

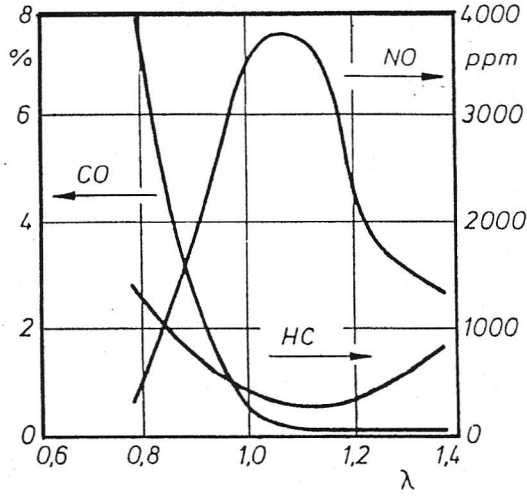
3. MOTORUN ÇALIŞMA KOŞULLARININ EMİSYONA ETKİLERİ

Taşıt motorlarında motorun soğukta ilk hareketi, ivmelenmesi veya gaz kesilmesi gibi durumlarda egzoz gazları içindeki CO, HC ve NO_x miktarları değişim göstermektedir. Motorun çeşitli çalışma koşullarındaki değişimlerin etkisi, kirletici emisyonun azaltılması bakımından önem taşımaktadır.

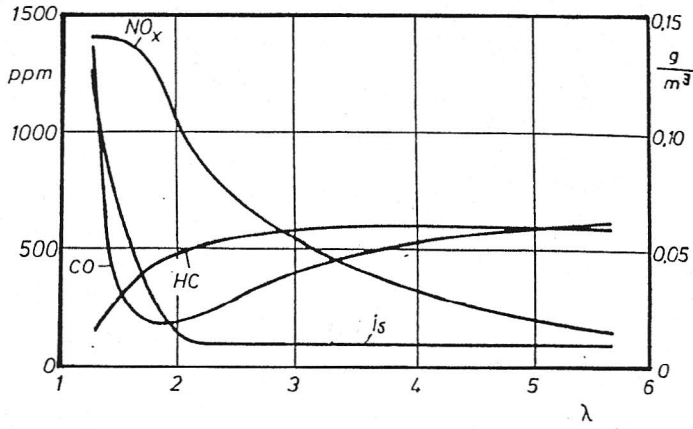
3.1 Hava Fazlalık Katsayısı

Benzin ve dizel motorlarında hava fazlalık katsayısının değişimi emisyon miktarını önemli ölçüde etkilemektedir (Şekil 3.1). HFK'nın genel ve yanma odasındaki yerel değerlerinin oluşması, karışımın oluşum yöntemleri ile yakından ilgilidir. Benzin motorlarında ilk hareket, ivmelenme, maksimum güç vb. bazı çalışma durumları hariç HFK'nın stokiyometrik değerler civarında tutulması, karışımın tüm yanma odasında homojen olması, bütün silindirlere gönderilen yakıt ve hava miktarının eşit olması ve çevrimden çevrime farklılıklar bulunmaması amaçlanmaktadır. Karbüratörlü sistemde bu şartların sağlanması oldukça güçtür. Benzin püskürtme sistemlerinde bile belirtilen şartların tümünün gerçekleştirilmesi zordur. Benzin motorlarının, motordan maksimum güç alınabilmesi için HFK'nın 0.9 değerlerinde, ekonomik çalışması için de HFK'nın 1.1 değerlerinde çalışması gerekmektedir. HFK'nın 1.15'den fakir olduğu karışım oranlarında, özel sistemler kullanılmadığında tutuşma güvenliği sağlanamayacaktır. Ancak CO emisyonunun azaltılması için HFK'nın mümkün olduğu kadar artırılması gerekmektedir. Bu durumda CO'nun CO₂'ye dönüşümü için yeterli oksijen sağlanacaktır. HC emisyonu da artan HFK ile yanmanın tamamlanması için yeterli oksijen sağlandığı için azalmaktadır. Ancak belli bir değerin üzerine çıkıldığında, çok fakir karışımlarda alevin sönmesi söz konusu olduğundan, artan HFK ile HC emisyonu da tekrar artış gösterecektir.

Yanma odasının soğuk cidarlarında oluşan alev sönme bölgesi de karışım oranı ile etkilenmektedir. Karışımın fakirleşmesi sonucu, yakıt konsantrasyonu azalırken, alev sönme bölgesi kalınlığı da



a) Benzin motoru.

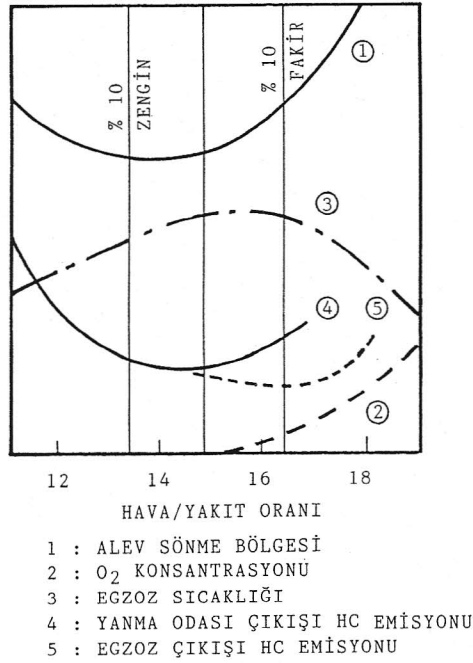


b) Dizel motoru.

Şekil 3.1 Hava fazlalık katsayısının egzoz gazları emisyonu üzerindeki etkisi.

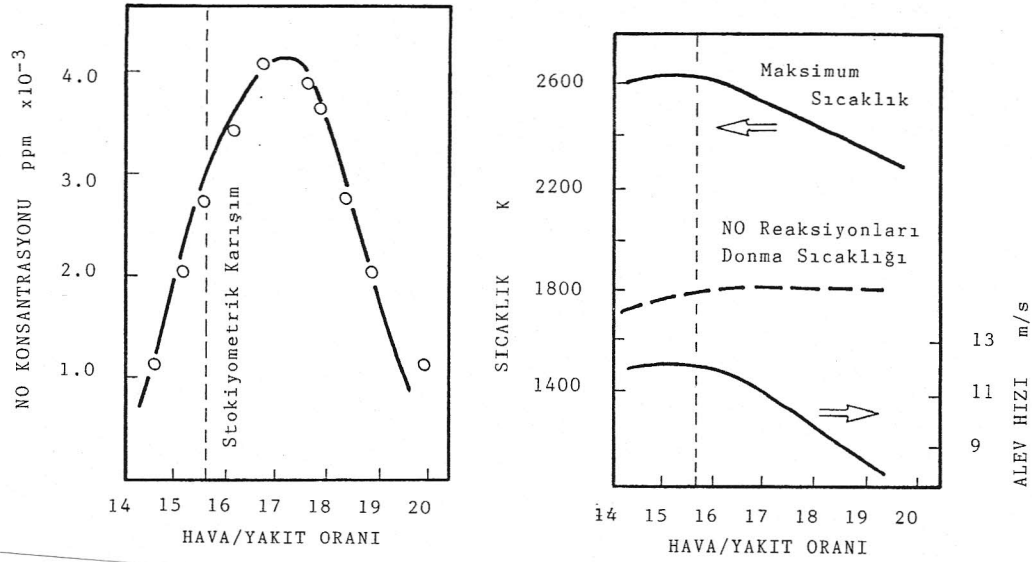
hızla artmaktadır (Şekil 3.2). Sonuç olarak, çok fakir karışım oranlarına doğru gidildikçe HC emisyonu artacak, ancak egzoz gazları içerisindeki HC miktarı yanma odasındaki miktardan, yüksek egzoz sıcaklıklarındaki oksidasyon nedeniyle biraz daha az

olacaktır. Alev sönme bölgesinde cidara yakın kısımlarda oksidasyon işleminin çok az olması ve yanmanın gerçekleşmemesi nedeniyle CO üretimi de azalmaktadır. Cidardan iyice uzaklaşıldığında da oksidasyon tamamlandığı için CO₂ oluşmakta ve CO üretimi yine azalmaktadır. Alev sönme bölgesinde üretilen CO motorda üretilen miktarın önemli bir bölümünü oluşturmamaktadır. Ancak HC üretimi için ana kaynak bu bölgedir.



Şekil 3.2 HC emisyonu.

HFK'nın değişimi yanma sırasında ulaşılan sıcaklıkları etkilerken aynı zamanda yanma odasında mevcut oksijen miktarını da belirlemektedir. NO_x'lerin oluşumu hem sıcaklığın, hem de mevcut oksijen miktarının fonksiyonu olduğu için HFK'dan önemli ölçüde etkilenmektedir. Karışımın fakirleştirilmesi sonucunda yanma sıcaklığı düştüğü için, karışımın zenginleştirilmesi sonucunda da oksijen konsantrasyonu azaldığı için NO_x emisyonu azalma göstermektedir. Ancak NO_x emisyonunun, HFK'ya göre değişimi stokiometrik karışımdan biraz daha fakir tarafta bir tepe noktasına sahiptir (Şekil 3.3).

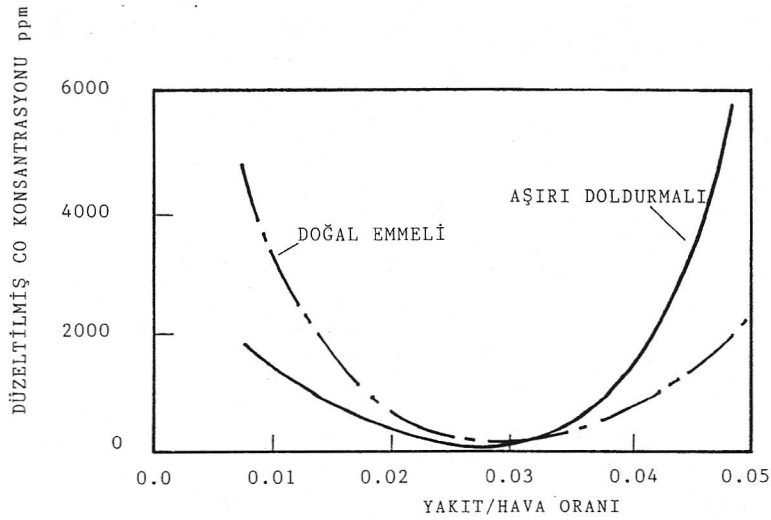


Şekil 3.3 Karışım oranının NO_x emisyonuna etkisi.

