



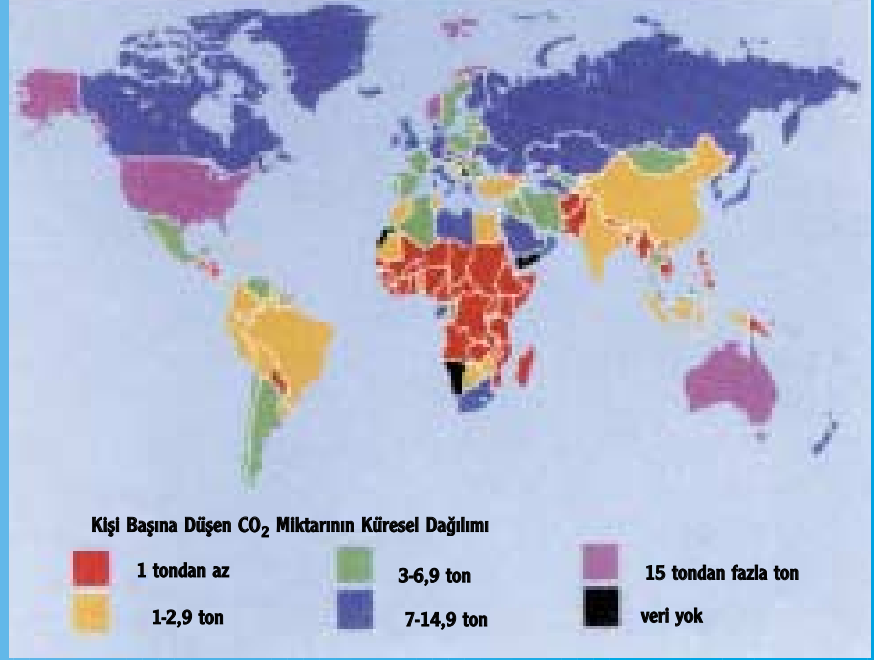
KÜRESEL ISINMAYI DURDURMAK

Bir yüzyıldan daha da önce, bilimadamları, fosil yakıtların kullanılmasıyla açığa çıkan karbondioksitin, yeryüzünden yansıyan güneş ışınlarını atmosferde hapsederek Dünyamızın ısınmasına yol açacağı görüşünü ortaya atmışlardı. 20. yüzyılda, insan nüfusu dört kat, birincil enerji kullanımı da 16 kat arttı. Dünya nüfusundaki artış, fosil yakıtların tüketimini, tarım alanlarının genişlemesini ve ormanların yok edilmesini hızlandırdı. Bu da, sera gazlarının atmosferdeki oranının önemli ölçüde artmasına neden oldu. Geçtiğimiz yüzyılda atmosferdeki karbondioksit, milyonda 275 parçadan, milyonda 370 parçaya ulaştı. Eğer kontrol altına alınmazsa, 21. yüzyılda bu değerin, milyonda 550 parçaya ulaşacağı tahmin ediliyor. İklim konusunda çalışan birçok bilimadamına göre, bu eğilim, küresel iklim üzerinde farkedilir etkilere yol açıyor ve iklimimizi gelecekte de etkilemeye devam edecek. Fosil yakıtların kullanımı, iklim değişikliği ve çevresel etkileri arasındaki ilişkiler daha iyi anlaşıldıkça, “temiz” enerji kaynaklarına duyulan gereksinim de arttı.. 1998 yılında, hükümetlere küresel iklim değişikliği konusunda bilgi vermek amacıyla kurulmuş olan, Birleşmiş Milletler’in Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli’ne göre, son 50 yılda gözlemlenmiş ısınma, sera gazı derişimlerindeki yükselmeye bağlı olarak artmayı sürdürebilir.

İklim değişikliğinin belki de en önemli nedeni, atmosferdeki karbondioksit (CO₂) miktarının artması. 1760'lar da başlayan endüstri devriminden bu yana, atmosferdeki karbondioksitin üçte bir oranında arttığı belirlenmiş. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'ne (IPCC) göre, geçtiğimiz yüzyılda dünya, 0,6 °C ısındı. Son 50 yıldaki ısınmanın temel nedeninin, atmosferdeki sera gazları oranının artması olduğu düşünülüyor. IPCC, 21. yüzyılda da sıcaklıklarda 6 °C kadar artış beklenebileceğini açıkladı. Okyanuslar da ısınarak tüm dünyada denizlerin düzeyinin yükselmesine neden olacak. Denizlerin bir metre yükselmesi, Mısır'ın topraklarının % 1'inin, Hollanda'nın % 6'sının ve Bangladeş'in % 17,5'inin sular altında kalması demek.

Karbondioksit düzeylerindeki artışın en önemli sorumlusunun, insan etkinlikleri olduğu artık yaygın kabul görüyor. Son Buzul Çağı'ndan sonra var olan ormanların yarısından çoğu, insanlarca kesilerek yok edildi. Kuzey Amerika ve Avrupa'dakiler gibi zengin ülkelerde her yıl 12.000 kilometrekarelik alan yeniden ağaçlandırılıyor. Ancak, Güney Amerika, Asya ve Afrika'nın ılıman bölgelerinde ormanlar her yıl bunun on katı hızda yok olmaya devam ediyor. Karbondioksit düzeylerindeki artışın en önemli nedeniyse, fosil yakıtların kullanımı. ABD ve Avustralya gibi kimi ülkelerin, fosil yakıtla çalışan elektrik santrallerine bağımlılıkları ve yüksek yaşam standartları nedeniyle, kişi başına düşen karbondioksit salımları öteki ülkelere göre çok daha yüksek. Örneğin, dünya nüfusunun yirmide birini oluşturan ABD, her yıl atmosfere yayılan karbondioksitin dörtte birinden fazlasından sorumlu. 1999 yılı verilerine göre bu miktar da yıllık 5,6 milyar ton. Bunun 1,5 milyar tonu, enerji üretiminden kaynaklanıyor.

Özellikle gelişmiş ülkelerde yaşayanların, dünyanın kaynakları konusunda ne kadar "israfçı" oldukları, ekolojik ayak izlerinden de anlaşılıyor. Ekolojik ayak izi, her birimizin, beslenme ve giyinme, enerji, yaşam alanı ve atıklarımız için dünyanın kaynaklarını ne kadarına gereksinim duyduğumuzu belirleyen bir araç. Eğer dünyanın bu gereksinimlerin karşılanmasında kullanılan üretim alanları insanlar arasında eşit bir biçimde pay edilecek olsaydı, kişi başına düşen alan, 1,8 hektar olurdu. Oysa ABD'de



yaşayanların ekolojik ayak izi, bu alanın altı katına eşdeğer.

