

## Araştırma Reaktörleri ve Selçuk Üniversitesi Kampüsü İçin Uygun Bir Reaktör Seçimi

Nuretdin EREN<sup>1</sup>, Rıza OĞUL<sup>1</sup>

**Özet:** Nükleer reaktörlerin tarihsel gelişimine kısaca değinilerek araştırma reaktörlerinin gelişimi incelendi. Araştırma reaktörlerinin önemi vurgulanarak Selçuk Üniversitesi Kampüsü için ısıtma ve araştırma amaçlı reaktörün uygun olacağı sonucuna varıldı.

Anahtar Kelimeler: Filyon reaksiyon, Araştırma reaktörleri.

### Research Reactors and Selection of a Suitable Reactor for The Campus of Selçuk University

**Abstract:** After a brief review of historical development of nuclear reactors, evolution of research reactors is discussed. Emphasizing the importance of research reactors, it was concluded that a nuclear reactor, which could be used for both heating and research purposes, would be suitable for the campus of Selçuk University.

Key Words: Fission reaction, Research reactors.

#### 1.Giriş

Nötronun 1932 yılında J. Chadwick tarafından keşfedilmesinden sonra E. Fermi 1934 yılında farklı hedef çekirdekleri nötronlarla bombardıman ederek deneyler yaptı[1]. Uranyumla yaptığı deneylerde, radyoaktif izotoplarla birlikte farklı elementlerin oluştuğunu buldu. Deneyleri sırasında, nötronların su veya parafin içerisinde geçtiklerinde enerjilerinin azaldığını ortaya attı. Ocak 1939 da Alman fizikçileri Lise Meitner ve Otto Frisch uranyumun nötronlarla bombardımanında, yaklaşık eşit büyüklükte iki parçaya bölündüğü ve müthiş miktarlarda enerji salıverildiği sonucuna vardılar. Bu olaya "Çekirdek Filyonu" adı verildi[2].

Enrico Fermi ve ekibi tarafından tasarlanmış ve inşa edilmiş olan ilk reaktöre CP-1 adı verildi. 2 Aralık 1942 'de işletmeye açılan reaktör Chicago Üniversitesi'nin Stagg sahasının altında inşa edildi ve 12 Aralık 1942 ye kadar yarım watt güçle çalıştırıldı.

Değişik ülkelerin reaktör araştırma geliştirme çalışmalarına katılmasıyla, dünya üzerinde bir çok araştırma reaktörünün yanında, merkezi enerji üretim reaktörleri de kurulmaya başlandı. İlk nükleer reaktörlerle ilgili veriler ve özellikleri Tablo.1 'de verilmiştir[3].

<sup>1</sup> S.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü 42031, Kampüs/KONYA

28 Mart 1979 tarihinde Amerika'da Three Mile Island kazasında hiç kimse zarar görmediği halde araştırmacılar reaktörlerin güvenliğini kökten değiştirecek yeni tasarımlara ağırlık verdiler. Bu çalışmalara 26 Nisan 1986 Chernobyl kazasından sonra daha fazla önem verilmiştir[4]. Bu çerçevede, ilk reaktörlerden sonra inşa edilen ve 1980 lere kadar kurulan reaktörlere "birinci kuşak", bundan sonra tasarlanan reaktörlere de "ikinci kuşak" ya da "kendinden güvenli" reaktörler denilmektedir.

İnsanlığın atom enerjisiyle tanışması İkinci Dünya Savaşı ile olmuştur. ABD 'nin Japonya'ya attığı iki atom bombası çok sayıda insanın ölmesine, yaralanmasına ve sakat kalmasına neden olmuştur. Bu tanışma sonucu insanlar nükleer enerjiye daima soğuk bakmışlar ve her zaman nükleer güç tesislerini birer bomba gibi görmüşlerdir. Aslında, reaktörlerle atom bombası arasında çok büyük farklılıklar vardır. Bu farkın insanlara anlatılması ve onların bilinçlendirilmesi nükleer enerjinin geleceği açısından büyük önem arz etmektedir.