NO oluşumu, yanma işlemi sırasındaki reaksiyon hızlarına bağlı olarak değiştiği için silindirdeki termodinamik şartlardan etkilenmektedir. Yanma odasındaki NO konsantrasyonu bu nedenle maksimum sıcaklığa ve alev hızına bağlıdır. Maksimum sıcaklık değerinin artışı NO üretim miktarını artırmakta, alev hızının artması da NO 'nun disosiyasyon reaksiyonları sonucu moleküler azot ve oksijene ayrılmasına zaman tanıdığı için NO emisyonunu azaltıcı yönde etki etmektedir. Ancak mevcut oksijen konsantrasyonunun da etkisi ile maksimum NO_x miktarı gene de biraz fakir karışım tarafında bulunmaktadır.

Dizel motorlarında ise durum farklıdır. Karışım oranı motorun yük durumuna ve dönme sayısına göre değiştirilmekte ve motor genellikle fakir karışım ile çalışmaktadır. Bu durumda yanma olayının ara kademelerinde oluşan CO , yanmanın tamamlanması sırasında yeterli oksijen bulunduğu için CO_2 'ye dönüşmektedir. Ancak yanma sıcaklığının çok düşük olması, oksidasyon için yeterli zaman bulunmaması veya oksijen miktarının az olması gibi durumlarda, CO 'nun tümü okside olamadan yanma odasını terk

edecektir. Özellikle direkt püskürtmeli dizel motorlarında CO oluşumu HFK ile önemli ölçüde değişmektedir. Düşük yüklerde motor oldukça fakir karışım ile çalıştığı ve sıcaklıklar düşük seviyede olduğu için CO oksidasyonu az olmaktadır. Yük artırıldıkça, sıcaklıklar da artacağından CO'nun dönüşümünü sağlayan reaksiyonlar hızlanacak ve CO emisyonu azalacaktır. Ancak yükün ve buna bağlı olarak HFK'nın belli bir sınırın üzerine çıkması durumunda, sıcaklıkların yüksek olmasına karşın, oksijen konsantrasyonu az olduğundan ve reaksiyon için zaman kısıtlı olduğundan CO emisyonu tekrar artış gösterecektir (Şekil 3.4).

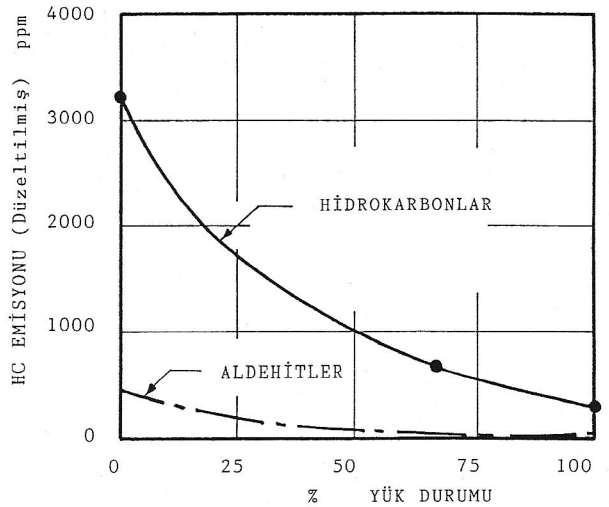


Şekil 3.4 Direkt püskürtmeli dizel motorlarında Yakıt/Hava oranının CO emisyonuna etkisi.

Dizel motorlarında, volumetrik verimin değişimi dikkate alınmazsa, yanma odasına giren hava miktarı hep sabit kalmaktadır. Yük durumuna göre ayarlama ise giren yakıt miktarının kontrolü ile sağlanmaktadır. Bu durumda yakıt demetinin yapısı, cidarlarda toplanan yakıt miktarı, silindirdeki gaz basıncı ve sıcaklığı ve püskürtme süresi gönderilen yakıtın miktarı ile etkilenmektedir. Genellikle püskürtülen yakıt miktarının artırılması cidarlarda biriken miktarın ve demetin çekirdeğini oluşturan bölgenin artmasına ve demetin dış kısmında oluşan yerel fakir karışım bölgesinin azalmasına neden olmaktadır.

Karışımın zenginleştirilmesi oksidasyon reaksiyonlarını çeşitli

şekillerde etkilemektedir. Fazla yakıt püskürtülmesi, püskürtme süresinin uzamasına neden olmakta ve püskürtme başlangıç zamanı ve debisi aynı tutulduğunda püskürtmenin bitiş zamanı gecikmektedir. Bu da son püskürtülen yakıt miktarı için reaksiyon zamanının azalmasına neden olacaktır. Ayrıca karışımın zenginleştirilmesi oksijen konsantrasyonunun azalmasına neden olmaktadır. Fakat aynı zamanda fazla miktarda yakıtın yanması sonucu sıcaklıklar artacaktır. Bu da reaksiyonları hızlandıracaktır. Sonuçta, HFK'nın veya yükün değişimi ile yanmamış HC emisyonlarının değişimi Şekil 3.5'deki gibi olacaktır.

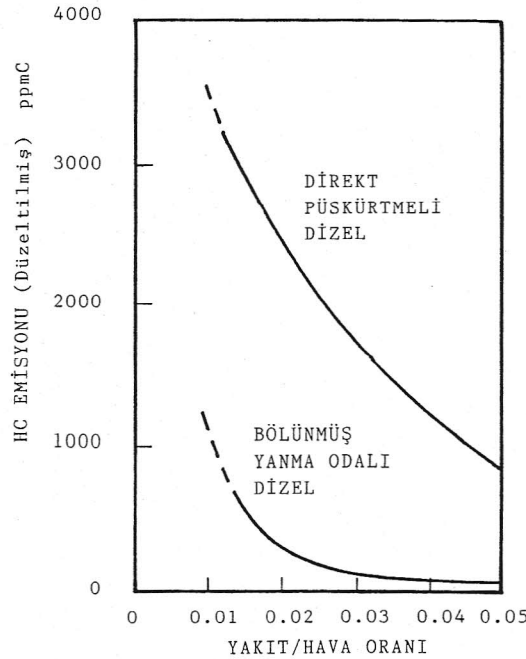


Şekil 3.5 HFK = 1 'e göre düzeltilmiş HC emisyonunun yük ile değişimi.

Boşta çalışmada ve düşük yüklerde, yakıt demeti genellikle cidarlara çarpmamaktadır. Bu şartlarda oluşan HC emisyonunun ana kaynağı demetin dış kısımlarında yanma sıcaklıklarının düşük olduğu fakir karışım bölgesidir. Buradaki yakıtın hava içerisine difüzyonu ile giderek daha da düşük karışım oranlarının oluşması sonucunda, yanma sıcaklıkları azalacak ve yanmamış HC'lar artacaktır. Yük artırıldıkça karışım zenginleşecek ve cidarlarda biriken yakıt miktarı ile demetin merkezindeki çekirdek bölgesindeki yakıt konsantrasyonu da artacaktır. Böylece bu

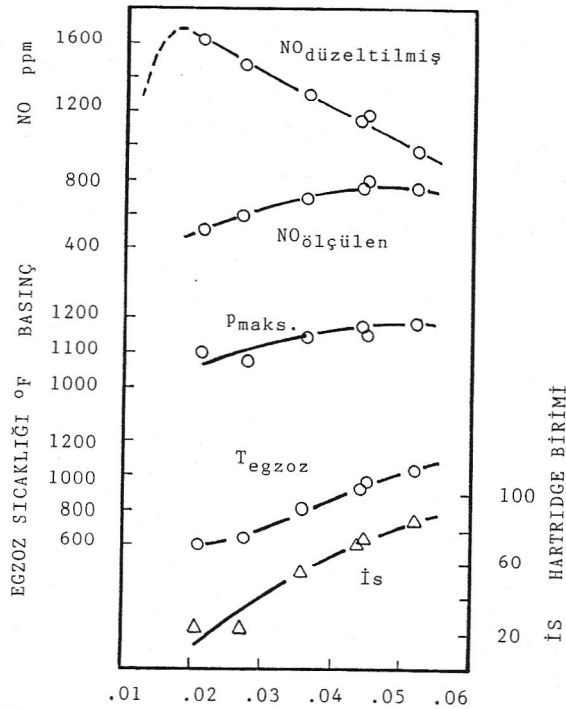
bölgelerde oluşan yanmamış HC'lar da artacaktır. Ancak sıcaklıkların yüksek olması sonucu bunların bir kısmı okside olarak, egzoz gazları arasındaki HC miktarının daha az olmasını sağlamaktadır.

Heterojen yanma sistemlerinde, egzoz gazları içerisindeki emisyon miktarlarının ölçümü yanıltıcı olmaktadır. Kısmi yüklerde karışım oranının stokiyometrik değerden daha fakir olması sonucu egzoz gazları fazla hava ile seyreltilmiş durumdadır. Bunun sonucu olarak, karışımın zenginleştirilmesi durumunda ölçülen HC emisyonu artış göstermektedir. Ancak fakir karışımlar, yani kısmi yük durumları için mevcut fazla havanın etkisi kaldırılacak şekilde HFK = 1 'e göre düzeltme yapıldığında Şekil 3.5'teki eğri elde edilecektir. Aynı amaçla HC emisyonları birim motor gücü başına emisyon miktarı olarak tanımlanan özgül HC emisyonu (g/kW-saat) şeklinde verilebilir. Bu durumda motorun mekanik veriminin etkileri de dahil edilmiş olacaktır. Ön yanma odalı ve direkt püskürtmeli dizel motorları için düzeltilmiş HC emisyonu değerleri Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6 Direkt püskürtmeli ve bölünmüş yanma odalı dizel motorlarında düzeltilmiş HC emisyonu.

Dizel motorlarında egzoz gazları içerisindeki NO konsantrasyonu da artan yakıt miktarına (artan yüke) bağlı olarak artmaktadır. Ancak burada da kısmi yüklerde egzoz gazlarının fazla hava ile seyreltilmesi sözkonusu olduğundan, stokiyometrik değere göre düzeltme yapıldığında NO emisyonunun karışımın zenginleşmesi ile başlangıçta arttığı, ancak daha sonra hızla azaldığı görülecektir (Şekil 3.7). Karışımın çok fakirleştirilmesi sonucu sıcaklık azalacağı için, düzeltilmiş NO emisyonu da azalmaktadır. Eğrinin sağ tarafındaki bölgede ise oksijen konsantrasyonunun azalması ile NO emisyonu da azaltmaktadır.



Şekil 3.7 Yakıt/Hava oranının NO_x emisyonuna etkisi.

