

# İklim Değişikliğiyle Mücadelede Metan Emisyonlarının Rolü ve Türkiye için Politika Önerileri



daktilo 1984



2050



---

İklim Değişikliğiyle Mücadelede Metan Emisyonlarının Rolü ve Türkiye için Politika Önerileri

© 2024, **Daktilo1984.com**

Editör İbrahim Enes Özkan

Proje yazarları: Dr. Akın Ayberk Çilekoğlu (Climate Union) ve Selim Yıldırım (Daktilo1984 ve TOBB ETÜ)

Tasarım: Burak Reis

Bu çalışma, Daktilo1984'ün iklim konusunu iktisadi kalkınma ve çerçevesinde inceleyen ve politika geliştiren Asterisk2050 birimi ile Climate Union iş birliğiyle üretilmiştir.

Asterisk2050'nin diğer çalışmaları için bkz. [daktilo1984.com/asterisk2050](http://daktilo1984.com/asterisk2050)

İletişim: [asterisk2050@daktilo1984.com](mailto:asterisk2050@daktilo1984.com)

[info@climateunion.earth](mailto:info@climateunion.earth)

# İçindekiler

- 2** YÖNETİCİ ÖZETİ
- 4** KISALTMALARIN ÖZETİ
- 5** GİRİŞ - METAN EMİSYONLARININ İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNE ETKİSİ
- 7** METAN EMİSYONLARININ KAYNAKLARI
- 10** ENERJİ SEKTÖRÜNDE METAN EMİSYONLARI
- 13** TARIM SEKTÖRÜNDE METAN EMİSYONLARI
- 15** ATIK SEKTÖRÜNDE METAN EMİSYONLARI
- 17** DOĞAL KAYNAKLARDAN OLUŞAN METAN EMİSYONLARI
- 19** METAN EMİSYONLARINA İLİŞKİN EYLEMLER
- 27** TÜRKİYE'DEKİ EYLEMLER VE ÖNERİLER
- 30** SONUÇ VE ÖNERİLER
- 31** REFERANSLAR
- 35** GRAFİK KAYNAKLARI

# Asterisk2050

## İklim Değişikliğiyle Mücadelede Metan Emisyonlarının Rolü ve Türkiye için Politika Önerileri

### Yönetici Özeti

Metan (CH<sub>4</sub>) küresel ısınmaya önemli ölçüde katkıda bulunan güçlü bir sera gazıdır. Bilimsel çalışmalar, Sanayi Devrimi'nden bu yana küresel sıcaklıklardaki artışın yaklaşık %20-30'unun metan emisyonlarından kaynaklandığını göstermektedir. Atmosferik metanın 2030 yılına kadar %13'e kadar artabileceği göz önünde bulundurulduğunda, küresel ısınmayı sanayi öncesi dönemin 1,5°C (santigrat derece) üzerinde sınırlamak ve 2050 yılına kadar net sıfır hedefine ulaşmak için metan emisyonlarının azaltılması hayati önem taşımaktadır. Gezegeni aşırı derecede ısıtmanın yanı sıra, troposferik (yer seviyesi) ozon oluşumu yoluyla insan sağlığını, mahsul verimini ve bitki örtüsünün sağlığını da etkilemektedir. Bu nedenle, küresel ısınmanın hızlanması gezegeni kritik ekolojik eşikleri aşmaya zorlayabileceğinden ve iklim değişikliğinin durdurulamaz sonuçlarına yol açabileceğinden, metan emisyonlarının derhal azaltılması gerekmektedir.

Metan, karbondioksitten sonra en bol bulunan ikinci sera gazıdır ve iklim değişikliği üzerinde ciddi etkileri vardır. Karbondioksit kiyasla

metan, atmosferde yaklaşık on yıl gibi çok daha kısa bir süre kalır, ancak metan emisyonları 20 yıllık bir süre zarfında gezegen üzerinde karbon emisyonlarına kıyasla 80-86 kat daha güçlü bir ısınma etkisine sahiptir. Metan emisyonları günümüzün gelişmiş teknolojileri ile daha doğru ve güvenilir bir şekilde tespit edilip ölçülebilmektedir. Metan salımlarını engellemek için daha kolay ve uygun maliyetli çözümler bulunmaktadır ve metan salımlarının azaltılması kısa vadede küresel ısınmayı daha etkili bir şekilde sınırlandırabilir. Çeşitli çalışmaların gösterdiği üzere, insan kaynaklı metan emisyonları önemli ölçüde azaltılabilir ve Paris Anlaşması ile uyumlu olarak küresel ısınmanın 1,5°C ile sınırlandırılmasına olanak tanıyabilir.

Veriler, küresel metan emisyonlarının %40'ının doğal kaynaklardan (örneğin tatlı sular ve sulak alanlar), %60'ının ise antropojenik kaynaklardan ortaya çıktığını göstermektedir. Antropojenik kaynaklar arasında, tarımsal faaliyetler (hayvancılık, pirinç üretimi, mahsul yakma ve hayvan gübresi) metan emisyonlarının en yüksek payını temsil ederken, bunu enerji sektörü (özellikle petrol ve gaz sektörlerinde

havalandırma ve alevlendirme, kömür madenleri ve biyoenerji) ve atık (kentsel biyolojik olarak parçalanabilir katı atık ve atık su) takip etmektedir. Dolayısıyla, metan emisyonlarının büyük bir kısmı uygun önlemlerle azaltılabilir ve bu da özel sektörde kârlı fırsatlar yaratabilir.

Metan emisyonları önemli bir uluslararası endişe kaynağıdır ancak metan azaltım stratejileri yakın zamana kadar yeterli ilgiyi görmemiştir. Bugüne kadarki en iddialı küresel girişim, COP26'da tanıtılan ve 150'den fazla ülkenin onayını alan Küresel Metan Taahhüdü (GMP - Global Methane Pledge) olmuştur. Paris Anlaşması'nın hedefleriyle uyumlu olan GMP'ye katılan ülkeler, 2030 yılına kadar metan emisyonlarını 2020 yılına kıyasla en az %30 azaltmayı gönüllü olarak taahhüt etmişlerdir. Tahminler, Küresel Metan Taahhüdü'ne bağlı kalmanın 2050 yılına kadar küresel ısınmayı en az 0,2°C azaltabileceğini, 26 milyon ton ürün kaybını önleyebileceğini, 255.000 erken ölümü engelleyebileceğini, astımla ilgili 775.000 hasta vakasını azaltabileceğini ve aşırı sıcak hava koşulları nedeniyle 73 milyar kayıp iş saatini ortadan kaldıracabileceğini göstermektedir.

Dünya genelindeki metan politikaları ülkeden ülkeye göre değişiklik gösterse de kamu otoriteleri son yıllarda düşük maliyetli metan azaltma fırsatlarının farkına varmaya başlamıştır. ABD, Avrupa Birliği, Çin ve Rusya gibi önde gelen uluslararası aktörlerin metan emisyonlarını azaltmaya yönelik girişimleri, küresel çevre politikaları üzerindeki önemli etkileri nedeniyle hayati önem taşımaktadır.

ABD, 2022 Enflasyon Azaltma Yasası kapsamında petrol ve gaz endüstrilerini hedef

alan bir metan vergisi getirerek önemli bir adım atmıştır. Avrupa Birliği 2020 yılında bir metan stratejisi uygulamaya koydu ve Sınırdan Karbon Düzenleme Mekanizması'na (SKDM) benzer şekilde, ABD ile iş birliği içinde enerji ithalatından kaynaklanan metan emisyonlarını engellemek için bir politika hazırlamaktadır. Ancak Rusya, Ukrayna krizinin ardından emisyon azaltma politikalarında bir gerileme yaşamıştır.

Bu rapor, kaynaklara göre metan emisyonlarını ve bunları azaltmaya yönelik çözümleri özetlemekte, Türkiye için metan emisyonlarının azaltılmasına yönelik politika önerilerinde bulunmaktadır. Türkiye'nin metan emisyonları tüm sera gazlarının yaklaşık %12'sini oluşturmakta olup, en büyük katkı tarımdan (%61,4), ardından enerji ve atık sektörlerinden (her biri %19,3) gelmektedir. Türkiye, kilit sektörler olan enerji, tarım ve atık sektörlerinden kaynaklanan metan emisyonlarını azaltmak için ulusal bir strateji oluşturabilir. Çeşitli bakanlıkların iş birliği, kamu kurumlarının eğitimi ve yeterli kaynak tahsisi ile bir dizi politika aracının kullanılması, etkin uygulama ve uyum sağlayacaktır. Ayrıca, metan emisyonlarının izlenmesi, raporlanması ve modellenmesi için veri toplama ve yönetiminin iyileştirilmesi şarttır.

Bu raporda önerilen metan azaltım stratejileri Türkiye'nin boşa harcanan enerjiyi değerlendirmesine ve enerji güvenliğini artırmasına; hava kirliliğini ve buna bağlı sağlık sorunlarını ve ölümleri azaltmasına; diplomatik ilişkileri geliştirmesine; tarımsal faaliyetlerde verimliliği ve inovasyonu artırmasına; biyolojik olarak parçalanabilen atıkları zengin gübre ve biyogaza dönüştürmesine ve pirinç ekiminde su tüketimini azaltmasına olanak sağlayabilir.

## Kısaltmaların Listesi

°C: santigrat derece (degrees Celsius)

CCAC: İklim ve Temiz Hava Koalisyonu (Climate and Clean Air Coalition)

CFC: Kloroflorokarbon

CO<sub>2</sub>: karbondioksit

COP: Taraflar konferansı

AB: Avrupa Birliği

ABD: Amerika Birleşik Devletleri

GMP: Küresel Metan Taahh¼dü (Global Methane Pledge)

IEA: Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency)

IMEO: International Methane Emissions Observatory

IMF: Uluslararası Para Fonu (International Monetary Fund)

Mt: milyon ton

SKDM: Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması

UNEP: Birleşmiş Milletler Çevre Programı (United Nations Environment Programme)

UNFCCC: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (United Nations Framework Convention on Climate Change)

## Giriş

Metan (CH<sub>4</sub>), atmosferik ısınmayla ilgili insan faaliyetlerinin yaklaşık beşte birinden sorumlu olan renksiz ve kokusuz güçlü bir sera gazıdır. Bilim insanları, Sanayi Devrimi'nden bu yana küresel sıcaklıklardaki artışın %20-30'unun metandan kaynaklandığını belirtmektedir. Tahminlere göre atmosferdeki metan miktarının 2030 yılına kadar %13'e kadar artması beklenmektedir. Bu nedenle metan emisyonları derhal azaltılmalıdır, çünkü küresel ısınma hızlandıkça, iklim değişikliğinin etkileri daha sık ve şiddetli hale gelecek, dolayısıyla dünyayı ve canlı yaşamını daha ciddi şekilde tehdit edecektir.

Sera gazlarının iklim üzerindeki etkisini atmosferde kalma süreleri ve enerji emme kabiliyetleri belirler. Karbondioksit (CO<sub>2</sub>) atmosferde yüzyıllarca kalırken, metan yaklaşık on yıl gibi çok daha kısa bir atmosferik ömre sahiptir. Hidroflorokarbonlar (HFC) ve azot oksitler gibi kısa ömürlü bir iklim kirleticisi (SLCP) olan metan, parçalanmadan önce atmosferde ortalama dokuz yıl kalır. Bununla birlikte, metan çok daha fazla enerji emer, bu nedenle küresel ısınma üzerinde karbondioksitten daha güçlü bir etkiye sahiptir. Daha açık bir ifadeyle metan, karbondioksite kıyasla 20 yılda 80-86 kat, 100 yılda ise 28 kat daha güçlü bir ısınma etkisine sahiptir. Bu nedenle metan emisyonlarının azaltılması, iklim değişikliğiyle mücadele için kısa vadede atılabilecek en etkili adımlardan biri olarak kabul edilmektedir.

Metan azaltımı, iklim politikası için kolay ulaşılabilecek bir hedef olarak kabul edilmektedir,

çünkü karbondioksite kıyasla metan emisyonlarının azaltılması kısa vadede küresel ısınmayı daha etkili bir şekilde sınırlandırabilir. Gezegeni ısıtma gücüne ve nispeten daha kolay çözülecek bir problem olmasına rağmen metan, iklim politikasında karbondioksite kıyasla daha çok geri planda kalmış ve son yıllara kadar metanın rolü göz ardı edilmiştir. Politika yapıcılar öncelikli olarak karbondioksite odaklanmışlardır, ancak metanın karbondioksitten çok daha güçlü bir sera gazı olarak küresel ısınmayı artırmadaki önemli rolü, zaman içerisinde metanın yarattığı tehdidin farkına varılmasını sağlamıştır.

Karbondioksitten sonra en bol bulunan ikinci sera gazı olan metan emisyonlarının azaltılması, küresel ısınmanın 2015 Paris Anlaşması'nın hedefi olan sanayi öncesi dönemin 1.5°C (santigrat derece) üzerinde sınırlandırılması ve 2050 yılına kadar net sıfır hedefine ulaşılması için hayati önem taşımaktadır. İklim ve Temiz Hava Koalisyonu (CCAC) ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı'nın (UNEP) Küresel Değerlendirme Raporu, insan kaynaklı metan emisyonlarının bu on yıl içinde %45 oranında azaltılabileceğini ve 2045 yılına kadar yaklaşık 0,3°C'lik küresel ısınmanın önüne geçilerek Paris Anlaşması ile uyumlu şekilde 1,5°C ile sınırlandırılabilceğini öne sürmektedir.

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) metanın iklim değişikliğiyle mücadeledeki kritik rolünü vurgulamakta ve metan emisyonlarının Küresel Metan Taahhüdü'nde belirtildiği üzere 2030 yılına kadar en az %30 oranında azaltılmasının küresel ısınmayı 1.5°C sıcaklık sınırında tutabileceğini belirtmektedir. Ayrıca IMF'nin yaptığı bir çalışma, ton CO<sub>2</sub> eş-

değeri başına 70 dolarlık bir küresel metan fiyatının, küresel ısınmanın 2°C seviyenin altında sınırlandırılmasıyla uyumlu olarak metan emisyonlarını yeterince azaltabileceğini öne sürmektedir.

Metan sadece iklim değişikliğini şiddetlendirmekle kalmaz, aynı zamanda troposferik (yer seviyesi) ozon oluşumu yoluyla insan sağlığını, mahsul verimini ve bitki örtüsünün sağlığını da etkiler. Metanın kendisi insan sağlığı ve mahsul üretimi üzerinde doğrudan bir etkiye sahip değildir, ancak troposferik ozonda gözlenen artışın yarısından sorumludur. Bu da solunum sistemlerine zarar vererek ve kronik hastalıklara neden olarak insan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Metanın küresel olarak 1 milyon solunum yolu kaynaklı ölüme neden olduğu tahmin edilmektedir. BM Çevre Programı, metanın erken ölümlere neden olan yer seviyesindeki ozon maruziyetinin oluşumuna katkıda bulunduğunu öne sürer. Dolayısıyla metan emisyonlarının azaltılması hava kalitesini iyileştirecek ve erken ölümlerin önemli ölçüde önlenmesine yardımcı olacaktır. Ayrıca, UNEP ve CCAC Küresel Değerlendirme Raporu, metan emisyonlarının işgücü verimliliğini azalttığını ve aşırı sıcaklık ve halk sağlığı etkileri nedeniyle yılda 400 milyon saat iş kaybına neden olduğunu belirtmektedir.

Dolayısıyla, metan emisyonlarının hızla azaltılması sadece yakın vadede küresel ısınmayı sınırlamak ve küresel ısınmanın en kötü etkilerini önlemekle kalmayacak, aynı zamanda hava kalitesini de önemli ölçüde iyileştirecektir.

Hem ölçüm hem de azaltma alanındaki teknolojik gelişmeler metan emisyonlarını tespit etme ve önleme kabiliyetini artırmıştır.

Metan sızıntılarının tespitine ilişkin bilgi eksikliği devam etmektedir ancak son yıllarda bilim insanları metan emisyonlarını tespit etmek için uydu görüntülemesini giderek daha fazla kullanmaktadır , ancak. Uydu görüntüleme teknolojik gelişmeler sayesinde, genellikle 'kaçak' metan emisyonları olarak adlandırılan metan sızıntısının gerçek hacmi artık daha doğru bir şekilde ölçülebilmektedir. Bu teknoloji aynı zamanda bu tür verileri açıklamakta tereddüt eden bölgelerdeki metan emisyonlarının tespit edilebilmesine de yardımcı olmaktadır.

Geçmişte hükümetler metan emisyonlarını ölçmek ve emisyon envanterlerini Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne (UNFCCC) sunmak için aşağıdan yukarıya (bottom-up) veya ulusal envanter metodolojisi adı verilen yöntemi kullanmıştır. Bu metodoloji, ulusal düzeyde metan yayan faaliyetlerden elde edilen istatistiklere ve bir metan emisyon faktörüne dayanmaktadır. Hükümetler toplam metan emisyonlarını, Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) kılavuz ilkelerine dayanarak, emisyon yayan faaliyetin büyüklüğünü (örneğin çıkarılan kömür miktarı veya bir çiftlikte yaşayan inekler) her bir faaliyetten kaynaklanan yaklaşık emisyon değerleri ile çarparak hesaplamaktadır. Ancak bu metodoloji her zaman doğru bilgi sağlamamakta ve belirsizlikler yaratmaktadır. Çünkü metan emisyon faktörü yerel özellikleri (her bir ton kömür veya her bir ineğin sindirim sistemi) dikkate alsa bile, her bir faaliyet farklı seviyelerde metan emisyonu üretebilir.

Kullanılan diğer metodoloji ise yukarıdan aşağıya veya atmosferik gözlemler yaklaşımı olarak adlandırılır. Bu yaklaşım büyük ölçüde kulelerden, uçaklardan, drone'lardan ve uydulardan uzaktan algılama gibi gelişmiş



metan algılama teknolojilerine dayanır. Analistler günümüzün gelişmiş teknolojilerini kullanarak emisyonları tek tek tesisler ve bölgeler düzeyinde izleyebilmektedir. Yukarıdan aşağıya yaklaşım son yıllarda giderek daha yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmış ve analistlerin daha önce kullanılan aşağıdan yukarıya metodolojisinin metan emisyonlarını daha düşük seviyelerde ölçümlendiğini keşfetmelerini sağlamıştır.

