

Denizel Fitoplanktonun Ekolojik Önemi ve Küresel İklim Değişikliğindeki Rolü

Elif EKER-DEVELİ

Özet – Bu derlemenin amacı bitkisel planktonun ekolojik önemini ve iklim değişikliğindeki rolünü incelemektir. Denizlerde besin zincirinin en alt halkasını oluşturan fitoplanktonun karbon üretimi dünya birincil üretiminin yarısını karşılamaktadır. Fitoplankton yeryüzündeki oksijenin de yarısını üretmektedir. Bu tek hücreli organizmalar küresel ısınmayı azaltabileceği önerilmiştir. Birincisinde bu fitoplankton ile fitoplanktonun küresel ısınmayı azaltabileceği önerilmiştir. Birincisinde bu fitoplankton atmosferden karbondioksiti alıp organik karbona çevirir ve ölen organizmalarla deniz tabanına gönderilir. Dolayısıyla atmosferdeki karbondioksit miktarı azalarak sera etkisi azaltılmış olur. İkinci mekanizma okyanuslarda yaygın olarak görülen bazı fitoplankton gruplarından çıkan dimetilsülfat gazı ile gerçekleşir. Bu gaz atmosferde sülfat aerosollerine yükseltgenerek bulut yoğunlaşma çekirdeği olarak görev yapar. Bulut oluşumu güneş ışınlarının yeryüzüne ulaşmasını engelleyeceği için bu gazın küresel bir soğumaya yol açabileceği belirtilmiştir. Biyosferdeki bitki kütlesinin sadece %0,2'sine karşılık gelen fakat tüm deniz canlılarının direk veya dolaylı olarak besin kaynağı olan fitoplanktonun çağın en büyük sorunlarından biri olan küresel ısınmayı etkileyebileceği düşünüldüğünde bu organizmaların ekosistemdeki yeri ve önemi daha iyi anlaşılmaktadır.

Anahtar kelimeler: Fitoplankton, besin zinciri, küresel ısınma, karbon döngüsü

Abstract – Importance of marine phytoplankton in ecology and their role in the global climate change – The aim of this study is to investigate ecological importance of plant plankton (phytoplankton) and their role in the climate change. Carbon production by phytoplankton, which is at the base of the marine food chain, constitutes half of the global primary production. Phytoplankton produces half of the oxygen in the earth as well. These single celled organisms also play a role in the global climate change. It was suggested that phytoplankton might mitigate global warming with two different mechanisms. In the first one, phytoplankton absorbs carbon dioxide from the atmosphere and converts it into organic carbon and with dead organisms carbon is transported to the sea bottom. Thus, atmospheric carbon dioxide and greenhouse effect is reduced. Second mechanism is realized with the dimethylsulfide gas released from some widespread phytoplankton groups in the oceans. This gas is oxidized into sulphate aerosols in the atmosphere and functions as cloud condensation nuclei. Since the formation of clouds impedes some part of solar radiation to reach the earth surface, it was suggested that this gas will cause a cooling effect. When it is considered that phytoplankton forms only 0.2% of plant mass in the biosphere but is the direct or indirect source of food for all creatures in the sea and can affect one of the major problems of our century, global warming, the importance of these organisms in the ecosystem is understood.

Key words: Phytoplankton, food chain, global warming, carbon cycle

Elif Eker-Develi, Yar. Doç. Dr., Mersin Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, İlköğretim Bölümü, Fen Bilgisi Öğretmenliği ABD, <elif.eker@mersin.edu.tr>

Mersin Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, Cilt 5, Sayı 2, Aralık 2009, ss. 285-293.

Mersin University Journal of the Faculty of Education, Vol. 5, Issue 2, December 2009, pp. 285-293.