3.2 Ateşleme Avansı

Benzin motorlarında ateşleme avansının değişimi sonucu motorun gücü, soğutma suyuna giden ısı miktarı ve egzoz gazları sıcaklığı değişmekte ve sonuç olarak motor performansı etkilenmektedir. Bu

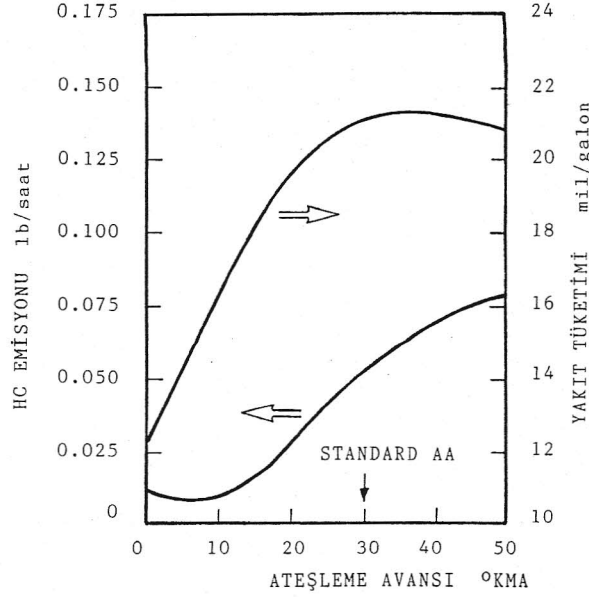
durum motorun HC, CO ve NO_x emisyonunu da doğal olarak etkiler (Tablo 3.1).

Tablo 3.1 Ateşleme Avansının MMAA'ya Göre Değişiminin Etkileri

	Ateşleme Avansının	
	AZALTILMASI	ARTIRILMASI
Krank milinden alınan iş	azalır	azalır
Soğutma suyuna giden ısı	azalır	artar
Egzoz gazlarına giden ısı	artar	azalır

Ateşleme avansının artırılması ile yanma odası sıcaklık ve basıncı artmaktadır. Bunun sonucu olarak alev sönme bölgesi küçülecektir. Ancak gene de egzoz gazları sıcaklığı düştüğü için, egzoz sürecindeki oksidasyon azalacağından toplam HC emisyonu artış gösterecektir.

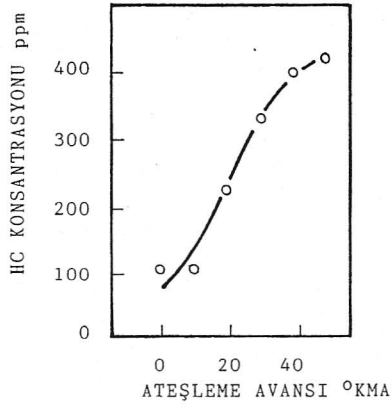
Şekil 3.8'de ÜÖN'ya göre ateşleme zamanının değiştirilmesi sonucu, 30 mil/saat'lik sabit hızla seyir eden taşıtın HC emisyon debisi ve yakıt tüketimi gösterilmektedir. Maksimum momenti sağlayan ateşleme avansı (MMAA) değerinden 10^o'lik bir azalma (ÜÖN'ya yaklaşma) durumunda yakıt tüketimi yaklaşık %10 azalmaktadır (21 mil/galon değerinden 19.3 mil/galon değerine düşmekte). Bu arada HC emisyonu da yaklaşık %50 azalacaktır. Şekil 3.9'da ise ateşleme zamanının değişimi sonucu HC emisyonundaki değişimler 1500 devir/dakika'da çalışan 13 BG'ne sahip bir motor için verilmiştir. Burada da MMAA değeri olan ÜÖN'dan 30^o önce yerine, ateşleme avansının ÜÖN'dan 20^o önce yapılması durumunda yakıt tüketimi %10 artarken, HC emisyonu da 100 ppm azalacaktır. Ateşleme avansının azaltılması durumunda egzoz gazları



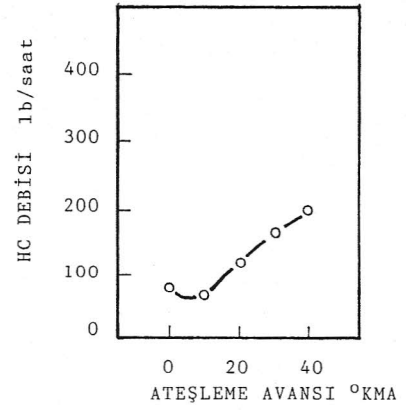
Şekil 3.8 Ateşleme zamanının HC emisyonu ve yakıt tüketimi üzerindeki etkisi.

içerisindeki HC konsantrasyonu azalmaktadır. Ancak ateşleme avansının değişimi ile motor performansı da değiştiğinden HC emisyonunun kütleli debi şeklinde (g/saat) veya özgül HC emisyonu (g/BG-saat) şeklinde tanımlanması daha sağlıklı olmaktadır. Bu nedenle emisyonu sınırlandıran bazı standartlarda da taşıtın ürettiği miktar (g/mil) veya (g/km) olarak tanımlanmaktadır. Şekil 3.10'da aynı motor ve aynı koşullar için HC debisinin değişimi verilmiştir. Burada ateşleme avansının azalması ile, aynı gücü vermek için gereken dolgu miktarı arttığından, HC emisyonu önceki kadar fazla değişim göstermemekte ve eğrinin minimum noktası ateşleme avansı değeri olarak ÜÖN'dan önce 5°'den geçmektedir.

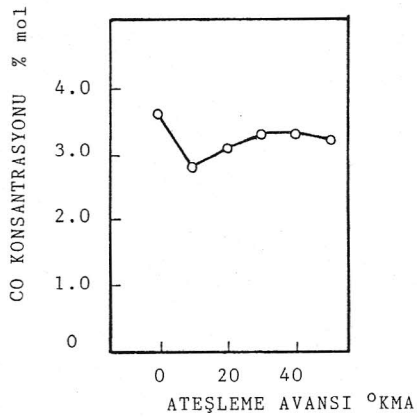
Ateşleme zamanının CO emisyonu üzerindeki etkisi oldukça azdır. Ateşlemenin çok geç yapılması durumunda yanmanın tamamlanması için yeterli zaman bulunamayacağından, yanma bitmeden egzoz supabı açılacak ve daha oksidasyon işlemi tamamlanmamış CO gazları dışarı atılacaktır. Ancak ateşleme zamanı bir miktar önceye alındığında hala çok sıcak olan egzoz gazı sıcaklıkları etkisi ile CO okside olacak ve CO emisyonunda bir düşüş görülecektir. Ateşleme avansı



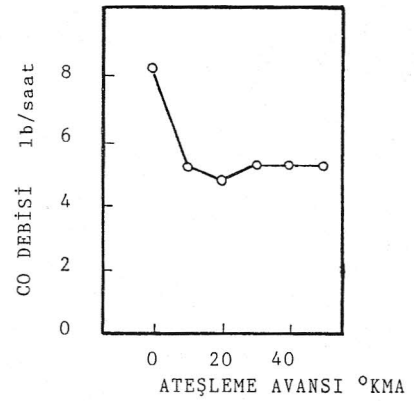
Şekil 3.9 Ateşleme avansının HC konsantrasyonuna etkisi.



Şekil 3.10 Ateşleme avansının HC debisine etkisi.



Şekil 3.11 Ateşleme avansının CO konsantrasyonuna etkisi.



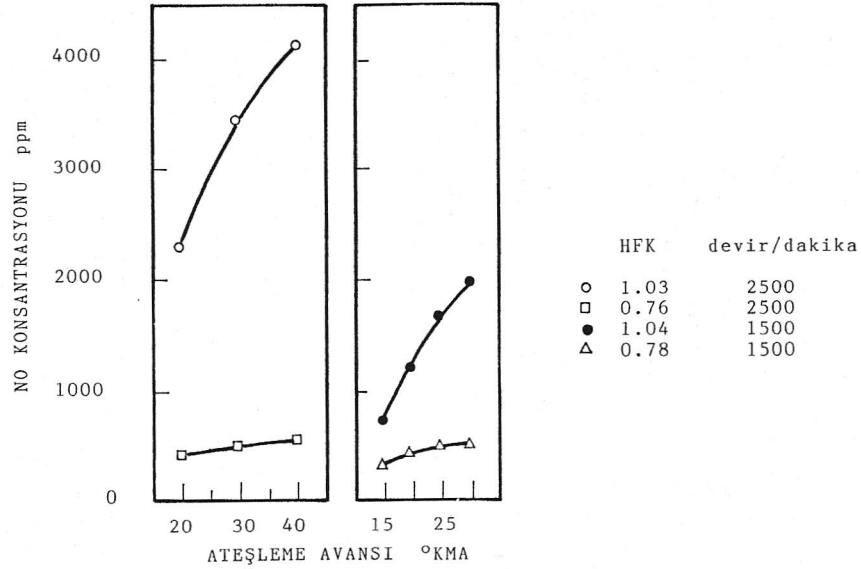
Şekil 3.12 Ateşleme avansının CO debisine etkisi.

daha fazla artırıldığında artık CO emisyonu oldukça sabit bir şekilde kalacaktır (Şekil 3.11 ve 3.12).

NO_x için ise ateşleme zamanının etkisi fakir karışımlarda daha

fazla, zengin karışımlarda ise daha az olmaktadır (Şekil 3.13). Ancak genelde ateşleme avansının artırılması NO_x emisyonunu artırıcı doğrultuda etki etmektedir.

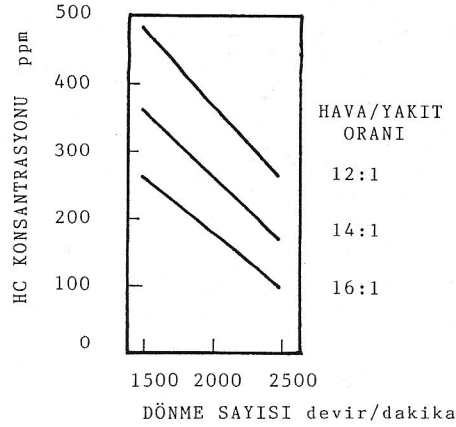
Ayrıca yanma odası içerisinde bujiye yakın konumlarda sıcaklık daha yüksek olduğundan, bu bölgede oluşan NO_x miktarı daha fazladır. Bu bölgede yanma daha erken başladığı için disosiyasyon reaksiyonları için de daha fazla zaman kalmakta ve sonuçta bu bölgedeki NO_x oluşumu fazla olmaktadır.



Şekil 3.13 Ateşleme avansının NO emisyonuna etkisi.

