

NÜKLEER ENERJİ

ENERJİ PLANLAMASI

Ülkeler enerji planlamalarını yaparlarken pek çok unsuru göz önünde bulundurmaları gereklidir.

Yerel kaynakların değerlendirilmesi- dışa bağımlılığın en az seviyeye indirilmesi,

Yeni teknolojik gelişmelere ağık olması,

Sürekli ve kesintisiz olması,

Çevre ve ekolojik dengenin korunması

Maliyeti düşük olmalı

Enerji üretim alanlarının çeşitlendirilmesi, olası kriz dönemlerinde fiyat istikrarının korunması, farklı teknolojik gelişmelere ve ekonomik üretim kapasitelerinin geliştirilmesinde stratejik olarak önemlidir.

ENERJİ YOĞUNLUĞU

Tarihte ilk önce hidrolik enerjiyi kullanan insanoğlu daha sonra kimyasal enerjiyi keşfetmiş ve bu şekilde sanayi devrimini yaparak önemli bir gelişme sağlamıştır.

- Hidrolik enerji yoğunluğu (~ 0.001 kJ/gr)
- Kimyasal enerji yoğunluğu (~ 40 kJ/gr)

ATOM ENERJİSİ

- Atomun yapısının araştırılması ile başlayan süreç insanoğlunu hidrolik ve kimyasal enerjiden kat kat daha yoğun olan nükleer enerjiyi kullanma imkanına kavuşturmuş ve insanoğlunun uzaya açılmasının önündeki en büyük engellerden birini ortadan kaldırmıştır.
- Nükleer enerjinin kullanılması bu gün için alternatifsiz olarak gözükmektedir. Özellikle uzay çalışmalarında nükleer enerjinin önemi kıyas almayacak derecede büyüktür.
- Kütle enerjisi (~ 90 trilyon kj/gr)

NÜKLEER ENERJİ NASIL OLUŞUR?

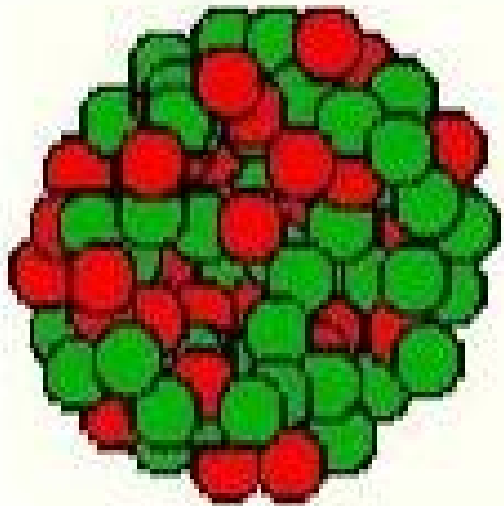
NÜKLEER TEPKİMELELER...

1- FİSYON (Çekirdek Parçalanması)

2- FÜZYON (Birleşme)

ATOM ÇEKİRDEĞİ

Atom çekirdeği, **nötron** ve **proton** adı verilen parçacıklardan oluşur.

