



The Importance of Tractor Exhaust Emission Test Methods in Terms of Environmental Pollution

Mehmet Recai Durgut^{1,a,*}

¹Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, 59030 Türkiye

*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Research Article</i></p> <p>Received : 03.05.2024 Accepted : 02.07.2024</p> <p>Keywords: Exhaust emission Agricultural tractor Emission tests Air pollutant Emisyon test cycles</p>	<p>In most European countries, air pollution and environmental protection are becoming increasingly important issues. Recent studies shown that, in Switzerland, offroad traffic is responsible for a significant part of the air pollution. Agricultural tractors account for a major part of overall offroad traffic. A rapid increase is observed in the number of tractors in developed and developing countries. Due to this increase in tractor numbers, there is a growing interest in tractor exhaust emissions and their impact on the environment. Determining the correct emission values and the measurement methods used have gained importance. There are regulations for emission measurements on an engine test rig for type approval of tractor engines, but there is no procedure for emission measurements at different operating conditions of the tractor. Studies have shown that the exhaust gases measured under different operating conditions of tractors are higher than the values obtained under steady-state conditions in emission test methods. These results reveal the necessity of changing the test procedures used in emission measurement. The development of new tests will reduce exhaust emissions from tractors.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 12(7): 1197-1203, 2024

Çevre Kirliliği Açısından Traktör Egzoz Emisyon Test Yöntemlerinin Önemi

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p><i>Araştırma Makalesi</i></p> <p>Geliş : 03.05.2024 Kabul : 02.07.2024</p> <p>Anahtar Kelimeler: Egzoz emisyonu Tarım traktörü Emisyon testleri Hava kirliliği Emisyon test yöntemleri</p>	<p>Birçok Avrupa ülkesinde hava kirliliği dolayısıyla çevrenin korunması önemli konuların başında gelmektedir. İsviçre’de yapılan araştırmalar, karayolu dışı taşıt trafiğinin hava kirliliğinin önemli bir bölümünün nedeni olduğunu göstermiştir. Tarım traktörleri de karayolu dışı taşıt trafiğinin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde traktör sayılarında hızlı bir artış görülmektedir. Traktör sayılarının bu artışı nedeniyle traktör egzoz emisyonları ve bunların çevreye olan etkileri üzerinde büyüyen bir ilgi vardır. Doğru emisyon değerlerinin belirlenmesi ve kullanılan ölçüm metotları önem kazanmıştır. Traktör motorlarının tip onayı için bir motor test donanımında emisyon ölçümlerine yönelik düzenlemeler mevcuttur, ancak traktörün farklı çalışma koşullarında emisyon ölçümleri için bir prosedür mevcut değildir. Yapılan çalışmalar traktörlerin farklı çalışma koşullarında ölçülen egzoz gazlarının, emisyon test yöntemlerindeki sabit durum koşullarında elde edilen değerlerden daha yüksek olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlar, emisyon ölçümünde kullanılan test prosedürlerinin değiştirilmesinin gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Yeni testlerin geliştirilmesi, traktörlerden kaynaklanan egzoz emisyonlarını azaltacaktır.</p>

^a rdurgut@nku.edu.tr

<https://orcid.org/0000-0002-4780-5450>



This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International License

Giriş

Sanayileşme, kentleşme ile birlikte hızlı nüfus artışı ve otomotiv sanayiindeki hızlı gelişmeler ve motorlu taşıt kullanımının hızla artması, son yıllarda çevre kirliliği açısından önemli sorunlar yaratmaya başlamıştır. Hava kirliliği, çevre kirliliği içerisindeki birkaç ana unsurdan bir tanesi ve en önemlisidir.

Hava kirliliğinin, başta insan sağlığı olmak üzere görüş mesafesi, bitkiler ve hayvan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri vardır. Katı yakıtlar ve akaryakıt gibi karbonlu maddelerin tam yanmamasından meydana gelen katı ve sıvı parçacıkların bir gaz karışımı olan duman, hava kirliliğinin bir çeşididir ve görüş uzaklığını azaltıcı bir etkiye sahiptir. Hava kirliliğinin, sanatsal ve mimari yapılar üzerinde tahrip edici ve bozucu etkisi de vardır. Bitkiler üzerinde ise öldürücü ve büyümelerini engelleyici olabilmektedir. Bu nedenle hava kirliliği hem canlıların sağlığı açısından hem de ekonomik yönden zarar vericidir.

Hava kirliliğinin oluşmasında, rüzgar, sıcaklık, nem, basınç, inversiyon gibi meteorolojik değişkenler ve olaylar, topoğrafik - jeomorfolojik özellikler gibi doğal etkenler rol alsada ana kaynak yanma olaylarıdır. Dünyadaki enerjinin ancak %30 kadarı yanmasız bir şekilde hidrolik ve nükleer santrallerde üretilmektedir. Geriye kalan %70 enerji, fosil yakıt adı verilen kömür, petrol, gaz ve bunların sentetik türevlerinin yakılması ile elde edilmektedir. Yanma sonucu üretilen kirletici maddelerin büyük bir kısmı taşıtlarda kullanılan benzin ve dizel motorlarından kaynaklanmaktadır (Kelen, 2014).

Birçok Avrupa ülkesinde hava kirliliği dolayısıyla çevrenin korunması önemli konuların başında gelmektedir. İsviçre’de yapılan araştırmalar, karayolu dışı taşıt (Non-Road) trafiğinin, hava kirliliğinin önemli bir bölümünün nedeni olduğunu göstermiştir. Tarım traktörleri de karayolu dışı taşıt (Non-Road) trafiğinin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır (Rinaldi, 2000).

