

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NÜKLEER ENERJİ SANTRALI İLE
DOĞAL GAZ ENERJİ SANTRALİNİN
EKONOMİK VE EKOLOJİK YÖNDEN
KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Y.MÖH. MUHAMMAD YAQOOB**

Istanbul, 1993

Ö Z E T

İnsanlar enerjiyi fizyografik etkinliklerini sürdürmek için ve bunun ile birlikte endüstriyel araç ve gereçleri çalıştırma, ısınma, ısıtma, aydınlatma vb. amaçlar içinde kullanılmaktadır. O halde üretilen enerji ucuz ve güvenli olmalıdır. Bu neden ile çeşitli enerji kaynakları arasında bir seçim yapma sözkonusu olur. Bu tez için nükleer ve doğal gazdan üretilen elektrik enerjisi hem maliyeti hem de çevre yönünden karşılaştırılmalıdır.

Bu amacın tamamlanması için ilk önce ekonomi ve mühendislik ekonomisi hakkında bazı bilgiler elde edilir. Bundan sonra enerji maliyeti hakkında temel bilgiler elde edilir. Enerji maliyeti üç ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar sırası ile yatırım masrafları, işletme masrafları ve yakıt masraflarıdır. Nükleer ve doğal gaz santrali için ayrı ayrı bu masraflar hesaplanır. Bu mukayesede nükleer ve doğal gaz santralının yatırım ve işletme masrafları arasında pek fazla fark olmamaktadır. Fakat nükleer yakıtın maliyet içindeki hissesi, doğal gaz yakıt maliyet içindeki hissesinden çok daha azdır.

Sonuç olarak nükleer santralde üretilen elektrik enerjisinin birim maliyeti doğal gaz santralında üretilen elektrik enerjisinin birim maliyetine göre çok düşüktür. Fakat çevre ve güvenlik yönünden doğal gazdan daha zararlı ve tehlikelidir. Doğal gaz fosil yakıtlardan en temiz yakıttır. Dolayısı ile mümkün olduğu kadar nükleer enerjiden kaçınmak lazımdır. Doğal gaz kaynakları sınırlı olduğu için, nükleer enerji kaynakları hakkındaki araştırmalar geliştirilerek gerektiği zaman bu enerji kaynağı kullanıma hazır duruma gelinmelidir.

SUMMARY

Energy is used by the people to face the physiographic effects along with the purposes as to operate the machines, heating, lighting etc. Therefore produced energy must be cheap and safe. That is why it is required to make a selection between the different energy sources. The comparison between nuclear and natural gas power plants with respect to economy as well as ecology is performed in this thesis.

First of all some studies about the economy and engineering economy are gained in order to fulfill this purpose. After this basic studies are done about the cost of power generation. Cost of the power plant consists of three parts. These are capital costs, organization and management costs and fuel costs. These costs are calculated for nuclear and natural gas power plants separately. There is not much difference between the capital costs and organization costs of the nuclear and natural gas power plants. But fuel costs of nuclear power plant is much less than the fuel costs of natural gas power plant.

As a result, the unit costs of nuclear power plant is much less than the unit costs of the natural gas power plant. But nuclear energy is harmful and dangerous with respect to natural gas. Natural gas is very clean with respect to other fuels. So it is necessary to be away from using nuclear energy as much as possible. Since the natural gas sources are limited and not available in our country, therefore studies and projects about nuclear energy must be ready, whenever it is required.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

1- GİRİŞ	1
2- EKONOMİ	2
3- MÜHENDİSLİK EKONOMİSİ	3
3.1- Bugün ki Değere Getirilmiş Toplam Masraflar: (C)	3
3.2- Net Karın Bugünkü Değeri: (N)	4
3.3- Amortisman Katsayısı	5
3.4- Geri Ödeme Nispeti "Rate of Return"	5
4-ENERJİMALİYETİ	6
4.1- Direkt Yatırım Masrafları	6
4.2- Dolaylı Sermaye Masraflar	9
4.3- Enerji Maliyeti Hesabında Kullanılan Metodlar	11
5-NÜKLEERSANTRALLERDEENERJİMALİYETİ	14
5.1- Yatırım Masrafları	16
5.2- İşletme ve Bakım Masrafları	23
5.3- Yakıt Masrafları	25
5.4- Uygulama	30
6-DOĞALGAZİLEÇALIŞANSANTRALINENERJİMALİYETİ	39
6.1- Yatırım Masrafları	41
6.2- İşletme ve Bakım Masrafları	44
6.3- Yakıt Masrafları	45
6.4- Uygulama	46
7-NÜKLEERSANTRALİLEDOĞALGAZSANTRALININ EKOLOJİK YÖNDEN KARŞILAŞTIRILMASI	50
7.1- Ekoloji	50
7.2- Çevre Ekonomisi	51
7.3- Ekolojik Sorunlar	51
7.4- Enerji Sorunları	52
7.5- Nükleer Enerji	55
7.6- Doğal Gaz	57
8- SONUÇ	58
9-KAYNAKLAR	59
10- ÖZGEÇMİŞ	60

1. GİRİŞ

Bu tezin ana amacı nükleer santralında üretilen elektrik enerjisinin doğal gaz santralında üretilen elektrik enerjisinin maliyeti yönünden karşılaştırılması ve çevresel yönden araştırılmasıdır. Bu amacın tamamlanması için ilk olarak ekonominin bazı temel bilgilerini elde ettikten ve mühendislik ekonomisinin esasları gözden geçirildikten sonra enerji maliyetini hesaplama metodları incelenecektir.

Bu metodlardan uygun görülen metod kullanılarak enerji maliyeti hesaplanacak ve bu bakımdan nükleer santral ile doğal gaz santrali mukayese edilecektir.

Bu mukayesede nükleer santralının ve doğal gaz santralının yatırım masrafları ve işletme masrafları arasında pek fazla fark olmamaktadır. Fakat yakıt yönünden nükleer santral ile doğal gaz santrali önemli bir fark vardır. Nükleer yakıt çevrimi oldukça karışık işlemlerden oluşur ve bununla ilgili masrafları hesaplaması zordur.

Bütün bu bilgiler elde ettikten sonra iki santralin maliyeti için uygulama yapılacak ve ayrı ayrı birim enerji maliyeti bulunacaktır.

Daha sonra nükleer santralin doğal gaz santrali ile çevresel yönden karşılaştırılacaktır.

2. EKONOMİ

İnsanoğlunun gereksinmelerin daha fazla karşılanması için eldeki sınırlı kaynakların ve olanakların kullanılış biçimlerini araştıran bir bilim dalıdır. Daha fazla üretim, daha fazla tüketimi sağlayacağı için, daha fazla üretimin bulunduğu koşullar çerçevesinde, daha fazla gelir sağlamaya çalışmasıdır.

Olanakların sınırlı ve ihtiyaçların sonsuz olduğuna göre, eldeki olanakların en uygun biçimde kullanılması, değerlendirilmesi zorunluluğu ortaya çıkar.

Eldeki bu olanakları değerlendirirken bir seçim yapmak durumu söz konusudur. Bu neden, ile iki veya daha fazla olanaklar arasında bir seçim ortaya çıkar. Seçim yapması, kaynak ve olanakların en iyi şekilde kullanılması demektir.

Bir ülkenin ekonomik olarak kalkınması, kendi bünyesindeki bütün olanakların en iyi şekilde kullanılarak fazla ve kaliteli üretim yapması ve üretilen bu ihtiyaçları satmakla mümkündür. Ülkedeki olanakları kullanılarak iyi üretimler yapabilmesi için, sermaye ve teknoloji gereklidir. Bugünkü ekonomik sistemde insanoğlu, sermayeyi kar amacı için belli işlere yatırır. Buna sermaye piyasası ismi verilir. Sermaye piyasası ile birlikte işleyen bir de para piyasası vardır. Sermaye piyasasının esas unsuru "Fiyat"dır. Kaynakların, iş gücünün ve sermayenin tercihan hangi işe tahsis edileceğini fiyat belirler. Para piyasasının esas unsuru paradır. Para bir ölçü birimi, bir tedavül vastası ve bir tasarruf aletidir. Paranın gücü temsilidir. Sermayenin ödünç alınmasa ve bunun kirası faizdir. Mal piyasası, sermaye piyasası ve para piyasası alt sistemlerdir. Bunlar ile diğer organlar bir araya gelerek total ekonomik sistem oluştururlar.

3. MÜHENDİSLİK EKONOMİSİ

Üretim ve işletme tesislerinin ekonomik olarak seçilmesi endüstride çok önemli unsurdur. Bütün ekonomik işletmeler kar için yapılır. Kar olmayan bir işletmeye ne kadar iyi olursa olsun kimse girmek istemez. Endüstriyel bir sistemde mümkün olan teknik alternatifler arasında en ekonomik olanının seçilmesi istenir. Mühendislik ekonomisinin konusu bu hususu temin eden metodların incelenmesidir.

3.1. Bugün ki Değere Getirilmiş Toplam Masraflar :[C]

Bütün ekonomik problemlerde toplam masrafların bugünkü değere getirilmesi çok önemli bir işlemdir. Bu değer en ekonomik olan alternatifi tercih edilmelidir. Bu amaçla kullanılan formüller şöyledir.

$$C = \sum_{t=0}^{t=n} C_{(t)} (1+i)^{-t} \quad \text{veya} \quad C = \int_0^n C_{(t)} e^{-jt} dt \quad (1)$$

Burada ;

C = Toplam masrafların bugünkü değere getirilmiş toplam masraflar

n = Yıl sayısı

i = Faiz nispeti (% olarak alınır)

j = Yatırım geliri bileşke nispeti

t = Zaman süresi

Bu şekilde hesaplanan C'nin minimum olan alternatifi en ekonomik olanıdır. Bu hesabın yapılabilmesi için masrafların yıllara dağılımları bilinmeli ve bir ödeme planı seçilmelidir.

3.2. Net Karın Bugünkü Değeri : [N]

Yıllar itibari ile temin edilen net karları bugünkü değerlerinin toplamının maksimum olması, kullanılan değeri bir kriterdir.

$$N = \sum_{t=0}^{t=n} [B_{(t)} - C_{(t)}] (1+i)^{-t} \quad \text{veya}$$

$$N = \int_0^n [B_{(t)} - C_{(t)}] e^{-it} dt \quad (2)$$

$B(t)$ = Toplam gelir

$C(t)$ = Toplam masraflar

Üniform ödemeler "Sinking Fund" metodu

$$R = S \left[\frac{i}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (3)$$

n = Belirli süresi (yıl) ödeme süresi

S = Toplam sermaye

R = Her yıl belli ayrılan yıllık miktarı

Burada $\frac{i}{(1+i)^n - 1}$ = Sinking Fund katsayısı

3.3. Amortisman Katsayısı

Bir tesisin kuruluşunda yapılan toplam masrafların kredi faiz de dahil olmak üzere, belirli bir sürede geri ödenmesine "amortisman" adı verilir. Bu amaçla yıllık gelirden ayrılacak sabit masraflar aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$R = P \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (4)$$

Burada;

$$R = P \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \text{ Amortisman Katsayısı}$$

3.4. Geri Ödeme Nispeti "Rate of Return"

Net karın bugünkü değerini, istenilen bir sürede sıfır yapan faiz nispetine, "Rate of Return" adı verilir.

$$\sum_{t=0}^{t=n} [B_{(t)} - C_{(t)}] (1+i)^{-t} = 0 \text{ veya}$$

$$\int_0^n [B_{(t)} - C_{(t)}] e^{-it} dt = 0 \quad (5)$$

4. ENERJİ MALİYETİ

Enerji talebinin karşılanmasında kullanılacak alternatif sistemlerde enerjinin maliyetini hesaplamak için çeşitli metodlar kullanılabilir.

Uygun görülen metodlar kullanılarak bilinen enerji üretim sistemlerinde enerji maliyeti hesaplanmalı ve bu bakımdan nükleer santrallerin klasik santraller ile karşılaştırılmalıdır.

Nükleer santrallerin diğer enerji üretim santrallerinden önemli bir farkı vardır. Nükleer yakıt çevrimi oldukça karışık işlemlerden oluşur ve bununla ilgili masrafların hesaplanması zordur.

Nükleer santrallerde güvenlik sorunları, klasik santrallerde ise çevre sorunları enerji maliyetini etkiler.

Bu tür elektrik santrallerin kurulması durumunda bazı hususları göz önünde bulundurulması gerekir.

- Elektrik santrali daima elektrik kullanılan merkezlere yakın olmalıdır.
- Elektrik santralinde kullanılacak gerekli soğutma suyu kolaylıkla bulunmalıdır.
- Ağır malzeme ve aktif malzemelerin ulaşımı kolay olmalıdır.
- Yakıt ve artık madde ulaşımı kolay olmalıdır.
- Uygun ve güvenceli durumlar için deprem bölgelerindeki santraller çok hassas bir güvenlik sistemine sahip olmalıdırlar.