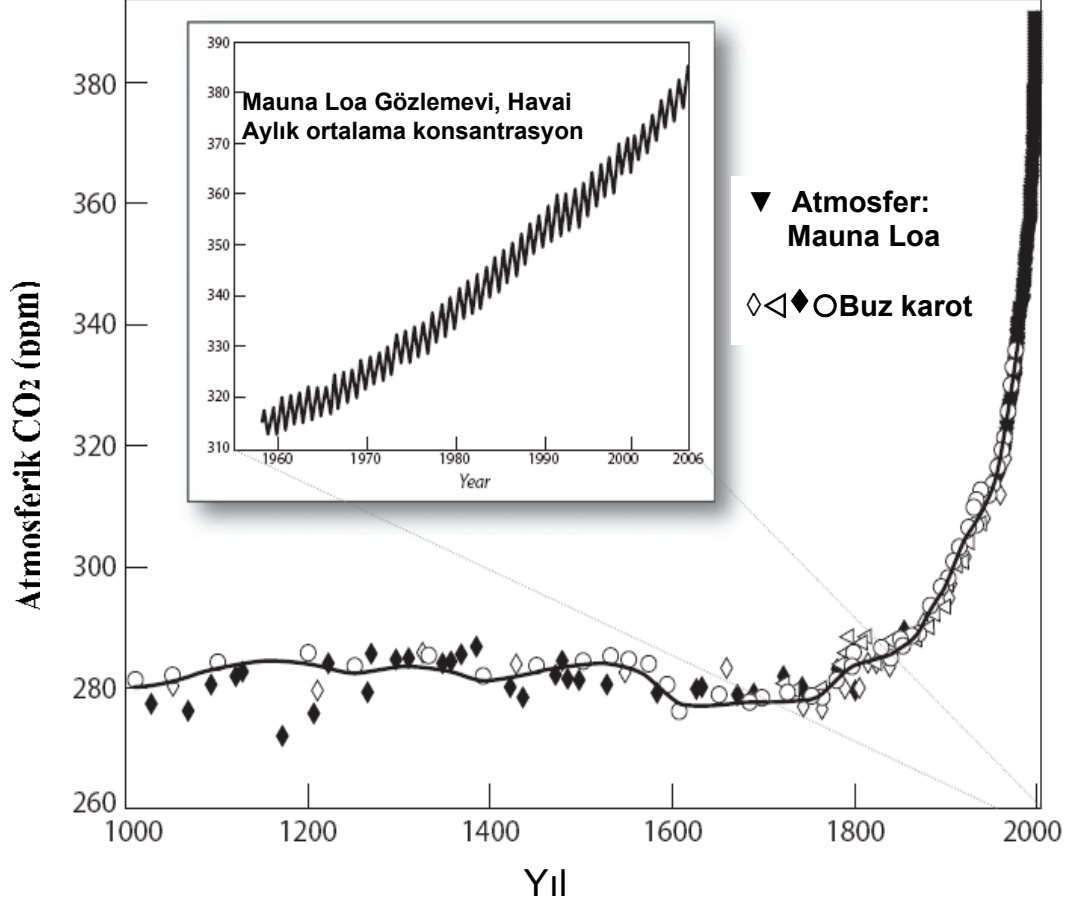
Giriş

Okyanuslardaki birincil üretimi yapan fitoplankton besin zincirindeki en temel halkayı oluşturduğu için gerek sayılarında, gerek boyutlarında, gerekse de tür kompozisyonunda herhangi bir nedenle meydana gelebilecek değişimler tüm deniz canlılarını ve aynı zamanda etkileşim içinde bulunduğu biyosferi de etkileyecektir.

Okyanuslardaki bitki kütlesi biyosferdeki toplam bitki kütlesinin sadece %0,2 sini oluşturur (Field, Behrenfeld, Randerson, Falkowski, 1998). Fakat okyanuslardaki birincil üretim (~40-50 milyar ton C yıl⁻¹) (Longhurst, Sathyendranath, Platt, Caverhill, 1995) küresel birincil üretimin yarısını oluşturur (Field ve ark., 1998). Bu kadar az biyokütle ile bu kadar fazla birincil üretim yapma nedeni fitoplanktonun karbon dönüşüm etkinliğinin fazla olmasıdır. Küresel fitoplankton kütlesi her 2-6 günde bir yenilenir, karasal bitkilerin kütlesinde ise her 10 yıl veya 100 yılda bir yenilenme olmaktadır (Geider ve ark., 2001). Dolayısıyla doğadaki değişimler denizleri daha kısa zamanda etkilemektedir. Aynı zamanda fitoplankton yeryüzündeki oksijenin de yarısını üretmektedir (Roach, 2004).

