

Nükleer Enerji Üretim Teknolojilerinin Dünyadaki Gelecegi ve Türkiye

Mehmet Tombakoglu Ph.D

Nükleer Mühendislik

Hacettepe Üniversitesi



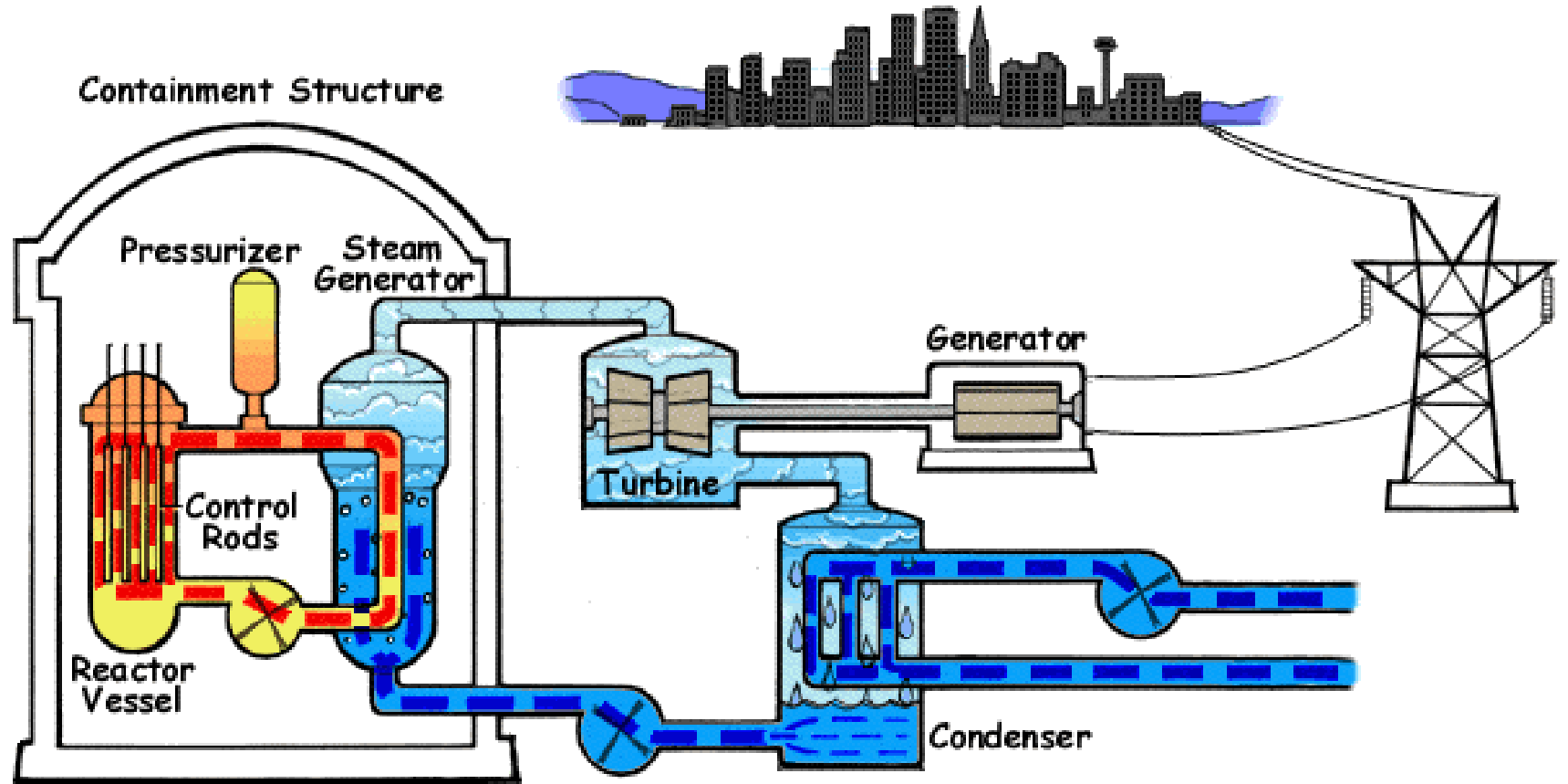
Nükleer Teknolojinin Şu Andaki Konumu

İlk ticari nükleer reaktör 1950 yılında çalışmaya başlıyor.

