

NÜKLEER ENERJİ SANTRALLERİ , YENİ LENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ GELECEĞİ ve ENERJİ KAYNAKÇI TL L

Ahmet Cangüzel Taner
Fizik Yüksek Mühendisi

Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (acant@taek.gov.tr)

Kainat; yaklaşık 13 milyar 700 milyon yıl önce büyük patlama sonucu zaman, mekan ve maddenin yaratılışı ile oluştu. Güneş ve güneş sistemimizin meydana gelmesi yada dünyanın oluşumu 4 milyar 500 milyon yıl evvel gerçekleşti. Yeryüzünde insanın yaşamının ideal ortamı sayesinde, bundan takribi 500000 yıl veya yarım milyon yıl önce insanın vücuda gelmesi ile birlikte, ilk zamanda insan ateş yakmayı öğrendi. Odunları ve kurumu yaprakları toplayıp yakarak ısınma ve beslenme gereksinimlerini giderdi. Avlanma, yırtıcı hayvanlardan korunma ve yemek piirme amaçları için ilkel aletleri üretti. Binlerce yıl önce Mısırlılar denizlerde yelkenli tekneleri kullanmayı ve daha sonraki yıllarda insanlar su deirmenlerini keşfetti. Tüm bu faaliyetlerde insanolu; enerjinin biyolojik, kimyasal, hidrolik, solar yani güneş ışığını yada güneş radyasyonu form ve yöntemlerini kullandı. Günümüzde de geçmişinden aldığı bilgi, deneyim ve ilham sayesinde mükemmel bir yaratık olan insan, bilimsel ve teknolojik olarak elde ettiği bilgiler ile de yetkilendirilmek sureti ile, çağımızın akıl almaz bulularını yapma ve buldukları keşifleri insanlıkta kazandırma ve de gelecek nesillere aktarma azmini hızlı biçimde sürdürmektedir (*).

Enerji; insanlığın temel ihtiyaçlarının karşılanmasında, insanın ortalama ömür (life expectancy) yada yaşam süresinin uzatılması ve hayat standartlarının yükseltilmesinde birincil derecede önemli gereksinim kabul edilmektedir. İlk zamanda enerji sadece ısınma ve beslenme amaçları için kullanılmıştır. İlk çiftçiler toprağın işlenmesinde gerekli olan enerjiyi evcil hayvanların gücünden elde ettikleri kaynaktan sağlamıştır. Daha sonraki yıllarda rüzgar ve su gücünden enerji temin etmeyi öğrenen insanolu, sanayi devrimi sürecinde kömürü kullanarak ürettikleri buhar sayesinde günümüzün teknolojik çağının temellerini atmıştır. Böylece, içten yanmalı motorlar (internal combustion engine) ve çok büyük boyutta elektrik

üretimleri geli tirilmi tir. Geli tirilen enerji üretim araçları ile, birincil enerji tüketimi yüzlerce kat arttı tır. Bugün sanayile mi ülkelerde yılda ki i ba ına tüketilen enerji 150 ila 350 Gigajoule arasında de i mektedir. Joule bir enerji birimi olup,

1 Megajoule (MJ) = 10^6 Joule ve

1 Gigajoule (GJ) = 10^9 Joule'dür.

Ekonomik birli i ve Kalkınma Te kilatı **OECD** (Organization for Economic Co-operation and Development) ülkeleri arasında ki i ba ına tüketilen enerji yılda ortalama 200 GJ'dür. Artan dünya nüfusu ve insanların yükselen ya am standartları, ki ilerinin enerji tüketimlerinin hızlı ekilde büyümesine neden olmaktadır. Yakla ık 6.5 milyar olan dünya nüfusunun 2025 yılında 8 milyar olaca ı ve yüzyılın sonlarına do ru 10 milyara ula ca ı tahmin edilmektedir. Nüfus artı ındaki büyüme hızı, ço unlukla, halihazırda yeryüzünde ya amını sürdüren insanların ortalama dörtte üçünü olu turan geli mekte olan ülkelerde görülecektir. Kalkınmı ülkeler etkin enerji tasarrufu uygulamaları ve de yeryüzündeki insan sayısının iki misli olmamasına ra men, dünyada hızlı artı gösteren nüfusun enerji talebinin, 2050 yılına kadar, iki kattan fazla olması öngörülmektedir.

