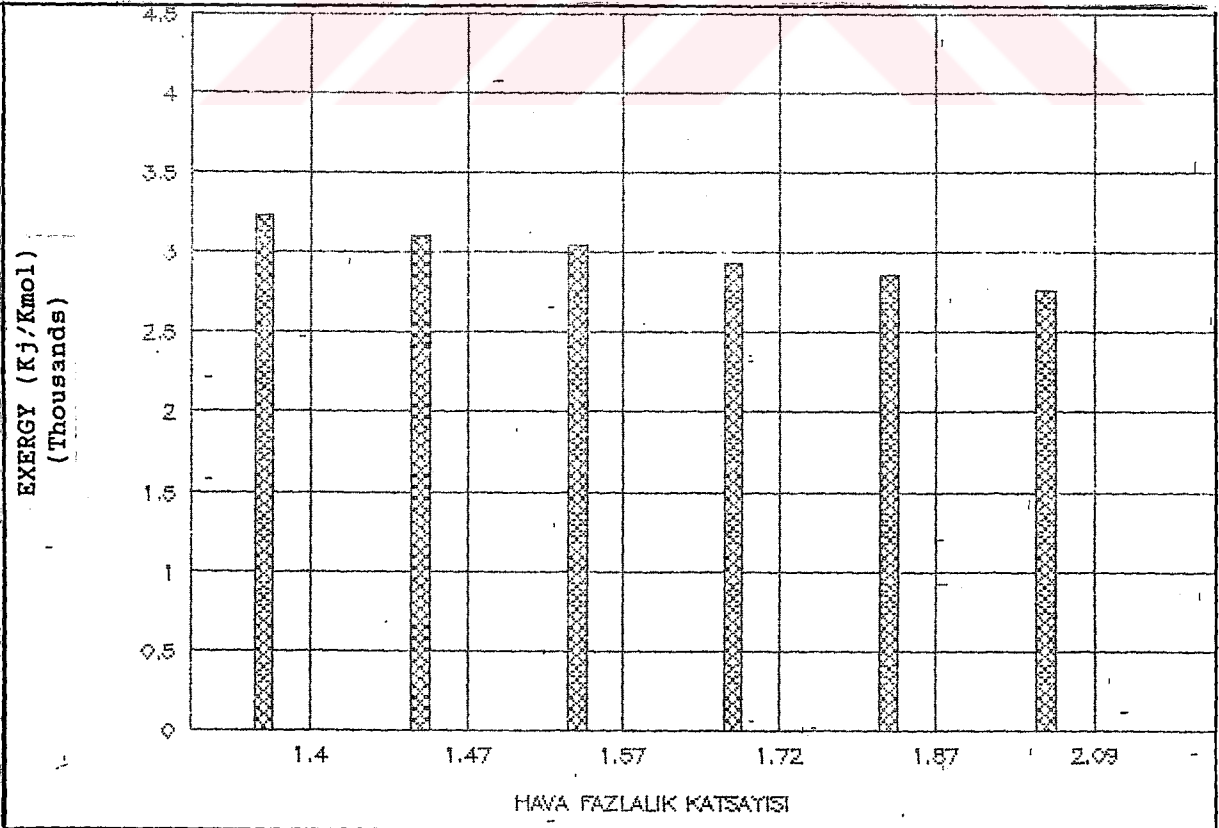
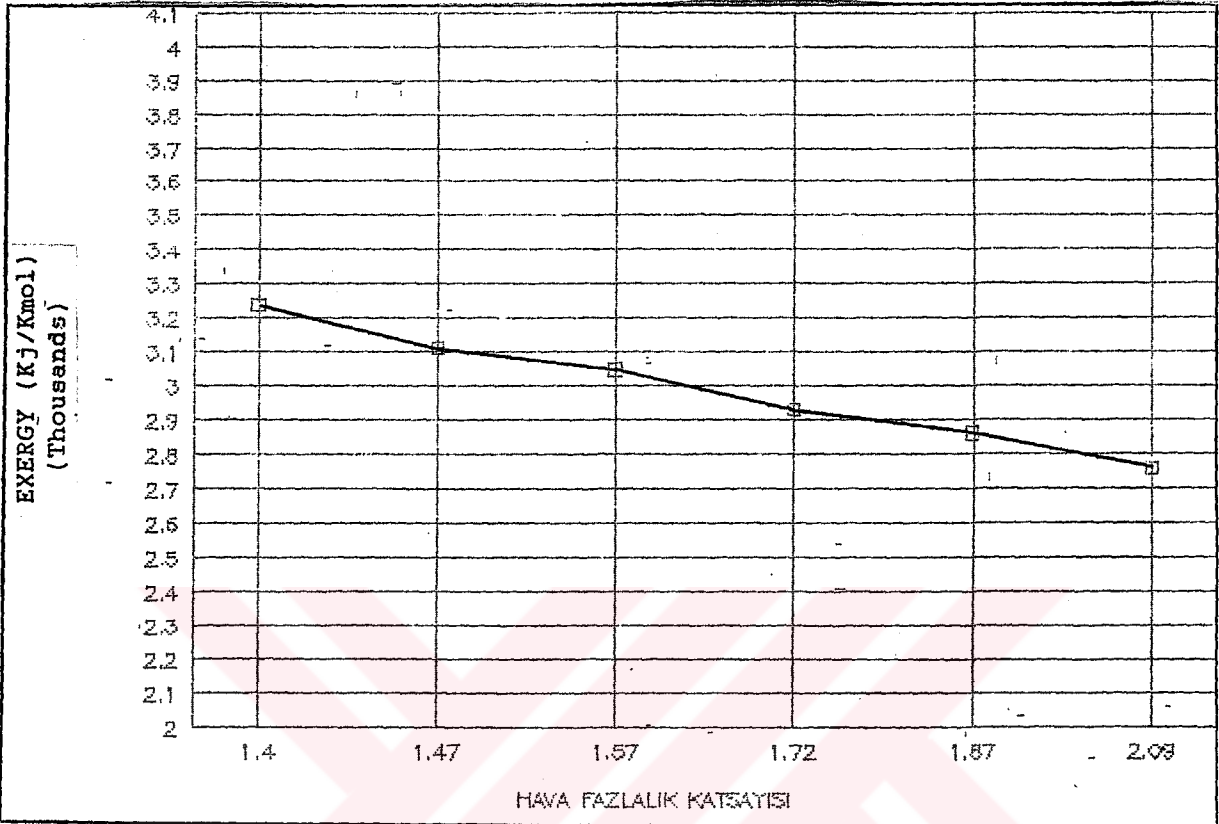
Tablo 18

$Q_v = 500 \text{ K}_a/\text{h}$ ICIN EXERGY - HFK GRAFIGI



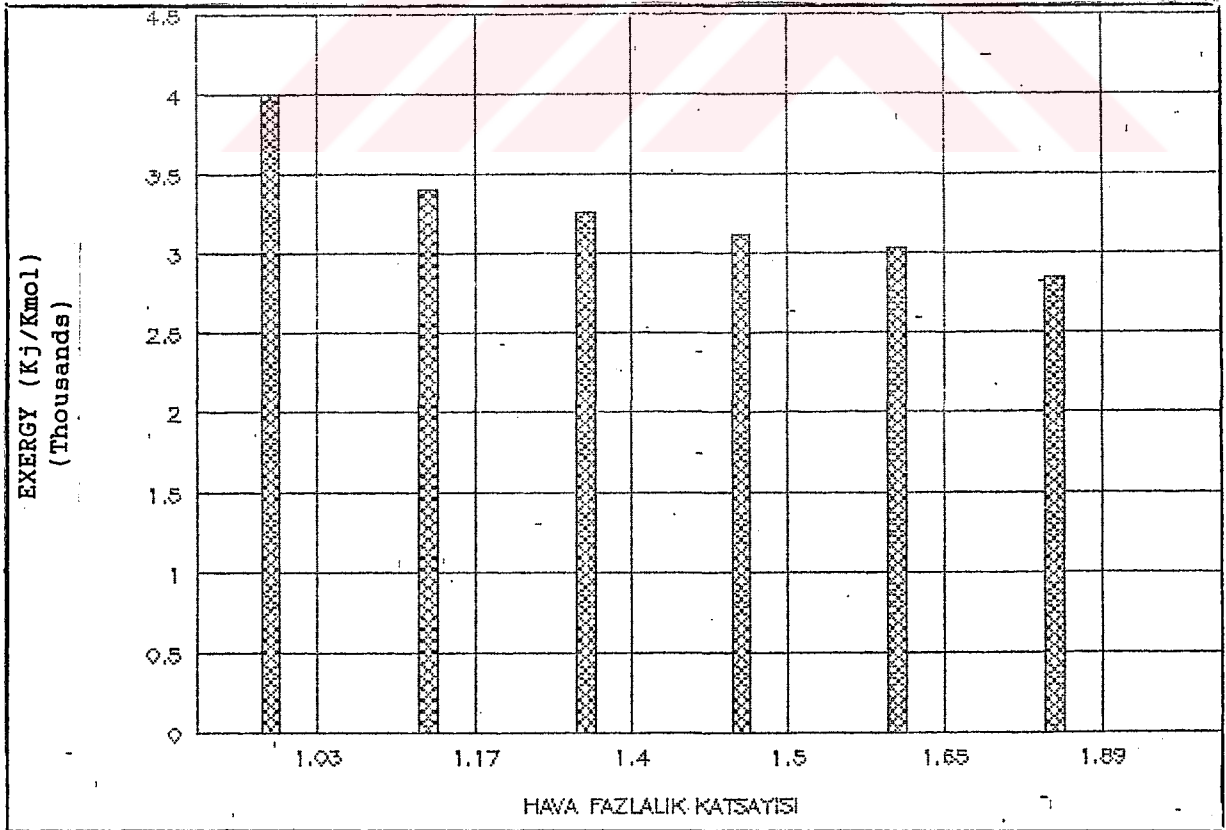
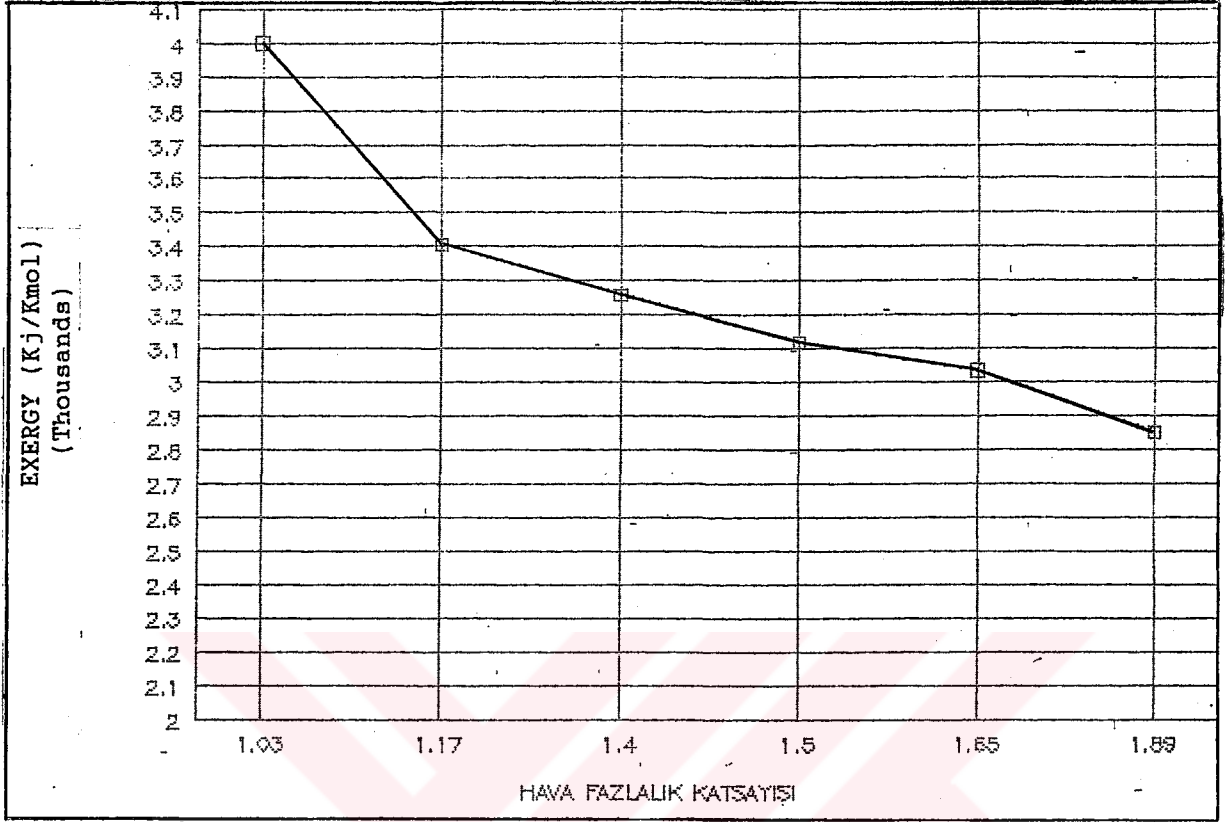
Tablo 19

Qy= 550 Kg/h İCİN EXERGY - HFK GRAFIGI



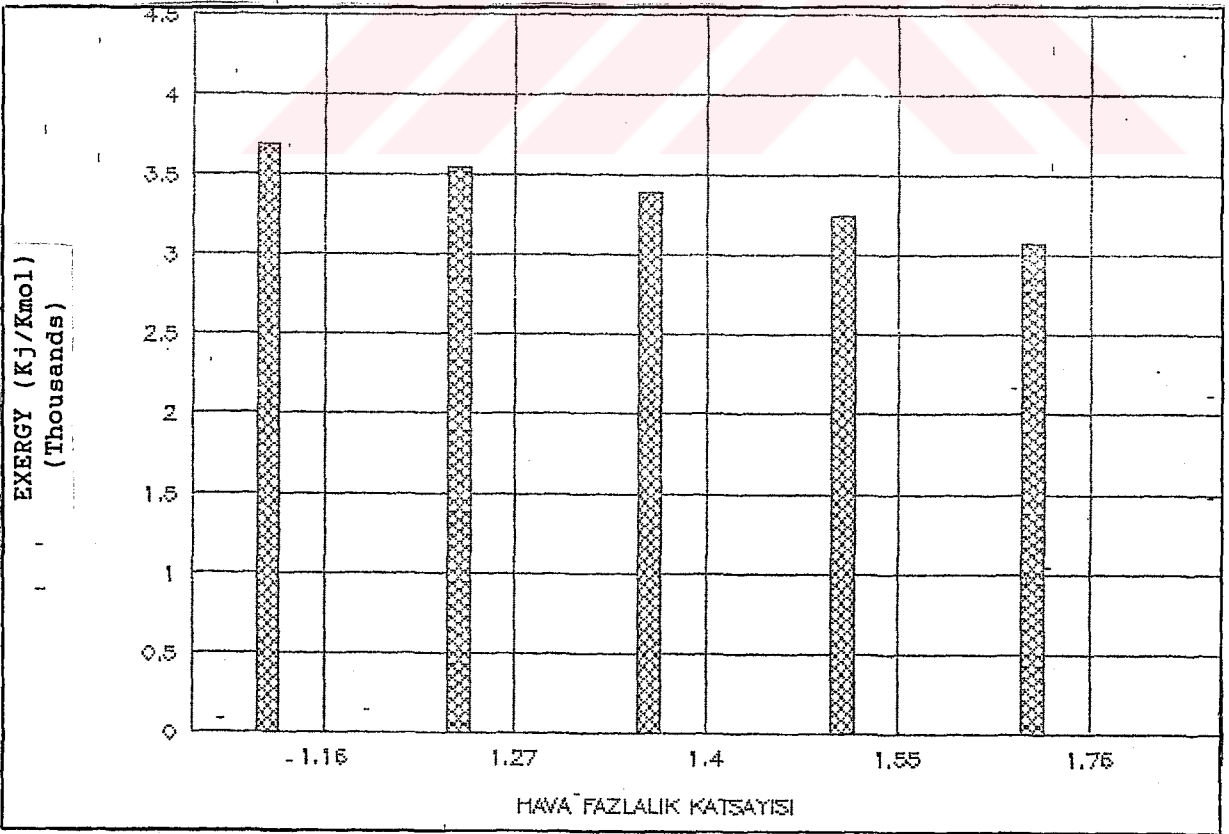
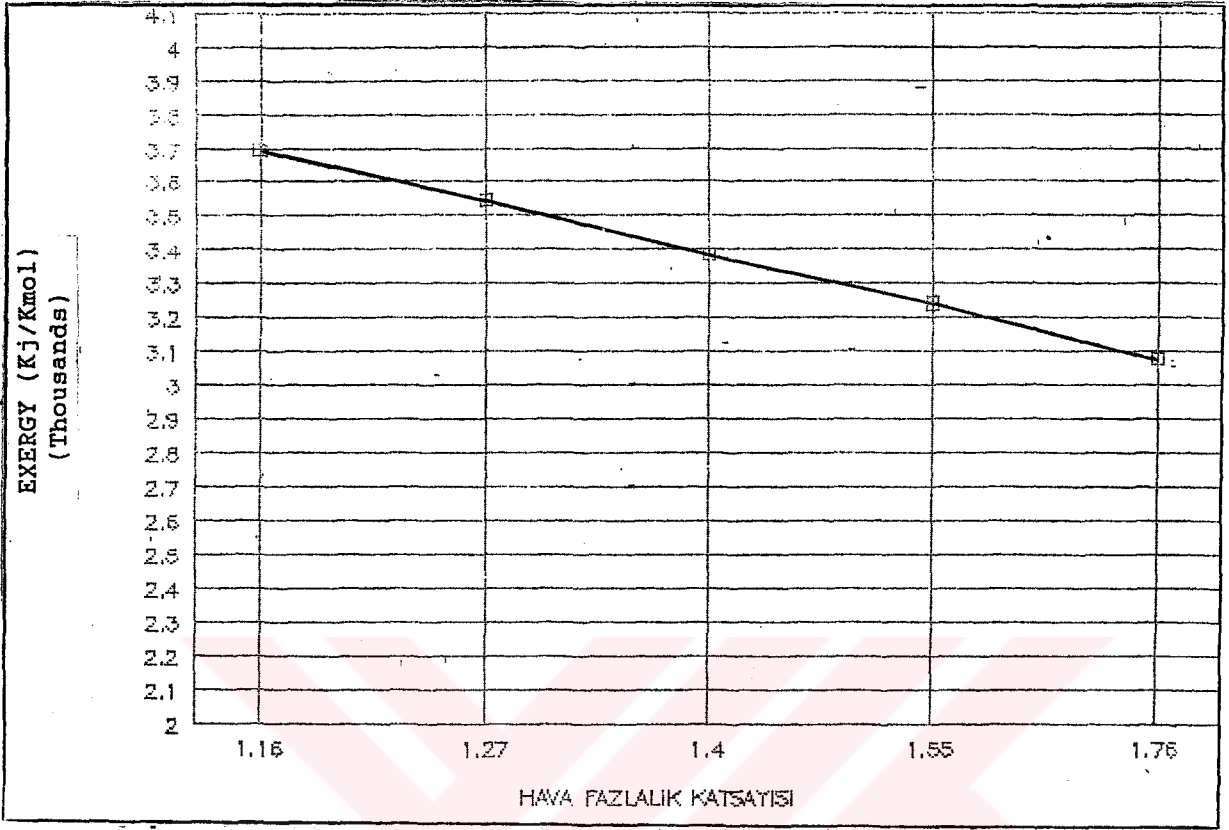
Tablo 20

