

# **YAKITLARDA YANMA VE ENERJİ REAKSİYONLARININ ÇEVRE İLE TEMEL İNCELEMESİ**

**GAZBİR GAZMER DOĞAL GAZ VE ENERJİ  
EĞİTİM BELGELENDİRME DENETİM VE  
TEKNOLOJİK HİZMETLER LTD. ŞTİ. (MERKEZ)**

Esentepe Mah. Cevizli D100 Güney Yanyol No:25 / 2073  
Lapis Han 34860 Soğanlık/Kartal/İstanbul/Türkiye  
[www.gazmer.com.tr](http://www.gazmer.com.tr)  
[info@gazmer.com.tr](mailto:info@gazmer.com.tr)

Mustafa Ali AKMAN  
GAZBİR-GAZMER Genel Müdürü

Mahmut Raci ÖZKESEN  
GAZBİR-GAZMER Eğitim Uzmanı

Merve ASLAN  
GAZBİR-GAZMER Eğitim Uzmanı

Serkan UÇAR  
GAZBİR İşletmecilik Standartları Komisyonu

## GİRİŞ

Türkiye artan nüfusu ve sürekli gelişen ekonomisi ile enerji ihtiyacı gün geçtikçe hızla artan, hali hazırda enerji talebinin büyük bir kısmını ithal eden bir ülkedir. Sürdürülebilirlik “Bugünün gereksinimlerini, gelecek nesillerin gereksinimlerini karşılama yeteneğinden taviz vermeden karşılama” şeklinde tanımlanmaktadır. Enerjinin üretimi, dağıtımı ve kullanımında, çevre ile uyumlu, güvenli, kaliteli, verimli, operasyonel açıdan etkin, sürekli gelişim bakış açısıyla inovasyon ve Ar-Ge'yi önceleyen, her kesime katkı sağlayan bir sürdürülebilirlik yaklaşımına sahip olunması önemlidir.

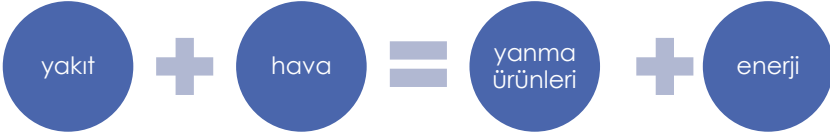
Bu çalışmada, günlük yaşamın ve endüstrinin önemli konularından olan enerjinin ana kaynağı olan yakıtların yanma reaksiyonları ve enerjinin açığa çıkması olayını, yanma'nın temel açıdan incelenerek ve oluşan yanma ürünlerinin çevresel etkilerdeki rolü gibi konulara genel olarak değinilmiştir.

Çalışmanın amacı ve hedef kitle; enerji sektöründe görev alan Mühendis ve Teknik Elemanların yanma-enerji-çevre üçlüsünde farkındalıklarını arttırmak, bilgilerini güncellemek, sağlıklı değerlendirme ve aksiyon alma süreçlerine katkı ve fayda sağlanmasını teminen hazırlanmıştır.

# YANMA

## YANMA NEDİR?

Bir yanıcı maddenin oksijenle reaksiyona girerek ısı yaydığı kimyasal sürece YANMA denir.



Teknik bir cevap olduğu çok açık. Konuyu biraz daha basitleştirebilmek için, YANMA ÜÇGENİ ni hatırlayalım.



Bu üçgende kenarlardan biri bile olmadığında yanma da olmayacaktır. Burada yer alan Oksijen yerine hava yazmakta yanlış değildir. Sonuçta yanmayı gerçekleştiren havanın içindeki Oksijendir.

YANMA NEDİR? Sorusuna dönelim,

En basit şekliyle maddenin Oksijenle tepkiye girmesidir diyebiliriz. Oksijen ve Flor gibi reaktif elementler gerçekten çok yaramaz ve haşarıdır. Kendinden başka neredeyse her elementle tepkimeye girebilirler.

## YANMA ÜÇGENİ; YAKIT

Yakıt ya da yanıcı madde, fiziksel ve kimyasal yapısında (yükseltgenme/parçalanma) bir değişim meydana geldiğinde ısı enerjisi açığa çıkaran her türlü maddenin genel adıdır. Yakıtların esas maddesini organik karbon teşkil eder. Isı, bu organik karbonun oksijen ile reaksiyonu sonucunda açığa çıkar. En bilinen yakıtlar esas olarak hidrojen ve karbondan meydana gelir. Onlara hidrokarbon yakıtlar da denir ve  $C_nH_m$  genel formülü ile gösterilirler.

Yanıcı maddeler, katı, sıvı ve gaz halde bulunurlar. Yanan veya yanıcı maddeleri yani YAKITları sınıflandıracak olursak:

### Katı Yakıtlar



Katı formda karbon içeren yakıtlardır. En bilinen örnekleri kömür ve odun olarak verilebilir. Yanma sırasında ısının etkisi ile yanıcı gazlar ortaya çıkar ve bu gazlar Oksijenle tepkimeye girerek yanmayı gerçekleştirir. Bir katı yakıtın yanması sıvı ve

gazlara göre daha karmaşık bir süreçtir.

Katı yakıtlarda, oksijen-yakıt-ısı dengesini doğru oranlarda kurmak çok zordur. Bu sebeple yanma reaksiyonu başlar fakat tam anlamıyla doğru oranlar tutturulamadığından tamamlanamaz. Böyle durumlarda yanma reaksiyonu yarım kaldığından elde kül, karbon monoksit ve nitrojen oksit kalır. Karbon monoksit ve nitrojen oksit ve kül karışımı insan için maruz

kalındığında çok tehlikeli sonuçları olabilir. Bu karışım aynı zamanda katı yakıtlardan çıkan dumanın da bileşenlerini oluştururlar. [3]

## Sıvı Yakıtlar

Sıvı veya sıvılaşılabilen yakıtlardır. (Örnek; benzin, benzol, mazot, solvent, katran, alkoller, mum vb.). Temel özellikleri korsuz ve alevli yanmalardır.

Benzin vb. sıvı yakıtlar genel olarak yanma sırasında gaz haline geçer ve Oksijenle tepkimeye girerek yanmayı gerçekleştirirler.



Sıvı yakıtlar yakıldığında bacadan duman çıkmaması beklense de yakıt hava oranında oluşabilecek değişikliklerde duman oluşumu gözlenecektir. Beyaz duman genellikle havanın fazla olduğunun, siyah duman ise yakıtın çok havanın az olduğunun göstergesi olarak tanımlanabilir.

## Gaz Yakıtlar

Gazlar (Asetilen, LPG, Doğal gaz vb.), maddesel formları gereği hava ile çok kolay karışabildiğinden yanmaya hazır yakıtlardır. Kendilerine has en alt tutuşma sıcaklığı ile muhatap olduklarında derhal (~1µs -mikro saniyede) yanarlar. Katı ve sıvılardaki gibi bir gazlaşma sürecine ihtiyaçları yoktur.



Gazların yanabilmesi için belirli bir miktarda hava ile karışım oranında bulunmaları gerekir buna alt ve üst patlama limitleri denir. Bu oran yanma/patlama aralığı olarak tanımlanır

## YANMA ÜÇGENİ; OKSİJEN



Oksijen ( $O_2$ ) atmosferin aktif, havanın içerisindeki yaşamın sürdürülebilirliğini sağlayan bileşendir; soluduğumuz havanın hacimce %20,94'ünü veya ağırlıkça %23'ünü oluşturur. Renksiz, kokusuz ve tatsızdır. <sup>(1)</sup>

Yanma olayının YAKIT tan sonraki en önemli faktörü Oksijen, canlılar ve cansızlar için çok önemlidir ve uzmanlar, havadaki Oksijenin %21 oranından bir puan artması durumunda, her yıldırım düşmesi sonucu çıkacak orman yangın risklerini %70 artabileceğini söylemektedirler.