## Metan Emisyonlarının Kaynakları

Metan emisyonları birden fazla kaynaktan üretilmektedir. Küresel Metan Bütçesi'nin verilerine göre, her yıl açığa çıkan 580 mt (milyon ton) metan emisyonunun %40'ı doğal kaynaklardan, %60'ı ise antropojenik kaynaklardan (insan kaynaklı) oluşmaktadır.

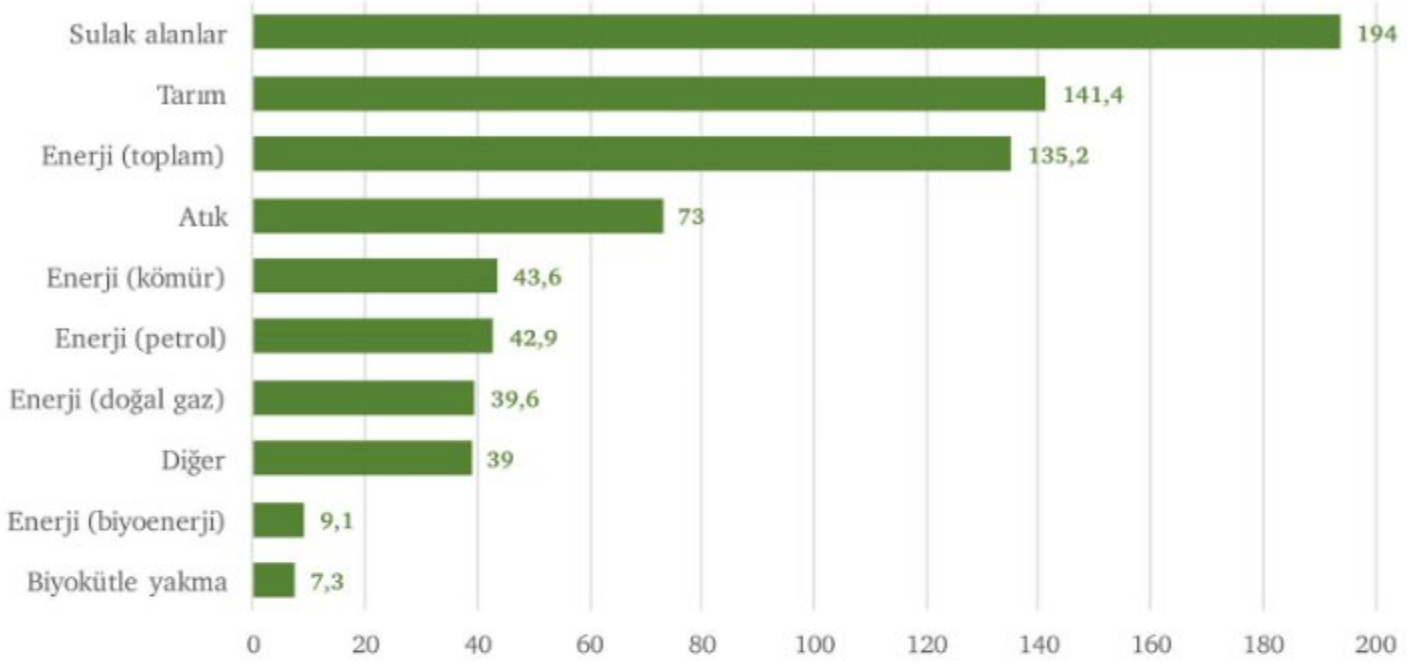
Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) Küresel Metan İzleyicisi (Global Methane Tracker) 2022'den elde edilen veriler, çeşitli kaynaklardan kaynaklanan yıllık metan emisyonları hakkında bilgi vermektedir. Grafik 1, yıllık küresel metan emisyonlarını milyon ton olarak göstermektedir. En çok metan emisyonuna sebep olan 194 mt ile sulak alanlardır ve 39 mt metan ise diğer doğal kaynaklardan yayılmaktadır; doğal kaynaklardan kaynaklanan metan emisyonlarını tarım sektörü (141.4 mt), enerji sektörü (135.2 mt), atık sektörü (73 mt) ve biyokütle yakma (7.3 mt) izlemektedir. Grafik 2 ise her bir metan emisyon kaynağının toplam metan emisyonları içindeki payını göstermektedir. Sulak alanlardan kaynaklanan emisyonlar, toplam metan emisyonlarının %26,75'ini oluşturmaktadır. Tarım, enerji ve atık

sektörleri, toplam metan emisyonlarının sırasıyla %19,50, %18,65 ve %10,07'sinden sorumludur. Diğer doğal kaynaklar salınan toplam metanın %5,38'ini oluştururken, biyokütle yakma metan emisyonlarının %1,01'inden sorumludur.

2017'deki en son tahminlere dayanan 2021 Küresel Metan Değerlendirmesi raporu, faaliyetlerin kaynağına göre ayırt edilen doğal ve insan kaynaklı (antropojenik) metan emisyonları hakkında veri sağlamaktadır. Bu veriler aşağıdan yukarı yöntemi ile yapılan ölçümlere dayanmaktadır. Doğal kaynaklardan kaynaklanan yıllık toplam metan emisyonları yaklaşık 367 mt'ye karşılık gelirken, antropojenik emisyonlar yaklaşık 380 mt'dir. Yukarıdan aşağıya metodolojisine dayanan tahminler, metan emisyonlarının 232 mt'unun doğal kaynaklardan kaynaklandığını -ki bu aşağıdan yukarıya metodolojisi ile yapılan çalışmalardan önemli ölçüde farklıdır- ve 364 mt metan emisyonunun antropojenik olduğunu göstermektedir.

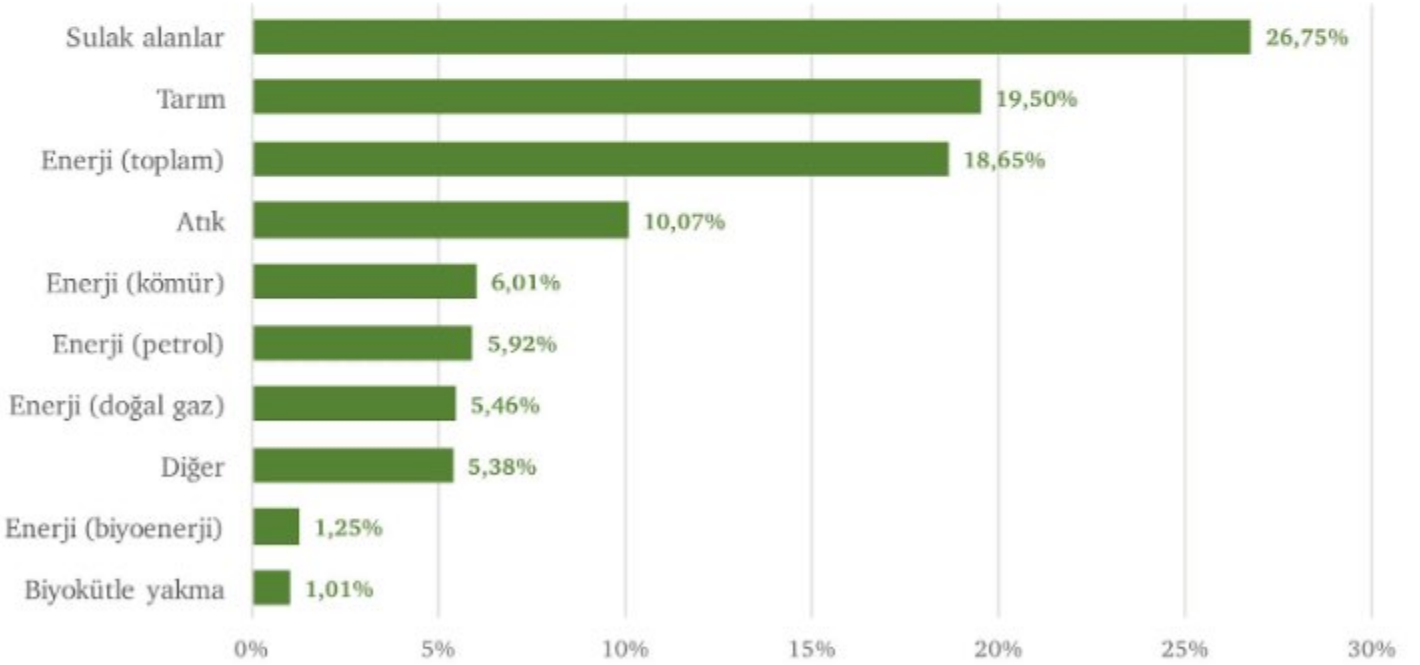
2021 yılı Küresel Metan Değerlendirmesi raporu, küresel olarak toplam antropojenik ve doğal metan emisyonlarına ilişkin verileri sunmaktadır. Aşağıdan yukarıya metodolojisine dayalı olarak toplanan bu veriler kaynaklarına göre ayırt edilmiştir ancak yukarıdan aşağıya metodu ile ölçülen doğal ve insan kaynaklı metan emisyonlarına ilişkin veriler toplam düzeyde verilmektedir, yani kaynak bazlı ayrımı yapılmamıştır. Bu nedenle, grafiklerde küresel metan salımlarında her bir kaynağın katkısını daha iyi göstermek için aşağıdan yukarıya metodolojiye dayalı veriler kullanılmıştır. Mevcut aşağıdan yukarı metodu ile toplanan veriler metan emisyonlarının tahmini değerleridir, bu nedenle IEA'nın Küresel Metan İzleyicisi gibi diğer veri kaynaklarıyla tam olarak uyuşmamaktadır.

## Kaynaklarına Göre Metan Emisyonları 2021 (Mt)



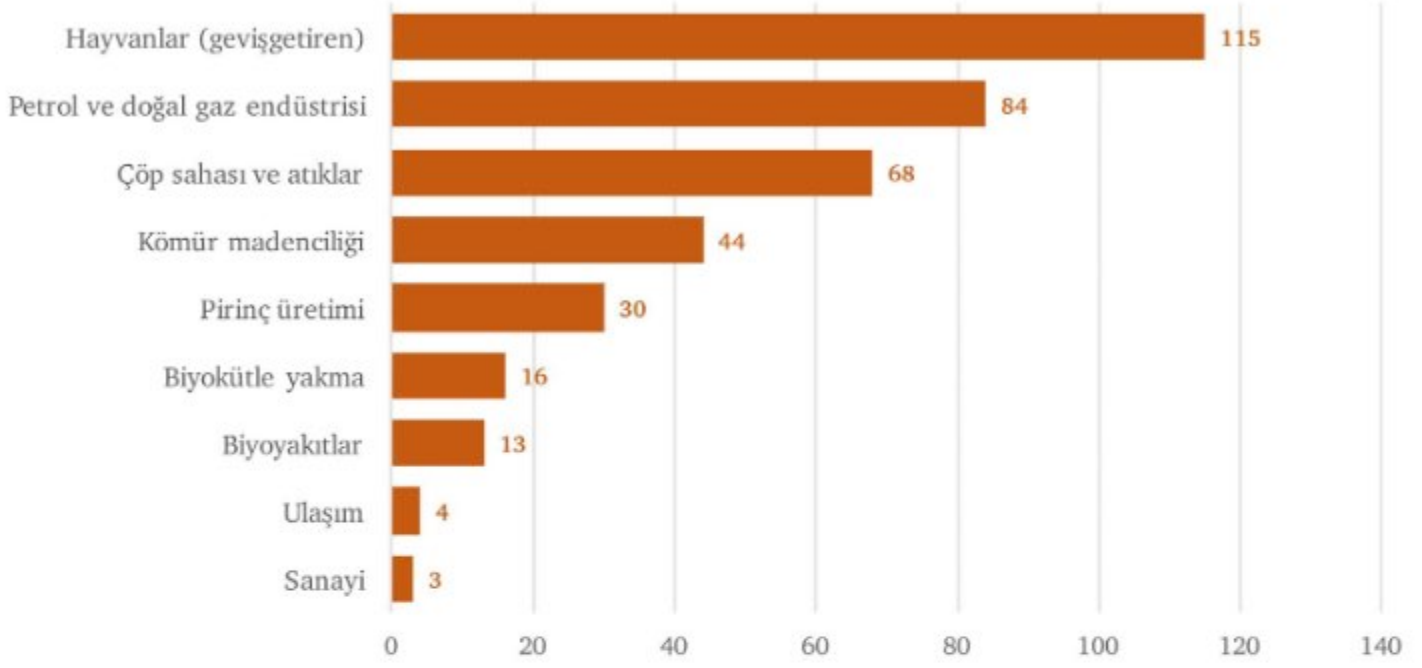
Grafik 1: Kaynaklara Göre Metan Emisyonları (milyon ton olarak)

## Kaynaklarına Göre Metan Emisyonları 2021 (%)



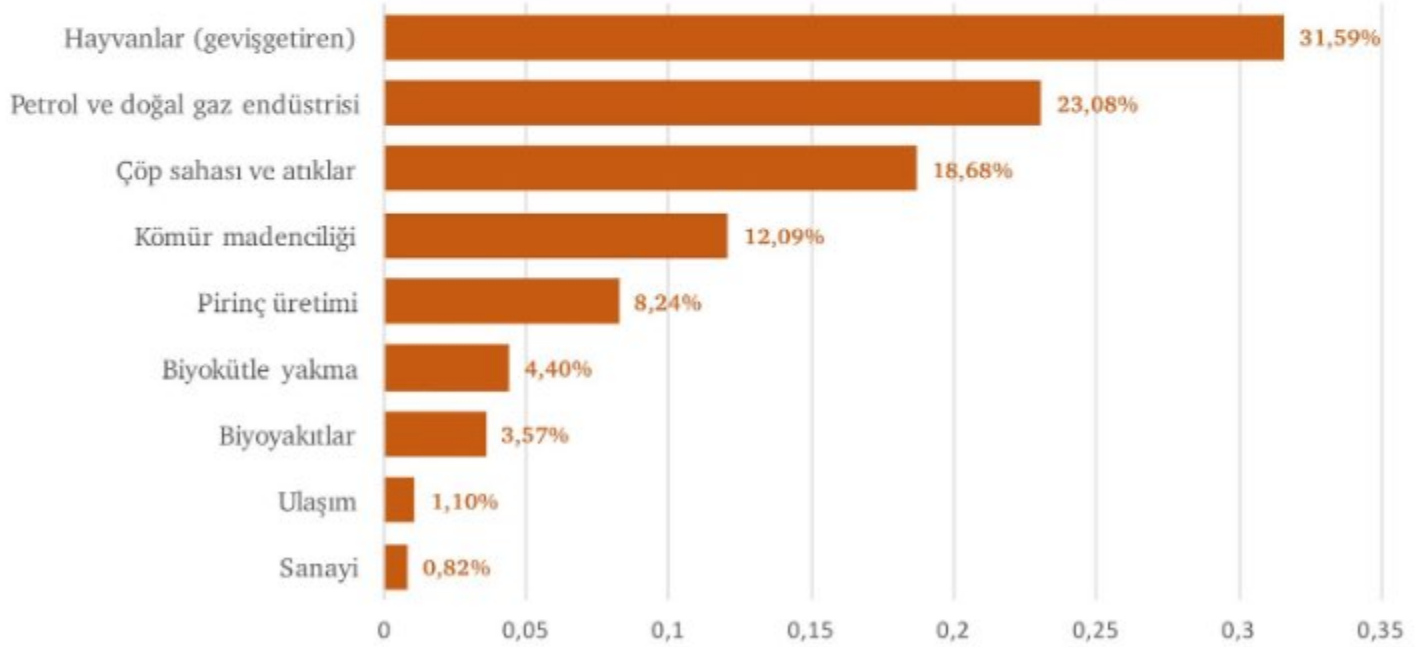
Grafik 2: Kaynaklara Göre Metan Emisyonları (tüm metan emisyonlarının yüzdesi olarak)

## İnsan Kaynaklı (Antropojenik) Metan Emisyonları (Mt)



Grafik 3: Kaynaklara Göre Antropojenik Metan Emisyonları (milyon ton olarak)

## İnsan Kaynaklı (Antropojenik) Metan Emisyonları (%)



Grafik 4: Kaynaklara Göre Antropojenik Metan Emisyonları (tüm antropojenik metan emisyonlarının yüzdesi olarak)

Grafik 3'ten de görülebileceği gibi insan kaynaklı metan emisyonlarının 115 milyon tonu, esas olarak geniş getiren hayvanlar olarak ifade edilen çiftlik hayvanları ve gübreden kaynaklanmaktadır. Petrol ve gaz operasyonları 84 milyon ton metan yayarken, kömür madenciliği 44 mt metan salımından sorumludur. Düzenli depolama alanları ve atıklar (atık su dahil) 72 mt metan emisyonuna neden olurken, bunu pirinç ekimi (30 mt), biyokütle yakma (16 mt), biyoyakıtlar (13 mt), ulaşım (4 mt) ve sanayi (3 mt) takip etmektedir.

Her bir antropojenik metan emisyonu kaynağının toplam antropojenik metan emisyonları içindeki payı Grafik 4'te verilmiştir. Antropojenik metan emisyonlarının neredeyse üçte biri hayvancılık ve gübreden kaynaklanmaktadır (%31,59). Petrol ve gaz operasyonları, çöp sahaları ve atıklar, kömür madenciliği ve pirinç ekimi; sırasıyla antropojenik metan emisyonlarının %23,08, %18,68, %12,09 ve %8,24'ünü oluşturmaktadır. Biyokütle yakma, biyoyakıtlar, ulaşım ve sanayi yıllık metan emisyonlarında oldukça küçük paylara sahiptir.

## Enerji Sektöründe Metan Emisyonları

Enerji sektöründeki metan emisyonları esas olarak doğal gaz, kömür ve petrolün çıkarılması, işlenmesi, üretimi, dağıtımı ve nakliyesi sırasında açığa çıkmaktadır. Enerji sektöründe sızan metan emisyonu, yan ürün veya kaçak metan olarak da adlandırılır.

