



Nükleer Santrallerde Güvenlik

Prof. Dr. Şule Ergün

VII. İş Sağlığı ve Güvenliği Sempozyumu
Fiziksel Etmenler ve Meslek Hastalıkları
25 Kasım 2022 HİSAM

İçerik

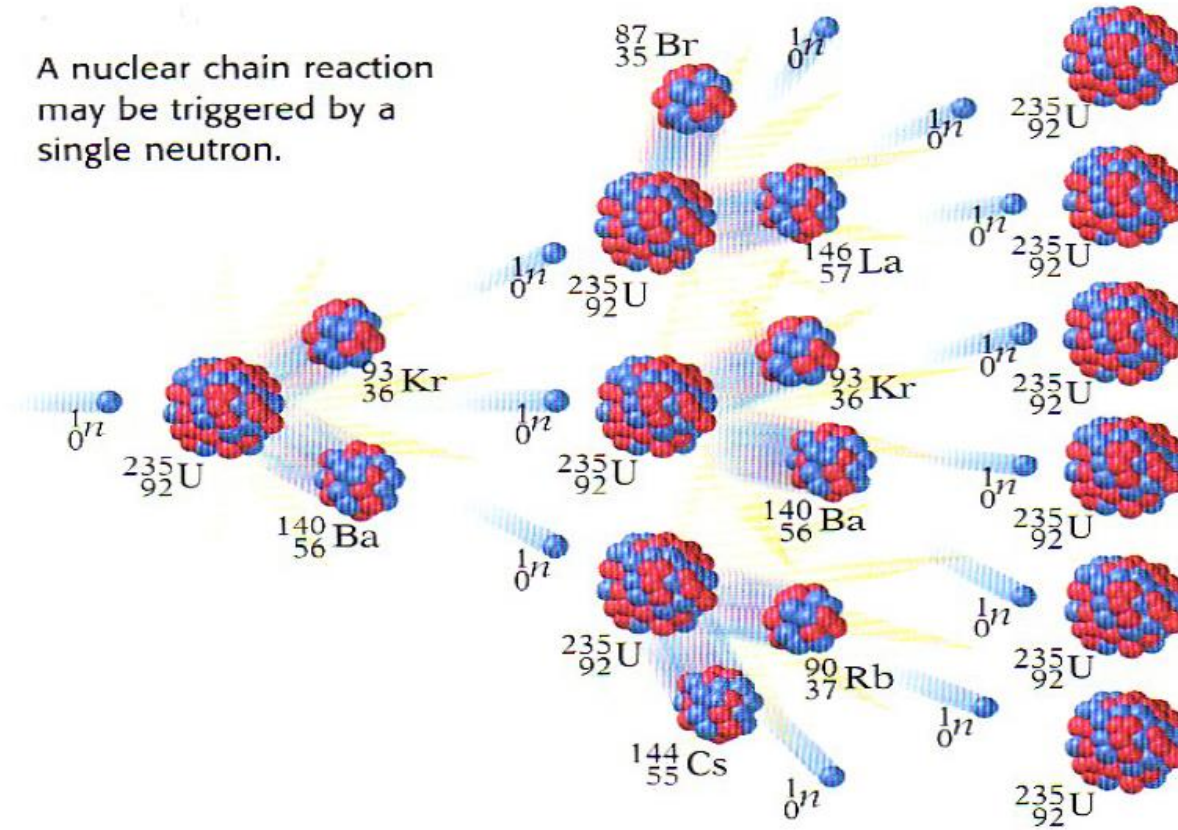
- Nükleer Güvenlik Nedir?
- Nükleer Santraller Nasıl Çalışır?
 - Fizyon
 - Nükleer Reaktörler
 - Nükleer Santraller
- Nükleer Güvenlik
 - Güvenlik Kavramı
 - Güvenlik Kültürü
 - Derinliğine Savunma

Nükleer Güvenlik Nedir?

- Nükleer Düzenleme Kanunu:
 - Güvenlik: Nükleer enerji ve iyonlaştırıcı radyasyona ilişkin faaliyetlerin yürütülmesi sırasında çalışanların, halkın, çevrenin ve gelecek nesillerin radyasyondan korunmasını sağlamak üzere uygun şartların oluşturularak sürdürülmesi, kazaların önlenmesi veya kaza sonuçlarının hafifletilmesi

ÇEKİRDEK BÖLÜNMESİ (FİSYON)

A nuclear chain reaction may be triggered by a single neutron.



Nükleer Enerji Üretiminde Önemli İzotoplar

Uranyum	Plütonyum(doğada yok)	Toryum
U-235 (fisil)	Pu-239 (fisil)	Th-232 (üretken)
	U-238 (üretken)	Pu-241 (fisil)
	U-233 (fisil, doğada yok)	

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.