İsminin tarihine baktığımızda KESKİN, EKŞİ sivri anlamına gelen Oksi ile DOĞURAN/ÜRETEN anlamına gelen Genes sözcüklerinden gelmez.

İşin ilginç Oksijen demirle bile reaksiyona girerek oksidasyon tepkimesi sonucu KOROZYON/PASLANMA dediğimiz çok yavaş ilerleyen yanmalara neden olmaktadır. Çok sık kullandığımız OKSİTLENME sözcüğü de gerçekte Yanmayı ifade etmektedir.



Tahmin edileceği gibi korozyon, bir kıvılcıma, tutuşturucuya veya alev bulunmadığı halde mümkün olmaktadır.

Buna benzer diğer ilginç örnek ise,

**YAĞLI ELLE OKSİJEN TÜPLERİNE DOKUNMA !** uyarısı ile bildiğimiz



yüksek Oksijen karışımlarında karşılaşılan şiddetli yanma ve hatta patlamalardır. Bırakalım gres veya bakım işlerinde kullandığımız her tür yağları, çalışanların yağlı bir cilde sahip olması durumunda bile için çok

ciddi tehdit oluşturur. Yüksek oranlarda oksijen herhangi bir sıcaklık ve ısıya ihtiyaç duymadan yanabilen her şeyle tepkimeye girer.

Yanma sırasında kullanılan oksijen genellikle havadan elde edilir ve dolayısı ile yanma üzerinde önemli parametre olarak hava/yakıt oranı karşımıza çıkar.

Yanma reaksiyonlarında en yüksek verimi alabilmek için yakıt tipine en uygun "Hava Yakıt Oranı – H/Y"na ulaşmak hedeflenir.

## **Hava yakıt oranı (H/Y)**

Yanmanın gerçekleşmesi için yanma odasına alınan hava ile yakıtın hacimsel ya da kütleli miktarlarının oranına denir. Genellikle kütleli oran olarak alınır. H/Y ile gösterilir. Yani Hava – yakıt oranı (HY)yanma işleminde birim kütle yakıt başına kullanılan hava miktarını anlatır.

$$AFR = H/Y = \frac{m \text{ hava}}{m \text{ yakıt}} \text{ AFR:Air Fuel Ratio(Hava Yakıt Oranı)}$$

## Teorik veya Stokiyometrik Hava/Yakıt Oranı

Bir yakıtın tam yanması için gereken minimum hava miktarına stokiyometrik veya kuramsal hava denir. Buna göre kuru-hava için teorik kütleliel hava yakıt oranı hesaplanır.

Cinsi fark etmeksizin her yakıtın kendine has stokiyometrik (ideal) hava-yakıt karışımı oranı vardır. İdeal yakıt-hava karışımı oranında, yanma sonrası emisyonlarda yanmamış yakıt ve oksijen kalmaz.

$$\frac{H}{Y} = \frac{O_{min}}{0,232} = \frac{1 \text{ kg yakıtı yakmak için gereken Oksijen kütleli}}{0,232 \text{ kgO}_2/\text{kgHava}}$$

Not: Burada  $O_{min}$  birim kg yakıtın yanması için gerekli minimum oksijen( $O_2$ ) miktarıdır ve 0.232 faktörü ise hava içindeki oksijenin ( $O_2$ ) kütleliel oranıdır. Yani 1kg kuru havada 0.232 kg oksijen bulunur.

## YANMA ÜÇGENİ; SICAKLIK

Yanma üçgeninde yer alan diğer bileşen SICAKLIK olarak yazdığımız Yakıtı tutuşma sıcaklığına getiren enerjidir. Yakıtın oksijen ile temas etmesi yanma işleminin başlaması için yeterli olmamaktadır. Yanmanın başlaması için yakıtın tutuşma sıcaklığının üstüne getirilmesi gerekmektedir. Yakıtın ihtiyacı olan tutuşma sıcaklığına göre değişik kaynaklardan sağlanabilir.



## Kendi Kendine Tutuşma Sıcaklığı:

Bir yakıtın kıvılcım veya alev gibi bir dış ısı kaynağı olmadan atmosfer şartlarında tutuşabileceği en düşük sıcaklıktır.

Bilinen bazı maddelerin yaklaşık olarak kendi kendine tutuşma sıcaklıkları:

Yakıt Adı	Tutuşma Sıcaklığı °C
Odun	250 - 350
Zeytinyağı	200 - 220
Tereyağı	120 - 150
Linyit	250 - 400
Taşkömürü	400 - 500
LPG	400
Mazot	250
Benzin	280
<b>Metan</b>	<b>550 - 650</b>

Burada dikkati edilmesi gereken bir konuda; tutuşma sıcaklığı daha düşük olan bir yakıtın daha tehlikeli olup olmayacağıdır.

Örnek vermek gerekirse;

Tutuşma sıcaklığı 280°C olan Benzin ve 250 °C olan Mazot yakıtlarını karşılaştıralım.

Benzin 'in tutuşma sıcaklığı yüksek olduğundan Mazot' un daha tehlikeli olduğu sonucuna gitmek mantık olarak mümkün. Ancak durum öyle değildir. Benzin mazottan 500 kat daha riskli ve tehlikelidir.

Benzin  $-40^{\circ}\text{C}$  itibarı ile bünyesinden yanıcı gazlar çıkarmaya ve bu gazlar hava ile karışmaya başlar.

Mazot için ise bu değer  $+52^{\circ}\text{C}$ dir. Sonuçta kendi kendine tutuşma noktası daha yüksek olsa dahi Benzini buzun üzerine dökseniz bile tutuşturabileceksen, mazotu tutuşturamazsınız. Mazotun ısıtılması gerekir. Kaynaklar bunu sıvı yakıtlarda PARLAMA NOKTASI olarak ifade etmektedirler.

## YANMA TÜRLERİ (YANMA ŞEKLİNE GÖRE)

### Yavaş Yanma

Yavaş yanma olayına birçok yayında Yanma tanımı içinde yer verilmez. Ancak burada konumuz Yanma ve bunun sonucunda ortaya çıkan Enerji olduğu için konunun anlaşılması açısından değerlendirmeye alınmıştır.



Örnek: Metallerin korozyonu; Demir (Fe) ve Bakır (Cu) gibi metallerin, zamanla havanın oksijeni ile birleşmesi sonucunda (  $\text{FeO}$  " Demiroksit " ve  $\text{CuO}$  " Bakıroksit " oluşması, canlıların hücrelerinde gerçekleşen solunum olayları.

Yavaş yanma için başka bir örnek ise biz canlılar için verilebilir. Yediğimiz besinlerin, soluduğumuz Havadaki Oksijen ile yakılması sürecidir. Korozyon ve biz canlılar için verdiğimiz örneklerde yanma yavaş olmaktadır.

## Hızlı Yanma

Yanma için gerekli enerji başlangıçta dış etki ile (ateşleyici kaynak) sağlanırsa da daha sonra yanma sırasında açığa çıkan moleküllerin henüz parçalanmamış madde yüzeylerine çarpması yanmanın sürekliliğini sağlar.

Isınma ve sanayide kullandığımız yakıtların YANMASI hızlı yanmadır. Bu yanma süreçlerinde ışık da görülmektedir. İşte bu ışığa ATEŞ veya ALEV diyoruz.

Örnek: Bildiğimiz tüm Fosil yakıtların yanmasıdır. Yanma sırasında Alev (ateş), Kuvvetli Isı, Işık, Korlaşma görülür.



