

KONVANSİYONEL ENERJİ SANTRALLERİNİN MALİYET VE ÇEVRESEL ETKİ BAKIMINDAN KARŞILAŞTIRILMASI

Figen ARSLAN

Özet - Sanayi devriminden sonra önem kazanan enerji üretiminde, serbest piyasa ekonomisinin etkisiyle maliyet ön plana çıkmış ve toplam maliyeti düşük olan enerji üretim yöntemlerine yönelme yaşanmıştır. Son dönemde ise çevre sorunlarının artmasıyla enerji üretim yöntemlerinin çevresel etkileri konusu da önem kazanmış ve sürdürülebilir kalkınma kavramı ortaya atılmıştır.

Konvansiyonel enerji santrallerinin karşılaştırılmasında en önemli kriterler maliyet ve çevre etkisi olmaktadır. Buna göre hem iki kritere göre en uygun seçenek doğalgaz gibi görülmektedir. Nükleer enerjiden elektrik üretimi işletme sırasında salınan emisyonlar açısından en temiz teknoloji olmasına rağmen maliyet açısından en pahalı seçenektir. Ayrıca yüksek radyoaktivite içeren atıkları nedeniyle gelecek için risk oluşturmaktadır.

Anahtar Kelimeler - konvansiyonel, enerji, maliyet, çevre

Abstract - After industrial revolution, cost in power generation gets importance with the effects of liberal market, thus least cost power generation technologies became preferable in power generation. Upon the occurrence of the significant environmental problems during the operation of the power generation systems, environmental impacts of the power generation systems are considered. Therefore sustainable development concept is developed. Main criteria in the comparison of the conventional power plants are cost and environmental. In this respect, natural gas seems to be the most appropriate alternative. Although nuclear power generation technology is more clean for emissions, it is the most expensive alternative in cost evaluation. Also it cause great environmental risks due to the high radioactive wastes generated during the operation.

Keywords - conventional, energy, cost, environment

F.Arslan, SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Y.Lisans öğrencisi

I.GİRİŞ

İnsanlar tarih boyunca yaşamsal ihtiyaçlarını karşılamak için enerjiyi, çeşitli kaynaklardan farklı dönüştürme yöntemleriyle elde ederek kullanmışlardır. Enerji sektörü ekonomik kalkınmanın anahtarı durumundadır. Sanayi devriminden sonra enerjinin, kolay kullanılabilir olması nedeniyle de özellikle elektrik enerjisinin üretimi önem kazanmıştır. Ancak o dönemde enerjinin hangi kaynaktan ve hangi üretim yöntemiyle elde edildiğinin pek önemi yoktu. Enerjinin üretimi esastı ve teknolojisi hazır olan kaynaklar kullanılıyordu. Daha sonraları serbest piyasa ekonomisinin etkisiyle maliyet ön plana çıkmış ve toplam maliyeti düşük olan enerji üretim yöntemlerine yönelme yaşanmıştır. Son dönemde ise çevre sorunlarının artmasıyla enerji üretim yöntemlerinin çevresel etkileri konusu da önem kazanmış ve sürdürülebilir kalkınma kavramı ortaya atılmıştır.

Bugün enerji üretimi konvansiyonel veya klasik santraller de denilen termik (kömür, doğalgaz ve nükleer) ve hidrolik santrallere dayanmaktadır. Nükleer santraller de yaklaşık 50 yıllık bir teknoloji olması ve dünya enerji üretiminin %16'sını sağlaması nedeniyle klasik santraller arasında anılmaktadır. Hidrolik dışındaki yenilenebilir kaynakların enerji üretimindeki yeri maalesef ancak %1 oranındadır.

Konvansiyonel olarak adlandırılan enerji santralleri, kullanılan kaynağa ve seçilen teknolojiye göre birçok yönden karşılaştırılabilir. Ancak bu karşılaştırmada en önemli olan kriterler maliyet ve çevre etkisi olmaktadır.

