DERS 16: Uygulama 2: Yakıt, Araç, Soğutucu Gaz ve Yangın Gazı Hesabı

Lesson 16: Application 2: Fuel, Vehicle, Refrigerant and Fire Suppression Gas Calculation

Program: Sanayide Sürdürülebilirlik, İklim Değişikliği ve Karbon Ayak İzi Eğitimi

Künye	Açıklama
Hedef kitle	Üniversite öğrencileri ile sanayi kuruluşlarında çalışan teknik ve idari personel
Bu materyalin kapsamı	Kategori 1 içinde iki hesap mantığı: yakıt yanması (yol taşıtı, yol dışı ekipman, sabit yanma) ve yakıt yanması olmayan doğrudan gaz salımları (soğutucu akışkan ve yangın söndürme gazı)
Örnek yılı	Yöntem örneği (tüm sayılar eğitim verisidir, gerçek şirket verisi değildir)
İlgili dersler	Ders 15 (doğal gaz ve elektrik), Ders 17 (taşıma, hammadde, ambalaj, atık ve satın alınan hizmetler), Ders 18 (ISO 14064-1 raporu ve doğrulama)
Bilgi güncelliği	Eylül 2026

Öğrenme çıktıları

Bu materyali tamamlayan katılımcı şunları yapabilir:

- Bir Kategori 1 kaynağını yol taşıtı, yol dışı ekipman, sabit yanma ya da doğrudan gaz salımı olarak sınıflandırır ve hesap yolunu buna göre seçer.
- Motorin ve benzin verisini litreden kütleye, kütleden enerjiye (TJ) çevirir ve CO_2, CH_4, N_2O emisyonlarını ayrı ayrı hesaplar.
- Aynı yakıt için neden farklı CH_4 ve N_2O faktörü kullanıldığını IPCC tablo satırlarıyla açıklar.
- Soğutucu akışkan servis kaydından basitleştirilmiş malzeme dengesiyle emisyon miktarını türetir ve KIP ile CO_2e'ye çevirir.
- R22 gibi HCFC gazlarını ve karışım soğutucuları çifte sayıma düşmeden ele alır.
- Yangın söndürme gazında gerçek salımı kapasiteden ayırır ve CO_2e sonucunu bulur.
- Seçili kaynakların toplamını doğru sınırla yorumlar ve sık yapılan on hatayı tanır.

1. Aynı Kategori 1, iki farklı hesap mantığı

Bu derste Örnek Sanayi A.Ş. için altı kaynağı hesaplıyoruz. Hepsi Kategori 1 (doğrudan emisyon) içindedir, ama hesap yolu iki gruba ayrılır.

Grup	Kaynak	Hesap yolu
Yakıt yanması	Ağır hizmet dizel şirket araçları (hareketli yanma, yol taşıtı)	Yakıt miktarı → enerji (TJ) → gaz bazlı faktör → KIP
Yakıt yanması	Dizel forklift (hareketli yanma, yol dışı ekipman)	Aynı zincir, farklı faktör satırı
Yakıt yanması	Dört zamanlı benzinli çim biçme makinesi (hareketli yanma, yol dışı ekipman)	Aynı zincir, farklı faktör satırı
Yakıt yanması	Bakım atölyesindeki sabit LPG ısıtıcı (sabit yanma)	Aynı zincir, sabit yanma faktör satırı
Doğrudan gaz salımı	Soğutucu akışkanlar (R32, R134a)	Salınan gaz kütlesi → KIP
Doğrudan gaz salımı	Yangın söndürme sistemi (HFC-227ea)	Salınan gaz kütlesi → KIP

İki önemli ayrım vardır.

Birinci ayrım: aynı yakıt aynı faktör demek değildir. Dizel bir şirket aracı yol taşımacılığı kaynağıdır. Dizel forklift yol dışı sanayi ekipmanıdır. CO_2 faktörleri birbirine çok yakın olabilir, ama CH_4 ve özellikle N_2O faktörleri motor teknolojisine ve kullanım koşullarına göre ciddi biçimde değişir.

İkinci ayrım: gaz salımında enerji dönüşümü yoktur. Soğutucu akışkan ve yangın söndürme gazında litre yakıtı enerjiye çevirmeyiz. Atmosfere salınan gazın kütlesini belirler ve uygun KIP değeriyle CO_2e'ye çeviririz.

Bu ders tek bir ezber formül değil, kaynak türüne göre doğru hesap yolunu seçme becerisi kazandırmayı amaçlar.

Hesap zincirleri:

```
Yakıt:         litre → kg → Gg → TJ → kg gaz (CO₂, CH₄, N₂O) → kg CO₂e → tCO₂e
Gaz salımı:    kg salınan gaz → kg CO₂e → tCO₂e
```

Yakıt yanmasında üretim, rafineri ve dağıtım gibi yukarı yönlü etkiler Kategori 1 toplamına eklenmez. Bunlar dolaylı değer zinciri emisyonlarıdır ve Ders 17'nin konusudur.

2. Örnek veri seti ve hesap sınırı

Aşağıdaki tüm değerler yöntem örneği içindir. Bunlar eğitim verisidir, gerçek şirket verisi ya da zorunlu değer değildir.

Girdi	Değer	Birim	Kaynak ve not
Ağır hizmet dizel yol filosu, motorin	12.000	L/yıl	Eğitim verisi, kaynak sınıfı: yol taşıtı
Dizel forklift, motorin	1.500	L/yıl	Eğitim verisi, kaynak sınıfı: yol dışı sanayi ekipmanı
Dört zamanlı çim biçme makinesi, benzin	250	L/yıl	Eğitim verisi, kaynak sınıfı: yol dışı sanayi ekipmanı
Sabit LPG ısıtıcı (bakım atölyesi)	500	kg/yıl	Eğitim verisi, kaynak sınıfı: sabit yanma
R32 servis eklemesi	1,20	kg/yıl	Yüklenici servis kaydı, mevcut ekipman
R134a servis eklemesi	0,80	kg/yıl	Yüklenici servis kaydı, mevcut ekipman
HFC-227ea gerçek salımı	0,50	kg/yıl	Servis kaydıyla doğrulanmış salım
Motorin yoğunluğu	0,845	kg/L	Yalnızca eğitim varsayımı
Benzin yoğunluğu	0,740	kg/L	Yalnızca eğitim varsayımı
NKD motorin	43	TJ/Gg	IPCC 2006, Cilt 2, Tablo 1.2
NKD motor benzini	44,3	TJ/Gg	IPCC 2006, Cilt 2, Tablo 1.2
NKD LPG	47,3	TJ/Gg	IPCC 2006, Cilt 2, Tablo 1.2
KIP (AR6, 100 yıl)	CO_2 = 1, yanma kaynaklı CH_4 = 27,0, N_2O = 273, HFC-32 = 771, HFC-134a = 1.530, HFC-227ea = 3.600	boyutsuz	IPCC AR6 WG1 Tablo 7.15, GHG Protocol KIP tablosu (Sürüm 2.0)

Faktör satırları Bölüm 4'te tek tabloda toplanmıştır.

Bu derste şunlar hesaba katılmaz:

- Doğal gaz ve elektrik (Ders 15).
- Taşeron ulaşımı, ton-km, hammadde, ambalaj, atık ve satın alınan hizmetler (Ders 17).
- Doğrulama güven seviyesi ve sertifika değerlendirmesi (Ders 18).
- Soğutucu akışkan mevzuatının tüm ayrıntıları. Yalnızca envanteri doğru kurmak için gereken kapsam ayrımı verilir.

> **Dikkat: IPCC varsayılanları ISO 14064-1 tarafından zorunlu tutulmuş tek faktör seti değildir.** Bu derste IPCC varsayılanları hesap mantığını öğretmek için kullanılır. Gerçek kurumsal envanterde uygulanabilir program şartı, ülke ya da tedarikçi verisi ve teknolojiye özgü daha temsil edici faktörler değerlendirilir.

> **Dikkat: Yoğunluk değerleri evrensel sabit değildir.** 0,845 kg/L motorin ve 0,740 kg/L benzin eğitim varsayımıdır. Gerçek yakıt yoğunluğu yakıt spesifikasyonuna ve sıcaklığa bağlıdır. Yakıt spesifikasyonu ya da güvenilir tedarikçi verisi varsa onu değerlendirin.

Her kaynak için faaliyet verisi kadar kaynak türünü de kaydedin. Ağır hizmet dizel araç motorin diye değil, ağır hizmet yol dizel kaynağı diye tanımlanmalıdır. Forklift yol dışı dizel sanayi ekipmanıdır. Gazlarda da yalnızca klima gazı yazmak yetmez. R32 mi, R134a mı, bir karışım mı? KIP değeri gaz kimliğine bağlıdır. Hesap dosyasında dönem, miktar, birim,

ekipman grubu ve kanıt belgesi birlikte tutulduğunda yanlış faktör seçme riski ciddi biçimde azalır.

3. Yakıt verisini hazırlamak

Sayı çarpmadan önce faaliyet verisi doğrulanır.

Filo uzlaştırması. Taşıtmatik, yakıt kartı ya da filo yönetim raporunun aynı raporlama dönemini kapsadığını kontrol edin. Şu durumlar yalnızca toplam litreye bakmayı yetersiz kılar:

- Dönem içinde satılan ya da devralınan araçlar.
- Kiralık araç girişleri.
- Yakıt kartının başka bir araçta kullanılması.
- Dönem sonunda depoda kalan yakıt.

Filo listesiyle yakıt kayıtlarını uzlaştırmak, eksik ya da mükerrer faaliyet verisini hesap başlamadan yakalamanın en kolay yoludur.

Satın alma tüketim değildir. Tank ya da stok varsa satın alınan miktar otomatik olarak tüketim sayılmaz. Dönem başı stok, dönem içi alım ve dönem sonu stok uzlaştırılır:

```
Tüketim = Dönem başı stok + Dönem içi alım − Dönem sonu stok
```

Ekipman kimliği ve çalışma saati. Forklift kayıtlarında yalnızca yıllık yakıt toplamını değil, ekipman kimliğini ve mümkünse çalışma saatini de saklayın. Çalışma saati tek başına yakıt tüketiminin yerine geçmez, ama olağandışı değişimleri kontrol etmek ve ekipman bazında dağıtım yapmak için güçlü bir doğrulama verisidir. Aynı depoda birden fazla forklift varsa toplam yakıtın ekipmanlara nasıl dağıtıldığı belgelenmelidir.

Hesap yolunu veriye göre seçin. Yakıt verisi zaten kg, ton, GJ, TJ ya da uygun enerji biriminde ise yoğunluk dönüşümü gereksizdir. Bu derste litre, kütle, enerji yolu dönüşüm adımlarını göstermek için seçilmiştir.

> **İyi uygulama:** Veri dosyasında ham kayıt (fatura, yakıt kartı raporu) ile hesapta kullanılan uzlaştırılmış değeri ayrı sütunlarda tutun.

4. Faktör seçimi: hangi tablo hangi kaynağa ait?

IPCC 2006 Kılavuzu yakıt yanması için kaynak sınıfına göre farklı tablolar verir. Aynı yakıt, tablo değiştikçe farklı CH_4 ve N_2O faktörü alır. Bu derste kullanılan satırlar aşağıdadır (tüm değerler kg/TJ).

Kaynak sınıfı	IPCC 2006 tablosu	Yakıt ve satır	CO_2	CH_4	N_2O
Yol taşıtı	Cilt 2, Tablo 3.2.1 (CO_2) ve 3.2.2 (CH_4, N_2O)	Motorin (Gas/Diesel Oil)	74.100	3,9	3,9
Yol dışı, sanayi	Cilt 2, Tablo 3.3.1	Motorin	74.100	4,15	28,6
Yol dışı, sanayi	Cilt 2, Tablo 3.3.1	Motor benzini, dört zamanlı	69.300	50	2
Sabit yanma, imalat sanayii ve inşaat	Cilt 2, Tablo 2.3	LPG	63.100	1	0,1

Karşılaştırma için aynı kaynağın başka satırları:

Satır	CO_2	CH_4	N_2O	Ne zaman
Yol taşıtı, motor benzini (kontrolsüz)	69.300	33	3,2	Benzinli şirket otomobili. Çim biçme makinesine uygulanmaz
Yol taşıtı, LPG	63.100	62	0,2	LPG'li yol aracı. Sabit ısıtıcıya uygulanmaz
Yol dışı, sanayi, motor benzini, iki zamanlı	69.300	130	0,4	İki zamanlı motorlu ekipman
Yol dışı, ev ve bahçe, motor benzini, dört zamanlı	69.300	120	2	Sanayi satırından farklıdır, bkz. Bölüm 8
Sabit yanma, imalat sanayii ve inşaat, motorin	74.100	3	0,6	Sabit motorin yakan jeneratör ya da kazan
Sabit yanma, ticari ve kurumsal (Tablo 2.4), LPG	63.100	5	0,1	Ofis ve ticari bina ısıtması. İmalat satırı değildir

Üç nokta dikkat ister.