18. yüzyılın sonlarında başlayan endüstri devrimi ile birlikte atmosfere yayılan sera gazları (özellikle CO₂) miktarında artma olmuş ve 20. yüzyılın ortalarında küresel ısınma etkilerini göstermeye başlamıştır. Günümüzde atmosferde ölçülen CO₂ konsantrasyonu son 400.000 yıl boyunca görülmemiş seviyelere (Doney ve Schimel 2007; Sigman ve Boyle 2000) ulaşmıştır. 400.000 yıl boyunca sadece bir defa ~300 ppm CO₂ konsantrasyonu ölçülmüştür (Antarktika'dan alınan buz karot örnekleme ile tespit edilmiştir) (Sigman ve Boyle 2000). Son 1000 yılda ölçülen CO₂ miktarına bakıldığında 1800 lü yıllara kadar CO₂ konsantrasyonunun 280 ppm olduğu 1800-2000 yılları arasında ise hızla >380 ppm seviyelerine arttığı görülmektedir (Şekil 1). Geçtiğimiz yüzyıl boyunca küresel yüzey sıcaklığı 0.74 ± 0.18 °C artmıştır (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2007). Küresel ısınmanın getirdiği ve getirmeye devam edeceği doğal felaketler (kuraklık, sel, kasırga vb.) nedeniyle pek çok ülke uluslar arası protokoller imzalamış ve tedbirler alınmaya çalışılmıştır. 1998 yılında imzaya açılan Kyoto protokolünü günümüzde 183 ülke imzalamış ve onaylamıştır (Kyoto Protocol, 2009). Ozon tabakasını incelten kloroflorokarbon tüketiminin sınırlandırılması ve kaldırılması ile ilgili olarak 1987 yılında Montreal Protokolü 25 ülke tarafından imzalanmış ve bu sayı 1999 yılında 168'i bulmuştur (Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı [TTGV], 2006). Çoğunlukla fosil yakıtların yanması, yağmur ormanlarının kesilmesi, orman yangınları gibi insan kaynaklı nedenlerle atmosferde artan CO₂ miktarlarını azaltmaya yönelik pek çok çalışmalar yapılmaktadır. Petrol, kömür, doğal gaz yerine CO₂ çıkarmayan ve daha çok enerji üreten nükleer enerji santrallerinin kurulması tartışılmakta, güneş enerjisi, rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması alternatif metotlar olarak yaygınlaştırılmaya çalışılmaktadır. Bu tür tedbirlerin yanında atmosferdeki karbon miktarını azaltmaya yönelik oldukça fazla miktarda bilimsel çalışmalar da yapılmaktadır. Okyanuslarda demirin sınırlı olduğu bölgelere demir ekleyip fitoplanktonun artmasını sağlayarak atmosferdeki karbonu deniz tabanına

gönderme ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır. Aynı zamanda bu çalışmalar olumlu ve olumsuz tepkiler almaktadır.



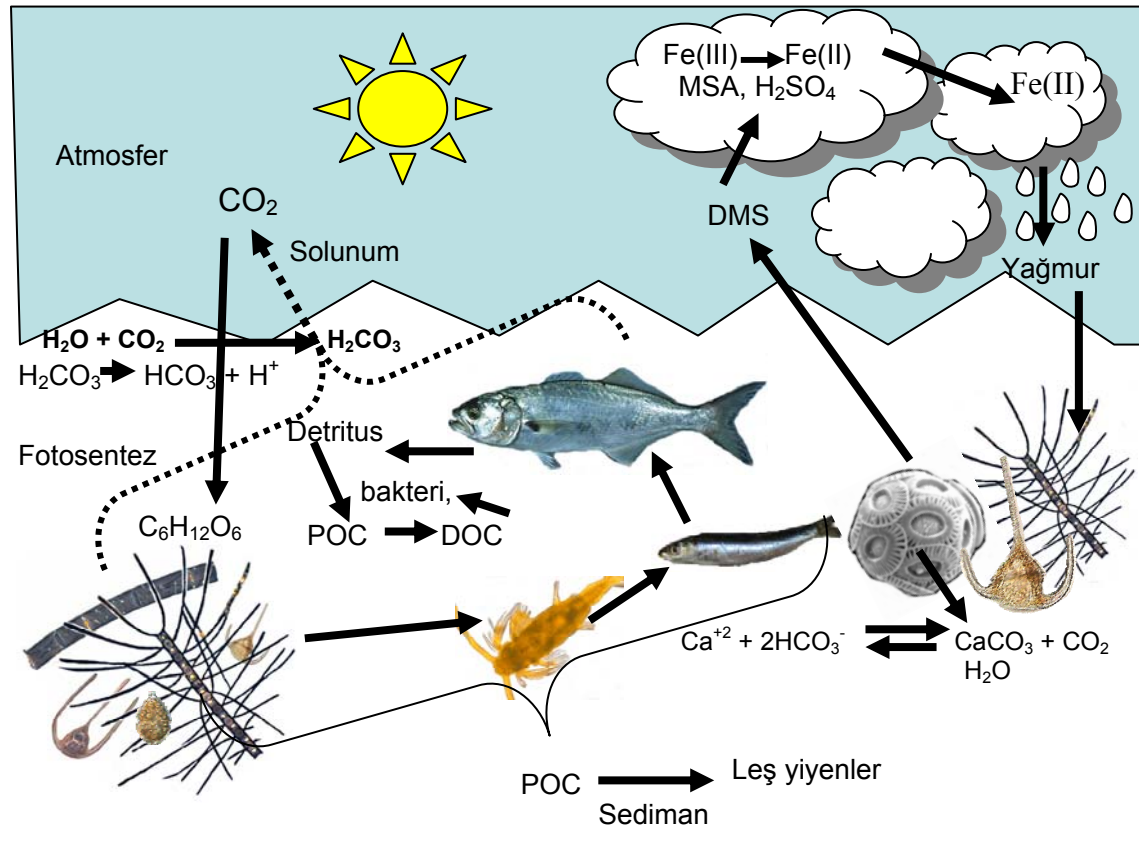
Şekil 1. Yüksek depozisyon buz karotlarından elde edilen son 1000 yıldaki atmosferik CO₂ konsantrasyonu ve direk atmosferik gözlemler, Doney ve Schimel'den (2007).