Günümüzde, dünyanın enerji gereksinimi, büyük oranda fosil yakıtlar ve nükleer kaynaklardan sağlanıyor. Kirli kaynakları olmaları bir yana, kısıtlı oluşları da dünya nüfusunun artan enerji gereksinimiyle birlikte ele alındığında, fosil yakıtlara alternatif ve "temiz" enerji kaynakları yaratma çalışmalarına gereksinim duyuluyor. Ancak, bu hedefe ulaşmak hiç de kolay değil. Alternatif yaratma konusundaki en önemli adımlardan biri, birçok ülkenin ortak çabasının ürünü olan Kyoto Protokolü. Yalnızca fosil yakıt kullanımını yasaklamakla kalmak, bu sorunu çözmekten çok uzak; atılması gereken daha bir çok adım var. Fosil yakıtlar, modern yaşamın ana damarını oluşturuyor. Hareketliliğimiz, üretim, refah ve konfor, kısacası modern yaşam, enerji kaynaklarının güvenilir ve sürekli olmasında yatıyor.

1997 tarihli Kyoto Protokolü, gelişmiş ülkelerin sera gazı salımlarını, 2008'den 2012'ye kadar, 1990 yılı salım düzeylerinin % 5 altına çekmelerini istiyor. Bu özelliği, onu hem aşırı zorlayıcı, hem de zayıf kılıyor. Çünkü, kimi ülkeler, yapılması gereken salım kısıtlamalarının büyük ekonomik yük getireceği görüşünde. Örneğin, ABD bu nedenle protokolden çekilme kararı aldı. Öte yandan Kyoto Protokolü birçoklarına göre zayıf; çünkü küresel iklimi dengelemek için çok daha fazla salım kısıtlaması gerekiyor; bu azaltmayı gerçekleştirmeye yarayacak güçte teknolojilerden yoksunuz.

tirmeye yarayacak güçte teknolojilerden yoksunuz.

Enerji kaynaklarını üç büyük sınıfa ayırmak mümkün. Bunlardan ilki, ısı ya da elektrik üretmek için genellikle bir hidrokarbonun yakılmasına (oksitlenmesine) ya da güneş ışığının emilmesine dayanan kimyasal ya da fotofiziksel enerji. Burada açığa çıkan enerji, kimyasal bir bağ için gerekli düzeyde elektronvoltun (eV) kesirleri düzeyinde. İkinci, ağır çekirdekleri parçalama ya da hafif çekirdekleri eritme yoluyla enerji açığa çıkaran nükleer reaksiyonları içeriyor. Üçüncüsü, rüzgâr, su ya da buhar ve sıcak su gibi jeolojik kaynaklardan elde edilen termomekanik enerji.

Her enerji kaynağının kendine özgü olumlu ve olumsuz yanları var. Fosil yakıtların kullanılmasıyla elde edilen enerji, başta karbondioksit olmak üzere, azotoksit, sülfüroksitler ve kül gibi kirlenici maddeler açığa çıkarıyor. Nükleer enerji santralleri, radyoaktif fisyon atıkları üretiyor. Hidroelektrik enerji santralleri için barajlar ve büyük göller gerekiyor. Güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisi içinse, geniş alanlar gerekiyor ve bunlardan yararlanılabilecek bölgeler de sınırlı. Jeotermal kaynaklar da yalnızca belli bölgelerle sınırlı.

Artan Enerji Gereksinimi ve Isınma

Dünya nüfusunun yıllık toplam enerji tüketimi, 10-12 terawatt (trilyon

Watt). Bunun % 85'i, fosil yakıtların yakılmasıyla sağlanıyor. Dünya, karbondioksit salımlarının azaltılmasına teknolojik olarak hazır mı? Fosil yakıtlara alternatif enerji teknolojileri, zaman içinde karbondioksit salımsız enerji gereksinimini karşılamaya yetecek mi?

İklim değişiminin önüne geçmek için aşılması gereken belki de en büyük teknik güçlük, karbon salımlarını azaltacak yöntemler geliştirmek değil, bu yöntemlerin, pazarda ötekilerle rekabet edebilecek kadar ucuz olmasını sağlamak. Birçoklarına göre, yeni enerji teknolojileri haksız ekonomik engellerle karşılaşılıyor. Çünkü, küresel ısınmanın maliyeti de, tıpkı işgücü, sigorta ve hammadde olduğu gibi enerjinin fiyatına yansımali. Gelgelelim, bunun nasıl yapılabilceği açık değil. Çünkü küresel ısınma sorunu şu ya da bu şirketi değil, tüm toplumları ilgilendiriyor. Üstelik, kimse küresel ısınmanın hangi hızda gerçekleştiğini ve gerçekleşikten sonra ne tür etkilerinin olacağını tam olarak bilmiyor. Küresel ısınma-

ya karşı eylem yandaşlarının buna karşı önerisi, fosil yakıt kullanımı için, iklime gelecekteki etkilerine karşılık bir "karbon vergisi"nin getirilmesi. Ancak, sera gazlarının neden olacağı ekonomik zarar konusu öyle belirsiz ki, iklim değişikliğini konu alan en ciddi girişim olan Kyoto Protokolü bile "doğru" salım miktarının ne olduğundan söz etmiyor.

1998 yılında, New York Üniversitesi'nden Martin Hoffert ve arkadaşları, atmosferdeki karbondioksit düzeyini endüstrileşme öncesinin iki katı düzeyinde dengelemek için gerekli değişimleri belirlemeye çalıştılar. Bu araştırma, karbon salımsız enerji üretimi önümüzdeki 50 yılda 10 kat artmazsa, atmosferdeki karbondioksit içeriğinin dengelenemeyeceğini gösteriyordu.

1998 yılı verilerine göre, dünyanın 10-12 terawatt'lık toplam enerji üretiminin % 85'inin, fosil yakıtlardan elde edildiğine değinmiştik. Fosil olmayan yakıtlarsa, % 15'lik paya sahip. 2050 yılında, dünyanın enerji gereksiniminin, 30 terawatt'a çıkacağı hesaplanıyor. Hoffert ve arkadaşları, karbon sa-

lımsız enerji kaynaklarının, bu gereksinimin % 50'sini karşılaması gerektiğini bulmuşlar. Araştırmacılara göre, 1998 yılındaki 1,5 terawatt olan karbon salımsız güç üretiminin, 2050 yılında on kat artışla 15 terawatt'a çıkması gerekiyor. Bu veriler, küresel enerji sisteminde çok büyük bir dönüşüm yapılması gerektiğini gözler önüne seriyor. Çünkü, bu sayı, bugünkü toplam enerji üretiminin neredeyse bir buçuk katına eşdeğer. Öte yandan, Birleşmiş Milletler'in Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'ne göre, bu miktar bile küresel iklim ve ekosistemlerdeki olumsuz gelişmeyi düzeltebilecek düzeyde değil.

İklimi Dengelemek Elimizde mi?

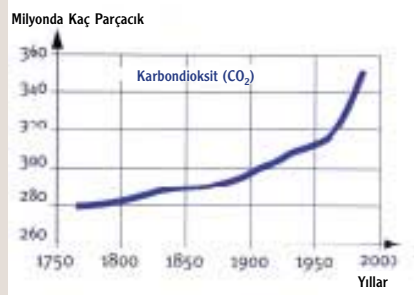
Kasım ayında yayımlanan bir araştırma, eğer küresel iklim değişikliği sorununun çözümü konusu ciddiye alınıyorsa, karbon yakıtlarla enerji üretimine alternatif teknolojik çözümlerin zaman kaybetmeden ele alınması

İklim Değişikliği ve İnsan Etkisi

Sera gazlarının arttığını gösteren birçok bulgu var. Bunların en tipiklerinden biri, insan etkinlikleri sonucu yayılımı artan karbondioksit oranlarının son 40-50 yıldaki ölçümleri. Karbondioksitle ilgili daha uzun dönemlere ait kayıtlarsa, Antarktika'daki buzullarda baloncuklar halinde hapsolmuş hava örneklerinden elde ediliyor. Bu kayıtlar, bugünkü karbondioksit oranının, endüstri devriminden önceki dönemlere göre % 31 daha fazla olduğunu gösteriyor. Kayıtlara göre, bugün atmosferdeki karbondioksit miktarı, son 420.000 yılın (büyük bir olasılıkla son 20 milyon yılın da) en yüksek düzeyine ulaşmış durumda.

