

Mehmet Kemal DEDEMAN
Araştırma ve Geliştirme Proje Yarışması 2008



Türkiye Taşkömürü Kurumu
Metan- Hava Karışımında (GRİZU) Oluşabilecek Yanma Olayının
Termodinamik Çözömlemesi
ve
Gizli Ocak Yangınlarına Karşı Önceden Önlem Sistemi

Hazırlayanlar
Rifat DAĞDELEN (TTK Genel Müdürü. Maden Y. Müh.)
Tuncer ÖZKAN (APK Daire Başkanı Makina Y. Müh.)
A.Hařim DEMİRLER (APK D.Bşk. Ar-Ge.Baş.Müh Maden Müh.)

ÖZET

Bu çalışma ile METAN-HAVA karışımında (GRİZU) oluşabilecek yanma olayının termodinamik çözümlemesini gerçekleştirmek, temel amaç olarak belirlenmiştir.

Bu temel amaç doğrultusunda;

- Kimyasal reaksiyon ürünlerinin mol miktarlarına göre Metanın yanma denkleminin elde edilmesi,
- İdeal gaz varsayımı ile içinde kimyasal reaksiyon olan hareketsiz kapalı sistemler için enerjinin korunumu denkleminin uygulanması,
- YANMA SONU ÜRÜNLERİNİN SON HALDEKİ ORTAK SICAKLIK VE BASINÇ DEĞERLERİNİN HESAPLANMASI,

Ayrıca, grizu patlamalarının meydana geldiği maden ocağını şok tüpü varsayarak basınç tahrikli şok tüpü bağıntılarının ocak modelimize uygulanmasıyla;

- Normal şok dalga hızının elde edilmesi,
- Şok tüpü boyunca basınç,sıcaklık ve hızlar değişiminin bir diyagramda gösterilmesi,

Yine, maden ocağı yangın barajını veya yangın baraj kapısını düz bir yüzey kabul ederek;

- Yansıyan şok dalgasının basınç ve sıcaklığının elde edilmesi
- Dalga diyagramının (x-t diyagramı) çizilmesi
- **Bilgisayar ortamında sadece ocak açıklığı ve metan konsantrasyonu değerlerinin girilmesi ile tüm hesaplamaların yapılabileceği bir yazılım gerçekleştirilmiş ve bu yazılım ile ocağın izlenmesi dolayısı ile durum değerlendirmesinin yapılması**

sağlanmıştır.

Çalışmamızda,"Gizli ocak yangınlarına da yer verilmiştir şöyle ki; maddi ve manevi zararları çok fazla olan bu tip yangınlara karşı önceden önlem sistemi gerçekleştirilmiş kurumumuzda da başarı ile uygulanan bu sistemin şekillendirilmesi, hesaplanması ve projelendirilmesi de sizlerle ortak bilgi paylaşımına açılmıştır.

ÖNSÖZ

Patlamalarda alev hızı çok yüksektir.(ses üstü hızda) İlk 120 metrede saniyede 850 metreyi bulur. Deneyleerde saniyede 1800 metre hızla hareket eden alevler tespit edilmiştir. Patlamalarda sıcaklıklar da değişik olup 700 C° den 1200C°ye kadar değişen sıcaklıklar tespit edilmiştir. Teorik olarak 2750 C° sıcaklık hesaplanabilir.

Patlama kasırgasında en önemli rolü alev oynar. Sıcaklık tesiriyle alev sahası daima yüksek basınç merkezi halinde bulunur. Böylece bir taraftan alevin önündeki hava büyük bir hızla ileriye doğru itilirken, yanan gazlar da geriye, patlamanın doğduğu yere doğru yine hızla sevk edilmiş olur. Basınç dalgasının kuvveti nispetinde önündeki cisimler ileri itilir. Hareket eden bu cisimler basınç dalgasının hızına uymayıp alev dalgasının gerisine düştükleri takdirde yanan gazlarla beraber geriye doğru sürüklenir ve hatta doğduğu yere kadar gider.

İÇİNDEKİLER

Sıra No	Konu	Sayfa
1	Giriş	7
2	Yer altı ocak modeli ve özellikleri	8
3	Yanma - Patlama	8-11
4	Mol Miktarları	11-12
5	Yanma işlemine giren ürünlerin mol miktarları(Reaksiyon mol miktarı)	12-17
6	Grizu Tutuşması	17-20
7	P_4/P_1 oranı (Diyafram basınç oranı)	20-21
8	P_3/P_4 oranı	21-22
9	Temas yüzeyinin hızı (U_p)	22
10	Yoğunlukların hesabı	22-23
11	Sıcaklıkların Hesabı	24
12	Şok dalgası	24-26
13	Yansımış Şok Dalgası	26-30
14	En Şiddetli Patlama	30-32
15	Gizli ocak yangınlarına karşı önceden önlem sistemi	33-35
16	Bilgisayar kullanıcı programı	36-37
17	Sonuçlar	48
18	Kaynaklar	49

TABLULAR

Tablo No	Tablo Adı	Sayfa
1	25°C sıcaklık ve 1 atm basınçta formasyon entalpisi, formasyon Gibbs fonksiyonu mutlak entalpi (k:katı, s: sıvı ,f: mutlak)	38
2	H ₂ O, Su buharının mükemmel gaz varsayımıyla özellikleri	39-40
3	CO, Karbonmonoksit'in mükemmel gaz varsayımı ile özellikleri	41-42
4	Azot,N ₂ 'nin mükemmel gaz varsayımıyla özellikleri	43-44
5	Bazı bilinen gazların mükemmel gaz özgül ısıları (300 ⁰ K sıcaklıkta)	45
6	CO ₂ ,Karbondioksitin mükemmel gaz varsayımı ile özellikleri	46-47

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil No	Şekil Adı	Sayfa
1	Üretim panosu ve bekleme barajları	8
2	Grizu Patlama diyagramı (Coward üçgeni)	10
3	Sanal diyaframın patlamasından sonra bir şok tüpündeki akış	18
4	Basınç tahrikli şok tüpünde diyafram patlamadan önceki başlangıç koşulları	19
5	Şok tüpü boyunca basınç, sıcaklık, ve hızların değişimi	25
6	Çarpan ve yansıyan şok dalgası	26
7	Dalga diyagramı (x-t) diyagramı. $W_R=360\text{m/sn}$, $M_R=1,83$, $P_5= 20,2 \text{ bar}$, $T_5= 854,5^\circ\text{K}$	27
8	Kül tankı ve Uygulama projesi	35
9	Bilgisayar kullanıcı programı	37

1.GİRİŞ

Yeraltı kömür madenciliğinde grizu patlamaları (hızlı yanma) ve gizli ocak yangınları madencilik tarihinin ilk yıllarından itibaren çok sayıda büyük can kayıplarına, yaralanmalara ve önemli miktarda maddi zararlara yol açmış ve açmaktadır. Yer altı madenciliğinde üretimin giderek daha derinlere kayması sonucunda tehlikenin boyutları daha da artmaktadır. Güvenlik önlemlerinin de paralel olarak geliştirilmiş olmasına karşın, yine de patlamalar ve gizli ocak yangınları meydana gelmektedir.

Türkiye Taşkömürü Kurumu Yeraltı kömür madenciliğinde patlamaların ve gizli ocak yangınlarının önlenmesi için faaliyetler üç aşamada gerçekleştirilmektedir.

- Metan birikiminin önlenmesi.
- Biriken metanın ateşlenmesinin önlenmesi.
- Patlamanın diğer ocak kesimlerine yayılmasının önlenmesi.

Bu projede;

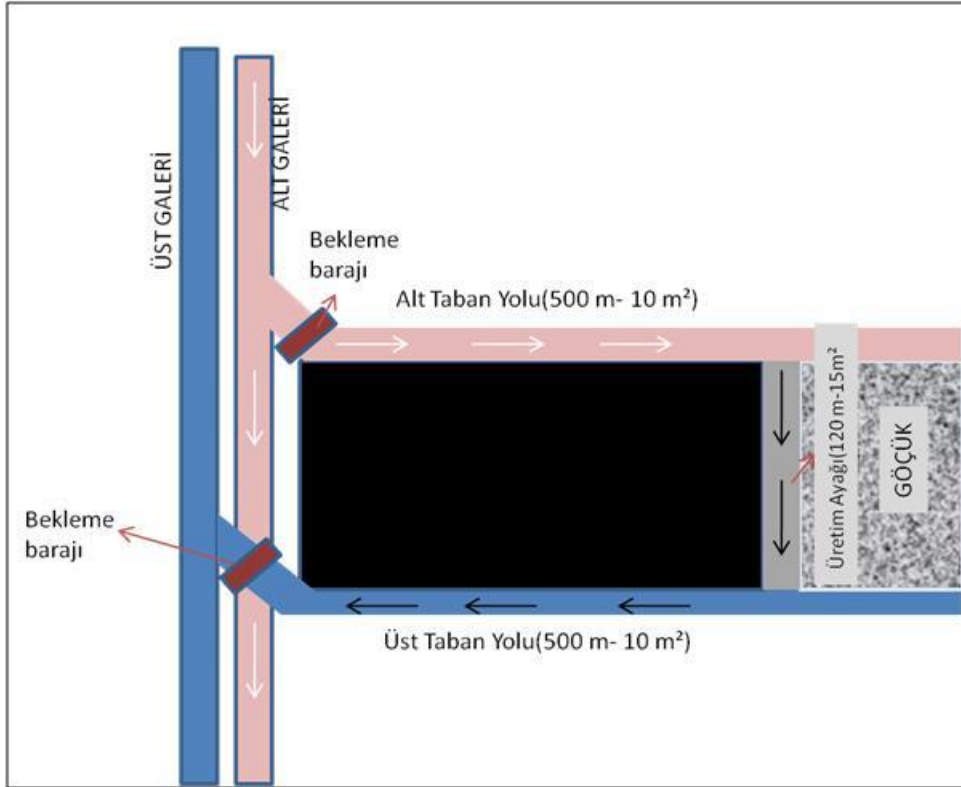
Yer altı madenciliğinde yanma sonucu üretim panolarının kapatılmasını, yanmanın lokalize edilmesini ve yangının ocak güvenliğini tehdit etmeden söndürülerek yeniden üretiminin gerçekleştirilmesini sağlayan yangın barajlarının yanma-patlama sonucu maruz kalacağı termodinamik etkilerin saptanmasına çalışılmıştır.

Bu amaç doğrultusunda bir yer altı üretim panosu modellenmiş ve tüm termodinamik hesaplamalar bu model üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca, ocaklarda oluşabilecek yangınları önlemek amacıyla bir sistem tasarlanmış ve uygulamaya konulmuştur.

2.Yeraltı Ocak Modeli ve Özellikleri:

Model olarak seçilen Yer altı üretim ocağının üst ve alt taban yollarının kesitleri 10 m^2 , uzunlukları ise 500 er metredir. Üretim ayağının alanı (3mx5m) 15 m^2 , uzunluğu ise 120 metredir. (Şekil- 1) Barajlar yerleri taban yolu girişlerindedir. Yer altı ocak havasında Metan konsantrasyonu % 14,5 dur. Bu şartlar altında hava-metan karışımının yanması halinde kapalı sistem olan ocağımızdaki barajlarda oluşabilecek basınç ve sıcaklığın hesaplanmasına çalışılacaktır.



Şekil- 1 Üretim panosu ve bekleme barajları

3.Yanma-Patlama:

Yakıldığı zaman enerji veren herhangi bir maddeye **yakıt**, yakıtın oksijen ile birleştiği ve büyük miktarda enerjinin açığa çıktığı bir kimyasal reaksiyona da **yanma** denir. Yanma için gerekli oksijen, her yerde bulunabilir olması bakımından havadan sağlanır.

Mol oranı veya hacimsel oran olarak, kuru hava (içinde su buharı bulunmayan hava kuru hava diye nitelenir.) %20,9 oksijen, % 78,1 azot, %0,9 argon ve az miktarda karbondioksit, helyum, neon, ve hidrojenen oluşur. Yanma işlemini çözümlerken argon azot ile birlikte düşünülür ve az miktarda bulunan diğer gazlarda ihmal edilir. Bu durumda kuru havayı oluşturan karışımların mol oranları yaklaşık %21 oksijen ve %79 azot olarak kabul edilir. Böylece yanma işlemine giren her mol oksijenin yanında $0,79/0,21 = 3,76$ mol azot bulunur. Başka bir anlatımla,



olur.

Yanma işlemi sırasında kimyasal reaksiyondan önce var olan maddelere *yanma işlemine girenler*, reaksiyondan sonra oluşan maddelere de *yanma işleminden çıkanlar* veya *yanma sonu ürünleri* denir. Yanma işlemine girenlerin, yanma odasında mutlaka kimyasal reaksiyona girmeleri gerekmez. Örneğin; Karbon saf oksijen yerine havayla yandığı zaman, yanma denkleminin her iki tarafında N_2 bulunacaktır. Başka bir deyişle, N_2 hem yanma işlemine giren, hem de yanma işleminden çıkan bir madde veya yanma sonu ürünü olacaktır.

Bir yakıtın oksijen ile yakın temasa getirilmesinin yanmanın başlaması için yeterli olmadığı vurgulanmalıdır. Eğer böyle olmasaydı, tüm dünya yanardı. Yanmanın başlayabilmesi için yakıtın tutuşma sıcaklığına getirilmesi gerekir. Bazı yakıtların atmosferik havada tutuşma sıcaklıkları şöyledir.

Yakıt	Tutuşma sıcaklığı C°
Benzin	260
Karbon	400
Hidrojen	580
Karbonmonoksit	610
Metan	630

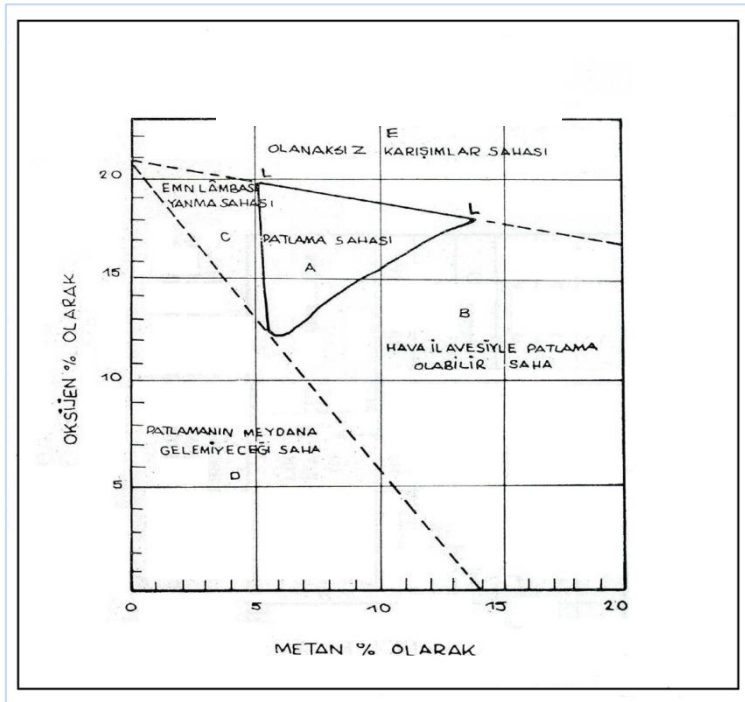
Yanmanın başlayabilmesi için ayrıca yakıt ve havanın uygun oranlarda bir arada bulunması gerekir. Örneğin doğal gazın hava içindeki konsantrasyonu %5 den az , %15 den çok olduğu zaman yanma olmaz.(Şekil-2)

Bir yakıtın tam olarak yanması için gerekli en az hava miktarına **stokiometrik** veya **teorik hava** adı verilir. Yakıtın teorik hava ile tam olarak yandığı ideal bir yanma işlemi, yakıtın *stokiometrik* veya *teorik yanması* diye bilinir. Metanın teorik yanma işleminin kimyasal denklemi aşağıda gösterildiği gibidir.



Parantez içindeki terimler kuru havanın bileşimini göstermektedir. A_{th} gibi katsayılar ise kimyasal reaksiyon ürünlerinin bilinmeyen mol miktarlarıdır.

Bilinmeyenler, her elemente kütle korunumu ilkesini uygulayarak bulunur; başka bir deyişle her elementin yanma işleminden çıkanlar içindeki toplam kütle veya mol miktarı yanma işlemine girenler içindeki toplam kütle veya mol miktarına eşit olmak zorundadır.



