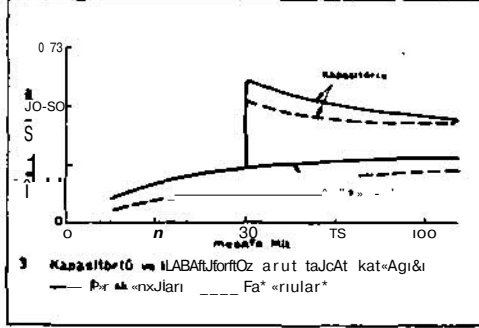


si, ancak güç katsayısına hassas olan elemanın da çalışması ile kabil olur.

Sen kapasitör ihtiva eden parçanın başlangıcındaki mesafe rölesi, arızanın o parçadaki durumuna bağlı olarak, hem alçak, hem de yüksek



(Şekil: 3)

güç katsayılı arızalarda çalışmalıdır. Bu, mesafe rölesinde, reaktans ölçme elemanına, güç katsayısı hassas elemanı ile kumanda edilerek başarılıdır. Böylece, kapasitör devrede olduğu zaman bir eşdeğer reaktans ölçme devresine dahil edilir. Kapasitörün yük tarafındaki röleler standart tiptir.

Takat Katsayısına Karşı Hassas Röle:

Normal olarak mesafe koruma röleleri ile korunan hatlarda, güç katsayısı hassas elemanın çalışma zamanı kısıtlanmalıdır. İ. d. m. t. 1 (Ters belirli minimum zaman gecikmeli) rölelerle normal olarak korunan hatlarda ise, arıza katsayısının yüksek süratle tesbit edilmesine lüzum yoktur. Burada, normal endüksiyon tipi röleler, güç katsayısı hassas elemanı olarak kullanılır. Bu sayede, alelade koruyucu rölelerin tük tarafında vukubulan bir arızada kapasitörün devrede olup olmadığını görmesi mümkün olur.

ÖZET : Ani elemanın kullanıldığı haller hariç bırakılırsa, bölge dağıtım hatlarında koruma teçhizatına, seri kapasitörlerin doğrudan doğruya hiçbir tesiri yoktur.

Yüksek derecede kompensasyonu olan hat parçalarının mesafe röleleri ile tatminkâr bir şekilde korunabilmesi için, bu makalede anlatılan tipte bir cihaz kullanılmalıdır.

(*) Yermolenko, V M, and Petrov, S. J. • «The effect of series-capacitor compensation on relay operation», C I G R E, 1956, Paper No 323

UDK: 33:621.311.25

Atom Enerjisinin Maliyet Faktörleri

Korkut ÖNGÜN
Y. Müh.-E. İ. E.

Bir ülkenin enerji kaynakları araştırılırken mutad enerji kaynakları dışında akla hemen geliveren atom enerjisi olmaktadır. Ancak her zaman, düşünceler atom enerjisinin ekonomik olup olmadığı bahsinde ayrılmaktadır. Son yıllarda atom enerjisinden ekonomik olarak faydalanabilmek üzere çeşitli, memleketlerde büyük çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların bir kısmı teknik diğer kısmı finansman yönünden olmuştur. Sermaye piyasasının esaslı olarak düzeltilmiş olduğu ülkelerde oldukça ucuz faizlerle ve uzun vadelerle büyük yatırımlar yapmak mümkün olmaktadır. Büyük yatırımlar isteyen atom santrallerinin sayısı da bu memleketlerde hızla artmaktadır. Ayrıca bu santrallerin yapımcıları artık birkaç yıl öncesine göre çok daha düşük fiyatlarda bu santralleri satmayı teklif etmektedirler.

Bu yazıda çeşitli kaynaklardan topladığımız bilgilerle atom enerjisinin ekonomikliği konusunu bir defa daha yeniden incelemek istiyoruz.

Atom enerjisinin mal oluş fiyatının hesabında esaslı ıki zorlukla karşılaşılması hesabı güçleştirmektedir. Bunlardan birisi mevcut fizikî olayların yeteri kadar tanınmamış olmasıdır. Örnek olarak yanma gösterilebilir ikinci zorluk yakılın elde edilme, yeniden hazırlanma ve işlenmesine ait mal oluş masraflarının tam olarak bildirilmeyisidir.

Önce maliyet elemanlarını gösterelim. Sonra bunların incelenmesine çalışalım.

Tablo 1- — Maliyet elemanlarının topluca bir şemasını göstermektedir.

Maliyet elemanları görüleceği gibi 3 grupta toplanmıştır

I — Sabit giderler,

II — Brüt yakıt giderleri,

m — Geri verilen yanıcı maddeler için kredi.

Ayrıca her grup kendi arasında üç maliyet elemanından teşekkül etmektedir. Bu suretle

Atom akımının maliyet elemanları

TABLO: 1

I — Sabit giderler	Sermaye giderleri	Yakıt için faiz kaybı	İşletme giderleri
II — Brüt yakıt giderleri	Uranyum fiatı	Fabrikasyon giderleri	Taşıma giderleri
m — Kredi	Uranyum tortu değeri	Plutonyum'un değeri	Tekrar hazırlama giderleri

atom akımının maliyet elemanlarının sayısı 9 olmaktadır.

Atom santrallerinden bir kısmı henüz deneme durumundadır. Biz burada çeşitli memleketler tarafından satılmak üzere teklif ve sevk edilebilen cinsten atom santrallerinden söz edeceğiz.