## Patlama

Katı, sıvı veya gaz halindeki patlayıcı maddelerin, kapalı alanlarda kıvılcım, reaksiyon veya şok etkisiyle tetiklenmesi sonucu, kendi hacimlerinden katlarca büyük hacimli gazlara dönüşmesi ve saliseler içerisinde yüksek derecede ısı, ışık, gaz, ses ve basınç meydana getirerek hava içerisinde aniden ve şiddetle yayılması olayına patlama denir. Bu patlamalara genel olarak Kimyasal Patlama

adı verilir. Patlamaların hızlı yanmadan farkı enerji boşalma hızının daha yüksek olmasıdır.



Patlama sonucu meydana gelen sıcaklık, açığa çıkan ısı miktarına, gaz ürünlerinin hacimlerine ve oluşan patlama ürünlerinin spesifik ısılarına bağlıdır.

Örnek: Kapalı alanlarda gerçekleşen, çok çok hızlı yanma olaylarıdır.

## **Kendiliğinden Yanma**

Yavaş yanmanın, zamanla hızlı yanma haline dönüşmesidir.

Özellikle yağ ve yağlı yüzeyler, normal hava sıcaklığında, oksijen ile birleşmek sureti ile kolayca oksitlenmeye başlar ve oksijen ile yağın birleşmesi sonucu ısı oluşur, bir süre sonra oluşan ısı, alevlenme derecesine ulaşır ve madde kendiliğinden alev alır.

Örnek: Bezir yağına bulaşmış bir bezin, bir süre sonra kendi kendine alev alarak yanmaya başlaması örnek verilebilir.

## **YANMA ARALIĞI & PATLAMA SINIRI**

Bilindiği gibi, yanmanın olabilmesi için yakıtla birlikte Oksijen gerekliliğinden havaya ihtiyaç vardır. Dolayısı ile bir karışım gerekmektedir.



## ZENGİN KARIŞIM

- Yakıt % : UEL den büyük
- Yetersiz hava, yanma yok

UEL



## YANMA ARALIĞI

- Yakıt %: LEL ile UEL arasında
- Yeterli hava/yakıt karışımı;  
Yanma aralığı

LEL

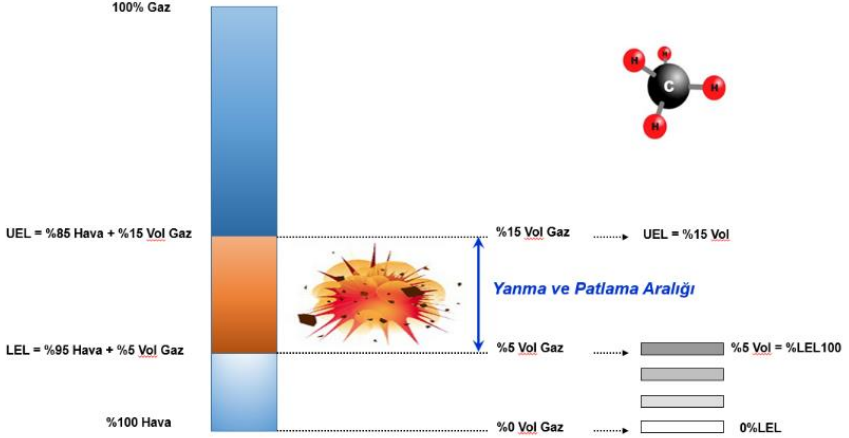


## FAKİR KARIŞIM

- Yakıt % : 0 ile LEL arasında
- Yetersiz yakıt, yanma yok

Karışımın oranı yanmanın olup olmamasını belirlediği gibi, yanma reaksiyonunun da tipini belirler. Bir yakıt üzerinden örnek vermek için doğal gazı esas alalım. Doğal gazın hacimce en yüksek miktarda olan bileşeni metan gazı için teorik yanma aralığı; %5 - 15 dir. Yani 100 m<sup>3</sup> lük bir hacim de 5 m<sup>3</sup> metan 95 m<sup>3</sup> hava olduğu durumda yanma mümkün olmaktadır. Yanma, karışım oranı 15 m<sup>3</sup> metan 85 m<sup>3</sup> hava olana kadar devam eder. Karışımın içerisindeki metan gazı üst limitin üzerine çıktığında yanma sonlanacaktır.

Buradaki %5 değeri Alt Patlama Sınıırını (LEL), %15 değeri ise Üst Patlama Sınıırını (UEL) tanımlamaktadır. Bu sınırların dışında kalan değerlerde yani %5 in altı ve %15 in üzerindeki karışımlarda yanma olayı gerçekleşmez.



KISALTMA	AÇILIM	TANIM
LEL	Lower Explosive Limit	Alt Patlama Sınıır
UEL	Upper Explosive Limit	Üst Patlama Sınıır

Aşağıdaki tabloda bazı maddelerin teorik Alt ve Üst Patlama Sınırları verilmiştir. Unutmayalım yanma aralığı da bu iki değer arasında olup, reaksiyonda yanma gerçekleşmeden patlama da gerçekleşmeyecektir.

MADDE	Formül	LEL(%)	UEL(%)
METAN	CH <sub>4</sub>	5	15
ETAN	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	3	12,5
PROPAN	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	2,12	9,35
HEKZAN	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	1,18	7,4
ETİLEN	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	2,75	28,6
PROPİLEN	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	2,00	11,10
AMONYAK	NH <sub>3</sub>	15,5	27,06
ASETİLEN	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	2,5	80,00
HİDROJEN	H <sub>2</sub>	4	77
BENZEN	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	1,4	7,1
METİL ALKOL	CH <sub>4</sub> O	6,72	36,5
ETİL ALKOL	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	3,28	18,95

Bu aralıklarda gerçekleşen yanma olayı ile ortama ısı salınımı olur ve gerçekleşen olaya ekzotermik (Isı açığa çıkaran) reaksiyon adı verilir.

Asıl önemli olan tüm Teknik Konularda okullardan başlayarak Ülkemizde kullanılan kavramsal dilin (terminolojinin) çok fazla çeşitlenmesidir. Yukarıdaki konuyla ilgili yayınlarda geçen ifadeler incelendiğinde;

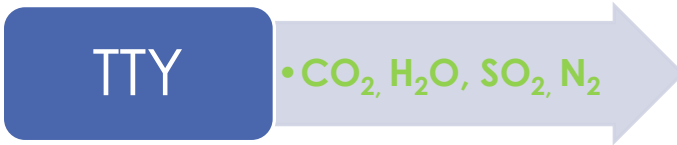
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı, alevlenme sıcaklığı, alevlenme noktası, ateş noktası, ateşleme sıcaklığı, yanma noktası yanma sıcaklığı, parlama noktası, parlama sıcaklığı v.b tanımlamalar değişik yayınlarda kullanımlarına rastlanmaktadır. Tutuşma ve yanma sıcaklıkları aynı anlamda birçok yayında kullanılırken, parlama ve alevlenme terimleri özellikle sıvı yakıtların anlatıldığı yayınlarda aynı anlamda kullanılmaktadır. Ateşlenme sıcaklığı veya ateş noktası az kullanılmakla birlikte her iki tarafa yani Tutuşma ve parlama ifadelerine yakın anlamlarda kullanıldıkları da gözlemlenmiştir.

## YANMA TÜRLERİ

### REAKSİYON ŞEKLİNE GÖRE [3]

#### Teorik Tam Yanma (TTY)

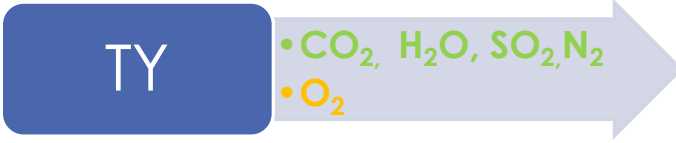
Reaksiyona giren yakıt moleküllerinin tamamının yandığı yanma gazları içerisinde sadece CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub> ve N<sub>2</sub>'nin bulunduğu ve yanmada minimum miktarda O<sub>2</sub>'nin kullanıldığı yanma şeklidir. Yanmış gazlar içerisinde yanıcı bileşen bulunmamaktadır. Hava fazlalık katsayısı (HFK)= $\lambda$ = 1'dir.