4.1. Direkt Yatırım Masrafları

Genel olarak yer infrastrukture, inşaat ve diğer malzemeler bu masraflara girer. Nükleer santralin da ilk yakıt masrafları ve ağır su masraflar bu sınıfa girmektedir.

a/ Makam:

Makam olarak elektrik santralını iki sınıfa ayırmak mümkündür.

Hidro elektrik ve ignite elektrik santral

Nükleer ve akar yakıt elektrik santral

Birinci gruptaki enerji kaynağına doğrudan doğruya bağlı olduğu için enerji olan yerlerde olmak zorundadır. İkinci grup ise bu durumdan daha serbesttir. İkinci grup santrallerin kurulmasında dikkat edilecek bazı noktalar vardır bunlar.

- Elektrik santral enerji ihtiyaç olan merkeze yakın olmalı.
- Elektrik santral için gerekli soğutma suyu bulunmalı.
- Elektrik santralından kısa ulaşım ile ağır madde ve aktif madde ulaşımı kolay olmalı.
- Elektrik santralleri deprem gibi tehlikeli bölgelerde kuruluyorsa hassas emniyet sistemi olması gerekir.
- Nükleer santral nüfusu çok olan bölgeden uzak olmalıdır.
- Nükleer santralin inşaatı başlamadan önce bölgeden izni alınması gerekir.

b/ Infrastructure Yatırımları:

Bu yatırım ise, elektrik santrali için yer ve gerekli olan diğer yatırımlar masraflarını içerir. Bu yatırımları masraflarını şöyle sıralayabiliriz;

- Yolların yapımında olan masraflar,
- Ana şebekeye ilanı inşaat masrafları,
- Gerekli olan soğutma suyu için inşaat masrafları,
- Bölge hazırlık için olan masrafları.

c/ İnşaatı:

İnşaat bakımından, nükleer ve konveksiyonel santraller arasında pek fazla bir fark yoktur.

Nükleer santralin inşaatını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

- Reaktör inşaatı,
- Türbin ve generatör inşaatı,
- Operasyon ve temin inşaatı,
- Elektrik şalter evi,
- Yakıt inşaat,
- Diesel inşaat,

Ana fark reaktör inşaatı ile yakıt inşaatı arasında olur. Reaktör inşaatı genel de silindir şekilde olur ve birden fazla duvarlar oluşur. Bu inşaat çimento ile yapılır. Emniyet konusunda bu kazalarda ışınları önlemek amacıyla çok özel inşaat yapılır. Bundan başka bu inşaat çok ağır olan reaktor vessel gibi 400 ile 500 ton arasındaki ağırlığı olan malzemelerle destek verilmektedir ve 2 ile 3 metre kalınlıktaki biyolojik siper olur. Aynı şekilde yakıt inşaatı da özel olarak yapılır.

d/ Malzemelerin düzenlenmesi:

Nükleer enerji santralini düzenleyen malzemeleri aşağıdaki gibi gruplandırılmak mümkündür.

- (i) Nükleer buhar ulaşım sistemi (NSSS),
- (ii) Santral'n dengesi,
- (iii) Ağır suyu,
- (iv) Kısım yakıt üreticisi,

(i) Nükleer buhar ulaşım sistemi:

- NSSS da reaktör kor,
- Ana devre,
- Ana buhar üreticisi,
- emniyet ve acil soğutma sistemi,
- Yakıt stok ve kontrol kolaylıkları,
- Aktif gaz ve kontrol sistemi,
- Artık organize sistemi,
- Semal reaktör kontrol için malzemeler mevcut olur.

(ii) Santral'n dengesi:

Santralin dengesi NSSS dışında bütün şeyler içerir

(iii) Ağır suyu:

Ağır suyu santralin için özel olarak yapılır. Bu da reaktör tipine bağlı bir faktördür.

Bu sadece ağır suyu kullanılan reaktör de yapılır. Tehmin olarak 1 MWe enerji üretmek için en az bir ton ağır suyu gerekir.

(iv) Kısım yakıt üreticisi

Reaktör ilk yakıt masraflarını bir senede 3 ile 4 oranında harcar. İlk yakıtın yarısı ana sermaye masraflarında toplanır.

4.2. Dolaylı Sermaye Masraflar

Konstrüksyon ile doğrudan doğruya ilişkisi olmayan masraflar dolaylı masraflar olarak tanımlanır.

Dolaylı sermaye masraflarını aşağıdaki gibi sınıflandırabiliriz.

- a - Mühendislik
- b - Konstrüksyon ek masraflar
- c - İşletme ve komisyonu
- d - Eskalasyonu
- e - İnşaat sırasındaki faiz
- f - Contingencies
- g - Konstrüksyon zaman ve program

a/ Mühendislik

İnşaat başlamadan önceki mühendislik ve diğer görüşme masraflarını bu isimleri altında aşağıdaki gibi verebiliriz.

- Santral hakkında çalışma,
- Ana projesinin hazırlanması,
- Santralin teminatı,
- Kontrolü.

b/ Konstrüksyon ek masrafları

Santralin konstrüksyon ihtiyaçları için yapılan bütün masrafları içerir. Bu masraflar geçici masraflardır ve santralin konstrüksyonu sonunda hiç bir değer kazandırmamaktadır. Bunları aşağıdaki gibi açıklayabiliriz.

- Konstrusyon malzemeleri (makinalar v.b)
- Geçici atölye ve inşaatı
- Ustalık
- Proje masrafları
- Alan mühendislik

c/ İşletme ve komisyonu

Test sırasında ve komisyon masraflarını içerir. Bunları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

- Ehliyet harcı,
- Atom enerji komisyonu,
- Kontrol organizasyonları tarafından kontrol için yapılan masraflar,
- Santralın çalışma testi,
- Santral başlangıç testi,
- Çalışma başlamadan önceki tamir.

d/ Eskalasyon

Mühendislik makina vb. gibi masraflar eskalasyon denir. Bu gibi masrafları azaltmak amacıyla aşağıda verilen hususlara dikkat edilmelidir.

- Mühendislik süresi mümkün olduğunca az olmalıdır,
- İnşaat süresi başlamadan önce masraflar gözden geçilmelidir.

e/ Konstruksyon sırasındaki faizi

Tek başında bir santral inşaatı yapılması çok güç bir olaydır. Bu nedenle herhangi bir yerden ödünç veya kredi alınması söz konusudur. Bu para zamanla faiz masrafı getirir. Bu faizi azaltmak için aşağıdaki noktalara dikkat edilmelidir.

- Başlangıç zaman mümkün olduğunca kısa olmalıdır,
- Masraflar mümkünse konstrusyon süreli olmalı,

Yukarıda açıkladığımız gibi faiz ve eskalasyonun birbirine bağlı olduğu görülür. Eskalasyonun azalması faiz oranının artması demektir veya faizin azalması eskalasyonun artmasıdır. Bu neden ile bir optimum program gerekmektedir.

f/ Contingencies

Contingencies'den dolayı saklanan bir miktar para da ana sermaye girer. Bu ise konstruksiyonun ve zamanın gecikmesinden dolayı bazan zor durumlar gösterir.

Contingencies ana şeyler aşağıdaki gibi verilebilir.

- Dizayndaki değişiklikler,
- Konstrüksiyon sırasındaki zor durumlar,
- Labovatuvar testi gecikmesi,
- Santralin bazı parçalarının gecikmesi.

g/ Konstruksiyon zaman ve program

Eskalasyondan ve faizden kurtulması için konstrüksiyon zamanının tahmini çok iyi olmalıdır.

4.3. Enerji Maliyeti Hesabında Kullanılan Metodlar

Birinci Metod: Yıllık ürtim Maliyeti $g = Ca/Ea$

a/ Temel Kural : Seçilmiş bir yılda sermaye (O & M) ve yakıt masrafları toplamının 10 yıl üretilen elektrik miktarına bölünmesi ile bulunur.

b/ Alt Değişkenleri :

- Sermaye masrafları hesabındaki değişik metodlar
- O yılki para değeri kullanılır (enflasyon içinde) veya enflasyonsuz sabit para değeri kullanılır
- İlerideki fiyat değişimleri de hesaba katılabilir

c/ Düşünceler: Ortalama maliyet hakkında fikir veren nispetde basit bir metoddur.

Santralin ortalama elektrik üretimi kullanılarak hesap yapılır.

İkinci Metod: 2. Bir değere getirilmiş masraflar metodu levelised costs

$$\frac{\sum_{t=0}^n C_t \cdot (1+r)^{-t}}{\sum_{t=0}^n E_t \cdot (1+r)^{-t}}$$

a/ Temel Kural: Santralin ömrü boyunca her yıl yapılan sermaye, (O & M) ve yakıt masraflarının bir değere getirilmiş toplamı her yıl üretilmiş elektrik miktarının başa getirilmiş toplamına bölünerek bulunur.

b/ Alt Değişkenleri:

- Bir değere getirilmiş masraflar o yılki para cinsinden ifade edilir.

$$(1 + i)^{-n}$$

veya enflasyonu da içeren gerçek para değeri cinsinden ifade edilir.
"Constant money"

$$(1 + r)^{-n}$$

- Değişik yakıt stratejileri ve fiyatları kullanılabilir.

c/ Düşünceler: Tek bir santralin hesabında kullanılır.

Alternatif projelerin ulusal ve uluslararası mukayesesinde faydalı olan bir methodur. Yıllara göre değişen masraflar hesaba katılmış olur.

Üçüncü Metod: Sistem Maliyet Analizi

a/ Temel Kural: Talep ve yatırım politikası göz önünde bulundurularak eklenecek yeni ünite ile şebekenin ortalama enerji maliyeti hesaplanır.

b/ Alt Değişkenleri:

- Bir değere getirilmiş masraflar o yılki para cinsinden ifade edilir.

$$(1 + i)^{-n}$$

veya enflasyonu da içeren gerçek para değeri cinsinden ifade edilir.
"Constant money"

$$(1 + r)^{-n}$$

- Değişik yakıt stratejleri ve fiyatları kullanılabilir.
- Money of the year
- Constant money gerçek rate of return ve gerçek eskalasyon para deęerleri kullanılabilir.

c/ Düşünceler: Ulusal elektrik şebekelerinin geliştirilmesinde en uygun alternatif projenin bulunmasında kullanılır uluslararası mukayeselerde kullanılamaz.



5. NÜKLEER SANTRALLERDE ENERJİ MALİYETİ

Fosil yakıt santrallerindeki gibi nükleer santrallerde yıllık sermaye masraflarına (amortisman) yıllık işletme ve bakım (O & M) ve yakıt masrafları eklenerek bulunan yıllık toplam masraf ortalama yıllık elektrik üretimine bölünerek elektrik enerjisinin maliyeti bulunur.

$$g = \frac{\sum_{t=0}^{t=n} (C_a + C_m + C_f)_t \cdot (1+r)^{-t}}{\sum_{t=0}^{t=n} E_t \cdot (1+r)^{-t}} \quad (6)$$

g : Santralde üretilen elektrik enerjisinin birim maliyeti (mills/kwh)

C_a : Yıllık sermaye masrafları [\$/yıl]

C_m : Yıllık O & M masrafları [\$/yıl]

C_f : Yıllık yakıt masrafları [\$/yıl]

E_t : Yıllık elektrik üretimi [\$/yıl]

$(1+r)^{-t}$: Bugünkü değere getiren bir faktör.

Yıllık sermaye masrafları, yıllık O & M masrafları ve yıllık yakıt masraflarının bugünkü değerlerine ayrı ayrı elektrik üretimini bugünkü değerine bölmek sureti ile (mills/kwh) olarak bunların üretim maliyeti içindeki hisselerini bulmak ve bunları toplamakta aşağıdaki şekilde mümkündür.

$$g = \frac{C_a}{E_t} + \frac{C_m}{E_t} + \frac{C_f}{E_t} \quad (\text{mills/kwh})$$

$$g = g_c + g_m + g_f \quad (\text{mills/kwh})$$

g_c = Elektrik üretim maliyeti içindeki sermaye hissesi (mills/kwh)

g_m = Elektrik üretim maliyeti içindeki O & M hissesi (mills/kwh)

g_f = Elektrik üretim maliyeti içindeki yakıt hissesi (mills/kwh)

Nükleer santrallerde gözlenen en önemli fark yakıt masrafı hesabının daha karışık olmasıdır. Nükleer yakıt reaktöre girmeden önce çeşitli işlemlerden geçer ve bunlar da olan masraflara ön masraflar denir. Reaktörler de kullanılmış yakıtlar da uzun zaman sonraları bazı işlemlere tabi tutulur. Bunlara ise arka masraflar denir. Bütün bu masrafların yıllık masraflarına intikal ettirilmesi gerekmektedir.

Elektrik maliyetinin hesabında bahis konusu olan tüm unsurları şematik olarak aşağıdaki gibi göstermek mümkündür.

