



Hava kirliliği

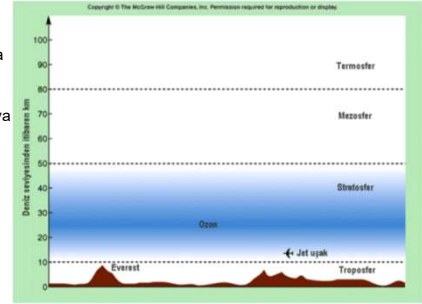
- Saf hava nitrojen, oksijen ve argon, neon v.d. gazların karışımından oluşmuştur.
- Atmosferik hava, ayrıca su buharı, karbondioksit ve diğer bazı gazlar ile aerosol olarak adlandırılan sıvı ve katı küçük partikülleri de içerir.
- Kesin bir karışım belirlenemeyeceği için, hava genellikle "kiri" dir.
- Çözülmesi gereken problem bu kirlilik derecesini en alt sınıra indirebilmektir.
- Her 1000 otomobil günde yaklaşık 3000 kg karbondioksit, 200-400 kg yanmamış hidrokarbon, 50-150 kg nitrojen oksitleri yaymaktadır.
- Yetişkin aktif bir insan günde 10 000 – 20 000 litre, dakikada 7 – 14 litre hava kullanmaktadır.
- İnsanın hava ile alacağı çok düşük oranlardaki zehirler bile, kısa zamanda öldürücü doza ulaşabilir.



Atmosfer...

Katmanları →

- Dünyadan uzaklaştıkça yoğunluk azalır.
- Troposfer hava olaylarının bulunduğu katmandır.
- Ozonun çoğu Stratosferde bulunur.



Atmosfer...

- Hacim ile kısmi basınç ve molekül sayısı arasında direkt bağıntı bulunduğundan, havadaki konsantrasyonlar genellikle hacimsel olarak ifade edilmektedir. (*Dalton Kanunu*)
- Atmosferik maddelerin konsantrasyonlarının belirtilmesinde genellikle ppm ve mg/m³ birimleri kullanılmaktadır.
- 1 atm basınçtaki 1 cm³ ortam havasında ~2,693 x 10¹⁹ molekül bulunur (*Loschmidt sayısı*).

Atmosfer...

Çeşitli gazların temiz havadaki tipik konsantrasyonları (ppm)

❖ Nitrojen	780 840	❖ H ₂ O	0 ~ 70000
❖ Oksijen	209 460	❖ CH ₄	1,5
❖ Argon	9 340	❖ CO	0,1
❖ Karbondioksit	360	❖ O ₃	0,02
❖ Neon	182	❖ NH ₃ (amonya)	0,01
❖ Helyum	5,2	❖ NO ₂	0,001
❖ Kripton	1,1	❖ SO ₂	0,0002
❖ Hidrojen	0,5	❖ H ₂ S (hid sülfid)	0,0002
❖ Nitrus oksit (N ₂ O)	0,5		

Bazı aşırı kirlilikler

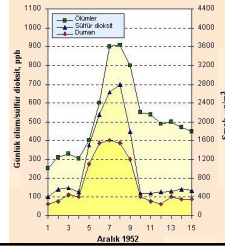
- Los Angeles fotokimyasal smogu (1940 lar)
- Otomobil emisyonlarından NO_x , peroksiasetil nitrat (PAN) ve güneş radyasyonu arasındaki fotokimyasal reaksiyonlardan büyük miktarda O_3 oluştu.



Kaydedilen ilk Los Angeles smog fotoğrafı, 1943

Bazı aşırı kirlilikler...

- Londra smogu (1952)
- "öldürücü sis": 4 haftada 4 000 kişi öldü.
- Smog içindeki sülfür bileşiklerine bağlandı.
- Günlük maksimum konsantrasyonlar yaklaşık $4000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ SO_x ve $6000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dumandı.



50 years on

The struggle for air quality in London since the great smog of December 1952

Bazı aşırı kirlilikler...

- Londra smogu (1952)...



Bazı aşırı kirlilikler...

- İskandinavya asit yağmuru (1968)
- Bina hasarları
- Ekolojik değişiklikler



1702 Yapımı bir heykelin 1908 ve 1969 görünüşleri



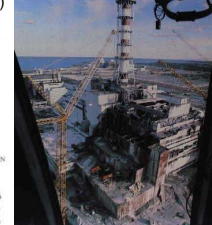
Bazı aşırı kirlilikler...

- Bhopal kimyasal tesis kazası (Union Carbide India Limited böcek ilacı fabrikası-1984)
- 40 ton metil-izosiyanat (MIC - $\text{C}_2\text{H}_5\text{NO}$) yanlışlıkla serbest bırakıldığında tahminen 4000 -10000 arası kişi zehirlenerek öldü ve 200 000'den fazlası solunum ve göz hastalıklarına yakalandı. Bölgedeki etkileri hala devam ediyor.



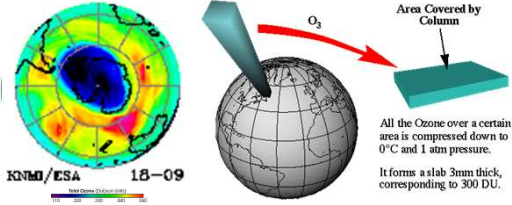
Bazı aşırı kirlilikler...

- Çernobil radyasyon kazası (1986)
- Nükleer santral patlamasında 250 curie'den fazla radyoaktif izotop serbest kaldı.
- Tüm Kuzey ve Doğu Avrupa ve Türkiye etkilendi. 30 ölüm, sayısız radyasyon hastalığı oldu.
- Gerçek ölü sayısı 50 000...90 000 arası (Ukrayna, Dünya Sağlık Örgütü ve Greenpeace'e göre farklı)
- Şu an 60 km çapında yasak bölge



Bazı aşırı kirlilikler...

- Antartika ozon deliği (1983'ten bu yana)
- CFC ozona zarar veriyor.



Bazı aşırı kirlilikler...

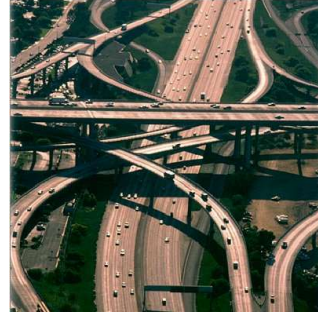
- Endonezya orman yangını (1997)
- 30 000'den fazla insan solunum problemlerinden rahatsız oldu. Görüş çoğu yerde 30 m nin altına indi. Bu havayı solumanın günde 100 sigara içmeye eşdeğer olduğu bildirildi.



Temiz Hava Yasası değişiklikleri (1990)

- HC, CO, NO_x ve partikül emisyonlarında daha fazla azaltmak
- Amaçlar
 - Hava kalite standardı ile halk sağlığını koruma şikayetlerini önlemek
 - Gölleri, anıtları, görüş mesafesini ve halk sağlığını korumak için asit yağmurlarını azaltmak
 - Kansere ve ekosistemler için ana sorunlara yol açan hava zehirlerini azaltmak
 - UV radyasyonunu azaltmak için ozon tabakasını korumak

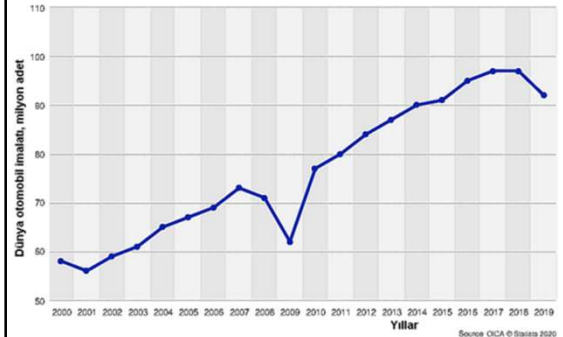
Ulaşım ve hava kirliliği



Ulaşım ve hava kirliliği...

