

Denizlerde Karbon Dinamiği

Uğur Sunlu, Aslı Kaymakçı, F.Sanem İzgören

E.Ü. Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Temel Bilimler Bölümü 35100, İzmir, Türkiye

Abstract: Carbon dynamic in the sea. The carbon dynamic of the earth is great concern to many scientist today. Especially, those involved in the study of the implications to the environment of man-mobilized carbon dioxide through fossil fuel combustion and through the destruction and burning of terrestrial biomass. There are several recent volumes and many recent papers dedicated to formulation of models of the earth carbon dynamic. The oceans play a significant role in all such models. Approximately, $1.60 \cdot 10^{11}$ tons of carbon have been released to the atmosphere by the burning of fossil fuel; the present release rate is about $5 \cdot 10^9$ tons/year. About 50% of the carbon released is believed to be present in the atmosphere and 40% is believed to be in the oceanic CO₂ pool by chemical oceanographers. In this collection, we explained the dynamic of the carbon which is based of all organisms in the marine environment.

Key Words: Carbon dynamic, carbon dioxide, green house effect.

Özet: Günümüzde, dünyamızın sahip olduğu karbon dinamiği pekçok bilim adamın ilgisini çekmektedir. Özellikle, karasal biyokütlenin yakılması ve zarar görmesi ve ayrıca insanların fosil yakıtları yakarak çevreye CO₂ vermeleri bu konuyla ilgili çalışmalarını arttırmıştır. Son yıllarda yeryüzündeki karbon dinamiği modellerinin formüle edilmesi üzerine pekçok kitap ve yayın yazılmıştır. Bu konuda yapılan modellerde okyanuslar çok önemli bir yer tutmaktadır. Fosil yakıtlarının yanması sonucu yaklaşık $1.6 \cdot 10^{11}$ ton karbon atmosfere ulaşmaktadır. Günümüzde bu oran $5 \cdot 10^9$ ton /yıl civarındadır. Kimyasal oşinograflar bu oluşan karbonun %50'sinin atmosferde, %40 ise okyanuslardaki CO₂ havzalarında bulunduğu inanılır. Bu derlemede, tüm canlıların temelini oluşturan karbonun denizel ortamlardaki dinamiği açıklanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Karbon dinamiği, karbondioksit, sera etkisi.

Giriş

Yeryüzünde bulunan karbon, yaşamın temelini oluşturan en önemli elementlerden biridir. Karbon düz zincirli veya halka şeklinde olan ve değişik uzunluklardaki organik bağlı yapıları kendi atomlarıyla ya da diğer benzeri özellikteki atomlarla birleşerek gaz, sıvı veya katı haldeki organik maddeleri meydana getirirler. Oluşan bu organik maddeler oksitlendikten sonra atmosferin bileşenlerinden olan anorganik özellikteki karbonmonoksit ve karbondioksit gazlarını oluştururlar. Bunlardan karbondioksit fotosentez yoluyla özümleme

(asimilasyon) adı verilen biyolojik büyümenin temel girdisini oluşturarak, organik karbonlu maddelerin oluşmasına neden olur.

Suda çözülmüş halde bulunan karbondioksit gazı hidrosferdeki birincil üretime kaynak teşkil ettiği gibi, geriye kalan kısmı da karbonat ve bikarbonat iyonlarını oluşturarak su ortamında tampon görevini üstlenerek deniz suyunun pH'ının sabit kalmasına yardımcı olur.

Ötrofik bir deniz ortamına, besleyici element girişiyle birlikte, ortama karbonlu maddeler (kirleticiler) eklendiğinde karbon dolanım hızları etkilenerek, saprofit bakteri popülasyonlarının hızla

gelişmesine neden olurlar. Bu yolla ortama ilave olan karbonlu maddelerin tür ve miktarına bağlı olarak, su içinde çok kritik olan oksijen dengeleri zarar görebilir. CO₂ miktarlarının atmosferdeniz ara kesidinden giriş-çıkış yoluyla atmosferdeki konsantrasyonlarını değiştirebildiği yapılan çalışmalarda tespit edilmiştir. Diğer taraftan su içindeki CO₂ miktarlarında gözlenen artışlar karbonatın çökmesini azaltarak, çeşitli metallerin karbonatlı kompleksler oluşturarak ortamdandan bu yolla uzaklaşmalarını engellerler.