II- MALİYET AÇISINDAN KARŞILAŞTIRMA

Elektrik üretim maliyetleri proje şartlarına göre birçok değişiklik gösterir. Genel olarak maliyeti oluşturan masrafları 4 başlık altında toplamak mümkündür:

İlk yatırım masrafları: Santralin inşası için gerekli olan finansmanın fiyatı (faiz, geri ödeme planı vs.).

İşlenecek kaynağın maliyeti (Yakıt maliyeti): Dönüştürülecek olan enerji kaynağının erişilebilirlik ve kullanıma uygun hale getirilmesi masrafları.

İşletme maliyeti: Tesisin bakım, onarım ve işletilmesi için gerekli olan giderler.

Dış maliyetler: Direk olarak üretim veya tesis ile ilgili olmayıp çevreye, enerji sektörüne veya diğer sektörlerle verilen zararlar ile ilgili masraflar.

Bu masraflardan ilk yatırım maliyetleri kuruluş maliyetini oluşturmada ve bunu kWh başına kuruluş maliyetine dönüştürebilmek için en azından kapasite faktörü ve yıllık kapital maliyetlerini (iskonto) bilmek gerekmektedir. İşletme, bakım-onarım ve yakıt masraflarının toplamı ise üretim maliyetini oluşturmaktadır. Kuruluş maliyeti ve üretim maliyetinin toplanmasıyla toplam maliyet bulunmaktadır. Dış maliyetler ise; inşaat alanının enerji üretimi yerine başka bir amaçla kullanımının daha faydalı olması durumundan veya inşaat alanında daha önceden yapılan faaliyetlerin durdurulmasından oluşan masraflarla, çevreye verilen zararın toplamıdır. Ancak bu dış maliyetler genellikle gizli kalmakta toplam maliyet hesaplamalarında gösterilmemektedir.

Fosil yakıtlı santrallerin, özellikle de doğal gaz santrallerinin birim tesis maliyetleri nükleer santraller ve hidroelektrik santrallere oranla düşüktür. Yapım süreleri kısa olduğu için inşaat süresince faiz ve ekshalasyon değerleri de düşük olmaktadır. Servisten çıkarılma masrafları düşüktür ve arazinin geri kazanımı ve hurda satışları ile karşılanabilmektedir. Fosil yakıt santrallerinde yakıt masrafları üretim maliyetinde önemli bir yer tutar.

Hidroelektrik santrallerinin inşaat süreleri uzun olduğundan inşaat masrafları da fazla olmakta ve bu da yatırım maliyetini yükseltmektedir. Faiz oranları ve amortisman süreleri maliyet üzerinde önemli bir rol oynamaktadır.

Nükleer santrallerin de ilk yatırım maliyetleri yüksek olup üretim maliyetinin %50'sini oluşturmaktadır. Ayrıca radyoaktivite nedeniyle servisten çıkarılmaları zordur ve halen bu işlemin maliyeti hakkında tartışmalar devam etmektedir. ABD Nükleer Denetim Komisyonu (NCR)

Tablo 1: Elektrik Maliyetlerinin Başlıca Teknolojilere Göre Dağılımı

	Kuruluş Maliyeti (\$/kW)	Kapasite Kullanım Faktörü (%) (kabul yapılmıştır)	kWh Başına Kuruluş Maliyeti (cents/kWh)	Üretim Maliyeti (cents/kWh)	Toplam Maliyet (cents/kWh)
Hidroelektrik	1000-1500	50%	2.3 - 3.5	0.6	2.9 - 4.1
Kömür	1400-1600	85%	1.9 - 2.1	2.3	4.2 - 4.4
Doğal Gaz	600-900	85%	0.8 - 1.1	4.6	5.4 - 5.7
Nükleer	2000-3500	85%	2.7 - 4.7	2.2	4.9 - 6.9

tarafından yayınlanan bir rapora göre (NUREG-0586, s:15); 1000 MW'lık bir nükleer santralin sökülme maliyeti 200 milyon \$ olarak hesaplanmıştır[1]. Sökümden sonra ortaya çıkan radyoaktif malzemelerin ve biriken radyoaktif atıkların çevreden yalıtılması ayrı bir maliyet oluşturur. Radyoaktif atıkların son depolanması işlemi henüz gerçekleştirilmediği için bu işlemin maliyeti kesin olarak saptanmamıştır.