$Q_u = 575 \text{ Kw/h}$ İÇİN EXERGY - HFK GRAFIGİ



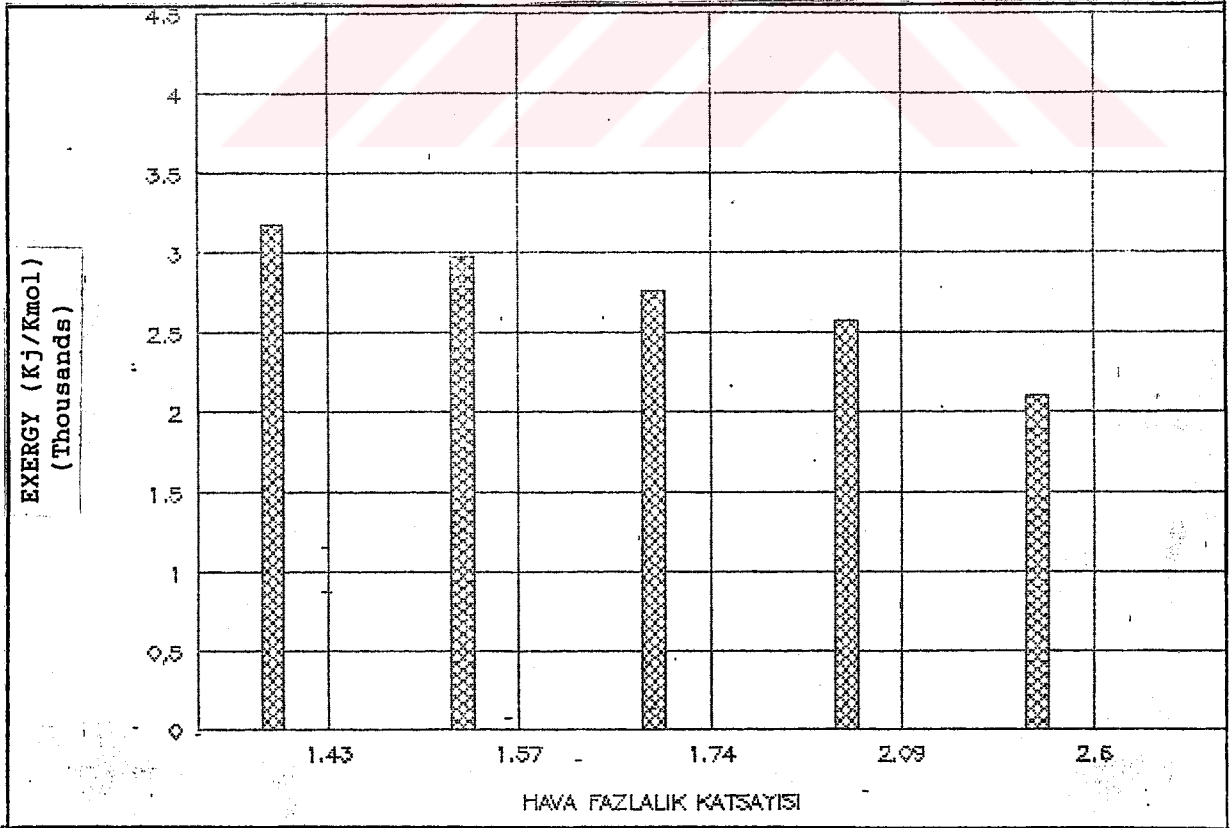
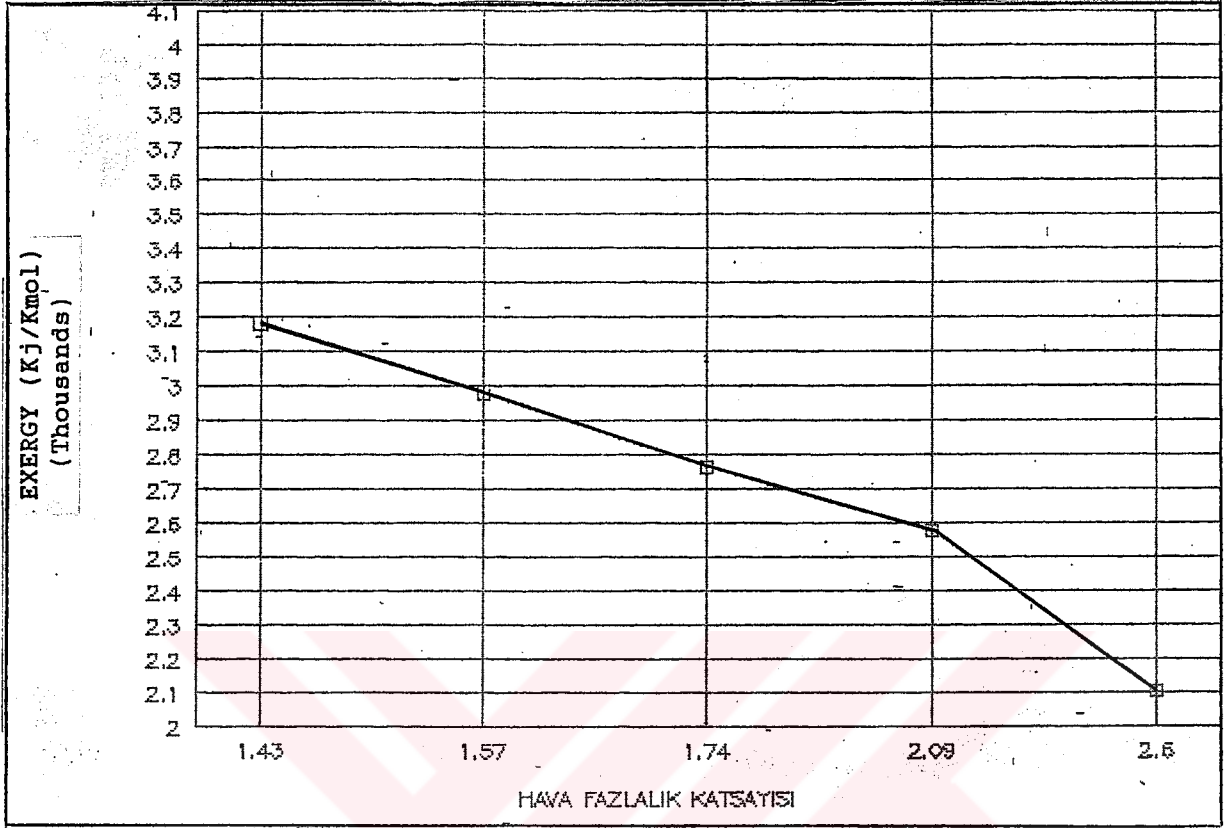
Tablo 21

$Q_y = 600 \text{ Kcal/h}$ İÇİN EXERGY - HFK GRAFIGİ



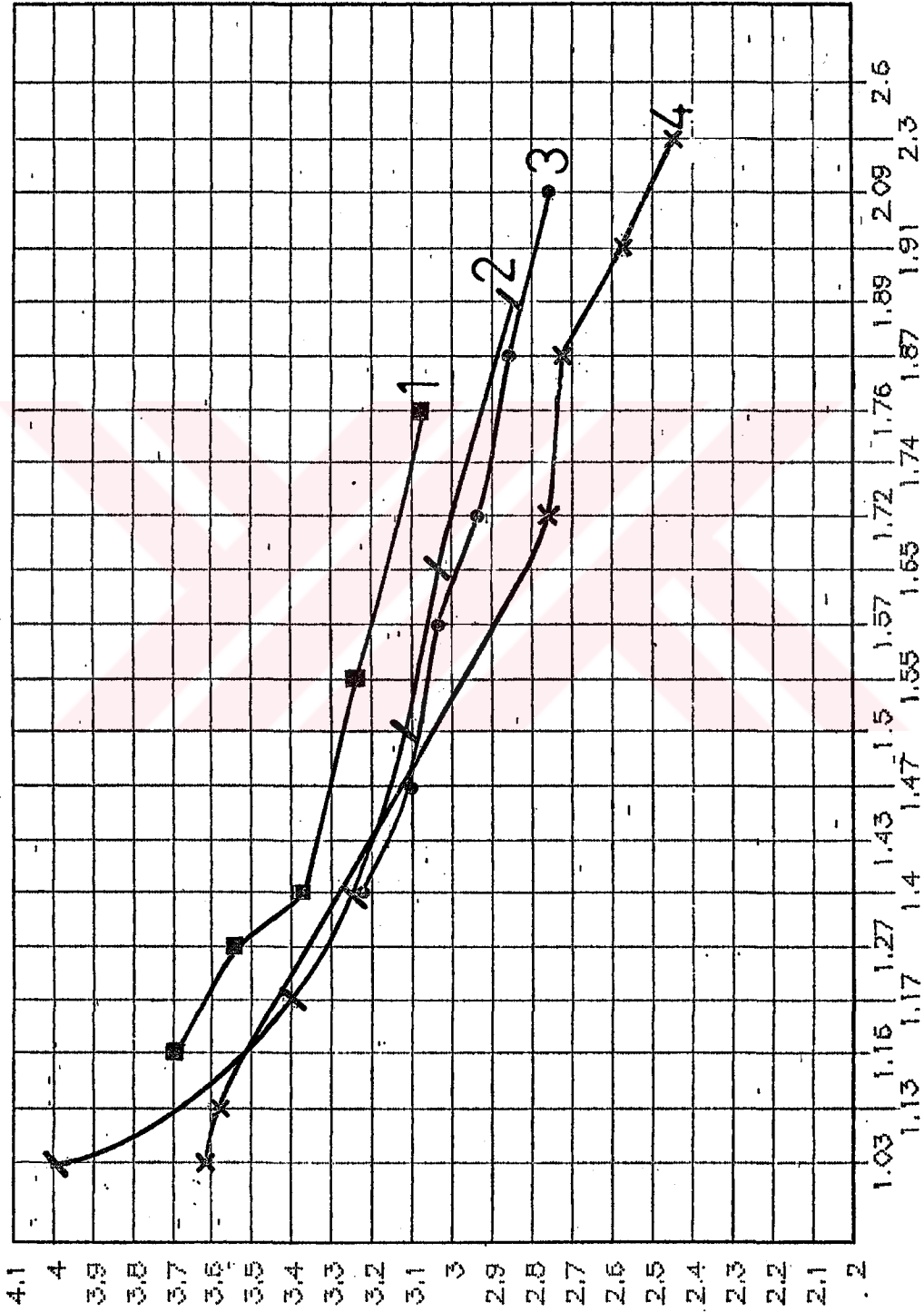
Tablo 22

3 NOLU KAZAN ICIN EXERGY - HFK GRAFIGI



3- $Q_{iy} = 550 \text{ Kg/h}$
4- $Q_{iy} = 500 \text{ Kg/h}$

1- $Q_{iy} = 600 \text{ Kg/h}$
2- $Q_{iy} = 575 \text{ Kg/h}$



HAVA FAZLALIK KATSAYISI

2 NOLU KAZANDA BACA GAZLARI EXERGY-HFK GRAFIGI

BÖLÜM VII

SONUÇ

Termal sistemlerde ısı kayıpları termodinamiğin birinci kanunundan, yani enerji dengesinden hesaplanır. Ancak enerjinin hangi ünitelerde ne kadarlık bir kısmının verimsiz kullanıldığını, yani tersinmezlikleri hesaplamak için termodinamiğin ikinci kanunundan istifade edilir. Ekserji metodu, termodinamik kayıpları sadece birinci kanuna göre değil hem birinci ve hemde ikinci kanuna dayanarak değerlendiren bir analiz metodudur.

Ekserji analizinin esas amacı ısı ve kimyasal proseslerin termodinamik kusurlarının sebeplerini miktar olarak değerlendirmek ve meydana çıkarmaktır. Bu analiz, proseslerin geliştirilmesi için ihtimalleri gösterir, fakat ihtimallerin uygulanabilirliği üzerine karar veremez.

Yapılan bu çalışmada değişik yakıt sarfiyatlarının hepsinde hava fazlalık katsayılarının artırılması ile bacagazlarının ekserjilerinin azaldığı görülmüştür. Bacagazlarının ekserjilerinin azalması yakıtın iyi bir şekilde yakıldığıнын (çok iyi bir yanma) işaretidir. Tablo 11,12,13 ve 14'den de görüldüğü gibi hava fazlalık katsayıları arttıkça yanma sonucu çıkan bacagazlarının sıcaklıkları artmaktadır. Bu da yanmanın hava fazlalık katsayısı arttıkça daha da iyileştiğinin bir göstergesidir.

Fakat hava fazlalık katsayısı arttıkça bacagazlarının ekserjilerinin azalmasına karşılık yanma odasına gönderilecek hava debisi artmış olacaktır. Bu ise gönderilecek fazla hava debisiyle oranlı olarak enerji kaybına yol açacaktır. Ayrıca hava ısıtıcısı (ekonomizör) var ise havanın gereğinden fazla ısıtılmasıyla ısı kayıplarına neden olacaktır.

Günümüzde enerjinin temininde, özellikle petrol ve petrolden elde edilen ürünlerin ithalatı için yapılan harcamalar toplam ithalatımızın %20'si ile %36'sını kapsamaktadır. Bu nedenle enerji kaynaklarını en optimum şekilde kullanmamız gerekir.

O halde en sağlıklı çözüm olarak çıkan bacagazlarının ekserjilerinin hesaplanmasının yanısıra giren yakıt ve havanın da ekserjisi hesaplanarak mukayese yapılmalı, bu şekilde ölçümü yapılan değişik yakıt sarfiyatları ve hava fazlalık katsayıları için kayıpları minimuma, verimi maksimuma dönüştürecek çalışma aralığı tespit edilmelidir.



KAYNAKLAR

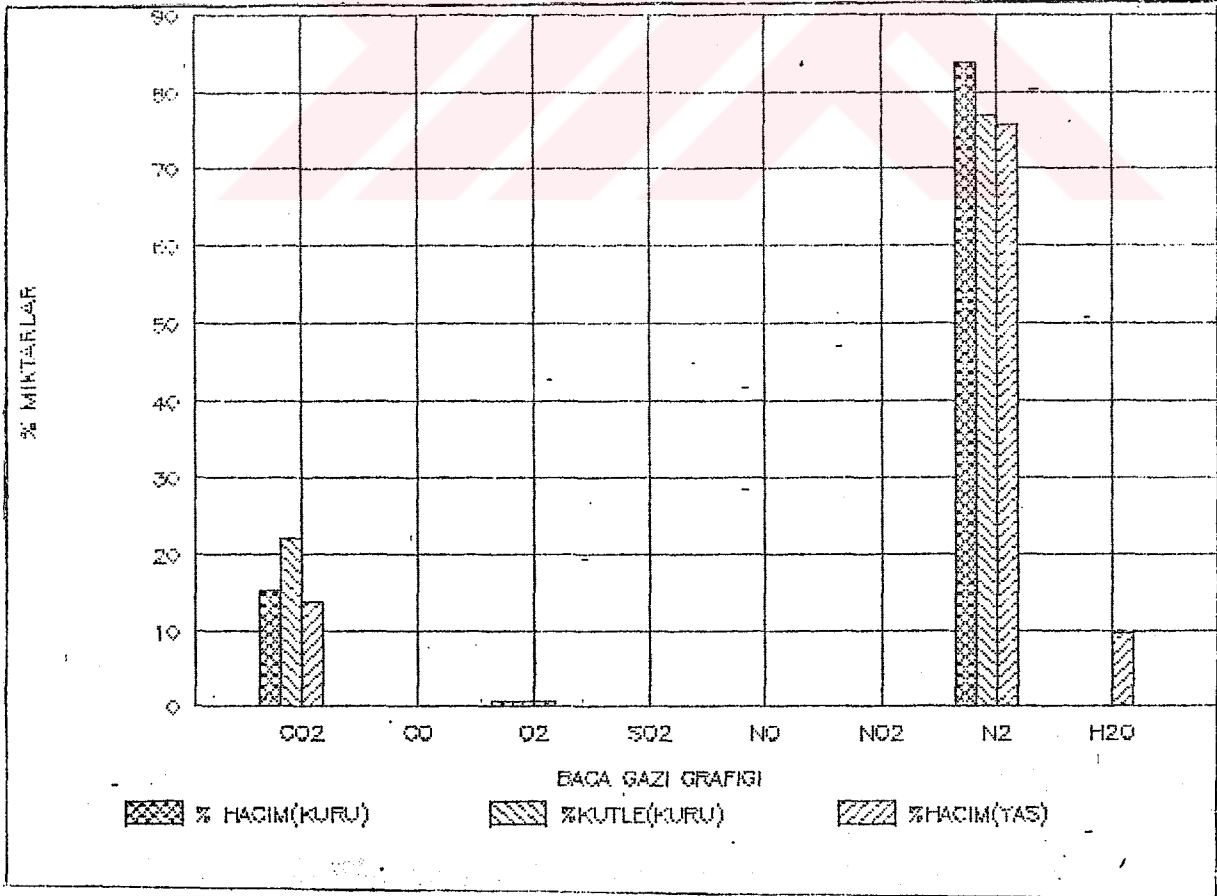
1. BORAT, O., "Termokimyasal Denge ve Yanma", İ.T.Ü. Makina Fakültesi, 1982
2. ÖZTÜRK, A., ve GÖĞÜŞ, Y., "Termodinamiğin İkinci Kanunu" , Cilt II, O.D.T.Ü. Ankara, 1991.
- 3-ILLIES, "Buhar Kazanları-Termodinamik ve Mukavemet Esasları", Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 1987.
- 4-ONAT, K., "Buhar Kazanlarının Isıl Hesapları", İ.T.Ü. Makina Fakültesi, 1988.
- 5-GENCELİ, O., "Buhar Kazanları", İ.T.Ü. İstanbul, 1985.
- 6- ÖZKAN, M., "Buhar Kazanları" Gazi Üniv., Ankara, 1984.
- 7-T.M.M.O.B. Makina Müh. Odası, "Sanayi Kazanları ve Ek Donatım İşletme El Kitabı", Ankara, 1987.
- 8-DOĞAN, M., KARTAL, Ş., KULCÜ, N., "Baca ve Egzoz Gazlarının Kayseri'nin Hava Kirliliğine Etkisi", Erciyes Üniv., 1989.
9. ÖZTÜRK, A.KILIÇ,A., "Termodinamik Özellik Bağlılıkları", İ.T.Ü.Makina Fakültesi, 1982.
10. KOTAS, J., "The Exergy Method of Thermal Plant Analysis" University of London, Butterworths, 1985.
11. KOTAS, J., "Exergy Concepts for Thermal Plant", J.Heat and Fluid Flow, Vol.2., 1980.
12. MORAN, M.j., "Availability Analysis: A guide to Efficient Energy Use, Prentice-hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1982.
13. EYİCE, S., "Isı Ekonomisi", Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 1981.
14. Janaf Thermochemical Data, The Dow Chemical Company.
15. ROBERT, H.Pery., "Chemical Engineering Handbook" Cecil H. Chilton, fifth edition, 1973.

Qyakıt = 500 kg/h HFK = 1.02 Tg = 479 K

GAZ cinsi	%HACIM(kuru)	XİMİ	%KUTLE	BACA GAZI gr/kg yakıt	BACA G. MİK. mol/kg yakıt	%HACIM(yas)
CO2	15.80000	6.73200	22.06034	3330.17650	75.68583	13.83328
CO	0.15060	0.04217	0.13818	20.85961	0.74499	0.13616
O2	0.70000	0.22400	0.73403	110.80801	3.46275	0.63290
SO2	0.09600	0.06144	0.20134	30.39305	0.47489	0.08680
NO	0.01920	0.00576	0.01888	2.84935	0.09498	0.01736
NO2	0.02973	0.01368	0.04481	6.76513	0.14707	0.02688
N2	83.70447	23.49725	76.80241	11593.90739	414.06812	75.68022
H2O	0.00000					9.58641
	100.00000	30.51630	100.00000	15095.75904	494.67862	100.00000

Ek-1 :

Baca Gazlerinin Kuru Hacim, Kütle, Yas Hacim Tabloları ve Grafiği

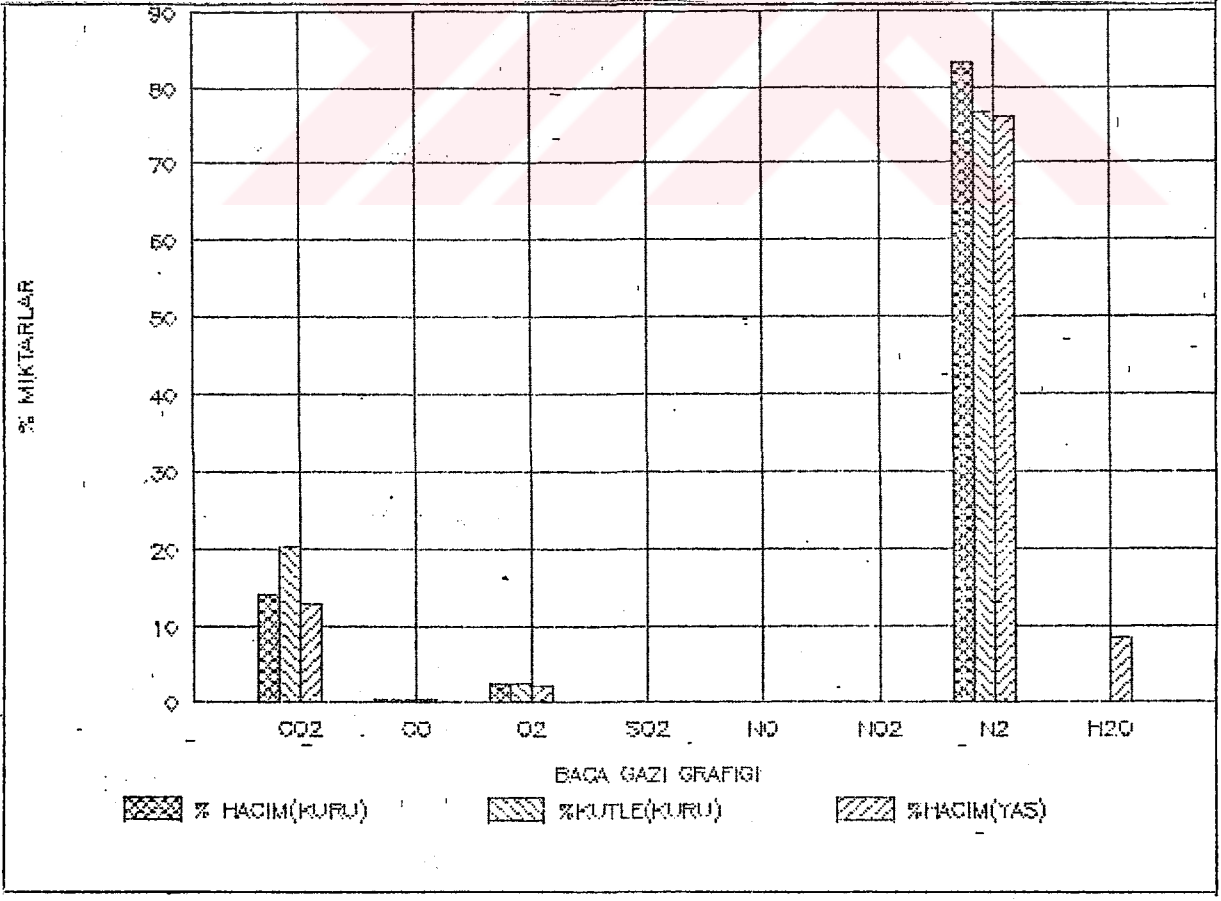


Qyakit = 500 kg/h HFK = 1.13 Tg = 501 K

GAZ cinsi	%HACIM(kuru)	XİMİ	%KUTLE	BACA GAZI gr/kg yakıt	BACA G. MİK. mol/kg yakıt	%HACIM(yas)
CO ₂	14.00000	6.16000	20.27977	3510.22834	79.77792	12.82001
CO	0.98780	0.10658	0.35748	61.87575	2.20985	0.35511
O ₂	2.40000	0.76900	2.52839	437.63886	13.67621	2.19772
SO ₂	0.08720	0.05581	0.18373	31.80176	0.49690	0.07985
NO	0.02290	0.00687	0.02262	3.91482	0.13049	0.02097
NO ₂	0.04029	0.01853	0.06102	10.56111	0.22959	0.03689
N ₂	83.06181	23.25731	76.56701	13252.99632	473.32130	76.06093
H ₂ O	0.00000					8.42852
	100.00000	30.37510	100.00000	17309.01695	569.84226	100.00000

Ek- 2 :

