

Yanıcılık Sınırları

Karel Lambert

Yangın sırasında bir duman katmanı oluşur. Duman katmanı farklı gazların, karmaşık bir şekilde birleşmesinden meydana gelir. Bir noktada, duman katmanının içinde alevler görünmeye başlar. Neden tam da o anda tutuşma meydana gelir? Ve neden tam o noktada gerçekleşir? Basit bir cevap "tam bir yangın üçgeninin" o sırada oluştuğudur. Gaz haline geçmiş yakıt ve oksijen karışımı, kendiliğinden tutuşması için gereken sıcaklığa ulaşmıştır. Birçok itfaiyeci bu konsepti anlamakta güçlük çeker. Gerçekten bu süreç nasıl olur? Neden söz konusu karışım en başta çok seyrek sonrasında da çok zengindir? Bu makale, tüm bunları anlaşılır bir şekilde açıklamaya çalışmaktadır.

1.1 Yanma aralığı ve patlama sınırı

Yanma aralığı ya da patlama sınırı yangın gelişimini tamamen anlamak için önemli konseptlerdir. Bir yangın sırasında, piroliz sonucunda gaz halinde yakıt oluşur. Bu piroliz gazları, etraftaki diğer gazlarla karışabilir. Yeterli miktarda yanıcı gaz oluştuktan sonra, alt patlama sınırına ulaşılır. Alt patlama sınırı (LEL) ve alt yanma sınırı (LFL) aynı şeyi anlatan eden iki farklı ifadedir. Birçok itfaiyeci, muhtemelen LEL kısaltmasını gaz ölçüm cihazlarında görmüştür. Bu makalede ben alt yanma sınırı ifadesini kullanacağım. Çünkü bu ifade kastettiğim anlama daha iyi uyuyor. Duman gazı ve hava karışımının bu alt limiti geçtiği andan itibaren tutuşma gerçekleşebilir. Bu karışım bir odanın içinde, örneğin bir yatak odasında alt sınırın biraz üzerinde olduğunda patlama olmaz. Çoğunlukla yavaş bir yanma gerçekleşir. Bu makalenin bağlamının yangın ve yangın gazları olduğunu akılda tutmak önemlidir. Yangın gazları, yanma aralığını göstermek için makale içerisinde bahsedeceğimiz metan gazından daha az enerji ihtiva eder.



Şekil 1: Gaz ve hava karışımının tutuşması. Soldaki resimde tutuşma henüz oluşmuştur. Alev yüzeyi dairesel bir şekilde her yöne ilerlemektedir. Sağdaki resimde alev hacminin arttığını göstermektedir. (Fotoğraflar: Karel Lambert)

Yanıcı gaz miktarı arttıktan sonra, karışımdaki yanıcı gaz oranı artacaktır. Bir noktada karışım içerisinde o kadar çok yanıcı gaz olacaktır ki karışımı tutuşturmak imkansız hale gelecektir. Buna *üst patlama sınırı (UEL)* veya tercihen *üst yanma sınırı (UFL)* denir.

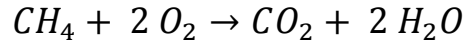
Bu iki sınırın arasında kalan oksijen ve yakıt karışımları yanıcıdır. Tutuşturulabilirler (Bkz şekil 1 ve 2). Bu iki sınırın arasında bir yerde ideal karışım vardır. Bu tarz karışım en şiddetli

patlamaya neden olur. Makale buradan itibaren metanın patlama sınırları üzerinden ilerleyecektir. Bununla beraber yangında oluşan duman birçok farklı yangın gazından oluşur. Yine de metan yanma aralığı prensiplerini açıklamakta iyi bir maddedir.

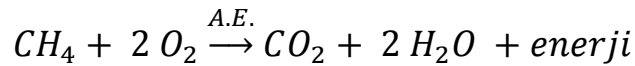


Şekil 2 Bu fotoğraflar şekil 1’de gösterilen reaksiyon sürecinin devamını göstermektedir. Soldaki fotoğraf alevin daha fazla yayılmasını gösterir. Aynı şey sağdaki fotoğrafta da gösterilmiştir. Bu şekilde, alevler karışımın yanma sınırı içinde olduğu tüm hacim boyunca yayılır. (Fotoğraflar: Karel Lambert)