- 443 Nükleer Güç Santrali (375374 GW(e))
- Baz yük güçte çalışan reaktörler dünya elektrik üretiminin yüzde 16-17 sini karşılamakta
- 284 Araştırma reaktörü 56 ülke tarafından kullanılmakta ve yaklaşık 220 reaktör de uçak gemileri ve denizaltılarda kullanılmakta.
- 64 Nükleer Santral Kurulmakta

Nükleer Reaktör Tipleri

Basınçlı Su Reaktörleri (PWR)



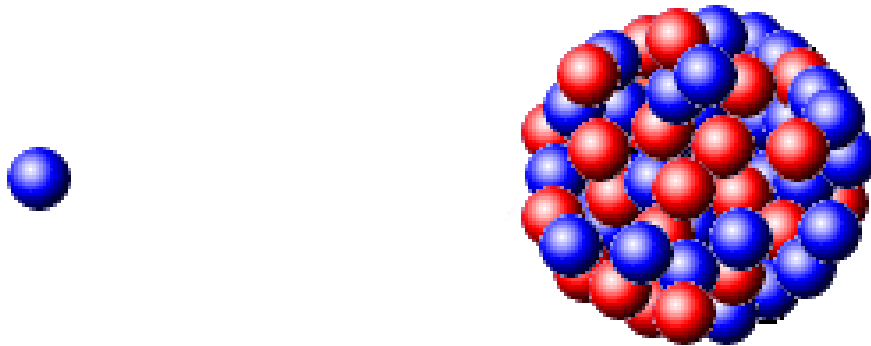
Nükleer Santral Örnekleri



Fisyon

- Bazı izotoplar yavaş bir nötron yutunca parçalanırlar (**fisyon=çekirdek bölünmesi**). Bu izotoplara “fisil” denir.
- Fisyon sonucu belli hareket enerjilerine sahip **iki fisyon ürünü izotop** (daha hafif) ve **2 veya 3 nötron** açığa çıkar.
- Fisyon ürünleri kazandıkları hareket enerjileri ile olay yerinden uzaklaşmaya çalışırlar; bu katının katı içinde hareket etmesi (etmeye çalışması) demektir. Sonuçta ortam hızla ısınır.

Nükleer Fisyon



Nükleer Enerji Üretiminde Önemli İzotoplar

Uranyum

U-235 (fisil)

U-238 (üretken)

U-233 (fisil, doğada yok)

Plütonyum(doğada yok)

Pu-239 (fisil)

Pu-241 (fisil)

Toryum

Th-232 (üretken)

Uranyum: Doğada U-235 (7/1000) ve U-238 (993/1000) izotopları bulunur.

U-235: Yegane doğal fisil izotop.

U-238: Üretken (*fertile*) bir izotop, reaktörde Pu-239'a dönüşür.

U-233: Doğada yok, reaktörde Th-232'den oluşur.

Plütonyum: Doğada bulunmayan bir element.

Pu-239: Reaktörde U-238'den oluşan önemli bir fisil izotop.

Pu-241 : Reaktörde oluşan bir başka (nispeten daha az önemli) fisil izotop.

Toryum: Doğada yaklaşık %100 Th-232 olarak bulunur.

Th-232: Üretken (*fertile*) bir izotop, reaktörde U-233'e dönüşür.

Nükleer yakıt

- Doğada bulunan tek fisil izotop uranyum-235'tir. Doğadaki her 1000 uranyum atomundan 7'si U-235, 993'ü U-238'dir.
- Günümüzdeki ticari nükleer reaktörlerin yaklaşık %85'ini oluşturan hafif-sulu reaktörlerde doğadaki U ile fisyon zincir reaksiyonunu bire bir gerçekleştirmek zordur. Daha yüksek bir fisil izotop oranına (% 3-5) ihtiyaç vardır.

Zenginleřtirme

- Doğal U'un binde 7 olan fisil izotop (U-235) oranını arttırma işlemine “zenginleştirme” denir.
- Zenginleřtirme yolu ile fisil izotop oranını iyice arttırmak da (mesela % 90'ın üzerine) m¼mk¼nd¼r; bu silah malzemesi ¼retimine giden iki yoldan biridir.

NOT: N¼kleer reakt¼r¼n, iğerdiği fisil izotop oranı ve tasarımı dikkate alınırđa, n¼kleer silah gibi davranamayacağı ağıktır.

Kullanılmış nükleer yakıt

- Hafif sulu reaktörlerin taze yakıtı olan hafif zengin U (%3-5 U-235 ve %97-95 U-238) radyoaktiftir, ama yalnızca alfa radyasyonu atar. “Alfa”lar deriyi geçemez, doğal veya hafif zengin U elle bile tutulabilir.
- Taze yakıt reaktörde fisyonu uğrarken oluşan parçalanma (fisyon) ürünleri ise yüksek düzeyde (ölümcül) beta ve gama radyasyonu yayarlar. Kullanılmış (veya ışınlanmış) nükleer yakıtı sorun haline getiren aslen budur.

Nükleer Reaktör

- Nükleer reaktörün iki temel işlevi vardır:
(1) fisyon zincir reaksiyonunu bire bir gerçekleştirmek,
(2) bu sırada açığa çıkan ısıyı düzenli olarak çekebilmek.
- Nükleer reaktör, bu iki işlevi güvenli, çevreci ve güvenilir bir şekilde yerine getirmek üzere tasarlanmış bir makinedir.

