

Sağlıklı Bir Gezegen İçin Aşılmaması Gereken Sınırlar

Dr. Mahir E. Ocak [TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi

Yaklaşık on beş yıl önce, Dünya'nın Sanayi Devrimi öncesindeki benzer bir gezegen olmaya devam edebilmesi için aşılmaması gereken dokuz gezegensel sınır belirlenmişti. Son bilimsel çalışmalar bu dokuz sınırın altısının çoktan aşıldığını gösteriyor.



remi/istock

Peru'daki Machu Picchu İnkâ antik şehri

Son buzul çağının günümüzden yaklaşık 11.000 yıl önce sonlanmasından beri çevre ve iklim koşullarında çok uzun bir süre önemli bir değişim yaşanmadı. Ta ki insan etkinlikleri yavaş yavaş doğayı bozmaya başlayınca kadar... Günümüzde; son buzul çağından sonra başlayan Holosen devresinin bittiği, Dünya'nın jeolojisinde ve ekosistemlerde insan etkisinin belirgin bir biçimde görüldüğü, Antroposen olarak adlandırılan yeni bir jeolojik devrenin başladığı öne sürülüyor. Hatta Antroposen'in başlangıcının nasıl tanımlanabileceğine dair bilimsel çalışmalar yapılıyor.

Günümüzden yaklaşık 200 yıl öncesine kadar insanlar görece boş bir Dünya'nın içinde yaşıyorlardı. Nüfus azdı, doğal kaynaklara çoktu. Yerel koşullar kötüleştiğinde yaşamaya daha uygun başka yerlere kolaylıkla göç edilebiliyordu. Son iki yüzyılda yaşanan bilimsel ve teknolojik gelişmelerden sonra ise halk sağlığı önemli derecede iyileşti. Dünya'daki toplam insan nüfusu hızla artmaya başladı. Artık dolu bir Dünya'da yaşıyoruz. Sebep olduğumuz çevre ve iklim sorunlarından kaçınmak eskisi kadar kolay değil. Üstelik insan etkinliklerinin sebep olduğu değişimlerin varacağı son noktayı bugünden kestirmek de zor. Doğal koşulların güvenli sınırlar içinde kalmasını sağlamak için gerekli adımların atılması gerekiyor. Aksi takdirde insan toplulukları açısından yıkıcı sonuçlar ortaya çıkabilir.

Bir grup araştırmacı 2009 yılında yayımladıkları bir makalede Dünya'nın insan topluluklarını uzak geçmişte olduğu gibi desteklemeye devam edebilmesi için aşılmaması gereken dokuz gezegensel sınır belirlemişti. Bu sınırlar şu başlıklar altında yer alıyordu: iklim değişikliği, biyoküre bütünlüğü, ozon incelmeleri, okyanusların asitliği, azot ve fosfor kirliliği, ormansızlaşma, tatlı sular, atmosferdeki aerosoller ve sentetik kimyasallar. İlk makale yayımlandığında hem eldeki veri miktarı azdı hem de tüm başlıklardaki sınırlar için nicel değerler belirlenememişti. Ancak aradan geçen zamanda pek çok çalışma yapıldı. Yakın zamanlarda yayımlanan bir makalede ilk kez tüm başlıklar için nicel kriterler belirlendi. Sonuçlar biri hariç tüm başlıklarda gidişatın kötüye doğru olduğunu gösteriyor.

Biyoküre Bütünlüğü

Biyoküre terimi, içinde canlıların yaşadığı Dünya parçasını ifade etmek için kullanılır. Dünya'daki koşulların düzenlenmesinde yerküre ile biyoküre arasındaki etkileşimler önemli rol oynar. Biyokürenin bu işlevini yerine getirmesini sağlayan temel etkense genetik çeşitliliktir. Dolayısıyla biyokürenin bütünlüğünü ölçmek için gezegensel işlevinin yanı sıra genetik çeşitliliğini de göz önünde bulundurmak gerekiyor.