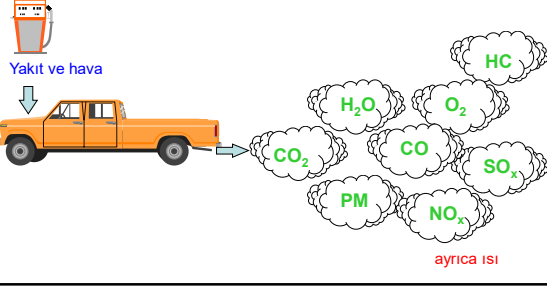
- Hava kirliliğine en fazla etki yapan sektörlerin başında ulaşım endüstrisi gelmektedir.
- Bunda da en büyük pay, motorlu taşıtlara aittir ve çözümü şu sebeplerle daha zordur:
 - Küçük türler ve servisleri genellikle uygun olarak yapılmamaktadır.
 - Çalışma koşulları (hız, yük, ivme) çok değişkendir.
 - Yollarda milyonlarca örneği bulunmaktadır.

Dünya otomobil üretim ve sayıları, 1950-2019



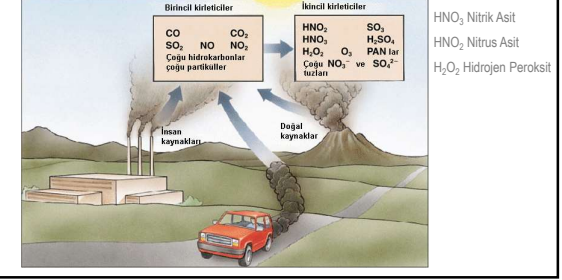
Kirleticiler

- Fosil yakıtın cinsine ve yanma işlemine bağlı olarak değişen miktarlarda zararlı ürünler atmosfere yayılmaktadır.
- Yanma reaksiyonu ile ortaya çıkan kirletici fosil yakıt emisyonları, birincil (primer) ve ikincil (sekonder) kirleticiler diye ayrılmaktadır.



Kirleticiler...

- Birincil (primer) kirleticiler**
 - Serbest kaldığında değişmemiş biçimleriyle sağlık riski oluşturan maddeler
- İkincil (sekonder) kirleticiler**
 - Birincil kirleticilerin birbirleriyle güneş ışığı veya doğal gazlarla etkileşimi sonucu oluşan zararlı yeni bileşikler

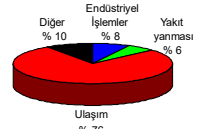


Karbon monoksit (CO)

- Özellikler:** renksiz, kokusuz, zehirli gaz, atmosferin % 0,0036'sı
- Etkiler:** Solunduğunda, kan tarafından absorbe edilir ve kanın oksijen taşıma kapasitesini azaltır. Havadaki % 0,5 karbon monoksit kandaki hemoglobinin % 50 den fazlasını karboksihemoglobine dönüştürerek yarım saatten kısa bir sürede ölümcül olabilir. Düşük karbon monoksit konsantrasyonları (3 ppm) zehirlenme belirtilerine yol açar ve kalp, akciğer ve solunum rahatsızlığı olan kişileri etkiler.
- Fotosentezi önleyerek bitki solunumunu etkiler.
- Karbon monoksit kimyasal olarak çok kararlı olmadığından, direkt küresel etkileri çok sınırlıdır (muhtemelen yoktur).
- Karbon monoksit sera gazlarının oluşumuna dolaylı olarak katalist etkisi yapar.

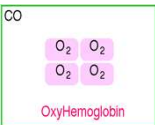
Karbon monoksit kaynakları ve azaltımı

- Kaynaklar:** Fosil yakıtların tam olmayan yanmasının sonucu. % 70 – 90'ı ulaşımdan (trafiği yoğun arterlerden, özellikle kentsel alanlardan) kaynaklanıyor.
- EPA Standardı: 9 ppm
- Atmosfere yılda 5,5 milyar ton yayılır.



Karbon monoksitin sağlık etkileri

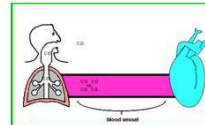
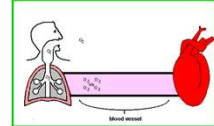
Tetramerik (4 alt ünite) hemoglobin molekülünün normal oksijenlenmesi (Deoksi) hemoglobinden oksihemoglobine dönüşürken rengi maviden, atardamar kanında olduğu gibi pembeye değişir.



Karbon monoksit (CO) hemoglobin ile çok yüksek bağlanma özelliği nedeniyle, hemoglobindeki oksijenin yerini alıyor ve oksijenin vücudun dokularına ve organlarına taşınmasını önüyor. Karboksihemoglobin kırmızımı renktedir.

Karbon monoksitin sağlık etkileri...

Oksijen akciğerlerden dokulara kandaki hemoglobinle taşınır. Kalp atışı ve normal sağlıklı oksidatif metabolizma devam eder.



Karbon monoksit zehirlenmesi sırasında, akciğerlerden dokulara kan hemoglobini ile oksijen taşınması yerine CO taşınır ve normal oksidatif metabolizma bloke olur.

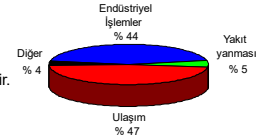
HC - hidrokarbonlar

HC - Hidrokarbonlar

- Hidrokarbonlar (HC), karbon ve hidrojenle oluşan kimyasal bileşik grubudur. Tam olmayan yakıt yanmasının (%70), doldurma sırasındaki kaçakların (%10) veya depolardan buharlaşmanın (%20) sonucudur.
 - Yazın gece boyunca park edilen bir otomobil yaklaşık olarak 4 gram HC/VOC yayar.
- Birçok HC ve VOC ağır gazlar veya şiddetli kokulu uçucu bileşiklerdir.
- HC gaz formunda olduğunda uçucu organik bileşikler (Volatile Organic Compounds -VOC) olarak adlandırılırlar.
- Metan (CH₄), benzin (C₆H₁₄) ve diesel buharları, benzen (C₆H₆), formaldehit (CH₂O), bütadien (C₄H₆) ve asetaldehit (CH₃CHO) bu gruptadır.
- Ulaştırma toplam HC/VOC emisyonlarının % 40 ... 50 sini oluşturur.
- Ozon oluşumuna yardım eder ve bazı HClar kanserojen olarak sınıflandırılır.

VOClar (uçucu organik bileşikler)

- Özellikler: **Kolayca buharlaşan organik bileşikler, genellikle aromatikler**
 - Etkiler: Tüm HC/VOC bir ölçüde kanserojen (benzenle bağlantılı lösemi); göz ve solunum yolu tahrişleri; kahverengi dumana bağımlı azalan görüş mesafesi; akciğer veya böbrek hasarı
 - Yüksek konsantrasyonlarda ölümcül
 - Mahsule zararlı, besin zinciri içinde birikir.
 - Ağır hidrokarbonlar, hafif hidrokarbonlardan daha kanserojendir.
 - Smogun bileşenleridir, ozon için katalisttir ve asit yağmurlarının bileşenleridir.
- Kaynaklar: **solventlerin, fosil yakıtların, bitkilerin (en büyük kaynak), aerosollerin, boya incelticilerin veya kuru temizleyicilerin buharlaşması**
- Sınıf: Zararlı hava kirleticiler (HAPlar -Hazardous Air Pollutants)



Sülfür Dioksit (SO₂)