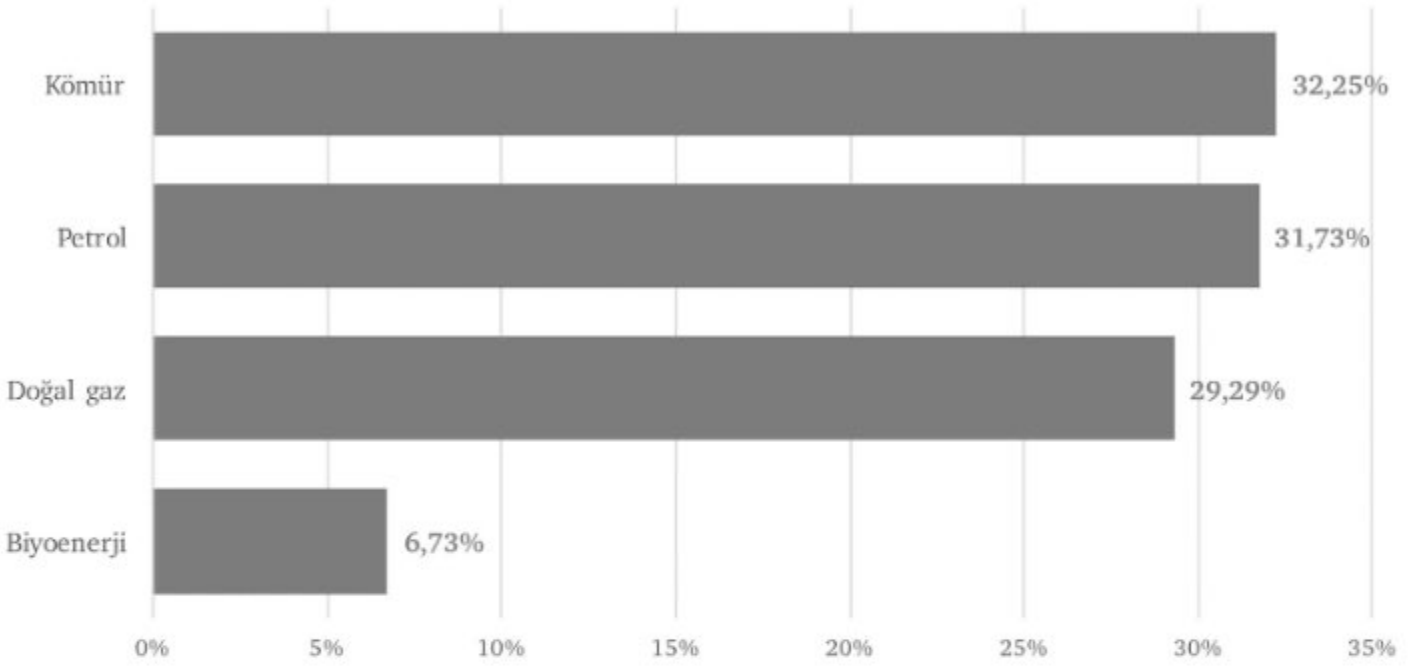
Enerji kaynağına göre ayrıştırılan enerji sektörü metan emisyonları Grafik 5'te

sunulmuştur. Her bir emisyon kaynağı, toplam enerji sektörü metan emisyonlarının yüzde payı olarak gösterilmektedir. Kömür, petrol ve gaz sektörleri enerji sektöründeki metan emisyonlarının sırasıyla %32,25, %31,75 ve %29,29'unu oluşturmaktadır. Biyoenerji ise %6,73 ile enerji sektörü metan emisyonlarında en küçük paya sahiptir.

Petrol ve gaz sektöründe metan emisyonlarının azaltılmasına yönelik en yaygın uygulamalar havalandırma (venting) ve alevlendirme (flaring). Havalandırma, metanın doğrudan atmosfere salınması iken alevlendirme, petrol ve gaz kuyularından çıkan doğal gazın yakılması işlemidir. Havalandırmada olduğu gibi metanın doğrudan atmosfere salınmasının aksine alevlendirme, yanma sonucu metanın karbondioksit ve diğer kirleticilere dönüşmesidir. Havalandırma dünya genelinde genel olarak yasaklanmış olsa da, politika yapıcılar 2000'li yılların başından bu yana alevlendirme konusunu ele almaktadır.

Havalandırma ve alevlendirme kaynakları israf eden, çevreyi kirleten ve önlenemez bir metan emisyonu kaynaklarıdır. Bu tür uygulamalar değerli bir doğal kaynağı israf etmektedir, çünkü sızan metan yakalanabilir ve enerji üretmek için kullanılabilir. Metanın önemli bir ticari değeri vardır, bu sayede petrol ve gaz şirketleri için ek gelir yaratır. Dünya Bankası, yıllık alevlendirilerek yakılan gaz miktarının Sahra Altı Afrika'nın tamamına enerji sağlayabileceğini ve 2021 yılında dünya çapında yakılan gazın AB'nin Rusya'dan ithal ettiği toplam gazdan daha fazla olduğunu tahmin etmektedir. IEA'nın tahminleri ise 2021 yılında alevlenme, havalandırma ve sızıntıdan kaynakla-

## Enerji Sektöründe Metan Emisyonları 2021 (%)



Grafik 5: Kaynaklara Göre Enerji Sektörü Metan Emisyonları (tüm enerji sektörü metan emisyonlarının yüzdesi olarak)

nan metan emisyonlarının %47'sinden fazlasının mevcut sızıntı tespit ve onarım teknolojileri ile azaltılabileceğini göstermektedir. Dahası, bu ilave gazın %40'ının yakalama yoluyla azaltılmasının net bir maliyeti olmayacak, yani enerji üreticileri için karlı olacaktır. Petrol ve gaz endüstrisi alevlendirmenin verimli olduğunu varsaysa da yakın zamanda yapılan bir çalışma, alevlendirmenin metan emisyonlarını en aza indirmek için genellikle verimsiz bir faaliyet olduğunu göstermiştir.

Tüm bunlara rağmen enerji sektörü gaz yakmayı tercih etmektedir. Çünkü bunun nispeten güvenli bir uygulama olduğu düşünülmektedir. Metan sızıntıları patlama tehlikesine yol açabilir. Petrol ve gazın çıkarılması ve işlenmesi sırasında endüstriyel kazalar meydana gelebilir, çünkü bu ortamlarda basınç son derece yüksek ve değişken olma

eğilimindedir. Ham petrolün çıkarılması sırasında ani ve dramatik bir basınç artışı, kontrol edilmesi zor patlamalara ve uzun süreli yangınlara yol açabilir. Bu nedenle, operatörler gaz yakarak bu büyük değişken basıncı azaltabilmekte ve öngörülemez durumları yönetebilmektedir.

Nitekim petrol ve gaz operatörleri bu enerji kaynağını israf etmek yerine yakılan gazı kullanabilirler. Yakılan gaz kullanımı, çeşitli yakım sahalarından gelen ilgili gazın büyük miktarlarda yakalanması, işlenmesi, toplanması, depolanması ve taşınmasını içerir. Ancak petrol sahaları uzak ve ulaşılması zor bölgelerde bulunduğu için fazla gazın taşınması lojistik ve ekonomik açıdan zordur. Operatörler için küçük hacimler nedeniyle bu fazla gazı işlemek ve kullanmak ekonomik olmayabilir. Bu nedenle, özellikle üretim sahası küçükse ve geniş bir coğrafi alana dağılmışsa sızıntıyı yakalamak ve kullanmak pahalı olabilir.

İlgili gazı ticarileştirebilmek ve ölçek ekonomisi elde edebilmek için yakım sahalarının konumları birbirine yakın olmalı ve uygun bir altyapı aracılığıyla birbirine bağlanmalıdır. Ayrıca, her zaman uygulanabilir olmasa da, kullanımın mümkün olmadığı veya zor olduğu durumlarda fazla gaz uygun teknoloji kullanılarak rezervuara geri enjekte edilebilir.

Küresel Alevlendirme ve Metan Azaltma Ortaklığı'nın (GFMR) çalışmaları, alevlendirme ve havalandırma uygulamaları hakkında bazı kayda değer gerçekleri ortaya koymaktadır. Bazı petrol üreticisi ülkeler gaz yakma ve havalandırma uygulamalarını başarılı bir şekilde azaltmış olsa da, küresel ölçekte azaltma hızı mevcut durumda oldukça yavaştır. Ancak hem mali (cezalar, vergiler, telif hakları, alevlendirilen ve havalandırılan gaz için ödenecek ücretler) hem de mali olmayan (denetleme ve uygulama) teşvikler istenen sonuçlara ulaşmada kritik bir rol oynamaktadır. Küresel Metan Taahhüdü'ne katılan ülkelerin beşte dördündeki yasal ve düzenleyici yaklaşımlar, rutin alevlendirme ve havalandırma için yasaklama, para cezası uygulama ve piyasa temelli çözümler uygulama açısından önemli ölçüde farklılık göstermektedir.

Kömür sektöründe metan, doğal olarak metan içeren aktif ve terk edilmiş kömür madenlerinden sızmaktadır. Kömür sektöründe metan emisyonlarının kontrol altına alınmasının petrol ve gaz sektörüne kıyasla daha zor olduğu düşünülmektedir. Kömür madenlerinden kaynaklanan metan emisyonlarının, özellikle de terk edilmiş madenlerden kaynaklananların tespiti, dağınık yapılarından dolayı zordur. Ancak, devam etmekte olan enerji dönüşümü, kömüre dayalı elektrik üretimine olan talebin azalmasıyla birlikte metan emisyonlarının önemli ölçüde azaltılmasına yardımcı olacaktır.

Enerji sektöründe, petrol, gaz ve kömürün çıkarılması, işlenmesi ve taşınmasından kaynaklanan metan emisyonları azaltılabilir. Metanı belirleme, yakalama ve bir enerji kaynağı olarak kullanma teknolojileri hızla gelişmektedir. Son yıllarda teknolojideki ilerlemeler sayesinde metan sızıntılarının tespiti daha ucuz ve kolay hale gelmiştir. Sızıntı yapan altyapıların iyileştirilmesi ve gaz boru hatlarındaki sızıntıların giderilmesi çok önemlidir. Satış ve daha sonra kullanım için metanı yakalayacak teknolojilerin kurulması, metan emisyonlarını azaltmak için düşük maliyetli bir seçenektir.

Piyasa koşulları genellikle enerji sektöründe açığa çıkan metanın kullanımını belirler çünkü açığa çıkan metanın kullanılması şirketlerin gazı yakalamak, taşımak, işlemek ve satmak için yatırım yapmasını gerektirir. Bununla birlikte, gaz fiyatı petrol gibi ikame kaynaklardan daha düşük olduğunda, onu yakalamak ve pazara sunmak için kullanmak daha az cazip hale gelmekte ve endüstriyi teknolojiye yatırım yapma konusunda isteksiz hale getirmektedir.

İzleme, ölçme ve uygulama kabiliyetlerine sahip etkili ve kapsamlı düzenleyici çerçevelerin metan emisyonlarının azaltılması için gerekli olduğu yaygın olarak kabul edilmektedir. Metan emisyonları ile ilgili bazı düzenlemeler arasında sızıntı tespiti ve onarımı, alevlendirme ve havalandırma kısıtlamaları ve üretim sahalarında düşük emisyonlu pnömatik teknolojiye geçiş yer almaktadır. Özellikle değer zinciri boyunca gaz sızıntı tespiti ve onarımına yönelik kurallar gaz sektöründe metanın azaltılmasında önemli bir rol oynayabilir.

Dikkate alınması gereken önemli bir husus da petrol ve gaz sektöründeki metan emisyonlarının azaltılmasının enerji arz güvenliğini artırabileceği ve fiyatları düşürebileceğidir. Enerji güvenliği, iklim politikasının kaçınılmaz bir sonucu olan enerji politikasının tasarlanmasında birincil önemdedir. Metan sızıntılarını engellemek ve alevlendirilen ve havalandırılan gazları kullanmak, enerji güvenliğini artırırken sera gazı emisyonlarını da önemli ölçüde azaltacaktır. Gaz alevlendirme ve havalandırmanın azaltılması, özellikle düşük ve orta gelirli ülkelerde enerjiye erişimi iyileştirecektir. Ayrıca, doğal gazdaki sızıntılardan kaynaklanan metan emisyonlarının azaltılması da çok önemlidir, çünkü şirketler ve hükümetler doğal gazın enerji dönüşümü sürecinde geçiş yakıtı olması için lobi yapmaktadır. Dolayısıyla, boşa giden gazın kullanılması, enerji dönüşümü sırasında artması beklenen gaz talebini daha kolay karşılayacaktır.

Metanın ölçülmesi, izlenmesi, yakalanması ve doğal gaz olarak kullanılmasına yönelik teknolojiler hızla olgunlaşmaktadır. Sızan metanı yakalarken insan kaynaklı metan emisyonlarını azaltmanın net-negatif maliyetleri bile vardır. Fosil yakıt sektörlerinden kaynaklanan metan emisyonlarının azaltılması en kolay (özellikle teknoloji açısından) seçenek olarak görülmekte ve IEA, metan emisyonlarını azaltmanın en uygun maliyetli yollarının enerji sektöründe, özellikle de petrol ve doğal gaz sektörlerinde mevcut olduğunu belirtmektedir. Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) ve İklim ve Temiz Hava Koalisyonu (CCAC) tarafından hazırlanan 2021 Küresel Metan Değerlendirmesi (Global Methane Assessment) raporu, 1,5°C senaryolarına uyum sağlamak için fosil yakıt

sektöründen kaynaklanan metan emisyonlarının 2030 yılına kadar 2010 seviyelerine kıyasla %55-75 oranında azaltılması gerektiğini ortaya koymuştur. Ayrıca bu hedefe, mevcut durumda teknik olarak uygulanabilir azaltım tedbirlerinin uygulanmasıyla ulaşılabileceğinin de altını çizmektedir.

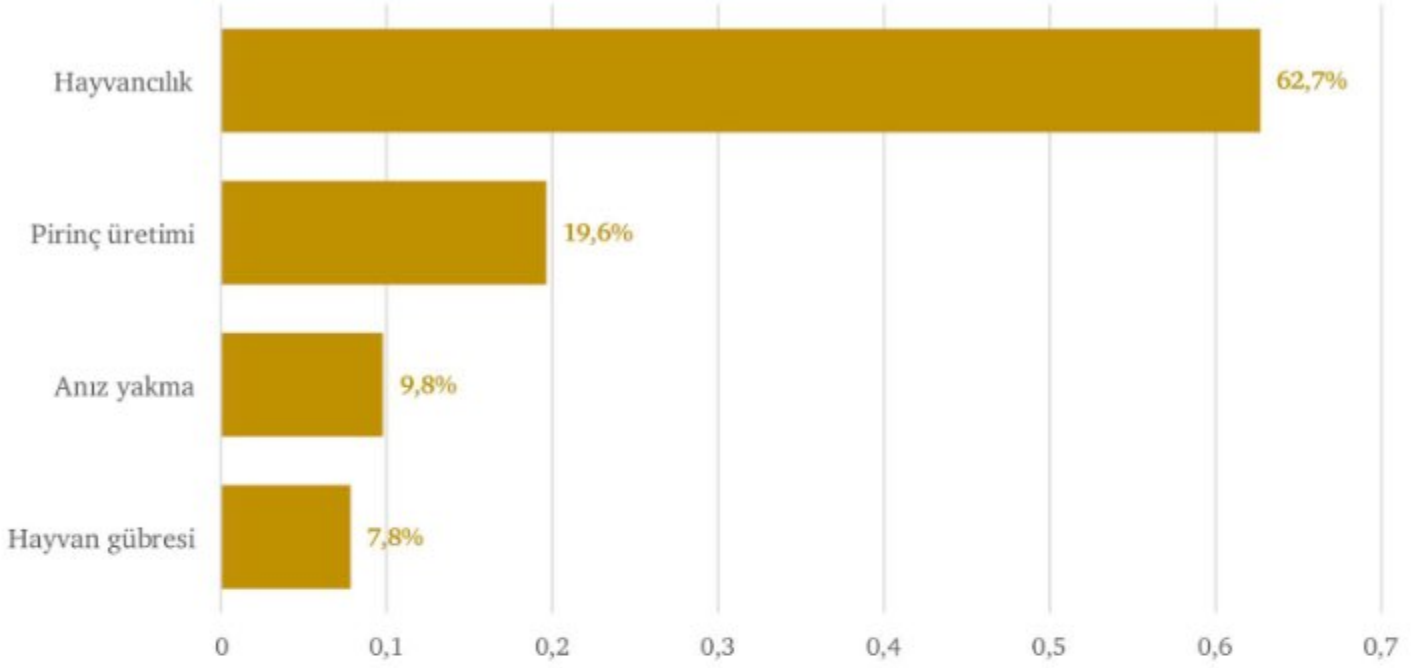
## Tarım Sektöründe Metan Emisyonları

Grafik 6, tarım sektöründen kaynaklanan metan emisyonlarını faaliyetlere göre ayırarak göstermektedir. Tarım sektöründeki metan emisyonlarının yaklaşık %62,7'si hayvancılıktan kaynaklanmaktadır. Tarımsal metanın geri kalanı pirinç üretimi (%19,6), mahsul yakma (%9,8) ve hayvan gübresi (%7,8) yoluyla ortaya çıkmaktadır. 2021 Küresel Metan Değerlendirmesi raporu, küresel ısınmayı Paris Anlaşması ile belirlenen 1,5°C sınırında tutmak için tarım sektöründe üretilen metan emisyonlarının en az %20-25 oranında azaltılması gerektiğini göstermektedir.