**Tablo 1.** İlk nükleer reaktörler ve özellikleri.

İsim	Yer	İşletme	Güç	Notlar
CP-1	Chicago, Illinois	Aralık 1942	200 W	İlk kontrollü zincirleme reaksiyon.
X-10	Oak Ridge, Tennessee	Kasım 1943	4 MW	Pu üretimi için pilot tesisi; izotop üretimi ve araştırma.
CP-3	Argonne, Illinois	Mayıs 1944	300 kW	İlk D <sub>2</sub> O reaktörü.
LOPO	Los Alamos, N.Mexico	Mayıs 1944	1 W	İlk zenginleştirilmiş uranyum ve ilk homojen su kazanı, küresel kor.
	Hanford, Washington	Eylül 1944	100 MW tahmini	Pu üretim reaktörleri, güç kullanılmıştır.
ZEEP	Chalk River, Kanada	Nisan 1945		İlk Kanada reaktörü.
Clementine	Los Alamos, N.Mexico	Kasım 1946	25 kW	İlk hızlı reaktör, ilk Pu <sup>239</sup> reaktörü.
GLEEP	Harwell, İngiltere	Ağustos 1947	100 kW	İlk İngiliz reaktörü, sadece Pu üretimi.
NRX	Chalk River, Kanada	Ağustos 1947	40 MW	Yüksek nötron akısı.
BSR	Oak Ridge, Tennessee	Kasım 1950	100 kW	Doğal konveksiyonla soğutma, havuz tipi, araştırma için protatip.
JEEP	Kjeller, Norveç	Ağustos 1951	100 kW	Güç kullanılmamıştır.
EBR-I	NRTS, Arco, Idaho	Aralık 1951	100 kW	İlk elektrik üretimi, üretken.
MTR	NRTS, Arco, Idaho	Mart 1952	40 MW	Malzeme üzerindeki radyasyon etkilerini araştırmak için yüksek nötron akısı.
APS-I	USSR	1954	1 Mwe	İlk Rus reaktörü.
PWR	USS Nautilus	Ocak 1955		İlk itici güç reaktörü, küçük, yüksek güçlü.
Calder Hall	Cumberland, İngiltere	Ekim 1956	4.2 MWe	İlk ticari güç üretimi, Pu üretimi.
EBWR	Argonne, Illinois	Aralık 1956	5 Mwe	İlk kaynar sulu reaktör.
PWR	Shippingport, Pennsylvania	Aralık 1957	230 MWt 60 MWe	ABD deki ilk nükleer güç reaktörü.

## 2. Araştırma Reaktörleri

Nükleer enerjinin günümüzde bu denli yaygın olarak kullanılmasının altında 50 yılı aşkın araştırma-geliştirme çalışmaları yatmaktadır. 1942 yılında yapılan ilk reaktörden günümüze yüzlerce reaktörde birçok deneyler ve yeni gelişmelerin yanı sıra büyük bir bilgi birikimi ve tecrübe

elde edilmiştir. Bugün enerji üretiminde kullanılan büyük çaplı nükleer reaktörler, araştırma reaktörlerindeki uzun süreli çalışmalar sonucunda elde edilen bilgi ve yetişen elemanlarca güvenli bir biçimde çalışmalarını sürdürmektedirler.

Araştırma reaktörleri için belirli bir model yoktur. Hemen her tipin araştırma modelini oluşturmak mümkündür. Ancak araştırma reaktörlerinde aranan bazı özellikler vardır. Bu özellikler de araştırmanın şekline göre farklılıklar göstermektedir. Öncelikle reaktör korunum kolayca gözlenmesi ve ulaşılması şimdiye kadar olan modellerde en çok aranan özelliklerin başında gelmektedir. Yakıt elemanları, güç altında ve kolayca değiştirilebilmelidir. Genellikle reaktör gücü ve güç yoğunluğu küçük ve özel tipler dışındakilerde çok düşük tutulmalıdır. Bugün, sıfır güçle çalışan birçok araştırma reaktörü vardır. Çok fonksiyonlu ve hassas ölçü aletleriyle donatılmaları gereklidir. Kordan dışarıya nötron akısına imkan tanınmalı ve bu nötronlarla değişik deneyler yapılabilmelidir. Işınlama ve sonuçlarını inceleyebilmek için ışınlama hücrelerine sahip olmalıdırlar. Deneysel amaçlarla ve eleman yetiştirilmek için kullanıldıklarından, tecrübesiz kişilerin yapabilecekleri hatalara karşı güvenli olmalıdırlar. Aynı zamanda araştırma reaktörlerinde birçok olumsuz durumda reaktörün davranışı da incelenecektir.

Üniversitelerde, araştırma kurumlarında ve büyük çaplı reaktör imalatçısı kuruluşların araştırma bölümlerinde bulunan araştırma reaktörleri, araştırma-geliştirme ve eleman yetiştirmenin yanı sıra radyoizotop üretimi, ısıtma ve küçük çaplı elektrik üretimi gibi farklı amaçlar için de kullanılabilirler.

İlk reaktörler birer araştırma reaktörleri olarak kabul edilebilirler. İlk çalışmalar bir kaç ülke tarafından gerçekleşirken bugün dünyada 56 ülke en az bir tane lisanslı araştırma reaktörüne sahiptir. Tablo 2 'den de görüleceği gibi 1955 yılında dünya üzerinde toplam 40 araştırma reaktörü mevcutken bu sayı 1990 yılında 342 dir. Buna ek olarak Haziran 1989 itibariyle Tablo 3 'de görüldüğü üzere 15 araştırma reaktörünün inşası devam etmektedir. Ayrıca yine aynı tarih itibariyle Tablo 4 'de gösterilen 15 araştırma reaktörü planlanmıştır[5].