3.3 Dönme Sayısı

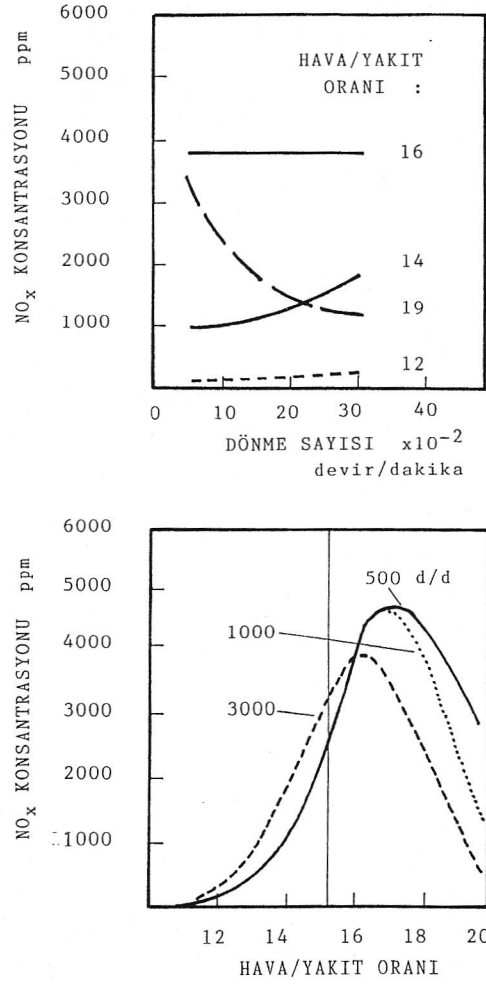
Motorun dönme sayısının artması, yanma odasındaki akışkan hareketlerini hızlandıracak ve türbülansı artıracaktır. Bunun sonucu olarak da benzin motorlarında cidarların yakınındaki alev sönme bölgeleri azalacak, daha iyi karışım sağlanacak ve alevin ilerlemesinde karşılaşılan sorunlar azalacaktır. Sonuç olarak motor dönme sayısının artması ile yanma iyileşeceğinden, yanmamış HC emisyonları da azalma gösterecektir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14 Dönme sayısının HC emisyonuna etkisi.

Ayrıca egzoz kanalındaki türbülansın artması ile daha iyi karışım sağlanması sonucu, egzoz gazları arasında bulunan yanmamış HC'lerin oksidasyonu da artış gösterecek ve HC emisyonu azalacaktır. Dönme sayısının artması ile motorun sürtünme kayıpları da artacağından, dolgu miktarında yapılacak artış sonucu HC emisyonu beklenen azalmayı tam olarak gösteremeyecektir. Devir sayısının değişimi CO emisyonuna etki etmemektedir, çünkü CO'ların oksidasyonu normal egzoz sıcaklıklarında karışımın iyiliği ile kontrol edilmekte olmayıp kinetik olarak sınırlıdır. Dönme sayısının artması sonucu artan türbülans miktarı alev hızını da artırmakta olduğundan, ısı kayıpları azalmakta ve sonuç olarak da yanma odası sıcaklıkları ve basıncı artmaktadır. Ancak ateşleme zamanı sabit olarak tutulduğunda, artan dönme sayısı ile yanmanın tamamlanma süreci, sıcaklıkların ve basıncın kısmen düşük olduğu genişleme strokuna doğru kaymaktadır. Bu durum, yanma hızının düşük olduğu karışım oranları için daha da belirgin olacaktır (Şekil 3.15). Örneğin hava/yakıt karışım oranınının 19:1 değerinde, alçak yanma hızı nedeni ile yanmanın tamamlanışı sıcaklıkların daha düşük olduğu genişleme zamanına doğru kaymaktadır. Böylece NO_x emisyonu önemli oranda azalmaktadır. Şekil 3.15'te iki farklı etkinin sonuçları görülmektedir. Dönme sayısının artışı ile NO_x oluşumunun azalan ısı kayıpları sonucu artışına karşılık, yanmanın gecikmesi sonucu azalışı söz konusu olmaktadır. Zengin karışımlar

için yanmanın tamamlanması ve NO_x oluşum süreci hızlı olduğu için bu etkilerden ilki daha ağır basmaktadır. Fakir karışımlar için ise yanma ve NO_x oluşumunun yavaş olması nedeniyle ikinci etki hakimdir.



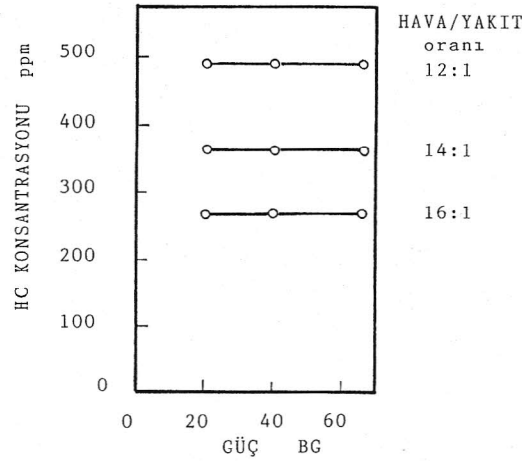
Şekil 3.15 Motor dönme sayısının NO_x emisyonuna etkisi.

Dizel motorlarında da motor devir sayısının artırılması benzer doğrultuda etkisini gösterecektir. Genelde dönme sayısının artması ile mekanik verimdeki düşüşü karşılayabilmek ve motorun P_{me} değerini aynı tutabilmek için püskürtülen yakıtta bir miktar artışa gerek duyulacaktır. Ayrıca tutuşma gecikmesinde bir miktar azalma olmasına rağmen ÜÖN'dan önce silindire giren yakıt miktarı

artırılacaktır. Ön yanma odalı motorlarda, daha sıcak olan ana yanma odasına yakıtın geçiş zamanı önceye alınacaktır. Bütün bu koşullar HC ve CO emisyonlarının, yüksek sıcaklıklarda oksidasyonun artışı sonucunda azalmasına neden olurken, NO_x emisyonları da sıcaklığın artışı ile artacaktır.

3.4 Motor Gücü

Motor dönme sayısı ve karışım oranı sabit kalacak şekilde ve ateşleme zamanı da maksimum momenti verecek şekilde ayarlama yapılarak gücün artırılması durumunda emisyonu etkileyen birçok etken söz konusu olmaktadır. Yükün artması ile, yanma ürünlerinin egzoz sisteminde kalış süreleri azalmaktadır. Böylece sıcak ortamda oksidasyon için zaman azalmakta olduğundan HC emisyonu artacaktır. Ancak yükün artması ile alev sönme bölgesi küçülecek ve egzoz sıcaklığı artacaktır. Bu etkenler de HC emisyonunu azaltıcı yöndedir. Sonuç olarak motor gücünün değişimi HC emisyonunu belirgin bir şekilde etkilememektedir (Şekil 3.16).



Şekil 3.16 Motor gücündeki değişimin HC emisyonuna etkisi.

Sabit karışım oranları için, motor gücünün değişimi CO emisyonunu da etkilememektedir. Fakat hem HC, hem de CO emisyonu için motor gücünün artması ile kirletici emisyon konsantrasyonlarında (ppm)

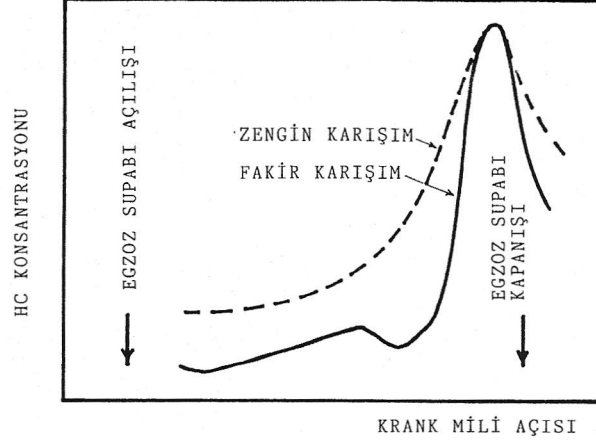
bir değişim olmasa da, kirletici bileşenlerin debilerinde (kg/saat) bir artış görülecektir. Bu nedenle daha düşük beygir gücü gerektiren hafif taşıtlar HC ve CO emisyonları açısından avantajlı olmaktadır. NO_x emisyonu ise sıcaklığın arttığı durumda doğal olarak artış gösterecektir.

Dizel motorlarında ise motorun yük durumunun değişimi, karışım oranı ile ilgilidir. Motorun gücünü artırmak için karışımı daha fazla yakıt göndererek zenginleştirmek gerekmektedir. HFK'nın değişiminin getirdiği etkiler burada da geçerlidir. Ayrıca, püskürtülen yakıt miktarının artırılması püskürtme süresini ve yanma süresini etkileyecektir. Bu durumda yanmanın tamamlanması için zaman azalacak ve HC emisyonu artış gösterecektir. Ancak önce artış gösteren NO_x emisyonu, yükün belirli bir sınırdan fazla artırılması durumunda azalmaya başlayacaktır. Bu sınır yanma odası konstrüksiyonuna, motor dönme sayısına ve püskürtme zamanlamasına bağlı olarak değişim gösterir.

3.5 Egzoz Karşı Basıncı

Egzoz karşı basıncının artışı sonucunda, silindirde bir önceki çevrimden kalan artık gazların miktarı da artar. Artık gazların yeni dolguyu seyreltici etkisi yanmayı da etkileyecek kadar fazla değil ise, HC emisyonu azalma gösterir. Bu duruma neden, fazla miktarda HC içeren egzoz gazlarının son kısmının yanma odasında kalmasıdır. Şekil 3.17'de görüldüğü gibi egzoz supabının kapanmasına yakın, cidardaki alev sönme tabakasının piston tarafından kazınması sonucu egzoz gazlarının bu bölümündeki HC konsantrasyonu artmaktadır. Zengin karışımlarda, yetersiz oksijen nedeniyle oluşan HC miktarı, alev sönme bölgesinden kaynaklanan HC miktarına oranla daha fazla olduğu için karşı basıncın etkisi de daha az olmaktadır.

Zengin karışımlarda, alevin ilerlemesi açısından sorun bulunmadığı için egzoz karşı basıncındaki artış sonucu karışımın seyreltilmesi HC emisyonunda bir miktar azalma sağlayacaktır. Ancak fakir karışımlarda, karışımın daha da seyreltilmesi sonucu yanma

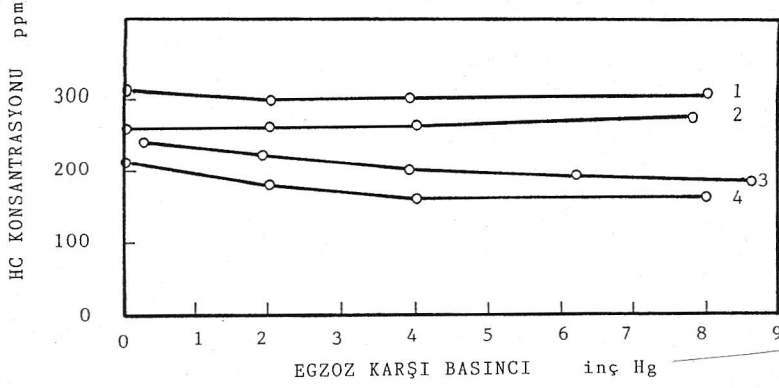


Şekil 3.17 Egzoz zamanı boyunca HC konsantrasyonundaki değişim.

açısından sorun çıkacağından HC emisyonu bu durumda artacaktır. Aynı şekilde karşı basıncın boşa çalışma (rölanti) koşullarında artırılması durumunda HC emisyonu artış gösterir, çünkü bu durumda da fazla miktarda artık gazlar içeren karışımın daha fazla seyreltilmeye toleransı yoktur (Şekil 3.18).