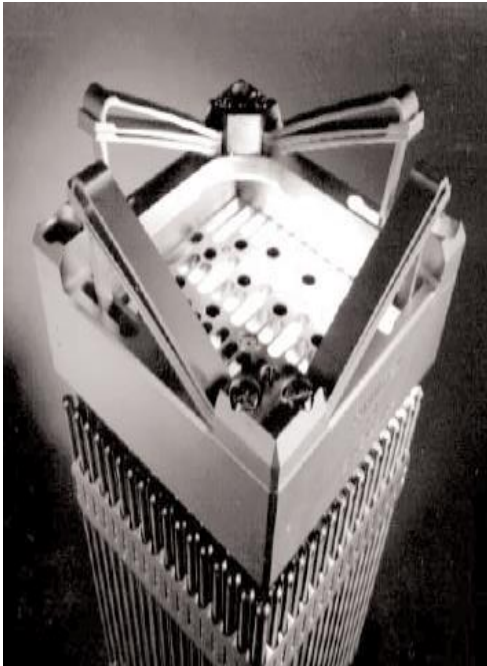
Toryum: Doğada yaklaşık %100 Th-232 olarak bulunur.

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

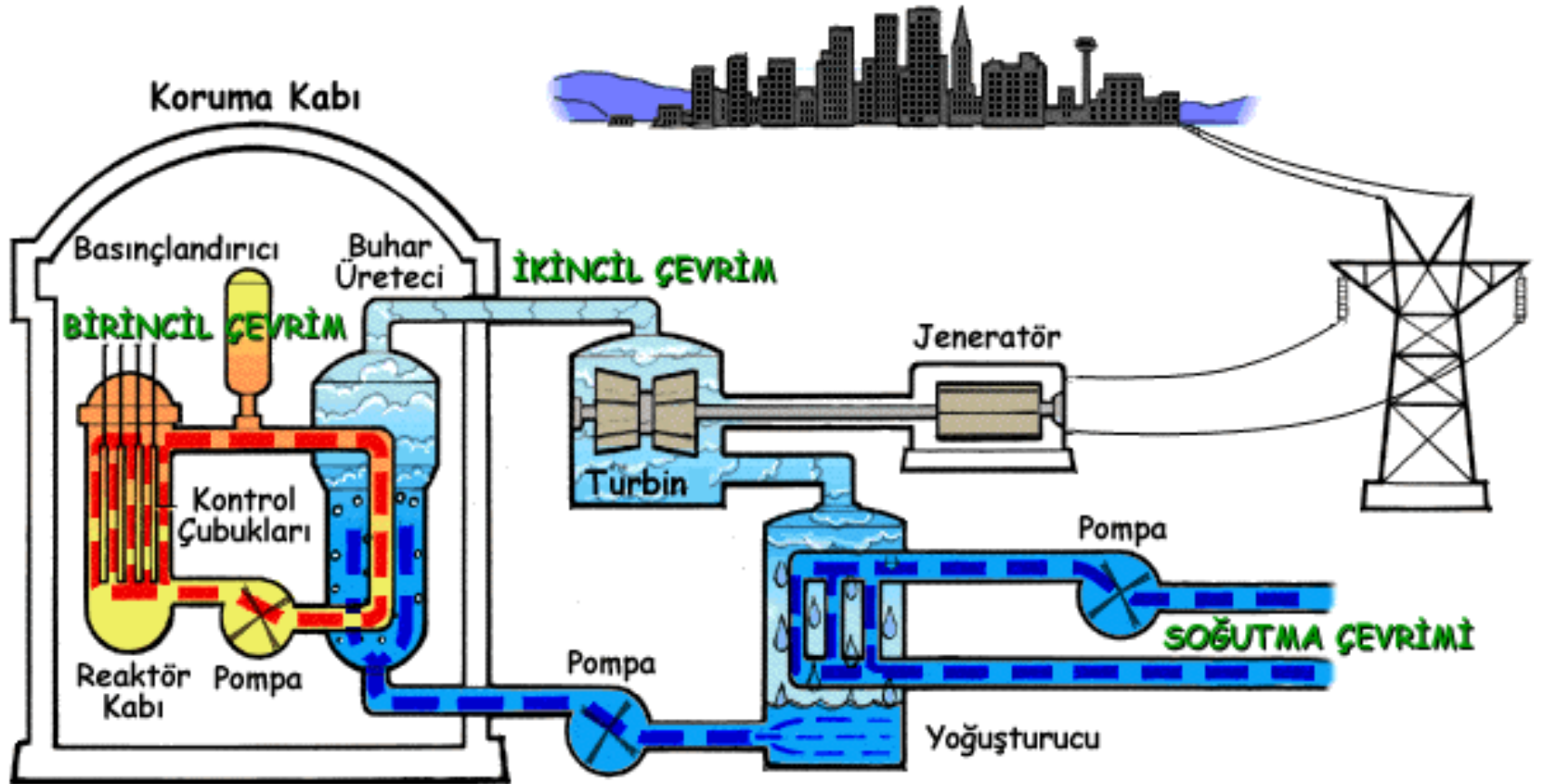
Nükleer yakıt

- 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 (zenginleştirme).