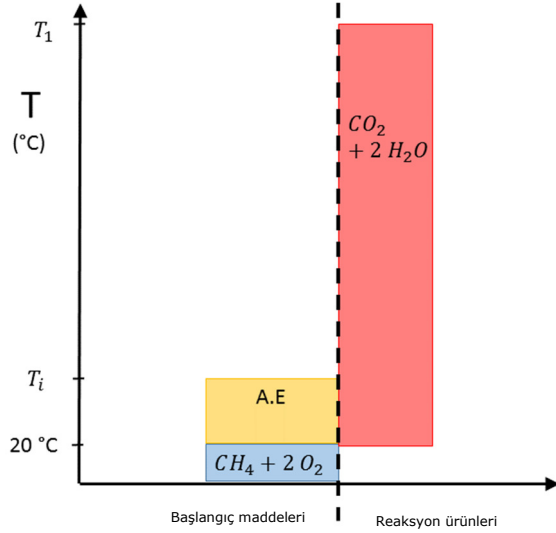
Aşağıda, metanın yanmasını açıklayan kimyasal denklem verilmiştir. Metan (CH_4), doğal gazın bilimsel adıdır. Bu gaz, mutfak ocağında kullanılan gazdır. Metan, oksijen (O_2) olduğunda tutuşabilir. Genellikle iki bileşen de gazdır. Bu spesifik denklemde bir metan molekülü iki oksijen molekülü ile reaksiyona girmektedir. Reaksiyondan sonra artık metan veya oksijen kalmaz. Bir karbondioksit (CO_2) ve iki su (H_2O) molekülü açığa çıkar. İçindeki tüm yakıt ve oksijenin yandığı karışıma *stokiyometrik karışım* denir. Bu ideal karışımın diğer adıdır.



Bununla beraber, reaksiyon sadece bu iki maddeyi üretmez. Metanın yanması *egzotermik* bir reaksiyondur. Bu, aynı zamanda enerjinin de üretildiği anlamına gelir. Metan ve oksijenden oluşan bir karışım düşünün. Bu karışımda her bir metan molekülü için iki oksijen molekülü olsun. Bir kilogram metanın tamamının yandığını varsayın. Bu, 50 MJ (MegaJül) değerinde enerji üretecektir. Yanma fiziği üzerine yapılmış literatür çalışmalarında bu konuyla ilgili daha derin bilgi bulunabilir.



Ancak, reaksiyon kendiliğinden başlamaz. Eğer mutfaktaki ocağın gazını açarsanız doğal gaz dışarı akmaya başlar. Gaz havayla karışır fakat kendi kendine yanmaz. Bunun için tutuşma gerekir. Oksijen ve doğal gazın ikisi de 20 °C'dir. Tutuşma enerjisi, belirli bir noktada sıcaklığın reaksiyonun başlamasına yetecek seviyeye çıkmasına neden olur. Bu sıcaklığa tutuşma sıcaklığı denir. Her iki gazın ilk sıcaklığı ne kadar yüksekse ihtiyaç duyulan enerji de o kadar düşük olur. Diğer bir ifadeyle kış günlerinde dışarıda -20 °C sıcaklıkta söz konusu karışımı tutuşturmak, dışarıda 30°C sıcaklığın olduğu yaz gününde tutuşturmaya kıyasla daha çok enerjiye ihtiyaç duyar. Sonuçta, kış ayında karışımın 50 °C daha fazla ısınması gerekecektir. Bu önemli bir faktördür. Çünkü yangın sırasında yakıt



Şekil 3 Metanın saf oksijen içindeki ideal yanması görseli. İki madde (metan ve oksijen) yaklaşık olarak oda sıcaklığındadır. (20 °C). Belirli bir miktar aktivasyon enerjisi eklenir ve reaksiyon başlar. Reaksiyon ürünleri son sıcaklığa yükselir.

(Çizim: Karel Lambert)

görevi gören dumanın sıcaklığı büyük farklılıklar gösterebilir. Dumanın sıcaklığı ne kadar yüksekse, tutuşması için gereken enerji o kadar az olur. Buna, aktivasyon enerjisi denir. (AE).

Kimyasal reaksiyon sırasında üretilen enerji, reaksiyon sonucu açığa çıkan ürünlerin sıcaklığının, reaksiyona giren gazların ilk sıcaklığından daha yüksek olmasına neden olur. Metanın bünyesinde olan kimyasal enerji, ısı enerjisine dönüştürülür. Aslında reaksiyon sırasında enerji salındığını söylemek daha doğrudur. Reaksiyon sürecinin gerçekleşmesinden önce enerji, metan gazının içindeydi. Günlük dilde biz basitçe enerjinin üretildiğini söyleriz. Bu ifade de makale içerisinde kullanılmıştır.

Üretilen enerji reaksiyon ürünlerine dağıtılır: CO₂ ve su.

Tutuşma gerçekleştiğinde bu ısı, komşu moleküllere doğru dağılır. Bu zincirleme bir

reaksyona neden olur. Alev oluşur ve karışım boyunca yayılır. (Bkz Şekil 1 ve 2)

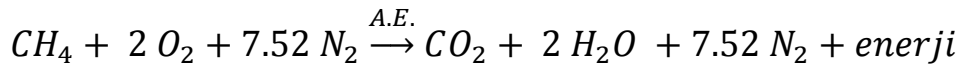
Bunu bir çizimle görselleştirmek mümkündür. Şekil 3'ün dikey ekseninde sıcaklık gösterilmektedir. Başlangıçtaki ürünler mavi bölümde verilmiştir CH₄ ve Oksijen, Bu özel durumda başlangıçtaki ürünler 20 °C'dir. Bu ayrıca reaksiyonun başlangıçtaki sıcaklığıdır. Mavi dikdörtgenin alanı iki gazın içerisindeki enerjiyi gösterir. Bu demektir ki X eksenini enerjiyi temsil etmemektedir. Enerji yüzey alanının büyüklüğüyle gösterilmektedir. X eksenini başlangıçtaki ürünleri çizgili hattın sol yanında gösterir. Sağ tarafında ise reaksiyon ürünleri vardır.

