

E. Lutfi SARICI
Nükleer Santraller Daire Başkanlığı
TEAŞ / ANKARA

NÜKLEER SANTRAL NASIL ÇALIŞIR

1. GİRİŞ

Evrenin oluşumundan bu yana radyasyon mevcuttu ve insanoğlu bu doğal radyasyonla yaşayıp, ona maruz kalarak ömrünü tamamlıyordu. Görüldüğü gibi radyoaktif madde ve radyasyon insan icadı olmayıp, doğrudan geçmişte ve gelecekte de varola gelen bir gerçektir. Bu gerçekler insanoğlunun maddenin varlığını araştırması ve çözümlemesiyle meydana çıkmıştır.

Maddenin özelliğini taşıyan en küçük parçanın atom olarak adlandırılması John DALTON, Amedeo AVOGADRO ve onların varislerinin 19. yüzyılın başlarındaki çalışmalarıyla açıklık kazanmış ancak 19. yüzyılın sonu, 20. yüzyılın başında atomun yapısı bilimsel olarak araştırılmış, elektronun Joseph THOMSON tarafından keşfedilmesinden sonra Ernest RUTHERFORD, Niels BOHR gibi diğer bilim adamları bu günkü tanımını kabul ettiğimiz atomun yapısını olgunlaştırmışlardır.

Maddenin özelliğini taşıyan, en küçük parçası olan atom minyatür bir güneş sistemine benzer. Güneş sistemindeki, güneşin yerinde atomun çekirdeğini oluşturan pozitif yüklü proton ve elektrik yüksüz nötronların, güneşin etrafında dönen gezegenin yerinde de negatif yüklü elektronların olduğunu düşünerek atomu gözümüzün önünde canlandırabiliriz.

Bir atomun çekirdeğindeki proton sayısı kadar yörüngede dolaşmakta olan elektronu vardır, elektronun yükü negatif çekirdeğinkide pozitif olduğundan atom elektrik yükü bakımından nötrdür. Çekirdekdeki proton sayısı (atom numarası) hidrojen 1' den Uranyum 92' ye kadar değişir. Çekirdekte 92 den fazla proton ancak insan tarafından üretilmiş radyo elementlerde vardır. Herbir kimyasal element kendi atom sayısı ile tanımlanır, yani aynı elementin atomlarındaki çekirdek daima aynı sayıda protona sahiptir. Nötronların sayısı değişebilir bu durum aynı elementin izotopunu oluşturur. Mesela, Hidrojen üç izotopa sahiptir; Hidrojen (bir proton), Döteryum (1 proton + bir nötron) ve Tritiyum (bir proton + iki nötron).

Fizikçi Henry BECQUEREL 1896 yılında Uranyum mineralinin fotoğraf filmine etki ettiğini keşfetmiş, bu ışınları Uranyum Işınları adı vermiş, bu ışınların bir manyetik alandan geçirildiğinde üç tip radyasyonun varlığını (alfa, beta, gama veya x-ışınları) tespit etmiştir.

Bunlara sırasıyla:

- Alfa Işınları : Pozitif yüklü ve düşük nüfuz etkili, W. RAMSAY ve F. SODDY tarafından Helyum (He) çekirdeği (iki proton, iki nötron) olarak tanımlanmıştır,
- Beta Işınları : Negatif veya pozitif yüklü, J. THOMSON ve Maurice De BROGLIE tarafından elektron olarak tanımlanmıştır.
- Gama Işınları : Kütlesiz, ışık veya x-ışınları gibi tabii bir yapıya sahip fakat yüksek enerji yüklü ve derinlemesine nüfuz edebilir.

Bu üç tip radyasyon geçtikleri ortamı iyonize edebilirler, yani kendi gidiş yollarına yakın atomlardan elektron koparırlar. Bunların etkileri canlı organizmalar için tehlikeli olabilir, dolayısıyla bunlardan sakınılmalıdır. Bu konu "Radyasyondan Korunma" sahasına girer.

