

6. YAKITLAR

[\(Ref. e makaleleri\)](#)

Yanma Kontrolünde CO – O₂ – CO₂ İlişkisi

Yanma gazlarında bulunan oksijen (O₂) miktarı, yanma işleminde kullanılan fazla havanın bir ölçüsü olarak kabul edilmektedir. Yanma gazları zirkonyum oksit proflu bir analizöre gönderilerek oksijen, bundan yararlanılarak da fazla hava miktarı hesaplanır.

Yakın zamanda yanma gazlarındaki oksijen yerine karbon monoksit (CO) miktarı üzerinde durulmaya başlandı. Analiz yöntemi olarak da infrared absorpsiyon analizörleri seçildi. Böylece çıkış gazlarındaki SO₂, CO₂, azot oksitleri, v.s. gibi tüm gazların saptanması mümkün olabildi.

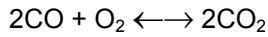
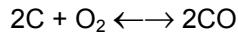
Yanma veriminin artırılmasına yönelik olarak gerek CO ve gerekse O₂ analizine dayanan çok sayıda yazı yazılmıştır. Burada, yanma prosesi kimyasal ve pratik yönlerden incelenerek, O₂ ve CO analizörlerinin yanma kontrolündeki fonksiyonlarının açıklanmasına çalışılacaktır.

Yanma Kimyası

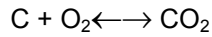
Yanma, bir yakıtın hava ile oksitlenmesi sonucu ısının açığa çıktığı kimyasal bir işlemdir. Yakıtın bileşiminde esas olarak karbon (C) ve hidrojen (H₂) bulunur.

Karbonun yanması, iki kademede tamamlanır. İlk kademede karbon monoksit (CO), ikinci kademede ise karbon dioksit (CO₂) oluşur. Yanma olayı, O₂ veya hava ile yapılabilir.

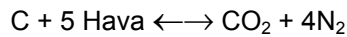
O₂ ile yanma,



veya,



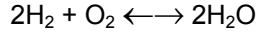
Hava ile yanma,



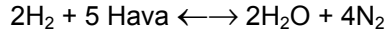
Reaksiyonlar, özel koşullarda tersinirdir.

1 lb C un CO₂ vermek üzere yandığı zaman 14 100 Btu açığa çıktığı bilindiğine göre, C u gaz olarak düşündüğümüzde, 1 ft³ CO in CO₂ e dönüşmesinde ise 340 Btu enerji elde edilir. Bu durumda 1 ft³ C un CO e dönüşmek üzere yanması sonucu ancak 130 Btu açığa çıktığı görülür.

Bu basit örnek, C un tam yanmaması halinde gerçek enerjinin ancak üçte birinden faydalanılabileceğini göstermektedir. Hidrojenin yanması,



veya,



şeklinindedir. Her iki denklemde de tam yanma olayı gösterilmiştir. 1 ft³ hidrojenin yanma enerjisi 290 Btu dur. Reaksiyon, C un yanmasında olduğu gibi tersinirdir.

Gaz Hesapları

$$p V = \frac{W}{M} RT$$

Genel gaz denklemini yukarıdaki eşitlikle verilir. Basınç (p) psia olarak ölçülürse hacim (V) ft³, mutlak sıcaklık (T) Reomür cinsindedir. R = 10,73 sabittir. W/M, gazın ağırlığının molekül ağırlığına bölümüdür ve birimi pound-moldür.

Bileşimlerin molekül ağırlığı, bileşimi oluşturan elementlerin molekül ağırlıklarının toplanmasıyla elde edilir. Şöyle ki; C = 12, H₂ = 2, O₂ = 32, N₂ = 28, S = 32 olduğuna göre, yanma ürünlerinin molekül ağırlıkları,

2 Karbon Monoksit (CO):	12 + 16 : 28
Su (H ₂ O):	2 + 16 : 18
2 Karbon Dioksit (CO ₂):	12 + 32 : 44
2 Sülfür Dioksit (SO ₂):	32 + 32 : 64
Sülfür Trioksit (SO ₃):	32 + 48 : 80
Metan (CH ₄):	12 + 4 : 16

Ağırlıklar pound olarak ifade edildiğinde, 12 pound C, 28 pound N₂, 44 pound CO₂ ve 16 pound metanın her biri 1 pound-mol dür.

Herhangi bir gazın 1 pound-mol ünün 32 °F (0 °C) derecede ve 760 mm. Hg basıncındaki hacmi sabit olup 359 ft³ tür.

$$14.7 \times V = 10.73 \times (32 + 459)$$

$$V = 359 \text{ ft}^3$$

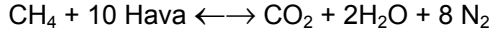
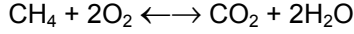
V nin değeri, doğal olarak sıcaklık ve basınçla değişir. Karışımdaki gaz maddelerin oranı ise T ve P ye bağımlı değildir. Bu nedenle gaz hesaplamalarında temel referans p ve T değerlerini kullanmak yanlış olmaz.

Yakıt-Hava Hesapları

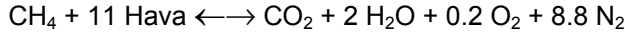
Burada, tamamıyla yanabilen ve tamamıyla yanabilen fakat bir miktar inert gaz içeren iki örnek gaza ait yakıt-hava hesaplamaları verilecektir.

1. Tamamıyla Yanabilen Gaz

Örnek olarak metan gazının yanma olayını izleyelim:



Yakma işlemi, hacimce %10 hava fazlasının bulunduğu ortamda yapılırsa, ilave %10 hava (0.2 O₂ + 0.8 N₂) olduğundan çıkış gazındaki oksijen, % 1.7 bulunur.



$$\text{O}_2 \% = \frac{0.2}{1 + 2 + 0.2 + 8.8} \times 100 = 1.7 \text{ (hacimce)}$$

"Fazla hava" yanma ürünlerine (yani baca gazına) göre değil, yakılan yakıta göre ifade edilen bir kavramdır. Uygulamada çıkış gazındaki O₂ tayini, havanın giriş sıcaklığından çok yüksek sıcaklıkta yapılır. Ancak % hacim hesabı yapıldığından sıcaklık ve basınç farkı, sonucu önemli derecede etkilemez. Bir gaz yakıtta kullanılan fazla hava miktarı, çıkış gazında bulunan % O₂ miktarını, 5-6 gibi bir faktörle çarparak yaklaşık olarak hesaplanabilir. Burada, gaz yakıtın inert ve O₂ içermemesi esastır.

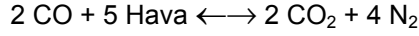
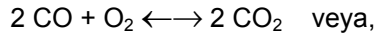
Metan gazının yanması sonucu %1.7 O₂ bulunduğundan,

$$\text{fazla hava} = 1.7 \times 5 - 1.7 \times 6 = \% 8.5 - 10.2$$

arasındadır Gerçekte ise %10 fazla hava kullanılarak yakma işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil-1(a)'da yakıt gazındaki oksijenin fazla hava ile olan ilişkisi görülmektedir.

2. Yanabilen Gaz ve İnert Gaz Karışımı

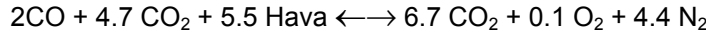
Gaz yakıt, yanabilen ve inert (yanamayan) gazlar karışımı olabilir. Örneğin CO yanabilen, CO₂ ise yanamayan bir gazdır. Hacimce (% 30 CO + % 70 CO₂ ve (% 10 CO + % 90 CO₂) bulunan iki ayrı bileşimdeki gaz yakıtın %10 fazla havayla yakılmasını inceleyelim. CO in temel yanma denklemi,



(a) %30 CO + %70 CO₂ gaz karışımında, 2 hacim CO için 4.7 hacim CO₂ vardır. Buna göre karışım gazın yanma denklemi aşağıdaki gibidir.