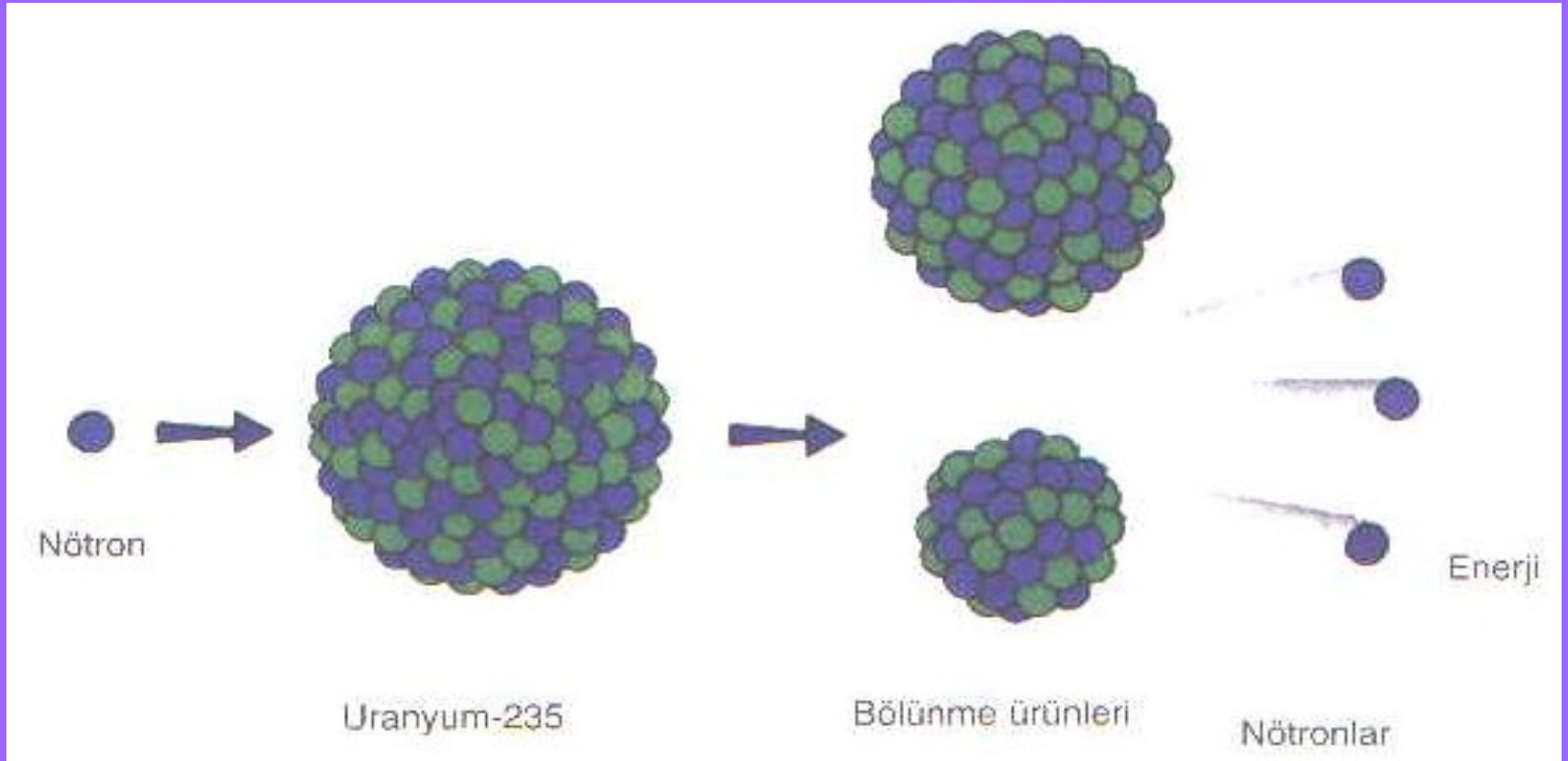


proton



nötron

NÜKLEER ENERJİ denince akla ilk gelen, **FİSYON** yani ağır atom çekirdeklerinin parçalanmasıyla açığa çıkan çok güçlü enerjiler. Bunları günlük yaşamımızda kullandığımız elektrik enerjisine çevirmenin aracıysa **nükleer enerji** santralleri.



NÜKLEER ENERJİ NASIL OLUŞUR?

$$E=mc^2$$

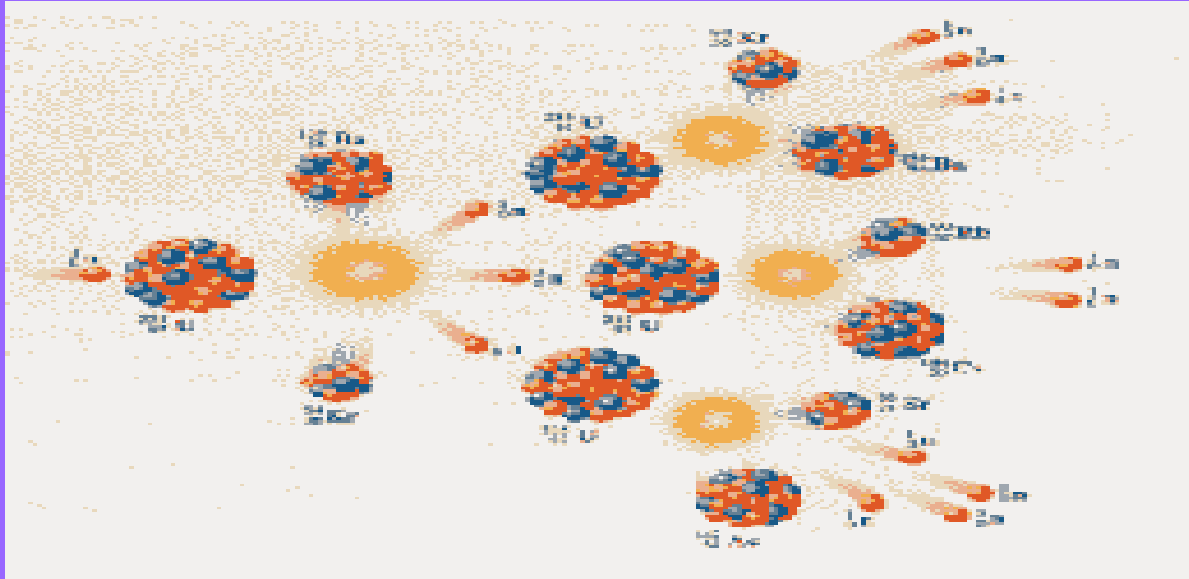
NÜKLEER tepkimeler, parçalanma ürünlerinin toplam kütlesi, ilk çekirdeğin kütlesinden küçük olduğunda açığa enerji çıkarırlar. $E=mc^2$ formülü uyarınca "kayıp kütle" ürünlerin kinetik enerjisi biçiminde ortaya çıkar.