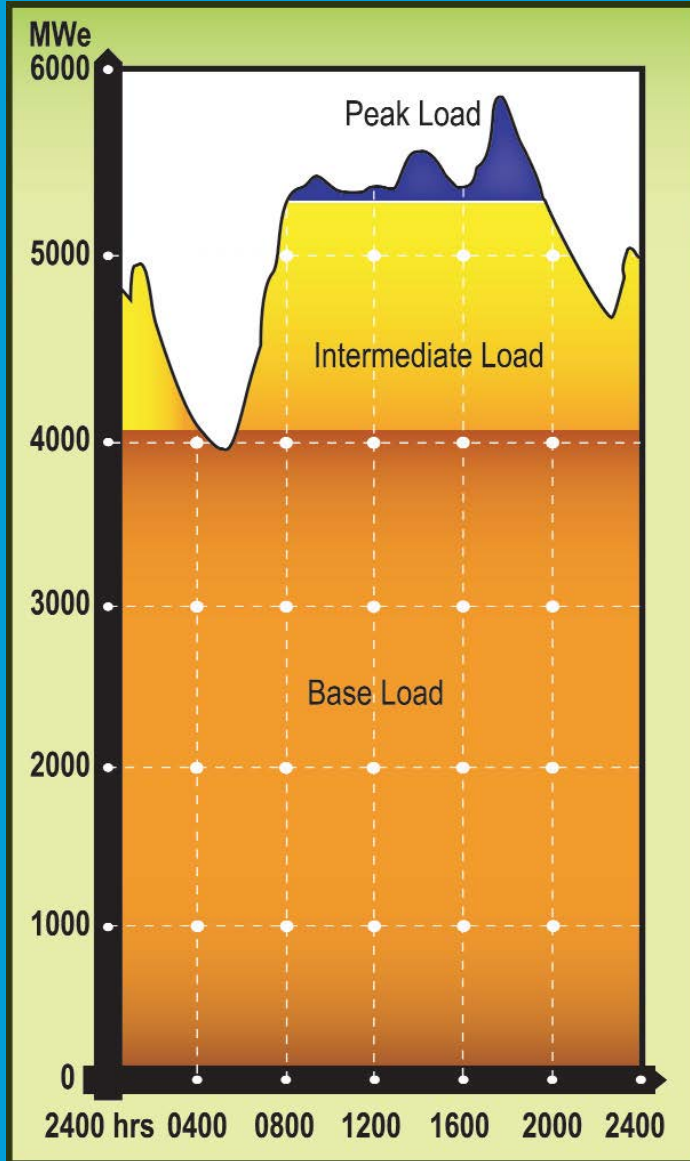
Nükleer Reaktör Isı Üretir

- Bire bir fisyon zincir reaksiyonu yoluyla üretilen ve düzenli olarak reaktörden çekilen ısı, su buharı (nadiren sıcak gaz) üretiminde kullanılır. Buhardan elektrik üretimi bir termik santraldeki ile hemen hemen aynıdır. Yani nükleer reaktör, kabaca termik santraldeki yanma odasının (kazanının) yerini almıştır.