Enerji kaynakları; birincil ve ikincil enerji kaynakları olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Birincil enerji kaynakları; odun, kömür, ham petrol, do algaz, do al uranyum (U-238, U-235, U-234 karı ımı), rüzgar, hidrolik (su gücü) ve güne ııı gibi do al enerji kaynaklarından olu maktadır. kincil enerji kaynakları; birincil enerji kaynaklarından dönü türülebilen elektrik ve petrol ürünleri gibi enerji kaynaklarıdır. Birincil enerji kaynakları, yenilenebilir enerji kaynakları ve yenilenebilir olmayan enerji kaynakları olarak iki sınıfta toplanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları, güne radyasyonu (solar energy), rüzgar, dalga enerjisi, biyokütle (biomass - odun, eker kamı ı, mısır, bu day gibi tahıl ürünleri vb.), jeotermal enerji ve hidrolik gücü kapsamaktadır. Yenilenebilir olmayan enerji kaynakları, bugün için enerji kaynaklarımızın %80'ini olu turan kömür, ham petrol, do algaz gibi fosil yakıtları ve uranyumu içermektedir. Yeryüzünde birincil enerji kaynaklarında bir sıkıntı veya kıtlık söz konusu de ildir. Güne ; gezegenimize her gün bol miktarda güne ııı ve güne radyasyonları ekinde muazzam enerjisini

göndermektedir. Bu mükemmel enerji; güneş ışığını (solar radiation), rüzgar, dalga enerjisi, gelgit enerjisi (medcezir enerjisi tidal power), aynı zamanda güneş ışınlarını biyokütleyle dönüştüren ağaç ve bitki türleri biçiminde ortaya çıkmaktadır. Tüm bunlara ilaveten, güneşten gelen enerji sayesinde asırlar boyunca oluşan ve fosil yakıtlar olarak yer kabuğunda depolanan çok büyük bir enerji kaynağı bulunmaktadır. Diğer bir enerji kaynağı olan uranyum ve parçalanma ürünleri, dünya ve güneş sistemimizin oluşumu 4.5 milyar yıl hatta kainatın yaratılması 13 milyar 700 milyon yıldan beri evrende ve de yerkürede mevcuttur.

Çağımızda gezegenimizin en büyük sorununu küresel ısınma ve iklim değişikliklerinin faili fosil yakıtların kullanımı ile ortaya çıkan sera gazı emisyonları özellikle de karbon salınımları yada karbondioksit emisyonları oluşturmaktadır. Birleşmiş Milletler himayesinde kurulan ve küresel ısınmayı bilimsel olarak inceleyen hükümetlerarası iklim değişikliği paneli (**I**ntergovernmental **P**anel on **C**limate **C**hange-**I**PPC) ve Kyoto Protokolü aracılığı ile küresel düzeyde karbon emisyonları veya karbondioksit salınımları sınırlandırılması düzenlemeleri yapılmaya çalışılmaktadır. İndiye kadar fosil yakıtlar, bilhassa kömür, geçen yüzyılda sanayi devriminin gerçekleştirmesi sayesinde insanlığın hizmetinde ve yaşam standardının yükseltilmesinde can alıcı bir rol oynamıştır. Petrol, tarihte en uygun enerji kaynağı olarak önemini hâlâ sürdürmektedir. Kömür ve petrol ile birlikte yaygın biçimde kullanılan diğer bir fosil yakıt olan doğalgaz, çok yönlü bir enerji kaynağı olma özelliğini korumaktadır. Bu durumda “nükleer güç santralleri neden gereklidir?” sorusuna açıklık getirelim. Birincil enerji kaynaklarının kullanımının toplam elektrik enerjisi üretimindeki payı yaklaşık %80 olup, yılda ortalama %2.7’lik bir artışla dünya genelindeki enerji talebi iki misli hızla büyümektedir. Enerji talebindeki bu artış nereden karşılanacaktır? Yenilenebilir enerji kaynaklarından başlamak üzere, elektrik üretiminde kullanılan her bir enerji kaynağındaki potansiyel ve sınırlamaları kısaca anlatan seçenekler ve de çözüm yolları aşağıda verilmektedir.

