

Global Karbondioksit Konsantrasyonları Artmasıyla Küresel İklimsel Değişimler Sonucu Okyanusların ve Denizlerin Asitlenmesi Sorunları

Ahmet Cangüzel Taner

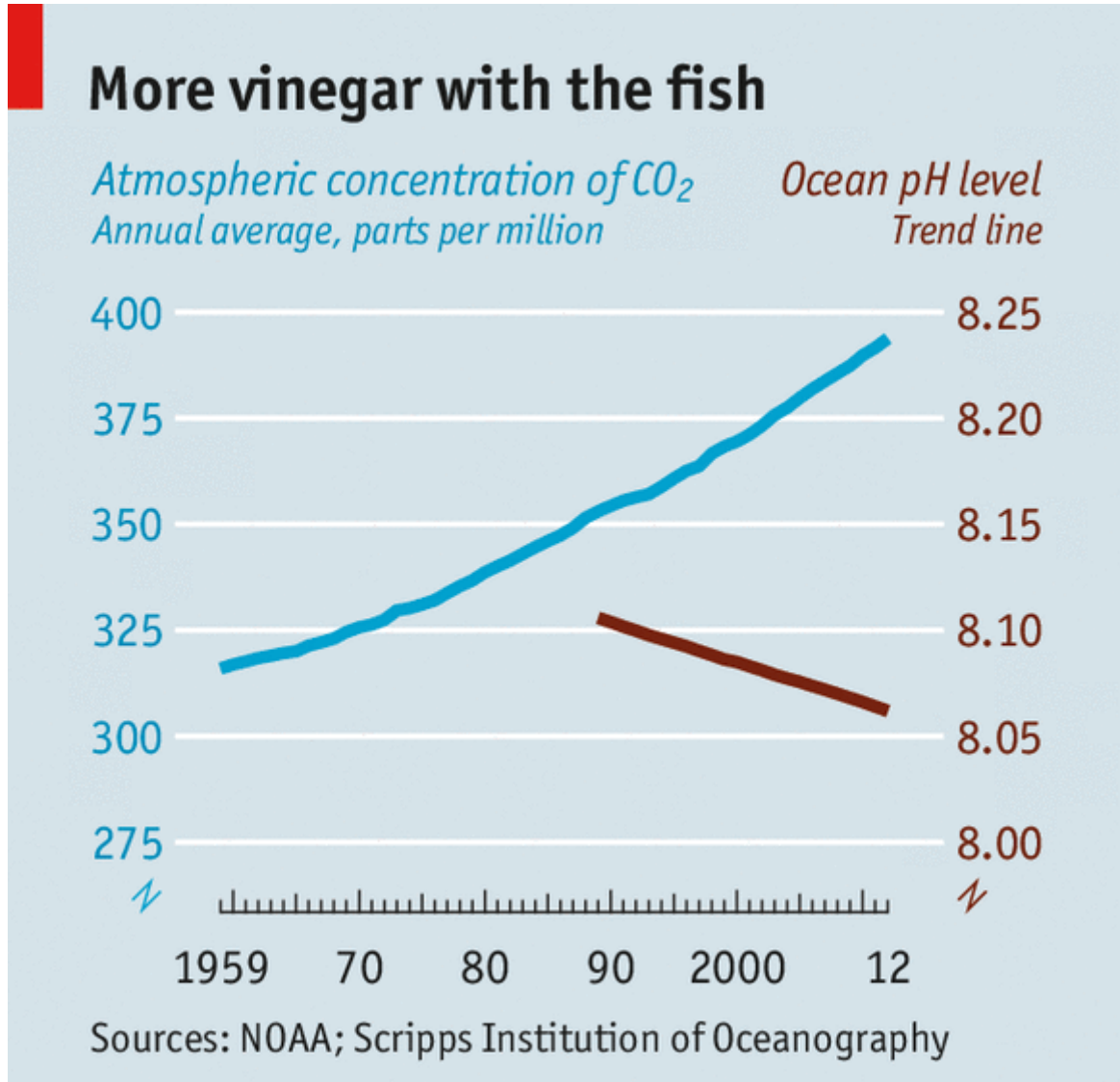
Fizik Yüksek Mühendisi

Fizik Mühendisleri Odası (canguzel.taner@gmail.com)