Çoğunlukla dizel motorlarla çalıştırılan tarım ve orman traktörlerinin çalışmaları sırasında, egzoz borusundan havaya büyük miktarlarda gaz emisyonları ve partikül emisyonları salınır. Bunlar esas olarak karbon monoksit (CO), karbon dioksit (CO₂), hidrokarbonlar (HC), nitrojen oksitler (NO_x) ve partiküllerdir (PM). Bu emisyonların çevre üzerindeki olumsuz etkisi nedeniyle, motor tarafından üretilen kirletici maddelerin miktarının yasal olarak sınırlandırılmasının gerekli olduğu kanıtlanmıştır (Kotus ve ark., 2013).

Çevresel sürdürülebilirliğe gösterilen ilginin artması nedeniyle, tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan çevresel kaygılar dünya çapında giderek önem kazanmaktadır. Tarımsal faaliyetlerde en önemli konulardan biri yakıtın yanması sırasında traktörlerden çıkan egzoz gazı emisyonlarına odaklanmaktadır. Özellikle, hava kalitesini iyileştirmek için egzoz gazlarından kaynaklanan kirletici emisyonların azaltılmasına artan ilgi vardır (Lovarelli & Bacenetti, 2019a).

Dünyada gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde traktör sayılarında günden güne hızlı bir artış görülmektedir. Türkiye’de TUIK verilerine göre 2002 yılında 1.180.127 adet olan traktör sayısı 2023 yılında 2.148.642 adete yükselmiştir. 2002 yılında 567.152 adet olan kamyon sayısı 2023 yılında 945.106 adete yükselmiştir (TUIK, 2023).

Traktör sayılarının bu artışı nedeniyle traktör egzoz emisyonları ve bunların çevreye olan etkileri üzerinde büyüyen bir ilgi oluşmaktadır. Doğru emisyon değerlerinin belirlenmesi ve kullanılan ölçüm metotları önem kazanmıştır (Rashid ve ark., 2013).

Traktör Egzoz Emisyonlarının Test Yöntemleri

Taşıtlar tarafından üretilen kirletici maddelerin miktarlarının ölçülmesine ilişkin test yöntemleri ve bu madde miktarlarına getirilen sınırlandırmalar A.B.D., Avrupa Ülkeleri ve Japonya’da da uygulamada olan yasalarla belirlenmiştir. Bu yasalar taşıtları tipi (benzin veya dizel motorlu) ve boyutlarına (taşıtın ağırlığı, motor hacmi v.b.) göre farklı sınıflandırmalar içerisinde uygulanmaktadır. Kirletici emisyonuna getirilen yasal sınırlamalar, artan taşıt sayısı ile zaman içerisinde daraltılmaktadır.

Kirletici emisyonunu sınırlandıran standartlar ve test yöntemleri farklı ülkelerde, farklı olarak uygulanmaktadır. Ancak test yöntemlerinde ana prensip olarak taşıtın kent içi trafiğindeki rölanti, hız arttırma, ekonomi, hız düşürme koşulları da dikkate alınarak bir hız zaman diyagramı hazırlanmaktadır. Ölçümü yapılacak taşıt şasi dinamometresi üzerinde çalıştırılır ve standartta belirtilmiş hız-zaman eğrisine göre yol koşulları simule edilerek bu süre boyunca üretilen egzoz gazları içerisindeki kirletici bileşenlerin miktarları ölçülür.

Ağır hizmet taşıtlarının emisyon testleri taşıt üzerinde değil motor üzerinde yapılmakta ve motor bunun için bir motor dinamometresine bağlanarak statik ve dinamik şekilde yüklenmektedir. Egzoz gazı analizi doğrudan egzoz sisteminden alınan seyreltilmemiş gaz örneğinde yapılmaktadır. Partikül miktarı ise seyreltme tüneli içinde hava ile seyreltilmiş egzoz gazından alınan örnek tutma filtresinden geçirildikten sonra ağırlık ölçme metodu ile belirlenmektedir.

A.B.D., Avrupa Topluluğu Ülkeleri’nde traktör egzoz emisyonlarının ölçülmesinde ECE R49 (Euro III-IV-V) (ESC, ELR, ETC) yönetmeliği ve ISO 8178 emisyon ölçüm yöntemi kullanılmaktadır (Ettl ve ark., 2018; Hansson ve ark., 1999; Janulevičius ve ark., 2017; Lijewski ve ark., 2013; Lovarelli & Bacenetti, 2019b).

ECE-R 49 yönetmeliği ile ağır taşıt dizel motorlarının egzoz gazlarında bulunan is emisyonunun yanı sıra CO, HC ve NO_x emisyonları da sınırlandırılmıştır. Avrupa genelindeki cadde, yük ve trafik şartlarında motor daha çok orta devir sayılarında ve yüksek moment bölgesinde yüklenmektedir. Bu işletme şartları daha çok şehir dışı şartlarını karakterize etmektedir. ECE-R 49 bu yük dağılımını karakterize eden 13 nokta testi olarak bilinen bir deney yöntemini içerir. R49, ECE Yönetmeliği No. 49 tarafından tanımlanan ve daha sonra 88/77/EEC [2871] direktifi tarafından benimsenen 13 modlu bir kararlı durum dizel motor test çevrimidir. Ağır hizmet otomobil motorlarının Euro II emisyon standardı aracılığıyla tip onayı emisyon testi için kullanılmıştır.