Yukarıda belirtildiği gibi gazlara belirli bir miktarda aktivasyon enerjisi ilave edilmelidir. Bunun için bir tutuşma kaynağına ihtiyacımız vardır. Bu bir kıvılcım, ısınmış bir yüzey vb. olabilir. İlave edilmesi gereken enerji miktarı, turuncu dikdörtgenle gösterilmiştir. başlangıçtaki maddeler *tutuşma sıcaklığına* (Ti) ulaşana kadar bu maddelere enerji verilmelidir. Reaksiyonun kendisi siyah çizgili hatla temsil edilir. Bu çizgili hattın sol tarafı başlangıç ürünleri, sağ tarafı reaksiyon sırasında üretilen maddelerdir. Ayrıca reaksiyon sırasında çok büyük miktarda enerji de üretilir. Şekil 3 CO₂ ve suyun son sıcaklığının,

başlangıç sıcaklığından dikkate değer ölçüde yüksek olduğunu göstermektedir. Reaksiyon ürünlerinin sıcaklığı şekilde T₁ olarak gösterilmiştir.

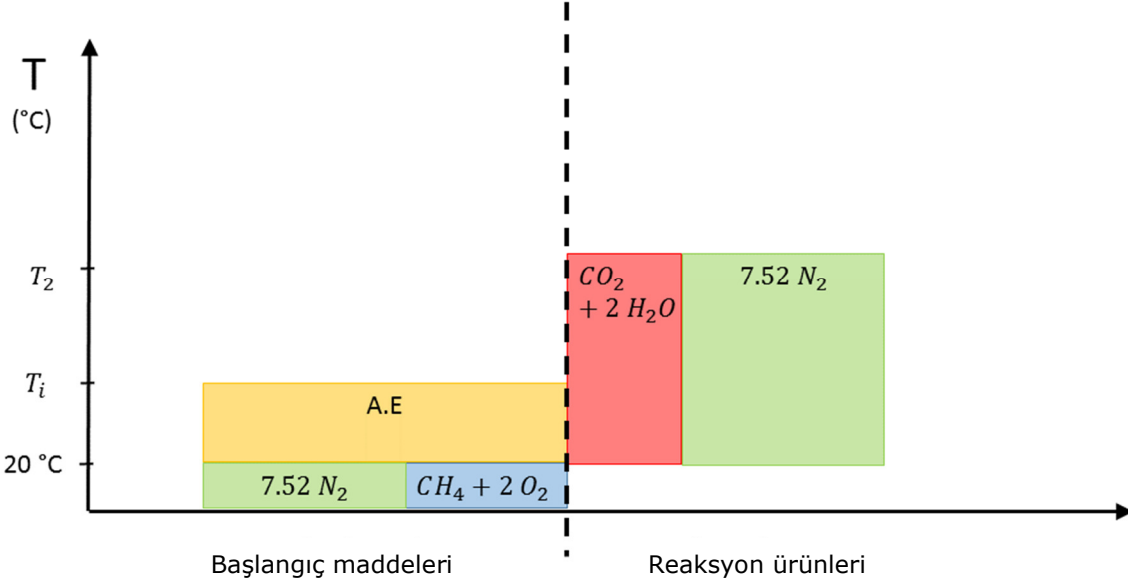
Reaksiyon tarafından üretilen enerji kırmızı dikdörtgenin yüzey alanıyla gösterilmiştir. Bu, yanma sürecinin bir sonucu olan ısı enerjisidir. Dikey eksenin tam ölçeğe uygun olmadığını belirtmek gerekir. Eğer kırmızı dikdörtgen gerçekten olması gereken ebatlarda çizilseydi şimdiki gibi birkaç santimetre değil birkaç metre yüksekliğinde olması gerekirdi. Aşağıdaki şekiller aslında reaksiyon ürünlerinin sıcaklığının "çok düşük" olduğu anlamına gelmektedir.

Mutfak ocağına yeniden baktığımızda, yukarıda bahsedilenden farklı birşeyin olduğunu görürüz. Mutfakta metan saf oksijenin içinde yanmaz. Gerçek karışımda metan ve oksijenin yanında Azot(N₂) da vardır. Etrafımızdaki hava %21 oksijen ve %79 azottan oluşur. Bu her bir oksijen molekülü için 3.76 azot molekülü olduğu anlamına gelir. Metanın hava içindeki yanmasının kimyasal denklemi aşağıdaki gibidir.