Dünya üzerinde çalışan araştırma reaktörlerinin 1990 yılı itibariyle yaş ortalaması yaklaşık 24 yıl olup bunların dağılımı Şekil 1 'de verilmiştir. Araştırma reaktörlerindeki (dolayısıyla nükleer endüstrideki) büyüme Şekil 2 'de açıkça görülmektedir. Bu arada yeni ve çok özel tipler inşa edilirken, ekonomik ömürlerini tamamlayan yada kullanılmayanlar kapatılmış yada tamamen sökülmüşlerdir. Şekil 3 'de kapatılan ve sökülen araştırma reaktörlerinin tarihsel dağılımı gösterilmiştir[5].

Ülkemizde 1956 yılında başlayan çalışmalar sonucunda, 1962 yılında TR-1 adıyla 1 MW termal güçte ve termal nötronlarla çalışan, yakıt olarak %93 zenginleştirilmiş  $U^{235}$ , yavaşlatıcı ve soğutucu olarak su ( $H_2O$ ), yansıtıcı olarak grafit kullanan ilk araştırma reaktörü kritik olmuş ve 1977 yılına kadar çalıştırılmıştır. TR-1 reaktörü 15 yıllık sürede radyoizotop üretimi, fizik, kimya ve nükleer mühendislik alanlarında araştırma ve eğitim için kullanılmıştır. Tıp, tarım ve endüstri alanlarında kullanılan radyoizotoplara karşı isteğin çok fazla artması ve bu talebin TR-1 reaktörü ile karşılanamaması nedeniyle 1974 yılında TR-2 adı verilen, 5 MW gücünde yeni bir reaktörün TR-1 havuzuna kurulmasına karar verilmiş, 1978 yılında çalışmalar başlanmış ve Aralık 1981 'de kritik olmuştur[6].

**Tablo 2.** Dünyadaki Araştırma Reaktörleri ve Isıl Güçleri (1955-1990).

ÜLKE	Her yılın 31 Aralık günü kritik olan tesislerin sayısı ve toplam termal gücü.													
	1955		1960		1970		1975		1980		1985		1990	
	Sayı	MW	Sayı	MW	Sayı	MW	Sayı	MW	Sayı	MW	Sayı	MW	Sayı	MW
ABD	28	106.6	102	598.2	144	927.4	129	862.0	118	1244.8	103	1017.4	101	988.2
Arjantin			1		4	2.8	5	2.8	5	2.8	5	3.3	5	3.3
Avusturya			1	10.0	3	10.2	3	10.2	3	10.2	3	10.2	3	10.2
Avustralya			1	10.0	2	10.1	2	10.1	2	10.1	2	10.1	2	10.1
Avrupa Top.					2	88.0	2	88.0	2	88.0	1	45.0	1	45.0
Bangladeş													1	3.0
B.Almanya			2	9.0	26	198.3	32	262.5	30	225.5	21	111.5	21	111.5
Belçika			2	4.0	6	145.1	6	145.1	6	145.1	6	145.1	5	104.2
Brezilya			2	2.1	3	2.1	3	2.1	3	2.1	3	2.1	4	2.1
Bulgaristan					1	2.0	1	2.0	1	2.0	1	2.0	1	2.0
Cezayir													1	1.0
Çekoslovakya			1	10.0	1	10.0	3	10.0	2	10.0	3	10.0	5	10.1
Çin			1	17.5	4	23.8	4	23.8	8	151.8	8	151.8	11	162.8
Danimarka			3	15.0	3	15.0	2	10.0	2	10.0	2	10.0	2	10.0
D.Almanya			1	10.0	3	10.0	3	10.0	5	10.0	5	10.0	5	10.0
Endonezya					1	1.0	1	1.0	2	1.1	2	1.1	3	31.3
Filipinler					1	3.0	1	3.0	1	3.0	1	3.0	1	3.0
Finlandiya					2	0.2	1	0.2	1	0.2	1	0.2	1	0.2
Fransa	2	2.1	8	35.1	22	501.1	25	1211.0	25	1247.0	21	1033.0	20	1025.0
G.Afrika					1	20.0	1	20.0	1	20.0	1	20.0	1	20.0
G.Kore					1	0.2	2	2.2	2	2.2	3	2.2	4	32.2
Hindistan			2	41.0	3	41.0	4	41.0	4	41.0	5	181.0	6	181.1
Hollanda			1		3	2.1	4	3.1	2	2.0	2	2.0	2	2.0
Irak					1	5.0	1	5.0	1	5.0	1	5.0	2	5.5
İngiltere	3		12	148.8	27	267.1	25	267.0	18	177.0	15	56.9	15	56.9
İran					1	5.0	1	5.0	1	5.0	1	5.0	2	5.0
İsrail			1	5.0	2	31.0	2	31.0	2	31.0	2	31.0	2	31.0
İsveç			2	51.0	3	51.0	3	51.0	2	51.0	2	51.0	2	51.0
İsviçre			4	40.0	6	40.0	6	40.0	5	10.0	5	10.0	4	10.0
İtalya			3	1.0	12	6.2	13	6.2	8	1.2	6	1.2	6	1.2
Jamaika											1		1	
Japonya			1	10.0	16	78.9	18	79.1	19	179.1	18	169.1	19	189.1
Kanada	2	42.0	6	182.0	6	242.0	7	242.0	11	242.0	13	182.0	14	184.0
Kolombiya					1		1		1		1		1	
K.Kore					1	8.0	1	8.0	1	8.0	1	8.0	1	8.0
Libya											1	10.0	1	10.0
Macaristan			1	5.0	1	5.0	3	5.1	3	5.1	3	5.1	3	5.1
Malezya											1	1.0	1	1.0
Meksika					2	1.0	3	1.0	3	1.0	3	1.0	3	1.0
Mısır					1	2.0	1	2.0	1	2.0	1	2.0	1	2.0
Norveç			1	25.0	2	27.0	2	27.0	2	27.0	2	27.0	2	27.0
Pakistan					1	5.0	1	5.0	1	5.0	1	5.0	1	5.0
Peru									1		1		2	10.0
Polonya			1	10.0	3	10.1	4	40.0	3	40.0	3	40.0	3	40.0
Portekiz					1	1.0	1	1.0	1	1.0	1	1.0	1	1.0
Romanya			1	3.0	1	3.0	1	3.0	2	17.0	2	17.0	2	17.0
SSCB	5	63.5	12	116.5	23	408.5	25	414.5	25	414.5	28	434.5	29	534.5
Şili							1	5.0	1	5.0	1	5.0	2	7.0
Tayland					1	2.0	1	2.0	1	2.0	1	2.0	1	2.0
Tayvan					1	1.0	5	41.0	6	41.1	6	41.1	5	1.1
Türkiye					1		1		1	0.2	2	5.2	2	5.2
Venezuela			1	3.0	1	3.0	1	3.0	1	3.0	1	3.0	1	3.0
Viyetnam					1	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5
Yugoslavya			2	6.5	3	6.7	3	6.7	3	6.7	3	6.7	3	6.7
Yunanistan					2	5.0	2	5.0	2	5.0	2	5.0	2	5.0
Zaire			1				1	1.0	1	1.0	1	1.0	1	1.0
<b>DÜNYA</b>	<b>40</b>	<b>214.2</b>	<b>178</b>	<b>1370.7</b>	<b>361</b>	<b>3230.4</b>	<b>371</b>	<b>4019.2</b>	<b>356</b>	<b>4517.3</b>	<b>332</b>	<b>3903.3</b>	<b>342</b>	<b>3994.9</b>

