



Toprak Ekosistemi Değişiyor mu?

Doğal olaylar; enerji tüketimindeki artış, endüstrileşme, yoğun tarım, kentsel ve kırsal gelişmeler, ormanların tahribi gibi insan aktiviteleri, atmosferin gaz bileşiminde önemli değişimler meydana getirmiş; dolayısıyla toprak ekosistemi de bu değişimden payına düşeni almıştır. Ancak bu değişimin nasıl olduğu konusunda halen tam anlamıyla bilimsel bir yanıt verilebilmiş değildir. Bu konuda yapılmış çalışmaların eksikliği dikkati çekecek boyutlarda bulunmaktadır; dolayısıyla geliştirilen model çalışmalarını araştırmacıların ilgisi beklemektedir.

GÜNÜMÜZDE, atmosferde mevcut gazların bileşiminde ve miktarında ortaya çıkan değişimler ve bu değişimlerin beraberinde getirdiği veya uzun vadede getireceği diğer değişiklikler, birçok araştırma grubunun öncelik verdiği stratejik araştırma konularından biri durumundadır. Doğal olaylar yanı sıra, enerji tüketimindeki artışlar, endüstrileşme, yoğun tarım, kentsel ve kırsal gelişmeler, ormanların tahribi gibi insan aktiviteleri, atmosferin gaz bileşiminde önemli değişimler meydana getirmiştir. Bunun sonucu CO₂ konsantrasyonu son buzul döneminde yaklaşık 180-200 ppm, endüstri süreci başlangıcında 270 ppm, şimdiki durumda ise 320-350 ppm gibi bir düzeye yükselmiş ve son 100-200 yılda yaklaşık %25-30 artış kaydedilmiştir. Benzer eğilim diğer belli başlı sera gazlarında da (CH₄, NO_x, karbohalojenitler) görülmüştür. Böyle bir durum her on yılda 0,1-0,8 °C arasında sıcaklık yükselmesi sonucunu doğurmuştur. Sıcaklık yükselmesi düzensiz bir seyir izlemekte ve Kuzey Amerika'nın orta karasal kısmı ile Avrupa'nın Asya kesitinde daha fazla olduğu tahmin edilmektedir. Ekva-

tordan kutup bölgelerine uzanan bölgelerde sıcaklık yükselmesini ve sonuçlarını tahmin eden çeşitli modeller (Global Circulation Models, GCMs) geliştirilmeye başlanmış ve iklimdeki beklenen değişikliklerin doğal çevreye etkileri 1993 yılında NATO tarafından İngiltere'de düzenlenen "Advanced Research Workshop"ta geniş bir araştırmacı grubunun katılımı ile tartışılmıştır.

Yerkabuğunda Karbonun Dağılımı

Yeryüzünde toplam karbonun (C) %99,9'u tortul kayalar içerisinde bulunmaktadır. Organik karbonun, inorganik karbona oranı yaklaşık 1:4 şeklindedir. Organik karbon,

ince taneli tortul kayalarda kerojen veya bitümler olarak yer alır. Diğer önemli iki karbon kaynağı ise okyanus alkaliliği (HCO₃, CO₃) ve askıda yüzen küçük taneciklerdir.

Organik karbon en fazla kilittaşları (shale) içerisinde bulunur (%90+) ve bunların C içeriği derinlikle azalır. Organik karbon bitki, hayvan, böcek ve mikroorganizma artıklarının farklı fiziksel, kimyasal ve biyolojik ortamlarda değişimi olarak dikkate alınır. Tortul kayalardaki organik karbonun %95 ve daha fazlasını kerojen ve bitümler oluşturur. Bunların üzerlerinin diğer materyallerle örtülmüş bulunması veya ortamda yeterli oksijenin olmaması ayrışma işlemini engeller ve uzun süre kararlı kalmalarını sağlar. Başka bir deyişle, en önemli karasal işlem, toprak-tarım etkileşimi ve bitki dinamikleri arasında, katı yer kabuğunun atmosfer oksijenine temas ettiği kesimde yoğunlaşır.