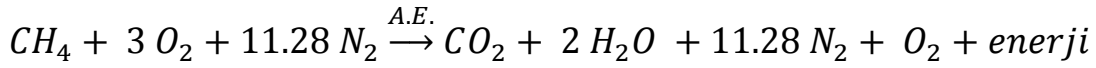
Bu reaksiyonun çizimi de değişmiştir. Her iki tarafta fazladan bir element eklenmiştir. Şekil 4 azotu iki yeşil kare ile göstermektedir. Kimyasal reaksiyona dahil olmasa bile T_i sıcaklığına ulaşana kadar ısınması gerekir. Sonuçta, doğa herşeyi eşit derecede sıcak veya soğuk tutmaya çalışır. Eğer karışımı tutuşturmak istiyorsak, (diğer bir şekilde ifade etmek gerekirse: Eğer karışımı tutuşma sıcaklığına ulaştırmak istiyorsak) oksijen-metan karışımına göre daha fazla enerji ilave etmemiz gerekecektir. Bu şekilde açıkça gösterilmektedir. Turuncu dikdörtgenin alanı oldukça artmıştır. Metan ve hava karışımı metan ve oksijen karışımına göre daha güçlü bir tutuşma kaynağına ihtiyaç duyar.

Yanmanın sonucu da farklı olacaktır. Azot kimyasal reaksiyona dahil olmaz ve sonrasında da varlığını sürdürür. CO₂, su ve azot karışımı oluşur. Bir önceki duruma göre tıpa tıp aynı miktarda ısı oluşur. Sonuçta aynı miktarda metan yanmıştır. Fakat üretilen ısı üç farklı madde üzerinde dağılmalıdır. Azot büyük miktarda ısıyı emecektir. Şekil 4, reaksiyon sürecinin ısısının da şekil 3'e göre daha düşük olacağını göstermektedir: T₂ < T₁. Şekil 4'deki kırmızı ve yeşil dikdörtgenlerin toplam yüzey alanı Şekil 3'deki kırmızı dikdörtgene eşittir. Bu çizimde açıkça görülebilir.



Şekil 4 Metanın hava içerisindeki ideal yanmasının grafik ilüstrasyonu. Yeşil dikdörtgenler yanma sürecine katılmayan azot moleküllerini temsil eder. Çizgili hattın sağ tarafındaki reaksiyon ürünlerinin sıcaklığı bir önceki sıcaklıktan daha düşüktür. Sağ taraftaki kırmızı ve yeşil dikdörtgenlerin yüzey alanı ısı enerjisi temsil etmektedir. (Çizim: Karel Lambert)

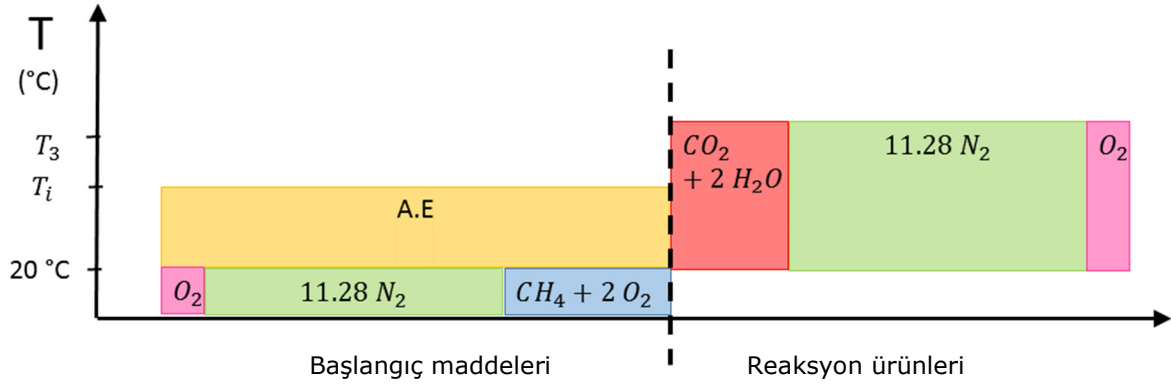
Yukarıda bahsi geçen her iki reaksiyon da ideal karışımlarda gerçekleşmektedir. Gerçekte ideal karışım nadiren oluşur. Ortamda ya çok fazla yakıt ya da çok fazla oksijen vardır. Bu reaksiyonu etkiler. Şimdi iki yerine üç Oksijen molekülü olduğunu düşünün. Bu durumda reaksiyon aşağıdaki gibi olacaktır.



İlave oksijenin yanında, karışım içerisinde fazladan azot da vardır. Her bir oksijen molekülü için 3.76 azot molekülü olmalıdır. Buna göre şimdi 11.28 azot molekülü vardır. Reaksiyon bir kez daha değişir. Reaksiyon ürünleri arasında artan oksijen molekülünü görürüz. Ve yine bu grafiği değiştirir.