Günümüzde yılda 6 milyar ton karbon elementi, yanma sonucu oluşan karbondioksit şeklinde atmosfere ulaşmaktadır. Bu miktarın yarısının atmosferde kalarak yılda 1 ppm CO₂ artışına neden olduğu, diğer yarısının %40'lık kısmının ise denizlere ulaşarak burada çözülmüş halde depolandığı bilinmektedir. Geriye kalan %10'luk CO₂ miktarının ise kara ve deniz bitkileri tarafından asimile edildiği ve bu yolla yeniden biyojeokimyasal döngüye girdiği tespit edilmiştir. Toplam olarak denizlerde bulunan CO₂ miktarı atmosferde bulunan miktarın elli katıdır.

Dünyada, artan fosil yakıt tüketimi yüzünden yukarıda açıklanan dengeler hızla bozulmakta ve pek çok olumsuz çevre sorunları insanlığın gündemine girmektedir

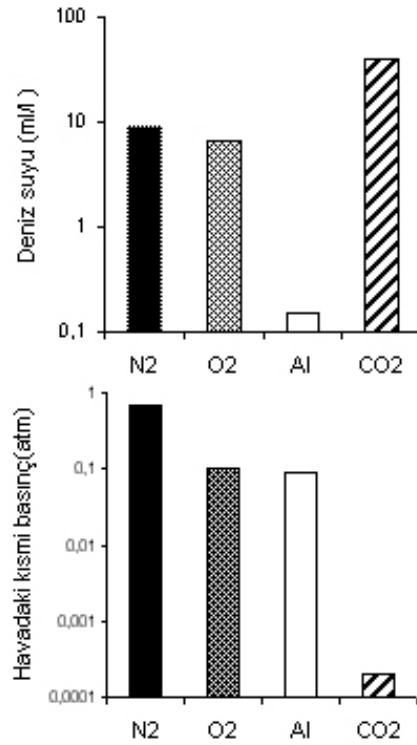
Bu araştırmada, tüm canlıların temelini oluşturan karbonun, denizel ortamlardaki dinamiği açıklanarak, insanlığın gündemindeki karbonla ilgili problemlerin çözümüne katkıda bulunmak amaçlanmıştır.

Karbondioksit Kaynakları

Doğal Ortamdaki Karbondioksit

Karbonun, atmosferde okyanuslarda ve biyosferde karmaşık kimyasal davranışları vardır. Tüm organik bileşiklerin yapısında bulunan karbon yeryüzündeki yaşamın

sürmesi için gerekli temel öğelerden biridir. Atmosferde gaz halinde hidrosferde ise çözülmüş olarak bulunan CO₂'in deniz suyundaki çözünürlüğü atmosferdeki diğer gazlara göre oldukça fazladır (Şekil.1). Bu yüzden okyanuslar büyük rezerv kaynaklarıdır.



Şekil 1. CO₂'in atmosferde ve deniz suyunda çözünme konsantrasyonları (Brown ve diğ. 1992)

Okyanusların CO₂'i taşıma kapasitesini 3 önemli faktör yönlendirir.

- 1) CO₂'in deniz suyundaki kimyasal yapısı (Deniz suyunda CO₂ çözünürlüğü O₂ ve N₂'ye göre daha fazladır ve bu gazlar kimyasal olarak reaksiyon vermezler. CO₂'in suyla reaksiyon vererek karbonik asite (H₂CO₃), bikarbonata (HCO₃⁻) ve karbonata (CO₃²⁻) dönüşür).

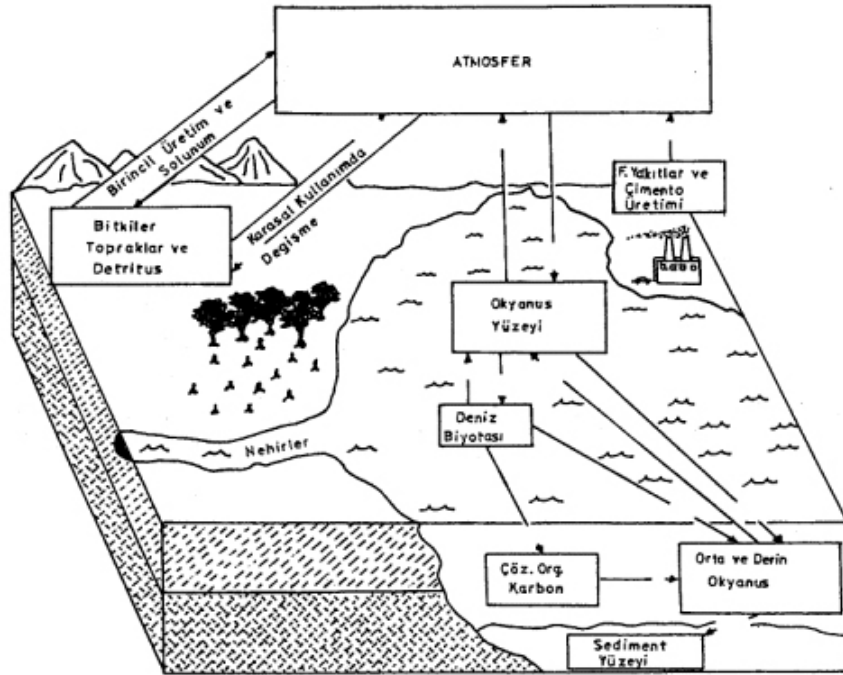
2) CO₂'in yüzeylerden derinlere taşınması