Nükleer yakıt çubukları ve demetleri

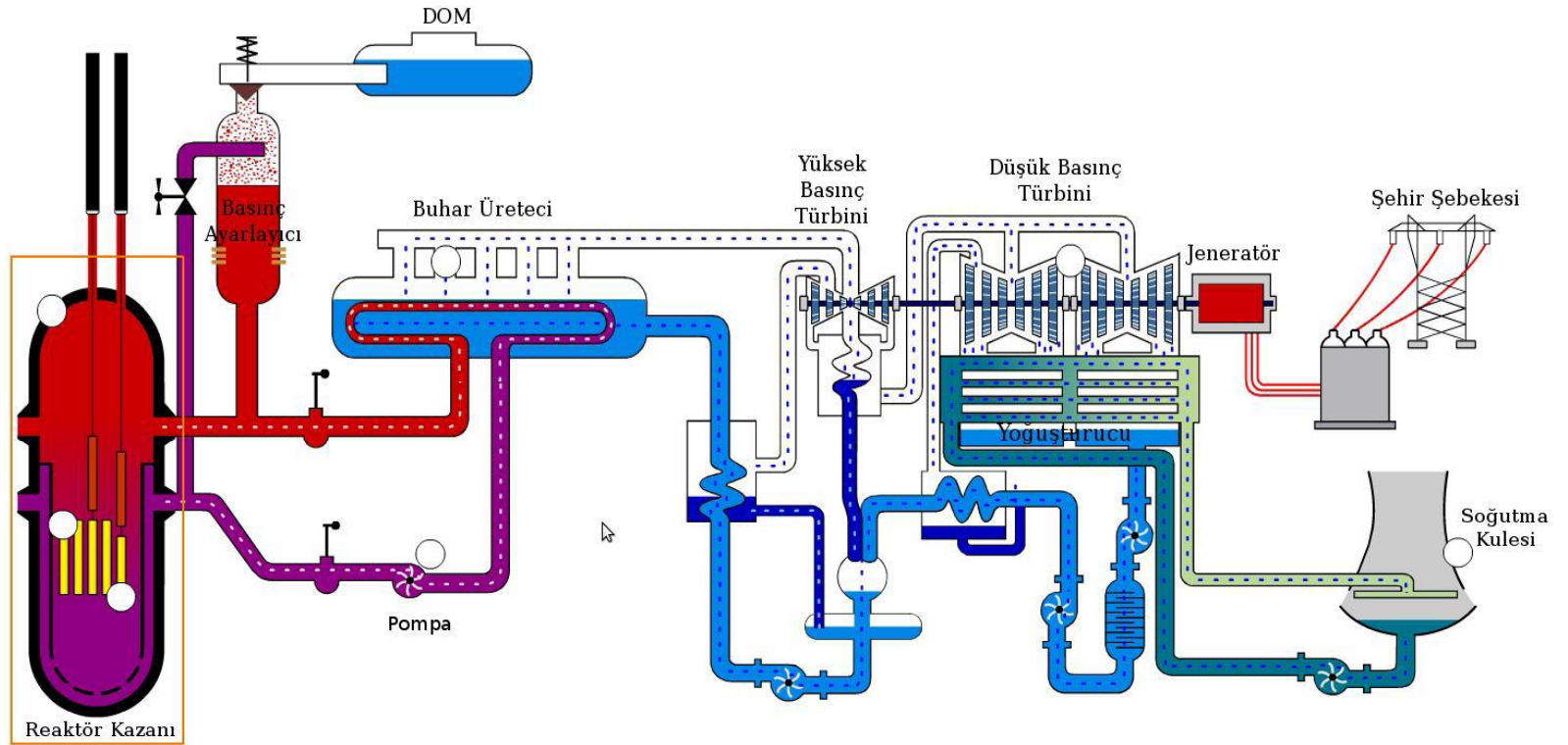


Nükleer Santral



Nükleer Reaktör Tipleri

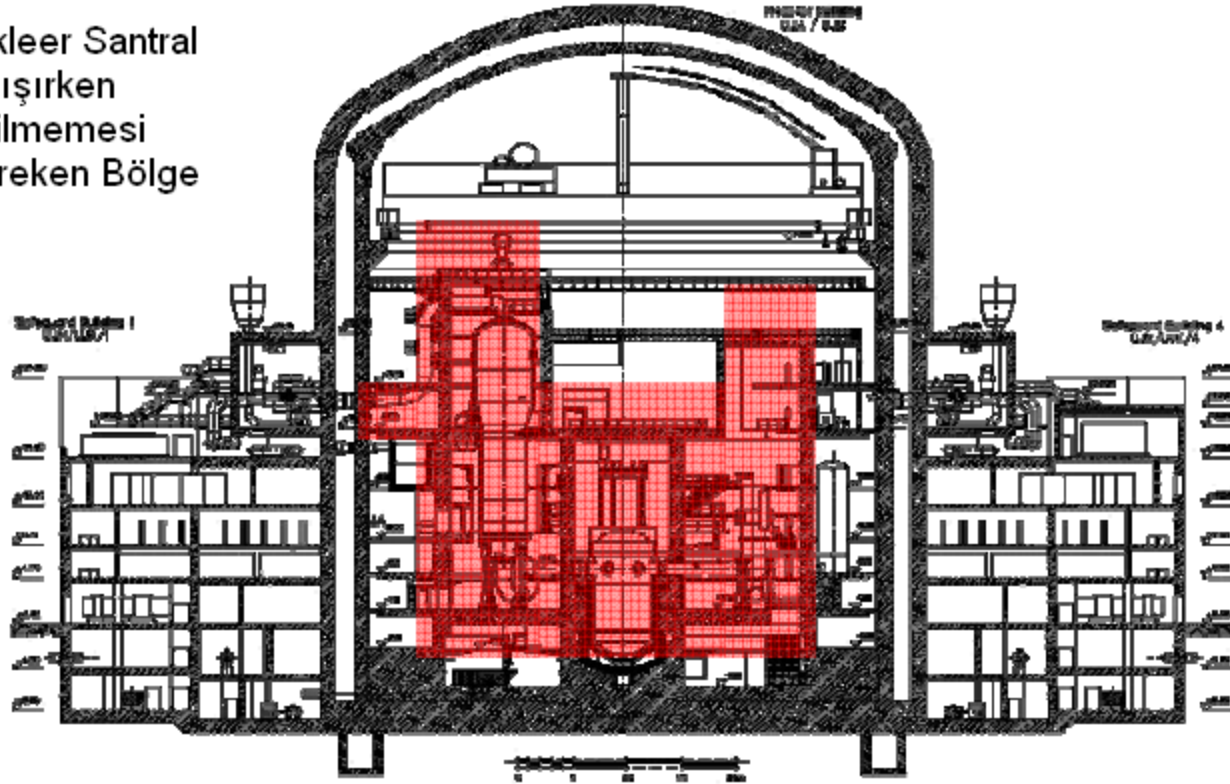
Rus Basıncılı Su Reaktörleri (VVER)



Nükleer Santral



Nükleer Santral
Çalışırken
Girilmemesi
Gereken Bölge



Nükleer Enerji

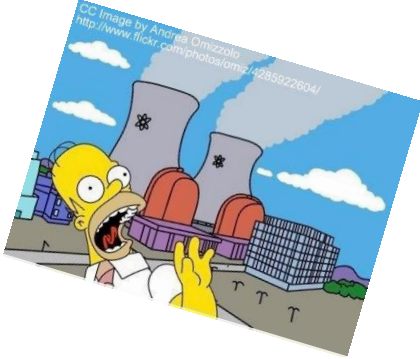
Güvenlik

Herşeyden

Önemlidir



PRIDE
Cleanliness is next to Godliness.



FOX



Nükleer Güvenlik Kavramı

- Teknik anlamda güvenlik kavramı zordur.
- Güvenlik, teknoloji, ekonomi, toplumun yapısı, tutumlar, ahlak ve göreceli zenginlik ile iç içedir.
- Toplumda, yaşamın esasları kontrol altında tutmalı, ilerici olunmalı ve vatandaşların üzerindeki yükü hafifletmek için teknoloji kullanılmalıdır.

- Güvenlik, toplum için bir hizmet ürününün geliştirilmesi, üretimi, uygulama satışı ve kullanımı ile ilgili bir kuruluştaki herkesin sorumluluğudur.
- Bir Güvenlik Tutumu, bir organizasyonun yönetimi ile başlar ve organizasyon boyunca yukarıdan aşağıya doğru süzülür.
- Güvenlik maliyetlidir, yeniden çalışma, zaman çizelgesi kaybı ve üst yönetim için zaman kaybı gerektirebilir.



Güvenlik Kültürü

Nükleer santrallerin güvenliği tasarımdan, sökülmeye kadar her aşamada güvenlik kültürü çerçevesinde sağlanır.