Becquerel'den sonra 1898 yıllarında Pierre Currie ve eşi Marie Uranyumun alfa ışınları yayınlayarak yeni bir elemente Polonyum ve Radyum'a dönüştüğünü bulmuşlardır. Radyoaktivitenin keşfinden sonra 1930'lardaki bilim adamları bölünemeyen atomun bölünmesi için araştırmalarını yoğunlaştırmışlardır. Özellikle Enrico FERMI elementlerin nötron bombardımanına tutarak yeni elementler elde etmeyi başarmış, bunu takiben IreneJoliot-Curie büyük çabaları sonucu, doğal radyoaktif maddelere ilaveten suni radyoaktif maddelerin üretimini Uranyumdan ağır Lantanyum'u keşfettiler. Sonuçta Fermi'nin deneylerinin sonuçları Lise Meitner ve Otto Frisch tarafından "nötronların Uranyum çekirdeğini iki parçaya ayırdığı" şeklinde açıklanmıştır. Böylelikle nükleer fisyon keşfedilmiştir.

Ocak 1939 yılında Frederic Joliot'ın deney sonuçlarında Uranyum çekirdeğinin nötron bombardımanı sonucu iki yeni elemente dönüştüğü ve üç adet hızlı nötron yayınladığını göstermiştir. Üreyen yeni nötronlarında Uranyum çekirdeğini parçaladığı bunun sonucunda yeni elementler ve yeni üç hızlı nötron türediği ve böylesine zincirleme reaksiyonunun devam edildiği yani fisyon olayı keşfedilmiştir.

Uranyum çekirdeğinin parçalanmasıyla 200 MeV'lik enerji fisyon ürünlerinin kinetik enerjisi olarak açığa çıkar. Bu hareketli fisyon ürünlerinin maddelerle etkileşmesi sonucu kinetik enerji ısı enerjisine dönüşür. Bu ısı Nükleer Santrallarda elektrik üretiminde kullanılır.

$$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ Jul}$$

$$1 \text{ fisyon} = 200 \text{ MeV} = 3.2 \times 10^{-11} \text{ Jul}$$

veya

$$1 \text{ Jul} = 31 \text{ Milyar Fisyon}$$

1 Jul enerji 1 gram suyun sıcaklığını 0,24 °C yükseltmek için gerekli ısı enerjisidir.

%30 verimle çalışan bir Nükleer Santraldan 1 kWsaat elektrik üretmek için $3,75 \times 10^{17}$ veya 375 Milyon Milyar fisyon gerektirir.

500 gram tabii Uranyum	30 000	kWsaatlık elektrik üretir.
500 gram kömür	1,5	kWsaatlık elektrik üretir.
500 gram fueloil	2	kWsaatlık elektrik üretir.

2. NÜKLEER FİSYON VE ELEKTRİK ÜRETİMİ

Fisyon sadece birkaç elementte oluşur, örneğin Uranyum ve Plutonyum'la. Nükleer enerjinin hammaddesi olan Uranyumun hiçbir endüstriyel kullanım alanı yoktur. Uranyum doğada bol miktarda bulunmaktadır. Uranyumun dikkate değer izotopu U-235 bugünün reaktörlerinde en yaygın kullanılanıdır. U-235 atomuna bir nötron çarptığında, nötron çekirdek tarafından yutulur, ve U-235 uyarılmış olur. Uyarılma sonucu kararsız hale gelen çekirdek fisyon ürünleri diye adlandırılan iki daha hafif çekirdeğe parçalanır. Aynı zamanda 2-3 hızlı nötronla birlikte ısı şeklinde enerji açığa çıkar. Açığa çıkan nötronlar diğer uranyum atomlarına çarparak diğer ek fisyonlara sebep olurlar. Bu sürekli fisyon işlemi, zincirleme reaksiyon olarak adlandırılır.