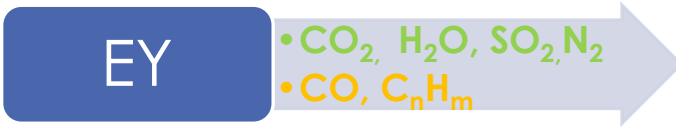
## Tam Yanma (TY)

Yakıtın yanması için gerekli hava miktarı teorik tam yanmada kullanılan havadan daha fazla olduğundan yanma gazları içerisinde  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{SO}_2$  'den başka hava fazlalığı nedeniyle  $\text{O}_2$  de bulunur.  $\text{HFK}=\lambda > 1$ 'dir.



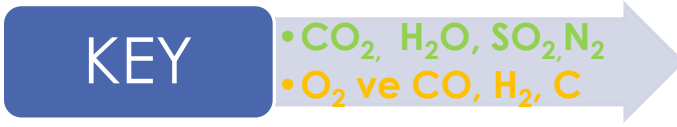
## Eksik Yanma (EY)

Yanma esnasında hava miktarı tam yanma için yeterli olmadığına gelişen reaksiyondur. Yetersiz hava, yetersiz oksijen anlamına geldiğinden yanma ürünleri içerisinde  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{N}_2$ 'nin yanı sıra noksan yanma ürünleri olarak bilinen  $\text{CO}$ ,  $\text{C}_n\text{H}_m$  (yanmamış hidrokarbon) gibi bileşikler de bulunur. Özellikle içten yanmalı motorlarda, zengin karışım sebebiyle bazen zorunlu olarak karşılaşılır.  $\text{HFK}=\lambda < 1$ 'dir.



## Kısmi Eksik Yanma (KEY)

Yanmada, oksijen yetersizliğinin yanı sıra, yakıt yetersizliği de yanma karışımının yetersiz olması, sıcaklık değişkenliği ve yakıtın yanma hacminde kalış süresi yetersizliği gibi sebepler ile oluşan reaksiyondur. Bunun sonucu yanma gazları içerisinde "CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>" 'den başka "O<sub>2</sub> ve CO, H<sub>2</sub>, C" gibi eksik yanma ürünleri görülür.  $HFK=\lambda > 1$ 'dir



Bazı element ve yakıtlar için stokiyometrik (teorik) yanma denklemleri aşağıda gösterilmektedir.

Yakıt	Molekül Kütlesi kg/kmol	Reaksiyon Denklemi	Reaksiyon Isısı	
			Kj/kg	Kj/Nm <sup>3</sup>
Karbon	12	$C+O_2 \rightarrow CO_2$	32.796	---
Hidrojen	2	$H_2+0,5O_2 \rightarrow H_2O$	141.886	12109
Metan	16	$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2+ 2H_2O$	55.900	37.743
Etan	30	$C_2H_6+3SO_2 \rightarrow 2CO_2+3H_2O$	51.870	66.768
Propan	44	$C_3H_8+5O_2 \rightarrow 3CO_2+4H_2O$	50.000	96.500
Bütan	58	$C_4H_{10}+6,5O_2 \rightarrow 4CO_2+5H_2$	49.540	125.562

# YANMA & ENERJİ

## ENERJİ NEDİR?

Enerji genellikle ve en basit şekilde iş yapma kapasitesi veya eşdeğeri olarak tanımlanır. Kelimenin kendisi, antik Yunanca 'da etkinlik, faaliyet anlamına gelen Energeia kelimesinden gelir. Muhtemelen ilk olarak, milattan önce 4. yüzyılda Aristoteles'in çalışmalarında görülmüştür.

Enerji farklı biçimlerde ortaya çıkabilir veya kullanılabilir. Bunlardan en yaygın olanları ısı, mekanik, kinetik, potansiyel, elektrik, manyetik, kimyasal, nükleer enerjidir. Bir sistem bir iş yaparken bunların bir kısmını ya da tamamını kullanabilir. Sistemin sahip olduğu bu enerjilerin tümüne toplam enerji (E) denir. Bir sistemin birim kütle (m) başına olan enerjisine ise özgül enerji (e) denir ve birimi kJ/kg'dır. Ya da bir başka deyişle enerji özgül enerji ile kütle çarpımıdır.

Belirli bir haldeki sistemden elde edilebilecek kullanılabilir maksimum iş, ekserji olarak tanımlanmaktadır ve sistem içerisindeki kinetik, potansiyel, ısı ve kimyasal enerjilerin toplamına eşittir.

Enerji, enerjinin korunumu yasasına tabidir. Bu yasaya göre, enerji kendi kendine ne var olabilir ne de yok olabilir. Sadece dönüşebilir. Madde enerjiye dönüştürülebilir (ya da tam tersi) fakat kütle hiçbir zaman yok edilemez, madde ve enerjinin birbirine dönüştüğü bütün durumlarda kütle- enerji denkliği hem kütle hem de enerji için sabit kalır. Bu temelde, bir sisteme giren

toplam enerji o sistemden çıkan toplam enerjiye eşit olarak kabul edilir. Transferde Enerjinin Korunumu ve Kütle Enerji ölçülebildiği yerde sıfır ivmeyle bir sisteme hapsedildiğinde bir ağırlık yaratır. Bu ağırlık kütleyle denktir ve bu kütle ağırlıkla her zaman ilişkilidir. Kütle ayrıca enerjinin belirli miktarına denktir ve kütle enerji denkleğinde belirtildiği gibi aynı şekilde enerjiyle ilişkili görünür. Albert Einstein'ın ünlü "E = mc<sup>2</sup>" formülü özel görelilik içinde durgun kütle ve durgun enerji arasındaki ilişkiyi ölçer.

Kinetik enerji (bir kütleyi sıfır hızdan belirli bir hıza ivmelendirilerek yapılan iş) Newton mekaniği yerine Lorentz dönüşümlerini kullanarak göreceli olarak hesaplandığı zaman, Einstein, sıfır hızda kaybolmayan bir enerji terimi olarak bu hesaplamalardan beklenmedik bir ürün keşfetti. O buna durgun kütle enerjisi dedi. Durgun kütle enerjisi her kütlenin durgun halde olduğunda bile etkilenmek zorunda olduğu enerjidir. Enerji miktarı kütle sinin doğrudan özelliğidir.

## **KÜTLE İLE ENERJİ ARASINDA NASIL BİR İLİŞKİ VARDIR? [4]**

Kütle ile enerjinin birbirine dönüşebileceğini ortaya koyan ve deneysel olarak da doğrulanan  $E = m \cdot c^2$  bağıntısı uyarınca kütle, enerjinin yoğunlaşmış şekli olarak düşünülebilir.

Termodinamikte sistemler kapalı ve açık sistemler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bu sistemlerde enerji akışı ısı, iş veya kütle ile olabilmektedir. Kapalı sistemlerde enerji geçişi ısı veya iş ile, açık sistemlerde ısı, iş veya kütle ile gerçekleşmektedir. Sisteme veya

sistemden olan kütle akışı ilave enerji geçişi mekanizması sağlamaktadır. Bir sisteme kütle girdiğinde sistemin enerjisi artar, sistemden kütle çıkışı olduğunda sistemdeki enerji de azalır. Kütlenin korunumu yasası aşağıda ifade edilmektedir.

$$m_g - m_ç = \Delta m_{sistem}$$

Burada  $m_g$  sisteme giren kütle miktarını (kg),  $m_ç$  sistemden çıkan kütle miktarını (kg) ve  $\Delta m_{sistem}$  sistemin toplam kütleindeki değişimi (kg) ifade etmektedir.