Geçmişte biyoçeşitlilikle ilgili gezegensel sınır, türlerin yok olma oranı ile ilişkilendirilmişti. Uzak





geçmişte türlerin hangi hızla yok olduğu hakkında net sayılar elde etmek kolay olmasa da günümüzde türlerin yok olma oranının son on milyon yıldaki ortalamanın onlarca hatta belki de yüzlerce katı olduğu tahmin ediliyor.

Günümüzde biyokürenin yaklaşık 8 milyon bitki ve hayvan türüne ev sahipliği yaptığı düşünülüyor. Bu türlerin yaklaşık bir milyonu, soyunun tükenmesi tehlikesiyle karşı karşıya. Son 150 yıl içinde bitki ve hayvan türlerinin genetik çeşitliliği %10'dan fazla azalmış olabilir.

Genetik çeşitlilik konusunda aşılması gereken sınır, milyon tür başına yılda 10 yok olma olarak

tanımlanıyor. Başka bir deyişle her yıl yok olan türlerin sayısının toplam türlerin sayısına oranının milyonda 10'u geçmemesi gerekiyor. Bu oranın günümüzdeki değerininse en iyimser tahminlere göre bile milyonda 100'ün üzerinde olduğu belirtiliyor.

Biyokürenin işlevselliği ise net birincil üretimle (fotosentezin biyoküreye sağladığı madde ve enerji akışıyla) ilişkilendiriliyor. İşlevselliği korumak için göz önünde bulundurulması gereken ölçüt ise insanların birincil üretimden aldığı pay.

Söz konusu karasal birincil üretim olduğunda, bilimsel çalışmalar Holosen ortalamasının $55,9 \times 10^9$ ton karbon/yıl civarında

olduğunu gösteriyor. Üstelik bu değerdeki salınımlar çok az. Yıllık değişimler $1,1 \times 10^9$ karbon/yıl'ı geçmiyor. Analizler 1700 civarındaki birincil üretimin de Holosen değerlerine yakın olduğu sonucunu veriyor. 1700 yılı civarında "potansiyel doğal" net birincil üretim $56,2 \times 10^9$ karbon/yıl civarındaydı. Arazi kullanımı göz önünde bulundurulduğunda ise bu değer $54,7 \times 10^9$ karbon/yıl'a düşüyor. 2020'ye gelindiğinde, atmosferdeki karbondioksit miktarının aşırı artmasının fotosentezi de artırması nedeniyle, potansiyel doğal net birincil üretim $71,4 \times 10^9$ karbon/yıl'a kadar çıkabilirdi. Ancak küresel arazi kullanımındaki artış nedeniyle net birincil üretim $65,8 \times 10^9$ karbon/yıl'da kaldı.



Utopia_88 / iStock

İklim Değişikliği

Çağımızın en büyük çevre sorunlarından biri olan iklim değişikliği atmosferdeki sera gazları miktarının aşırı yükselmesinden kaynaklanıyor. Sera gazları kızılötesi ışığı (ısıyı) soğurabilen ve yayabilen gazlardır. Atmosferdeki sera gazları yerküreden yayılan ısıyı önce soğurup daha sonra tekrar yayar. Bu şekilde yeryüzünden yayılan ısının bir kısmının geri yansımaya neden olur. Eğer atmosferde sera gazları olmasaydı yeryüzü, üzerinde sıvı suyun bulunmasına imkân vermeyecek kadar soğuk olurdu. Dolayısıyla sera gazları Dünya'daki canlılar için hayati önem taşır. Ancak atmosferdeki sera gazlarının



İnsanların birincil üretimden aldığı pay; hem hasat edilen ziraî üretimi hem de tarım, ağaçlandırma, hayvan otlatma gibi nedenlerle net birincil üretimin insan eliyle değiştirilmesini (daha çok azaltılmasını) kapsıyor. İnsanların birincil üretimden aldığı pay, Sanayi Devrimi öncesindeki Holosen ortalamalarına ya da günümüzdeki potansiyel birincil üretim değerlerine göre hesaplanabilir. Ancak günümüzdeki potansiyel birincil üretim artışı büyük oranda atmosferdeki aşırı karbondioksit birikiminden kaynaklanıyor ve küresel ısınmanın etkilerini azaltabilmek için güncel fazladan üretimin hasat edilmemesi ve korunması gerekiyor. Bu yüzden insanların net birincil üretimden aldığı payın sanayi öncesi Holosen ortalamalarına