Toplam çözülmüş CO₂ miktarı 1000 metreye kadar hızla artar, bu seviyenin altında hızla azalır. Bu azalış oceanografik sürecin bir sonucudur ve genellikle Biyolojik Karbon Pompası olarak adlandırılır. Yüzey sularında herbivorlar tarafından tüketilemeyen organik maddeler, detritus (organik bileşikler, sert kalkerli ve sert silisli bileşikler) halinde okyanus suyunun daha derin tabakalarına doğru çöker. Organik karbon okyanus tabanına doğru alçalırken bakteriler ve diğer mikroorganizmalar tarafından CO₂ parçalanır ve bu sırada da O₂ tüketimi gerçekleşir.

CO₂, okyanuslarda fitoplankton tarafından fotosentez yoluyla basit karbonhidratlara dönüştürülür. Fitoplankton tarafından üretilen organik karbonun tamamı besin zincirine girdikten sonra tüketilir, okside edilir veya CO₂

parçalanır. Okyanuslarda bu rejenerasyon işleminin %90'ı açık denizin güneş gören yüzey sularında oluşur. Buralarda rüzgarlarla karışmış su tabakasında rejenere olan CO₂ yüzeyden atmosfere taşınmaktadır.

3) Okyanus su sirkülasyonunun bir parçası olması; Biyosentez ve rejenerasyon olayları (BİYOLOJİK POMPA) CO₂'in daha derin sularda birikmesine ve atmosferden izole bir şekilde yüzyıllarca varlığını sürdürmesini sağlar. Bu oluşan CO₂ sadece derin okyanus sularının karışmasını sağlayan global akıntıları ile yüzeye geri dönebilir. Bu yüzden derin okyanus suları büyük bir CO₂ kaynağıdır (UNESCO, 1980). Son yıllarda fosil yakıtlarının tüketilmesi, endüstrileşme, orman alanlarının yok edilmesi sonucu atmosferik CO₂ miktarında artış (sera etkisi) görülmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Küresel karbon döngüsü (Schimel, 1995)

Biyokütledeki yıllık yanma miktarı 5-9 milyar ton arasında hesaplanmıştır. Elementel karbon havzaları fosil yakıtlarının yanması sonucu yoğun olarak karbonun üretildiği yerlerde bulunmaktadır. Sonuçta 0.1-0.5 milyar ton arasında elementel karbon dünyada oluşmaktadır (Seiler ve Grulzen, 1980). Ayrıca toprak içindeki odun kömürü olarak hava ve nehirler yoluyla denizlere taşınmaktadır.

Denizlerde biyotanın CO₂ kullanma miktarı 25×10^{15} g C /yıl ise bunun yaklaşık 24×10^{15} g C /yıl planktonik aktivitelere bağlı, geriye kalan 1×10^{15} g C/yıl da bentik ve akarsu ekosistemlerinde kullanılmaktadır (Whittaker ve Likens, 1973). Okyanuslarda toplam CO₂ konsantrasyonu, yıllık plankton verimliliği (25×10^{15} g C/yıl) ile karşılaştırıldığında oldukça yüksek düzeydedir (580×10^{15} g C/yıl). Fitoplanktonik organizmalar toplam üretiminin %10'undan fazlasını oluştururlar. Böylece maksimum miktarlardaki CO₂ plankton döngüsü içinde kilitlenmiş olur.

Çözünmüş serbest CO₂, plankterlerin yapmış olduğu fotosentez olayında kullanılır. Bu durum kaçınılmaz olarak serbest CO₂ rezervlerinde azalmaya neden olur. Bu yüzden ne CO₂ havzaları ne de serbest CO₂ konsantrasyonu okyanuslardaki plankton üretimi üzerinde bir kontrol mekanizması oluştururlar ve ortamda organik sedimentasyon olayının artmasına neden olurlar.