Hidroelektrik santrallerden üretilen elektrik enerjisi, atmosferi ve yeryüzünü kirletmediğinden ötürü elektriğin temininde cazibesini

sürdürmektedir. Yüksekten hızla düşen suyun potansiyel enerjisinden yararlanarak elde edilen elektrik ancak ve ancak çok büyük barajların inası sonucu oluşan ve de geniş alanları kaplayan suni göller vasıtasıyla sağlanmaktadır. Böylece, büyük ve tarımsal açıdan da verimli alanlar sular altında kalmakta ve bu bölgelerde yaşayan insanlar göç etmek zorunda bırakılmaktadır. Hidroelektrik santrallerden uzunca bir süredir yararlanılmakta olup, dünya elektrik üretimindeki payı %16 civarında bulunmaktadır. İmdiye kadar pek çok ülkede ve özellikle de kalkınmış ülkelerde fizibilitesi uygun baraj alanları değerlendirilmiştir. Ancak, bu kaynağın daha fazla geliştirilmesi ve kullanımını sınırlı kalmaktadır. Öte yandan, diğer yenilenebilir enerji kaynakları artan oranlarda kullanım potansiyeline sahip olmalarına rağmen, sürekli ve çok büyük hızla büyüyen elektrik ihtiyacı talebinin karşılanmasında her birinin kendine has özellikleri ve de karakteristikleri olmasından dolayı gelişimleri sınırlamalara veya kısıtlamalara tabi bulunmaktadır. Güneş enerjisi (solar energy) aracılığıyla elde edilen enerji; oldukça mantıklı ve rahatlıkla yenilenebilir enerji kaynağı türü olarak ortaya çıkmaktadır. Ancak, solar güç ile elektrik üretimi, güneş enerjisinin çevreye atılması ve de çok fazla veya sıkı yada kesintiye uğraması nedeniyle sınırlı bir potansiyele sahip bulunmaktadır. Örneğin, geceleri ve gündüzlerin de bulutlu olduğu zamanlarda, güneş enerjisi kesintiye uğramaktadır. Böylece, güneş enerjisi ile elde edilen elektrik üretimi, yatırım maliyetine oranla çok düşük kapasitede yapılabilmektedir. Ayrıca, yeryüzüne gelen güneş enerjisinin düşük yoğunlukta olması sebebiyle güneş enerjisini yüksek kaliteli elektrikle dönüştürme, halihazırda kullanılan sistemlerle %20'den daha az verimde çalışmak suretiyle imdilik yetersiz kalmaktadır. Bu durum, konu ile ilgili olarak önümüzdeki yıllarda yoğun araştırma yapılmasını gerektirmektedir. Yüksek maliyetli de olsa, küçük ölçekte elektrikle depolamak mümkündür. Büyük ölçekte elektrik üretimi yapan güneş enerjisi sistemleri, mutlaka yedekte bekleyen diğer elektrik üretim tesisleri ile birlikte işletilmelidir. Böylece enerji üretim maliyetleri nispeten yüksek olmaktadır. Gelecekte güneş enerjisi sistemleri, doğrudan ısıtma amaçlı devreye girecektir. Rüzgar enerjisi de güneş enerjisi gibi gittikçe artan oranlarda elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Dünya genelinde yaklaşık 100000 megawatt (MWe) kapasitedeki elektrik enerjisi

ihtiyacı bu yolla karşılanmaktadır. Ancak, rüzgar her zaman kullanılabilen bir enerji kaynağı türü değildir. Rüzgarın esmediği dönemlerde yedek enerji kaynaklarına gereksinim duyulmaktadır. Bununla beraber, diğer maliyetler nedeniyle, rüzgar enerjisi diğer enerji kaynakları ile oldukça rekabet eden bir konuma gelmektedir. Jeotermal enerji kaynakları yer kabuğunun derinliklerinden gelen doğal sıcaklıktan kaynaklanmaktadır. Yer altında bulunan sıcak buhar yeryüzüne çıkartılarak elektrik üretiminde kullanılabilir. Bu şekildeki jeotermal kaynaklar dünyanın belirli yerlerinde bulunmaktadır. Dünya genelinde şu anda yaklaşık 10000 MWe'lık elektrik üretimi jeotermal kaynaklardan temin edilmektedir. Diğer taraftan yer kabuğundaki çok sıcak kayaların arasında kalan belirli sıcak suyun yeryüzünde buhar haline dönüştürülerek elektrik üretimi söz konusudur. Yüksek düzeyli radyoaktivite ve iyonlaştırıcı radyasyon nedeniyle çok sıcak olan kayalar arasında sıkı sıkıya bulunan bu son derece sıcak suyun yeryüzüne çıkarılmasında bazı teknik sorunlar yaşanmaktadır. Biyokütle (Biomass) enerji kaynakları; etanol veya biyoyakıtlar olarak da adlandırılmaktadır. Çoğu orman ürünleri ve tahıl ürünleri, teknik olarak enerji kaynakları haline dönüştürülebilmektedir. Tahıl ürünleri üretiminin birincil amacı gıda sektörü olmakla beraber, sadece enerji elde etmek için, yetiştirilen ve ekimi yapılan ürünler de bulunmaktadır. Ancak, gıda ve enerji yakıtı seçiminde, bu gibi tarım ürünleri, diğer tarım ürünleri ile su, gübre ve tarımsal alanın kullanımı gibi mali gideri yüksek olan ölçütlerle rekabet etmek zorunda kalmaktadır. Özellikle üçüncü dünya ülkelerinde biyokütlenin diğer bir türünden de enerji kaynağı olarak faydalanılmaktadır. Örneğin, organik atıklar ve su bitkileri, metan veya biyogaz üretmek için kullanılabilir. Ancak, bu çeşitli enerji kaynağının payı, tüm enerji kaynakları içinde çok küçük bir yer tutmaktadır.