1 kg U-235 izotopunun fisyon yapması sonucu açığa çıkan enerjinin yaklaşık 1.3 milyon kg kömürünkine eşdeğer olduğunu belirtmek yeterli olacaktır.

YAKLAŞIK 22 MİLYAR KJ ENERJİ

Zincirleme Reaksiyon:

Fisyon sonucunda ortaya çıkan nötronların, ortamda bulunan diğer **fisyon** yapabilen atomların çekirdekleri tarafından yutulularak, onları da aynı reaksiyona sokması ve bunun ardışık olarak tekrarlanmasıdır. **KontROLSUZ bir zincirleme reaksiyon**, çok çok kısa bir süre içinde çok büyük bir enerjinin ortaya çıkmasına neden olur; **atom bombasının** patlaması bu şekildedir.



Nükleer santrallerde
zincirleme nükleer reaksiyonlar
sürekli – kontrollü ve güvenli
bir şekilde oluşur.

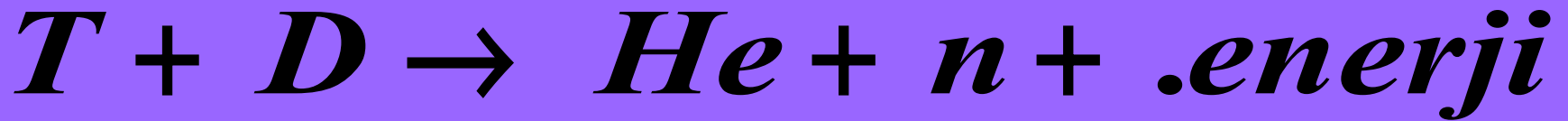
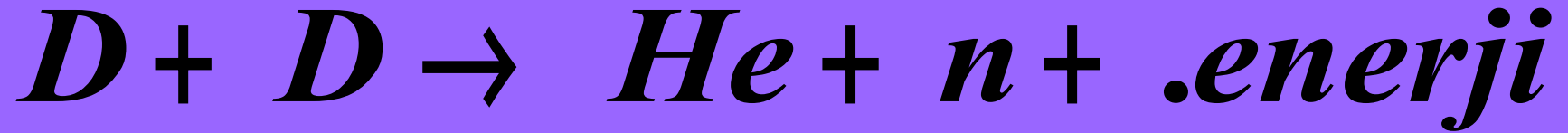
**Nükleer reaktörler
bir bomba gibi
patlamazlar !!!**

2- FÜZYON (Birleşme)

Füzyon reaksiyonunda küçük kütleli çekirdekler birleşip büyük bir çekirdek oluştururlar. **Güneş ve yıldızların enerji üretimleri füzyon reaksiyonlarına dayanır, yani evrenin yaratılışındaki enerji kaynağı füzyon reaksiyonlarına dayanır.**

Füzyon çevreyi dostu, temiz bir enerjidir. Füzyon yakıtı hidrojenin izotopları **döteryum D** (deniz suyundan), **tridyum T** ise yapay olarak elde ediliyor.

Füzyon reaksiyonları



Bu reaksiyonların gerçekleşebilmesi için

T = 100 milyon °C sıcaklığa kadar erişilmesi gerekir.

Güneşin yüzey sıcaklığı 6000 °C dir.