- Özellikler: **Fosil yakıtların tümünün bileşiminde az veya çok miktarda kükürt bulunur. Yanma sonucu bu kükürt SO₂ ve SO₃ biçimine dönüşür ve bunlar kısaca SO_x olarak belirtilir. Tahriş edici kokulu rensiz zehirli gaz**
- Etkiler: Asit yağmurları (H₂SO₄) oluşturucu, tahriş edici, solunum yolu enfeksiyonlarına (Yokkaichi astımı denilen müzmin bronşite sebep olmaktadır) ve kalp rahatsızlıklarına neden olduğu gibi, nefes zorluğuna yol açıcı, şümkük salgılaması, duyarlı kişilerde hırıltı, nefes darlığı ve oksürük gibi duyuylabilir akciğer fonksiyonu değişikliği belirtileri, havada yüksek düzeylerde partiküller olduğunda artan ölümcül etki
- Kaynaklar: **Yüksek sülfürlü kömür veya yakıt yanması metal eritme veya kağıt imali. Ulaştırım sektöründen (taşıtlardan ve petrol rafinerilerinden) kaynaklanan SO_x emisyonlarının miktarı, diğerine oranla oldukça azdır. Foga sebep olan ana kirleticilerden biridir.**
- Sınıf: **sülfür oksitler**
- EPA Standard: **0,3 ppm (yıllık ortalama)**

Asit yağmuru

- Sülfür dioksitler ve nitrojen oksitler atmosferdeki su ile birleşerek sülfürik asit ve nitrik asit oluştururlar.
- Kirleticiler havada ~1-3 gün kalabilir ve 400-1200 km katedebilirler.
- Atmosferdeki su ile birleşerek yağmur, kar, vb. olarak yağarlar – su ile pH normal yağmurdan daha asitlik.



Nitrojen oksitler (NO_x)

- Nitrik oksit (NO)
- Nitrus oksit (N₂O)
- Nitrojen dioksit (NO₂)

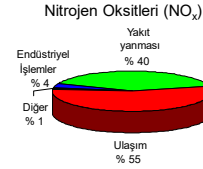
Nitrojen Dioksit (NO₂)

- Özellikler: **Kırmızımsı kahverengi, kokusuz, zehirli gaz, taşıtlarda yakıt yanmasıyla oluşan şiddetli oksitleyici, havada nitrik asit oluşturur.**
- Etkiler: Asit yağmuru, akciğer ve kalp problemleri, görüş mesafesi azalması (sarı sis), bitkilerin büyümesini önler. Solunum sistemini ve gözleri tahriş eder, gribe sebep olur. Anlamlı nitrojen dioksit konsantrasyonlarının etkisinde kalındığında bakteriyel enfeksiyonlara direnci azalır. Smog oluşumuna yardım eder ve insanlarda solunum yolu problemlerine yol açar. Son on yılda ortalama her yıl % 0,2 oranında artmıştır. Ozon için katalisttir, asit yağmurunun ve smogun bileşenidir.
- Kaynaklar: Oksijenin hidrokarbon yerine nitrojeni oksitlemesi biçiminde gerçekleşen fosil yakıtların yanmasının yan ürünüdür. Toplam nitrojen oksitleri emisyonlarının % 45 ... 55 kadarı ulaştırmadan kaynaklanır.
- EPA Standard: **0,053 ppm**

Nitrojen oksitlerin sağlık etkileri

Nitrik oksit (NO)

- Yüksek konsantrasyonlarda hücre iltihabına sebep olur.
- Kandaki hemoglobine bağlanarak vücuda oksijen taşınmasını engelleyebilir.



Partiküller (PM)

- Egzoz gazlarında farklı kompozisyon ve boyutlardaki küçük parçacıklar
- Şehir havasında ortalama olarak 2-3 milyon partikül/litre bulunabilir.
- 0,1 – 5 mikron çapındaki parçacıklar ciğerlerde kalabildiği için sağlığa zararlıdır.
- Partikül oluşumunun sebebi, buji ile ateşlemeli motorlarda zengin hava-yakıt karışımının tam olmayan yanması, sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda ise yanmanın heterojen doğası, yani türbülans ve oksijen yetersizliğidir.

Partikül madde (PM₁₀)

- Özellikler: **Havada asılı** katı özlü **partiküller** (PM₁₀ çapları metrenin 1/10 milyonundan küçüktür <10 µm)
- Etkiler: Partiküller kanserojendir. Kalp-damar problemlerine yol açar, göz, burun, boğaz ve akciğer yangılanmalarına astıma, akciğer doku hasarına sebep olur. Boyutları 5 mikrondan küçük olduğunda solunum yolu ve kalp-damar problemlerini kötüleştirir.
- Kaynaklar: **kömür veya diesel yanması, yanardağlar, fabrikalar, karayolları, hafriyat, keten, polen, sporlar, yanan alanlar.** Atmosferdeki partiküllerin yaklaşık 1/5 'i ulaşım endüstrisinden kaynaklanmaktadır.
 - Diesel motorları ana yayıcılarıdır.
- EPA Standardı: 50 µ g/m³ (yıllık ortalama)

Partiküller (PM)...

- Bazı yakıt damlacıkları asla buharlaşmaz ve yanmazken değişime uğrar.
- Silindirdeki yüksek sıcaklık ve basınçlar, bu moleküllerin yanma şansını bulmadan kompozisyonlarını değiştirerek karbonlu is partiküllerini oluşturur.
- Yanmamış veya kısmen yanmış damlacıklar bu karbonlu partiküllerin üzerinde yoğunlaşarak boyut ve kütlelerini artırır.
- Partiküller de birbirine yapışarak görünür dumanı oluşturur.
- Bu damlacıklar daha sonra türbülent alev içerisinde kısmen veya tamamen yanabilir.
- Tam olarak yanmayan damlacıklar, ağır sıvı veya karbonlu malzeme partikülleri olarak atmosfere yayılırlar.

Smog

- ◆ Katı ve sıvı sis ve duman parçacıklarının karışımıdır.
- ◆ Smogun etkileri ana bileşenleri ile ilişkilidir. Görüş mesafesini dikkate değer oranda kısıtlar ve farklı sıkıntılara (koku, tahriş, solunum yolu ve kalp-damar problemleri, vb.) sebep olur.
- ◆ Bileşimleri nedeniyle, smog asit yağmurları ve sera etkileriyle yakın ilişkilidir.
- ◆ Büyük şehirlerde ciddi smog problemleri olmaktadır.
 - Emisyonları azaltma politikaları
 - Sıkı emisyon kontrolleri
 - Dönüşümlü sürüş günleri



Smog...

İki tür:

- ◆ **Endüstriyel smog:** Soğuk havalarda endüstriyel şehirlerde görülen gri hava
- Özellikle kentsel alanlardaki endüstriyel faaliyetler, fosil yakıt (kömür, yağ, vb.) yanması ile yakından ilişkilidir ve şunları içerir:
- toz
 - duman
 - is
 - küller
 - asbest
 - yağ
 - kurşun
 - ağır metaller
 - sülfür oksitler



Ör. 1952 Londra smogu

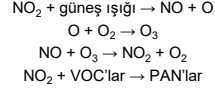
Smog...

- **Fotokimyasal smog:** Ilık, durgun havalarda büyük şehirlerde görülen kahverengimsi sarı ve kokulu sis
- Çoğunluğu kentsel alanlardaki yoğun trafikteki taşıt egzoz gazlarından kaynaklanmaktadır ve şunları içerir:
- karbon monoksit
 - Ozon
 - HC/VOC
 - Nitrojen oksitler
 - Sülfür oksitler
 - Su buharı
 - Partiküller ve diğer kimyasal kirleniciler
- Fotokimyasal smog ozon ve HC/VOC'un yüksek konsantrasyonlarıdır.
- Özellikle termal inversiyon (kirlenici toplanmasına yol açan statik bölgesel hava kütleleri) sırasında yoğunudur.
- Ör. Los Angeles smogu

Fotokimyasal smog'un kimyası

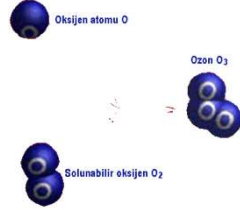
- Fotokimyasal reaksiyonlarla oluşan üç önemli kirlenici:
 - Ozon (O₃)
 - Aldehitler (RCHO)
 - Peroksi-asetil-nitratlar PAN'lar (RCO₂ONO₂)
- Güneş ışığı
- NO_x üretimi
- VOCların üretimi
- Sıcaklıklar (T> 18°C) olduğunda

Fotokimyasal smog'un kimyası...