İnsan kaynaklı küresel karbon emisyonları ve global karbondioksit salımları hem kalkınmış hem de kalkınmakta olan ülkelerin iyi yaşam standartları, ilerlemeleri ve gelişmelerine paralel olarak sanayi devriminden günümüze kadar 250 yılı aşkın süredir devamlı artmaktadır. Hassas ve duyarlı şekilde 1950 li yılların sonlarından itibaren ölçülmeye başlayan küresel karbondioksit konsantrasyonu miktarı 1958 yılında milyon başına parçacık sayısı 315 ppm (parts per million – ppm) ‘den 2013 yılı itibariyle geçen yıllar zarfında yaklaşık %30 oranında yükselerek 400 ppm düzeyine kadar rekor seviyelere ulaşmıştır. Söz konusu küresel karbondioksit konsantrasyonları artışları ise dünyanın okyanusları ve denizlerini hızla daha asidik bir ortama doğru sürüklemektedir. Çevre güvenliği ve ekolojik denge perspektifleri açısından okyanusların ve denizlerin asitlenmesi gerçeğinin ne kadar önemli olduğu bilimsel çevrelerce henüz tam ve kesin biçimde açıklığa kavuşturulmamıştır. Ancak okyanuslar ve denizlerde doğan asidik ortamın gelecekte çok büyük bir öneme ve ciddi gelişmelere sahne olacağı da daha şimdiden olası görülmektedir.

İnsanlar karada yaşayan varlıklar olması nedeniyle dünyada yaşadıkları yöreler toprak ya da kara parçası olarak adlandırmaktadır. Bununla beraber yeryüzünün %70 inin yani onda yedisinin tuzlu sularla kaplı olmasından dolayı insan yaşantısı ve sürdürülebilirliğinin çok önemli bölümünü teşkil eden deniz veya okyanus adıyla anılması ise daha doğru kabul edilmektedir. Söz konusu global okyanuslar ve denizler ayrıca deniz yosunları (algae), deniz bitkileri ve fotosentez için çok önemli bakterilerin yaşadıkları aynı zamanda barındıkları yerler de sayılmaktadır. Deniz yosunları, biyolojide mavi ya da yeşil renkli tanımlanan jeoloji de ise fotosentez yapabilen bakteriler (siyanobakteri – cyanobacteria) ve bitkiler sayesinde tüm atmosferdeki oksijenin yarısı üretilmektedir. Öte yandan, küresel denizler ve okyanuslar ekonomik değeri yıllık bazda 128 milyar dolara ulaşan dünya deniz ürünleri aracılığıyla gezegende yaşayan insanların %60’nın asgari %15 oranında protein ihtiyacı karşılanmaktadır. Bu açıdan çevresel ve ekolojik denge perspektifi kapsamında global denizler ile okyanusların korunması karalarda yaşamlarını sürdüren insanlar için hayati bir önem taşımaktadır. Ancak, endüstri devrimi ve dönüşümünden bu yana ülkelerin yüksek ekonomik büyüme hızları doğrultusunda global sanayileşme süreçleri sonucu artan dünya karbon salınımları ve karbondioksit emisyonları miktarları küresel okyanuslar ve denizlerin korunması bağlamında ciddi bir tehdidi de su yüzüne çıkarmaktadır. Beliren tehdit global karbondioksit emisyonlarının küresel sera gazı salınımları içeriğinde iklim değişikliği mekanizmaları sorunları konusundaki rolünden çok farklı bir boyutunda bilimsel değerlendirilmeye alınmaktadır. Örneğin, karbondioksitin suda çözülmesi sonucu dünya eko-denge sistemi ve küresel biyolojik çeşitliliğin korunması kriterleri açısından önemli olan ciddi global asidik ortam da oluşturulmaktadır. Küresel asidik çevre ise okyanuslar ve denizlerde yaşayan canlıların büyük bir kısmının asitli ortamda çözülen kabuklar ile yapılar içinde yaşamasından dolayı özellikle önem arz etmektedir. Böylece, kabuklar ve çeşitli yapılar halinde korunan deniz canlılarının daha asidik çevrede yaşamlarını