Baca Gazlarının Kuru Hacim, Kütle, Yas Hacim Tabloları ve Grafiği



KAYNAKLAR

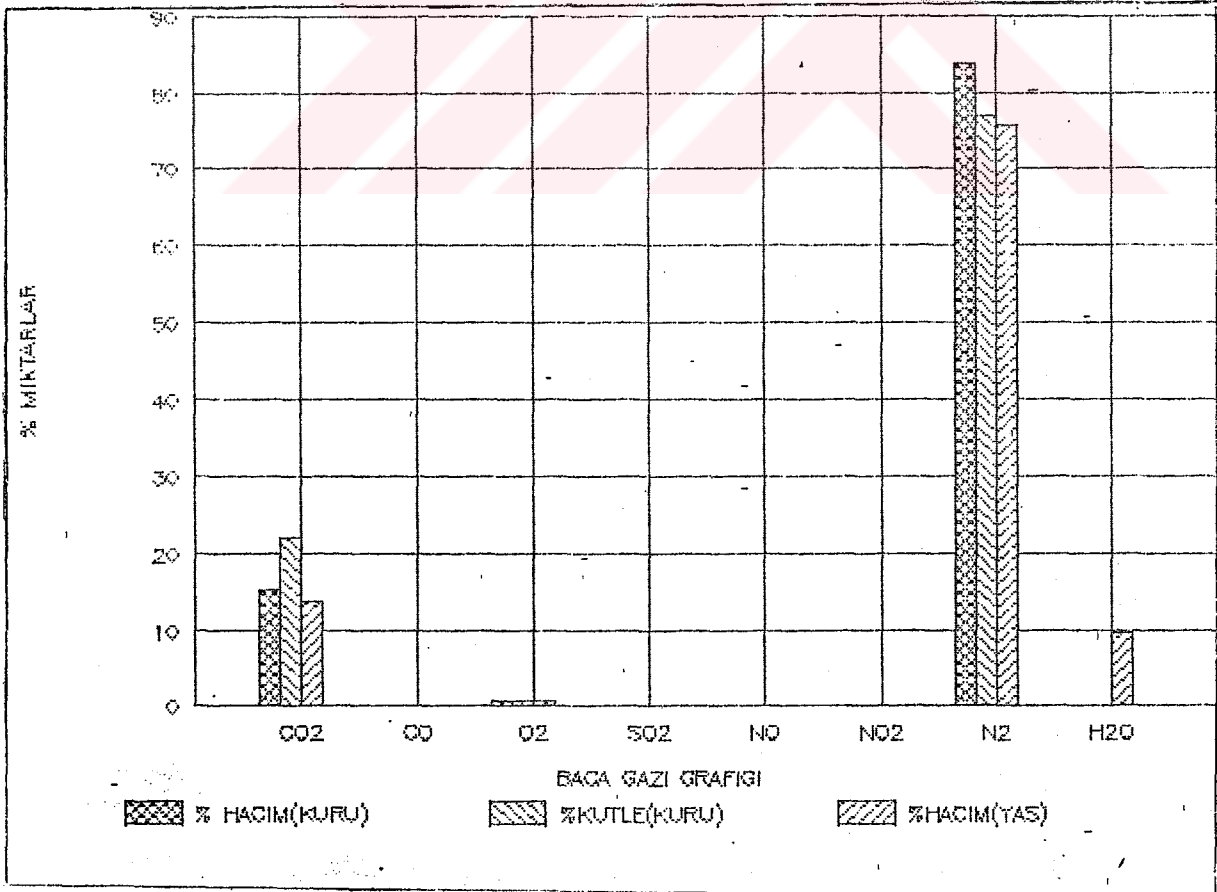
1. BORAT, O., "Termokimyasal Denge ve Yanma", İ.T.Ü. Makina Fakültesi, 1982
2. ÖZTÜRK, A., ve GÖĞÜŞ, Y., "Termodinamiğin İkinci Kanunu" , Cilt II, O.D.T.Ü. Ankara, 1991.
- 3-ILLIES, "Buhar Kazanları-Termodinamik ve Mukavemet Esasları", Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 1987.
- 4-ONAT, K., "Buhar Kazanlarının Isıl Hesapları", İ.T.Ü. Makina Fakültesi, 1988.
- 5-GENCELİ, O., "Buhar Kazanları", İ.T.Ü. İstanbul, 1985.
- 6- ÖZKAN, M., "Buhar Kazanları" Gazi Üniv., Ankara, 1984.
- 7-T.M.M.O.B. Makina Müh. Odası, "Sanayi Kazanları ve Ek Donatım İşletme El Kitabı", Ankara, 1987.
- 8-DOĞAN, M., KARTAL, Ş., KULCÜ, N., "Baca ve Egzoz Gazlarının Kayseri'nin Hava Kiriliğine Etkisi", Erciyes Üniv., 1989.
9. ÖZTÜRK, A.KILIÇ,A., "Termodinamik Özellik Bağlılıkları", İ.T.Ü.Makina Fakültesi, 1982.
10. KOTAS, J., "The Exergy Method of Thermal Plant Analysis" University of London, Butterworths, 1985.
11. KOTAS, J., "Exergy Concepts for Thermal Plant", J.Heat and Fluid Flow, Vol.2., 1980.
12. MORAN, M.j., "Availability Analysis: A guide to Efficient Energy Use, Prentice-hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1982.
13. EYİCE, S., "Isı Ekonomisi", Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 1981.
14. Janaf Thermochemical Data, The Dow Chemical Company.
15. ROBERT, H.Pery., "Chemical Engineering Handbook" Cecil H. Chilton, fifth edition, 1973.

Qyakit = 500 kg/h HFK = 1.08 Tg = 479 K

GAZ cinsi	%HACIM(kuru)	XİMİ	%KUTLE	BACA GAZI gr/kg yakıt	BACA G. MIK. mol/kg yakıt	%HACIM(yas)
CO2	15.20000	6.73200	22.06034	3330.17650	75.68583	13.83328
CO	0.15060	0.04217	0.13818	20.85961	0.74499	0.13616
O2	0.70000	0.22400	0.73403	110.80801	3.46275	0.63290
SO2	0.09600	0.06144	0.20194	30.39305	0.47489	0.08680
NO	0.01920	0.00576	0.01888	2.84935	0.09498	0.01736
NO2	0.02979	0.01368	0.04481	6.76513	0.14707	0.02688
N2	83.70447	23.43725	76.80241	11593.90739	414.06812	75.68022
H2O	0.00000					9.58641
	100.00000	30.51630	100.00000	15095.75904	494.67862	100.00000

Ek-1 :

Baca Gazlerinin Kuru Hacim, Kutle, Yas Hacim Tabloları ve Grafiği

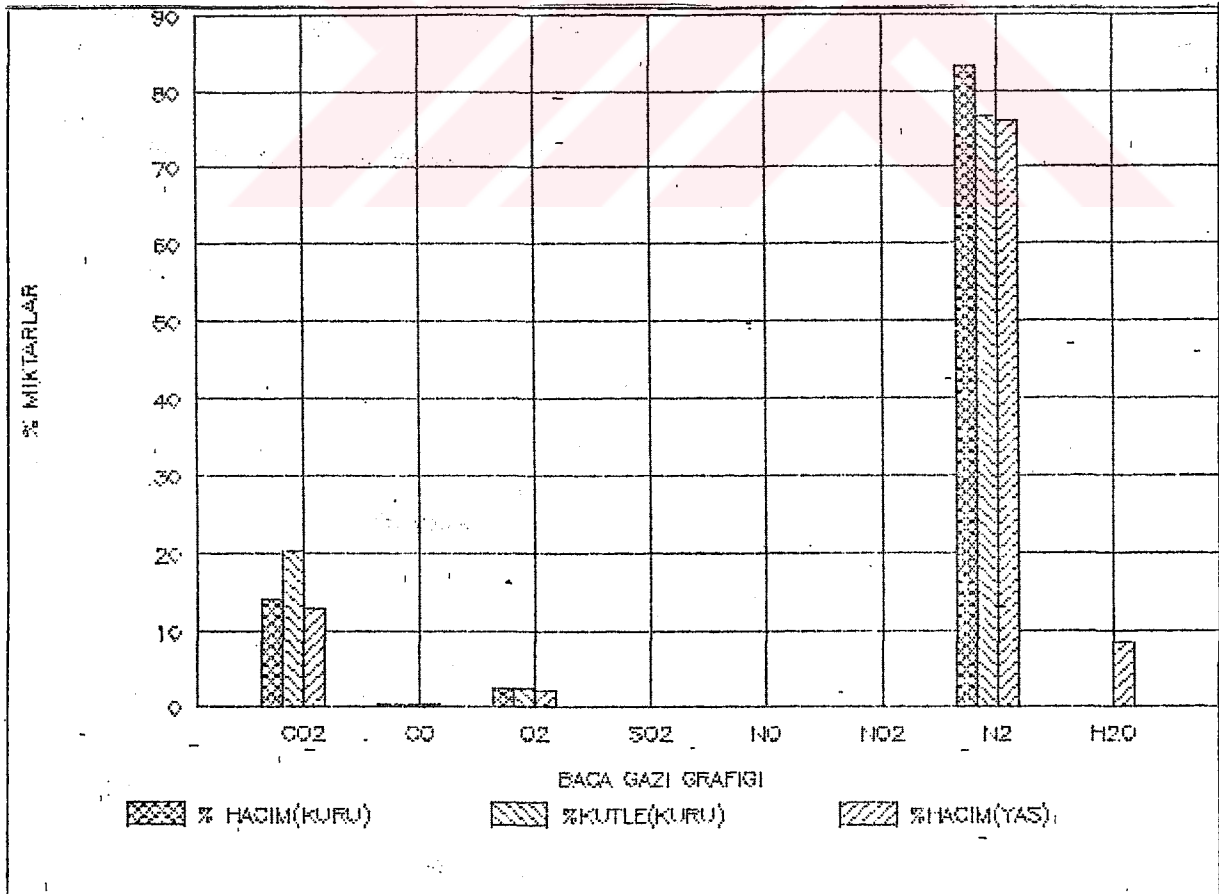


Qyakit = 500 kg/h HFK = 1.13 Tg = 501 K

GAZ olnsi	%HACIM(kuru)	Ximi	%KUTLE	BACA GAZI gr/kg yakit	BACA G. MIK. mol/kg yakit	%HACIM(yas)
CO2	14.00000	6.16000	20.27977	3510.22834	79.77792	12.82001
CO	0.38780	0.10858	0.35748	61.87575	2.20985	0.35511
O2	2.40000	0.76900	2.52839	497.69886	13.67621	2.19772
SO2	0.08720	0.05581	0.18373	31.80176	0.49690	0.07985
NO	0.02290	0.00687	0.02262	3.91482	0.13049	0.02097
NO2	0.04029	0.01853	0.06102	10.56111	0.22959	0.03689
N2	83.06181	23.25731	76.56701	13252.99632	473.32130	76.06093
H2O	0.00000					8.42852
	100.00000	30.37510	100.00000	17309.01695	569.84226	100.00000

Ek- 2 :

Baca Gazlarının Kuru Hacim, Kütle, Yas Hacim Tabloları ve Grafığı



Qyakit = 500 kg/h

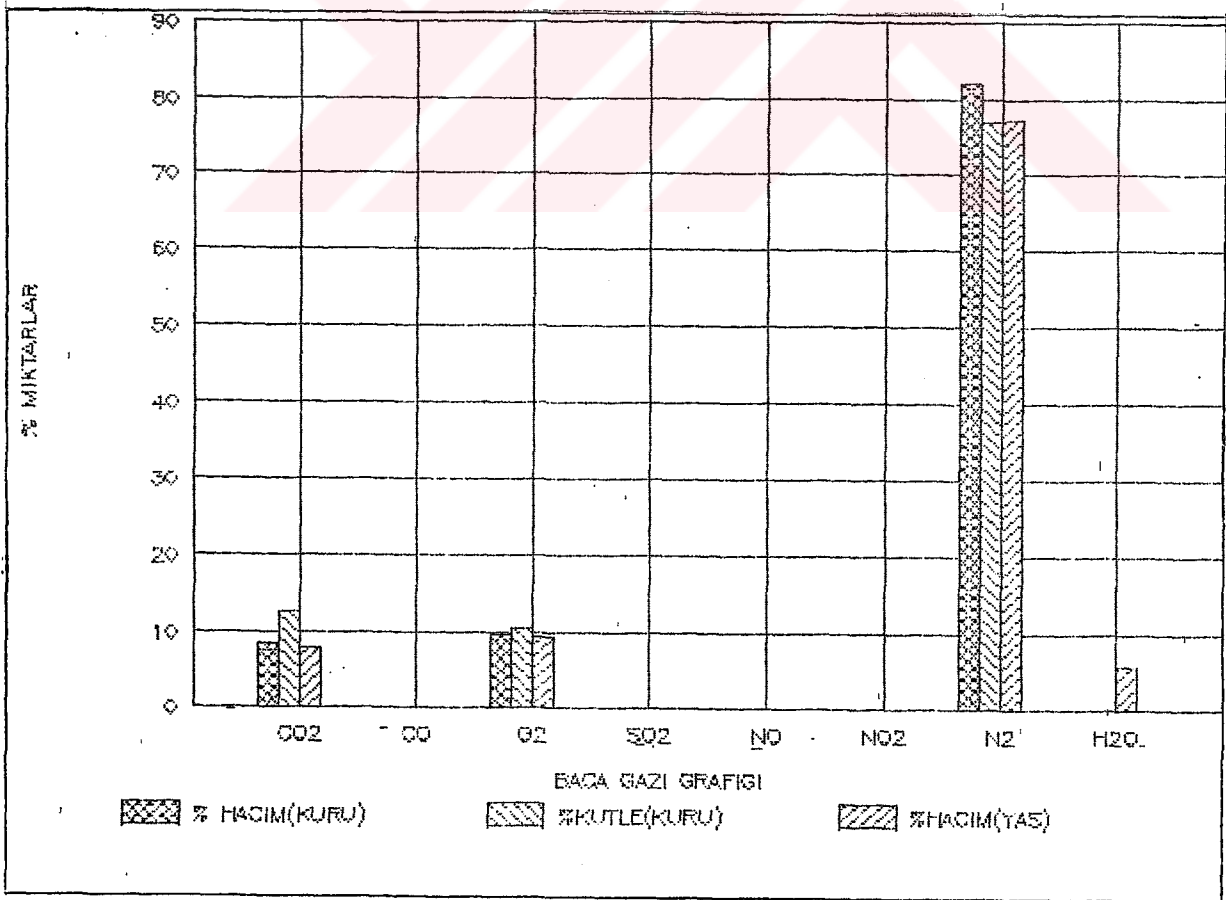
HFK = 1.87

Tg = 514 K

GAZ oinsi	%HACIM(kuru)	XİMİ	%KUTLE	BACA GAZI gr/kg yakıt	BACA G. MIK. mol/kg yakıt	%HACIM(yas)
CO2	8.40000	3.69600	12.42607	3199.53333	72.71667	7.92013
CO	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
O2	9.70000	3.10400	10.43575	2687.05397	83.97044	9.14586
SO2	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
NO	0.02100	0.00630	0.02118	5.45375	0.18179	0.01980
NO2	0.06389	0.02939	0.09881	25.44166	0.55308	0.06024
N2	81.81511	22.90823	77.01820	19831.07361	708.25263	77.14123
H2O	0.00000					5.71273
	100.00000	29.74392	100.00000	25748.55632	865.67460	100.00000

Ek- 3:

Baca Gazlarının Kuru Hacim, Kütle, Yas Hacim Tabloları ve Grafığı

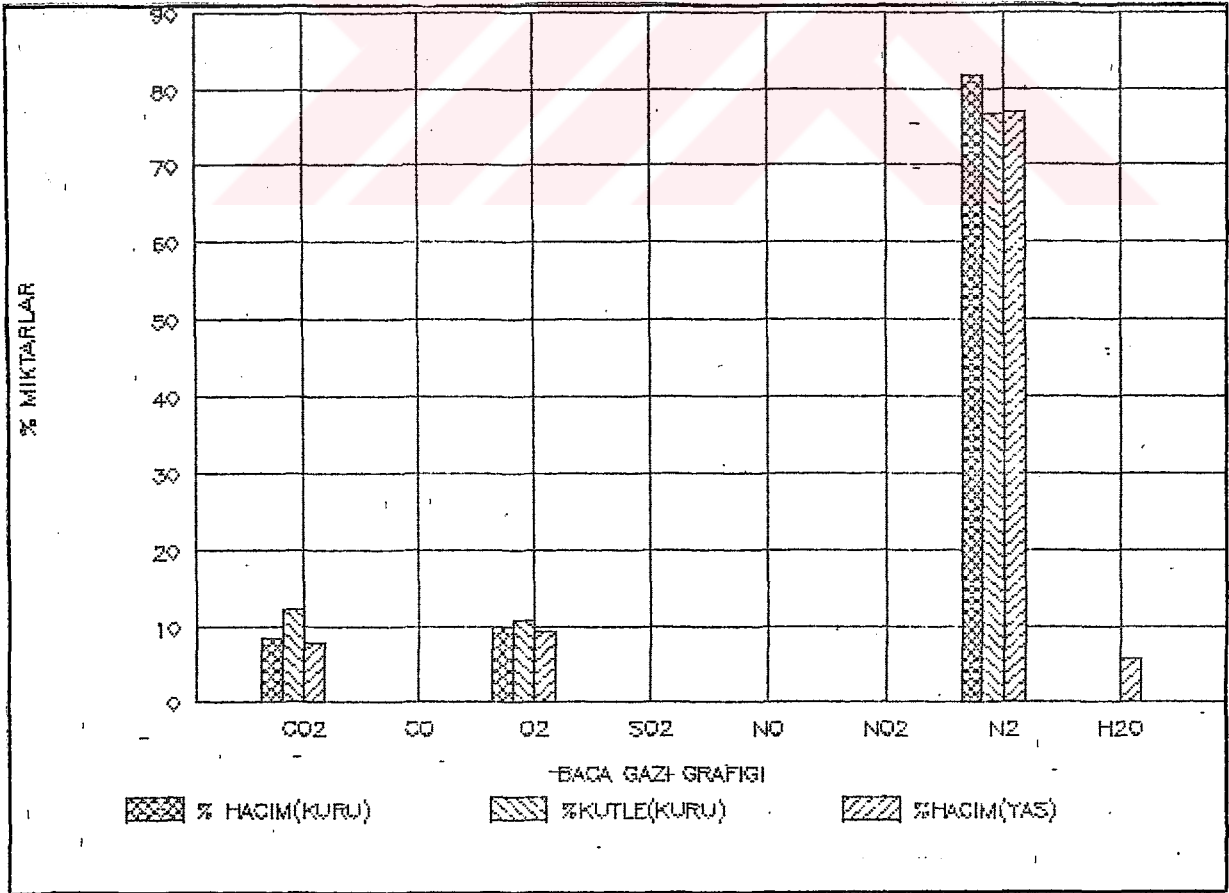


Qyakıt = 500 kg/h HFK = 1.91 T_g = 505 K

GAZ cinsi	%HACIM(kuru)	XİMİ	%KUTLE	BACA GAZI gr/kg yakıt	BACA G. MIK. mol/kg yakıt	%HACIM(yas)
CO ₂	8.30000	3.65200	12.26444	3203.68503	72.81102	7.83174
CO	0.00840	0.00235	0.00790	2.06327	0.07369	0.00793
O ₂	9.90000	3.16800	10.63904	2779.10027	86.84688	9.34148
SO ₂	0.11980	0.07667	0.25749	67.25984	1.05094	0.11304
NO	0.01800	0.00540	0.01813	4.73710	0.15790	0.01698
NO ₂	0.05360	0.02466	0.08280	21.62926	0.47020	0.05058
N ₂	81.60020	22.84806	76.73020	20043.25710	715.83061	76.99660
H ₂ O	0.00000					5.64166
	100.00000	29.77714	100.00000	26121.73187	877.24125	100.00000

Ek-4:

Baca Gazlarının Kuru Hacim, Kütle, Yas Hacim Tabloları ve Grafiği

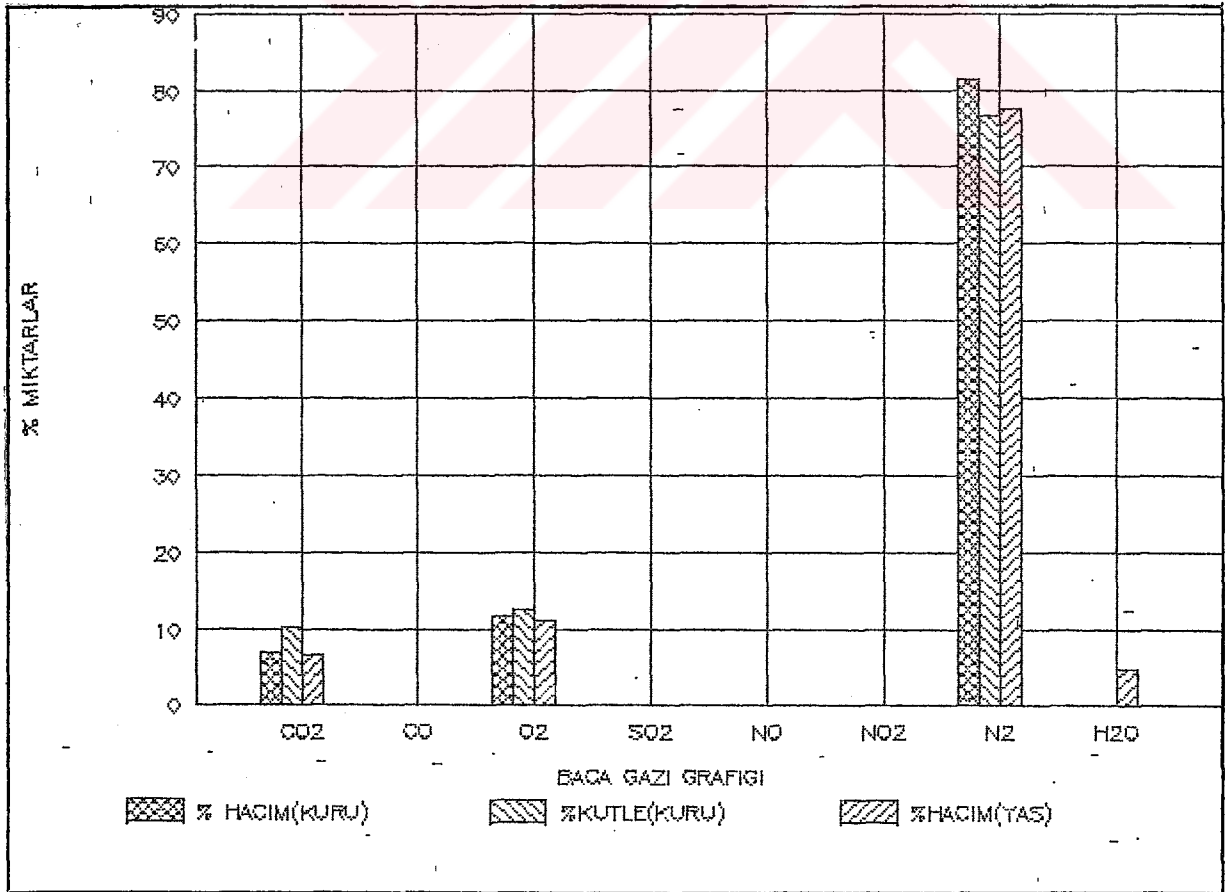


Q_{yakıt} = 500 kg/h HFK = 2.3 T_g = 511 K

GAZ cinsi	%HACIM(kuru)	X _{imi}	%KUTLE	BACA GAZI gr/kg yakıt	BACA G. MIK. mol/kg yakıt	%HACIM(yas)
CO ₂	6.90000	3.03600	10.25029	3210.99534	72.97717	6.57399
CO	0.02760	0.00773	0.02809	8.17344	0.29191	0.02630
O ₂	11.70000	3.74400	12.64067	3959.80453	123.74389	11.14719
SO ₂	0.10180	0.06515	0.21997	68.90737	1.07568	0.09699
NO	0.01500	0.00450	0.01519	4.75938	0.15865	0.01429
NO ₂	0.05410	0.02489	0.08402	26.32043	0.57218	0.05154
N ₂	81.20150	22.73642	76.76377	24046.94947	858.81962	77.36486
H ₂ O	0.00000					4.72484
	100.00000	29.61863	100.00000	31325.90995	1057.64010	100.00000