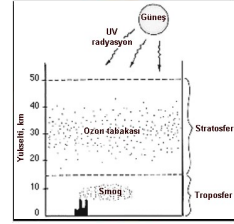
Ozon (O₃)

- **Özellikler:** Soluk mavi renkli, kötü kokulu, üç oksijen atomlu kararsız molekül, fotokimyasal smogun ana elemanı
- **Etkiler:** Akciğer tahriş edici, bitkilerde, lastiğe, dokumaya, gözlere, hasar verir. Havada 0,1 ppm den fazla konsantrasyonlarda olduğunda zararlıdır.
- **Kaynaklar:** Güneş ışığının NO_x ve VOC'a etkisiyle oluşur, otomobiller, endüstri, gaz buharları, kimyasal solventler, yakıt yanma ürünleri. Ozon kirliliğinin yarısından fazlasından otomobiller sorumludur.
- **Sınıf:** Fotokimyasal oksitleyiciler

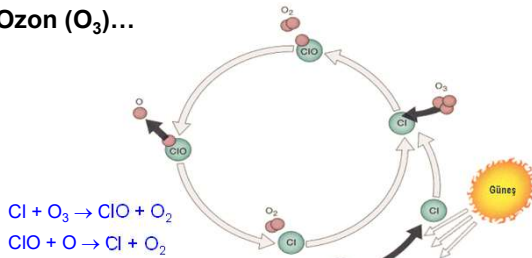


Ozon (O₃)...

- Ozon katmanı dünyanın atmosferinde O₃ molekül konsantrasyonu olan bir bölgedir.
- Stratosferdeki ozon "iyi ozon"dur.
- Katman, maksimum konsantrasyon stratosferde 30 km yükseklikte olmak üzere yaklaşık 15-50 km yükseklikte bulunur.
- Ozon katmanı, güneşin ultraviyole (UV) radyasyon ışınlarının dünyanın hayatına zararlı etkilerini engelleyen doğal bir filtre oluşturur.
- Zayıflaması deri kanseri ve kataraktlara yol açar.



Ozon (O₃)...



CFC'ler yoğun UV ışığı altında parçalanabilir ve her biri stratosferik ozon katmanında binlerce ozon molekülünü tahrip edecek klor atomları bırakırlar. Böylece UV radyasyonun dünyaya ulaşması kolaylaşır. Bir tek klor atomu başka bir madde tarafından ortamdaki uzaklaştırılıncaya kadar yaklaşık 100,000 ozon molekülünü bozabilir.

Aldehitler

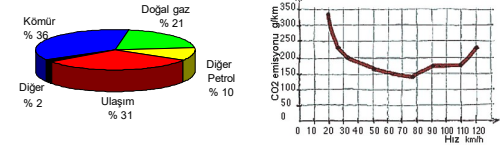
- Aldehitler egzoz gazlarında bulunmaktadır. Hidrokarbonların oksitlenmesiyle oluşan organik bileşiklerdir ve genel formülleri R(C=O)H biçimindedir. Buradaki R, bir hidrojen atomu veya CH₃, C₂H₅ gibi hidrokarbil grubudur.
- Aldehitler hava kirlenitçileri olarak henüz standartlara alınmamıştır. Aldehitler güneş ışığını absorbe ederek radikalleri üretirler. Egzozdaki aldehit tür ve miktarı, yakıtın kompozisyonuna ve yakıt sistemi tipine bağlıdır.
- Egzoz gazlarındaki en önemli aldehitler şunlardır:
 - Doymuş ortalama %
 - Formaldehit (metanal, CH₂O) 70,2
 - Asetaldehit (etanal, CH₃CHO) 7,2
 - Doymamış
 - Akrolein 9,8
 - Benzaldehit 8,5
- Formaldehit ve akrolein göz yangılanmasına sebep olur.

Peroksi-asetil-nitrat

- **PeroksiAsetil Nitrat (PAN)** { R-C-O-O₂-NO₂ }
 - Peroksi-asetil-nitrat suda çözülebilir organik nitratır.
 - Fotokimyasal zincirleme reaksiyonlarının devamını sağlar.

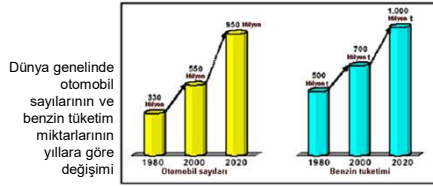
Karbondioksit (CO₂)

- Renksiz ve kokusuz bir gazdır. Doğal havanın % 0,03'ünü oluşturur. Hidrokarbon yakıtların hava ile tam olarak yanmasının sonucunda üretilir. CO₂ emisyonu, en ekonomik sürüş hızlarında en düşük düzeydedir.
- Karbon dioksit insan sağlığını doğrudan etkilemez, ancak en önemli sera gazıdır ve dünyanın sıcaklığını koruyarak küresel ısınmaya yol açar.
- Çevrenin korunması açısından önemli olduğu halde sınırlandırılmamakta ve taşıtlarda herhangi bir kontrol sistemi uygulanmamaktadır.
- Tüm dünyada CO₂ düzeyi yılda 1ppm (% 0,3/yıl) artmaktadır. Dünyanın sıcaklığının son 100 yılda 1°C arttığı ifade edilmektedir.



Karbondioksit (CO₂)...

- Verimlilik arttıkça oransal olarak CO₂ emisyonu azalır.



Hava kalitesi indeksi (Air Quality Index-AQI)

Hava Kalitesi İndeksi (AQI) Değerleri	Sağlıkla ilgili düzeyi (Hava kalitesi koşulları)	Sembol Renkler
0 - 50 arası	İyi	Yeşil
51 - 100 arası	Orta	Sarı
101 - 150 arası	Duyarlı gruplar için sağlıklı	Turuncu
151 - 200 arası	Sağlıksız	Kırmızı
201 - 300 arası	Çok sağlıksız	Mor
301 - 500 arası	Tehlikeli	Kestane rengi

Hava kalitesi indeksi (AQI)...

$$AQI = \frac{CO}{50} + \frac{NO}{25} + \frac{DPM}{2} + 1,5 \left(\frac{SO_2}{3} + \frac{DPM}{2} \right) + 1,2 \left(\frac{NO_2}{3} + \frac{DPM}{2} \right)$$

CO karbon monoksit (ppm),
NO nitrik oksit (ppm),
NO₂ nitrojen dioksit (ppm),
SO₂ sülfür dioksit (ppm),
DPM diesel partikülleri (mg/m³),
paydadaki sayılar başlangıç sınır değerleridir.

- AQI' nin 3'ü geçmemesi tavsiye edilmektedir.