Kayaçların ayrışması, jeolojik zaman sürecinde karbon çevriminde önemli bir rol oynar. Burada genellikle mineral-inorganik ayrışma dikkate alınır. Ayrışma, karbonat sistemini uzun bir zaman aralığında etkiler. Bu uzun işlem okyanuslarda alkaliliğe (HCO₃) neden olur.

Yerkabuğunda karbon dağılımı

Kaynak	x10 ²⁰ g	%
Sedimenter:		
Organik C	140,0	18,6
Karbonat kayalar	612,0	81,3
Karasal:		
Organik C	0,018	0,002
Okyanus:		
HCO ₃	0,35	0,05
CO ₃	0,043	0,005
CO ₂ +H ₂ CO ₃	0,0023	0,0003
İnce taneli biyomas	0,048	0,006
	0,00008	0,000001
Atmosfer		
CO ₂	0,0065	0,00086

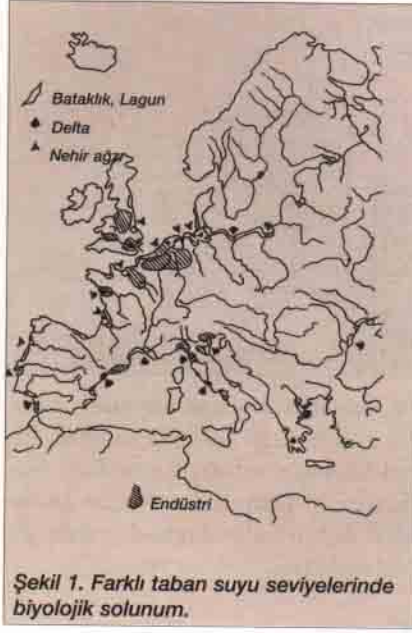
Alkalilik deniz ya da okyanuslarda karbonat minerallerinin (CaCO₃, MgCO₃) oluşumu ile dengelenir.

Atmosferde Sera Etkisi

Doğal koşullarda toprak mikroorganizmaları, karasal ekosistem içerisinde karbon ve nitrojenin küçük bir kısmını stok etmelerine karşın, CH₄ ve N₂O'nin global kaynağı, CO₂ ve NO'nin ise başlıca üreticisidir. Toprak mikrobiyal biyolojik kütlesi, karasal ekosistemdeki toplam karbonun %1'den daha azına sahiptir; ancak karasal ekosistemin yaklaşık yarısını bu gazları solumakla sağlarlar. Nitekim toprak mikroorganizmaları, fosil yakıtların (kömür, petrol v.b.) yanması sonucu oluşan CO₂, CH₄, NO ve N₂O'den birkaç kez daha fazlasını üretirler.

Topraktaki C ve N'nin mikrobiyal transformasyonlarını etkileyen en önemli faktörler C ve N bileşiklerinin varlığı, sıcaklık, nem ve asitliliğidir. İnsan faaliyetleri tüm bu faktörleri etkiler. Sadece taban suyu değişimleri (çeltik kültürü gibi) bu gazların atmosfere etkilerini önemli derecede yönlendirir. (Şekil 1) Bu örneğin yanı sıra, esas olarak insan faaliyetleri sonucu ormanların tahribi, yoğun endüstriyelleşme, fosil yakıt tüketimindeki artışlar, arazi kullanımında meydana gelen değişimler yer kabuğundan yayılan enerjiyi absorbe etme özelliği taşıyan CO₂, CH₄, NO₂ ve NO gibi eser gazların miktarını arttırmakta, dolayısıyla yer yüzeyi daha fazla ısınarak atmosferik sirkülasyonlar bundan etkilenmektedir. Nitekim endüstri sürecinin başladığı yaklaşık son yüzyıl içerisinde atmosferdeki CO₂ miktarı 1990 yılında % 25 artışla 350 ppm'ye ulaşmış, böylece atmosferin sıcaklığının her on yılda ortalama 0,3°C yükselme gösterdiği kaydedilmiştir. Metan miktarı da bu dönem içerisinde ikiye katlanmış durumdadır. 2030 yılında ise atmosferdeki CO₂ miktarının 450 ppm civarında olacağı tahmin edilmektedir.