Ek- 5 :

Baca Gazlarının Kuru Hacim, Kütle, Yas Hacim Tabloları ve Grafiği



Qyakit = 550 kg/h

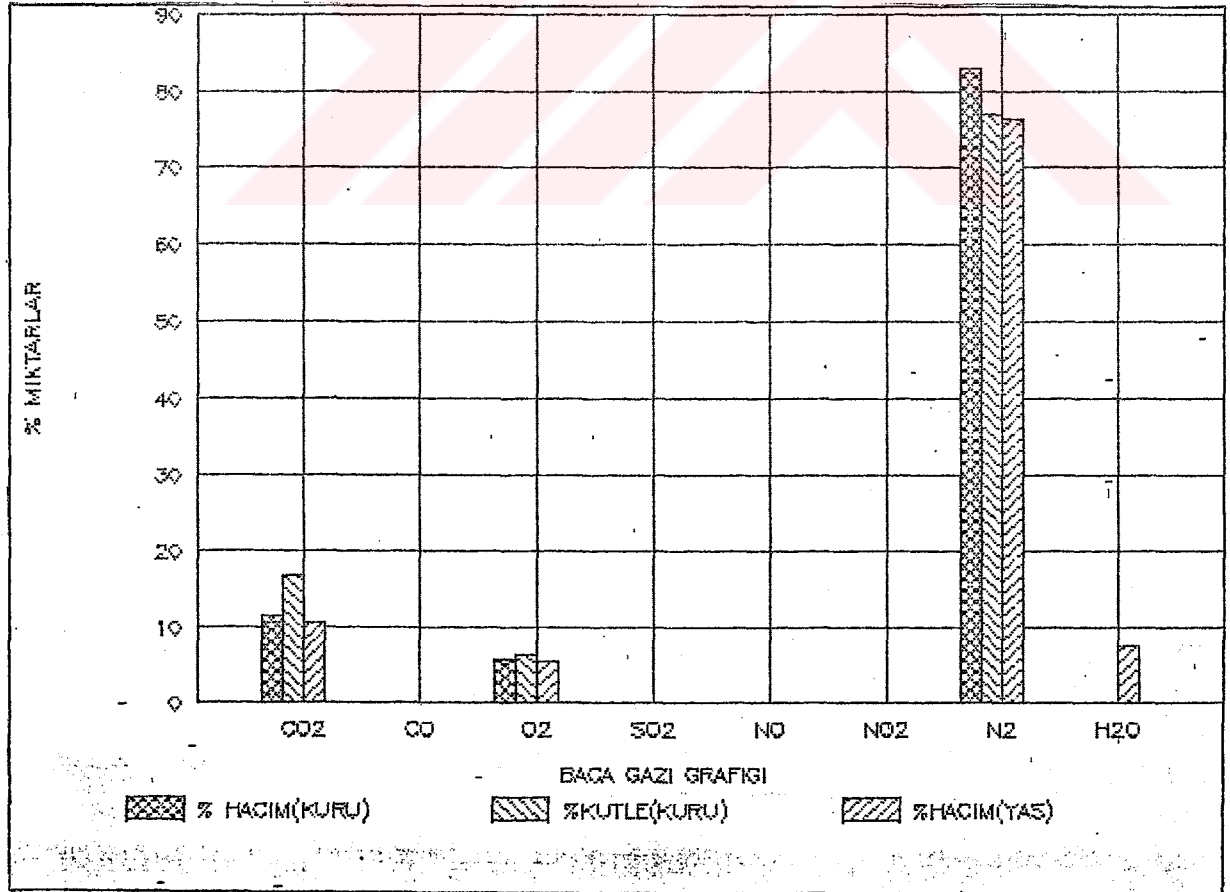
HFk = 1.40

Tg = 514 K

GAZ cinsi	%HACIM(kuru)	XİMİ	%KUTLE	BACA GAZI gr/kg yakıt	BACA G. MİK. mol/kg yakıt	%HACIM(yas)
CO2	11.40000	5.01600	16.68283	3199.53333	72.71667	10.53383
CO	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
O2	5.80000	1.85600	5.17292	1183.87836	36.99620	5.35932
SO2	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
NO	0.02600	0.00780	0.02594	4.97535	0.16585	0.02402
NO2	0.05729	0.02635	0.08765	16.80992	0.36543	0.05294
N2	82.71671	23.16068	77.03066	14773.39790	527.62135	76.43191
H2O	0.00000					7.59798
	100.00000	30.05683	100.00000	19178.59487	637.86550	100.00000

Ek-6:

Baca Gazlarının Kuru Hacim, Kütle, Yas Hacim Tabloları ve Grafığı

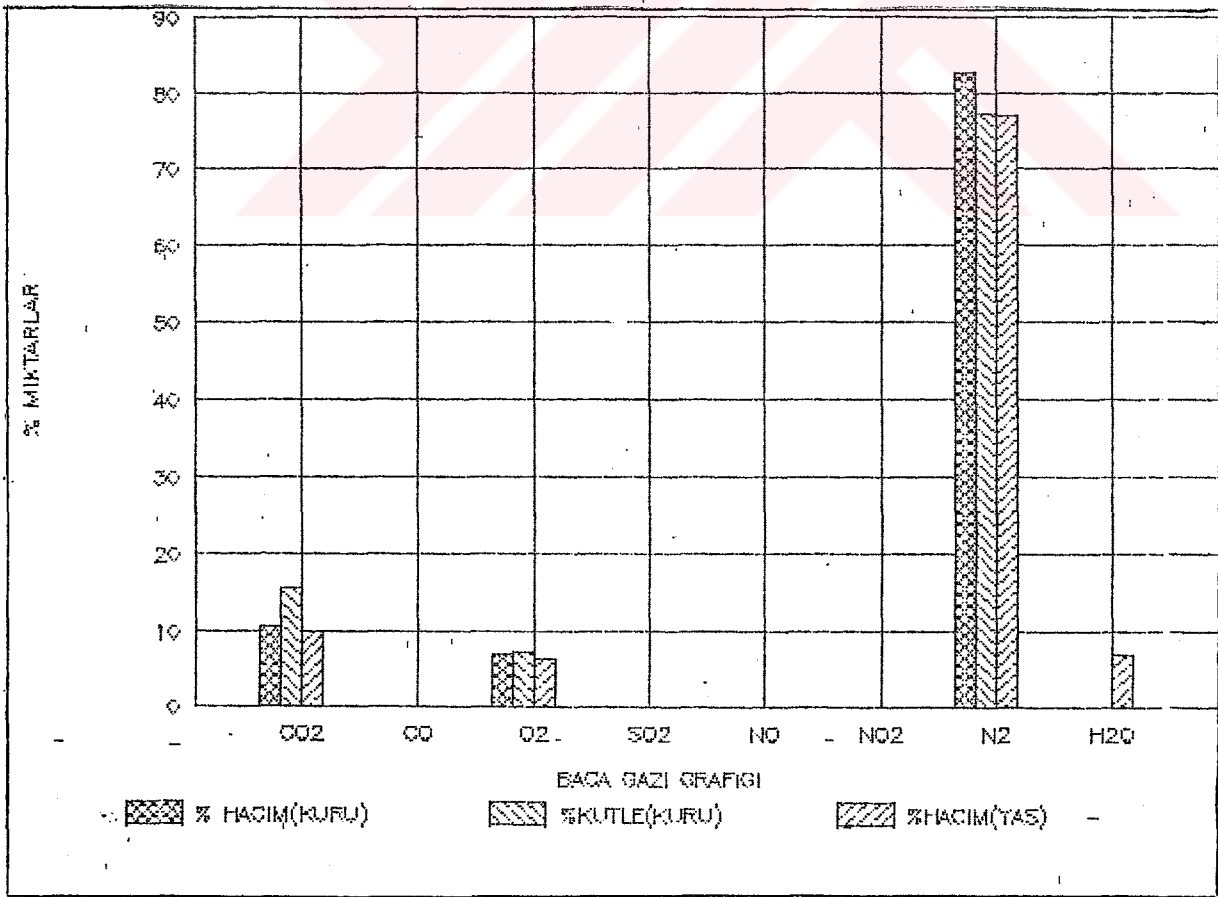


Q_{yakıt} = 550 kg/h HFK = 1.47 T_g = 516 K

GAZ türü	%HACİM(kuru)	XİMİ	%KÜTLE	BACA GAZI gr/kg yakıt	BACA G. MİK. mol/kg yakıt	%HACİM(yas)
CO ₂	10.50000	4.62000	15.41893	3199.53333	72.71667	9.76076
CO	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
O ₂	6.80000	2.17600	7.26225	1506.96635	47.09270	6.32126
SO ₂	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
NO	0.02440	0.00732	0.02443	5.05939	0.16898	0.02268
NO ₂	0.05936	0.02731	0.09113	18.91021	0.41109	0.05518
N ₂	82.61624	23.13255	77.20326	16020.20889	572.15025	76.79975
H ₂ O	0.00000					7.04037
	100.00000	29.96317	100.00000	20750.68618	692.53968	100.00000

Ek-7:

Baca Gazlarının Kuru Hacim, Kütle, Yas Hacim Tabloları ve Grafiği

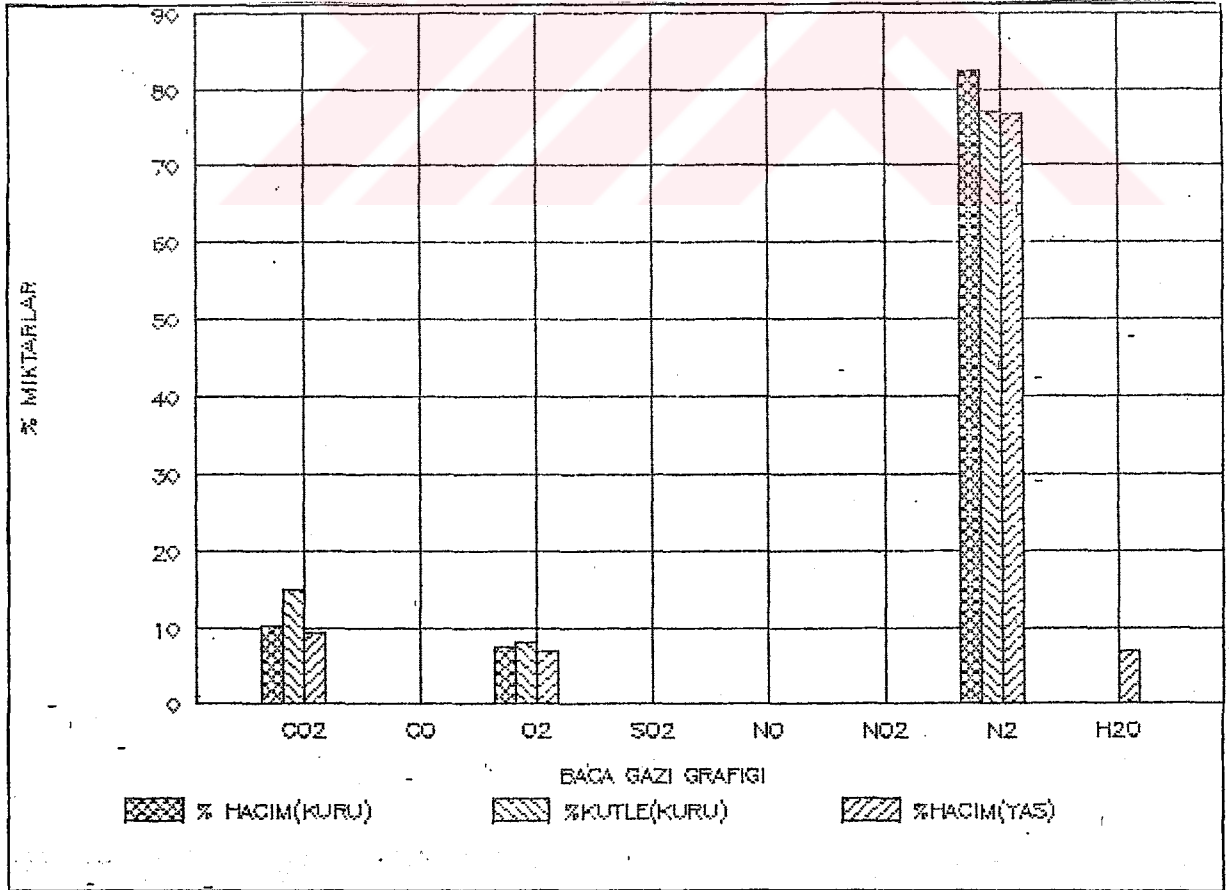


Qyakit = 550 kg/h HFK = 1.57 Tg = 517 K

GAZ cinsi	%HACIM(kuru)	XİMİ	%KUTLE	BACA GAZI gr/kg yakıt	BACA G. MİK. mol/kg yakıt	%HACIM(yas)
CO2	10.10000	4.44400	14.84943	3199.53333	72.71667	9.41417
CO	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
O2	7.50000	2.40000	8.01949	1727.92079	53.99752	6.99072
SO2	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
NO	0.02340	0.00702	0.02346	5.05417	0.16847	0.02181
NO2	0.05892	0.02710	0.09056	19.51341	0.42420	0.05492
N2	82.31768	23.04895	77.01705	16594.48360	592.66013	76.72800
H2O	0.00000					6.79037
	100.00000	29.92707	100.00000	21546.50530	719.96700	100.00000

Ek- 8 :

Baca Gazlerinin Kuru Hacim, Kütle, Yas Hacim Tabloları ve Grafiki

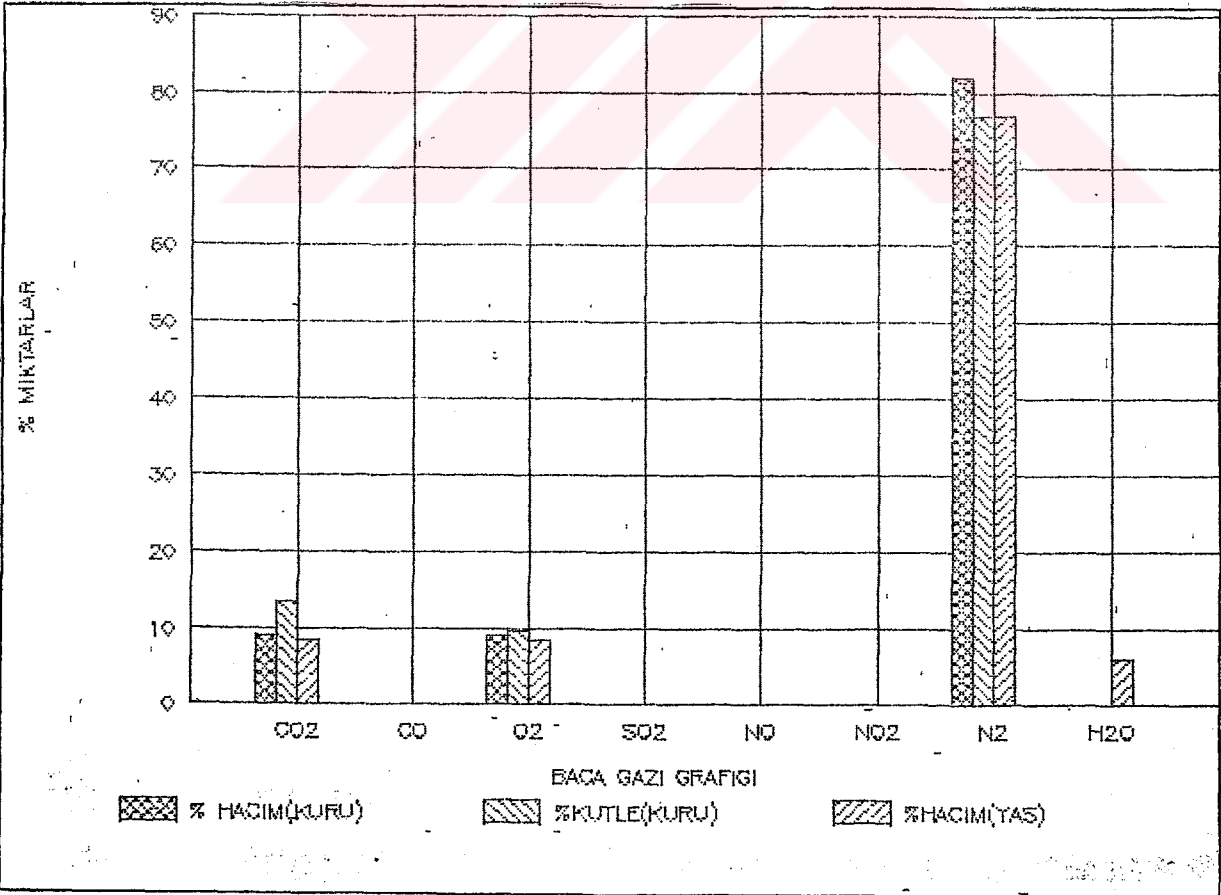


Qyakit = 550 kg/h HFK = 1.72 Tg = 521 K

GAZ cinsi	%HACIM(kuru)	XİMİ	%KUTLE	BACA GAZI gr/kg yakıt	BACA G. MİK. mol/kg yakıt	%HACIM(yas)
CO2	9.10000	4.00400	13.42592	3199.53333	72.71667	8.53949
CO	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
O2	8.90000	2.84800	9.54971	2275.79194	71.11850	8.35181
SO2	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
NO	0.02060	0.00618	0.02072	4.93834	0.16461	0.01933
NO2	0.05826	0.02680	0.08986	21.41514	0.46555	0.05467
N2	81.92114	22.93792	76.91378	18329.32994	654.61893	76.87523
H2O	0.00000					6.15947
	100.00000	29.82290	100.00000	23831.00869	799.08425	100.00000

Ek-9:

Baca Gazlarının Kuru Hacim, Kütle, Yas Hacim Tabloları ve Grafiği

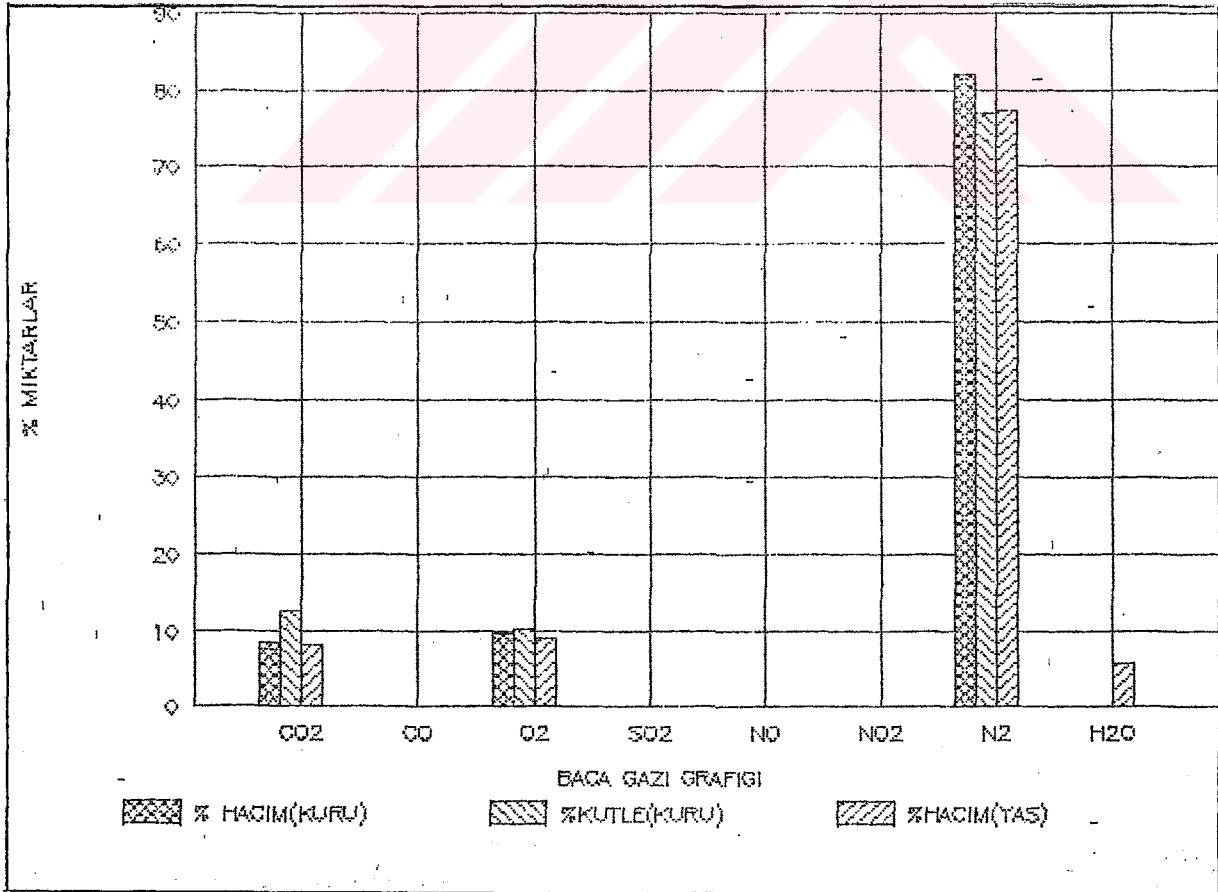


Qyakit = 550 kg/h HFK = 1.87 Tg = 523 K

GAZ olmsi	%HACIM(kuru)	Ximi	%KUTLE	BACA GAZI gr/kg yakit	BACA G.MIK. mol/kg yakit	%HACIM(yas)
CO2	8.50000	3.74000	12.56940	3199.53333	72.71667	8.00897
CO	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
O2	9.60000	3.07200	10.32438	2628.06588	82.12706	9.04543
SO2	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
NO	0.01900	0.00570	0.01916	4.87629	0.16254	0.01790
NO2	0.05792	0.02664	0.08954	22.79300	0.49550	0.05457
N2	81.82308	22.91046	76.99752	19599.67597	699.98843	77.09631
H2O	0.00000					5.77681
	100.00000	29.75481	100.00000	25454.94448	855.49020	100.00000