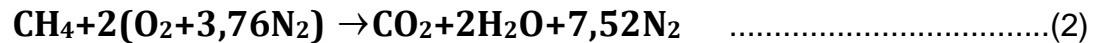
Şekil-2 Grizu patlama diyagramı (Coward Üçgeni) [L-3]

A_{th} katsayısı O_2 nin dengelenmesiyle hesaplanır. (teorik O_2 dengesi):

$$2A_{th} = 2 + 2$$

$$A_{th} = 2$$

Dolayısıyla metanın teorik yanması



şeklinde elde edilir. (Dikkat edilirse yanma sonu ürünleri arasında yanmamış metan ve $\text{C}, \text{H}_2, \text{CO}, \text{OH}$ veya serbest O_2 yoktur. Başka bir deyişle CH_4 2 numaralı denklem gereğince yanar ve patlar.) *En şiddetli patlamayı meydana getiren karışım oranı ise %9,5 metan ile %90,5 havadır.*

Bu kısa bilgilerden sonra problemimizi çözüme başlayalım. Atmosferik şartlarda yangın çıkabilecek model ocaktaki (panoda) karışım grizu (CH_4 -Hava) hacmi:

Taban yolarında : $2 \times 500 \times 10 = 10.000 \text{ m}^3$

Üretim ayağında : $120 \times 15 = 1.800 \text{ m}^3$

TOPLAM..... = 11.800 m^3

Yaklaşık olarak, $V(\text{karışım}) = 12.000 \text{ m}^3$

Karışım içindeki metan konsantrasyonu %14,5, dolayısı ile

Metan miktarı = $12000 \times 14,5 / 100$

V_{CH_4} = 1.740 m^3 olur.

Mükemmel gaz denklemini CH_4 için yazalım;

$$P_{\text{yig}} * V_{\text{CH}_4} = n_{\text{CH}_4} * R_u * T_{\text{yig}} \dots \dots \dots (3)$$

P_{yig} - Yanma işlemine (reaksiyona) giren ürünlerin karışım basıncı veya reaksiyon karışım basıncı [kPa]

$$\underline{P_{\text{yig}} = 100 \text{ kPa}}$$

V_{CH_4} - Metan hacmi [m^3]

n_{CH_4} - Metan mol miktarı [kmol]

R_u - Üniversal gaz sabiti

$$\underline{R_u = 8,314 \text{ kJ}/(\text{kmol.K})}$$

T_{yig} - Yanma işlemine (reaksiyona) giren ürünlerin karışım sıcaklığı veya reaksiyon karışım sıcaklığı ($^{\circ}\text{K}$)

$$\underline{T_{\text{yig}} = 298^{\circ}\text{K}}$$

4. Mol Miktarları

4.1 Metan mol miktarı :

12000 m^3 sabit hacimli ocakta hacimce % 14,5 CH_4 gazı ve % 85,5 luk hava karışımı (25°C ve 100 kPa da) bulunmaktadır. Karışım ateşlenmiş olup metan gazı yanmaktadır. Adyabatik yanma varsayımı ile ocaktaki son sıcaklık ve basıncı hesaplamak istiyorduk.

$$P_{\text{yig}} * V_{\text{CH}_4} = n_{\text{CH}_4} * R_u * T_{\text{yig}}$$

$$100 * 1740 = n_{\text{CH}_4} * 8,314 * 298$$

$$\underline{n_{\text{CH}_4} = 70,23 \text{ kmol}}$$

4.2 Hava mol miktarı :

$$P_{\text{yig}} * V_{\text{hava}} = n_{\text{hava}} * R_u * T_{\text{yig}}$$

$$100 \cdot 12000 \cdot 0,855 = n_{\text{hava}} \cdot 8,314 \cdot 298$$

$$\underline{n_{\text{hava}} = 414,11 \text{ kmol}}$$

4.3 O₂ mol miktarı :

1 kmol O₂ + 3,76 kmol N₂ = 4,76 kmol hava olduğuna göre,

$$n_{\text{O}_2} = n_{\text{hava}} / 4,76$$

$$n_{\text{O}_2} = 414,11 / 4,76$$

$$\underline{n_{\text{O}_2} = 87 \text{ kmol}}$$

4.4 N₂ mol miktarı :

$$n_{\text{N}_2} = n_{\text{O}_2} \cdot 3,76$$

$$n_{\text{N}_2} = 87 \cdot 3,76$$

$$\underline{n_{\text{N}_2} = 327,1}$$

5 . Yanma işlemine (reaksiyona) giren ürünlerin mol miktarları (reaksiyon mol miktarı):

$$n_{\text{yig}} = n_{\text{CH}_4} + n_{\text{hava}}$$

$$n_{\text{yig}} = 70,23 + 414,11$$

$$\underline{n_{\text{yig}} = 484,3 \text{ kmol}}$$

Şimdi, CH₄ mol'ü başına verilen gerçek O₂ mol'ünü bulalım. Bunun için,

$$\text{Agerçek} = n_{\text{O}_2} / n_{\text{CH}_4} \text{ yazılarak,}$$

$$\text{Agerçek} = 87 / 70,23$$

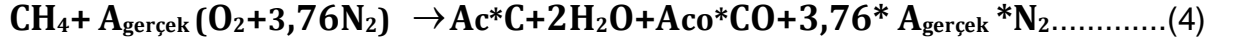
$$\underline{\text{Agerçek} = 1,239}$$

bulunacaktır ki, bu değer 2 den küçüktür. Eğer Agerçek =1,5 ise, tüm C yanarak CO' e dönüşecektir. CO₂'e değil. Bizim durumumuzda Agerçek <1,5 ise, tüm C yanarak CO'e dönüşecektir, CO₂' ye değil. Bizim durumumuzda Agerçek <1,5 dir bu nedenle C nin bir kısmı CO'e dönüşecek, kalanı katı C parçacıkları oluşturacaktır. [L-2]

Yanma için yeterli oksijen bulunmaması, yanmanın tam olmamasının açık nedenlerinden birisidir, fakat tek nedeni değildir. Hatta yanma odasında tam yanma için gerekli oksijenden daha çoğunun bulunduğu durumlarda bile, yanma tam olmayabilir. Bunun nedenlerinden bir, yakıtın ve oksijenin bir arada olduğu süre içinde yeterince karışmamasıdır. Yanmanın tam olmamasının bir başka neden de yüksek sıcaklıklarda önem kazanan ayrışmadır.

Hidrojen atomlarının oksijen atomlarını çekim kuvveti karbon atomlarına oranla daha büyüktür. Bu nedenle yakıt içindeki hidrojen, ortamda tam yanma için gerekli oksijenden daha az oksijen bulursa bile, tümüyle H₂O ya dönüşür. Buna karşılık karbonun bir bölümü yanma sonu ürünleri arasında CO veya C parçacıkları olarak görülür.

Buna göre dengelenmiş yanma denklemi;



$$2 A_{\text{gerçek}} = 2 + A_{\text{co}} \quad (\text{oksijen dengesi})$$

$$1 = A_c + A_{\text{co}} \quad (\text{karbon dengesi})$$

$$2 A_{\text{gerçek}} - 1 = 2 - A_c$$

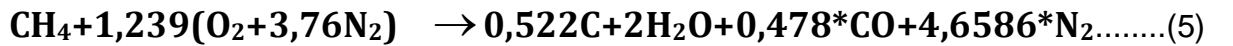
$$2 * 1,239 - 1 = 2 - A_c$$

$$A_c = 0,522$$

$$A_{\text{co}} = 1 - A_c$$

$$\underline{A_{\text{co}} = 0,478}$$

Dolayısı ile,



elde edilir.

İdeal gaz varsayım ile 1. yasadaki kapalı sistem yanma odasına (yanma yeri veya yanma bölgesine) uygulayalım.

Kapalı sistem olarak tanımlanman, belirli sınırlar içinde bulunan sabit bir kütle için termodinamiğin birinci yasası veya enerjinin korunumu ilkesi aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\left[\begin{array}{l} \text{Sisteme veya sistemden ısı} \\ \text{veya iş olarak net enerji} \\ \text{geçiş} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{Sistemin toplam} \\ \text{enerjisindeki net artış veya} \\ \text{azalma} \end{array} \right]$$

$$\mathbf{Q - W = \Delta E (kj)} \dots \dots \dots (6)$$

Q - - Sistem sınırlarından net ısı geçişini

W- Değişik biçimleri kapsayan net işi

ΔE- Sistemdeki toplam enerji değişimini(= ΔU+ΔKE+ΔPE kj)

Uygulamalarda karşılaşılan sistemlerin çoğu hareketsizdir, bu nedenle hızlarında veya kütle merkezlerinin bulunduğu noktada hal değişimi sırasında bir

değişiklik olmaz. Böylece hareketsiz kapalı sistemlerin kinetik ve potansiyel enerjilerindeki değişimler göz ardı edilebilir. ($\Delta KE = \Delta PE = 0$) ve birinci yasa sadeleştirilerek $Q = W = \Delta U$ (kj) şeklinde yazılabilir.

$$Q - W = \Delta U \text{ (kj)} \dots\dots\dots(7)$$

şeklinde yazılabilir.

İçinde kimyasal reaksiyon olan hareketsiz kapalı sistemler için enerjinin korunumu denklemi aşağıda gösterildiği gibi ifade edilir.

$$Q - W = U_{yic} - U_{yig} \text{ (kj)} \dots\dots\dots(8)$$

U_{yig} - Yanma sonu ürünlerinin toplam iç enerjisi

U_{yic} - Yanma işlemine girenlerin toplam iç enerjisi

Yanma işlemine girenler ve yanma işleminden çıkanların tümü mükemmel gaz kabul edildiği için, iç enerjileri ve antalpileri sadece sıcaklığın fonksiyonudur. Yanma işlemine girenlerin standart referans halinde oldukları göz önüne alınırsa yukarıdaki denklem:

$$Q - W = \sum n_c (\bar{h}_f + \bar{h} - \bar{h}^\circ - R_u * T)_c - \sum n_g (\bar{h}_f - R_u * T)_g \dots\dots\dots(9)$$

şeklinde yazılır.

n - Mol miktarı [kmol]

\bar{h}_f° - Standart referans halindeki (25°C ve 1 atmosfer basınçta) oluşan (formasyon) antalpisi, -74850 kJ/kmol'dür. Bunu aşağıda gösterildiği gibi ifade edebiliriz.

$$\bar{h}_{f,CH_4}^\circ = -74850 \text{ kJ/kmol (Tablo-1)}$$

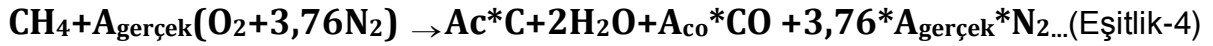
Bir bileşiğin oluşum antalpisinin eksi bir değer olması, bu bileşiğin kararlı elementlerinden oluşumu sırasında çevreye ısı verildiğinin, artı bir değer olması ise çevreden ısı aldığıının göstergesidir.

\bar{h}° - Yanma antalpisi [kJ/kmol]

Yanma işlemleri için reaksiyon antalpisi genellikle yanma antalpisi diye adlandırılır. Yanma antalpisi, belirli bir basınç ve sıcaklıkta, 1 kmol (veya 1kg) yakıtın sürekli akışlı bir açık sistemde yanması sonunda açığa çıkan ısı enerjisiye eşittir.

\bar{h}° - Standart referans hali olan 25°C sıcaklık ve 1 atmosfer basınçtaki duyulur antalpi [kJ/kmol]

Dengelenmiş denge denklemini yeniden yazalım:



Isı ve iş etkileşimi yok, kinetik enerji (KE) ve potansiyel enerji (PE) değişimleri de ihmal edilirse,

$$Q - W = U_{\text{yiç}} - U_{\text{yig}} = 0 \quad \text{olur.}$$

$$U_{\text{yig}} = \sum n_g (\bar{h}^{\circ}_f - R_u * T)_g \dots \dots \dots (10)$$

$$T_g = 298^{\circ}\text{K}$$

$$\left. \begin{array}{l} R_u = 8,314 \text{ kJ} / (\text{kmol} * \text{K}) \\ \bar{h}^{\circ}_{f, \text{CH}_4} = -74850 \text{ kJ/kmol} \\ \bar{h}^{\circ}_{f, \text{O}_2} = 0 \\ \bar{h}^{\circ}_{f, \text{N}_2} = 0 \end{array} \right\} \text{Tablo-1}$$

$$U_{\text{yig}} = 1(\bar{h}^{\circ}_{f, \text{CH}_4} - R_u * T_g) + A_{\text{gerçek}} (\bar{h}^{\circ}_{f, \text{O}_2} - R_u * T_g) + A_{\text{gerçek}} * 3,76 (\bar{h}^{\circ}_{f, \text{N}_2} - R_u * T_g)$$

$$U_{\text{yig}} = (-74850 - 8,314 * 298) + 1,239(0 - 8,314 * 298) + 1,239 * 3,76(0 - 8,314 * 298)$$

$$U_{\text{yig}} = -91940 \text{ kJ} = U_{\text{yiç}}$$

$$U_{\text{yiç}} = \sum n_c (\bar{h}^{\circ}_f + \bar{h} + \bar{h}^{\circ} - R_u * T)_c \quad \text{olduğuna göre;}$$

MADDE	$\bar{h}^{\circ}_f(\text{Tablo-1})$ kJ/kmol	$\bar{h}_{298\text{K}}$ kJ/kmol
H ₂ O (gaz)	-241820	9904(Tablo -2)
CO	-110530	8669(Tablo -3)
N ₂	0	8669(Tablo -4)

$$U_{\text{yiç}} = (2 \text{ kmol}_{\text{H}_2\text{O}})[(-241820 + \bar{h}_{\text{H}_2\text{O}} - 9904 - 8,314 * T_c) \text{ kJ} / (\text{kmol}_{\text{H}_2\text{O}})]$$

$$+ (0,478 \text{ kmol}_{\text{CO}})[-110530 + \bar{h}_{\text{CO}} - 8669 - 8,314 * T_c] \text{ kJ} / (\text{kmol}_{\text{CO}})]$$

$$+ (4,66 \text{ kmol}_{\text{N}_2})[(0 + \bar{h}_{\text{N}_2} - 8669 - 8,314 * T_c) \text{ kJ} / (\text{kmol}_{\text{N}_2})]$$

$$U_{\text{yiç}} = 2(-241820 + \bar{h}_{\text{H}_2\text{O}} - 9904 - 8,314 * T_c)$$

$$+ 0,478(-110530 + \bar{h}_{\text{CO}} - 8669 - 8,314 * T_c)$$

$$+ 4,66(\bar{h}_{\text{N}_2} - 8669 - 8,314 * T_c)$$

$$U_{\text{yiç}} = -503448 + 2 \bar{h}_{\text{H}_2\text{O}} - 16,628 * T_c - 56977,122$$

$$+ 0,478 \bar{h}_{\text{CO}} - 3,97 * T_c - 40397,54 + 4,66 \bar{h}_{\text{N}_2} - 38,74 * T_c$$

$$U_{\text{yiç}} = -91940 \text{ kJ} \quad \text{elde edilir. Sadeleştirme yapılırsa}$$

$$2 \bar{h}_{H_2O} + 0,478 \bar{h}_{CO} + 4,66 \bar{h}_{N_2} - 59,338 T_{\check{c}} = 508882,7 \text{ kJ bulunur.}$$

Görünüşte bir denklem ve $T_{\check{c}}$ de dahil dört bilinmeyen vardır fakat yanma sonu ürünlerinin entalpileri sıcaklığın fonksiyonları oldukları için - mükemmel gazlarda $h=h(T)$ - bilinmeyen sadece yanma sonu ürünlerinin $T_{\check{c}}$ sıcaklığıdır. Entalpi sıcaklık ilişkisi için analitik bağıntılar olmadığından, sıcaklığın deneme yanılma yöntemi ile belirlenmesi gerekecektir.

Önce denklemin sağ tarafı, yanma sonu ürünlerinin toplam mol miktarı ile bölünür.

$$508882,7 / (2 + 0,478 + 4,66) = 71292 \text{ kJ/kmol}$$

Bu entalpi değeri;

$$H_2O \text{ için} \dots \sim 1760^\circ K \text{ (Tablo -2)}$$

$$CO \text{ için} \dots \sim 2150^\circ K \text{ (Tablo -3)}$$

$$N_2 \text{ için} \dots \sim 2150^\circ K \text{ (Tablo -4)}$$

Sıcaklıklarına karşılık gelmektedir.