Zincirleme reaksiyonun oluşması için nükleer yakıtta parçalanabilir izotopun zenginleştirilmesine ihtiyaç duyulmadan tabii halde uranyum (%0.72 U-235 zenginliğinde) ve moderatör (nötron yavaşlatıcı) olarak grafit veya ağır suya, soğutucu olarakta karbondioksit, helyum, veya ağırsu gereklidir. Eğer moderatör ve soğutucu olarak hafıfsu kullanılırsa az zenginleştirilmiş (%3-4 U-235 zenginlikte) Uranyum yakıtına gereksinim vardır.

Reaktör kalbinde meydana gelecek nükleer reaksiyonu başlatmak için Kaliforniyum veya Amerisyum-Berilyum gibi nötron kaynakları, reaksiyonu kontrol altında tutmak veya durdurmak

için boron, gümüş-indium-kadmium gibi nötron yutucu kontrol çubukları kullanılır. Kontrol çubuğunun reaktör kalbinden çekilmiş hali zincirleme reaksiyonun devamlılığını, sokulmuş hali ise durdurulmasını gösterir. Nükleer reaktörler bu zincirleme bölünme reaksiyonlarının kontrollu olarak yapılabilirdiği sistemlerdir.

Nükleer ve termik (kömür ve petrol ürünleri yakan) santraller arasında en büyük fark ısı kaynağıdır. Bütün termik santrallerde su ısının verilmesiyle kazanda buharlaştırılır. Buharın ısı enerjisi türbinde mekanik enerjiye ve mekanik enerjide generatörde elektrik enerjisine dönüştürülerek elektrik üretilir.

Nükleer Santraller da aynı termik santrallerdeki prensiple çalışırlar. Aradaki tek fark ısı üretimidir. Termiklerde ısı kaynağı kömür, gaz veya motorin, nükleer santrallerde ise reaktördeki fisyon enerjisidir.

Kurulu gücü 1000 MWe olan bir termik santral için yakıt cinsine göre yıllık tüketim miktarı

2 200 000 Ton Kömür

1 400 000 Ton Petrol

1 000 000 Ton Doğalgaz

Aynı kurulu güçteki Nükleer Santral için yıllık yakıt sadece 30 Tondur.

3. NÜKLEER SANTRAL TİPLERİ

Bugün fisyonu dayalı nükleer enerji, teknolojisine iyice hakim olunan ve kaynakları bakımından da insanlığın ihtiyacı olan enerjiyi çok uzun yıllar boyunca sağlayabilecek imkandadır. Nükleer hammadde stoklanabilir olması durumu insanlığın elektrik enerjisi açığını uzun vadede karşılayacak ciddi adaylardan birinin fisyon enerjisine dayanan nükleer enerji olduğu anlaşılmaktadır.

Nükleer Santraller genel olarak kullandıkları yakıt, moderatöre, soğutucuya ve nötron kaynaklarına göre sınıflandırılabilir. Yakıtı göre; tabi ve zenginleştirilmiş yakıt kullanan reaktörler, moderatöre göre; ağır su, hafif su ve grafik çubuk halinde karbon soğutucusuna göre; hafif su, ağır su, gaz ve sıvı metal soğutmalı, nötron kaynaklarına göre termal (ılık) nötronlu, ve hızlı nötronludur. Bu çeşitli sınıflandırma kendi içlerinde alt gruplarla da ifade edilebilir.

Nükleer güçten ilk elektrik 1951 yılında ABD yapımı hızlı üretken reaktörden üretilmiştir. 1955 yılı civarında ilk nükleer santral; Obninsk RUSYA'da, Shippingport ABD'de, Calder Hall İngiltere'de ve Marcoule Fransa'da işletmeye alınmıştır. 42 yıl sonra bu gün 442 nükleer santral dünya elektrik üretiminin %17'sini karşılamaktadır. Ayrıca 14 ülkede 36 adet nükleer santral inşa halindedir. Bu yeni enerji kaynağının katkısı 21. Yüzyılın başlarında %20'lere çıkacaktır. Bu gün Avrupa ülkeleri nükleer sahada ABD'nin önüne geçmiş, özellikle Fransa dünyada ikinci en büyük nükleer üretim kapasitesine sahip olmuş ve şu an kendi elektrik tüketiminin dörtte üçünü, dört lambadan üçünün enerjisini, nükleer santrallerden temin etmektedir.