CO₂, depolama rezervuarlarında 3 şekilde bulunur (Wong, 1978):

- 1) Çözünmüş organik karbon 300.10^{14} g/C
- 2) Partikül organik karbon 20.10^{14} g/C
- 3) Fitoplankton biyoması 5.10^{14} g/C

Bu yukarıda verilen değerler global karbon bütçesindeki kullanma ortalamalarıdır. Yıllık fosil yakıtlarından kaynaklanan karbon girdisinin yaklaşık %10'u fitoplankton biyomasına harcanır. Bu yüzden yıllarca bu ortamlarda hiçbir şey biriktirilemez.

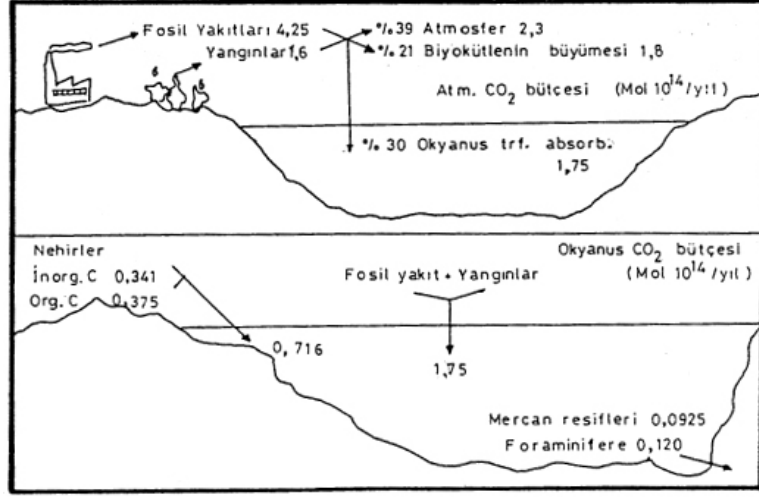
Denizlerde Karbondioksitin Kullanılması

Çözünmüş organik karbon rezervi net CO₂ üretiminin oldukça önemli bir kısmını oluşturur, bu durum biyokimyasal işlemlerde değişimlere neden olabilir. Karasal kökenli CO₂'in okyanuslara geçmesi sırasında ortaya çıkan ani kimyasal değişiklikler CO₂ havzalarında küçük miktarlarda artışlara neden olur ve pH değerlerinde çok ufak değişiklikler oluşturur.

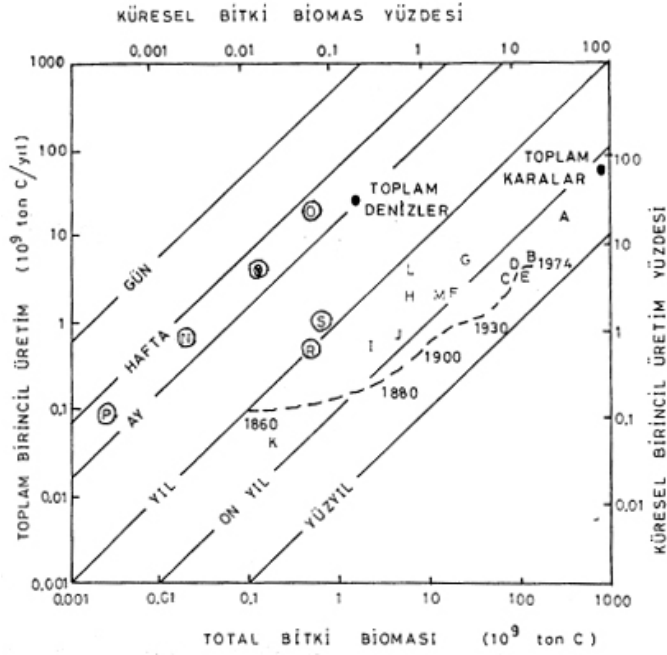
CO₂ kaynağı olarak deniz yosunlarının oldukça önemli rolleri vardır. Kendi içeriklerini okyanuslardaki CO₂ havzalarına transfer ederek, önemli ve kısa süreli kaynakları oluşturulabilirler. Ayrıca atmosferdeki CO₂'in okyanuslara geçişi sırasında bir kontrol sübabı gibi hareket edebilirler. Bu durum genel olarak bentik bitkilere bağlıdır. Bentik bitkiler hem deniz yosunlarını, hem de makroalgleri kapsar (Şekil 3).

