



Mehmet Doğan¹
Enerji Danışmanı
GazDay Danışmanlık

İKLİM KRİZİNDE ENERJİ BİLMECESİ

Enerjinin kirleticiliğine çare ararken ne yapılabilir, ne yapılamaz?

GİRİŞ

İnsan eliyle hızlandırılan iklim değişikliğinin giderek artan olumsuz etkileri, hayatımızı iyiden iyiye zorlaştırmaya başladı. Atmosfere salınan ve iklim değişikliğine yol açan sera gazlarının ölçülmesi, azaltılması ve sıfırlanması, dünyanın, özellikle de Avrupa'nın gündeminde nihayet ilk sıraya yerleşti.

İklim değişikliğiyle mücadelede sorunun büyük kısmı enerji sektöründen kaynaklandığından, çözümün büyük bir parçasını da enerji alanında aramak gerektiği aşikâr. Nitekim enerji, alışageldiğimiz hayatın ve kurduğumuz ekonomik sistemin merkezinde yer alıyor. Ancak bu, aynı zamanda radikal çözümlerin uygulanmasını zorlaştırıyor.

Geldiğimiz noktada, çözümü büyük oranda yenilenebilir enerjide ve yeni teknolojilerde görsek de, her seçeneğin ya kendine özgü bir eksiği, ya da fiiliyata geçebilmesi için gereken bir süre var. Geçtiğimiz yıl boyunca California'da, bugünlerde ise Avrupa'da baş gösteren enerji krizleri, bazı yakıt ve teknolojileri alelacele terk edip münhasıran belli seçeneklere bel bağlama girişimlerinin nasıl ters tepebildiğinin göstergesi oldu. Dolayısıyla stratejik bir yol haritası çizmemiz, mühendis gibi düşünmemiz, karşımızdaki optimizasyon problemini doğru saptayıp çok ama çok bilinmeyenli bir denklemi yavaş yavaş çözmemiz lazım. Dönüşüm, bugünden yarına olamıyor.

Bu yazıda sırasıyla, Türkiye'de iklim değişikliğiyle mücadele konusunda devlet ve özel sektör tarafından ivedilikle atılması gereken başlangıç adımlarını, mevcut enerji bileşimi içinde tercihlerimizi değiştirerek kat edebileceğimiz yolu, geliştirilmekte olan ve ümit vaat eden yenilikçi enerji teknolojilerini ele alacağız. Toptan ve hızlı değişimlerin

¹ <https://www.gazday.com/Home/WhoWeAre>

Bu çalışmada ifade edilen bulgular, yorumlar, sonuçlar, öneriler ve görüşler tamamen yazarına aittir. TEPAV'ın resmi görüşü değildir. © TEPAV, aksi belirtilmedikçe her hakkı saklıdır.

mümkün olmadığı bir ortamda, etkili ve kalıcı bir çözümlü nasıl hayata geçirebileceğimizi anlamaya ve anlatmaya çalışacağız.

İklim Krizi, Paris Anlaşması, Yeşil Mutabakat: Türkiye Nerede Duruyor?

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC), 1992 yılında Brezilya'nın Rio de Janeiro kentinde düzenlenen Çevre ve Kalkınma Konferansı'nda imzaya açıldı. İmzacı ülkelerin onayıyla 21 Mart 1994 tarihinde yürürlüğe girdi. İklim değişikliğine ilişkin olarak hükümetlerarası düzeyde ilk mutabakat olmanın yanı sıra insan kaynaklı çevresel kirliliğin iklim üzerindeki tehlikeli etkilerini kabul eden, atmosferdeki sera gazı oranlarını asgariye indirmeyi ve o düzeyde tutmayı amaçlayan ilk sözleşme olması nedeniyle önem taşıyor.

1994 yılından bu yana düzenlenen ve Taraflar Konferansı (Conference of the Parties-COP) adı verilen zirvelerde, imzacı 197 ülke bir araya gelerek, iklim değişikliğini ve bununla mücadelenin yöntemlerini tartışıyor. En son Taraflar Konferansı, COP-25 adıyla 2-13 Aralık 2019 tarihlerinde Madrid'de gerçekleştirildi. 2020 yılında küresel salgın nedeniyle yapılamayan zirvenin yirmi altıncısı bu yıl Kasım ayında Glasgow'da gerçekleştirilecek.

Glasgow'daki zirve, Aralık 2015'te Paris Anlaşması'nın imzalandığı COP21'de karara bağlandığı üzere, beş yılda bir yolun neresinde olduğumuzu görmek için yapılacak değerlendirme bakımından çok önemli. Paris Anlaşması, 5 Ekim 2016'da küresel sera gazı emisyonlarının %55'ini oluşturan en az 55 tarafın anlaşmayı onaylaması koşulunun karşılanmasının ardından, 4 Kasım 2016'da yürürlüğe girdi. Daha önceki iyi niyet anlaşmalarından farklı olarak hukuki bağlayıcılık içermesi açısından önemli bir kilometre taşı özelliği taşıyor.

Türkiye, Paris Anlaşmasını, 22 Nisan 2016 tarihinde New York'ta düzenlenen imza töreninde 175 ülke temsilcisiyle birlikte imzaladı. Cumhurbaşkanı Sn. Recep Tayyip Erdoğan, 21 Eylül 2021'de Birleşmiş Milletler Genel Kurulu'nda yaptığı konuşmada, Anlaşmanın yakın zamanda TBMM'de onaya sunulacağını ifade etti. Nihayet 6 Ekim 2021 akşamı, Anlaşma Türkiye Büyük Millet Meclisi'nde oybirliğiyle onaylandı. Bu sevindirici bir gelişme, nitekim Türkiye'nin finansman desteğine erişim konusundaki kendince haklı itirazına karşın, Irak, İran, Yemen, Libya ve Eritre ile birlikte Anlaşmaya taraf olmayan altı ülkeden biri ve tek G20 üyesi olarak göze batması kabul edilemezdi.