Fitoplankton ve iklim ilişkisi

Fitoplankton biyokütlesindeki ve türlerindeki değişimler aşağıdaki mekanizmalar ile iklim üzerinde rol oynamaktadır.

Fitoplanktonun Atmosferdeki Karbondioksiti Azaltmadaki Rolü

Bitkisel plankton hücreleri atmosferdeki sera gazı etkisi yapan karbondioksiti alıp organik karbona (hayvanların besin maddesine) çevirmektedir. Yani atmosferik CO₂ seviyesini azaltmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Denizde ve atmosferde karbon döngüsünde gerçekleşen bazı temel işlevler ile ilgili taslak. Ayrıca bazı fitoplankton gruplarından salınan dimetilsülfat (DMS)'in demir çözünürlüğünü sağlayıp yağmurla denize inmesi ile fitoplankton üretimini tetiklemesi de şema olarak gösterilmiştir. Ducklow, Steinberg, Buesseler (2001), Houghton ve ark. (2006) ve Kapur ve ark.'dan (2000) değiştirilmiştir.

Bu aşamadan sonra organik karbonun bir kısmı yaşlanan fitoplankton hücrelerinin ölmesi sonucunda okyanus tabanına yer çekimi ile taşınırken, diğer kısmı fitoplankton ile beslenen canlılara ve sonra daha üst trofik seviyedeki

canlıların organik karbonuna katılmaktadır. Her üst trofik seviyeye karbon aktarımı esnasında bir miktar organik karbon deniz tabanına fekal pelet, dışkı, organizma atıkları ya da ölen organizmalar (partikül organik karbon, POC) olarak çökmektedir. Fakat aynı zamanda bir üst trofik seviyedeki canlıların çoğalması sonucunda denize ve dolayısıyla atmosfere solunum yoluyla bir miktar CO₂ de verilmektedir (Şekil 2). POC'nin bir kısmı ise deniz tabanına çökmeden bakteriler tarafından parçalanıp çözülmüş organik karbon (DOC) haline getirilmekte (Becquevort, Lancelot, Schoemann, 2007) ve bunlar da heterotrofik bakteriler tarafından kullanılmaktadır. Dolayısıyla bu organik karbon türü de sonuçta besin zinciri ile üst trofik seviyelere aktarılmaktadır. Tabana çöken organik karbon ise zamanla fosil yakıtlara dönüşmektedir. Denizde fitoplankton biyokütlesi arttığı zamanlarda deniz tabanına çöken karbon miktarının da fazla olacağı önerilmektedir (Martin, 1990).

Fosil yakıtların giderek artan seviyede kullanımı sonucu artan atmosferik CO₂ yeryüzüne ulaşan görünür dalga boyundaki güneş ışınlarının atmosfere yansıyan infrared dalga boyundaki (ısı olarak) ışınlarını absorbe ederek dışarı çıkmasını engeller. Bu da küresel ısınmaya yol açar. Isınan hava sıcaklığı denizdeki tabakalaşmayı artırır ve dolayısıyla denizin alt tabakalarındaki ve tabandaki besin elementleri deniz yüzeyine çıkamayacağı için küresel fitoplankton biyokütlesinde azalma gözlenebilir. Azalan fitoplankton ise döngü içinde atmosferden daha az CO₂ alınmasına ve daha da artan sıcaklıklara yol açabilir (Lovelock, 2007).