Şekil 5'in sol tarafı başlangıç maddeleridir. Mavi dikdörtgen yanma sürecine katılan metan, ve metanı yakmak için gereken oksijeni temsil etmektedir. Yeşil dikdörtgen azotu simgeler. Fakat daha fazla azot bulunduğu için yeşil dikdörtgen şimdi daha büyüktür. Mor dikdörtgen fazla oksijen molekülünü simgeler. Burada fakir bir karışımla karşı karşıyayız. Bu demektir ki ideal duruma göre daha az yakıt var. Turuncu dikdörtgenin ebatı yine artmıştır. Çünkü başlangıçtaki maddeler T_i sıcaklığına ulaşana kadar ısıtılmalıdır. Bu kimyasal reaksiyona dahil olmayan oksijen molekülleri için de geçerlidir.

Şekil 5'teki kesik çizgili hattın sağ tarafında reaksiyon ürünleri vardır. Kırmızı dikdörtgen, yanma sürecinin sonucunda açığa çıkan ürünleri gösterir. Bunlar önceki çizimlerle aynıdır. Bunların yanında, reaksiyona dahil olmayan azot (yeşil dikdörtgen) ve oksijen (mor dikdörtgen) vardır. Üretilen enerji önceki durumlara eşittir. Kırmızı dikdörtgenin şekil 3'deki yüzey alanı, şekil 5'teki kırmızı, yeşil ve mor dikdörtgenlerin toplam yüzey alanına eşittir. Tüm çizimler karşılaştırıldığında, ne kadar çok unsurun ısıtılması gerekiyorsa reaksiyon ürünlerinin sıcaklığı düşecektir: $T_3 < T_2 < T_1$



Şekil 5 Havanın fazla miktarda bulunduğu ortamda metanın yanmasının görseli. Mor dikdörtgenler fazla oksijeni gösterir. Yeşil dikdörtgenler önceki çizime göre daha geniştir. Çizgili hattın sağ tarafındaki reaksiyon ürünlerinin son sıcaklığı bir önceki çizime göre daha düşüktür. Reaksiyon ürünlerini gösteren dikdörtgenlerin toplam yüzey alanı, yanma tarafından üretilen ısı enerjisine eşittir. (Çizim: Karel Lambert)

Reaksiyon ürünlerinin sıcaklığı, komşu gaz molekülleri için tutuşma kaynağı olur. Yani, reaksiyon ürünleri kendilerinin yanındaki gaz molekülleri için aktivasyon enerjisi sağlamalıdır. Yukarıdaki çizimler, ihtiyaç duyulan tutuşma enerjisinin (A.E.) her seferde arttığını göstermektedir. Fakat aynı zamanda, toplam yanma sıcaklığının her çizimde düştüğünü ($T_3 < T_2 < T_1$) görürüz. Bir noktada o kadar fazla oksijen (ve azot) olacaktır ki reaksiyon ürünleri etrafındaki gaz molekülleri için tutuşma kaynağı görevi görebilecek kadar sıcak olamayacaktır. Sonunda bir alev yüzeyinin oluşması imkansız hale gelecektir. Yakıt için çok fazla havanın bulunduğu karışımda alt patlama sınırı veya alt yanma sınırının olduğu nokta burasıdır.

Şekil 4'den sonra oksijen yerine fazladan CH_4 ilave etmek mümkündür. Reaksiyon sürecinin sonunda oksijen değil fazla metan olacaktır. Bunun yanındaki azot miktarı eşit kalacaktır. Fazla metanın aktivasyon enerjisi tarafından ısıtılması gerekecektir. Başlangıçta fazla metan olduğundan süreç daha çok enerjiye ihtiyaç duyacaktır. Fazla metan yanmadığı gibi üretilen enerjinin bir miktarını emecektir. Bu, reaksiyon ürünlerinin toplam sıcaklığının düşmesine neden olacaktır. Bir noktada karışım içinde o kadar fazla metan bulunur ki alev yüzeyinin oluşması imkansız hale gelir. Bu nokta, üst patlama limiti veya üst yanma sınırını oluşturur.

Patlama sınırları yüzdelik hacimlerle gösterilir. Alt patlama sınırı (LEL) yanıcı bir karışım oluşturabilmek için havaya ilave edilmesi gereken yakıt yüzdesini ifade eder. Üst patlama sınırı (UEL) karışımın yanıcılık göstermemesi için ilave edilmesi gereken yakıt yüzdesini ifade eder.

Madde	LEL or LFL (Hacim %)	UEL or UFL (Hacim %)
Hidrojen	4	75
Karbonmonoksit	12,5	74
Metan	5	15
Etan	3	12,4
Propan	2,1	9,5
Butan	1,8	8,4
Methanol	6,7	36
Ethanol	3,3	19
Aseton	2,6	13

Metan çoğunlukla doğal gaz olarak bilinen bir gazdır. Alt patlama sınırı %5'tir. Bu demektir ki tutuşmak için yeterli doğal gaz karışımında %5 metan ve %95 hava vardır. Bir diğer ifadeyle karışımında %5 metan, %19,95 oksijen ve %75,05 azot bulunmalıdır. Üst patlama sınırı %15'tir. Her iki sınır değeri de yaklaşık rakamlardır. Literatürde bazı farklı değerler görülebilir.