## ISI ENERJİSİ

Kısa sürede, büyük miktarda Enerji (genellikle Isı Enerjisi) elde edimi sağlayan reaksiyonun, birçok yayında da bahsedildiği üzere dünya üzerindeki enerjinin yaklaşık %75'nin elde edildiği "Yanma" olarak karşımıza çıkmaktadır. Yanma reaksiyonları birçok endüstriyel işlemin merkezinde yer alır.

Diğer kimyasal reaksiyonlarda olduğu gibi, yanmada da reaktan ve ürünlerin miktarının hesaplanması veya stokiyometri, kütlenin korunumu ilkesine dayanır. İlke, bir kimyasal reaksiyon sırasında, reaktanların toplam kütlelerinin, ürünlerin toplam kütlelerine eşit olduğu anlamına gelir. Mol veya hacimce kuru hava %20.9 oksijen, %78.1 azot, %0.9 argon ve az miktarda karbondioksit, helyum, neon ve hidrojen meydana gelir. Yanma işlemi incelenirken, havadaki argon azot olarak işlem görür ve eser miktarda bulunan diğer gazlar göz ardı edilir.

O zaman, kuru hava, yaklaşık molce %21 oksijen ve %79 azotdan ibarettir diyebiliriz. Bu nedenle, yanma odasına giren her mol

oksijen  $0.79/0.21 = 3.76$  mol azot bulunur. Havada 1 kmol  $O_2$  için 3.76 kmol  $N_2$  bulunur. Doğal gazın önemli ve büyük bir bileşeni olan bir mol metanın stokiyometrik olarak yanmasıyla bir mol karbondioksit ve iki mol su ile ısı açığa çıkmaktadır.



Yukarıda ki örnekte; bir molekül metan ( $CH_4$ ) ve yanmayı gerçekleştiren iki oksijen ( $O_2$ ) molekülü, bir molekül karbondioksit ( $CO_2$ ) ve 2 suya ( $H_2O$ ) dönüşür. Yani reaksiyon sonucu molekül sayıları, başlangıçta bulunan 4 oksijen, 4 hidrojen ve 1 karbon atomu kütlelerin korunumu ilkesi ile türetilir.

Yanmayı başlatmak için gerekli olan enerji, reaksiyona girecek olan bileşiklerin (reaktif) kimyasal bağlarını (örneğin  $O_2$ 'deki  $O=O$  bağı) zayıflatarak ya da kırarak reaksiyonun başlamasını sağlar.

Yanma enerjileri, fosil yakıtların tüm sınıflandırmaları için bağ enerjilerinden tahmin edilebilir. Serbest bırakılan enerji miktarı, hidrokarbondaki karbonların hidrojen/karbon oranı ile ilgili oksidasyon durumuna bağlıdır. Karbon başına daha fazla hidrojen, oksidasyon durumu daha düşük ve oksidasyon reaksiyonu sırasında salınacak daha fazla enerji. Böylece H/C (Hidrojen ve Karbon) oranı ne kadar büyük olursa, yanmada o kadar fazla enerji açığa çıkar.

Isı enerjisi aktarımı, her zaman için daha sıcak maddeden soğuk maddelere doğru olur. Isı bir enerji türü olması nedeniyle, enerji birimleri; ısı birimleri olarak alınabilir. Uluslararası birim (SI) sisteminde, enerji birimi Joule (Jul) olarak gösterilir. 1 cal = 4,18 Joule'dür.

## ISIL DEĞER

Kalorifik Değer, Enerji Değeri isimleri ile de anılır.

Yakıtlar için ısıl değer, birim miktarda (kg, g, m<sup>3</sup> vb.) tamamen oksitlendiğinde üretilen enerji miktarı olarak tanımlanır. Bu değer ürünlerin belirlenen şartlarda yakılması sırasında kromatoğraf veya kalorimetre ismi verilen cihaz ile belirlenir.

Bazı katı sıvı ve gaz formundaki yakıtlar için ısıl değerler aşağıda listelenmiştir.

YAKIT		Alt Isıl Değer		Üst Isıl Değer	
		<u>Kcal</u>	<u>kWh</u>	<u>kcal</u>	<u>kWh</u>
MİKS LPG	kg	11000	12,76	11900	13,80
PROPAN	kg	11100	12,87	12000	13,98
MİKS LPG	m <sup>3</sup>	26000	30,16	28200	32,71
PROPAN	m <sup>3</sup>	21200	23,95	23000	25,93
<b>DOĞAL GAZ</b>	<b>Sm<sup>3</sup></b>	<b>8250</b>	<b>9,59</b>	<b>9155</b>	<b>10,64</b>
LİNYİT	kg	3000	3,50	3300	3,84
SOMA	kg	5500	6,38	6000	6,96
İTHAL KÖMÜR	kg	6000	6,98	6500	7,56
MOTORİN	kg	10200	11,86	10800	12,58
FUEL OIL	kg	9200	10,69	10300	11,95
ODUN	kg	2500	2,90	2800	3,25

Not: Yukarıdaki tabloda gerilen değerler genelleme olup, yakıtın kaynağına ve ISO 6974 hesaplama yöntemine göre değişiklik gösterebilir.

Alt ve üst değer olarak ayrı ayrı değerlendirilen enerjide farkı, yanma ürün/ürünleri içerisinde su olan yakıtlarda olan suyun gizli buharlaşma ısısı belirler.

Tanımlamaları tam yapmak gerekirse;

ALT ISIL DEĞER (LHV); net kalorifik değer olarak da tanımlanmaktadır. Yakıtın birim miktarı, belirli bir miktarda sıcaklık ile yakılması ve yanma ürünlerinin sıcaklığının 150°C'ye döndürülmesiyle açığa çıkan ısı miktarı olarak tanımlanır. Bu değer tanımlanmasında su buharının enerjisi değere dahil edilmez.

ÜST ISIL DEĞER (HHV VEYA SHV); brüt kalorifik değer veya brüt enerji olarak da bilinir, Değerin belirlenmesi, birim miktar yakıtın, belirli bir miktar sıcaklık ile yanması sonrası yanma ürünlerinin belirlenen sıcaklığa (Türkiyede bu sıcaklık 15°C olarak alınmaktadır) geri döndüğünde açığa çıkan ısı miktarı olarak tanımlanır. Yanma ürünlerindeki suyun buharlaşma gizli ısısının da hesaba katılması ile belirlenir.

Karışım halinde bulunan yakıtlarda, karışımın ısıl değerinin belirlenmesi için kütle spektrometresi de denilen Kromatograf cihazları kullanılır. Bu cihazlar, laboratuvar şartlarında çalışan modelleri olduğu gibi, özellikle süreklilik gösteren sistemler için anlık olarak çalışan proses kromatografiler sistemlerin kurulumuna dahil edilir. Bu hem enerjinin kullanımında verimliliği kontrol etmek hem de kullanılan hidrokarbonun enerji değerini hassas ve sürekli hesaplamada yardımcı ekipmandır.

Yanma tepkimelerinde yanma entalpisi olarak adlandırılan bir tanım karşımıza çıkmaktadır. Yanma entalpisi, 1 kmol (veya 1m<sup>3</sup>, 1 kg) yakıt belli bir basınç ve sıcaklıkta tamamen yandığı zaman ortaya çıkan ısı miktarı olarak tanımlanmaktadır. Ancak yakıtların yanması ile bağlantılı olarak yaygın olarak kullanılan diğer önemli



bir terim yakıtın ısı değeridir. Isıl değer, birim hacimdeki veya birim kütledeki bir yakıtın yanması sonucu açığa çıkan enerjidir. Birimi kJ/m<sup>3</sup> veya kJ/kg olarak ifade edilmektedir. Isıl değeri yanma ürünleri arasında bulunan suyun fazına bağlıdır. Yanma ürünlerindeki su sıvı halde olduğunda ısı değerine üst ısı değeri (ÜİD), yanma ürünlerindeki su buhar fazında ise ısı değerine alt ısı değeri (AİD) denir. İki ısı değeri arasındaki ilişki aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$\text{ÜİD} = \text{AİD} + (m \cdot h_b)_{\text{H}_2\text{O}}$$

Burada  $m$ , yanma ürünlerindeki suyun kütlesini ve  $h_b$  ise suyun buharlaşma entalpisini ifade etmektedir.