Ek-10:

Baca Gazlerinin Kuru Hacim, Kutle, Yas Hacim Tabloları ve Grafiki

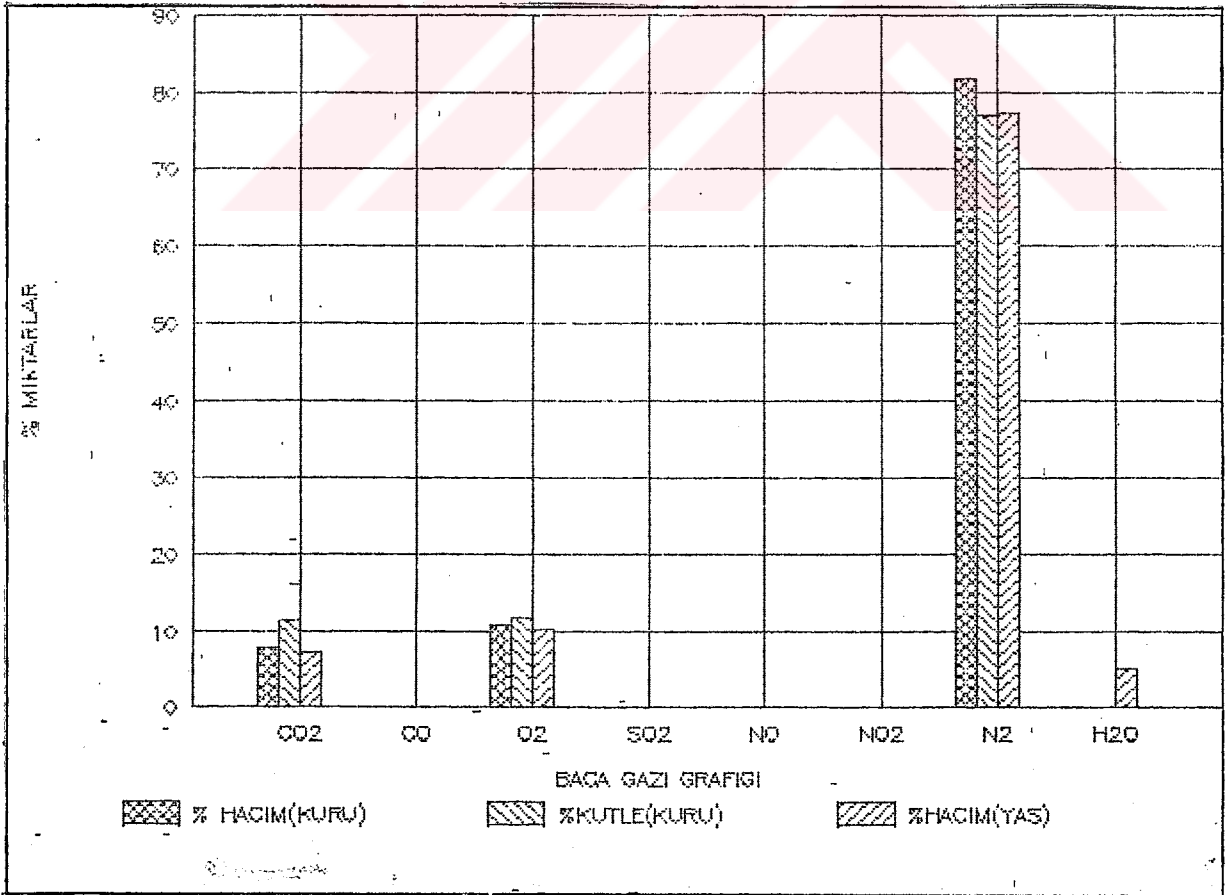


Qyakit = 550 kq/h HFK = 2.09 Tg = 525 K

GAZ cinsi	%HACIM(kuru)	XİMİ	%KUTLE	BACA GAZI gr/kg yakıt	BACA G. MIK. mol/kg yakıt	%HACIM(yas)
CO2	7.70000	3.38800	11.41872	3199.53333	72.71667	7.29485
CO	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
O2	10.70000	3.42400	11.54005	3233.53074	101.04784	10.19700
SO2	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
NO	0.01700	0.00510	0.01719	4.81630	0.16054	0.01611
NO2	0.05693	0.02619	0.08826	24.73103	0.53763	0.05393
N2	81.52607	22.82730	76.93579	21557.46930	769.90962	77.23640
H2O	0.00000					5.26172
	100.00000	29.67059	100.00000	28020.08070	944.37229	100.00000

Ek-11:

Baca Gazlarının Kuru Hacim, Kütle, Yas Hacim Tabloları ve Grafiği

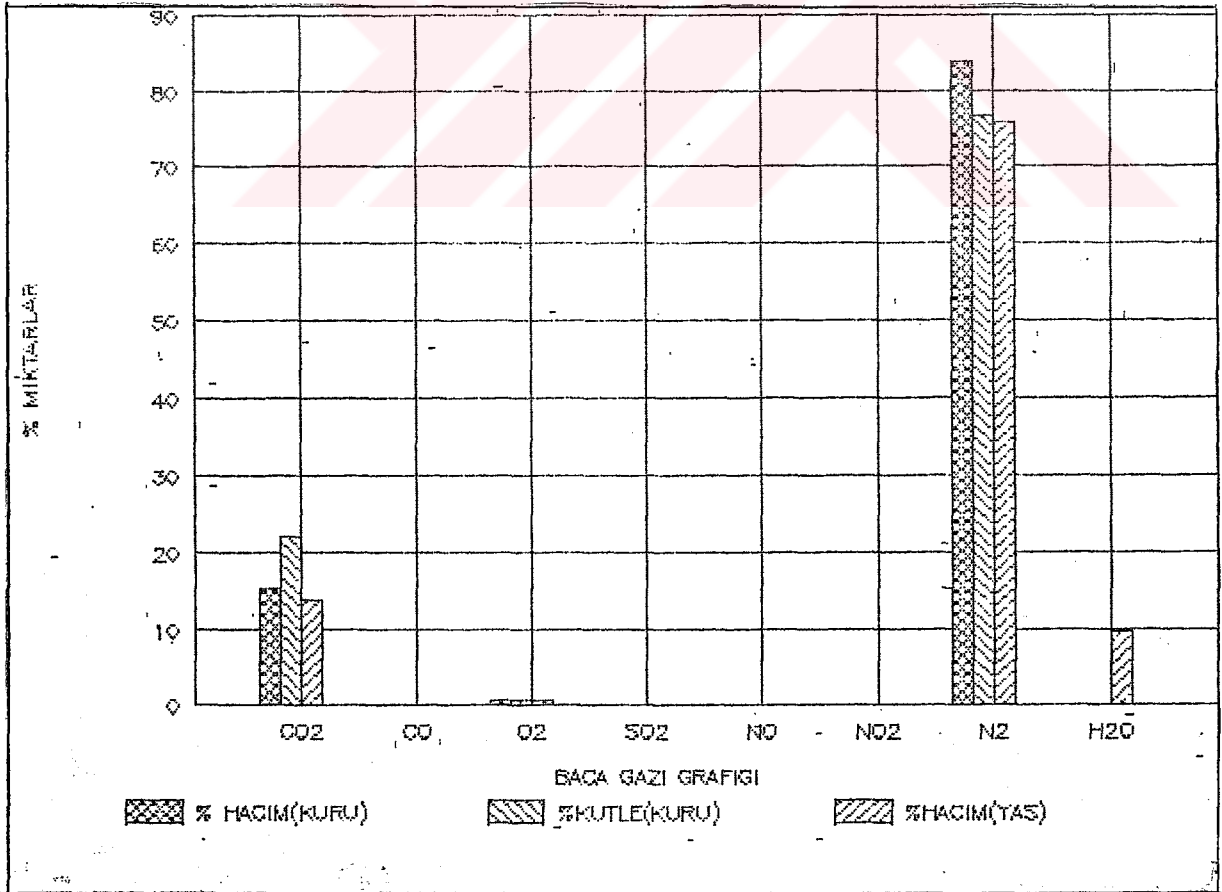


Q_{yakit} = 575 kg/h HFK = 1.03 T_g = 510 K

GAZ cinsi	%HACIM(kuru)	XİMİ	%KUTLE	BACA GAZI gr/kg yakıt	BACA G. MİK. mol/kg yakıt	%HACIM(yas)
CO ₂	15.30000	6.73200	22.05092	3368.54827	76.55792	13.84840
CO	0.19500	0.05460	0.17884	27.92067	0.97574	0.17650
O ₂	0.70000	0.22400	0.73372	112.08479	3.50265	0.63359
SO ₂	0.12900	0.08256	0.27043	41.31125	0.64549	0.11676
NO	0.02180	0.00654	0.02142	3.27248	0.10908	0.01973
NO ₂	0.03592	0.01652	0.05412	8.26785	0.17974	0.03251
N ₂	83.61828	29.41312	76.69054	11715.42179	418.40792	75.68494
H ₂ O	0.00000					9.48757
	100.00000	30.52934	100.00000	15276.22710	500.37853	100.00000

Ek-12:

Baca Gazlarının Kuru Hacim, Kutle, Yas Hacim Tabloları ve Grafiği

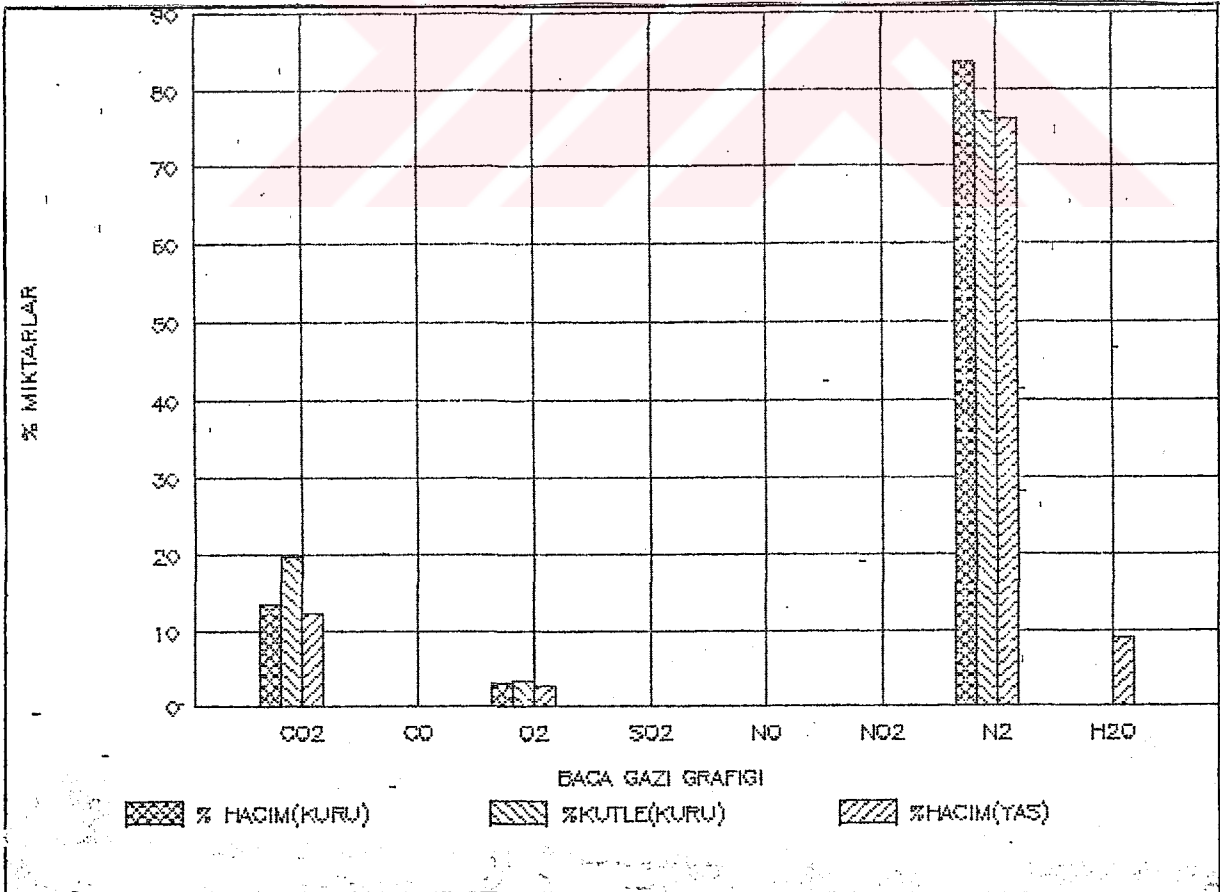


Qyakit = 575 kg/h HFK = 1.17 Tg = 498 K

GAZ cinsi	%HACIM(kuru)	Ximi	%KUTLE	BACA GAZI gr/kg yakit	BACA G. MIK. mol/kg yakit	%HACIM(yas)
CO2	13.50000	5.94000	19.60859	3199.53333	72.71667	12.30209
CO	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
O2	3.10000	0.99200	3.27470	534.33284	16.69790	2.82492
SO2	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
NO	0.02540	0.00762	0.02515	4.10445	0.13682	0.02315
NO2	0.04636	0.02133	0.07040	11.48686	0.24971	0.04225
N2	83.32824	23.33191	77.02116	12567.54458	448.84088	75.93419
H2O	0.00000					8.87341
	100.00000	30.29285	100.00000	16317.00207	538.64198	100.00000

Ek-13:

Baca Gazlarının Kuru Hacim, Kutle, Yas Hacim Tabloları ve Grafiği

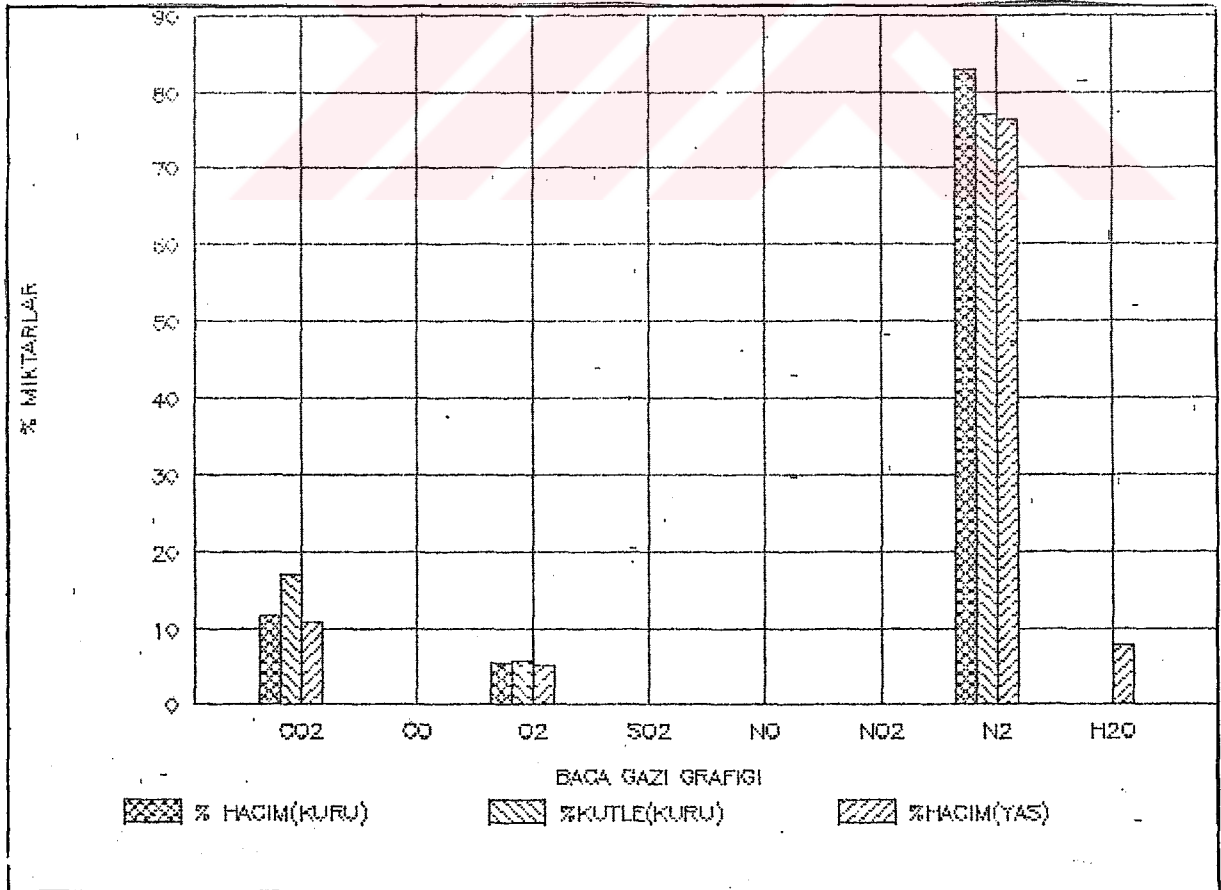


Qyakit = 575 kg/h HFK = 1.40 Tg = 512 K

GAZ cinsi	%HACIM(kuru)	Ximi	%KUTLE	BACA GAZI gr/kg yakit	BACA G. MIK. mol/kg yakit	%HACIM(yas)
CO2	11.70000	5.14800	17.10137	3199.53333	72.71667	10.78946
CO	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
O2	5.50000	1.76000	5.84662	1093.85755	34.18305	5.07197
SO2	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
NO	0.02560	0.00768	0.02551	4.77320	0.15911	0.02361
NO2	0.05743	0.02642	0.08776	16.41893	0.35693	0.05296
N2	82.71697	23.16075	76.93874	14394.63807	514.09422	76.27964
H2O	0.00000					7.78236
	100.00000	30.10285	100.00000	18709.22107	621.50997	100.00000

Ek- 14 :

Baca Gazlarının Kuru Hacim, Kutle, Yas Hacim Tabloları ve Grafiği

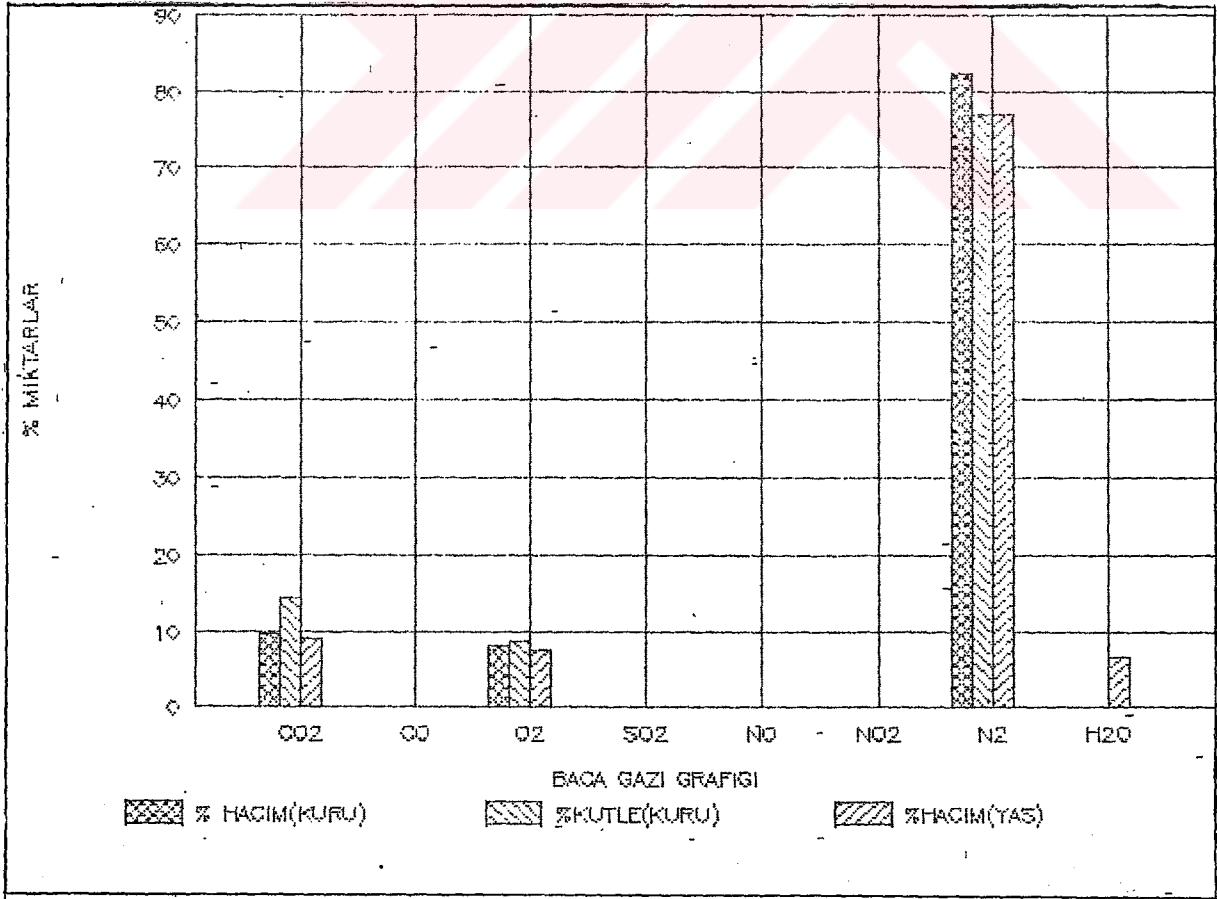


Qyakit = 575 kq/h HFK = 1.65 Tg = 522 K

GAZ cinsi	%HACIM(kuru)	XİMİ	%KUTLE	BACA GAZI gr/kg yakıt	BACA G. MIK. mol/kg yakıt	%HACIM(yas)
CO2	9.60000	4.22400	14.14073	3199.53333	72.71667	8.97831
CO	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
O2	8.10000	2.59200	8.67726	1963.35000	61.35469	7.57545
SO2	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
NO	0.02140	0.00642	0.02149	4.86293	0.16210	0.02001
NO2	0.05967	0.02745	0.09189	20.79106	0.45198	0.05581
N2	82.21893	23.02130	77.06863	17437.83570	622.77985	76.89444
H2O	0.00000					6.47599
	100.00000	29.87117	100.00000	22626.37302	757.46528	100.00000