Nükleer Reaktörlerin Diğer (potansiyel) Kullanım Alanları

- ARAŞTIRMA REAKTÖRLERİ
- ULAŞIM VE HİDROJEN EKONOMİSİ
- DESALİNASYON
- NÜKLEER GEMİLER
- UZAY

Nükleer Enerjinin Avantaj ve Dezavantajları



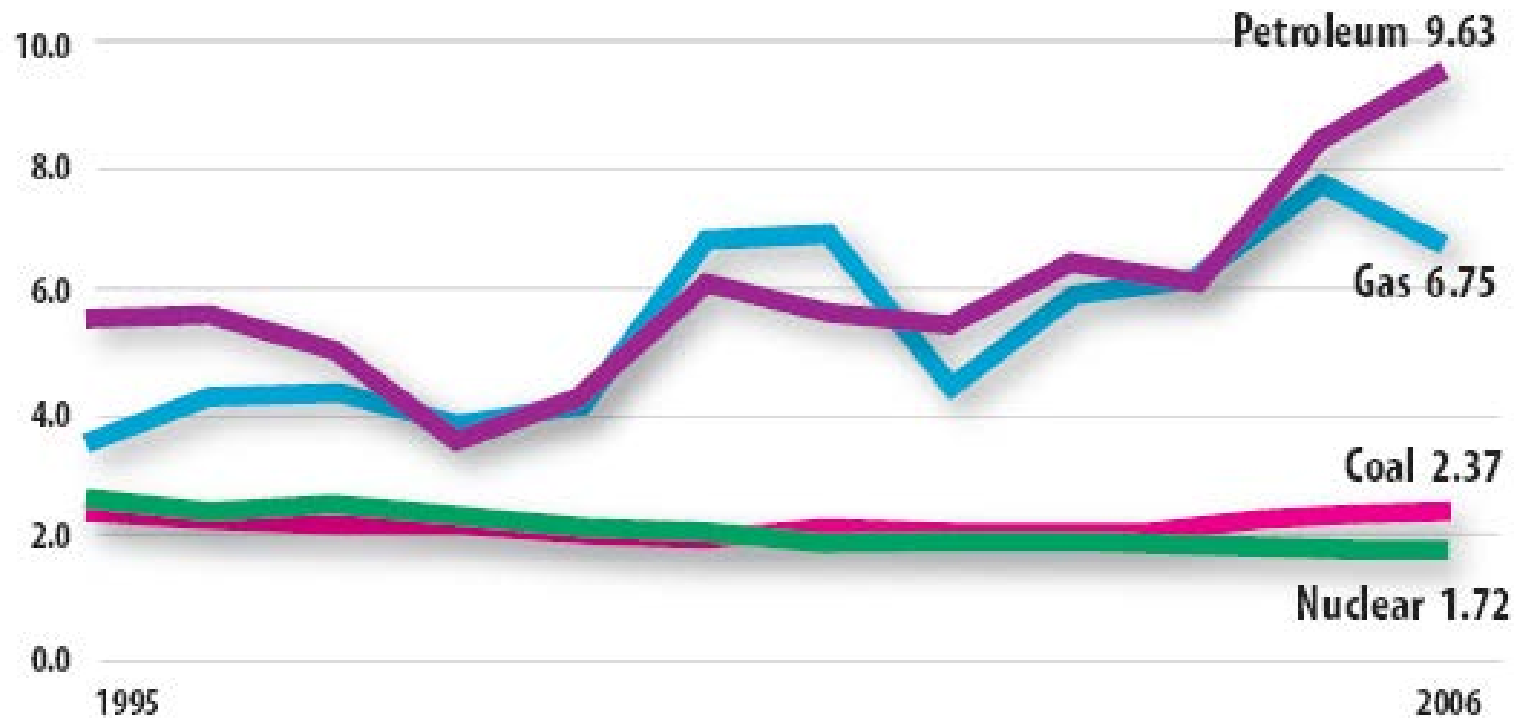
- Elektrik talebinde zamana bağlı dalgalanmalar olduğundan **baz-yük**, **ara-yük** ve **pik-yük** istasyonları olarak sınıflandırılan güç istasyonlarına sahip olunmalıdır.
- Baz-yük istasyonları genellikle buhar-sürümlüdür ve aşağı-yukarı sürekli olarak tam güç civarında çalışırlar. Kömür ve nükleer güç istasyonları başlıca baz-yük istasyonlarıdır.
- Ara-yük ve pik-yük istasyonları günde bir veya iki defa hızla devreye alınıp çıkarılabilmelidir. Bu amaçla, gaz-türbinleri, gaz ve petrol yakan buhar kazanları ve hidroelektrik santralleri kullanılmaktadır.
- Pik-yük ekipmanlarının düşük yatırım maliyetli ve yüksek yakıt maliyetli olması (hidro dışında) büyük bir problem değildir.
- Baz-yük istasyonlarının sürekli olarak büyük miktarlarda elektrik ürettiği göz önüne alınırsa yüksek yatırım maliyetleri gözardı edilebilir **(Nükleer santraller)**.