1.2 Termal balast*

Yukarıdaki farklı çizimlere baktığımızda, yanma reaksiyonuna katılmayan farklı miktarda gazların gittikçe arttığını görürüz. Bu gazlar serbest yüklenici görevini görür. Yanma sürecine dahil olmazlar, fakat aktivasyon enerjisi tarafından ısıtılmaları gerekir. Bu demektir ki karışımı tutuşturmak için daha fazla aktivasyon enerjisi gerekir. Bunun yanında, yanma sonucu üretilen enerji tarafından da ısıtılmaları gerekir. Bu, yanma sonrasında daha düşük sıcaklıklara neden olur.

Bu etkiye *termal balast (ısı dengeleyici)* adı verilir. Kimyasal sürece katılmayan moleküller kimyasal süreç içinde bir dengeleyicidir. İyi bir yanmanın gerçekleşmesini zorlaştırırlar. Yeteri kadar dengeleyici varsa, yanma imkansız hale gelir.

Termal balast itfaiye teşkilatı için önemli bir konsepttir. Bunun bir örneği, önceki kısımda anlatılan buhar ilavesidir. İtfaiyeciler dahilden müdahaleye başladığında, gazları soğutmak zorundadırlar. Bunu yapabilmek için, küçük su damlacıkları pulvarize şekilde duman katmanına sıkılır. Su damlacıkları duman katmanından enerji çekerler. Sonrasında buhar oluşur. Buhar dumanla karışan bir gazdır. Bu demektir ki yukarıdaki çizimlerin sağ tarafına bir dikdörtgen daha ilave etmek gerekir. Su buharı reaksiyon sürecine dahil olmaz fakat aktivasyon enerjisinin ve reaksiyonun kendisi tarafından üretilen enerjinin bir kısmını emer. Karışıma buhar katılarak yanmaz hale gelmesi sağlanır.

Aslında, balast yanma sürecinden ısıyı çeker. Moleküller tarafından emilen ve yanmaya dahil olamayan ısı, bu yanma süreci tarafından "kaybedilmiştir".

Üretilen enerjinin nereye yönlendiğine bakmak ilginçtir. Bir yangında veya yanma reaksiyonunda (mesela mum alevinde) enerji, tam da yanmanın olduğu yerde üretilir. Sonrasında bu enerji iletim, taşınım ve ışınım yoluyla yayılır. Çok fazla enerji reaksiyon alanından dağıldığında yanma durur.

*Ç.N. Metnin orijinalinde "thermal ballast" olarak geçen kavramdaki, temel olarak dengeleyici anlamına gelen balast kelimesinin tam Türkçe karşılığı yoktur. Denizcilikte yükü dengelemek için deniz suyu alınan balast tanklarına Türkçede safra tankı denir. Ancak itfaiyecilik literatüründeki bu tabirin henüz bir Türkçe karşılığı olmadığı için safra kelimesi yerine balast kelimesini kullanmak ve kavramı ısı balast/termal balast olarak tercüme

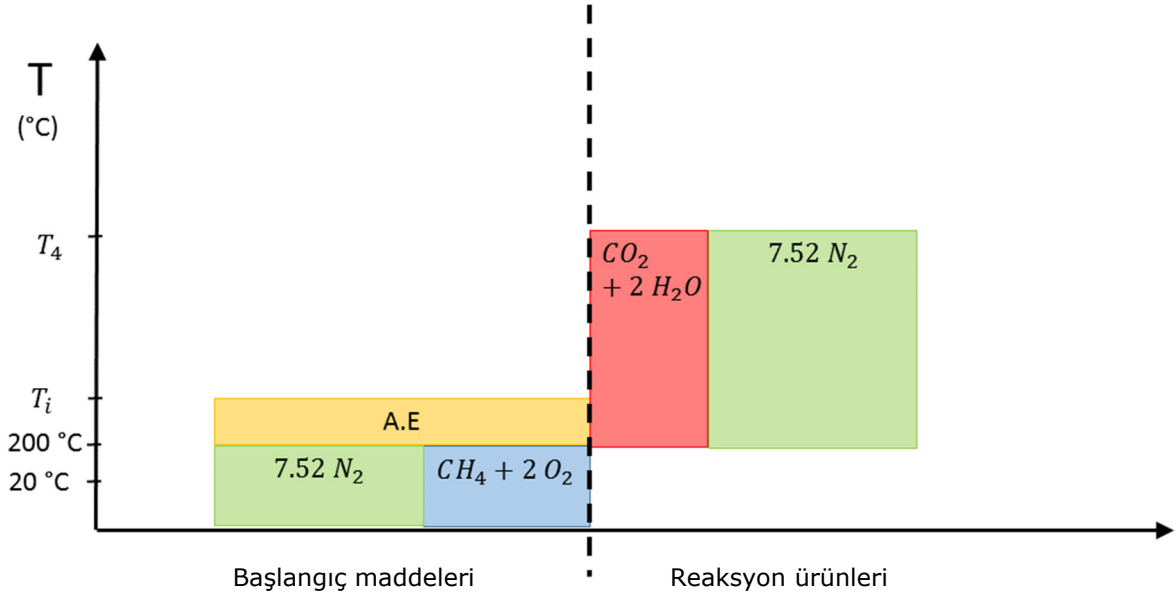
Bu etki bir mum alevi üzerinde gözlenebilir. Mum, laminer difüzyon aleviyle yanar. Bu demektir ki oksijen ve yakıt sürekli olarak alev yüzeyinde karışmaktadır. Bu ayrıca alevin üst tarafının alt tarafta üretilen enerji tarafından "tutuşturulduğu" anlamına gelir. Bir metal ağ parçası alevin ortasına tutuştuğunda alevin üst tarafı kesilir. Bunun sebebi metal ağın alevin ısını emmesi ve geri yansıtmasıdır. Yanıcı gazlar, ağın içinden yükselmeye devam ederler fakat ısılarını ağa transfer ederler. Ağ ısıyı etrafına iletir. Ağın üzerinde hala daha yakıt-oksijen karışımı bulunur fakat artık karışımda tutuşmaya yetecek kadar enerji yoktur. Alevin enerjinin alınması nedeniyle yayılamaması şeklinde tarif edilen bu olguya *söndürme* denir.