Euro III aşamasından (Ekim 2000) bu yana, R49 döngüsünün yerini ESC programı almıştır. R49 testi, Euro II veya önceki emisyon standartlarını hâlâ kabul eden

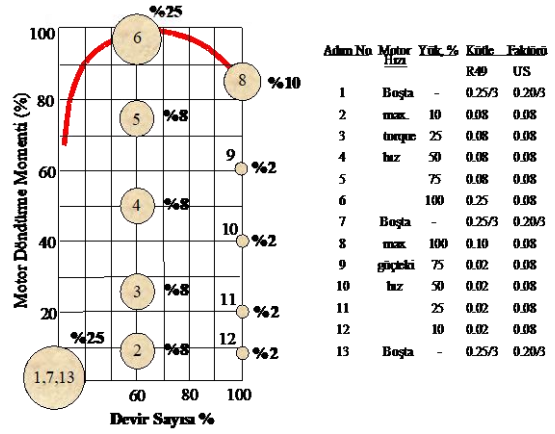
ülkelerde düzenleyici bir test prosedürü olmaya devam etmektedir.

Bu test metodunda motor bir dinamometreye bağlanarak ve sabit yük ve devir sayılarında yüklenerek egzoz emisyonları ölçülmektedir. Motorun hangi yük ve devir sayılarında deneneceği ve deney noktalarındaki emisyon miktarlarının hangi ağırlıkla göz önüne alınacağı Şekil 1'de verilmiştir. Deney noktaları ve hangi ağırlıkla ele alınacakları bu tip taşıtların karayolundaki seyir şartları göz önüne alınarak belirlenmiştir.

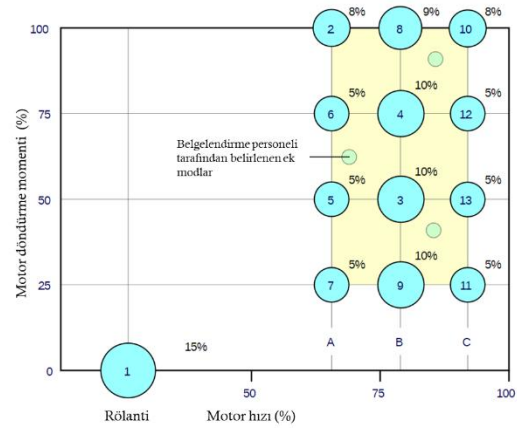
2000'de Euro III emisyon standardı ile başlayan ESC (Avrupa Sabit Döngüsü), R49'un yerini almıştır. Bu test, motorun bir dinamometre üzerinde bir dizi kararlı durum modu aracılığıyla test edildiği bir kararlı durum motor test döngüsüdür. Bu adımda, motor her modda belirtilen süre boyunca çalıştırılmalı, motor devri ve yük ayarlamaları ilk 20 saniye içinde tamamlanmalıdır. Belirtilen devir ve tork, test hızında ± 50 rpm ve maksimum torkun $\pm \%2$ 'si dahilinde tutulmalıdır. Emisyonlar her mod sırasında ölçülür ve bir dizi ağırlık faktörü kullanılarak döngü boyunca ortalaması alınır ve g/kWh cinsinden ifade edilir. Bu teste sadece motor çıkış emisyonları dahil edilmiş olup, herhangi bir son işlem uygulanmamıştır. Şekil 2'de ölçüm noktaları serisini ve bunların ESC'deki oransal ağırlığını (%) göstermektedir. A, B ve C motor hızları, önceden ayarlanmış denklemler kullanılarak belirtilen parametrelere göre hesaplanır (Rahman ve ark., 2021).

ETC (Avrupa Geçici Döngüsü) test döngüsü, Avrupa'da 2000 yılından itibaren ağır hizmet dizel motorlarının emisyon sertifikasyonu için ESC (Avrupa Sabit Döngüsü) ile birlikte kullanılmaya başlanmıştır (13 Aralık 1999 tarih ve 1999/96/EC sayılı Direktif). ETC çevrimi eski FIGE Enstitüsü (Aachen, Almanya) tarafından ağır hizmet araçlarının gerçek yol çevrimi ölçümlerine dayalı olarak geliştirilmiştir. Bu döngü, kentsel (birinci bölüm), kırsal (ikinci bölüm) ve otoyol (üçüncü bölüm) sürüş koşullarına verilen tepkinin kapsamlı bir şekilde incelenebilmesi için üç bölüme ayrılmıştır. Kentsel dönem şehir içi sürüş ile karakterize edilir (V_{maks} . 50 km/h, düzenli durma, kalkma ve rölati). Bunu kırsal sürüş aşaması takip eder ve yaklaşık 72 km/h ortalama hızda dik bir hızlanma bölümü ile başlar. Üçüncü aşama otoyol sürüşüne benzer, ortalama hızı yaklaşık 88 km/h'tir ve kentsel ve kırsal aşamalara göre daha az motor torku değişimi vardır. Şekil 3'te ETC döngüsünün zamana karşı normalleştirilmiş motor hızı ve zamana karşı normalleştirilmiş motor torku profillerini göstermektedir (Rahman ve ark., 2021).