18. yüzyılın ortalarından bu yana, öteki sera gazlarının atmosferdeki derişiminin de arttığı biliniyor. Hayvancılık, çöp alanları ve fosil yakıt kullanımına bağlı olarak metan gazının oranı % 151 arttı. Tarım ve kimya endüstrisi nedeniyle azotoksit düzeyleri de % 17 artış gösterdi. Atmosfere, buzdolaplarında ve klimalarda soğutucu olarak kullanılan kloroflorokarbonlar gibi, 20. yüzyıla kadar var olmayan gazlar da saldı.

Sera gazlarının yayılımındaki artışla birlikte, yer yüzünde hava sıcaklıklarının arttığını gösteren bulgular var. Örneğin, uydu ölçümleri, atmosferin sıcaklığının 1979 yılından bu yana, ortalama olarak 0.15 derece arttığını ortaya çıkardı. Yere yakın yerlerde ve deniz yüzeyindeki sıcaklıkları gösteren daha uzun süreli kayıtlara göre de, bugün yeryüzü, bir yüzyıl önceki döneme göre 0,6 °C daha sıcak. Bugüne kadar ölçülen en yüksek sıcaklıklarsa 1990'larda yaşandı. Araştırmacılar, bu istatistikleri, gözlem ha-



talari ve kentleşmenin sıcaklıklara etkisi, yüzeydeki değişimler nedeniyle oluşabilecek yerel ısınmalar gibi etkileri de göz önüne alarak belirliyorlar.

Eriyen buzullardan, yerkabuğundan, mercanlardan, deniz tabanındaki çökeltilerden, ağaç halkalarından elde edilen sıcaklık kayıtları da, sıcaklıkların arttığını gösteriyor. Araştırmacılar, bu ısınmanın yalnızca doğal nedenlere bağlı olamayacağını düşünüyorlar.

Son 100 yılda dünya ikliminin sıcaklık dışında başka özelliklerinin de değiştiğini gösteren bulgular var. 20. yüzyılın ikinci yarısında bazı ülkeler de geçmişe göre çok daha fazla yağış, fırtına ve seller görürken, bazı ülkelerde de çok büyük kuraklıklar yaşandı. Yirminci yüzyılın ikinci yarısında dünyanın birçok bölgesinde geçmişe göre daha az don ve daha fazla sıcaklık dalgası olduğu gözlemlendi. Dağlardaki buzullar küçüldü, bazı bölgelerde kar örtüsü azaldı, permafrost bölgelerde erimeler görüldü.

Bütün bu gözlemler artan sıcaklıklarla tutarlı ol-

sa da, bu değişikliklerin tümünün insan etkinliklerine bağlı olarak gerçekleştiğini kesin olarak söylemek güç. Kimi araştırmacılar, sıcaklık değişimlerinin, Güneş'ten gelen ışınlardaki değişim gibi doğal etkenlere bağlanabileceğini düşünüyorlar. İklimdeki değişikliklere ek olarak, Güneş'ten gelen enerjinin miktarındaki değişimler, Dünya'nın Güneş çevresindeki yörüngesinde oluşabilecek değişiklikler ve sera gazı derişimindeki doğal değişiklikler de iklimi etkiliyor. El Nino'da olduğu gibi okyanus akıntılarındaki değişimler ya da yanardağların püskürttüğü tozların soğutucu etkisi gibi etkenler de, insan etkisinin iklim üzerindeki payını daha fazlaymış gibi gösterebilir ya da saklayabilir.

Gözlemlenen iklim değişimlerinin nedenlerin açıklayabilmek ve bu değişimlerle artan sera gazı derişimleri arasındaki ilişkiyi açıklayabilmek için araştırmacılar, iklim modelleri (fizik yasaları ve atmosfer davranışları temel alınarak, atmosfer, karalar ve okyanusların üç boyutlu modelleri) yaratıyorlar. Bu modeller, doğal nedenlere bağlı değişimlerin tek başına, sıcaklık kayıtlarında gözlenen artışları açıklamaya yetmediğini gösteriyor. Doğal nedenlerle birlikte, insan etkisinin hesaba katıldığı modellerse, geçtiğimiz yüzyılda benzer, hatta daha fazla sıcaklık artışları gösteriyor.

Araştırmalar, insan etkisine bağlı sıcaklık artışlarının ve deniz seviyelerindeki artışın süreceğini gösteriyor. 2100 yılında, sıcaklıkların 1,4-5,8 °C; deniz seviyelerininse 9-88 santimetre artacağı tahmin ediliyor. Araştırmacılar, bu artışların daha sonra da sürmesini bekliyorlar. Sıcaklık artışlarının hangi hızda ve ne kadar uzun sürede gerçekleşeceği, biz insanların iklimi kontrol altına almak için ne kadar çaba göstereceğimize bağlı.



Geleceğin enerji alternatiflerine bakış: Biyokütleden elde edilen yakıtla çalışan traktör, güneş panelleri ve rüzgâr türbini, hidrojenli yakıt hücreleriyle çalışan enerji santralleri.

gerektiğini gösteriyor. Science dergisinde yayımlanan ve ABD'den 18 önemli enerji araştırmacısının ortak çalışması olan bir rapor, çok ses getirdi. Hoffert ve arkadaşlarına göre, bugün geliştirilmiş olan enerji üretim teknolojilerinin hiçbiri, sera gazı salımını kontrol altına almaya ve 2050 yılında % 200 artması beklenen dünya enerji gereksinimini karşılamaya yetecek durumda değil.

Hoffert ve arkadaşları, hükümetlerin, güneş, hidrojen, rüzgâr enerjisi gibi, fosil yakıtlara alternatif olabilecek enerji teknolojileri için kapsamlı araştırma programlarına girişmeleri gerektiğini vurguluyorlar. Son yıllarda üzerinde çalışılan teknolojiler arasında, güneş enerjisini uzayda toplayarak dünyaya yansıtmak, ya da özel mercerler yardımıyla güneş enerjisinin yönünü atmosferden uzağa çevirmek gibi ilginç öneriler de var.