**Tablo 3.** Haziran 1989 itibariyle inşaa halindeki 15 araştırma reaktörü.

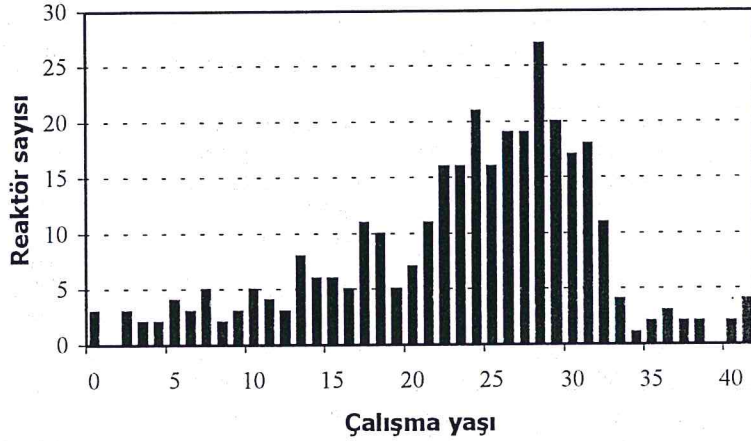
ÜLKE	KODU	KARARLI ISIL GÜCÜ (KW)	SAHİBİ/İŞLETİCİSİ	İNŞAATA BAŞLAMA TARİHİ	BİLGİ ALMA TARİHİ
ABD	US-0238 US-0240	1000 1000	Mc.Cellan Hava Kuv. Teksas Üniversitesi	1987-09 1987	1987-09 1987-09
ÇEKOSLAVAKYA	CS-0004 CS-0005	10 100	Nükleer Fiz.Müh.Fak. Elektronik Fak.	1986 1986	1986-03 1986-03
ÇİN	CN-0007 CN-0010 CN-0012	1000 5000 5000	Güneybatı Enst. SWCR	1986 1986 1987	1988-04 1986-12 1988-04
HINDİSTAN	IN-0008	100	Reaktör Arş. Merkezi	1986	1986-02
İRAN	IR-0002		Atomik Enerji Org.		1986-03
JAPONYA	JP-0008	20000	Tokai Arş. Kuruluşu	1985	1985-03
KANADA	CA-0015	10000	Atomik Enerji Ltd.	1985	1986-02
KORE	KR-0004	30000	KAERI	1987-06	1988-02
SSCB	SU-0024	100000	Leningrad Fizik Enst.	1976	1989-01
ŞİLİ	CL-0002	2000	CCHEN	1972-12	1987-10
TUNUS	MA-0001	1000	CNESTEN	1990-11	1987-10