Hava kalitesi indeksi (AQI): Ozon

İndeks Değerleri	Sağlıkla ilgili düzeyi	Uyarılar
0-50	İyi	Yok
51-100*	Orta	Nadiren duyarlı kişiler uzun süreli dışarı uğraşını sınırlandırmayı dikkate almalıdır.
101-150	Duyarlı gruplar için sağlıklı	Aktif çocuklar, yetişkinler ve astım gibi solunum hastalığı olan kişiler, dışarıda uzun süre kalma süresini sınırlandırmalıdır.
151-200	Sağlıksız	Aktif çocuklar, yetişkinler ve astım gibi solunum hastalığı olan kişiler, uzun süreli dışarı uğraşlarından kaçınılmalıdır; herkes, özellikle çocuklar, dışarıda uzun süre kalma süresini sınırlandırmalıdır.
201 - 300	Çok Sağlıksız	Aktif çocuklar, yetişkinler ve astım gibi solunum hastalığı olan kişiler, tüm dışarı uğraşlarından kaçınılmalıdır; herkes, özellikle çocuklar, dışarıda kalma süresini sınırlandırmalıdır.
301 - 500	Tehlikeli	Herkes tüm dışarı uğraşlarından kaçınılmalıdır.

* Genel olarak, ozon için 100 AQI değeri, 0,06 ppm lik ozon düzeyine karşılık gelmektedir (ortalama 8 saat üzerinden).

Hava kalitesi İndeksi (AQI): Partiküller (PM)			
İndeks Değerleri	Sağlıkla ilgili düzeyi	Uyarılar*	
		PM _{2,5}	PM ₁₀
0 - 50	İyi	Yok	Yok
51 - 100**	Orta	Yok	Yok
101 - 150	Duyarlı gruplar için sağlıksız	Solumun veya kalp hastalığı olan kişiler, orta yaşlılar ve çocuklar uzun süreli uğraşları sınırlandırmalıdır.	Astım gibi solumun hastalığı olan kişiler, dışarda kalma süresini sınırlandırmalıdır.
151 - 200	Sağlıksız	Solumun veya kalp hastalığı olan kişiler, orta yaşlılar ve çocuklar uzun süreli uğraşlardan kaçınmalıdır; herkes uzun süreli uğraşlarını sınırlandırmalıdır.	Astım gibi solumun hastalığı olan kişiler, dışarda kalmaktan kaçınmalıdır; herkes, özellikle orta yaşlılar ve çocuklar, dışarda kalma süresini sınırlandırmalıdır.
201 - 300	Çok Sağlıksız	Solumun veya kalp hastalığı olan kişiler, orta yaşlılar ve çocuklar herhangi bir dışarı etkinliğinden kaçınmalıdır; herkes uzun süreli uğraştan kaçınmalıdır.	Astım gibi solumun hastalığı olan kişiler, herhangi bir dışarı etkinliğinden kaçınmalıdır; herkes, özellikle orta yaşlı ve çocuklar, dışarda kalma süresini sınırlandırmalıdır.
301 - 500	Tehlikeli	Herkes dışarda kalmaktan kaçınmalıdır; solumun veya kalp hastalığı olan kişiler, orta yaşlı, ve çocuklar kaçınmalıdır.	Herkes dışarda kalmaktan kaçınmalıdır; astım gibi solumun hastalığı olan kişiler, içinde kalmalıdır.

* PM uyarıları iki taban ve bunlar ölçülen iki boy PM_{2,5}

** Çapları 2,5 mikrometreye kadar olan partiküller (PM_{2,5})

*** Çapları 10 mikrometreye kadar olan partiküller (PM₁₀)

** - PM_{2,5} için 100 AQI değeri 40 mikrogram /m³ PM_{2,5} düzeyine karşılık gelmektedir (ortalama 24 saat üzerinden).

* - PM₁₀ için 100 AQI değeri 150 mikrogram /m³ PM₁₀ düzeyine karşılık gelmektedir (ortalama 24 saat üzerinden).

Hava kalitesi İndeksi (AQI): Karbon Monoksit (CO)		
İndeks Değerleri	Sağlıkla ilgili düzeyi	Uyarılar
0 - 50	İyi	Yok
51 - 100*	Orta	Yok
101 - 150	Duyarlı gruplar için sağlıksız	Anjin gibi kalp ve damar hastalığı olan kişiler, ağır uğraşlarını sınırlandırmalı ve ağır trafik gibi CO kaynaklarından kaçınmalıdır.
151 - 200	Sağlıksız	Anjin gibi kalp ve damar hastalığı olan kişiler, orta uğraşlarını sınırlandırmalı ve ağır trafik gibi CO kaynaklarından kaçınmalı.
201 - 300	Çok Sağlıksız	Anjin gibi kalp ve damar hastalığı olan kişiler, uğraşlardan ve ağır trafik gibi CO kaynaklarından kaçınmalıdır; herkes ağır uğraşlarını sınırlandırmalıdır.
301 - 500	Tehlikeli	Anjin gibi kalp ve damar hastalığı olan kişiler, uğraşlardan ve ağır trafik gibi CO kaynaklarından kaçınmalıdır; herkes ağır uğraşlarını sınırlandırmalıdır.

* Karbon monoksit için 100 AQI değeri, 9 ppm CO düzeyine karşılık gelmektedir (ortalama 8 saat üzerinden).

Hava kalitesi İndeksi (AQI): Sülfür Dioksit (SO ₂)		
İndeks Değerleri	Sağlıkla ilgili düzeyi	Uyarılar
0 - 50	İyi	Yok
51 - 100*	Orta	Yok
101 - 150	Duyarlı gruplar için sağlıksız	Astımlı kişiler dışarı uğraşlarını sınırlandırmalıdır.
151 - 200	Sağlıksız	Çocuklar, astımlılar ve kalp veya akciğer hastalığı olan kişiler dışarda kalma süresini sınırlandırmalıdır.
201 - 300	Çok Sağlıksız	Çocuklar, astımlılar ve kalp veya akciğer hastalığı olan kişiler dışarda kalmaktan kaçınmalıdır; herkes dışarda kalma süresini sınırlandırmalıdır.
301 - 500	Tehlikeli	Çocuklar, astımlılar ve kalp veya akciğer hastalığı olan kişiler içeride kalmalıdır; herkes dışarda kalmaktan kaçınmalıdır.

*Sülfür dioksit için 100 AQI değeri, 0,14 ppm SO₂ düzeyine karşılık gelektedir (ortalama 24 saat üzerinden).

Hava kalitesi İndeksi (AQI): Nitrojen Dioksit (NO ₂)		
İndeks Değerleri	Sağlıkla ilgili düzeyi	Uyarılar
0 - 50	İyi	Yok
51 - 100	Orta	Yok
101 - 150	Duyarlı gruplar için sağlıksız	Yok
151 - 200	Sağlıksız	Yok
201* - 300	Çok Sağlıksız	Çocuklar ve astım gibi solumun hastalığı olan kişiler, ağır dışarı uğraşları sınırlandırmalıdır.
301 - 500	Tehlikeli	Çocuklar ve astım gibi solumun hastalığı olan kişiler, orta veya ağır dışarı uğraşlarını sınırlandırmalıdır.

*Nitrojen dioksit için AQI değerleri 200 ün üzerine çıkıncaya kadar kısa süreli sağlık etkileri görülmez. Bu nedenle, 201 AQI değerlerinin altı için NO₂ değerleri hesaplanmaz. NO₂ için 201 AQI değeri, 0,65 ppm NO₂ düzeyine karşılık gelmektedir (ortalama 24 saat üzerinden).

Çeşitli kirleticilerin 1 saatlik hava kalitesi (AQ) değerleri			
Hava kirletici	AQ değeri (µg/m ³)	AQ değeri (ppm)	ABD AQ standartları (ppm)
Karbon monoksit	30000	26,2	35
Sülfür dioksit	26,2	0,306	0,50 ^a
Nitrojen dioksit	35	0,159	0,05 ^b
Ozon	800	0,122	0,12

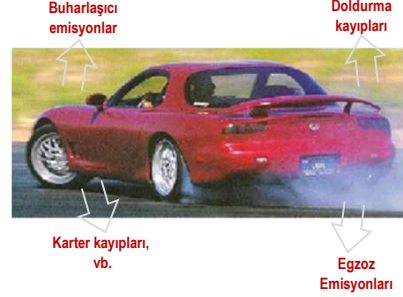
^a: 3 saat standardı, ^b: yıllık aritmetik ortalama



Taşıt emisyonları ve kontrolü...