1. **Tablo 3.2.2 dizel satırı (3,9 ve 3,9) Avrupa ağır hizmet dizel kamyonunu temsil eden kaba bir yaklaşımdır.** IPCC tablo dipnotunda dizel değerinin bir Avrupa ağır hizmet dizel kamyonu değerine dayandığını belirtir. Binek ya da hafif ticari şirket araçlarında bu değerleri otomatik kullanmayın.
2. **Yol araçlarında CH_4 ve N_2O için yakıt temelli varsayılan yöntem kaba bir yaklaşım olarak kalmalıdır.** Araç sınıfı, emisyon kontrol teknolojisi ve kat edilen mesafe verisi varsa mesafe ve teknoloji temelli yöntem daha temsil edicidir. IPCC de CO_2 için yakıt tüketimi yaklaşımını, CH_4 ve N_2O için ise bu ayrıntılı veriyi tercih eder.
3. **Yol dışı ekipmanda belirsizlik daha yüksektir.** Tablo 3.3.1 değerleri teknolojiye ve çalışma koşullarına duyarlıdır. Örneğin motorin N_2O değeri 28,6 kg/TJ için IPCC belirsizlik aralığı 14,3 ile 85,8 kg/TJ arasındadır. CH_4 ve N_2O belirsizliği CO_2'den belirgin biçimde yüksektir.

> **Dikkat: Yakıt adı tek başına yöntem seçtirmez.** LPG için sabit ısıtıcı, LPG'li forklift ve LPG'li yol aracı üç farklı kaynak bağlamıdır. Motorin için yol aracı, yol dışı ekipman ve sabit yanma da öyledir. Hesap tablosunda tek bir motorin faktörü hücresi oluşturup bütün araç ve ekipmana kopyalamayın.

5. Ağır hizmet dizel yol filosu: litreden enerjiye

Yıllık motorin tüketimi 12.000 L'dir. IPCC faktörleri TJ başına verildiği için önce litre verisi enerjiye çevrilir.

Adım 1: Litreden kütleye

Değer	Birim	İşlem	Sonuç
12.000	L	× 0,845 kg/L (L birimi iptal olur)	10.140 kg
10.140	kg	÷ 1.000 kg/t	10,14 t
10.140	kg	÷ 1.000.000 kg/Gg	0,01014 Gg

```
12.000 L × 0,845 kg/L = 10.140 kg = 10,14 t = 0,01014 Gg
```

Adım 2: Kütleden enerjiye

Değer	Birim	İşlem	Sonuç
0,01014	Gg	× 43 TJ/Gg (Gg birimi iptal olur)	0,43602 TJ

```
0,01014 Gg × 43 TJ/Gg = 0,43602 TJ
```

Bu sayı artık faktörlerin paydasındaki TJ birimiyle uyumludur. Sonuca giderken birimler birbirini götürmüyorsa formülde sorun vardır.

> **Sık yapılan hata: Yoğunluğu evrensel sabit sanmak.** 0,845 kg/L bu derste bir eğitim varsayımıdır. Faaliyet verisi zaten kg, ton ya da enerji biriminde ise bu dönüşümü yapmayın.

6. Ağır hizmet dizel yol filosu: CO_2, CH_4, N_2O ve CO_2e

Adım 3: Gazları ayrı ayrı hesaplamak

Bölüm 4'teki yol taşıtı satırı (Tablo 3.2.1 ve 3.2.2) kullanılır.

Gaz	Değer	Birim	İşlem	Sonuç
CO_2	0,43602	TJ	× 74.100 kg CO_2/TJ (TJ iptal olur)	32.309,082 kg CO_2
CH_4	0,43602	TJ	× 3,9 kg CH_4/TJ (TJ iptal olur)	1,700478 kg CH_4
N_2O	0,43602	TJ	× 3,9 kg N_2O/TJ (TJ iptal olur)	1,700478 kg N_2O

Adım 4: KIP ile CO_2e'ye dönüşüm

Bu derste AR6 yüz yıllık KIP seti kullanılır.

Yanma metanı için 27,0 kullanılır. GHG Protocol KIP tablosu (Sürüm 2.0, 7 Ağustos 2024) 29,8 değerini fosil kaynaklı kaçak ve proses metanı için verir. 27,0 değeri ise fosil yakıt yanması dahil diğer kaynaklar içindir. Yanma kaynağında CO_2 zaten ayrıca hesaplandığından, daha yüksek fosil metan KIP'si metanın CO_2'ye yükseltgenme etkisini ikinci kez sayar. N_2O için KIP 273'tür.

Gaz	Değer	Birim	İşlem	Sonuç
CO_2	32.309,082	kg CO_2	× 1 kg CO_2e/kg CO_2	32.309,082 kg CO_2e
CH_4	1,700478	kg CH_4	× 27,0 kg CO_2e/kg CH_4	45,912906 kg CO_2e
N_2O	1,700478	kg N_2O	× 273 kg CO_2e/kg N_2O	464,230494 kg CO_2e
Toplam			32.309,082 + 45,912906 + 464,230494	32.819,2254 kg CO_2e
Toplam (ton)	32.819,2254	kg CO_2e	÷ 1.000 kg/t	**32,819 tCO_2e**

Ağır hizmet dizel yol filosu sonucu: **32,819 tCO_2e**. Yuvarlama yalnızca son adımda yapılmıştır. CO_2 payı yaklaşık %98,4'tür.

> **Dikkat: Bu sonuç ağır hizmet dizel araç temsiline dayanan kaba bir eğitim örneğidir.** Şirket filosu binek ya da hafif ticari araçlardan oluşuyorsa 3,9 ve 3,9 değerlerini otomatik kullanmayın. Araç bazında kilometre, model yılı ve emisyon kontrol teknolojisi bilgisi varsa araç sınıflarını ayırmak daha savunulabilir sonuç verir.

7. Dizel forklift: aynı motorin neden farklı sonuç verir?

Forklift yıllık 1.500 L motorin tüketir. Yoğunluk ve NKD aynıdır, ama forklift yol aracı değildir. Bölüm 4'teki yol dışı sanayi motorin satırı (Tablo 3.3.1) kullanılır: CO_2 74.100, CH_4 4,15, N_2O 28,6 kg/TJ.

Adım	Değer	İşlem	Sonuç
Kütle	1.500 L	× 0,845 kg/L (L iptal olur)	1.267,5 kg = 0,0012675 Gg
Enerji	0,0012675 Gg	× 43 TJ/Gg (Gg iptal olur)	0,0545025 TJ
CO_2	0,0545025 TJ	× 74.100 kg/TJ	4.038,63525 kg CO_2
CH_4	0,0545025 TJ	× 4,15 kg/TJ	0,226185375 kg CH_4
N_2O	0,0545025 TJ	× 28,6 kg/TJ	1,5587715 kg N_2O

Gaz	Değer	İşlem	Sonuç
CO_2	4.038,63525 kg	× 1	4.038,63525 kg CO_2e
CH_4	0,226185375 kg	× 27,0	6,107005125 kg CO_2e
N_2O	1,5587715 kg	× 273	425,5446195 kg CO_2e
Toplam		4.038,63525 + 6,107005125 + 425,5446195	4.470,286874625 kg CO_2e
Toplam (ton)		÷ 1.000	**4,470 tCO_2e**

Dizel forklift sonucu: **4,470 tCO_2e**.

Buradaki ders sonuç sayısından daha önemlidir. Yol dizel örneğinde N_2O faktörü 3,9 kg/TJ idi. Yol dışı sanayi varsayımında 28,6 kg/TJ'dir, yani yaklaşık 7,3 kat. CO_2 faktörü aynı olsa bile toplam CO_2e kaynak türünden etkilenir. Forklifte yol aracı faktörü (3,9 ve 3,9) uygulansaydı sonuç 4,102 tCO_2e çıkardı. Bu yaklaşık %8 eksik hesap demektir ve N_2O'nun CO_2e içindeki payı (yaklaşık %9,5) neden önemli olduğunu gösterir.

8. Benzinli çim biçme makinesi: dört zamanlı yol dışı ekipman

Küçük kaynakların atlanması kolaydır, ama hesap yöntemi yine kaynak türüyle başlar. Örneğimiz dört zamanlı benzinli bir yol dışı sanayi ekipmanıdır ve yıllık 250 L benzin tüketmiştir.

Adım	Değer	İşlem	Sonuç
Kütle	250 L	× 0,740 kg/L (L iptal olur)	185 kg = 0,000185 Gg
Enerji	0,000185 Gg	× 44,3 TJ/Gg (Gg iptal olur)	0,0081955 TJ
CO_2	0,0081955 TJ	× 69.300 kg/TJ	567,94815 kg CO_2

CH_4	0,0081955 TJ	× 50 kg/TJ	0,409775 kg CH_4
N_2O	0,0081955 TJ	× 2 kg/TJ	0,016391 kg N_2O

Gaz	Değer	İşlem	Sonuç
CO_2	567,94815 kg	× 1	567,94815 kg CO_2e
CH_4	0,409775 kg	× 27,0	11,063925 kg CO_2e
N_2O	0,016391 kg	× 273	4,474743 kg CO_2e
Toplam		567,94815 + 11,063925 + 4,474743	583,486818 kg CO_2e
Toplam (ton)		÷ 1.000	**0,583 tCO_2e**

Çim biçme makinesi sonucu: **0,583 tCO_2e**.

Burada benzinli şirket otomobilinin faktörü (Tablo 3.2.2, CH_4 33 ve N_2O 3,2) kullanılmadı, çünkü çim biçme makinesi yol aracı değildir. Motor türü de önemlidir. İki zamanlı motorda CH_4 varsayımı 130 kg/TJ olur (N_2O 0,4) ve bu örnekte sonuç 0,598 tCO_2e çıkardı. Ekipman etiketindeki motor türü bu yüzden yalnızca bakım bilgisi değil, emisyon metodolojisi bilgisidir.

> **Dikkat: Tablo 3.3.1 sektör satırlarına göre ayrılır.** Bu örnek sanayi satırını kullanır (dört zamanlı benzin için CH_4 50). Aynı tablonun ev ve bahçe satırında dört zamanlı benzin için CH_4 120 kg/TJ'dir. Çim biçme makinesi bu satırla hesaplansaydı sonuç 0,599 tCO_2e olurdu. Fark küçüktür, ama satır seçimi ve gerekçesi kayıt altına alınmalıdır.

9. LPG: sabit yanma örneği

LPG'yi bu derste bakım atölyesindeki sabit ısıtıcı üzerinden hesaplıyoruz. Amaç metodolojik ayrımı açık tutmaktır. Veri zaten kg cinsinden (500 kg) olduğu için yoğunluk dönüşümü yapılmaz.

İmalat sanayiindeki sabit LPG yanması için IPCC Tablo 2.3 satırı kullanılır: CO_2 63.100, CH_4 1, N_2O 0,1 kg/TJ.

Adım	Değer	İşlem	Sonuç
Kütle	500 kg	÷ 1.000.000 kg/Gg	0,0005 Gg
Enerji	0,0005 Gg	× 47,3 TJ/Gg (Gg iptal olur)	0,02365 TJ
CO_2	0,02365 TJ	× 63.100 kg/TJ	1.492,315 kg CO_2
CH_4	0,02365 TJ	× 1 kg/TJ	0,02365 kg CH_4
N_2O	0,02365 TJ	× 0,1 kg/TJ	0,002365 kg N_2O

Gaz	Değer	İşlem	Sonuç
CO_2	1.492,315 kg	× 1	1.492,315 kg CO_2e
CH_4	0,02365 kg	× 27,0	0,63855 kg CO_2e
N_2O	0,002365 kg	× 273	0,645645 kg CO_2e
Toplam		1.492,315 + 0,63855 + 0,645645	1.493,599195 kg CO_2e
Toplam (ton)		÷ 1.000	**1,494 tCO_2e**

Sabit LPG ısıtıcı sonucu: **1,494 tCO_2e**.

> **Dikkat: Sabit LPG faktörünü LPG'li forklifte kopyalamayın.** Forklift yol dışı hareketli ekipmandır. Uygun ekipman ve teknoloji faktörünü ya da raporlama programının onayladığı doğrudan faktör setini kullanın. Ayrıca Tablo 2.3 (imalat sanayii ve inşaat) ile Tablo 2.4 (ticari ve kurumsal) LPG için CO_2 ve N_2O değerlerini paylaşır, ama CH_4 değeri 1 ve 5 kg/TJ olarak farklıdır. Atölye ısıtıcısı imalat sanayii sınırı içinde olduğundan 1 kg/TJ kullanıldı. Tablo 2.4 satırı ofis gibi ticari bina ısıtması içindir.

10. Yakıt hesaplarını birlikte okumak

Kaynak	Kaynak sınıfı	Faaliyet verisi	Enerji (TJ)	Sonuç (tCO_2e)	Pay (yakıt)
Ağır hizmet dizel filo	Yol taşıtı	12.000 L	0,43602	32,819	%83,4

Ağır hizmet dizel filo	Yol taşıtı	12.000 L	0,45002	32,819	%83,4
Dizel forklift	Yol dışı	1.500 L	0,0545025	4,470	%11,4
Çim biçme makinesi	Yol dışı (4 zamanlı benzin)	250 L	0,0081955	0,583	%1,5
Sabit LPG ısıtıcı	Sabit yanma	500 kg	0,02365	1,494	%3,8
Yakıt toplamı				**39,367**	%100

```
32,8192254 + 4,470286875 + 0,583486818 + 1,493599195 = 39,366598 tCO₂e ≈ 39,367 tCO₂e
```

Tek tek yuvarlanmış kalemlerin toplamı 39,366 eder. Aradaki 0,001 farkı yuvarlamadan gelir, çünkü toplam yuvarlanmamış değerlerden hesaplanır.