Tablo 1'de elektrik maliyetlerinin başlıca teknolojilere göre dağılımı görülmektedir. Tablodaki birim kW başına kuruluş maliyeti değerleri için ABD Enerji Bakanlığı (Department of Energy-DOE), Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (International Atomic Energy Agency-IAEA) ve Elektrik Mühendisleri Odası verilerinden yararlanılmıştır. Kapasite kullanım faktörü için kabul yapılmış ve iskonto değeri %10 olarak alınmıştır.

Nuclear Energy Agency, International Energy Agency ve OECD'nin, 2005-2010 yılları arasında devreye girmesi beklenen 66 santral için aralarında Türkiye'nin de bulunduğu 19 ülkenin verilerinin analizini içeren ortak çalışmalarının (Projected Costs of Generating Electricity, 1998 Update, Publisher:OECD, Paris) sonuçlarından yararlanılarak oluşturulmuş bulunan Tablo 2'de ise yine kömür, gaz ve nükleer teknolojilerine göre toplam elektrik üretim maliyeti (yatırım, işletme, bakım-onarım, yakıt) gösterilmektedir.

Her iki tablodan da görülmektedir ki nükleer elektrik maliyeti kesinlikle diğer teknolojilerden daha pahalıdır. Nitekim nükleer enerji maliyetleri konusunda önde gelen bir otorite olan ve ABD Enerji Bakanlığı'na danışmanlık yapan C. Komanoff'un 1968-1990 yılları arasında ABD'deki nükleer enerji üretimi üzerine yaptığı araştırmada nükleer elektriğin maliyeti 7.2 cents/kWh olarak çıkmıştır (Fiscal Fission. The Economic Failer of Nuclear Power, Komanoff Enrgy Associates, 1992). Ayrıca Türkiye deprem kuşağın'a yer alan bir ülke olduğu için nükleer santral maliyetine deprem riskinden kaynaklanan bir maliyet de eklenmektedir (sigorta maliyeti).

Tablo 2: 2005-2010 Yılları Arasında Devreye Girmesi Planlanan Santrallerin Toplam Elektrik Üretim Maliyetleri (cents/kWh) [2]

Ülke	Kömür	Gaz	Nükleer
ABD	3.47	2.74	4.62
Brezilya	4.32	3.27	5.15
Finlandiya	3.91	4.11	5.59
Fransa	5.95	4.11	5.59
İspanya	5.47	5.44	6.38
Japonya	7.61	8.44	7.96
Kanada	3.70	3.30	4.72
Rusya	5.53	3.90	4.65
Türkiye	4.87	3.39	5.18*
Ortalama	4.98	4.30	5.54

*: Temmuz-2001 itibariyle askıya alınmıştır.

III- ÇEVRESEL ETKİ AÇISINDAN KARŞILAŞTIRMA

Enerji ve çevre kavramları birbiriyle karşıt gibi görünse de sürdürülebilir kalkınma ilkesi, bu kavramların birbiriyle paralel bir şekilde yürütülmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Tüm üretim teknolojileri doğal çevreyi etkilemektedir. Ancak bu çevre etkisini en aza indirebilmek için temiz üretim teknolojileri geliştirilmek zorundadır.

Günümüzde en büyük çevresel sorunlar olan global ısınma ve asit yağmurları büyük ölçüde fosil yakıt kullanımından kaynaklanmaktadır. Fosil yakıt santrallerinin en önemli çevresel etkisi bu sorunlara yol açan CO₂, SO_x ve NO_x emisyonlarıdır. CO₂ emisyonu yakıtın karbon içeriğine bağlıdır ve kullanılan kaynağa göre değişmektedir. Fosil yakıtların yanmasıyla kömürde 85.5-101.2 kg/GJ, petrolde 69.4-81.2 kg/GJ ve doğal gazda 52.0-54.8 kg/GJ kadar CO₂ emisyonu oluşmaktadır. [3]

Ayrıca fosil yakıtların tümünün bileşiminde farklı miktarlarda da olsa bulunan kükürt yanma sonucu SO_x emisyonlarına dönüşür. SO_x asit yağmurlarının en önemli etkeni olduğu gibi solunum yolu ve kalp rahatsızlıklarına neden olmaktadır. SO_x gazlarının arıtılması için termik santrallerin bacalarına desülfürizasyon tesisleri eklenmektedir.