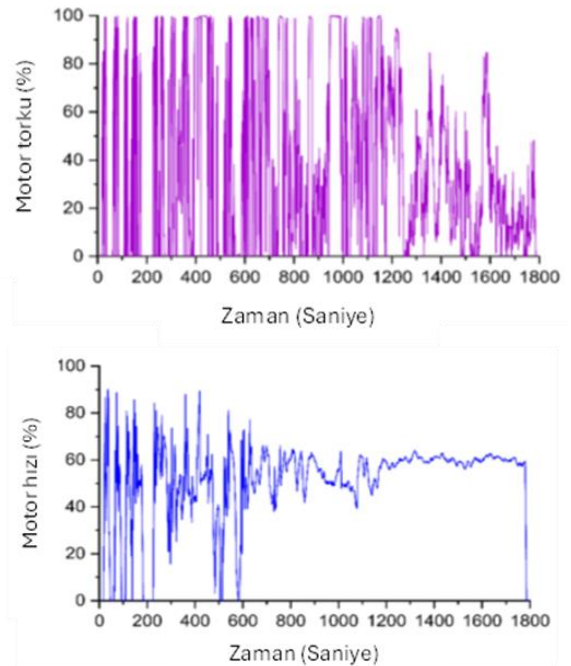
ISO8178 yönetmeliği çeşitli motor uygulamaları için geliştirilmiştir. 11 nokta testi olarak bilinen bir deney yöntemini içerir. ISO 8178 C1 yönetmeliği ise çeşitli karayolu dışı araçlarının (Non-Road) motor egzoz emisyonlarının belirlenmesi için 8 nokta testi olarak bilinen bir test yöntemi içerir. Bu test metodunda motor bir dinamometreye bağlanarak ve sabit yük ve devir sayılarında yüklenerek egzoz emisyonları ölçülmektedir. Motorun hangi yük ve devir sayılarında deneneceği ve deney noktalarındaki emisyon miktarlarının hangi ağırlıkla göz önüne alınacağı Şekil 4.'te verilmiştir. ISO 8178 test döngüsü veya özellikle 8 modlu C1 programı, Yol Dışı Sabit Döngü (NRSC) olarak da adlandırılır.



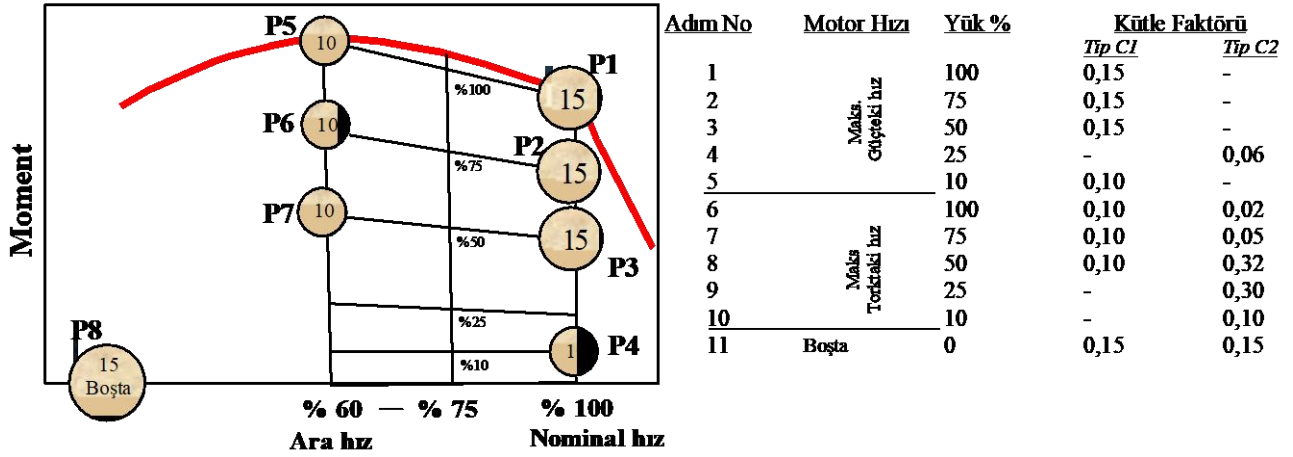
Şekil 1. ECE R49 ve US 13 nokta testi
Figure 1. ECE R49 and US 13 point test



Şekil 2. Avrupa Sabit Döngüsü (ESC) (Anonim, 2024b)
Figure 2. European Stationary Cycle (ESC) (Anonymous, 2024b)



Şekil 3. Ağır hizmet motorları için Avrupa Geçici Çevrimi (ETC) (Rahman ve ark., 2021).
Figure 3. European Transient Cycle (ETC) for heavy-duty engines (Rahman et al., 2021).



Şekil 4. ISO 8178 Tip C1 test yöntemi (Merkisz ve ark., 2016)

Figure 4. ISO 8178 Type C1 test method (Merkisz et al., 2016)

Çizelge 1. EPA Non-Road dizel motor egzoz emisyon standartları, g/kWh (Anonim, 2024c)

Table 1. EPA Non-Road diesel engine exhaust emission standards, g/kWh (Anonymous, 2024c)