Çağımızda ekonomik ve çok büyük boyutta elektrik enerjisi üretimi sadece doğal gaz santralleri, nükleer güç santralleri ve kömür santralleri aracılığıyla temin edilebilmektedir. Genellikle elektrik üretiminde petrolün kullanımı çok pahalı olmaktadır. Petrolden üretilen yakıtların temin edilebilir özellikte olması, ulaşımda büyük bir kolaylık sağlamaktadır. Bu yakıtlar günümüzde petrokimya sanayinin de temel taşını oluşturmaktadır. Çok büyük ölçekli elektrik üretiminde

kullanmak için doğalgaz da bir zamanlar aşırı pahalı idi. Ancak 1970'li yıllarda yaşanan petrol krizi, dünya genelinde doğalgaz aramalarını hızlandırdı ve pek çok yerde geniş doğalgaz rezervleri keşfedildi. Doğalgazın önemli özelliklerinden biri de boru hatları aracılığıyla güvenli ve ucuz şekilde tüketim yerlerine hızla taşınabilmesidir. Doğalgaz çok verimli olarak yakılabildiğinden elde edilen ısı, endüstri sektöründe de yoğun biçimde kullanılmaktadır. Ayrıca doğalgaz kimya sanayinin en önemli ham maddelerinden birini de oluşturmaktadır. Kömür yerkürede bol miktarda bulunmaktadır. Dünyada çıkarılan kömür miktarı yılda 6 milyar ton civarındadır. Çıkarılan kömürlerin büyük bir çoğunluğu termik santrallerde elektrik üretimi amacıyla kullanılmaktadır. Dünya genelinde kömürle çalışan termik santraller vasıtasıyla üretilen elektriğin payı %39'la birinci konumdadır. Nükleer güç reaktörleri aracılığıyla üretilen elektriğin payı ise %16 dolaylarındadır. OECD ülkelerinde elektrik üretiminde kömürün payı %37 ve nükleer payı %23 civarlarında bulunmaktadır. Uranyum da dünyada bol miktarlarda bulunmaktadır. Yeni nükleer santraller kurulması ile artacak uranyum talebinin 60 kat olması halinde bile, uranyumun çıkarılması ve yakıt olarak kullanılması için teknolojiler mevcuttur. Şu anda dünyada uranyum madeni üretimi yaklaşık 40000 ton'dur. Ancak, uranyum talebi büyük ölçüde ikincil kaynaklardan karşılanmaktadır. Örneğin, uranyumun temin edildiği ikincil kaynaklar arasında tasfiye edilen nükleer silahlar ve de nükleer stoklar sayılabilmektedir. Bunların hepsi pratik olarak elektrik üretiminde kullanılabilir.

Elektrik üretiminde kullanılan çeşitli yakıtların enerji değerleri

Yakacak odun (Firewood)	16 MJ/kg
Linyit (Brown coal)	9 MJ/kg
Düşük kaliteli kömür (Black coal-low quality)	15-23 MJ/kg
Maden kömürü antrasit (Black coal-hard)	24-30 MJ/kg
Doğalgaz (Natural gas)	38 MJ/kg
Ham petrol (Crude oil)	45-46 MJ/kg
Nükleer reaktörlerde kullanılan doğal uranyum	500000 MJ/kg