Türkiye Paris İklim Anlaşmasına taraf olma sürecinde oyalanırken, Avrupa Birliği, Temmuz 2021'de Anlaşma gereği sera gazlarının azaltılması konusunda taahhütlerini daha da iddialı hedefler koyarak açıkladı. AB, Yeşil Mutabakat paketi kapsamında 2030 yılına kadar karbon emisyonlarını %55 oranında azaltmayı, 2050 yılında "Net Sıfır Emisyon"a ulaşmayı hedefliyor. Bunun için AB'nin uzun dönemli bütçesinin %30'unun bu hedefe yönelik girişimlere ayrılması gerekiyor.

AB'nin karbon azaltma hedeflerini sistematik bir program halinde ortaya koyan Yeşil Mutabakat bünyesinde, karbon kaçacağına, yani üretimin AB'den daha gevşek karbon rejimlerine sahip yerlere kaçmasına ya da daha büyük karbon ayakiziyle üretilen ürünün AB'ye sorgusuz sualsiz girmesine karşı da önlem alınıyor. Bunun için, AB'ye ihraç edilen karbon ayakizi yüksek ürünlere karşı "Sınırdaki Karbon Düzenlemesi," yani bildiğimiz adıyla karbon vergisi getirildi.

En büyük ticaret partnerimiz olan AB'nin uygulayacağı karbon vergisinden etkileneceğimiz çok net. Kafamızı kuma gömerek, etrafımızda gelişen olayları görmezden, duymazdan gelerek bu durumdan çıkma şansımız maalesef yok. Peki, ne yapmamız lazım?

Öncelikle konuyu, devletin yapması gerekenler ve şirketlerin yapması gerekenler olarak ikiye ayırıp, devletin yapması gerekenleri ele alalım:

1. Ülke hedeflerimizi ve stratejilerimizi belirlemek.
2. Yıllara sâri ve sektörlerimize özgü karbon emisyonu azaltma değerlerini şeffaf bir biçimde kamuoyu ile paylaşmak.
3. Emisyon değerlerinin hızla azaltılmasına yarayacak bir çözüm olarak kömürden doğal gaza geçişi, ülkenin arz güvenliğini de dikkate alarak, sağlıklı bir şekilde gerçekleştirmek.
4. Emisyon ticaret sistemini devreye almak: Karbon ayakizi yüksek sektörlerden başlayarak, sektörlerimize verilen karbon ayakizi azaltma hedefleri doğrultusunda sektördeki oyuncuların birbirleri ile emisyon ticareti yapabilmelerinin önünü açmak.
5. Ulusal elektrik şebekesinin emisyonlarını saatlik bazda açıklamak.
6. Emisyonlar hesaplanırken, Elektrik Piyasası Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması (YEKDEM) teşviklerinden yararlanan santrallerin ürettiği temiz enerjiyi, ulusal elektrik şebekesi emisyon değerinin düşürülmesinde kullanmak ve böylece emisyondaki düşüşten, teşviklerin finansmanı için vergi ödeyen bütün tüketicilerin faydalanmasına imkân vermek.
7. Yenilenebilir Enerji Sertifikalarını yeniden düzenleyerek, kendi temiz enerjisini üreten ve/veya temiz enerji üretimi için bir üretici ile anlaşılan şirketlerin ürettiği elektrik şebekeye verilse dahi, bu elektriği emisyon hesabında dikkate almamak.
8. Karbon kaçağını önlemek için, aynı AB gibi sınırda karbon vergisi uygulamasına gitmek. Karbon hesaplamalarında ürüne ait bütün tedarik zincirini hesaba katmak.
9. Fosil yakıtların ithalatında, ilgili fosil yakıtın üretimi sebebiyle ortaya çıkan karbon ayak izini hesaplamalara ve karbon vergisine konu etmek. Özellikle doğal gaz ve elektrik iletimine ait her türlü emisyonun iletim şirketlerinin sorumluluğunda olduğunu mevzuat kapsamına almak. Tekel konumunda olan bu şirketleri bu konudaki plan ve taahhütlerini kamuoyuyla paylaşmaya mecbur kılmak.
10. Finansmanı karbon vergileri ile garanti altına alınacak finansal paketleri erişime açmak.

Liste daha da uzatılabilir ama şimdilik on maddede duralım.

Şirketlerin yapması gerekenler ise:

1. Türkiye Cumhuriyeti'nin koyacağı hedefler doğrultusunda emisyon strateji ve politikalarını hazırlamak.
2. Hazırladıkları politikalar ve yapılan planlar doğrultusunda karbon emisyonlarını azaltmak.

İklim Denkleminde Enerji Bilinmeyi

Kurduğumuz sistemin işleyişinin temel unsuru olan enerji, başlıca kirleticilerden biri olarak emisyonları azaltma hedefinde de hayati bir yer tutuyor. Karbonsuzlaşma girişimlerinde de karbon ayakizi olan fosil yakıtlar, kaçınılmaz olarak hedef tahtasına oturuyor. Peki, ufacık bir hacme çok yüksek miktarda enerji sığdıran fosil yakıtlar yerine karbon salımı olmayan "temiz" yakıtlara geçmek sanıldığı kadar kolay mı? Bu konuyu masaya yatırmadan önce, insan eliyle

iklim değişikliğine neden olan sera gazı emisyonlarının nerelerden kaynaklandığını inceleyelim.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK)'in 30 Mart 2021'de yayınladığı sera gazı verilerine göre Türkiye 2019 yılında 506 milyon ton CO₂ eşdeğeri sera gazı emisyonu gerçekleştirdi. Toplam emisyonların sera gazına ve kaynağına göre dağılımı ise şöyle:

CO2 (Karbondiyoksit)	399.3	78.91%
Elektrik	138.2	34.60%
Ulaşım	83.8	21.0%
Isı- Buhar ve Isınma	127.1	31.8%
Proses	49.1	12.30%
Tarım ve Atık	1.2	0.30%
CH4 (Metan)	60.3	11.92%
Tarım ve Hayvancılık	37.6	62.40%
Enerji	11.8	19.50%
Atık	10.9	18.10%
N2O (Azot oksit)	40.2	7.94%
Tarım	29.1	72.50%
Atık	6.3	15.70%
Enerji	3.5	8.80%
Endüstri	1.2	3.00%
F-GAZLAR	6.2	1.23%
TOPLAM	506.0	100%

Sera gazı emisyonlarının %80'e yakın kısmı karbondiyokstten oluşurken, en büyük emisyon kaynakları olarak elektrik üretimi, ısı, ulaşım ve proses göze çarpıyor. Çözümü tartışmaya açmadan önce, karbondiyoksit salımının %66'sını oluşturan elektrik üretimi ve ısı kaynaklı emisyonların nasıl ortaya çıktığını hatırlayalım.