18 araştırmacı, küresel ısınma konusundaki iki kutuplu tartışmayı da yeniden alevlendirmek istiyorlar. Kyoto Protokolü yandaşları, iklimin dengelenmesinin çok önemli olduğunu ve teknolojinin bugün geldiği noktada, önceliklerin gerektiği gibi belirlenmesi koşuluyla bunun mümkün olduğunu savunuyorlar. Bu görüşün karşıtlarıysa, iklim dengelemesinin gereksiz olduğunu ve aşırı derecede pahalı olduğunu öne sürüyorlar. 18 araştırmacı, üçüncü bir görüş ortaya atıyorlar: İklimin dengelenmesi önemli; ancak, istesek de bugünkü teknolojilerle bunu gerçekleştirmek mümkün değil. Dünyanın enerji gereksinimi, nükleer ve rüzgâr gücü gibi karbon salımsız enerji sağlayan teknolojilerin ön plana çıkarılmasına olanak tanımayacak ölçüde hızlı artıyor.

“Karbonsuzlaştırma” ve Karbon Ayırıştırması

Birçoklarına göre karbondioksit salımlarını azaltmanın en etkili ve akla ilk gelen yolu, yakıtların “karbonsuzlaştırılması”. Geçtiğimiz yüzyılda enerji tüketimi böyle bir eğilime girdi. Kömürden, üretilen sıcaklık birimi başına daha az karbondioksit açığa çıkaran petrole; petrolden de, ondan daha az karbondioksit salımına sahip olan doğalgaza doğru bir geçiş yaşandı. Birçokları, uzun dönemde bu geçişin karbondioksitsiz bir yakıt olan hidrojenle tamamlanacağını düşünüyorlar. Ancak, hidrojen, doğada jeolojik rezervlerde bulunmayan bir madde. Sentezlenmesi için, enerjiye gereksinim duyulan işlemlerden geçmesi gerekiyor. Bu enerjiyse, fosil yakıtlarla sağlanabiliyor. Bugün hidrojen, hidrokarbonların buharla yeniden biçimlendirilmesiyle elde ediliyor. Hoffert ve arkadaşlarına göre fosil yakıtlarla üretilen hidrojenin yakılmasıyla, sonuçta, doğrudan fosil yakıtların enerji kaynağı olarak kullanılmasıyla çıkacak olandan çok daha fazla karbondioksit açığa çıkıyor. Hidrojen enerjisi, doğalgaz kullanımıyla % 72, petrolle % 76, kömürle de % 55-60 verimle elde edilebiliyor. Suyun elektroliz edilmesinde yenilenebilir kaynakların ya da nükleer kaynaklardan enerji sağlanabilecek teknolojilerin maliyetleriyle de şimdilik çok fazla. Glikoz ve gliserol gibi, yenilenebilir biyokütleden elde edilmiş basit moleküllerle, daha düşük sıcaklık gerektiren süreçlerle de hidrojen üretilebileceği gösterildi. Ancak, hidrojen üretiminin bilim, mühendislik ve ekonomik yönlerinin birleştirilmesi için daha çok zaman gerekiyor.

Sonuç olarak, yalnızca yakıtların karbonsuzlaştırılması, küresel ısınmayı

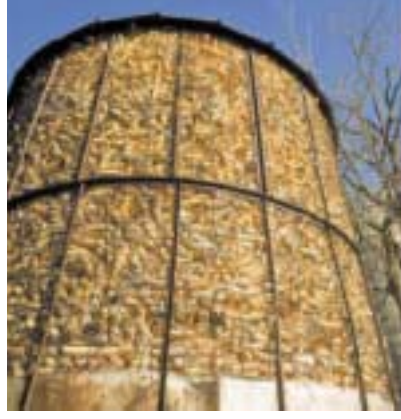
yavaşlatmaya yetmeyecek. Aslında, daha az karbondioksit çıkaran fosil yakıtlar arasında yapılan seçim de, bu kaynakların bolluğunun tam tersi olarak geliyor. Yeryüzündeki ekonomik açıdan değerlendirilebilir kömür rezervlerinin, yaklaşık 200 yıl, petrolün yaklaşık 80 yıl, doğalgazınsa 70-80 yıllık enerji gereksinimini karşılamaya yeteceği hesaplanıyor. Buradan çıkarak geliştirilen bir başka yaklaşım da, karbondioksitin yakalanarak ayrıştırılmasına dayanan “temiz” kömür: Kömür, biyokütle ve atık maddeler, özel işlemlerden geçiriliyor. Ortaya çıkan ürün, kükürtten temizlenerek buharla reaksiyona sokuluyor, hidrojen ve karbondioksit ortaya çıkıyor. Soğutulduktan sonra karbondioksit ayrıştırılıyor; hidrojenle elektrik üretiminde ya da taşıtlarda yakıt olarak kullanılıyor. Hidrojen ve karbondioksit ayrıştırmasında yararlanılması düşünülen “depo”lar da çok çeşitli: Okyanuslar, ağaçlar, toprak, tükenmiş doğalgaz ya da petrol alanları, kömür damarları ve katı mineral karbonatlar. Hoffert ve arkadaşlarına göre bu yaklaşımın en olumlu yönü, var olan bazı fosil yakıt altyapı tesisleriyle de uyumlu olması; örneğin, petrol ve doğalgaz alanlarında daha iyi verim almak için karbondioksit enjekte edilmesi.

Taşıtların kullandığı fosil yakıtlardan çıkan karbondioksit gibi, denetimi güç karbondioksit kaynakları için düşünülen bir çözüme, ormanların sifon görevi görerek karbondioksiti emme özelliğinden yararlanmak. Büyümek için bitkilerin karbondioksite gereksinimi olduğu için, ormanların karbondioksit içeren fosil yakıt salımlarına karşı tampon olarak kullanılabileceği düşünülüyor. Kyoto Protokolü'nde de, karbondioksit salımlarını azaltabilmek için

en çok ağırlık verilen çözüm ağaçlandırmaydı. Örneğin, geçtiğimiz Ekim ayında İtalya, ağaçlandırma yoluyla karbon salımlarını 2012 yılına kadar % 10-40 arasında azaltmayı planladığını açıklamıştı. Ancak, araştırmalar evdeki he-sabın çarşıya uymadığını gösteriyor. Geçtiğimiz aylarda yayımlanan karbon-dioksitin yanı sıra, sıcaklık, yağış miktarı, nitrojen birikimi gibi etkenleri de ele alan bir araştırma, artan karbondioksit miktarlarının bitkilerin büyümesine yardımcı olmak bir yana, büyümeyi bastırdığını gösterdi.

Avrupa'da, karbondioksit salımları konusundaki çalışmaları eşgüdümleyen CarboEurope'un araştırma sonuçları da, ağaçlandırılan alanların ilk on yılda, emdiklerinden daha fazla miktarda karbonu açığa çıkaracaklarını gösteriyor. Orman toprağı ve topraktaki organik maddeler, ağaçlardakinden 3-4 kat daha fazla karbon içeriyor. Yeni oluşturulan ormanlarda, toprakta bozunan maddelerden açığa çıkan karbon, büyüyen ağaçların emdiği karbondan daha fazla. Sıcaklıkların artışıyla orman topraklarındaki buharlaşmanın artmasına bağlı olarak, ormanların karbondioksit için sifon görevi görmekten çıkıp, karbon kaynağına dönüşeceğini gösteren iklim modelleri de var.