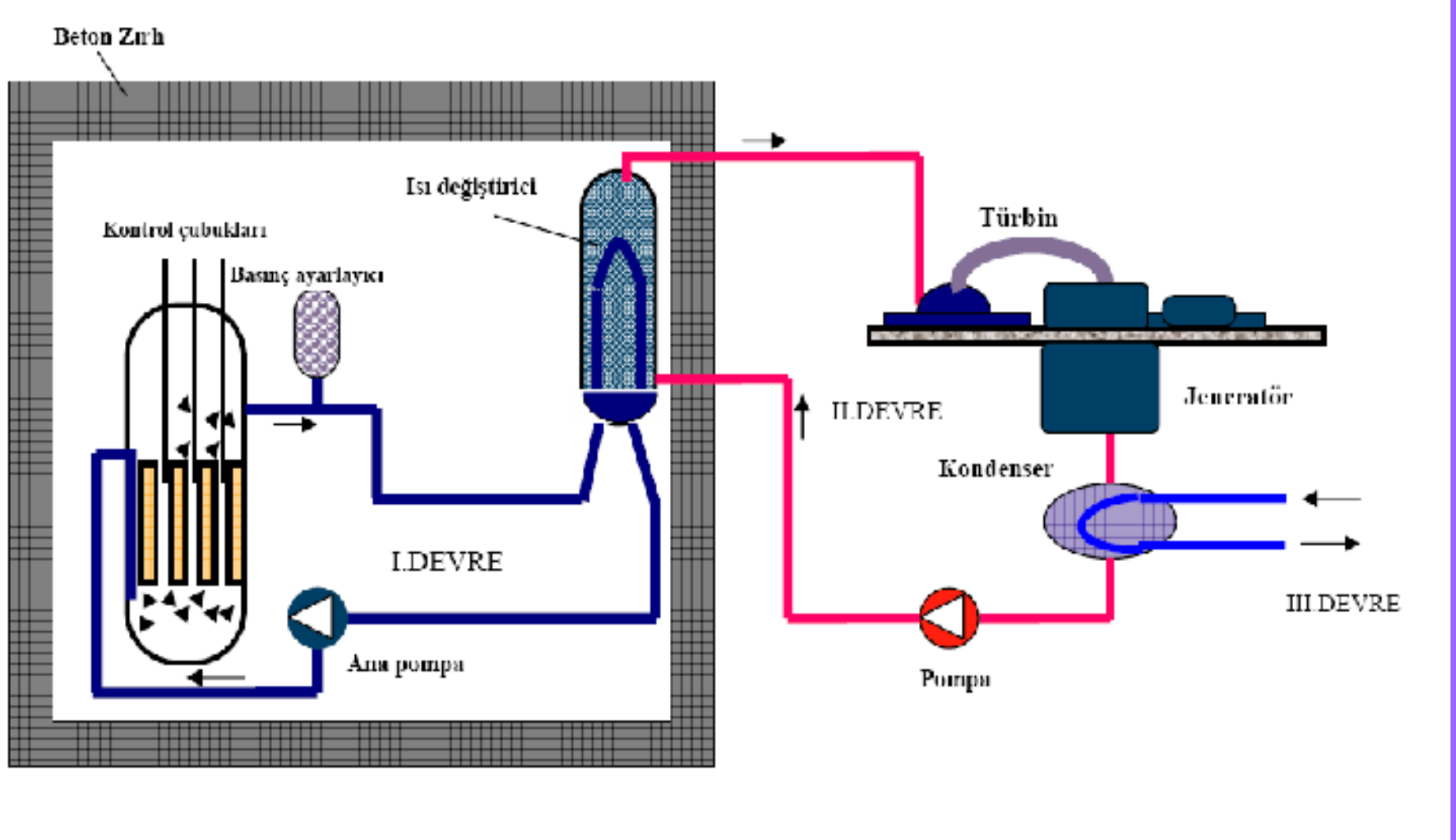
- Bir ton deniz suyu yaklaşık olarak 33 gr döteryum içerir.
- 1 gr döteryum-trityum füzyon reaksiyonundan elde edilecek enerji yaklaşık 160 Milyon kj dur.

Nükleer Güç Santrali/Reaktörü nedir?

Nükleer Reaktörler



Bir nükleer santral



Nükleer santrallerin yakıtı uranyum elementinin içindeki U-235 izotopudur.

- Doğal uranyum içinde %0,7 oranında U-235 izotopu ve %99,3 oranında U-238 izotopu vardır.
- Yani bir nükleer santrale yüklenen yakıtın çok az bir kısmı enerjiye dönüşmektedir. Ancak bu bile çok muazzam bir enerjidir.

Bu gün dünyadaki nükleer santraller genel olarak iki türüdür

1. Zenginleştirilmiş yakıt (%3-5 arası U-235 izotopu) kullanan hafif sulu reaktörler
3. Doğal uranyum (%0,7 U-235 izotopu) kullanan ağır sulu reaktörler

- 1000 MWe gücündeki bir hafif su soğutmalı nükleer reaktörden yılda yaklaşık 30 ton (7 m³) kullanılmış yakıt çıkar. Bu miktar, aynı kapasitedeki bir kömür santralının atık miktarına göre ağırlık olarak yaklaşık 300 bin kere, hacim olarak da yaklaşık 80 milyon kere daha azdır. Hemen belirtelim ki nükleer santrallerin gündelik atıkları fosil-yakıtlı santrallerin atıklarına kıyasla yok denecek kadar azdır ve normal çalışmaları sırasında çevreye yaydıkları radyasyon, nükleer santral civarında yaşayan bir kişinin doğal kaynaklardan almakta olduğu radyasyonun 100 ile 200'de biri kadardır.