Teorik olarak yerkürede bulunan kömür rezervleri, çağımızın elektrik ihtiyacını 100 yıldan daha fazla karşılayabilecek kapasitede bulunmaktadır. Ancak, gelecekte yeryüzüne çıkarılacak kömürlerin

büyük ço unlu u, elektrik üretiminden ziyade çok daha de erli olan sıvı yakıtlara dönü türülmek sureti ile kullanılacaktır. Ayrıca, kamuoyunda karbon emisyonları yada karbondioksit salınımlarına kar ı artan çevre duyarlılı ı ve kömür ocaklarında artan sorunlar, bu kaynakların kullanımını sınırlamaktadır. Uranyumun kömür ve di er yakıtlarla enerji e de erleri arasındaki çok önemli olan fark yukarıdaki tablodan da açıkça göze çarpmaktadır. Bununla beraber, elektrik üretimi yapan kömür ve uranyum güç santralleri göz önüne alındı ında her ikisinin de termal verimlili i yaklaşık aynı olup, %33'dür. Kömürle çalı an ve çalı ma kapasitesi %80 olan bir milyon kilowatt'lık (1000 MWe) elektrik üretimi yapan termik santral yılda 3.2 milyon ton kömür sarfetmektedir. 1000 MWe'lık bir nükleer güç reaktörü ise yararlı radyoizotop uranyum-235 (U-235) olarak yaklaşık %4'ü zenginleştirilmi uranyumdioksitten (UO₂) takribi 24 ton tüketmektedir. Bu yakıt için 200 ton'luk do al uranyumun çıkarılması gerekmektedir. Do al uranyum, 25 ila 100000 ton'luk ortalama tenörlü uranyum cevherleri kanalıyla elde edilebilmektedir.

Kullanılan yakıt miktarlarındaki çok büyük fark, elektrik üretiminden sonra ortaya çıkan atık miktarlarını da do rudan etkilemektedir. 1000 MWe gücündeki nükleer güç santralleri, her biri radyoaktivitesi çok yüksek yılda yaklaşık 27 ton kullanılmı uranyum yakıtı yada tüketilmi uranyum yakıtı üretmektedir. Ortaya çıkan tüketilmi yakıt veya kullanılmı yakıt, uranyum radyoizotoplarının bozunma, bölünme, bir ba ka deyi le, parçalanma ürünlerinin hepsini içerdi inden, oldukça yüksek oranlarda iyonla tırıcı radyasyonlar yaymaktadır. Aynı zamanda, yayılan çok yüksek iyonla tırıcı radyasyonlar ve nükleer reaktörlerde üretilen muazzam enerji, bu yakıtların son derece sıcak olmasına neden olmaktadır. 27 ton'dan yaklaşık %97'si yeniden i lenerek tekrar kullanıma hazır hale getirilmektedir. Geriye kalan %3'lük kısım olan 700 kg, yüksek seviyeli radyoaktif atık olup, çevre ve insan sa lı ı açısından risk olu turmaktadır. Bu nedenle, yüksek seviyeli olan nükleer atıklar, uzun süre çevreden tecrit edilmelidir. Ortaya çıkan radyoaktif atıklar, yüksek oranda radyoaktivite ve sıcaklık ihtiva etti inden, uzunca bir süre geçici nükleer atık depolama sahası olarak derin su havuzlarında tutulmaktadır. Yüksek seviyeli uzun yarı ömürlü radyoaktif atıklar az miktarda oldu undan, daimi radyoaktif depolama alanı ile radyoaktif

atıkların yok edilmesi yada nihai depolanması yöntemleri belirleninceye kadar nükleer atıkların yönetimi veya idaresi açısından da çok büyük sorunlar ya anmamaktadır. Kullanılmı yakıt tekrar i lenmese bile, nükleer reaktörde yıllık olarak ortaya çıkan takribi 27 ton'luk radyoaktif atık, kömürle çalı an aynı büyüklükteki termik santralin atıklarına nazaran çok dü ük düzeyde kalmaktadır. Öte yandan, yukarıda ifade edildi i gibi nükleer reaktörlerde meydana gelen radyoaktif atıkların nakliyesi yada nükleer atıkların ta ınması, arıtılması, tecridi ve depolanması ba lamında, çevreye kesinlikle herhangi bir radyasyon sızıntısı, nükleer kirlilik veya radyoaktif kontaminasyon vermemek sureti ile, nükleer atık muamelesi ya da radyoaktif atıkların bertarafı, pratik olarak yapılabilmektedir.