TOPLAM MASRAFLAR

<u>Sermaye</u>		<u>İşletme</u>	<u>Yakıt</u>
Başlangıç sermayesi	Servisten çıkarma	<u>Sabit</u>	- Uranyum
- Esas masraflar		<u>Orantılı</u>	- Çevirme, UF ₆
- Mal sahibi masrafları			- Zenginleştirme
- Ek masraflar			- Arka Masraflar

Bu şekilde görüleceği gibi yıllık toplam masrafları sermaye masrafları, işletme masrafları ve yakıt masrafları olarak üç ana gruba ayrılmıştır.

Başlangıç sermayesi masrafları esas masrafları mal sahibi masrafları ve yakıt masrafları olarak üç alt gruba ayrılır. Son zamanlarda başlangıç sermayesi masraflarına santralin ömrü dolduktan sonra servisten çıkarma masraflarının da eklenmesi alışkanlık olmuştur.

Santralin fiziksel inşaat masraflarına esas masraflar adı verilir. Mal sahibinin idari, müşavirlik staj v.b gibi dolaylı masrafları ile inşaat süresince eskalasyonu ve faiz gibi parasal masraflar ve ayrıca taşıma sigorta, yedek parça, bilinmeyenler (contingencies) gibi ek masrafların toplamı sermaye masraflardan oluşur.

İşletme masrafları, aynen fosil yakıt santrallerinde olduğu gibi sabit masraflar ve işletme ile orantılı masraflardan oluşur.

Yakıt masrafları, uranyum temini, bunun uygun şekillere dönüştürülmesi yani UF₆ gerekirse zenginleştirme yakıt imalatı gibi ön masrafları ile kullanılmış yakıtların depolanması, taşınması, gerekli ve yeniden işleme tabi tutulması ve nükleer artıklar idaresi gibi arka masraflardan oluşur.

5.1. Yatırım Masrafları

Tablo- 1'de OECD-NEA ülkelerinde bildirilen Referans santraller için, ECU/kwe olarak 1 Ocak 1981 fiyatları ile sermaye masrafları gösterilmiştir (Ref No.3).

Tablo-5.1. Nükleer Sermaye masrafları Dökümü									
İkonto Nispeti %5 ECU/kWe 1 Ocak 1981									
Ülkeler	Ref.Santral		İnşaat Masrafları	İnşaat Süresince Faiz	Ağır Su	Kapatma Masrafları	Toplam Yatırım		
	Tip	Soğutma Şekli						İnşaat	Eskalasyon
xMWe									
Belçika	PWR	Karışık	857	0	117	22	996		
	2x1000								
Kanada	CANDU	Göl	469	(-1)	129	5	757		
	4x881								
Fransa	PWR	Hava	647	39	92	33	811		
	2x1275								
Almanya	PWR	Hava	1018	40	173	27	1259		
	1x1285								
İtalya	PWR	Deniz	682	0	83	20	785		
	2x100								
Japonya	LWR	Deniz	915	0	130	21	1066		
	4x1100								
Hollanda	BWR	Deniz	1003	28	192	51	1274		
	1x931								
Norveç	PWR	Deniz	825	0	160	20	1005		
	1x1000								
İsveç	BWR	Deniz		1341		59	1400		
	2x1000								
İngiltere	PWR	Deniz	1357	348	487	69	2261		
	(2)1x1110								
A B D	PWR	Göl+	968	98	308	43	1417		
	1x1200	kulesi							
(1) Eskalasyon İnşaat masrafları içinde gösterilmiş merkezli kanada için									
(2) İki türbinli santral									

Tablo-2. OECD Ülkelerinde Nükleer Santral Yatırım Masrafları R-%5 \$/KWE Mart 1983										
Ülkeler	Ref. Santral xMWe	Data Mensel	İnşaat Masrafları	İnşaat süresince Eskalasyon	Faiz	Ağır Su	Kapatma Masrafı	Toplam Yatırım		
Belçika	PWR 2x1000	(-1)	1011	0	138		26	1175		
Kanada	CANDU 4x1275	İnşaat	849	(-2)	233	279	9	1370		
Fransa	PWR 2x1275	(-1)	783	47	111	40	40	981		
Almanya	PWR 2x1285	(-1)	1395	55	237		37	1724		
İtalya	PWR 2x1000	(-1)	934	0	114		27	1075		
Japonya	LWR 4x1100	İnşaat	1244	0	177		29	1450		
Hollanda	BWR 1x931	Etüd	1324	37	253		67	1681		
Norveç	PWR 1x1000	Etüd	1130	0	219		27	1376		
İsveç	PWR 2x1000			1421			63	1484		
İngiltere	PWR 1x1000	İhale (3)	1560	400	560		80	2600		
A B D	PWR 1x1200	Ref. (4) Etüd	745	75	237		33	1090		
(1) UNIPED ülkeleri, müşterek etüd (2) Eskalasyon İnşaat bedelli içinde, orta Kanada										
(3) Halen İnşa halinde bulunan CEGB sizewell-B santrali, iki türbin										
(4) Müşavir Müh. Referans santral etüdü, 15 yıl sonra gerekecek 40 ara parça değiştirme masrafı harlı										

Tablo- 2'den görüleceği gibi nükleer santralin sermaye masrafları yaklaşık olarak kömür santrala göre 1,75 kat ve fuel-oil santrala göre 2 katıdır. 1993 değere göre 1,5 katı kadardır.

Tablo-2'yi incelemiş olursak anlaşılan diğer hususlar da şunlardır.

- Toplam yatırım bedelinin % 2 ile % 4 kadar bir meblağın kapatma masrafı olarak eklenmesi adet olmuştur.

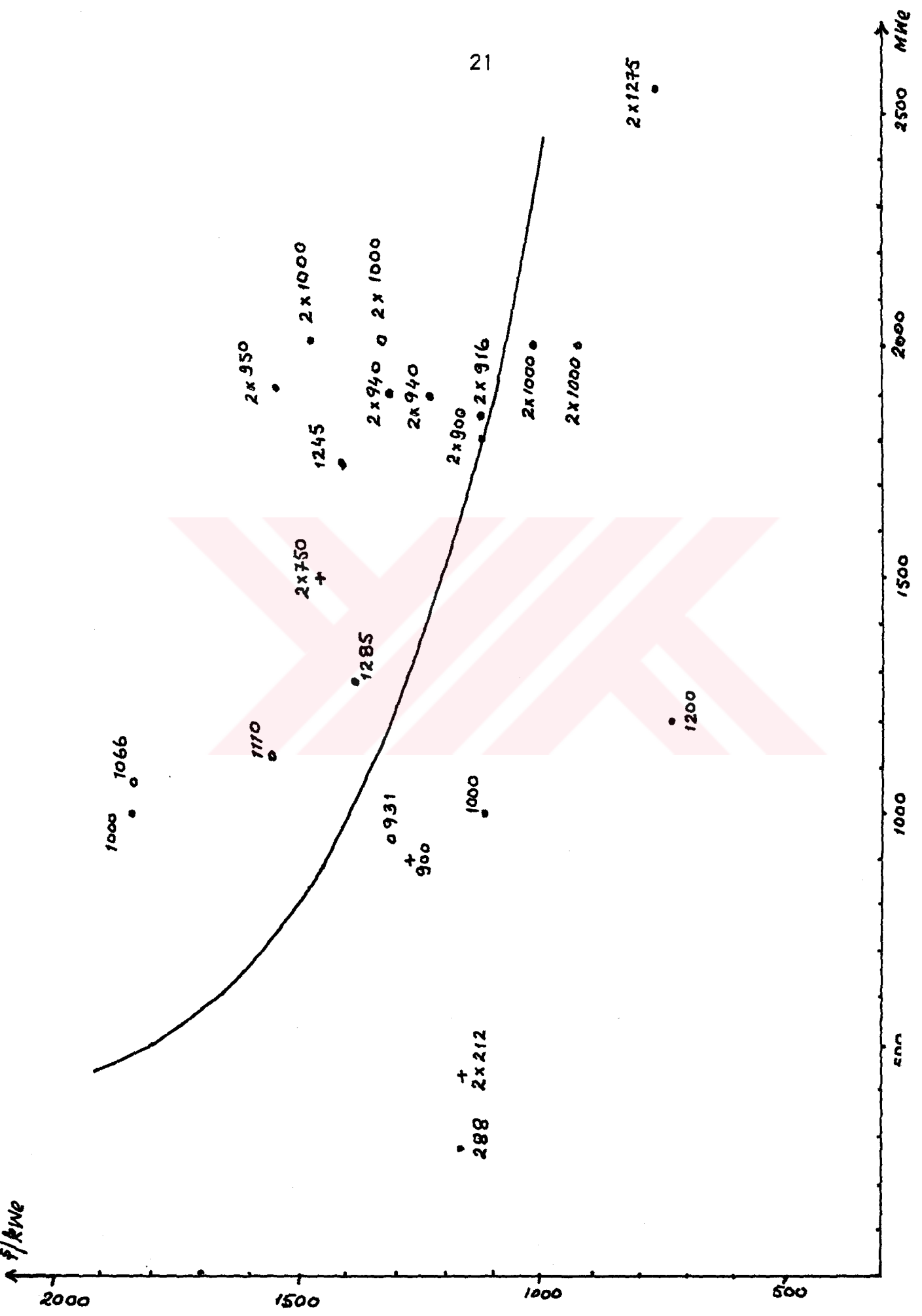
- Ağır sulu santrallerde D₂O ilk yükü toplam yatırımın % 20'si kadar tutmaktadır.

(Not: Birim inşaat masrafları eğerisinden görüleceği gibi ufak güçlerdeki birim masrafları çok büyük olur.)

- İnşaat süresince faiz ve eskalasyonu seçilen kabullere göre ülkeden ülkeye çok farkı olmakla beraber bu da yaklaşık olarak toplam yatırımın % 15 ile % 20 si kadar olabilmektedir.

OECD dışı bazı İAEA ülkelerinde ulusal verilere göre referans gösterilen santrallerin yatırım masrafları aşağıda verilmiştir. (Tablo-3)

Tablo-3. Bazı IAEA üyesi ülkelerde Nükleer Santral Yatırım masrafları, Ocak 1987 \$									
Ülkeler	Tip	Referans Santral		Bilgi	Döviz		İnşaat	İnş. Süresi	Toplam
		Çuç	Soğutma		Kuru	\$/kwe			
		xMWe	Şekil	Menşel	NCU/\$	Masrafı	Falz	Yatırım	
Brezilya	PWR	1x1245	Deniz	Etüd	(1)	1422	613	2035	
Çin	PWR	1x288	Nehir	İnşaat	4	1185	519	1704	
	PWR	2x900	Deniz	Proje	Y/\$	1149	519	1668	
Çekoslovakya	PWR	2x916	S.Kulesi	Etüd	14 (2) Kcs/\$	1140	181	1321	
Macaristan	PWR	2x950	Nehir	İhale	54.7 (2) Ft/\$	1554	676	2230	
Hindistan	PHWR	2x212	Nehir	İnşaat	15	1172	294	1466	
	PHWR	2x450	Nehir	İhale	Rs/\$	1288	(3)325	1613	
Endonezya	PWR	2x1000	Deniz	Etüd	(1)	1484	418	1902	
	PHWR	2x750	Deniz	Etüd	(1)	1467	420	1887	
G.Kore	PWR	2x940	Deniz	İnşaat	792 W/\$	1319	387	1706	
Polonya	PWR	2x940	S.Kulesi	Etüd	315 (2)	1244	250	1494	
Türkiye	PWR	1x1066	Deniz	Teklif	757.8	1850	347	2197	
	PWR	1x636	Deniz	Teklif	TL/\$				
Yugoslavya	PWR	1x1000	S.Kulesi	Etüd	(1)	1850	619	2469	
(1) Fiyat datası \$ olarak verilmiş									
(2) Parası convertible olmayan ülkeler, İtiban değerler									
(3) İnşaat süre									
(4) İlk yakıt yükü dahil									



Nükleer Santralin Masraflarının Dağılımı

DOĞRUDAN (DIRECT) MASRAFLARI	%
- Santral yatırımını ve düzenlenmesi	2
- Yapı ve binalar	16
- Nükleer ada, Reaktör sistemi	37
- Türbin-jeneratör Bina Tesisatı	29
- Kontrol ve Elektrik tesisatı	10
- Santralin geri kalan mekanik tesisatı	2
- Taşınma ve Taşınma sigortası	<u>4</u>
Fizik santral direk masraflar toplam	100

DOLAYLI MASRAFLAR	
- Alıcının genel idari masrafları	15
- Müşavir mühendislik hizmetleri	35
- Alıcının inşaatla ilgili masrafları	7
- Eğitim ve staj giderleri	5
- Yedek parça stoku	4
- Bilinmeyen masrafları (contengencies)	<u>36</u>
İndirekt masraflar toplam	100

(Not: İkiz santral inşa etmekte % 1 ile % 15 kadar bir ekonomi temin etmek mümkündür.)