Fitoplanktonun Bulut Oluşumundaki Rolü

Prymnesiofitler ve dinoflagellatlar denen fitoplankton grupları dimetilsülfoniopropionat denen, osmoregülasyonda görev yapan bir bileşik üretir, bu da organizmaların ölmesi sonucunda dimetilsülfat (DMS) denen bir gaz olarak atmosfere salınır (Keller, Bellows, Guillard, 1989). Atmosferde metan sülfonik asit (MSA), sülfirik asit (H₂SO₄) gibi sülfat aerosollerine (bir katının veya bir sıvının gaz ortamı içerisinde dağılması) yükseltgenen DMS bulut yoğunlaştırma çekirdeği (0,2 µm çaplı partiküller) olarak görev yapar. Bu da bulut oluşumuna ve yağmurlara neden olur. Sülfirik asit sulu yüzeylere adsorbe olmaya meyillidir ve ıslak mineral aerosol yüzeylerine bağlanır (Charlson, Lovelock, Andreae, Warren, 1987). Böylece sülfirik asit atmosferde bulunan Fe³⁺ formundaki demir mineralini indirgeyerek çözülmüş hale getirir (Duce ve Tindale, 1991). İndirgenmiş demir (Fe²⁺) denizdeki fitoplanktonun kullanabileceği türden demirdir. Yağmurlarla denize inen indirgenmiş demir fitoplankton üretkenliğini artırır (Şekil 2).

DMS üretimini sağlayan fitoplankton grupları bulut oluşumuna yol açarak güneş ışınlarının bir kısmının yerküre üzerine ulaşmadan bulutlara çarpıp atmosfere geri yansımaya neden olacaktır. Bu da küresel bir soğuma etkisi yaratacaktır (Lovelock, 2007). Aynı zamanda atmosferdeki mineral demirin

çözünmüş hale geçmesi ve yağmurlar ile denize karışması sonucunda fitoplankton üretimi artacak ve pozitif bir geri dönüşüm ile atmosfere daha fazla DMS gazı verilip daha fazla bulut oluşumu meydana gelecektir.

Atmosferik Karbon Miktarını Azaltmaya Yönelik Fitoplankton ile İlgili Çalışmalar

Okyanusların bazı bölgelerinde (ekvatoryal Pasifik, subarktik Pasifik ve Antarktik kutup çevresi sularda: Güney Denizi'nde) besin elementlerinin (nitrat, fosfat, bazen silikat) fazla olduğu fakat demir eksikliği olduğu rapor edilmiştir (Boyd ve ark., 2000; Coale ve ark., 2004; Landry ve ark., 2000; Martin, 1990; Martin ve ark., 1994). Bu bölgelere demir eklenmesi ile fitoplankton üretiminin artacağı ve atmosferden daha fazla CO₂ alınıp küresel ısınma etkilerinin azalacağı hipotezi John Martin (Woods Hole Oceanographic Institution) tarafından 1990'lı yılların başında ortaya atılmıştır (Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research, 2007). Daha sonra yapılan okyanus demir zenginleştirme çalışmalarıyla bu hipotez teoriye dönüşmüştür (Boyd ve ark., 2000). 1993 yılından bu yana 12 adet okyanus demir zenginleştirme deneyi yapılmış ve bu bölgelere demir eklenmesinin Chl *a* konsantrasyonunu ve birincil üretimin arttığı gözlenmiştir (Boyd ve ark., 2007). Ayrıca doğal yollarla meydana gelen demir girdilerinin de fitoplankton üretimini artırdığı gözlenmiştir. 1991 yılında Filipinler'deki Pinatubo Yanardağı'nın patlaması ile atmosfere ve okyanusa giren demir sonucunda fitoplankton üretimi artmış ve atmosferdeki CO₂ seviyesi düşerken O₂ seviyesi yükselmiştir (Watson, 1997). Bu gözlem de Martin'nin hipotezini desteklemiştir. Ayrıca buzul çağlarında atmosferdeki CO₂ seviyelerinin 200 ppm civarında, havaların ısındığı dönemlerde 280 ppm civarında olduğu belirtilmiştir. Bu da soğuk dönemlerde güçlü rüzgarlar ve şiddetli su karışımı ile besin elementlerinin fitoplanktona daha kolay ulaştığını ve üretimin artarak atmosferdeki CO₂ seviyelerinin düştüğüne işaret etmektedir. Mesela CO₂ seviyelerinin düşük olduğu buzul çağlarda atmosferdeki toz demir miktarının sıcak periyotlardakinden 50 kat daha fazla olduğu belirtilmiştir (Martin, 1990). Okyanuslar için önemli diğer demir kaynakları nehirler, buzullar, atmosfer (çöl tozları) ve kıyısız erozyondur (Jickells ve ark., 2005).