- Motorlarda hava kirliliğini azaltmaya yönelik işlemler ve kontrol sistemleri:
 - Motor, motor parçaları ve yakıtla ilgili düzenlemeler
 - Yakıt sisteminden kaynaklanan, buharlaşıcı emisyonları azaltıcı yeni sistemlerin tasarımı
 - Arzu edilmeyen egzoz emisyonlarını azaltıcı yeni sistemlerin tasarımı
 - Reaktif emisyonları azaltmak için yakıt rafinasyonunun geliştirilmesi
 - Mühendislik analizinin bir parçası olarak sosyolojik tasarım
 - BAM veya SAM'ların yerini alabilecek yeni tip motorlarla ilgili araştırma ve tasarımlar

Emisyonların çıkış kaynakları

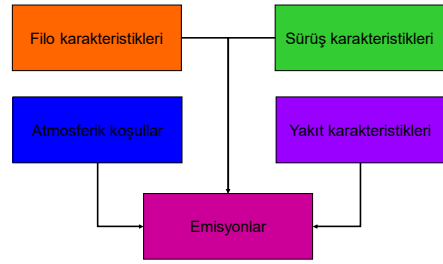


Emisyonların çıkış kaynakları...

İçten yanmalı bir motorun kirlenici çıkışları:

- 1. Egzoz borusu:** Toplam kirlenicilerin % 65-85'ini oluşturur. Bunlar HC, NO_x, CO ve az miktardaki alkol, aldehitler, ketonlar, fenoller, asitler, esterler, eterler, epoksitler, peroksitler ve diğer oksitlerin izleridir.
- 2. Karter havalandırma:** Toplam kirlenicilerin % 20 kadarını oluşturur. Gaz kaçakları nedeni ile kartere gelen yanmamış hidrokarbonlar, karter havalandırma yoluyla atmosfere atılmaktadır.
- 3. Yakıt deposu havalandırma deliği:** Toplam kirlenicilerin % 5 kadarını oluşturur. Özellikle sıcak havalarda buharlaşma yoluyla, çok buharlaşıcı olan hidrokarbonlar, havalandırma deliğinden atmosfere atılmaktadır.

Emisyon modeli elemanları



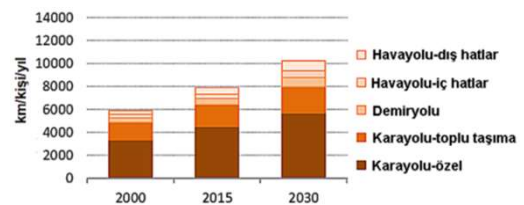
Emisyon modeli elemanları...

- Filo karakteristikleri
 - Yanmaya doğrudan etki eden taşıt ağırlığı ve yükü
 - Aerodinamik
 - Taşıt yaşı ve toplam km'si
 - Yeni taşıtların emisyon oranları ayarlıdır.
 - Taşıt yaşlandıkça parçalarının verimlerinin düşmesine bağlı olarak daha fazla yakıt tüketir
 - Eski taşıtların emisyon seviyeleri yüksektir.
 - Parçaları arasındaki sürtünme (dişli, transmisyon, frenler, tekerlekler, vb.).
 - Temel emisyon oranı
 - Yanmayı iyileştiren teknolojik gelişmeler, CO, CO₂ ve HC emisyonlarını azaltmaya katkı sağlamakta fakat NO_x emisyonlarını artırmaktadır.



Emisyon modeli elemanları...

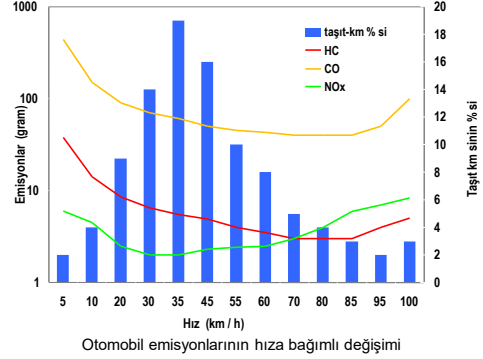
Kara ve havayolu ulaşım düzeyleri



Emisyon modeli elemanları...

- Sürüş karakteristikleri (test koşulları)
 - En uygun taşıt hızı 70 km/h civarındadır.
 - En uygun seyahat hızlarına ve kesintisiz akışlara izin veren ulaşım sistemleri en az yanma düzeyleri ve emisyon faktörlerini sağlar.
 - Özellikle kentsel alanlardaki gerçek yol koşulları en uygun sürüş hızlarına müsaade etmemektedir.
 - Yoğunluk, trafik sinyalleri ve otoyollar sürüş hızlarını belirlemede önemli etkenlerdir.

Emisyon modeli elemanları...



Emisyon modeli elemanları...

- Atmosfer koşulları
 - Yanmayı doğrudan etkiler.
 - Düşük sıcaklıklar yanmayı ve dolaylı olarak yol koşullarını iyileştirir.
 - Kışın taşıt motorlarının ısınması (soğuk ilk çalıştırma) ve yolcuları daha konforlu tutabilmek için daha fazla enerji gereklidir.
 - Kar ve yağmur birikintileri, rüzgar ve düşük görüş mesafesi tüketimi artırır.
 - Ortam havası ısındıkça motor ve yolcu soğutma sistemleri fazla enerji tüketir.
 - Soğuk havalar CO ve HC emisyonlarını artırır.
- Yakıt karakteristikleri
 - Yakıtın uçuculuğu
 - Oksijen içeriği

Emisyonların çıkış koşulları

- Soğuk ilk hareket
 - Taşıt motoru bir süre kapatılmış ve katalitik konvertör (varsa) soğuktur.
 - Soğuk motor ilk harekete geçildiğinde HC ve CO emisyonları sıcak çalışmadakilere oranla fazladır.
 - Çalışma sıcaklıklarına ulaşıncaya kadar katalitik emisyon kontrol sistemleri tam kontrol sağlamaz.
 - Soğuk ilk hareket koşullarında yeterli motor performansı için daha zengin yakıt hava karışımı sağlanmalıdır.
 - Yanıcı karışımı sağlamak üzere yeterli buharlaşmayı sağlamak için ekstra yakıt eklenir.
 - Tam buharlaşma motor tam yanma sıcaklıklarına ulaştığında gerçekleşir.

Emisyonların çıkış koşulları...

- Soğuk ilk hareket (devamı)
 - Silindirdeki oksijen yetersizliğine bağlı olarak yakıt tam olarak yakılamaz.
 - Motor soğukken daha fazla kısmen yanmış ve yanmamış yakıt yayılır.
- Sıcak çalıştırma
 - Motor çok kısa süre durdurulduğunda katalist çevre sıcaklığına kadar soğuyamaz.
 - Sıcak çalıştırma HC ve CO emisyonları soğuk ilk hareketten daha azdır.
- Sıcak kararlı
 - Motor ve emisyon kontrol sistemleri tam çalıştırma sıcaklıklarındadır.
 - Sıcak kararlı koşullarda emisyonlar genel olarak düşüktür (soğuk ilk harekete oranla).
 - Ancak, emisyonlar önemli ölçüde taşıt hızı ve motor yüküne bağlıdır.

Emisyonların çıkış koşulları...