Örnek olarak İtalya'da kurulmakta olan yeni atom santralını gösterebiliriz. Roma'dan 65 km. kadar uzakta Latina yakınında kurulmasına başlanan santralın gücü 200 MW'dir. Santral 1962 de işletmeye alınacaktır. Tesis maliyeti yaklaşık olarak 20 milyon sterlin olacaktır. Reaktör grafitle yumuşatılmış ve gazla soğutulmuştur. Çapı 14,5 metre yüksekliği 9,45 metredir. 2980 yanıcı eleman ve 100 deneme kanalı bulunmaktadır. İngiltere'den gelen tabii uranyumu kullanacaktır. Uranyum yükü 275 tondur Uranyum gücü 2,5 MW/t'u bulmaktadır. Reaktörün ısı gücü 705 MW'dir. Herbiri 19 MW üfleme gücünde 6 soğutma devresi gözdnünde tutulmuştur. Soğutma gazı; sıcaklığı 180 °C olarak girer ve 390 °C olarak çıkar. Yüksek basınç devresinde buharın sıcaklığı 373 °C ve basıncı 52,4 ata; alçak basınç devresi 14,3 ata'dır. 3 turbo generatör 70 MW gücünde ve 3000 d/d olarak plânlaştırılmıştır.

Söz edilecek atom santralleri şunlardır:

- İngiliz tipi (tablolarda in ile gösterilmiştir).
- İki cins Amerikan hafif su reaktörleri yani basıncı su reaktörü ve kaynayan su reaktörü.
- Organik olarak yumuşatılmış reaktör (Tablo da OYR olarak gösterilmiştir.)

Bu santrallerde atom akımının mal oluşu degen bulunurken daima bir taşkömürü santrali ile de karşılaştırma yapılacaktır. Taşkömürü santralının bir defa Zonguldak'ta ve sonra Kırkkale civarında hizmet gördüğü kabul edilecektir. Hesaplar önce dolar üzerinden sonra da 1 dolar = 9 TL. olarak TL. ile yapılacaktır. Türk lirası ile yapılan hesaplarda gümrük, nakliye vesair masrafların % 55 kadar fazla tutacağı gözönüne alınarak dolardan TL. sına çevirmede bir dolar 14 TL. olarak alınacaktır. Bugünkü gümrük mevzuatına göre bir atom santralının buhar - santralleri sınıfından sayılacağını ve aynı oranlarda vergilendirileceğini sanıyoruz. Tabii uranyum gümrük ve diğer vergilerden muafır.

Ancak daha uzak mesafeye taşıma dolayısıyla uranyum için ödenen masrafların hesaba esas alınan Avrupa santrallerindeki uranyum fiatından % 11 kadar fazla olacağı anlaşılmiş olduğundan, uranyum fiatının veya onunla ilgili konuların hesabında bir dolar 10 TL. alınacaktır.

Bir atom santralının maliyet durumu alışılmış bir buhar santralının benzeridir. Alışılmış bir buhar santralına karşı yalnız ısı elde etme tesisleri mal oluşu fiatı ile yakıt maliyeti farklı, diğer değerler aynıdır.

Her yerde kurulamayan su santralleri ve düşük karteli kömürlerden faydalanan termik santrallara karşı, atom santralından sağlanan büyük bir kazanç da üretimin merkezileştirilmemesi ve yeni yüksek gerilimli hatların kurulmasından kaçınmak yoluyla alışılmış bu gibi santrallara göre bir gider azalması elde etmesidir. Güvenlik sebebiyle atom santrallerinin çevresinde birkaç kilometre kadar oturulmayan bir bölge yaratılmak zorunda kalınmaktadır. Bu sınırlama büyük kullanma merkezlerine yaklaşmayı gerektiren yer seçimini gerçekten çok ağırlaştırmakta ise de kısa aralıklarda elektrik enerjisinin taşınması büyük bir zorluk göstermez.

Amerikalılar- tesis maliyetinin yüksekliğine ana problem olarak bakmıyorlar, tersine :

- a) Tesisin ömrü,
- b) İşletme maliyetinin yüksekliği,
- c) Net yakıt maliyetinin yüksekliği yanı depolama ve değiştirme için yakıt taşıma maliyeti, döküntüler için daha uygun fiat.

gibi tesirleri de tesis maliyeti yanında inceliyorlar.

Ayrıca Amerikan maliyet hesabı Avrupa ülkelerindeki duruma uymamaktadır. Çünkü :

- a) Tesis maliyeti (yapı malzemelerinin çeşitli -hatları, aylık ve ücretler),
 - b) Yıllık masraflar (hele vergiler ve faizlerin oranı),
 - c) Yakıtın elde edilmesi (yurtta uranyum olması veya ithal mecburiyeti).
- konuları farklıdır.

Yapı masraflarının Avrupa'da, Amerika'dakinden düşük olduğu tespit edilmiştir.

Hafif su reaktörleri aşağıda görüleceği gibi —A— ve —B— olarak ikiye ayrılmıştır. —B—nin fiatı —A—dan düşüktür. Bu fiat düşüklüğünün nedeni adı geçen reaktörün çekirdek kısmı dışında bütün parçalarının Almanya'da yapılmış olmasındandır.

Yurdumuzda da buna benzer çalışmalar yapılması atom reaktör ve santralleri bakımından henüz çok erkendir. Henüz yerleşmiş büyük sanayi kolları var olmadığından çok zaman yurt içinde yapılan bu gibi nesnelere dışardan getirilenlerden pek fazla pahalı olmaktadır. Bu hal atom santralleri konusunda atom akımının fiyatını artırmaktan başka işe yaramıyacaktır. İlerde bu konu üzerinde düşünmeye değer.

Anlatılan beş santral tipi Tablo: 2 de birinci sütunda gösterilmiştir.

Daha başka tipte reaktörlerde vardır. Bunların henüz satışı yapılmadığı için burada bunlardan söz açmıyacağız.

Maliyet faktörlerini incelemeye devam edelim.