Demir nitrat ve nitrit redüktaz gibi enzimlerin yapısında bulunmaktadır ve sitokrom döngülerinde yer almaktadır. Bu yüzden fitoplanktonun denizdeki nitrati kullanabilmesi için demire ihtiyacı vardır. Demir sınırlaması olan bölgelerde daha çok demire ihtiyaç duyan büyük boyutlara sahip organizmalar yerine küçük boyutlardaki fitoplankton, zooplankton ve bakterinin üremesi söz konusudur (Martin, Gordon, Fitzwater, 1991). Küçük organizmaların hafif olması bunların daha uzun süre denizin üst sularında kalmasına neden olur. Bu küçük organizmaların bir kısmı deniz tabanına çökmeden üst tabakalarda bakteriyel bozunma ile tekrar besin elementlerine dönüşmekte ve tekrar besin zincirine kazandırılmaktadır (Laws, Falkowski, Carpenter, Ducklow, 2000). Demir zenginleştirilmesi sonucu üreyen büyük organizmalar ile deniz tabanına daha fazla karbon taşınması önerilmiştir (Armstrong, Lee, Hedges, Honjo, Wakeham, 2001). Dolayısıyla denize olan demir girdisi sonucunda denizin üst sularında

karbon konsantrasyonunu dengelemek için atmosferden daha fazla CO₂ alınması söz konusu olur.

Gerek DMS gazı salması (ve sonunda bulut oluşumuna neden olması) gerekse atmosferden CO₂ alması ile fitoplankton küresel ısınma sorununa bir ölçüde çözüm gibi görünmektedir. Bununla ilgili çalışmalar ve tartışmalar hala devam etmektedir. Sistemin dengesinin bozulabileceği riski, geriye dönüşülmez beklenmedik sonuçların oluşabilme ihtimalleri (zararlı alglerin artması ihtimali, oluşan organik karbonun okyanus tabanına çökmeyip yüzey sularda besin zincirinde kullanılarak tekrar atmosfere verilmesi, üretimin artması sonucunda dip sularda oksijen yetmezliğinin yaşanması, jel organizmaların artması vb. ihtimaller) bu tür uygulamaların yapılmasını engellemektedir (Wikipedia, 2009).

Doğa inanılmaz derecede kompleks ve yetersiz derecede az çalışma yapılmış bir sistemdir. Geniş çaplı demir zenginleştirme uygulamalarının istenilen sonucu doğurup doğuramayacağı ekosistemde felakete varan değişimlerin olup olmayacağı meçhuldür.