- 1000 MWe gücündeki bir hafif-su soğutmalı nükleer reaktörden çıkan kullanılmış olarak %95.5 uranyumdioksit, %3.5 fisyon ürünleri (atom ağırlıkları farklı izotoplar), %0.9 plütonyum ve %0.1 uranyum-ötesi elementler (neptünyum, amerikyum, küriyum) içerir. Yani orijinal yakıtın yalnızca %4.5'i eksilmiştir; bu eksilen kısmın yerini reaktörde çeşitli nükleer reaksiyonlar sonucu oluşan fisyon ürünleri, plütonyum ve uranyum ötesi elementler almıştır.

1000 MWe gücündeki bir nükleer santraldeki uranyum ötesi atıkların miktarı

Minor Aktinitler	Kütle (kg/y)	
	1 doğal uranyum çevrimli	2 zenginleştirilmiş yakıt çevrimli
	PWR ¹	PWR ²
²³⁷ Np	20.4	15.1
²⁴¹ Am	1.32	6.0
^{242m} Am	0.0119	0.079
²⁴³ Am	2.48	21.8
²⁴⁴ Cm	0.911	15.6
²⁴⁵ Cm	0.0554	1.74

- 1000 MWe gücünde bir nükleer santralin yaklaşık 40 yıllık bir ekonomik ömrünün sonunda sökülmesi için yaklaşık 100 milyon dolar civarında bir kaynak gerekmektedir. Bu kaynak, miktar olarak çok büyük olmasına karşın, bir nükleer santralin bir yılda ürettiği elektriği satarak elde edeceği gelirden daha azdır.

- **KÖMÜRLE ÇALIŞAN TERMİK SANTRALLER ÇEVREYE SADECE CO₂, SO₂, NO₂ ve KÜL ATMAKLA KALMAYIP BİR NÜKLEER SANTRALİN NEDEN OLDUĞU RADYASYONUN ONLARCA KAT DAHA FAZLASI RADYOAKTİF KİRLİLİK YAPMAKTADIR.**

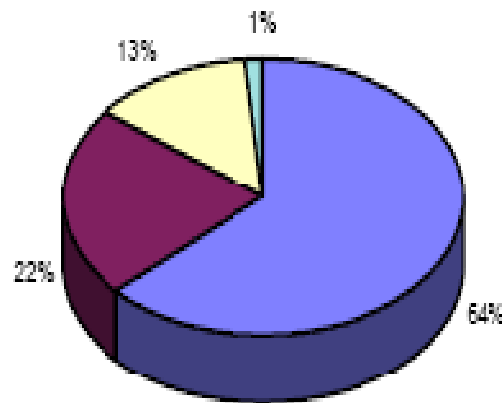
- Çevre Koruma Ajansının verilerine göre kömür içerisindeki ortalama uranyum miktarı milyonda 1.3, toryum miktarı da milyonda 3.2 kadardır. Türkiye genelinde elektrik üreten termik santrallerde yaklaşık yıllık 64 milyon ton kömür yakılmaktadır. Bu santrallerden 83.2 ton uranyum, 204.8 ton toryum çevreye hiçbir önlem alınmadan bırakılmaktadır.

- Yine aynı kaynağa göre kömür santralleri dünya genelinde yıllık 2.8 milyar ton kadar kömür yakarak çevreye 3640 ton uranyum ve 8960 ton toryum salmaktadırlar. Çernobil kazası esnasında, santral içerisinde yaklaşık 30 ton civarında nükleer yakıt bulunduğu, bununda %5-10 kadarı çevreye yayıldığı düşünülürse ortalama her sene dünyada kömür santralleri çevreye 100'den fazla Çernobil reaktörü içindeki yakıt kadar uranyum ve bunun 2.5 misli kadarda toryum salmaktadırlar.