göre hesaplanması daha doğru bulunuyor. Araştırmacılara göre, insanların net birincil üretimden aldığı pay için güvenli bir değer %10 olabilir. Bu değer %20'yi aşması ise tehlikeli bulunuyor. Holosen'in erken dönemlerinde insanların birincil üretimden aldığı pay %2 civarındaydı. Bugünse bu oran %30'lara kadar çıktı. Tehlike sınırının 1800'lerin sonlarında aşılmaya başlandığı belirtiliyor.

İnsanlar yiyecek, giyecek, hayvan yemi gibi ihtiyaçlarını birincil üretimden aldıkları payla karşılıyor ve karşılamaya da devam edecek. Daha sürdürülebilir bir gelecek için net birincil üretimin artması gerekiyor. Dünya'nın on milyar insanı güvenli bir biçimde beslemesinin mümkün olduğu tahmin ediliyor. Ancak bunun gerçekleşebilmesi için bilimsel ve teknolojik gelişmelere ihtiyaç var.

miktarının aşırı artması yeryüzünün ortalama sıcaklığının yükselmesine ve iklim değişikliklerine sebep oluyor. Bugün Dünya'nın ortalama yüzey sıcaklığı Sanayi Devrimi öncesine kıyasla yaklaşık 1,2 °C daha yüksek.

Küresel iklim değişikliğinin canlılar için pek çok olumsuz sonuçları var: aşırı hava olayları, buzul erimeleri, deniz seviyelerinin yükselmesi... 2015 yılında Paris'te düzenlenen İklim Değişikliği Konferansı'nda, tüm bu olumsuz sonuçların en aza indirgenebilmesi için küresel ısınmayı 1,5 °C ile sınırlandıracak önlemlerin alınması kararlaştırılmıştı. Ancak son bilimsel çalışmalar 1,5 °C'lık ısınmanın da Dünya açısından çok olumsuz sonuçları olabileceğini gösteriyor.

Araştırmacılar iklim değişikliği ile ilgili iki ölçüt öne sürüyor. Birincisi atmosferdeki karbondioksit derişimi ile ilgili. Fosil yakıt kullanımı gibi insan etkinlikleri bir sera gazı olan karbondioksitin atmosferde birikmesine neden oluyor. Holosen'in ilk dönemlerinde atmosferdeki karbondioksit derişimi 280 mg/L civarındaydı. Bugün ise bu değer 417 mg/L'ye yükseldi. Araştırmacılara göre atmosferdeki karbon dioksit derişimi için güvenli bir sınır 350 mg/L olabilir. Bu sınır değer, Paris İklim Konferansı'nda konulan 1,5 °C derecelik hedeften daha düşük bir küresel ısınmaya karşılık geliyor.

İkinci ölçüt ise ışımsal zorlamayla ilgili. Dünya Güneş'ten enerji alır ve kendisi de uzaya

enerji yayar. İklim değişikliğine sebep olan doğal ve insan kaynaklı etkenlerin Dünya'nın enerji dengesinde sebep olduğu değişim ise ışımsal zorlama olarak adlandırılır. Atmosfere salınan sera gazları ve aerosoller ile yeryüzünün ışığı yansıtma özelliğinde yaşanan değişimler ışımsal zorlamaya sebep olan etkenlerin en önemlileridir. Günümüzde yeryüzünün her bir metrekaresi sanayi devrimi öncesine kıyasla her saniye 2,91 joule (J) daha fazla enerji alıyor. Bu değer 1 J'ü aşmaması gerektiği belirtiliyor.

Sonuç olarak hem karbondioksit derişimi hem de ışımsal zorlama değerleri günümüzde sınır değerlerin üzerinde yer alıyor.