Kaynakça

- Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research (10 Haziran 2007). Iron Fertilization Of Oceans: A Real Option For Carbon Dioxide Reduction?. *ScienceDaily*. İnternetten 15 Temmuz 2009'da elde edilmiştir <<http://www.sciencedaily.com/releases/2007/06/070608142214.htm>>.
- Armstrong R. A., Lee C., Hedges J.I., Honjo S., Wakeham S.G. (2001). A new, mechanistic model for organic carbon fluxes in the ocean based on the quantitative association of POC with ballast minerals. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 49, 219-236.
- Becquevort, S., Lancelot, C., Schoemann, V. (2007). The role of iron in the bacterial degradation of organic matter derived from *Phaeocystis antarctica*. *Biogeochemistry*, 83, 119–135. DOI 10.1007/s10533-007-9079-1
- Boyd, P. W., Watson, A. J., Law, C. S., Abraham, E. R., Trull, T., Murdoch, R., Bakker, D. C. E., Bowie, A. R., Buesseler, K. O., Chang, H., Charette, M., Croot, P., Downing, K., Frew, R., Gall, M., Hadfield, M., Hall, J., Harvey, M., Jameson, G., LaRoche, J., Liddicoat, M., Ling, R., Maldonado, M. T., McKay, R. M., Nodder, S., Pickmere, S., Pridmore, R., Rintoul, S., Safi, K., Sutton, P., Strzepek, R., Tanneberger, K., Turner, S., Waute, A. and Zeldis, J. (2000). A mesoscale phytoplankton shift bloom in the polar Southern Ocean stimulated by iron fertilization. *Nature*, 407, 695-702.
- Boyd, P. W., Jickells, T., Law, C. S., Blain, S., Boyle, E. A., Buesseler, K. O., Coale, K. H., Cullen, J. J., de Baar, H. J. W., Follows, M., Harvey, M., Lancelot, C., Levasseur, M., Owens, N. P. J., Pollard, R., Rivkin, R. B., Sarmiento, J., Schoemann, V., Smetacek, V., Takeda, S., Tsuda, A., Turner, S., Watson, A. J. (2007). Mesoscale Iron Enrichment Experiments 1993-2005: Synthesis and Future Directions. *Science*, 315, 612, doi:10.1126/science.1131669,
- Charlson, R. J., Lovelock, J. E., Andreae, M. O., Warren, S. G. (1987). Oceanic phytoplankton, atmospheric sulphur, cloud albedo and climate. *Nature*, 326, 655-661.
- Coale, K. H., Johnson, K. S., Chavez, F. P., Buesseler, K. O., Barber, R. T., Brezzenzski, M. A., Cochlan, W. P., Millero, F. J., Falkowski, P.G., Bauer, J. E., Wanninkhof, R. H., Kudela, R. M., Altabet, M. A., Hales, B. E., Takahashi, T., Landry, M. R., Bidigare, R. R., Wang, X., Chase, Z., Strutton, P. G., Friederich, G. E., Gorbunov, M.Y., Lance, V. P., Hilting, A. K.,

- Histock, M. R., Demarest, M., Hiscock, W. T., Sullivan, K. F., Tanner, S. J., Gordon, M., Hunter, C. N., Elrod, V. A., Fitzwater, S. E., Jones, J. L., Tozzi, S., Koblizek, M., Roberts, A. E., Herndon, J., Brewster, J., Ladizinsky, N., Smith, G., Cooper, D., Timothy, D., Brown, S.L., Selph, K. E., Sheridan, C. C., Twining, B. S., Johnson, Z. I. (2004). Southern Ocean Iron Enrichment Experiment: Carbon Cycling in High- and Low- Si Waters. *Science*, 304, 408-414.
- Doney S. C. ve Schimel D. S. (2007). Carbon and Climate System Coupling on Timescales from the Precambrian to the Anthropocene. *Annual Review of Environment and Resources*. 32, 31-66.
- Duce, R. A. ve Tindale, N. W. (1991). Chemistry and biology of iron and other trace metals. *Limnology and Oceanography*, 36, 1715-1726.
- Ducklow H. W., Steinberg D. K., Buesseler K. O. (2001). Upper Ocean Carbon Export and the Biological Pump. *Oceanography*, 14, 50-58.
- Field, C. B., Behrenfeld M. J., Randerson J. T., Falkowski, P. (1998). Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components. *Science*, 281, 237-240.
- Geider, R., Delucia, E. H., Falkowski, P. G., Finzi, A. C., Grime, J. P., Grace, J., Kana, T. M., Roche, J. L., Long, S. P., Osborne, B. A., Platt, T., Prentice, I. C., Raven, J. A., Schlesinger, W. H., Smetacek, V., Stuart, V., Sathyendranath, S., Thomas, R. B., Vogelmann, T. C., Williams, P., Woodward, F. I. (2001). Primary productivity of the planet earth: biological determinants and physical constraints in terrestrial and aquatic habitats. *Global Change Biology*, 7, 849-882.
- Houghton J. T., Meiro Filho L. G., Callander B. A., Haris N., Kattenburg A., Maskell K. (1996). Climate Change 1995, The Science of Climate Change, Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, (2007). Summary for Policymakers. In Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (Eds.). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press.
- Jickells, T. D., An, Z. S., Andersen, K. K., Baker, A. R., Bergametti, G., Brooks, N., Cao, J. J., Boyd, P. W., Duce, R. A., Hunter, K. A., Kawahata, H., Kubilay, N., laRoche, J., Liss, P. S., Mahowald, N., Prospero, J. M., Ridgwell, A. J., Tegen, I., Torres, R. (2005). Global Iron Connections Between Desert Dust, Ocean Biogeochemistry, and Climate. *Science*, 308, 67 – 71, DOI: 10.1126/science.1105959
- Kapur, S., Saydam, C., Akça, E., Çavuşgil, V. S., Karaman, C., Atalay, I. and Özsoy, T. (2000). Carbonate pools in soils of the Mediterranean: A case study from Anatolia. In Lal, R., Kimble, J. M., Eswaran, H., Stewart, B. A. (Eds), *Global Climate Change and Pedogenic Carbonates*, (ss.188-212). Lewis Publishers.
- Keller M. D., Bellows, W.K., Guillard, R. R. L. (1989). Dimethylsulfide production in marine phytoplankton. In Saltzman E. S., Cooper W. J. (Eds) *Biogenic sulfur in the environment* (ss. 167-182). Washington, DC: American Chemical Society.
- Kyoto Protocol (14 Ocak 2009). Status of Ratification. United Nations Framework Convention on Climate Change. İnternetten 29 Haziran 2009'da elde edilmiştir <http://unfccc.int/files/kyoto_protocol/status_of_ratification/application/pdf/kp_ratification.pdf>.
- Landry, M. R., Ondrusek, M. E., Tanner, S. J., Brown, S. L., Constantinou, J., Bidigare, R. R., Coale, K. H., Fitzwater, S. (2000). Biological response to iron fertilization in the eastern equatorial Pacific (IronEx II). I. Microplankton community abundance and biomass. *Marine Ecology Progress Series*, 201, 27-42.