Nükleer Enerjinin Avantaj ve Dezavantajları

Nükleer Santraller Baz-Yük Üretimi Ucuz Santrallerdir

U.S. Electricity Production Costs

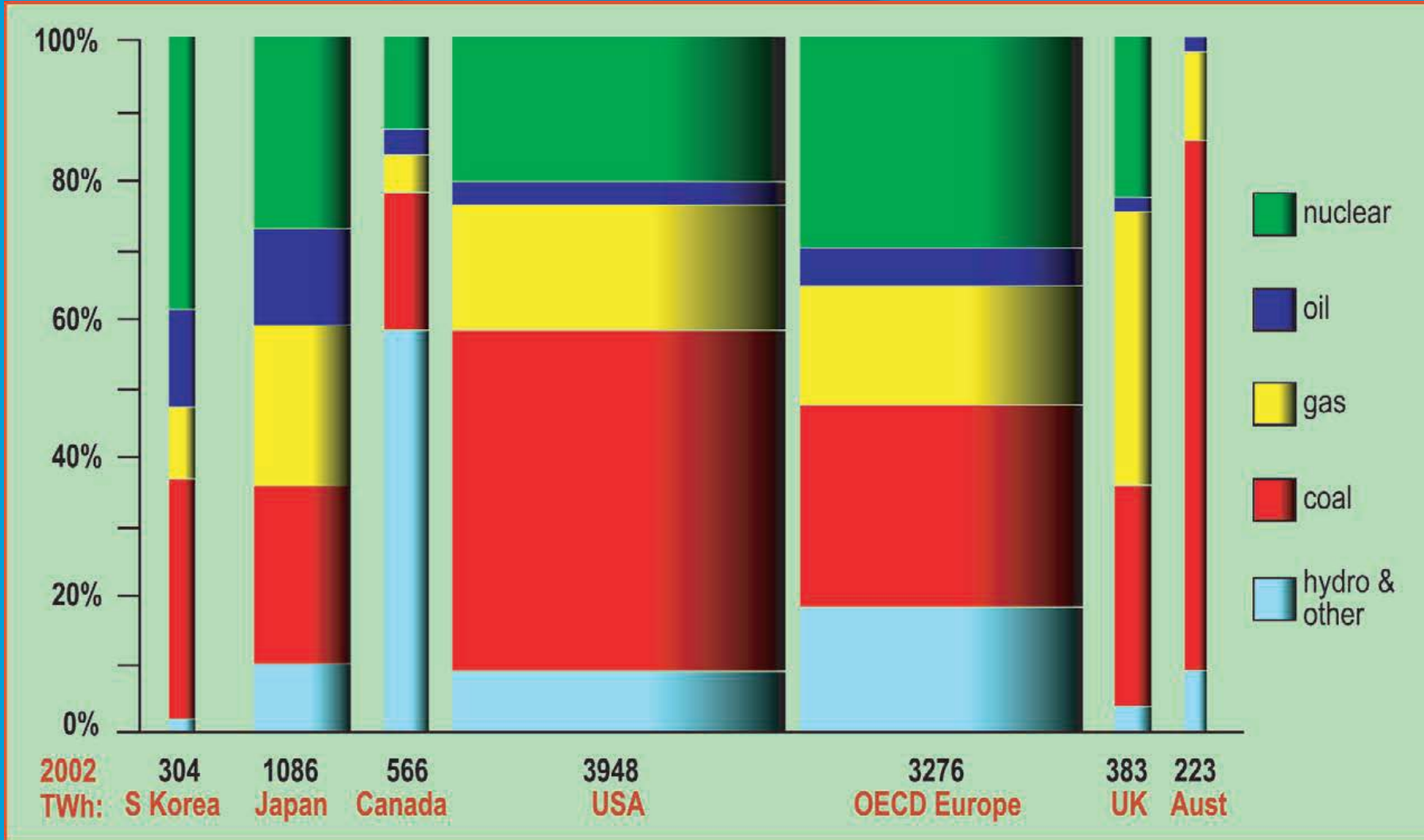
(in 2006 cents per kilowatt-hour)



Source: Global Energy Decisions

Nükleer Enerjinin Avantaj ve Dezavantajları

Nükleer Santraller Arz Güvenliği ve Enerji Kaynaklarının Çeşitlendirilmesi Açısından Çok Önemli Bir Seçenektir



Nükleer Enerjinin Avantaj ve Dezavantajları

Nükleer Güç Üretimi Diğer Enerji Dönüşüm Metotlarından Daha Riskli Değildir!!!

Birincil Enerji Üretimindeki Kaza İstatistiklerinin Karşılaştırılması

Fuel	Immediate fatalities 1970-1992	Who?	Normalized to deaths per TWy* electricity
Coal	6400	workers	342
Natural gas	1200	workers & public	85
Hydro	4000	public	883
Nuclear	31	workers	8

Nükleer Enerji En Az Diğer Enerjiler Kadar Güvenlidir

Nükleer Enerjinin Avantaj ve Dezavantajları

Enerji Üretimi İle İlişkili Kazalar

PLACE	YEAR	NUMBER KILLED	COMMENTS
Machhu II, India	1979	2500	hydroelectric dam failure
Hirakud, India	1980	1000	hydroelectric dam failure
Ortuella, Spain	1980	70	gas explosion
Donbass, Ukraine	1980	68	coal mine methane explosion
Israel	1982	89	gas explosion
Guavio, Colombia	1983	160	hydroelectric dam failure
Nile R, Egypt	1983	317	LPG explosion
Cubatão, Brazil	1984	508	oil fire
Mexico City	1984	498	LPG explosion
Tbilisi, Russia	1984	100	gas explosion
Northern Taiwan	1984	314	3 coal mine accidents
Chemobyl, Ukraine	1986	56+	nuclear reactor accident
Piper Alpha, North Sea	1988	167	explosion of offshore oil platform
Asha-ufa, Siberia	1989	600	LPG pipeline leak and fire
Dobrnja, Yugoslavia	1990	178	coal mine
Hongton, Shaanxi, China	1991	147	coal mine methane explosion
Belci, Romania	1991	116	hydroelectric dam failure
Kozlu, Turkey	1992	272	coal mine methane explosion
Cuenca, Ecuador	1993	200	coal mine
Durunkha, Egypt	1994	580	fuel depot hit by lightning
Seoul, S.Korea	1994	500	oil fire
Minanao, Philippines	1994	90	coal mine