Fosil yakıtlardan çıkan karbondioksitten kurtulmak için önerilen yöntemlerden bir başkası da, karbonu okyanusa "gömmek". Enerji santrallerinin ba-



Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan biyokütleden elde edilen yakıt, dünyanın birçok bölgesinde evlerde ya da taşıtlarda kullanılıyor. Biyokütleden elde edilen biyogazla çalışan elektrik santralleri yapmak da mümkün.

calarından toplanan karbondioksit, sıvılaştırılarak okyanusun derinlerine pompalanacak. Suyla karıştığında bir asit oluşturacak, uzun dönemde asitli su, kireçtaşına benzer karbonatlı mineral oluşumuyla nötralize olacak. Hoffert ve arkadaşları, suyun asitinin ve pompalanan karbondioksitin atmosfere geri sızmasını engellemek için karbonatlı mineral oluşumunun hızlandırılabilceğini de düşünüyorlar. Ancak, bu yöntemin uygulanabilirliği bir yana, okyanusun derinliklerindeki yaşama olumsuz etkilerini de unutmamak gerekiyor.

Karbon ayrıştırma yöntemlerinin bazıları umut verici olsa da, bu yüzyılın ortalarına kadar 10-30 terawatt enerji gereksinimini karşılayabilecek, karbon yaymayan alternatif enerji kaynakları bulunamazsa, atmosferdeki karbondioksit oranını dengeye getirebilmek için, karbon ayrıştırmanın çok geniş ölçekli olarak yapılması gerekiyor. Bu teknolojilerin zamanında hazır olup olmayacağıysa şimdilik açık değil.

Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynakları, biyokütle, fotovoltaik, rüzgâr, su, jeotermal enerji ve gel-git gibi çok çeşitli. Bugün, bunlardan hidroelektrik ve yakacak odun dışında kalanların küresel enerji üretimindeki toplam payı, % 1'den de az. Hoffert ve arkadaşlarına göre, bugünkü teknolojilerle, biyokütle, fotovoltaik hücre ve rüzgâr gücünün, küresel enerji gereksinimini karşılama konusundaki başarı şansları sınırlı. Hepside, geniş alanlar söz konusu olduğunda güç sağlamada yetersiz kalıyor.

Fotosentez yapan her canlı, bir enerji kaynağı ve aynı zamanda da bir biyokütle. Biyokütleyi enerji kaynağı yapan, yapısındaki enerji eşdeğeri yüksek mad-

deler. Biyokütleden enerji, bu maddeleri yakarak, doğrudan da elde edilebiliyor. Ancak, temiz enerji kaynağı olarak biyokütle dendiğinde anlatılmak istenen, çeşitli işlemlerle gaz ve alkol gibi maddelere dönüştürülerek enerji elde edilmesi. Biyokütlenin enerji santralleri ya da taşımacılık için karbonsuz yakıt üretiminde kullanıldığı yerler var. Ancak, biyokütle enerjisi kullanımını benimseyerek iklimi dengeleyebilmek için, yeryüzünün çok büyük bir bölümünün bu etkinliklere ayrılması gerekiyor. Hoffert ve arkadaşları, 10 trilyon watt enerji üretmek için, yeryüzündeki karaların % 10'dan fazlasının, biyokütle ekinleriyle kaplanması gerektiğini hesaplamışlar. Bu, yeryüzündeki tüm tarım alanlarının ikiye katlanması anlamına geliyor.

Güneş'ten ve rüzgâr gücünden enerji kaynağı olarak yararlanmak içinse çok daha az alana gereksinim duyuluyor. Ancak, bugünkü teknolojilerle enerji gereksinimini yalnızca bu kaynaklarla sağlamak da olanaksız gibi. Örneğin Hoffert ve arkadaşları, ABD'nin yıllık enerji gereksinimi için, 26.000 kilometrekarelik bir alanı kaplayan fotovoltaiik hücrelere gereksinim duyulacağını hesaplamışlar. Bu sistemlerin kendilerine göre başka güçlükleri de var; örneğin, sürekli ve sabit miktarda olmamaları, düzensiz enerji kaynakları olmaları gibi. Bunu çözmek için önerilen çözümlerden en umut verici olanıysa, üreteçlerin (soğutulması için kendisi de enerji gerektiren) süper iletken kablolardan oluşan, bilgisayar kontrollü küresel bir elektrik ağına bağlanması.

Güneş enerjisinin avantajları açık. Güneş'ten yeryüzüne bir dakikada gelen ışınım, tüm dünyanın bir yılda tükettiğinden daha fazla enerjiye sahip. Bu, sınırsız temiz enerji demek. Ancak, güneş panelleri, bilgisayar mikroçiplerinde kullanılanlara benzeyen silikon yarı iletken malzemeler kullanılarak yapıldığı için, maliyetleri yüksek. Bu nedenle kısa süre öncesine kadar kullanım alanları sınırlıydı. Son zamanlardaysa, üreticilerin çok ince silikon filmlerin kullanıldığı güneş panelleri geliştirmesiyle, güneş enerjisi ucuzlamaya ve yaygınlaşmaya başladı. Örneğin, ABD'nin California eyaleti gibi, enerjinin pahalı olduğu ve yönetimlerin güneş enerjisinin fosil yakıt kulla-



Yüksek kapasiteli ve eskisinden daha verimli çalışan dev türbinlerin geliştirilmesiyle, rüzgâr enerjisinin toplam enerji üretimindeki payı artıyor.

nımının yerini alması için istekli olduğu yerlerde, ekonomik açıdan da uygunluk kazanmaya başladı. Ancak, ince silikon filmlerle üretilen güneş panelleri de, küresel ölçekte kömür, doğalgaz ya da petrolle üretilen elektrik- le boy ölçüşecek kadar ucuz değil. Güneş enerjisi, bugün dünyanın enerji gereksiniminin yalnızca % 0,4'ünü kapsıyor. Tüketimi artırmak içinse, her şeyden önce güneş panellerinin daha ucuz malzemeler kullanılarak üretilmesi gerekiyor. Bu nedenle birçok araştırmacı, organik güneş panelleri ya da elektriği ileten plastik malzemeler üzerinde çalışıyor. Yine de, yenilenebilir kaynakların iletimi ve depolanması konularında da geliştirilmesi gereken birçok altyapı çözümü var.

Rüzgâr enerjisi daha çok, yerleşim alanlarına uzak ya da denizasırlı bölgelerde üretiliyor. Rüzgâr enerjisine duyulan ilginin başlangıcı, 1970'lerdeki enerji krizine dayanıyor. Bugün rüzgâr enerjisi, en hızlı büyüyen enerji kaynaklarından biri. Dünyanın rüzgâr gücüyle elektrik üretme kapasitesi, her yıl % 25 oranında artıyor. Son yıllarda, rüzgâr türbinlerinin verimliliğinin artırılması konusunda çok yol alındı. Bugün rüzgâr türbinlerinin verimliliği, ekonomik açıdan fosil yakıtlarla yarışabilecek düzeye gelmiş olsa da, kesintili bir enerji kaynağı olduğu için, depolanması ve aktarımında sorunlar yaşanıyor. Güneş panellerinin ve rüzgâr türbinlerinin sayısı artsa da, var olan şebekeler yük taşıyamaz duruma gelecek. Her şeyden önce, varolan elektrik dağıtım şebekeleri merkezi enerji santralleri için tasarlandığından, bunların yeni mühendislik çözümleriyle yeniden tasarlanması gerekiyor. Hoffert ve arkadaşlarına göre, gelişmiş elektrik şebekeleri de, yenilenebilir kaynaklardan enerji üretiminin gelişmesine yardım edecek. Dünya çapında yeniden yapılanmanın, elektriğin serbest ticaretine izin verilmesinin, alıcılarla satıcılar arasında dünya çapında pazar fiyatlarının ortaya çıkmasının da yararlı olacağını düşünüyorlar. Yenilenebilir enerji kaynaklarıyla, hidrojen sisteminin birleştirildiği yeni altyapı sistemlerinin oluşturulabileceğine dikkat çekiyorlar. Bu sistemde, doğalgazla çalışan yakıt hücrelerindeki hidrojen, güneş panellerinden ya da rüzgâr enerjisiyle suyun elektrolizinden sağlanan hidrojenle yer değiştirecek.