sürdürebilmesi de zorlaşmaktadır. Diğer taraftan, fotosentez olayı için karbondioksit kullanan okyanus bitkileri, siyanobakteriler ve deniz yosunları (algae) için karbondioksit gazının daha fazla çözülmesi yoluyla çevre ile okyanus verimliliği açısından bir kayıptan ziyade kârlı, kazançlı ve kazanımlı olan bir paradoks ortam da sağlanabilmektedir. Konu ile ilgili gelecekte dünyada neler olduğuna dair mevcut durumu özetleyen ancak sağlam temellere dayanmayan iki adet rapor yayınlanmıştır. Her iki raporda çevresel bürokrasi açısından yoğunluğuyla dikkat çeken 2012 yılında yapılan toplantılarda bilimsel yayım olarak sunulmuştur. Yayınlardan biri Monterey, Kaliforniya'da bilimsel düzeyde diğeri de gelişmelerin olası ekonomik sonuçları çerçevesinde Avrupa'nın Akdeniz kıyısındaki Monako Prenslüğünde yapılan bir etkinlikte sunulularak tartışılmıştır. Problemin kaygılandırıcı yönü az bilinmesine rağmen mevzu bahis toplantılarda sunulan dokümanların ikisinde de sorunun ciddi biçimde göz önüne alınması gerektiği savı vurgulanmıştır. Atmosferde karbondioksit konsantrasyonları ölçümleri düzenli şekilde 1958 yılında başlatılmıştır. Aşağıdaki grafikten de görüldüğü gibi okyanusların asit oranı ölçümleri ise sadece 1980 'li yılların sonlarından itibaren yapılmaktadır. 1990 'lı yılların başlarından beri de okyanusların asit derecesi veya asiditesi **pH 8.11** den **pH 8.06** 'ya kadar yükselmiştir. Burada **pH** ölçeğindeki düşük rakamlar asitlik oranının yükseldiğini ifade etmektedir.



Yukarıdaki grafikte görüntülenen kahverengi okyanus **pH seviyesi trend eğrisi** duyarlı görünmemesine karşın **pH** değerleri yıllara göre dağılımı logaritmik ölçekte gösterilmektedir. Bu bağlamda bir **pH** noktası düşmesi ise asiditenin on kat arttığını işaret etmektedir. Böylece grafikte 30 yıl zarfında **pH** düzeyi trend eğrisinde görülen 0.05 noktalık azalma asit derecesinin %12 oranında artmasına karşılık gelmektedir. **Asidite pH**, daha belirgin ifade ile bir çözeltinin asitlik veya bazlık derecesi olarak tanımlanır. İfadenin açılımı “**power of Hydrogen (pH) – Hidrojenin gücü**” şeklindedir. **Asit derecesi pH** teriminde **p**, eksi logaritmanın matematiksel sembolü ve **H** da hidrojenin kimyasal formülü vasıtasıyla türetilmiştir. Yukarıda açık mavi renkli eğri kanalıyla ortalama atmosferik karbondioksit konsantrasyonu ölçüm değerleri yıllara göre dağılımı milyonda partikül sayısı (**parts per million – ppm**) olarak verilmektedir. Grafikte “**More vinegar with the fish**” başlığı “**gelecekte balıklı daha fazla asitli çevre**” olacağını belirtmektedir. Ayrıca, aşağıdaki tabloda da küresel ortalama karbondioksit konsantrasyonu ölçümleri olan **ppm** değerlerinin yıllar bazında artışları rakamsal olarak ifade edilmektedir.

Yıllar	Karbondioksit konsantrasyonları (ppm)
1958	315
1960	316
1965	320
1970	325
1975	330
1980	340
1985	345
1990	355
1995	360
2000	370
2005	380
2010	395
2013	400

Kaynak: Scripps Institution of Oceanography

Sanayi devrimi başlamasından itibaren 250 yılda ayrıntılı olmayan verilere dayanarak küresel okyanus asiditesi miktarının %26 yükseldiği hesaplanmaktadır. Küresel ekonomik büyüme projeksiyonu trendlerine paralel global karbondioksit emisyonları artışları sürecinde ise 2100 yılına kadar dünya okyanus asit derecesi miktarlarının %170 oranında yükseleceği öngörülmektedir. Global okyanus asiditesi yükselişinin ortaya çıkan diğer küresel ısınma ve global iklim değişikliği mekanizmaları sorunlarına kıyasla önümüzdeki 90 yıl boyunca ciddi bir tehdit oluşturması beklenmemektedir. Ancak, bir başka bilimsel öngörü ise okyanusların ciddi boyutlarda asidik ortam ve çevreye bürünmesi sonucu denizlerin alkalitesi veya bazlığının düzelmesinin çok uzun yıllar alacağını tahmin etmektedir. Okyanus ekosistemi ve deniz yaşamı, karşılaştığı alışılmamış duruma nasıl uyum sağlayacağı ve gelişen son durumun sözü edilen küresel ekolojik sistem için ne kadar önemli olduğu da bilim dünyası tarafından sorgulanmaktadır. Bilimsel araştırmacıların pek çoğu **omega** olarak adlandırılan sayıdan kaygılanmaktadır. **Omega sayısı**, deniz kabukluları ve koruyucu yapılarının asitlenme ile asidik çevre karşısında ne ölçüde tehdit edildiği gösteren değerlendirmelerde kullanılmaktadır. Koruyucu yapıların çoğu kalsiyum karbonattan ibarettir. Kalsiyum karbonat doğada iki kristal formu olan kalsit