**Tablo 4.** Haziran 1989 itibariyle planlanan 15 araştırma reaktörü.

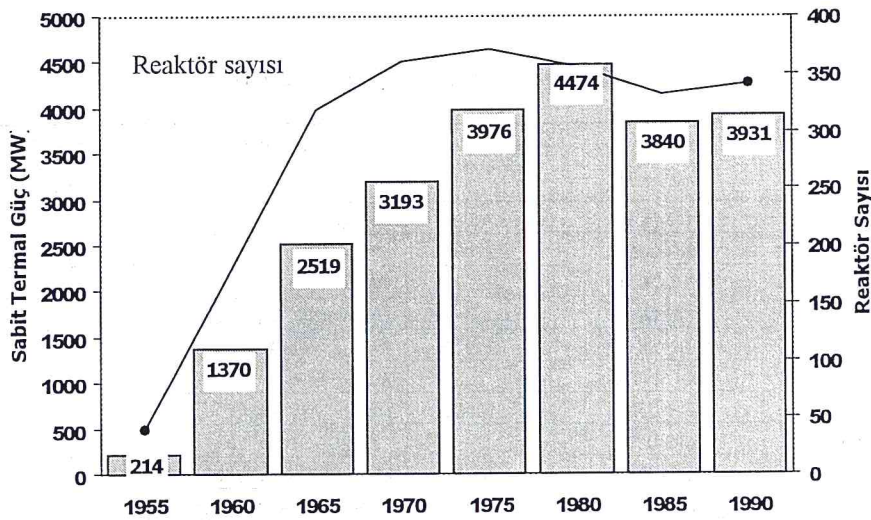
ÜLKE	KODU	KARARLI ISIL GÜCÜ (KW)	SAHİBİ/İŞLETİCİSİ	İNŞAATA BAŞLAMA TARİHİ	BİLGİ ALMA TARİHİ
ABD	US-0237	270000	OakRidge Ulusal Lab.		1987-03
ARJANTİN	AR-0007	22000	CNEA	1986-06	1986-06
EKVATOR	EC-0001		CEEA		
GANA	GH-0001		Ulusal Nük. Arş. Enst.		
JAPONYA	JP-0021	30000	Reaktör Arş. Enst.		1985-08
KOLOMBİYA	CO-0002	1000	Asunto Enst.		1987-04
KÜBA	CU-0002	10000	Nükleer Arş. Merk.		1988-04
MADAGASKAR	MG-0001		OMNIS		
MISIR	EG-0002	20000	Mısır Atomik Ener.K		
NİJERYA	NG-0001	1000	Ener. Ve Nük. Tek.Merk.		1985-08
SRİLANKA	LK-0001		Atomik Enerji Otoritesi		
SUUDİ ARABİSTAN	SA-0001 SA-0002	10000	KASCST		1987-10 1987-10
SURİYE	SY-0001	10000	Atom Enerjisi Komis.	1989	
TUNUS	TN-0001			1989	1988-08

TR-1 ve TR2 reaktörleri Başbakanlık Atom Enerjisi Kurumu (AEK) ya bağlı olarak çalışan ve İstanbul Küçükçekmece gölü yakınlarında bulunan Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ÇNAEM) bünyesinde kurulmuş olup, nükleer alandaki araştırma, uygulama ve eğitim faaliyetleri 10 ayrı bölümde yürütülmektedir.

Her iki reaktörde açık havuz tipinde olup TR-2 reaktörünün kumanda sistemleri güç santraline taban oluşturacak şekilde, bilgi birikimi ve gerekli eleman eğitimini sağlamak amacıyla güç santrallerinin kumanda sistemlerine benzer şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 1. Çalışan araştırma reaktörlerinin yaş dağılımı (1990).



Şekil 2. Araştırma reaktörlerindeki büyüme (1955-1990).