Bir diğer kirlenici emisyon olan NO_x gazları da asit yağmurlarında etkindir ve solunması durumunda akciğer hastalıklarına yol açmaktadır. Doğal gazın alevinin çok yüksek olması NO_x salınımını arttırmaktadır.

Kömür yakıtlı santraller bu emisyonlar dışında CO, O₃ (ozon), hidrokarbonlar, partiküller ve kül açığa çıkarmaktadır. Petrolde bu etkiler global ısınma dışında daha düşüktür. Doğal gaz da petrol gibidir ancak atıkları içinde partiküller ve ağır metaller bulunmamaktadır.

Fosil yakıtların yanmasıyla açığa çıkan emisyonlar ve diğer atık maddelerin miktarları yakıtın kalitesine bağlıdır.

Kömürlü termik santrallerin kül depoları da radyasyon yaymaktadır. Depolarda oluşan Radon (Rn₂₂₂) gazı havaya karışarak 3.8 günlük bir sürede Polonyum (Po₂₁₀) ve aktif kurşuna (Pb₂₀₇) dönüşebilmektedir. Linyitte bulunan ve yanmayla açığa çıkan uranyum da bacadan atılan maddeler içinde ve külde bulunmaktadır.

Nükleer santraller işletme sırasında kirlenici emisyon yaymadıklarından çevreye en az zarar veren teknolojilerdir. Ancak kabul edilebilir miktarlarda da olsa radyoaktivite sızıntısı olabilmektedir. Ayrıca ömrünü tamamlamış bir nükleer santral radyoaktivite dolayısıyla halen çevresel tehlike arz eder ve atıklar için tam güvenli bir depolama tekniği geliştirilememiştir. Buna göre nükleer santrallerin endişe duyulan çevre etkisi; işletme sırasında çevreye yayılan radyoaktiviteden değil, kaza olması durumunda sızıntılar, nakil sırasındaki riskler ve atık depolanmasından kaynaklanmaktadır. Tablo 3'te nükleer ve kömür yakıtlı santrallerin atıklar yönünden karşılaştırılması verilmiştir.

Termik santrallerin (kömür, gaz, nükleer yakıtlı) bir diğer çevresel etkisi de atık ısılarıdır. Santralin veriminin düşük olması atık ısıyı yükseltmektedir. Buna göre nükleer santraller kömür ve doğal gaz santrallerine oranla daha düşük verimde çalıştığından atık ısı nükleer santrallerde daha yüksek olacaktır. Atık ısı nedeniyle soğutma suyu olarak kullanılan kaynağa meydana gelen sıcaklık artışı (termal kirlilik) ekolojik dengeyi bozmaktadır. Soğutma kulesi kullanılması durumunda ise bölgenin nem oranı ve korozyon riski artmakta ve görüntü kirliliği oluşmaktadır.

Ayrıca fosil yakıtların taşınma ve depolanmaları da çeşitli çevre tahribatlarına neden olmaktadır. Kömürün taşınma ve depolanması doğal bitki örtüsüne zarar verdiği gibi petrol ve doğal gazın da boru hatlarıyla taşınması da korozyon ve çeşitli çevresel etkiler oluşturmaktadır. Kara ve deniz tankerleriyle yapılan petrol taşımacılığı da trafik kazalarıyla yangın tehlikesine veya Boğazlarda sıkça tanık olduğumuz kazalarla deniz kirliliğine yol açabilmektedir. Nükleer yakıtların da taşınması radyoaktiviteden dolayı belli bir risk taşır ve güvenlik önlemlerinin fazla olması gerekmektedir.