I. Sabit giderler :

(1) Sermaye giderleri (Tablo. 2e bak) şu formülden hesaplanır :

$$\frac{\text{Spesifik tesis maliyeti} \times \text{Sermaye hizmeti}}{\text{Yıllık kullanma zamanı}}$$

Bu formülün üç terimini ayrı ayrı inceleyelim :

Ek terim spesifik tesis maliyetidir. Spesifik tesis maliyetinin hesabında bazı esasların önceden tespit edilmiş olması gerekir, Generatör üzerindeki güce (çok zaman olduğu gibi) veya transformatörün gerilim uçlarındaki güce göre mi hesap yapılacaktır. Yani santralin kendi ihtiyacı hesaplanacak mıdır? Bu özelliklerin teklifin gerçek büyüklüğünün tespiti bakımından önemi büyüktür. Fiilen bütün yardımcı fiatların gözönüne alınıp alınmadığı bilinmelidir. Bütün yardımcı fiatlar deyimine bütün yapı işleri, laboratuvarlar, oturma yerleri de içinde olarak, arazinin açılması ile beraber, yol yapılması ve iltisak hattı ve en sonunda soğutma suyunun elde edilmesi gibi fiatlar girmektedir.

Bütün yardımcı giderler ortaya çıkarılmalıdır ki, yapı zamanında ödenecek faizlerle genel toplam tesbit edilebilsin. Bu yolla bile net mal oluşu fiatı yine de sanıldandan % 25 yükselebilir.

Aşağılarda tesis maliyeti denilince bu bütün toplam anlaşılacaktır. Tabiatıyla bu deyim hem kömür hem de atom santralleri için aynıdır.

Tesis gücüne bağlı olarak fiatların da değişmesi yüzünden yalnız eşit güçteki santraller karşılaştırılabilir. Biz burada 150 MW lık bir net

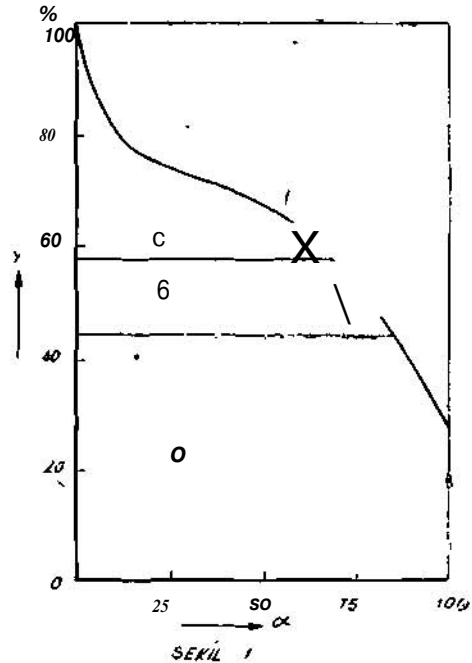
elektrik gücünü esas alacağız. 150 MW emin bir güç değildir. Başka bir yerde bir yedek daha gözönüne alınmıştır. Böylece fabrikasyon maliyeti içine ilk doldurmanın giderleri katılmıyacak bunlar ayrı tutulacak ve yakıt giderleri adı altında hesaplanacaktır.

Bu şartlar altında Tablo — 2 de ikinci sıra spesifik tesis maliyetini \$/kW ve TL/kW olarak verir. Tablonun incelenmesinden de görüleceği gibi İngiliz tesisi en pahalı, kömür santrali en ucuzdur.

Burada kömür santralının da 150 MW gücünde olacağına söze konu olduğuna dikkat edilmelidir.

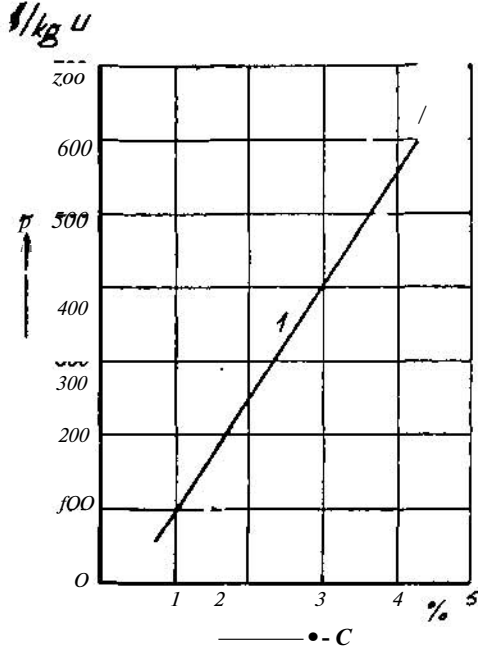
Sermaye giderlerindeki ikinci terim sermaye hizmetidir. Bunlar faizler, amortismanlar, alışımlı nükleer sigortalar, vergiler ve genel yönetim giderleridir. Bunlar için atom santrallerinde tesis maliyetinin yılda % 13 ünü alabiliriz. Burada amortisman süresi 15 yıl ve faiz sınırı % 5 1/2 alınacaktır. Kömür santrallerinde nükleer sigortadan vaz geçilmesi ile yalnızca % 12,4 olarak hesaplanacaktır.

Üçüncü terim faydalanma zamanıdır. Bu zaman atom santralleri tesislerinde çok yüksektir. Genel olarak atom santrallerinin ana yüklenmesi tavsiye edilmektedir. Fakat bu tavsiye yanlış sonuca varmaya sebep olur. Eldeki bütün santrallerinin —alışılmış ve nükleer— sabit gi



derleri değişmez bir miktardadır. Hangi santralin ana yüklenmesi hangi santralin pik yükü ile çalışacağı bu miktarla ilgisi yoktur. Şebeke yü-

künün her an büyümesi sırasında daima her bii kWh'a en düşük yakıt giderleri olan santral ilk defa işletmeye sokulur. Böylece ortalama elektrik fiyatlarında en düşük fiyat artmasına sebep olunur. Örnek olarak beher kWh için ısı giderlerinin linyit, uranyum, taşkömür ve akaryakıt şeklinde sıralanmış olduğu santral guruplarından, ön-



ŞEKİL 2

ce su santralleri devreye konulmalıdır. Bunun kendiliğinden anlaşılacağı besbellidir. Sonra linyit, uranyum, taşkömür santralleri gelir ve akaryakıt santrallerinde sıra son bulur.