2019 yılında 291 TWh olan toplam elektrik üretiminin %58'i, sera gazı emisyonuna neden olan fosil yakıtlardan gerçekleşti. Her ne kadar santral verimlerini de dikkate almak gerekse de, çok kaba bir hesapla üretilen rakamların sağlamlasını yaparsak şöyle bir tablo çıkıyor:

Yakıt Türü	Elektrik Üretimi	MWh başına emisyon	Toplam emisyon
Kömür	113 TWh	1,030 ton	116 milyon ton
Doğal Gaz	55 TWh	0,340 ton	19 milyon ton
Toplam			135 milyon ton

TÜİK'in açıkladığı değerlerin 138 milyon ton CO₂ olduğuna bakılırsa, demek ki kaba hesabımız çok yanlış değil. Elektrik üretiminde karbon emisyonlarını sıfırlamak için alternatif yakıtlar konusunu incelemeden önce bu tablonun bize verdiği mesajın altını bir çizelim: **2019 yılında elektrik üretiminde kömür yerine doğal gaz kullanılsaydı, yaklaşık 77,5 milyon ton CO₂ emisyonu, yani elektrik üretimindeki toplam emisyonun yarıdan fazlası önlenilecekti.**

Kömür ve doğal gaz santrallerinin emisyon salımları dışında da büyük farkları var. Ancak bu farkların tam olarak anlaşılabilmesi için, çok önemli bir gerçeği tekrar hatırlamamız gerekiyor:

Elektrik mevcut teknolojilerle pratik, ucuz ve kolay bir şekilde depolanamıyor. Elektriğin kolay ve ekonomik olarak depolanabilme teknolojileri bir gün hayata geçerse, bu yenilik şüphesiz insanlığın en büyük buluşlarından biri olacaktır. Elektrik enerjisi depolanamadığı için, elektrik talebinde oluşan değişikliklere ancak üretim yapan santrallerin anlık üretim artırma veya azaltma tepkileriyle cevap verilebiliyor. Talepte artış varsa, mutlaka bazı santrallerin elektrik üretimini anlık olarak artırması, talepte azalma varsa elektrik üretimini azaltması gerekir. Biz bu süreçlerin adına “yük alma” ve “yük atma” diyoruz.

Kömür santralleri önce kömürden buhar, sonra buhar türbinleri vasıtasıyla buhardan elektrik ürettiğinden, doğal gaz santralleri gibi hızlı yük alıp yük atamaz. Doğal gaz santralleri ise kullandığı doğal gaz miktarını çok kısa süre içerisinde artırıp azaltabildiği için, talepte yaşanan değişikliklere anında cevap verebilir. Özetle, kömürü ikame edebilecek elektrik santralleri yapmak, doğal gazı ikame edebilecek santraller yapmaktan daha kolay. Peki kömürden üretilen elektriği nereden ve nasıl üreteceğiz? Kömür yerine kullanabileceğimiz enerji kaynaklarına bir göz atalım:

Elektrik Üretim Yöntemi	Yorumlar
Nükleer Enerji	<p>Avantajları: Nükleer santraller, kömür gibi baz yükte elektrik üretir ve bu esnada CO₂ emisyonlarına neden olmaz. Yüksek kurulu güçlerde inşa edilebilir. Türkiye’de şu anda 4800 MW kurulu güce sahip Akkuyu Nükleer Santralini yapımı sürüyor. Ancak Türkiye’nin elektrik tüketiminin sürekli arttığı düşünülürse, bu santralin sisteme getireceği ilave kapasite, ancak elektrik talep artışını karşılayacak, kullanılan kömür miktarının azalmasını ve dolayısıyla kömür kaynaklı emisyonun düşmesini sağlamayacaktır.</p> <p>Dezavantajları: Nükleer santraller her ne kadar son derece yüksek güvenlik teknolojileriyle donatılmışsa da, geçmişte yaşanan kazaların doğurduğu büyük sorunlar, nükleer santrallere olan ilgiyi azalttı. Birçok ülke nükleer santrallerini kapatma kararı aldı.</p> <p>Yorum: Yenilenebilir kaynaklardan üretilen elektriğin depolanarak, yenilenebilir enerji kaynaklarının eksikliğinde depolanmış enerjinin kullanılmasının pratik ve kolay bir yolu bulunamazsa, kaza risklerine rağmen, nükleer enerji santralleri karbonsuz enerji için şimdilik en geçerli çözüm gibi görünüyor.</p> <p>Fransa, Polonya, Macaristan, Çekya, Romanya, Slovakya ve Slovenya Avrupa Birliği (AB) Komisyonuna gönderdikleri ortak mektupta AB'nin iklim ve enerji politikalarında nükleer enerjinin dışlanmaması çağrısı yaptığını not etmek de fayda var. AB'nin iklim hedeflerine ulaşılması ve sera gazı emisyonlarının azaltılmasında nükleer enerjinin önemli bir katkı sağlayacağına işaret edilen mektupta, AB'de nükleer enerji için adil koşullar sağlanması, nükleer enerjinin kabul ve hatta teşvik edilmesi istendi.</p> <p>Fakat Türkiye’de mevcut kömür santrallerinin yerine nükleer santral yapılması halinde Akkuyu büyüklüğünde en az dört yeni nükleer santral yapılması gerekiyor. Japonların nükleer santral yapımı için 40 milyar USD istedikleri düşünülürse, böyle bir değişim için 160 milyar USD, halkın rızasının alınması</p>