Yüksek dönüşüm (turnover) hızına sahip ekosistemler karbon kaynağı olarak etkili değildirler. Deniz yosunu ekosistemleri planktonik ekosistemlerden çok daha etkili bir karbon kaynağıdır. Deniz yüzeyine yakın yerlerde gelişen deniz yosunları derin sulara doğru sürüklenirler ve buralarda tüketilirler. Bu yosunlar karışmış tabakalardan derin sulara taşınan CO₂'in geçici kaynağı olarak rol alırlar. Deniz yosunları biyokütlesinin mevsimsel olmasından dolayı karbon birikim kapasiteleri değişkenlik göstermektedir. Bu rezervuarlardaki değişim, atmosfer ve okyanuslarda görülen CO₂ artışına karşılık oluşmaz fakat bu değişim herşeye rağmen çok kesin olmayan karbon kaynaklarını açıklayabilir.

Sonuçta, deniz yosunu biyomasında dalgalanmaları oluşturan süreç endüstriyel karbon girdisinin olduğu yerlerde ayrıntılı olarak incelenecek olursa, bu rezervlerin toplam karbon kaynakları olarak oldukça önemli oldukları anlaşılır.



Şekil 3. Atmosferdeki ve okyanuslardaki CO₂ bütçesini (mol.10¹⁴/yıl) gösteren modelleme çalışması (Duursma ve Boisson, 1994).



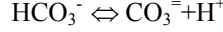
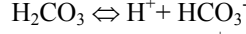
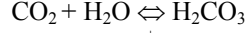
Şekil 4. Biyosferdeki karbon için primer üretim, biyokütle ve dönüşüm zamanı (UNESCO, 1980). (A-N) Karasal Ekosistemler: A. Tropikal yağmur ormanları, B. Tropikal mevsimsel ormanlar, C. Ilıman ormanlar (iğne yapraklı), D. Ilıman ormanlar, E. Kutup ormanlar, F. Çalılıklar, G. Savanlar, H. Çayırılıklar, I. Tundra, J. Çöl çalılıkları, K. Kaya, buz ve Kum, L. Tarım toprakları, M. Bataklık ve sazlıklar, N. Göl ve nehirler. (O-S) Denizel Ekosistemler: O. Açık okyanus, P. Upwelling bölgeleri, Q. Kıta sahanlığı, R. Alg yatağı ve resif, S. Akarsular

Atmosferdeki CO₂ Artışının Okyanuslar Üzerindeki Etkileri

CO₂ ve O₂ gazlarının atmosfer ve okyanuslar arasındaki değişiklikler birçok yoğun ve detaylı çalışmanın konusu olmuştur. Bu değişiklikler pek çok parametreyle ilgilidir. Sera etkisine yol açan gazlar (Freonlar, CH₄, CO₂) düzenli olarak ölçülmektedir. Eski buzullardan yararlanarak yapılan ölçümlere göre atmosferik CO₂ konsantrasyonunun endüstri öncesi dönemden beri %25 oranında (280 ppm→350 ppm), metan konsantrasyonu ise hemen hemen 2 kat (800 ppm→1700 ppm) kloroflorokarbon (CFC) 1950 öncesinde sıfır düzeyinden 600 ppm'e yükseldiğini göstermiştir. Birçok gözlem bu bilgiyi desteklemektedir. Örneğin global deniz seviyesi geçmiş yüzyıl esnasında 15-20 cm artmıştır. Bunun nedeni deniz suyunun termal genişmesi ve kutup bölgelerinde buzulların erimesiyle olmuş olabilir. Global kara sıcaklığı ise 1880'den beri 0.7°C artmıştır (Takahashi et al.,1992, Büyüksık, 1998).