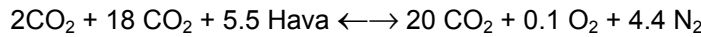
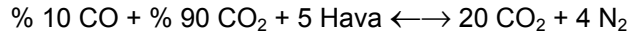


% 10 fazla hava olması durumunda, çıkış gazındaki O₂ % 0.9 dur.



$$\text{O}_2, \% = \frac{0.1}{6.7 + 0.1 + 4.4} \times 100 = 0.9 \quad (\text{hacimce})$$

(b) % 10 CO + % 90 CO₂ gaz karışımında, 2 hacim CO için 18 hacim CO₂ vardır. Karışımın normal hava ile yanma denklemleri ve çıkış gazındaki O₂ miktarı aşağıdaki gibidir.



$$\text{O}_2, \% = \frac{0.1}{20 + 0.1 + 4.4} = 0.4$$

Buradaki örneklerde, baca gazındaki O₂ miktarları %0.9 ve %0.4 dür. Oysa her iki yakıt da % 10 fazla havasında yakılmıştır. Yakıtta bulunan yanabilen gaz miktarının azalması, aynı miktarda fazla hava kullanılmasına rağmen baca gazında daha az % oksijen bulunmasına neden olur. Açıkça görülmektedir ki yanma gazlarında saptanan O₂ miktarı, fazla havanın bir ölçüsü olamaz. Veya %30 CO içeren yakıtın %10 fazla hava ile yanması sonucunda baca gazında %0.9 O₂ saptandığı için,

%10 CO li bir yakıtın aynı koşullarda yanmasında da çıkış gazında aynı miktar oksijen bulunmasını beklemek yanlıştır.

CO + CO₂ karışımı yakıtta, CO miktarının %10 a düşmesi durumunda, çıkış gazında % 0.9 O₂ bulunması istenirse, yakıtın yakılmasında kullanılacak fazla hava miktarının ne kadar olması gerektiğini hesaplayabiliriz. Normal hava ile yanma denklemini, fazla havayı A ile göstererek yazalım, (1 hacim hava 0.2 hacim O₂, 0.8 hacim N₂ dur):

$$2CO + CO_2 + (5 + A) \text{ Hava} \longleftrightarrow 20 CO_2 + 0.20 x O_2 + (4 + 0.8 A) N_2$$

$$O_2, \% = 0.9 = \frac{0.2 A}{20 + 0.2A + 4 + 0.8A}$$

A = 1.13 (fazla hava)

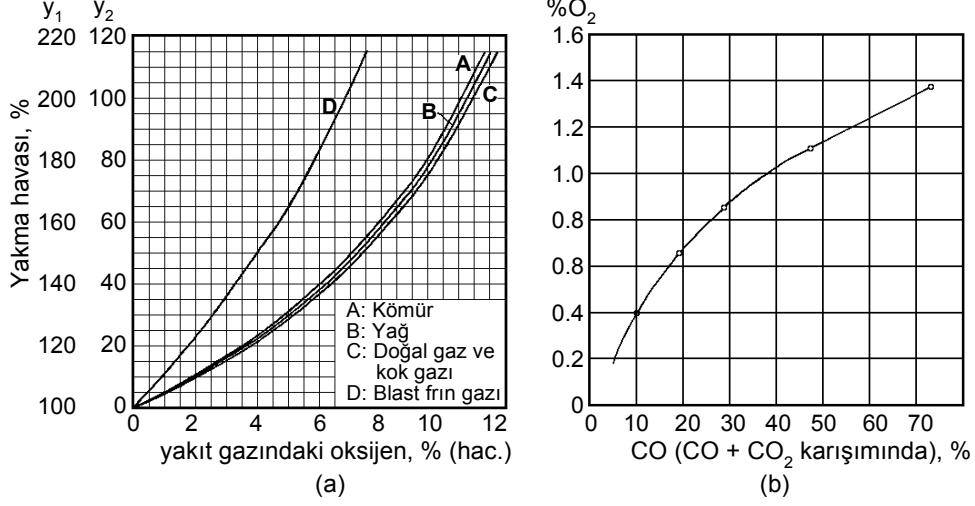
$$\text{fazla hava, \%} = \frac{1.13}{5} \times 100 = \%22.6 \text{ bulunur.}$$

Yanma gazında % 0.9 O₂ bulunabilmesi için, (% 30 CO + % 70 CO₂) karışımı bir yakıt %10 fazla havaya, (% 10 + % 90 CO₂) karışımı bir yakıt ise % 22.6 fazla havaya ihtiyaç gösterir. Proseste, iyi bir yanma için hesaplanan miktarın iki katının üstünde hava verilmesi gerekir.

Değişik oranlarda CO içeren (CO + CO₂) karışımı yakıtın, sabit, %10 fazla hava ile yakılmasıyla çıkış gazındaki %O₂ miktarı hesaplanarak yakıttaki % CO e karşı grafiğe alındığında Şekil-1(b)'deki eğri elde edilir.

İçinde inert gaz bulunan diğer yakıtlar için de benzer eğriler çizilebilir. Pek çok yakıtın bileşimi tam olarak bilinemeyeceğinden çıkış gazındaki CO₂ miktarı yerine, yakma havasındaki % fazla havanın sabit tutulması tercih edilmelidir.

Yakıt içindeki yanabilen maddeler miktarının uygun ekipmanlarla saptanabilmesi durumunda, çıkış gazındaki O₂ ayar-noktasının otomatik olarak ayarlanabilmesi de mümkün olmaktadır.



Şekil-1: (a) Çeşitli yakıtlar için yakıt gazındaki oksijenin fazla hava ile ilişkisi (y₁: toplam hava, y₂: fazla hava), (b) % 10 fazla hava olduğunda çıkış gazındaki % O₂'in, karışımındaki % CO ile ilişkisini, gösteren grafikler.

Btu Hesapları

1 pound karbonun yanması ile 14100 Btu ısı açığa çıkar. Karbonu gaz olarak düşünürsek, 1 pound-mol karbonun hacmi 359 ft³ tür; yani 1 pound karbon 359/12 = 30 ft³ tür. 1 ft³ karbon ise 14100/30 = 470 Btu enerjiye sahiptir.

Gazın ismi	Btu değeri (1 ft ³ için)	
	Gerçek	Hesaplanmış
Hidrojen (H ₂)	290	-
Karbon (C)	470	-
Benzen (C ₆ H ₆)	3774	3690
Karbon Monoksit (CO)	341	-
Bütan (C ₄ H ₁₀)	3180	3330
Etan (C ₂ H ₆)	1703	1810
Metan (CH ₄)	963	1050
Propan (C ₃ H ₈)	2440	2570
Etilen (C ₂ H ₄)	1631	1420
Sülfür (S)	360	-

Çeşitli gaz yakıtların yanma ısıları, C için 470, H₂ içinde 290 Btu alınarak kolaylıkla hesaplanabilir. Örneğin benzenin yanma ısı: $C_6H_6 = 6 \times 470 + 6 \times 290/2 = 3690$ Btu bulunur. Bu şekilde hesaplanan Btu değerleri yaklaşıktır. Bazı gazların 1 atm. ve 32 °F deki gerçek ve hesapla bulunmuş olan Btu değerleri yukarıdaki tabloda verilmiştir.

Çıkış Gazındaki Yanabilen Maddeler

Verimli bir yanma için uygun hava/yakıt oranının seçilmesi dışında etkin olan üç faktör: (1) fırındaki yakıt ve havanın iyi bir şekilde karıştırılması, (2) yakıt-hava karışımının yanabileceği sıcaklığa erişmesi, (3) yanma işleminin tam olabilmesi için, yakma sıcaklığının yeterli zaman sürecinde devam ettirilebilmesidir. Zaman, sıcaklık ve karıştırma olayı da önemli olan faktörlerdir.

Genel olarak mükemmel denilebilecek bir yakıt hava karışımı yoktur. Keza, mükemmel yanmayı sağlayacak şekilde karışımın sıcaklığını yanma sıcaklığının üstünde yeterli süre tutmak her zaman mümkün olamaz. Bu sebeplerden fırın çıkış gazlarında çoğunlukla yanmamış maddeler bulunur. Yanmanın kontrol altında sürdürülebilmesi, iyi bir yanma olayında üzerinde durulacak en önemli husustur. Yanmadaki üç temel faktör olan zaman, sıcaklık ve karıştırmanın yanında, çıkış gazlarındaki yanabilen madde miktarının minimum, yanma olayının da ekonomik olması önemlidir. Yakma havasındaki fazla havayı bir miktar arttırmakla, çıkış gazındaki yanabilen madde miktarını azaltmak mümkündür. Böyle bir yol izlenirken, yanma sonucu açığa çıkan yanma ısısından ne şekilde yararlandırıldığı da dikkate alınarak, enerji kaybına neden olmayacak şekilde dengenin sağlanması gerekir.