Deneme değeri olarak $T_{\check{c}} = 2200^\circ K$ alınır;

$$\bar{h}_{H_2O, 2200^\circ K} = 92940 \text{ kJ/kmol (Tablo -2)}$$

$$\bar{h}_{CO, 2200^\circ K} = 72668 \text{ kJ/kmol (Tablo -3)}$$

$$\bar{h}_{N_2, 2200^\circ K} = 72040 \text{ kJ/kmol (Tablo -4)}$$

$$2 * 92940 + 0,478 * 72668 + 4,66 * 72040 - 59,338 * 2200 = 425778 \text{ kJ bulunur.}$$

Bu değer 508882,7 kJ değerinin altındadır. Bu nedenle sıcaklık $2200^\circ K$ 'nin üstünde olacaktır.

İkinci deneme değeri olarak $2500^\circ K$ seçilirse,

$$2 * 108868 + 0,478 * 83692 + 4,66 * 82981 - 59,338 * 2500 = 49087 \text{ kJ bulunur.}$$

$$508882,7 \text{ kJ değerine çok yaklaştık}$$

$T_{\check{c}} = 2550^\circ K$ ile denkleme girelim;

$$2 * 111565 + 0,478 * 85537 + 4,66 * 84814 - 59,338 * 2550 = 507938 \text{ kJ}$$

Bu değer denklemin sağ tarafındaki 508882,7 değerine çok yakın hatta eşit alınabilir. Sonuç olarak, yanma sonu ürünlerinin son haldeki sıcaklığı;

$$\underline{T_{\check{c}} = 2250^\circ K}$$

olarak hesaplanabilir.

Ocaktaki son basınç ortaya çıkan (üretilen) gazların basıncıdır. Sabit hacimli ocaktaki gazlar için mükemmel gaz davranışı kabulü ile mükemmel gaz hal denklemi aşağıdaki biçimde yazılabilir.

$$P_{yiç} * V = n_{yiç} * R_u * T_{yiç}$$

$P_{yiç}$ - Yanma sonu(yanma işleminden çıkan) ürünlerinin son haldeki basıncı [kPa]

$n_{yiç}$ - Yanma sonu (yanma işleminden çıkan) ürünlerinin mol miktarı [kmol]

$$n_{yiç} = n_{CH_4} (A_{co} + 2 + 3,76 * A_{gerçek})$$

$$n_{yiç} = 70,23 (0,478 + 2 + 3,76 * 1,239)$$

$$n_{yiç} = \underline{501,2 \text{ kmol}}$$

Karbon parçacıkları katı olduğunda, ve gaz olmadığından C parçacıklarını hariç tutuyoruz. Karbon parçacıklarının absorbe ettiği ısıyı da göz önüne almıyoruz.

Bu da ufak bir emniyet faktörü sağlar.

$$P_{yiç} * 12000 = 501,2 * 8,314 * 2550$$

$$P_{yiç} = \underline{885,5 \text{ kPa} \approx 9 \text{ bar}}$$

Görüüleceği gibi patlamadan sonra sıcaklık ve basınç 2550°K ve 885,5 kPa (yaklaşık 9 atm. Mutlak) oluyor. Bu karışım oranındaki özellik gösteren durum havadaki oksijen hidrojeni tamamen yakıyor ama karbonun ancak bir kısmını karbonmonoksite çevirebiliyor. Geri kalan karbon parçacık olarak kalıyor.

6. Grizu Tutuşması

METAN + HAVA karışımının(GRİZU) tutuşması üç faktöre bağlıdır.

Bu faktörler:

- 1 — Yeter miktarda bir karışım,
- 2 — Yeter miktarda bir sıcaklık,
- 3 — Yeter miktarda bir zaman.

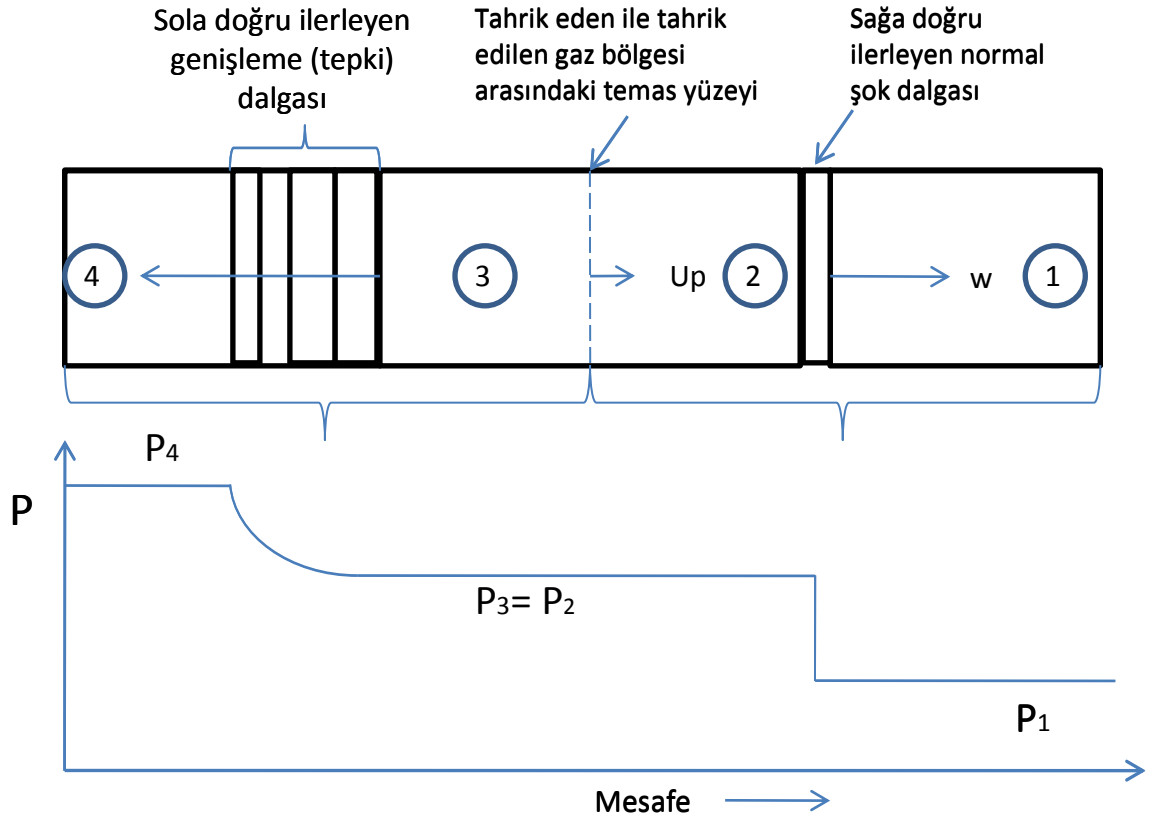
Bu üç faktör birbirini tamamlar. Bunlardan herhangi biri noksan olursa patlama olmaz.

Örneğin elverişli bir karışım tutuşma sıcaklığına kadar ısıtılabilir. Fakat, kısa zamanda tekrar tutuşma sıcaklığının altına soğutulursa karışım patlamaz. Bununla beraber şayet karışım bir elektrik arkına maruz kalırsa derhal patlar. Zira elektrik arkının sıcaklığı çok yüksek olduğu için zaman adeta ortadan kalkmış olur.

“Patlamalarda alev hızı çok yüksektir(sesüstü hızda) İlk 120 metrede saniyede 850 metreyi bulur. Deneylerde saniyede 1800 metre hızla hareket eden alevler tespit edilmiştir. Patlamalarda sıcaklıklarda değişik olup 700 C° den 1200C°ye kadar değişen sıcaklıklar tespit edilmiştir. Fakat teorik olarak 2750 C° sıcaklık hesaplanabilir.” [L-7]

“Patlama kasırgasında en önemli rolü alev oynar. Sıcaklık tesiriyle alev sahası daima yüksek basınç merkezi halinde bulunur. Böylece bir taraftan alevin önündeki hava büyük bir hızla ileriye doğru itilirken, yanan gazlarda geriye, patlamanın doğduğu yere doğru yine hızla sevk edilmiş olur. Basınç dalgasının kuvveti nispetinde önündeki cisimler ileri itilir. Hareket eden bu cisimler basınç dalgasının hızına uymayıp alev dalgasının gerisine düştükleri takdirde yanan gazlarla beraber geriye doğru sürüklenir ve hatta doğduğu yere kadar gider” [L-3]

Bu bilgiler bize patlamadan sonra bir şok tüpündeki akışı hatırlatmaktadır, yani; Süreksiz dalga hareketinin önemli bir uygulaması Şekil- 3 de gösterilen bir şok tüpüdür. Bu tüp iki tarafı kapalı bir tüptür. Ortada bir diyafram vardır. Diyafram yüksek basınç tarafı (4. bölge) ile alçak basınç tarafını (1. bölge) birbirinden ayırır.



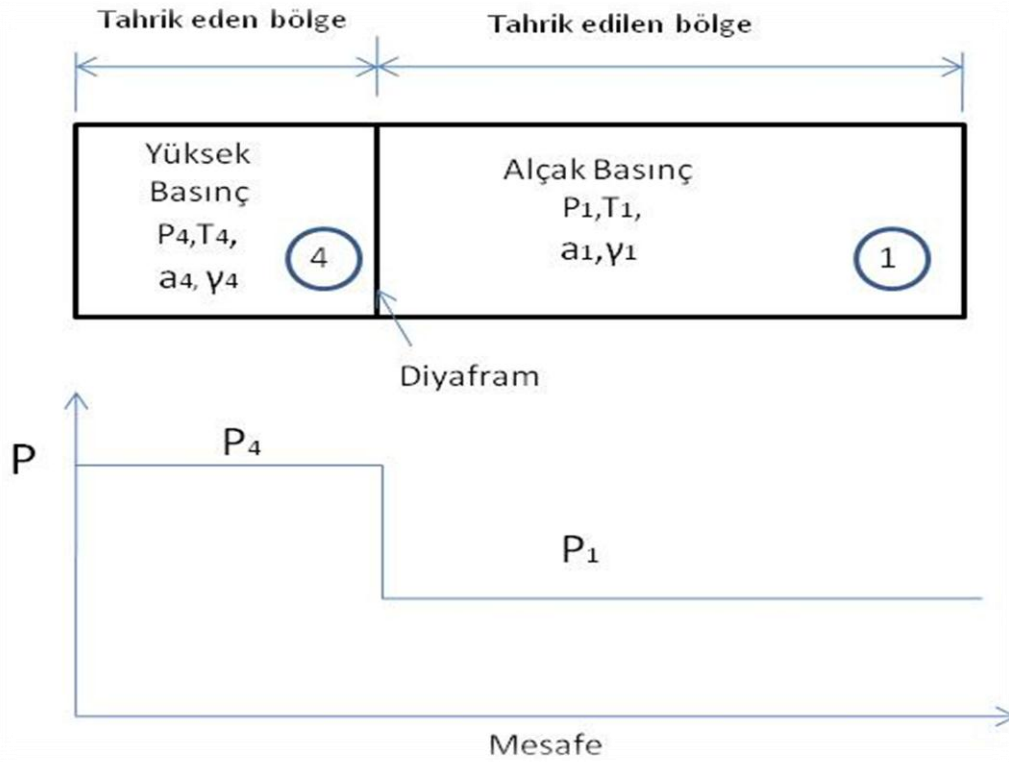
Şekil- 3 Sanal diyaframın patlamasından sonra bir şok tüpündeki akış [L-4]

4. Bölge:

1 bar basınç ve 298°K sıcaklıkta, % 14,5 konsantrasyonlu hava –CH₄ karışımının tutuşma sıcaklığına getirilerek (örneğin;elektrik akımı ile) yanması sonucu oluşan 9 bar basınç ve 2550°K de ki CH₄ gazı.

1.Bölge

1 bar basınç ve 298°K sıcaklıkta, %14,5 konsantrasyonlu hava- CH₄ karışımı. Yüksek basınç tarafından yanan CH₄ gazı, alçak basınç tarafında hava ve CH₄-HAVA arasında da diyafram (temas yüzeyi) bulunduğunu kabul edelim. Sanal diyafram patladığında, oluşan şok dalgası 1. bölgeye, genişleme dalgası ise 4. bölgeye doğru hareket eder(diyaframın sol tarafında hareketten sonra bir basınç düşmesi ve ters yönde de basınç yayılması olacağı kolaylıkla görülür. Bu durum Şekil- 4 te verilmiştir.



Şekil-4 Basınç tahrikli şok tüpünde diyafram patlamadan önceki başlangıç koşulları.[L-4]

Normal şok dalgası sağa doğru W hızı ile hareket ederken arkadaki gazın basıncı (2. bölge) yükselir ve bir kütle U_p hızı ile hareketine neden olur. Tahrik eden- tahrik edilen bölgeler arasındaki temas yüzeyi de U_p hızı ile hareket eder. Bu temas yüzeyi kayma çizgilerine benzer, burada entropi düzensiz olarak değişmesine rağmen basınç ve hız korunur. $P_3 = P_2$ ve $U_3 = U_2 = U_p$. Genişleme (tepki) dalgası sola geçerek düzgün ve sürekli olarak 4. bölgedeki basıncı düşürür. (Genişleme dalgasının arkasındaki P_3 değerine) Sanal diyafram patladıktan sonra tüpteki akış alanı, diyafram patlamadan önceki 1. ve 4. bölgelerde belirlenen şartlara bağlıdır. (Şekil-3)

Şimdi basınç oranlarını hesaplayalım;

7. P_4/P_1 oranı (Diyafram basınç oranı);

$$\frac{P_4}{P_1} = \frac{P_2}{P_1} \left[1 - \frac{(\gamma_4 - 1) \left(\frac{a_1}{a_4}\right) \left(\frac{P_2}{P_1} - 1\right)}{\sqrt{2\gamma_1 [2\gamma_1 + (\gamma_1 + 1) \left(\frac{P_2}{P_1} - 1\right)]}} \right] \dots\dots\dots (11)$$

a_1 . Hava ortamındaki ses hızı

$$a_1 = \sqrt{k_1 * R_1 * T_1} \dots\dots\dots (12)$$

$k_1(=\gamma_1)$ - özgül ısıların oranı C_p/C_v

R_1 - Gaz sabiti [kj/(kg*K)]

Hava için;

$$\left. \begin{array}{l} k_1=1,4 \\ R_1=0,287 \text{ k}_3\text{/(kgK)} \end{array} \right\} \text{ (Tablo-5)}$$

$$a_1 = \sqrt{1,4[0,287 \text{ kj}/(\text{kg} * \text{K})](298^\circ\text{K})(1000\text{m}^2/\text{sn}^2/1\text{kJ}/\text{kg})}$$

$$a_1 = 346\text{m/sn}$$

a_4 – CH_4 ortamındaki ses hızı

$$a_4 = \sqrt{k_4 * R_4 * T_4}$$

CH_4 için;

$$\left. \begin{array}{l} k_4(=\gamma_4)= 1,299 \\ R_4=0,5182 \text{ kj}/(\text{kg.K}) \end{array} \right\} \text{ Tablo-5}$$

$$a_4 = \sqrt{1,299[0,5182\text{kJ}/(\text{kgK})](2550^\circ\text{K})(1000\text{m}^2/\text{sn}^2/1\text{kJ}/\text{kg})}$$

$$a_4=1310 \text{ m/sn}$$

$$p_4=9 \text{ bar}=900\text{kPa}$$

$$p_1=1 \text{ bar}=100\text{kPa}$$

Bilenenler $p_2/p_1=X$ ile eşitliğinde yerine konursa

$$\frac{900}{100} = x \left[1 - \frac{(1,299-1)(346/1310)(x-1)}{\sqrt{2*1,4[2*1,4+(1,4+1)(x-1)]}} \right]^{-2*1,299/(1,299-1)}$$

$$9 = x \left[1 - \frac{0,079(x-1)}{\sqrt{6,72x+1,12}} \right]^{-8,69}$$

Deneme Yanılma Yöntemi ile;

$$X=3 \quad \text{için} \rightarrow 4,06$$

$$X=6 \quad \text{için} \rightarrow 10,40$$

$$X=54 \quad \text{için} \rightarrow 8,97$$

$$X=5,41 \quad \text{için} \rightarrow 9,00$$

$$\underline{x = \frac{p_2}{P_1} = 5,41}$$

8. p_3/p_4 oranı;

$$\frac{P_3}{P_4} = \left(\frac{p_3}{P_1} \right) \left(\frac{P_1}{P_4} \right) = \left(\frac{p_2}{P_1} \right) \left(\frac{P_1}{P_4} \right)$$

$$\frac{p_3}{P_4} = 5,41(1/9)$$

$$\underline{\frac{p_3}{P_4} = 0,6}$$

$$p_2 = 5,41 * P_1 = 5,41 * 1$$

Şu halde basınç değerleri;

$$\underline{P_2 = p_3 = 5,41 \text{ bar}}$$

veya,

$$P_3=0,6 \quad P_4=0,6*9$$

$$\underline{P_3=P_2=5,4 \text{ bar} (\approx 5,41 \text{ bar})}$$

olarak bulunur.