Ozon İncelmesi

Atmosferdeki ozon (O₃) tabakası Güneş'ten gelen zararlı ışıklardan yeryüzünü korur. 1980'lerde ozon tabakasının Antarktika üzerinde kalan kısımlarında inceleme tespit edilmişti. Bilimsel çalışmalar bu incelenin bilinçsizce atmosfere salınan CFC'ler ve başka çeşitli kimyasallardan kaynaklandığını gösterdi. 1987 yılında Montreal Protokolü ile ozon inceltici malzemelerin üretimine sınırlamalar getirildikten sonra ozon tabakası iyileşmeye başladı.

Andrii Yalanskyi / iStock

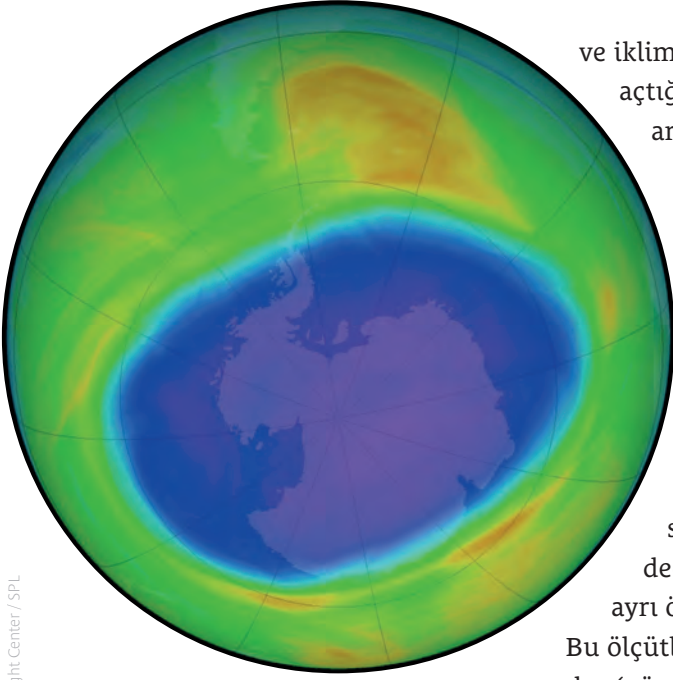
Atmosferdeki ozon miktarını ifade etmek için, yeryüzündeki bir noktadan yükselen hayali bir sütunun içinde kalan madde miktarını ifade eden Dobson birimi (DU) kullanılıyor. Sanayi Devrimi öncesinde atmosferdeki ozon miktarı 290 DU'ydu. Ozon miktarı için aşılması gereken sınır değeri ise 276 DU kabul ediliyor. Günümüzde atmosferdeki ozon miktarı yaklaşık 284 DU. Dolayısıyla atmosferdeki ozon miktarı Sanayi Devrimi öncesindeki kadar yüksek olmasa da güvenli bölgenin içinde yer alıyor. Sınır değerler artık sadece Güney Yarım Küre'de bahar mevsiminin yaşandığı 3 aylık dönemlerde ve sadece Antarktika'nın üzerinde kalan bölgelerde aşıyor. Ozon tabakasındaki iyileşmenin gelecekte de devam etmesi bekleniyor.

Yeni Geliştirilen Malzemeler

Sentetik kimyasallar, nükleer atıklar, genetiği değiştirilmiş organizmalar ve insan eliyle üretilmiş daha pek çok malzeme çevreye saçılıyor. Bu malzemelerin pek çoğunun dünya sistemine etkileri ise iyi bilinmiyor. Geçmişte bilinçsizce kullanılan sentetik malzemelerin zararlarının sonradan farkına varılması ile ilgili pek çok örnek var. Örneğin böcek öldürücü olarak kullanılan DDT'lerin çevreye zararları ya da geçmişte çok çeşitli teknolojilerde kullanılan kloroflorokarbonların (CFC'lerin) ozon tabakasına etkileri çok sonradan fark edildi.

İdeal olarak dünya sistemine etkilerinin ne olacağı bilinmeyen malzemelerin çevreye salınmaması gerekir. Dolayısıyla yeni geliştirilen malzemelerin doğaya salınmaması için aşılması gereken sınır değeri de "0" olmalıdır.