Ek-18:

Baca Gazlarının Kuru Hacim, Kütle, Yas Hacim Tabloları ve Grafiği

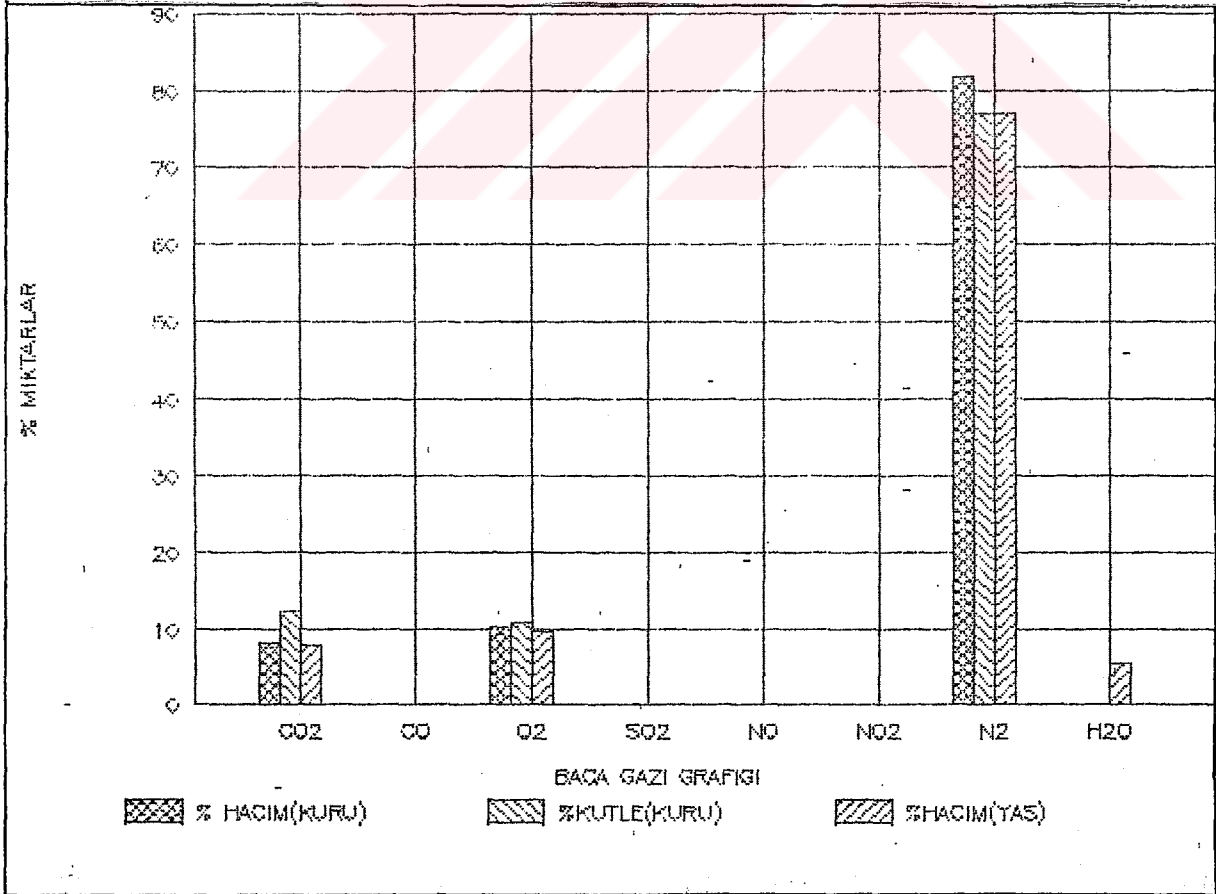


Qyakit = 575 kg/h HFK = 1.89 Tg = 526 K

GAZ cinsi	%HACIM(kuru)	Ximi	%KUTLE	BACA GAZI gr/kg yakit	BACA G.MIK. mol/kg yakit	%HACIM(yas)
CO2	8.20000	3.60800	12.13712	3199.53333	72.71667	7.74209
CO	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
O2	10.10000	3.23200	10.87227	2866.10081	89.56565	9.53598
SO2	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
NO	0.01840	0.00552	0.01857	4.89507	0.16317	0.01737
NO2	0.05901	0.02714	0.09131	24.07152	0.52329	0.05571
N2	81.82259	22.85433	76.88072	20266.95546	723.81984	77.06453
H2O	0.00000					5.58431
	100.00000	29.72699	100.00000	26361.55620	886.78862	100.00000

Ek-17:

Baca Gazlarının Kuru Hacim, Kütle, Yas Hacim Tabloları ve Grafiki

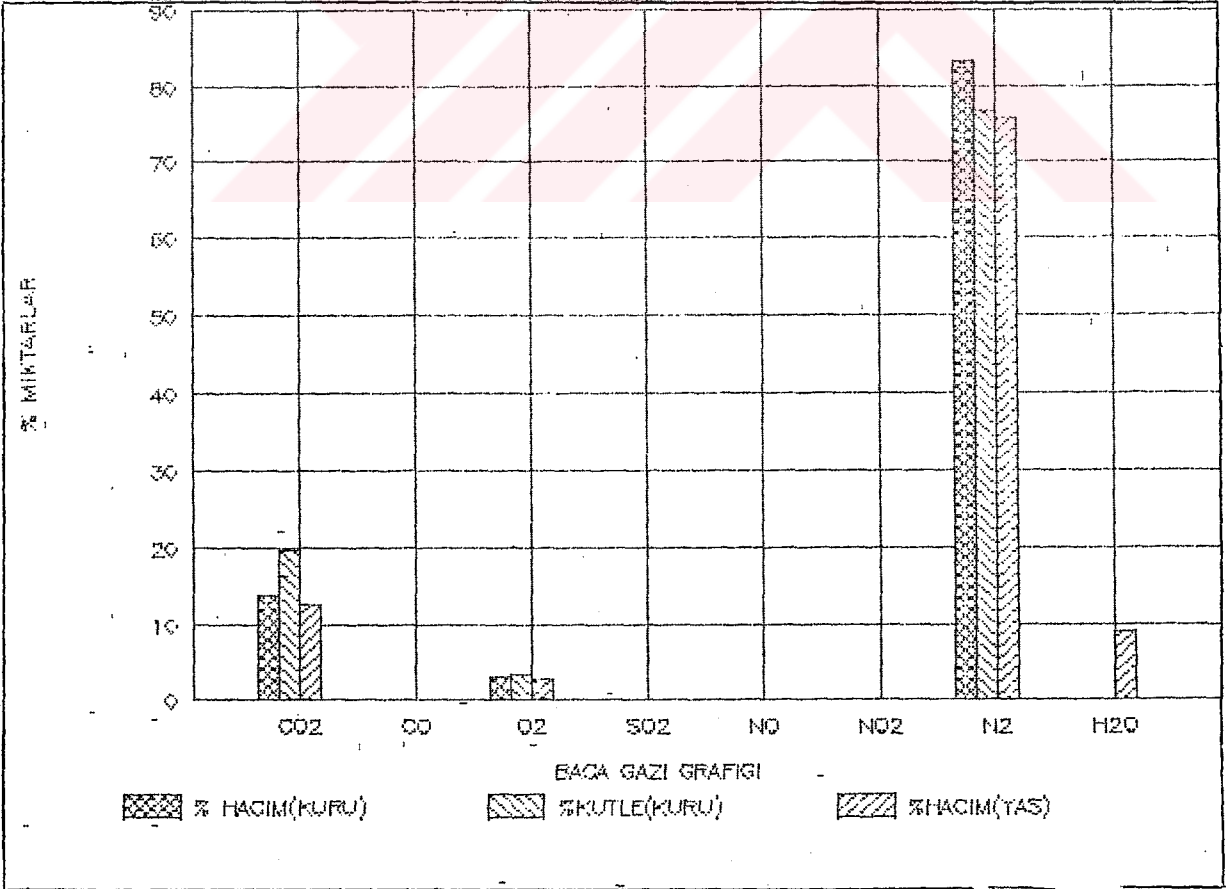


Yakıt = 600 kg/h HFK = 1.16 T₃ = 516 K

GAZ cinsi	%HACIM(kuru)	XİMİ	%KUTLE	BACA GAZI gr/kg yakıt	BACA G. MİK. mol/kg yakıt	%HACIM(yas)
CO ₂	13.60000	5.98400	19.72358	3228.39776	73.37268	12.39498
CO	0.03700	0.01036	0.03415	5.58927	0.19962	0.03372
O ₂	3.10000	0.99200	3.26968	595.18893	16.72465	2.82533
SO ₂	0.08300	0.05312	0.17509	28.65850	0.44779	0.07565
HO	0.02700	0.00810	0.02670	4.36999	0.14567	0.02461
NO ₂	0.04942	0.02273	0.07493	12.26467	0.26662	0.04504
H ₂	83.10358	23.26900	75.69587	12553.74253	448.34795	75.74021
H ₂ O	0.00000					8.86047
	100.00000	30.33932	100.00000	16368.21167	599.50497	100.00000

Ek-18:

Baca Gazlarının Kuru Hacim, Kutle, Yas Hacim Tabloları ve Grafiği



Q_{yakıt} = 600 kg/h

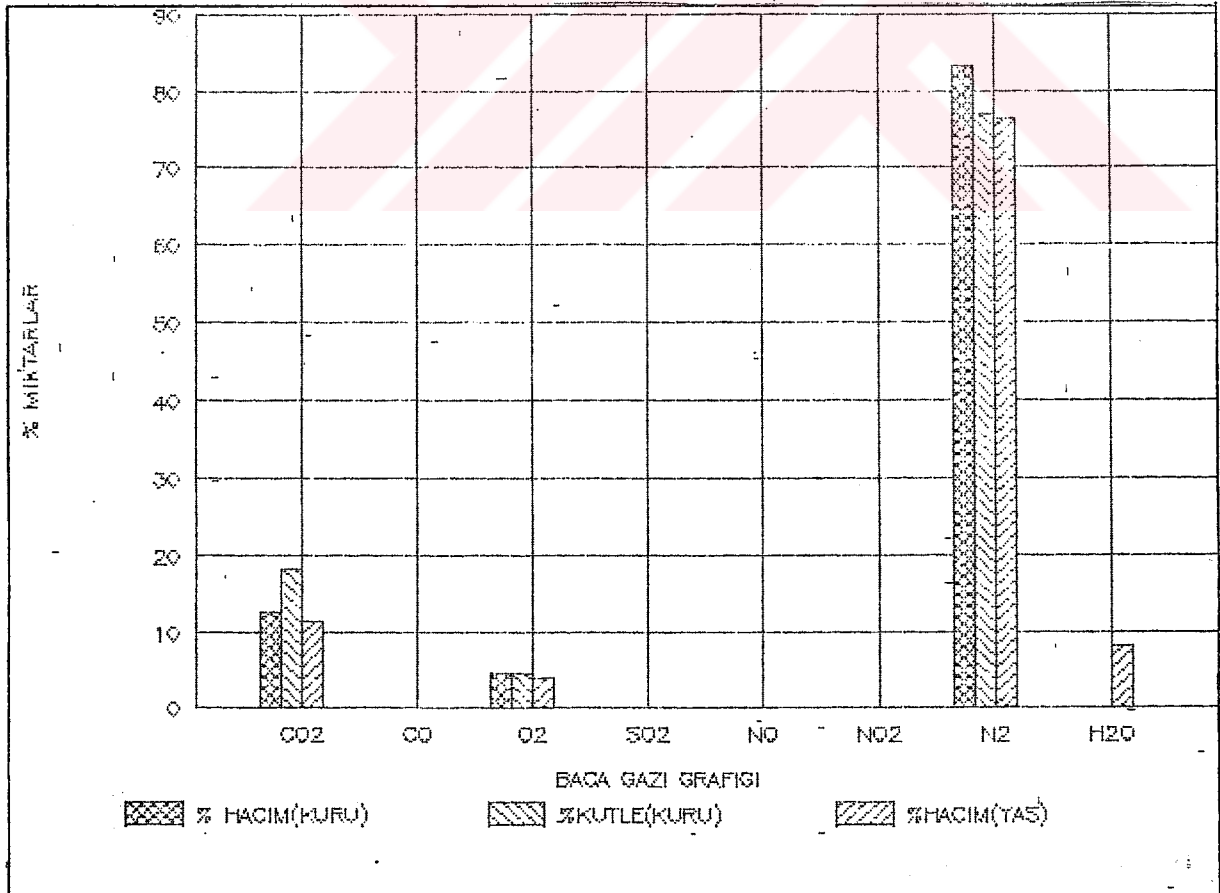
HFK = 1.27

T_g = 521 K

GAZ elnsi	%HAÇIM(kuru)	X _{iMi}	%KUTLE	BACA GAZI gr/kg yakıt	BACA G. MIK. mol/kg yakıt	%HACIM(yas)
CO ₂	12.40000	5.45600	18.06048	3199.53333	72.71667	11.38199
CO	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
O ₂	4.40000	1.40800	4.66077	825.68602	25.80269	4.03877
SO ₂	0.10740	0.06874	0.22753	40.30849	0.62982	0.09858
NO	0.02780	0.00834	0.02761	4.89078	0.16303	0.02552
NO ₂	0.05770	0.02654	0.08786	15.56489	0.33837	0.05296
N ₂	83.00710	23.24199	76.93575	13629.67657	486.77416	76.19243
H ₂ O	0.00000					8.20975
	100.00000	30.20961	100.00000	17715.66008	586.42473	100.00000

Ek- 19:

Baca Gazlarının Kuru Hacim, Kutle, Yas Hacim Tabloları ve Grafığı

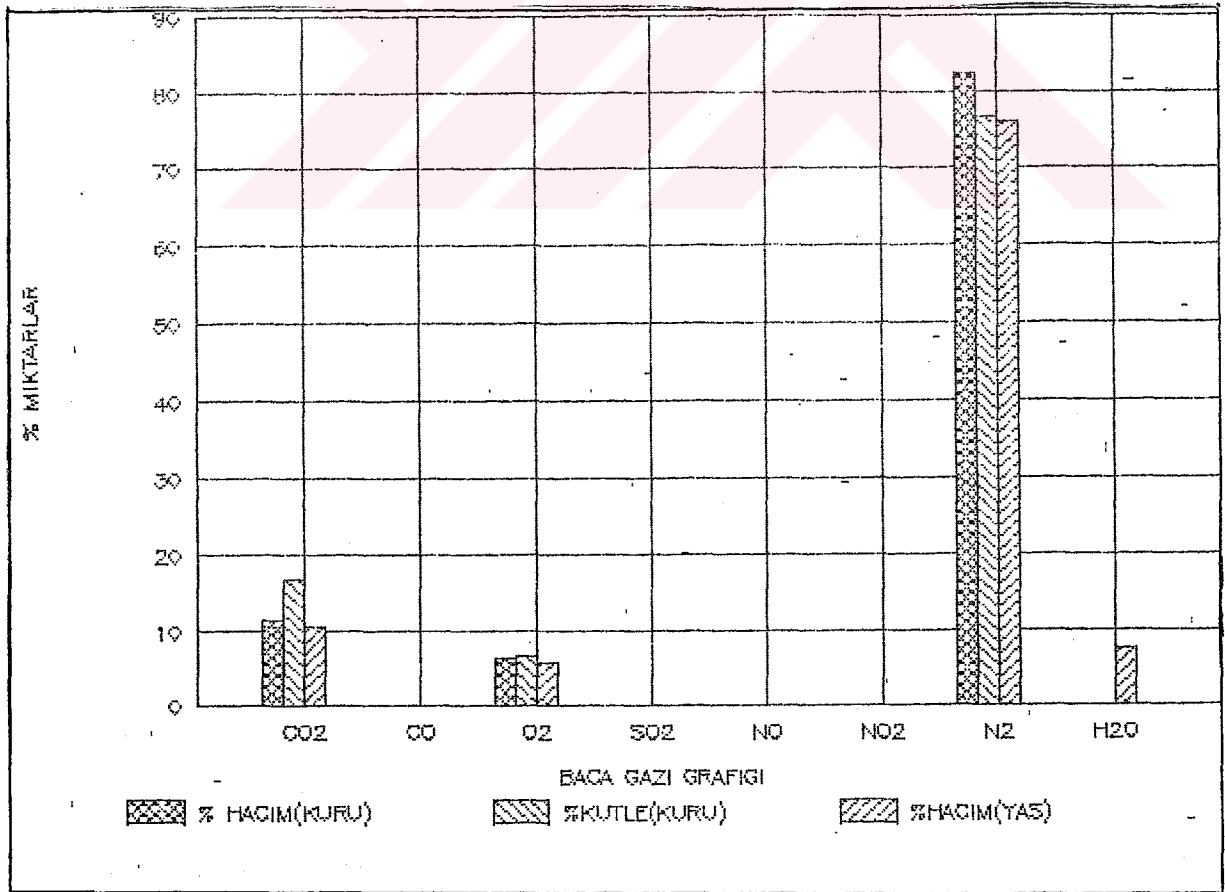


Qyakit = 600 kg/h HFK = 1.40 Tg = 525 K

GAZ cinsi	%HACIM(kuru)	Ximi	%KUTLE	BACA GAZI gr/kg yakit	BACA G. MIK. mol/kg yakit	%HACIM(yas)
CO2	11.40000	5.01690	16.67420	3199.53333	72.71667	10.53383
CO	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
O2	6.20000	1.98400	6.59522	1265.52515	39.54766	5.72893
SO2	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
NO	0.02340	0.00702	0.02334	4.47782	0.14926	0.02162
NO2	0.05524	0.02541	0.08447	16.20842	0.35236	0.05104
N2	82.32136	23.04998	76.62278	14702.78746	525.09955	76.06660
H2O	0.00000					7.59798
	100.00000	30.08241	100.00000	19188.53217	637.86550	100.00000

Ek-20 :

Baca Gazlarının Kuru Hacim, Kütle, Yas Hacim Tabloları ve Grafiği

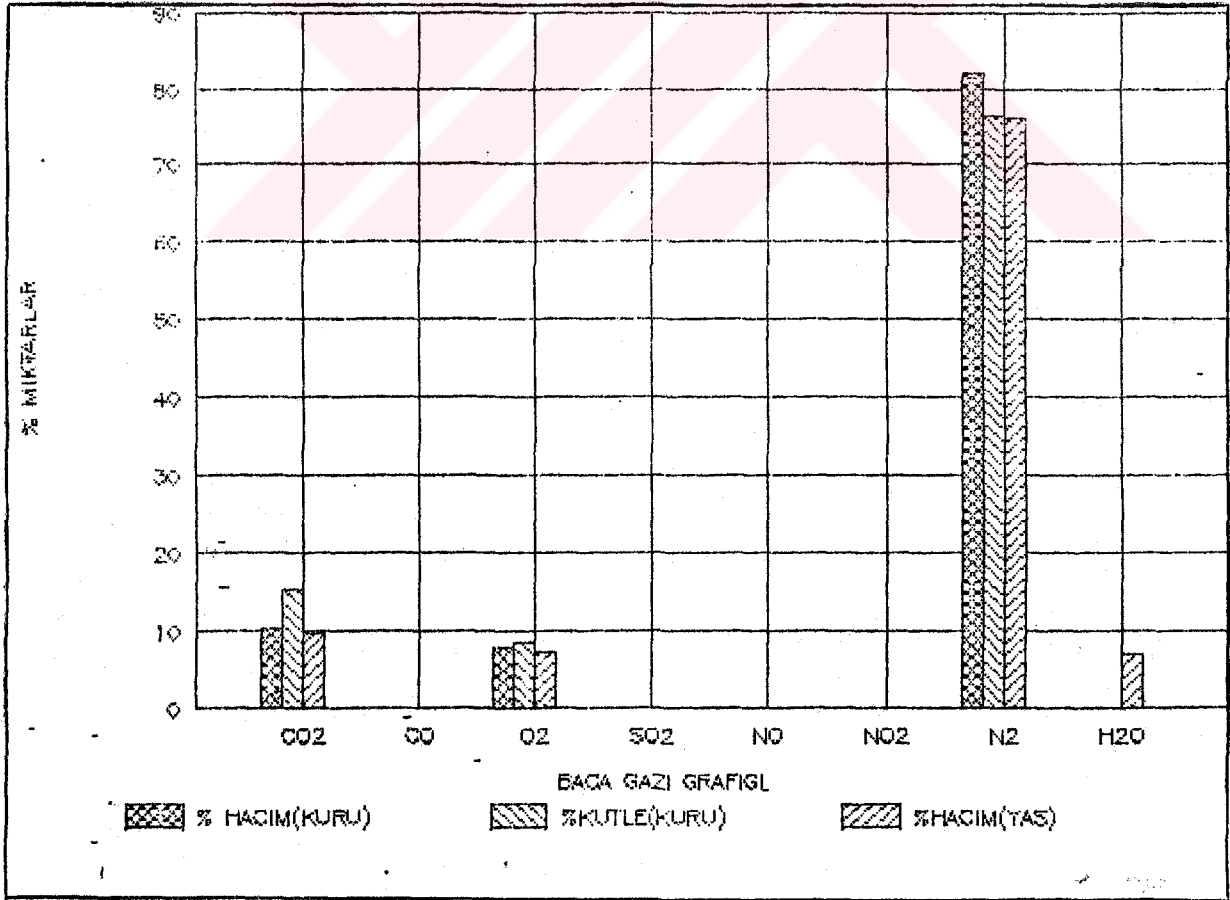


Qyakit = 600 kg/h HFK = 1.55 Tg = 529 K

GAZ cinsi	%HACIM(kuru)	XİMİ	%KUTLE	BACA GAZI gr/kg yakıt	BACA G. MİK. mol/kg yakıt	%HACIM(yas)
CO2	10.30000	4.53200	15.12142	3199.53333	72.71667	9.58770
CO	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
O2	7.80000	2.49600	8.32813	1762.14369	55.06699	7.26059
SO2	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
NO	0.02160	0.00648	0.02162	4.57480	0.15249	0.02011
NO2	0.05717	0.02630	0.08775	18.56619	0.40361	0.05322
N2	81.82123	22.90994	76.44108	16174.12418	577.64729	76.16285
H2O	0.00000					6.91554
	100.00000	29.97072	100.00000	21158.94219	705.98706	100.00000