DÜNYA ELEKTRİK ÜRETİMİ

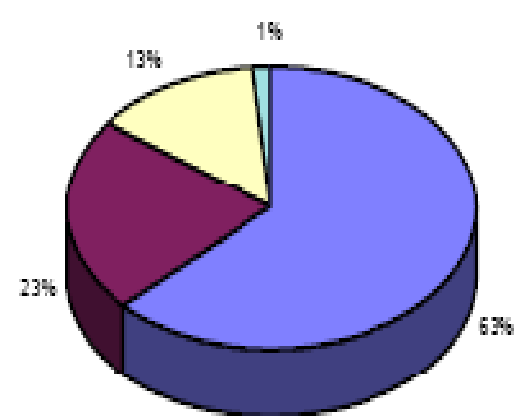
OECD Electricity Production by Fuel Type Year-to-Date Comparison

Jan-Dec 2005



Total - 9 945 TWh

Jan-Dec 2006



Total - 10 016 TWh

DÜNYA ELEKTRİK ÜRETİMİNİN YAKIT CİNSİNE GÖRE SINIFLANDIRMASI (MİLYAR KWh)

ÜLKELER	TERMİK	NÜKLEER	HİDROLİK	DİĞER	TOPLAM
ABD	2985,5	789,6 (%19)	290	40	4105
ALMANYA	354,9	160,2 (%28)	27,1	27,8	570
FRANSA	55,6	429,4 (%78)	62,8	2,3	550,1
İNGİLTERE	304,5	69,4 (%18)	7,9	2,2	383,9
JAPONYA	645,9	289,5 (%28)	93,8	4,1	1033,3
KANADA	146,5	92,4 (%16)	356,9	1,9	597,7
G. KORE	246,5	141,2 (%36)	5,2	0,9	393
TÜRKİYE	124,7 (%74)	0	43,9(%25,6)	0,2 (0,4)	168,8
DÜNYA	6310	2304 (%23)	1302	100	10016

DÜNYADA NÜKLEER ENERJİ

- 270' den fazla Araştırma Reaktörü
- 400' den fazla Gemi ve Denizaltı Reaktörü
- 438 tane Nükleer güç santrali
- 35 Nükleer güç santrali inşa halinde
- 32 Nükleer güç santralinin yapımı planlanmakta

DÜNYADA NÜKLEER ENERJİ

- ❖ 31 Ülkede Ticari Nükleer Güç Santralleri
- ❖ 59 Ülkede Sivil Araştırma Reaktörü
- ❖ 8 Ülkede Nükleer Silah Teknolojisi

DÜNYADA NÜKLEER ENERJİ

Ülkeler	İşletme Halinde	İnşa Halinde
ABD	104	-
Fransa	59	-
Japonya	54	3
İngiltere	33	-
Rusya	30	3
Almanya	19	-
Ukrayna	13	2
Kore	16	4
Kanada	14	6
İsveç	11	-
Hindistan	14	2

TÜRKİYE' DE NÜKLEER ENERJİ

Türkiye yeni bin yılda yeni bir teknolojinin eşiğinde duruyor. Atılacak adım 50 yıllık bir öykünün sonunu belirleyecek. Nasıl noktalanırsa noktalanırsa kitabın sonu kimini sevindirecek kiminiyse üzecek. Karar **Türkiye'** nin ilk **nükleer santralini** yapmak için kıyasıya rekabet içinde olan yabancı firmaların sunduğu seçeneklerle ilgili...

TÜRKİYE' DE NÜKLEER ENERJİ

- Örneğin **CANDU-6** modeli doğal **Uranyum** kullanıyor. Ülkemizde doğal **uranyum** rezervleri henüz geliştirilmemiş olsada var ama şimdilik pahalı kilogramı **140 \$** oysa dünyada **60-70 \$** civarında.

Uranyum rezervi	9100 ton
Toryum rezervi	380000ton

TÜRKİYE' DE NÜKLEER ENERJİ

- 1200 – 1400 MW gücünde bir santral
- 6-7 yıllık bir inşaat tesis süresi
- 4- 4.5 milyar \$ lık bir yatırım
- Birkaç bin kişilik işgücü

TÜRKİYE' DE NÜKLEER ENERJİ

Nükleer Santral devreye girdiğinde :

- Kapasitesi 10 milyar kWh
- Yıllık getirisi en az 300 milyon \$
- Ve en az **ATATÜRK BARAJI** kadar enerji üretecektir.

- Endüstriyel alanda kullanılan elektriğin fiyatı Avrupa ve OECD ülkelerinde 4 cent/kW-saat iken Türkiye'de yaklaşık 15 cent/kW-saat'tir. Bu durumda Türkiye de'ki sanayici aynı elektriği Avrupa ve OECD ülkelerinden 4 kat daha pahalıya kullanmaktadır. Türk sanayicisi, Avrupa sanayicisine göre üretimde kullandığı elektriğe yaklaşık 12 Milyar dolar daha fazla para ödemektedir. Böyle bir durumda Türk sanayicisinin Avrupalı sanayici ile rekabet edebilmesi mümkün müdür?.

RADYASYON

İnsanlar **DOĞAL ÇEVREDEDEN** ve **YAPAY KAYNAKLARDAN** sürekli radyasyon alarak yaşarlar...