1000 MWe'lık kömür yakıtlı termik santral her yıl yakla ık 7 milyon ton karbondioksit emisyonu yada karbondioksit salınımı yapmaktadır. Atmosfere salınan en fazla sera gazı emisyonu karbondioksit salınımıdır. Karbonun atom a ırlı ı 12, karbondioksitin (CO_2)'in molekül a ırlı ı ise 44 oldu undan, yakılan her gram karbon atmosfere 3.6 gram karbondioksit emisyonuna neden olmaktadır. Küresel ısınma ve iklim de i iklerinin nedeni olan sera gazı emisyonlarının dizginlenmesi veya denetim altına alınması büyük önem ta ımaktadır. Sera gazı emisyonları içerisinde en büyük yüzdeyi karbon emisyonları yada karbondioksit salınımları i gal etmektedir. Atmosfere olan salınımı azaltmak için karbondioksit emisyonları veya karbon emisyonlarının akiferlerde depolanması gerekmektedir. Karbondioksit emisyonları depolama sahaları olarak petrol çıkarılmı kuyular, kullanılmı do algaz ve tuz yatakları sayılabilmektedir. Kömürlü termik santrallerden çevreye salınan di er bir sera gazı kükürt dioksit (SO_2)'dir. Yine 1000 MWe'lık kömür yakan termik santralden atmosfere salınan kükürt dioksit miktarı yıllık 200000 ton civarındadır. Geçen yüzyılda kükürt dioksit emisyonları kontrol altına alınmadı ından ötürü, çevre ve insan sa lı ı açısından telafisi güç zararlar olu turmakta idi. Örne in, kükürt dioksit salınımları; Kanada, Orta Avrupa ve skandinav ülkeleri gibi bu gazı üreten ülkelerin dı ındaki ulusal sınırların ötesindeki devletlerin ormanlarında, göllerinde ve nehirlerinde de asit ya murlarına dönü erek ciddi zararlara yol açmaktaydı. Ancak, günümüzde yakla ık 100 milyon dolar maliyetli kükürt dioksit baca gazı arıtma tesisleri yada

desülfürizasyon tesisleri vasıtasıyla bu tahribatların ve zararların önüne geçilebilmektedir. Baca gazı kükürt dioksit arıtma tesisleri, birim elektrik fiyatlarının kilowatt saat başına takribi %12 oranında artmasına neden olmaktadır. Aynı kapasiteli kömür yakıtlı termik santraller yaklaşık 200000 ton uçucu külün de atmosfere salınmasına yol açmaktadır. Bu uçucu küller; doğasından kaynaklanan radyoaktif maddeler veya nükleer materyaller kadar diğer zehirli metalleri de yüksek oranlarda içinde bulundurmaktadır. Her çeşit santralde üretilen elektrik mutlaka diğer miktarlarda ve türlerde endüstriyel atık olarak çevresel etki ve risk yaratmaktadır. Bunlar içinde sadece nükleer sanayi ve nükleer teknoloji, ürettiği atıkların sorumluluğunu titizlikle üstlenen, nükleer atıkların yönetimi ve nükleer atıkların tecridi konularında ve de ayrıca nükleer reaktörlerin sökülmesi maliyetleri (decommissioning) için fonlar tahsis ederek elektrik üretimi yapan yegâne endüstriyel sektör olarak tanınmaktadır. Nükleer güç reaktörleri aracılığıyla üretilen elektrik enerjisi sayesinde, yılda yaklaşık 2.5 milyar ton karbondioksit emisyonunun atmosfere salınımı önlenmektedir. Halihazırda fosil yakıtlı termik santrallerden çevreye takribi 28 milyar ton karbondioksit emisyonu yapılmaktadır. Kömür yakıtlı termik santrallerin ve nükleer santrallerin yakıt gereksinimleri arasındaki fark, her ikisinin de ekonomilerini çok yakından ilgilendirmektedir. Örneğin, nükleer güç santralının yakıt maliyeti, diğer kömür santraline nazaran çok düşüktür. Bu durum, genellikle bir nükleer reaktörün inşası ile ilgili çok yüksek olan ilk yatırım maliyetini dengelemeye yeterli olmaktadır. Sonuç olarak uygulamada, nükleer santraller vasıtasıyla elde edilen elektrik kömürden üretilen elektrikle, pek çok alanda rekabet eden konuma getirmektedir. Bu rekabette nükleer atıkların yönetimi, radyoaktif atıkların yok edilmesi veya nihai depolanması ve nükleer reaktörleri işletmeden çıkarma maliyetleri yada nükleer santrallerin sökülmesi (decommissioning) giderleri ve de masrafları da hesaba katılmaktadır. Nükleer santraller de dahil olmak üzere nükleer tesislerin sökülmesi ve yerel alana dönüşümü maliyeti, santralin ilk yatırım maliyetinin yaklaşık %10 ila %20 si arasındaki bir değer olarak gelmektedir. Mesela, 1000 MWe'lık bir basınçlı su reaktörü (**P**ressurized **W**ater **R**eactor-**PWR**) işletmeden çıkarma maliyeti (decommissioning) takribi 320 milyon dolar, yine 1000 MWe'lık bir kaynar sulu reaktörü (**B**oiling **W**ater **R**eactor-**BWR**) işletmeden çıkarma maliyeti