Üç kalite kontrolü:

1. **Tüketim verisi.** Stok ve alım uzlaştırması yapıldı mı? Satın alınan miktar otomatik tüketim değildir.
2. **Birim dönüşümü.** Litre-kütle dönüşümü yalnızca faktör yolunun gerektirdiği durumda yapılır.
3. **Kaynak türü.** Yol aracı, yol dışı ekipman ya da sabit yanma ayrımı kayıtta görünür mü?

Dizel filo ile dizel forklift karşılaştırması özellikle öğreticidir. İkisinin CO_2 faktörü aynı varsayımdan gelir, N_2O faktörü çok farklıdır. Yakıt toplamının büyük bölümü ağır hizmet şirket araçlarındaki motorinden gelir, ama bu büyüklükler tamamen eğitim verisine bağlıdır.

11. Soğutucu gaz verisini hazırlamak: şarj mı, kaçak mı, servis mi?

Soğutucu akışkan hesabındaki en yaygın hata, ekipman etiketindeki toplam gaz kapasitesini yıllık emisyon kabul etmektir. Bir klima ya da soğutma sisteminin içinde 10 kg gaz bulunması, her yıl 10 kg gazın atmosfere salındığı anlamına gelmez. Emisyon, sistemin içindeki gaz (şarj) değil, sistemden kaybolan gazdır. Kaybolan gazı yerine koymak için servis sırasında eklenen miktar bu kaybın ölçüsüdür.

İdeal veri zinciri şunları içerir:

- Ekipman envanteri (yer, tür, gaz tipi, nominal şarj kapasitesi).
- Yeni kurulumlar ve ilk şarj miktarları.
- Servis sırasında eklenen gaz.
- Geri kazanılan gaz.
- Hurdaya çıkarılan ekipman.
- Kuruluşun kendi gaz stoğu ve tüp hareketleri.

11.1 Malzeme dengesi yaklaşımları

Kuruluş kendi soğutucu stokunu ayrıntılı izliyorsa **tam malzeme dengesi** kullanılabilir. Bu yöntem, gazın kütle korunumuna dayanır:

```
Emisyon = (Dönem başı stok − Dönem sonu stok)
        + Dönem içi alım ve geri dönen gaz
        − Dışarı verilen gaz (satış, geri kazanım, bertaraf için gönderilen)
        − (Dönem sonu ekipman şarj kapasitesi − Dönem başı ekipman şarj kapasitesi)
```

Son terim, yeni ekipmana giren gazın emisyon sayılmasını önler. Yeni ekipmanı doldurmak için alınan gaz ekipman kapasitesini artırır ve bu nedenle emisyon değildir.

Basitleştirilmiş malzeme dengesi (servis şarjı yaklaşımı) bu yapıyı özel koşullarda kısaltır. Bu derste yöntem ABD EPA Center for Corporate Climate Leadership rehberindeki mantıkla yalnızca örnek bir hesap yöntemi olarak kullanılır. ISO 14064-1 bu yöntemi tek zorunlu yöntem olarak dayatmaz. Yöntemde mevcut ekipmana servis için satın alınan gaz miktarının, işletme sırasında kaybedilen miktarı ikame ettiği varsayılır.

Bizim örneğimizde şu koşullar sağlanmıştır:

- Ekipmanı dış yüklenici servis eder ve servis miktarları yükleniciden alınabilir.
- Yıl içinde yeni ekipman kurulumu yoktur, kurulum terimi sıfırdır.
- Ekipman bertarafı yoktur, bertaraf terimi sıfırdır.
- Yıl içinde gaz dönüşümü (bir gazdan diğerine geçiş) yapılmamıştır.

Bu koşullarda yıllık işletme emisyonu tahmini servis eklemesine eşittir: 1,20 kg R32 ve 0,80 kg R134a.

> **Dikkat: Serviste eklenen her kg her durumda emisyon demek değildir.** Yeni ekipmanı doldurmak, mevcut ekipmana servis yapmak ve ekipmanı hurdaya ayırmak farklı malzeme dengesi terimleridir. Servis eklemesini emisyon sayabilmek için yöntemin koşullarını önce kontrol edin.

> **Dikkat: Üreticide önceden şarj edilmiş yeni ekipmanın tam gaz kapasitesini kurulum yılında otomatik emisyon saymayın.** Kurulum, işletme ve bertaraf akışlarını kullanılan malzeme dengesi yöntemine göre ayırın.

11.2 Veri kaynakları ve sık görülen veri hataları

- **Yalnızca satın alma faturalarına bakmak.** Servis firması kendi stokundan gaz eklemişse kuruluşun satın alma kaydında hiçbir hareket görünmeyebilir, ama ekipmanda gerçek bir kayıp vardır. Bakım iş emirleri, servis formları ve yüklenici beyanları faaliyet verisinin parçasıdır.
- **Satın alınan her kg gazı emisyon saymak.** Kuruluş gaz satın almış ve tüp stokta kalmışsa satın alınan miktarın tamamı emisyon değildir.
- **Gazları karıştırmak.** R32 ve R134a farklı KIP değerlerine sahip olduğundan ayrı hesaplanır.

12. R32 ve R134a: KIP ile kaçak emisyon hesabı

Kaçak emisyonlar (fugitive emissions) bu hesapta gaz kütlesi çarpı KIP şeklindedir. Enerji dönüşümü yoktur.

Gaz	Miktar	KIP (AR6, 100 yıl)	İşlem	Sonuç
R32 (HFC-32)	1,20 kg	771	1,20 kg × 771 kg CO_2e/kg (kg gaz iptal olur)	925,2 kg CO_2e
R134a (HFC-134a)	0,80 kg	1.530	0,80 kg × 1.530 kg CO_2e/kg (kg gaz iptal olur)	1.224 kg CO_2e
Toplam			925,2 + 1.224	2.149,2 kg CO_2e
Toplam (ton)			÷ 1.000 kg/t	**2,149 tCO_2e**

Soğutucu akışkanlar sonucu: **2,149 tCO_2e**.

Bu örnek küçük gaz kütlelerinin neden önemli olduğunu gösterir. Yakıt hesabında binlerce litre faaliyet verisi görürken, florlu gazlarda 1 kg'lık bir kaçak bile yüksek KIP nedeniyle anlamlı CO_2e'ye dönüşür. Bu örnekte 2 kg gaz, 2,149 tCO_2e eder.

12.1 KIP kaynağı ve farkı

KIP değerleri değerlendirme raporundan değerlendirme raporuna değişir.

Gaz	AR4	AR5	AR6
HFC-32 (R32)	675	677	771
HFC-125	3.500	3.170	3.740
HFC-134a (R134a)	1.430	1.300	1.530
HFC-227ea	3.220	3.350	3.600

Bu derste AR6 kullanılır. Aynı miktarlar AR5 setiyle hesaplansaydı soğutucular 1.852,4 kg CO_2e (AR6 sonucundan yaklaşık %16 düşük) ve yangın gazı 1.675 kg CO_2e (yaklaşık %7,5 düşük) çıkardı. AR4, AR5 ve AR6 değerlerini aynı envanterde gelişigüzel karıştırmak yıllar arası karşılaştırmayı bozar. Program şartı hangi seti zorunlu tutuyorsa o seti tutarlı uygulayın ve hangi seti kullandığınızı raporlayın. Hazır bir CO_2e faktörü başka bir KIP setine dayanıyorsa, uyumluluğu kontrol etmeden bu sonucu gaz bazlı AR6 hesabıyla birleştirmeyin.

13. Eski soğutucular ve karışımlar: R22 neden ana örnek değil?

13.1 R22 (HCFC-22)

Eski eğitim örneklerinde R22 gibi HCFC gazlarıyla karşılaşabilirsiniz. R22 iklim etkisi olan bir HCFC'dir (AR6 100 yıllık KIP değeri 1.960). R32 ve R134a gibi HFC'lerle aynı gaz grubu değildir. HCFC'ler Montreal Protokolü kapsamındadır ve GHG Protocol'ün zorunlu yedi gazı içinde yer almaz. Bu gazların iklim etkisi gerçektir, ama kurumsal envanterdeki raporlama

yeri seçilen programın kuralına göre belirlenir. GHG Protocol Kurumsal Standardı, Montreal Protokolü kapsamındaki gazların ilgiliyse kapsamların dışında ayrı raporlanabilmesine izin verir.

Bu nedenle bu derste ana sayısal örnekler HFC olan R32 ve R134a üzerinden kurulur ve R22 için toplama girecek bir sayı üretilmez. Kuruluşta R22 kullanılan eski ekipman varsa gazı yok saymayın. Ancak HFC toplamına sessizce eklemek yerine, programın bu gazlar için öngördüğü ayrı raporlama kuralını uygulayın.

13.2 Karışım soğutucular

Birçok soğutucu tek gaz değil karışımdır. Örneğin R410A, kütlece yarı yarıya R32 ve R125 içeren bir karışımdır. Karışımlarda çifte sayım riski vardır.

Yöntem	İşlem	Sonuç
Karışım KIP değeriyle	R410A KIP ≈ 0,5 × 771 + 0,5 × 3.740 = 2.255,5	2,0 kg × 2.255,5 = 4.511 kg CO_2e
Bileşen bazlı	1,0 kg R32 × 771 + 1,0 kg R125 × 3.740	771 + 3.740 = 4.511 kg CO_2e

İki yöntem aynı sonucu verir. Hata, ikisini birden uygulamaktır: 4.511 + 4.511 = 9.022 kg CO_2e yanlış sonucunu doğurur. Karışım için yayımlanmış KIP değeriyle hesapladıysanız aynı gaz miktarını bileşenlerine ayırıp ikinci kez eklemeyin. Bileşen bazlı yöntem kullanıyorsanız karışım KIP değeriyle ikinci bir hesap yapmayın. Karışım KIP değeri bileşen KIP değerlerinden türetilen bir ağırlıklı ortalamadır, bu yüzden karışımın kaynağını (program tablosu mu, kendi hesabınız mı) kaydedin.

> **Ana mesaj: klima gazı tek bir hesap kategorisi değildir.** Gazın kimliği, raporlama kapsamı, kullanılan yöntem ve KIP kaynağı hesap başlamadan belirlenmelidir.

14. Yangın söndürme gazı: gerçek salımı hesaplamak

Yangın söndürme sistemlerinde de önce gaz türü tanımlanır. Örnek Sanayi A.Ş. şirketinin servis kaydı, yıl içinde 0,50 kg HFC-227ea gazının gerçekten salındığını doğrulamaktadır.

Gaz	Miktar	KIP (AR6, 100 yıl)	İşlem	Sonuç
HFC-227ea	0,50 kg	3.600	0,50 kg × 3.600 kg CO_2e/kg (kg gaz iptal olur)	1.800 kg CO_2e
Toplam (ton)			÷ 1.000 kg/t	**1,8 tCO_2e**

Yangın söndürme gazı sonucu: **1,8 tCO_2e**.

Hesap çok kısadır, ama veri kalitesi kritiktir.

- **Kapasite emisyon değildir.** Sistemin toplam tüp kapasitesi örneğin 10 kg olsa bile bu kapasiteyi her yıl emisyon saymayız. 10 kg × 3.600 = 36 tCO_2e yanlış sonucu verirdi. Gerçek bir boşalma, servis sırasında kayıp ya da uygun malzeme dengesi kaydı gerekir.
- **Gaz türünü belirleyin.** Bütün yangın söndürme sistemleri HFC kullanmaz. CO_2 sistemleri, inert gazlar ya da başka kimyasallar olabilir. HFC-227ea KIP değerini bunlara uygulamak metodolojik olarak yanlıştır.
- **Kayıtları ayırın.** Gerçek yangın, deneme boşaltımı, servis işlemi ve tüp değişimi kayıtları birbirinden ayrılmalıdır. Aynı yeniden dolum kaydını hem gerçek salım hem de malzeme dengesi hesabında ikinci kez eklemeyin.
- **Sızıntı ve tahliye.** Tüp dolumu sırasındaki kayıp, tüp vanası ve bağlantı kaçakları ve bakım için yapılan tahliyeler de gerçek salımdır. Bunlar servis kaydında ayrı satırlar olarak görünmelidir.

15. Seçili kaynakların sonucu ve belirsizlik

Kaynak	Faaliyet verisi	Faktör ve KIP	Sonuç (tCO_2e)	Pay
Ağır hizmet dizel yol filosu	12.000 L	Tablo 3.2.1 ve 3.2.2, AR6	32,819	%75,8
Dizel forklift	1.500 L	Tablo 3.3.1, AR6	4,470	%10,3
Çim biçme makinesi	250 L	Tablo 3.3.1, AR6	0,583	%1,3
Sabit LPG ısıtıcı	500 kg	Tablo 2.3, AR6	1,494	%3,4
Soğutucu akışkanlar (R32, R134a)	2,00 kg	AR6 (771 ve 1.530)	2,149	%5,0
Yangın söndürme gazı (HFC-227ea)	0,50 kg	AR6 (3.600)	1,800	%4,2
Seçili kaynaklar toplamı			**43,316**	%100

```
39,366598 + 2,1492 + 1,8 = 43,315798 tCO₂e ≈ 43,316 tCO₂e
```

Yakıt kaynakları toplamın yaklaşık %90,9'unu, gaz salımları yaklaşık %9,1'ini oluşturur. Gaz salımları toplam kütlenin çok küçük bir kısmıdır (2,5 kg), ama CO_2e toplamında kayda değer bir paya sahiptir.