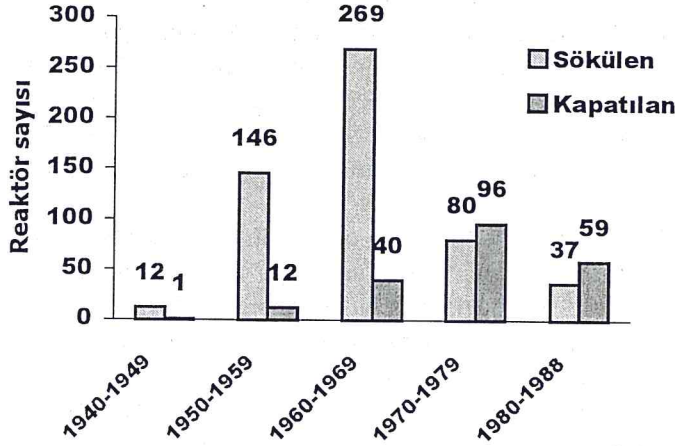
1977 yılında kapatılan TR-1 reaktörünü modernize ederek yeniden çalıştırmak için çalışmalar sürdürülmektedir[7]. TR-2 reaktöründe ise güç artışı planlanmaktadır.

1961 yılında kurulan İ.T.Ü. Nükleer Enerji Enstitüsü bünyesindeki TRIGA Mark-II araştırma reaktörü Mart 1979 tarihinde kritik olmuştur. 250 kW normal, 1200 MW puls güçlü olan reaktör Ayazağa kampüsünde çalışmaktadır. Enstitüdeki araştırmaların ve deneylerin sürdürüldüğü reaktör derin bir kuyuyu andıran yapının alt kısmında olup üstten rahatlıkla görülebilmekte ve yakıt çubukları kolaylıkla yer değiştirilebilmektedir. Reaktör su soğutmalı olup 4 tane ışınlama kanalına sahiptir.

Bunlara ilaveten Hacettepe Üniversitesi Nükleer Mühendislik Bölümü de Üniversitenin Beytepe kampüsünü ısıtmak, araştırma ve deneysel çalışma yapabilmek için 20 MW güçlü HTGR tipinde bir reaktörün kurulması için çalışmaktadır[8].

### 3. Selçuk Üniversitesi Kampüsünü Nükleer Reaktörle Isıtma

Selçuk Üniversitesi, 1975 yılında Fen ve Edebiyat fakülteleri olmak üzere iki fakülteyle kurulmuş, 1982 'ye kadar kayda değer bir gelişme gösterememiştir. 1982 yılından sonra çok hızlı bir yapılaşma gösteren üniversite yeni fakülte ve yüksekokullar açmaya başlamıştır.



Şekil 3. Tamamen sökülen ve kapatılan araştırma reaktörleri (1940-1988).

Başlangıçta şehir merkezinde dağınık şekilde bulunan fakülte ve yüksekokulların bir kampüste toplanması fikriyle çalışmalara başlanmış ve kampüs alanı olarak Konya'nın kuzeyinde İstanbul yolu üzerinde şehir merkezine 22 km mesafede bir yer seçilmiş ve inşaatlara başlanmıştır. 1987 yılından itibaren fakülteler taşınmaya başlamış olup, bugün 20 den fazla binada birçok fakülte, yüksekokul, enstitü yanında sosyal tesislerle faaliyet göstermektedir.

Mevcut binalara ek olarak üniversite bünyesindeki tüm fakülte ve yüksekokullar için ayrı binalar ile ek binalar, yurtlar, spor kompleksleri alışveriş merkezleri yapılmaktadır. Yapılan bu binalar içerisinde özellikle Tıp fakültesi ve uygulama hastanesi en büyük yapıyı teşkil etmektedir. Bunlara ilaveten sosyal tesisler ve hizmet binalarından bir çoğunun inşaatı devam etmektedir.

Konya İç Anadolu Bölgesi'nde olması itibariyle kışlar genellikle yağışsız ve sert geçmektedir. Bununla birlikte kampüs rüzgarlara açık bir alanda bulunmaktadır. Bu sebeplerden dolayı, kampüsün ısıtılması güçleşmektedir. Kampüs merkezi ısıtma sistemiyle ısıtılmaktadır.

Merkezi ısı dairesinde şu anda fuel oil yada özel kalorifer yakıtlı 5 buhar kazanı mevcuttur. Kazanlar 3.5 atm. basınç altında yaklaşık 150 °C 'de buhar oluşturmaktadırlar. Oluşan ısı enerjisi, şimdilik 10 km toplam uzunluktaki galerilerle binalara ulaşmakta ve buralardaki eşanjörlerle kalorifer sistemine ısı aktarılmaktadır.

Isı merkezinden alınan bilgilere göre, şu anda mevcut 22 binadaki 220.000 m<sup>2</sup> kapalı alanın ısıtılması için kış aylarında ortalama 15 ton/gün olmak üzere yıllık ortalama esasına göre 9 ton/gün 10000 kcal/kg ısı değerli kalorifer yakıtı kullanılmaktadır. Yemekhane hizmetleri ve üniversite yurtlarının sıcak su ihtiyaçları için yaz aylarında da hizmet veren ısı merkezi 1999-2000 sezonunda 280 günde 2716 ton yakıt kullanmıştır. Kış aylarında yakıt teminindeki güçlüklerden dolayı, mevcut 180 tonluk depoya ilaveten dış kısma 500 tonluk ek bir depo yapılmıştır.