PARASAL MASRAFLARI	
- İnşaat süresince eskalasyon	17
- İnşaat süresince faiz	72
- Santralin kapatılması masrafları	<u>11</u>
Parasal masrafları toplam	100

Nükleer santralin yaklaşık olarak toplam inşaat bedelinin % 80 kadarı, doğrudan inşaat masraflarının % 20 kadarı ise dolaylı masraflardır.

Sistemin esas kısmı olan ve tamamı ile dış güvenlik kabuğu içinde bulunan nükleer ada, reaktör, buhar jeneratörleri, basınçlandırıcı dolaşım pompaları ve birinci soğutma devresi borularından oluşur. Nükleer buhar üretim sistemi (NSSS) parasal tutarı doğrudan inşaat masraflarının yaklaşık olarak % 35 kadar toplam yatırımın ise % 30'u kadardır.

İnşaat süresince eskalasyon ve faiz gibi parasal masraflar oldukça önemli bir yekün tutmaktadır. Faiz nispetine göre plan yatırımın % 20 ile % 25 kadarı alabilir.

5.2. İşletme ve Bakım Masrafları

Nükleer santrallerde de O & M sabit ve orantılı olmak iki kısma ayrılır.

Ülkeden ülkeye değişik olarak sabit masrafların %30 ile %80'ni işçi ücret ve aylıklarından oluşur.

Tablo-4. Bazı IAEA Üyesi Ülkelerde O&M Masraflar ve Nükleer Yakıt Çevrimsel Fiyatları											
Ülkeler	Ref. Santral		Sabit	D&M		Uranyum	Yakıt Çevrimsel Fiyatları \$/kgu				
	Tip	MWe		Oranlı	Oran		Çevirme	Zenginleş-tirme	Yakıt	Arka	İmalatı
Brezilya	PWR	1245	35.4	0.32	78	6	130	190	580		
Çin	PWR	288	34	-2							
	PWR	2x900	31		62.5	4	88.3	180			
Çekoslovakya	PWR	2x916	36.3	0.26	53.6		76.6	150			
Macaristan	PWR	2x950	22.8								
Hindistan	PHWA	2x212	55.5	0	266.7	İçinde		İçinde	İçinde		
	PHWA	2x450	50.2	0	266.7	İçinde		İçinde	İçinde		
Endonezya	PWR	2x1000	29.4	0.8	78	5	125	240	700		
	PHWR	2x750	31.6	0.4	78			50			
G.Kore	PWR	2x940	33.5		73	5	110	220	590		
Polonya	PWR	2x940	74.2								
Türkiye	PWR	1066	23.6		65	5	110	185	465		
	PHWR	636	31		62			64			
Yugoslavya	PWR	1000	62.4								
(1) Zenginleştirme fiyatı \$/kgswu cinsinden verilmilmiştir											
(2) Yerli imalat fiyatları uluslararası fiyatlara uymuyor											

İşletme ve bakım masrafları Tablo 4'de verilen orantılı ve sabit masraflar aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$g_m = g_{m \text{ pro}} + g_{m \text{ con}} \text{ [mills/kWh]}$$

burada ;

g_m : Enerji maliyeti içindeki işletme ve bakım masrafları hissesi (mills/kwh)

$g_{m \text{ pro}}$: Enerji maliyeti içindeki orantılı işletme ve bakım masrafları
(mills/kwh)

$g_{m \text{ con}}$: Enerji maliyeti içindeki sabit işletme ve bakım masrafları hissesi
(mills/kwh)

$$g_{m \text{ con}} = \frac{C_{m \text{ con}}}{E_t} \text{ (mills/kwh)}$$

$C_{m \text{ con}}$: sabit işletme ve bakım masrafları (\$/yıl)

E_t : Ortalama yıllık elektrik üretimi (kwh/yıl)

$$C_{m \text{ con}} = N_e \cdot C_{\text{con}} \text{ ($/yıl)}$$

N_e : Nükleer santralin gücü (MWe)

C_{con} : Sabit işletme ve bakım masraflarına bağlı sabit sayı

(Not: $g_{m \text{ pro}}$ ve C_{con} tablo 3.7'den alınmıştır.)

5.3. Yakıt Masrafları

Nükleer yakıt çevrimi masrafları ülkeden ülkeye değişik olup, ülkenin politikasına ve kullanılan reaktör tipine bağlıdır. Yakıt çevriminin iki cephesi vardır, ön cephesi ve arka cephesi. Buna göre yakıt masrafları da ön masraflar ve arka masraflar olarak iki kısma ayrılır.

TABLO/5

Tablo-5.OECD ülkelerinde geçerli olan nükleer yakıt çevrimi fiyatları aşağıda verilmiştir. OECD ülkelerinde Nükleer Yakıt Çevrimi Fiyatları Ocak 1984 \$

	Uranyum	Çevirme	nginleştirim	Yakıt	Arka	Plütonyum
Ülkeler	Konsantre	UP6		İmalatı	Masraflar	Kredisi
	\$/kgu	\$/kgu	\$/kg swu	\$/kgu	\$/kgu	\$/kgu
Belçika	86	5.4	120	169	877	15
Kanada	75	10		42		
Finlandiya	80	6	130	190	500	
Fransa	75.2	5	123	171	(3) 736	11.8
Almanya	78.6	5.4	125	202	(3) 1177	
İtalya	85.3	5.1	125	202	1137	5.1
Hollanda	78.2	5.9	114	161	1040	13
Norveç	104	7	140	220	(2) 300	
İspanya	71.3	5	135	221	804	
İsviçre	78	5	122	200	1176	5
Türkiye						
CANDU	52			60	42	
PWR	52	3		200	(2) 390	
İngiltere	79.3	7.2	137	202	(2) 413	
ABD	8.5	8.5	136	210	(2) 350	

(1) Reproses çevrimi

(2) Tek geçişli çevrim

(3) Camlaştırılmış artıkların geçici depolanması dahil

Ön masraflar, doğal uranyum temini ve uygun şekillere dönüştürülmesi gerekiyor ise zenginleştirilmesi ve yakıt imalatı masraflarından oluşur. Bu masraflar yakıt reaktöre girmeden aylarca evvel başlar.

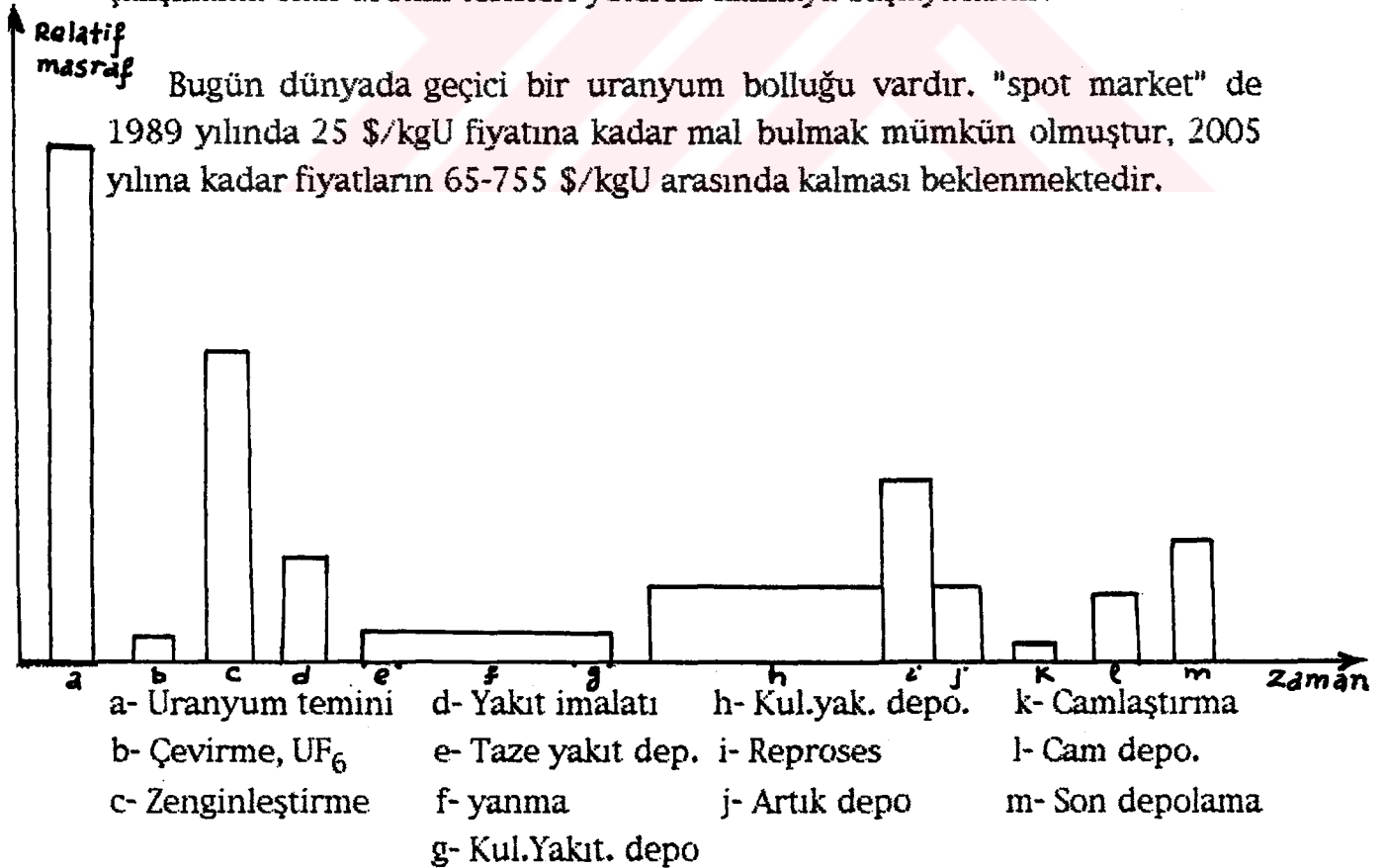
Arka masraflar kullanılmış yakıtın depolanması, taşınması, gerekiyor ise reproses işlemine tabi tutulması ve nükleer artıklar idaresi masraflarında oluşur ve yakıt reaktörden çıktıktan sonra yıllarca sürer.

B Bugün kullanılmakta olan Tek Geçişli (once through) çevrimde arka masraflar kullanılmış yakıtın kısa ve orta vadeli depolanmasını içerir.

Tablo-5 de yakıt çevrimi masraflarının ön ve arka cephelerinin zaman içinde yayılması ve bunların relatif fiyatları gösterilmiştir.

Dünyadaki ucuz uranyum rezervleri, batı dünyasının 1989 yılı tüketiminin 50 katı kadardır, maliyeti, 80 \$/kgU olan rezervlere ucuz uranyum adı verilmektedir. Dünya uranyum tüketiminin 2005 yılına kadar normal bir şekilde artması beklenmektedir, bu yıldan itibaren halen çalışmakta olan üretim tesisleri yetersiz kalmaya başlayacaktır.

Bugün dünyada geçici bir uranyum bolluğu vardır. "spot market" de 1989 yılında 25 \$/kgU fiyatına kadar mal bulmak mümkün olmuştur, 2005 yılına kadar fiyatların 65-755 \$/kgU arasında kalması beklenmektedir.



Bugün zenginleştirme 4 üretici tarafından yapılmaktadır.

Gaz Difüzyonu metodunu kullanan:

DOE Enerji Kurumu, (ABD), Eurodif ortakları (Fransa)

Santrifüj ayırma metodunu kullanan:

Urenco (UK, Almanya, Hollanda), Techsnacport (Rusya)

DOE nin resmi fiyatı 117 \$/kg swu isede 1989 yılında 60 \$/kg swu fiyatına kadar zenginleştirme yapılmıştır.

Yakıt imalatı fiyatları halen 200 ila 250 \$/kgU kadardır. Repruses fiyatları ise 700 ila 800 \$/kgHM kadardır. Camlaştırılmış artıkların geçici depolanması (2000 MEU kapasite, 50 yıl) fiyatları 150 ila 250 \$/kgU arasındadır. Kullanılmış yakıtların son depolanması fiyatları, pilot tesis verilerine göre 600 ile 700 \$/kgU kadar dır.

Yakıt çevrimi hesaplarında tek geçişli çevrim için kullanılmış yakıtların, reaktör dışında geçici depolanması, reprove hesaba katılmaktadır.

Tablo-6'dan görüleceği gibi, Tek Geçişli Çevrimlerde yakıt çevrimi masrafları yarı yarıya düşük olup, 300 ile 400 \$/kgU kadardır. 1984 \$ değeri ile çeşitli ülkelerin ortalaması olarak uranyum fiyatının $tg\$/kgU$, UF_6 çevirme masrafının 6 \$/kgU, zenginleştirme fiyatının 125 \$/kgSWU, yakıt imalatı fiyatının ise LWR tipi reaktörler için 195 \$/kgU, PHWR tipi reaktörler için 50 \$/kgU olduğu görülmektedir. Pu kredisi olarak düşünülen miktar ülkeden ülkeye çok değişik olup 5 ile 10 \$/kgU Pu kadardır.