> **Dikkat: Bu toplam şirketin tüm Kategori 1 toplamı ya da tüm kurumsal envanteri değildir.** Doğal gaz, proses emisyonları, başka araçlar, başka soğutma sistemleri ve elektrik ekipmanlarındaki diğer gazlar bu ders örneğinin dışında olabilir.

Belirsizlik her kalemde aynı kaynaktan gelmez.

- Yakıt CO_2 hesabında temel belirsizlik çoğu zaman faaliyet verisi ve yakıt özellikleridir.
- CH_4 ve N_2O faktörleri, özellikle hareketli ve yol dışı kaynaklarda, teknolojiye daha duyarlıdır.
- Soğutucu gazlarda servis kayıtlarının eksiksizliği ve kullanılan malzeme dengesi yöntemi belirleyicidir.

Sonuç tablosunda yalnızca tCO_2e değil, faaliyet verisi, kaynak sınıfı, faktör seti, KIP seti ve yöntem notu da görünmelidir.

Yıllar arası yorumda faaliyet değişimi ile yöntem değişimini ayırın.

- İlk yıl forklift için genel yol dışı varsayım kullanıp sonraki yıl ekipmana özgü faktöre geçerseniz farkın tamamı gerçek emisyon değişimi değildir.
- Servis kayıt kalitesi iyileştikçe soğutucu gaz emisyonu artmış görünebilir. Bu her zaman fiziksel kaçağın arttığı anlamına gelmez.
- Tek envanterde kullanılan KIP seti raporlanmalı ve yıllar arasında değiştiğinde ayrıca belirtilmelidir.

16. Güncel durum (Eylül 2026)

> **Soğutucu gaz mevzuatı ve envanter ilişkisi.** Avrupa Birliği'nde florlu sera gazları *Regulation (EU) 2024/573* ile düzenlenir. Bu düzenleme 7 Şubat 2024'te kabul edilmiş, 11 Mart 2024'te uygulanmaya başlamış ve 2014 tarihli F-gaz Tüzüğü'nün (517/2014) yerini almıştır. HFC'lerin AB'de 2050'ye kadar kademeli olarak sonlandırılmasını kota sistemiyle öngörür ve sızıntı önleme ile gaz geri kazanım yükümlülüklerini yeni ekipman ve gazlara genişletir. Bu mevzuat piyasaya arz ve ekipman yükümlülüklerini düzenler. Kurumsal sera gazı envanterinde hangi yöntem ve KIP setinin kullanılacağını belirlemez. Envanter için program şartı esastır.
>
> **Türkiye.** Türkiye'de florlu gazlara ve ozon tabakasını incelten maddelere ilişkin ulusal düzenlemelerin ve Montreal Protokolü Kigali Değişikliği kapsamındaki yükümlülüklerin güncel durumu Ders 12'de özetlenmiştir ve T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı kaynaklarından kontrol edilmelidir. Bu materyaldeki hesap yöntemi, ulusal mevzuatın gaz kullanım yükümlülüklerinden bağımsız olarak envanter mantığını öğretir.
>
> **KIP seti.** Hesapta kullanılan AR6 değerleri GHG Protocol KIP tablosu Sürüm 2.0'a (7 Ağustos 2024) dayanır. Kullanılan program başka bir set (örneğin AR5) zorunlu tutuyorsa program şartı önceliklidir. Yanma metanı için 27,0 değeri GHG Protocol'ü izler. Bazı uygulayıcılar yanma kaynaklı CH_4 için AR6 tablosundaki 27,9 değerini önerir. Bu derste program şartı ya da GHG Protocol yaklaşımı izlenir ve seçim belgelenir.

17. Python ile doğrulama

Aşağıdaki kod bu materyaldeki tüm sayıları yeniden hesaplar.

```
        from decimal import Decimal as D

        def yakit(kg, nkd, ef, kip):
            gg = kg / D(10**6)
            tj = gg * nkd
            gazlar = [tj * e for e in ef]
            co2e_kg = sum(g * k for g, k in zip(gazlar, kip))
            return tj, gazlar, co2e_kg

        kip = (D(1), D(27), D(273))

        # Yol dizel filosu: 12000 L, 0,845 kg/L
        kg = D(12000) * D(845) / D(1000)
        filo = yakit(kg, D(43), (D(74100), D(39) / D(10), D(39) / D(10)), kip)

        # Dizel forklift: 1500 L, yol disi sanayi
        kg = D(1500) * D(845) / D(1000)
        fork = yakit(kg, D(43), (D(74100), D(415) / D(100), D(286) / D(10)), kip)

        # Benzinli cim bicme makinesi: 250 L, 0,740 kg/L, dort zamanli
        kg = D(250) * D(740) / D(1000)
        cim = yakit(kg, D(443) / D(10), (D(69300), D(50), D(2)), kip)

        # Sabit LPG isitici: 500 kg, Tablo 2.3
        lpg = yakit(D(500), D(473) / D(10), (D(63100), D(1), D(1) / D(10)), kip)

        yakit_t = sum(x[2] for x in (filo, fork, cim, lpg)) / D(1000)

        # Gaz salimi
        r32 = D(12) / D(10) * D(771)
        r134a = D(8) / D(10) * D(1530)
        yangin = D(5) / D(10) * D(3600)
        gaz_t = (r32 + r134a + yangin) / D(1000)

        print(filo[0], filo[1], filo[2] / 1000)
        print(fork[0], fork[1], fork[2] / 1000)
        print(cim[0], cim[1], cim[2] / 1000)
        print(lpg[0], lpg[1], lpg[2] / 1000)
        print(yakit_t, r32, r134a, (r32 + r134a) / 1000, yangin / 1000)
        print(yakit_t + gaz_t)
```

Beklenen çıktının ana satırları: yol filosu 0,43602 TJ ve 32,8192254 t, forklift 0,0545025 TJ ve 4,470286874625 t, çim biçme 0,0081955 TJ ve 0,583486818 t, LPG 0,02365 TJ ve 1,493599195 t, yakıt toplamı 39,366598287625 t, R32 925,2 kg, R134a 1.224 kg, yangın gazı 1,8 t, genel toplam 43,315798287625 t.

Alıştırmalar (cevaplarıyla)

Alıştırma 1: Hata avcısı

Aşağıdaki on hatayı bulun ve düzeltin. Cevaplar tabloda verilmiştir.

Hata	Neden sorun	Doğrusu
1. Yol aracı ile yol dışı ekipmana aynı CH_4 ve N_2O faktörünü uygulamak	Motorin N_2O faktörü yol aracında 3,9, yol dışı sanayide 28,6 kg/TJ'dir	Kaynak sınıfına uygun IPCC tablosunu seçin
2. Satın alınan yakıtı stok kontrolü yapmadan tüketim kabul etmek	Dönem başı ve sonu stok farkı gözden kaçar	Tüketim = dönem başı stok + alım − dönem sonu stok
3. Yoğunluğu evrensel sabit sanmak	Yoğunluk yakıt spesifikasyonuna ve sıcaklığa bağlıdır	Tedarikçi verisini kullanın, 0,845 ve 0,740 yalnızca eğitim varsayımıdır
4. Yanma metanına AR6 fosil kaçak değeri 29,8'i uygulamak	Yanma CO_2'sinde oksidasyon zaten sayılmıştır, çift sayım doğar	Yanma CH_4 için 27,0 kullanın
5. Sabit LPG ısıtıcı faktörünü LPG forklifte kopyalamak	Forklift yol dışı hareketli ekipmandır	Ekipmana uygun faktör ya da programın onayladığı set
6. Soğutma ekipmanının tam gaz kapasitesini yıllık kaçak saymak	Şarj emisyon değildir, kaybolan gaz emisyondur	Servis eklemesi ya da malzeme dengesi kullanın
7. Servis eklemesini yöntem koşullarını	Yeni kurulum ve bertaraf terimleri ayrıdır	Basitleştirilmiş yöntemin koşullarını

kontrol etmeden emisyon kabul etmek		doğrulayın
8. R22 gibi bir HCFC'yi HFC ile aynı gaz grubuymuş gibi toplamak	HCFC Montreal Protokolü kapsamındadır, raporlama yeri program kuralına bağlıdır	Ayrı raporlayın, HFC toplamına sessizce eklemeyin
9. Karışım gazı hem karışım KIP değeriyle hem bileşen hesabıyla saymak	Aynı emisyon iki kez sayılır	Tek yöntem seçin
10. Yangın tüpü kapasitesini gerçek salım yerine kullanmak	Kapasite emisyon değildir	Servis ve boşaltım kaydındaki gerçek salımı kullanın

Alıştırma 2: Stok uzlaştırması

Dizel filonun yakıt kaydında dönem başı stok 2.000 L, dönem içi alım 11.500 L, dönem sonu stok 1.500 L'dir. Tüketim nedir ve alım miktarı doğrudan tüketim sayılsaydı sonuç ne olurdu?

Cevap: Tüketim = 2.000 + 11.500 − 1.500 = 12.000 L. Bu değer ana örnekle aynıdır ve sonuç 32,819 tCO_2e'dir. 11.500 L tüketim sayılsaydı enerji 0,4178525 TJ ve sonuç 31,452 tCO_2e çıkardı, yaklaşık 1,367 tCO_2e eksik hesap olurdu.

Alıştırma 3: Enerji biriminde veri

Filo yönetim sistemi motorin tüketimini doğrudan 0,43602 TJ olarak veriyor. Yoğunluk ve NKD adımlarını uygular mısınız?

Cevap: Hayır. Faaliyet verisi güvenilir biçimde enerji cinsinden olduğu için doğrudan faktörlerle çarpılır: 0,43602 TJ × 74.100 kg/TJ = 32.309,082 kg CO_2. Yoğunluk ve NKD dönüşümünü tekrar uygulamak gereksizdir.

Alıştırma 4: Yanlış faktör satırı

Dizel forklifte yol aracı satırı (CH_4 3,9 ve N_2O 3,9) uygulanırsa sonuç ne olur?

Cevap: 0,0545025 TJ için CO_2 4.038,63525 kg, CH_4 0,21256 kg, N_2O 0,21256 kg olur. CO_2e toplamı 4,102 tCO_2e çıkar. Doğru değer 4,470 tCO_2e olduğundan sonuç yaklaşık 0,368 tCO_2e (yaklaşık %8) eksik çıkar.

Alıştırma 5: Malzeme dengesi

Bir kuruluşun R32 stoğu dönem başında 5 kg, dönem sonunda 4 kg'dır. Dönem içinde 3 kg R32 alınmış, hiç gaz dışarı verilmemiştir. Bu alımın 2 kg'ı yeni bir klimanın ilk şarjında kullanılmış, ekipman şarj kapasitesi 2 kg artmıştır. R32 emisyonu kaç tCO_2e'dir (AR6)?

Cevap: Emisyon = (5 − 4) + 3 − 0 − 2 = 2 kg R32. 2 kg × 771 = 1.542 kg CO_2e = 1,542 tCO_2e. Yeni klimaya giren 2 kg emisyon değildir, ekipman kapasitesini artırmıştır. Kapasite artışı hesaba katılmasaydı 4 kg ve 3,084 tCO_2e bulunurdu.

Alıştırma 6: Karışım

Serviste 2,0 kg R410A eklenmiştir. Sonucu iki yöntemle hesaplayın ve çifte sayımın etkisini gösterin.

Cevap: Karışım KIP'siyle 2,0 × 2.255,5 = 4.511 kg CO_2e. Bileşen bazlı 1,0 × 771 + 1,0 × 3.740 = 4.511 kg CO_2e. İkisi de doğrudur, ama ikisini toplamak 9.022 kg CO_2e çıkarır ve sonuç iki katına şişer.

Alıştırma 7: KIP seti duyarlılığı

R32 ve R134a servis eklemeleri AR5 KIP setiyle (677 ve 1.300) hesaplansaydı sonuç ne olurdu?

Cevap: 1,20 × 677 + 0,80 × 1.300 = 812,4 + 1.040 = 1.852,4 kg CO_2e = 1,852 tCO_2e. AR6 sonucu 2,149 tCO_2e'dir, fark yaklaşık %16'dır. KIP seti bu yüzden raporlanmalıdır.