## GAZLARDA SIKIŞTIRILABİLİRLİK, HACİM VE KÜTLE

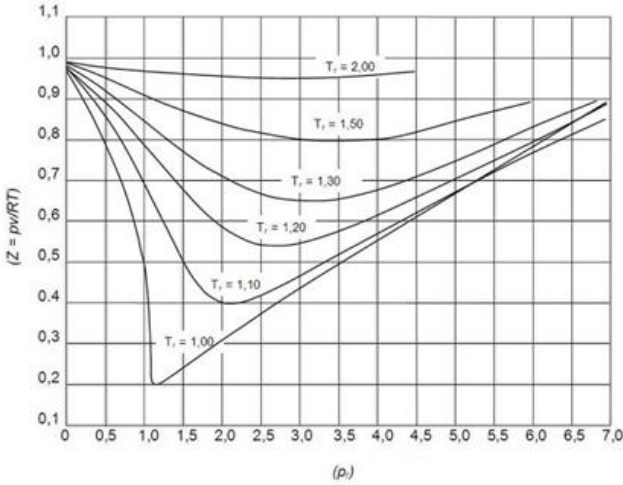
Özgül hacmi veya yoğunluğu sabit olan maddeye sıkıştırılmayan madde denir. Katı ve sıvıların özgül hacimleri bir hal değişimi sırasında hemen hemen sabit kalır ve bu maddelere sıkıştırılmayan madde denir. Diğer taraftan bir hal değişimi sırasında özgül hacmi veya yoğunluğu değişen maddeye sıkıştırılabilen madde denir. Gazların özgül hacimleri bir hal değişimi sırasında değişmektedir ve bundan dolayı sıkıştırılabilen maddelerdir. Bir gazın sıcaklığı veya basıncı değiştiğinde haciminde değişmektedir. Bir gazın yoğunluğu, basınçtan çok sıcaklığa bağlıdır. Yoğunluğun sıcaklıkla değişimi; rüzgarlar, bacalarda dumanın yükselmesi vb. doğa olayının nedenini teşkil etmektedir. Gazlarda bu etkileri dikkate almak için, bir gazın sabit basınçta veya sabit sıcaklıkta yoğunluğun, ısı değerinin vb. özelliklerini belirlemek amacıyla kütleli özellik yerine hacimsel

özelliik kullanılmaktadır. Örneğın doğal gazın yanması sonucu açığa çıkan ısı değeri; 1 m<sup>3</sup> doğal gazın yanması sonucu açığa çıkan enerji miktarıdır ve birimi kJ/m<sup>3</sup> veya kWh/m<sup>3</sup>'tür.

Yoğunluk, belirli bir sıcaklık ve basınçta (15°C ve 101.325 kPa) bir maddenin birim hacminin kütlesi iken, bir maddenin özgül hacmi ise birim kütlesinin hacmi olarak tanımlanır, birimi m<sup>3</sup>/kg dır. Özgül hacim biriminden anlaşılacağı gibi yoğunluğun (kg/m<sup>3</sup>) tersidir.

Örneğın, doğal gazın kütlece ağırlığı özgül ağırlığa bağılı olarak normal şartlar altında (atmosfer basıncında) ve yüksek basınçlarda değışkenlik göstermektedir. Bunun temel sebebi de kısaca sıkıştırılabilirlik faktörüdür. Sıkıştırılabilirlik faktörünü ihtiva eden ideal gaz denklemleri  $P.V=Z.R.T$  olup, Burada Z sıkıştırılabilirlik faktörü olarak adlandırılır.

Genelleştirilmiş sıkıştırılabilirlik faktörü diyagramı aşağıdadır.



Örneğın 21 bar basınçta 1 m<sup>3</sup> doğal gaz, 300 mbar'daki 20 m<sup>3</sup> doğal gazdan kütlece daha ağır olduğı görülmektedir.

## WOBBE ENDEKSİ

Hidrokarbon gazların ısı değerlerini doğrudan belirlemek için kullanılabilecek bir çok yöntem vardır. Bunlardan en önemlisi Wobbe sayısıdır (Wobbe İndisi) (WI). Wobbe Endeksi, bir cihazdaki (ateş, ocak vb.) farklı bileşime sahip yakıt gazlarının yanma enerjisi çıkışını karşılaştırmak için kullanılır. Wobbe sayısı, gaz ısı değerinin özgül ağırlığına oranıdır ve belirli bir açıklıktan belirli bir basınçta bir cihaza verilecek ısı girdisinin ölçüsüdür ve birimi kWh/m<sup>3</sup> veya MJ/m<sup>3</sup> olarak ifade edilir.

$$I_W = \frac{V_C}{\sqrt{G_S}}$$

$$G_S = \frac{\rho_{STP}}{\rho_{hava,STP}} = \frac{M}{M_{hava}}$$

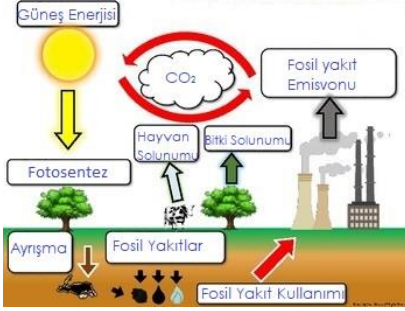
VC hacimsel alt ısı değer (MJ/m<sup>3</sup>), GS spesifik yer çekimi,  $\rho_{STP}$  standart koşullarda (0 °C, 101,325 kPa),  $\rho_{hava,STP}$  standart koşullarda havanın yoğunluğu, M gazın molar kütlesi ve  $M_{hava}$  havanın molar kütlesidir. (Yaklaşık 28.96 kg/kmol)

## YANMA VE ÇEVRE

Günümüzde, her geçen gün artan çevre sorunlarının başında gelen hava kirliliği, geleceğin dünyasını ciddi bir şekilde tehdit etmekte, ekolojik tehlikelerle karşı karşıya bırakmaktadır.

Dünya üzerinde, ana faktörü nüfus artışı ve buna bağlı taleplerin artması sebebi ile, enerji kullanımı da aynı doğrultuda gün be gün artmaktadır.

Enerji arzında ana pay sahibi olan hidrokarbonlar kaynaklı üretimler, gelişen endüstri ve şehirleşme ile de artan çevresel etkilere sebep olmaktadır. Öncelikle hava kirliliği ve buna bağlı olarak insan sağlığı olarak listelenebilen bu etkileri azaltmak için çalışmalar artarak devam etmektedir.



Yakma tesislerinden kaynaklanan emisyonlar ve yakma tesislerinde katı, sıvı ve gaz yakıtların yakılarak yakıt bünyesindeki kirleticilerin tesis bacasından atmosfere atılması hava kirliliğine neden

olmaktadır. Burada tarif edilen kirlilik, doğrudan yakıtın cinsine ve miktarına bağlı olduğu aşikardır.

Yanma ürünlerinin ve fosil yakıtların çevresel etkileri arasında en önemlilerinden biri olan "Küresel İklim Değişikliği"nin ana aktörü olan Sera gazı - Greenhouse gas - oluşumunda da yeni çözümler aranmaktadır.

## SERA GAZLARI

### Karbondioksit (CO<sub>2</sub>)

Küresel ısınmada önemli rolü olan CO<sub>2</sub>, güneş ışınlarının yeryüzüne ulaşması sırasında bu ışınlar karşı geçirgendir. Böylece yeryüzüne çarpıp yansdıklarında ışığın tamamını veya bir kısmını yutarak yansıtamaz. Dünyada enerji kullanımı sürekli arttığından kullanılmakta olan teknoloji kısa dönemde değişse bile karbondioksit artış hızının durdurulması olası görülmemektedir.