Her geçen gün büyüyen kampüse, ısı merkezinin cevap veremeyeceği düşüncesiyle kazan sayısının 8 'e çıkarılması planlanmıştır. Bu kazanların birim maliyeti 100 bin \$ civarındadır. Mevcut sistemin doğalgaz ile çalışması içinde yine 100 \$ lık bir yatırım gerekmektedir.

Kampüs tamamlandığında ısıtmak için yaklaşık 25 milyon kcal/saat 'lık bir enerjiye ihtiyaç vardır. Bu yaklaşık 30 MW bir enerjiye eşdeğerdir. Elbette bu enerji günün her saatinde gerekmeyecektir. Ancak günde yaklaşık 25-30 ton civarında yakıtı ihtiyaç duyulacaktır. Bu yakıtın maliyeti ise bugünkü fiyatlara göre günlük 10-12 bin \$ civarında olacaktır. Gerek inşa gerekse yakıt maliyetleri, sınırlı olan üniversite bütçesine büyük bir yük getirecektir. Ayrıca yakıtın kaç yıl daha problemsiz temin edilebileceği de bilinmemektedir.

Nükleer reaktörlerin 5-30 MW arasında ısıtma amaçlı kullanımı, yatırım aşamasında pahalı gibi görünse de, uzun vadede kömür ve fuel oil 'den daha ucuzdur[9]. Şekil 4 de coğrafi bakımdan Selçuk Üniversitesi Kampüsü'ne benzeyen, Hacettepe Üniversitesi Beytepe Kampüsü'ne yapılması düşünülen gaz soğutmalı, kendinden güvenli, 20 MW güçte, GHR-20 reaktörü ile, kömür, fuel oil ve doğalgaz yakıtlarıyla ısıtma için hesaplanan birim enerji maliyetleri gösterilmektedir[8].

Görüldüğü gibi GHR-20, kömür ve fuel oil 'e oranla düşük maliyete sahiptir. Doğalgaz ise en ucuzlarıdır. Fakat bu hesaplar 30 yıl çalışma için yapıldığından yakıt teminini hiçbir merci garanti edemez. Oysa GHR-20 ilk kuruluşundaki yakıt yüklemesiyle 30 yıl çalışmakta ve daha sonra sökülmemektedir. Bu maliyetlere sigorta ve söküm giderleri de eklenmiştir.

Selçuk Üniversitesi Kampüsü'nün gelecekteki ısı enerjisi ihtiyacını 30 MW 'lık bir reaktör karşılayabileceğinden 20 MW 'lık reaktöre göre birim enerji maliyeti daha da düşük olacaktır.

Bütün bunlara ek olarak fosil yakıtların çevreye olan olumsuz etkileri nükleer reaktörlerde yok denecek kadar azdır.

## 5. Sonuçlar ve Tartışma

Üniversiteler öğretimin yanı sıra birer araştırma kurumlarıdır. Bugün dünya üzerindeki nükleer araştırma reaktörlerinin büyük bir bölümü üniversiteler bünyesinde. Özellikle ABD 'deki üniversitelerin büyük bir çoğunluğunda en az bir tane nükleer reaktör mevcuttur. Bu reaktörler deney ve araştırmaların yanı sıra radyoizotop üretimi, ısıtma ve küçük çaplı elektrik üretimi içinde kullanılmaktadır.

Bölüm 3 'de gösterildiği gibi, nükleer reaktörle ısıtma, doğal gaz dışındaki yakıt çeşitlerine göre daha ucuz olmaktadır. Üstelik uzun yıllar boyunca yakıt problemi ve işletme masrafları olmamaktadır. Doğalgazın ise Selçuk Üniversitesi Kampüsü'ne yakın gelecekte gelmesi mümkün görünmemektedir. Doğalgazın gelmesi ve kullanılması mümkün olsa bile kurulacak bir nükleer santral sadece ısıtma amaçlı kullanılmayacaktır.

Kampüs alanına kurulacak bir nükleer reaktör ısıtmanın yanı sıra aşağıda belirtilen hususlarda da kullanılabilir.

-Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü için çok kıymetli bir araştırma aleti olacaktır. Nükleer Fizik ve Reaktör Fiziği derslerinin uygulamalarının yapılmasına imkan sağlayacaktır. Bunun ötesinde reaktörden nötron demeti alınmasıyla değişik ışınlama deneyleri de yapılabilecektir.

-Tıp Fakültesi için, çok pahalı olan radyoizotop üretiminde kullanılabilir.