Son yıllarda güneş panelleri, silikon yarı iletken malzemeler yerine, çok ince silikon filmler kullanılarak üretilmeye başlandı. Güneş panellerini daha da ucuzlatmak için, elektrik ileten plastik malzemeler üzerinde çalışmalar sürüyor.

Uzayda Güneş Enerjisi

Dünyanın artan temiz enerji gereksinimini karşılamak için önerilen çözümler, yeryüzüyle sınırlı olmak zorunda değil. Dünyanın kendi çevresindeki hareketi ve atmosferin bulutlu olması nedeniyle, Güneş'ten yeryüzüne gelen ışınım, uzaydakinden 8-10 kat daha az. Uyduların üzerine yerleştirilecek güneş panelleri, yeryüzündekilere göre çok daha fazla elektrik üretebilecek. Bu güç de, mikrodalgalar ya da lazer ışınlarıyla, elektrik şebekesi olmayan yerler de dahil yeryüzünün herhangi bir noktasına iletililebilir. 1970'li yıllarda, NASA ve ABD Enerji Bakanlığı, ekvatorun 35.800 kilometre yukarısında ve yerle uyumlu yörüngede güneş ışınlarını toplayacak bir güneş paneli ünitesi tasarlamış. Uzayda toplanan ışınlamaları yeryüzüne göndererek güneş enerjisi üretmeye yarayan bu sistemi oluşturan güneş panellerinin yüzölçümü, Manhattan kadar! Hoffert ve ekibinin hesaplarına göre, bu tasarım kullanılarak 10 terawatt enerji üretebilmek için, bu ünitelerden 660 tane kullanılması gerekiyor. Uzayda, güneş enerjisi toplamak için düşünülen başka yapılar ve daha küçük uydular da var. Yeryüzünden 200-10.000 kilometre yukarıya yerleştirilecek uydu takımları ya da Ay'a yerleştirilecek güneş panelleri de önerilen çözümlerden bazıları. Bunlar arasında, en umut verici olanlardan biri, Japonya Uzay ve Havacılık Bilimleri Enstitüsü'nün bir çalışması. Japon araştırmacılar, ekvator üzerinde alçak yörüngeye yerleştirilecek bir uydu yardımıyla, ekvatora birkaç derece uzaklıkta bulunan ülkelere güneş enerjisi sağlanabileceğini gösterdiler. Papua Yeni Gine, Endonezya, Ekvator, Kolombiya, Malezya, Brezilya, Tanzanya ve Maldiv Adaları bu

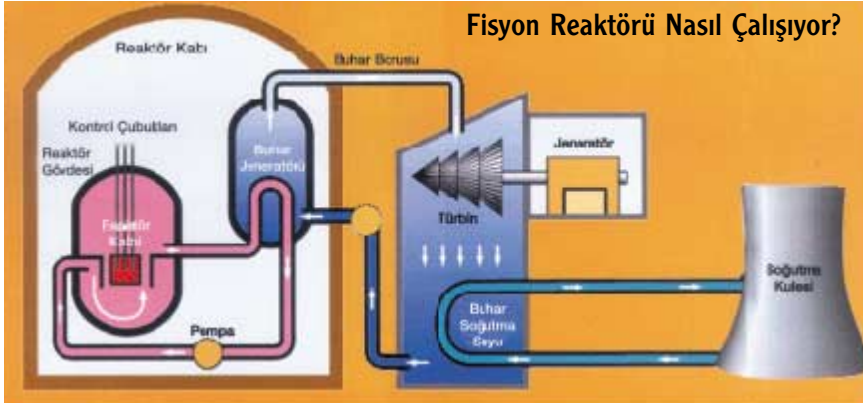
yöntemin sınanacağı deneye katılmayı kabul ettiler.

Ancak, uzayda kurulacak güneş enerjisi ünitelerini yaşama geçirmek konusunda çok önemli bir güçlük var; o da araçların uzaya gönderilme maliyetlerinin çok yüksek olması. Yine de, aynı araştırmacılara göre, yatırım sağlandığı sürece, uzaydan güneş enerjisi projeleri, önümüzdeki 15-20 yıl içinde gerçeklik kazanabilir ve yüzyılın ikinci yarısında küresel pazar için elektrik enerjisi sağlayabilir.

Fisyon ve Füzyon

Kimi ülkeler elektrik enerjisi için nükleer enerjiye daha fazla bağımlı olsalar da, dünyanın toplam enerji gereksiniminin yaklaşık % 17'si nükleer enerjiden sağlanıyor. Bugün kullanılan nükleer reaktörler, fisyon, yani, atom çekirdeğinin parçalanması yoluyla enerji üretiyor. Yakıtıysa uranyum. Bu teknoloji, karbondioksit salımına neden olmadan elektrik enerji üretiyor; yani bu anlamda temiz bir enerji kaynağı. Ancak, nükleer atıkların depolanması ve silahlanma yarışında kullanılma riski gibi olumsuz yönleri var. İklimin dengelenmesi için nükleer fisyon yönteminin kullanılmasındaki en önemli sorunsu, yakıtın kısıtlı olması. Bugün yeryüzündeki bilinen uranyum rezervlerinin, 6-30 yıl boyunca 10 terawatt enerji üretmeye yeteceği hesaplanıyor. Hoffert ve arkadaşlarına göre, reaktörlerin ömrünün 30-40 yıl olduğu da düşünülürse, nükleer enerji de, iklimi dengelemek için gereken enerji politikalarına temel oluşturamaz.