#### ENERJİ KAYNAKLARINA GÖRE KARBON EMİSYON DEĞERLERİ

Kaynak	Ortalama Sera Gazı Emisyonu (Ton CO <sub>2</sub> /GWh)	Bir konuta düşen emisyon * (kg CO <sub>2</sub> /yıl)
Linyit	1.054	3.689
İthal kömür	888	3.108
Taş kömürü	888	3.108
Fuel oil	733	2.566
Doğal gaz	499	1.747
Nükleer	66	231
Jeotermal	38	133
Biyokütle	26	91
Hidroelektrik	26	91
Güneş	23	81
Rüzgâr	10	35

Kaynak: CO<sub>2</sub> Emisyon From Fuel Combustion Highlights 2018, IEA

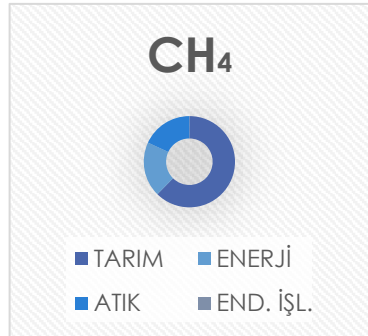
\*Yıllık 3.500 kWh tüketim için

Küresel olarak 2018 yılında 33.891 milyon ton karbondioksit eşdeğeri olan enerji kaynaklı sera gazını en fazla Çin (%27,8), ABD (%15,2), Avrupa (%12,53) ve Hindistan (%7,3) oluşturmaktadır. Türkiye ise enerji kaynaklı küresel sera gazlarının %1,15'ini oluşturmaktadır.

## Metan gazı (CH<sub>4</sub>)

Oranı binlerce yıldan beri değişmemiş olan metan gazı, son birkaç yılda iki katına çıkmış ve 1950'den beri her yıl %1 artmıştır. Bu değişiklik karbondioksit seviyesindeki artışa göre az olsa da metan gazının karbondioksitten 21 kat daha kalıcı olması nedeniyle en az karbondioksit kadar dünyamızı etkilemektedir. Atmosfere salınan metan oranı artmakta ve bunun sonucu olarak da sera etkisi tehlikeli boyutlara varmaktadır. Hidrokarbonlar, petrol ve doğal gaz kuyularından, depolama tanklarından, boru hatlarından ve işleme tesislerinden atmosfere sızar. ABD Çevre Koruma Ajansı, 2019 yılında doğal gaz ve petrol sistemlerinden ve terk edilmiş petrol ve doğal gaz kuyularından kaynaklanan metan emisyonlarının toplam ABD metan emisyonlarının yaklaşık %29'unun ve toplam ABD sera gazı emisyonlarının yaklaşık %3'ünün kaynağı olduğunu tahmin ediyor. [5]

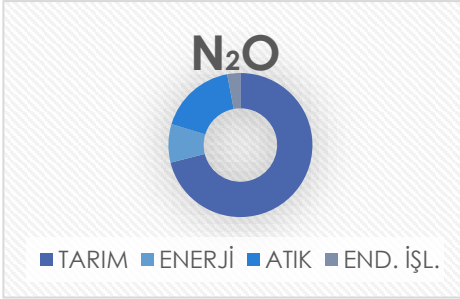
Türkiye'de gerçekleşen CH<sub>4</sub> emisyonlarının %62,4'ü tarım, %19,5'i enerji, %18,1'i atık ve %0,03'ü endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı sektöründen gelmektedir. [7] İstatistiklerin incelemesi sonucu olarak Türkiye'nin sera gazı emisyonlarının %2,3 lük kısmı Doğal gaz ve Petrol sistemlerinin metan salınımlarından gelmektedir denilebilir. Petrol ve doğal gaz sektörü, doğal gaz sızıntılarını önlemek için gerekli düzenlemeler üzerinde çalışmakta ve gerekli adımları atmaktadır.



## Azotoksit ve Su Buharı

Azot ve oksijen 250 °C sıcaklıkta kimyasal reaksiyona giren azotoksitleri meydana getirir. Azotoksit, tarımsal ve endüstriyel etkinlikler ve katı atıklar ile fosil yakıtların yanması sırasında oluşur. Yanma bölgesinde pik alev sıcaklığını düşürmek, yakıtın bu sıcaklıkta kalma zamanını azaltmak, yakma havasındaki oksijenin derişimini düşürmek vb. azotoksit oluşumunun önlenmesi yöntemleri sıklıkla uygulanan yöntemlerdendir.

Sera etkisine yol açan gazlardan en önemlilerinden biri de su buharıdır. Fakat troposferdeki yoğunluğunda etkili olan insan kaynakları değil, iklim sistemidir. Küresel ısınmayla artan su buharı iklim değişimlerine yol açacaktır.



Ülkemiz için açıklanan son verilerde; N<sub>2</sub>O emisyonlarının ise %72,5'i tarım, %15,7'si atık, %8,8'i enerji ve %3'ü de endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı sektöründen kaynaklanmıştır.

## Kloroflorokarbonlar (CFCs)

Sera gazlarından olan kloroflorokarbon doğaya salındıktan sonra 100 yıl ömrü vardır. Üretilmesi durdurulan kloroflorokarbon gazları yerine atmosferik ömrü daha az olan hidrofloreklorokarbon gazlarının kullanımı yaygınlaştırılmıştır.

## Türkiye Sera Gazı Emisyon İstatistikleri,1990-2019<sup>[7]</sup>

Sera gazı envanteri sonuçlarına göre, 2019 yılı toplam sera gazı emisyonu bir önceki yıla göre %3,1 azalarak 506,1 milyon ton(Mt) CO<sub>2</sub> eşdeğeri(eşd.) olarak hesaplandı. Kişi başı toplam sera gazı emisyonu 1990 yılında 4 ton CO<sub>2</sub> eşd., 2018 yılında 6,4 ton CO<sub>2</sub> eşd. ve 2019 yılında 6,1 ton CO<sub>2</sub> eşd. olarak hesaplandı.

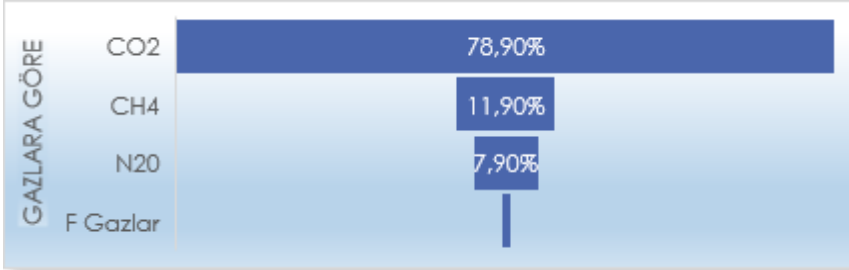
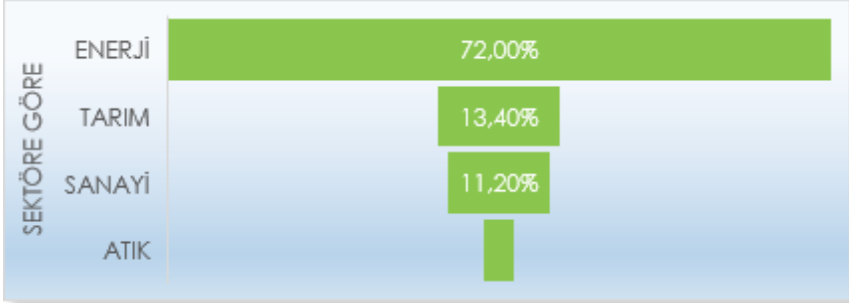
Toplam sera gazı emisyonlarında 2019 yılında CO<sub>2</sub> eşd. olarak en büyük payı %72 ile enerji kaynaklı emisyonlar alırken bunu sırasıyla %13,4 ile tarım, %11,2 ile endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı ve %3,4 ile atık sektörü takip etti.