Yaklaşık yılda 6 milyar ton serbest kalan fosil yakıt türevi okyanuslardaki toplam CO₂ ile hızlı bir şekilde dengeye gelmeyecektir. Düşük enlemlerde CO₂'in serbest kaldığı kutup bölgelerinde derin sulara CO₂ taşıma zamanı 1000 yıl civarındadır (Yani bugün atmosfere geri dönen CO₂ ortaçağda dibe yayılmış olandır (Duursma ve Boisson, 1994). Atmosferdeki CO₂ artışının okyanuslar üzerinde meydana getirdiği etkileri şöyle sıralayabiliriz;

a) Ortamın asitliği, Okyanus havzasındaki CO₂'in çözünme süreci deniz suyuındaki CO₂ dengesini ve reaksiyonlarda verilen dengeyi değiştiren pH'ı etkileyecektir (Liss ve Crane, 1983). Deniz suyunun pH'ını, karbonik asit - bikarbonat - karbonat sisteminin tamponlama etkisi ve ikinci derecede de borik asit ve borat sistemi yönlendirir (Büyüksık, 1998



Artan CO₂ konsantrasyonu deniz suyunun asitliğini hafifçe yükseltir yani pH düşer. Okyanuslardaki atmosferik CO₂ ve toplam karbondioksit (ΣCO₂) arasındaki dinamik dengede, ortalama okyanus sıcaklığı toplam CO₂ artışı, H₂CO₃'ün ayrışmasındaki denge sabitlerindeki sıcaklık etkisi dikkate alınarak modeller geliştirilebilir.

Bilgisayar simülasyonlarıyla, atmosferden okyanuslara CO₂ akışları tespit edilmiştir. CO₂ kutup sularında okyanuslar tarafından absorblanır ve sıcak bölgelerde atmosfere serbest bırakılır.

Global dip suyu için CO₂'in kısmi basıncı ortalama alkalinite ve toplam CO₂ ölçülerek hesaplanabilir. Dip suyu yüzey suyu sıcaklığına kadar ısırsa CO₂ gazı hava ile yer değiştirir. Atmosferik CO₂ konsantrasyonu bir-iki kat artacaktır. Böylece okyanusların önemli bir özelliği, dip suyunun yüksekçe oranda CO₂'le doymuş olması ve ince bir tabaka CO₂ ile örtülmüş olmasıdır ve CO₂'in hızlı bir şekilde atmosfere geçişini engeller (Takahashi, 1989).

Atmosfer ile okyanus arasında CO₂'in geçiş yönü 2 havzadaki kısmi basınç farklılıkları ile saptanabilir. Atmosferdeki CO₂ kısmi basınç değişiklikleri %5'ten fazla olmadığı için açık denizlerin yüzey suyuındaki pCO₂ atmosferdeki değerden 2 kat daha fazla değişir ve deniz suyu pCO₂ birçok değişikliğe neden olur ve bu değişiklikler suyun sıcaklığı, toplam CO₂ konsantrasyonunu ve suyun alkalinitesini değiştirir (Takahashi, 1989).

Deniz yüzeyi ile atmosfer arasındaki akış kısmi basınç ve gaz-geçiş katsayıları ile karakterize edilebilir. Genelde ılık sular özellikle atmosfer için Pasifik Okyanusu'nun Ekvator bölgesi güçlü bir CO₂ kaynağı iken yüksek enlemlerdeki

soğuk sulara CO₂ batışları (atmosferden - denize geçişler) gözlenir.

b)Toplam karbondioksitin (ΣCO_2), karbonatların çözünürlüğüne etkisi ; Toplam çözülmüş karbondioksit fotosentezle yüzey sularından çözünerek taşınır ve çözünerek dip suyuna geri döner. Derinlikle toplam karbondioksitin artmasına katkıda bulunan bir diğer faktör de yüksek enlemlerdeki soğuk yüzey sularında atmosferik CO₂'in çözümesidir. Bu olay derin çukurlardaki düşük ısı ve artan yoğunluk sonucunda oluşur.

Toplam CO₂ artarken, bikarbonatın karbonat iyonu da artar ve sonuçta suda daha fazla H⁺ iyonu oluşur ve pH değeri düşer. Bununla beraber $\text{HCO}_3^- \leftrightarrow \text{CO}_3^{2-} + \text{H}^+$ reaksiyonu hızı nedeniyle karbonat sistemindeki bu bileşik okyanuslarda pH için tampon görevi görür. CaCO₃ yapılarındaki çözünme hidrojen iyonlarının serbest bırakılması sonucu oluşur.

Sonuçta CaCO₃ çözünmesi toplam karbondioksitin (ΣCO_2) konsantrasyonunun yüksek olduğu yerlerde daha yüksek miktarlarda oluşur. Karbonat sedimentleri, okyanus sırtlarındaki orta okyanus sırtlarındaki kumluklarda bol olarak bulunur fakat buralardan daha derin düzlüklerde bulunmaz. Ayrıca CaCO₃ çözünmesi için düşük sıcaklık ve yüksek basınçta ihtiyaç vardır (Brown ve diğ. 1992).