Yakıt Çevrimi Masraflarının Hesabı:

Basit bir hesap yapılmak istendiği zaman, zengin -U fiyatı (\$/kgU) bulunur, yıllık yakıt tüketimi (kgU/a) hesaplanır, bu şekilde bulunan yıllık yakıt masrafı (\$/a), ortalama yük sayısı ile hesaplanmış olan (kwh/a) elektrik üretim miktarına bölünür.

Zengin -U fiyatı aşağıdaki şekilde bulunur.

$$F_{zu} = U \cdot F_u + U \cdot F_{\phi} + W F_z + F_i \quad (7)$$

Burada

F_u : Uranyum konsantresi fiyatı, \$/kgU

F_{ϕ} : UF₆'ya çevirme fiyatı, \$/kgU

F_z : Zenginleştirme fiyatı, \$/kgSWU

F_i : Yakıt elemanı imalat fiyatı, \$/kgU

U : 1 kg Z.U. elde etmek için tüketilen D.U. miktarı, kg/kg Z.U.

W : 1 kg Z.U elde etmek için gerekli ayırma işi miktarı KgSWU/kg Z.U.

1 kg Z.U. elde etmek için tüketilen D.U. miktarı veya zengin uranyumun D.U. eşdeğeri aşağıdaki gibi bulunur.

$$U = \frac{N_p - N_w}{N_f - N_w} \quad (8)$$

Burada

N_p : Zengin -U izotop yüzdeki, %U²³⁵

N_f : Doğal -U izotop yüzdesi "

N_w : Kuyruk zenginliği %0.2 veya %0.322

1 kg Z.U. imal etmek için gerekli işin hesabında kullanılan izotopik potansiyel aşağıdaki şekilde bulunur.

$$V_{N^F} = (2N - 1) \ln \frac{N}{1 - N} \quad (9)$$

Kullanılan zenginliklerin izotopik potansiyeller bulunduktan sonra ayırma işi birimi (SWU) aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanır.

$$W = 1 \times V_p + (U - 1) V_w - UV_f \quad (10)$$

Burada aslında bir iş olmakla beraber Kg olarak ifade edilmektedir.

Bir reaktörün en önemli karakteristikleri Termik verim (η_t), Yanma Oranı (Bu MWg/ton) ve Özgül Güç P_s (MW/ton)dur. Bunlar bilindiği takdirde reaktörün ilk yakıt yükü ve yıllık yakıt tüketimi hesap edilebilir.

$$Y = \frac{1}{P_s} \cdot \frac{MWe}{\eta_t} \quad (11)$$

Yıllık yakıt tüketimi :

$$y = \frac{MWe \cdot L \cdot 365}{\eta_t \cdot B_u} \quad (12)$$

Burada L şebeke yük sayısıdır.

5.4. Uygulama

Uygulama olarak 600 MWe gücündeki bir nükleer santralinde üretilen elektrik enerjisinin maliyetini hesaplayalım:

Verilenler:

Santral termik verimi = $\eta_t = 0.33$

Şebeke yük sayısı = L : %65

Amortisman ömrü = n = 25 yıl

İnşaat süresi = 5 yıl

Eskalasyon = %4.5

İskonto nispeti: %5

Ödeme Planı:	1	2	3	4	5
	%20	%30	%30	%15	%5

Nükleer yakıt için verilenler:

Uranyum çıkış zenginliği $N_p = \%3.25$

Zenginleştirme Kuyruk Zenginliği = $N_w = \%0.322$

Yanma oranı = $B_u = 33000 \text{ MWg/kg}$

Özgül güç $P_s = 36 \text{ Kwt/kg}$

Termik Verimi = $\%0.33$

ÇÖZÜM:

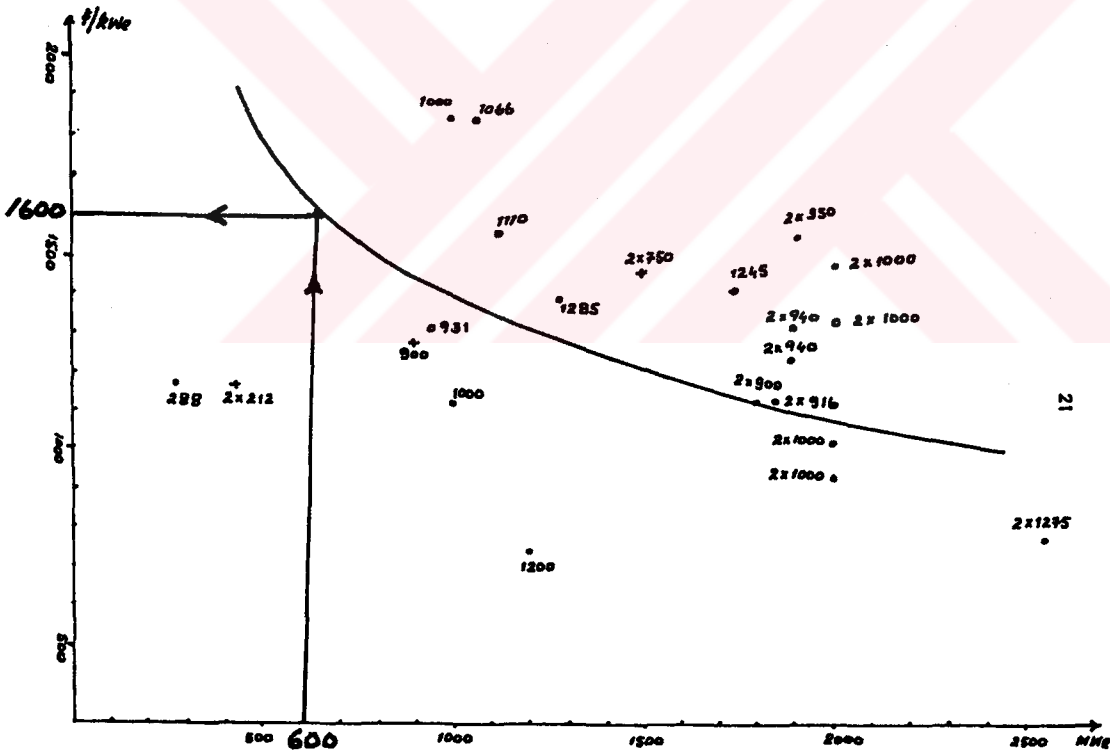
Doğalgaz ile çalışan santralde üretilecek elektrik enerjisinin birim maliyeti = g

$$g = g_a + g_m + g_f \text{ [mills/kWh]}$$

burada

a/g_a : Elektrik enerjisinin üretim maliyeti içindeki yatırım hissesi [mills/kWh]

Maliyet içindeki yatırım hissesi $1600 \text{ \$/KWe}$



Graften birim tesis bedeli olara $1600 \text{ \$/KWe}$ seçildi

Fizik santral inşaat tutarı =

$$1600 \cdot 600 \cdot 10^3 = 960 \cdot 10^6 \text{ \$}$$

İnşaat süresince eskalasyon ve faiz (M\$)

Yıl	%	Ödeme M\$	Eskalasyon Edilmiş (1.045) ⁿ M\$	Faiz Eklenmiş (1.05) ⁿ M\$	İnş.Süresince Faiz M\$	1994'e getirilmiş (1.05) ⁿ M\$
1989	20	192	200.64	256.00	55.36	326.72
1990	30	288	314.50	382.30	67.80	401.40
1991	30	288	328.65	380.45	51.80	440.40
1992	15	144	171.70	189.30	17.60	208.70
1993	5	48	59.80	62.80	3.00	65.94
						1443.16

Fizik santralının eskalasyon ve faiz eklenmiş olarak inşaat tutarı=1443.16 M\$

$$g_a = \frac{C_a}{E_e} \quad [\text{mills/kWh}]$$

-C_a : Yıllık amortisman bedeli [\$/yıl]

C_a : K . bugünkü değere getirilmiş fiziksel yatırım tutarı

K : Amortisman katsayısı

$$K = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

i: İskonto nisbeti = %5
n: Santralin amortisman ömrü
= 25 yıl

$$K = \frac{0.05 \cdot (1.05)^{25}}{(1.05)^{25} - 1} = \frac{0.169}{2.386} = 0.0709$$

$$C_a = 0.0709 \cdot 1443.16$$

$$= 102.32 \cdot 10^6 \text{ [$/yıl]}$$

- E_e : Ortalama Yıllık Elektrik Üretimi [kWh/yıl]

$$E_e = N_e \cdot 8760 \cdot L \text{ [kWh/yıl]}$$

N_e : Santral Gücü [kWe]

$$N_e = 600 \text{ MWe} = 600 \cdot 10^3 \text{ kWe}$$

L = Şebeke yük sayısı

$$L = 0,65$$

$$E_e = 600 \cdot 10^3 \cdot 8760 \cdot 0,65$$

$$E_e = 3,4 \cdot 10^9 \text{ kWh/yıl}$$

$$g_a = \frac{C_a}{E_e} \text{ [mills/kWh]}$$

$$g_a = \frac{102,32 \cdot 10^9 \text{ mills/yıl}}{3,4 \cdot 10^9 \text{ kWh/yıl}}$$

$$g_a = 30 \text{ mills/kWh}$$

b/ g_m : Elektrik enerjisinin maliyet içindeki işletme ve bakım masraflarının hissesi [mills/kWh]

$$g_m = g_{m \text{ pro}} + g_{m \text{ con}} \text{ [mills/kWh]}$$

$g_{m \text{ pro}}$: Elektrik enerji maliyet içindeki orantılı işletme ve bakım masraflarının hissesi [mills/kWh]

Bu masraflar tablo 4'den alınır ve Türkiye için $g_{m \text{ pro}} = 0$ kabul edilmiştir.

$g_{m\ con}$: Elektrik enerji maliyeti içindeki sabit işletme ve bakım masraflarının hissesi [mills/kWh]

$$g_{m\ con} = \frac{C_{m\ con}}{E_e} \quad [\text{mills/kWh}]$$

Burada;

$$C_{m\ con} = N_e \cdot C_{con} \quad [$/yıl]$$

N_e : Santral gücü [kW]

C_{con} : Elektrik enerji maliyeti içindeki sabit işletme ve bakım masrafları ile ilgili bir sabit sayısı.

C_{con} : Türkiye için sabit işletme ve bakım masrafları ile ilgili sabit sayı 34.5 \$/kW kabul edilmiştir. (Tablo 4)

O halde;

$$\begin{aligned} C_{m\ con} &= 600 \cdot 10^3 \cdot 34,50 \\ &= 20,70 \cdot 10^6 \quad [$/yıl] \end{aligned}$$

$$g_{m\ con} = \frac{20,7 \cdot 10^6 \cdot 10^3}{3,4 \cdot 10^9} = 6,09 \quad [\text{mills/kWh}]$$

O halde;

$$g_m = 6,09 + 0 = 6,09 \quad [\text{mills/kWh}]$$

bulunur.

c/g_f : Elektrik enerji üretim maliyeti içindeki yakıt masraflarının hissesi [mills/kWh]

Verilenler:

Uranyum çıkış zenginliği $N_p = \%3.25$

Zenginleştirme kuyruk zenginliği $N_w = \%0.322$

Yanma oranı $B_u = 33000 \text{ MWg/ton}$

Özgül güç $P_s = 36 \text{ KWt/Kg}$

Termik verim $\eta_t = \% 33$

Şimdi;

$$g_f = \frac{C_f}{E_e}$$

- C_f : Yıllık yakıt masrafı [\$/yıl]

$$C_f = y \cdot F_{zu} \text{ [$/yıl]}$$

y: Yıllık yakıt tüketimi [ton/yıl]

$$y = \frac{N_e \cdot L \cdot 365}{\eta_t \cdot B_u}$$

$$y = \frac{600 \cdot 0,65 \cdot 365}{0,33 \cdot 33000} = 13,07 \text{ [ton/yıl]}$$

F_{zu} : Zengin -U fiyat [\$/kg_{zu}]

$$F_{zu} = U \cdot F_u + U F_C + W F_Z + F_I$$

(i) U: Doğal uranyum eşdeğeri [kg/kg_{zu}]

$$U = \frac{N_p - N_w}{N_f - N_w}$$

- N_p : Zengin -U izotop yüzdesi $\%U^{235} = \%3,25$

- N_f : Doğal -U izotop yüzdesi $=\%0,71$

- N_w : Kuyruk zenginliği $\%0,2$ ya $\%0,322$

$$U = \frac{3,25 - 0,322}{0,71 - 0,322} = 7,54 \text{ [kg/kg}_{zu}\text{]}$$

(ii) F_U : Uranyum konsantresi fiyatı [\$/kgu]
 $= 79 \text{ [$/kgu]}$ (Tablo 5'den)