Enerji sektörü emisyonları 2019 yılında, 1990 yılına göre %161 artarken bir önceki yıla göre %2,3 azalarak 364,4 Mt CO<sub>2</sub> eşd. olarak hesaplandı. Endüstriyel işlemler ve ürün kullanımı emisyonları 1990 yılına göre %147,1 artarken bir önceki yıla göre ise %14,3 azalarak 56,4 Mt CO<sub>2</sub> eşd olarak hesaplandı.

Tarım sektörü emisyonları 2019 yılında, 1990 yılına göre %47,7, bir önceki yıla göre %4,1 artarak 68 Mt CO<sub>2</sub> eşd. olarak hesaplandı. Atık emisyonları ise 1990 yılına göre %55,7 artarken bir önceki yıla göre %5 azalarak 17,2 Mt CO<sub>2</sub> eşd. olarak hesaplandı.



## TÜRKİYE SERA GAZI EMİSYON DAĞILIMI



Çevreye duyarlı araştırmacılar ve politika yapımcılar, uzun zamandır geleneksel fosil yakıtlar ile emisyon içermeyen yenilenebilir enerji arasında bir köprü olmasını istiyorlar.

Enerji için doğal gaz yakmak, eşit miktarda enerji üretiminde kömür veya petrol ürünlerini yakmaya kıyasla neredeyse tüm hava kirleticileri ve karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonlarının daha az olmasına neden olduğundan “yakıt köprüsü” olarak sayılıyordu.

Ancak son yıllarda Ohio State Üniversitesi ve bazı diğer üniversitelerce yapılan araştırmalar ve yapılan deneyler ile katı fosil yakıtlarda düşük emisyon sonuçları bu yakıt köprüsünde Doğalgaza eşlik etme yolunda ilerliyor.

## **Chemical Looping Combustion (CLC) [2]**

Kimyasal Döngü Yanma adı verilen çalışmalarda atmosfere karbondioksit salmadan fosil yakıtları elektriğe dönüştürüyor. Yöntem laboratuvardan çıkıp gerçek dünyaya ulaşırsa, "temiz kömür" için bir atılım olabilir. Kimyasal döngüde, metal oksit parçacıkları oksijen olmadan fosil yakıtları "yakmak" için yüksek basınçlı reaktörlerden geçer. Reaksiyon, elektrik üretimi için bir türbine gönderilebilen buhar üretimi için ısıyı serbest bırakır. Yakalanan CO<sub>2</sub>, nanolifler veya asetik asit veya metanol gibi kimyasallar için kullanılabilir. Diğer bir sonuç ise, amonyak, plastik ve karbon fiberleri içeren ürünler için temel görevi gören sentez gazı veya "syngas"tır.

Yanma işlemi sırasında gerçekleşen karbon yakalama devriminin, çevre, enerji verimliliği ve ekonomik faaliyetler açısından önemli etkileri olabilir. Bu kimyasal döngü yöntemi, normal şartlarda, yakılan kömür kadar üretilen CO<sub>2</sub>'nin %99'unu yakalayarak atmosferi neredeyse hiç kirliletmiyor.

## **Doğal Gazla Hidrojen Karıştırma Teknolojisi[8]**

Diğer fosil yakıtlarla kıyaslandığında temiz ve sağlıklı bir çevrenin sürdürülebilir hale gelmesi, hava kirliliğinin en az seviyeye düşürülebilmesi için doğal gazın önemli bir enerji kaynağı kaynağı olduğu bilinmektedir.

İklim değişikliğine uyum çalışmalarının önemli aşamalarından biri karbonsuzlaşmadır. Doğal gaz her ne kadar temiz bir gaz olsa da

Türkiye'de Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı himayelerinde, Gazbir-Gazmer koordinasyonunda ve ilgili Paydaş kuruluşlar desteğiyle yürütülen doğal gaza hidrojen eklenmesi Ar-Ge projesinin önemli sebeplerinden biri doğaya salınan karbon oranının azaltılmasıdır.

Zararlı sera gazlarının salımının azaltılmasında hidrojenin doğal gaz sistemlerine enjeksiyonu önemli rol oynamaktadır. Hidrojen oranının artmasıyla aşağıda belirtilen tabloda emisyon değerlerinde kayda değer azalma eğilimi olduğu görülmektedir.

Gazbir-Gazmer Temiz Enerji Teknolojileri Merkezi laboratuvarlarında gerçekleştirilen kapsamlı deneysel çalışmalarda Doğal Gaz (DG) ve Hidrojen(H<sub>2</sub>) gazlarının farklı karışım oranlarındaki yanma sonu değerleri aşağıda gösterilmektedir.

Karışım DG Oranı %	Karışım H <sub>2</sub> Oranı %	CO <sub>2</sub> %	CO <sub>c</sub> PPM	CO PPM
100	0	9,1	123	-
95	5	8,7	83	61
90	10	8,7	72	53
85	15	8,4	56	40
80	20	8,9	55	42

*"Atmosferik emisyonları azaltmak için elimizde araçlar var, ancak önce en önemli şeyi yapmalıyız, **önemsemeliyiz.**"*

Carl Bothma

## SONUÇ

Günümüzde enerji kullanımının ve enerji maliyetlerinin arttığı göz önünde bulundurulduğunda, enerjinin tüketildiği yerde enerjinin bilinçli ve verimli kullanımı büyük önem kazanmıştır. Bilinçsizce tüketilen enerji, enerji kaynaklarına, yakıt ekonomisine ve ekolojik açıdan doğaya zarar verebilmektedir. Bundan dolayı tüketilmekte olan enerjinin yanma reaksiyonlarının incelenmesi ile enerji analizi ve çevresel etkilerinin birarada değerlendirilmesi ve yönetilmesi çok önemlidir.

Bu hedeflerin gerçekleştirilmesinde ülkemizde öncü kuruluşlardan olan Gazbir Gazmer, hidrokarbon yakıtların (özellikle doğal gaz) yanma veriminin arttırılması, çevresel etkilerinin minimize edilmesi, güvenli ve optimum şebeke işletilmeciliği, teknik ve yasal mevzuat ile kalifikasyonun geliştirilmesi, araştırma ve geliştirme faaliyetlerini sürekli geliştirme hedefiyle devam ettirmektedir.

Çeşitlendirilmiş enerji kaynaklarını ortak bir portföyde, en verimli şekilde ve tasarruflu kullanım alışkanlığı ile birleştirerek bir arz potansiyeli oluşturmanın amaca ulaşmadaki en kısa rotayı oluşturabileceği açıktır.

## KAYNAKLAR

- [1] <http://www.uigi.com/oxygen.html>
- [2] <https://energynews.us/2018/03/22/ohio-state-coal-tech-captures-co2-but-can-it-compete-with-renewables>
- [3] Yanma ve Yangın Kavramları, Öğr. Gör. Mehmet Ali ZENGİN
- [4] Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik Kitabı, Yunus A. Çengel, Michale A. Boles, 7. Baskı
- [5] Farklı Isıl Güçlerdeki Kazanlarda Yanma ve Emisyonların Davranışının Araştırılması, Mustafa İLBAŞ, İlker YILMAZ
- [6] <https://www.eia.gov/energyexplained/natural-gas/natural-gas-and-the-environment.php>
- [7] Mart 2021 tarih ve 37196 sayılı TÜİK verileri  
<https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Greenhouse-Gas-Emissions-Statistics-1990-2019-37196>
- [8] Yenilenebilir Gaz Üretimi Projesi Final Raporu Ocak 2022, Gazbir-Gazmer