Özet

- Kategori 1 içinde iki hesap yolu vardır: yakıt yanması (yakıt → enerji → gaz bazlı faktör → KIP) ve doğrudan gaz salımı (gaz kütlesi → KIP).
- Aynı yakıt, kaynak sınıfına göre farklı faktör alır. Motorin için yol taşıtı 3,9 ve 3,9, yol dışı sanayi 4,15 ve 28,6 kg/TJ (CH_4 ve N_2O).
- Tablo 3.2.2 dizel değeri Avrupa ağır hizmet dizel kamyonuna dayanır. Binek ve hafif ticari araçta otomatik kullanılmaz.
- Yakıt sonuçları: dizel filo 32,819, forklift 4,470, çim biçme 0,583, sabit LPG 1,494 tCO_2e. Yakıt toplamı 39,367 tCO_2e.
- Yanma CH_4 için KIP 27,0 kullanılır. 29,8 fosil kaçak ve proses metanı içindir.

- Soğutucu gazda emisyon şarj kapasitesi değil, kaybolan gazdır. Basitleştirilmiş malzeme dengesinde koşullar sağlandığında servis eklemesi işletme emisyonu tahminidir.
- R32 925,2 kg, R134a 1.224 kg, toplam 2,149 tCO_2e. HFC-227ea gerçek salımı 1,8 tCO_2e.
- R22 gibi HCFC gazları HFC toplamına sessizce eklenmez. Karışımlar tek yöntemle hesaplanır.
- Seçili kaynak toplamı 43,316 tCO_2e'dir ve tüm envanter değildir.
- Kanıt zinciri: yakıt kartı ve stok kaydı, ekipman ve kaynak sınıfı, servis formları, gaz kimliği, faktör tablosu ve KIP seti.

Bilgi kontrolü (cevaplarıyla)

1. Dizel forklift neden ağır hizmet dizel yol filosuyla aynı CH_4 ve N_2O faktörünü kullanmadı? Cevap: Kaynak türü ve teknoloji farklıdır. Forklift yol dışı sanayi ekipmanıdır (Tablo 3.3.1: CH_4 4,15, N_2O 28,6). Yol filosu Tablo 3.2.2 satırını kullanır (3,9 ve 3,9).

2. 12.000 L motorin kaç TJ'dir (eğitim varsayımlarıyla)? Cevap: 12.000 × 0,845 = 10.140 kg = 0,01014 Gg. 0,01014 × 43 = 0,43602 TJ.

3. Yanma kaynaklı CH_4 için hangi KIP kullanıldı ve neden? Cevap: 27,0. 29,8 fosil kaçak ve proses metanı içindir, yanma CO_2'si ayrıca hesaplandığında çift sayım yaratır.

4. Yakıt verisi zaten TJ cinsindeyse yoğunluk dönüşümü yapılır mı? Cevap: Hayır. Enerji cinsinden güvenilir veri doğrudan faktörlerle çarpılır.

5. Sabit LPG ısıtıcı faktörü LPG'li forklifte uygulanabilir mi? Cevap: Hayır. Forklift yol dışı hareketli ekipmandır. Uygun ekipman faktörü ya da programın onayladığı set kullanılmalıdır.

6. R32 servis eklemesini neden emisyon kabul ettik? Cevap: Eğitim örneğinde basitleştirilmiş malzeme dengesinin koşulları tanımlandı: mevcut ekipmana servis, yeni kurulum ve bertaraf yok, gaz dönüşümü yok. Bu koşullar kontrol edilmeden genelleme yapılmaz.

7. Bir klimanın içindeki 10 kg gaz yıllık emisyon mudur? Cevap: Hayır. Emisyon, şarj miktarı değil sistemden kaybolan gazdır.

8. R22 neden HFC toplamına eklenmedi? Cevap: R22 bir HCFC'dir ve Montreal Protokolü kapsamındadır. Raporlama yeri seçilen programın kuralına göre belirlenir.

9. R410A emisyonunu hem karışım KIP'siyle hem bileşenlerle hesaplayıp toplarsak ne olur? Cevap: Aynı emisyon iki kez sayılır. Tek yöntem seçilmelidir.

10. HFC-227ea hesabında neden enerji dönüşümü yapılmadı ve neden tüp kapasitesi kullanılmadı? Cevap: Doğrudan salınan gaz kütlesi KIP ile çevrilir, yakıt olmadığı için enerji dönüşümü yoktur. Kapasite emisyon değildir, gerçek salım servis kaydıyla belirlenir.

Anahtar kavramlar sözlüğü (TR – EN)

Türkçe	English
faaliyet verisi	activity data
emisyon faktörü	emission factor
net kalorifik değer (NKD), alt ısıl değer	net calorific value (NCV), lower heating value
küresel ısınma potansiyeli (KIP)	global warming potential (GWP)
karbondioksit eşdeğeri (CO_2e)	carbon dioxide equivalent (CO_2e)
doğrudan emisyon	direct emission
Kategori 1 (doğrudan sera gazı emisyonları ve uzaklaştırmaları)	Category 1 (direct GHG emissions and removals)
hareketli yanma	mobile combustion
sabit yanma	stationary combustion
yol taşıtı	road vehicle
yol dışı ekipman	off-road equipment
kaçak emisyonlar	fugitive emissions
soğutucu akışkan	refrigerant

malzeme dengesi	material balance
servis şarjı	service charge
karışım soğutucu	refrigerant blend
yangın söndürme gazı	fire suppression gas
florlu sera gazı (F-gaz)	fluorinated greenhouse gas (F-gas)
hidroflorokarbon (HFC)	hydrofluorocarbon (HFC)
hidroklorofluorokarbon (HCFC)	hydrochlorofluorocarbon (HCFC)
yoğunluk	density
birim iptali	unit cancellation
çift sayım	double counting
sera gazı envanteri	GHG inventory

Kaynaklar ve güncellik notu

- ISO 14064-1:2018, Greenhouse gases, Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals.
- ISO/TS 14064-4:2025, Greenhouse gases, Part 4: Guidance for the application of ISO 14064-1.
- IPCC, *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, Cilt 2 Enerji, Bölüm 1 Tablo 1.2 (NKD: motorin 43,0, motor benzini 44,3, LPG 47,3 TJ/Gg), Bölüm 2 Tablo 2.3 ve 2.4 (sabit yanma), Bölüm 3 Tablo 3.2.1, 3.2.2 (yol taşımacılığı) ve 3.3.1 (yol dışı). https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/
- IPCC, *AR6 WG1*, Bölüm 7, Tablo 7.15 (100 yıllık KIP).
- GHG Protocol, *IPCC Global Warming Potential Values*, Sürüm 2.0, 7 Ağustos 2024 (AR6: CH_4 fosil olmayan 27,0, CH_4 fosil 29,8, N_2O 273, HFC-32 771, HFC-125 3.740, HFC-134a 1.530, HFC-227ea 3.600, HCFC-22 1.960).
- U.S. EPA Center for Corporate Climate Leadership, *Direct Fugitive Emissions from Refrigeration, Air Conditioning, Fire Suppression, and Industrial Gases* (malzeme dengesi ve basitleştirilmiş malzeme dengesi yaklaşımları).
- GHG Protocol, *Corporate Accounting and Reporting Standard* ve zorunlu sera gazları notu (yedi gaz ve Montreal Protokolü gazlarının ayrı raporlanması).
- European Union, *Regulation (EU) 2024/573 on fluorinated greenhouse gases*, 7 Şubat 2024. https://climate.ec.europa.eu/areas-action/fluorinated-greenhouse-gases/f-gas-legislation_en
- SATSO-SUBÜ Eğitim Programı, Ders 16 amaç ve içerik tanımı, ve TSE TS EN ISO 14064-1 eğitim sunumu (Kategori 1 kaynak sınıflandırması).

Güncellik notu: Bilgiler Eylül 2026 itibarıyladır. KIP seti, faktörler ve gaz kapsamı raporlama programının şartına göre değişebilir. Türkiye'deki florlu gaz mevzuatının güncel durumu için Ders 12'ye ve Bakanlık kaynaklarına bakılmalıdır. Gerçek envanter çalışmasında resmî kaynaklar yeniden kontrol edilmelidir.

ENGLISH VERSION

LESSON 16: Application 2: Fuel, Vehicle, Refrigerant and Fire Suppression Gas Calculation

Program: Sustainability in Industry, Climate Change and Carbon Footprint Training (SATSO)

Overview	Description
Target audience	University students and technical and administrative staff in industrial organizations
Scope of this material	Two calculation logics within Category 1: fuel combustion (road vehicle, off-road equipment, stationary combustion) and direct gas releases that are not combustion (refrigerant and fire suppression gas)
Example year	Method example (all numbers are training data, not real company data)
Related lessons	Lesson 15 (natural gas and electricity), Lesson 17 (transport, raw materials, packaging, waste and purchased services), Lesson 18 (ISO 14064-1 report and verification)
Information current as of	September 2026

Learning outcomes

After completing this material, participants can:

- Classify a Category 1 source as road vehicle, off-road equipment, stationary combustion or direct gas release, and choose the calculation path accordingly.
- Convert diesel and gasoline data from litres to mass and from mass to energy (TJ), and calculate CO_2, CH_4 and N_2O emissions separately.
- Explain with IPCC table rows why different CH_4 and N_2O factors are used for the same fuel.
- Derive the emitted refrigerant quantity from service records with the simplified material balance and convert it to CO_2e with GWP.
- Handle HCFC gases such as R22 and refrigerant blends without double counting.
- Separate actual release from capacity for fire suppression gas and obtain the CO_2e result.
- Interpret the total of the selected sources within the correct boundary and recognize ten common mistakes.

1. One Category 1, two calculation logics

In this lesson we calculate six sources for Example Industry Inc. All of them belong to Category 1 (direct emission), but the calculation path splits into two groups.

Group	Source	Calculation path
Fuel combustion	Heavy-duty diesel company vehicles (mobile combustion, road vehicle)	Fuel quantity → energy (TJ) → gas-specific factor → GWP
Fuel combustion	Diesel forklift (mobile combustion, off-road equipment)	Same chain, different factor row
Fuel combustion	Four-stroke gasoline lawn mower (mobile combustion, off-road equipment)	Same chain, different factor row
Fuel combustion	Stationary LPG heater in the maintenance workshop (stationary combustion)	Same chain, stationary combustion factor row
Direct gas release	Refrigerants (R32, R134a)	Released gas mass → GWP
Direct gas release	Fire suppression system (HFC-227ea)	Released gas mass → GWP

There are two important distinctions.

First distinction: the same fuel does not mean the same factor. A diesel company vehicle is a road transport source. A diesel forklift is off-road industrial equipment. CO_2 factors can be very close, but CH_4 and especially N_2O factors change considerably with engine technology and operating conditions.

Second distinction: there is no energy conversion for gas releases. For refrigerant and fire suppression gas we do not convert litres of fuel to energy. We determine the mass of gas released to the atmosphere and convert it to CO_2e with the appropriate GWP.

The aim of this lesson is not to memorize a single formula but to learn to choose the right calculation path for the source type.

Calculation chains:

```
Fuel:          litres → kg → Gg → TJ → kg gas (CO₂, CH₄, N₂O) → kg CO₂e → tCO₂e
Gas release:   kg released gas → kg CO₂e → tCO₂e
```

For fuel combustion, upstream effects such as production, refining and distribution are not added to the Category 1 total. They are indirect value chain emissions and belong to Lesson 17.

2. Example data set and calculation boundary

All values below belong to the method example. They are training data, not real company data or mandatory values.

Input	Value	Unit	Source and note
Heavy-duty diesel road fleet, diesel fuel	12,000	L/year	Training data, source class: road vehicle
Diesel forklift, diesel fuel	1,500	L/year	Training data, source class: off-road industrial equipment
Four-stroke lawn mower, gasoline	250	L/year	Training data, source class: off-road industrial equipment
Stationary LPG heater (maintenance workshop)	500	kg/year	Training data, source class: stationary combustion
R32 service top-up	1.20	kg/year	Contractor service record, existing equipment
R134a service top-up	0.80	kg/year	Contractor service record, existing equipment
HFC-227ea actual release	0.50	kg/year	Release verified by service record
Diesel density	0.845	kg/L	Training assumption only
Gasoline density	0.740	kg/L	Training assumption only
NCV diesel	43	TJ/Gg	IPCC 2006, Volume 2, Table 1.2
NCV motor gasoline	44.3	TJ/Gg	IPCC 2006, Volume 2, Table 1.2
NCV LPG	47.3	TJ/Gg	IPCC 2006, Volume 2, Table 1.2
GWP (AR6, 100 years)	CO_2 = 1, combustion CH_4 = 27.0, N_2O = 273, HFC-32 = 771, HFC-134a = 1,530, HFC-227ea = 3,600	dimensionless	IPCC AR6 WG1 Table 7.15, GHG Protocol GWP table (Version 2.0)

The factor rows are collected in one table in Section 4.

This lesson does not cover:

- Natural gas and electricity (Lesson 15).
- Subcontracted transport, tonne-km, raw materials, packaging, waste and purchased services (Lesson 17).
- Verification assurance level and certification assessment (Lesson 18).
- All details of refrigerant legislation. Only the scope distinction needed to build the inventory correctly is given.

> **Attention: IPCC defaults are not the only factor set mandated by ISO 14064-1.** In this lesson IPCC defaults are used to teach the calculation logic. In a real corporate inventory, the applicable program requirement, country or supplier data and more representative technology-specific factors are evaluated.