Hayvancılıkla ilgili emisyonlar büyük ölçüde hayvan yetiştirme ve otlayan hayvanların sindiriminden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, çiftlik hayvanlarının diyetlerinin değiştirilmesi, tarım sektöründeki temel metan azaltma çözümü olarak kabul edilmektedir. Bilim insanları hayvanların sebep olduğu metanı azaltabilecek hayvan yemi alternatifleri geliştirmeye çalışırken, Ar-Ge sübvansiyonları bu alanda yeni teknolojilerin geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

Hayvan gıdası, besleme ve hayvan sağlığı yönetimi uygulamalarının iyileştirilmesi ve daha verimli sığır sürülerine geçilmesi, tarım

## Tarım Sektöründe Metan Emisyonları (%)



Grafik 6: Kaynaklara Göre Tarım Sektörü Metan Emisyonları (tüm tarım sektörü metan emisyonlarının yüzdesi olarak)

sektöründeki metan emisyonlarını önemli ölçüde azaltabilir. Çeşitli geviş getiren hayvan türleri farklı sindirim sistemlerine sahiptir ve dolayısıyla farklı seviyelerde metan üretirler. Bu nedenle, seçici yetiştirme de bağırsak kökenli fermantasyon emisyonlarının azaltılmasına yardımcı olabilir. Hayvanlara daha besleyici yem sağlamaları için çiftçilerin desteklenmesi hayvanların daha büyük ve sağlıklı olmalarını sağlayarak verimliliği artırmalarına olanak tanıyacaktır.

Dünyanın dört bir yanındaki çiftçiler kötü gübre yönetimi uygulamalarına başvurma eğilimindedir. Genellikle hayvan gübresinin gübre ve yakıt olarak değerinin farkında değildirler. Hayvan gübresinin çiftlik ölçeğinde anaerobik (oksijensiz) sindiriminin teşvik edilmesi, yakalanan metandan zengin gübreler oluşturarak enerji kaynakları ve çiftlik girdileri sağlayabilir. Hayvan dışkısı bulamacının daha iyi üretilmesini sağlayarak metan emisyonlarının azaltılmasına yardımcı olabilir ve bulamaç

depolarından yakalanan metandan biyogaz üretilebilir. Bu bağlamda bilim insanları, üzeri örtülebilecek, kompostlaştırılabilir ve biyogaz üretmek için kullanılabilir gübrelerin yönetimini iyileştirmeye çalışmaktadır. Ayrıca, örtü bitkilerinin ekilmesi tarım sektöründe alternatif bir metan azaltma stratejisi olarak kabul edilmektedir.

Tarım sektörüyle bağlantılı metan emisyonları ile mücadele etmek için politika yapımcılar, büyükbaş hayvan yemi deneylerine ve metan gazı yakalamaya odaklanma eğilimindedir. Ancak uzmanlar tarafından giderek daha fazla dikkat çekilen politika önerilerinden biri de günlük diyetlerin değiştirilmesi, et ürünlerinin azaltılması ve daha fazla meyve ve sebze tüketilmesidir. Yapılan analizler işlenmiş et ve süt ürünleri yerine alternatif proteinlerin kullanılmasının metan emisyonlarını önemli ölçüde azaltacağını göstermektedir.





Pirinç, sıcak koşullar altında suya doymuş toprakta yetiştirilir. Pirinç üretimi sırasında sürekli su altında kalan toprak, metan üreten mikroplar için ideal koşulları yaratır. Halbuki alternatif pirinç yetiştirme yöntemleri metan emisyonlarının neredeyse %50 oranında azaltılmasına yardımcı olabilir. Örneğin, Alternatif Islatma ve Kurutma (Alternate wetting and drying - AWD) yöntemleri pirinç üretiminde temel metan azaltma stratejileri olarak kabul edilmektedir. Tarlaların sürekli sulanmasına izin vermek yerine, büyüme mevsimi boyunca tarlalar birkaç kez sulanabilir ve kurutulabilir. Basit ve ekonomik bir yaklaşım olarak bu yöntem, pirinç üretiminde su tüketimini %30 oranında azaltabilir ve verimi etkilemeden su kullanımı ve metan emisyonu miktarlarını düşürebilir. Sürekli su altında kalan pirinç tarlalarının aralıklı olarak havalandırılması, pirinç yetiştiriciliğinden kaynaklanan metan emisyonlarının azaltılması için bir başka çözümdür.

Troposferik ozon oluşumuna neden olduğu için metan emisyonları, küresel olarak gıda güvenliğini tehdit etmektedir. Tahminler,

metanın troposferik ozon oluşturarak ve atmosferik sıcaklıkların yükselmesine katkıda bulunarak temel ürünleri yıllık %15'e kadar azalttığını göstermektedir. Gıda güvenliği, iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir husustur ve tarım sektörü, düşük sosyo-ekonomik statüye sahip önemli miktarda işçi istihdam etmektedir. Bu nedenle, tarım sektöründe metan emisyonlarını azaltmaya yönelik müdahaleler, tarım işçilerinin refahı ve gıda güvenliğini tehlikeye atmayacak şekilde yapılmalıdır. 2024 AB çiftçi protestoları da bu sektörün kırılan doğasını hatırlatmıştır.

## Atık Sektöründe Metan

Atık sektörü küresel sera gazı emisyonlarının %3'ünden sorumludur. Grafik 4'te gösterildiği gibi, kentsel katı atık ve atık su, küresel olarak insan kaynaklı (antropojenik) yıllık metan emisyonlarının yaklaşık %18,68'ini oluşturmaktadır. Çevre ve insan sağlığını korumak için günlük faaliyetlerden kaynaklanan atıkların güvenli ve etkin bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir. Daha iyi atık yönetimi uygulamaları metan emisyonlarını azaltabilir, gıda güvenliğini sağlayabilir ve toprak, su ve hava kalitesini iyileştirebilir.

UNEP Gıda Atık Endeksi Raporu 2021'e göre küresel olarak üretilen gıdanın yaklaşık %17'si israf edilmekte ve küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık %8-10'u da gıda atıklarıyla ilişkilendirilmektedir. Katı atıkların önemli bir kısmı organiktir ve düzenli depolama alanından uzaklaştırılarak başka alanlarda kullanılabilir. Bu nedenle, gıda atıklarının azaltılması, gıda güvenliğini artırırken önemli bir metan azaltım stratejisi olarak hizmet edebilir.

Atıklardan kaynaklanan metan emisyonları, düzenli depolama alanlarında, açık çöplüklerde ve açık yakma uygulamalarında bırakılan gıda ve diğer organik maddelerden kaynaklanmaktadır. Düzenli depolama sahalarında kalan gıda ve organik maddeler çürür, ayrışır ve sonunda metan açığa çıkar. Organik atıkların (örneğin gıda ve bahçe atıkları) düşük oksijenli veya oksijensiz (anaerobik) ortamlarda ayrışması, kentsel katı atıklardan kaynaklanan metan emisyonlarına neden olur. Atık sektöründeki metan emisyonlarının katı atık dışında kalan kısmı, atık su depolama ve kanalizasyon sistemlerinden kaynaklanmaktadır.

Atık sektöründeki metan emisyonları, katı atık yönetimi sürecinin farklı aşamaları hedeflenerek azaltılabilir. Atık yönetiminin toplama aşaması göz önünde bulundurulduğunda, atık toplama sıklığının artırılması, atıkların açık çöplüklere atılmasını önleyerek emisyonları azaltabilir. Günlük örtü ve muşamba kullanımı da metan üreten koşullar yaratan atığın nem içeriğini düşürebilir.

Atıkların bertarafı için düzenli depolama sahalarının ve çöplüklerin uygun şekilde yönetilmesi, organik atık bertarafı ve ayrışmasından kaynaklanan metan emisyonlarını azaltabilir. Düzenli depolama

sahalarında toplama ve kontrol (Gas Collection and Control Systems - GCCS) sistemlerinin kurulması metan miktarını azaltabilir ve açığa çıkan metanı yakalayabilir. Aynı zamanda düzenli depolama alanlarında metan kaynaklı yangınların riskini azaltabilir. Son olarak, mevcut çöplük alanlarının rehabilite edilmesi ve yeni mühendislik ürünü düzenli depolama alanlarının oluşturulması atık sektöründeki metan emisyonlarının azaltılmasına yardımcı olabilir.

Arıtma aşamasına gelince, organik atıklar kompostlama ve anaerobik (oksijensiz) sindirim yoluyla faydalı bir enerji kaynağına dönüştürülebilir. Organik atık uygulamalarının havalandırılmalı kompostlaştırılması, arıtma tesislerinin kapasitelerinin geliştirilmesi ve düzenli ve yeterli bakımlarının yapılması metan emisyonlarını azaltabilir.

Düzenli depolama alanlarına yönlendirilen atık miktarının sınırlandırılması ve geri dönüşüm ve kompostlamanın teşvik edilmesi ekonomiye ek faydalar sağlayabilir. Bazı analistler organik ve biyolojik olarak parçalanabilen atıkların düzenli depolama sahalarına gönderilmesinin yasaklanmasını ve tamamlayıcı bir politika olarak yakma işleminden kaçınılmasını önermektedir. Yakın zamanda İskoçya, 2025 yılından itibaren böyle bir politikanın uygulanacağını duyurmuştur. Birleşik Krallık, Yeni Zelanda, Avustralya ve ABD'de uygulanmakta olan düzenli depolama vergisi de atık kaynaklı metan emisyonlarını azaltacaktır.

Düzenli depolama sahaları işletmecilerinin metan emisyonlarının yakalamaya yönelik girişimlerini



eşvik etmek, atıkları kullanılabilir bir enerji kaynağına dönüştürmek için anaerobik parçalayıcı kullanımının artırılmasını sağlamak ve atıkların açıkta yakılmasının yasaklanması uygulanabilecek diğer politika araçları olacaktır. Enerji dönüşümü sırasında kömür ve petrol gibi daha kirletici fosil yakıtlar aşamalı olarak kullanımdan kaldırılırken, doğal gazın kritik bir enerji kaynağı olmasının beklendiği göz önünde bulundurulduğunda, gaza olan talebin artması, atıklardan kaynaklanan metan emisyonlarını yakalamayı çöp sahası işletmecileri için karlı bir seçenek haline getirecektir.

## Doğal Kaynaklardan Oluşan Metan Emisyonları

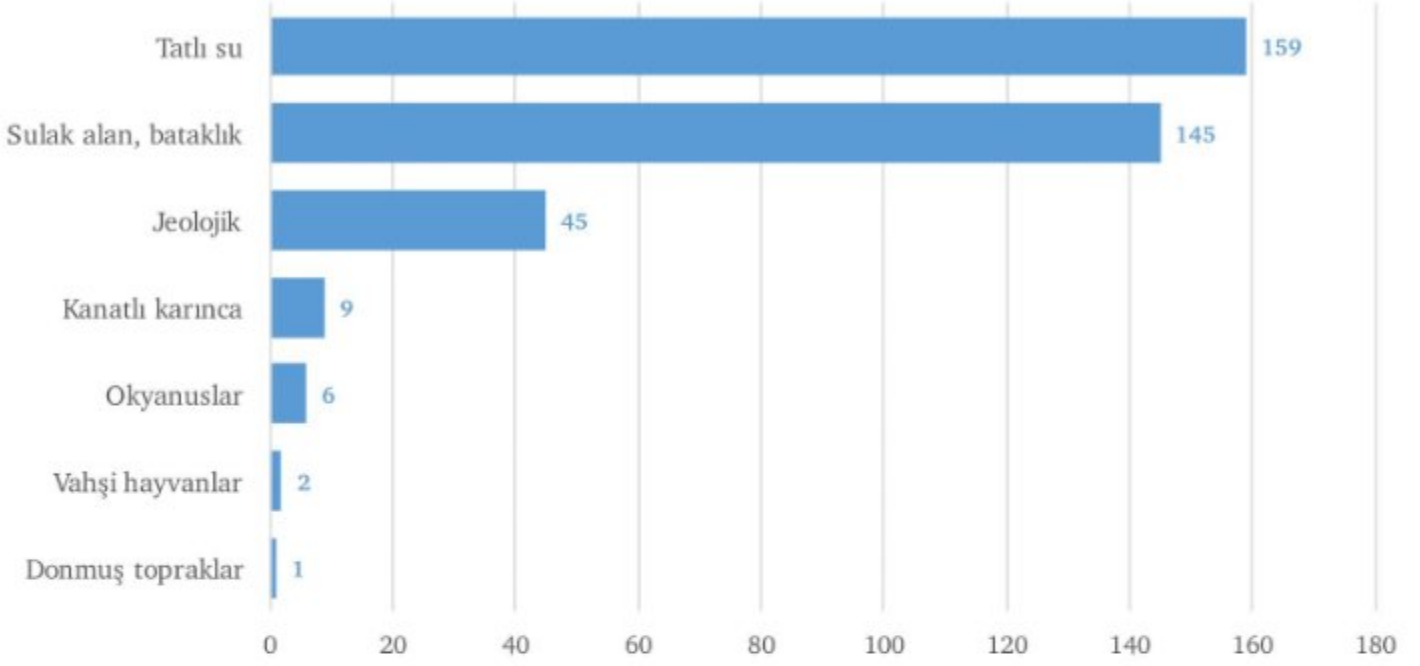
2021 Küresel Metan Değerlendirme Raporu, doğal kaynaklardan üretilen metan emisyonlarına ilişkin veriler sunmaktadır. Grafik 7'de metan emisyonlarının doğal kaynakları, Grafik 8'de ise her bir kaynağın toplam doğal metan emisyonları içindeki payı

gösterilmektedir. Metan emisyonlarının öncelikle tatlı sulardan (örn. göletler, göller, nehirler, akarsular, bataklıklar) ve sulak alanlardan, ardından jeolojik, termitler, okyanuslar, vahşi hayvanlar ve permafrost topraklardan kaynaklandığı açıkça görülmektedir.

Sulak alanlar, su filtrasyonu sağlarken ve emisyonları azaltmaya yardımcı olan karbon yutakları oluştururken önemli miktarda türe ev sahipliği yapmaktadır. Yakın zamana kadar, doğal kaynaklardan kaynaklanan metan emisyonlarına ilişkin veriler büyük ölçüde belirsizdi. Ancak yakın zamanda yapılan bir çalışma, akan sulardan kaynaklanan metan emisyonlarına ilişkin mekânsal ölçümler sunmuştur.

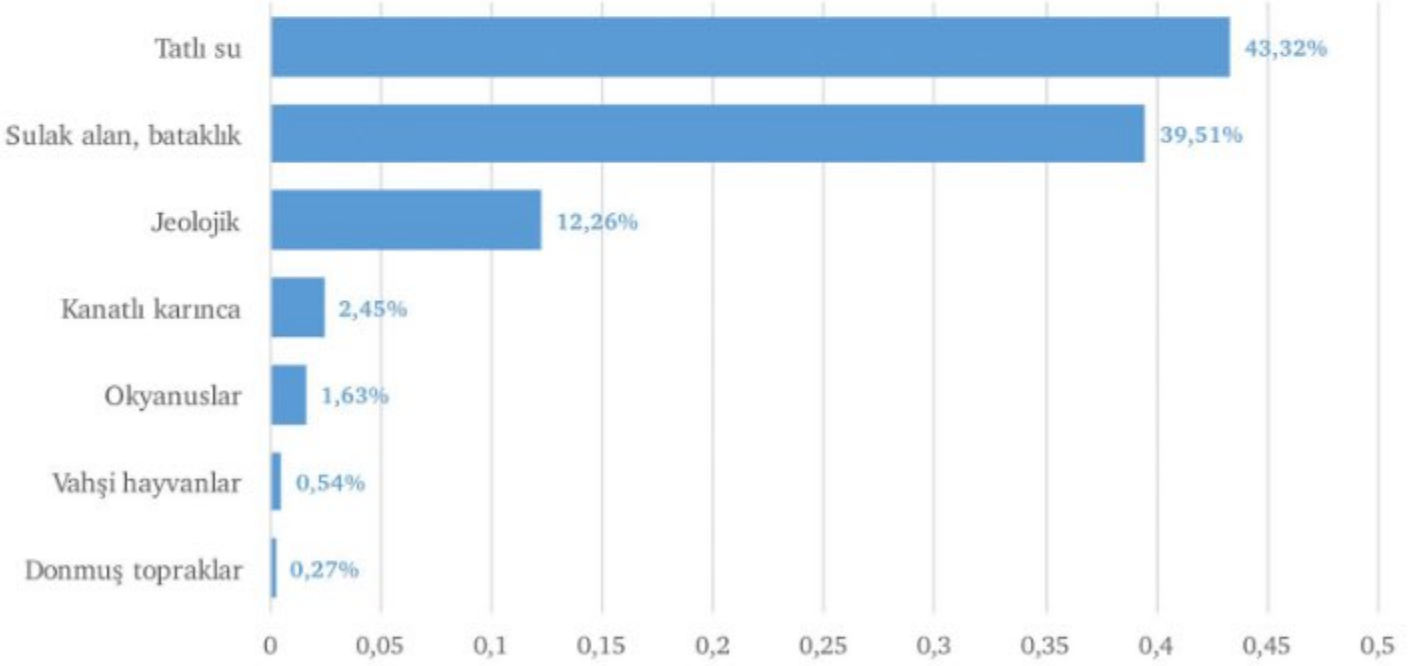
Metan, küresel sıcaklıklardaki artışa en büyük katkıyı sağlarken, küresel ısınma da doğal kaynakların sebep olduğu metan emisyonlarını arttırmaktadır. Dolayısıyla, bu pozitif geri besleme döngüsü iklim değişikliğinin etkilerini daha da arttırmaktadır. Yapılan bir araştırma, küresel ısınma hızlandıkça daha sıcak ve daha yağışlı iklim koşullarının doğal kaynaklardan kaynaklanan metan emisyonlarını arttırdığını, buna karşılık metan emisyonlarının gezegeni

## Doğal Kaynaklardan Oluşan Metan Emisyonları (Mt)



Grafik 7: Kaynaklara Göre Doğal Metan Emisyonları (milyon ton olarak)

## Doğal Kaynaklardan Oluşan Metan Emisyonları (%)



Grafik 8: Kaynaklara Göre Doğal Metan Emisyonları (%)

giderek daha hızlı bir şekilde ısıttığını; yani pozitif bir geri besleme mekanizması yarattığını ortaya koymaktadır.