	ve doğru yer bulunması gerekiyor. Nükleer santrallerin yapımının çok uzun sürdüğünü de anımsatmak gerek.
Doğal Gaz	<p>Avantajları: Kömürden doğal gaza geçiş, karbon emisyonlarını sıfırlamanın değil ama ciddi oranda düşürmenin en hızlı yolu. İklim değişikliğiyle beraber su dengesinin artan değişkenliği ve kurak yıllarda oluşan arz sıkıntısı göz önüne alındığında, hidroelektrik santrallerin üretim düzensizliğini kapatabilmek ve kömür yerine kullanabilmek için, ilave 20.000 MW doğal gaz santral kapasitesine ihtiyaç var. Bu kapasite ile toplamda 45.000 MW civarında doğal gaz santrali kurulu gücüne ulaşılabilir.</p> <p>Dezavantajları: Yeterli miktarda yerli doğal gaz kaynaklarına sahip olmamız halinde, kömürden doğal gaza geçiş dışı bağımlılığımızı daha da artırır. Doğal gaza geçiş emisyon miktarını 77,5 milyon ton azaltacaksa da tamamen ortadan kaldırmayacak.</p> <p>Yorum: 20.000 MW santralin yapılması yaklaşık 10 milyar USD ilave yatırıma ihtiyaç var, ancak bankaların böyle bir finansmana girip girişmeyecekleri belirsiz. Doğal gaz türbinlerinin hidrojen yakabilmesi ile ilgili çok ciddi çalışmalar yürütülüyor. 2030 yılında bu türbinlerin %100 hidrojen yakabilmeleri bekleniyor. OEM'lerin bu konuda taahhütleri söz konusu.</p> <p>Karbon emisyonlarının çok hızlı azaltılması gerektiği, santral yatırımlarının daha düşük maliyetli olduğu ve hızlı sonuç verdiği göz önüne alındığında, doğal gaz bir geçiş yakıtı olarak değerlendirilebilir. Yeşil ve/veya mavi hidrojene aşağıda ayrıntılı olarak değineceğiz.</p>
Hidroelektrik Santralleri	<p>Avantajları: Barajlı HES'lerin doğal gaz santralleri gibi yük alma ve yük atma kabiliyetleri var. Su rejimine bağlı olarak çok verimli olabilen hidroelektrik santrallerinden 2019 yılı sonu itibari ile 88 TWh elektrik üretildi. Enerji Bakanlığının yayınladığı bilgilere göre Türkiye'deki HES'lerin toplam 160 TWh'lik elektrik üretim potansiyeli var. Bu da şu ana kadar oluşturulan kapasiteye benzer rakamda bir kapasitenin devreye alınmasını gerektiriyor.</p> <p>Dezavantajları: İlk yatırım anlamında düşük maliyetli HES projelerinin çoğu hayat geçirilmiş bulunuyor. Bundan sonra hayat geçirilecek HES projelerinin ilk yatırım maliyetlerinin daha yüksek olması ve her yıl değişen su rejimi, HES'lerin en büyük dezavantajını oluşturuyor. Bununla beraber HES'lerin, özellikle barajlı santrallerin yapımına hız kesmeden devam edilmeli.</p> <p>Yorum: Kömür santrallerinin 2019 yılında 113 TWh elektrik ürettikleri düşünülürse, ülkemizdeki su potansiyelinin tamamı kullanılsa bile kömür yerine HES'lerin ikame edilmesi mümkün görünmüyor. Üstelik HES'lerin elektrik üretimine ilişkin kapasite kullanım oranları su rejimine göre %16 ila %38 arasında değişiyor.</p>
Jeotermal Enerji	<p>Avantajları: Kömür santrallerine benzer şekilde baz yükte çalışır. 2020 yılı sonu itibari ile 1.600 MW kurulu güce ulaşıldı.</p> <p>Dezavantajı: Türkiye'de jeotermal enerjinin kurulu güç potansiyeli 2.000 MW olarak tahmin ediliyor, dolayısıyla kömürün yerine geçebilecek kapasitenin jeotermal enerjiden elde edilmesi mümkün görünmüyor.</p>