ve aragonit, bir başka deyişle, şeffaf mermer ve aragon kireçtaşı konumunda bulunmaktadır. Çok sayıda deniz yaratıkları özellikle de mercan kayalıklarının oluşumu, yüzen yumuşakçalar ve larva halinde yüzen yumuşakçalar, kabukları ile muhafaza yapıları için aragonit kristalleri tercih etmektedir. Ancak, ne yazık ki, aragonit kristali kalsite nazaran asitlenmeye karşı daha fazla hassasiyet göstermektedir. Aragonit için “**omega değeri bir**”, kalsiyum karbonatın mineralden kolayca çözülerek kimyasal olarak ayrıldığı asidite seviyesidir. Diğer deyimle, sistem dengede olup, aragonit yapılı deniz kabukları çözülmeye meyletmeyecektir. Sadece ve sadece değerin yukarisına doğru ilerlendiği takdirde tehlikeden muaf olunmayacaktır. Kabuk formasyonu aktif proses kabul edilmekte ve hatta düşük “**omega değerleri bir**” in yukarisında olduğunda bile zor oluşmaktadır. Örneğin, mercanlar çok sayıda taşlarla kaplı koruyucu yapıları büyütme için “**omega değerinin üç**” e kadar yükselmesi gerekmektedir.

Diğer taraftan, aragonitin 2100 yılına kadar bir sorun oluşturabileceği de düşünülmektedir. Soğuk sularda karbondioksitin daha kolayca çözülmesi nedeniyle **düşük omega değerleri** kutuplardan tropik bölgelere ve ekvatora doğru yayılmaktadır. Monterey raporu, yüzyılın ortalarına kadar mercan kayalıklarının erozyon hızının mercan kayasının oluşum hızını geçeceğini ve yüzyılın sonunda ise tüm mercan kayaları formasyonunun yok olacağını öngörmektedir. Öteki okyanus canlı türleri de zarar görecekler arasında sıralanmaktadır. Örneğin, 2012 yılında Nature Dergisi’nde yayımlanan bir çalışmada yumuşakçalar çeşitleri arasında sayılan ve deniz kelekleri (pteropods) olarak adlandırılan planktonik salyangozlar (planktonic snails) ‘in kabukları incelenmiştir. Sözü edilen araştırmada önceleri **omega değeri bir** olan Antarktik Okyanusu sularında planktonik salyangozların kabukları daha kuzeyde ılık sularda yaşayan benzer türlerine kıyasla dayanıksız ve biçimsiz olduğu bulunmuştur. Diğer yumuşakçalar türleri için yapılan bir başka araştırmada da benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bununla beraber karbondioksitin çözülmesi ile her okyanus canlısı zarar görmemektedir. Monterey raporunda deniz yosunları, siyanobakteriler ve deniz çayırılarının karbondioksit çözülmesinden gerçekte yarar sağlayacağı görüşü de destek bulmaktadır. Ayrıca, bir diğer araştırmada da okyanusların asitlenmesi, siyanobakterilerin azot onarımına yardım ederek söz konusu azotu proteine dönüştürdüğü saptanmıştır. Böylece, okyanusların büyük bir bölümünde erişilebilir azot eksikliği hüküm sürmesi nedeniyle bu durumun söz konusu deniz bitkilerinin verimliliği açısından faydalı olabileceği öngörülmektedir. Monako raporu, belirtilen değişimlerden özellikle etkilenecek su ürünlerini tespit etmeye çalışmaktadır. Öteden beri balık avcılığının yoğun şekilde yapılmadığı Güney Kutup Denizi, yukarı doğru akıntı ile besinlerin derinden yüze doğru getirildiği aynı zamanda verimli balıkçılığın olduğu Peru ve Kuzey Şili açıkları da yukarıdaki çalışmaya dahil edilmiştir. Buralarda ve Kuzey Amerika’nın batı kıyısı açıkları gibi benzer balık yataklarındaki asıl tehdidi balık yiyen planktonik larvalar oluşturmaktadır. Öte yandan, dünya genelinde istiridye ve midye yatakları da etkilenecek ve aynı zamanda sözü edilen deniz canlılarının larvaları da risk altında bulunacaktır. Bununla beraber raporda okyanusların tümünde verimliliği artıran deniz yosununa ait planktonun artış olasılığı araştırılmamıştır. Global iklim değişikliği konusunda ise daha geniş kapsamlı tartışmalar yapılan ve herkesin aklının bir köşesine yer eden 56 milyon yıl önce vuku bulan olaylar yatmaktadır. Paleosen ile Eosen jeolojik devirleri sırasında global karbondioksit emisyonları çok hızlı biçimde yükselmiş, sıcaklıklar aniden 6°C artmış ve denizler de çok daha asidik ortam haline dönüşmüştür. Pek çok