Birçok araştırmacıya göre, önümüzdeki 2050 yılına doğru sıcaklık rejimi desenindeki değişimler öncelikler yağış karakteristiklerini etkileyecektir (yağış veya yağmur ve kar



Şekil 1. Farklı taban suyu seviyelerinde biyolojik solunum.

miktarı, zaman içindeki dağılımı, yağmur yoğunluğu gibi). Artan sıcaklıklar okyanus yüzeyinden olan buharlaşmayı daha da artıracaktır. Deniz yüzeylerinden buharlaşma yaklaşık 44.000 km³/yıldır. Şimdiki durumda ortalama 11,5°C olan sıcaklık 1°C yükselecek olursa buharlaşmanın %20 artması sonucu 10.000 km³/yıl daha fazla su buharı atmosfere katılacaktır. Buharlaşmadaki artış, daha yüksek hava nemine neden olacak ve büyük olasılıkla yağış miktarını artıracak, yoğun yağışlar yanı sıra, kuraklık, fırtına ve taşkınlar gibi ekstrem hava koşullarının sıklık derecesini çoğaltacaktır. Bu görüşten hareket eden araştırmacılar, sıcaklık ve yağış desenindeki tahminleri sağlayan Global Circulation Models uygulamaları ile gelecekteki iklim değişikliklerini kapsayan senaryoları aşağıdaki şekilde vermektedirler:

-2010 yılında tüm Avrupa'da mevsim sıcaklıklarının 0,5-1,0°C arasında, yağışın ise %4 kadar artmış olacağı tahmin edilmektedir.

-2030 yılında en fazla sıcaklık değişimi kış aylarında beklenmektedir.

	Toprak mikrobiyal solunumu	Bitki solunumu	Fosil Yakıtlar
CO ₂ , 10 ¹¹ gC	60	0	5
CH ₄ , 10 ¹⁰ gC	300	0	100
N ₂ O, 10 ¹⁰ g N	20	0	1
NO, 10 ¹⁰ gN	20	0	20

Biyolojik ve fosil kaynaklarca üretilen eser atmosfer gazlarının C ve N üretimi kıyaslanması

Araştırmacılar göre, Avrupa merkezi, Rusya ve Güney İskandinavya'da sıcaklık 1,5-2,0 artış gösterecek, yağış ise %4 kadar artacaktır. Kimi araştırmacılar göre ise kış yağışlarında artış %5-8 oranına ulaşabilecektir.

-2050 yılında Avrupa'da yine kış aylarında sıcaklık artışı 2,0-3,0°C olarak tahmin edilmekte, Akdeniz'de bu miktarın 1,0-2,0°C, Güneş İskandinavya'da ise 3,0-4,0°C olabileceği kaydedilmektedir. Yağış miktarının ise yine %4 kadar artacağı beklenmektedir.

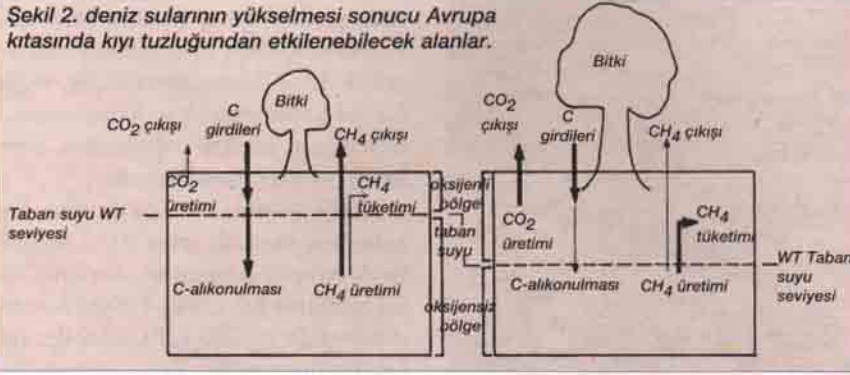
İklim Değişiminin Topraklara Olan Etkisi

İklim ve bitki örtüsü, birbirinden ayrılmayan iki yakın toprak yapan faktördür. Önümüzdeki 50 yıl içerisinde iklimde meydana gelecek değişiklik bitki örtüsünü etkileyecek ve bu durum hızla toprak biyolojisi, organik madde dinamiği, besin-iyon ilişkileri, topraksuyu ve sıcaklığı üzerine yansıtacaktır.