	<p>Yorum: Elektrik enerjisi olarak yeterli potansiyeli olmasa da toplamda 31.000 MW ısı potansiyeli olduğu düşünülüyor. Bu miktarda ısı potansiyeli yaklaşık 1 milyar m³ doğal gaz kullanılmasının önüne geçebilir. Soğutmada kullanıldığı takdirde klimalarda tüketilen elektrik enerjisinin ciddi anlamda düşmesini sağlayabilir.</p>									
Rüzgâr Enerjisi	<p>Avantajları: Santralin imalat aşamasında ve nakliyesinde oluşan karbon emisyonları dışarıda tutulursa, rüzgâr santrallerinin elektrik üretimi karbon emisyonuna neden olmaz. Bu anlamda %100 temiz enerji olarak nitelendirebiliriz. Ayrıca rüzgâr santrallerinin yakıt masrafı da yok.</p> <p>Dezavantajları: Elektrik üretimi süreklilik arz etmez. Rüzgâr esmediği zamanlarda oluşan arz açığını başka kaynakları devreye alarak bir şekilde kapatmak gerekir.</p> <p>Yorum: Türkiye’de rüzgâr enerjisi kurulu gücü 2020 yılı sonunda 8.704 MW’a ulaştı. Enerji Bakanlığının yayınladığı en son rüzgâr enerjisi potansiyeli verilerine göre, Türkiye’de 37.836 MW’ı karada, 10.014 MW’ı denizlerde olmak üzere toplam 47.850 MW rüzgâr potansiyeli var. 2019 yılında kurulu gücün kapasite kullanım oranları ise aşağıdaki gibi gerçekleşti:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Asgari</th> <th>Azami</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Saatlik</td> <td>%0,057</td> <td>%80,63</td> </tr> <tr> <td>Günlük</td> <td>%3</td> <td>%77</td> </tr> </tbody> </table> <p>2019 yılında rüzgar santrallerinin yıllık kapasite kullanım ortalaması ise %34 oldu. Ancak saatlik ve günlük kapasite kullanımındaki dalgalanmalara bakıldığında, yıllık ortalama üzerinden gitmek, bizi olası senaryolardan daha iyimser sonuçlara götürür. Hesaplarımızı yıllık ortalama üzerinden bile yapsak, ülkemizdeki kömür santrallerini ikame edecek rüzgâr santrallerinin kurulu gücünün yaklaşık 60.000 MW olması gerekiyor. Maalesef Enerji Bakanlığına göre Türkiye’de bu kurulu gücü sağlayabilecek rüzgâr potansiyeli mevcut değil. Biz rüzgâr potansiyelinin en az 100.000 MW olduğunu düşünüyoruz. Özellikle deniz üzeri rüzgâr santrallerinde 50.000 MW’a yakın kapasite var. Bir o kadar da karada potansiyelimiz var. Ancak bu potansiyel sürekli bu miktarı üretebileceğimiz anlamına gelmiyor. Saatlik ve günlük asgari rakamlar göz önünde bulundurulduğunda, rüzgarın yerine ne konacağına düşünülmesi gerekiyor.</p>		Asgari	Azami	Saatlik	%0,057	%80,63	Günlük	%3	%77
	Asgari	Azami								
Saatlik	%0,057	%80,63								
Günlük	%3	%77								
Güneş Enerjisi	<p>Avantajları: Enerji Bakanlığınca hazırlanan Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, yıllık toplam güneşlenme süresi 2737 saat (günlük ortalama 7,5 saat), yıllık toplam gelen güneş enerjisi 1527 kWh/m².yıl (günlük ortalama 4.2 kWh/m²) olarak hesaplanıyor. Dolayısıyla güneş enerjisi, özellikle öğle saatlerinde tüketim değerlerinin büyük bir kısmını karşılayabilir.</p> <p>Dezavantajları: Güneş enerjisinden günlük yararlanma süresi ortalama 7,5 saat olduğundan, diğer saatlerde güneş enerjisinin yerini alacak bir enerji bulunması gerekiyor. Ayrıca bu 7,5 saatlik üretim zamanında da elektrik üretimi çan eğrisi şeklinde gerçekleşiyor. Sabah-öğle saatleri arasında giderek artan bir üretim, öğle saatlerinde pik yaparak, yerini güneş battığı zaman tamamen yok olacak bir üretime bırakıyor. Yani stabil bir enerji üretimi söz konusu olamaz.</p>									

<p>Yorum: Güneş potansiyelimiz çok yüksek. Bu yüzden güneş enerjisi yatırımları hız kesmeden devam edecektir. Ancak güneş enerjisi şebekeye belirli bir büyüklüğe kadar entegre edilmeli. Aksi takdirde şebekeleri yönetmek imkânsız hale gelecektir. Ya da yapılan yatırımın tamamı kadar doğal gaz santrali yapmak gerekecektir. Bununla beraber, güneş enerjisinden şebekeye bağlı olmadan da elektrik üretilebileceği gibi, güneş enerjisinden üretilen elektrik hidrojen üretiminde de kullanılabilir.</p>
--

Mevcut Enerji Bileşimi İçinde Çözüm Arayışları

Mevcut enerji bileşiminde kullanımda olan yakıt seçenekleri arasında tercihlerimizi değiştirerek ve bir yakıttan diğerine kayarak karbon ayak izimizde hızlı ama kısmi kazanımlar sağlamak mümkün. Ancak ne yazık ki toptan, kökten veya mucize çözümler mümkün değil. Birçok insanın umduğu ya da varsaydığı gibi enerji denklemini %100 yenilenebilir enerjiye geçerek çözemiyoruz. Keşke çözebilseydik.

Türkiye’de kömür santrallerinin kurulu gücü olan 20.000 MW’ın tamamının yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılanması mümkün değil. Yenilenebilir kaynakların üretim düzeylerinde günlük hatta saatlik bazda büyük değişimler olabiliyor. 10.000 MW kapasiteli rüzgâr santralimiz bile olsa, bu santrallerin üretimleri tümüyle durma noktasına gelebiliyor. Güneş santrallerinde üretim, güneş battıktan sonra zaten tamamen duruyor.

Elektrik üretiminde CO₂ emisyonları kömür ve doğal gazdan kaynaklanıyor, burası net. Kömürün karbon emisyonu doğal gazın 2,5 katı olduğu için asıl vurgu kömüre yapılıyor. Ancak gerek maliyet gerekse yerel kaynakların varlığı açısından elektrik üretiminde kömürle doğal gaza fiilen biçtiğimiz roller çok farklı. Kömürü baz yükün karşılanması için kullanıyoruz. Nasıl bir insanın uyurken bile yaktığı kalori miktarına bazal metabolizma adı veriyorsak, sisteme ekstra bir yüklenme olmadığı durumda olağan işleyiş için ihtiyaç duyulan elektrik miktarına da baz yük diyoruz. Herkesin klimalarını açtığı sıcak yaz günlerinde olduğu gibi sisteme ekstra yüklenme durumlarına ise pik talep adı veriliyor.

Mevcut konfigürasyonda Türkiye’de baz yükü büyük oranda yerli ve ithal kömür santralleri karşılarken, hidroelektrik de dahil olmak üzere yenilenebilir enerjiden de destek alıyor. Doğal gaz santralleri ise hızla devreye alınıp devreden çıkarılabildiği için, daha çok yenilenebilir enerjinin devreye giremediği veya pik talebin ortaya çıktığı durumlarda açığı kapatma görevi görüyor.