Şekil 1 büyük bir enterkonekte şebekede tertiplenmiş yük eğrisini göstermektedir. Bu işletmede linyit ve su kuvvetinden bütün elektrik enerjisinin % 70 i elde edilir. Yukarıda söylenenlerden dolayı linyit ve su santralleri ana yük santrali toplam üretimin % 10 u için kuruluyor. Şekil 1 de görüldüğü gibi bu atom santrali için — sözü edilen örnekte — en büyük kullanma faktörü olarak % 76 alınacak demektir.

Onarmalar, aksaklıklar ve gereken yedeklerden dolayı santral gücü şebekedeki güç pikinden büyük olmalıdır. Gerçek ekonomiklik hesabında pike göre kullanma süresini değil santral gücü ne göre hesaplanan kullanma süresini almalıdır. Yani yük faktörü yerine kullanma faktörünü hesaba esas almalıdır.

Örnek olarak büyük bir enterkonekte şebekede gereken yedek % 12 dir. Öyleyse demin hesaplanan en büyük kullanma faktörü % 76 dan $\% 76/11,2 = \% 68$ bulunur. Böylece kullanma süresi de;

$$0,68 \times 8760 \text{ saat/yıl} = 6000 \text{ saat/yıl olur.}$$

Deney ve alışkanlık eksikliğinden bir atom santralının işletme iktisadı noktasından durdurulması ve tekrar çalıştırılmasının tesirleri henüz iyice bilinmemektedir.

Zaman geçtikçe atom santralleri sayısı artacağından bunlarda daima daha fazla pik yükünü

SABİT GİDERLER TABLOSU

Net elektrik gücü 150 MW

TABLO:2

1	Reaktör tipi	$i_n^{(1)}$	Hafif su (2)		OYR	Kömür	
			A	B			
2,	Tesis maliyeti (3)	$\frac{\$/kW}{TL/kW}$	450 6300	380 5300	285 4000	267 3750	150 2100
3.	Sermaye giderleri (4) (Yılda % 13 ve 6000 saat/yıl)	$\frac{\text{Mills/kWh}}{\text{krş/kWh}}$	9,80 13,7	8,32 11,65	6,20 8,7	5,79 8,1	3,10 4,34
4.	Faiz kaybı	$\frac{\text{Mills/kWh}}{\text{krş/kWh}}$	0,70 0,70	0,81 0,81	0,90 0,90	1,08 1,08	— —
5.	İşletme giderleri (Yılda % 4 ve 6000 saat/yıl)	$\frac{\text{Mills/kWh}}{\text{krş/kWh}}$	3,00 4,2	2,55 3,57	1,90 2,66	1,78 2,49	1,00 1,40
6.	Sabit giderler	$\frac{\text{Mills/kWh}}{\text{krş/kWh}}$	13,50 18,60	11,68 16,03	9,00 12,26	8,65 11,67	4,10 5,74

(1) in - İngiltere (Calder - Hail tipi)

(2) Basınçlı veya kaynayan su reaktörü (Ortalama değer) A ve B için metne bakınız

(3) Arazi ve arazinin açılması, soğutma suyu, yapı işleri faizleri bunun içinde, ilk doludurmanın fabrikasyon masrafları bunun dışındadır.

(4) Kömür santralında nükleer sigorta bırakılması ile yıllık gider % 12,4

üzerlerine almak mecburiyetinde kalacaklardır. Böylece kullanma süresi gittikçe düşer ve yaklaşık olarak 5000 saat/yıl olur. Bu sayıya uygun diye bakılmamalıdır. Çünkü bir enterkonnekte işletmede kullanma süresi, hele abonelerin çeşitli

tipteki yük eğrilerinin karışmasından dolayı yüksektir.

Fransa ve İtalya'daki durum, yukarıda anlatılan örnek duruma, su kuvveti ve tabii gazın uranyumdan çok ucuz bir yakıt olmasından dolayı benzerdir.

Avrupa memleketlerinde işletmekte olan atom santralleri :

Memleket	Şehir	Adı	Net elektrik gücü MW
Fransa	Marcoule	G, 1	Üç reaktörün toplam
		G, 2	
		G, 3	
İngiltere	Calder Hail	Calder Hail A	1 50
		> » B	74
	Chapelcross	Chapelcross birinci reaktör	74
		Chapelcross ikinci ve üçüncü reaktör	37
Norveç	Halden	Halden	—

Yine Avrupa memleketlerinde kurulmakta olan ve 1965 yılı sonunda işleyecek olan atom santralleri

Memleket	Şehir	Adı	Net elektrik gücü MW	Cinsi	\$/kW
Almanya	Kahl	—	15	—	—
Belçika	Mol	BR3	11,5	—	—
Fransa	Chinon	EDF1	60	r.u. - GS.	540
		EDF2	170	T.U - GS.	360
İngiltere	Berkeley	Berkeley	2 x 138	T.U - GS.	410
	Bradwell	Bradwell	2 x 150	T.U. - GS.	410
	Windscale	AGR	28	—	—
	Hinkley Point	Hinkley Point	2x250	T.U-GS.	340
	Hunderston	Hunderston	2 x 150	T.U. - GS.	380
İsveç	Agesta	R3 - Adam	10	—	—
		Latina	SIMEA» *	200	T.U - GS.
İtalya	Garigliano	SENN (ENSI)	150	Z.U - KS.	370
		Riva Trigosa	SELNI	135	Z.U - BS.

Ayrıca OEEC üyesi ülkelerde aşağıdaki santraller halen incelenmektedir. Yani bu santraller

için belirli bir tip seçilmiş, teklif alınmış veya finansmanı temin edilmiştir.