Kalkerli karbonat iskelet materyali kalsit yapıdan, daha çok argonit formda bulunur. Ve kalsitten daha az kararlı olup daha kolay çözünür. Karbonat iskelet materyalinin çözülmeye başladığı tabaka olan Lysocline tabakasının altında artan oranlarda çözünme meydana gelir. Sonuçta sedimentlerde korunan karbonat oranında bir azalış gözlenir. İşte toplam sedimentteki bu azalış oranının %20'nin altında olduğu derinliğe karbonat kompensasyon derinliği adı verilir.

Lysocline tabakasının derinliğinde gözlenen değişimler su sütununun

kimyasıyla ilgilidir (Karbonat eşitliği ve pH vb.). Karbonat kompensasyon derinliğindeki değişimler kısmen suyun kimyasıyla kısmen de su yüzeyinden dibe doğru batan kalkerli materyalin ne kadar çözüldüğünün bilinmesiyle ilgili olup bunu tespit etmek çok zordur. Hem Lysocline tabakası hem de karbonat kompensasyon derinliği, bilim adamları tarafından teorik olarak belirlenen derinliklerden daha derin zonlarda oluşurlar.

Sonuç

Yaşamın devamı için gerekli olan CO₂ endüstrileşmenin başlangıcından bu yana %25 oranında artmıştır. Ve daha da artacaktır. Bu CO₂ artışı sonucu iklim değişiklikleri yaşanacak, deniz seviyesi yükselecek bu ise tatlı su kaynaklarının tuzlanması ve kıyı bölgelerinin su altında kalmasıyla sonuçlanacaktır. Ayrıca deniz sularının yükselmesinin yanı sıra suların ısınmasına yol açacak ve bu sulara yaşayan canlılar yaşam koşullarına uygun sulara göç etmek zorunda kalacaktır.

Atmosferdeki CO₂ birikiminin iki kat artması sonucunda, atmosferde ve akuatik ortamlarda değişiklikler oluşacaktır. Bu oluşan değişiklikler sonucunda hem dünya ormanlarının büyük bir bölümündeki vejetasyon tipinde bozulmalar meydana gelecek; hem de orman yangınlarındaki artışlara bağlı olarak önemli ölçüde alansal kayıplar oluşacaktır.

CO₂'nin varolan sistemlerde dengelenmemesi, yani bütçesindeki dengesizlik, iklim değişikliklerine yol açarak, sıcaklık ortalamasını yükseltecektir (Sera etkisi). Bu durum göllerde ve akarsularda biyolojik üretkenliği arttırırken (geniş ve derin ılıman kuşak, göl ve akarsular) sığ göller ve akarsularda ısınma, oksijensiz koşulları oluşturabilecektir.

Kıyasal Sistemlerde, iklim değişik-

liği ve deniz seviyesindeki bir yükselme ya da şiddetli fırtınaların oluşumu, kıyıda ve kıyı habitatında erozyon ve bunun sonucunda tatlı su rezervlerinde tuzluluk sorunu oluşacak ve körfezlerdeki gel-git genliğinde değişime kıyı alanlarında kimyasal ve mikrobiyolojik kirlenmeye ve kıyı taşkınlarında da bir artışa yol açacaktır. İklim değişiklikleri okyanus dolaşımını, vertikal karışmayı ve dalga özelliklerini değiştirebilir ve buzul kütlelerinin azalmalarını kontrol edebilir. Bu değişikliklerin sonucunda besin varlığı yapısı ve işlevi ile ısı ve karbon depolama kapasitesi etkilenebilir. Bu değişiklikler kıyı bölgeleri, balıkçılık turizm rekreasyon, ulaştırma üzerinde etkilere sahiptir.

Son yıllarda bilimadamları tarafından küresel ısınmayı önlemek amacıyla pek çok öneri geliştirilmiştir. Bunlardan birincisi; Paleoöşenograf John Martin'in yaptığı araştırmalardır. Martin, deniz yosunu gelişme ve çoğalmasını belirleyen en önemli etkenin sudaki demir miktarı olduğunu ifade etmiş ve eğer okyanusa demirli bol gübre verilirse büyük bir yosun alanı yaratılacağını ve bu yosun ortamının özümleme sırasında CO₂ alıp oksijen vereceğini ve böylelikle CO₂ miktarının deniz suyunda absorbe edileceğini savunur. İngiliz-Amerikan ortak projesi olan başka bir deneyde de, Martin'in teorik çalışması pratiğe uygulanmıştır. "Iron Ex II" adı verilen bu projede Pasifik Okyanusuna Ekvator bölgesinde bir noktadan, suya yarım ton demir katılarak mayalanan 60 km²'lik bir alanda 3 hafta süreyle yapılan gözlemlerde, fazladan 100 ton CO₂ emilimi sağlandığı hesaplanmıştır. Deney sonuçlarına göre, okyanusun mavi bir çölden farksız bölgelerinin demir mineralleri eklenerek kısa bir süre içerisinde vahaya dönüştürebileceği gösterilmiştir. Bu tür çalışmalarla verimliliği çok düşük olan ve "okyanus çölleri" olarak adlandırılan bölgelere