Motor gücü (kW)	Model yılları	Yönetmelik	Emisyon Standartları (g/kWh)				
			NMHC	NMHC+NOx	CO	NOx	PM
kW < 8	2000-2004	Tier 1	-	10,5	8,0	-	1,0
	2005-2007	Tier 2	-	7,5	8,0	-	0,80
	2008+	Tier 4	-	7,5	8,0	-	0,40
8 ≤ kW < 19	2000-2004	Tier 1	-	9,5	6,6	-	0,80
	2005-2007	Tier 2	-	7,5	6,6	-	0,80
	2008+	Tier 4	-	7,5	6,6	-	0,40
19 ≤ kW < 37	1999-2003	Tier 1	-	9,5	5,5	-	0,80
	2004-2007	Tier 2	-	7,5	5,5	-	0,60
	2008-2012	Tier 4 transitional	-	7,5	5,5	-	0,30
	2013+	Tier 4 final	-	4,7	5,5	-	0,03
37 ≤ kW < 56	1998-2003	Tier 1	-	-	-	9,2	-
	2004-2007	Tier 2	-	7,5	5,0	-	0,40
	2008-2011	Tier 3	-	4,7	5,0	-	0,40
	2008-2012	Tier 4 transitional	-	4,7	5,0	-	0,30
	2013+	Tier 4 final	-	4,7	5,0	-	0,03
56 ≤ kW < 75	1998-2003	Tier 1	-	-	-	9,2	-
	2004-2007	Tier 2	-	7,5	5,0	-	0,40
	2008-2011	Tier 3	-	4,7	5,0	-	0,40
	2012-2013	Tier 4 transitional	-	4,7	5,0	-	0,02
	2014+	Tier 4 final	0,19	-	5,0	0,40	0,02
75 ≤ kW < 130	1997-2002	Tier 1	-	-	-	9,2	-
	2003-2006	Tier 2	-	6,6	5,0	-	0,30
	2007-2011	Tier 3	-	4,0	5,0	-	0,30
	2012-2013	Tier 4 transitional	-	4,0	5,0	-	0,02
	2014+	Tier 4 final	0,19	-	5,0	0,40	0,02
130 ≤ kW < 225	1996-2002	Tier 1	1,3	-	11,4	9,2	0,54
	2003-2005	Tier 2	-	6,6	3,5	-	0,20
	2006-2010	Tier 3	-	4,0	3,5	-	0,20
	2011-2013	Tier 4 transitional	-	4,0	3,5	-	0,02
	2014+	Tier 4 final	0,19	-	3,5	0,40	0,02
225 ≤ kW < 450	1996-2000	Tier 1	1,3	-	11,4	9,2	0,54
	2001-2005	Tier 2	-	6,4	3,5	-	0,20
	2006-2010	Tier 3	-	4,0	3,5	-	0,20
	2011-2013	Tier 4 transitional	-	4,0	3,5	-	0,02
	2014+	Tier 4 final	0,19	-	3,5	0,40	0,02
450 ≤ kW < 560	1996-2001	Tier 1	1,3	-	11,4	9,2	0,54
	2002-2005	Tier 2	-	6,4	3,5	-	0,20
	2006-2010	Tier 3	-	4,0	3,5	-	0,20
	2011-2013	Tier 4 transitional	-	4,0	3,5	-	0,02
	2014+	Tier 4 final	0,19	-	3,5	0,40	0,02

Traktör Egzoz Emisyon Miktarlarına Getirilen Sınırlamalar

A.B.D., Avrupa Birliği Ülkelerinde kullanılan standartlar tarım ve endüstriyel ekipmanlar ve bazı deniz uygulamalarını içine alan çeşitli büyüklüklerdeki Non-Road dizel motorlarını kapsamaktadır. Örnek olarak tarım traktörleri, ekskavatörler, buldozerler, taşınabilir jeneratörler ve hava kompresörleri verilebilir.

Çizelge 1’de A.B.D’ de kullanılan Non-Road dizel motor emisyon standartları g/kWh olarak verilmiştir. Bu standartta Non-Road motor yönetmelikleri düşük emisyon standartlarını geliştiren dört aşama (tier) olarak planlanmıştır. Her bir aşama motor beygir gücü oranlarına göre birkaç yıl üzerinde bir evreyi kapsar. Tier-1 1996 yılından 2000 yılına olan evreyi kapsamaktadır. Tüm motor büyüklükleri için emisyon sınır değerleri bakımından daha katı olan Tier-2 standardı 2001 yılından 2006 yılına olan evreyi kapsamaktadır ve uygulanması kesinlikle zorunlu olan Tier-3 standardı 37 kW’tan daha büyük motorlar için 2006 yılından 2008 yılına olan evreyi kapsamaktadır. Tier-3 standardı ile karayolu ağır taşıt motorları imalatçıların kullanabileceği, 2004 karayolu motor standartlarına uyması için benzer emisyon kontrol teknolojilerinin uygulanmasının sağlanması amaçlanmıştır. Tier-4 standardı 2008 yılından 2015 yılına kadar aşamalı olarak uygulanmış ve daha sonra zorunlu olarak uygulanmıştır.

Çizelge 2’ de Avrupa Birliği Ülkelerinde kullanılan Non-Road dizel motorlar için emisyon standartları g/kWh olarak verilmiştir. Bu standartta karayolu dışındaki dizel motorlar için Avrupa standartları, ABD EPA (çevre koruma ajansı) standartlarıyla bağdaşmakta ve Aşama (Stage) I-IV standartları olarak bilinen gittikçe daha sıkı aşamalar içermektedir. Aşama I/II, 1997 direktifinin (97/68/AT Direktifi) bir parçasıydı. 1999’da Aşama I, 2001 ile 2004 arası da Aşama II olmak üzere 2 aşamalı olarak uygulanmıştır. 2004’te, Avrupa parlamentosu Aşama III/IV standartlarını kabul etti. Aşama III standartları, Aşama III-A ve III-B olarak ikiye ayrıldı ve 2006 ile 2013 arasında yavaş yavaş uygulandı. Aşama IV standartları 2014’ten itibaren uygulanmaktadır.

Ülkemizde karayolu dışı (Non-road) motorlara ilişkin emisyon standartları, Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığında) tarafından benimsenmiştir. Standartlar, AB’nin karayolu dışı mobil makine düzenlemeleri (NRMM) ile uyumlu hale getirilmiştir, ancak Çizelge 3’te belirtildiği gibi uygulama tarihleri farklıdır. Aşama IV emisyon standartları başlangıçta 2014 için planlanmıştır, 2019’a kadar ertelendi ve sonunda uygulandı. Yalnızca tarım ve ormancılık traktörleri için 2021’den itibaren. Aşama V emisyon standartları Ekim 2022’den itibaren geçerlidir (Karayolu Dışında Kullanılan.Yönetmelik, 2020).