Kentleşme sulak alanlardan kaynaklanan emisyonlarda artışa neden olmaktadır ve bu nedenle arazi kullanım yönetimindeki iyileştirmeler sulak alanların sebep olduğu metan emisyonlarını azaltmak için potansiyel bir azaltım stratejisi olarak kabul edilmektedir.

## Metan Emisyonlarına İlişkin Eylemler

### Uluslararası Anlaşmalar

Ozon tabakasını incelten, tehlikeli kloroflorokarbon (CFC) kimyasalları, 2010 yılından bu yana Montreal Protokolü kapsamında yasaklanmış ve bu da CFC emisyonlarının azaltılmasına yardımcı olmuştur. Metan emisyonlarını azaltmaya yönelik benzer uluslararası faaliyetler, politika yapıcılarını uygulamaya teşvik edebilir ve metan emisyonlarının azaltılmasına yönelik uluslararası düzeydeki mevzuat, iklim hedeflerine ulaşılmasına önemli ölçüde yardımcı olabilir. Kolektif bir şekilde ortaya konan bölgesel ve ulusal stratejiler, metan emisyonları ile mücadelede ve çevresel sürdürülebilirliğe yönelik daha geniş kapsamlı çabalarda koordineli bir küresel eylemin önemini vurgulamaktadır.

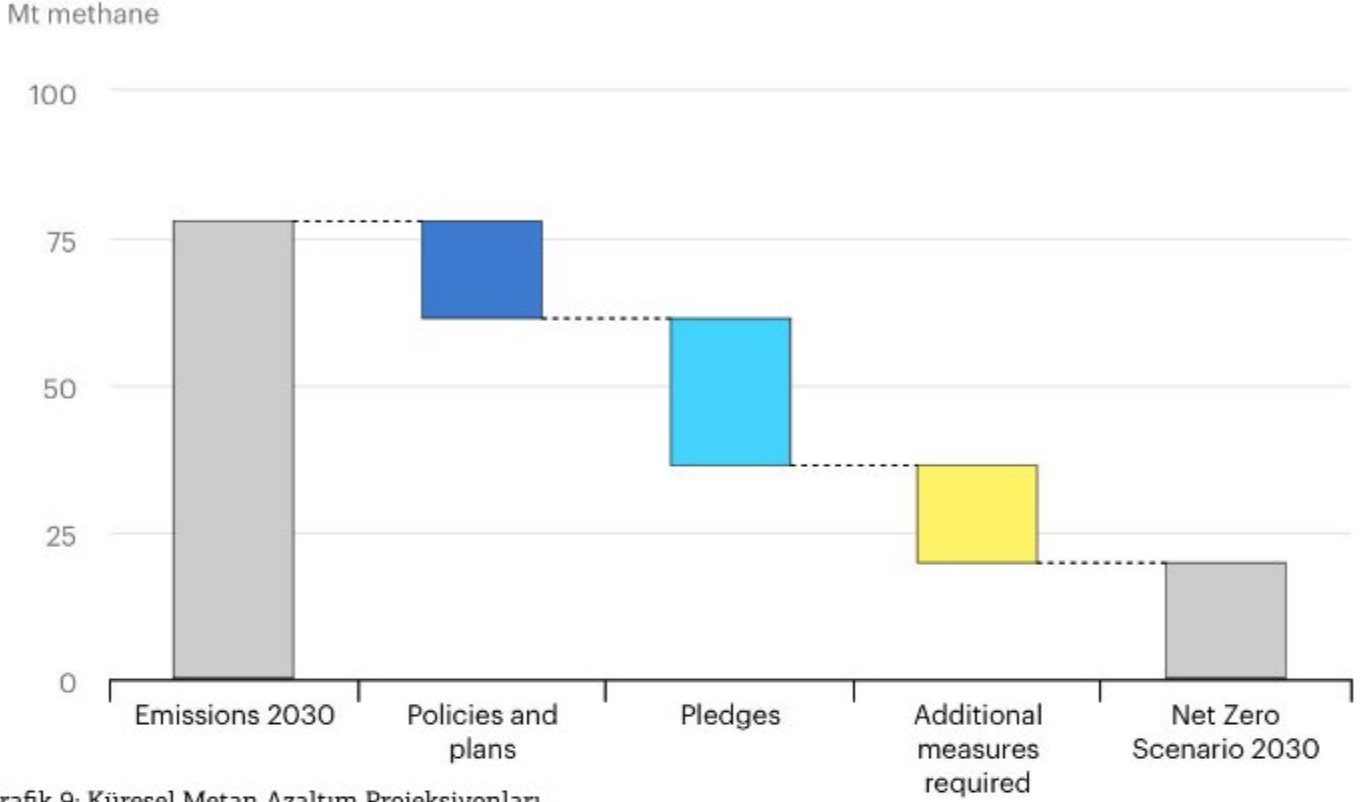
Metan emisyonları önemli bir küresel sorun teşkil etmekte ve iklim değişikliğine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Son yıllarda ülkeler, özellikle enerji sektöründe düşük maliyetli metan azaltım fırsatlarının farkına

varmaya başlamıştır. Grafik 9, mevcut politika, plan ve taahhütlerine dayalı metan emisyonu azaltım projeksiyonlarını göstermektedir. Mevcut çabaların ve hedeflerin henüz yetersiz durumda olduğu ve IEA'nın Net Sıfır Senaryosu kapsamında belirlenen hedeflere ulaşmak için henüz kat edilmesi gereken epey bir yol olduğu açıkça görülmektedir. Dolayısıyla, küresel iklim hedeflerine ulaşmak için daha somut adımlara ve uluslararası anlaşmalara tam katılım ihtiyacı vardır.

Metan konusundaki en kapsamlı küresel çaba olan Küresel Metan Taahhüdü (GMP) COP26'da başlatılmış ve 150'den fazla ülke bu küresel çerçeveyi desteklemiştir. Bundan önce Paris Anlaşması, küresel ısınmayı ideal olarak 1.5°C sınırında tutmak için sera gazı emisyonlarını azaltmayı amaçlamıştır. Ancak Paris Anlaşması hangi sera gazlarının ne ölçüde azaltılacağını belirtmemektedir. AB ve ABD tarafından metan emisyonlarını azaltmaya yönelik ilk uluslararası çaba olarak başlatılan GMP kapsamında ülkeler, metan emisyonlarını 2030 yılına kadar 2020 seviyelerine kıyasla en az yüzde 30 oranında azaltmak için gönüllü olarak bir araya geldi. Araştırmalar, Küresel Metan Taahhüdü ile 2050 yılına kadar küresel ısınmanın en az 0,2 °C azaltılabileceğini, bununla birlikte 26 milyon ton ürün kaybını, 255.000 erken ölümü, 775.000 astıma bağlı hasta vakasını ve aşırı sıcaklar nedeniyle 73 milyar saat iş gücü kaybını önleme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

Bu çerçeve, çeşitli uluslararası kuruluşlar tarafından desteklenmektedir ve Paris Anlaşması ile bir diğer güçlü kısa ömürlü iklim kirleticisi olan hidroflorokarbonların (HFC'ler) aşamalı olarak azaltılmasını amaçlayan Montreal Protokolü Kigali Değişikliği'ni tamamlayıcı bir eylem olarak değerlendirilmektedir.

## Reductions from current reduction pledges, policies and national action plans for methane emissions from oil and gas, 2030



Grafik 9: Küresel Metan Azaltım Projeksiyonları

GMP, metan emisyonlarının azaltılması için dünya çapında harekete geçilmesini teşvik etmekte ve mevcut girişimlere verilen desteği arttırmakta, hem teknik hem de politik çabaların ilerletilmesinin önemini vurgulamaktadır. GMP, özel sektörün, kalkınma bankalarının, finans kuruluşlarının ve hayırsever kuruluşların bu taahhüdün uygulanmasını desteklemedeki önemli katkılarına kabul etmekte ve bu kuruluşların katılımını memnuniyetle karşılamaktadır. Bununla birlikte, GMP'nin yasal bir bağlayıcılığı yoktur ve her ülke için ne kadar azaltım yapılacağını belirtmez. Bu nedenle çok az ülke bu hedefe katkıda bulunmak için planlar geliştirmiştir.

Metan emisyonlarını azaltmaya yönelik bazı çok uluslu girişimler de bulunmaktadır. Örneğin, 2016 yılında ABD, Kanada ve Meksika; Kuzey Amerika Liderler Zirvesi'nde (North American

Leaders Summit) petrol ve doğal gaz sektörlerindeki metan emisyonlarını 2025 yılına kadar 2012 seviyelerine göre %40-45 oranında azaltma konusunda anlaşmaya varmıştır. Ancak çok uluslu taahhütler ve girişimler, iklim hedeflerine ulaşmada ve çevresel sürdürülebilirliği sağlamada ancak metanın ölçüm ve tespitine yönelik teknolojilerin yaygın olarak kullanılmasıyla etkili olacaktır.

Ayrıca, COP26'da Çin ve ABD 2030 yılına kadar metan emisyonlarının azaltılması için iş birliği yapılması konusunda ortak bir deklarasyon yayınladı. İki ülke, ölçümlerin artırılması, metan yönetimi ve kontrolünün güçlendirilmesi ve ortak araştırma programları gibi eylemleri belirledi. Çin'in Kasım 2023'te metan emisyonlarını azaltmayı amaçlayan Ulusal

Metan Eylem Planı'nı açıklamasının ardından Çin ve ABD, çalışma grupları aracılığıyla iş birliğini geliştirmek için "Sunnylands Bildirisi" olarak adlandırılan başka bir bildiri daha yayınladı. Metan konusunda önemli gelişmeler Birleşik Arap Emirlikleri'nde düzenlenen COP28'de de ele alınmış ve 2030 yılına kadar sifıra yakın metan emisyonuna ulaşmayı ve rutin alevlendirmeyi ortadan kaldırmayı amaçlayan Petrol ve Gaz Karbonsuzlaştırma Tüzüğü (Oil and Gas Decarbonization Charter) hayata geçirilmiştir.

Bazı analistler yakın zamanda, AB ve ABD'nin enerji ithalatındaki metan emisyonları için Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması'na (SKDM) benzer bir uygulamayı hayata geçirebileceğini öne sürmüştür. Uluslararası düzeyde böyle bir ortak politika, metan emisyonlarını azaltmaya yönelik küresel çabaları teşvik edebilir ve potansiyel ticari gerilimleri önlerken yeterli metan azaltımı için uluslararası bir standart oluşturulmasına yardımcı olabilir. Bununla birlikte, metan emisyonları için iş birliğine dayalı bir sınır politikası, daha fazla ülkenin, özellikle de Çin ve Hindistan gibi büyük petrol ve doğal gaz ithalatçılarının sınırlarının ötesindeki metan emisyonlarını kapsayacak şekilde katılması halinde daha etkili olacaktır. Ayrıca, metan emisyonları için bir sınır politikasına ilişkin uluslararası koordinasyonun kapsamının arttırılması, bu ülkeleri Küresel Metan Taahhüdü'ne katılmaya da teşvik edebilir.

Yeşil ekonomiye geçiş ve küresel emisyon azaltma politikaları hem fırsatlar hem de ciddi risk ve maliyetler içermektedir. Bu sürecin risk ve maliyetleri en aza indirecek şekilde ilerleyebilmesi için uluslararası koordinasyon

şarttır. Bu koordinasyon sağlanmazsa liberal ticaret düzeni anlayışı zarar görebilir, yeşil aklama (greenwashing) ve piyasa korumacı söylemler artabilir ve ticaret savaşları ortaya çıkabilir. Öte yandan, ulusal gündemler şeffaf bir şekilde koordine edilirse uluslararası düzeyde politika geliştirmeye yönelik irade artırılabilir, pazar ve yatırım erişimi kolaylaşabilir ve yoksul ülkeleri geride bırakmadan daha sürdürülebilir bir uluslararası düzene ulaşılabilir.

Dünyadaki başlıca emisyon yayıcılar olarak Avrupa Birliği, ABD, Çin, Rusya ve Hindistan'ın metan emisyonlarının küresel olarak azaltılmasında öncü bir rol oynaması beklenmektedir. Bu hem tarihsel sorumluluk hem de süreci yürütme kapasitesi açısından böyledir. Bu aktörler tarafından alınacak ulusal tedbirler, uluslararası sistemin dönüştürülmesinde doğrudan bir etkiye sahip olacaktır. Ancak bu aktörlerin sorunu içselleştirmeleri ve ulusal gündemlerinde rasyonellik arayışına girmeleri zaman alacaktır. Bir anlamda, Enflasyonu Düşürme Yasası ve Avrupa Yeşil Mutabakatı gibi yeşil ekonomiye geçiş planları, mevcut geleneksel sistemi aşındıracak ve kendi kaybedenlerini üretebilecektir.

## Uluslararası Anlaşmalar

Metan yönetimi politikaları çeşitlilik göstermekte, birçoğu izleme tekniklerini geliştirmek yerine doğrudan emisyonları azaltmaya odaklanmaktadır. Yakın zamanda yapılan bir çalışmada, küresel çapta 250'den fazla metan azaltma politikasının mevcut emisyonların sadece %13'ünü kapsadığı belirtilerek, özellikle enerji, atık ve tarım sektörlerinde kapsam açısından önemli bir boşluk olduğu vurgulanmıştır. Dahası, metan emisyonlarının ölçümünde genellikle aşağıdan

yukarıya metodu kullanılmakta ve bu da sınırlı bir kaynak örneğinden elde edilen verilerin dışdeğerlemesindeki yanlışlıklar nedeniyle gerçek emisyonları önemli ölçüde düşük ölçümlenmektedir.

ABD, Avrupa Birliği, Çin ve Rusya gibi büyük küresel aktörlerin metan emisyonlarını azaltma çabaları, uluslararası çevre politikalarını etkileme kapasiteleri nedeniyle çok önemlidir. Amerika Birleşik Devletleri, 2022 Enflasyon Azaltma Yasası kapsamında, petrol ve gaz sektörlerini düzenlemeyi amaçlayan öncü bir önlem olarak kabul edilebilecek metan vergisini uygulamaya koymuştur. Bu yasa, kıta genelinde sürdürülebilir kalkınma için yenilikçi yöntemleri teşvik eden Avrupa Birliği'nin Yeşil Mutabakatı gibi girişimleri yansıtan daha geniş bir yeşil dönüşümün parçasıdır.

## Avrupa Birliği

AB, Ekim 2020'de özellikle enerji, tarım ve atık sektörlerinden kaynaklanan antropojenik (insan kaynaklı) metan emisyonlarına odaklanan metan stratejisini (COM2020/663) tanıttı. Aralık 2021'de Avrupa Komisyonu ise enerji sektöründeki metan emisyonlarını azaltmayı amaçlayan bir yönetmelik kabul etti.

Kasım 2023'te Avrupa Parlamentosu ve Avrupa Konseyi arasında enerji sektöründe metan emisyonlarının azaltılmasına ilişkin geçici anlaşmaya varıldı. Metan politikaları genellikle terk edilmiş kuyular ve madenler de dâhil olmak üzere tüm tedarik zincirini dikkate almamaktadır. Ancak Avrupa Birliği'nin hayata geçirmeye çalıştığı bu anlaşma, yalnızca Avrupa Birliği sınırları içerisindeki metan emisyonlarını dikkate almamakta, aynı zamanda küresel tedarik zincirlerindeki metan emisyonlarını da dikkate almaktadır. Bu politika tedbiri, ithalatta

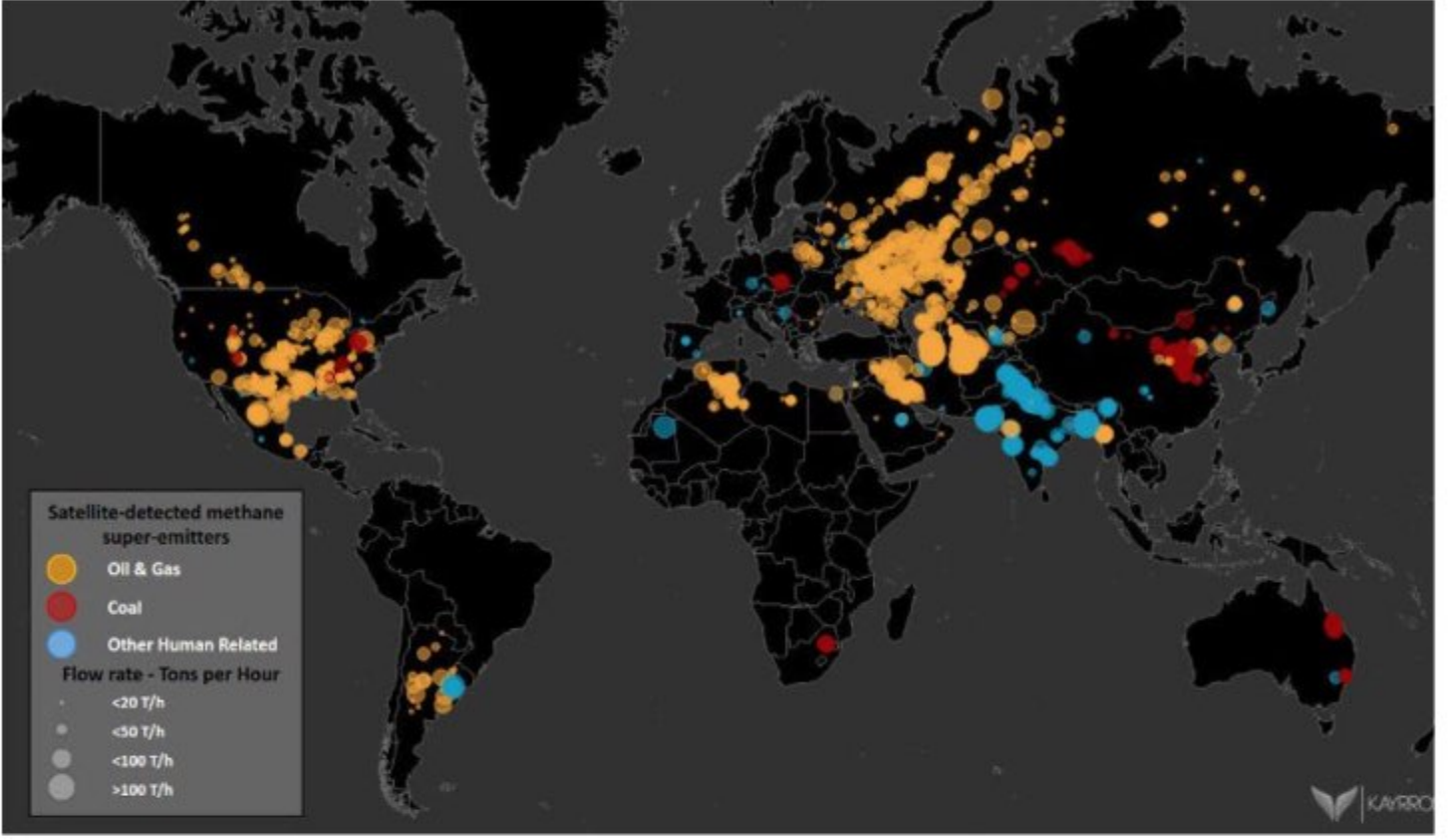
şeffaflık gerekliliklerini arttıracak ve AB'ye ihracat yapan firmaların metan emisyonlarını nasıl ölçtükleri, raporladıkları ve azalttıklarına dair bilgilerin toplanmasını gerektirecektir.