Dünya genelinde güvenli olduğu test edilmeden çevreye salınan malzemelerin miktarı hakkında bir veri yok. Ancak Avrupa Birliği Kimyasalların Kayıt, Değerlendirme, Yetkilendirme ve Sınırlandırma (REACH) düzenlemeleri ile kayıt altında tutulan kimyasalların %80'inin hiçbir güvenlik testinden geçmeden on yıldan uzun süre kullanımda kaldığı biliniyor. Dünya genelinde üretilen sentetik kimyasalların sadece ufak bir kısmının kayıt altında bulunduğu REACH verilerine bakarak sorunun büyüklüğü hakkında bir fikir edinilebilir.



2020 yılında Antarktika üzerindeki ozon incelmesini gösteren uydu görüntüsü

Tatlı Sular

İnsan etkinlikleri tatlı su döngüsünde de değişimlere sebep oluyor. Belirli bölgelerdeki tatlı su miktarı artıyor ya da azalıyor. Örneğin Batı Amerika'nın en büyük nehirlerden Colorado Nehri, sularının aşırı tüketilmesi

ve iklim değişikliğinin yol açtığı kuraklık nedeniyle artık denize ulaşamıyor.

Bir zamanlar dünyanın en büyük göllerinden olan Orta Asya'daki Aral Gölü de büyük oranda çöle dönüştü.

Son yapılan çalışmada tatlı su döngüsündeki değişimler ile ilgili iki ayrı ölçüt öne sürülüyor.

Bu ölçütlerden biri "mavi" sular (yüzeydeki ve yer altındaki su birikintileri), diğeri ise "yeşil" sular (bitkiler tarafından kullanılabilen toprak nemi) ile ilgili. Sanayi Devrimi öncesinde mavi ve yeşil sulardaki değişkenlikler %3 civarındaydı. Karasal alanların sadece %10,2'sindeki mavi su miktarlarında ve sadece %11,2'sindeki yeşil su miktarlarında bu değerlerin üzerinde sapmalar yaşanıyordu. Günümüzde bu oranlar sırasıyla %18,2'ye ve %15,8'e çıktı. Tatlı sulardaki

değişimler ile ilgili güvenli bir sınırın Sanayi Devrimi öncesindeki değerlerin %95'i olabileceği belirtiliyor. Dolayısıyla hem mavi sular da hem de yeşil sular da güvenli bölgenin dışına çıkmış durumda.

Aerosoller

Aerosoller atmosferde asılı kalan katı parçacıklar ya da sıvı damlacıklardır. Çöl tozları, yangın dumanları, volkanik patlamalar sırasında atmosfere karışan tozlar aerosol kaynaklarından bazılarıdır. Sanayi Devrimi sonrasındaki dönemde atmosferdeki aerosol miktarının ne kadar değiştiği hakkında hassas tahminler yapmak zor. Ancak çeşitli gözlemsel verilere dayanarak 1750'lerdekine kıyasla atmosferdeki aerosol miktarının kabaca iki katına çıktığı tahmin ediliyor. Günümüzde atmosferdeki tozların en büyük kaynağı Sahra Çölü. Ancak 5.000-15.000 yıl önceki dönemde bu bölge göllerle, sulak alanlara ve bitki örtüsüyle doluydu.

Atmosferdeki aerosol yüklenmesini değerlendirmek için aerosol optik derinliği (AOD) diye adlandırılan bir ölçüt kullanılıyor. AOD, aerosoller nedeniyle yeryüzüne ulaşan Güneş ışığı



Bir zamanlar dünyanın en büyük göllerinden biri olan Aral Gölü, bugün büyük oranda çölleşti.

miktarındaki toplam azalmaya karşılık gelir. Geçmişte Güney Asya'da yüksek AOD değerlerinden kaynaklanan yağış azalmaları ile ilgili gözlemlerden yola çıkılarak Güney Asya için bir bölgesel sınır değeri belirlenmiş, muson bölgelerinde AOD değerinin 0,25'in üzerine çıkmasının yağış miktarında belirgin bir azalmaya sebep olarak biyoküre bütünlüğünü bozacağı öne sürülmüştü. Günümüzde Güney Asya'daki AOD değeri yaklaşık 0,3 ve dolayısıyla sınır değerin üzerinde yer alıyor. Verilerdeki eksiklikler nedeniyle aynı sınır değerinin tüm Dünya genelinde de uygulanabilir olup olmadığı bilinmiyor. Dünya'nın bütünündeki ortalama AOD değeri günümüzde yaklaşık 0,14.