Çizelge 2. AB Non-Road dizel motor egzoz emisyon standartları, g/kWh (Winther & Dore, 2023)

Table 2. EU Non-Road diesel engine exhaust emission standards, g/kWh (Winther & Dore, 2023)

Stage	Motor gücü [kW]	CO	VOC	NOx	VOC+NOx [g/kWh]	PM	Dizel makineler			Traktörler		
							AB Direktifi	Uygulama Tarihi Geçici	Uygulama Tarihi Sabit	AB Direktifi	Uygulama tarihi	
I	A	130<=P<560	5	1,3	9,2	-	0,54	97/68	1/1 1999	-	2000/25	1/7 2001
	B	75<=P<130	5	1,3	9,2	-	0,7	1/1 1999	-	-	-	1/7 2001
	C	37<=P<75	6,5	1,3	9,2	-	0,85	1/4 1999	-	-	-	1/7 2001
II	E	130<=P<560	3,5	1	6	-	0,2	97/68	1/1 2002	1/1 2007	2000/25	1/7 2002
	F	75<=P<130	5	1	6	-	0,3	1/1 2003	1/1 2007	-	-	1/7 2003
	G	37<=P<75	5	1,3	7	-	0,4	1/1 2004	1/1 2007	-	-	1/1 2004
	D	18<=P<37	5,5	1,5	8	-	0,8	1/1 2001	1/1 2007	-	-	1/1 2002
III A	H	130<=P<560	3,5	-	-	4	0,2	2004/26	1/1 2006	1/1 2011	2005/13	1/1 2006
	I	75<=P<130	5	-	-	4	0,3	1/1 2007	1/1 2011	-	-	1/1 2007
	J	37<=P<75	5	-	-	4,7	0,4	1/1 2008	1/1 2012	-	-	1/1 2008
	K	19<=P<37	5,5	-	-	7,5	0,6	1/1 2007	1/1 2011	-	-	1/1 2007
III B	L	130<=P<560	3,5	0,19	2	-	0,025	2004/26	1/1 2011	-	2005/13	1/1 2011
	M	75<=P<130	5	0,19	3,3	-	0,025	1/1 2012	-	-	-	1/1 2012
	N	56<=P<75	5	0,19	3,3	-	0,025	1/1 2012	-	-	-	1/1 2012
	P	37<=P<56	5	-	-	4,7	0,025	1/1 2013	-	-	-	1/1 2013
IV	Q	130<=P<560	3,5	0,19	0,4	-	0,025	2004/26	1/1 2014	1/1 2014	2005/13	1/1 2014
	R	56<=P<130	5	0,19	0,4	-	0,025	1/10 2014	1/10 2014	-	-	1/10 2014
V	NRE-v/c-7	P>560	3,5	0,19	3,5	-	0,045	2016/1628	-	2019	2019	NRE-v/c-7
	NRE-v/c-6	130<=P<560	3,5	0,19	0,4	-	0,015	-	-	2019	2019	NRE-v/c-6
	NRE-v/c-5	56<=P<130	5,0	0,19	0,4	-	0,015	-	-	2020	2020	NRE-v/c-5
	NRE-v/c-4	37<=P<56	5,0	-	-	4,7	0,015	-	-	2019	2019	NRE-v/c-4
	NRE-v/c-3	19<=P<37	5,0	-	-	4,7	0,015	-	-	2019	2019	NRE-v/c-3
	NRE-v/c-2	8<=P<19	6,6	-	-	7,5	0,4	-	-	2019	2019	NRE-v/c-2
	NRE-v/c-1	P<8	8,0	-	-	7,5	0,4	-	-	2019	2019	NRE-v/c-1

Çizelge 3. Karayolu dışı dizel motorlar için Türkiye emisyon standartları (Anonim, 2024a)

Table 3. Türkiye emission standards for non-road diesel engines (Anonymous, 2024a)

Stage	Motor Gücü (kW)	Uygulama Tarihi
Stage I (Faz I)	37 ≤ P ≤ 560	2003.04
Stage II (Faz II)	18 ≤ P ≤ 560	2007.01
Stage IIIA (Faz IIIA)	19 ≤ P ≤ 560	2011.01
Stage IIIB (Faz IIIB)	37 ≤ P ≤ 56	2021.07a
Stage IV (Faz IV)	56 ≤ P < 130	2021.10a
	130 ≤ P ≤ 560	2021.01a
Stage V (Faz V)	0 < P	2022.10b,c

* Pazara yerleştirme (yeni tip onay tarihleri genellikle bir yıl öncedir); a Yalnızca tarım ve orman traktörleri (diğer NRRM için Aşama IIIA gereklidir, Aşama IIIB/IV isteğe bağlıdır); b 2023.01 tarım ve orman traktörleri için; c Stoklarında bu tarihten önce üretilmiş Stage IIIA, IIIB veya IV motorları bulunan makine imalatçılarına, bu motorları makinelerinde kullanma ve piyasaya arz etme için 2 ay (2023.1.1 tarihine kadar) süre tanıdır.

Sonuç

Non-Road araçlar için emisyon faktörlerinin hesaplanması için ISO 8178 ve ECE R49 standart ölçüm yöntemleri kullanılmaktadır. Statik konumda yapılan bu deney çevrimleri dizel motorların tipik çalışma aralığındaki farklı ölçüm noktalarındaki çeşitli hız ve güç konumlarını kapsar. Her safhada egzozdan çıkan kirletici gaz konsantrasyonu, egzoz akışı ve güç çıkışı ölçülür. Her safhadaki sonuçlar o safhadaki kütle faktörleri kullanılarak ağırlıklı değer olarak hesaplanır.