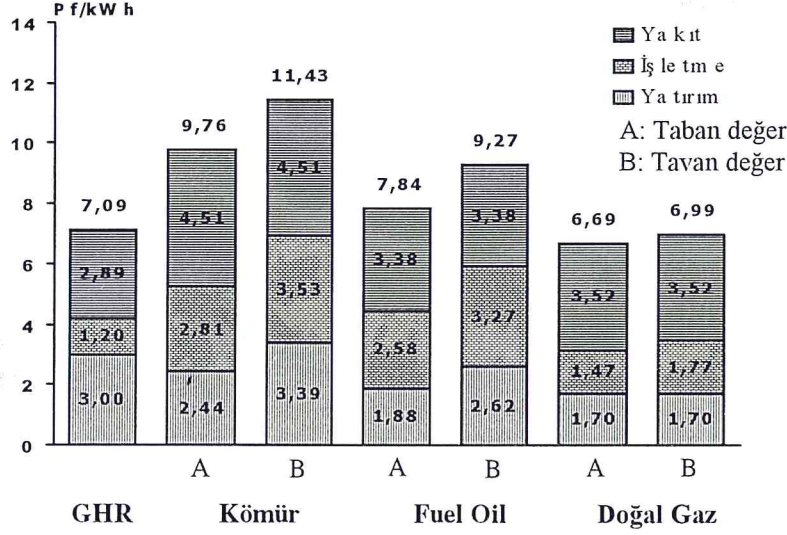
-Makine Mühendisliği bölümünde yapılan zırhlama hesaplarının deneyleri yapılabilecektir.

-Ziraat Fakültesi'nde gıda koruması için yapılan çalışmalarda gıda ışınlanması için kullanılabilir. Bu çalışmada özellikle baharatların sterilizasyonu gama ışınları ile yapılmaktadır. Avrupa topluluğu bu hususta bir standart bile uygulamaktadır.

-Veteriner Fakültesi'nde ve Biyoloji Bölümünde canlılar üzerine radyasyon etkileri deneyleri yapılabilecektir.



- Kimya Bölümü değişik yapılara radyasyon etkilerini deneysel olarak yapabilecektir..
- Sanayi için tahribatsız malzeme testleri yapılabilir.
- Ülkemizin ileride ihtiyaç duyacağı, nükleer enerji alanında çalışacak elemanların yetiştirilmesi için kullanılabilir.



Şekil 4. Farklı ısı üretim tesisleri için üretim maliyeti (20 MW net güç, Temmuz 1992 birim fiyatı, 5000 saat/yıl çalışmaya göre. Pf=1/100 DM).

Selçuk Üniversitesi Kampüsü'ne sadece araştırma amaçlı bir nükleer reaktör kurmak çok masraflı olacağından, araştırma ve ısıtma amaçlı tasarım uygun olacaktır.

Şu andan itibaren yetersiz kalan ısı merkezinin büyütülmesi yerine, gaz soğutmalı, kendinden güvenli, 30 MW gücünde bir nükleer reaktörün var olan ısıtma şebekesini kullanarak kurulması hem uzun vadede yakıt giderlerini azaltacak, hem de yukarıda bahsedilen amaçlar için kullanılabilir. Böyle bir tesis için inşaat süresi 1 yıl, maliyet ise yaklaşık 40 milyon DM olarak belirlenebilir.

Selçuk Üniversitesi'nin nükleer reaktöre sahip olması, üniversitenin temel ve uygulamalı bilimler alanlarında gelişmesine büyük katkılarda bulunacaktır.

## KAYNAKLAR

1. Halpern, I., **Nuclear Fission**, Annual Reviews of Nuclear Science, Vol.9 (1959)
2. Halliday, D., **Introductory Nuclear Physics**, John Wiley&Sons Inc., New York (1955)
3. Foster, A.R., Wringht, R.L.Jr., **Basic Nuclear Engineering**, Allyn and Bacon Inc., Boston (1973).
4. Aybers, N.M., **Nükleer Teknolojinin Gelişmesi ve Türkiye**, III. Ulusal Nükleer Bilimler Kongresi Bildiri Kitabı, T.A.E.K., 1, 1-25, İstanbul (1990)
5. **Directory of Nuclear Research Reactors**, IAEA, Viena (1989).
6. Özal, Y., Taylan, S. ve ark., **TR-2 Reaktörü Güvenlik Analizi**, Ç.N.A.E.M. Reaktör Bölümü, İstanbul (1982).

7. Erk, Ş., Alsan, S., ve ark., **TR-1 Reaktörünün Modernizasyonu Projesi**, III. Ulusal Nükleer Bilimler Kongresi Bildiri Kitabı, AEK, 1, 218-22, İstanbul (1990).
8. **Gas-Cooled Heating Reactor Feasibility Study on The GHR Application for The Hacettepe University**, Hacettepe University and Asea Brown Boveri and Hochtemperatur Reaktorbau GmbH, Ankara (1989).
9. Eryiğit, R., Gülay, Y., Zabunoğlu, O., **GHR-20 ve Fosil Yakıtlı Isı Santrallerinde Birim Enerji Maliyetleri Hesabı ve Karşılaştırılması**, III. Ulusal Nükleer Bilimler Kongresi Bildiri Kitabı, AEK, 1, 223-29, İstanbul (1990)