Sadece yüksek AOD değerleri değil, Kuzey ve Güney yarım küreler arasındaki AOD farkları da, Batı Afrika ve Hindistan musonlarında görüldüğü gibi, muson sistemlerini etkileyebiliyor. Doğal ve insan kaynaklı aerosollerin de aralarında bulunduğu çeşitli etkenler Kuzey ve Güney yarım küreler arasında belirgin sıcaklık farkları oluşmasına neden oluyor. Aerosollerin neden olduğu ışınimsal zorlama farkları da Kuzey Yarım Küre'nin görece soğumasına ve tropik yağmurların güneye kaymasına yol açıyor. Volkan patlamalarını takip eden aerosol-iklim etkileşimleri ile ilgili çalışmalar;

son bin yılda Kuzey Yarım Küre'nin AOD'sinin yüksek ve yarım küreler arasındaki AOD farkının büyük olduğu zamanlarda, Kuzey Yarım Küre'nin daha az yağış aldığını, Güney Yarım Küre'de daha fazla aerosollerin salındığı dönemlerdeyse Kuzey Yarım Küre'nin daha fazla yağış aldığını gösteriyor. Bu sonuçlar, büyük volkanik patlamalardan sonra tropik bölgelerde ortalama yağışın azaldığını gösteren gözlemlerle ve küresel iklim modelleriyle de uyumlu. 1988 yılında Birleşmiş Milletler bünyesinde kurulan Devletlerarası İklim



NASA/SPL



NASA/SPL

Değişikliği Paneli'nin (IPCC) 2021 yılında yayımlanan 6. Değerlendirme Raporu'nda da 1950-1980 döneminde muson yağmurlarında yaşanan azalma kısmen Kuzey Yarım Küre'deki insan kaynaklı aerosol salımla ilişkilendirildi. Son yayımlanan çalışmada bu bulgulardan yola çıkılarak aerosol yüklenmesini ölçmek için yarım kürelerin yıllık ortalama AOD değerleri arasındaki farkın kullanılması öneriliyor.

Günümüzde yarım küreler arasındaki yıllık ortalama AOD farkı yaklaşık 0,076. Kuzey Yarım Küre'de bahar ve yaz dönemlerinde toz fırtınalarında yaşanan mevsimsel artış nedeniyle bu değer 0,1'e kadar çıkıyor. Sanayi Devrimi öncesinde ise yıllık ortalamalar arasındaki farkın 0,03 olduğu tahmin ediliyor. Aerosol yüklemesi için aşılması gereken sınır değer ise 0,1 olarak belirlendi. Ancak AOD farklarının etkilerinin tam olarak anlaşılması için bilimsel çalışmalara ihtiyaç duyulduğu ve sınır değerlerin güncellenmesi gerekebileceği belirtiliyor. Şu an için güncel değer belirlenen sınırın altında kalıyor.

Okyanusların Asitliği

İnsan etkinlikleri nedeniyle atmosferdeki karbondioksitin artmasının sonuçlarından biri de okyanus sularının asitliğinin artmasıdır. Atmosferde daha fazla karbondioksit olduğunda sulara çözünen karbondioksit miktarı da doğal olarak yükselir. Bu durum okyanus sularında çözünen karbonik asit miktarının artmasına ve okyanus sularının daha asidik olmasına yol açar.

Okyanuslarda yaşayan mercanlar, fitoplanktonlar ve daha pek çok canlı kabuklarını ve iskeletlerini oluşturmak için aragonit kullanır. Okyanus sularının asitliğinin artması ise bir tür kalsiyum karbonat kristali olan aragonitin daha fazla çözünmesi anlamına gelir. Dolayısıyla okyanus sularının asitliğinin artması hem kabuklarında ve iskeletlerinde aragonit kullanan canlıların hem de bu canlılarla beslenen diğer canlıların varlığı için bir tehdittir.