Petrol ve doğal gaz sektörleri uygun maliyetli emisyon azaltma potansiyeline sahiptir. Clausing ve meslektaşları (2023) ABD ve AB'nin metan azaltma politikalarını koordine edebileceğini ve daha düşük standartlara sahip ülkelerden yapılan ithalat ile ilişkili metan emisyonlarını fiyatlayabileceğini (SKDM gibi) öne sürmektedir. Bu politika, ABD ve AB'deki enerji fiyatları üzerinde minimum etkiye sahip olurken, diğer ülkeleri de benzer düzenlemeleri benimsemeye teşvik etmeyi amaçlamaktadır. Uzun vadede, bu tür uluslararası iş birliklerinin küresel iklim politikası eylemlerini geliştirmesi ve politik gerilimleri azaltması beklenmektedir.

## ABD

ABD küresel metan emisyonlarına en fazla katkıda bulunan ülkelerden biridir. Bu salımların büyük ölçüde petrol ve doğal gaz üretim ve dağıtım sistemi boyunca, gaz alevlendirme ile başlayarak gerçekleştiği tespit edilmiştir. Dünya çapında uydular aracılığıyla takip edilebilen kaçak metan emisyonlarının çoğunlukla ABD ve Rusya'da kümelenildiği görülmektedir. Gerekli önlemler alındığı takdirde bu kaçak emisyonların önüne geçmek mümkündür. Ancak çoğu şirket petrol ve doğal gaz çıkarılması (ekstraksiyonu) sırasında gazı yakalamak yerine doğal gazı havalandırmayı (venting) ya da alevlendirmeyi (flaring) tercih etmektedir. Bununla birlikte tanklar, kompresörler ve boru hatları dahil olmak üzere sistemin geri kalanında da önemli ölçüde önlenemez sızıntılar meydana gelmektedir.





Grafik 10: Uydudan Tespit Edilen Metan Emisyonlarının Mekânsal Dağılımı

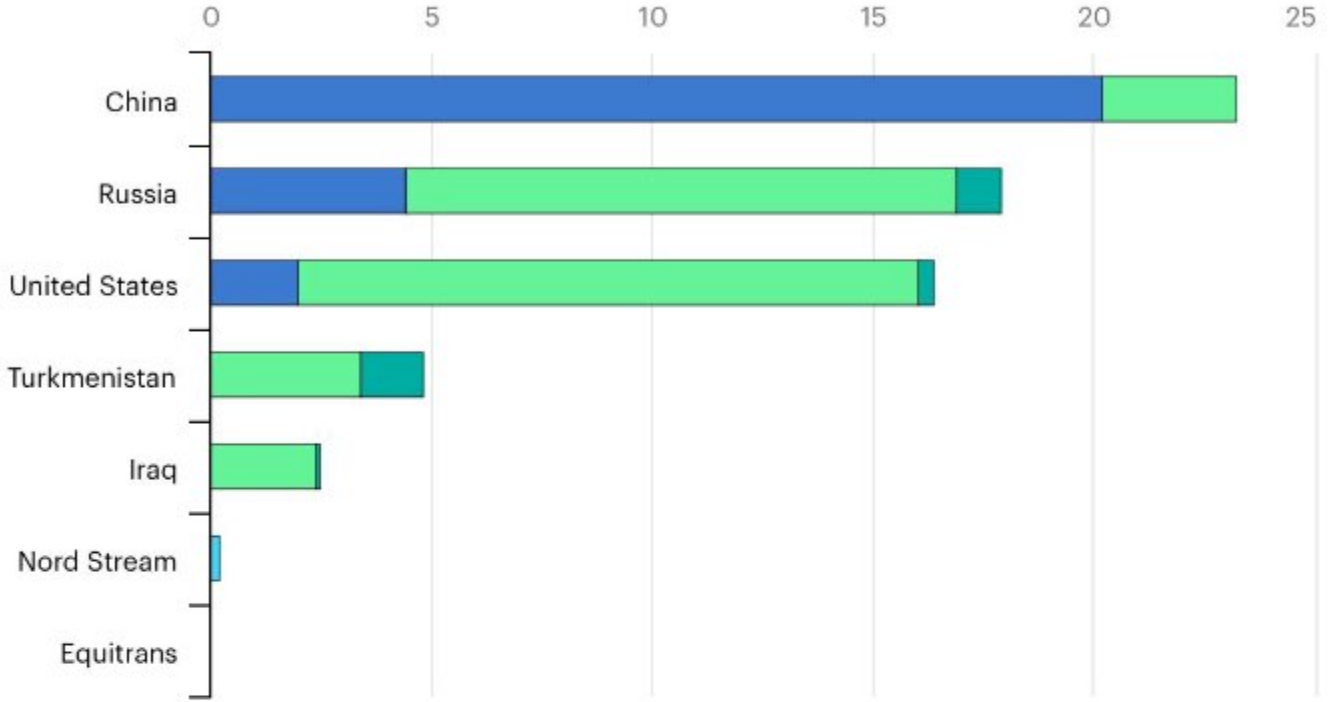
Obama Yönetimi Mart 2014'te metan emisyonlarıyla mücadele etmek için bazı adımlar atmış, bu emisyonları kontrol etmek için Temiz Hava Yasası'nı uygulamayı amaçlamış, ancak siyasi engeller bu girişimin etkinliğini sınırlandırmıştır. Daha güçlü bir eyleme duyulan ihtiyacın farkına varan ABD İklim İttifakı (Climate Alliance), 2017 yılında metan gibi kısa ömürlü kirleticilere, özellikle de metan havalandırma ve alevlendirmenin yaygın olduğu petrol ve doğal gaz sektörlerine odaklanarak kuruldu. Metan emisyonları için federal standartlar belirleme niyetine rağmen bu düzenlemelerin tutarlı bir şekilde uygulanması ve yürütülmesi zor olmuştur.

ABD'de çıkarılan 2022 tarihli Enflasyon Azaltma Yasası (IRA) kapsamında, yeni metan yönetmeliklerine metan emisyon vergisi de

eklenmesi önemli bir ileri adım teşkil etmektedir. IRA, belirlenen emisyon eşliğinin üzerindeki her bir ton metan emisyonu için, tesislerin bir önceki yıldaki fazla emisyonlarına 2025'te 900 \$, 2026'da 1.200 \$ ve 2027'de 1.500 \$ ödemesini zorunlu tutmaktadır. Mevzuat, sadece genel sera gazı emisyonlarını azaltmayı amaçlamakla kalmamakta, aynı zamanda metan emisyonlarını azaltmaya yönelik özel hükümler de içermektedir. Bu hükümlerin altyapı standartlarını güçlendirmesi, düzenleyici çerçeveleri iyileştirmesi ve yüksek metan çıktılı ile bilinen sektörlerde daha iyi uygulamaları teşvik etmesi beklenmektedir. Bu düzenleme, önceki girişimlerle uyumlu olmakla birlikte, önemli ölçüde metan azaltımı sağlamak için daha doğrudan federal katılım ve mali destek de vadetmektedir.

## Large leaks from fossil fuel operations, 2022

million tonnes



Grafik 11: Fosil Yakıt Faaliyetlerinden Kaynaklanan Metan Sızıntıları

### Çin

Çin'de metan emisyonlarının azaltılmasına yönelik yaklaşım, Çin'in dünyanın en çok metan emisyonuna sebep olan ülkesi olma gerçeğiyle yüzleştikçe değişmektedir. Çin, tüm insan kaynaklı metan emisyonlarının yaklaşık %10'unu üretmektedir. 2021 yılında Çin'in metan üretiminin 58 mt (milyon ton) ile 65 mt arasında olacağı tahmin edilmektedir. Bu da, yaklaşık 1,7 ila 1,9 milyar ton CO<sub>2</sub> eşdeğerine tekabül etmektedir.

Bu emisyonlara en büyük katkıyı sağlayan faaliyetleri, sırasıyla yaklaşık %40 ve %42 ile kömür madenciliği ve tarımdır. Bu nedenle Çin'deki ulusal stratejiler, metan emisyonlarını azaltmak için hem kömür madenciliğindeki

teknolojik gelişmelere hem de tarımsal uygulamalardaki iyileştirmelere odaklanmakta-

dır. Bu önlemler hayati önem taşımaktadır ve Çin'deki etkili metan yönetimi, iklim değişikliğini engellemeye yönelik küresel çabaları önemli ölçüde etkileme potansiyeline sahiptir.

Tarım, özellikle hayvancılık ve pirinç tarımı yoluyla, metan emisyonlarına önemli ölçüde katkıda bulunur ve sezon ortasında pirinç tarlaları bu alandaki ana kaynaklar olarak tanımlanır. Atık ve atık su sektörü, emisyonların yaklaşık %10'undan sorumlu olup, 2014 yılında kaydedilen son verilere göre hayvan gübresi ise tek başına en az 3,2 mt metan emisyonuna neden olmaktadır.

Özellikle ölçülmesi zor olan kömür madenciliğinden kaynaklanan metan, çıkarma işlemi sırasında ve terk edilmiş madenlerden

-güvenilir veri elde etmenin oldukça zor olduğu alanlardan- sızmaktadır. Global Energy Monitor'ün araştırması, Çin'in kömür madenlerinden kaynaklanan gerçek metan emisyonlarının resmi tahminlerin neredeyse iki katı olabileceğini gösteriyor. Bu durum, özellikle Çin'in en önde gelen kömür üretim bölgesi olan ve madenlerinden dünyanın geri kalanının toplamı kadar metan salımı yapabilen Shanxi eyaletinde daha da belirginleşmektedir. Bu bulgular, kaçak metan emisyonlarının doğru bir şekilde ölçülmesi ve raporlanmasındaki zorlukların altını çizmektedir.

Buna rağmen Çin, 2012 yılında ABD-Çin ortak deklarasyonunda söz verildiği üzere, COP26'da Küresel Metan Taahhüdü'nü imzalamamıştır. Dolayısıyla Çin, metan emisyonlarını 2030 yılına kadar %30 oranında azaltmaya yönelik küresel bir anlaşmaya henüz katılmamıştır. Bu durum, Çin'in metan emisyonlarını azaltmaya yönelik küresel çabalara tam olarak entegre olup olmadığı konusunda soru işaretleri yaratmaktadır.

Kaldı ki, dünyanın en büyük metan yayıcısı olarak Çin, Kasım 2023'te metan emisyonlarını azaltmaya yönelik bir plan geliştirmiştir. Plan, farklı sektörlerde çeşitli eylemler tanımlamış ancak sayısal hedefler içermemiştir. Bu kapsamda, 2025 yılına kadar etkili metan izleme ve kontrol sistemleri geliştirmeyi ve 2026 ile 2030 yılları arasında bunları önemli ölçüde iyileştirmeyi taahhüt ediyor. Uygulanması halinde bu plan, özellikle teknolojik ve yönetimsel kapasitenin artırılması yoluyla gelecekteki metan emisyonu azaltma çabalarının önünü açabilir. Ancak, Çin'in 2026-2030

planında spesifik azaltım hedeflerinin bulunmaması, uluslararası toplumu hayal kırıklığına uğratmıştır. Zira, başta metan olmak üzere yüksek ısınma potansiyeline sahip sera gazı emisyonlarının azaltılması, küresel iklim değişikliğiyle mücadelede kritik önem taşıyor.

## Rusya

Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) verilerine göre Rusya, petrol ve doğal gaz üretiminden kaynaklanan metan emisyonlarında dünyada ilk sırada yer almaktadır. Dolayısıyla, metan emisyonları söz konusu olduğunda Rusya'nın önemi unutulmamalıdır. Jeopolitik konumu ve en önemli enerji ihraç pazarı olan Avrupa'ya yaptığı ihracat nedeniyle Rusya bu konuda önlemler almaya başlamış, ancak Rusya-Ukrayna Savaşı ve ardından gelen enerji krizi bu süreci dondurmıştır.

2021 yılında Rusya, petrol ve doğal gaz sektörlerinden kaynaklanan 4 mt metan emisyonu açıklamıştır ve bu rakam IEA tarafından paylaşılan verilerin yalnızca %30'unu temsil etmektedir. Dolayısıyla geniş ve yaygın bir petrol ve doğal gaz endüstrisini denetlemesine rağmen Rusya'nın verdiği metan emisyonu rakamlarına, önemli yıllık dalgalanmalar nedeniyle güvenmek zordur. Ayrıca, Rusya metan emisyonlarını hesaplama metodolojilerini sık sık revize etmektedir.

Avrupa Uzay Ajansı tarafından işletilen Sentinel-5P uydusu üzerindeki Troposferik İzleme Aracı tarafından çekilen atmosferik metan görüntülerinin yakın zamanda yapılan bir analizi, 2019 ve 2020 yıllarında Rusya'da önemli sayıda metan süper yayıcı bulunduğunu ortaya koydu. Yaklaşık 1.800 süper yayıcıyı inceleyen bu çalışma, emisyon olaylarının çoğunun özellikle Rus gazını Avrupa pazarlarına taşıyan

Yamal ve Brotherhood boru hatları çevresinde yoğunlaştığını tespit etti.

Rusya'nın metan emisyonlarını azaltmak için bazı önlemler aldığı göz ardı edilmemelidir, ancak bu eylemlerin altında yatan motivasyonun iklim politikalarından ziyade Avrupa Birliği ile olan ticari ilişkilerine atfedilmesi daha doğrudur. AB'nin Yeşil Mutabakat'ı sadece üye ülkeler arasında değil, ticari ortaklar arasında da dönüşümü zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, Yeşil Mutabakat'ın bir parçası olan SKDM, AB ile ticari ilişkileri olan ülkeleri ciddi ölçüde etkilemektedir. Avrupa'nın hem Rus petrol hem de doğal gaz ihracatı için en büyük pazar olduğu düşünüldüğünde, ihracat endüstrisinin iklim politikaları geliştirmesi doğrudan bir ilişki sunmaktadır. Ek olarak, AB Emisyon Ticaret Sistemi (ETS) artık metan emisyonlarına ilişkin sınırlamalar da içermektedir, bu durumun da petrol ve doğal gaz fiyatları üzerinde etkileri olabilir ve bu iki fosil yakıtlı enerji kaynaklarını yenilenebilir enerji seçeneklerine kıyasla daha az rekabetçi hale gelecek.

Rusya'nın Ukrayna'yı işgalinin ardından AB, Rus doğal gazını eleştirel bir gözle incelemeye başladı ve enerji kaynaklarının potansiyel askerileştirilmesine dikkat çekti. Çatışmayı takip eden iki yıl içinde Avrupa'da dolaşan Rus gazında önemli bir düşüş olmasına rağmen önemli miktarda ihracat halen devam etmektedir. Nitekim, Rusya, Ukrayna'nın işgalinden sonra metan gazı emisyonları konusunda yeni bir politika geliştirmede ve Gazprom'un kriz öncesinde özellikle Avrupa Birliği'ne gaz ihracatı konusunda attığı adımlar kademeli olarak azaltıldı. Ukrayna çatışmasının ardından ilişkilerin bozulması Rusya'yı yeni pazarlar aramaya itti. Ne yazık ki bu pazarlar metan veya sera gazı emisyonlarının azaltılması

konusuna AB kadar ihtiyatlı yaklaşmamaktadır. Dolayısıyla, önümüzdeki dönemde Rusya'nın metan emisyonları konusunda ciddi tedbirler almasını beklemek çok gerçekçi olmayacaktır.

## Kurumlar

Küresel olarak metan kaynaklarını ve yutaklarını tahmin eden uluslararası bir işbirliği olan Küresel Metan Bütçesi, metan emisyonlarının daha iyi anlaşılması ve değerlendirilmesi için zemin hazırlamaktadır. UNEP'in Uluslararası Metan Emisyonları Gözlemevi (IMEO) metan emisyon verilerini toplayarak, doğrulayarak ve kamuya paylaşılarak, şeffaflık ve hesap verebilirlik sağlama konusunda kritik bir rol oynamaktadır. Bu girişim, büyük ölçüde metan emisyonuna neden olan kirleticilerin metan sızıntılarını azaltmak için titiz eylemler üstlenmeye teşvik ederek daha sürdürülebilir ve çevre dostu bir geleceğe yönelik küresel taahhüdü ortaya koymaktadır.

IMEO, doğru metan izleme ihtiyacına yanıt olarak IEA ve İklim ve Temiz Hava Koalisyonu (CCAC) ile iş birliği içinde COP27'de Metan Uyarı ve Müdahale Sistemi'nin (MARS) kurulmasına katkı sundu. MARS, emisyonların izlenmesi için kapsamlı bir kamu veri tabanı sağlayan uydu tabanlı bir küresel metan algılama sistemi ile desteklenmektedir.

Metan azaltımında kurumsal katılımın gerekliliğini kabul eden CCAC, ülkeleri etkili metan yönetimi stratejileri benimsemeleri konusunda desteklemektedir. Bunlar arasında metan sızıntısının tespiti için düzenlemeler, buhar geri kazanım ünitelerinin kurulması ve alevlendirme ve havalandırma için geliştirilmiş verimlilik standartları yer almaktadır.