9. Temas yüzeyinin hızı U_p ;

$$U_p = U_{2\text{hava}} = \frac{a_1}{\gamma_1} \left(\frac{p_2}{p_1} - 1 \right) \left[\frac{\frac{2\gamma_1}{\gamma_1 + 1}}{\frac{p_2 + \gamma_1 - 1}{p_1 + \gamma_1 + 1}} \right]^{1/2} \dots\dots\dots(13)$$

$$U_p = U_{2\text{hava}} = \frac{346}{1,4} (5,41 - 1) \left[\frac{\frac{2 * 1,4}{1,4 + 1}}{5,41 + \frac{1,4 - 1}{1,4 + 1}} \right]^{1/2}$$

$$\underline{U_p = U_{2\text{hava}} = 498,5 \text{ m/sn}}$$

veya,

$$U_{3\text{CH}_4} = \frac{2a_4}{\gamma_4 - 1} \left[1 - \left(\frac{p_3}{p_4} \right)^{(\gamma_4 - 1)/2\gamma_4} \right] \dots\dots\dots(14)$$

$$U_{3\text{CH}_4} = \frac{2 * 1310}{1,299 - 1} \left[1 - (0,6)^{(1,299 - 1)/2 * 1,299} \right]$$

$$\underline{U_{3\text{CH}_4} = 500 \text{ m/sn} \cong (498,5 \text{ m/sn})}$$

$$\underline{U_{3\text{CH}_4} = U_{2\text{hava}} = U_p = 500 \text{ m/sn}}$$

10. Yoğunlukların Hesabı:

$$\rho_{1,\text{hava}} = \frac{p_1}{R * T_1} \dots\dots\dots(15)$$

$$\rho_{1,\text{hava}} = 100 \text{ kPa} / [0,287 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3 / (\text{kg} \cdot \text{K})] \cdot (298^\circ \text{K})$$

$$\underline{\rho_{1,\text{hava}} \cong 1,17 \text{ kg/m}^3}$$

$$\frac{\rho_{2,hava}}{\rho_{1,hava}} = \frac{1 + \left(\frac{\gamma_1 + 1}{\gamma_1 - 1}\right) \left(\frac{P_2}{P_1}\right)}{\frac{\gamma_1 + 1}{\gamma_1 - 1} + \frac{P_2}{P_1}} \dots\dots\dots(16)$$

$$\frac{\rho_{2,hava}}{1,17} = \frac{1 + \left(\frac{1,4 + 1}{1,4 - 1}\right)(5,41)}{\frac{1,4 + 1}{1,4 - 1} + 5,41}$$

$$\underline{\rho_{2,hava} = 3,43 \text{ kg/m}^3}$$

$$\rho_{4,CH_4} = \frac{900 \text{ kPa}}{[0,5182 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3 / (\text{kg} \cdot \text{K})] * 2550^\circ \text{K}}$$

$$\underline{\rho_{4,CH_4} = 0,68 \text{ kg/m}^3}$$

$$\frac{\rho_{3,CH_4}}{\rho_{4,CH_4}} = \left(\frac{P_3}{P_4}\right)^{1/\gamma_4} \quad (\text{izotropik gaz akışı})$$

$$\rho_{3,CH_4} = 0,68(0,6)^{1/1,299}$$

$$\underline{\rho_{3,CH_4} = 0,460 \text{ kg/m}^3}$$

veya

$$\frac{\rho_{3,CH_4}}{\rho_{4,CH_4}} = \left[1 - \frac{\gamma_4 - 1}{2} \left(\frac{U_{3CH_4}}{a_4}\right)^2 \right]^{2/(\gamma_4 - 1)} \dots\dots\dots(17)$$

$$\frac{\rho_{3,CH_4}}{0,68} = \left[1 - \frac{1,299 - 1}{2} \left(\frac{500}{1310}\right)^2 \right]^{2/(1,299 - 1)}$$

$$\underline{\rho_{3,CH_4} = 0,460 \text{ kg/m}^3}$$

aynı sonuç bulunur.

11.Sıcaklıkların Hesabı:

$$\frac{T_{2\text{hava}}}{T_{1\text{hava}}} = \frac{P_2}{P_1} \left[\frac{\frac{\gamma_1 + 1}{\gamma_1 - 1} + \left(\frac{P_2}{P_1}\right)}{1 + \frac{\gamma_1 + 1}{\gamma_1 - 1} \left(\frac{P_2}{P_1}\right)} \right] \dots\dots\dots(18)$$

$$\frac{T_2}{298} = 5,41 \left[\frac{\frac{1,4+1}{1,4-1} + 5,41}{1 + \frac{1,4+1}{1,4-1} 5,41} \right]$$

$$\underline{T_{2\text{hava}} = 549,8^0\text{K}}$$

$$\frac{T_{3,\text{CH}_4}}{T_{4,\text{CH}_4}} = \left(\frac{P_3}{P_4}\right)^{\frac{\gamma_4 - 1}{\gamma_4}} \text{ (izantropik gaz akışı)} \dots\dots\dots(19)$$

$$\frac{T_{3,\text{CH}_4}}{2550} = (0,6)^{\frac{1,299-1}{1,299}}$$

$$\underline{T_{3,\text{CH}_4} = 2267^0\text{K}}$$

veya

$$\frac{T_{3,\text{CH}_4}}{T_{4,\text{CH}_4}} = \left[1 - \frac{\gamma_4 - 1}{2} \left(\frac{U_{3,\text{CH}_4}}{a_4} \right)^2 \right] \dots\dots\dots(20)$$

$$\frac{T_{3,\text{CH}_4}}{2550} = \left[1 - \frac{1,299-1}{2} \left(\frac{500}{1310} \right)^2 \right]$$

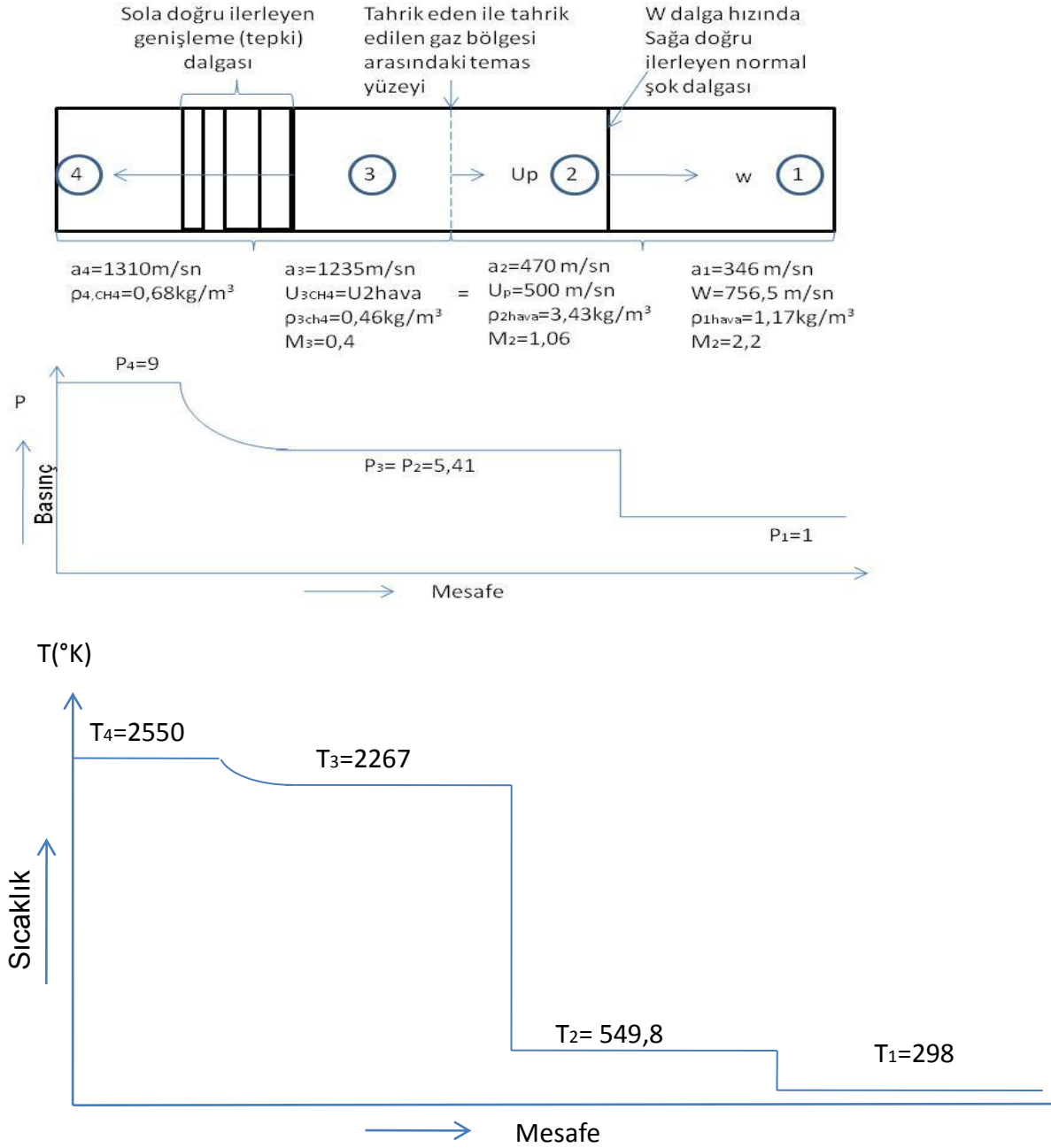
$$\underline{T_{3,\text{CH}_4} = 2267^0\text{K}} \quad \text{aynı sonuç bulunur.}$$

12. Şok dalgası;

- Ortam içerisinde ses hızından daha büyük bir hızla yayılan dalgaya şok dalgası adı verilir.
- Şok dalgası, havanın birden bire ses altı hıza yavaşladığı yerde oluşur.
- $M > 1$ ise ses üstü (süpersonik) akış söz konusudur.
- Şok meydana gelebilmesi için $M > 1$ olmalıdır.

- Şok dalgasının ardında basınç ve sıcaklık birdenbire yükselir ve hız ses altı düzeye iner.
- Ses hızı veya sonik hız, sonsuz küçüklükteki basınç dalgalarının bir ortamda yayılma hızıdır.

Hesaplanan değerleri şok tüpü üzerinde gösterelim (Şekil-5)



Şekil -5 Şok tüpü boyunca basınç,sıcaklık,ve hızların değişimi.[L-4]

12.1 Normal şok dalga hızı;

$$W = a_1 \sqrt{\frac{\gamma_1 + 1}{2\gamma_1} \left(\frac{p_2}{p_1} - 1 \right) + 1} \dots\dots\dots(21)$$

$$W = 346 \sqrt{\frac{1,4+1}{2*1,4} (5,41-1)+1}$$

$$\underline{W = 756,5 \text{ m/sn}}$$

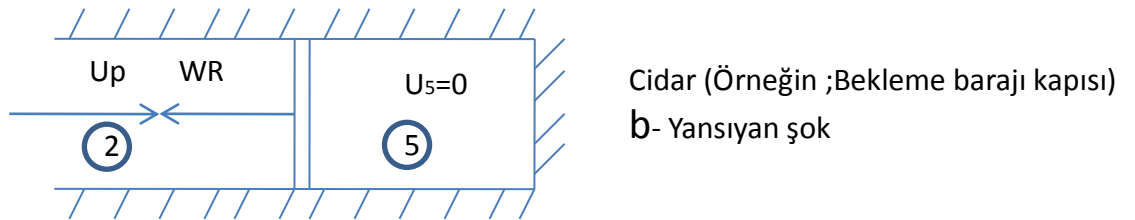
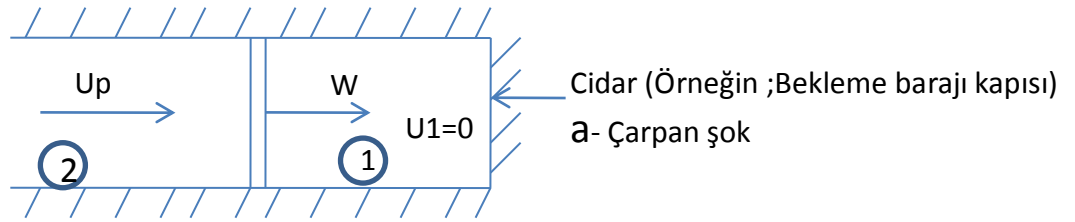
12.2 Şok dalgası için Mach sayısı;

$$M_s = W/a_1 \dots\dots\dots(22)$$

$$M_s = 756,5/346$$

$$\underline{M_s = 2,186 \cong 2,2}$$

13. Yansımış Şok Dalgası

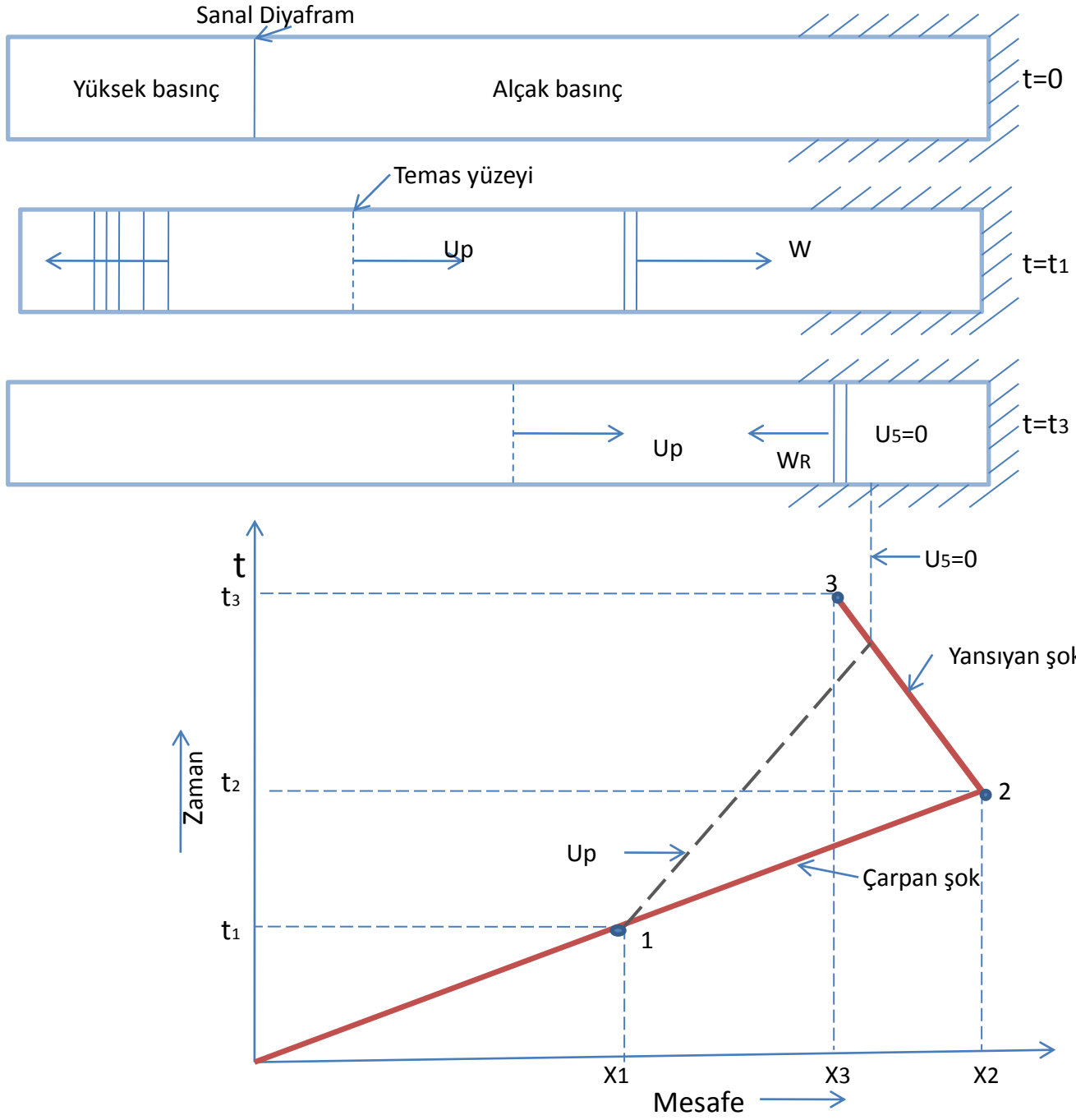


Şekil-6 Çarpan ve yansıyan şok dalgaları

Şekil-6 da gösterildiği gibi normal bir şok dalgasının W hızında sağa doğru hareket ettiğini göz önüne alalım ve varsayalım ki bu hareketli şok şekil-5 te olduğu gibi düz bir cidara çarpsın Çarpan (gelen) şok dalgasının bu cidar aracılığı ile yön değiştirmeye zorlanması sonucunda, yansıyan şok dalgası oluşur ki bu yansıyan dalgalar W_R hızında sola doğru hareket ederler. Bu yansıyan şok kuvveti (Burada W_R değeri) U_p hızı ile hareket eden kütlenin durdurulduğu değerdir. Yansıyan şok

dalgasının arkasındaki kütle hareketi sıfır olmalıdır., yani $U_5=0$ dır. Burada sıfır hız sınırı şartları yansıyan şok dalgası tarafından sınırlandırılmıştır. Gerçekten, belirli kuvvetteki normal şok olayı için,yansıyan normal şok kuvvet, tam olarak $U_5=0$ sınır koşullarının düzenlenmesi ile belirlenir.