Toprak tiplerinde değişim: Sıcaklık, yağış ve buharlaşma ile toprak özellikleri arasındaki ilişki çok iyi bilinmektedir. Kısa dönemde sıcaklığın artması öncelikle geçici bir toprak özelliği olan tuz içeriklerinin değişmesini sonuçlayacaktır. Karalarda tuz birikmesi kompleks bir olay olmakla birlikte, özellikle çukur topoğrafyalarda yağış artışı ile birlikte taban suyu seviyelerinde yükselmeler kılcal tuz birikimleriyle sonuçlanabilecektir. Asıl tuz birikimleri kıyı şeritlerinde beklenmektedir. Bunun nedeni, iklimdeki değişikliklerle birlikte önümüzdeki her yıl deniz seviyelerinde 0,6 cm kadar yükselme tahmin ve 2030 yılında bu yükselmenin 20±10 cm'ye 2050 yılında ise 30±15 cm'ye ulaşacağı açıklanmaktadır. Bu yükselme sonucu, tuzlu deniz suları delta ağzlarından karaların içerisine doğru hareket ederek toprak tuzluluğu meydana getirecektir. Avrupa kıtası için kıyı tuzluluğundan etkilenebilecek alanlar Şekil 2'de belirtilmektedir.

Ayrıca, taban sularında meydana gelecek yükselmeler, oksijensiz koşullarda toprak mikroorganizmaları

Şekil 2. deniz sularının yükselmesi sonucu Avrupa kıtasında kıyı tuzluğundan etkilenebilecek alanlar.



tarafından üretilen gaz bileşimini de değiştirecektir. Kuşkusuz, sıcaklık ve nemin artması sonucu toprak oluşu daha hızlanabilecek, yağıştaki artışlar ise topraklardan bazik kationların ve karbonatların yıkanmasını etkileyecektir.

Organik Madde ve Elementlerin Dönüşümleri

Yükselen sıcaklık değerleri doğal olarak organik maddenin ayrışmasına neden olacaktır. Sıcaklık artışının özellikle yüksek kesimlerde daha belirgin olacağı beklendiğinden, bu bölgelerdeki orman ve mer'alarda toprak organik madde miktarında azalmalar söz konusudur. Maksimum ayrışma, toprakların uygun nem koşullarında tarla kapasitesinde gerçekleştiğinden, artan yağış ayrışmayı hızlandıran bir etmen olabilecektir. Bunun yanı sıra daha sıcak ve nemli sonbahar ve kış ayları, azotun mineralizasyonunu hızlandıracak, ancak profilden yıkanmasını da artıracak

ve, amonyum olarak kayıpları diğer faktörlere bağlı olmakla birlikte, artan sıcaklığın etkisiyle yine fazla olabilecektir. Denitrifikasyon ise sıcaklıkla ilişkili bulunduğundan daha da hızlanacaktır.

Erozyon

Yağış miktarının ve şeklinin erozyon üzerine doğrudan etkisi bulunmaktadır. Sıcaklık ise bitki örtüsünü dolaylı olarak değiştirdiğinden dolaylı katkı sağlar. Yağışın artışı ile erozyon arasında yakın bir ilişki vardır. Yapılan bir araştırmaya göre, yağışın %8 artması sonucu erozyon %35'e yaklaşan bir artış göstermektedir. Araştırmacılar İngiltere'nin güney ucunda yaptıkları bir model çalışmada (EPIC) yağışa bağlı olarak üç farklı tahminde bulunmuşlardır.

Yapılan bu çalışmaya göre, şimdiki durumda yılda 3,1 m³/ha olan toprak kayıpları 2050 yılında artan yağışa bağlı olarak ortalama 3,6 m³/ha değerine ulaşacaktır. Muhakkak ki kurak ve yarı kurak bölgelerde artış oranı daha yüksek olacaktır. Ayrıca,

yüksek arazilerdeki erozyon ürünlerinin eğimin azaldığı eteklere yığılacağı, dolayısıyla özellikle kurak, yarı kurak bölgelerde yeni çamur akıntılarının oluşmasının beklendiği açıklanmaktadır. Ancak büyük bir erozyon potansiyeline sahip bulunan Türkiye gerek beklenen yağış artışı, gerekse düzensiz yağışlar sonucu hızlandırılan erozyonla toprak kayıplarının en fazla olduğu ülkeler arasında yer alabilecektir.