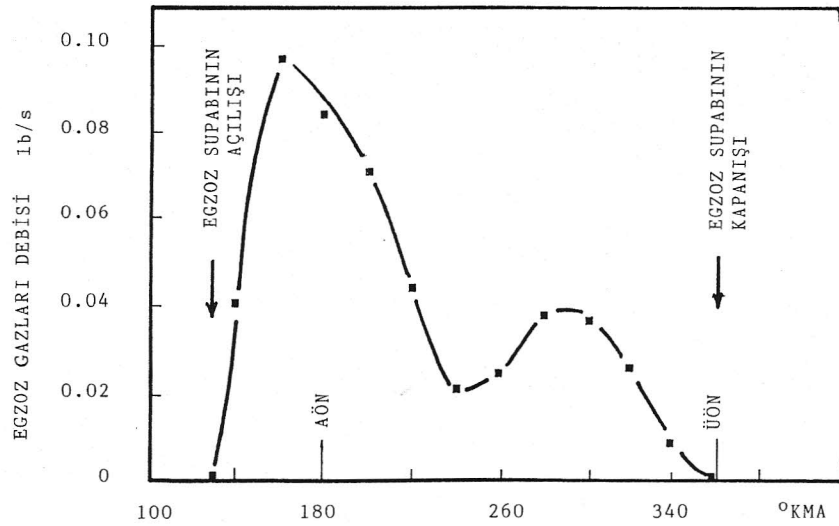
3.6 Supap Bindirmesi

Egzoz supabı açıldığında, yanma odası ile dış ortam arasındaki basınç farkı nedeniyle egzoz gazlarının debisi yüksek bir değere sahip olacaktır. Daha sonra debi azalacak ve ÜÖN'dan yaklaşık 70° önce maksimum piston hızına ulaşıldığında tekrar artacaktır (Şekil 3.19 a). Egzoz sistemindeki HC debisi de egzoz gazları debisini takip edecektir (Şekil 3.19 b). Ayrıca pistonun ÜÖN'ya doğru hareketi sırasında alev sönmeye bölgesindeki HC'lerin kazınması sonucu HC konsantrasyonu ÜÖN civarında bir tepe noktasına sahip olacaktır (Şekil 3.19 c).

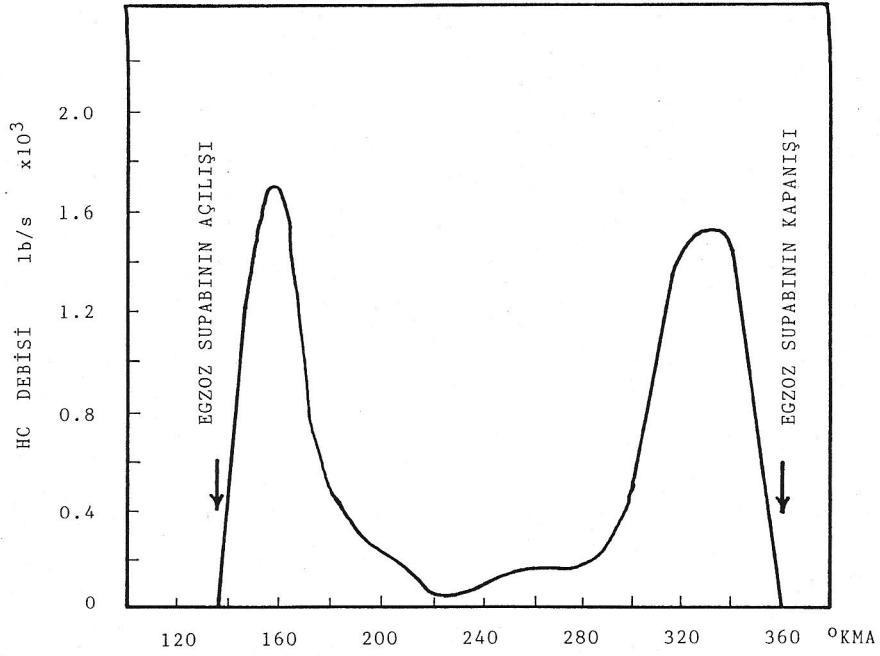


1	2500	11.5:1	3/4
2	2500	11.6:1	4/4
3	1500	13.9:1	1/4
4	2500	13.9:1	1/4

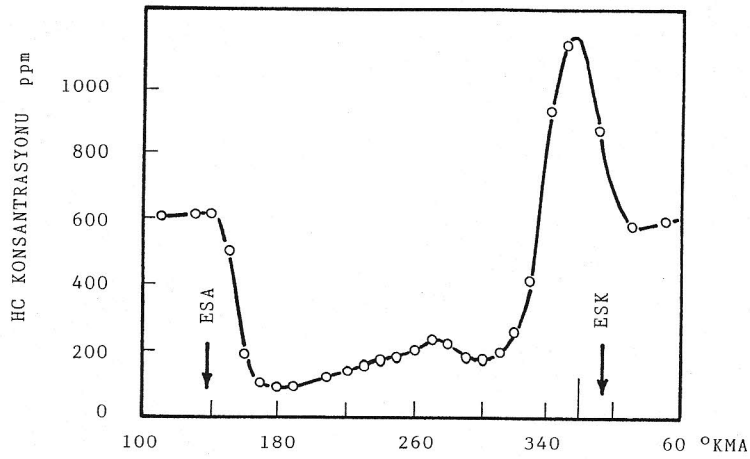
Şekil 3.18 Egzoz karşı basıncının HC emisyonuna etkisi.



Şekil 3.19 a Egzoz gazları debisindeki değişim.

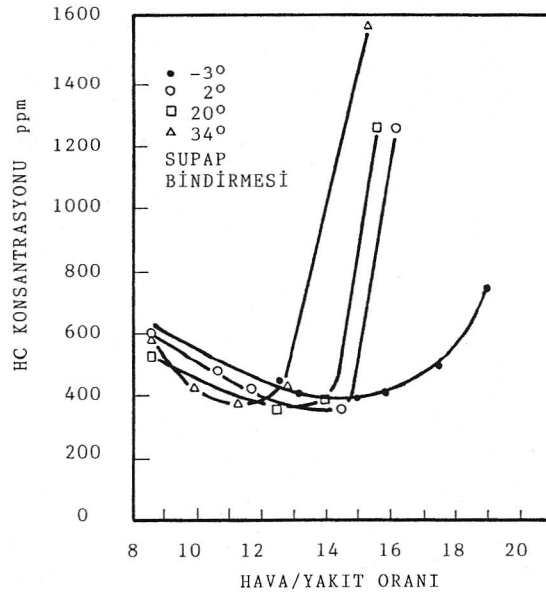


Şekil 3.19 b HC debisindeki değişim.



Şekil 3.19 c HC konsantrasyonundaki değişim.

Benzin motorlarında emme ve egzoz supaplarının birlikte açık kalması (supap bindirmesi) durumunda, önce bir miktar egzoz gazı emme kanalına kaçacak ve daha sonra bu gazlar tekrar emilen taze dolgu ile yanma odasına sokulacaktır. Böylece supap bindirmesi sonucunda dolgu, artık gazlarla seyreltilmekte ve karşı basıncın artırılması durumu ile aynı etkileri oluşturmaktadır. Şekil 3.20'den görüldüğü gibi 2°'lik süpap bindirmesi minimum HC emisyonunu sağlamaktadır. Bu durumda, artık gazlarda çok az artış olmakta ve egzoz gazlarının yanmamış HC'ları içeren son kısmı yanma odasında kalarak yanmaktadır. Supap bindirmesi daha da artırıldığında ise yanmanın tamamlanması açısından sorun olduğu için, HC emisyonu artış göstermektedir.



Şekil 3.20 Supap bindirme süresinin HC emisyonuna etkisi.

Supap bindirmesi durumunda, karışım oranı da etkili olmaktadır. Stokiyometrik karışımlar için, supap bindirmesi artırıldığında, yanma odasındaki artık gazların miktarı artacak, yanma hızı azalacak, sıcaklıklar düşecek ve alev sönme bölgesi büyüyecektir. Bu durumda HC emisyonu da artar. Zengin karışımlarda ise, alevin ilerlemesine ve karışımın aşırı seyreltilmesine ilişkin sorunlar bulunmadığı için, supap bindirmesi artırıldığında HC emisyonu azalmaktadır, çünkü artık gazlar içerisinde bulunan HC'lar silindirde tutularak yakılmaktadır.

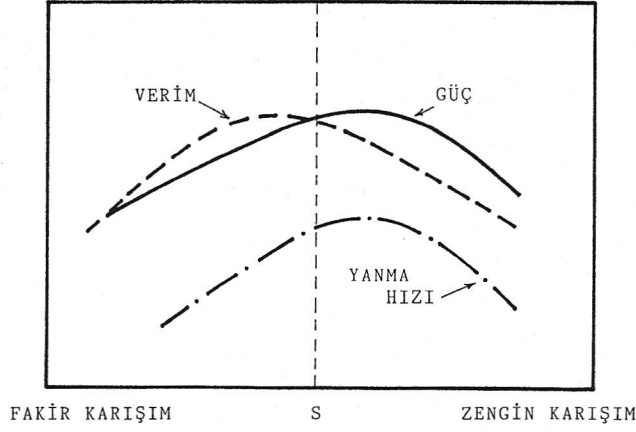
Genelde minimum HC emisyonu, düşük karşı basınç ve minimum supap bindirmesi ile sağlanmaktadır. Supap bindirmesinin azaltılması ile motorun maksimum gücünde bir azalma olacaktır. Fakat, fakir karışım ile kararlı (stabil) yanma sağlanabilirse, yakıt tüketimi de azaltılabilecektir.

Karışım oranı sabit tutulduğu sürece, supap bindirmesinin CO emisyonu üzerinde bir etkisi bulunmamaktadır. NO_x emisyonları ise, supap bindirmesi ile dahili egzoz gazları resirkülasyonu yapıldığı (egzoz gazları ile karışım seyreltildiği) için sıcaklıklar düşeceğinden ve oksijen konsantrasyonu azalacağından, azalma gösterecektir.