Süreksiz dalga hareketinin incelenmesi ile Şekil-7 de görüldüğü gibi dalga diyagramlarının ($x-t$ diyagramları) çizilmesi de mümkündür. Bir dalga diyagramı, $x-t$ eksen takımı üzerinde dalga hareketinin gösterilmesidir. Şok dalgası, $t=0$ zamanında sanal diyaframın bulunduğu yerden başlamaktadır. $t=0$ anında $x=0$ dır. $t=t_1$ iken şok dalgası sağa doğru hareket eder ve $x=x_1$ noktasına gelir. ($x-t$) diyagramında burası 1. nokta olarak işaretlenir. Şok dalgasının yolu, dalga diyagramında düz bir doğrudur. Şok dalgası cidara $x=x_2$ noktasında çarptığı zaman (2.nokta), W_R hızı ile sola doğru yansır.. Daha sonraları $t=t_3$ iken yansıyan şok $x=x_3$ noktasındadır(3.nokta)



Şekil-7 Dalganın zaman (x-t) diyagramı. $W_R = 360$ m/sn, $M_R = 1,83$, $P_5 = 20,2$ bar,
 $T_5 = 854,5^\circ\text{K}$[L-4]

Yansıyan şok dalgasının yolu da dalganın zaman diyagramında düz bir doğrudur. Şok dalgası ve yansıyan şok yolunun eğimleri sırasıyla $1/W$ ve $1/W_R$ dir. Yansıyan şokların genel karakterinde $W_R < W$ dir. Bu nedenle yansıyan şok dalgasının eğimi şok dalgasından daha diktir.

Hesaplamalara devam edelim,

**13.1 Yansıyan şok dalgasının Mach sayısı M_R ;
(Yansıyan şok Mach sayısı da denebilir.)**

$$\frac{M_R}{M_R^2-1} = \frac{M_S}{M_S^2-1} \sqrt{1 + \frac{2(\gamma_1-1)}{(\gamma_1+1)^2} (M_S^2-1) \left(\gamma_1 + \frac{1}{M_S^2}\right)} \dots\dots\dots(23)$$

$$\frac{M_R}{M_R^2-1} = \frac{2,2}{2,2^2-1} \sqrt{1 + \frac{2(1,4-1)}{(1,4+1)^2} (2,2^2-1) \left(1,4 + \frac{1}{2,2^2}\right)} \cong 0,78$$

$$\frac{M_R}{M_R^2-1} = 0,78 \rightarrow 0,78 M_R^2 - 0,78 - M_R = 0$$

$$M_R^2 - 1,28 M_R - 1 = 0$$

$$M_R = \frac{1,28 \pm \sqrt{1,28^2 + 4}}{2}$$

$$\underline{M_R \cong 1,83}$$

veya

$$\frac{M_R}{M_R^2-1} = \frac{M_S}{M_S^2-1} \sqrt{\frac{T_{2hava}}{T_{1hava}}} \dots\dots\dots(24)$$

$$\frac{M_R}{M_R^2-1} = \frac{2,2}{2,2^2-1} \sqrt{\frac{549,8}{298}}$$

$$\underline{\frac{M_R}{M_R^2-1} = 0,78}$$

aynı sonuç çıkar.

13.2 Yansıyan şok dalga hızı; W_R

$$M_R = (W_R + U_p) / a_2 \dots\dots\dots(25)$$

a_2 - Hava ortamındaki ses hızı

$$a_2 = \sqrt{\gamma_1 * R_1 * T_{2,hava}} = \sqrt{1,4 * 287 * 549,8}$$

$$\underline{a_2 = 470 \text{ m/sn}}$$

$$1,83 = \frac{W_R + 500}{470}$$

$$\underline{W_R = 360 \text{ m / sn}}$$

veya,

$$\frac{W_R}{W_R + U_p} = 1 - \frac{2}{\gamma_1 + 1} \left(1 - \frac{1}{M_R^2}\right) \dots \dots \dots (26)$$

$$\frac{W_R}{W_R + 500} = 1 - \frac{2}{1,4 + 1} \left(1 - \frac{1}{1,83^2}\right) = 0,41$$

$$\underline{W_R = 352 \text{ m / sn} (\cong 360 \text{ m / sn})}$$

13.3 Yansıyan şok basıncı P_5 ;

Çarpan dalganın basınç artışı P_2/P_1 veya yansıyan şokun neden olduğu ikinci basınç artışı da P_5/P_2 dir.

$$\frac{P_5}{P_2} = 1 + \frac{2\gamma_1}{\gamma_1 + 1} (M_R^2 - 1) \dots \dots \dots (27)$$

$$\frac{P_5}{5,41} = 1 + \frac{2 * 1,4}{1,4 + 1} (1,83^2 - 1)$$

$$\underline{P_5 = 20,2 \text{ bar}}$$

13.4 Yansıyan şok sıcaklığı T_5 ;

$$\frac{T_5}{T_2} = \left(1 + \frac{\gamma_1 - 1}{2} M_R^2\right) \left(\frac{2\gamma_1}{\gamma_1 - 1} M_R^2 - 1\right) \frac{2(\gamma_1 - 1)}{M_R^2 (\gamma_1 + 1)^2} \dots \dots \dots (28)$$

$$\frac{T_5}{549,8} = \left(1 + \frac{1,4 - 1}{2} 1,83^2\right) \left(\frac{2 * 1,4}{1,4 - 1} 1,83^2 - 1\right) \frac{2(1,4 - 1)}{1,83^2 (1,4 + 1)^2}$$

$$\underline{T_5 \cong 854,5^0\text{K}}$$

13.5 Mach sayısı;

$$M_2 = \frac{U_p}{a_2} = \frac{500}{470}$$

$$\underline{M_2 = 1,06}$$

$$M_3 = \frac{U_p}{a_3}$$

$$a_3 = \sqrt{\gamma_{\text{3CH}_4} * R_{\text{3CH}_4} * T_{\text{3CH}_4}} = \sqrt{1,299 * 518,2 * 2267}$$

$$\underline{a_3 \cong 1235\text{m/sn}}$$

$$M_3 = \frac{500}{1235}$$

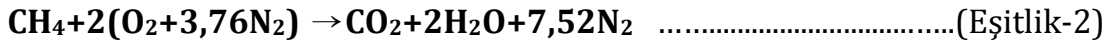
$$\underline{M_3 = 0,4}$$

Son durum Şekil-5 deki şok tüpü üzerinde gösterilmiştir.

14. En Şiddetli Patlama;

Metan (CH₄) patlamasında en şiddetli patlamayı meydana getiren karışım oranını acaba elde ettiğimiz bilgilerle hesaplayabilirmiyiz?

Hesaplamaya çalışalım; Bir yanma işleminde, yanmanın tam olduğunu kabul ederek yapılan çözümlenin sağladığı bazı bilgiler vardır. Yanma işlemi sırasında eğer yakıt içindeki karbonun tümü CO₂'ye, hidrojenin tümü H₂O'ya ve varsa kükürdün tümü SO₂ ye dönüşüyorsa yanma tamdır. Başka bir ifade ile yakıt içinde bulunan yanabilecek tüm bileşenler tam olarak yanarlar. Metanın teorik veya tam yanması aşağıda gösterildiği gibidir.



Görüldüğü gibi,

$$A_{\text{th}} = A_{\text{gerçek}} = 2$$

$$V_{\text{CH}_4} = V_{\text{karışım}} * x_{\text{CH}_4}$$

$$V_{\text{hava}} = V_{\text{karışım}} - V_{\text{CH}_4} = V_{\text{karışım}} - (V_{\text{karışım}} * x_{\text{CH}_4})$$

$$V_{\text{hava}} = V_{\text{karışım}} (1 - x_{\text{CH}_4})$$

$$P_{\text{yig}} \cdot V_{\text{CH}_4} = n_{\text{CH}_4} \cdot R_u \cdot T_{\text{yig}}$$

$$P_{\text{yig}} \cdot V_{\text{hava}} = n_{\text{hava}} \cdot R_u \cdot T_{\text{yig}}$$

$$\frac{V_{\text{CH}_4}}{V_{\text{hava}}} = \frac{n_{\text{CH}_4}}{n_{\text{hava}}}$$

$$\frac{V_{\text{karışım}} \cdot x_{\text{CH}_4}}{V_{\text{hava}} (1 - x_{\text{CH}_4})} = \frac{n_{\text{CH}_4}}{n_{\text{hava}}} \rightarrow \frac{x_{\text{CH}_4}}{(1 - x_{\text{CH}_4})} = \frac{n_{\text{CH}_4}}{n_{\text{hava}}}$$

$$n_{\text{O}_2} = n_{\text{hava}} / 4,76$$

$$n_{\text{hava}} = 4,76 \cdot n_{\text{O}_2}$$

$$\frac{x_{\text{CH}_4}}{(1 - x_{\text{CH}_4})} = \frac{n_{\text{CH}_4}}{4,76 \cdot n_{\text{O}_2}}$$

$$A_{\text{gerçek}} = n_{\text{O}_2} / n_{\text{CH}_4} = 2 \rightarrow n_{\text{CH}_4} / n_{\text{O}_2} = 0,5$$

$$\frac{x_{\text{CH}_4}}{(1 - x_{\text{CH}_4})} = \frac{0,5}{4,76} \rightarrow 4,76 \cdot x_{\text{CH}_4} = 0,5 - 0,5 \cdot x_{\text{CH}_4}$$

$$5,26 \cdot x_{\text{CH}_4} = 0,5$$

$$x_{\text{CH}_4} = 9,5 \cdot 10^{-2} = \%9,5$$

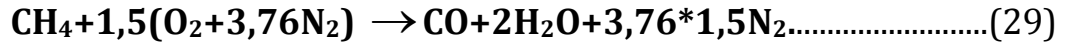
bulunur ki bu da bize Metan(CH₄) patlamasında en şiddetli patlamayı meydana getiren karışım oranınının %9,5 Metan ile %90,5 hava olduğunu gösterir.

Problemimizi en şiddetli patlamaya göre çözersek sonuçlar;

$$\begin{aligned}
\bullet V_{\text{karışım}} &= 12000 \text{ m}^3 \\
\bullet V_{\text{CH}_4} &= 1140 \text{ m}^3 \\
\bullet n_{\text{CH}_4} &= 46 \text{ kmol} \\
\bullet n_{\text{hava}} &= 438,33 \text{ kmol} \\
\bullet n_{\text{O}_2} &= 92 \text{ kmol} \\
\bullet n_{\text{N}_2} &= 345,92 \text{ kmol} \\
\bullet n_{\text{yig}} &= 484,33 \text{ kmol} \\
U_{\text{yig}} &= -100914 \text{ kJ} \\
\bullet T_{\text{ç}} &= 2825^{\circ} \text{K} \\
\bullet n_{\text{yiç}} &= 483,92 \text{ kmol} \\
\bullet P_{\text{yiç}} &\cong 9,5 \text{ bar}
\end{aligned}$$

olarak bulunur.

$A_{\text{gerçek}}=1,5$ ise, tüm C yanarak CO'e dönüşecektir. Yanmanın denklemini ve sonuçlarını verelim.



- $X_{\text{CH}_4} = \%12,3$
- $n_{\text{CH}_4} = 59,57 \text{ kmol}$
- $n_{\text{hava}} = 424,77 \text{ kmol}$
- $n_{\text{O}_2} = 89,24 \text{ kmol}$
- $n_{\text{N}_2} = 335,54 \text{ kmol}$
- $n_{\text{yig}} = 484,34 \text{ kmol}$
- $U_{\text{yig}} = -95017,44 \text{ kJ}$
- $T_{\text{ç}} = 2450^{\circ} \text{K}$
- $n_{\text{yiç}} = 514,685 \text{ kmol}$
- $P_{\text{yiç}} \approx 9 \text{ bar}$

15. Gizli ocak yangınlarına karşı önceden önlem sistemi:

Gizli ocak yangınları kömürün kendi kendine içten kızışması, ya da yavaş yanması şeklinde meydana gelir. Kendiliğinden yanmaya uygun kömür damarlarının

işletilmesi sırasında göçüklerde terk edilen bir kısım kömür sızan havanın oksijenini alarak (bu ortam sıcaklık ve basınç altındadır) yavaş yavaş içten kızışmaya, başka bir anlatımla okside olmaya başlar. Kömürün oksidasyonundan (kızışmasından) karbon monoksit (CO) gazı açığa çıkar. Kendiliğinden yanmaya elverişli kalın kömür damarları içinde taban ve başyukarı sürme, üretim çalışmaları sırasında, ya da sonrasında tavandaki kömür çatlar ve bir miktar da sarkar. Ana havalandırma devresinden ayrılarak tavan kömürü içindeki çatlaklardan kısa devre yapan bir miktar hava, yine kömürün yavaş yanmasına neden olabilir. Havada askıda olan kömür tozu, patlayıcı gazlar gibi patlama özelliğine sahiptir. Yerde birikmiş halde bulunan kömür tozu, herhangi bir nedenle havalanıp havada askıda olursa ve bu anda kömür tozu bulutunun ateşlenmesi için yeterli bir ısı mevcutsa, kömür tozu patlamaları meydana gelir . TTK Armutçuk ve Kozlu Müesseselerinde yaşanan son büyük kazalar yukarıdaki yanma olaylarına tipik birer örnektir.

Bu nedenle ocaklarda oluşabilecek yangınları önceden önlemek amacıyla aşağıda tüm detayları belirtilen sistem bir uygulama projesi kapsamında gerçekleştirilerek uygulamaya konulmuş ve havza çapında yaygınlaştırılmaya başlanmıştır.

Sistemin esası,yer altı şartlarımıza uygun ve ucunda su nozolu bulunan havalı bir götürücüdür. (Şekil-8)

Götürülecek (Taşınacak) malzeme;

- Termik santral(ÇATEŞ), filtre çıkışı uçuşu kül.
 - Yoğunluk : 1 ton /m³
 - Tane büyüklüğü : 0,2 mm (Elek analizine göre ortalama)
- Götürme uzunluğu (eşdeğer uzunluk);
 - L yatay : 410 m.
 - L düşey : 42 m.
 - L kayıp : 20 m. (Dirsekler,vanalar v.s)
 - L top. : 472 m.
- Götürme hava hızı ;
 - V hava = 14,5 m /sn.
- Gerekli hava tüketimi ;
 - Q hava = 0,03 m³ /sn.