(iii) $F_{\text{Ç}} = UF_6$ yada çevirme fiyatı [\$/kgswu]
 $F_{\text{Ç}} = 6 \text{ [$/kgu]}$ (Tablo 5'den)

(iv) W : Ayırma işi birimi [kgswu]
 $W = 1 \cdot V_P + (U - 1) V_W - UV_F$

İzotop potansiyelleri:

$$V_N = (2N - 1) \ln \frac{N}{1 - N}$$

$$V_P = (2N_P - 1) \ln \frac{N_P}{1 - N_P}$$

$$= (2 \cdot 0,0325 - 1) \ln \frac{0,0325}{1 - 0,0325} = 3,17$$

$$V_W = (2N_W - 1) \ln \frac{N_W}{1 - N_W}$$

$$= (2 \cdot 0,00322 - 1) \ln \frac{0,00322}{1 - 0,00322} = 5,67$$

$$V_F = (2 N_F - 1) \ln \frac{N_F}{1 - N_F}$$

$$V_F = (2 \cdot 0,0071 - 1) \ln \frac{0,0071}{1 - 0,0071} = 4,87$$

$$W = 1 \cdot 3,17 + 6,54 \cdot 5,67 - 7,54 \cdot 4,86 = 3,61 \text{ [kgswu]}$$

(v) F_Z : Zenginleştirme fiyatı [\$/kgswu] = 125 [\$/kgswu]

(vi) F_f : Yakıt eleman imalatı fiyatı [\$/kgZU] = 195 [\$/kgZU]

$$F_{ZU} = 7,54 (79 + 6) + 3,61 \cdot 125 + 195 = 1287 \text{ [$/kgZU]}$$

$$C_f = 13,07 \cdot 1287 \cdot 10^3$$

$$= 16,82 \cdot 10^6 \text{ [$/yıl]}$$

$$E_e = 600 \cdot 10^3 \cdot 8760 \cdot 0,65$$

$$= 3,4 \cdot 10^9 \text{ [kWh/yıl]}$$

$$g_f = \frac{16,82 \cdot 10^6 \cdot 10^3}{3,4 \cdot 10^9} \text{ [mills/kWh]}$$

$$= 4,95 \text{ [mills/kWh]}$$

Nükleer enerji üretim maliyeti içindeki yakıt hissesi 4,95 [mills/kWh]'dir. Buna yakıt çevrimi zaman faktörü olarak 0,6 eklenir. O halde toplam üretim maliyeti içindeki yakıt hissesi

$$g_f = 4,95 + 0,6 = 5,5 \text{ [mills/kWh]}$$

d/ İlk yakıt yükü tutarı:

$$Y = \frac{1}{P_s} \cdot \frac{N_e}{\eta_t} \quad [\text{tonZU}] \quad [P_s = 36 \text{ kWt/kg}]$$

$$= \frac{1}{36} \cdot \frac{600}{0,33} = 50,50 \quad [\text{tonZU}]$$

İlk yakıt yükü tutarı

$$= 50,50 \cdot 1287 \cdot 10^3 = 65 \cdot 10^6 \quad [$/yıl]$$

Yıllık ilk yakıt masrafları = K . ilk yakıt yükü tutarı

$$= 0,0709 \cdot 65 \cdot 10^6 = 4,6 \cdot 10^6 \quad [$/yıl]$$

Elektrik enerjisi üretim maliyeti içindeki ilk yakıt masrafları hissesi

$$= \frac{4,6 \cdot 10^6 \cdot 10^3}{3,4 \cdot 10^9} = 1,35 \quad [\text{mills/kWh}]$$

O halde, enerji üretim maliyeti içindeki toplam yatırım masraflarının hissesi

$$g_a = 30 + 1,35 = 31,35 \quad [\text{mills/kWh}]$$

O zaman nükleer enerji üretim birim maliyeti

$$g = g_a + g_m + g_f \quad [\text{mills/kWh}]$$

$$g = 31,35 + 6,09 + 5,5 = 42,94 \quad [\text{mills/kWh}]$$

Sonuç olarak nükleer enerji birim maliyeti = 42,94 [mills/kWh] olarak bulunur.

6. DOĞAL GAZ İLE ÇALIŞAN SANTRALİN ENERJİ MALİYETİ

Doğal gaz santralının da enerji maliyetine dolunması için nükleer santralinde kullanılan bütün metodlar uygulanabilir. Bunlar ise,

Birinci Metod: Yıllık üretim Maliyeti $g = Ca/Ea$

İkinci Metod: 2. Bir değere getirilmiş masraflar metodu levelised costs

$$\frac{\sum_{0}^{n} C_t \cdot (1+r)^{-t}}{\sum_{0}^{n} E_t \cdot (1+r)^{-t}}$$

Üçüncü Metod: Sistem Maliyet Analizi

Bütün usullerin temelinde yıllık veya ömür boyu her yıl yapılan sermaye masraflarının ve işletme masraflarının bulunması yatar. Mesela bir doğal gaz santralindeki masrafların toplamı aşağıdaki gibidir.

İnşaat + Faiz		Ücretler +		Doğal gazın		Toplam
Desulfürizasyon	+	Malzemeler	+	taşıması	=	
vb.				idaresi		masraf

İşaret edilmesi gereken önemli bir husus, bir santralde üretilen enerjinin fiyatını belirleyecek tek ve genel bir usul olmamasıdır. Elektrik maliyeti kullanılan santralin cinsine, tipine büyüklüğüne ve dizayn karakteristiklerine bağlı olduğu gibi, santralın yerine kullandığı yakıt cinsine, kalitesine, fiyatına, kullanılan soğutma şekline ve şebeke yük sayısına da bağlıdır.

TABLO/6

Tablo-6. Bazı ülkeler için ECU'nin değeri				
Ülkeler	Para	Ocak	Mart	Devaluasyon
	Birimi	1981	1983	Oranı
Belçika	Frank	41.13	44.84	1.09
Kanada	Dolar	0.67	1.135	1.68
Fransa	Frank	5.99	6.71	1.12
Almanya	DM	1.76	2.24	1.27
İtalya	Liret	1.05	1334.0	1.27
Japonya	Yen	175.4	221.0	1.26
Hollanda	Gulden	2.06	2.52	1.22
Norveç	Kron	5.23	6.63	1.27
İsveç	Kron	7.08	6.94	0.98
İngiltere	Pound	0.59	0.634	1.07
A B D	Dolar	1.29	0.924	0.71

Bu neden ile aynı tip ve aynı güçteki bir santralde üretilen elektriğin fiyatı ülkeden ülkeye değişir.

Tek bir ülkede, kullanma fonksiyonları aynı olmak şartı ile değişik yakıt kullanılan santralleri mukayese etmek için paranın gerçek değeri "constant money" kullanılarak yapılan, bir değere gitirme "levelized cost" metodu çok uygundur.

Uluslararası mukayeselerde, referans tarihdeki döviz kuru kullanılarak sonuçlar SUD (\$) veya mills/KWh cinsinde ifade edilmektedir. Avrupa ülkeleri tarafından kullanılmaya başlanan bu mukayeseler de (ECU) yararlı olmuştur.

Bazı ülkelerde için European currency Unit (ECU)in değeri TABLO 6

6.1. Yatırım Masrafları

Doğal gaz santralında toplam yatırım tutarına etkileyen masrafları:

- i) Santralın yeri, satınalma ve düzeltme masrafları
- ii) İnşaat masrafları, temeller ve binalar vb.
- iii) Nehirden su alma ve atma tesisleri
- iv) Doğal gazın depolama ve taşınma masrafları
- v) Türbin binası tesisleri
- vi) Kazan daire tesisatı
- vii) Boru donanımı
- viii) Elektrik donanımı, şalterler transformatörleri vb.
- ix) Paratoner tesisatı, aletler ve eşyaları vb.
- x) Fiziksel santral toplamı
- xi) Mühendislik hizmetleri
- xii) İnşaat süresince faiz.

TABLO/7

Tablo-7. IAEA Üyesi bazı ülkelerde fosil santralleri						
İle ilgili data						
	Ünite	Soğutma	İnşaat	Yatırım	O&M	
Ülkeler	X	Şekli	Masrafı	Masrafı	Sabit	Orantılı
	MWe		\$/kWe	\$/kWe	\$/kWa	Mills/kwh
Brezilya	1 x 315	Nehir	1219	1526	11.2	1.57
	1 x 315	"	1117	1398	"	"
Çin	1 x 300	Nehir	613	766	21.4	
1	3 x 600	Deniz	573	679	17.2	
Çekoslovakya	1 x 460	S.Kulesi	1076	1204	44.6	6.2
Macaristan	1, 2	4 x 270	Nehir	1099	1362	27.8
Hindistan	2 x 189	Nehir	1000	1135	22.5	
	2 x 455	"	933	1059	21.0	
Endonezya	1 x 400	Deniz	713	841	8.3	1.9
"1"		"	982	1159	9.0	2.0
G.Kore	2 x 455	Deniz	974	1174	39.5	
1	6 x 333	S.Kulesi	635	717	77.8	
Türkiye	2 x 165	Nehir	1000	1137	17.9	
Yugoslavya	1 x 315	S.Kulesi	1125	1341	40.2	
(1) Desülfürizasyon tesisi var						
(2) Linyit santrali						

YATIRIM MASRAFLARININ HESABI

$$g_a = \frac{C_a}{E_e} \quad [\text{mills/kWh}] \quad (13)$$

Burada;

g_a : Elektrik enerjisinin üretim maliyeti içindeki yatırım hissesi [mills/kWh]

C_a : Yıllık amortisman masrafları [\$/yıl]

E_e : Ortalama yıllık elektrik üretimi [kWh/yıl]

Nükleer Enerji santrali yatırım masrafları yaklaşık olarak fosil yakıt santrallara göre (1,75 ila 2) katı kadardır.

O halde; eğer

C_{an} : Nükleer enerji santrali eskalasyon ve faiz eklenmiş fiziksel yatırım masrafları

C_{ad} : Doğal gaz enerji santrali eskalasyon ve faiz eklenmiş fiziksel yatırım masrafları ise, bu uygulamada

$$C_{an} = 1,75 C_{ad} \Rightarrow$$

$$C_{ad} = 0,57 C_{an} \quad (14)$$

olarak kabul edilmiştir.

Yıllık Amortisman Bedeli [C_a]

$$C_a = K \cdot C_{ad} \quad [$/yıl] \quad (15)$$

Burada K = Amortisman katsayısı

$$K = \frac{i (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1}$$

i : Faiz oranı
 n : Santralin ömrü

E_e : Ortalama Yıllık Elektrik Üretimi [kWh/yıl]

$E_e = N_e \cdot 10^3 \cdot 8760 \cdot L$ [kWh/yıl]

N_e = Santralin gücüdür. [MWe]

L = Şebeke yük sayısı

Dolayısı ile doğal gaz enerji üretim maliyeti içindeki yatırım hissesi

$$g_a = \frac{C_a}{E_e} \quad [\text{mills/kWh}] \quad \text{olarak bulunur.}$$

6.2. İşletme ve Bakım Masrafları

Nükleer santral da olduğu gibi işletme ve bakım masrafları iki grupta oluşmaktadır.

- Orantılı işletme ve bakım masrafları
- Sabit işletme ve bakım masrafları

İŞLETME VE BAKIM MASRAFLARI HESABI

$$g_m = g_{mpro} + g_{mcon} \quad [\text{mills/kWh}]$$

g_{mpro} : Enerji üretim maliyeti içindeki orantılı işletme ve bakım masrafları hissesi [mills/kWh] Tablo 7'den alınır.

g_{mcon} : Enerji üretim maliyeti içindeki sabit işletme ve bakım masrafları hissesi [mills/kWh]

$$g_{mcon} = \frac{C_{mcon}}{E_e} \quad [\text{mills/kWh}] \quad (16)$$

$$C_{mcon} = N_e \cdot C_{con} \quad [$/yıl] \quad (17)$$

N_e : Santral gücü [kW]

C_{con} : Enerji maliyeti içindeki sabit işletme ve bakım masrafları ile ilgili bir sabit sayıdır. Bu sayı tablo 7'den alınır.

O halde; elektrik enerji üretim maliyeti içindeki işletme ve bakım masrafları hissesi

$g_m = g_{mpro} + g_{mcon}$ [mills/kWh] olarak bulunur.

6.3. Yakıt Masrafları

Doğal gaz türbinleri ile birlikte çalışan Combine çevrim santrallerinde toplam çevrim verimi $\eta_t = (0.5 + 0.55)$ kadar olmaktadır. Dolayısı ile santralin ısı tüketimi kapasitesi çok düşük olur.