Bu olgu, bir kapalı alan yangınına birkaç farklı yolla etki eder. Yangının bulunduğu odanın duvarları kısmen bir metal ağ görevi görür. Fakat yangın üzerindeki etkileri daha karmaşıktır. Yangının başlangıcında, duvarlar ısı çeker. Çekilen miktar bu duvarların yapısal özelliğine bağlıdır. Bir süre sonra duvarların yüzeyi çok sıcak olacaktır. Isı emilimi azalacaktır. Bu metal ağla aynı değildir. Metalin çok iyi ısı iletme özelliği vardır. Yapı inşasında kullanılan çoğu malzeme bu özelliğe sahip değildir. Bu nedenle, duvarların ısı emmesi bir süre sonra değişir.

Oda yangınlarında bu etkinin gözlemlendiği ikinci durum, itfaiyecilerin alevlere su sıkmasıdır. Her bir damlacık belirli bir miktar enerjiyi emer. İki damlacık birbirine yakın olduğunda o kadar çok enerji emilir ki alev bu damlacıkların arasından geçemez. Su damlacıklarından oluşan bir sis, alev yüzeyine doğru ilerlediğinde, mum alevinin arasından geçen metal ağla aynı işlevi görecektir. Damlacıklardan oluşan sis, alevi söndürebilecek derecede soğutma yapabilir.

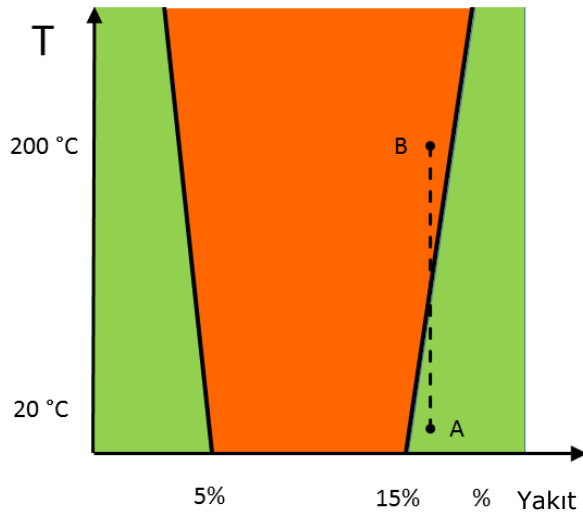
Isıl balast diğer yönden de faaliyet gösterir. Şekil 4 metanın hava içinde yanmasını göstermektedir. Her iki gaz da tutuşma sırasında oda sıcaklığındadır. Aktivasyon enerjisinin, reaksiyonu başlatması için bir noktada gazları yeteri kadar ısıtması gerekir.

Yukarıdaki yazıda metan dumanın yanıcılığını göstermek için kullanılmıştır. Duman nadiren oda sıcaklığında olur. Dumanın sıcaklığı, yangının ısı yayım oranı tarafından belirlenir. Sıcak duman yükselip yangından uzaklaştığında havayla karışır. Bu dumanın soğumasına neden olur. Şekil 6 metan ve havanın ideal yanmasını göstermektedir. Şekil 4'ün aksine gaz ve hava şimdi oda sıcaklığından yüksek bir sıcaklıktadır. Karışımın sıcaklığı 200°C'dir. Şekil 6'yı şekil 4'le kıyasladığımızda daha az aktivasyon enerjisi gerektiğini görürüz. Turuncu dikdörtgenin yüzey alanı daha küçüktür. Bunun yanında ürünlerin son sıcaklığı 180°C daha yüksektir. Sonuçta, yanma sırasında eşit miktarda enerji üretilir. İlk sıcaklığın şekil 4'de gösterilenden 180°C daha sıcak olması nedeniyle son sıcaklık da 180°C daha sıcak olacaktır. Bu yeşil ve kırmızı dikdörtgenlerin şekil 6'da şekil 4'e göre dikey eksen de daha yükseğe çıkmasıyla gösterilmiştir. $T_4 > T_2$.