Doğal radyasyon = %88

Yapay radyasyon = %12

RADYASYON

Normal günlük yaşantımızda karşılaştığımız radyoaktivitenin ancak çok küçük bir kısmı nükleer reaktörlerden kaynaklanmaktadır.

50 mSv	Santral personeli için izin verilen yıllık doz
5 mSv	Halk için izin verilen yıllık doz
2.5 mSv	Doğal çevreden alınan yıllık doz
1 mSv	Tıbbi tedaviden alınan yıllık doz
0.01 mSv	TV izleme sonucu alınan yıllık doz (günde 1 saat)
0.001 mSv	Nükleer santral yakınında yaşayan bir kişinin aldığı yıllık doz

RADYASYON

Nükleer santralin etki alanında yaşayan bir kişinin alacağı EK radyasyon, tek bir göğüs röntgeni çektiirmekle alınacak radyasyonun **ellide biri** kadardır...

ÇERNOBİL KAZASI

- Çernobil kazası sonucu alınan radyasyon dozu yere bağlı olarak değişim göstermektedir. Örneğin reaktör çevresinde, 3 kilometre yarıçapında bir alan içersinde alınan ortalama doz 33 mSv'dir. Alınan bu yüksek doz insanların kansere yakalanma toplam riskini yaklaşık %4 oranında artırıp; %20'den %24'e çıkarmıştır. Kazanın diğer ülke insanları üzerindeki etkisi ise değişiktir. Örneğin kaza sonrası bir yıl boyunca Türkiye'de alınan en yüksek doz 0,59 mSv'dir ve ortalama doz ise 0,15 mSv'dir.
- Çernobil kazasının toplam maliyetinin ise 14 milyar dolar dolayında olduğu tahmin edilmektedir.

NÜKLEER ENERJİ VE ÇEVRE

ATIKLAR

- Uranyum ve benzeri nükleer yakıtların nükleer reaktörlerde kullanılması sonucu **yüksek seviyeli atık** oluşur.
- 1000 MW bir nükleer santralin ürettiği atık miktarı 25-30 ton/yıl
- Yaklaşık 7 m³

NÜKLEER ENERJİ VE ÇEVRE

ATIKLARIN SAKLANMASI

- 10 -20 yıl santral içindeki havuzlarda bekletilir.
- 15 nükleer reaktörden ömürleri boyunca çıkacak olan **kullanılmış yakıtın** tamamı ancak olimpik ölçülerdeki bir **yüzme havuzunu** dolduracaktır.

Nükleer Reaktörden Çıkarılan Atıkların Saklanması



NÜKLEER ENERJİ VE ÇEVRE ATIKLARIN SAKLANMASI

- Ara depolama tesislerinde depolanır.