Yakıt masraflarının hesabı:

$$g_f = \frac{C_f}{E_e} \quad [\text{mills/kWh}] \quad (18)$$

g_f : Doğal gaz elektrik enerji üretim maliyeti içindeki yakıt masraflarının hissesi [mills/kWh]

C_f : Yıllık yakıt masrafları [\$/yıl]

$$C_f = \frac{C F \cdot q}{Q} \cdot E_e \quad [$/yıl] \quad (19)$$

CF: Doğal gazın fiyatı [\$/Nm³]

q : Isı tüketim kapasitesi [Kcal/kWh]

$$q = \frac{860}{\eta_c} \quad [\text{Kcal/kWh}] \quad (20)$$

η_c : Toplam çevrim verimi ve doğal gaz için %50 ile %55 arasında kabul edilir.

Q : Doğal gazın ısı değeri [Kcal/Nm³]

E_e : Ortalama yıllık elektrik üretimi [kWh/yıl]

Dolayısı ile doğal gaz enerji üretim maliyeti içindeki yakıt masraflarının hissesi

$$g_f = \frac{C_f}{E_e} \quad [\text{mills/kWh}] \text{ olarak bulunur.}$$

6.4. Uygulama

Uygulama olarak 600 Mwe gücündeki bir doğal gaz santralindeki elektrik enerjisinin maliyetini hesaplayalım.

Verilenler;

Santralin termik verimi = $\eta_t = 0.33$

Şebeke yük sayısı = $L : \%65$

Amortisman ömrü = $n = 25$ yıl

İnşaat süresi = 5 yıl

Eskalasyon = %4.5

İskonto nispeti: %5

ÇÖZÜM:

Doğal gaz ile çalışan santraldaki üretilecek elektrik enerjisinin birim maliyeti [mills/kWh]

$$g = g_a + g_m + g_f \quad [\text{mills/kWh}]$$

a/ g_a : Enerji üretim maliyeti içindeki yatırım hissesi [mills/kWh]

$$g_a = \frac{C_a}{E_e} \quad [\text{mills/kWh}]$$

$$C_a = K \cdot C_{ad} \text{ [$/yıl]}$$

burada $K = 0,0709$, $C_{ad} = 0,57 C_{an}$

$C_{an} = 1443,16 \text{ M\$}$ olarak Bölüm 4.1'den alınmıştır.

$$C_{ad} = 0,57 \cdot 1443,16 = 824,66 \cdot 10^6 \text{ \$}$$

o zaman; $C_a = 824,66 \cdot 10^6 \cdot 0,0709 \text{ [$/yıl]}$

$$C_a = 58,46 \cdot 10^6 \text{ [$/yıl]}$$

$$E_e = N_e \cdot 8760 \cdot L \text{ [kWh/yıl]}$$

$$E_e = 600 \cdot 10^6 \cdot 8760 \cdot 0,65 = 3,4 \cdot 10^9 \text{ [kWh/yıl]}$$

$$g_a = \frac{58,46 \cdot 10^6 \cdot 10^3}{3,4 \cdot 10^9} \text{ [mills/kWh]}$$

$g_a = 17,20 \text{ [mills/kWh]}$ olarak hesaplanır.

b/ g_m : Elektrik enerjisinin maliyet içindeki işletme ve bakım masraflarının hissesi [mills/kWh]

$$g_m = g_{m \text{ pro}} + g_{m \text{ con}} \text{ [mills/kWh]}$$

$g_{m \text{ pro}}$: Elektrik enerji maliyet içindeki orantılı işletme ve bakım masraflarının hissesi [mills/kWh]

Bu masraflar tablo 7'den alınır ve Türkiye için $g_{m \text{ pro}} = 0$ kabul edilmiştir.

$g_{m \text{ con}}$: Elektrik enerji maliyeti içindeki sabit işletme ve bakım masraflarının hissesi [mills/kWh]

$$g_{m \text{ con}} = \frac{C_{m \text{ con}}}{E_e} \text{ [mills/kWh]}$$

Burada;

$$C_{m\ con} = N_e \cdot C_{con} \text{ [$/yıl]}$$

N_e : Santral gücü [kW]

C_{con} : Elektrik enerji maliyeti içindeki sabit işletme ve bakım masrafları ile ilgili bir sabit sayısı.

C_{con} : Türkiye için sabit işletme ve bakım masrafları ile ilgili sabit sayı 34.5 \$/kW kabul edilmiştir. (Tablo 7)

O halde;

$$\begin{aligned} C_{m\ con} &= 600 \cdot 10^3 \cdot 34,50 \\ &= 20,70 \cdot 10^6 \text{ [$/yıl]} \end{aligned}$$

$$g_{m\ con} = \frac{20,7 \cdot 10^6 \cdot 10^3}{3,4 \cdot 10^9} = 6,09 \text{ [mills/kWh]}$$

O halde;

$$g_m = 6,09 + 0 = 6,09 \text{ [mills/kWh]}$$

bulunur.

c/ g_f : Elektrik enerjisi üretim maliyeti içindeki yakıt masrafları hissesi [mills/kWh]

$$g_f = \frac{C_f}{E_e} \text{ [mills/kWh]}$$

C_f : Yıllık yakıt masrafları [\$/yıl]

$$C_f = \frac{C \cdot F \cdot q}{Q} \cdot E_e \text{ [$/yıl]}$$

CF: Doğal gazın fiyatı [\$/Nm³]

CF = 0,20 [\$/Nm³] (Bu değeri İgdaş'dan 5.8.1993 tarihinde 2.332 TL/Nm³ olarak alınmıştır.)

q : Isı tüketim kapasitesi [Kcal/kWh]

$$q = \frac{860}{\eta_c} \text{ [Kcal/kWh]}$$

η_c : Toplam çevrim verimi ve doğal gaz için %50 ile %55 arasında kabul edilir.

$\eta_c = %50$ olarak kabul edilmiştir.

O halde, $q = 860 / 0,50 = 1720$ [Kcal/kWh]

Q : Doğal gazın ısı değeri [Kcal/Nm³]

Q = 8250 [Kcal/Nm³] (Rusya'dan gelen doğal gazın ısı değeri)

E_e : Ortalama yıllık elektrik üretimi [kWh/yıl]

$E_e = 3,4 \cdot 10^9$ [kWh/yıl]

$$C_f = \frac{0,20 \cdot 1720}{8250} \cdot 3,4 \cdot 10^9 \text{ [$/yıl]}$$

$C_f = 0,1417 \cdot 10^9$ [\$/yıl]

$$g_f = \frac{0,1417 \cdot 10^9}{3,4 \cdot 10^9} \text{ [$/kWh]}$$

$g_f = 0,0417 \cdot 10^3 = 41,7$ [mills/kWh]

O halde, doğal gazla çalışan elektrik santralindeki birim enerji maliyeti:

$$g = g_a + g_m + g_f \\ = 17,19 + 6,09 + 41,7 = 64,98 = 65 \text{ [mills/kWh] olarak hesaplanır.}$$

7. NÜKLEER SANTRAL İLE DOĞAL GAZ SANTRALİNİN EKOLOJİK YÖNDEN KARŞILATIRILMASI

7.1. Ekoloji

Ekoloji, canlılarla çevreleri arasındaki karşılıklı etki ve ilişkileri inceleyip araştıran bir bilim dalıdır.

Ekoloji bilim dalının bazı diğer ifadelerini aşağıdaki gibi açıklayabiliriz.

Ekoloji,

- Toplumlar bilimi ya da yaşam birlikleri bilimidir.
- Doğanın yapı ve işlevini inceleyen bilim dalıdır.
- Organizmaların kendi içlerinin ve çevreleriyle olan karşılıklı ilişkilerinin tümünü kapsayan doğa ekonomisi bilim dalıdır.
- Çevre biyolojisidir.
- Organizmalarla çevrelerini ve bu iki varlığa ait öğelerin karşılıklı ilişkilerini araştıran bir bilimdir.

Çevre koruma ya da daha geniş anlamıyla doğayı koruma yüzyılımız insanının kutsal bir görevi haline gelmiştir. bu görev, canlıların yaşam temellerinin yok edilmesine karşı girişilmiş bir eylem niteliğini taşımaktadır.

Gerçekten de hava, su ve toprak gibi yaşamsal düzeyde önemli doğal kaynaklardan her türlü basın maddesine kadar bütün yaşam koşulları canlıları tehdit eder hale gelmiştir. Her yıl biyolojik çeşitlilik azalmakta, her geçen gün doğa tahribatı artmaktadır.

İşte ekoloji, doğa ekonomisiyle doğrudan doğruya ilgili olan bu tehlikeleri önlemek için gerekli anahtar bilgileri ortaya koymak amacıyla inceleme ve araştırmalar yapan ve elde ettiği verilere göre gezegenimizde var olan çevre sorunlarının çözümüne ışık tutan bir bilim dalıdır.

7.2. Çevre Ekonomisi

Çevreye zarar vermeyecek, ama verimliliği de düşürmeyecek, hatta tam tersine verimi arttıracak yeni teknolojilerin geliştirilmesi ile ilgili bir bilim dalıdır.

7.3. Ekolojik Sorunlar

Ekoloji bilim dalının klasik tanımlamalar dışında da bazı tanımları vardır. Bunlar ise;

- Ekoloji, bir BİZ bilimidir
- Ekoloji, doğa bilimleri ile sosyal bilimler arasında bir köprüdür.
- Ekoloji, tüm insanlığın geleceğini sigortalamaya çalışan bir bilim dalıdır.

İnsanlar, özellikle 1960'lı yıllardan başlayarak üstün teknik uygulamalarıyla doğal ekosistemleri çeşitli biçimlerde etkileri altına almışlardır. Bu davranış bir bakıma doğaldır. Çünkü insan da ekosisteminin bir ögesidir. Bu doğal bir yasadır. Çevre ile temas kaçınılmaz bir olgudur. Ancak, insanın bu konuda öteki canlılardan önemli farkı, kültür evrimi ve ilerlemiş teknolojisiyle kendi çevresine daha az bağımlı kalması ve çevresini kendi doğrultusunda kısmen de olsa değiştirebilmesidir. Bu, sadece son çeyrek yüzyıla özgü bir eylem değildir. İnsanlar, üzerinde yaşadığı dünyayı, binlerce yıldanberi kendi istek ve yararları doğrultusunda değiştirmeye çalışmışlardır. Başlangıçta, insanın bu etkileriyle doğal düzen değişmemiş, ekosistemler ekolojik denge içinde yapı ve işlevlerini koruyabilmişlerdir. Bunun başlıca nedenleri, başlangıçta insan nüfusunun azlığı, teknolojinin doğayı tahrip edecek kadar gelişmemiş olması ve yaşam düzeyinin yüksek olmamasıdır. Ne var ki, bugün durum tamamen değişmiş, insanoğlu dünyaya sığamaz hale gelmiş, milyonlarca kilometre uzakta ve nefes alacak oksijen bile bulunmayan diğer gezegenlere ayak basmış, okyanuslarda binlerce metre derinliklere inme başarısını göstermiş, kutuplarda yaşamaya başlamıştır.

Ancak ne yazık ki, insanın doğaya egemen olma boyutları genişledikçe doğa tahribi artmış, birçok yerde atmosfer, hidrosfer ve pedosfer yaşam ortamı olmaktan çıkmıştır. Böyle düşüncesizce sürdürülen doğaya müdahale ya da ekolojik baskılar sonucunda birçok ekonomik,

sosyal, politik ve çevresel sorunlar doğmuştur. bunların hepsine birden insanlığın ekolojik sorunları adı verilebilir. İnsanlığın ekolojik sorunlarının kaynağını oluşturan bu nedenle ve etkileriyle birlikte çözüm yollarını da bu bölümde şu ana başlıklar altında incelenebilir.

- (i) Nüfus Artışı Sorunu
- (ii) Beslenme ve Besin sorunları,
- (iii) Enerji Sorunları,
- (iv) Mekan Sorunları
- (v) Çevre Sorunları

Bunlardan ilk dördü, sosyal ve ekonomik sorunlar başlığı altında toplanabilir.

Yukarıda belirtilen beş sorundan tezimizde bizi ekolojik yönden ilgilendireni Enerji Sorunlarıdır.

7.4. Enerji Sorunları

Her canlının yaşayabilmesi ve gelişimini sağlayabilmesi için enerjiye gereksinimi vardır. Bu nedenle enerji ve canlılar arasında yaşamsal düzeyde sıkı bir ilişki vardır. Ancak, enerji sağlanması ve enerjiden yararlanma bakımından insanlarla öteki canlılar arasında büyük farklar bulunuyor. İnsanlar, enerjiyi sadece fizyografik etkinliklerini sürdürmek için değil, endüstriyel araç ve gereçleri çalıştırma, ısınma, ısıtma, aydınlatma vb. amaçlar için de kullanmaktadırlar.

Enerji Kavramı

Enerji, fizik bilim dalının en önemli kavramlarından biridir. Ne var ki, fizikçiler enerjiyi gerçek anlamıyla kavrayamadıklarını ifade ederler. "Enerji, iş yapma gücüdür" gibi basit bir tanımlamanın dışında belirgin tanımlamalara rastlanmaz.