Yapılan son çalışmalar bu test yöntemlerinde kullanılan kütle faktörlerinin tarımsal işlemlere uygun olmadığını göstermiştir. Farklı çalışmalarda emisyon değerleri arasında çok yüksek değişim olmasından dolayı tarımsal şartlara uyarlanmamış kütle faktörlerinin kullanılması traktör egzoz emisyonları için hesaplanan egzoz emisyon sonuçları üzerinde yüksek hata seviyeleri oluşturmaktadır (Hansson ve ark., 1999, 2001). Bu yüzden farklı tarımsal çalışma koşullarında traktör motorlarının yüklenme koşullarının belirlenmesi ve egzoz emisyonlarının belirlenmesi için bu koşullardaki kütle faktörlerinin belirlenmesi önem kazanmıştır.

Egzoz emisyon ölçümlerinde önemli ilerlemeler kaydedilmesine rağmen, atmosfere salınan kirleticilerin daha da azaltılması amacıyla arazi motorlarından kaynaklanan egzoz gazı emisyonlarını düzenleyen mevzuat halen geliştirilme aşamasındadır. Emisyonların azaltılmasına yönelik teknik çözümler ve bunların tarım traktörlerine uygulanması konusunda sürekli araştırmalar yapılması gerekmektedir. Yakıt tüketiminin ve kirletici emisyonların sahada ölçülmesi önemli bir adımdır. Bu adım tarımdaki ürün ve hizmetlerin çevresel sürdürülebilirliğinin değerlendirilmesinde giderek daha fazla benimsenen LCA (Yaşam döngüsü analizi) yaklaşımı kullanılarak gerçekleştirilen tarımsal üretimin çevresel değerlendirmeleri için kesinlikle faydalı olacaktır.

Egzoz emisyon testlerinde emisyon sonuçlarının güvenilir olması için test koşullarının gerçek çalışma koşullarını yansıtması beklenmektedir. Motorun gerçek çalışma koşullarının laboratuvar testlerinde yeniden üretilmesi birçok çalışmada inceleme ve analiz konusu olmuştur. Şu ana kadar yayınlanan literatürden elde edilen sonuçlar hem karayolu hem de karayolu dışı araçlar için yapılan laboratuvar testlerindeki motor çalışma parametrelerinin (yük ve hız), fiili çalışma parametrelerinden farklı olduğunu açıkça doğrulamaktadır. Bu sorun, sayısız araştırma ve analize rağmen henüz çözülmemiştir (Lovarelli & Bacenetti, 2019a; Merksiz ve ark., 2017).

Bu nedenle, son yıllarda PEMS (Taşınabilir Emisyon Ölçüm Sistemi) ekipmanında ve gerçek çalışma koşulları altında test metodolojisinde dinamik bir ilerleme olduğunu görülmektedir. Bu tür araştırmalar yenidir ve bu tür araştırmaların sonuçları oldukça talep görmektedir. Aşama V mevzuatında, testlerin fiili işletme altında PEMS kullanılarak yapılmasını gerektiren bir ISM (Hizmet İçi İzleme) prosedürü getirilmektedir. Prosedürün son versiyonu henüz tam olarak geliştirilip kabul edilmemiştir ancak herkes RDE (Gerçek sürüş emisyonu) testlerinin gerekli olduğu ve homologasyon prosedürlerine dahil edilmesi gerektiği konusunda hemfikiridir (Ettl ve ark., 2018; Merksiz ve ark., 2017).

Tarım makineleri alanında, Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa'daki ülkelerden araştırmacılar tarafından traktörlerin egzoz gazı emisyonlarının PEMS (Taşınabilir Emisyon Ölçüm Sistemi) ekipmanı kullanılarak ölçülmesine yönelik bazı çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalarda traktörlerin hava kirletici emisyonlarının (CO₂, CO, NO_x, HC ve PM) binek araçlara göre daha yüksek olduğunu bildirilmiştir (Kim ve ark., 2024).

Egzoz gazı emisyonlarına ilişkin araştırmalar, yalnızca mevzuata uyum sağlamakla kalmayıp aynı zamanda çevre ve insan sağlığı üzerinde de doğrudan etkilere yol açacağı için önemlidir. Bu bağlamda, tarımsal mekanizasyonun çevresel etkilerine ilişkin mevzuatın etkin rolünün anlaşılmasına ve paydaşlara, politika yapıcılara ve çiftçilere bilginin yayılmasına yardımcı olacağı için yaşam döngüsü analizinin (LCA) egzoz gazı emisyonlarına ilişkin çalışmalara uygulanması teşvik edilmelidir.

Tarım makinelerinin çalışma koşullarına ilişkin elde edilen sonuçlar, saha çalışması sırasında bu motorların çok dar bir motor hızı ve yük aralığında çalıştığını göstermektedir. Saha çalışması sırasında bu motorların çalışma doğası, çekiş motorlarından ziyade güç jeneratörü motorlarına daha yakındır. Elde edilen veriler, halihazırda geçerli olan mevcut testler açısından yeni analizler gerektirmektedir. Elde edilen sonuçlar, uygulanabilir test prosedürlerinin değiştirilmesinin gerekliliği ile ilgili bir tartışmayı zorunlu kılmaktadır. Belki de tarım makinelerinin gerçek çalışma koşullarını daha mükemmel şekilde yansıtabilecek testler geliştirmek için harekete geçilmesi gerekmektedir. Kullanılacak sonuçlar yaygın olarak yürütülen araştırmalara dayanarak alınmalıdır. Bu durum özellikle farklı motor yüklerini içeren çeşitli uygulamalarda kullanılan tarım traktörleri için geçerlidir. Yeni testlerin geliştirilmesi, tarım makineleri

motorlarından kaynaklanan egzoz emisyonlarını azaltacaktır çünkü teknolojik ilerlemeler, traktörün farklı kullanım aralıklarına dayalı olacaktır (Merkisz ve ark., 2017).