(decommissioning) ise yaklaşık 420 milyon dolar olmaktadır (Kaynak: **OECD / Nükleer Enerji Ajansı-Nuclear Energy Agency-NEA**).

Küresel düzeyde karbon emisyonları veya karbondioksit salınımları ile ilgili getirilmesi düşünülen sınırlamalar ve yeni düzenlemeler, gelecekte fosil yakıtlarda maliyet artırımını özellikle de petrol, doğalgaz ve de kömür fiyatlarının yükselmesinde büyük bir baskı unsuru olacaktır. Bu durum nükleer enerjinin geleceği konusunu gittikçe artan oranlarda ön plana çıkarmaktadır. Anlatılan enerji seçeneklerinin tamamı ve enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi, enerji arz güvenliği ile birlikte düşünülmelidir. Pek çok ülke enerjisinin büyük bölümünü ithal etmektedir. Bazı ülkeler elektrik üretimleri için gerekli olan yakıtı uzunca bir süre pratik ve ekonomik olarak depolayabilirlerse, büyük bir avantaj elde edeceklerdir. Bunun gerçekleştirilmesi ülkelerin ekonomik performansı ve akılcı enerji planlaması ile mümkün görülmektedir.

Her ülkenin gündemindeki elektrik enerjisi konusunda yanıt verilmesi gerekli olan sorular aşağıda sıralanmaktadır.

- Gelecekte muhtemel elektrik ihtiyacımız ne olacaktır?
- Elimizde mevcut olan elektrik üretim kaynakları nelerdir?
- Çevre ve insanlara en az zarar veren, en üst seviyede enerji arz güvenliği sağlayan, ülkelerin bütçelerine en uygun ve de gelir gider tablosunu bozmayacak elektrik enerjisi türleri hangileridir?

Enerji kaynaklarının çeşitliliği hakkında hızlı küresel gelişmeleri hükümet programlarına alan ülkeler, ekonomik büyüme hızlarına uygun olan enerji eylem planları içerisinde nükleer santraller konusuna yer vermektedir. Bu kapsamda “nükleer güç santrallerinin kurulması ve işletilmesi ile ilgili enerji satımına ilişkin kanun” adı altında yeni nükleer santrallerin maliyetleri hakkında çok yönlü teklifler yasala tırılmaktadır. Temmuz 2007 itibari ile, 31 ülkede 440 nükleer reaktör çalışmakta olup, dünya elektrik ihtiyacının yaklaşık %16’sı nükleerden karşılanmaktadır. 35 ülkede nükleer reaktör inşaatı devam etmektedir. Nükleer güç programı uygulayan ülkeler arasında Belçika, Kanada, Çin, Fransa, Almanya, Hindistan, Japonya, Rusya Federasyonu, Güney Kore, İsveç, Ukrayna, İngiltere ve Amerika

Birle ik Devletleri sayılabilmektedir. Sonuç itibari ile, günümüzde hiçbir ülke kendi öz kayna ı bile olsa, tek bir enerji kayna ına ba lı elektrik üretimi yapmak istememektedir. Bu nedenle enerji arz güvenli ine uygun politika kapsamında ülkeler; hem kömür, do algaz veya nükleeri baz alan elektrik üretim seçeneklerini hem de yenilenebilir enerji kaynakları aracılı ıyla elektrik üretimlerini oldu unca çe itlendirmeyi ve enerji kaynak çe itlili i yaratmayı amaçlamaktadır. Baz alınan elektrik enerjisi üretiminde, ça ımızın en büyük kaygısı olan küresel ısınma ve iklim de i iklikleri de hesaba katıldı ında nükleer enerji vazgeçilmez bir konuma gelmektedir. Son 20 yıl içerisinde hızla geli en ça da teknolojik ilerlemeler modern nükleer emniyet ve nükleer güvenlik anlayı ı içerisinde yeni ku ak nükleer güç santralleri yada yenilikçi nükleer reaktörler konusunu hemen her ülkede ön plana çıkarmaktadır. Ünlü Hintli nükleer fizikçi Dr. Homi Jehangir Bhabha **“No energy is more expensive than no energy”**, yani, **“olmayan enerji en pahalı enerjidir”** sözü ile ça ımızın en büyük sorununu kısaca ifade etmektedir.