Nükleer Enerjinin Avantaj ve Dezavantajları

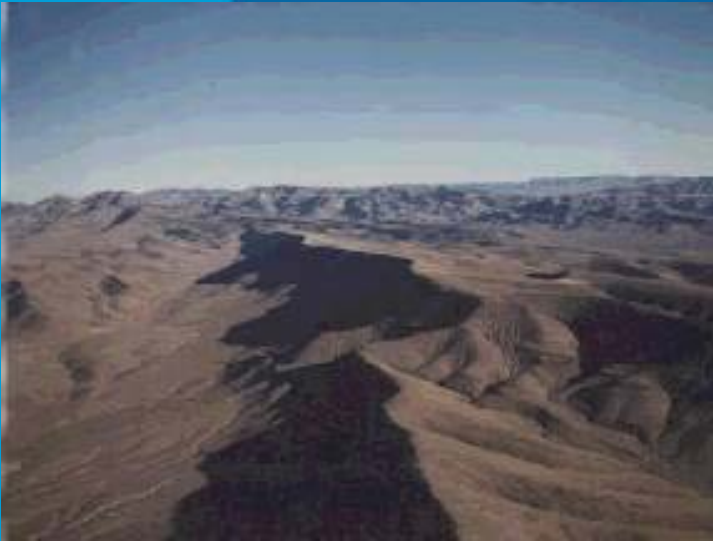
Enerji Üretimi İle İlişkili Kazalar

PLACE	YEAR	NUMBER KILLED	COMMENTS
Dhanbad, India	1995	70	coal mine
Taegu, S.Korea	1995	100	oil & gas explosion
Spitsbergen, Russia	1996	141	coal mine
Henan, China	1996	84	coal mine methane explosion
Datong, China	1996	114	coal mine methane explosion
Henan, China	1997	89	coal mine methane explosion
Fushun, China	1997	68	coal mine methane explosion
Kuzbass, Siberia	1997	67	coal mine methane explosion
Huainan, China	1997	89	coal mine methane explosion
Donbass, Ukraine	1998	63	coal mine methane explosion
Liaoning, China	1998	71	coal mine methane explosion
Warri, Nigeria	1998	500+	oil pipeline leak and fire
Donbass, Ukraine	1999	50+	coal mine methane explosion
Donbass, Ukraine	2000	80	coal mine methane explosion
Muchonggou, Guizhou, China	2000	162	coal mine methane explosion
Jixi, China	2002	124	coal mine methane explosion
Gaoqiao, SW China	2003	234	gas well blowout with H ₂ S
Kuzbass, Russia	2004	47	coal mine methane explosion
Donbass, Ukraine	2004	36	coal mine methane explosion
Henan, China	2004	148	coal mine methane explosion
Chenjiashan, Shaanxi, China	2004	166	coal mine methane explosion
Sunjiawan, Liaoning, China	2005	215	coal mine methane explosion
Fukang, Xinjiang, China	2005	83	coal mine methane explosion
Xingning, Guangdong, China	2005	102	coal mine flooding
Dongfeng, Heilongjiang, China	2005	164	coal mine methane explosion

Nükleer Enerjinin Avantaj ve Dezavantajları

Nükleer Atıklar

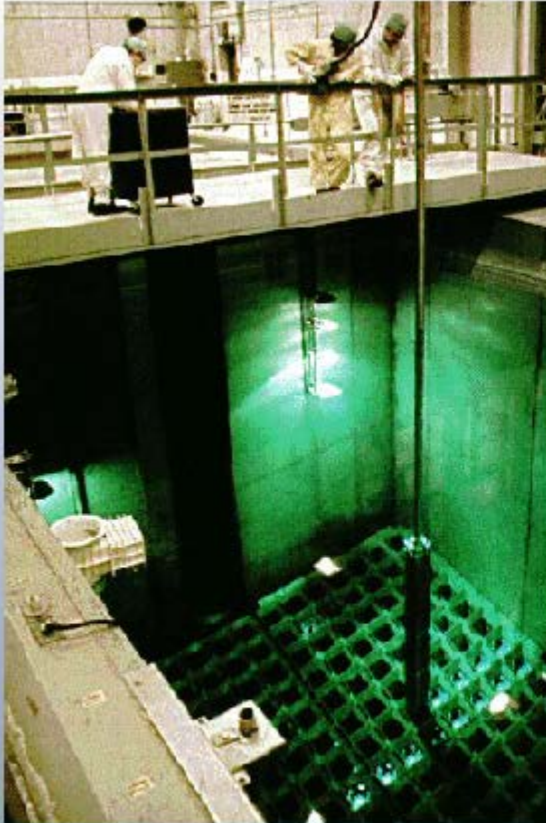
- Nükleer Atıkların bertarafı teknolojik değil politik bir problemdir
- Kullanılmış yakıtların %95 kadarı geri dönüştürülebilir
- 5 ülke geri dönüşüm yapmaktadır: Fransa, İngiltere, Hindistan, Japonya, Rusya
- Yıllık 2500 ton kadar kullanılmış yakıt yeniden işlenmektedir
(Yıllık kullanılmış yakıt miktarının $\frac{1}{4}$ ü)