Memleket	Şehir	Adı	Net elektrik gücü MW
Almanya	—	Druckrohr	100
	—	SNDR 1	50
	—	AGR	100
	—	BWR (aşırı kızdırıcı)	100
Belçika ve Fransa	Stuttgart	OMR	150
	Loop (Chooz)	—	150 - 200
Fransa	Chinon	EDF 4	400
İngiltere	Kuzey İrlanda	—	150
	Edem	—	500
	Oldbury (Severn)	—	650
	İsle (Wight)	—	500
İspanya	Alberche	—	30
İsveç	Björnö	R4 - Eve	100
	Simpevarp	AKK	50
İsviçre	Lucens (Vavd)	Enusa	10

T.U-GS Tabii uranyum, gazla soğutulan reaktör sistemi.

Z.U-BS Zenginleştirilmiş uranyum, basınçlı su reaktör sistemi

Z.U-KS Zenginleştirilmiş uranyum, kaynayan su reaktör sistemi.

Buraya kadar sermaye giderleri için üç faktör açıklandı Bu şekilde sermaye hizmeti olarak yılda % 13 veya % 12,4 ve kullanma süresi olarak da 6000 saat/yıl esas alınacak bulunan kilovatsaat başına sermaye giderleri sıra 3 de mills/kWh veya kuruş/kWh olarak gösterilmiştir (1 mili = 0,001 dolar) Burada da büyüklük sırası 2 nci tesis gücü sırasında olduğu gibi İngiliz tipinde en yüksek, kömürlü santralda en düşük sermaye giderlerini haizdir.

(2) Maliyet elemanlarından Tablo İde inci sırasında gösterilen sabit giderlerin ikinci elemanı ödeme vadelerine ait olan yakıtların faiz kaybıdır. Yakıtın satın alınması tabiiyle onların reaktöre konulmasından aylarca önce olur. Kredi önce geri gönderme sırasında yani reaktörden yakıtın çıkarılmasından bir kaç ay sonra olur. Bu ölü zaman içinde reaktörün dışında faiz kaybı meydana gelir. Bu işde faiz fiatı olarak % 5 1/2 alınmış ve tablo 2 de sıra 4 de gösterilmiştir. Bunun büyüklük basamağı 1 mill/kWh yani 1 kuruş/kWh kadardır.

(3) Üçüncü maliyet elemanı İşletme giderleridir. Bu giderlerin tutarı bütün tesisin maliyeti

üzerine oranlanır. Bu oran içinde tali giderler ve yapı işleri faizleri de göz önüne alınmış, olup en az yılda % 4 kadar tutar. Bu oranla ve yılda 6000 saat kullanma süresiyle tablo 2 de sıra 5 de gösterilmiştir. Sıra 3, 4, 5'in toplamı sabit giderlerin toplamını verir ve buda sıra 6'da gösterilmiştir.

Sabit giderlere göre kömür santrallerinin üstünlüğü apaçık görülmektedir.

II. Brüt Yakıt Giderleri :

(1) İlk kısım uranyum için giderlerdir. Tablo 3'de sıra 2) Bunlar Şekil 2 nin gösterdiği gibi zenginleşme ile linear olarak büyürler. İngiliz tipinde tabii uranyum kullanılır. Beher kilogramın fiatı bu sebepten çok düşüktür. Üç Amerikan reaktörü % 2 ile % 2,5 kadar zenginleştirilmiş uranyum kullanılır. Bu yakıtın bir kilogramı, diğerinden beş ilâ yedi kat daha pahalıdır.

(2) İkinci kısım fabrikasyon masraflarıdır. Tablo 3 de sıra 3 de gösterilmiştir. İngiliz tipi ile organik olarak yumuşatılmış tipte metalik uranyum kullanılır. Fabrikasyon ucuzdur ve her bir kilogramı 20 dolar kadar eder. Fabrikasyon, taşıma giderleri ve kredi de her zaman «beher kilogram içindeki uranyum» anlatılmaktadır. Buna karşılık hafif su reaktorları uranyum oksit kullanırlar ki, fabrikasyon pahalı olur. A tipinin yaklaşık olarak fabrikasyon masraflarının diğerlerinden 7 kat pahalı olmasına karşılık B tipi yalnız 3 kat pahalıdır.

TABLO — 3

1. Reaktör tipi	-	in	Hafif su			Taşkömür Santrali	
			A	B	OYR	(4) Zonguldak Kırıkkale	
2. Uranium (M)	\$/kg	40	220	300	220	0,0112	0,0112
	TL/kg	400	2200	3000	2200	0,101	0,101
3. Fabrikasyon	\$/kg	17	140	64	20	—	—
	TL/kg	170	1400	640	200	—	—
4. Taşıma	\$/kg	7	18	18	18	—	0,0039
	TL/kg	70	180	180	180	—	0,035
5. Soğutucu Madde	\$/kg	—	—	—	33	—	—
	TL/kg	—	—	—	330	—	—
6. Kredi (1)	\$/kg	-14	-118	-168	-123	—	—
	TL/kg	-126	-1062	-1512	-1107	—	—
7. Yakıt Giderleri	\$/kg	50	260	214	168	0,0112	0,0151
	TL/kg	504	2718	2308	1803	0,101	0,136
8. Elektrik Enerjisi	kWh/kg	15000	50000	50000	37400	2,15	2,15
9. Yakıt giderleri (2)	Mill/kWh	3,33	5,20	4,28	4,50	5,21	7,02
	Krş/kWh	3,43	5,43	4,62	4,82	4,70	6,33

(1) Zenginleştirme I_n de % 0,714, A da % 2, B de % 2,5 ve OYR de % 2,0

(2) Kredinin TL sına çevrilmesinde 1 dolar 9 TL. alınmıştır

(3) 7 sıra 8 sraya bölünerek bulunmuştun

(4) Kömür fiatı ile kömürün taşınmasında 1 dolar = 9 TL alınmıştır

Taşkomür santralında Zonguldak 0-10 (zero-diz) kömürünün (alt ısı değeri 6140 Kcal) yakıldığı kabul edilmiştir. Bu cins bu gün için memleketimizde enerji üretiminde geniş ölçüde kullanılan taşkomür türüdür. Ancak bu kömürün 1 \$— 9 TL hesabıyla döviz değeri Avrupa'daki kömür fiyatlarına göre ucuz gelmektedir. Aynı nitelikteki kömürün tonuna Avrupa'da 13,5 dolar kadar verilmektedir. Burada 11,2 dolar/ton hesaplanmıştır ki % 20 daha ucuz gelmektedir.