- Rölanti Emisyonları
 - Taşıtın duruşları sırasındaki emisyonlar.
 - Genellikle trafik tıkanıklıklarında olur.
 - Emisyon seviyeleri düşüktür, fakat tüketilen yakıt yararlı bir şey yapmadığından önemlidir.
- Sıcak ısınma
 - Sıcak motor stop edildiğinde olur.
 - Motora yakıt gider (ör., karbüratör şamandıra haznesi veya yakıt enjektörlerinden) buharlaşır ve atmosfere kaçabilir.
- Çalışma kayıpları
 - Motorun çalışması sırasında yakıt deposundaki buharlaşma sonucu olan kayıplar.
 - Egzoz sisteminin yakıt sistemine yakın olmasının sonucu.
 - Depodan yayılan buharlar bir kanister tarafından depolanarak tekrar motora gönderilir.

Emisyonların çıkış koşulları...

- Duruş kayıpları
 - Buharlaştırıcı emisyon kontrol sisteminden sızan buharlardan kaynaklanan emisyonlar
 - Özellikle yakıtın buhar basıncının daha yüksek olduğu alanlardaki önemli HC emisyonları
- Doldurma kayıpları
 - Buhar hacminin doldurulması ve dökülme
 - Yakıt deposu doldurulduktan sonra, sıvı yakıt benzin buharının yerini alır.
 - Buharın depo dışına itilmesi
 - Dökülme, basitçe zemine dökülmüş küçük bir miktar yakıttır ve ardından çevre havasına buharlaşır.



Hava kirliliği ve yakıt

- Hava kirliliğinin ana problemi, yakıtlar, motor ve egzoz ürünleri arasındaki karmaşık bağlantılardan kaynaklanmaktadır.
 - Yakıtlar değişik petrollerden, değişik rafineri işlemleri ile elde edilir ve çok sayıda hidrokarbondan (kesin değerler genellikle bilinmemektedir) oluşmaktadır.
 - Bundan başka, yanmadan sonra motor ile olduğu kadar ana yakıt ve katırlarla da ilişkili, ancak ana yakıtta bulunmayan yeni hidrokarbon bileşikleri oluşur.
 - Egzoz ürünleri, yakıt ve motor karakteristikleri ile ilişkilidir ve bir motordan diğerine değişmektedir

SI motorlarının emisyonları üzerine genelleştirmeler

- Egzozdaki HC kütlesi, ana sıvı benzine bağımlı olmaksızın az çok sabittir (ancak gaz yakıtlarda daha azdır).
- HC egzoz emisyonlarının reaktivitesi ana yakıtta büyük ölçüde bağımlıdır (katalitik kraking benzininde en yüksek, aromatiklerde daha az, parafin ve naftenlerde az ve propan ve metanda çok az).
- İçten bağlı olefinler ya da dallanmış zincir uç bağlı olefinler içeren benzinlerden sakınılmalıdır (α olefinler ya da mono veya uç olefinler) çok reaktif olmasalar bile).
- Benzinde olefin, parafin ya da aromatik yüzdesi artırıldığında, egzozdaki yüzdeleri de artmaktadır.
- Tüm yakıtlar egzozda önemli olefin konsantrasyonları ve küçük diolefin konsantrasyonları üretirler.

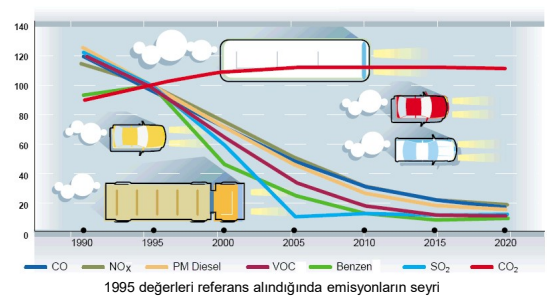
SI motorlarının emisyonları üzerine genelleştirmeler...

- Kurşun vuruntu önleyicilerin elimine edilmesi ile oktan sayısındaki azalmayı önlemek için, benzindeki aromatik (esas olarak toluen) içeriği artırılacaktır. (% 30-40 kadar) (Egzoz gazlarındaki aromatik yüzdesinin artırılması, daha reaktif olan olefin ve diolefinlerin azaltılmasına neden olacağından bu egzoz gaz reaktivitesini artırmaz.)
- Kurşun yakıtların azaltılması ile toplam HC emisyonları azalabilir (Çünkü yanma odası artıkları azalacaktır).
- Katalistler yüksek reaktiviteli hidrokarbonlara karşı düşük reaktivitelilere oranla daha etkilidir.

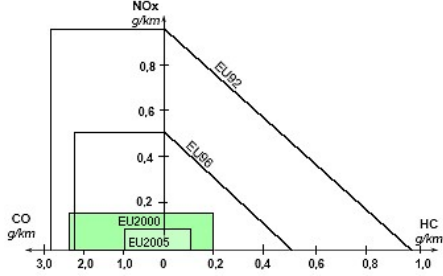
SI motorlarının emisyonları üzerine genelleştirmeler...

- Homojen olmayan karışımların reaktivitesi homojen olanlara oranla her zaman daha büyüktür (bu nedenle daha fazla emme manifoldu ısıtması beklenmektedir).
- Buharlaştırma kayıpları, benzinin ön uç fraksiyonunun reaktivitesine eşit bir reaktiviteye sahiptir. Bu nedenle benzinin uçuculuğunun 0,7 bar'dan 0,5 bar Reid buhar basıncına azaltılması buharlaştırıcı emisyon kayıplarını önemli ölçüde azaltır, ancak egzoz gazlarının reaktivitesini artırabilir (ve buharlaştırıcı kayıplar muhtemelen yakıttaki değişikliklerle elde edilenden daha fazla değildir).

Avrupa emisyon rotası



Emisyon kısıtlamaları



Motor tasarım değişiklikleri

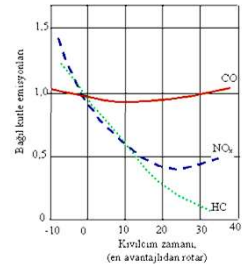
- Birincil değişiklikler
- Motor tasarımındaki iki önemli değişiklik, sıkıştırma oranlarının yüksek +10/1'lerden, daha çok arzu edilen şehir içi 8/1 - 9/1'lara düşürülmesi ve karter emisyonlarının yalıtılmasıdır.
- Sıkıştırma oranının azaltılması ile yanma sıcaklıkları azaltılmakta, egzoz artıkları (f) artırılmakta (daha az NO_x) ve egzoz sıcaklıkları artırılmaktadır (daha az HC).
- Yüksek sıkıştırma oranlarının yüksek entalpi verimlerine neden olmaları nedeniyle, bu oranlar uzun şehirlerarası ekspres yollarda ulaşım yapan kamyon ve otobüsler için önemlidir. Yol testleri, şehir içi ve çevresinde kullanılan birçok taşıtlardaki sıkıştırma oranının, en avantajlı yakıt ekonomisinin sağlanmasında ana etken olmadığını göstermektedir.

Motor tasarım değişiklikleri...

- İyi bir yakıt ekonomisi için ana değişkenler, **küçük kütle** (hızlanma için daha az güç) ve **küçük ön izdüşüm alanı** (hava direncini yenmek için daha az güç) (ve bu iki değişken 1960'lardaki (8/1 sıkıştırma oranlı) küçük Avrupa arabalarının mükemmel yakıt ekonomisini açıklamaktadır.)
- Motorlarda uygulanan bir diğer değişiklik, rölantri hızlarının yükseltilmesidir.
- Eski motorların rölantri hızları 400-450 1/min kadardı ve bu da yüksek HC ve CO emisyonlu zengin karışımlarla sağlanmaktaydı.
- Günümüzde, daha fakir karışım ve daha rölantri hızları ile rölantri hızları 750 1/min'e kadar yükseltilmiştir.
- Daha yüksek hız, daha fazla gaz keleşi açıklığına bağlı olarak daha fazla hava akışına (daha iyi yanma), geciktirilmiş kıvılcım ise daha sıcak egzozu neden olur ve bunların sonucunda CO ve HC emisyonları azalır.