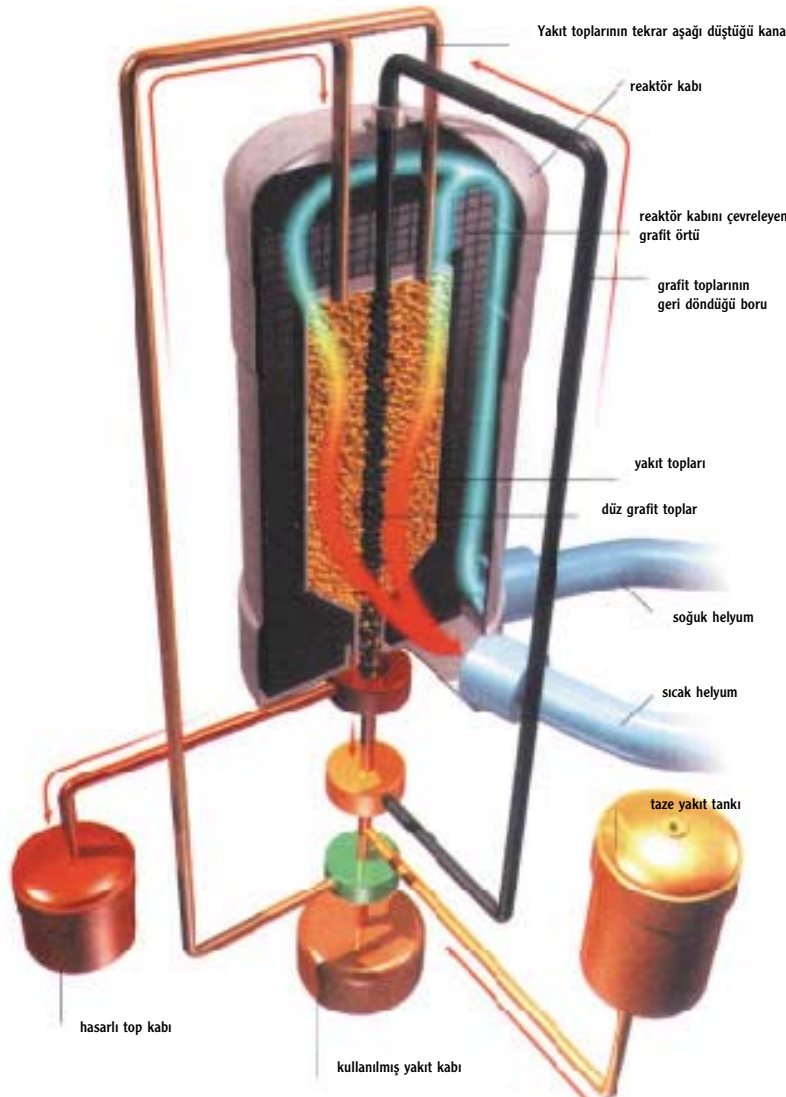
Araştırmacılara göre, çok büyük zorluklarına karşın, uzun dönemli olarak düşünüldüğünde en umut verici nükleer güç kaynağı, füzyon. Çünkü,



nükleer füzyon için gerekli yakıt (ağır hidrojen izotopları olan döteryum ve trityum) deniz suyu bol miktarda bulunuyor. Daha da önemlisi, ağır atomların parçalanması yönteminin (fisyon) tersine, hafif atomların birleştirilmesi (füzyon) hemen hemen hiç radyoaktif atık üretmiyor. Füzyon, aslında yıldızların merkezinde gerçekleşen sü-

reç. Ancak, yıldız merkezlerindeki çok büyük kütleçekim baskısı ve yoğunluk nedeniyle hidrojen çekirdeklerini birleştirerek helyuma dönüştürmek için 15 milyon °C sıcaklık yeterli olurken, aynı şeyi yeryüzünde gerçekleştirmek için gerekli sıcaklık, 100-150 milyon °C. Bu sıcaklık, halen var olan “deney” reaktörlerinde milisaniye gibi kısa sü-

reler için elde edilebiliyor. Oysa, “temiz ve sınırsız enerji” düşüni gerçekleştirebilmek için, füzyon reaksiyonunun “üretim reaktörleri”nde “sürekli” olarak gerçekleştirilebilmesi gerekiyor. Ancak, çekirdek tepkimelerinin düzenli olarak gerçekleşecek biçimde denetim altına alınması çalışmaları, henüz sonuca ulaşmış değil. Avrupa ve ABD’de “Tokamak” adı verilen füzyon reaktörleriyle yapılan deneylerde önemli ilerlemeler kaydedildi. Ancak, füzyonun mühendislik açısından uygulanabilirliğini sınamak amacıyla kurulmuş olan Uluslararası Termonükleer Deneysel Reaktörü’nün (ITER) yapımı için gereken parasal destek sağlanamayınca, araştırmacıların bu konudaki hevesleri de söndü. Şimdi füzyon araştırmacılarını, daha küçük ölçekli olarak yeniden tasarlanmış bir ITER deneyine katılım sağlamaya çalışıyorlar.



Klasik hafif su (fisyon) nükleer enerji reaktörlerinin yerini almaya aday yeni kuşak reaktörlerden biri, “top yatağı” reaktör olarak adlandırılan bir tasarım. Klasik reaktörlerde, uranyumoksit yakıt çubukları, hem nötronları yavaşlatan, hem de reaktör kalbini soğutan su içinde tutuluyor. Top yatağı reaktöründe, uranyumoksit topakçıkları, bilardo topu büyüklüğünde grafitten bir kılıf içine yerleştiriliyor. Bu toplar, grafitle çevrelenmiş, helyumla soğutulan reaktör kalbine dolduruluyor.

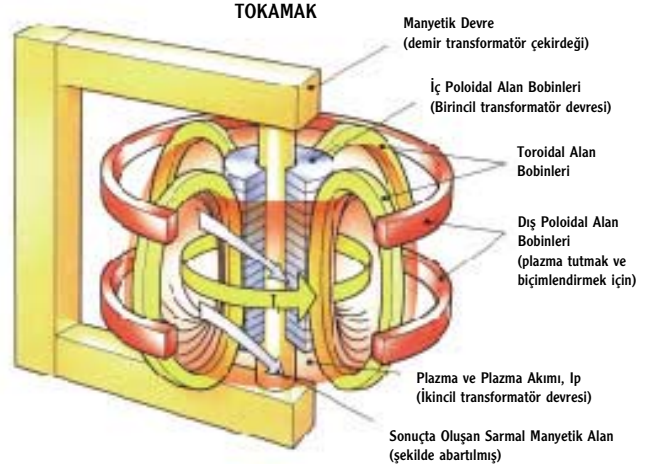
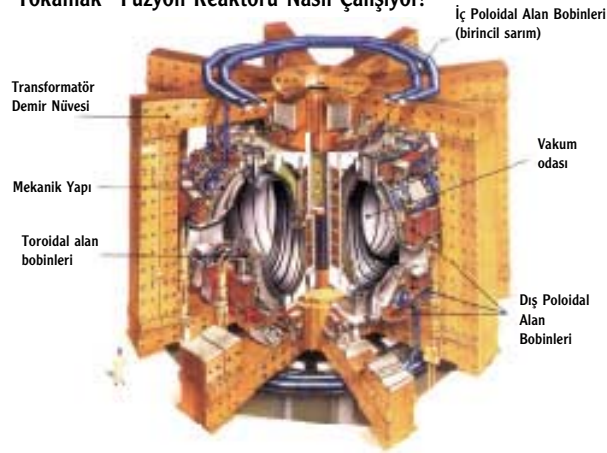
Otomatik sakız makinelerinde olduğu gibi, ortadaki bir kanaldan aşağı düşen yakıt topları, bir boru aracılığıyla tekrar çevrime alınıyor. Bir yakıt topu, bu şekilde üç yıl içinde 10 tur yapabiliyor. Toplardan çıkan nötronların ısıttığı helyum gazı, bir türbin aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürülüyor.