> **Attention: Density values are not universal constants.** 0.845 kg/L for diesel and 0.740 kg/L for gasoline are training assumptions. Actual fuel density depends on the fuel specification and temperature. If a fuel specification or reliable supplier data exists, evaluate it.

For each source, record the source type as well as the activity data. A heavy-duty diesel vehicle should be described as a heavy-duty road diesel source, not simply as diesel fuel. The forklift is off-road diesel industrial equipment. For gases too, writing only air-conditioning gas is not enough. Is it R32, R134a or a blend? The GWP depends on the gas identity. When period, quantity, unit, equipment group and evidence document are kept together in the calculation file, the risk of choosing the wrong factor falls considerably.

3. Preparing fuel data

Activity data is validated before any number is multiplied.

Fleet reconciliation. Check that the vehicle tracking system, fuel card or fleet management report covers the same reporting period. The following situations make looking only at total litres insufficient:

- Vehicles sold or acquired during the period.
- Rental vehicle entries.
- A fuel card used in another vehicle.
- Fuel left in the tank at the end of the period.

Reconciling the fleet list with fuel records is the easiest way to catch missing or duplicate activity data before the calculation starts.

Purchase is not consumption. If there is a tank or stock, the purchased quantity is not automatically consumption. Opening stock, purchases during the period and closing stock are reconciled:

```
Consumption = Opening stock + Purchases during the period − Closing stock
```

Equipment ID and operating hours. In forklift records, keep not only the annual fuel total but also the equipment ID and, where possible, operating hours. Operating hours alone do not replace fuel consumption, but they are strong verification data for checking unusual changes and for allocating fuel by equipment. If there are several forklifts in the same warehouse, document how total fuel is allocated to the equipment.

Choose the calculation path by the data. If fuel data is already in kg, tonnes, GJ, TJ or another suitable energy unit, a density conversion is unnecessary. In this lesson the litre, mass, energy path is chosen to show the conversion steps.

> **Good practice:** In the data file, keep the raw record (invoice, fuel card report) and the reconciled value used in the calculation in separate columns.

4. Factor selection: which table belongs to which source?

The IPCC 2006 Guidelines give different tables for fuel combustion by source class. The same fuel receives different CH_4 and N_2O factors as the table changes. The rows used in this lesson are below (all values in kg/TJ).

Source class	IPCC 2006 table	Fuel and row	CO_2	CH_4	N_2O
Road vehicle	Volume 2, Table 3.2.1 (CO_2) and 3.2.2 (CH_4, N_2O)	Diesel (Gas/Diesel Oil)	74,100	3.9	3.9
Off-road, industry	Volume 2, Table 3.3.1	Diesel	74,100	4.15	28.6
Off-road, industry	Volume 2, Table 3.3.1	Motor gasoline, four-stroke	69,300	50	2
Stationary combustion, manufacturing industries	Volume 2, Table 2.3	LPG	63,100	1	0.1

Stationary combustion, manufacturing industries and construction	Volume 2, Table 2.5	LPG	63,100	1	0.1

Other rows of the same sources for comparison:

Row	CO_2	CH_4	N_2O	When
Road vehicle, motor gasoline (uncontrolled)	69,300	33	3.2	Gasoline company car. Not applied to the lawn mower
Road vehicle, LPG	63,100	62	0.2	LPG road vehicle. Not applied to a stationary heater
Off-road, industry, motor gasoline, two-stroke	69,300	130	0.4	Two-stroke engine equipment
Off-road, household and gardening, motor gasoline, four-stroke	69,300	120	2	Differs from the industry row, see Section 8
Stationary combustion, manufacturing industries and construction, diesel	74,100	3	0.6	Generator or boiler burning diesel in a fixed installation
Stationary combustion, commercial and institutional (Table 2.4), LPG	63,100	5	0.1	Office and commercial building heating. Not a manufacturing row

Three points need attention.

1. **The Table 3.2.2 diesel row (3.9 and 3.9) is a rough approximation representing a European heavy-duty diesel truck.** The IPCC table footnote states that the diesel value is based on a European heavy-duty diesel truck value. Do not apply these values automatically to passenger cars or light commercial company vehicles.
2. **For road vehicles, the fuel-based default method for CH_4 and N_2O should remain a rough approximation.** If vehicle class, emission control technology and distance travelled are available, a distance and technology-based method is more representative. IPCC also prefers the fuel consumption approach for CO_2 and these detailed data for CH_4 and N_2O.
3. **Uncertainty is higher for off-road equipment.** Table 3.3.1 values are sensitive to technology and operating conditions. For example, the IPCC uncertainty range for the diesel N_2O value of 28.6 kg/TJ is 14.3 to 85.8 kg/TJ. CH_4 and N_2O uncertainty is markedly higher than that of CO_2.

> **Attention: The fuel name alone does not select the method.** For LPG, a stationary heater, an LPG forklift and an LPG road vehicle are three different source contexts. The same holds for diesel as road vehicle, off-road equipment and stationary combustion. Do not create a single diesel factor cell in the calculation sheet and copy it to all vehicles and equipment.

5. Heavy-duty diesel road fleet: from litres to energy

Annual diesel consumption is 12,000 L. Because IPCC factors are given per TJ, the litre data is first converted to energy.

Step 1: From litres to mass

Value	Unit	Operation	Result
12,000	L	× 0.845 kg/L (L cancels)	10,140 kg
10,140	kg	÷ 1,000 kg/t	10.14 t
10,140	kg	÷ 1,000,000 kg/Gg	0.01014 Gg

```
12,000 L × 0.845 kg/L = 10,140 kg = 10.14 t = 0.01014 Gg
```

Step 2: From mass to energy

Value	Unit	Operation	Result
0.01014	Gg	× 43 TJ/Gg (Gg cancels)	0.43602 TJ

```
0.01014 Gg × 43 TJ/Gg = 0.43602 TJ
```

This number is now consistent with the TJ unit in the denominator of the factors. If the units do not cancel on the way to the result, there is a problem in the formula.

> **Common mistake: Treating density as a universal constant.** 0.845 kg/L is a training assumption in this lesson. If the activity data is already in kg, tonnes or energy units, do not perform this conversion.

6. Heavy-duty diesel road fleet: CO_2, CH_4, N_2O and CO_2e

Step 3: Calculating the gases separately

The road vehicle row in Section 4 (Tables 3.2.1 and 3.2.2) is used.

Gas	Value	Unit	Operation	Result
CO_2	0.43602	TJ	× 74,100 kg CO_2/TJ (TJ cancels)	32,309.082 kg CO_2
CH_4	0.43602	TJ	× 3.9 kg CH_4/TJ (TJ cancels)	1.700478 kg CH_4
N_2O	0.43602	TJ	× 3.9 kg N_2O/TJ (TJ cancels)	1.700478 kg N_2O

Step 4: Converting to CO_2e with GWP

The AR6 100-year GWP set is used in this lesson.

27.0 is used for combustion methane. The GHG Protocol GWP table (Version 2.0, 7 August 2024) gives 29.8 for fossil fugitive and process emissions. The value 27.0 is for other sources, including fossil fuel combustion. Because CO_2 is already calculated separately at a combustion source, the higher fossil methane GWP would count the effect of methane oxidizing to CO_2 a second time. The GWP for N_2O is 273.

Gas	Value	Unit	Operation	Result
CO_2	32,309.082	kg CO_2	× 1 kg CO_2e/kg CO_2	32,309.082 kg CO_2e
CH_4	1.700478	kg CH_4	× 27.0 kg CO_2e/kg CH_4	45.912906 kg CO_2e
N_2O	1.700478	kg N_2O	× 273 kg CO_2e/kg N_2O	464.230494 kg CO_2e
Total			32,309.082 + 45.912906 + 464.230494	32,819.2254 kg CO_2e
Total (tonnes)	32,819.2254	kg CO_2e	÷ 1,000 kg/t	**32.819 tCO_2e**

Heavy-duty diesel road fleet result: **32.819 tCO_2e**. Rounding is done only at the last step. The CO_2 share is about 98.4%.

> **Attention: This result is a rough training example based on a heavy-duty diesel vehicle representation.** If the company fleet consists of passenger cars or light commercial vehicles, do not automatically use the values 3.9 and 3.9. If kilometres, model year and emission control technology are available per vehicle, separating vehicle classes gives a more defensible result.

7. Diesel forklift: why does the same diesel give a different result?

The forklift consumes 1,500 L of diesel per year. Density and NCV are the same, but a forklift is not a road vehicle. The off-road industry diesel row in Section 4 (Table 3.3.1) is used: CO_2 74,100, CH_4 4.15, N_2O 28.6 kg/TJ.

Step	Value	Operation	Result
Mass	1,500 L	× 0.845 kg/L (L cancels)	1,267.5 kg = 0.0012675 Gg
Energy	0.0012675 Gg	× 43 TJ/Gg (Gg cancels)	0.0545025 TJ
CO_2	0.0545025 TJ	× 74,100 kg/TJ	4,038.63525 kg CO_2
CH_4	0.0545025 TJ	× 4.15 kg/TJ	0.226185375 kg CH_4
N_2O	0.0545025 TJ	× 28.6 kg/TJ	1.5587715 kg N_2O

Gas	Value	Operation	Result
CO_2	4,038.63525 kg	× 1	4,038.63525 kg CO_2e
CH_4	0.226185375 kg	× 27.0	6.107005125 kg CO_2e
N_2O	1.5587715 kg	× 273	425.5446195 kg CO_2e

Total		4,038.63525 + 6.107005125 + 425.5446195	4,470.286874625 kg CO_2e
Total (tonnes)		÷ 1,000	**4.470 tCO_2e**

Diesel forklift result: **4.470 tCO_2e**.

The lesson here matters more than the result. In the road diesel example the N_2O factor was 3.9 kg/TJ. In the off-road industry assumption it is 28.6 kg/TJ, about 7.3 times higher. Even when the CO_2 factor is the same, total CO_2e is affected by the source type. If the road vehicle factors (3.9 and 3.9) had been applied to the forklift, the result would have been 4.102 tCO_2e. That is an understatement of about 8% and shows why the share of N_2O in CO_2e (about 9.5%) matters.

8. Gasoline lawn mower: four-stroke off-road equipment

Small sources are easy to skip, but the calculation method again starts with the source type. Our example is four-stroke gasoline off-road industrial equipment that consumed 250 L of gasoline per year.

Step	Value	Operation	Result
Mass	250 L	× 0.740 kg/L (L cancels)	185 kg = 0.000185 Gg
Energy	0.000185 Gg	× 44.3 TJ/Gg (Gg cancels)	0.0081955 TJ
CO_2	0.0081955 TJ	× 69,300 kg/TJ	567.94815 kg CO_2
CH_4	0.0081955 TJ	× 50 kg/TJ	0.409775 kg CH_4
N_2O	0.0081955 TJ	× 2 kg/TJ	0.016391 kg N_2O

Gas	Value	Operation	Result
CO_2	567.94815 kg	× 1	567.94815 kg CO_2e
CH_4	0.409775 kg	× 27.0	11.063925 kg CO_2e
N_2O	0.016391 kg	× 273	4.474743 kg CO_2e
Total		567.94815 + 11.063925 + 4.474743	583.486818 kg CO_2e
Total (tonnes)		÷ 1,000	**0.583 tCO_2e**

Lawn mower result: **0.583 tCO_2e**.

Here the factor of a gasoline company car (Table 3.2.2, CH_4 33 and N_2O 3.2) was not used, because a lawn mower is not a road vehicle. The engine type also matters. For a two-stroke engine the CH_4 assumption would be 130 kg/TJ (N_2O 0.4) and the result in this example would be 0.598 tCO_2e. The engine type on the equipment label is therefore not only maintenance information but methodology information.

> **Attention: Table 3.3.1 is split by sector rows.** This example uses the industry row (CH_4 50 for four-stroke gasoline). In the household and gardening row of the same table, CH_4 for four-stroke gasoline is 120 kg/TJ. If the lawn mower were calculated with this row, the result would be 0.599 tCO_2e. The difference is small, but the row selection and its justification should be recorded.

9. LPG: a stationary combustion example

In this lesson LPG is calculated through the stationary heater in the maintenance workshop. The aim is to keep the methodological distinction clear. Because the data is already in kg (500 kg), no density conversion is made.

For stationary LPG combustion in manufacturing industry, the IPCC Table 2.3 row is used: CO_2 63,100, CH_4 1, N_2O 0.1 kg/TJ.

Step	Value	Operation	Result
Mass	500 kg	÷ 1,000,000 kg/Gg	0.0005 Gg
Energy	0.0005 Gg	× 47.3 TJ/Gg (Gg cancels)	0.02365 TJ
CO_2	0.02365 TJ	× 63,100 kg/TJ	1,492.315 kg CO_2
CH_4	0.02365 TJ	× 1 kg/TJ	0.02365 kg CH_4
N_2O	0.02365 TJ	× 0.1 kg/TJ	0.002365 kg N_2O

Gas	Value	Operation	Result
CO_2	1,492.315 kg	× 1	1,492.315 kg CO_2e
CH_4	0.02365 kg	× 27.0	0.63855 kg CO_2e
N_2O	0.002365 kg	× 273	0.645645 kg CO_2e
Total		1,492.315 + 0.63855 + 0.645645	1,493.599195 kg CO_2e
Total (tonnes)		÷ 1,000	**1.494 tCO_2e**

Stationary LPG heater result: **1.494 tCO_2e**.