CCAC ayrıca hayvancılık emisyonlarını yönetmek için düşük maliyetli çözümleri teşvik ederek tarım sektörünü de desteklemektedir.

Buna paralel olarak, Petrol ve Gaz Metan Ortaklığı (Oil and Gas Methane Partnership-OGMP) 2014 yılında CCAC tarafından metan azaltım çabalarını geliştirmek için özellikle fosil yakıt sektörünü hedef alarak kurulmuştur. Düzenleyici ve stratejik çerçeveyi daha da genişletmek için Dünya Bankası'nın Küresel Alevlendirme ve Metan Azaltma Ortaklığı (Global Flaring and Methane Reduction Partnership) (eski adıyla Küresel Gaz Alevlendirmeyi Azaltma Ortaklığı-Global Gas Flaring Reduction Partnership), metan emisyonlarında önemli azalmaları teşvik etmek için petrol ve doğal gaz üreten ülkelerdeki düzenleyici çerçeveleri gözden geçirmekte ve geliştirmektedir.

Harvard Üniversitesi Salata İklim ve Sürdürülebilirlik Enstitüsü'nün son girişimi, metan azaltımı konusunda süregelen kararlılığın altını çizmektedir. Bu araştırma ve sosyal yardım programı, küresel metan azaltımı gündemini ilerletmek için uluslararası işbirliklerini kolaylaştıran yasal, ticari, düzenleyici ve politik hususları içeren çok disiplinli bir yaklaşıma odaklanmaktadır. Ayrıca, bilimsel ve düzenleyici çabaları desteklemek için çalışmalar yapan Küresel Metan Merkezi (GMI), ülkelere metan emisyonlarını azaltmalarında ve Küresel Metan Taahhüdü'nün hedeflerine uygun planlar geliştirmelerinde yardımcı olmaktadır.

Son olarak, Sıfır Rutin Alevlendirme Girişimi (The Zero Routine Flaring Initiative), hükümetlerin yanı sıra petrol ve doğal gaz şirketlerinin mevcut petrol sahalarında 2030

ylına kadar rutin alevlendirmeye son vermelerini ve yeni petrol sahası gelişiminde rutin olarak gaz alevlendirmeme politikalarını desteklemek amacıyla 2015 yılında başlatılmıştır. Bu girişim, bir vakıf fonu olan Küresel Gaz Alevlendirme ve Metan Azaltma Ortaklığı (Global Gas Flaring and Methane Reduction Partnership) tarafından desteklenen bir Dünya Bankası girişimidir. Hükümetler ve şirketler bu girişime gönüllü olarak katılırsalar da verdikleri taahhütler izlenmektedir.

## Türkiye'deki Eylemler ve Öneriler

Türkiye'deki sera gazı emisyonlarının yaklaşık %12'si metandan kaynaklanmaktadır. Metan emisyonlarının sektörel dağılımına bakıldığında, %61,4'ünün tarımdan, %19,3'ünün enerjiden, %19,3'ünün atıktan ve %0,03'ünün ise endüstriyel süreçler ve ürün kullanımından kaynaklandığı görülmektedir. Bu nedenle, Türkiye'nin özellikle tarım, enerji ve atık sektörlerinde metan emisyonlarını azaltmaya yönelik düzenlemeler geliştirmesi kritik önem taşımaktadır.

Türkiye hava kirliliği konusunda oldukça sorunlu göstergelere sahiptir. Yıllık 580 vaka ile Türkiye, her bir mt metan emisyonu başına ozon maruziyetine bağlı astım vakaları ve acil servis ziyaretlerinde dünyada ilk 8 ülke arasında yer almaktadır. Aynı zamanda Türkiye, 10 mt metan başına solunum yolu ölümleri açısından dünyada 21. sırada yer almaktadır. Ayrıca 134 mt metan emisyonu başına buğday veriminde 0,186 mt kayıp yaşamaktadır ki bu rakam dünyada 7. en yüksek rakamdır.

Hava kirliliği kritik bir tehdit olarak görünse de Türkiye'de bu konuda yeterli farkındalık bulunmamaktadır. Kamuoyu desteğinin politikacıları daha cesur adımlar atmaya teşvik edebileceğinden hareketle, kamuoyunda farkındalık yaratmak ve aktif katılım sağlamak bu anlamda büyük önem taşımaktadır. Çevre/büyüme ikileminin söz konusu olduğu durumlarda halkın büyük çoğunluğu ve nihayetinde karar alıcılar, çevresel hususların ekonomik kalkınma üzerindeki uzun vadeli faydalarını dikkate almaksızın büyüme lehine hareket etme eğilimindedir. Günümüzde ekonomik kalkınmanın sürdürülebilir, çevreye duyarlı ve uygun maliyetli sonuçlar üretebileceği; ancak bunun için siyasi irade, girişimciler için teşvikler ve daha yüksek kamu bilinci gerektiği daha yaygın bir şekilde kabul görmektedir.

Türkiye; enerji, tarım ve atık sektörlerinden kaynaklanan metan gazını azaltmayı amaçlayan ulusal bir strateji hazırlayabilir. Metan emisyonlarını azaltmak için politika yapımcılar tek bir politika aracına güvenmek yerine bir dizi tamamlayıcı politika aracını uygulamayı göz önünde bulundurabilirler. Metan emisyonları üzerindeki kısıtlamalar, metan ücreti, karbon fiyatlandırma planları ve diğer iklim politikalarına tamamlayıcı olarak uygulanabilir. Metan azaltım teknolojilerinin benimsenmesi gibi azaltım stratejileri için sübvansiyon sağlanması, tüm sektörlerde metan emisyonlarının etkin bir şekilde düşürülmesi için gereklidir.

Metan emisyonları çeşitli sektörlerdeki birden fazla kaynaktan üretildiğinden, metan emisyonlarının kontrolüne yönelik bir eylem

planı çeşitli bakanlıklarla iş birliği içinde tasarlanmalıdır. Metan emisyonlarının yönetimi; çevre, enerji, tarım ve ticaret bakanlıkları dahil olmak üzere çeşitli devlet kurumlarının sorumluluğu altında olabilir. Metan azaltım önlemleri için etkili raporlama ve uygulama, kurumların eğitilmesini ve yeterli kaynakların tahsis edilmesini gerektirmektedir. Metan emisyonu üreten tüm sektörlerde daha iyi veri toplama ve veri yönetimi, ölçüm, izleme, raporlama ve modelleme çabalarını geliştirecektir.

Türkiye'de petrol sektöründe metan emisyonları havalandırma ve alevlenme yoluyla salınmaktadır. Türkiye önemli bir petrol ve doğal gaz üreticisi ülke olmamasına rağmen, uzun mesafeli doğal gaz iletim ve dağıtım hatlarındaki sızıntılar metan emisyonları açısından önemli bir sorun teşkil etmektedir. Eskiyen altyapı ve bu hatlardaki bakım eksikliği metan sızıntılarına yol açarak çevresel ve ekonomik kayıplara neden olabilir.

Türkiye, sızıntı tespiti ve onarımını fosil yakıtlı enerji şirketleri için zorunlu kılabilir, havalandırma ve alevlendirmeye kısıtlamalar getirebilir. Şirketlerin metan emisyonları için sahada sürekli izleme ve tespit ekipmanı kurmalarını zorunlu kılmak, ek olarak şirketlerin sızıntıları tespit etmek ve onarmak için kullandıkları teknolojileri güncellemelerine destek olmak kritik politika müdahaleleridir. Türkiye'nin uzun mesafeli gaz iletim ve dağıtım hatlarından kaynaklanan sızıntıları azaltma çabaları metan emisyonlarını azaltmada kilit öneme sahiptir ve daha geniş iklim değişikliği müdahalesinin bir parçası olarak sürekli iyileştirilmelidir.

Uluslararası iş birliği ve anlaşmalar, çeşitli paydaşların en iyi teknolojileri ve uygulamaları geliştirmesine, paylaşmasına ve benimsemesine olanak tanıyarak Türkiye'nin çabalarını daha da destekleyebilir. Örneğin, Sıfır Alevlendirme Girişimi'ne (Zero Flaring Initiative) katılmak, Türk hükümetinin metan emisyonlarının çevresel etkilerini azaltmasına, kaynak yönetimini iyileştirmesine, inovasyonu teşvik etmesine ve bilgi paylaşımı ve finansal fırsatlar için küresel bir ağ sağlamasına yardımcı olacaktır. Çeşitli özel sektör ve çevre savunucusu gruplar arasındaki ortaklıkların kolaylaştırılması ve CCAC gibi uluslararası kurumlarla ortaklıklar kurulması da şeffaflık ve hesap verebilirliği sağlayacaktır. Ayrıca, Kasım 2023'te başlatılan uluslararası Ölçüm, İzleme, Raporlama ve Doğrulama (MMRV) Çalışma Grubu'na katılmak veri yönetimi, güvenilirlik ve karşılaştırılabilirliği geliştirecektir.

Türkiye doğal gazının %99'unu ve petrolünün %93'ünü ithal etmektedir. Dolayısıyla Türkiye fosil yakıt enerjisine büyük ölçüde bağımlıdır ve enerji arz güvenliği uzun bir süredir enerji politikalarının tasarlanmasında öncelikli kaygı olmuştur. Rutin havalandırma ve alevlendirme uygulamalarının yasaklanması, zorunlu kaçak tespit ve onarım kuralları yoluyla metan emisyonlarının azaltılması; boşa harcanan enerjiyi değerlendirecek ve enerji güvenliğini artıracaktır. Bu tür politikalar fosil yakıtlı enerji kaynaklarının ithalatını azaltabilir, ithalata bağlı enflasyonist baskıların kontrol altına alınmasına yardımcı olabilir ve ticaret açığını bir ölçüde iyileştirebilir.

Türkiye, enerji sektöründe en çok metan emisyonlarına neden olan ülkeler arasında

sırasıyla ikinci ve dördüncü sırada yer alan Rusya ve İran ile komşudur. Bu ülkeler iklim politikalarında küresel iş birliğine daha az eğilimlidir. Bu nedenle Türkiye'nin Rusya ve İran ile iklim diplomasisi yürütmesi ve 2016 yılında ABD, Kanada ve Meksika tarafından hayata geçirilen iş birliği gibi bölgesel iş birliklerini savunması önemli avantajlar sağlayabilir. Ancak iklim politikalarının küreselleşmesi çözümün kritik eşiklerinden biri olduğu için bu tür işbirliklerinin geliştirilmesi yeterli olmayacaktır. Bu nedenle COP26'da başlatılan Küresel Metan Taahhüdü, metan emisyonlarına yönelik eylem için uluslararası sistemdeki en iddialı platform haline gelmiştir. Dolayısıyla Türkiye, Rusya, İran, Çin ve Hindistan'ın (taahhütte yer almayan ülkeler) bu platformun bir parçası olması metan emisyonlarıyla mücadeleyi önemli ölçüde destekleyecektir.

Tarımsal faaliyetler Türkiye'deki metan emisyonlarının en büyük payını oluşturmaktadır ve bu da tarım sektörünü metan azaltım stratejilerinde kilit bir konuma getirmektedir. Enterik (bağırsak kökenli) metan inhibitörlerinin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması, tarımsal metan emisyonlarını etkili bir şekilde azaltabilir. Çiftlik hayvanlarının diyetlerinin değiştirilmesi, yem hammaddesindeki besin değerlerinin iyileştirilmesi yoluyla geviş getiren hayvanların yem verimliliğinin artırılması ve hayvan sağlığı yönetimi uygulamalarının hayata geçirilmesi, metan emisyonlarını etkili bir şekilde azaltırken aynı zamanda hayvancılık sektöründeki verimliliği de artıracaktır. Politika yapıcılar, ileri teknolojilerin benimsenmesinde çiftçileri desteklemek için sübvansiyonlar tasarlamayı, yem alternatifleri geliştirmek için Ar-Ge faaliyetlerini ve hayvancılıkta yem verimliliğini artırmak için alternatif yöntemler kullanmayı desteklemeye yönelik politikalar geliştirmeyi göz önünde bulundurabilirler.



Çiftçiler arasında sürdürülebilir gübre yönetimi uygulamaları konusunda farkındalığın artırılması, çiftçilerin zengin gübrelerin yanı sıra hayvan gübresinin anaerobik (oksijensiz) çürütülmesi yoluyla yakalanan metandan biyogaz üretmelerine yardımcı olabilir. Politika yapıcılar bilgiye erişimi kolaylaştırabilir ve seçici yetiştirme yöntemlerine ilişkin teknik yardım da sağlayabilir. Ayrıca, alternatif yetiştirme yöntemlerinin benimsenmesi için çiftçilere teknik destek sağlanması, pirinç tarlalarındaki su tüketimini azaltırken metan salımının azaltılmasına yardımcı olabilir.

Türkiye ayrıştırma, toplama ve sınıflandırma gibi atık yönetimi tedbirlerinin uygulanmasında çok başarılı olamamıştır. Daha iyi atık yönetimi çözümlerinin uygulanması ön mali yatırımlar gerektirse de, uzun vadede önemli mali tasarruflar da getirmektedir. Atık yönetiminin iyileştirilmesindeki bir diğer kritik nokta, yerel ve ulusal düzeylerde kaynak akışları ve nakliye lojistiği için entegre planlama gerektirmesidir. Dolayısıyla, bu sektör için yerel ve ulusal hükümetler arasındaki koordinasyonun artırılması, istenen sonuçların elde edilmesinde kritik öneme sahiptir. Türkiye'de önemli miktarda önlenebilir gıda atığı bulunmaktadır. Belediyelerdeki atık yönetim sistemlerinin

geliştirilmesi, gıda ve diğer organik atık maddelerin zengin gübre ve biyogaza dönüştürülmesini kolaylaştırarak sentetik gübrelerin yerini alabilir, enerji üretebilir ve aynı zamanda metan emisyonlarını önemli ölçüde azaltabilir. Kompostlama ve anaerobik sindirim yöntemleriyle enerji üretilmesi, troposferik ozonun olumsuz etkilerine karşı hava ve toprak sağlığını iyileştirebilir ve gıda güvenliğini artırabilir. Bu tür politikalar aynı zamanda iş piyasasındaki kayıt dışılığı azaltacak, tehlikeli atık toplama uygulamalarını daha güvenli ve verimli çalışma koşullarıyla değiştirecektir.

## Sonuç

Metan, atmosferde karbondioksitten daha az miktarda olmasına rağmen çok daha güçlü bir sera gazıdır. Metan emisyonları, küresel ısınmaya önemli ölçüde katkıda bulunur ve troposferik (yer seviyesi) ozon oluşumu yoluyla insan sağlığını, tarımsal verimliliği ve bitki sağlığını etkiler. Küresel ısınmanın hızlanması, sıcaklık artışını sanayi öncesi dönemlere göre 1,5°C'de sınırlamak ve 2050 yılına kadar net sıfır hedeflerine ulaşmak için metan emisyonlarının mümkün olan en kısa sürede azaltılması gerektiğini göstermektedir.



Metan, atmosferde karbondioksitten daha az miktarda olmasına rağmen çok daha güçlü bir sera gazıdır. Metan emisyonları, küresel ısınmaya önemli ölçüde katkıda bulunur ve troposferik (yer seviyesi) ozon oluşumu yoluyla insan sağlığını, tarımsal verimliliği ve bitki sağlığını etkiler. Küresel ısınmanın hızlanması, sıcaklık artışını sanayi öncesi dönemlere göre 1,5°C'de sınırlamak ve 2050 yılına kadar net sıfır hedeflerine ulaşmak için metan emisyonlarının mümkün olan en kısa sürede azaltılması gerektiğini göstermektedir.

Metan emisyonlarını azaltmak, kısa vadede iklim değişikliğiyle mücadelede alınabilecek en etkili önlemlerden biri olarak kabul edilmektedir. Çünkü metan, karbondioksitten daha güçlü bir sera gazıdır; atmosferde daha kısa süre kalır ve maliyet etkin azaltma çözümleri mevcuttur. Son teknolojik gelişmeler, metan emisyonlarının tespit edilmesini, ölçülmesini ve önlenmesini kolaylaştırmaktadır. Metan emisyonlarının önemli bir miktarı önlenabilir ve böylece karlı iş fırsatları doğurabilir.

Metan emisyonlarına yönelik politikaları uygulamak için ulusal ve uluslararası eylemler gerekmektedir. Metan azaltma stratejileri ancak son yıllarda önem kazanmaya başlamış, politika yapımcılar iş birliğine daha açık hale gelmiş ve çeşitli girişimler başlatılmıştır. Bu rapor, Türkiye'deki çeşitli sektörlerde ortaya çıkan metan emisyonlarının azaltımı için potansiyel eylemleri ve faydaları tanımlamaktadır.

## Referanslar

Pörtner, H.-O. ve diğerleri (eds) Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli Altıncı Değerlendirme Raporuna Çalışma Grubu II Katkısı (Cambridge Univ. Press, 2022).

<https://climate.nasa.gov/vital-signs/methane/?intent=121#:~:text=201750'de%20başlayan%20metanın%20konsantrasyonu>.

Allen, G. H. (2022). Atmosferik metandaki 2020 dalgalanmasının nedeni netleşti.

IEA (2023), Global Methane Tracker 2023, IEA, Paris

Birleşmiş Milletler Çevre Programı ve İklim ve Temiz Hava Koalisyonu (2021). Küresel Metan Değerlendirmesi: Metan Emisyonlarını Azaltmanın Faydaları ve Maliyetleri. Nairobi: Birleşmiş Milletler Çevre Programı.

Parry, I. W., Black, M. S., Minnett, D. N., Mylonas, M. V., & Vernon, N. (2022). Metan emisyonları nasıl azaltılır. Uluslararası Para Fonu.