Bu amaçla traktörlerin farklı çalışma koşullarında (toprak işleme, ekim vb.) çalışırken rölanti, hız artırma, ekonomi, hız düşürme vb. koşulları dikkate alınarak bir hız zaman diyagramı hazırlanmalıdır.

Gelecek nesillerin dünyada kabul edilir koşullarda yaşamlarını garanti etmek herkesin çıkarları doğrultusundadır. Bu nedenle her ne sebeple olursa olsun, çevre kirliliğini azaltmak için atılacak her adım gayretle desteklenmelidir.

Kaynaklar

- Anonim. (2024a). Emission Standards: Turkey: Nonroad Diesel Engines. <https://www.dieselnat.com/standards/tr/nonroad.php>
- Anonim. (2024b). European Stationary Cycle (ESC). <https://dieselnat.com/standards/cycles/esc.php>
- Anonim. (2024c). Nonroad CI Engine Exhaust Emission Standards. <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?Dockey=P1000A05.pdf>
- Ettl, J., Bernhardt, H., Pickel, P., Remmele, E., Thuncke, K., & Emberger, P. (2018). Transfer of agricultural work operation profiles to a tractor test stand for exhaust emission evaluation. *Biosystems Engineering*, 176, 185–197. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.10.016>
- Hansson, P. A., Lindgren, M., & Norén, O. (2001). A comparison between different methods of calculating average engine emissions for agricultural tractors. *Journal of Agricultural and Engineering Research*, 80(1), 37–43. <https://doi.org/10.1006/jaer.2001.0710>
- Hansson, P. A., Norén, O., & Bohm, M. (1999). Effects of specific operational weighting factors on standardized measurements of tractor engine emissions. *Journal of Agricultural and Engineering Research*, 74(4), 347–353. <https://doi.org/10.1006/jaer.1999.0471>
- Janulevičius, A., Juostas, A., & Čiplienė, A. (2017). Nitrogen-oxide emissions from diesel-engine farm tractors during real-life cycles and their correlation with the not-to-exceed operating zones. *Biosystems Engineering*, 161, 93–105. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.06.022>
- Karayolu Dışında Kullanılan Hareketli Makinalara Takılan İçten Yanmalı Motorlar İçin Gaz Ve Partikül Halindeki Kirlenici Emisyon Sınırları Ve Tip Onayı İle İlgili Gereklilikler Hakkında Yönetmelik, Pub. L. No. (2016/1628/AB), 31241 (2020). <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2020/09/20200911-3.htm>
- Kelen, F. (2014). Motorlu Taşıt Emisyonlarının İnsan Sağlığı ve Çevre Üzerine Etkileri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(1–2), 80–87. <http://dergipark.ulakbim.gov.tr/yyufbed/article/view/5000153916>
- Kim, W. S., Baek, S. M., Baek, S. Y., Jeon, H. H., Siddique, M. A. A., Kim, T. J., Lim, R. G., & Kim, Y. J. (2024). Evaluation of exhaust emissions of agricultural tractors using portable emissions measurement system in Korean paddy field. *Scientific Reports*, 14(1), 1–15. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-53995-0>
- Kotus, M., Pexa, M., & Kubín, K. (2013). Modelling of non-road transient cycle - Comparison of three tractors. *Journal of Central European Agriculture*, 14(4), 1281–1294. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/14.4.1344>
- Lijewski, P., Merkisz, J., & Fuc, P. (2013). The Analysis of The Operating Conditions of Farm Machinery Engines in Regard to Exhaust Emissions Legislation. 29(4), 445–452.
- Lovarelli, D., & Bacenetti, J. (2019a). Exhaust gases emissions from agricultural tractors: State of the art and future perspectives for machinery operators. *Biosystems Engineering*, 186, 204–213. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.07.011>
- Lovarelli, D., & Bacenetti, J. (2019b). Exhaust gases emissions from agricultural tractors: State of the art and future perspectives for machinery operators. *Biosystems Engineering*, 186(X), 204–213. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.07.011>
- Merkisz, J., Lijewski, P., Fuc, P., Siedlecki, M., & Ziolkowski, A. (2016). Development of the methodology of exhaust emissions measurement under RDE (Real Driving Emissions) conditions for non-road mobile machinery (NRMM) vehicles. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 148(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/148/1/012077>
- Merkisz, J., Lijewski, P., Pawel, F., Rymaniak, L., Ziolkowski, A., & Weymann, S. (2017). Measurement of Exhaust Emissions from Farm Machinery under Actual Operating Conditions with The Pems Equipment – Selected Issues. 156(4), 151–156.
- Rahman, S. M. A., Fattah, I. M. R., Ong, H. C., Ashik, F. R., Hassan, M. M., Murshed, M. T., Imran, M. A., Rahman, M. H., Rahman, M. A., Hasan, M. A. M., & Mahlia, T. M. I. (2021). State-of-the-art of establishing test procedures for real driving gaseous emissions from light- and heavy-duty vehicles. *Energies*, 14(14). <https://doi.org/10.3390/en1414195>
- Rashid, G., Hekmat, R., Nejat, L. A., & Payam, J. (2013). Analysis and Comparison Exhaust Gas Emissions From Agricultural Tractors. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 5–7(2), 688–694. <http://ijagcs.com/wp-content/uploads/2013/04/688-694.pdf>
- Rinaldi, M. (2000). Consumption and emission factors of tractors for various farming tasks. 00-PM-003, 3. file:///z/Ref_Works/Ackerschlepper/
- TUİK. (2023). Motorlu Kara Taşıtları. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Motorlu-Kara-Taasitlari-Temmuz-2023-49428>
- Winther, M., & Dore, C. (2023). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023. vi–vii.