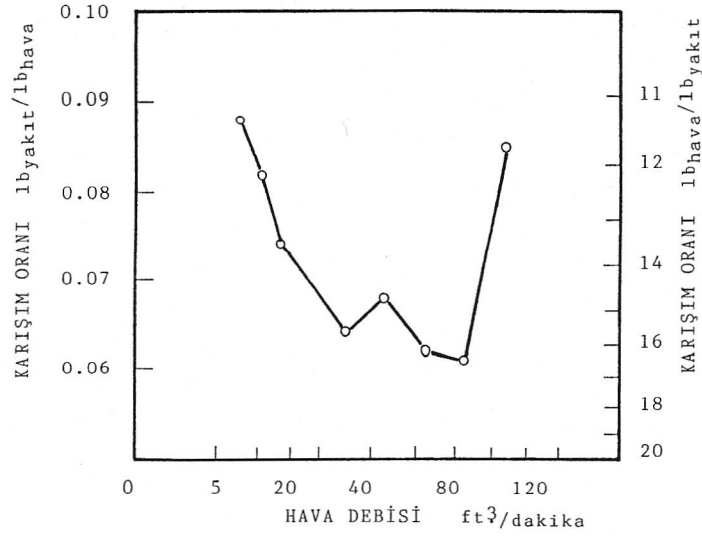
3.7 Emme Manifoldu Basıncı

Sabit karışım oranı ve motor dönme sayısı için, motor gücünün MMAA, maksimum moment için ateşleme avansı ile birlikte değişiminin HC ve CO emisyonu üzerinde bir etkisi bulunmamaktadır. Ancak uygulamada sabit dönme sayısı için motorun hava debisi değiştirildiğinde, gaz kelebeği konumundaki değişiklik emisyon konsantrasyonunu etkiler. Silindire giren dolgu miktarı gaz kelebeği konumuna bağlı olarak ayarlanmaktadır. Gaz kelebeği konumu, emme manifoldu basıncını da değiştirerek çeşitli etkiler sağlar.

Motorun boшта çalışması durumunda, bir önceki çevrimden kalan artık gazların silindirde bulunması nedeniyle karışım bir miktar zenginleştirilir. Böylece yanma hızı artırılır. Normal çalışma koşullarında (ekonomik bölgede) ise, karışım fakirleştirilmektedir. Bu durumda yanma hızı tekrar düşer ve ateşleme avansı artırılır. Maksimum güç için ise karışım tekrar zenginleştirilir, yanma hızı artar ve bu nedenle ateşleme avansı da azaltılır (Şekil 3.21). Buna göre karbüratördeki hava debisi ile (emme manifoldu basıncı hava debisi ile doğru orantılı olarak değişmektedir) karışım oranı da değişmektedir (Şekil 3.22). Düşük emme manifoldu basınçlarında yanma başlangıcı ve alevin ilerlemesi açısından sorunlar bulunmaktadır. Bu nedenle HC konsantrasyonu artış



Şekil 3.21 Karışım oranındaki değişim sonucu motor performansının etkilenişi.

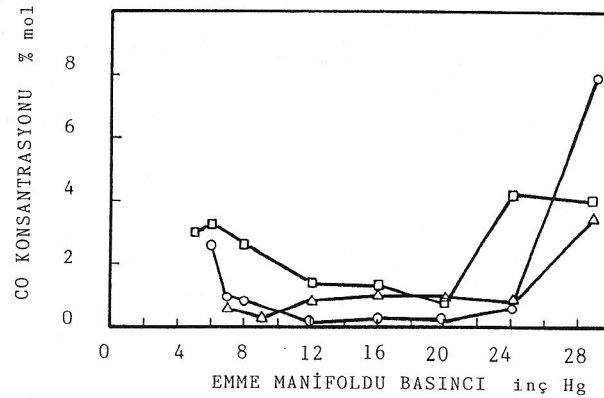
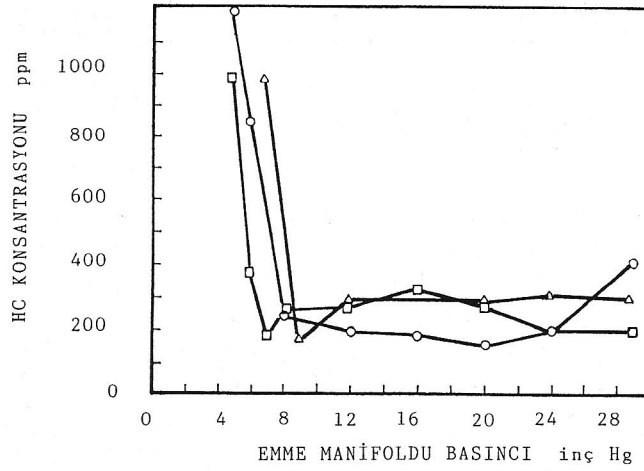


Şekil 3.22 Karbüratördeki hava debisi ile karışım oranının etkilenişi.

gösterir. Ancak tutuşma sorunlarının bulunduğu durumlarda CO emisyonu azalmaktadır.

Gaz kesilmesi durumunda ise, taşıtın ataleti nedeniyle dönme sayısı hala yüksektir ve gaz keleşi kapalı durumda olduğu halde emme kanalında düşük basınç oluşmaktadır. Bu durum "sürüklenme durumu" olarak adlandırılır. Emme kanalındaki yakıt filmi buharlaşır ve karışım zenginleşir. Bunun sonucu olarak da CO ve HC emisyonları artar. Bu durumun önlenmesi amacıyla bazı taşıtlarda gaz keleşi damperi kullanılmaktadır.

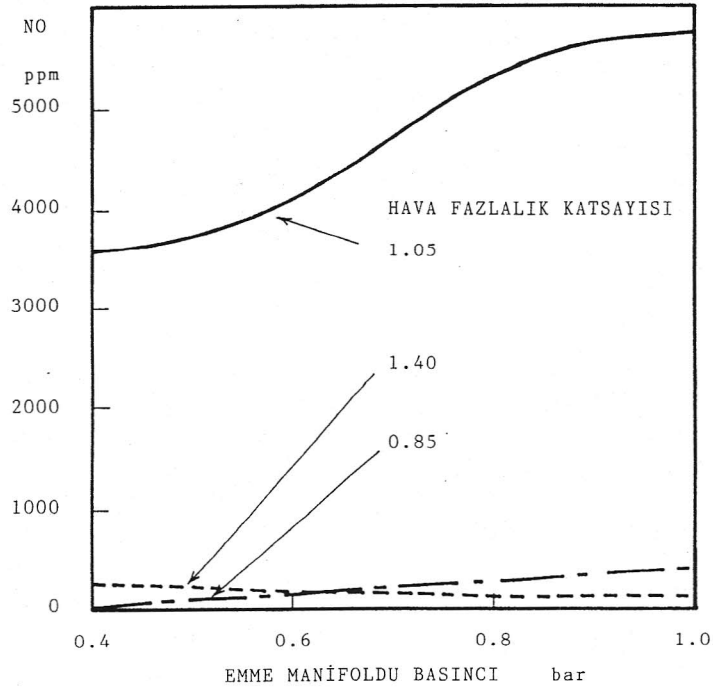
Emme manifoldu basıncının artmasıyla, dolgu debisi de artmaktadır. Bunun sonucu olarak hem HC, hem de CO debisinde bir artış görülür (Şekil 3.23).



Şekil 3.23 Emme manifoldu basıncındaki değişimin HC ve CO emisyonuna etkisi.

Ateşleme avansı değiştirilmeden emme manifoldu basıncının artırılması durumunda, yanma daha geç tamamlanacaktır. Bu durumda yanmanın son kısımları genişleme zamanında gerçekleşeceği için sıcaklıklar düşecek ve NO_x emisyonu azalacaktır. Ancak genelde ateşleme avansı da değiştirildiğinden NO_x emisyonu da basıncın artışı ile birlikte artış gösterir.

Stokiyometrik değerden biraz daha fakir karışımlar için (NO_x 'in HFK ile değişiminin maksimum olduğu bölgede) emme manifoldu basıncı ile etkilenme en fazla olacaktır. Burada basıncın artması ile dolgu miktarı artacak ve önceki çevrimden kalan inert egzoz gazları miktarı azalacaktır. Böylece NO_x oluşumu da artış gösterecektir (Şekil 3.24). Ancak bundan daha fakir veya daha zengin karışımlar için aynı etki söz konusu değildir.



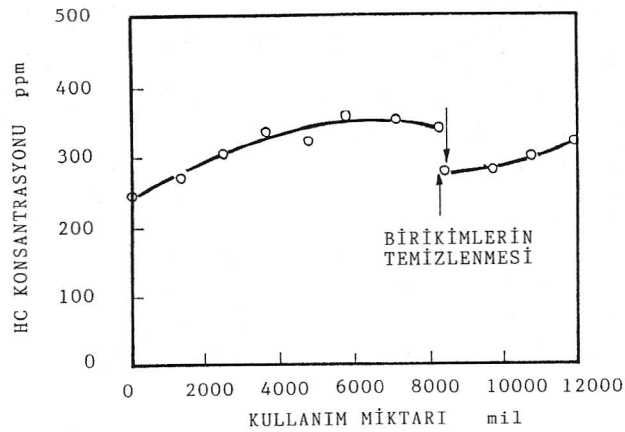
Şekil 3.24 Emme manifoldu basıncının NO_x emisyonuna etkisi.

3.8 Yanma Odası Cidarlarındaki Birikimler

Kurşunlu benzin kullanan motorlarda yanma odası cidarlarındaki birikimlerin asıl kaynağı kurşun tetraetil, $Pb (C_2H_5)_4$ 'dir. Cidarlarda oluşan birikimler yüzeyin artmasına neden olmaktadır. Böylece alev sönme bölgesi artış göstererek, HC emisyonunu artırır.

Cidarlarda oluşan karbon birikimleri de sünger şeklindeki yapılarından dolayı yakıtı bünyelerinde biriktirerek yanmasını önlerler ve böylece HC emisyonu artış gösterir. Burada biriken yakıt, genişleme zamanında basınç düştüğünde tekrar serbest bırakılır, ancak bu arada sıcaklık da düşmüş olduğundan bu yakıtın tümünün yanması gerçekleşemez.

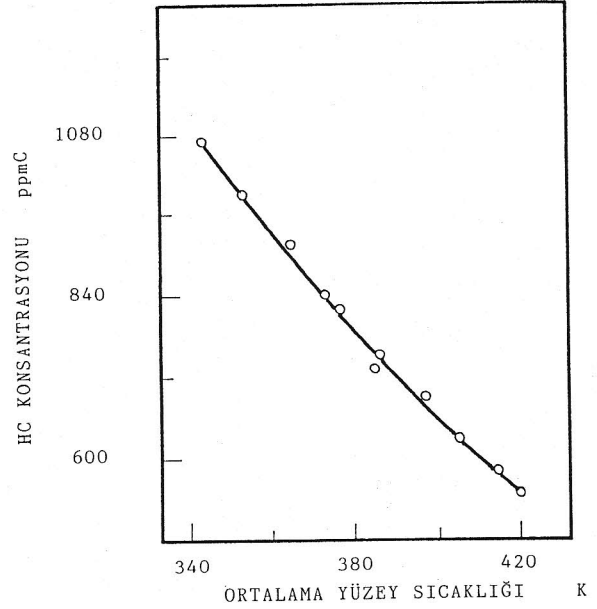
Cidarlarda oluşan birikimler aynı zamanda sıkıştırma oranını da artırarak HC emisyonunun tekrar artmasına neden olmaktadır. Yanma odası cidarlarındaki karbon birikimleri zamanla artış göstermekte ve belli bir zamandan sonra da kendi kendilerine kopmaktadırlar. Bu birikimlerin temizlenmesi sonucu HC emisyonu 40 - 50 ppm mertebelerinde düşüş göstermektedir (Şekil 3.25). Cidarlarda oluşan bu birikimlerin CO emisyonu üzerinde ise etkisi yoktur.