Amerika'nın kömür için 7 \$/ton fiyatı ise Avrupa'da aranan bir fiattır.

Kömür santralının yakıt giderleri hesabında iki durum göz önüne alınmıştır. Birisi kömür kaynağında santralın kurulacağı değeri ise santralın kömür kaynağından hemen hemen 400 km uzakta bir yerde kurulacağı durumudur. Bu iki duruma daha müşahhas bir anlayış vermek için kömür kaynağında kurulacak santral için Zonguldak ve bundan 400 kilometre uzaktaki santral için Kırıkkale (Zonguldak'a 393 kilometre) adı verilmiştir.

(3) Üçüncü kısım taşıma giderleridir. (Sıra 4) Bu giderler, bir defa nükleer sigorta için ödenen karşılıktan dolayı sor kurşun kabın ve uranyumun çok fazla olan ağırlığın taşınmasından dolayı yüksektirler. Uranyum kendisi de bir hayli ağırdır. (Özgül ağırlığı 19,0 kg/dm³) Uranyumun kurşun kabının taşınan yakıt elemanından 10 ilâ 40 kat fazla ağırlığı vardır. Ağır kurşun kab tabiatıyla boş olarak yeniden santrale gönderilmek mecburiyetindedir. Gidiş ve geliş giderleri (Navlun + Sigorta) beher kilogramda 18 dolar tutar. İngiltere'de taşıma gideri beher kilogramda 7 dolar kadar tutmaktadır.

(4) Organik olarak yumuşatılmış reaktörde (OYR) devamlı soğutucu madde ihtiyacı gözönüne alınmalıdır. (Sıra 5) Sıra 2 den 5 e kadar olanların toplamı bürüt yakıt giderini verir. Taoloda bu toplam gösterilmiştir

ÜS. Kredi

Kullanılıp geri gönderilen yakıt elemanı için kredi de uç kısımdan meydana gelir.

(1) İlk olarak yakıt elemanında hemen hemen halâ bütün uranyum vardır. % 1 i bile ayrılmıştır Fakat U²³¹ de fakirleşmiştir. Bu suretle değeri Şekil 2 de gösterildiği gibi düşmüştür.

(2) ikinci olarak Plütonyum meydana gelmiştir Bunun değeri her bir kilogramın fiyatına ve elde bulunan miktara bağlıdır. Halen fiyatı beher gramı 12 dolar (120 TL) dir. Bu fiyat bugün için güvenilecek bir fiyat değildir. Bu fiyat daha ne kadar devam edecektir. Bunu askerî ihtiyaçlar ve reaktörlerde bundan sonraki kullanılışı tesbit edecektir. Plütonyumun miktarı diğer yünden İngiliz tipinde beher kilogram uranyum için

1,5 gram ve Amerikan tiplerinde iki katı kadar tutar B durumunda daha fazla olacağı bildirilmektedir. Fakat az olması da muhtemeldir.

(3) Uranyum ve plütonyumdan elde edilen kazançlar yakıt elemanının yeniden hazırlanması için gereken giderleri karşılar. Ayrıca radyoaktif artıkların ortadan kaldırılması da önemli bir meseledir. Amerikan atom komisyonu hazırlama için beher kg uranyum 21 dolar (210 TL) istemektedir. Eğer bunun mal oluş değeri hesaplanırsa görülür ki, burada aşırı bir para yardımı söz konusudur. Çünkü bu fiyat 15 kadar atom santralının (her biri 150 MW güçte) hazırlama tesislerini tam meşgul etmek için var olduğunu kabul etmektir.

Sözü edilen fiyat değişme ve diğer ikinci derece giderlere girer. Böylece Amerikan reaktörü için hazırlama giderleri ile her kilogramı uranyum 30 dolar (300 TL) dan hesaplamak zorundayız. Fakat hiç bir gerçek fiatın söz konusu olmadığını gözönünde tutmalıyız.

Kredinin gözönüne alınmasıyla net yakıt giderleri Tablo 3 de 7 nci sırada gösterildiği gibi olur.

(4) Bu şekilde beher kilogramı uranyumun santralda yakıt olarak fiyatının bulunmasıyla beher kWh fiyatını da hesaplayabilecek hale gelmiş olacağız. Ancak beher kilogram uranyumdan elde edilecek elektrik enerjisinin ne kadar olacağını bilmemiz gerektir. Burada iki değer bilinmelidir. Aradığımız bu iki değer çarpımıdır.

Verim x Yanma

Bu iki önemli çarpanı inceleyelim Verim yarıklı çok küçüktür. Bundan başka iki şeye dikkat edilmelidir. Birincisi tesisin kendi iç ihtiyacı, ikincisi en büyük kullanma faktörünün düşmesi le verimin kötüleşeceğidir. Sonuncunun tesiri Şekil 3 de gösteriliyor. Yıllık verimin en iyi verim değerine oranı en büyük kullanma faktörüne bağlı olarak çizilmiştir. Eğri (rastlanan durumlarda) pratikte bir dairedir.

Sözü geçen iki tesire dikkat etmelidir. Böylece İngiliz tipinde verim belki % 25 i bulabilir, Amerikan reaktörlerinde % 26 olabilir •

İkinci faktör yanmadır, yani beher kilogram veya aynı şekilde beher tondan üretilen ısı miktarıdır. Burada yapılan hesaplarda, hesabın emin olunmayan en önemli noktası budur. Her ne kadar satıcılar tarafından verilen değerler garanti edilmişlerse de burada «garanti» sözü geleneksel anlamda anlaşılmalıdır.