Tasarımın klasik hafif su reaktörlerine üstünlüğü, kullanılmış yakıtın grafit toplar içinde uzun süre güvenli bir biçimde depolanabilmesi ve yeraltı suyunun aşındırıcı etkilerine karşı, klasik santrallerden çıkartılan yakıtın depolandığı çelik kılıflara göre çok daha dirençli olmasından kaynaklanıyor. Yine de, bu reaktörlerin, atık yakıt sorununu tümüyle çözüme kavuşturduğu söylenemez.



Klasik Fisyon Reaktörlerine Alternatif “Top Yatağı” Reaktör Tasarımı

“Tokamak” Füzyon Reaktörü Nasıl Çalışıyor?



Tokamak manyetik alanı üç parçadan oluşur. Bunlardan ilki küçük çevre etrafında bulunan bir dizi bobin tarafından oluşturulur. Bu bobinler makinenin büyük eksen çevresindeki toroidal manyetik alanı oluşturur. İkinci parça (poloidal alan) transformatörce plazma içinden geçmesi sağlanan büyük bir akım tarafından oluşturulur. Bunların bileşkesi, plazmayı vakum halkasının çeperlerinden uzak tutan bir sarmal manyetik alan oluşturur. Alanın son bölümü, plazmayı biçimlendirip kararlı halde tutan bir dizi çember bobin tarafından üretilir.

ABD Enerji Bakanlığı da, kendi kendine yetebilen bir füzyon reaktörünün net elektrik gücünün gösterilmesi amacıyla bir deney düzenlemeye hazırlanıyor. Füzyon enerjisinin uygulanabilirliğini ortaya çıkarılması önemli; ancak, füzyon enerjisinden yararlanmaya ne kadar yakınız sorusunun net bir yanıtı yok. Hoffert ve arkadaşlarına göre, uzun yıllardır yapılan araştırmalara karşın, füzyon reaktörlerinin başarılı olma şansı, şimdilik uzak görülüyor. Nükleer enerji konusundaki bir başka alternatifse, “almaşık” yani melez reaktörler. Ancak, atık yönetimi ve silahlanmada kullanılma riski nedeniyle gelişmiş ülkeler melez reaktör programlarını sona erdirdikleri görülüyor.

Gezegen Mühendisliği

Küresel iklimi kontrol altına alma-ya yararlanılabileceği düşünülen bir başka yaklaşımsa, “iklim mühendisliği” olarak da adlandırılan “gezegen mühendisliği”. Bu, bir gezegenin iklimini etkilemek için, gezegenin ısıtım dengesinin değiştirilmesine verilen ad. ısıtım dengesini değiştirerek, fosil yakıt kullanımı sonucu açığa çıkan karbondioksitin ve öteki sera gazlarının etkisini telafi edecek çeşitli yöntemler öneriliyor. Bunlardan biri, sera etkisine karşı atmosferin üst katmanına yansıtıcı özellikte sülfat aerosol tabakaları yerleştirilerek atmosferin optik özelliklerini değiştirmek. Dünya’yı uzaya gönderilecek cisimlerle gölgelemek gibi öneriler de var. Bunlardan en bilineni, Dünya’dan 1,5 milyon kilometre

uzaklıktaki yörüngeye, 2000 kilometre çapında bir mercek yerleştirilmesi öneriliyor. Bu mercek yeryüzünden dev bir güneş lekesi gibi görünecek. Bu merceğin sağladığı kırılma, yeryüzüne gelen Güneş ışınlarının % 2’sinin yönünü değiştirecek. Bu da, karbondioksit misyonlarının sürmesi durumunda ortaya çıkacak ısınma etkisini ortadan kaldırmaya yetecek. Ancak, Hoffert ve arkadaşları, bu tür büyük ölçekli jeofiziksel müdahalelerin “doğuştan” büyük riskler taşıdığını ve bunlara dikkatle yaklaşılması gerektiğini belirtiyorlar.

Sonuç

Artan karbondioksit salımlarına bağlı olarak küresel ısınmanın gerçekleşeceği ya da daha şimdiden gerçekleşmeye başladığını gösteren araştırmaların sayısı artıyor. Ancak, uygarlığın enerji gereksinimini karşılamak için kömür, petrol ve doğalgaza bağımlılığı, bu duruma uygun bir tepki verilmesini güçleştiriyor. Küresel ekonomi büyüdükçe, artan toplam enerji talebine göre karbondioksit salımına neden olan enerji teknolojilerinin kullanımında daha büyük indirimler yapılması gerekecek. Bu durumda, gereksinim duyulanla, büyük fedakârlıklara girmeden yapılabilecekler arasındaki farklılıkların acil olarak ele alınması gerekiyor. Fosil yakıtların yerine kullanılacak “temiz” enerji alternatifleri sağlamanın bilimsel ve teknolojik açıdan birçok güçlüğü var. Fosil yakıtların enerji yoğunluğuna eşdeğer başka enerji kaynaklarının

kullanımını yaşama geçirebilmek için, kimyasal tepkimeler hakkında bugünkünden çok daha fazla bilgi birikimi ve bu süreç üzerinde daha güçlü denetim gerekiyor. Elektrik üretimi, çevrimi, iletimi ve kullanımının verimini artırmak elimizde. Ancak, bu alanlarda kullanılacak malzemeler konusunda da kapsamlı araştırma ve geliştirme çalışmalarına gereksinim duyuluyor. Bu iki noktanın yanı sıra, önümüzdeki yıllarda, fosil yakıt kaynaklarını daha iyi yönetebilmek için yapılması gerekenler de var.

Enerji kaynakları konusundaki bilimsel ve teknolojik sorunlar elbette ki yalnızca araştırma disiplinlerini ve araştırmacıları ilgilendirmiyor. Ülkelere bilim politikaları, enerji ve ekonomi politikaları da bu bütünün ayrılmaz parçaları. Ülkelerin enerji kaynakları konusundaki uygulamaları arasında çok büyük farklılıklar var. Ancak, küresel ısınmayı yavaşlatmak ve benimse- nen yöntemlerin ekonomik uygulanabilirliğini sağlamak için, pek çok alanda uluslararası işbirliğine gereksinim var.

Aslı Zülâl

Kaynaklar

- <http://www.eren.doe.gov/>
- <http://www.nrel.gov/>
- Kump, L. R. “Reducing uncertainty about carbon dioxide as a climate driver”. Nature, 12 Eylül 2002
- Mann, C. C. “Getting over oil”. Technology Review, Ocak/Şubat 2002
- Freedman, D. H. “Fuel cell v. The grid”. Technology Review, Ocak/Şubat 2002
- Fairley, Peter. “Solar on the cheap”. Technology Review, Ocak/Şubat 2002
- Dresselhaus, M. S. & Thomas, I. L. “Alternative energy technologies” Nature, 15 Kasım 2001
- Hoffert, M. I. ve ark. “Advanced technology paths to global climate stability: Energy for a greenhouse planet”. Science, 1 Kasım 2002
- Hoffert, M. I. ve ark. “Energy implications of future stabilization of atmospheric CO₂ content” Nature, 29 Ekim, 1998