Şekil 3.25 Yanma odası cidarlarındaki birikimlerin HC emisyonu üzerindeki etkisi.

3.9 Yanma Odası Yüzey Sıcaklıkları

Yanma odası cidar sıcaklıklarının değişimi motorun soğutma sistemi ile ilgilidir. Soğutma suyu sıcaklığının artması sonucu, soğutma suyuna giden ısı miktarı azalır ve yanma odası sıcaklığı artış gösterir. Bu durumda alev sönme bölgesi azalacağı için HC emisyonu da azalacaktır (Şekil 3.26). Ancak bu arada sıcaklıkların yükselmesi nedeniyle NO_x emisyonu da artış gösterir. Yanma odası yüzey sıcaklığının değişimi aynı zamanda motorun vuruş meyili, volümetrik verim ve yağlama sorunu gibi etkenlerle de sınırlandırılmıştır (Şekil 3.27).

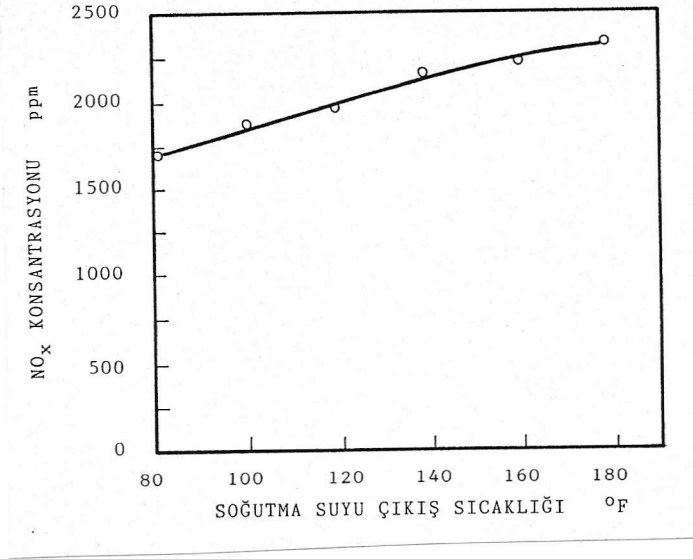


Şekil 3.26 Yanma odası yüzey sıcaklıklarının HC emisyonu üzerindeki etkisi.

3.10 Havadaki Nem Oranı

Karışımın içerisindeki nem miktarının artışı, maksimum alev sıcaklığını düşüreceği için NO_x oluşumunu da azaltacaktır. Moore tarafından yapılan deneylerde su buharının %1 oranında (kütlesel) artışı, alev sıcaklığını 200°C düşürerek NO_x emisyonunu yaklaşık %25 azaltmaktadır (H_2 -hava ve etilen-hava yanmasında). Nem

oranının değişimi HC emisyonu üzerinde fazla bir etki yapmamakta olup sadece NO emisyonunu önemli ölçüde etkilemektedir (Şekil 3.28).

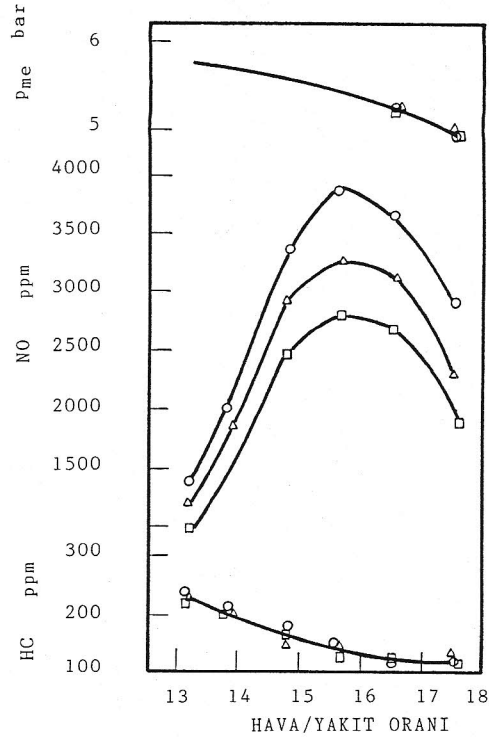


Şekil 3.27 Yanma odası yüzey sıcaklıklarının NO_x emisyonu üzerindeki etkisi.

3.11 Supap Zamanlaması

Supap zamanlaması, yanma koşullarını etkilemekte olduğundan, motor performansı ile birlikte egzoz gazları emisyonunu da etkilemektedir. Supap açılma ve kapanma zamanlamasına bağlı olarak yanma odasındaki türbülans şiddeti, karışımın homojenliği, dolgunun sıcaklığı ve basıncı, artık gazların miktarı etkilenmektedir. Supap zamanlaması sonucunda, bir çeşit egzoz gazları iç resirkülasyonu oluşumu da sözkonusudur. Bu nedenle yanma sonu sıcaklıkları, dolayısı ile, emisyon değerleri ayrıca etkilenir.

Egzoz supabının standard zamanlamaya göre erken veya geç açılması emisyon değerlerini Şekil 3.29'da görüldüğü gibi değiştirmektedir. Zamanından önce egzoz supabının açılması durumunda, yanma

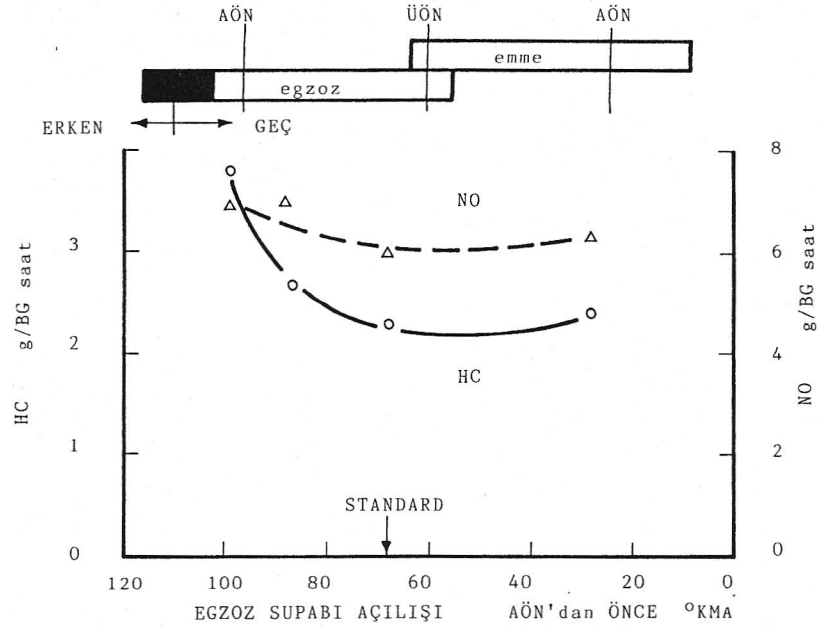


Şekil 3.28 Havadaki nem miktarının emisyonuna etkisi.

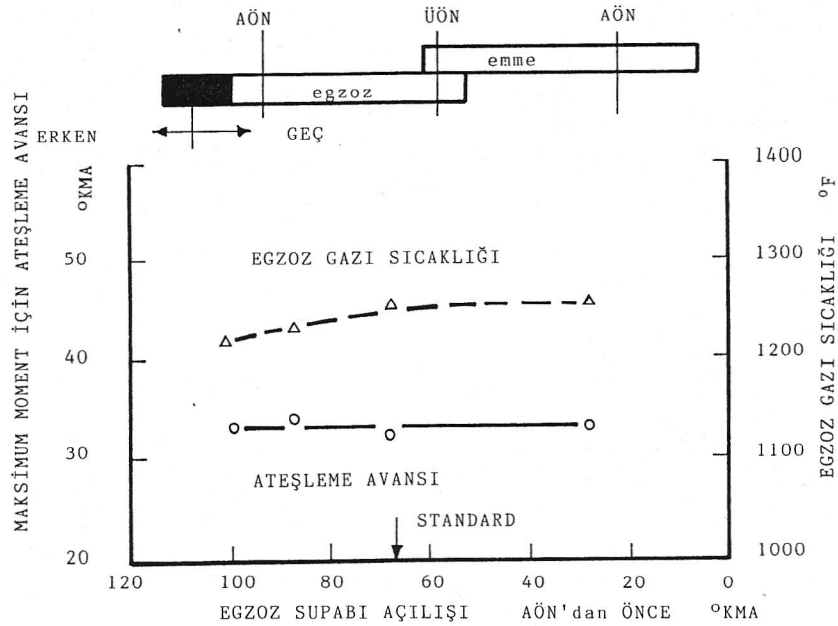
- 2.86 g nem/kg kuru hava, Δ 12.9 g nem/kg kuru hava,
- 22.9 g nem/kg kuru hava.

tamamlanmadan gazlar dışarı atılacağı için HC ve CO emisyonunda artış olacaktır. Erken açılmayı karşılayacak şekilde, gücün sabit tutulabilmesi amacıyla dolgunun bir miktar artırılması sonucu, sıcaklık ve basınç artacağından NO_x emisyonu da artar. Bu durumda ayrıca dolgu debisinin artışı sonucu HC ve CO emisyonu artış göstermektedir.