UNEP 2011. Yakın Vadede İklimin Korunması ve Temiz Hava Faydaları: Kısa Ömürlü İklim Zorlayıcılarının Kontrolü için Eylemler, Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP), Nairobi, Kenya

Malley, C. S., Henze, D. K., Kuylenstierna, J. C., Vallack, H. W., Davila, Y., Anenberg, S. C., ... & Ashmore, M. R. (2017). Uzun süreli ozon maruziyetine atfedilebilecek 30 yaş üstü yetişkinlerde solunum ölümlerine ilişkin güncellenmiş küresel tahminler. Environmental health perspectives, 125(8), 087021.

<https://www.unep.org/news-and-stories/story/methane-emissions-are-driving-climate-change-heres-how-reduce-them>

Birleşmiş Milletler Çevre Programı ve İklim ve Temiz Hava Koalisyonu (2021). Küresel Metan Değerlendirmesi: Metan Emisyonlarını Azaltmanın Faydaları ve Maliyetleri. Nairobi: Birleşmiş Milletler Çevre Programı.

Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP). 2021. "Küresel Metan Değerlendirmesi: Metan Emisyonlarını Azaltmanın Faydaları ve Maliyetleri." UNEP ve İklim ve Temiz Hava Koalisyonu, Nairobi.

<https://flaringventingregulations.worldbank.org>

Dünya Bankası. 2021. "Yedi Ülke Küresel Gaz Kaçakçılığının Üçte İkisinden Sorumludur." Basın Bülteni 2021/143/EEEX, 28 Nisan. <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2021/04/28/seven-countries-account-for-two-thirds-of-global-gas-flaring>.

<https://blogs.worldbank.org/voices/boost-energy-security-and-cut-methane-emissions-reducing-gas-flaring-and-venting>

IEA (2023), Global Methane Tracker 2023, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/global-methane-tracker-2023>, Lisans: CC BY 4.0

Plant, G., Kort, E. A., Brandt, A. R., Chen, Y., Fordice, G., Gorchov Negron, A. M., ... & Zavala-Araiza, D. (2022). Verimsiz ve aydınlatılmamış doğal gaz alevlerinin her ikisi de büyük miktarlarda metan yayıyor. *Science*, 377(6614), 1566-1571.

<https://flaringventingregulations.worldbank.org>

<https://www.iea.org/reports/global-methane-tracker-2023/understanding-methane-emissions>

Birleşmiş Milletler Çevre Programı ve İklim ve Temiz Hava Koalisyonu (2021). Küresel Metan Değerlendirmesi: Metan Emisyonlarını Azaltmanın Faydaları ve Maliyetleri. Nairobi: Birleşmiş Milletler Çevre Programı.

Birleşmiş Milletler Çevre Programı ve İklim ve Temiz Hava Koalisyonu (2021). Küresel Metan Değerlendirmesi: Metan Emisyonlarını Azaltmanın Faydaları ve Maliyetleri. Nairobi: Birleşmiş Milletler Çevre Programı.

Hristov, A. N., Oh, J., Firkins, J. L., Dijkstra, J., Kebreab, E., Waghorn, G., ... & Tricarico, J. M. (2013). Özel konular-Hayvan işletmelerinden kaynaklanan metan ve azot oksit emisyonlarının azaltılması: I. Enterik metan azaltım seçeneklerinin gözden geçirilmesi. *Journal of animal science*, 91(11), 5045-5069.

De Haas, Y., Veerkamp, R. F., De Jong, G., & Aldridge, M. N. (2021). Süt sığırlarından kaynaklanan metan emisyonları için bir azaltma aracı olarak seçici yetiştirme. *Animal*, 15, 100294.

Habtewold, J., Gordon, R., Sokolov, V., VanderZaag, A., Wagner-Riddle, C., & Dunfield, K. (2018). Asitlendirilmiş süt bulamacından kaynaklanan metan emisyonlarındaki azalma, methanosarcina türlerinin inhibisyonu ile ilişkilidir. *Frontiers in microbiology*, 9, 2806.

Farmers Weekly, 15 Temmuz 2021, 'Cornish firması çamur emisyonlarını yakıtı dönüştürmek için kit yarattı'

Hannah Ritchie (2020) - "Sektör sektör: küresel sera gazı emisyonları nereden kaynaklanıyor?" OurWorldInData.org adresinde çevrimiçi olarak yayınlanmıştır. Erişim adresi: 'https://ourworldindata.org/ghg-emissions-by-sector' [Çevrimiçi Kaynak]

Birleşmiş Milletler Çevre Programı (2021). Gıda Atık Endeksi Raporu 2021. Nairobi.

<https://www.sepa.org.uk/regulations/waste/landfill/biodegradable-municipal-waste-landfill-ban/>

Stanley, E. H. ve diğerleri. Akarsu ve nehirlerdeki metan ekolojisi: modeller, kontroller ve küresel önem. Ecol. Monogr. 86, 146-171 (2016).

Rosentreter, J. A. ve diğerleri Küresel metan emisyonlarının yarısı oldukça değişken sucul ekosistem kaynaklarından gelmektedir. Nat. Geosci. 14, 225-230 (2021).

Rocher-Ros, G., Stanley, E.H., Loken, L.C. ve diğerleri. Nehir ve akarsulardan kaynaklanan küresel metan emisyonları. Nature 621, 530-535 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06344-6>

Yvon-Durocher, G. ve ark. Metan akıları mikrobiyal ölçekten ekosistem ölçeğine kadar tutarlı sıcaklık bağımlılığı göstermektedir. Nature 507, 488-491 (2014).

Zhu, Y. ve diğerleri. Deneysel ısınmanın neden olduğu tatlı su metan emisyonlarında orantısız artış. Nat. İklim. Change 10, 685-690 (2020).

Peng, S., Lin, X., Thompson, R. L., Xi, Y., Liu, G., Hauglustaine, D., ... & Ciais, P. (2022). Sulak alan emisyonu ve atmosferik yutak değişiklikleri 2020'deki metan büyümesini açıklıyor. Nature, 612(7940), 477-482.

Rosentreter, J. A., Borges, A. V., Deemer, B. R., Holgerson, M. A., Liu, S., Song, C., ... & Eyre, B. D. (2021). Küresel metan emisyonlarının yarısı oldukça değişken sucul ekosistem kaynaklarından geliyor. Nature Geoscience, 14(4), 225-230.

Tollefson, J. (2021). BİLİM İNSANLARI ALARM VERDİKTEN SONRA YASA DIŞI CFC EMİSYONLARI DÜŞTÜ. Nature, 590(7846), 373-373.

Montzka, S. A., Dutton, G. S., Portmann, R. W., Chipperfield, M. P., Davis, S., Feng, W., ... & Theodoridi, C. (2021). 2018- 2019 döneminde küresel CFC-11 emisyonlarında düşüş. Nature, 590(7846), 428-432.

Birleşmiş Milletler Çevre Programı/İklim ve Temiz Hava Koalisyonu (2022). Küresel Metan Değerlendirmesi: 2030 Temel Raporu. Nairobi.

<https://www.cop28.com/en/news/2023/12/Oil-Gas-Decarbonization-Charter-launched-to-accelerate-climate-action>

<https://www.cop28.com/en/news/2023/12/Oil-Gas-Decarbonization-Charter-launched-to-accelerate-climate-action>

<https://obamawhitehouse.archives.gov/blog/2014/03/28/strategy-cut-methane-emissions>

Olczak, M., Piebalgs, A., & Balcombe, P. (2023). Metan politikalarına ilişkin küresel bir inceleme, emisyonların yalnızca %13'ünün belirsiz bir etkinlikle karşılandığını ortaya koyuyor. *One Earth*, 6(5), 519-535.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0663>

Clausing, K., Garicano, L. ve Wolfram C. (2023). Metan emisyonlarına ilişkin uluslararası bir anlaşma iklim değişikliği konusunda gelişmiş küresel işbirliğinin önünü nasıl açabilir? Peterson Uluslararası Ekonomi Enstitüsü Raporu.

Lee, K. (2023) Russia's methane emissions and the war in Ukraine - Columbia Üniversitesi Küresel Enerji Politikası Merkezi Sipa: CGEP, Columbia Üniversitesi Küresel Enerji Politikası Merkezi SIPA | CGEP. Erişim adresi: <https://www.energypolicy.columbia.edu/publications/russia-s-methane-emissions-and-war-ukraine/> (Erişim tarihi: 30 Nisan 2024).

Olczak, M., Piebalgs, A., & Balcombe, P. (2023). Metan politikalarına ilişkin küresel bir inceleme, emisyonların yalnızca %13'ünün belirsiz bir etkinlikle karşılandığını ortaya koyuyor. *One Earth*, 6(5), 519-535.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0663>

Patel, A. (2023). Çin'in Yeni Metan Planı İklim Hedefleri İçin Ne Anlama Geliyor?, *Carbon Brief*.

[https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk03/202311/t20231107\\_1055437.html](https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk03/202311/t20231107_1055437.html)

Clausing, K., Garicano, L. ve Wolfram C. (2023). Metan emisyonlarına ilişkin uluslararası bir anlaşma iklim değişikliği konusunda gelişmiş küresel işbirliğinin önünü nasıl açabilir? Peterson Uluslararası Ekonomi Enstitüsü Raporu.

Lee, K. (2023) Russia's methane emissions and the war in Ukraine - Columbia Üniversitesi Küresel Enerji Politikası Merkezi Sipa: CGEP, Columbia Üniversitesi Küresel Enerji Politikası Merkezi SIPA | CGEP. Erişim adresi: <https://www.energypolicy.columbia.edu/publications/russia-s-methane-emissions-and-war-ukraine/> (Erişim tarihi: 30 Nisan 2024).

<https://obamawhitehouse.archives.gov/blog/2014/03/28/strategy-cut-methane-emissions>

Climate Watch Tarihsel Sera Gazı Emisyonları (1990-2020 ). 2023. Washington, DC: Dünya Kaynakları Enstitüsü. Çevrimiçi olarak şu adresten erişilebilir: [climatewatchdata.org/ghg-emissions](https://climatewatchdata.org/ghg-emissions)

Chen, Z., Jacob. ve diğerleri (2022). Çin'den metan emisyonları: TROPOMI uydu gözlemlerinin yüksek çözünürlüklü inversiyonu, *Atmos. Chem. Phys.*

Zhijian, X. (2023). Çin pirinç tarımı denemeleri metan emisyonlarını azalttı. *Dialogue Earth*, Rapor.

Barbanell, M. (2023). Metan Emisyonları Konusunda ABD ve Çin Arasında İşbirliği Önerileri. Dünya Kaynakları Enstitüsü, Rapor.

Tate, R. D. (2022). Petrol ya da Gazdan Daha mı Büyük? Kömür Madeni Metanını Boyutlandırmak, Küresel Enerji Monitörü, Rapor.

Uluslararası Enerji Ajansı, "Genel Bakış," Global Methane Tracker 2022, <https://www.iea.org/reports/global-methane-tracker-2022/overview>.

Steven Mufson, Isabelle Khurshudyan, Chris Mooney, Brady Dennis ve diğerleri, "Russia Allows Methane Leaks at Planet's Peril," Washington Post, 19 Ekim 2021, <https://www.washingtonpost.com/climate-environment/interactive/2021/russia-greenhouse-gas-emissions/>.

"O&G ultra-yayıncılarından kaynaklanan tahmini emisyonlar Türkmenistan için en yüksek seviyededir... onu Rusya, ABD (Permiyen havzası hariç), İran, Kazakistan ve Cezayir izlemektedir." Lauvaux, Giron, Mazzolini, d'Aspremont ve diğerleri, "Petrol ve Gaz Metan Ultra Yayıncılarının Küresel Değerlendirmesi."

Sera Gazı Emisyon İstatistikleri, 1990-2021 (2023) TÜİK Kurumsal. Erişim adresi: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sera-Gazi-Emisyon-Istatistikleri-1990-2021-49672> (Erişim: 03 Mayıs 2024).

Birleşmiş Milletler Çevre Programı ve İklim ve Temiz Hava Koalisyonu (2021). Küresel Metan Değerlendirmesi: Metan Emisyonlarını Azaltmanın Faydaları ve Maliyetleri. Nairobi: Birleşmiş Milletler Çevre Programı.

[https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.METH.EG.KT.CE?most\\_recent\\_value\\_desc=true](https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.METH.EG.KT.CE?most_recent_value_desc=true)

[https://globalmethane.org/documents/oilngas\\_turkey\\_sectorReport\\_2017.pdf](https://globalmethane.org/documents/oilngas_turkey_sectorReport_2017.pdf)

Sera Gazı Emisyon İstatistikleri, 1990-2021 (2023) TÜİK Kurumsal. Erişim adresi: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sera-Gazi-Emisyon-Istatistikleri-1990-2021-49672> (Erişim: 03 Mayıs 2024).

Çakar, B., Aydın, S., Varank, G., & Özcan, H. K. (2020). Türkiye'de GIDA atıklarının çevresel etkilerinin değerlendirilmesi. Temiz Üretim Dergisi, 244, 118846.

Clausing, Kimberly A. ve Wolfram, Catherine ve Garicano, Luis ve Garicano, Luis, Metan Emisyonları Üzerine Uluslararası Bir Anlaşma İklim Değişikliği Konusunda Gelişmiş Küresel İşbirliğinin Önünü Nasıl Açabilir (13 Haziran 2023). Peterson Uluslararası Ekonomi Enstitüsü Politika Özeti No. 23-7, SSRN'de mevcuttur: <https://ssrn.com/abstract=4477571>

## Grafik Kaynakları

1. Grafik Veri Kaynağı: IEA (2022), Global Methane Tracker 2022, IEA, Paris.
2. Grafik Veri Kaynağı: IEA (2022), Global Methane Tracker 2022, IEA, Paris.
3. Grafik Veri Kaynakları: Birleşmiş Milletler Çevre Programı ve İklim ve Temiz Hava Koalisyonu (2021). Küresel Metan Değerlendirmesi: Metan Emisyonlarını Azaltmanın Faydaları ve Maliyetleri. Nairobi: Birleşmiş Milletler Çevre Programı. Jackson, R.B., Saunois, M., Bousquet, P., Canadell, J.G., Poulter, B., Stavert, A.R., Bergamaschi, P., Niwa, Y., Segers, A. ve Tsuruta, A. (2020). Artan antropojenik metan emisyonları eşit oranda tarımsal ve fosil yakıt kaynaklıdır. Environ. Res. Lett., 15, 071002. Jackson R.B., Solomon E.I., Canadell J.G., Cargnello M., Field C.B. ve Abernethy S. (2020). Yanıtla: Atmosferik metan giderimine ilişkin pratik kısıtlamalar. Nature Sustainability, 3, 358-359.

4. Veri Kaynakları: Birleşmiş Milletler Çevre Programı ve İklim ve Temiz Hava Koalisyonu (2021). Küresel Metan Değerlendirmesi: Metan Emisyonlarını Azaltmanın Faydaları ve Maliyetleri. Nairobi: Birleşmiş Milletler Çevre Programı. Jackson, R.B., Saunois, M., Bousquet, P., Canadell, J.G., Poulter, B., Stavert, A.R., Bergamaschi, P., Niwa, Y., Segers, A. ve Tsuruta, A. (2020). Artan antropojenik metan emisyonları eşit oranda tarımsal ve fosil yakıt kaynaklıdır. *Environ. Res. Lett.*, 15, 071002. Jackson R.B., Solomon E.I., Canadell J.G., Cargnello M., Field C.B. ve Abernethy S. (2020). Yanıtla: Atmosferik metan giderimine ilişkin pratik kısıtlamalar. *Nature Sustainability*, 3, 358-359.
5. Veri Kaynağı: IEA (2022), Global Methane Tracker 2022, IEA, Paris.
6. Veri Kaynağı: İklim ve Temiz Hava Koalisyonu (CCAC) <https://www.ccacoalition.org/content/agriculture-solutions>
7. Birleşmiş Milletler Çevre Programı ve İklim ve Temiz Hava Koalisyonu (2021). Küresel Metan Değerlendirmesi: Metan Emisyonlarını Azaltmanın Faydaları ve Maliyetleri. Nairobi: Birleşmiş Milletler Çevre Programı. Jackson, R.B., Saunois, M., Bousquet, P., Canadell, J.G., Poulter, B., Stavert, A.R., Bergamaschi, P., Niwa, Y., Segers, A. ve Tsuruta, A. (2020). Artan antropojenik metan emisyonları eşit oranda tarımsal ve fosil yakıt kaynaklıdır. *Environ. Res. Lett.*, 15, 071002. Jackson R.B., Solomon E.I., Canadell J.G., Cargnello M., Field C.B. ve Abernethy S. (2020). Yanıtla: Atmosferik metan giderimine ilişkin pratik kısıtlamalar. *Nature Sustainability*, 3, 358-359.
8. Veri Kaynakları: Birleşmiş Milletler Çevre Programı ve İklim ve Temiz Hava Koalisyonu (2021). Küresel Metan Değerlendirmesi: Metan Emisyonlarını Azaltmanın Faydaları ve Maliyetleri. Nairobi: Birleşmiş Milletler Çevre Programı. Jackson, R.B., Saunois, M., Bousquet, P., Canadell, J.G., Poulter, B., Stavert, A.R., Bergamaschi, P., Niwa, Y., Segers, A. ve Tsuruta, A. (2020). Artan antropojenik metan emisyonları eşit oranda tarımsal ve fosil yakıt kaynaklıdır. *Environ. Res. Lett.*, 15, 071002. Jackson R.B., Solomon E.I., Canadell J.G., Cargnello M., Field C.B. ve Abernethy S. (2020). Yanıtla: Atmosferik metan giderimine ilişkin pratik kısıtlamalar. *Nature Sustainability*, 3, 358-359.
9. Kaynak: IEA (2024), Global Methane Tracker 2024, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/global-methane-tracker-2024>, Lisans: CC BY 4.0
10. Kaynak: Görüntüler Kayros'un izniyle (değiştirilmiş Avrupa Uzay Ajansı Copernicus verilerini içeriyor)
11. Kaynak: Uluslararası Enerji Ajansı IEA (2023), Fosil yakıt operasyonlarından kaynaklanan büyük sızıntılar, 2022.



daktilo 1984



2050



İletişim: [asterisk2050@daktilo1984.com](mailto:asterisk2050@daktilo1984.com) | [info@climateunion.earth](mailto:info@climateunion.earth)