- (*)Kaynaklar: Kainat, nsan ve Radyasyon, Ahmet Cangüzel Taner, Ça ın Polisi Dergisi, 59.sayı, 2006.
Avustralya Uranyum Birli i, Australian Uranium Association, 2007.
Nükleer Atıkların dairesi veya Yönetimi, Ahmet Cangüzel Taner, Ça ın Polisi Dergisi, 69.sayı, 2007.
Nükleer Reaktörler, Ahmet Cangüzel Taner, Ça ın Polisi Dergisi, 63.sayı, 2007.
Nükleer Enerji, Ahmet Cangüzel Taner, Ça ın Polisi Dergisi, 62.sayı, 2007.
Radyoaktif Atıkların Yok Edilmesi veya Nihai Depolanması, Ahmet Cangüzel Taner, Ça ın Polisi Dergisi, 58.sayı, 2006.
Yeni Nesil Nükleer Güç Reaktörleri, Ahmet Cangüzel Taner, Ça ın Polisi Dergisi, 57.sayı, 2006.
yonla tırıcı Radyasyonların Biyolojik Etkile me Mekanizmaları, Ahmet Cangüzel Taner, Ça ın Polisi Dergisi, 55. ve 56. sayılar, 2006
İklim De i iklikleri, Ahmet Cangüzel Taner, Ça ın Polisi Dergisi, 53.sayı,2006.

Küresel Isınma, Ahmet Cangüzel Taner, Ça ın Polisi Dergisi, 60.sayı, 2006.

Küresel Isınma Mekanizmaları, Ahmet Cangüzel Taner Ça ın Polisi Dergisi, 61.sayı, 2007.

klim De i ikliklerinin Maliyeti, Ahmet Cangüzel Taner, Ça ın Polisi Dergisi, 64.sayı, 2007.

Sera Gazı Emisyonları, Ahmet Cangüzel Taner, Ça ın Polisi Dergisi, 65.sayı, 2007.

klim De i iklikleri ile ilgili IPCC'nin Son Raporları, Ahmet Cangüzel Taner, Ça ın Polisi Dergisi, 67.sayı, 2007.

Karbon Emisyonları ve Karbondioksitin Akiferlerde Depolanması, Ahmet Cangüzel Taner, Ça ın Polisi Dergisi, 68.sayı, 2007.

Amerika'da Küresel Isınma ile ilgili Politika De i imi, Ahmet Cangüzel Taner, Ça ın Polisi Dergisi, 66.sayı, 2007.

Haziran 2007'de bir araya gelen G8'lerin Gündemi: Küresel Isınma, klim De i ikli i ve Sera Gazı Emisyonları, Ahmet Cangüzel Taner, Ça ın Polisi Dergisi, 70.sayı, 2007.

Almanya'da Nükleer Enerjinin Gelece i, Ahmet Cangüzel Taner, Ça ın Polisi Dergisi, 71.sayı, 2007.

Nükleer Güç Santralleri ve Nükleer Enerjinin Gelece i, Ahmet Cangüzel Taner, Ça ın Polisi Dergisi, 72. sayı, 2007.

Atom, Radyoaktivite, Radyoizotoplar ve Radyasyon Türleri, Ahmet Cangüzel Taner, Ça ın Polisi Dergisi, 73.sayı, 2008.

Nükleer Güç Santralleri Geli iminde Nükleer Emniyet ve Nükleer Güvenlik, Ahmet Cangüzel Taner, Ça ın Polisi Dergisi, 74.sayı, 2008.

ngiltere'de Enerji Arz Güvenli i, Enerji Kaynaklarının Çe itlendirilmesi, Nükleer Santraller ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Ahmet Cangüzel Taner, Ça ın Polisi Dergisi, 75.sayı, 2008.

nternet site: www.caginpolsi.com.tr