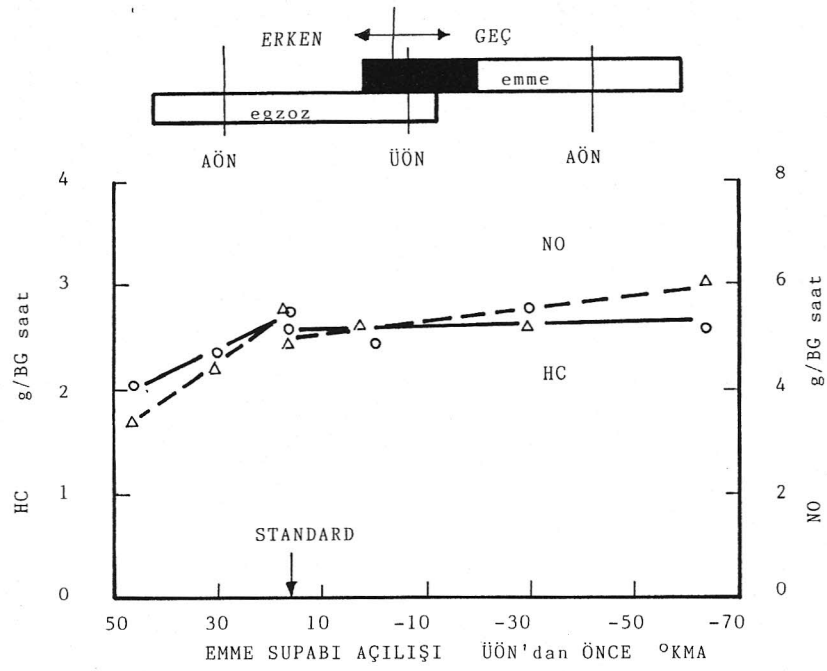
Emme supabının erken açılması durumunda, egzoz sıcaklıkları düşmektedir. Bu durumda HC emisyonları azalır. Erken açılan emme supabı, supap bindirme süresini artırmakta ve bir kısım artık gazların önce emme kanalına kaçmasına ve daha sonra tekrar yanma odasına girerek yanmasına neden olmaktadır. Bu durumda da HC emisyonu azalır. Ayrıca karışımın seyreltilmesi de NO_x emisyonunu azaltacaktır (Şekil 3.30). Emme supabı açılma zamanının standard değerine göre geciktirilmesi ise HC emisyonunda belirgin bir



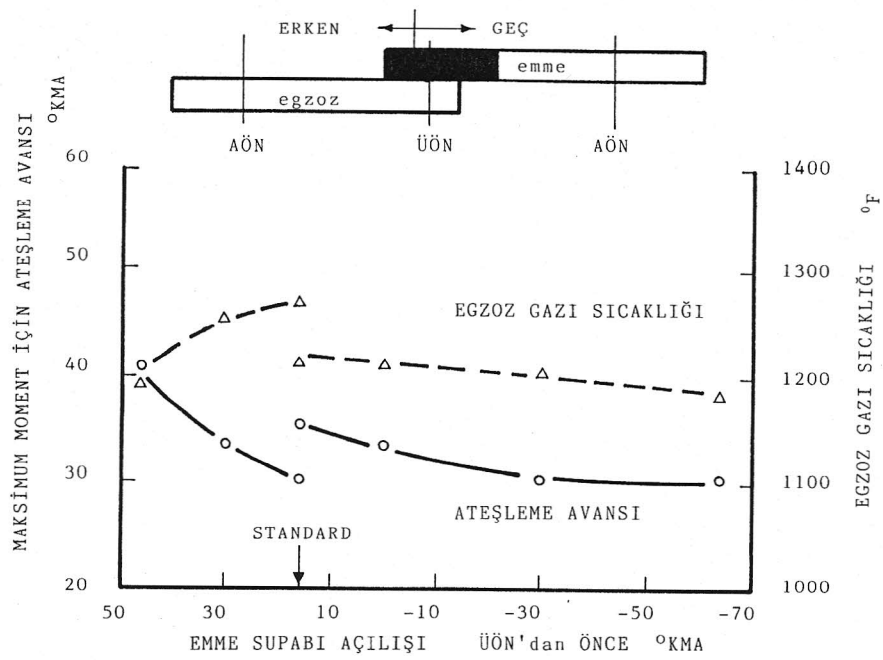
Şekil 3.29 a Egzoz supabı açılma zamanının HC ve NO_x emisyonu üzerindeki etkisi.



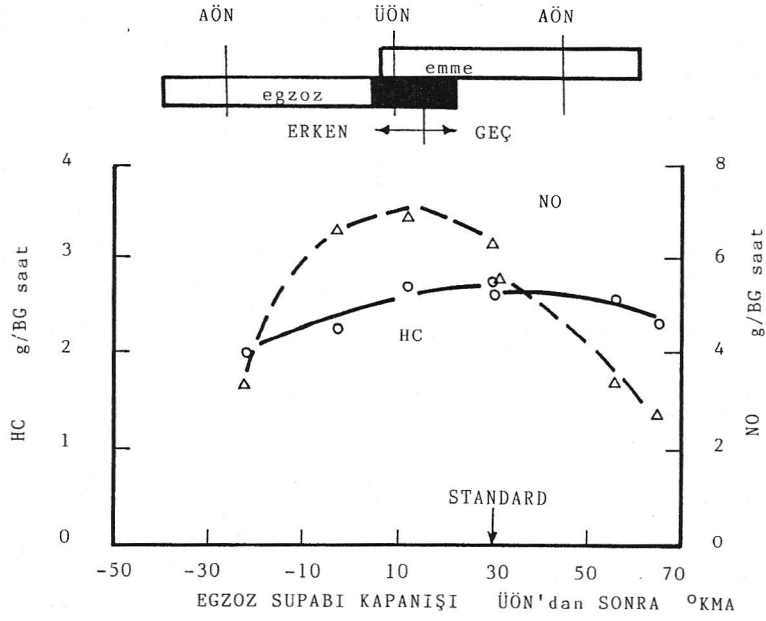
Şekil 3.29 b Egzoz supabı açılma zamanının egzoz sıcaklığı ve ateşleme zamanına etkisi.



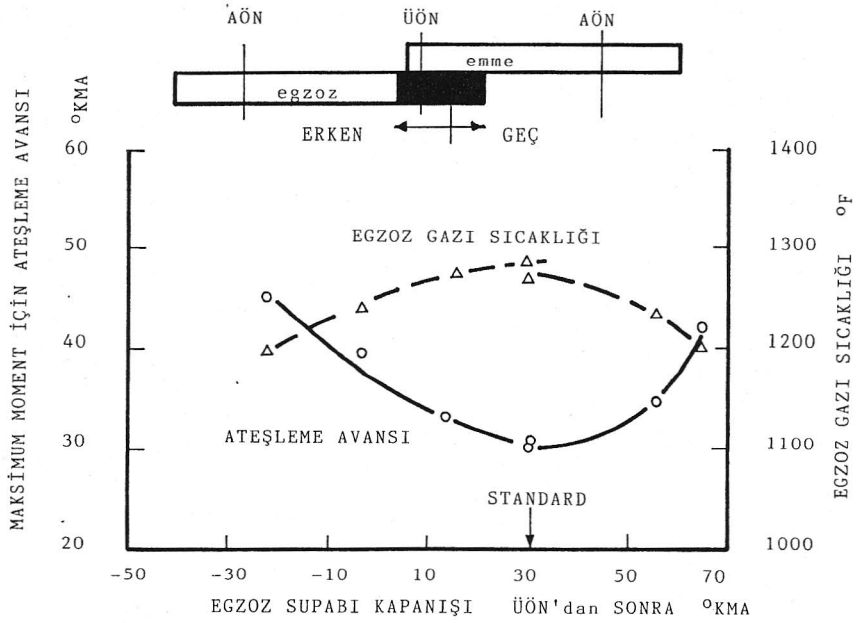
Şekil 3.30 a Emme supabı açılma zamanının HC ve NO_x emisyonu üzerindeki etkisi.



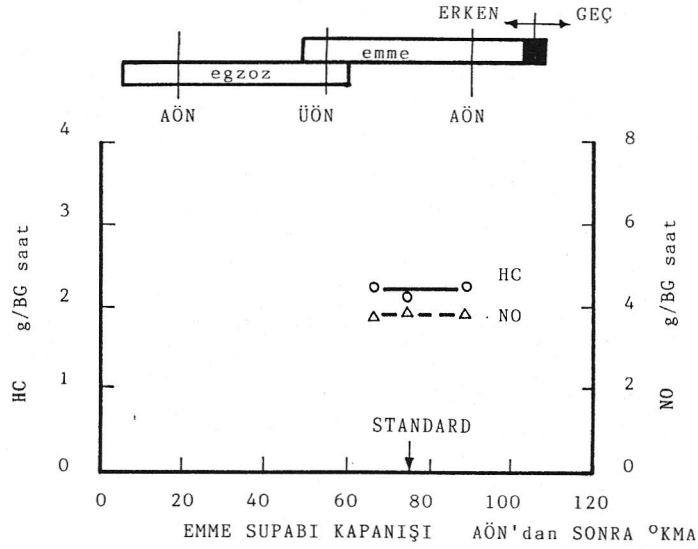
Şekil 3.30 b Emme supabı açılma zamanının egzoz sıcaklığı ve ateşleme zamanına etkisi.



Şekil 3.31 a Egzoz supabı kapanma zamanının HC ve NO_x emisyonu üzerindeki etkisi.



Şekil 3.31 b Egzoz supabı kapanma zamanının egzoz sıcaklığı ve ateşleme zamanına etkisi.



Şekil 3.32 Emme supabı kapanma zamanının HC ve NO_x emisyonu üzerindeki etkisi.

değişiklik yaratmamaktadır. Ancak aynı durumda NO_x emisyonunda bir miktar artış görülmektedir. Emme supabı açılış zamanlamasının CO emisyonu üzerinde ise belirgin bir etkisi bulunmamaktadır.

Egzoz supabının kapanma zamanının erkene alınması HC emisyonunun önemli ölçüde azalmasına neden olmaktadır. Egzoz supabı kapanma zamanının, sonraya alınması da HC emisyonunu azaltacaktır (Şekil 3.31). Diğer taraftan standard zamanına göre supabın erken veya geç açılması durumunda azalan egzoz gazı sıcaklıklarına ve artık gaz miktarındaki değişime bağlı olarak NO_x emisyonu da azalacaktır. Egzoz supabı kapanma zamanlamasının, CO emisyonu ve yakıt tüketimi üzerinde ise belirgin bir etkisi bulunmamaktadır.

Emme supabının kapanma zamanının değiştirilmesi HC ve NO_x emisyonları üzerinde belirgin bir etki yaratmamaktadır (Şekil 3.32). Aynı şekilde CO emisyonu, egzoz gazı sıcaklıkları ve yakıt tüketimi de etkilenmemektedir. Ancak kapanma gecikmesinin aşırı artırılması durumunda bazı etkiler görülecektir.

KAYNAKLAR

1. Patterson, D.J. ve N.A. Henein, Emissions From Combustion Engines and Their Control, Ann Arbor Science Pub. Inc., Michigan, 1979.
2. Springer, G.S. ve D.J. Patterson, Engine Emissions - Pollutant Formation and Measurements, Plenum Press, New York, 1974.
3. Pischinger, F., Verbrennungsmotoren Band II, Technische Hochschule Aachen, 1983.
4. Benson, R.S. ve N.D. Whitehouse, Internal Combustion Engines, Vol. 1, Pergamon Press, Oxford, 1979.
5. Ferguson, C.R., Internal Combustion Engines, John Wiley & Sons, New York, 1986.
6. Swain, M., Exhaust Emission Control, Ders Notları, University of Miami, 1987.
7. Wentworth, J.T., Effect of Combustion Chamber Surface Temperature on Exhaust HC Concentration, SAE Paper No. 710587, 1971.
8. Siewert, R.M., How Individual Valve Timing Events Affect Exhaust Emissions, SAE Paper No. 710609, 1971.
9. Tabaczynski, R.J., J.B. Heywood ve J.C. Keck, Time Resolved Measurements of Hydrocarbon Mass Flow in the Exhaust of a Spark Ignition Engine, SAE Paper No. 720112, 1972.