- Güvenlik kültürüne göre:

Güvenlik her şeyden önemli olmalıdır

Nükleer güvenlikle ilgili kurum ve kuruluşlar yapılanma ve ilkelerini belirlerken güvenliğe öncelik vermelidir

Çalışanlara güvenlikle ilgili sorularını sormak, gerekirse organizasyonu ve diğer çalışanları sorgulamak ve iyileştirme önerileri yapmak üzere imkan ve özgürlükler sağlanmalıdır

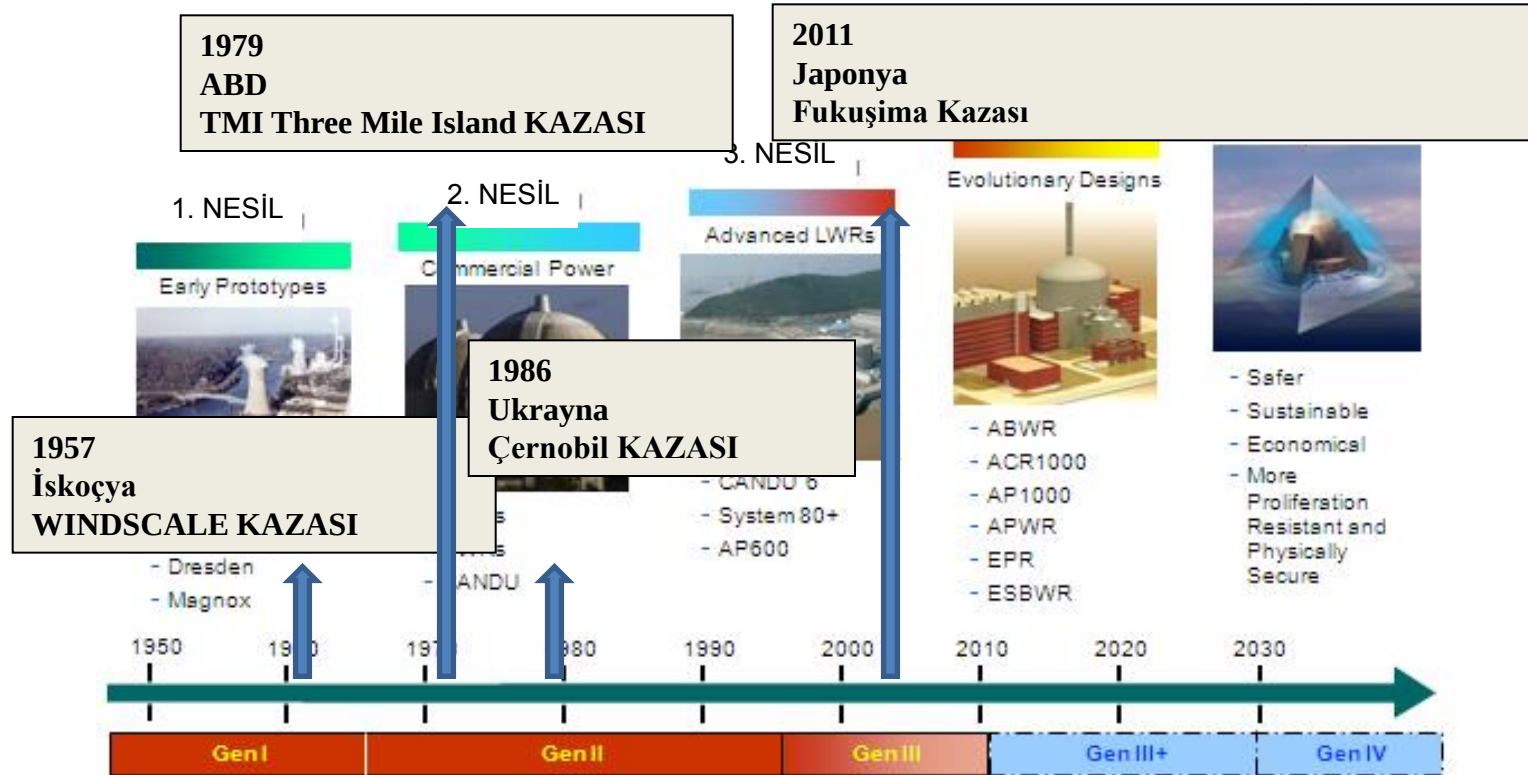
Güvenlik Kültürü

- Güvenlik kültürü kalite kontrol ve kalite teminini ve gerekli bakım ve onarımların ihmal edilmeden yapılmasını sağlar ve denetler
- Güvenlik kültürü çerçevesinde yapılan olumlu davranışlar ödüllendirilirken, buna zıt davranışlar cezalandırılabilir
- Güvenlik kültürünün uygulanması ilgili kurum ya da kuruluşun yönetiminin sorumluluğudur ve insan hatalarını önlemeyi hedefler.

- Three Miles Island kazasıyla ilgili ABD’de kurulan ilgili komisyon tarafından tavsiye edilen nükleer reaktör güvenliğine yönelik tutum “nükleer enerji, doğası gereği potansiyel olarak tehlikelidir ve halihazırda mevcut olan önlemlerin büyük kazaları önlemek için yeterli olup olmadığını sürekli olarak sorgulamalıdır” olmuştur.