Gaz yakıtın hava ile karıştırılması, fuel oilün hava veya buharla iyi bir şekilde atomize edilmesine rağmen yanma olayı, damlacıkların sıvı yüzeylerinde gerçekleşir. Keza, kömürün yanmasında da aynı şekilde pulverize edilen kömür taneciklerinin katı yüzeyleri üzerinde yanma başlar. Kömür ve diğer katı yakıtların yakılması oldukça zordur. İri taneler halindeki kömürün toplam yüzey alanı, pulverize kömüre göre çok az olacağından yanması daha da zorlaşır. Baca gazındaki CO miktarı, uygun yakma koşulları altında 100-500 ppm. seviyelerinde olabilmektedir.

Yanma prosesi sırasında ve sonrasında, temel yanma reaksiyonlarından başka reaksiyonlar da olur. Örneğin, indirgen bir ortamda doğal gazın yakılmasıyla tamamıyla karbon olan lamba isi meydana gelir ve fırında karbonlaşmaya neden olur.

Çıkış gazında bulunabilecek az miktardaki yanabilen maddeler gerçekte fazla önemli değildir. Bunu bir örnekle açıklayalım: 100 000 lb/saatlik buhar jeneratörünün doğal gaz yaktığını varsayalım; verim %100 kabul edilirse kazan yaklaşık olarak 1000 ft³/sa 1000 Btu luk gaz ister. Bu miktarda gazın yakılabilmesi için de 1 000 000 ft³/sa havaya ihtiyaç vardır. Yakma işlemi %10 hava fazlası ile yapıldığında gerekli hava 1 100 000 ft³/sa dir. Bu koşullarda baca gazındaki CO in 200 ppm. (%0.02) olduğunu kabul edelim. ve CO in 500 ppm e yükselmesi halinde enerji kaybının % kaç olduğunu hesaplayalım.

CO in 200 ppm den 500 ppm e yükselmesiyle baca gazında 300 ppm lik (%0.03) bir CO artışı olacaktır. Bu miktar CO, ft³/saat cinsinden hesaplarınsa,

$$\frac{0.03}{100} \times 1\,000\,000 = 330 \text{ ft}^3/\text{saat CO dir.}$$

$$\text{Enerji} = 330 \times 340 = 112\,200 \text{ Btu}$$

112 200 Btu, 112.2 lb/saat buhar üretildiğine göre, çıkış gazında CO in 200 ppm den 500 ppm e yükselmesi sadece,

$$\frac{112.2 \times 100}{100\,000} = \% 0.1 \text{ enerji kaybına neden olur.}$$

Çıkış gazındaki CO in 500 ppm den 200 ppm e düşürülmesi için %1 fazla hava kullanılması düşünüldüğünde, bu miktar hava, 1 000 000 x 0.01 = 10 000 ft³/sa olacaktır. 10 000 ft³/sa hava, ortam ısısı 70 °F dan, baca gazı çıkış sıcaklığı olan 600 °F e ısıtılacağına göre, ne kadar enerjiye ihtiyaç vardır. Havanın öz ısısı 0.25 Btu/lb.hava.°F alındığında, 1 lb. havanın hacmi 359/28.8 = 12.5 ft³,

$$\frac{10\,000}{12.5} \times 0.25 \times (600-70) = 106\,000 \text{ Btu}$$

bulunur. Bu miktar enerji, 112 200 Btu ile kıyaslanabilecek düzeydedir.

Bir yanma işleminde, çıkış gazlarındaki CO veya yanabilen maddelerin kontrolüne göre yapılacak toplam hava akışı ayarlaması oldukça riskli bir yöntemdir. Çıkış gazındaki CO, çoğu zaman atomizasyonun iyi yapılamaması, yakıcıların kirlenmesi ve fırındaki kaçaklar gibi nedenlerden kaynaklanır. CO in sadece yakma havasının yetersizliğinden ileri geldiği varsayıldığında, otomatik olarak hava miktarı artırılırsa da ayar noktasının üstünde hala CO görülür. Böyle hallerde hava fazlası verimin düşmesine neden olabilir.

İyi bir verim elde edilmesi, baca gazındaki yanabilen madde miktarındaki büyük değişikliklerin, küçük miktarlarda hava artışı yapılarak sağlanmasıyla elde edilir. Bir fırın için genel kural, sistemin test şartları altında kontrol edilmesi ve kullanılan yakıtı göre optimum yakıt/hava oranının saptanmasıdır. Test sonuçları, şu bilgileri kapsmalıdır: (1) buhar üretim kapasitesi, (2) relatif hava akış miktarı, (3) çıkış gazındaki % O₂ miktarı, (4) çıkış gazındaki % yanabilen maddeler miktarı.

Çıkış gazındaki CO, çoğu hallerde yanabilen maddeler olarak kabul edilebilir; tam doğru ifade ise CO + H₂ toplamıdır. Yukarıdaki bilgilerden başka baca gazının sıcaklığı, yakıcının tipi ve yakıtın Btu değeri de bilinmelidir. Bir buhar üretim fabrikasındaki mühendis, test şartlarının daima yaklaşık değerler olduğunu bilir, günlük çalışmalarda karşılaşılan çeşitli zorluklara rağmen buhar jeneratörünü test koşullarına en yakın değerlerde çalıştırabilmek için gerekli tüm önlemleri alır.

Yakma Havası

Çoğu zaman, havanın bileşiminin sabit olduğu kabul edilir; kuru havanın bileşimi, aşağıdaki tabloda verildiği gibidir. Oysa havada, bulunduğu yere ve mevsime göre bir miktar nem vardır. Ayrıca çok az miktarlarda neon, helyum, kripton, ksenon ve ozon (O₃) bulunur. Bunlara ilaveten havada yine az miktarlarda hidrokarbonlar, hidrojen peroksit, kükürt bileşikler, klorürler, sülfürik asit ve toz vardır. Anlaşıldığı gibi hava heterojen bir karışımdır. Havadaki toz miktarı, temiz deniz havasında 250 tanecik/cm³ iken, tozlu bir ortamda 2 000 000 tanecik/cm³ seviyesindedir. Havada CO de bulunur ve temiz dağ havasında sıfır olan bu gaz, şehir havasında 50 - 100 ppm, endüstri bölgelerinde ise 200 - 400 ppm e kadar yükselir. Havada bulunan hidrojen, en temiz havada bile 100 ppm seviyesindedir.

Bileşenin ismi	% (hacimce)
Nitrojen (N ₂)	78.03
Oksijen (O ₂)	20.99
Argon (A)	0.93
Karbon dioksit (CO ₂)	0.03
Hidrojen (H ₂)	0.01
Toplam (Kuru Hava)	100.00

Hava Sızıntıları

Genellikle, fırındaki basınç atmosfer basıncına yakın değerdedir. Yakma gazları üniteye girdiği zaman basınç düşmeye başlar ve çekici fana yakın kısımlarda 10 inç su sütununa kadar düşebilir. Fırındaki basınç ile çıkış negatif basıncı arasındaki farktan kaynaklanan hava sızıntısı, yakma sıcaklığının altında bulunan kazan çıkışında meydana gelir. Hava sızıntısı ile beraber gelen baca gazında O_2 bulunduğu halde, esas yanmanın meydana geldiği fırında yeterli yanma havası olmayabilir. Bu durumda yakıt gazı hem O_2 ve hem de CO içerir.

Baca gazındaki CO in hava sızıntısına bağlı olmadığını söylemek doğru değildir. Yakma havasında sabit olmayan miktarlarda CO bulunur. Sızan havada CO olmaması halinde, baca gazındaki CO azalacak ve buna bağlı olarak kontrol sistemi yakma havasının miktarını azaltacaktır. Benzer şekilde eğer sızıntı havada fazla miktarda CO bulunuyorsa, sistem hava akışını arttıracak, fırına gereken miktardan fazla yakma havası çekilmiş olacaktır.

Uygulamada karşılaşılan sorunlar başlıca yakıcıların kirlenmesi ve uygun olmayan biçimde yerleştirilmeleri, hava ısıtıcılarının delinmesi, yakıt püskürtücülerinin tıkanması ve fırın bafıllarının arızalanmasından ileri gelmektedir.