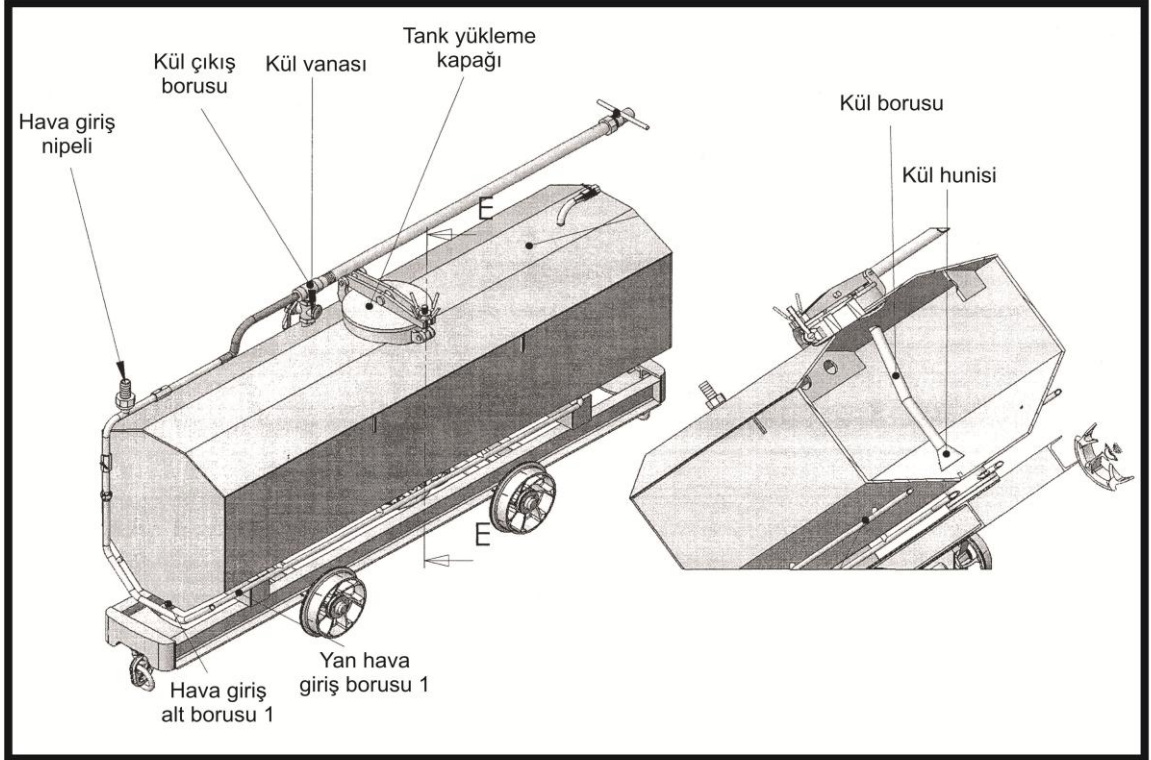
- Donanımın kapasitesi ;
Q kapasite,ağırlık =3 ton /saat (Kabul)
- Karışımının ağırlık yığılması (konsantrasyonu) ;
M=23 kg. malzeme /kg.hava
- Götürme borusunun iç çapı;
d b = Ø 50 mm.
- Götürme borusunun başlangıcında (girişinde) gerekli hava basıncı;
pg =3,5 bar (mutlak) =2,5 bar (gösterge)
- Kompresörün ana hava besleme borusundaki gerekli hava basıncı,
pk =4,5 bar (mutlak) = 3,5 bar (gösterge)
- Gerekli kompresör kapasitesi;
Vo =2m³ / dak şeklindedir.

Havalı götürücünün parçaları ;

- *Kül kazanı* ;3 tonluk araba şasesi üzerine oturtulmuş,3ton kapasiteli olup 10 bar basınca dayanıklıdır.
- *Kül/Hava karışım vanası* ; İstenilen oranda karışımı sağlar.
- *Götürme boruları* ; Kumlama hortumları da kullanılabilir.40'ar metre boyunda ve bağlama elemanları vardır.
- *Nozul* ; Kül-Hava karışımı üzerine çıkışta istenilen debide su püskürtülerek kül-hava harcının oluşmasını sağlar ki bu harç betonlama görevi görür.[L-9]

Havalı götürücünün çalışma prensibi ;

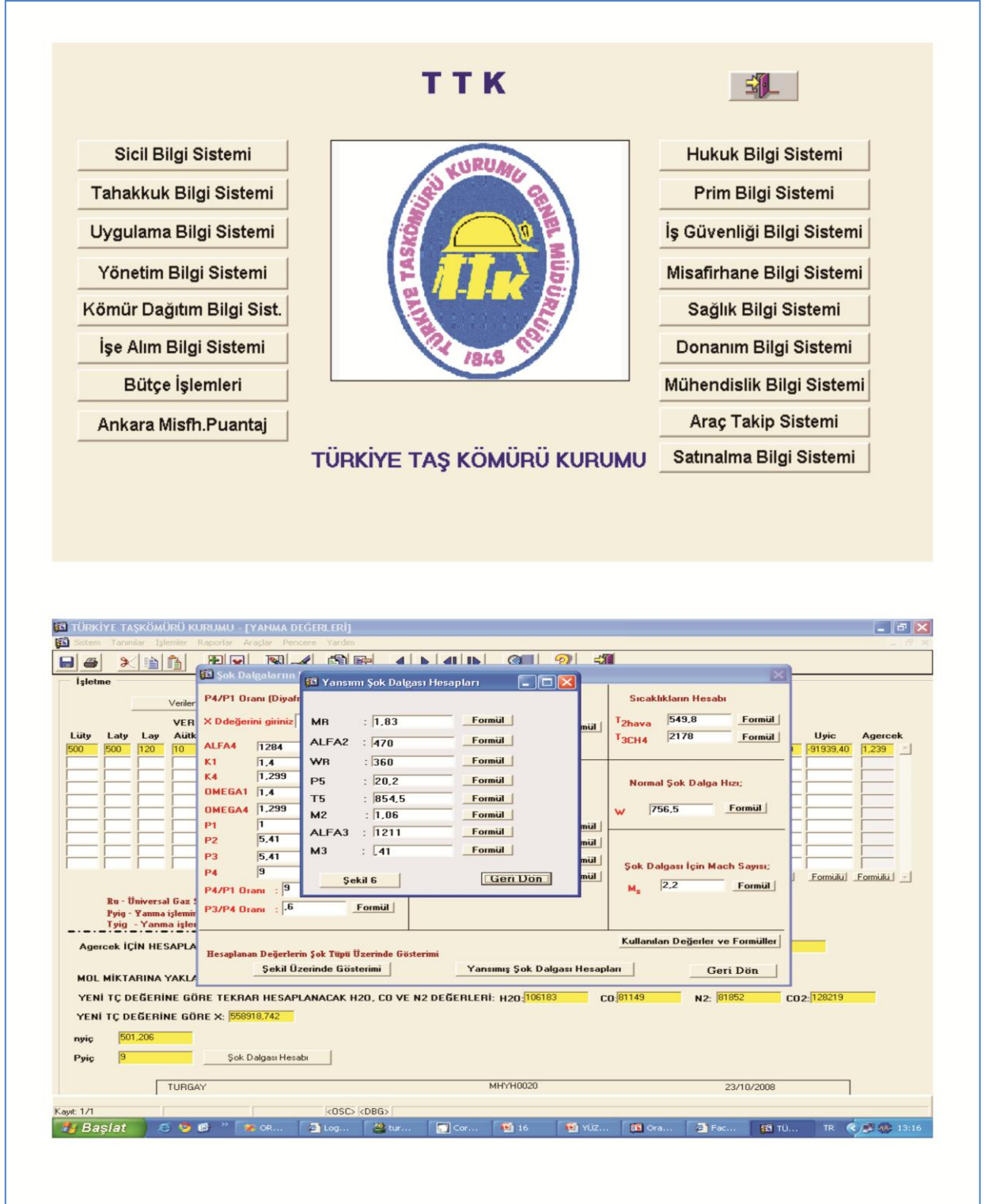
Kül kazanı aynı zamanda basınç deposudur.Bu basınçlı depoda, kül'e akışkanlık vermeğe yardım eden bir taban bulunur.Buradan basınçlı iletim havası verilerek kül akışkan hale getirilir ve hava-kül karışımı akım halinde konik ağızlı yukarı yükselen iletim borusuna basılır.Karışım oranı kül-hava vanası ile ayarlanır.Götürme veya iletim borusunun ucundaki ayarlanabilir nozul ile su-hava-kül karışımı ayak arkasına hızlı bir şekilde püskürtülür.



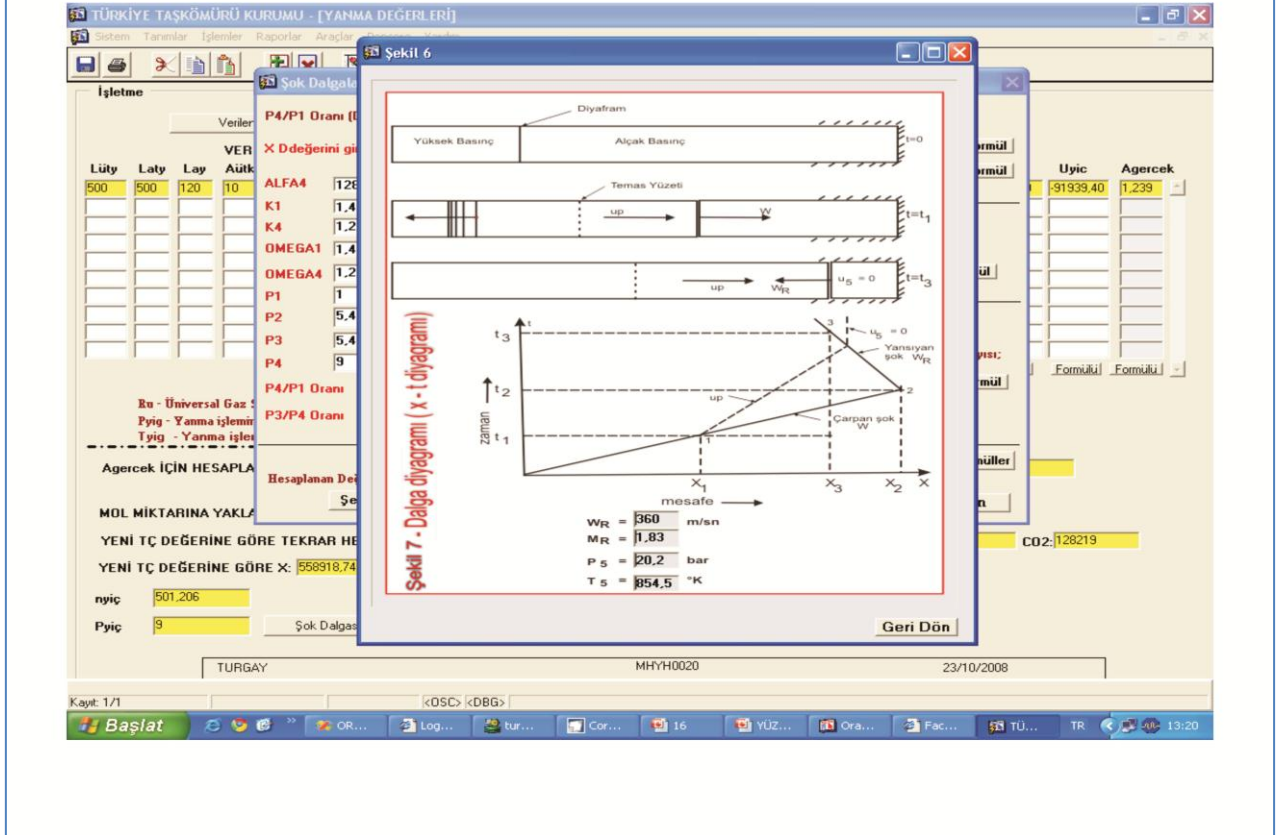
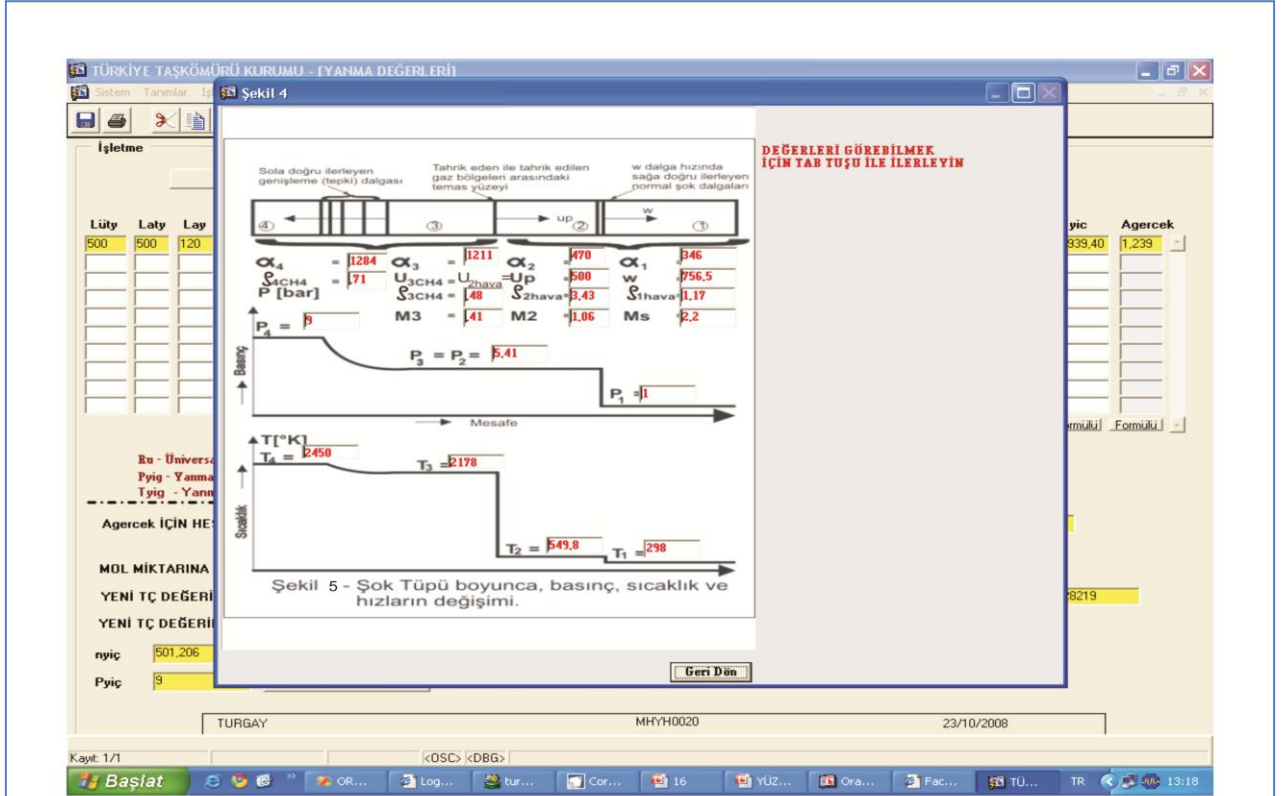
Şekil-8 Kül tankının (3 ton) görünüşleri ve Hava-Kül-Su karışımının nozuldan yüksek bir hızla çıkışı (Amasra Müessesesi yeraltı uygulamalarından)

16. Bilgisayar kullanıcı programı

Gerçekleştirilen yazılıma göre ocak açıklığı ve metan konsantrasyonu değerlerinin girilmesi ile adı geçen bütün bilgiler elde edilmektedir.(Şekil-9)



Şekil-9 Bilgisayar kullanıcı programı [L-8]



Şekil-10 Mühendislik bilgi sistemi programı [L-8]