İngiliz tipinde yakıt elemanı metalik tabii uranyumdur. Burada yanma 3000 MWg/t verir⁽¹⁾ 3500 MWg/t yanmayı garanti eden İngiliz teklifleri de vardır. Bu değerler kredi geri gön-

(i) 1 MWg (Megavat gün) = 24 000 kWh

derme de her bir kilogram uranyum için 14 dolar tutar. Garanti şartı maddesi mutlaka aranır. Şekil 4 de aşağıdaki kırık çizgi aracı ile kredi gösterilmektedir. 2500 MWg/t değerinden yukarı çıkılarak krediler bulunur. Beher kilogram uranyum için 14 dolar kaldığı görülür. Yanmanın ilerlemesi ile evvelâ kredi yükselmeye başlar. Hesabımıza 2500 MWg/t değerini temel alacağız. Bu değerde kredi üstteki doğruya bağlı olarak değişecektir. 2500 MWg/t da garanti 14 dolar değil bilâkis 28 dolar/kg bulur. Daha düşük yanmalarda kayıp Şekil 4 de gösterildiği gibi daha fazla artar.

2500 MWg/t lık bir yanma % 25 verimle çalışan santralde 15000 kWh/kg a karşı gelir. Finans edilen zararlar bu halde :

$$\frac{14000 \text{ mill/kg}}{15000 \text{ kWh/kg}} = 0,93 \text{ mill/kWh}$$

dır. Bir yıl içinde;

1500 MW X 6000 saat x 0,93 mill/kWh = 840 000 \$ tutar. Yanma 2500 MWg/t dan daha azdır, yani meblâğ daha yüksektir.

Amerikan hafif su reaktörlerinde yanma için garanti de bunun benzeridir. Burada, garanti edilen yanmaya ulaşılmadığı takdirde, fabrikasyon giderlerinin zarar ödeneği az çok hafifletilir ve elektrik santralının zarar kaybı olarak kalır.

Örnek olarak tip (A) da 10 000 MWg/t garanti edilmektedir. Fakat yalnız 6 000 MWg/t a ulaşabilmiştir. Böyle yetersiz garantiden dolayı 22\$/kg kadar kaybedilir. Bu kWh a çevrilirse 0,59 mill/kWh yapar. O halde yılda kayıp:

150 MWx6000 saat x 0,59 mill/kWh=530000\$ dır.

Her halde —zenginleştirmenin temelini teşkil eden hususlar ile— yanmanın kendi değerinin garanti şartına uyup uymadığı denenmelidir.

Yanmalarda böyle büyük farklarla garanti vermesi ve bunların yeter olmaması tahminleri bozmaktadır. Fiilen yanmada 10 000 MWg/t ve bunun üzerindeki değerlere henüz daha ulaşamamıştır. Fakat yanma miktarının büyük ekonomik önemi vardır. Çünkü yakıt giderleri yanma ile ters orantılıdır. Bu konuya bu sebeple fazla düşülmekte ve yeni bir şeyler çıkarılmaya çalışılmaktadır.

işletmede bulunan hafif su reaktörlerinden en büyüğü 60MWlık Shippingport - tesis üzerinde uzun uzun yayın yapılmıştır. (2) Ortalama yanması yaklaşık olarak 6000 MWg/t olarak tahmin edilmektedir.

Bundan dolayı iki hafif su reaktörü «A» ve «B» de direnilen ve «garanti» edilen 10 000 MWg/t e ulaşmak muhtemel değildir. Biz her ikisi için de ortalama olarak 8 000 MWg/t ve organik

(2) Nucleonics Nisan Sayısı 1958

olarak yumuşatılmış tip OYR 6000 MWg/tu esas almak istiyoruz.

OEECnin Temmuz 1960 da yayınlanan C (60) 96 Annejx V işaretli enerji tahminleri için kurulan enerji danışma kurulu raporlarında Nükleer enerji yönetim kurulunun düşüncesi ise bu konularda şöyledir: (Ortalama değerler olarak) :
Termik verim = t % 27
Kullanma faktörü = F % 75
3000 MWg/t

Yanma = Y

(tabii uranyum için)

Yanma (incelenmekte olan pe-
riyot için ortalama değer zen-
ginleştirilmiş uranyum

için) = Y - 10 000 MWg/t

Ayrıca

G kurulu gücü MW olarak ve

S yıldaki gün sayısını gösterirse,

Yılda ton olarak kullanılacak yakıtın miktarı (M) aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$M = G \times \frac{1}{t} \times F \times S \times \frac{1}{Y}$$

1965 yılında bütün Türkiye'de toplam kurulu gücün 1500 MW olacağı düşünülür ve yukardaki formül ile değerler kullanılarak ancak kullanma faktörü olarak % 35 alınır (Bugün için kullanma faktörü % 25 dir) 1965 yılında Türkiye'de gereken bütün elektrik enerjisi atom santrallerinden elde edilmek istendiğiktakdirde yılda harcanacak yakıt:

$$M_1 = 1500 \times \frac{1}{0,27} \times 0,35 \times 365 \times \frac{1}{3000} = 237 \text{ ton tabii}$$

uranyum,

$$M_2 = 1500 \times \frac{1}{0,27} \times 0,35 \times 365 > < \frac{1}{10000} = 71 \text{ ton zengin-}$$

leştirilmiş uranyum olarak bulunur.

kWh başına 0,450 kilogram Zonguldak kömürü yakan modern buhar santralleri ile bu işin dengi 2,1 milyon ton Zonguldak kömürüdür. Ağırlık farkının tabii uranyum için 10 000 ve zenginleştirilmiş uranyum için 30 000 defa daha az olduğuna dikkat etmelidir.

(5) Verim ve yanmayı bilmekle enerji üretimi maliyetini artık hesaplayabiliriz. Tablo 3 de Sıra 8 de bunlar kWh/kg olarak gösterilmişlerdir. Ayrıca 6140 Kcal/kg ısı, değerindeki Zonguldak kömürü içinde elektrik enerjisi fiyatı verilmiştir 7 nci sıranın 8 inci sıraya bölünmesi ile net yakıt gideri 9 uncu sıra da mill/kWh veya krş/kWh olarak bulunur.