Enerji Kaynakları

Nükleer, jeotermal, denizlerdeki gel-git olayına ait enerjiler dışındaki bütün enerjilerin kaynağı güneştir.

Güneş Enerjisi

Dünya üzerindeki bütün doğal sistemleri işleten ana enerji kaynağı güneştir. Güneş bir hidrojen bombası niteliğini taşımakta ve 4 milyar yılı aşkın bir süreden beri ekosfere (yeni buluşlara göre 15 milyar yıldan beri) enerji sağlamaktadır. Güneşte bulunan olağanüstü miktardaki hidrojen kütlesi sürekli olarak Helyum'a dönüşmekte ve elektromanyetik dalgalar halinde enerji yayan (radyasyon) bir kaynak oluşturmaktadır. Güneşten gelen ışınların atmosfer dışında bıraktığı enerji $2.08 \text{ cal/cm}^2/\text{dakika}$ dır.

İnsanların bu yollar yararlandıkları enerji kaynakları şunlardır:

1) Kömür, petrol, doğalgaz gibi enerji kaynakları, yıllarca önce depolanmış güneş enerjisinden başka bir şey değildir.

2) Odun da dahil olmak üzere bütün biyolojik kütle enerji kaynakları (bitkisel maddeler, biyogaz, alkol, ispiirta) bit ve hayvanlarda ömürleri boyunca depolanmış güneş enerjisi ya da bunların türevlerinden başka bir şey değildir.

3) Hidrojik güç enerjisi, güneş enerjisinin etkisi altında meydana gelen hidrolojik döngülerde saklı bulunan enerjidir.

4) Rüzgar enerjisi, güneş enerjisinin neden olduğu hava kütlelerinin hareketinden doğan enerjidir.

Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Odun ve diğer biyolojik kütle enerjisi kaynakları, hidrolojik enerjiyle güneş ve rüzgardan elde edilen enerjilere ait kaynaklardır. Kendi yakıtlarını üreten nükleer reaktörler ile füzyon reaktörleri de bu gruba girer.

Yenilenemeyen Enerji Kaynakları

Fosil yakıt da denen kömür, petrol ve nükleer enerji ile doğal gaz kaynakları ve jeotermal enerjilerdir.

Türkiye ve diğer bazı ülkelerde en önemli enerji kaynaklarının total enerji tüketimine katılma oranları (Klötzli 1980, TÇSV 1989).

Enerji Kaynağı	Dünya %	Federal Almanya %	İsviçre %	Türkiye %
Su ve nükleer	6.7	3	18	9
Kömür	29.6	39	3	28
Petrol	45.9	43	76	47
Doğal Gaz	17.8	15	3	?
Odun	-	-	-	14
Tezek ve bitki artıkları	-	-	-	2
TOPLAM	100.0	100	100	100

Yüksek enerji kullanımı bazı çevre risklerini ve güvensizlikleri de beraberinde getirmektedir. Bunların başlıcaları şunlardır:

- Atmosferin doğal bileşimini bozacak ölçüde bırakılan gazlar, sera etkisiyle bir iklim değişikliği yaratabilecektir.
- Özellikle fosil yakıtlarının yarattığı ciddi boyutlardaki çevre kirliliği ve asit yağışlara ait zararlar sonu hesaplanamayan boyutlara ulaşmaktadır.
- Nükleer reaktörlerin riskleri, atıklarını arıtma sorunları ciddiyetini korumaktadır.
- Artan nüfusun enerji kaynağı olarak odun hammaddesini kullanmaya devam etmesi halinde bitkisel örtünün yok olması riskleri de gün geçtikçe artmaktadır.

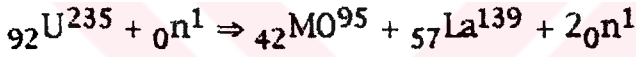
Bu risklerin derecesi ve çevre üzerindeki baskıları kullanılan enerji kaynağının cinsine göre çok değişir.

7.5. Nükleer Enerji

Nükleer enerji çalışmalarının 40 yıllık bir geçmişi var. Dünya üzerinde 30 kadar ülke, nükleer jeneratörden dünyada kullanılan elektriğin yüzde 15'ini üretmektedir. Ama yine de radyasyon tehlikesi, reaktör güvenliği, nükleer atık maddelerin yok edilmesi sorunları çözümlenmiş değil.

Nükleer enerjisinin güvenlik sorununun anlayabilmek için bir gram ${}_{92}\text{U}^{235}$ 'nin tamamının fisyon yapması halinde açığa çıkan enerjiyi hesaplamamız lazım.

Bunun için ilk önce bir fisyon reaksiyonda açığa çıkan enerjiyi hesaplayalım.



Bir fisyon reaksiyonda ortalama olarak 2 nötron da açığa çıkar. Dolayısıyla bu reaksiyon ${}_{92}\text{U}^{235}$ bitinceye kadar bir zincir gibi devam eder.

Yukarıdaki reaksiyonda kaybolan kütleyi hesaplayalım.

$m ({}_{92}\text{U}^{235}) = 235,12390$	$m ({}_{57}\text{La}^{139}) = 138,9550$
$m ({}_0\text{n}^1) = 1,00897$	$m ({}_{42}\text{MO}^{95}) = 94,9450$
	$m (2{}_0\text{n}^1) = 2,0174$
235,13287	235,9179

$$\text{Kaybolan Kütle} = \Delta m = 236,13287 - 235,9179$$

$$\Delta m = 0,2149 \text{ Akb}$$

O halde ${}_{92}\text{U}^{235}$ 'nin bir fisyonu reaksiyonda açığa çıkan enerji ise;

$$E_{\text{fis}} = \Delta m \cdot 1 \text{ Akb}$$

1 Akb'nin Mev cinsinden değerini bulalım.

Elektron yükü = $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ coul

$$1 \text{ ev} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ coul} \cdot \text{volt}$$

$$= 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ jul}$$

$$1 \text{ ev} = 1,6 \cdot 10^{-12} \text{ erg.}$$

$$\Rightarrow 1 \text{ Mev} = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ eng}$$

Şimdi $E = mc^2$

$$E = 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ gr} \cdot (3 \cdot 10^{10})^2 \text{ (cm/sn)}^2$$

$$E = 1,49 \cdot 10^{-3} \text{ erg}$$

$$1 \text{ Akb} = \frac{1,49 \cdot 10^{-3}}{1,6 \cdot 10^{-6}} = 931 \text{ Mev}$$

$$1 \text{ Akb} = 931 \text{ Mev}$$

$$E_{\text{fis}} = \Delta m \cdot 1 \text{ Akb}$$

$$E_{\text{fis}} = 0,2149 \cdot 931 \text{ Mev}$$

$$= 200 \text{ Mev}$$

$$= 200 \cdot 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ erg}$$

$$= 200 \cdot 1,6 \cdot 10^{-13} = 3,2 \cdot 10^{-11} \text{ Vat-San/Fis}$$

$${}_{92}\text{U}^{235} \text{ atomun açığa çıkan enerjisi} = 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 3,2 \cdot 10^{-11}$$

$$235 \text{ gr. dan açığa çıkan enerjisi} = 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 3,2 \cdot 10^{-11}$$

$$\text{Bir gram } {}_{92}\text{U}^{235} \text{ dan açığa çıkan enerjisi} = 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 3,2 \cdot 10^{-11} / 235$$

$$= 8,2 \cdot 10^{10} \text{ [Vat.Sn.]}$$

$$= 8,2 \cdot 10^{10} / 10^3 \cdot 3600 = 2,27 \cdot 10^4 \text{ kWh/gr.}$$

$$\text{Bir gramdan} = 2,27 \cdot 10^4 \cdot 860 \text{ Kcal/gr.}$$

$$= 19,8 \cdot 10^6 \text{ Kcal/gr}$$

$$\begin{aligned} \text{Bir kilogramdan } {}_{92}\text{U}^{235} \text{ den} &= 19,8 \cdot 10^9 \text{ [Kcal]} \\ 100 \text{ kg } {}_{92}\text{U}^{235} \text{ den açığa çıkan enerji} &= 19,8 \cdot 10^{11} \text{ [Kcal]} \end{aligned}$$

100 kg ${}_{92}\text{U}^{235}$ den açığa çıkan enerji $19,8 \cdot 10^{11}$ [Kcal]'dir. Kazalarda bu enerji güvenlik açısından çok tehlikeli bir enerjidir.

Sorunun çözümü için ülkelere göre üç ayrı tutum benimsenmiştir.

- Nükleer enerji dışı kalmak ve başka enerji kaynakları geliştirmek,
- Daha güvenli enerji kaynaklarına geçiş devresi içinde elde bulunan nükleer güç kapasitesinden yararlanmak,
- Konuya ilişkin sorun ve risklerin ulusal ve uluslararası düzeyde kabul edilebilecek belli bir güven düzeyinde çözümlenebileceği ve çözümlenmesi gerektiği inancıyla nükleer enerjiyi benimsemek ve geliştirmek.

7.6. Doğal Gaz

Ülkemizde ve diğer bazı Avrupa ülkeleriyle tüm dünya için en önemli enerji kaynaklarının total enerji tüketimi içindeki payları incelenirse, petrolün birinci sırada geldiği görülür. Ancak, petrol üretimi tırmanışının gelecek yüzyılın ilk 24 yılında azalacağı ve pahalılaşacağı tahmin ediliyor. Doğal gaz kaynaklarının bugünkü hızıyla 200 yıl kadar kömürün ise 3000 yıl kadar dayanabileceği bildirilmektedir (TÇSV, 1991). Bütün bu tahminler dünyanın derhal bir petrol koruma politikasına dönmesi gerektiğini gösteriyor.

Kirlenme riskleri açısından doğal gaz çok temiz bir enerji kaynağıdır. Onu akaryakıt ve kömür izler.

Doğal gaza ait bazı temel bilgiler aşağıdaki gibidir:

Tezimizde kullanılan doğal gazın adı metan'dır.

Formülü: CH_4

Özgül ağırlık = $0,71 \text{ kg/Nm}^3 - 0^\circ\text{C}$

Alt ısıl değeri = 8550 Kcal/Nm^3

CO_2 max. miktan = % 11,7

Duman gaz miktan = % 10,52

Hava miktan = % 9,52

Ateşleme noktası = 645°C

SONUÇ

Sonuç olarak nükleer santralda üretilen elektrik enerjisinin birim maliyeti doğal gaz santralında üretilen elektrik enerjisinin birim maliyetine göre çok düşüktür. Fakat çevre ve güvenlik yönünden doğal gazdan daha zararlı ve tehlikelidir. Doğal gaz fosil yakıtlardan en temiz yakıttır. Dolayısı ile mümkün olduğu kadar nükleer enerjiden kaçınmak lazımdır. Doğal gaz kaynakları sınırlı olduğu için, nükleer enerji kaynakları hakkındaki araştırmalar geliştirilerek gerektiği zaman bu enerji kaynağı kullanıma hazır duruma gelinmelidir.



KAYNAKLAR

- 1. Zeyyat Hatibođlu; İktisat Billmeni Giriş ve Mikroiktisat; İstanbul, 1987.**
- 2. Grant Ireson; Principles of Engineering Economy; The Ronald Press Company, New York, 1964.**
- 3. Isı Ekonomisi, Cilt I. Prof. Yük. Müh. Suavi Eylülce, İstanbul, 1981.**
- 4. The Cost of Generating Electricity In Nuclear and Coal Fired Power Stations; NEA-OECD, Paris 1983.**
- 5. Projected Costs of Nuclear and Conventional Base Load Electricity Generation in some IAEA. Member States; IAEA-TECDOC-569 , Vienna 1990.**
- 6. N.Aybers, SbKakaç, A. Bayülken, Ş. Gencay; The Economic Comparison of Nuclear Reactors of 350 and 500 MWE for Devolving Countries İTÜ-NEE, No:12, İstanbul 1974.**
- 7. Doğa Çevre Ekoloji ve İnsanlığın Ekolojik Sorunları; Prof. Dr. Necmettin Çepel, İstanbul 1992.**

ÖZGEÇMİŞ

Adı : Muhammad
Soyadı : Yaqoob
Baba Adı : Malik Ghulam Ali
Ana Adı : Aysha Bibi
Doğum Tarihi : 8.3.1967
Doğum Yeri : Sialkot PAKISTAN

LİSE

Okul Adı : Government Jannah Efficency High School SIALKOT (Cantt.)
Mezun Tarihi : 1982

1-UNİVERSİTE

Adı : Punjab University (PAKISTAN)
Fakülte : Fen Bilimleri
Bölüm : Fizik-Matematik
Mezun Tarihi : 1986

2-UNİVERSİTE

Adı : Yıldız Üniversitesi (ISTANBUL)
Fakülte : Mühendislik
Bölüm : Makina Mühendisliği
Mezun Tarihi : 1991

Halen Yıldız Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsün'de Makina Mühendisliği
Bölümünün Enerji Dalında Yüksek Lisans yapmaktayım.