Madde	Kimyasal Formülü	\bar{h}_f	\bar{q}_f^0	\bar{s}^0
		kJ/kmol	kJ/kmol	kJ/(kmol.K)
Karbon	C	0	0	5,74
Hidrojen	H ₂ (g)	0	0	130,68
Azot	N ₂ (g)	0	0	191,61
Oksijen	O ₂ (g)	0	0	205,04
Karbonmonoksit	CO(g)	-110,530	-137,150	197,65
Karbondioksit	CO ₂ (g)	-393,520	-394,360	213,80
Su buharı	H ₂ O(g)	-241,820	-228,590	188,83
Su	H ₂ O(s)	-285,830	-237,180	69,92
Hidrojen peroksit	H ₂ O ₂ (g)	-136,310	-105,600	232,63
Amonyak	NH ₃ (g)	-46,190	-16,590	192,33
Metan	CH ₄ (g)	-74,850	-50,790	186,16
Asetilen	C ₂ H ₂ (g)	226,730	209,170	200,85
Etilen	C ₂ H ₄ (g)	52,280	68,120	219,83
Etan	C ₂ H ₆ (g)	-84,680	-32,890	229,49
Propilen	C ₃ H ₆ (g)	20,410	62,720	266,94
Propan	C ₃ H ₈ (g)	-103,850	-23,490	269,91
n-Bütan	C ₄ H ₁₀ (g)	-126,150	-15,710	310,12
n-Oktan	C ₈ H ₁₈ (g)	-208,450	16,530	466,73
n-Oktan	C ₈ H ₁₈ (s)	-249,950	6,610	360,79
n-Dodekan	C ₁₂ H ₂₆ (g)	-291,010	50,150	622,83
Benzen	C ₆ H ₆ (g)	82,930	129,660	269,20
Metil alkol	CH ₃ OH(g)	-200,670	-162,000	239,70
Metil alkol	CH ₃ OH(s)	-238,660	-166,360	126,80
Etil alkol	C ₂ H ₅ OH(g)	-235,310	-168,570	282,59
Etil alkol	C ₂ H ₅ OH(s)	-277,690	-174,890	160,70
Oksijen	O(g)	249,190	231,770	161,06
Hidrojen	H(g)	218,000	203,290	114,72
Azot	N(g)	472,650	455,510	153,30
Hidroksil	OH(g)	39,460	34,280	183,70

Tablo-1 25°C sıcaklık ve 1 atm basınçta formasyon entalpisi, formasyon Gibbs fonksiyonu mutlak entalpi (k:katı, s: sıvı ,f: mutlak) [L-1]

T	\bar{h}	\bar{u}	\bar{s}^0		T	\bar{h}	\bar{u}	\bar{s}^0
K	kJ/kmol	kJ/kmol	kJ/(kmol.K)		K	kJ/kmol	kJ/kmol	kJ/(kmol.K)
0	0	0	0		600	20.402	15.413	212.920
220	7.295	5.466	178.576		610	20.765	15.693	213.529
230	7.628	5.715	180.054		620	21.130	15.975	214.122
240	7.961	5.965	181.471		630	21.495	16.257	214.707
250	8.294	6.215	182.831		640	21.862	16.541	215.285
260	8.627	6.466	184.139		650	22.230	16.826	215.856
270	8.961	6.716	185.399		660	22.600	17.112	216.419
280	9.296	6.968	186.616		670	22.970	17.399	216.976
290	9.631	7.219	187.791		680	23.342	17.688	217.527
298	9.904	7.425	188.720		690	23.714	17.978	218.071
300	9.966	7.472	188.928		700	24.088	18.268	218.610
310	10.302	7.725	190.030		710	24.464	18.561	219.142
320	10.639	7.978	191.098		720	24.840	18.854	219.668
330	10.976	8.232	192.136		730	25.218	19.148	220.189
340	11.314	8.487	193.144		740	25.597	19.444	220.707
350	11.652	8.742	194.125		750	25.977	19.741	221.215
360	11.992	8.998	195.081		760	26.358	20.039	221.720
370	12.331	9.255	196.012		770	26.741	20.339	222.221
380	12.672	9.513	196.920		780	27.125	20.639	222.717
390	13.014	9.771	197.807		790	27.510	20.941	223.207
400	13.356	10.030	198.673		800	27.896	21.245	223.693
410	13.699	10.290	199.521		810	28.284	21.549	224.174
420	14.043	10.551	200.350		820	28.672	21.855	224.651
430	14.388	10.813	201.160		830	29.062	22.162	225.123
440	14.734	11.075	201.955		840	29.454	22.470	225.592
450	15.080	11.339	202.734		850	29.846	22.779	226.057
460	15.428	11.603	203.497		860	30.240	23.090	226.517
470	15.777	11.869	204.247		870	30.635	23.402	226.973
480	16.126	12.135	204.982		880	31.032	23.715	227.426
490	16.477	12.403	205.705		890	31.429	24.029	227.875
500	16.828	12.671	206.413		900	31.828	24.345	228.321
510	17.181	12.940	207.112		910	32.228	24.662	228.763
520	17.534	13.211	207.799		920	32.629	24.980	229.202
530	17.889	13.482	208.475		930	33.032	25.300	229.637
540	18.245	13.755	209.139		940	33.436	25.621	230.070
550	18.601	14.028	209.795		950	33.841	25.943	230.499
560	18.959	14.303	210.440		960	34.247	26.265	230.924
570	19.318	14.579	211.075		970	34.653	26.588	231.347
580	19.678	14.856	211.702		980	35.061	26.913	231.767
590	20.039	15.134	212.320		990	35.472	27.240	232.184

Tablo-2 H₂O , Su buharının mükemmel gaz varsayımıyla özellikleri[L-1]

T	\bar{h}	\bar{u}	\bar{s}^0		T	\bar{h}	\bar{u}	\bar{s}^0
K	kJ/kmol	kJ/kmol	kJ/(kmol.K)		K	kJ/kmol	kJ/kmol	kJ/(kmol.K)
1.000	35.882	27.568	232.597		1.760	70.535	55.902	258.151
1.020	36.709	28.228	233.415		1.780	71.523	56.723	258.708
1.040	37.542	28.895	234.223		1.800	72.513	57.547	259.262
1.060	38.380	29.567	235.028		1.820	73.507	58.375	259.811
1.080	39.223	30.243	235.806		1.840	74.506	59.207	260.357
1.100	40.071	30.925	236.584		1.860	75.506	60.042	260.898
1.120	40.923	31.611	237.352		1.880	76.511	60.880	261.436
1.140	41.780	32.301	238.110		1.900	77.517	61.720	261.969
1.160	42.642	32.997	238.859		1.920	78.527	62.564	262.497
1.180	43.509	33.698	239.600		1.940	79.540	63.411	263.022
1.200	44.380	34.403	240.333		1.960	80.555	64.259	263.542
1.220	45.256	35.112	241.057		1.980	81.573	65.111	264.059
1.240	46.137	35.827	241.773		2.000	82.593	65.965	264.571
1.260	47.022	36.546	242.482		2.050	85.156	68.111	265.838
1.280	47.912	37.270	243.183		2.100	87.735	70.275	267.081
1.300	48.807	38.000	243.877		2.150	90.330	72.454	268.301
1.320	49.707	38.732	244.564		2.200	92.940	74.649	269.800
1.340	50.612	39.470	245.243		2.250	95.562	76.855	270.679
1.360	51.521	40.213	245.915		2.300	98.199	79.076	271.839
1.380	52.434	40.960	246.582		2.350	100.846	81.308	272.978
1.400	53.351	41.711	247.241		2.400	103.508	83.553	274.098
1.420	54.273	42.466	247.895		2.450	106.183	85.811	275.201
1.440	55.198	43.226	248.543		2.500	108.868	88.082	276.286
1.460	56.128	43.989	249.185		2.550	111.565	90.364	277.354
1.480	57.062	44.756	249.820		2.600	114.273	92.656	278.407
1.500	57.999	45.528	250.450		2.650	116.991	94.958	279.441
1.520	58.942	46.304	251.074		2.700	119.717	97.269	280.462
1.540	59.888	47.084	251.693		2.750	122.453	99.588	281.464
1.560	60.838	47.868	252.305		2.800	125.198	101.917	282.453
1.580	61.792	48.655	252.912		2.850	127.952	104.256	283.429
1.600	62.748	49.445	253.513		2.900	130.717	106.605	284.390
1.620	63.709	50.240	254.111		2.950	133.486	108.959	285.338
1.640	64.675	51.039	254.703		3.000	136.264	111.321	286.273
1.660	65.643	51.841	255.290		3.050	139.051	113.692	287.194
1.680	66.614	52.646	255.873		3.100	141.846	116.072	288.102
1.700	67.589	53.455	256.450		3.150	144.648	118.458	288.999
1.720	68.567	54.267	257.022		3.200	147.457	120.851	289.884
1.740	69.550	55.083	257.589		3.250	150.272	123.250	290.756

Tablo- 2 H₂O , Su buharının mükemmel gaz varsayımıyla özellikleri[L-1]

T	\bar{h}	\bar{u}	\bar{s}^0		T	\bar{h}	\bar{u}	\bar{s}^0
K	kj/kmol	kj/kmol	çj/(kmol.K)		K	kj/kmol	kj/kmol	çj/(kmol.K)
0	0	0	0		600	17.611	12.622	218.204
220	6.391	4.562	188.683		610	17.915	12.843	218.708
230	6.683	4.771	189.980		620	18.221	13.066	219.205
240	6.975	4.979	191.221		630	18.527	13.289	219.695
250	7.266	5.188	192.411		640	18.833	13.512	220.179
260	7.558	5.396	193.554		650	19.141	13.736	220.656
270	7.849	5.604	194.654		660	19.449	13.962	221.127
280	8.140	5.812	195.713		670	19.758	14.187	221.592
290	8.432	6.020	196.735		680	20.068	14.414	222.052
298	8.669	6.190	197.543		690	20.378	14.641	222.505
300	8.723	6.229	197.723		700	20.690	14.870	222.953
310	9.014	6.437	198.678		710	21.002	15.099	223.396
320	9.306	6.645	199.603		720	21.315	15.328	223.833
330	9.597	6.854	200.500		730	21.628	15.558	224.265
340	9.889	7.062	201.371		740	21.943	15.789	224.692
350	10.181	7.271	202.217		750	22.258	16.022	225.115
360	10.473	7.480	203.040		760	22.573	16.255	225.533
370	10.765	7.689	203.842		770	22.890	16.488	225.947
380	11.058	7.899	204.622		780	23.208	16.723	226.357
390	11.351	8.108	205.383		790	23.526	16.957	226.762
400	11.644	8.319	206.125		800	23.844	17.193	227.162
410	11.938	8.529	206.850		810	24.164	17.429	227.559
420	12.232	8.740	207.549		820	24.483	17.665	227.952
430	12.526	8.951	208.252		830	24.803	17.902	228.339
440	12.821	9.163	208.929		840	25.124	18.140	228.724
450	13.116	9.375	209.593		850	25.446	18.379	229.106
460	13.412	9.587	210.243		860	25.768	18.617	229.482
470	13.708	9.800	210.880		870	26.091	18.858	229.856
480	14.005	10.014	211.504		880	26.415	19.099	230.227
490	14.302	10.228	212.117		890	26.740	19.341	230.593
500	14.600	10.443	212.719		900	27.066	19.583	230.957
510	14.898	10.658	213.310		910	27.392	19.826	231.317
520	15.197	10.874	213.890		920	27.719	20.070	231.674
530	15.497	11.090	214.460		930	28.046	20.314	232.028
540	15.797	11.307	215.020		940	28.375	20.559	232.379
550	16.097	11.524	215.572		950	28.703	20.805	232.727
560	16.399	11.743	216.115		960	29.033	21.051	233.072
570	16.701	11.961	216.649		970	29.362	21.298	233.413
580	17.003	12.181	217.175		980	29.693	21.545	233.752
590	17.307	12.401	217.693		990	30.024	21.793	234.088

Tablo-3 CO, Karbonmonoksit'in mükemmel gaz varsayımı ile özellikleri[L-1]

T	\bar{h}	\bar{u}	\bar{s}^0		T	\bar{h}	\bar{u}	\bar{s}^0
K	kJ/kmol	kJ/kmol	kJ/(kmol.K)		K	kJ/kmol	kJ/kmol	kJ/(kmol.K)
1000	30.355	22.041	234.421		1760	56.756	42.123	253.991
1020	31.020	22.540	235.079		1780	57.473	42.673	254.398
1040	31.688	23.041	235.728		1800	58.191	43.225	254.797
1060	32.357	23.544	236.364		1820	59.910	43.778	255.194
1080	33.029	24.049	236.992		1840	59.629	44.331	255.587
1100	33.702	24.557	237.609		1860	60.351	44.886	255.976
1120	34.377	25.065	238.217		1880	61.072	45.441	256.361
1140	35.054	25.575	238.817		1900	61.794	45.997	256.743
1160	35.733	26.088	239.407		1920	62.516	46.552	257.122
1180	36.406	26.602	239.989		1940	63.238	47.108	257.497
1200	37.095	27.118	240.663		1960	63.961	47.665	257.868
1220	37.780	27.637	241.128		1980	64.684	48.221	258.236
1240	38.466	28.226	241.686		2000	65.408	48.780	258.600
1260	39.154	28.678	242.236		2050	67.224	50.179	259.494
1280	39.844	29.201	242.780		2100	69.044	51.584	260.370
1300	40.534	29.725	243.316		2150	70.864	52.988	261.226
1320	41.226	30.251	243.844		2200	72.688	54.396	262.065
1340	41.919	30.778	244.366		2250	74.516	55.809	262.887
1360	42.613	31.306	244.880		2300	76.345	57.222	263.692
1380	43.309	31.836	245.388		2350	78.178	58.640	264.480
1400	44.007	32.367	245.889		2400	80.015	60.060	265.253
1420	44.707	32.900	246.385		2450	81.852	61.482	266.012
1440	45.408	33.434	246.876		2500	83.692	62.906	266.755
1460	46.110	33.971	247.360		2550	85.537	64.335	267.485
1480	46.813	34.508	247.839		2600	87.383	65.766	268.202
1500	47.517	35.046	248.312		2650	89.230	67.197	268.905
1520	48.222	35.584	248.778		2700	91.077	68.628	269.596
1540	48.928	36.124	249.240		2750	92.930	70.066	270.285
1560	49.635	36.665	249.695		2800	94.784	71.504	270.943
1580	50.344	37.207	250.147		2850	96.639	72.945	271.602
1600	51.053	37.750	250.592		2900	98.495	74.383	272.249
1620	51.763	38.293	251.033		2950	100.352	75.825	272.884
1640	52.472	38.837	251.470		3000	102.210	77.267	273.508
1660	53.184	39.382	251.901		3050	104.073	78.715	274.123
1680	53.895	39.927	252.329		3100	105.939	80.164	274.730
1700	54.609	40.474	252.751		3150	107.802	81.612	275.326
1720	55.323	41.023	253.169		3200	109.667	83.061	275.914
1740	56.039	41.572	253.582		3250	111.534	84.513	276.494

Tablo-3 CO, Karbonmonoksit'in mükemmel gaz varsayımı ile özellikleri[L-1]