Çeşitli santral tiplerindeki yakıt giderlerini karşılaştırsak İngiliz tipinde yakıt giderinin en düşük, Zonguldak kömüründe en yüksek olduğunu görürüz.

Tablo 4 de bütün buraya kadar yaptığımız incelemenin sonuçları toplanmıştır. Bu tabloda

Toplam enerji üretim giderleri

TABLO 4

1. Reaktör tipi	in	Hafif su			Taşkömürü santrali		
		A	B	OYR	Zonguldak	Kırıkkale	
2. Sabit giderler	Mill/kWh	13,50	11,68	9,00	8,65	4,10	4,10
	krş/kWh	18,60	16,03	12,26	11,67	5,74	5,74
3. Yakıt giderleri	Mill/kWh	3,33	5,20	4,28	4,50	5,21	7,02
	krş/kWh	3,43	5,43	4,62	4,82	4,70	6,33
4. Üretim giderleri	Mill/kWh	16,83	16,88	13,28	13,15	9,31	11,12
	krş/kWh	22,03	21,46	16,88	16,49	10,44	12,07

sıra 2 hesaplanan sabit giderleri, Sıra 3 net yakıt giderini gösteriyor. Her ikisinin toplamı en sondaki Sıra 4 de dört atom santrali ve bunlara benzer ve farklı iki yerde kurulacak Zonguldak kömürü yakan santral için aranan enerji üretim giderlerini verir.

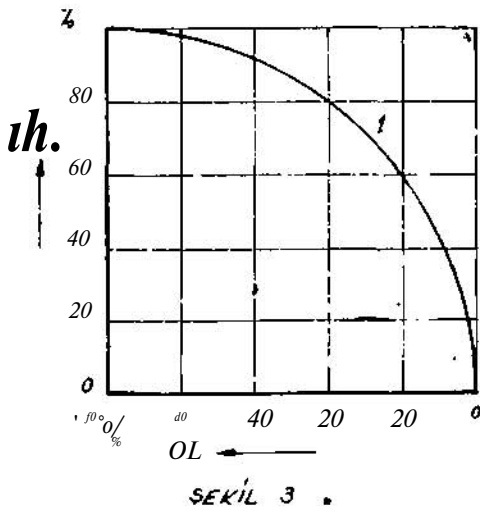
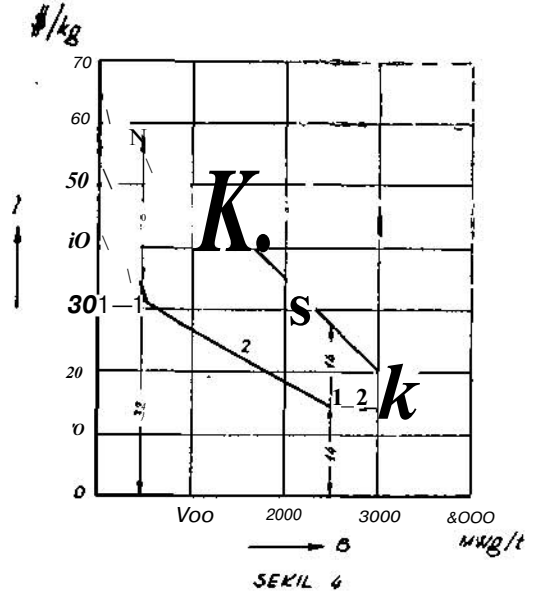
Bu üretim giderlerinde kömürden üretilen cereyanın en düşük olduğu görülecektir. Bu fiatlarla hiç bir atom santralının kömür santrali ile rekabet edemeyeceği düşünülebilir.

Kömürden ve uranyumdan üretilen cereyan arasındaki gider farkı kömürün yüksek taşıma giderleri yüzünden azalır, ekonomik olabilir. Enerji Zonguldak bölgesinden kömürden primer şekilde değil tersine elektrik enerjisi şeklinde diğer bölgelere taşınacaktır. Fakat yüksek cereyan maliyeti 12.0J krş/kWh ile karşılaştırılırsa solda bulunan iki tipte (in ve A) elde edilen atom cereyanı % 80 daha pahalıdır. Bununla beraber diğer iki tip:

(B ve DYR) — daha sağdakiler — nisbeten maksada yakındırlar. Yinede bu atom santrallerinin —diğerleri gibi— yardıma (subvansiyon) ihtiyacı vardır. İlk yıllar boyunca işletme emniyeti hakkında, radyoaktiflik tehlikesine karşı emniyet, ayrıca reaktörün ömrü üzerine ve ni-

hayet yanmanın yüksekliği konusunda tecrübe bilgisi verilecektir.

Kömürün bugün için dış ülkelere göre düşük olan fiyatının artması, daha uzak mesafelere taşınması mecburiyetleri de maliyetlere binerse atom akımının kömürden elde edilen elektrik ile memleketimizde de rekabet edebileceği anlaşılmaktadır.



- (1) W BRAUNBEK: «Atom energie in Gegenwart und Zukunft», Stuttgart—1953.
- (2) International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy A/Conf. 8/P/476.
- (3) Dr. HELGA BAUMAN: (ÖSE) Österreichische Zeitschrift für Elektrizitätswirtschaft-Nisan 1959 Yıl 12 sayı 4.
- (4) Dr. Ing. O. LÖBL «Die Kostenfaktoren der Atomenergie» Die Schweizerischen elektrotechnischen Vereins (SEV) 29/8/1959 yıl 50 Nr. 18 Sayfa 197 - 202.
- (5) Energie Agustus 1958 Nr. 8 Yıl 11.
- (6) OEEC - Comments on the Report of the energy advisory Commission on energy forecasts c (60) 96 Annex V 26 Temmuz 1960.