Yüksek sıcaklık zirkonyum oksit problemler 2800 °F gibi sıcaklıklarda hem O_2 ve hem de yanamayan maddeleri algılayabilmektedir. Bu tip analizörler halen çelik, cam, alüminyum ergitme fırınlarında kullanılmakta olup, buhar üretiminde henüz uygulamaya alınmamıştır. Normal zirkonyum oksit problemler ise 1400-1500 °F da çalışırlar ve kazan fırın kısmına en yakın yere monte edilirler.

Yanma prosesinde, çıkış gazındaki O_2 miktarını tayin eden zirkonyum oksit problemler analizörler son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, eser miktarda CO tayini yapan İnfrared analizörler de yanma kontrolünde kullanılmaya başlanmıştır. Ancak her iki sistem de tek başına yanma prosesinde karşılaşılan sorunları çözmekte yeterli olamamaktadır.

Zirkonyum oksit – O_2 analizörü ile infrared – CO analizörünün fonksiyonlarını bir arada toplayan mikroprosesser kontrol sistemleri ile, flue gazdaki O_2 ve CO miktarları tayin edilerek fırın havasının kontrol altında tutulması mümkün olabilmektedir. Oksijen kontrolüne dayanan yüksek ve düşük ayar noktalarıyla yakıt-hava oranı, CO 1000 ppm i geçmeyecek şekilde ayarlanabilmektedir.

Katı Yakıtlar

Katı yakıtlar başlıca kömür, kok, odun ve odun kömürüdür. Ayrıca bazı katı kalıntılar da yakıt olarak kullanılabilirlerdir.

Kömür: Kömürün kaynağı bitkilerdir; milyonlarca yıl öncesinin ağaç, çalı, eğrelti, turba (yosun türleri) asma kütüğü gibi bitkilerinin parçalanmasıyla oluşmuştur. Kömür, metamorfizm (başkalaşım) derecesine göre sınıflara ayrılır. Sınıflamada kömürdeki nem, karbon, kül, kükürt miktarları dikkate alınır. %98-86 karbon, %2-14 uçucu madde içeren sınıf "antrasitik" olarak tanımlanır; başlıca meta-antrasit, antrasit ve semiantrasitlerdir. Karbon miktarının % 75 - 69, uçucu bileşenlerin % 14-31 arasında değiştiği sınıf "bitümlü" maddelerdir; düşük, orta, yüksek uçucu bütünlü kömür olarak bilinirler; kalorifik değerleri 14000 - 11500 Btu/lb dolayında değişir. Subbitümlü ve lignitik sınıflarda karbon ve uçucu madde miktarları değişkendir; kalorifik değerler birinci grup için 11500-9500 Btu/lb, ikinci grup için 8300-6300 Btu/lb arasında değişir.

Kok: Kömür, zift, petrol kalıntıları ve diğer karbonlaşabilen maddelerin karbonizasyonundan elde edilen katı, gözenekli ve ergimeyen kısma kok denilmektedir. Koklar yüksek sıcaklık, dökme, düşük ve orta sıcaklık koku olarak sınıflandırılır. Kömür katranından elde edilene "katran (veya zift) koku", petrolden elde edilene "petrol koku" denir.

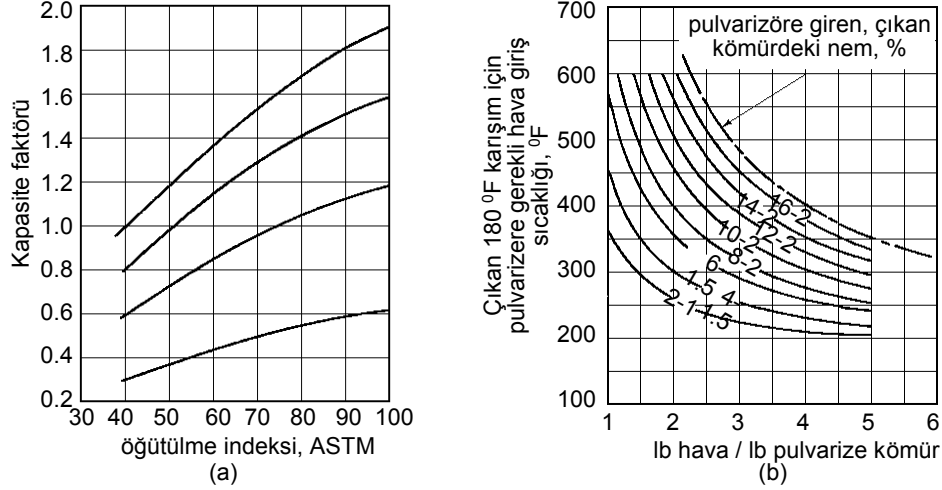
Odun: Reçine ağaçları dışındaki değişik ağaçların ısı değeri, kuru haldeki ağırlıklarıyla orantılıdır. Reçineli ağaçların ısı değerleri diğerlerinden daha yüksektir.

Pulverizörler (Eziciler, Öğütücüler)

Katı yakıt süspansiyon yakma sisteminin kalbi pulverizördür. Kömürün kurutulması, pulverizöre taşınması, sınıflandırılması ve istenilen incelikteki taneciklerin beke gönderilmesi hava ile sağlanır; bu hava, yakmada kullanılan havanın bir kısmıdır. Pulverizörler pozitif veya negatif basınçta çalışmalarına ve hızlarına (düşük, orta, yüksek) göre gruplandırılır.

Pulverizasyon darbe, aşınma veya parçalamayla olur. Bir pulverizörün kapasitesi kömürün istenilen incelikte öğütülmesine bağlıdır. (Şekil-2a). Ayrıca, kömürdeki nem miktarı da kapasiteyi etkiler. Nemin fazla olması durumunda primer havanın sıcaklığı artırılır (Şekil-2b). Pulverize kömürün 200 mesh elek (74 mikron) boyutunda olması gerekir.

Kömür-incelik eğrileri, %,
200 meşden geçen nominal kapasite B8W
bilyalı pulverizör, %70 i 200 meş elekten geçer



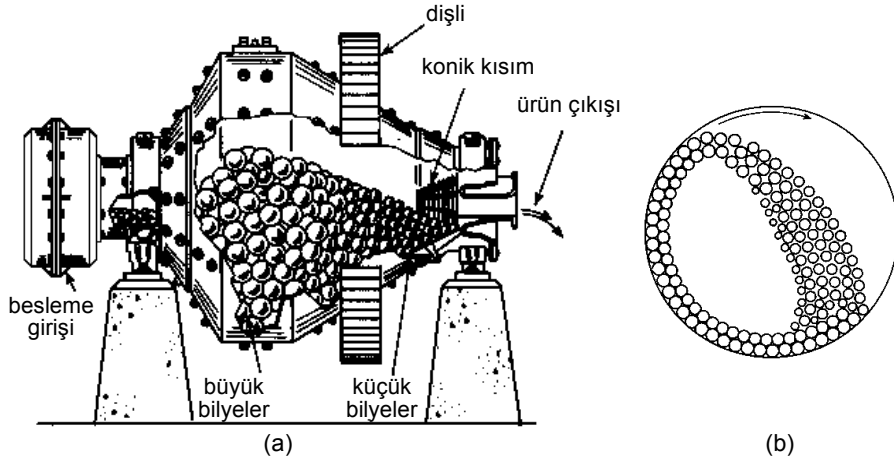
Şekil-2: (a) Kömürün öğütülebilme özelliğine ve öğütülen kömürün inceliğine göre pulverizör kapasitesinin değişmesi, (b) pulverizör kapasitesine nemin etkisi

Kömürün öğütülmesinde en çok kullanılan öğütücüler bilyalı, darbeli, merdaneli ve toplu pulverizörlerdir.

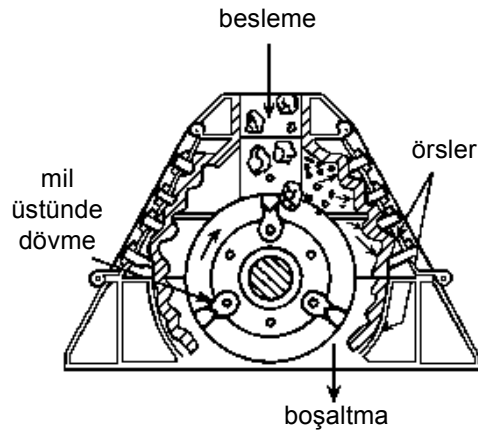
Bilyalı değirmen, uzunluğu çapından daha büyük olan ve yatay dönen bir silindiridir. İçi (yarıdan biraz azı) 1-2 inç çapında bilyelerle doldurulmuştur. Değirmen dönerken bilyeler ve kömür karışımı da hızla döner. İşlemde darbe, aşınma ve parçalama biraradadır. Büyük kömür parçaları darbeyle kırılır, sonra bilyelerin yuvarlanma ve kaymasıyla ince tanecikler oluşur. Şekil-3(a)'da konik bir bilyalı değirmen 3.3(b)'de değirmendeki bilyelerin hareketi görülmektedir.