deniz canlıları bilhassa tek hücreli deniz yosunu grubundan kokolitoforidler ve kabuklu protozoan grubundan derinlerde yaşayan foraminifera sadece yüzyıllar mertebesinde nesli tükenmiştir. Bazı bilim insanları söz konusu deniz canlılarının nesillerinin tükenmesinde gerçek suçlunun sıcaklık artışından ziyade global asidite yükselişi olduğunu düşünmektedir. Ancak yüzeyde yaşayan foraminifera ise çok iyi büyümüş ve yeni kokolitofor türleri (coccolithophore species) de yok olanların yerine süratle gelişmiştir. Karalarda yaşayan hayvanların bazı türleri de daha iyi biçimde tekâmül etmiştir. Her ne kadar memeli hayvanların artması 66 milyon yıl önceye kadar dayansa da bu tarihlerdeki dinazor nesillerinin kitlesel tükenmesi süreci yaşaması ise diğer memelilerin koloniler halinde gelişmesine neden olmuştur. Gerçekte söz konusu gelişmeler modern memeli grupların üstünlüğü ele geçirdiği 10 milyon sonraki Eocene devri başlarına denk gelmektedir. Günümüzde global okyanus asiditesi, Palaeocene devri periyodunun son evresinde tahmin edilen kadar hızlı on misli arttığı gözlenmektedir. Bazı yerbilimcileri gezegenin 56 milyon yıl önceki Anthropocene yeni jeolojik çağ süreci gibi bir devreye girdiğini varsaymaktadır. Bununla beraber Palaeocene devri ise en uç bir örnek olmasına rağmen çok hızlı değişen yaşantının ideal bir örneği ve modeli için söz konusu çağ, geçiş periyodu karakteristiklerini büyük ölçüde taşımaktadır. Günümüzdeki geçiş süreci zarfında hangi canlı türlerinin zarar göreceği ve hangi canlı çeşitlerinin de fayda sağlayacağını zaman gösterecektir. Sonuçta yaşanacak süreçte “time is a great healer” zaman en büyük hekimdir.

Kaynaklar:

- Küresel Karbondioksit Konsantrasyonları Ölçümleri Araştırma Uydusu OCO, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2009.
- İleri Nükleer Santraller, İklimsel Değişim Mekanizmaları, Küresel Isınma ve İklim Değişiklikleri Bilimsel Raporları, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2010.
- Evren, İnsan ve İyonlaştırıcı Radyasyonlar, Ahmet Cangüzel Taner, FMO Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2010.
- Kuzey Kutbu Küresel Isınma ve İklim Değişikliği Nedeni ile Kuzey Buz Denizi Buzulları Erimesi Perspektifleri, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2011.
- Küresel Sıcaklık Artışları, Küresel Sıcaklık Ölçümleri ve Küresel Isınma, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2011.
- Yeni Küresel İklim Değişikliği Modeli, Ahmet Cangüzel Taner, FMO Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2011.
- İklim Duyarlılığı, Küresel Karbondioksit Emisyonları ve Küresel İklim Değişiklikleri Bilimsel Raporları, Ahmet Cangüzel Taner, FMO Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2011.
- Güneş Döngüsü ve Küresel İklim Değişikliği Modelleri, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2011.
- Küresel Sera Gazı Emisyonları Kapsamında Rekor Düzeylere Ulaşan Global Karbondioksit Emisyonları Ölçümleri, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2012.
- Kyoto Protokolü Sonrası Küresel Sera Gazı Emisyonlarının Sınırlandırılması ile ilgili 2012 Doha Global İklim Değişikliği Konferansı Toplantıları Sonuçları, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2012.
- Küresel Isınma ve Küresel İklim Değişiklikleri Nedenleri Arasında Sayılan Küresel Karbondioksit Emisyonları Yok Edilmesi Teknolojileri Maliyetleri, Ahmet Cangüzel

- Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2012.
- ABD Kömüre Dayalı Elektrik Santralleri Karbon Salımları ve Karbondioksit Emisyonları Bertaraf Edilmesi Projeksiyonları, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2012.
 - Global İklimsel Değişimler Nedeni Ortalama Sıcaklık Artışları Sonucu Ortaya Çıkan Kuraklıklar ve Küresel Tarım Ürünleri Rekolte Düşüklüğü Olasılıkları, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2012.
 - Eser ve Nadir Toprak Elementleri, Rüzgâr Elektrik Santralleri (RES), Elektrikli Otomobiller, Küresel Isınma ve Küresel İklim Değişikliği, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2012.
 - Asya Kıtası Elektrik Üretimi Perspektifi Kapsamında Temel Enerji Kaynağı Kömür Kullanımı ile Çin ve Hindistan'da Kömürle Çalışan Termik Santraller, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2012.
 - Avustralya Sıcaklık Artışları, Ocak 2013 Kavurucu Sıcak Hava Dalgası Sonucu Yaşanan Boğucu Sıcaklar, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2013.
 - Çin, Yeni Kuşak Nükleer Enerji Santralleri, Global Yenilikçi Nükleer Santral İnşaatları ve Dünya Sera Gazı Emisyonları, Ahmet Cangüzel Taner, FMO Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2013.
 - Çin, Fosil Yakıtlar Tüketimi Sonucu Oluşan Is ve Kurum Kaynaklı Hava Kirliliği Politikaları, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası, Faydalı Bilgiler, 2013.
 - ABD Enerji Politikaları Değişimi Sürecinde Küresel Isınma ve Global İklim Değişikliği Sorunları ile ilgili Yeşil, Doğa Dostu ve Çevreci Son Gelişmeler, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2013.
 - Dünyanın Üçüncü Kutup Bölgesi Sayılan Tibet Platosu Buzul Kütlelerinin Erimesi ile Küresel Isınma ve Global İklim Değişikliği Mekanizmaları İlişkisi, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2013.
 - Küresel Karayolu Ulaşım Araçları Global Karbondioksit Emisyonları Düşürülmesi ve Yeni Nesil Düşük Karbon Emisyonlu Evrimsel Otomobiller, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası, Faydalı Bilgiler, 2013.
 - Dünya Ortalama Sıcaklık Artışları Işığı Altında Yeni Küresel Isınma Projeksiyonları ve Global İklim Değişikliği Senaryoları İkilemi, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2013.
 - Küresel Karayolu Ulaşım Araçları Global Karbondioksit Emisyonları Düşürülmesi ve Yeni Nesil Düşük Karbon Emisyonlu Evrimsel Otomobiller, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası, Faydalı Bilgiler, 2013.
 - Avrupa Birliği (AB) Emisyon Ticareti Sistemi (EU ETS) AB İklim Politikası ve Global Karbon Ticareti Perspektifleri, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2013.
 - Amerika Global Isınma ve Küresel iklim Değişikliği Mekanizmaları Belirtisi Sayılan Dünya Deniz Seviyeleri Yükselmesi Sorunları, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2013.
 - Küresel Tropik Tayfunlar, Kasırgalar, Fırtınalar, Hortumlar ile Global Isınma ve Küresel İklim Değişikliği Mekanizmaları Bilimsel İlişkisi, Ahmet Cangüzel Taner, Fizik Mühendisleri Odası Yayınları, Faydalı Bilgiler, 2013.
 - The Economist Dergisi (23 Kasım 2013 – 29 Kasım 2013).

Fizik Mühendisleri Odası Resmi İnternet Sitesi:
[www.fmo.org.tr/ yayinlar/faydali-bilgiler](http://www.fmo.org.tr/yayinlar/faydali-bilgiler)