Bitkisel Üretim

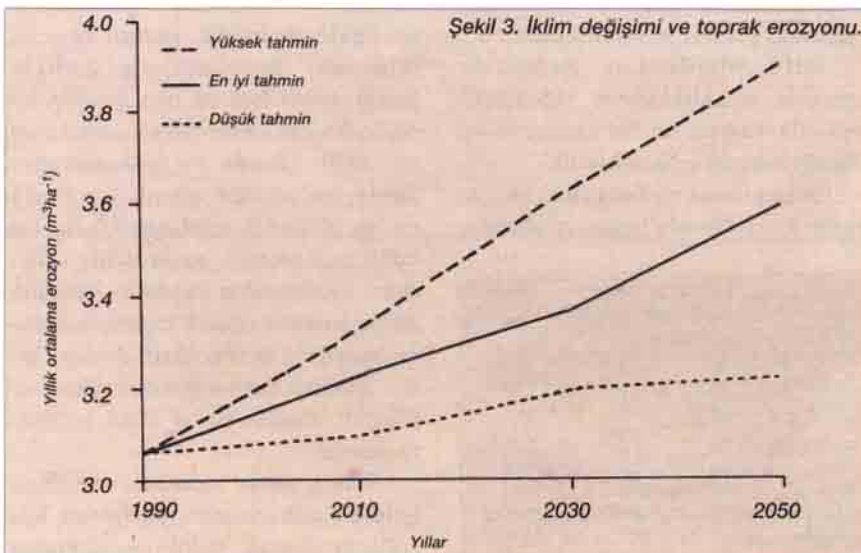
Bir model çalışmaya göre, 2030 yılında atmosferde CO₂ miktarının 450 ppm'ye ulaşması sonucu, bitkisel üretimde %5-15 artış beklenmektedir. Ayrıca şimdiki durumda 8,9 ton/ha olan kuru bitki miktarının 10,6 ton/ha'ya ulaşacağı tahmin edilmektedir. Bu durum yüksek CO₂ miktarı yanı sıra artan yağış ve sıcaklık ile ilişkili bulunmaktadır.

Genellikle yeterli yağış, yüksek sıcaklık tahıl ürünlerinde azalmaya neden olurken, patates, pancar gibi tarım ürünleri verimlerinde artışlar kaydedileceği umulmaktadır. Ayrıca sıcaklıktaki artışlar büyüme mevsimini uzatacağından, örneğin çayır ve ağaçların gelişme süresi, sıcaklığın bir derece artması ile 15 gün daha uzayacaktır. Bir kısım araştırmacılar daha ilginç bir tahminde bulunmaktadırlar. Buna göre, sıcaklığın artması ile sıcak iklimlerde yetişebilen yeni ağaç türlerinin ve bitkilerin daha yüksek bölgelerde yetişebileceğini belirtmişler ve sıcaklığın şimdikinden 1-1,5°C yükselmesi sonucu İngiltere'de tane mısır ve ayçiçeğinin bile yetişebileceğini ileri sürmüşlerdir.

Türkiye'de iklim değişiklikleri sonucu toprak ekosistemlerinde ne gibi değişiklikler umulmaktadır? Böyle bir soruya verilebilecek yanıt ya da tartışma ortamı henüz ülkede oluşturulmamıştır. Çünkü, bu konuda yapılmış çalışmaların eksikliği dikkati çekecek boyutlarda bulunmakta ve geliştirilen model çalışmaları araştırmacıların ilgisi beklemektedir.

Ural Dinç

Prof. Dr. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi, Toprak Bölümü



Kaynaklar

NATO Advanced Research Workshop (ARW) Soil Responses to Climate Change: Implications For Natural and Managed Ecosystems. Silsoe Campus, UK. 20 Eylül 1993 bildirilerinden derlenmiştir.