Yucca Mountain

Nükleer Enerjinin Avantaj ve Dezavantajları

Nükleer Atıklar (Geçici Depolama)



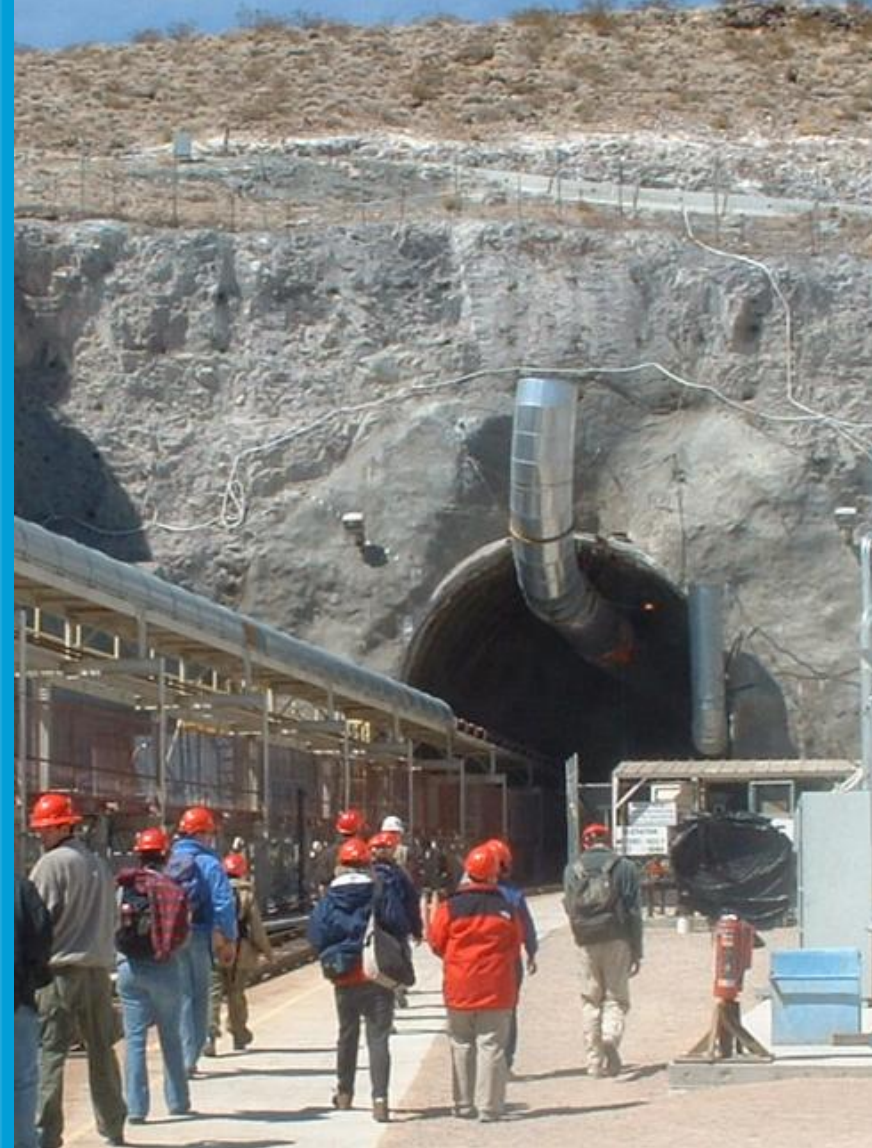
Store in pools for 10-20 years



*Store in dry casks until
permanent repository available*

Nükleer Enerjinin Avantaj ve Dezavantajları

Nükleer Atıklar (Nihai Depolama)



Yucca Mountain

Nükleer Enerjinin Avantaj ve Dezavantajları

Nükleer Atıklar (Yucca Mountain Project)

- 1987'de Amerikan Senatosu Yucca Mountain'ı ulusal nükleer yakıt nihai depolama sahası olarak kabul etti
- "Yucca Mountain" da 20 yıldır nükleer atık depolaması için çalışılıyor
- Şu ana kadar kamu hizmetleri fonundan 25.1 Milyar \$ toplandı, proje için 11.7 Milyar \$ harcandı (0.001 kWh/cent)
- Mevcut durum : ABD'de hala 1000'den fazla kullanılmış yakıt lisanslı yakıt depolama kaplarında nükleer tesislerde muhafaza ediliyor.