Darbeli değirmen kapalı bir odacıkta dönen bir dizi çekiçtir. Öğütme iri tanelerin parçalanması ve küçüklerin aşınmasıyla olur (Şekil-4).

Merdaneli ve toplu pulverizatörlerde kömür iki yüzey arasında öğütülür; biri diğeri üzerinde döner. Dönen eleman bir merdane veya top (bilye) olabilir, yakalanan katı taneler bu iki eleman arasında sıkıştırılarak parçalanır..



Şekil-3: Konik bir bilyalı değirmenin, (a) şematik görünümü, (b) bilyelerin hareket şekli



Şekil-4: Darbeli değirmen

Brülörler (Yakıcılar)

Buhar üretiminde pulverize kömür kullanılması, uygun fırın dizaynıyla sağlanır. En önemli konu yakıt ve havanın fırına düzenli bir şekilde verilebilmesidir. İyi bir dağılıma ve gelen yakıtın hızla yanması, ayrıca sürekli olarak oksijen takviyesi türbülensle sağlanır. Bunlar bek seçimi ve kullanımında başlıca özelliklerdir.

Pulverize kömürü yakma, yakıtın fırına injeksiyon şekline göre sınıflandırılır: (1) dikey, (2) tanjantsal (teğetsel), (3) yatay, (4) siklon (hortum), (5) zıt-eğimli, yakmalar.

Buhar üretim ünitelerindeki fırınlarda olduğu gibi, bu yöntemde çeşitli modifikasyonlar ve kısmen birleştirmeler yapılabilir. Yakma yöntemleri ve fırın konfigürasyonları Şekil-5'de görülmektedir.

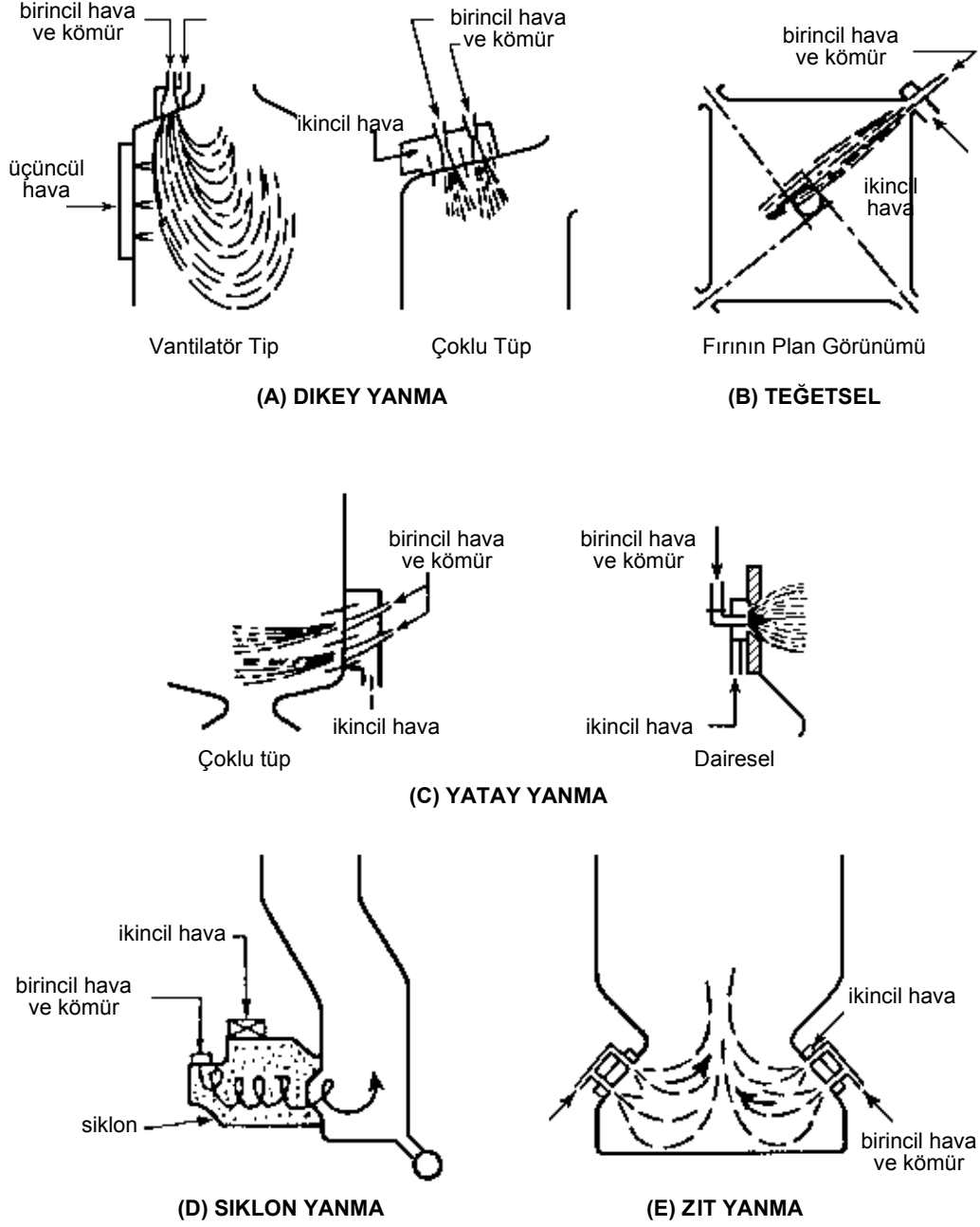
Dikey yakmada U şeklinde alev oluşturulur (Şekil-5a). Bu tip alev, yakılması zor olan katı yakıtlar için oldukça uygundur. Bu konfigürasyon merkezi güç ünitelerinde fazla kullanılmaz. Modern ünitelerde kömür ve havanın hızla brülörde karıştırıldığı sistemler kullanılır. Birincil (primer) hava toplam yakma havasının %10-20 sini oluşturur. İkincil hava (secondary) kalan kısımdır ve brülörde primer hava ve kömürle karışarak hızlı bir yanma sağlar. Brülörden çıkan karışımın hızı, primer hava-kömür borusunda geri püskürmemesi için yeteri kadar yüksek olmalıdır. Primer hava-kömür borusunda hız, pratikte 50 ft/sn dolayındadır.

Teğetsel yakma işleminde (Şekil-5b) yakıcılar, kare şeklindeki bir fırının her bir köşesinde dikey konumdadır ve fırının merkezindeki hayali bir daireye doğru yönlendirilmiştir. Böyle bir dizayn dikey merkez hattı üzerinde büyük bir vorteks (girdap) oluşmasına yol açar.

Yatay yakmada büyük miktardaki yakıt akımı geniş bir alanda çabuk ve düzgün bir şekilde dağıtılır. Çok tüplü ve dairesel dizaynları vardır (Şekil-3.5c).

Siklon yakma teğetsel ve yatay dizaynların bir karışımıdır (Şekil-3.5d). Daha ince tanecikler süspansiyonda yanarken, kalınlar santrifüj kuvvetle siklon fırının dış duvarına atılır. Duvar yüzeyinde yapışkan bir kaplama vardır ve yanıcaya kadar tanecikleri bırakmaz.

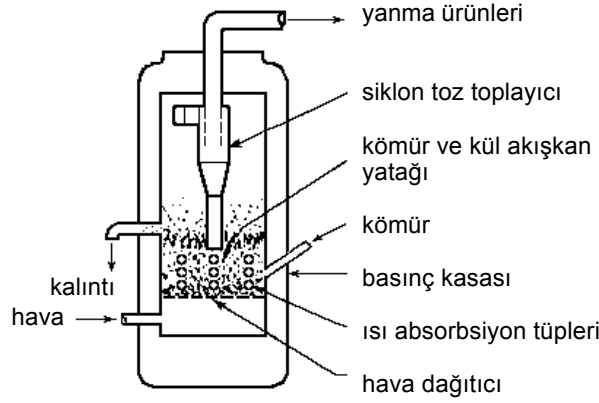
İkincil hava siklon fırının üstünden teğetsel olarak verilir; kaba taneciklerin yanması bu havanın katkısıyla tamamlanır.