> **Attention: Do not copy the stationary LPG factor to an LPG forklift.** A forklift is off-road mobile equipment. Use the factor appropriate to the equipment and technology, or the direct factor set approved by the reporting program. Also, Table 2.3 (manufacturing industries and construction) and Table 2.4 (commercial and institutional) share the CO_2 and N_2O values for LPG, but their CH_4 values differ at 1 and 5 kg/TJ. The workshop heater is inside the manufacturing boundary, so 1 kg/TJ was used. The Table 2.4 row is for heating a commercial building such as an office.

10. Reading the fuel calculations together

Source	Source class	Activity data	Energy (TJ)	Result (tCO_2e)	Share (fuel)
Heavy-duty diesel fleet	Road vehicle	12,000 L	0.43602	32.819	83.4%
Diesel forklift	Off-road	1,500 L	0.0545025	4.470	11.4%
Lawn mower	Off-road (4-stroke gasoline)	250 L	0.0081955	0.583	1.5%
Stationary LPG heater	Stationary combustion	500 kg	0.02365	1.494	3.8%
Fuel total				**39.367**	100%

```
32.8192254 + 4.470286875 + 0.583486818 + 1.493599195 = 39.366598 tCO₂e ≈ 39.367 tCO₂e
```

The sum of the individually rounded items is 39.366. The 0.001 difference comes from rounding, because the total is calculated from unrounded values.

Three quality checks:

1. **Consumption data.** Was stock and purchase reconciliation done? The purchased quantity is not automatically consumption.
2. **Unit conversion.** The litre-to-mass conversion is made only when the factor path requires it.
3. **Source type.** Is the distinction between road vehicle, off-road equipment and stationary combustion visible in the record?

The comparison of the diesel fleet and the diesel forklift is especially instructive. Their CO_2 factor comes from the same assumption, but the N_2O factor is very different. Most of the fuel total comes from diesel in the heavy-duty company vehicles, but these magnitudes depend entirely on the training data.

11. Preparing refrigerant data: charge, leak or service?

The most common mistake in refrigerant calculation is to treat the total gas capacity on the equipment label as annual emission. The fact that an air conditioner or cooling system contains 10 kg of gas does not mean 10 kg is released to the atmosphere every year. Emission is not the gas inside the system (the charge) but the gas that is lost from the system. The quantity added during service to replace the lost gas is a measure of this loss.

The ideal data chain includes:

- Equipment inventory (location, type, gas type, nameplate charge capacity).
- New installations and initial charge quantities.
- Gas added during service.
- Recovered gas.
- Equipment taken out of service and scrapped.
- The organization's own gas stock and cylinder movements.

11.1 Material balance approaches

If the organization tracks its own refrigerant stock in detail, the **full material balance** can be used. This method rests on conservation of gas mass:

```
Emission = (Opening stock − Closing stock)
         + Purchases during the period and gas returned
         − Gas sent out (sold, sent for recovery, sent for disposal)
         − (Closing equipment charge capacity − Opening equipment charge capacity)
```

The last term prevents gas that goes into new equipment from being counted as emission. Gas bought to fill new equipment increases equipment capacity and is therefore not an emission.

The **simplified material balance (service charge approach)** shortens this structure under special conditions. In this lesson the method is used only as an example calculation method, following the logic of the U.S. EPA Center for Corporate Climate Leadership guidance. ISO 14064-1 does not impose this method as the only mandatory method. The method assumes that the quantity of gas purchased for servicing existing equipment replaces the quantity lost during operation.

In our example the following conditions are met:

- The equipment is serviced by an external contractor and service quantities can be obtained from the contractor.
- There is no new equipment installation during the year, so the installation term is zero.
- There is no equipment disposal, so the disposal term is zero.
- No gas conversion (switching from one gas to another) took place during the year.

Under these conditions the annual operating emission estimate equals the service top-up: 1.20 kg R32 and 0.80 kg R134a.

> **Attention: Every kg added during service does not mean emission in every case.** Filling new equipment, servicing existing equipment and scrapping equipment are different material balance terms. Check the conditions of the method first before counting a service top-up as emission.

> **Attention: Do not automatically count the full gas capacity of new equipment pre-charged at the manufacturer as emission in the installation year.** Separate installation, operation and disposal flows according to the material balance method used.

11.2 Data sources and common data mistakes

- **Looking only at purchase invoices.** If the service company added gas from its own stock, there may be no movement in the organization's purchase records, yet there is a real loss in the equipment. Maintenance work orders, service forms and contractor declarations are part of the activity data.
- **Counting every kg of purchased gas as emission.** If the organization bought gas and the cylinder remained in stock, the whole purchased quantity is not emission.
- **Mixing gases.** R32 and R134a have different GWP values and are calculated separately.

12. R32 and R134a: fugitive emission calculation with GWP

Fugitive emissions in this calculation are gas mass times GWP. There is no energy conversion.

Gas	Quantity	GWP (AR6, 100 years)	Operation	Result
R32 (HFC-32)	1.20 kg	771	1.20 kg × 771 kg CO_2e/kg (kg gas cancels)	925.2 kg CO_2e
R134a (HFC-134a)	0.80 kg	1,530	0.80 kg × 1,530 kg CO_2e/kg (kg gas cancels)	1,224 kg CO_2e
Total			925.2 + 1,224	2,149.2 kg CO_2e
Total (tonnes)			÷ 1,000 kg/t	**2.149 tCO_2e**

Refrigerants result: **2.149 tCO_2e**.

This example shows why small gas masses matter. In fuel calculations we see thousands of litres of activity data, while in fluorinated gases even a 1 kg leak turns into a meaningful CO_2e because of the high GWP. In this example 2 kg of gas amounts to 2.149 tCO_2e.

12.1 GWP source and its effect

GWP values change from one assessment report to the next.

Gas	AR4	AR5	AR6
HFC-32 (R32)	675	677	771
HFC-125	3,500	3,170	3,740
HFC-134a (R134a)	1,430	1,300	1,530
HFC-227ea	3,220	3,350	3,600

AR6 is used in this lesson. If the same quantities were calculated with the AR5 set, refrigerants would be 1,852.4 kg CO_2e (about 16% lower than the AR6 result) and fire suppression gas 1,675 kg CO_2e (about 7.5% lower). Randomly mixing AR4, AR5 and AR6 values in the same inventory breaks year-to-year comparison. Apply consistently the set that the program requires and report which set you used. If a ready-made CO_2e factor is based on another GWP set, do not combine its result with the gas-based AR6 calculation without checking compatibility.

13. Older refrigerants and blends: why is R22 not the main example?

13.1 R22 (HCFC-22)

In older training examples you may come across HCFC gases such as R22. R22 is an HCFC with a climate effect (AR6 100-year GWP of 1,960). It is not in the same gas group as HFCs such as R32 and R134a. HCFCs fall under the Montreal Protocol and are not among the seven mandatory gases of the GHG Protocol. The climate effect of these gases is real, but their reporting place in a corporate inventory is determined by the rule of the selected program. The GHG Protocol Corporate Standard allows gases covered by the Montreal Protocol to be reported separately outside the scopes, if relevant.

For this reason the main numerical examples in this lesson are built on the HFCs R32 and R134a, and no number is produced for R22 to enter the total. If the organization has old equipment that uses R22, do not ignore the gas. But instead of silently adding it to the HFC total, apply the separate reporting rule the program prescribes for these gases.

13.2 Refrigerant blends

Many refrigerants are blends, not single gases. For example, R410A is a blend of R32 and R125 in equal parts by mass. Blends carry a double counting risk.

Method	Operation	Result
With the blend GWP	R410A GWP ≈ 0.5 × 771 + 0.5 × 3,740 = 2,255.5	2.0 kg × 2,255.5 = 4,511 kg CO_2e
Component-based	1.0 kg R32 × 771 + 1.0 kg R125 × 3,740	771 + 3,740 = 4,511 kg CO_2e

Both methods give the same result. The mistake is applying both: 4,511 + 4,511 gives the wrong result of 9,022 kg CO_2e. If you calculated with the published GWP for the blend, do not split the same gas quantity into components and add it a second time. If you use the component-based method, do not make a second calculation with the blend GWP. The blend GWP is a weighted average derived from component GWPs, so record the source of the blend value (program table or your own calculation).

> **Main message: air-conditioning gas is not a single calculation category.** The gas identity, reporting scope, method used and GWP source must be determined before the calculation starts.

14. Fire suppression gas: calculating actual release

For fire suppression systems too, the gas type is defined first. The service record of Example Industry Inc. confirms that 0.50 kg of HFC-227ea gas was actually released during the year.

Gas	Quantity	GWP (AR6, 100 years)	Operation	Result
HFC-227ea	0.50 kg	3,600	0.50 kg × 3,600 kg CO_2e/kg (kg gas cancels)	1,800 kg CO_2e
Total (tonnes)			÷ 1,000 kg/t	**1.8 tCO_2e**

Fire suppression gas result: **1.8 tCO_2e**.

The calculation is very short, but data quality is critical.

- **Capacity is not emission.** Even if the total cylinder capacity of the system is, for example, 10 kg, we do not count this capacity as emission every year. 10 kg × 3,600 = 36 tCO_2e would be the wrong result. An actual discharge, a loss during service or a suitable material balance record is required.
- **Identify the gas type.** Not all fire suppression systems use HFCs. There may be CO_2 systems, inert gases or other chemicals. Applying the HFC-227ea GWP to them is methodologically wrong.
- **Separate the records.** Records of a real fire, a test discharge, a service operation and a cylinder replacement should be kept apart. Do not add the same refill record a second time, once as an actual release and again in the material balance calculation.
- **Leaks and venting.** Loss during cylinder filling, leaks at the cylinder valve and connections, and venting for maintenance are also actual releases. They should appear as separate lines in the service record.

15. Result of the selected sources and uncertainty

Source	Activity data	Factor and GWP	Result (tCO_2e)	Share
Heavy-duty diesel road fleet	12,000 L	Tables 3.2.1 and 3.2.2, AR6	32.819	75.8%
Diesel forklift	1,500 L	Table 3.3.1, AR6	4.470	10.3%
Lawn mower	250 L	Table 3.3.1, AR6	0.583	1.3%
Stationary LPG heater	500 kg	Table 2.3, AR6	1.494	3.4%
Refrigerants (R32, R134a)	2.00 kg	AR6 (771 and 1,530)	2.149	5.0%
Fire suppression gas (HFC-227ea)	0.50 kg	AR6 (3,600)	1.800	4.2%
Total of selected sources			**43.316**	100%

```
39.366598 + 2.1492 + 1.8 = 43.315798 tCO₂e ≈ 43.316 tCO₂e
```

Fuel sources make up about 90.9% of the total and gas releases about 9.1%. Gas releases are a very small part of the total mass (2.5 kg), but they have a notable share of the CO_2e total.

> **Attention: This total is not the company's entire Category 1 total or its entire corporate inventory.** Natural gas, process emissions, other vehicles, other cooling systems and other gases in electrical equipment may be outside the scope of this lesson example.

Uncertainty does not come from the same source in every item.

- In fuel CO_2 calculation the main uncertainty is most often activity data and fuel properties.
- CH_4 and N_2O factors are more sensitive to technology, especially for mobile and off-road sources.
- For refrigerants, the completeness of service records and the material balance method used are decisive.

The result table should show not only tCO_2e but also activity data, source class, factor set, GWP set and a method note.

In year-to-year interpretation, separate activity change from method change.

- If you use a generic off-road assumption for the forklift in the first year and switch to an equipment-specific factor in the next, the whole difference is not a real emission change.
- As service record quality improves, refrigerant emission may appear to increase. This does not always mean the physical leak has increased.
- The GWP set used in a single inventory should be reported and any change between years should be noted separately.

16. Current status (September 2026)

Refrigerant legislation and the inventory. In the European Union, fluorinated greenhouse gases are regulated by *Regulation (EU) 2024/573*. It was adopted on 7 February 2024, started to apply on 11 March 2024 and replaced the 2014 F-gas Regulation (517/2014). It provides for the phase-out of HFCs in the EU by 2050 through a quota system and extends leak prevention and gas recovery obligations to additional equipment and gases. This legislation regulates placing on the market and equipment obligations. It does not determine which method and GWP set a corporate GHG inventory uses. For the inventory, the program requirement governs.

Türkiye. The current status of national regulations on fluorinated gases and ozone-depleting substances in Türkiye, and of obligations under the Kigali Amendment to the Montreal Protocol, is summarized in Lesson 12 and should be checked with the sources of the Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change. The calculation method in this material teaches the inventory logic independently of the gas-use obligations of national legislation.

GWP set. The AR6 values used in the calculation are based on the GHG Protocol GWP table Version 2.0 (7 August 2024). If the program in use requires another set (for example AR5), the program requirement takes priority. The value 27.0 for combustion methane follows the GHG Protocol. Some practitioners recommend 27.9 from the AR6 table for combustion CH_4. In this lesson the program requirement or the GHG Protocol approach is followed and the choice is documented.