- Laws, E. A., Falkowski, P., Carpenter, E. A., Ducklow, H. (2000). Temperature-dependence of the f-ratio. *Global Biogeochemical Cycles*, 14, 1231-1246.
- Longhurst A., Sathyendranath, S., Platt, T., Caverhill C. (1995). An estimate of global primary production in the ocean from satellite radiometer data. *Journal of plankton Research*, 17, 1245-1271.
- Lovelock, J. (2007). *The Revenge of Gaia: Why the Earth Is Fighting Back and How We Can Still Save Humanity*. Penguin Books Ltd.
- Martin J. H. (1990). Glacial-Interglacial CO₂ Change: The Iron Hypothesis. *Paleoceanography*, 5, 1-13.
- Martin, J. H., Coale, K. H., Johnson, K. S., Fitzwater, S. E., Gordon, R. M., Tanner, S. J., Hunter, C. N., Elrod, V. A., Nowicki, J. L., Coley, T. L., Barber, R. T., Lindley, S., Watson, A. J., Van Scoy, K., Law, C. S., Liddicoat, M. I., Ling, R., Stanton, T., Stockel, J., Collins, C., Anderson, A., Bidigare, R., Ondrusek, M., Latasa, M., Millero, F. J., Lee, K., Yao, W., Zhang, J. Z., Friederich, G., Sakamoto, C., Chavez, F., Buck, K., Kolber, Z., Greene, R., Falkowski, P., Chisholm, S. W., Hoge, F., Swift, R., Yungel, J., Turner, S., Nightingale, P., Hatton, A., Liss, P., Tindale, N. W. (1994). Testing the iron hypothesis in ecosystems of the equatorial Pacific Ocean. *Nature*, 371, 123-128.
- Martin, J. H., Gordon, R. M., Fitzwater, S. E. (1991). Iron limitation? The case for iron. *Limnology and Oceanography*, 36, 1793-1802.
- Roach J. (7 Haziran 2004). Source of Half Earth's Oxygen Gets Little Credit. *National Geographic News*. İnternette 30 Haziran 2009'da elde edilmiştir <http://news.nationalgeographic.com/news/2004/06/0607_040607_phytoplankton.html>.
- Sigman D. M. ve Boyle E. A. (2000). Glacial/interglacial variations in atmospheric carbon dioxide. *Nature*, 407, 859-869.
- Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı, TTGV (2006). Montreal Protokolü.. İnternette 10 Temmuz 2009'da elde edilmiştir <<http://www.ttg.gov.tr/UserFiles/File/MONTREALPRO.doc>>.
- WIKIPEDIA (24 Haziran 2009). Iron fertilization. İnternette 14 Temmuz 2009'da elde edilmiştir <http://en.wikipedia.org/wiki/Iron_fertilization#cite_note-1>.
- Watson, A.J. (1997). Volcanic iron, CO₂, ocean productivity and climate. *Nature*, 385, 587-588.