Şekil-5: Pulverize kömürü yakmada kullanılan brülör ve fırın konfigürasyonları.

Akışkan Yatakta Yakma İşlemi:

Kömürün akışkan-yatak yöntemiyle yakılması son yıllarda çok rağbet edilen bir yöntemdir. Yöntemin avantajları: (1) Yakıt-yatak sıcaklıkları düşüktür (1800°F ~ 980°C). Sıcaklığın düşük olması, azot oksitlerin ve bazı kömürlerde kükürtlü kalıntıların az olmasını sağlar. Keza, kömürden buharlaşan sodyum ve potasyumun daha az miktarda olmasıyla kalıntı ve ısı transfer yüzeylerindeki korozyon azalır. (2) Isı-absorbsiyon yüzeylerine ısı-transfer hızları yüksektir (100 Btu/sa. ft. $^{\circ}\text{F}$ dolayında); tüpler, doğrudan yatak içine daldırılabilir. (3) Başarılı bir akışkan-yatak uygulaması, aynı kapasitedeki bir pulverize-kömür yakan buhar jeneratörüne göre, %10 ekonomi sağlar. Şekil-6'da bir akışkan-yataklı yakma sistemi görülmektedir.



Şekil-6: Basınçlandırılmış akışkan yataklı bir fırının şematik görünümü.

Sıvı Yakıtlar

Petrolden uçucu bileşenler ayrıldıktan sonra kalan kısma fuel oil denilmektedir. Ham petrol bazan olduğu gibi yakılabilir; bu haliyle hafif fraksiyonlar (benzin ve daha hafifler) nedeniyle alevlenme noktası düşeceğinden tehlikelidir. Endüstriyel amaçlarla kullanılan fuel oil, ham petrolden benzin, gazyağı, gaz oil ve hafif fuel oil ayrıldıktan sonra kalan ağır fuel oildir.

Fuel oil'in önemli özellikleri öz ağırlık (spesifik gravite), ısıtma değeri, viskozite, alevlenme ve yanma noktası, kükürt, kül ve donma noktasıdır.

Fuel oil satışı hacim bazında yapıldığından yoğunluk çok önemli bir özelliktir. Standart yoğunluk 60 °F da ölçülür ve 60 °F daki suya göre verilir; çoğunlukla API (American Petroleum Institute) derecesiyle tanımlanır.

$$API = \frac{141.5}{\text{öz ağırlık, } 60^{\circ}F/60^{\circ}F} - 131.5$$

Tüm petrol ürünlerinin öz ağırlığı ile en yüksek ısı değeri arasında bir bağıntı vardır; U.S. Standart Büro tarafından verilen bağıntı,

$$\text{Sabit hacimde yanma ısı, Btu/lb} = 22320 - 3780 \times (\text{öz ağırlık, } 60^{\circ}F/60^{\circ}F)$$

Fuel oil NBS (National Bureau of Standards) ye göre beş grupta standardize edilir: (1) uçucu, (2) orta uçuculukta, (3) düşük viskoziteli, (4) orta-viskoziteli, (5) yüksek viskoziteli. Detaylı bilgi tablo-5 te verilmiştir.

Ağır fuel oil (veya No.6) başlıca viskozitesiyle tanımlanır. Karbon % 87.3, hidrojen % 10.8, kükürt % 1.2, azot % 0.2, oksijen ve diğerleri % 0.5 ve en yüksek ısı değeri 18 500 Btu/lb dolayındadır.

Fuel oilin depo tanklarından alınıp brülör nozullarına verilmesi için filtreler (süzgeç), yağ ısıtıcıları, pompalar, otomatik regülatörlerden ve gerekli yardımcı bağlantılardan oluşan kalabalık bir sistem kullanılır.

Sıcaklık ve basınç

Yakıtın depo tanklarına pompalanması veya tanktan ısıtıcılara verilmesi sırasında °F da olması yeterlidir. Buhar-atomizer (sislendirme) brülörler kullanıldığında 185 °F dolayında bir sıcaklık gerekir. Mekanik atomizasyonda yakıtın akıcılığı daha fazla olmalıdır, bu nedenle 220 °F gibi bir sıcaklık uygun olur.

Buhar-atomizör bekler için yağ pompalama basıncı 2–125 psi arasında değişir. Basınç, yakıt pompalama sistemine bağlıdır, brülör kapasiteleri atomizasyonda kullanılan buhara göre değişir.

Mekanik atomizasyonda, atomizasyona yeterli olacak miktarda yağ basıncı uygulanır. Bu nedenle gerekli basınç yüke ve kullanılan püskürtücü (sprayer) levhaya bağlı olup 50 – 250 psi aralığında değişir.

Brülörler

Yağ brülörleri atomizasyon tipine göre üç sınıfta toplanır: (1) hava- atomizörlü, (2) buhar-atomizörlü, (3) mekanik-atomizörlü.

Hava-Atomizörlü Brülörler: Bu tip brülörlerin kullanımı fazla yaygın değildir, bu nedenle detaya girilmeyecektir. Düşük, orta ve yüksek basınçlı tipleri vardır.

Buhar-Atomizörlü Brülörler: Yakıt ve havanın, bek nozulundan dışında veya içinde karışmasına göre, (a) dışta karıştırmalı ve (b) içte karıştırmalı nozullar olmak üzere iki gruba ayrılır.

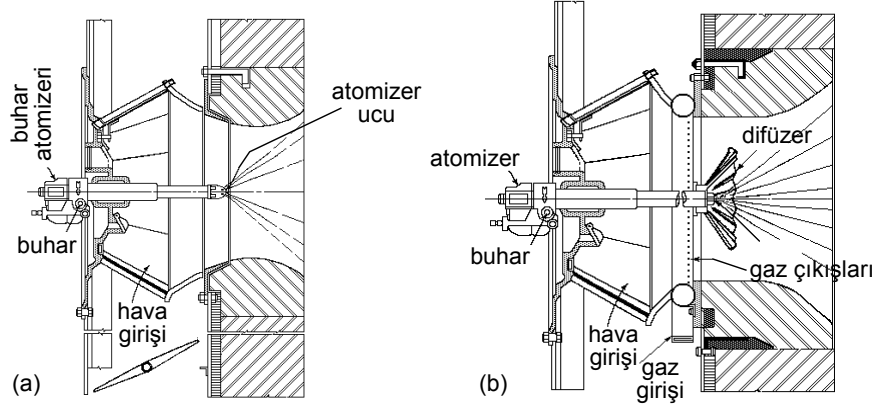
Dışta karıştırmalı nozullar düz bir alev verir ve doğal-çekişli brülörlerle kullanılır. Hava miktarı, fırın çekişinin değişmesiyle ayarlanır. Bu tip brülörler, orta kapasitelerinin istendiği küçük tesislerde kullanılır.

İçte karıştırmalı nozullar, kullanılan kafanın dizaynına göre düz veya konik bir alev verirler. Konik alev veren nozullar endüstriyel buhar ünitelerinde çok kullanılır. Doğal çekişli sistemlerde hava, hem fırın çekişiyle, hem de bek nozulundan çıkan buharın çekişiyle girer; hava giriş kanalındaki klepe, giren havayı ayarlar. Giren havanın basıncı ve hacmi, nozulların yakıt-injeksiyon kapasitesine bağlıdır.