Okyanusların asitliği ile ilgili bir gezegensel sınır tanımlamak için yüzey sularının aragonit doygunluk durumu (Ω) bir ölçüt olarak kullanılıyor. Aragonit doygunluk durumunun 1'den küçük olması aragonitin kolaylıkla çözüneceği anlamına gelir. Aragonite bağımlı canlılar Ω değeri 1'in üzerinde olan sulara yaşar.

Sanayi Devrimi öncesinde okyanusların yüzey sularının Ω değerinin yaklaşık 3,44 olduğu tahmin ediliyor. Aşılması gereken sınır değer ise bu değer %80'i olarak kabul ediliyor. Günümüzde okyanusların yüzey sularının Ω değeri Sanayi Devrimi öncesindeki yaklaşık %81'i. Dolayısıyla her ne kadar Ω değeri güvenli bölgenin içinde yer alsın da sınıra çok yakın. Gelecekte atmosferdeki karbondioksit miktarı artmaya devam ederse Ω değerinin düşmesi ve sınırın aşılması kaçınılmaz.





Amazon Yağmur Ormanları

luoman / iStock

Azot ve Fosfor Kirliliği

Azot ve fosfor yaşamın yapı taşlarından. Günümüzde ziraatta kullanılmak için üretilen gübrelere de azot ve fosfor yer alıyor. Ziraai üretimi artırmak açısından yararlı olsalar da yapay gübreler aynı zamanda çevreye zarar veriyor. İnsan etkinlikleri nedeniyle etrafa saçılan gübreler hem azot ve fosfor döngüsünü etkiliyor hem de karalarda ve sularda kirliliğe sebep oluyor.

Okyanuslardaki aşırı oksijen azalmasını engelleyebilmek için tatlı suların okyanuslara taşıdığı fosfor miktarının yıllık 11 milyon tonun üzerine çıkmaması gerektiği belirtiliyor. Günümüzde tatlı suların okyanuslara taşıdığı fosfor miktarı ise yaklaşık 22,6 milyon ton civarında. Gübrelere aşırı fosfor topraklara karşı fosfor miktarı için aşılması gereken üst sınır ise

Ormansızlaşma

Ormanlar iklimin düzenlenmesinde önemli bir rol oynuyor. Ancak dünya genelindeki toplam orman alanları arazi açma ve yangınlar gibi nedenlerle giderek azalıyor. Bu gezegensel sınırdaki dünya sisteminde önemli rol oynayan tropik ve ılıman bölgelerdeki ormanlar ile Kuzey Kutbu'na yakın bölgelerdeki kuzey ormanlarına odaklanılıyor. Aşılması gereken sınır değerler ise erken Holosen dönemindeki ormanların kapladığı potansiyel alanlarla kıyaslanarak belirleniyor. Tropik, ılıman ve kuzey ormanları için bu değerler sırasıyla %85, %50 ve %85.

Söz konusu tropik ormanlar olduğunda Kuzey ve Güney Amerika'daki orman alanları, Sanayi Devrimi öncesindeki %83,9'una; Afrika'daki orman alanları, Sanayi Devrimi öncesindeki %54,3'üne; Asya'daki orman alanları ise Sanayi Devrimi öncesindeki %37,5'ine düştü. İliman iklimlerdeki ormanların değerleri ise şunlar: Kuzey ve Güney

Amerika'da %51,2, Avrupa'da %34,2, Asya'da %37,9. Kuzey ormanlarının değerleri de şunlar: Amerika'da %56,6, Avrasya'da %70,3. Bu değerler yerkürenin ormanlarla kaplı üç ana bölgesindeki ormansızlaşmanın boyutlarını gözler önüne seriyor. Dünya genelindeki toplam orman alanlarına bakıldığında da aynı durum söz konusu. Günümüzde yerküredeki toplam orman alanı Sanayi Devrimi öncesindeki %60'ına düştü. Söz konusu toplam orman alanları olduğunda aşılması gereken sınırsa %75 olarak belirtiliyor.