Nükleer Enerjinin Avantaj ve Dezavantajları

- Nükleer santraller kömür santrallerinden daha az radyasyon salarlar
- Nükleer santraller fosil yakıtlı santrallerin yerine kullanılarak CO₂ emisyonun azalmasına katkıda bulunmuşlardır
- Nükleer santraller elektrikli taşıma ve H üretiminde kullanılarak emisyonsuz bir çevreye önemli katkıda bulunabilirler
- Nükleer santral sahaları küçüktür
- Nükleer atıklar hacimca küçüktür.



•
•
•

Dünyada Nükleer Teknolojiye Karşı İlgisi Artmakta idi

İklim Değişikliği
Enerji Kaynaklarının Güvenliği



Uzun Vadede Nükleer Teknolojinin Başarısı

Maliyet

Güvenlik

Atık

Nükleer Silahlanma,
gibi sorunların uzun dönemde çözümüne
ve algılanmasına bağlıdır.



Türkiyede Nükleer Teknolojinin Başarısı

Teknoloji Edinmek

Uzun vadede barışçıl amaçlarla nükleer teknolojiye sahip olmak ve bu amaca ulaşırken 40-50 yıllık bir deneyim ve teknolojik birikimi kullanma avantajına sahip olmak



Türkiyede Nükleer Teknolojinin Başarısı

Kararlılık

Nükleer reaktörlerin İnşa sürelerinin
uzun olması, kararlı bir politika
izlenmesini gerektirmektedir.



Türkiyede Nükleer Teknolojinin Başarısı

Şeffaflık

Halka rağmen değil, halkın desteğiyle sivil toplum örgütleriyle de işbirliği yaparak kamuoyu güvenini kazanmak



Türkiyede Nükleer Teknolojinin Başarısı

Yatırım Maaliyeti Dezavantajını ortadan kaldırmak için yüksek kapasite faktörü ile çalıştırılan ve bunu teşvik eden bir uygulama yapılması



Türkiyede Nükleer Teknolojinin Başarısı

Standartlar ve Denetim

Nükleer Teknoloji, en yüksek standartların kurallara uygun olarak uygulamaya geçirildiği bir alan olmalıdır.



Türkiyede Nükleer Teknolojinin Başarısı

Standartlar ve Denetim

Herşeyin kurallara uygun ve denetimlerin uygun vasıflara ve eğitime sahip elemanlarca yapıldığını ve bunu kararlılık ve şeffaflıkla yapan bağımsız bir denetim kurumu en büyük sorumluluğu üstlenecektir.



Türkiyede Nükleer Teknolojinin Başarısı

Bir Nükleer Santralin güvenli bir şekilde çalışmasını sağlamak için gerekli unsurlardan biri de çalışan personelin Yetenek, Bilgi ve Deneyime sahip olmasıdır.



Türkiyede Nükleer Teknolojinin Başarısı

Güvenlik ve Çevre Kültürü

Ülkemizde eksik olduğunu öngöreceğimiz güvenlik ve çevre kültürü, nükleer teknoloji edinimine paralel olarak gelişecektir.



İnsan Gücü Yetiştirme

Kalite temini ve radyasyon algılama,
izleme ve radyasyondan korunmaya
yönelik İnsan Kaynakları ve Eğitim
programları

Nükleer programın gerçekleştirilmesi
aşamasında gerekli olup SEM
bünyesinde yürütülebilir.



İnsan Gücü Yetiştirme

Kalite temini ve yönetimine yönelik insan gücü ve bu amaca yönelik özel sektörün nükleer alanda faaliyetine yönelik eğitim programları nükleer programın gerçekleştirilmesi aşamasında gerekli olup SEM bünyesinde yürütülebilir.



İnsan Gücü Yetiştirme

Proje yönetimi kapasitesine sahip elemanlar yetiştirmek amacıyla SEM bünyesinde yürütülebilir.



İnsan Gücü Yetiştirme

İşletme ve bakım personelinin yetiştirmek amacıyla SEM bünyesinde dersler verilebilir.



Teknoloji Geliştirme Merkezleri

TEKMER bünyesinde nükleer alanda hizmet üretmesi muhtemel özel firma ve girişimcilere üniversitemizde imkanlar yaratılabilir.



TEŐEKKÜRLER