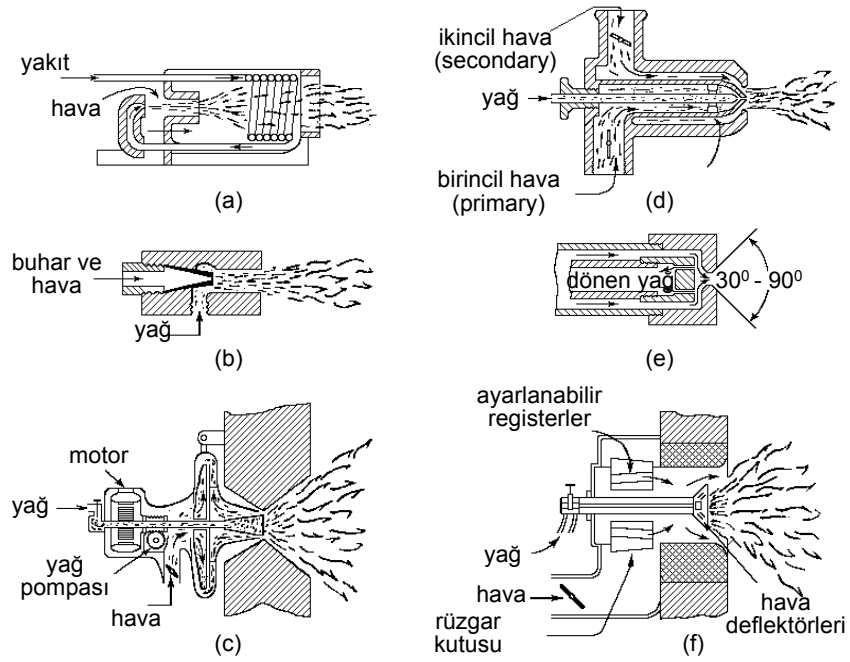
Buhar-atomizerli zorlamalı-çekişli bir bek Şekil-7(a)'da görülmektedir. Hava giriş kanalında bulunan çok kanatlı bir regülatör hava miktarını ayarlar. İçte-karıştırmalı buhar atomizörü keskin konik şekilli bir alev verir; alevin şekli ve yakıt kapasitesi, kafanın değiştirilmesiyle sağlanır.

Mekanik-Atomizörlü Brülörler: Bu tip beklerde dört temel element bulunur; atomizer, difüzer, hava regülatörü ve refraktör malzemedeki bek-boğaz açıklığı. Atomizer yakıtı, mekanik olarak ince ve sis gibi düzgün taneciklere ayıracak şekilde dizayn edilmiştir; bu durumda gereken yakma havası minimum düzeyde olur. Difüzör, dönen, delikli, konik şekilde, içi boş metal bir siperdir; mekanik-atomizerin fırın ucu yakınında bulunur, sprayı yüksek hızdaki havadan korur ve alevin atomizer kafasından fazla uzağa yayılmasını engeller. Hava regülatörü,

yakıt beki sisteminin bir parçasıdır; üstüste bulunan bir dizi klepelerden oluşur ve havanın fırın boğazında doğru yönde ilerlemesini sağlar. Refraktör bek-boğaz açıklığı, havayı alevin etrafında en uygun konumda bulunduracak şekilde dizayn edilmiştir; brülör yakıtına ısıyı yansıtarak en iyi yanmayı gerçekleştirir. Şekil-7(b)'de tipik bir mekanik atomizerli brülör sistemi görülmektedir. Şekil-8'de çeşitli bek tipleri verilmiştir.



Şekil-7: (a) Tipik birer konik-alevli, zorlamalı-çekişli buhar atomizerli, ve (b) mekanik atomizerli brülör örnekleri



Şekil-8: (a) Basınçlı, hava atomizerli, (b) yüksek basınçlı buhar veya hava atomizerli, (c) yatay döner-kaplı atomizerli, (d) düşük basınçlı hava atomizerli, (e, f) mekanik veya yakıt basınçlı, brülörlerin şematik görünüşleri

Gaz Yakıtlar

Buhar üretiminde kullanılan gaz yakıtlar doğal gaz, ocak-fırın gazı, karışık rafineri gazı, kok-fırın gazıdır. Bu yakıtların özellikleri içerdikleri gazların oranları ve cinslerine göre değişir. Ayrıca sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG), oil gazlar, asetilen ve hidrojen de yakıt gazlarıdır. Yakıt gazlarının en önemli özellikleri tutuşma sıcaklığı, alevlenme sıcaklığı ve yanma sonunda elde edilen ısıdır.

Endüstride kullanımı en yaygın olan yakıt gazı doğal gazdır; diğerleri üretim proseslerinden çıkan yan ürünler olduğundan, üretildiği fabrika dışında, fazla önem taşımazlar.

Doğal Gaz: Az hava ile yanar ve hemen hemen hiç kalıntı bırakmaz, bu nedenle ideal bir yakıttır. Esas olarak metandır; az miktarda etan, karbon dioksit ve azot içerir. Bazen çok az hidrojen sülfür de bulunabilir. Oksijene, sadece atmosferde süzme yapıldığında rastlanır. Bazı Teksas kaynaklı doğal gazlarda eser miktarda helyum bulunur.

Gaz yakıtlar havada kolaylıkla dağıldığından bir ön hazılığa gerek olmaz. Tutuşma sıcaklığına ulaşıldığında ve uygun bir türbülens sağlandığında yanma süresi kısadır. Yanma gaz ve havanın karıştırılma koşuluna göre iki yolla olur. Birincisinde gaz ve hava tutuşmadan önce karıştırılır (bunzen bekinde olduğu gibi); bu durumda yanma hidrosilasyonla ilerler. Hidroksillenen hidrokarbonlar ve oksijenden aldehitler oluşur. Isı ve ilave oksijen aldehitleri parçalar ve H_2 , CO , CO_2 ve H_2O meydana gelir. İlk karıştırmada karbon, aldehitlere dönüştüğünden, alev sönsen bile is oluşmaz.

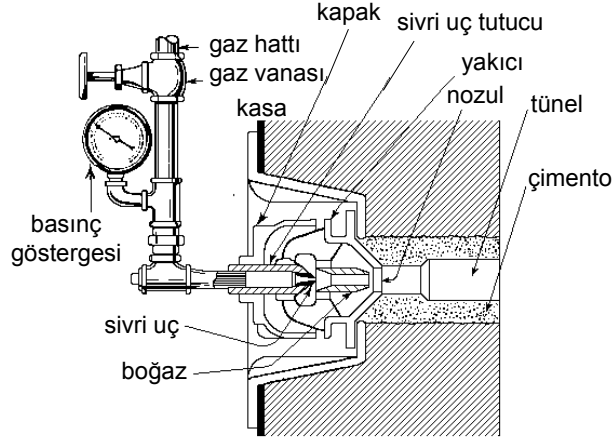
İkinci yol, ısıtılan hidrokarbonların oksijen ilave edilerek parçalanmasıdır (kraking). Hidrokarbonlar ısıtıldığında karbon ve hidrojen vererek bozunur; yeterli oksijen ilavesi halinde CO_2 ve H_2O meydana gelir. Oksijenin yeterli olmaması veya yanma işleminin tamamlanmadan kesilmesi halinde is ve karbon siyahı oluşur. Metan ve diğer hidrokarbonların yanma verileri tablolardan bulunabilir.

Brülörler

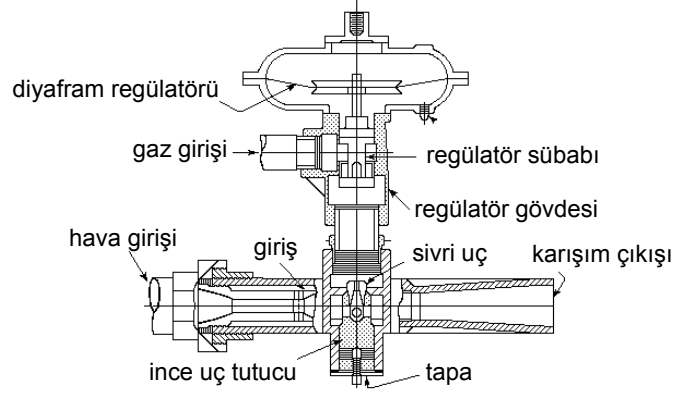
Gaz yakma brülörleri, (a) ön-karıştırmalı ve (b) nozul-karıştırmalı olarak iki grupta toplanır.

Ön-Karıştırmalı Brülörler: Bunlar hidrosilasyonla yanar, fırın koşullarına göre doğal-çekişli veya zorlamalı-çekişli çalışır. Şekil-9a'da doğal çekişli bir endüstriyel

bek görülmektedir; sivri uçta ve boğazda hava akımı bulunur. Şekil-9(b)'deki brülörlerde gaz, yüksek basınçlı hava ile havalandırılır; aspiratöre verilen hava bir diyafram regülatörle kontrol edilir.