Nükleer Santrallerdeki Teknolojik Gelişim ve Kazalar

NÜKLEER SANTRALLARDAKİ TEKNOLOJİK GELİŞİM



Nükleer Güvenlik

- Bir tesisin nükleer güvenliği şu şekilde sağlanır:
- Tasarlanmış güvenlik sistemleri
- Güvenlik analizi (olasılıksal risk değerlendirmesi, deterministik simülasyonlar)
- Güvenlik kültürü
- Kurallar ve düzenlemeler
- Örgütsel yapı
- Eğitim/Eğitim
- Operasyonel süreçler
- Çalışanların tutumları

Nükleer Güvenlik

- Nükleer enerji santralleri:
 - Öngörülen en kötü kaza koşulunda bile çevreyi korumak için tasarlanır, inşa edilir ve çalıştırılır.
 - Nükleer güvenliğin ana hedefi, radyasyonu her koşulda tesiste tutmaktır.

Nükleer Santrallerde Güvenlik

- Güvenlik nasıl sağlanır?



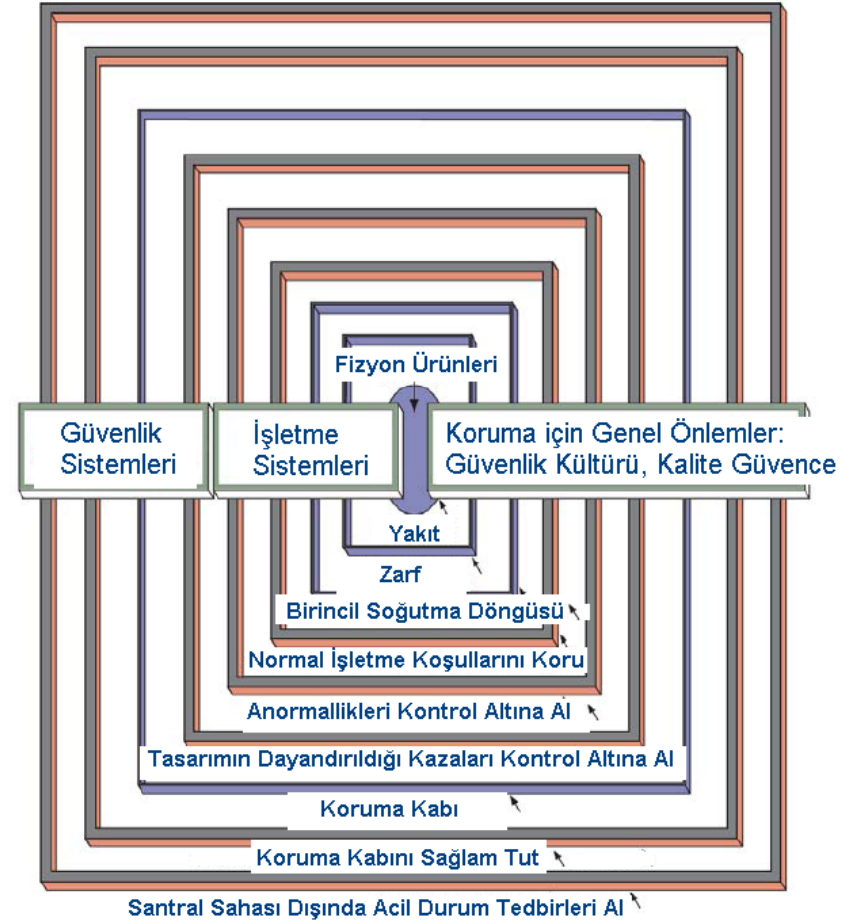
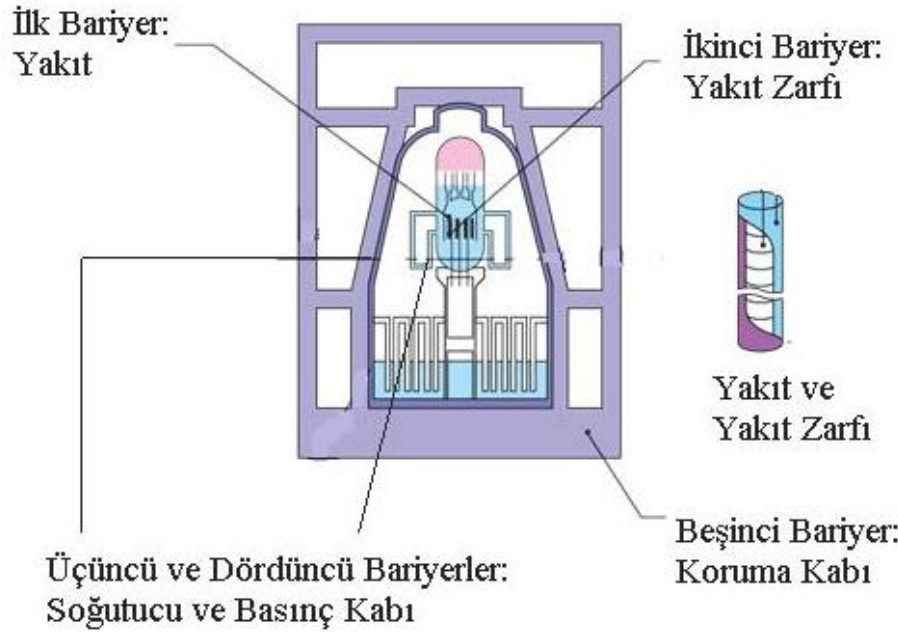
Nükleer Santrallerde Güvenlik