Jim West / SPL

yıllık 11,2 milyon ton fosfor olarak belirlendi. Güncel değer ise yaklaşık 17,5 milyon ton. Dolayısıyla her iki kriterde de sınır aşılmış durumda.

Azotlu gübreler açısından aşılmaması gereken sınır ise yıllık 62 milyon ton. Günümüzde kullanılan azotlu gübreler ile ilgili verilerdeki belirsizlik çok yüksek. Ancak Gıda ve Tarım Örgütü'nün verilerine göre bir yılda ziraatta kullanılan insan üretimi gübrelerdeki azot miktarı 190 milyon ton civarında. Bu değer, sınırın çok üzerinde yer alıyor.

Sonuç

Özellikle sanayinin gelişmeye ve dünya nüfusun hızla artmaya başlamasından sonra insan etkinlikleri doğada önemli tahribata yol açtı. İklim hızla değişiyor, orman alanları giderek azalıyor, türlerin yok olma hızı aşırı derecede yükseldi, okyanusların asitliği artıyor, tatlı sulara erişim zorlaşıyor, sentetik kimyasallar bilinçsizce çevreye salınıyor. Tüm bunlar insanların çok uzun zamandır içinde yaşadığı koşulların değişmesi anlamına geliyor. Gezegenel sınırlar hakkında yapılan bilimsel çalışmalar, bu sorunların günümüzde ulaştığı seviyenin belirlenmesi ve Dünya'nın

insan topluluklarını geçmişte olduğu gibi beslemeye devam edebilmesi için atılması gereken adımlar konusunda insanları bilinçlendirmeyi amaçlıyor.

Gezegensel sınırlar hakkında ilk çalışma 2009'da yayımlanmıştı. Aradan geçen zamanda başlıklar aynı kalsa da yeni bulgular ışığında, değerlendirmelerde kullanılan ölçütler ve sınır değerler güncellendi. Yakın zamanlarda yayımlanan bir makalede, gezegenel sınırların tamamı için ilk kez nicel kriterler belirlendi. Sonuçlar, biyoküre bütünlüğü, iklim değişikliği, sentetik kimyasallar, azot ve fosfor kirliliği, ormansızlaşma ve tatlı sular açısından sınırların çoktan aşıldığını gösteriyor. Okyanusların asitliği ve atmosferdeki aerosoller açısından sınırlar henüz aşılmamış olsa da gidişat kötüye

doğru. Sınırın aşılmadığı ve gidişatın iyiye doğru olduğu tek başlıksa ozon incelmeleri.

Günümüzde insan etkinliklerinin sebep olduğu sorunları aşmak için çeşitli çabalar gösteriliyor. Ancak bu çabalar genellikle tek bir sorunu çözmeye odaklanıyor. Oysa sorunların pek çoğu birbirleriyle bağlantılı. Örneğin iklim değişikliği, türlerin yok olma hızını artırarak biyoküre bütünlüğünü de etkiliyor. Benzer biçimde azot ve fosfor kirliliği de türlerin yok olma hızını artıran bir başka etken. Dolayısıyla insan etkinliklerinin sebep olduğu sorunlara bir bütün olarak yaklaşmak gerekiyor. Bu sorunların büyük bir kısmının altında yatan ana etken insan yerleşimlerinin giderek büyümesi. Gelecekte karbon salımının azaltılmasına, ormansızlaşmanın önüne geçilmesine ve yeni tarım uygulamalarına ihtiyaç duyuluyor. ■

RomoloTavani / iStock



Kaynaklar

- Richardson, K., ve ark., "Earth beyond six of nine planetary boundaries", *Science Advances*, Cilt 9, Makale: eadh2458, 2023.
- Foley, J., ve ark., "Boundaries for a Healthy Planet", *Scientific American*, <https://www.scientificamerican.com/article/boundaries-for-a-healthy-planet/>, 1 Nisan 2010.
- Bartels, M., "Humans have crossed 6 of 9 'Planetary Boundaries'", *Scientific American*, <https://www.scientificamerican.com/article/humans-have-crossed-6-of-9-planetary-boundaries/>, 13 Eylül 2023.