(a)

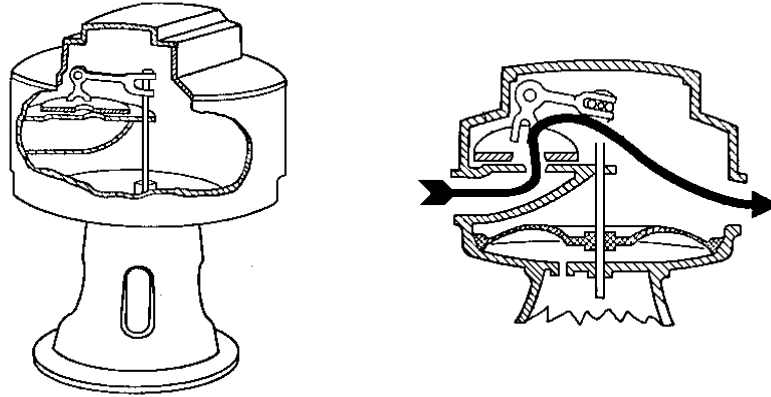


(b)

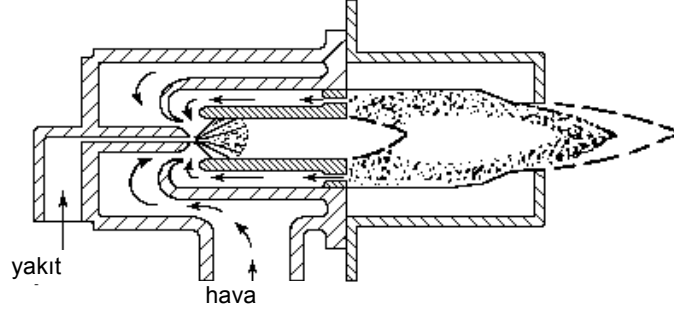
Şekil-9: Ön karıştırmalı brülörler; (a) hava kontrollü atmosferik, (b) diyafram kontrollü yüksek basınçlı, gaz bekleri

İnert gaz üretiminde olduğu gibi hava kontrolünün hassas olması gerektiği durumlarda beke giden yakıt ve havanın çok iyi ayarlanması gerekir. Şekil-10'da bu amaçla kullanılan tipik bir karbüratör sistemi görülmektedir; sistem, gaz ve havanın ön-ayar değerlerinde verilmesini sağlar. Şekil-11'deki yüksek akış hızlı bek çeşitli gaz yakıtlar için kullanılabilir. Tam bir ön-karıştırmalı bek olmamasına rağmen, çalışma sıcaklıkları ve karıştırma şekliyle ön-karıştırmalılara benzer sonuç verir.

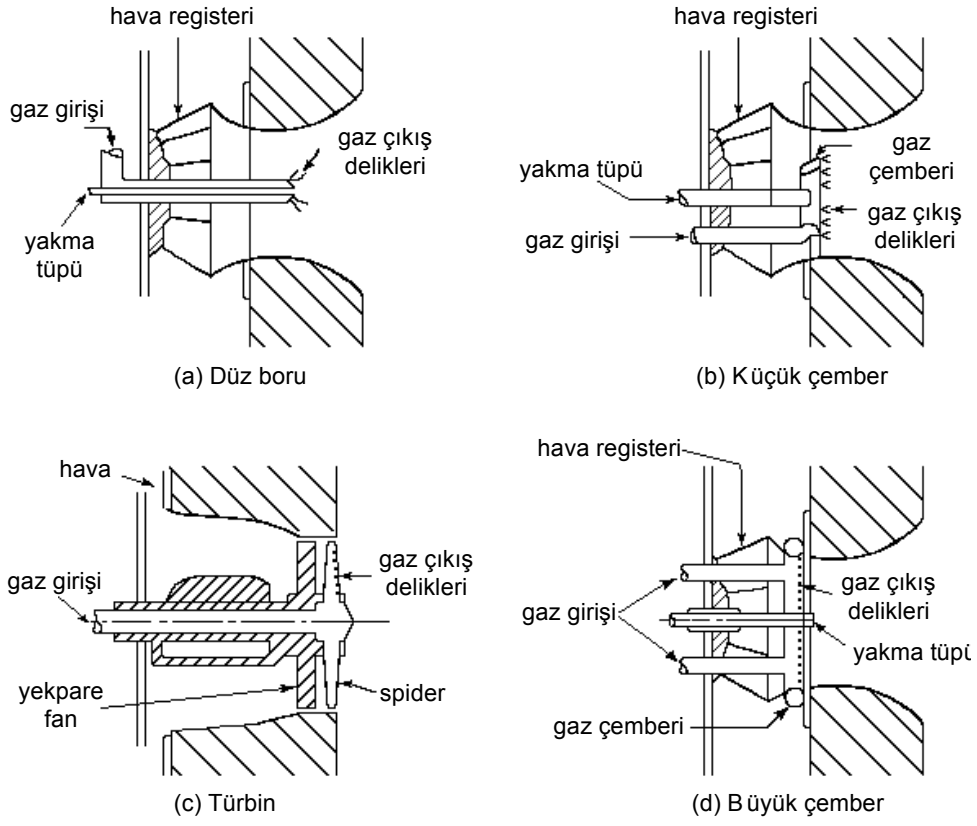
Nozul-Karıştırmalı Brülörler: Bunlarda hava ve gaz brülörün son ucunda karışır. Hava-karıştırmalı brülörler, Şekil-12'de görüldüğü gibi dört yöntemle yerleştirilir. Brülör standart zorlamalı-çekilidir; gaz, giriş borusunun sonundaki deliklerden emilir. Bu yöntem kolaydır, fakat büyük delikler kullanıldığından gaz karıştırma sorunlar yaratır; sık sık parlak gaz alevi meydana gelir (Şekil-12a). Bunu önlemek için brülörün merkezine küçük çaplı borular konular veya brülör ucunun dışına geniş çaplı çemberler takılarak çıkış yayılır. Çemberlerde çok küçük delikler bulunur ve kolayca tıkanmasına rağmen gazı hava içinde daha iyi dağıtır (Şekil-12 b,c). Bek girişine bir örümceğin yerleştirildiği sistemlerde gaz birkaç radyal kol yoluyla verilir. Örümcek deliklidir, çubukların kenarlarından çıkan yüksek basınçlı gazın etkisiyle döner. Örümcek bir fana bağlıdır ve hareketi sonucu zorlamalı çekiş oluşur (Şekil-12d). Bu tip bir yerleşim fazla havanın yakından kontrolünü sağlayan bir türbülens yaratır.



Şekil-10: Bir karbüratörün şematik görünümü



Şekil-11: Yüksek hızlı brülör



Şekil-12: Gaz ve havanın brülörde çeşitli şekillerde karıştırılması.

HAVA KİRLENMESİ

Yakıt cihazları, meydana gelen kirlenmelerin çoğunu kaynağında etkisiz hale getirecek şekilde dizayn edilmelerine rağmen, yine de atmosfere verilen atıklar vardır. Atmosfer kendi kendini temizleyen bir ortamdır, ancak bu işlem saatler ve hatta bazen günler alır. Yüksek nüfus yoğunluğu, ağır trafik ve yaygın endüstriyel tesisler, atmosferin hızla kirlenmesine yol açmaktadır. Hava kirliliği yapan maddeler olarak gazlar (NO_2 , SO_2), asılı tanecikler, özel tanecikler (benzende çözünen organik maddeler, benzopren, amonyum tuzları, nitratlar, sülfatlar) sayılabilir. İç yanmalı motorlardan çıkan karbon monoksit ve azot oksitleri, sülfürlü yakıtlardan oluşan kükürt dioksit, otomobil eksozlarından ve endüstriyel proseslerden oluşan hidrokarbonlar hava kirliliğinin başlıca kaynaklarıdır. Hava kirliliğinin askari düzeye indirilmesi için pek çok önlem alınmaktadır. Güç ünitelerinde 1200 ft (365 m) e varan bacalar kullanılarak çıkan SO_2 nin dağılması sağlanır. Gaz atıklar, yakıtın önceden temizlenmesiyle azaltılır; kimyasal reaksiyonlarla yanabilen ve zararsız atıklara dönüştürülür, absorberlerde tutulur. Tozlu atıklar uygun toz tutuculardan geçirilir.

Katı, sıvı, gaz atıkların uyması gereken standart şartnameler bulunur. Günümüzün en önemli konularından olan çevre korumacılığı üzerinde tüm dünya hassasiyetle durmakta ve modern teknolojilerle desteklenmektedir.