Yenilenebilir enerjilerden olan ancak yaygın ve eski bir kullanıma sahip olması nedeniyle klasik santraller arasında yer alan hidroelektrik santrallerin de çevresel etkileri bulunmaktadır. Geniş bir alan kaplayan baraj gölünün nem oranını artırarak ve yağış rejimini bozarak iklim değişikliğine sebep olması, doğal bitki örtüsü ve su ve kara canlılarının yaşam alanlarını etkilemesi sebebiyle ekolojik dengeyi bozması, akarsuyun akış rejimini bozması ve su kalitesini düşürmesi gibi etkileri vardır. Çok büyük bir alanı kaplaması nedeniyle bölgedeki tabiat

ve tarih varlıkları sular altında kalabilmektedir (Birecik Baraj Gölü altında kalan Zeugma örneğinde olduğu gibi) ve su altında kalan bitki örtüsü zamanla metan gazı oluşumuna yol açmaktadır. Ayrıca doğal fay hareketlerinin etkilenmesi, yüksek kaza riski ve doğal görünümün bozulması sebebiyle görüntü kirliliği oluşturabilmesi gibi etkileri de vardır.

Bu teknolojilerin karşılaştırılması için yapılan araştırmalarla tüm kaynaklar için her GW başına yıllık ölüm olasılığı hesaplanmıştır. Belirtilen değerler Tablo 4'te görülmektedir. Bu tabloya göre nükleer enerji en az risk içeren enerjidir. Ancak Chernobyl kazasında sadece 31 adet ani ölüm vakası görülmüş olmasına rağmen yayılan radyasyon nedeniyle kanser vakaları ve genetik bozukluklar artmıştır. Nükleer enerjinin riski az olmasına karşın radyoaktivitenin etkilerinin büyük ve uzun süreli oluşu tepkilerin fazla olmasına yol açmaktadır.

Tablo 3: Nükleer ve kömür yakıtlı santrallerin atıklar yönünden karşılaştırılması (ton/yıl) [4]

Santral Gücü 1300 MWe	Kömür Santrali	Nükleer Güç Santrali
Gerekli Yakıt Miktarı	2000000	35
Oksijen Tüketimi	6200000	-
NO _x	28000	-
CO ₂	6600000	-
SO _x	57000	-
Diğer Gazlar	2000	İhmal edilebilir
Katı Atık	415000	-
Yüksek Seviyeli Radyoaktif Artıklar	-	10
Orta Seviyeli Radyoaktif Artıklar	-	400
Düşük Seviyeli Radyoaktif Artıklar	-	600

KAYNAK: Radioactive Waste Management, IAEA, Information Series, 1993

Tablo 4: Enerji kaynaklarına göre yıllık ölüm riskleri (ölüm/GW.yıl) [2]

Kaynak	Mesleki Risk	Halk İçin Risk
Kömür	0.023-1.2	0.07-0.6
Petrol	0.023-0.7	0.0019-1.0
Doğal Gaz	0.018-0.7	0.0025-0.2
Nükleer Enerji	0.0015-0.36	0.00001-0.0125
Hidrolik Enerji	0.01-1.41	0.001-0.01

KAYNAKLAR:

- [1] KÜNAR, A., Gerçeklerin Işığında Dünya'da ve Türkiye'de Nükleer Enerji Sorunu, 14 Şubat 2000 <http://www.emoizmir.org.tr/dokumanlar/nukleer.doc>
- [2] <http://members.home.net./maydin/TurkElektrik>
- [3] ÜLTANIR, M. Ö., 21.Yüzyıla Girerken Türkiye'nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi, TÜSİAD Parlamento İşleri Komisyonu, Aralık, 1998
- [4] Çevre ve Enerji Kongresi Bildiriler Kitabı, Çevre-Enerji Kongresi ve Sergisi 5-7 Haziran 1997 Milli Kütüphane Kongre Salonu, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Yayın No:192, Ankara, 1997
- [5] Türk Tabipleri Birliği Yatağan'da Hava Kirliliğinin Değerlendirilmesi Raporu-2000 <http://www.ttb.org.tr/yatagan/>