T	\bar{h}	\bar{u}	\bar{s}^0		T	\bar{h}	\bar{u}	\bar{s}^0
K	kJ/kmol	kJ/kmol	çj/(kmol.K)		K	kJ/kmol	kJ/kmol	çj/(kmol.K)
0	0	0	0		600	17.563	12.574	212.066
220	6.391	4.562	182.639		610	17.864	12.762	212.564
230	6.683	4.770	183.938		620	18.166	13.011	213.055
240	6.975	4.979	185.180		630	18.468	13.230	213.541
250	7.266	5.188	186.370		640	18.772	13.450	214.018
260	7.558	5.396	187.514		650	19.075	13.671	214.489
270	7.849	5.604	188.614		660	19.380	13.892	214.954
280	8.141	5.813	189.673		670	19.685	14.114	215.413
290	8.432	6.021	190.695		680	19.991	14.337	215.866
298	8.669	6.190	191.502		690	20.297	14.560	216.314
300	8.723	6.229	191.682		700	20.604	14.784	216.756
310	9.014	6.437	192.638		710	20.912	15.008	217.192
320	9.306	6.645	193.562		720	21.220	15.234	217.624
330	9.597	6.853	194.459		730	21.529	15.460	218.059
340	9.888	7.061	195.328		740	21.839	15.686	218.472
350	10.180	7.270	196.173		750	22.149	15.913	218.889
360	10.471	7.478	196.995		760	22.460	16.141	219.301
370	10.763	7.687	197.794		770	22.772	16.370	219.709
380	11.055	7.895	198.572		780	23.085	16.599	220.113
390	11.347	8.104	199.331		790	23.398	16.830	220.512
400	11.640	8.314	200.071		800	23.714	17.061	220.907
410	11.932	8.523	200.794		810	24.027	17.292	221.298
420	12.225	8.733	201.499		820	24.342	17.524	221.684
430	12.518	8.943	202.189		830	24.658	17.757	222.067
440	12.811	9.153	202.863		840	24.974	17.990	222.447
450	13.105	9.363	203.523		850	25.292	18.224	222.822
460	13.399	9.574	204.170		860	25.610	18.459	223.194
470	13.693	9.786	204.803		870	25.928	18.695	223.562
480	13.988	9.997	205.424		880	26.248	18.931	223.927
490	14.285	10.210	206.033		890	26.568	19.168	224.288
500	14.581	10.423	206.630		900	26.890	19.407	224.647
510	14.876	10.635	207.216		910	27.210	19.644	225.002
520	15.172	10.848	207.792		920	27.532	19.883	225.353
530	15.469	11.062	208.358		930	27.854	20.122	225.701
540	15.766	11.277	208.914		940	28.178	20.362	226.047
550	16.064	11.492	209.461		950	28.501	20.603	226.389
560	16.363	11.707	209.999		960	28.826	20.844	226.728
570	16.662	11.923	210.528		970	29.151	21.086	227.064
580	16.962	12.139	211.049		980	29.476	21.328	227.398
590	17.262	12.356	211.562		990	29.803	21.571	227.728

Tablo-4 Azot, N₂ 'nin mükemmel gaz varsayımıyla özellikleri[L-1]

T	\bar{h}	\bar{u}	\bar{s}^0		T	\bar{h}	\bar{u}	\bar{s}^0
K	kJ/kmol	kJ/kmol	kJ/(kmol.K)		K	kJ/kmol	kJ/kmol	kJ/(kmol.K)
1000	30.129	21.815	228.057		1760	56.227	41.594	247.396
1020	30.784	22.304	228.706		1780	56.938	42.139	247.798
1040	31.442	22.795	229.344		1800	57.651	42.685	248.195
1060	32.101	23.288	229.973		1820	58.363	43.231	248.589
1080	32.762	23.782	230.591		1840	59.075	43.777	248.979
1100	33.426	24.280	231.199		1860	59.790	44.234	249.365
1120	34.092	24.780	231.799		1880	60.504	44.873	249.748
1140	34.760	25.282	232.391		1900	61.220	45.423	250.128
1160	35.430	25.786	232.973		1920	61.936	45.973	250.502
1180	36.104	26.291	233.549		1940	62.654	46.524	250.874
1200	36.777	26.799	234.115		1960	63.381	47.075	251.242
1220	37.452	27.308	234.673		1980	64.090	47.627	251.607
1240	38.129	27.819	235.223		2000	64.810	48.181	251.969
1260	38.807	28.331	235.766		2050	66.612	49.567	252.858
1280	39.488	28.845	236.302		2100	68.417	50.957	253.726
1300	40.170	29.361	236.831		2150	70.226	52.351	254.578
1320	40.853	29.378	237.353		2200	72.040	53.749	255.412
1340	41.539	30.398	237.867		2250	73.856	55.149	256.227
1360	42.227	30.919	238.376		2300	75.676	56.553	257.027
1380	42.915	31.441	238.878		2350	77.496	57.958	257.810
1400	43.605	31.964	239.375		2400	79.320	59.366	258.580
1420	44.295	32.489	239.865		2450	81.149	60.779	259.332
1440	44.988	33.014	240.350		2500	82.981	62.195	260.073
1460	45.682	33.543	240.827		2550	84.814	63.613	260.799
1480	46.377	34.071	241.301		2600	86.650	65.033	261.512
1500	47.073	34.601	241.768		2650	88.488	66.455	262.213
1520	47.771	35.133	242.228		2700	90.328	67.880	262.902
1540	48.470	35.665	242.685		2750	92.171	69.306	263.577
1560	49.168	36.197	243.137		2800	94.014	70.734	264.241
1580	49.869	36.732	243.585		2850	95.859	72.163	264.895
1600	50.571	37.268	244.028		2900	97.705	73.593	265.538
1620	51.275	37.806	244.464		2950	99.556	75.028	266.170
1640	51.980	38.344	244.896		3000	101.407	76.464	266.793
1660	52.686	38.884	245.324		3050	103.260	77.902	267.404
1680	53.393	39.424	245.747		3100	105.115	79.341	268.007
1700	54.099	39.965	246.166		3150	106.972	80.782	268.601
1720	54.807	40.507	246.580		3200	108.830	82.224	269.186
1740	55.516	41.049	246.990		3250	110.690	83.668	269.763

Tablo-4 Azot, N₂'nin mükemmel gaz varsayımıyla özellikleri[L-1]

Gaz	Kimyasal Formülü	Gaz Sabiti R	C_{p0}	$C_{\infty 0}$	k
		kJ/(kg.K)	kJ/(kg.K)	kJ/(kg.K)	
<i>Hava</i>	-	0.2870	1.0050	0.7180	1,400
<i>Argon</i>	Ar	0.2081	0.5203	0.3122	1,667
<i>Bütan</i>	C₄H₁₀	0.1433	1.7164	1.5734	1,091
<i>Karbondioksit</i>	CO₂	0.1889	0.8460	0.6570	1,289
<i>Karbonmonoksit</i>	CO	0.2968	1.0400	0.7440	1,400
<i>Etan</i>	C₂H₆	0.2765	1.7662	1.4897	1,186
<i>Etilen</i>	C₂H₄	0.2964	1.5482	1.2518	1,237
<i>Helyum</i>	He	2.0769	5.1926	3.1156	1,667
<i>Hidrojen</i>	H₂	4.1240	14.3070	10.1830	1,405
<i>Metan</i>	CH₄	0.5182	2.2537	1.7354	1,299
<i>Neon</i>	Ne	0.4119	1.0299	0.6179	1,667
<i>Azot</i>	N₂	0.2968	1.0390	0.7430	1,400
<i>Oktan</i>	C₈H₁₈	0.0729	1.7113	1.6385	1,044
<i>Oksijen</i>	O₂	0.2598	0.9180	0.6580	1,395
<i>Propan</i>	C₃H₈	0.1885	1.6794	1.4909	1,126
<i>Su Buharı</i>	H₂O	0.4615	1.8723	1.4108	1,327

Tablo-5 Bazı bilinen gazların mükemmel gaz özgül ısıları (300⁰K sıcaklıkta)[L-1]

T	\bar{h}	\bar{u}	\bar{s}^0		T	\bar{h}	\bar{u}	\bar{u}	\bar{s}^0
K	kJ/kmol	kJ/kmol	kJ/(kmol.K)		K	kJ/kmol	kJ/kmol	kJ/kmol	kJ/(kmol.K)
0	0	0	0		600	22.280	17.291		243.199
220	6.601	4.772	202.966		610	22.754	17.683		243.983
230	6.938	5.026	204.464		620	23.231	18.076		244.758
240	7.280	5.285	205.920		630	23.709	18.471		245.524
250	7.627	5.548	207.337		640	24.190	18.869		246.282
260	7.979	5.817	208.717		650	24.674	19.270		247.032
270	8.335	6.091	210.062		660	25.160	19.672		247.773
280	8.697	6.369	211.376		670	25.648	20.078		248.507
290	9.063	6.651	212.660		680	26.138	20.484		249.233
298	9.364	6.885	213.685		690	26.631	20.894		249.952
300	9.431	6.939	213.915		700	27.125	21.305		250.663
310	9.807	7.230	215.146		710	27.622	21.719		251.368
320	10.186	7.526	216.351		720	28.121	22.134		252.065
330	10.570	7.826	217.534		730	28.622	22.552		252.755
340	10.959	8.131	218.694		740	29.124	22.972		253.439
350	11.351	8.439	219.831		750	29.629	23.393		254.117
360	11.748	8.752	220.948		760	30.135	23.817		254.787
370	12.148	9.068	222.044		770	30.644	24.242		255.452
380	12.552	9.392	223.122		780	31.154	24.669		256.110
390	12.960	9.718	224.182		790	31.665	25.097		256.762
400	13.372	10.046	225.225		800	32.179	25.527		257.408
410	13.787	10.378	226.250		810	32.694	25.959		258.048
420	14.206	10.714	227.258		820	33.212	26.394		258.682
430	14.628	11.053	228.252		830	33.730	26.829		259.311
440	15.054	11.393	229.230		840	34.251	27.267		259.934
450	15.483	11.742	230.194		850	34.773	27.706		260.551
460	15.916	12.091	231.144		860	35.296	28.125		261.164
470	16.351	12.444	232.080		870	35.821	28.588		261.770
480	16.791	12.800	233.004		880	36.347	29.031		262.371
490	17.232	13.158	233.916		890	36.876	29.476		262.968
500	17.678	13.521	234.814		900	37.405	29.922		263.559
510	18.126	13.885	235.700		910	37.935	30.369		264.146
520	18.576	14.253	236.575		920	38.467	30.818		264.728
530	19.029	14.622	237.439		930	39.000	31.268		265.304
540	19.485	14.996	238.292		940	39.535	31.719		265.877
550	19.945	15.372	239.135		950	40.070	32.171		266.444
560	20.407	15.751	239.962		960	40.607	32.625		267.007
570	20.870	16.131	240.789		970	41.145	33.081		267.566
580	21.337	16.515	241.602		980	41.685	33.537		268.119
590	21.807	16.902	242.405		990	42.226	33.995		268.670

Tablo-6 CO₂,Karbondioksitin mükemmel gaz varsayımı ile özellikleri[L-1]

T	\bar{h}	\bar{u}	\bar{s}^0		T	\bar{h}	\bar{u}	\bar{s}^0
K	kJ/kmol	kJ/kmol	kJ/(kmol.K)		K	kJ/kmol	kJ/kmol	kJ/(kmol.K)
1000	42.769	34.455	269.215		1760	86.420	71.787	301.543
1020	43.859	35.378	270.293		1780	87.612	72.812	302.217
1040	44.953	36.306	271.354		1800	88.806	73.840	302.884
1060	46.051	37.238	272.400		1820	90.000	74.868	303.544
1080	47.153	38.174	273.430		1840	91.196	75.897	304.198
1100	48.258	39.112	274.445		1860	92.394	76.929	304.845
1120	49.369	40.057	275.444		1880	93.593	77.962	305.487
1140	50.484	41.006	276.430		1900	94.793	78.996	306.122
1160	51.602	41.957	277.403		1920	95.995	80.031	306.751
1180	52.724	42.913	278.361		1940	97.197	81.067	307.374
1200	53.848	43.871	279.307		1960	98.401	82.105	307.992
1220	54.977	44.834	280.238		1980	99.606	83.144	308.604
1240	56.108	45.799	281.158		2000	100.804	84.185	309.210
1260	57.244	46.768	282.066		2050	103.835	86.791	310.701
1280	58.381	47.739	282.962		2100	106.864	89.404	312.160
1300	59.522	48.713	283.847		2150	109.898	92.023	313.589
1320	60.666	49.691	284.722		2200	112.939	94.648	314.988
1340	61.813	50.672	285.586		2250	115.984	97.277	316.356
1360	62.963	51.656	286.439		2300	119.035	99.912	317.695
1380	64.116	52.643	287.283		2350	122.091	102.552	319.011
1400	65.271	53.631	288.106		2400	125.152	105.197	320.302
1420	66.427	54.621	288.934		2450	128.219	107.849	321.566
1440	67.586	55.614	289.743		2500	131.290	110.504	322.808
1460	68.748	56.609	290.542		2550	134.368	113.166	324.026
1480	66.911	57.606	291.333		2600	137.449	115.832	325.222
1500	71.078	58.606	292.114		2650	140.533	118.500	326.396
1520	72.246	59.609	292.888		2700	143.620	121.172	327.549
1540	73.417	60.613	292.654		2750	146.713	123.849	328.684
1560	74.590	61.620	294.411		2800	149.808	126.528	329.800
1580	76.767	62.630	295.161		2850	152.908	129.212	330.896
1600	76.944	63.741	295.901		2900	156.009	131.898	331.975
1620	78.123	64.653	296.632		2950	159.117	134.589	333.037
1640	79.303	65.668	297.356		3000	162.226	137.283	334.084
1660	80.486	66.592	298.072		3050	165.341	139.982	335.114
1680	81.670	67.702	298.781		3100	168.456	142.681	336.126
1700	82.856	68.721	299.482		3150	171.576	145.385	337.124
1720	84.043	69.742	300.177		3200	174.695	148.089	338.109
1740	85.231	70.764	300.863		3250	177.822	150.801	339.069

Tablo-6 CO₂,Karbondioksitin mükemmel gaz varsayımı ile özellikleri[L-1]

17. SONUÇLAR

Bu proje , Metan hava karışımında (Grizu) oluşabilecek yanma olayının termodinamik çözümlenmesi için yapılmıştır.Projenin yararlı olacağına inanmakla birlikte proje hakkında yorum ve eleştirilerinize her zaman açık olacağımızı , teşekkürle karşılayacağımızı belirtmek isteriz.

Bu projede;

1. Üretim panosunda, bekleme barajı kapısını uygun görülen yerde önceden hazırlanacak şekilde çelik konstrüksiyon yapı olarak imal etmek isterseniz, kapı üzerine gelecek basıncı bilmek gerekir ki bu çalışma, yanma sonu ürünlerinin oluşturduğu ortak basıncı verebilmektedir.
2. Yanma ve patlamada şok dalgası varmıdır, hızı nedir, yansıyan şok dalgası oluşuyor ise basınç ve sıcaklığı hangi boyutlardadır, gibi sorulara da yine bu çalışma cevap vermektedir.
3. Yangının büyüklüğü yaklaşık olarak gözler önüne serilmektedir.
4. **Yukarıda adı geçen bütün bu bilgiler, gerçekleştirilen bir yazılımla bilgisayara sadece ocak açıklığı boyutları ve metan konsantrasyonu değerlerinin girilmesi ile tüm sonuçların elde edilmesini sağlamaktadır.**
5. Maddi ve manevi kayıplara yol açan ocak yangınlarına karşı önceden önlem sistemi (Şekil-8) projelendirilerek imalatı gerçekleştirilmiş ve uygulamaya konularak büyük bir başarı elde edilmiştir.

Mehmet Kemal DEDEMAN Araştırma ve Geliştirme Proje Yarışmasını düzenleyen, başta Sayın Nazire ve Murat DEDEMAN olmak üzere Dedeman Holding A.Ş. ye, çalışmayı inceleyecek olan Seçici Kurul'a , Termodinamik hocamız Sayın Yunus ÇENGEL'e teşekkür ederiz.

18 . KAYNAKLAR

1. **Prof. Dr. Yunus A. ÇENGEL-Prof.Dr. Taner DERBENTLİ** “Termodinamik” McGraw –Hill-Literatür Yayıncılık 1996 -İstanbul
2. **Prof. Dr. Yunus A. ÇENGEL-Tuncer ÖZKAN** “ email’leri”-2007
3. **Zeynel ERGİN** “Maden Kömürü Ocaklarında Patlamalar ve Önleme” TTK. Yayın No: 45- ZONGULDAK-1984
4. **John D.ANDERSON**,“Modern Compressible Flow” McGraw-Hill Publishing Company. TOKYO
5. **Prof.Dr. Ahmet Rasim BÜYÜKTÜR.** “Termodinamik” Uludağ Üniversitesi-1985
6. **Tuncer Özkan** “Sürtünmeli ADYABATİK Akış, Proje: MİSAG244”
7. **Prf.Dr Vedat DİDARİ** “Ocak Yangınları ve Patlamalar” Taşkömürü Dergisi Sayı 4 -1984
8. **TTK Bilgisayar Kullanıcı Programı**
 - **İsmet KAYA** APK D.Bşk.Yazılım Şube Müdürü
 - **Turgay ASLAN** APK D.Bşk.Programcı
9. **A.SPIVAKOVSKY-V.DYACHKOV-A.Münir CERİT** “ Götürücüler” MMO Yayınları
10. **Nuri ARUN - Hüseyin AKKOÇ** “Pnömatik İletim Temel Bilgileri” MMO Yayınları