Ek- 21 :

Baca Gazlarının Kuru Hacim, Kutle, Yas Hacim Tabloları ve Grafiği

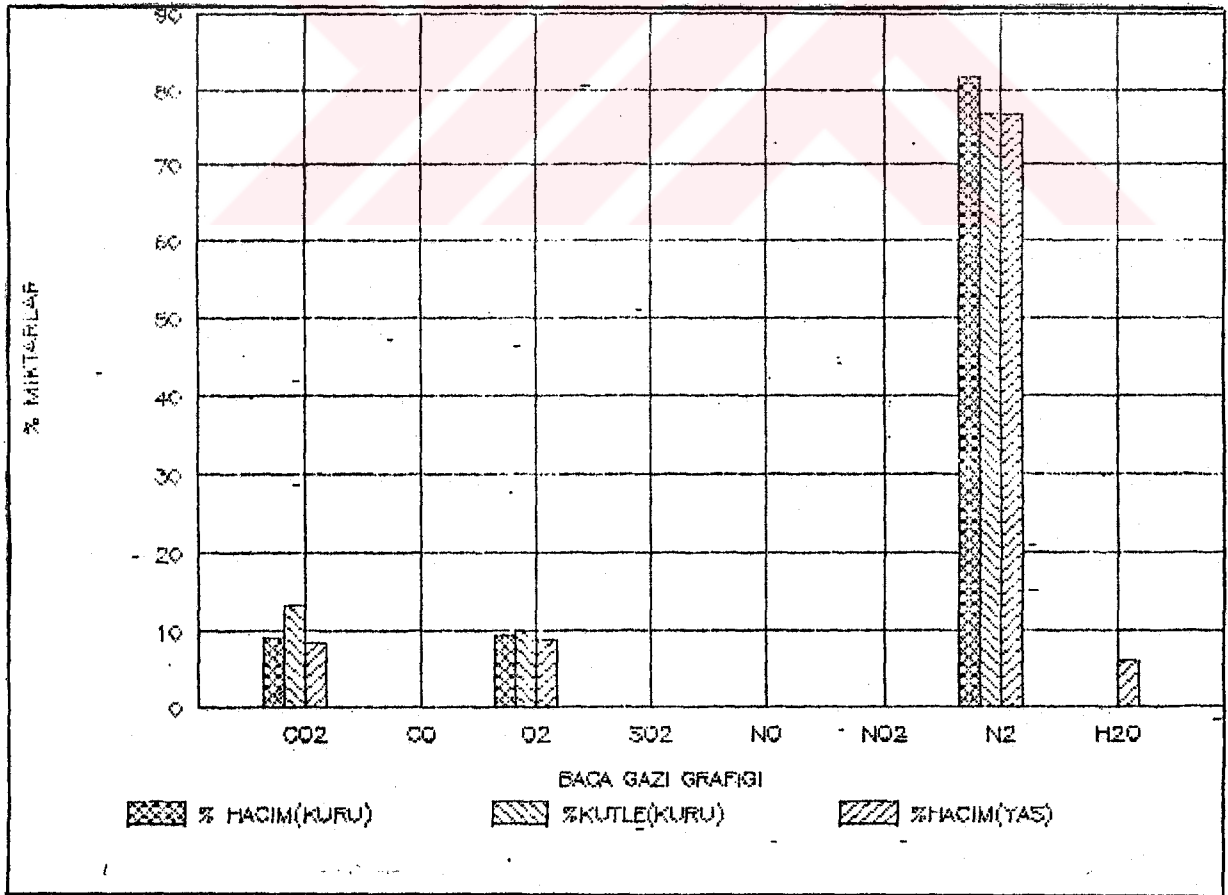


Yakıt = 900 kg/h HFK = 1.76 Tg = 538 K

GAZ oinsi	%HACIM(kuru)	XİMİ	%KUTLE	BACA GAZI gr/kg yakıt	BACA G. MİK. mol/kg yakıt	%HACIM(yas)
CO ₂	8.90000	3.91600	13.12332	3199.53333	72.71667	8.36313
CO	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
O ₂	9.30000	2.97600	9.97318	2431.51461	75.98483	8.73900
SO ₂	0.09220	0.05901	0.19775	48.21197	0.75331	0.08664
NO	0.01940	0.00582	0.01950	4.75518	0.15851	0.01823
NO ₂	0.05798	0.02667	0.08938	21.79114	0.47372	0.05448
N ₂	81.63042	22.85652	76.59687	18674.71653	666.95416	76.70626
H ₂ O	0.00000					6.03226
	100.00000	29.84002	100.00000	24380.52276	817.04120	100.00000

Ek- 22 :

Baca Gazlarının Kuru Hacim, Kütle, Yas Hacim Tabloları ve Grafiği

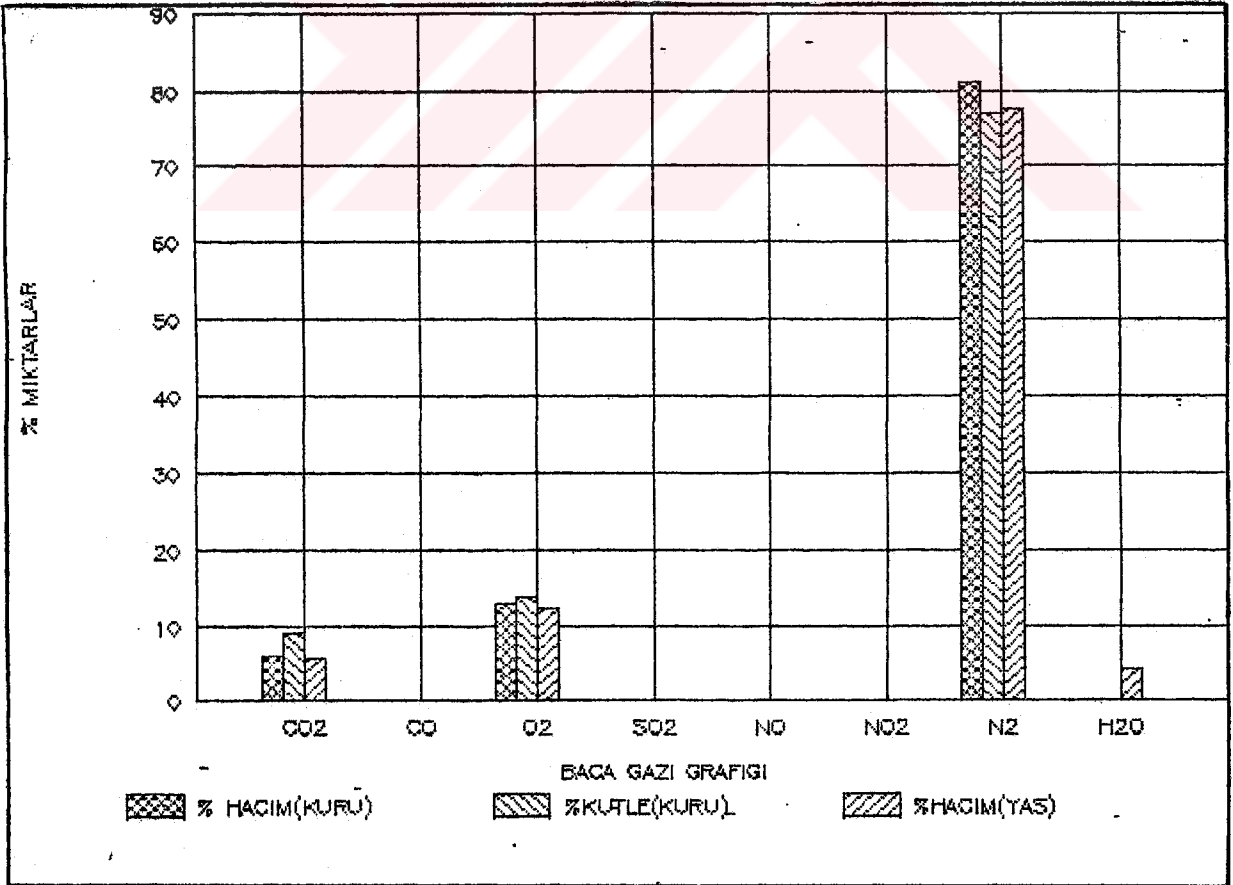


Q_{yakit} = 510 kg/h HFK = 2.6 T_g = 495 K

GAZ cinsi	%HACIM(kuru)	X _{iMi}	%KUTLE	BACA GAZI gr/kg yakit	BACA G. MIK. mol/kg yakit	%HACIM(yas)
CO ₂	6.10000	2.68400	9.09674	3199.90331	72.72508	5.84295
CO	0.00100	0.00028	0.00095	0.33382	0.01192	0.00096
O ₂	12.80000	4.09600	13.88236	4883.30996	152.60344	12.26061
SO ₂	0.02140	0.01370	0.04642	16.32857	0.25513	0.02050
HO	0.01280	0.00384	0.01301	4.57810	0.15260	0.01226
NO ₂	0.05060	0.02328	0.07889	27.74998	0.60326	0.04847
N ₂	81.01420	22.68398	76.88163	27044.16163	965.86292	77.60027
H ₂ O	0.00000					4.21399
	100.00000	29.50507	100.00000	35176.36537	1192.21435	100.00000

Ek- 23 :

Baca Gazlarının Kuru Hacim, Kütle, Yas Hacim Tabloları ve Grafiği

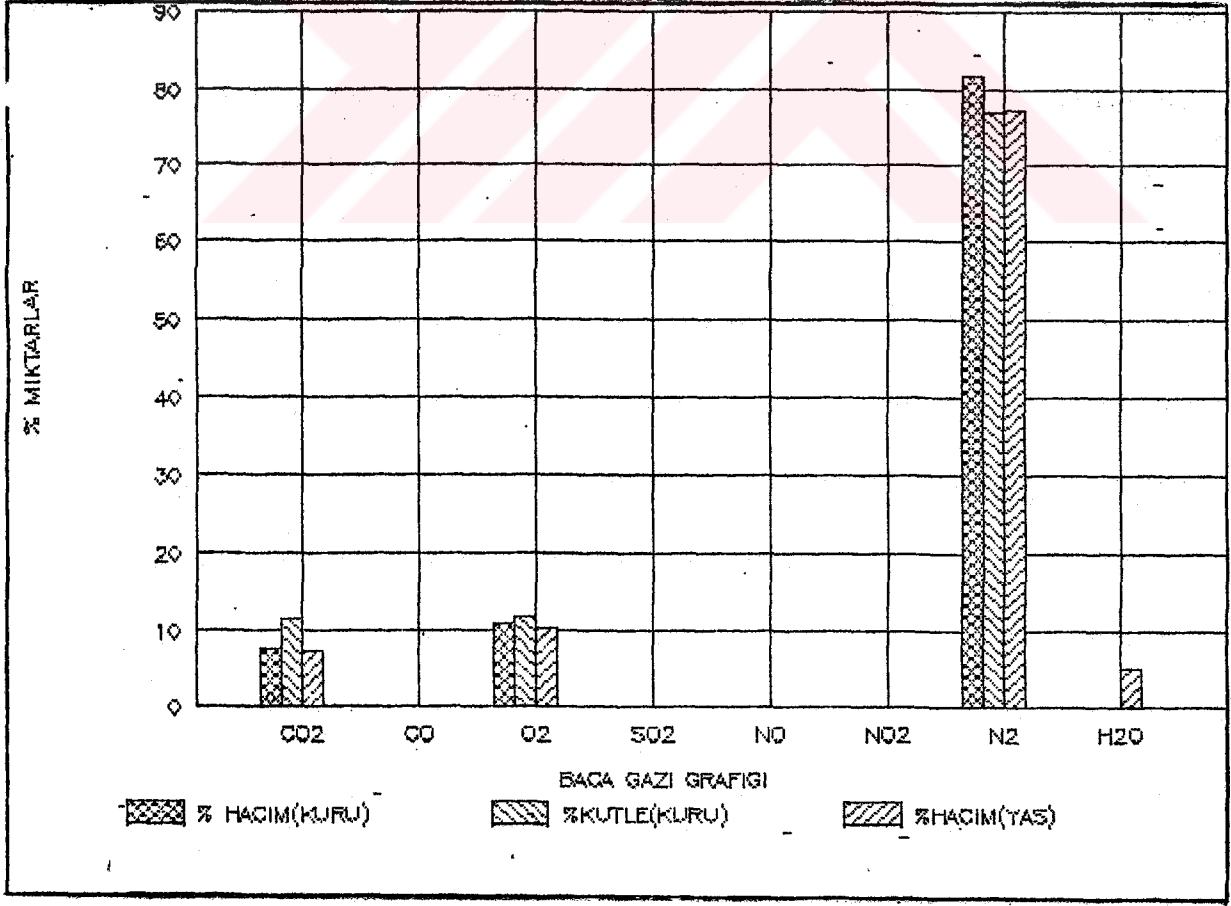


$Q_{yakit} = 637 \text{ kg/h}$ $HFK = 2.09$ $T_d = 503 \text{ K}$

GAZ cinsi	%HACIM(kuru)	X _i M _i	%KUTLE	BACA GAZI gr/kg yakit	BACA G. MIK. mol/kg yakit	%HACIM(yas)
CO ₂	7.60000	3.34400	11.26660	3200.44436	72.73737	7.20514
CO	0.00200	0.00056	0.00189	0.53596	0.01914	0.00190
O ₂	10.70000	3.42400	11.53614	3277.01001	102.40656	10.14408
SO ₂	0.07360	0.04710	0.15870	45.08186	0.70440	0.06978
NO	0.01680	0.00504	0.01698	4.82364	0.16079	0.01593
NO ₂	0.05450	0.02507	0.08447	23.99376	0.52160	0.05167
N ₂	81.55310	22.83487	76.93522	21854.58268	780.52081	77.31598
H ₂ O	0.00000					5.19553
	100.00000	29.68064	100.00000	28406.47227	957.07069	100.00000

Ek- 24 :

Baca Gazlarının Kuru Hacim, Kutle, Yas Hacim Tabloları ve Grafiki

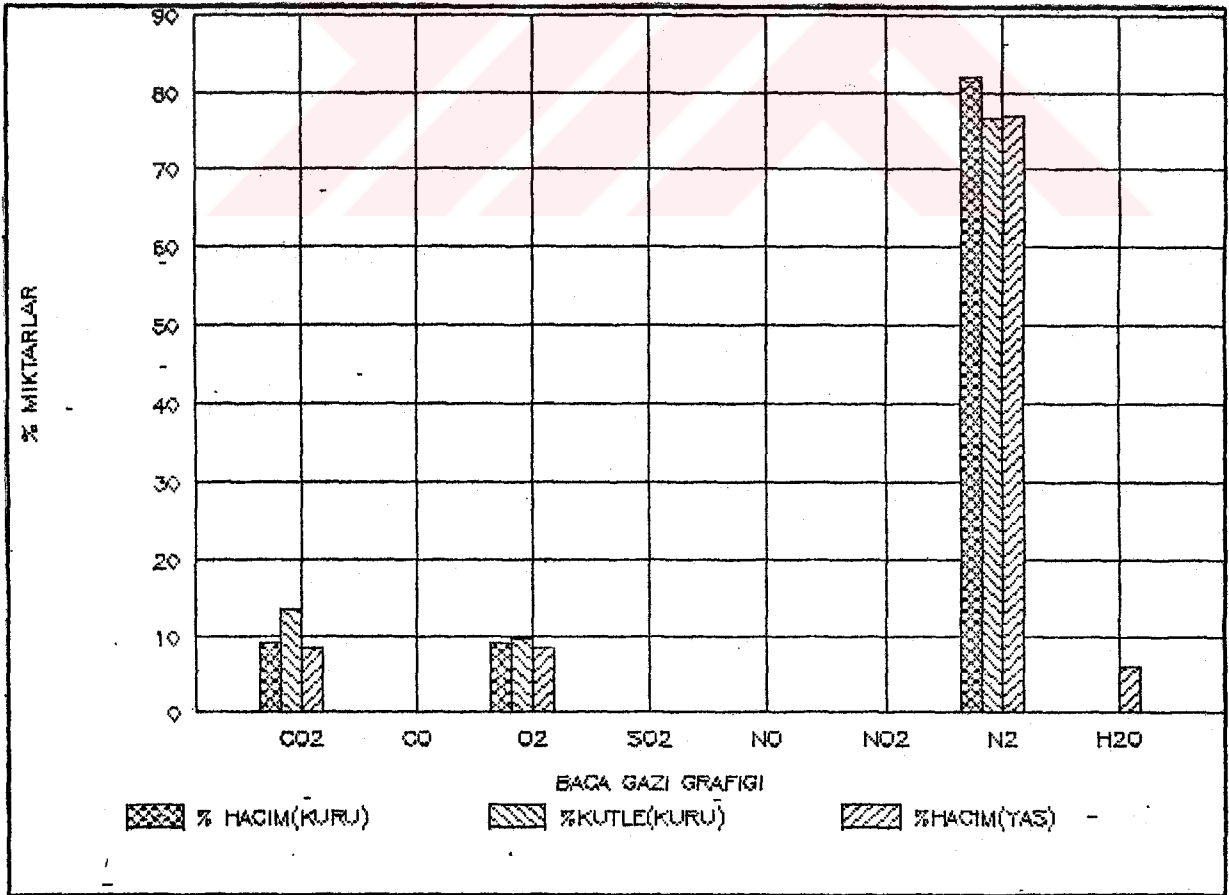


Q_{yakıt} = 765 kg/h HFK = 1.74 T_g = 509 K

GAZ cinsi	%HACIM(kuru)	X _{imi}	%KUTLE	BACA GAZI gr/kg yakıt	BACA G. MIK. mol/kg yakıt	%HACIM(yas)
CO ₂	9.10000	4.00400	13.41280	3200.61167	72.74117	8.53967
CO	0.00200	0.00056	0.00188	0.44764	0.01599	0.00188
O ₂	8.90000	2.84800	9.54037	2276.55895	71.14247	8.35198
SO ₂	0.08320	0.05325	0.17837	42.56398	0.66506	0.07808
NO	0.01960	0.00588	0.01970	4.70020	0.15667	0.01839
NO ₂	0.05410	0.02489	0.08336	19.89271	0.43245	0.05077
N ₂	81.84110	22.91551	76.76352	18317.59301	654.19975	76.80172
H ₂ O	0.00000					6.15752
	100.00000	29.85208	100.00000	23862.36817	799.35356	100.00000

Ek- 25

Baca Gazlarının Kuru Hacim, Kutle, Yas Hacim Tabloları ve Grafiği

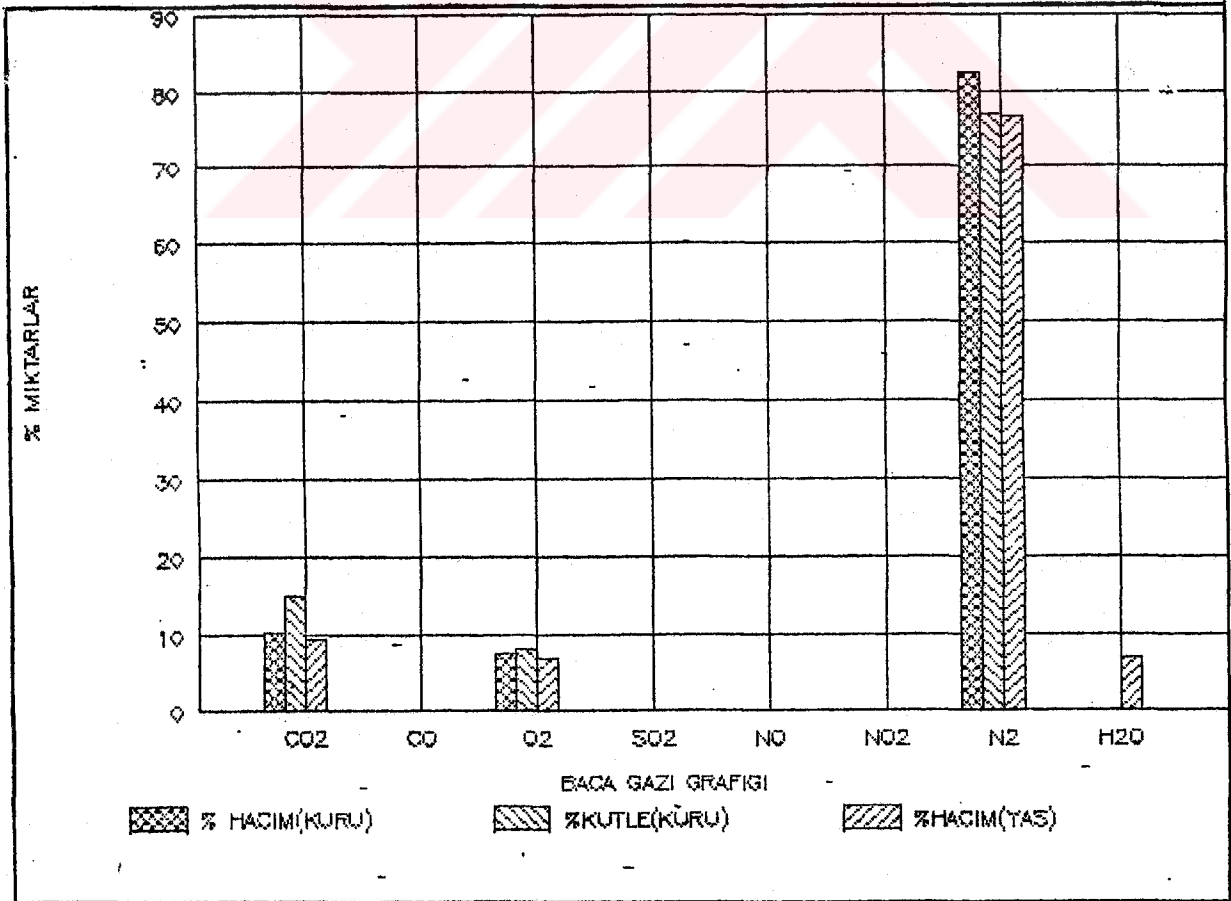


Qyakit = 892 kg/h HFK = 1.57 T_g = 512 K

GAZ cinsi	%HACIM(kuru)	X _{imi}	%KUTLE	BACA GAZI gr/kg yakit	BACA G. MIK. mol/kg yakit	%HACIM(yas)
CO ₂	10.10000	4.44400	14.03481	3200.72184	72.74368	9.41441
CO	0.00200	0.00056	0.00187	0.40333	0.01440	0.00186
O ₂	7.50000	2.40000	8.01160	1728.56265	54.01758	6.99090
SO ₂	0.08420	0.05389	0.17989	38.81199	0.60644	0.07848
NO	0.02160	0.00648	0.02163	4.66712	0.15557	0.02013
NO ₂	0.05460	0.02512	0.08384	18.08941	0.39325	0.05089
N ₂	82.23760	23.02653	76.86637	16584.49843	592.30352	76.65529
H ₂ O	0.00000					6.78802
	100.00000	29.95657	100.00000	21575.75477	720.23444	100.00000