Kömür baz yükte çalıştığı için, zor da olsa, yerine geçebilecek yakıt türleri bulunabilir. Ancak doğal gazın elektrik talebine çok çabuk yanıt verebilme özelliğinden dolayı, doğal gazlı santrallerin sistemdeki yerini sadece barajlı tip hidroelektrik santralleri alabilir. Ancak barajlı HES’lerin üreteceği elektrik miktarının su rejimi ile doğrudan bağlantılı olduğu düşünüldüğünde, kurak yıllarda doğal gaz santrallerinin şebekede üstlendiği rolün bugün itibari ile başka tür santrallerle ikame edilmesi mümkün değil.

Devreden çıkartılacak kömür santralleri yerini yenilenebilir enerji kaynaklarına bırakmalı, ancak bu santrallerin doğal gaz santralleriyle desteklenmesi gerektiği unutulmamalı. Bugün mevcut teknolojilerle yenilenebilir enerjinin değişken üretiminin üstesinden gelebilecek doğal gaz benzeri başka bir yakıtımız yok. Türkiye aynı hızla büyümeye devam ederse, emisyonların

azaltılması için, nükleer enerjinin kömürün yerine geçmesi gerek. Dolayısıyla Türkiye'nin önümüzdeki yıllardaki enerji bileşimini Türkiye'nin büyüme hızı belirleyecek.

Elektrik üretimine ek olarak bir de sanayide yüksek ısı gerektiren işlemlerde yoğun enerji kullanımına gerek duyuyoruz. Isı üretiminde, özellikle yüksek sıcaklıkta buhar kullanan tesislerde, tesislerin (ve konutların) ısınmasında da mevcut seçeneklerimiz kömür ve doğal gazdan ibaret. Bu fosil yakıtları ikame edebilecek yeni yakıtlar ve teknolojiler gelecekte gündeme gelebilir, ancak henüz gelişim aşamasındaki bu teknolojilerin yaygınlaşmasını beklerken ilk etapta yapılması gereken, kömür yerine doğal gazın kullanılmasıdır. Bu süreçte kojenerasyon ve trijenerasyon gibi çözümler, bir taşla birkaç kuş vurmamıza da olanak tanıyabiliyor. Ama özetle, elektrik üretiminde bir dereceye kadar, sanayinin ısı ihtiyacında ise çok daha büyük oranda olmak üzere, kömür yerine doğal gaz kullanımı, karbon emisyonunu hızla azaltmak için elimizdeki en uygulanabilir seçenek.

Yenilikçi Teknolojiler

Yukarıda ayrıntılı olarak açıkladığımız üzere, günümüzde enerji seçeneklerimiz fosil yakıt, yenilenebilir ve nükleerden ibaret. Her birinin kendine göre avantaj ve dezavantajları var, ancak iklim kriziyle mücadele çabalarımızı enerji ihtiyacımızla dengelemeye çalışırken bu seçeneklerin hiçbiri kendi başına bir çözüm sağlamıyor. Dolayısıyla enerji sektörü, yeni enerji çözümleri üzerine çalışıyor.

Hidrojen

Hidrojen, gerek sanayi gerek ulaşım için karbonsuz çağın mucize yakıtı olarak lanse ediliyor. Ancak maalesef fosil yakıtların yerine tamamen hidrojen kullanmak görüldüğü kadar kolay değil.

Kömürden üretilen gri hidrojeni daha kirleticisi olduğu için bir kenara bırakırsak, hidrojen üretimi için iki yöntem var. Mavi hidrojen, doğal gazın (metan - CH₄) içindeki karbonun ayrıştırılması ve böylece hidrojenin açığa çıkarılması yoluyla üretiliyor. Yeşil hidrojen ise, yenilenebilir enerji kullanılarak suyun (H₂O) elektroliz yoluyla hidrojen ve oksijene ayrıştırılması anlamına geliyor. Elbette bu seçenekler arasında en çevrecisi olanı yeşil hidrojen. Ancak hem maliyeti en yüksek olan da bu, hem de yeşil hidrojen üretiminin gerektirdiği elektrik üretimi için ciddi miktarda ilave yenilenebilir kapasitesini devreye almamız lazım. Örneğin İtalya'nın 2018 yılında tükettiği doğal gazın yerine tamamen hidrojen koyacağımızı hayal etsek, o miktarda hidrojenin üretilmesi için ihtiyaç duyulacak elektrik enerjisi, bütün İtalyan'ın bir yılda tükettiği elektrikten neredeyse %25 daha fazla olacaktır. Burada diğer bir sorun da kullanılacak su. Elektroliz için ihtiyaç duyulacak suyun deniz suyundan elde edilmesinden başka bir yol yok gibi görünüyor. Bu da ilave elektrik ihtiyacı anlamına geliyor. Mavi hidrojen daha ekonomik ve verimli bir çözüm oluşturuyor. Metanın içindeki hidrojen atomları yakalanırken, karbon da katı halde depolanıyor.

Hidrojenin tek başına kullanılması daha uzak ufuklu bir tasarı gibi görüldüğünden, doğal gaz şebekelerine belli oranlarda hidrojen karıştırılarak karbon konsantrasyonunun düşürülmesi kısa veya orta vadede daha uygulanabilir bir seçenek olarak inceleniyor. Ancak henüz somut sonuç verdiğini söylemek zor. Üstelik hidrojenin ısı değerinin doğal gazınkinin 1/3'ü olduğunu da unutmamak lazım. Dolayısı ile mevcut doğal gaz hatlarına %15 oranında hidrojen ilave etmek, karbon emisyonunun en fazla %5 oranında azalmasını sağlayacaktır. Üstelik hidrojenin yanması, kirlilik bakımından diğer bir sorun kaynağı olan NO_x emisyonlarını ortadan kaldırmayacaktır.

Dolayısıyla hidrojene yenilikçi enerji kaynakları arasında mutlaka yer verilmesi ve burada da mümkün olduğunca yenilenebilir kaynaklardan yeşil hidrojen üretimine yönelmesi gerekiyor. Mavi hidrojen de geçiş yakıtı olarak mutlaka düşünülmeli ve üretilip kullanılmalı. Ancak hidrojenin tek başına yakıt olarak kullanılması yerine, aşağıda anlatacağımız P2X teknolojileri yoluyla karbondioksit ile birleştirilerek sentetik metana dönüştürülmesi, mevcut iletim altyapılarının kullanımına da olanak tanıyacağından en uygulanabilir seçenek gibi görünüyor.