- Derinliğine savunma: Güvenlik analizleri sistemlerin hesapsal simülasyonları risklerin detaylıca tanımlandığı olasılıklı güvenlik değerlendirmeleri



**Derinliğine savunma ilkesi:
kazaların önlenmesi
kazaların en az zararla
sonlandırılması**

Nükleer Santrallerde Güvenlik



Derinliğine Savunma İlkesinin İçeriği

- Güvenlik sistemleri:
 - yedekli
 - çeşitli
 - güvenilir
- Nükleer santrallerde güvenlik sistemleri
 - Aktif**
(reaktör operatörü tarafından ya da otomatik olarak devreye sokulan sistemler)
 - Pasif**
(kazanın ciddileşmesini önlemek için kendiliğinden devreye giren sistemler)



Üçüncü Nesil Nükleer Santraller

- Nükleer santral tasarımları:

Güvenliği arttırmak

Ekonomik elektrik üretmek

Atık miktarını azaltmak

Aynı miktarda yakıttan daha çok enerji üretmek

Termal etkinliği arttırmak

üzere geliştirilmiştir.

Üçüncü Nesil Nükleer Santraller

- **Üçüncü nesil santrallerin**

Birim hacimde üretilen güç yoğunluğu düşüktür

Güvenlik sistemlerinde yedeklilik arttırılmıştır

Güvenlik sistemlerinin kapasitesi arttırılmıştır

Pasif güvenlik sistemlerinin ve tasarımın kendisinden kaynaklanan öz güvenliğin etkinliği arttırılmıştır

En ciddi kaza sonunda radyasyonun halka ulaşması riski azaltılmıştır

Üçüncü Nesil Nükleer Santraller

- Yeni nesil santraller

Gelişkin basınçlı su reaktörlü

Gelişkin kaynar su reaktörlü

Avrupa tasarımı basınçlı su reaktörlü

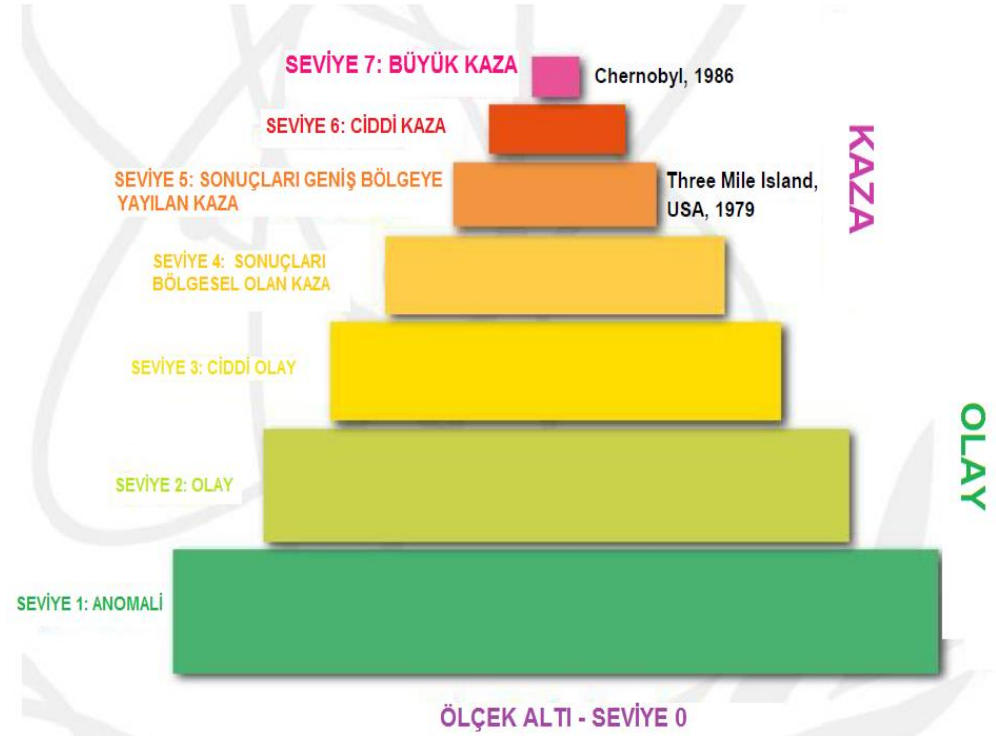
Combustion Engineering tasarımı basınçlı su reaktörlü (Kore tasarımı APR-1400'e benzer)