demir bileşikleri ilave edilerek, atmosferdeki CO₂ miktarlarıyla önemli ölçüde oynanabileceği ve bu sayede küresel iklim ayarlamaları yapılabileceği ispatlanmıştır. İnsan uygarlığının bir sonucu olan atmosferik CO₂ artışının, yukarıda bahsedilen yöntemle dengede tutulabileceği düşünülmektedir. Günümüzde bu artışın dengelenmesi karasal ortamlarda ormanlar, sucül ekosistemlerde ise fitoplanktonlar ve makroalgler tarafından gerçekleştirilmektedir. Uygulanacak bu tür plankton çalışmaları ile, ağaçlandırma faaliyetlerine göre daha kısa vadede etkili çözümler getirilerek yeryüzünde oluşacak, iklim felaketlerinin önüne geçmek mümkün olacaktır. Atmosferdeki fosil yakıtlarından kaynaklanan CO₂ artışını çözmek için okyanuslardan yararlanmak sorunun tümünü çözemeyecektir. Bunun için insanların dünya ısınma sorununu anlayarak uluslararası düzeyde işbirliğine girmeleri gerekmektedir.

Kaynakça

- Brown, J., Colling, A., Park, D., Phillips, J., Rothery, D., Wright, J. 1992. Seawater: Its Composition, Properties and Behaviour. (Ed. G. Bearman)
- Büyükkışık, B., 1998. Kimyasal Oseanografi Ders Notları.
- Duursma, E. K., Boisson, M. P. R. M. 1994. Global Oceanic and Atmospheric Oxygen Stability Considered in Relation to the Carbon Cycle and to Different Time Scales. Oceanologica Acta, Vol. 17, No:2.
- Eswaran H. Wanden Berg E., Reich P. 1993. Organic Carbon in Soils of the World. Soil Science Society of American Journal, 57, 192-194.
- Liss, P.S. Crane, A.J. 1983. Man-Made Carbon Dioxide and Climatic Change Geo Books, Norwich, Uk. 127 pp.
- Potter C.S., Randerson J.T., Field C.B. Matson P.A., Vitousek P.M., Mooney H.A. Klooster S.A. 1993. Terrestrial ecosystem production a process model based on global satellite and surface data, Global Biogeochemical Cycles, 7, 811-841.

- Martin, D.F. 1970. Marine Chemistry, Vol 1-2, Marcel Dekker Inc. New York.
- Seiler, W. Grutzen, P.J. 1980. Estimates of Gross and Net Fluxes of Carbon Between the Biosphere and the Atmosphere From Biomass Burning. Climatic Change, Vol.2, p.207-47.
- Siegenthaler U., Sarmiento J.L. 1993. Atmospheric carbondioxide and ocean, Nature, 365, 119-125.
- Schimel, D. S. 1995. Terrestrial Ecosystems and the Carbon Cycle. Global Change Biology, 1, 77-91.
- Takahashi, T. 1989. Only half as much CO₂ as expected from industrial emissions is accumulating in the atmosphere. Could the oceans be storehouse for the missing gas? Oceanus Volume 32, Number 2, 22-29.
- Takahashi, T., Tans, P. P. Fung, I. 1992. Balancing the Budget. Oceanus Volume 35, Number 1, 18-28.
- UNESCO. 1980. The Carbon Budget of the Oceans. UNESCO Report of SCOR Working Group 62. 16 pp. UNESCO, Paris.
- Whittaker, R.H; Likens, G.E. 1973. Carbon in the biota, In: G.M. Woodwell and E.V. Pecon (eds) Carbon in the biosphere. AEC. Symp: Ser.30, Sptingfield, Virginia, National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce
- Wong, C.S. 1978. Atmosphericinput of carbon dioxode from burning wood. Science Vol.200, no. 4338, p.197-200.