17. Verification with Python

The code below recalculates all numbers in this material.

```
from decimal import Decimal as D

def fuel(kg, ncv, ef, gwp):
    gg = kg / D(10**6)
    tj = gg * ncv
    gases = [tj * e for e in ef]
    co2e_kg = sum(g * k for g, k in zip(gases, gwp))
    return tj, gases, co2e_kg

gwp = (D(1), D(27), D(273))

# Road diesel fleet: 12000 L, 0.845 kg/L
kg = D(12000) * D(845) / D(1000)
fleet = fuel(kg, D(43), (D(74100), D(39) / D(10), D(39) / D(10)), gwp)

# Diesel forklift: 1500 L, off-road industry
kg = D(1500) * D(845) / D(1000)
fork = fuel(kg, D(43), (D(74100), D(415) / D(100), D(286) / D(10)), gwp)

# Gasoline lawn mower: 250 L, 0.740 kg/L, four-stroke
kg = D(250) * D(740) / D(1000)
mower = fuel(kg, D(443) / D(10), (D(69300), D(50), D(2)), gwp)

# Stationary LPG heater: 500 kg, Table 2.3
lpg = fuel(D(500), D(473) / D(10), (D(63100), D(1), D(1) / D(10)), gwp)

fuel_t = sum(x[2] for x in (fleet, fork, mower, lpg)) / D(1000)

# Gas releases
r32 = D(12) / D(10) * D(771)
r134a = D(8) / D(10) * D(1530)
fire = D(5) / D(10) * D(3600)
gas_t = (r32 + r134a + fire) / D(1000)

print(fleet[0], fleet[1], fleet[2] / 1000)
print(fork[0], fork[1], fork[2] / 1000)
print(mower[0], mower[1], mower[2] / 1000)
print(lpg[0], lpg[1], lpg[2] / 1000)
print(fuel_t, r32, r134a, (r32 + r134a) / 1000, fire / 1000)
print(fuel_t + gas_t)
```

Main lines of the expected output: road fleet 0.43602 TJ and 32.8192254 t, forklift 0.0545025 TJ and 4.470286874625 t, lawn mower 0.0081955 TJ and 0.583486818 t, LPG 0.02365 TJ and 1.493599195 t, fuel total 39.366598287625 t, R32 925.2 kg, R134a 1,224 kg, fire suppression gas 1.8 t, grand total 43.315798287625 t.

Exercises (with answers)

Exercise 1: Error hunter

Find and correct the following ten mistakes. The answers are given in the table.

Mistake	Why it is a problem	Correct approach
1. Applying the same CH_4 and N_2O factor to a road vehicle and off-road equipment	The diesel N_2O factor is 3.9 kg/TJ for a road vehicle and 28.6 kg/TJ for off-road industry	Select the IPCC table that fits the source class
2. Treating purchased fuel as consumption without a stock check	The difference between opening and closing stock is missed	Consumption = opening stock + purchases − closing stock
3. Treating density as a universal constant	Density depends on the fuel specification and temperature	Use supplier data, 0.845 and 0.740 are training assumptions only
4. Applying the AR6 fossil fugitive value 29.8 to combustion methane	Oxidation is already counted in combustion CO_2, creating double counting	Use 27.0 for combustion CH_4
5. Copying the stationary LPG heater factor to an LPG forklift	A forklift is off-road mobile equipment	Factor suited to the equipment or the set approved by the program
6. Counting the full gas capacity of cooling equipment as annual leak	Charge is not emission, lost gas is emission	Use the service top-up or a material balance
7. Counting a service top-up as emission without checking method conditions	New installation and disposal terms are separate	Verify the conditions of the simplified method
8. Adding an HCFC such as R22 as if it were in the same gas group as HFCs	HCFCs fall under the Montreal Protocol, the reporting place depends on the program rule	Report separately, do not add silently to the HFC total
9. Counting a blend gas both with the blend GWP and with a component calculation	The same emission is counted twice	Choose a single method
10. Using fire cylinder capacity instead of actual release	Capacity is not emission	Use the actual release in the service and discharge record

Exercise 2: Stock reconciliation

In the fuel record of the diesel fleet, opening stock is 2,000 L, purchases during the period are 11,500 L and closing stock is 1,500 L. What is consumption, and what would the result be if the purchased quantity were taken directly as consumption?

Answer: Consumption = 2,000 + 11,500 − 1,500 = 12,000 L. This equals the main example and the result is 32.819 tCO_2e. If 11,500 L were taken as consumption, energy would be 0.4178525 TJ and the result 31.452 tCO_2e, an understatement of about 1.367 tCO_2e.

Exercise 3: Data in energy units

The fleet management system gives diesel consumption directly as 0.43602 TJ. Would you apply the density and NCV steps?

Answer: No. Because the activity data is reliably in energy units, it is multiplied directly by the factors: 0.43602 TJ × 74,100 kg/TJ = 32,309.082 kg CO_2. Repeating the density and NCV conversion is unnecessary.

Exercise 4: Wrong factor row

What happens if the road vehicle row (CH_4 3.9 and N_2O 3.9) is applied to the diesel forklift?

Answer: For 0.0545025 TJ, CO_2 is 4,038.63525 kg, CH_4 0.21256 kg and N_2O 0.21256 kg. Total CO_2e is 4.102 tCO_2e. Since the correct value is 4.470 tCO_2e, the result is understated by about 0.368 tCO_2e (about 8%).

Exercise 5: Material balance

An organization's R32 stock is 5 kg at the start of the period and 4 kg at the end. During the period 3 kg of R32 was purchased and no gas was sent out. Of this purchase, 2 kg was used for the initial charge of a new air conditioner, and equipment charge capacity increased by 2 kg. How many tCO_2e is the R32 emission (AR6)?

Answer: Emission = (5 − 4) + 3 − 0 − 2 = 2 kg R32. 2 kg × 771 = 1,542 kg CO_2e = 1.542 tCO_2e. The 2 kg that went into the new air conditioner is not emission, it increased equipment capacity. Without the capacity increase term, 4 kg and 3.084 tCO_2e would have been found.

Exercise 6: Blend

2.0 kg of R410A was added during service. Calculate the result with both methods and show the effect of double counting.

Answer: With the blend GWP, 2.0 × 2,255.5 = 4,511 kg CO_2e. Component-based, 1.0 × 771 + 1.0 × 3,740 = 4,511 kg CO_2e. Both are correct, but adding them gives 9,022 kg CO_2e and the result doubles.

Exercise 7: GWP set sensitivity

What would the result be if the R32 and R134a service top-ups were calculated with the AR5 GWP set (677 and 1,300)?

Answer: 1.20 × 677 + 0.80 × 1,300 = 812.4 + 1,040 = 1,852.4 kg CO_2e = 1.852 tCO_2e. The AR6 result is 2.149 tCO_2e, a difference of about 16%. This is why the GWP set must be reported.

Summary

- Within Category 1 there are two calculation paths: fuel combustion (fuel → energy → gas-specific factor → GWP) and direct gas release (gas mass → GWP).
- The same fuel receives a different factor by source class. For diesel, road vehicle is 3.9 and 3.9, off-road industry 4.15 and 28.6 kg/TJ (CH_4 and N_2O).
- The Table 3.2.2 diesel value is based on a European heavy-duty diesel truck. It is not used automatically for passenger cars and light commercial vehicles.
- Fuel results: diesel fleet 32.819, forklift 4.470, lawn mower 0.583, stationary LPG 1.494 tCO_2e. Fuel total 39.367 tCO_2e.
- GWP 27.0 is used for combustion CH_4. 29.8 is for fossil fugitive and process methane.
- For refrigerant, emission is the lost gas, not the charge capacity. In the simplified material balance, when the conditions are met, the service top-up is the operating emission estimate.
- R32 925.2 kg, R134a 1,224 kg, total 2.149 tCO_2e. HFC-227ea actual release 1.8 tCO_2e.
- HCFC gases such as R22 are not silently added to the HFC total. Blends are calculated with a single method.
- The total of the selected sources is 43.316 tCO_2e and is not the entire inventory.
- Evidence chain: fuel card and stock record, equipment and source class, service forms, gas identity, factor table and GWP set.

Knowledge check (with answers)

1. Why did the diesel forklift not use the same CH_4 and N_2O factors as the heavy-duty diesel road fleet? Answer: The source type and technology are different. The forklift is off-road industrial equipment (Table 3.3.1: CH_4 4.15, N_2O 28.6). The road fleet uses the Table 3.2.2 row (3.9 and 3.9).

2. How many TJ is 12,000 L of diesel (with the training assumptions)? Answer: 12,000 × 0.845 = 10,140 kg = 0.01014 Gg. 0.01014 × 43 = 0.43602 TJ.

3. Which GWP was used for combustion CH_4 and why? Answer: 27.0. 29.8 is for fossil fugitive and process methane and creates double counting when combustion CO_2 is calculated separately.

4. If fuel data is already in TJ, is a density conversion made? Answer: No. Reliable data in energy units is multiplied directly by the factors.

5. Can the stationary LPG heater factor be applied to an LPG forklift? Answer: No. A forklift is off-road mobile equipment. A factor suited to the equipment or a set approved by the program should be used.

6. Why did we count the R32 service top-up as emission? Answer: In the training example the conditions of the simplified material balance were defined: servicing of existing equipment, no new installation or disposal, no gas conversion. No generalization is made without checking these conditions.

7. Is 10 kg of gas inside an air conditioner an annual emission? Answer: No. Emission is the gas lost from the system, not the charge quantity.

8. Why was R22 not added to the HFC total? Answer: R22 is an HCFC and falls under the Montreal Protocol. Its reporting place is determined by the rule of the selected program.

9. What happens if R410A emission is calculated both with the blend GWP and with components and the two are added? Answer: The same emission is counted twice. A single method must be chosen.

10. Why was there no energy conversion in the HFC-227ea calculation, and why was cylinder capacity not used? Answer: The mass of directly released gas is converted with GWP, and since it is not a fuel there is no energy conversion. Capacity is not emission, and actual release is determined from the service record.

Key concepts glossary (TR – EN)

Türkçe	English
faaliyet verisi	activity data
emisyon faktörü	emission factor
net kalorifik değer (NKD), alt ısıl değer	net calorific value (NCV), lower heating value
küresel ısınma potansiyeli (KIP)	global warming potential (GWP)
karbondioksit eşdeğeri (CO_2e)	carbon dioxide equivalent (CO_2e)
doğrudan emisyon	direct emission
Kategori 1 (doğrudan sera gazı emisyonları ve uzaklaştırmaları)	Category 1 (direct GHG emissions and removals)
hareketli yanma	mobile combustion
sabit yanma	stationary combustion
yol taşıtı	road vehicle
yol dışı ekipman	off-road equipment
kaçak emisyonlar	fugitive emissions
soğutucu akışkan	refrigerant
malzeme dengesi	material balance
servis şarjı	service charge
karışım soğutucu	refrigerant blend
yangın söndürme gazı	fire suppression gas
florlu sera gazı (F-gaz)	fluorinated greenhouse gas (F-gas)
hidroflorokarbon (HFC)	hydrofluorocarbon (HFC)
hidroklorofluorokarbon (HCFC)	hydrochlorofluorocarbon (HCFC)
yoğunluk	density
birim iptali	unit cancellation
çift sayım	double counting
sera gazı envanteri	GHG inventory

Sources and currency note

- ISO 14064-1:2018, Greenhouse gases, Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals.
- ISO/TS 14064-4:2025, Greenhouse gases, Part 4: Guidance for the application of ISO 14064-1.
- IPCC, *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, Volume 2 Energy, Chapter 1 Table 1.2 (NCV: diesel 43.0, motor gasoline 44.3, LPG 47.3 TJ/Gg), Chapter 2 Tables 2.3 and 2.4 (stationary combustion), Chapter 3 Tables 3.2.1, 3.2.2 (road transport) and 3.3.1 (off-road). https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/
- IPCC, *AR6 WG1*, Chapter 7, Table 7.15 (100-year GWP).
- GHG Protocol, *IPCC Global Warming Potential Values*, Version 2.0, 7 August 2024 (AR6: non-fossil CH_4 27.0, fossil CH_4 29.8, N_2O 273, HFC-32 771, HFC-125 3,740, HFC-134a 1,530, HFC-227ea 3,600, HCFC-22 1,960).
- U.S. EPA Center for Corporate Climate Leadership, *Direct Fugitive Emissions from Refrigeration, Air Conditioning, Fire Suppression, and Industrial Gases* (material balance and simplified material balance approaches).

- GHG Protocol, *Corporate Accounting and Reporting Standard* and the required greenhouse gases note (seven gases and separate reporting of Montreal Protocol gases).
- European Union, *Regulation (EU) 2024/573 on fluorinated greenhouse gases*, 7 February 2024. https://climate.ec.europa.eu/areas-action/fluorinated-greenhouse-gases/f-gas-legislation_en
- SATSO-SUBÜ Training Program, Lesson 16 objectives and content description, and the TSE TS EN ISO 14064-1 training presentation (Category 1 source classification).

Currency note: Information is current as of September 2026. The GWP set, factors and gas scope may change with the requirement of the reporting program. For the current status of fluorinated gas legislation in Türkiye, see Lesson 12 and the Ministry sources. In a real inventory study, official sources should be checked again.