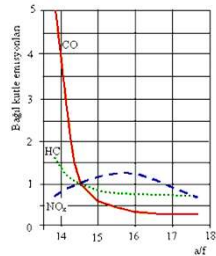
Motor tasarım değişiklikleri...

Kütle emisyonlarının kıvılcım zamanına bağımlı değişimi (sabit hava/yakıt oranı, EGR) (14,6 temel a/f ye göre, en avantajlı avans, % 0 EGR)



Motor tasarım değişiklikleri...

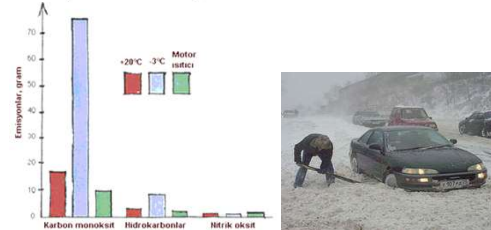
- Daha iyi bir yakıt ekonomisi fakirce hava/yakıt oranlarını gerektirirken, bu oran şimdi egzoz emisyonları da dikkate alınarak belirlenmektedir.
- Daha homojen karışımlarla HC ve CO emisyonları azalmaktadır.
- Emme havasının ısıtılması, ivme için daha az kapış yakıtı gerekeceğinden, NO_x, CO ve aldehit emisyonlarını azaltmaktadır.
- Yakıt sistemine eklenen birçok elemanla rölantri, ekonomi ve güç sırasındaki hava/yakıt oranları birbirine olabildiğince yakın tutulmaya çalışılmaktadır.



Kütle emisyonlarının hava/yakıt oranına bağımlı değişimi (sabit kıvılcım, EGR) (14,6 temel a/f ye göre, en avantajlı avans, % 0 EGR)

BAM'da CO oranını azaltma yolları

- Egzozdaki CO, birinci derecede hava/yakıt oranının bir fonksiyonudur ve yük ile hızla bağlı değildir.
- Hava/yakıt oranı fakir karışıma "oksijen fazla" ayarlanmalıdır.
- Motorun çabuk ısınması sağlanmalıdır.



BAM'da CO oranını azaltma yolları...

- Katalitik egzoz reaktörleri uygulanmalıdır.
 - Egzoz borusuna fazla hava pompalama
 - CO'yu CO₂'ye oksitlemek için hava-egzoz karışımını katalitik konvertörden geçirmek
- Benzine oksijenli bileşikler ilave edilebilir.
 - Oksijenli bileşik örnekleri: metanol, etanol, MTBE

BAM'da HC oranını azaltma yolları

- Daha yüksek egzoz gazı sıcaklığı
 - Sıkıştırma oranı küçültülerek
 - Kıvılcım geciktirilerek
 - Karışımın ve soğutma suyunun sıcaklığı artırılarak
 - Hız artırılarak (daha sıcak egzoz sistemi)
 - Dolgu basıncı yükseltilerek
 - Egzoz manifold izolasyonu ile (yüksek sıcaklık)

BAM'da HC oranını azaltma yolları...

- Egzozda daha fazla oksijen
 - Karışım fakirleştirilerek (ancak çok silindirli motorlarda ateşlenme sınırı yaklaşık 18/1 dir.)
 - Etkili reaksiyon için sıcak egzoz gazlarına hava ilavesiyle
- Yanma odası yüzeyi yakınındaki zarfta daha az kütle
 - Yanma odasının yüzey/hacim oranı küçültülerek (ya da az silindir, büyük kurs hacmi veya daha küçük çap/kurs oranı)
 - Yanma sırasındaki türbülans artırılarak
 - Karışımın ve soğutma suyunun sıcaklığı artırılarak
 - Yanma odasındaki artıklar azaltılarak (yüzeyde daha az karışım tutulur.)

BAM'da HC oranını azaltma yolları...

- Reaksiyon için daha fazla zaman
 - Hız azaltılarak
 - Daha homojen karışımla
 - Ön karışımla
 - Daha yüksek dolgu ya da karışım sıcaklığı ile
 - Daha uçucu yakıtla
 - Emme manifoldunda ve silindirde türbülans ile
 - Egzoz basıncı artırılarak
 - Egzoz manifold hacmi artırılarak ve akış kanalları uzatılarak

BAM'da NO_x oranını azaltma yolları

Bir motorun bölgesel en yüksek NO_x değeri, verilen motora, yük ve hıza bağlı olmaksızın 1,0'den daha az bir hava fazlalık katsayısında oluşur (yüksek sıcaklık).

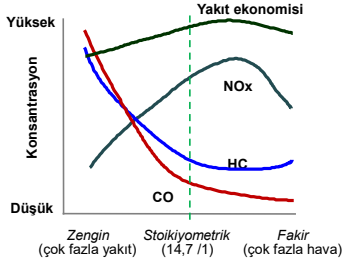
- Yanma sıcaklığı düşürülmelidir.
 - Sıkıştırma oranı düşürülerek
 - Ateşleme avansı azaltılarak
 - Dolgu havası sıcaklığı azaltılarak
 - Hız düşürülerek (daha fazla ısı kaybı, daha az türbülans ve daha düşük giriş sıcaklığı)
 - Dolgu basıncı düşürülerek (daha fazla ısı kaybı, daha çok artık gaz kalışı, muhtemelen düşük yanma basınçlarında artan NO'nun ziddi)
 - Bir miktar artık gazı silindirde tutularak ya da egzoz gazı taze karışımın içine gönderilip karışım kirletilerek
 - Hava nemliliğindeki artış ya da su enjeksiyonu ile
 - Çok zengin ya da çok fakir hava yakıt oranı (AF) ile

BAM'da NO_x oranını azaltma yolları...

- Alev önünde bulunan oksijen miktarını azaltmak
 - Zengin karışım kullanarak
 - Karışımın homojenliğini azaltarak
 - Direkt enjeksiyonlu BAM ile
 - Bölüntülü yanma odaları ile (ek emme supaplı yardımcı yanma odası ya da yakıt enjeksiyonlu yardımcı yanma odası)
 - Katalitik konvertörler eklenerek

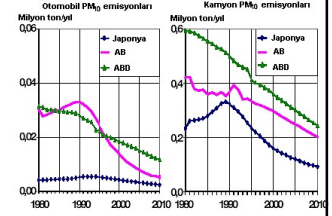
NO_x ve VOCların birlikte azaltılması

- İki kademeli yanma
- Birinci kademe: yakıt zengin yanma
- İkinci kademe: hava zengin yanma



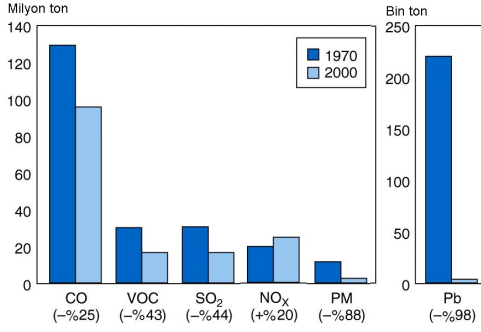
Partikül emisyonlarının azaltılması

- Buji ile ateşlemeli motorlarda hava-yakıt karışımını fakirleştirmek
- Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda;
- Türbülansı artırmak
- Maksimum yakıt miktarını azaltmak
- Kükürtsüz yakıt kullanmak
- Daha yüksek enjeksiyon basınçları kullanmak
- Dikkatli enjeksiyon hedeflemek
- Yağ tüketimini azaltmak
- Partikül filtre sistemleri kullanmak



Emisyon seyri

1970-2000 emisyonlarının karşılaştırılması



SON