VVER-1200

(Türkiye'ye teklif edilen Rus tasarımı basınçlı su reaktörlü)

Nükleer Kazalar

- Nükleer kazaların radyolojik sonuçları Uluslararası Nükleer ve Radyolojik Olay Ölçeği (INES) ile gösterilir



Nükleer Kazalar

- Nükleer enerjinin elektrik üretiminde kullanıma başlamasından günümüze, radyasyon bariyerlerinin bütünlüğünü kaybettiği 3 büyük kaza gerçekleşmiştir:
 - ABD’de (Three Mile Island kazası (1979, yakıt ve yakıt zarfı bütünlüğünü kaybetmiştir),
 - Ukrayna’da Çernobil kazası (1986, yakıt ve yakıt zarfı bütünlüğünü kaybetmiştir; bu tasarımda basınç kabı ve koruma kabı yoktur),
 - Japonya’da Fukushima-Daiichi kazası (2011, yakıt, yakıt zarfı ve basınç kabı ve en dıştaki ikincil koruma kabı bütünlüğünü kaybetmiş; içteki birincil koruma kabı bütünlüğünü korumuştur).

Nükleer Kazalar

- Three Miles Island kazası sonucunda acil durum soğutma sisteminin önemi anlaşılmıştır.
- Çernobil kazasından alınan en önemli ders insan hatalarının nükleer santral güvenliğindeki yerinin büyüklüğü olmuştur.
- Fukushima-Daiichi kazası ise uzun dönem santral kararması kazasının (aktif tüm güvenlik sistemlerinin çalışması için gerekli elektriğin uzun süre sağlanmaması) radyolojik sonuçlarını ortaya koymuştur.

Fukushima Kazası ve Derinliğine Savunma

- Kademe 3 (Tasarıma esas kazalar)
 - Yanmış yakıt havuzu
- Kademe 4 (Ciddi kazalar)
 - Yakıt bütünlüğünün korunması
 - Korunak binasının bütünlüğünün korunması
- Kademe 5 (Acil durumlar)
 - Acil durum planları
 - Acil durum tatbikatları

Windscale Santralinde Olanlar



Windscale Santralinde Olanlar

- 1957 yılında İskoçya'da meydana gelen Windscale kazası; Metal uranyum yakıt elemanlarının soğutulması kaybı sonucu çıkan reaktör yangını sonucu oluşmuştur.
- Bu kazada reaktörün civarına bir miktar radyasyon yayılmakla beraber ölümle veya akut radyasyon hastalığıyla sonuçlanan bir olay meydana gelmemiştir.
- Bu kaza, nükleer reaktör yapımcılarını mümkün kaza senaryoları üzerinde derin inceleme ve araştırmalar yapmağa, her bir reaktör tipi için en muhtemel **kaza senaryolarını üretmeye**, böyle kazalarda vuku bulabilecek maksimum radyasyon dozlarını **teorik olarak tespit etmeye** ve bu kazalardan en az zararla nasıl çıkılabileceğini **tahlil etmeye** yönlendirmiştir.

Three Mile Island Santralinde Olanlar



Three Mile Island Santralinde Olanlar

- Kaza, ABD'de bulunan Three Mile Island Nükleer Santrali'nin ikinci ünitesinde gerçekleşmiştir.
- Santralin soğutma sisteminin ikinci tarafında başlayan kaza, sistem arızaları ve operatör hataları nedeniyle yakıtın bütünlüğünü

Çernobil Santralinde Olanlar



Çernobil Santralinde Olanlar

- Kaza Çernobil Nükleer Santrali'nin dördüncü ünitesinde bir deney yapılması sırasında gerçekleşmiştir:

Tasarım

İşletme (güvenlik sistemlerinin devreden çıkarılması, deney sırasında santralde nükleer mühendislerin bulunmaması)

Operatör Hataları (deney prosedürlerinin değiştirilmesi)

Reaktörün deney yapılmak üzereyken, prosedür değişimiyle istenilenin üzerinde tutulan gücü, deneyde planlanan seviyeye ulaştırılamamıştır.

Gücü ayarlamak üzere yapılan işlemler sonucu sistemde buhar patlaması ve yangın meydana gelmiştir.

Koruma kabı bulunmayan reaktörden, reaktör malzemeleri (yakıtın kendisi de dahil olmak üzere) çevreye yayılmıştır.

Fukushima Daiichi Santralinde Olanlar



Fukushima Daiichi Santralinde Olanlar

- Üniteler kapatıldığında soğutmayı sağlayan sistemin çalışması için gerekli olan elektrik sisteme sağlanamamıştır
 - Santral dışından (deprem yüzünden)
 - Santral içinden dizel jeneratörlerle (tsunami yüzünden)
- Fukushima Daiichi Santralinde yaşanan sorunlar:
 - öngörülenden büyük bir deprem
 - öngörülenden şiddetli bir tsunami

gerçekleşmesi sonucu ortaya çıkmıştır.