Nükleer Reaktörden Çıkarılan
Atıkların Saklanması



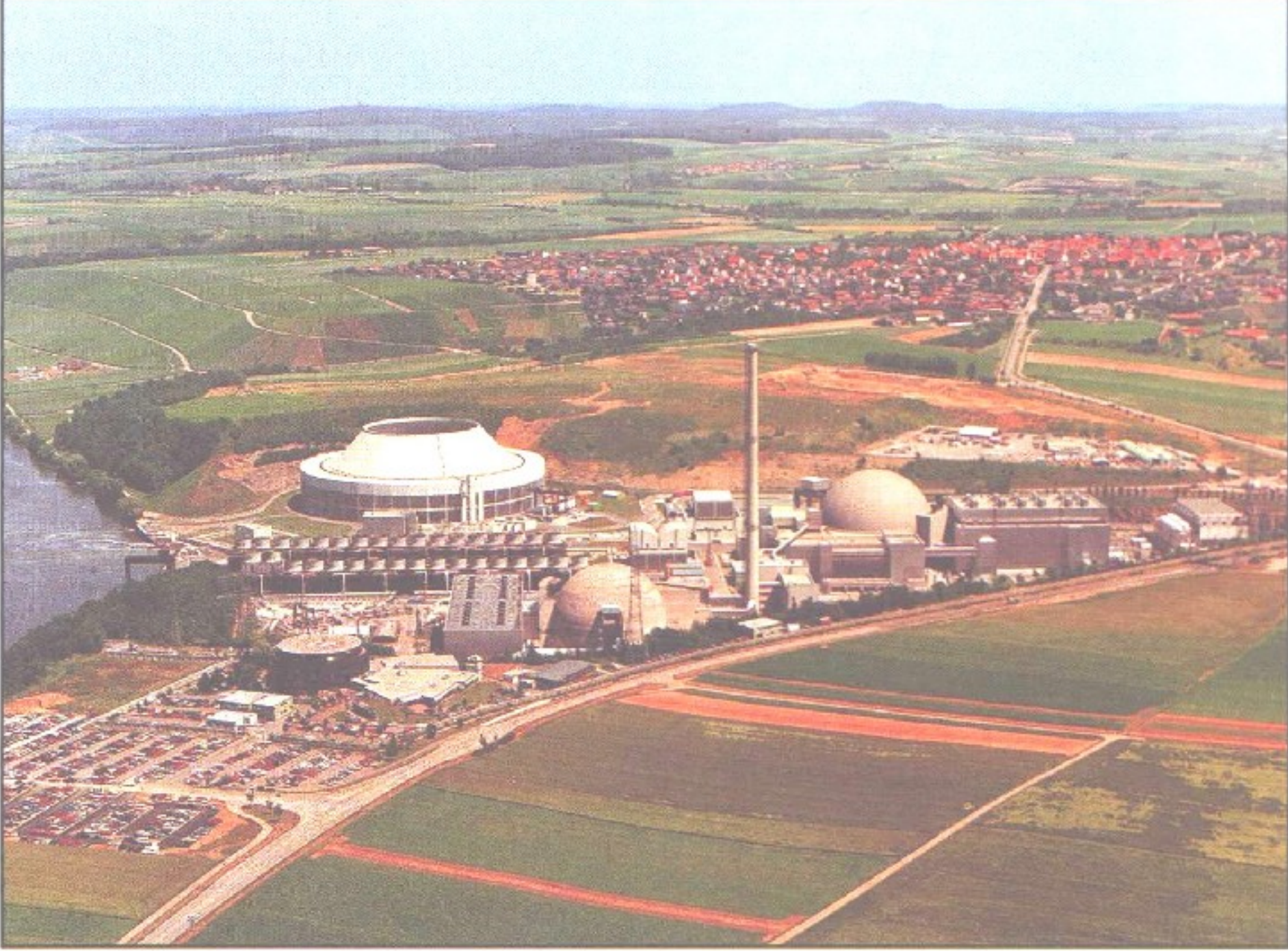
NÜKLEER ENERJİ VE ÇEVRE ATIKLARIN SAKLANMASI

- 30 yıl 5 m yüksekliğinde ve 3 m çapında özel koruma kaplarında alınarak santral sahasında havayla soğumaya bırakılır.
- Camlaştırılarak yerin 1000-1500 m altındaki galerilere gömülür.

Nükleer Reaktörden Çıkarılan
Atıkların Saklanması















NÜKLEER ENERJİ VE ÇEVRE

- Nükleer enerji, çevre gözönüne alındığında birçok üstünlüğe sahiptir. Karbondioksit üretmediği için, çevresel olarak en önemli problemlerden biri olan sera gazlarının artmasına katkıda bulunmaz. Örneğin, 40 yıl boyunca çalışan 1000 MW elektrik kapasitesindeki bir nükleer santralin yerine kullanılacak bir kömür santrali, yaklaşık 300 milyon ton sera gazının atmosfere bırakılmasına neden olur.
- Nükleer santraller, termik santrallerin aksine, kükürtdioksit gibi asit yağmurlarına yol açan çeşitli gazları atmosfere bırakmazlar.

- Nükleer santraller baca gazları yaymadıkları için iklim değişikliklerine, asit yağmurlarına ve ozon tabakasını incelten gazların çevreye yayılmasına yol açmaz.
- Nükleer santraller termik santrallerde olduğu gibi suların asitlendirilmesine sebep olan kimyasal maddeleri çevreye yaymazlar.
- Nükleer santraller arazi kullanımını açısından hidrolik ve termik santrallere göre daha avantajlıdır. Bunlara nazaran daha az yer işgal ederler ve enerji talebinin en yoğun olduğu bölgelerde inşa edilebilirler.

- Nükleer santrallerde atıklar termik santrallerde olduğu gibi çevreye direkt olarak bırakılmaz, uzun yıllar korunabilecek şekilde muhafaza altına alınırlar.
- Nükleer güçle ilgili gerçekler üzerinde çalıştıkça, yararlarını ve oluşabilecek riskleri daha iyi anlayabilir, duygusal olmak yerine gerçekçi bir tutum takınabiliriz.

NÜKLEER ENERJİ

- Ülkemizin nüfusu hızla artmakta. Bu da ısıtılacak ve aydınlatılacak daha çok ev, daha çok fabrika, daha çok otomobil, gemi, uçak kısacası daha çok enerji demek...

NÜKLEER ENERJİ

- **Nükleer enerjinin** bol enerjili geleceğe giden köprüde önemli bir rol oynaması kaçınılmaz görünüyor. Ülkemizin de bu enerjiden faydalanmasını umarım...

DOÇ. DR. KADİR YILDIZ

AKSARAY ÜNİVERSİTESİ