Ek- 26 :

Baca Gazlarının Kuru Hacim, Kütle, Yas Hacim Tabloları ve Grafiği

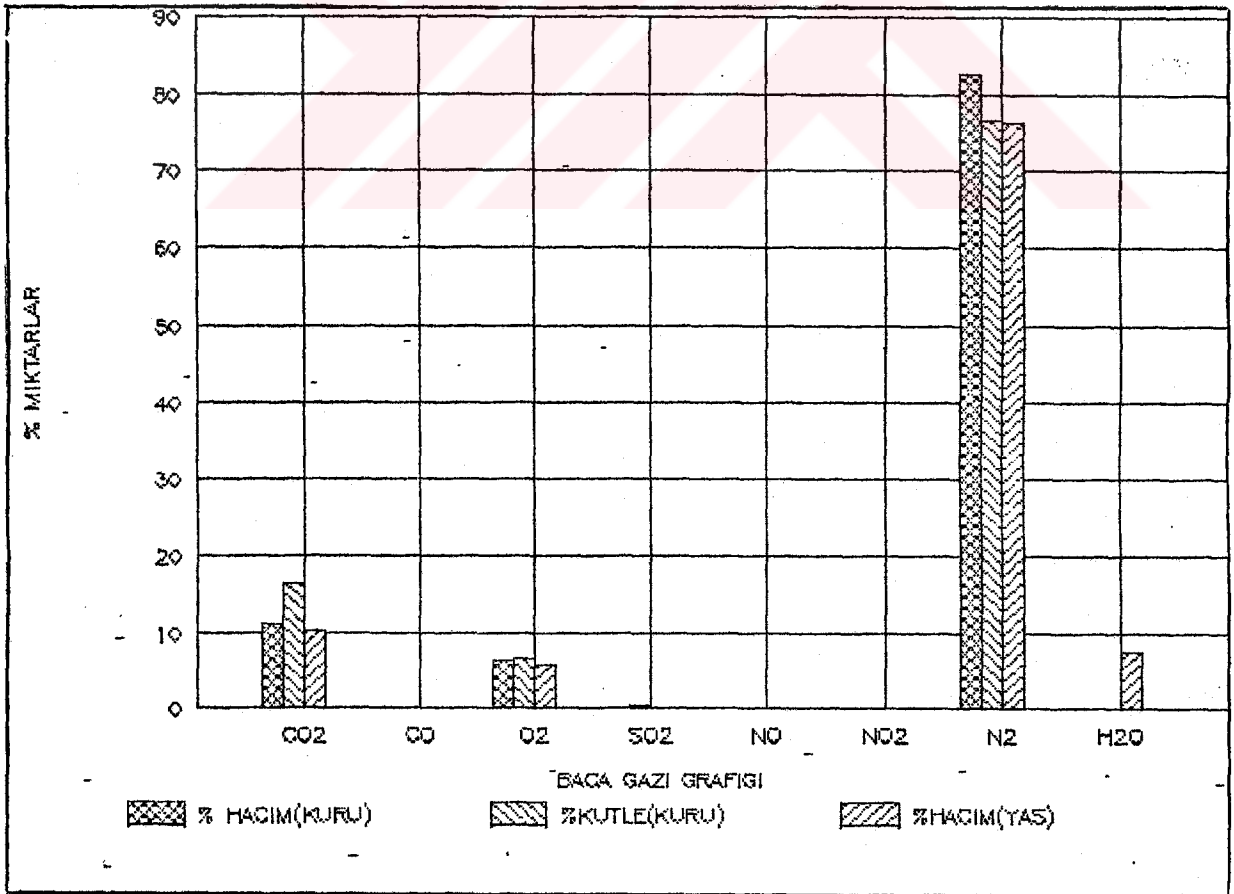


Q_{yakıt} = 1020 kg/h HFK = 1.43 T_g = 514 K

GAZ cinsi	%HACIM(kuru)	%MİTİ	%KÜTLE	BACA GAZI gr/kg yakıt	BACA G. MİK. mol/kg yakıt	%HACIM(yas)
CO ₂	11.10000	4.08400	16.23274	3200.18076	72.73138	10.27733
CO	0.00100	0.00020	0.00093	0.18347	0.00655	0.00093
O ₂	6.30000	2.01600	6.70049	1320.95313	41.27997	5.83308
SO ₂	0.13740	0.08794	0.29227	57.61898	0.90030	0.12722
NO	0.02280	0.00684	0.02273	4.48183	0.14939	0.02111
NO ₂	0.05230	0.02406	0.07996	15.76371	0.34269	0.04842
N ₂	82.38650	23.06822	76.67087	15115.16662	539.82738	76.28046
H ₂ O	0.00000					7.41146
	100.00000	30.08733	100.00000	19714.35449	655.23767	100.00000

Ek-27:

Baca Gazlarının Kuru Hacim, Kütle, Yas Hacim Tabloları ve Grafiği



Ek- 28 :

CO ₂ (KARBON DIOKSIT)			
Temp. K	(h-h ₀) kJ/kmol	S kJ/kmol K	S - S ₀ kJ/kmol K
298	0	213.795	0
400	4008	225.334	11.539
479	7409.74	232.9101	19.1151
495	8098.7	234.4445	20.6495
498	8227.88	234.7322	20.9372
500	8314	234.924	21.129
501	8360.02	235.00785	21.21285
503	8452.06	235.17555	21.38055
505	8544.1	235.34325	21.54825
506	8590.12	235.4271	21.6321
507	8636.14	235.51095	21.71595
508	8682.16	235.5948	21.7998
509	8728.18	235.67865	21.88365
510	8774.2	235.7625	21.9675
511	8820.22	235.84635	22.05135
512	8866.24	235.9302	22.1352
514	8958.28	236.0979	22.3029
516	9050.32	236.2656	22.4706
517	9096.34	236.34945	22.55445
518	9142.36	236.4333	22.6383
521	9280.42	236.68485	22.88985
522	9326.44	236.7687	22.9737
523	9372.46	236.85255	23.05755
525	9464.5	237.02025	23.22525
526	9510.52	237.1041	23.3091
529	9648.58	237.35565	23.56065
533	9832.66	237.69105	23.89605
534	9878.68	237.7749	23.9799
535	9924.7	237.85875	24.06375
536	9970.72	237.9426	24.1476
537	10016.74	238.02645	24.23145
538	10062.76	238.1103	24.3153
539	10108.78	238.19415	24.39915
540	10154.8	238.278	24.483
541	10200.82	238.36185	24.56685
542	10246.84	238.4457	24.6507
543	10292.86	238.52955	24.73455
544	10338.88	238.6134	24.8184
545	10384.9	238.69725	24.90225
546	10430.92	238.7811	24.9861
547	10476.94	238.86495	25.06995
548	10522.96	238.9488	25.1538
549	10568.98	239.03265	25.23765
600	12916	243.309	29.514

Ek-29:

CO(KARBON MONOKSIT)

Temp. K	(h-h _g) kJ/kmol	S kJ/kmol K	S-S _g kJ/kmol K
298	0	197.653	0
400	2975	206.234	8.581
479	5308.66	211.44326	13.79026
495	5781.3	212.4983	14.8453
498	5869.92	212.69612	15.04312
500	5929	212.828	15.175
501	5959.12	212.86285	15.22985
503	6019.36	212.99255	15.33955
505	6079.6	213.10225	15.44925
506	6109.72	213.1571	15.5041
507	6139.84	213.21195	15.55895
508	6169.96	213.2668	15.6138
509	6200.08	213.32165	15.66865
510	6230.2	213.3765	15.7235
511	6260.32	213.43135	15.77835
512	6290.44	213.4862	15.8332
514	6350.68	213.5959	15.9429
516	6410.92	213.7056	16.0526
517	6441.04	213.76045	16.10745
518	6471.16	213.8153	16.1623
521	6561.52	213.97985	16.32685
522	6591.64	214.0347	16.3817
523	6621.76	214.08955	16.43655
525	6682	214.19925	16.54625
526	6712.12	214.2541	16.6011
529	6802.48	214.41865	16.76565
533	6922.96	214.63805	16.98505
534	6953.08	214.6929	17.0399
535	6983.2	214.74775	17.09475
536	7013.32	214.8026	17.1496
537	7043.44	214.85745	17.20445
538	7073.56	214.9123	17.2593
539	7103.68	214.96715	17.31415
540	7133.8	215.022	17.369
541	7163.92	215.07685	17.42385
542	7194.04	215.1317	17.4787
543	7224.16	215.18655	17.53355
544	7254.28	215.2414	17.5884
545	7284.4	215.29625	17.64325
546	7314.52	215.3511	17.6981
547	7344.64	215.40595	17.75295
548	7374.76	215.4608	17.8078
549	7404.88	215.51565	17.86265
600	8941	218.313	20.66

Ek-30:

O₂ (OKSIJEN)

Temp. K	(h-h _o) kJ/kmol	S kJ/kmol K	S-S _o kJ/kmol K
298	0	205.142	0
400	3029	213.874	8.732
479	5445.61	219.26496	14.12296
495	5935.05	220.3568	15.2148
498	6026.82	220.56152	15.41952
500	6088	220.698	15.556
501	6119.59	220.75557	15.61357
503	6182.77	220.87071	15.72871
505	6245.95	220.98585	15.84385
506	6277.54	221.04342	15.90142
507	6309.13	221.10099	15.95899
508	6340.72	221.15856	16.01656
509	6372.31	221.21613	16.07413
510	6403.9	221.2737	16.1317
511	6435.49	221.33127	16.18927
512	6467.08	221.38884	16.24684
514	6530.26	221.50398	16.36198
516	6593.44	221.61912	16.47712
517	6625.03	221.67669	16.53469
518	6656.62	221.73426	16.59226
521	6751.39	221.90697	16.76497
522	6782.98	221.96454	16.82254
523	6814.57	222.02211	16.88011
525	6877.75	222.13725	16.99525
526	6909.34	222.19482	17.05282
529	7004.11	222.36753	17.22553
533	7130.47	222.59781	17.45581
534	7162.06	222.65538	17.51338
535	7193.65	222.71295	17.57095
536	7225.24	222.77052	17.62852
537	7256.83	222.82809	17.68609
538	7288.42	222.88566	17.74366
539	7320.01	222.94323	17.80123
540	7351.6	223.0008	17.8588
541	7383.19	223.05837	17.91637
542	7414.78	223.11594	17.97394
543	7446.37	223.17351	18.03151
544	7477.96	223.23108	18.08908
545	7509.55	223.28865	18.14665
546	7541.14	223.34622	18.20422
547	7572.73	223.40379	18.26179
548	7604.32	223.46136	18.31936
549	7635.91	223.51893	18.37693
600	9247	226.455	21.313

Ek-31:

SO₂ (KÜKÜRT DİOKSİT)

Temp. K	(h-h ₀) kJ/kmol	S kJ/kmol K	S-S ₀ kJ/kmol K
298	0	245.291	0
400	4252.976	260.461	15.17
479	7814.55038	268.4005	23.1095
495	8535.8819	270.0085	24.7175
498	8671.13156	270.31	25.019
500	8761.298	270.511	25.22
501	8809.18584	270.59824	25.30724
503	8904.96152	270.77272	25.48172
505	9000.7372	270.9472	25.6562
506	9048.62504	271.03444	25.74344
507	9096.51288	271.12168	25.83068
508	9144.40072	271.20892	25.91792
509	9192.28856	271.29616	26.00516
510	9240.1764	271.3834	26.0924
511	9288.06424	271.47064	26.17964
512	9335.95208	271.55788	26.26688
514	9431.72776	271.73236	26.44136
516	9527.50344	271.90684	26.61584
517	9575.39128	271.99408	26.70308
518	9623.27912	272.08132	26.79032
521	9766.94264	272.34304	27.05204
522	9814.83048	272.43028	27.13928
523	9862.71832	272.51752	27.22652
525	9958.494	272.692	27.401
526	10006.38184	272.77924	27.48824
529	10150.04536	273.04096	27.74996
533	10341.59672	273.38992	28.09892
534	10389.48456	273.47716	28.18616
535	10437.3724	273.5644	28.2734
536	10485.26024	273.65164	28.36064
537	10533.14808	273.73888	28.44788
538	10581.03592	273.82612	28.53512
539	10628.92376	273.91336	28.62236
540	10676.8116	274.0006	28.7096
541	10724.69944	274.08784	28.79684
542	10772.58728	274.17508	28.88408
543	10820.47512	274.26232	28.97132
544	10868.36296	274.34956	29.05856
545	10916.2508	274.4368	29.1458
546	10964.13864	274.52404	29.23304
547	11012.02648	274.61128	29.32028
548	11059.91432	274.69852	29.40752
549	11107.80216	274.78576	29.49476
600	13550.082	279.235	33.944

Ek-32:

N2 (AZOT)

Temp. K	(h-h _o) kJ/kmol	S kJ/kmol K	S-S _o kJ/kmol K
298	0	191.611	0
400	2971	200.18	8.569
479	5294.39	205.3624	13.7514
495	5764.95	206.412	14.801
498	5853.18	206.6088	14.9978
500	5912	206.74	15.129
501	5941.79	206.79435	15.18335
503	6001.37	206.90305	15.29205
505	6060.95	207.01175	15.40075
506	6090.74	207.0661	15.4551
507	6120.53	207.12045	15.50945
508	6150.32	207.1748	15.5638
509	6180.11	207.22915	15.61815
510	6209.9	207.2835	15.6725
511	6239.69	207.33785	15.72685
512	6269.48	207.3922	15.7812
514	6329.06	207.5009	15.8899
516	6388.64	207.6096	15.9986
517	6418.43	207.66395	16.05295
518	6448.22	207.7183	16.1073
521	6537.59	207.88135	16.27035
522	6567.38	207.9357	16.3247
523	6597.17	207.99005	16.37905
525	6656.75	208.09875	16.48775
526	6686.54	208.1531	16.5421
529	6775.91	208.31615	16.70515
533	6895.07	208.53355	16.92255
534	6924.86	208.5879	16.9769
535	6954.65	208.64225	17.03125
536	6984.44	208.6966	17.0856
537	7014.23	208.75095	17.13995
538	7044.02	208.8053	17.1943
539	7073.81	208.85965	17.24865
540	7103.6	208.914	17.303
541	7133.39	208.96835	17.35735
542	7163.18	209.0227	17.4117
543	7192.97	209.07705	17.46605
544	7222.76	209.1314	17.5204
545	7252.55	209.18575	17.57475
546	7282.34	209.2401	17.6291
547	7312.13	209.29445	17.68345
548	7341.92	209.3488	17.7378
549	7371.71	209.40315	17.79215
600	8891	212.175	20.564

Ek- 33 :

H₂O (SU BUHARI)

Temp. K	(h-h _o) kJ/kmol	S kJ/kmol K	S - S _o kJ/kmol K
298	0	188.833	0
400	3452	198.783	9.95
479	6191.72	204.8976	16.0646
495	6746.6	206.136	17.303
498	6850.64	206.3682	17.5352
500	6920	206.523	17.69
501	6955.78	206.58814	17.75514
503	7027.34	206.71842	17.88542
505	7098.9	206.8487	18.0157
506	7134.68	206.91384	18.08084
507	7170.46	206.97898	18.14598
508	7206.24	207.04412	18.21112
509	7242.02	207.10926	18.27626
510	7277.8	207.1744	18.3414
511	7313.58	207.23954	18.40654
512	7349.36	207.30468	18.47168
514	7420.92	207.43496	18.60196
516	7492.48	207.56524	18.73224
517	7528.26	207.63038	18.79738
518	7564.04	207.69552	18.86252
521	7671.38	207.89094	19.05794
522	7707.16	207.95608	19.12308
523	7742.94	208.02122	19.18822
525	7814.5	208.1515	19.3185
526	7850.28	208.21664	19.38364
529	7957.62	208.41206	19.57906
533	8100.74	208.67262	19.83962
534	8136.52	208.73776	19.90476
535	8172.3	208.8029	19.9699
536	8208.08	208.86804	20.03504
537	8243.86	208.93318	20.10018
538	8279.64	208.99832	20.16532
539	8315.42	209.06346	20.23046
540	8351.2	209.1286	20.2956
541	8386.98	209.19374	20.36074
542	8422.76	209.25888	20.42588
543	8458.54	209.32402	20.49102
544	8494.32	209.38916	20.55616
545	8530.1	209.4543	20.6213
546	8565.88	209.51944	20.68644
547	8601.66	209.58458	20.75158
548	8637.44	209.64972	20.81672
549	8673.22	209.71486	20.88186
600	10498	213.037	24.204

Ek-34:

NO (AZOT MONOKSIT)			
Temp. K	(h-h _o) kJ/kmol	S kJ/kmol K	S-S _o kJ/kmol K
298	0	210.761	0
400	3042	219.535	8.774
479	5424.64	224.85328	14.09228
495	5907.2	225.9304	15.1694
498	5997.68	226.13236	15.37136
500	6058	226.267	15.506
501	6088.88	226.32323	15.56223
503	6150.64	226.43569	15.67469
505	6212.4	226.54815	15.78715
506	6243.28	226.60438	15.84338
507	6274.16	226.66061	15.89961
508	6305.04	226.71684	15.95584
509	6335.92	226.77307	16.01207
510	6366.8	226.8293	16.0683
511	6397.68	226.88553	16.12453
512	6428.56	226.94176	16.18076
514	6490.32	227.05422	16.29322
516	6552.08	227.16668	16.40568
517	6582.96	227.22291	16.46191
518	6613.84	227.27914	16.51814
521	6706.48	227.44783	16.68683
522	6737.36	227.50406	16.74306
523	6768.24	227.56029	16.79929
525	6830	227.67275	16.91175
526	6860.88	227.72898	16.96798
529	6953.52	227.89767	17.13667
533	7077.04	228.12259	17.36159
534	7107.92	228.17882	17.41782
535	7138.8	228.23505	17.47405
536	7169.68	228.29128	17.53028
537	7200.56	228.34751	17.58651
538	7231.44	228.40374	17.64274
539	7262.32	228.45997	17.69897
540	7293.2	228.5162	17.7552
541	7324.08	228.57243	17.81143
542	7354.96	228.62866	17.86766
543	7385.84	228.68489	17.92389
544	7416.72	228.74112	17.98012
545	7447.6	228.79735	18.03635
546	7478.48	228.85358	18.09258
547	7509.36	228.90981	18.14881
548	7540.24	228.96604	18.20504
549	7571.12	229.02227	18.26127
600	9146	231.89	21.129

Ek- 35 :

NO2 (AZOT DİOKSİT)			
Temp. K	(h-h _o) kJ/kmol	S kJ/kmol K	S-S _o kJ/kmol K
298	0	239.953	0
400	3950	251.321	11.368
479	7268	258.71856	18.76556
495	7940	260.2168	20.2638
498	8066	260.49772	20.54472
500	8150	260.685	20.732
501	8194.9	260.7668	20.8138
503	8284.7	260.9304	20.9774
505	8374.5	261.094	21.141
506	8419.4	261.1758	21.2228
507	8464.3	261.2576	21.3046
508	8509.2	261.3394	21.3864
509	8554.1	261.4212	21.4682
510	8599	261.503	21.55
511	8643.9	261.5848	21.6318
512	8688.8	261.6666	21.7136
514	8778.6	261.8302	21.8772
516	8868.4	261.9938	22.0408
517	8913.3	262.0756	22.1226
518	8958.2	262.1574	22.2044
521	9092.9	262.4028	22.4498
522	9137.8	262.4846	22.5316
523	9182.7	262.5664	22.6134
525	9272.5	262.73	22.777
526	9317.4	262.8118	22.8588
529	9452.1	263.0572	23.1042
533	9631.7	263.3844	23.4314
534	9676.6	263.4662	23.5132
535	9721.5	263.548	23.595
536	9766.4	263.6298	23.6768
537	9811.3	263.7116	23.7586
538	9856.2	263.7934	23.8404
539	9901.1	263.8752	23.9222
540	9946	263.957	24.004
541	9990.9	264.0388	24.0858
542	10035.8	264.1206	24.1676
543	10080.7	264.2024	24.2494
544	10125.6	264.2842	24.3312
545	10170.5	264.366	24.413
546	10215.4	264.4478	24.4948
547	10260.3	264.5296	24.5766
548	10305.2	264.6114	24.6584
549	10350.1	264.6932	24.7402
600	12640	268.865	28.912