Havadan Karbon Yakalama

Havadaki karbondioksit konsantrasyonunun yakalanıp yeniden enerji üretimine dahil edilmesi üzerine kurulu olan, ancak işletilmesi için kendisi de yoğun enerji gerektiren bir teknolojidir. Üzerinde çok çalışılan bir teknoloji olmasına rağmen, henüz karbondioksitin havadan yakalanması için gerekli enerji umulan düzeylere düşürülemedi. Bugün itibariyle karbondioksiti Doğrudan Havadan Yakalama (Direct Air Capture-DAC) adı verilen teknolojiyle yakalamaya çalışırsak, hesaplamalara göre dünya çapında en az 30.000 DAC tesisine ihtiyaç olacak. Bu tesislerin her birinin maliyetinin yaklaşık 500 milyon USD olduğu düşünüldüğünde, havadan karbon yakalama teknolojisinin tam verimle uygulanabilmesi için toplamda 15 trilyon USD gibi bir maliyet ortaya çıkıyor.

Doğrudan Karbon Yakalama

Karbon ayak izinin küçültülmesi için üzerinde en çok durulan seçeneklerden biri de karbon yakalama. Burada, fosil yakıtların yanmasıyla elektrik üretilirken, atık gazlar tekrar yanma havasına verilerek yanma havasının içindeki karbondioksit oranı artırılıyor. Bu biçimde karbondioksit, havadan yakalanacak karbondioksite nazaran daha az elektrik tüketilerek yakalanabiliyor. Ancak yanma sürecine yeniden giren karbondioksit yanma havasının konsantrasyon dengesini bozacağı için yanma havasına oksijen eklenmesi gerekir. Elektrolizle üretilen hidrojenin yanında elde edilecek oksijen burada kullanılabilir.

P2X Teknolojileri

P2X, elektrik enerjisinin başka yakıtların elde edilmesi için kullanılması anlamına geliyor. Bunun en belirgin örneği, havadan veya doğrudan yakalanacak karbondioksitin Sabatier reaktörleri aracılığıyla yeşil hidrojenle birleştirilmesi ve böylece sentetik metan elde edilmesi; yani bir nevi yenilenebilir doğal gaz üretimi. Aslında bu teknolojinin birçok alanda kullanılması mümkün: ulaşımda kullandığımız yakıtlar da bu teknoloji vasıtasıyla temiz şekilde üretilir ve doğada sürdürülebilir bir karbondioksit döngüsü sağlanabilir. Ancak P2X'de yine ciddi bir yenilenebilir enerji altyapısı gerektireceği gibi, doğrudan karbon yakalama teknolojilerine de ihtiyaç var.

Yanmada Oksijen kullanma

Basitçe açıklamak gerekirse, bu teknoloji yanma sürecine hava yerine tanklardan saf oksijen enjekte edilmesi ve bu sayede yanma verimini artırarak emisyonun azaltılması ilkesine dayanıyor. Atık sıcak gazı olan tesisler, atık ısıyı doğal gaz ve oksijeni yakmak için ısı değiştiricileri ile kullanabiliyor, böylece emisyonlarını hava yakan normal doğal gaz fırınlarına göre %19'a varan oranlarda azaltabiliyor. Yeni teknolojilerin yaygınlaşmasından önce bu teknolojinin cam sanayiinde ve buhar kazanı olan tesislerde mutlaka hayata geçirilmesi gerektiğini düşünüyoruz.

Büyük Ölçekli Bataryalar

Yenilenebilir enerjiyle ilgili en büyük sorunlardan biri, arz ve talep dengesini oluşturabilmek. Yenilenebilirin talebi karşılayamadığı, yani arz açığı verdiği durumları yukarıda ele almıştık. Bir de resmin öte yüzü var: Yenilenebilirin talepten daha fazla elektrik üretebildiği, yani arz fazlası verdiği durumlar. Sorun şu ki, insanlık olarak anlık ihtiyacımızdan fazla olan elektriği depolamayı hâlâ başaramıyoruz. Büyük ölçekli bataryaların gelişimi bunun için kritik. Bu bataryaların maliyeti henüz umulan düzeye inmiş değil, ama ölçek ekonomisi ile birlikte gelecekte fiyatların MW başına 250.000 USD'ye düşeceğine inanılıyor. Bu tür bataryalar, yenilenebilir kaynakların sisteme daha büyük oranda entegre edilmesine ve sistemin yük alıp atmasına çok büyük katkıda bulunacaktır.

Biyogaz

Toprağın derinliklerinden çıkardığımız metana doğal gaz adını verirken, biyolojik atıklardan elde edilen metana biyogaz diyoruz. Biyogazın temizlenerek ve saflaştırılarak doğal gaz şebekesine bağlanması, doğal gaz ihtiyacını azaltacak bir çözüm. Yeni yeni yaygınlaşmaya başlayan biyogaz tesislerinin iletim şebekeleri yerine dağıtım şebekelerine bağlanmaları, basınçlandırma problemlerinin de önüne geçecektir. Ancak mevzuatın iletim şebekesini de kapsayacak şekilde hazırlanması yerinde olacaktır.

Güneş Panelleriyle Buhar

Yoğun ısı gerektiren sanayide yakıt seçeneklerinin halen kömür ve doğal gazla sınırlı olduğundan söz etmiştik. Güneş panelleriyle buhar üretimi, sanayideki ısı ihtiyacının elektrikle karşılanabilmesi arayışlarından ortaya çıkmış, değerlendirmeye değer bir seçenek olarak yükseliyor. Başlangıç maliyeti şu aşamada yüksek, ama yerli sanayinin de gelişmesiyle fiyatları ucuzlayacaktır. Özellikle gündüz saatlerinde sanayiye büyük miktarda buhar sağlayacak ve önümüzdeki yıllarda ısı kaynaklı karbon emisyonlarının azaltılmasında önemli rol oynayacaktır.