Şekil 6 Metanın hava içinde ideal yanmasının gösterimi. Her iki unsurun da başlangıç sıcaklığı 200°C'dir. Bu demektir ki ihtiyaç duyulan aktivasyon enerjisi, oda sıcaklığında bir karışımın tutuşması için gerekenden daha az olacaktır. Bu şekil 4'de turuncu dikdörtgenin alanının daha küçük olmasıyla gösterilmiştir. (Çizim: Karel Lambert)

İlk sıcaklığın fazla olmasının bir diğer önemli yanı, yanma aralığının genişlemesidir. İhtiyaç duyulan aktivasyon enerjisi azalmıştır.



Şekil 7 Metanın patlama sınırlarının sıcaklığa göre gösterilmesi. A noktasındaki karışım yanıcı değildir. Karışım 20 °C'den 200 °C'ye ısıtıldığında B noktasına ulaşır. B noktası yanma aralığının içerisindedir. (Çizim: Karel Lambert)

noktasının ise dışında olduğunu açıkça görebiliriz. Değişen tek şey sıcaklıktır.

Yukarıdaki paragraflarda, bazı karışımların tutuşturulamayacağını çünkü, yanmanın diğer moleküller için yeterli aktivasyon enerjisi sağlayamayacağını açıkladık. İhtiyaç duyduğu aktivasyon enerjisinin sağlanan enerjiden daha fazla olması nedeniyle 20 °C'de tutuşturulamayan bir karışım 200°C'de tutuşturulabilir. İhtiyaç duyulan aktivasyon enerjisi azalırken, üretilen enerji aynı kalır. Buna göre yanma aralığı, sıcaklık arttığında genişler. Bu itfaiye operasyonlarında özellikle önemlidir. İtfaiyeciler oldukça yüksek sıcaklıklarda çalışırlar. Şekil 7 %15'den fazla metana (A noktası) sahip bir karışımın 20°C'de tutuşturulamayacağını gösterir. Karışım ısıtıldığında bir noktada karışım yanabilir hale gelecektir. B noktasının yanma aralığının içerisinde olduğunu, A noktasının ise dışında olduğunu açıkça görebiliriz. Değişen tek şey sıcaklıktır.

1.3 Kapanış notları

Son olarak, yukarıdaki paragrafların gerçeğin basitleştirilmiş bir temsili olduğunu belirtmemiz gerekir. Açıklamada metan, kullanılmasının nedeni kolay bir madde olmasıdır. Bunun yanında metan mutfaklarda yemek pişirmek için kullanılır. Herkes doğal gazı bilir.

Bir yangın sırasında, yanıcı karışım metan ve hava tarafından oluşturulmaz. Karışım yangın gazı ve piroliz gazının hava ile karışmasından oluşur. Yangın gazları CO₂ ve su dışında birçok farklı bileşenden oluşur. Diğer gazların yanında CO ve HCN gibi gazlar da üretilir. Bu gazların her biri kendi yanma aralığına ve kendiliğinden tutuşma sıcaklığına sahiptir. Bunun yanında çok miktarda piroliz gazı üretilir. Yanma için ne kadar az hava varsa o kadar çok bu gazlardan üretilir. Piroliz gazları, metan ve diğer yangın gazlarından farklı davranış gösterir.

Dolayısıyla gerçekte durum yukarıda anlatıldığından çok daha karmaşıktır. Yine de metan kullanılarak yapılan basit bir görsel yanma sınırlarını açıklamak için yardımcı olabilir. Bu sınırlar, backdraft, parlama ve duman patlaması gibi hızlı yangın gelişimini açıklamak açısından çok önemlidir. İtfaiyecilerin yanma sınırlarını daha derinden incelemesi bu nedenle çok önemlidir.

2 Kaynaklar

- [1] *Introduction to fire dynamics 2nd edition, Dougal Drysdale, 1999*
- [2] *Atak konteyneri için CFBT eğitimci eğitimi, Karel Lambert, 2016*
- [3] *Uluslararası yangın gelişimi ve söndürme eğitimi, Lars Ågerstrand, Zweden, 2016*

Yazar hakkında:

Karel Lambert, Brüksel İtfaiye Teşkilatında bir grup amiridir. Aynı zamanda kendi ikamet ettiği kasabada gönüllü itfaiyecidir. Dünya çapında 9 farklı ülkede eğitim programlarına katılmış bir uluslararası eğitmenidir.

Karel inşaat mühendisliği, iş sağlığı ve güvenliği ve yangın güvenliği mühendisliği alanında yüksek lisans yapmıştır. Ghent Üniversitesinde misafir eğitmenidir.

Karel, iki kitapta ortak yazardır ve itfaiyecilikle ilgili çok sayıda makale yazmıştır.