Füzyon Reaktörleri

Füzyon teknolojisi halen geliştirme aşamasında. Birçok ülke, fosil yakıtlara bağımlılıktan kurtulmak için füzyon araştırma projelerine ciddi miktarlarda yatırım yapıyor. Güneşin ve yıldızların enerji kaynağı olan füzyonun gerçekleşebilmesi için çok yüksek sıcaklıklara ihtiyaç var. Çok yüksek derken altını çizelim, 150 milyon dereceden bahsediyoruz. Hidrojen çekirdekleri bu sıcaklıklarda gaz fazından plazma fazına geçerek birbirleriyle çarpışmaya başlayıp daha ağır olan helyum atomlarına dönüşüyor. İşte bu esnada bu çok büyük miktarda enerji açığa çıkıyor.

Füzyon enerjisi ile ilgili çalışmalar 1985 yılında başladı. Fransa'da yapımı hâlâ devam eden ITER reaktöründe füzyon enerjisi ile 500 MW elektrik üretilmeye çalışılacak. ITER'de ilk plazmanın oluşması için belirlenen tarih 2025. Başlangıç bütçesi 7 milyar USD olarak belirlenen projenin, toplamda 30 milyar USD'a mal olması bekleniyor. ITER başarılı olursa, bundan sonraki aşamada bu maliyeti azaltmaya yönelik mühendislik çalışmaları başlayacak.

Füzyon nükleer bir reaksiyon olsa da, fisyon yani nükleer santrallerdeki reaksiyona göre çok daha güvenli. Füzyon aşırı basınç ve sıcaklık gerektirdiğinden, bir şeylerin ters gitmesi durumunda hemen ve tamamen durdurulabilen bir süreç. Fisyon sürecinde ise bir hata veya arıza yaşanacak olursa, radyoaktif haldeki uranyum parçalanmaya, etrafa radyasyon ve enerji saçmaya devam ediyor.

Daha çok yeşil alan

En eski yenilikçi teknoloji! Ağaçların doğal karbon deposu olduğu ve havadan karbon yakalayıp tuttuğu malum. Daha çok ağaç dikmek ve yeşil alanları çoğaltmak, havadaki karbondioksit miktarının azalmasına yarayacaktır. Dünyanın birçok yerinde ağaç sertifikalarının karbon ayakizi hesaplarında telafi çözümü olarak kullanılmaya başladığını anımsatalım. Türkiye’de de benzer bir girişim, doğru yönde bir adım olacaktır.

Sonuç

Yazımızda enerjiyi verimli kullanmanın öneminden bahsetmedik. Bu zaten insanlığın devamı için şart. Yenilikçi enerji teknolojilerinin gelişmesini kollarımızı kavuşturup bekleyemeyiz. Hemen hayata geçirmemiz gerekenler şunlar:

- Devlet ve özel sektör üzerlerine düşen adımları ivedilikle atmalı, karbonsuz ekonomi için kısa, orta ve uzun vadeli planlamalarını tamamlamalı.
- Kömür kullanımına hemen son verilmeli, kömürden doğal gazla geçilmeli.
- Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğe çok büyük, hatta planlanandan da fazla ihtiyaç olacak. Ne olursa olsun yatırımların sürmesine ihtiyaç var.
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının bir bölümü şebekeden bağımsız olarak geliştirilebilir, böylece maliyetler azaltılabilir. Üretilen dengersiz ve kararsız elektriğin fazlası hidrojen üretiminde kullanılabilir; üretilen hidrojenin entegre tesislerde havadan yakalanan CO2 ile birleştirilmesiyle elde edilen sentetik doğal gaz ulusal şebekeye aktarılabilir.
- Teknolojiler gelişirken, daha çok doğal gaz santraline ihtiyaç olacak. Bu santraller belki geçmişe göre çok daha az çalışacak, ama P2X teknolojileri ve bataryalar hayata geçene kadar yenilenebilir enerjiden üretilen elektriğin düzensizliğini ortadan kaldırmanın şu aşamada doğal gazdan başka yolu yok gibi görünüyor.
- Nükleer enerji de kömür santrallerinin yerine düşünülebilir ancak, yapımının çok zaman alması, yüksek maliyeti, atık problemleri ve kaza riskleri değerlendirilmesi gereken unsurlar.
- Küçük ve orta ölçekli sanayi tesisleri, elektrifikasyon, güneş panelleri ile buhar/ısı elde etmek, oksijen yakma teknolojileri ve biyogaz yöntemleri ile ihtiyaçlarına özgü melez çözümler geliştirmeli.
- İletim şirketleri büyük ölçekli bataryalar için ihale düzenlemeye başlamalı ve bu konuda yerli sektörün gelişmesine destek vermeli.

İklim krizine enerji çözümü konusunda, ne yazık ki yüzyıllar içinde yarattığımız sorunu birkaç yılda çözüme kavuşturamayacağız. Karbonsuzlaşma süreci tedrici olarak gerçekleşecek, belki geçiş sürecinde ara çözümlere ihtiyaç duyacak. Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) son yayınladığı 2050 Net Sıfır Raporu'nda, mevcut teknolojilerle karbon salınımını ancak belirli bir seviyeye düşürebileceğimiz, hedefe ulaşılabilmesi içinse 2030'dan sonra yeni teknolojilerin hayat geçirilmesinin gerektiği vurgulanıyor. Öte yandan, yine IEA, insanların enerji tüketim alışkanlıklarını değiştirmeleri, iklim değişikliğinin önemini daha iyi kavramaları ve daha az enerji tüketecek şekilde davranmaları durumunda karbon salınımının %4 oranında düşeceğini tahmin ediyor. Yapmamız gereken, iklim konusunu tüm plan ve davranışlarımızın odağında tutarak bu hedefe doğru adım adım yol almak. Ufak kazanımlar, birike birike büyük bir dönüşümü getirebilir. Şimdilik başka da çaresi yok gibi görünüyor.