Bu metinde soğutucularına göre adlandırılan ve ticari olarak bilinen Hafif Sulu Reaktörler (Basınçlı PWR ve Kaynar Sulu BWR) ve Ağır Sulu Basınçlı Reaktör PHWR tipleri tanıtılacaktır.

3.1. Basınçlı Sulu Reaktör (PWR)

Basınçlı sulu reaktörler ticari olarak elektrik üretimi için ABD'de kullanılan ilk reaktör tipidir. Halen çeşitli ülkelerde 246 ünite çalışmaktadır. Bu ünitelerin toplam kurulu gücü 216 GWe civarında olup toplam nükleer santraller içerisindeki payı % 63 mertebesinde. İnşaat halindeki

nükleer reaktörlerin kurulu gücünün % 67'si bu tip reaktörlere aittir. Basınçlı su reaktörlerinin 10192 TWh'lık enerji üretimlerinin nükleer reaktörlerin toplam enerji içerisindeki payı % 61 civarındadır.

Bu tür reaktörlerde kalpte üretilen enerji birincil devre soğutucusu vasıtasıyla kalpten çekilir. Birincil devre basıncı soğutucu suyun kaynamasını engellemek için 15-16 MPa civarındadır. Soğutucu suyu kimyasal işlemler sonucu yumuşatılarak demineralize edilmiş hafif su olup, yavaşlatıcı ve yansıtıcı olarak da kullanılır. Soğutucunun kalbe giriş sıcaklığı 290 °C çıkış sıcaklığı ise 320-330 °C civarındadır. Reaktör kalbinden çıkan soğutucu türbinlerde kullanılan buharın üretimi için buhar üreteçlerine gönderilerek 7-8 MPa'da buhar üretilir. Reaktörlerin birincil soğutucu devreleri iki, üç ya da dört tane benzer döngüden oluşur. Her bir döngüde bir buhar üretici, bir reaktör soğutucu pompası ve bağlantı boruları bulunur. Ayrıca reaktör basıncını kontrol edebilmek için bir basınçlayıcı bu döngülerden biri üzerinde bulunur.

3.2. Kaynar Sulu Reaktör (BWR)

Kaynar sulu reaktörler dünyada basınçlı sulu reaktörlerden sonra en yaygın olarak kullanılan reaktör tipidir. Ağustos 1995 itibarı ile varolan 93 kaynar sulu reaktör 76.2 GW elektrik üretim güç kapasitesine sahiptir. Bunlara ek olarak toplam 5377 MW elektrik üretecek güç kapasitesindeki 6 kaynar su reaktörü yapım aşamasındadır.

Kaynar sulu reaktörler (BWR) bir çok yönden PWR reaktörlerine benzemekle birlikte, temel fark reaktör koru içinde kaynama olayına izin verilmesidir. Uzun bir süre reaktör koru içinde kaynamaya izin verilmesinin buhar kabarcıkları oluşması sonucu tehlikeli kararsızlıklara sebep olacağı düşünülmekteydi. 1950 yılında yapılan ünlü BORAX deneyi de bu savın düşük basınç altında olan kaynamada doğruluğunu göstermiştir. Fakat basınç yükseldiği zaman kaynama olayı kararsızlığa sebep olmamakta ve reaktör kontrol edilebilmektedir. Bu olaydan sonra BWR tipi geliştirilmiş ve PWR tipine rakip olmuştur. İlk kaynak sulu reaktör santrali 1960 yılında ABD'de işletmeye alınan 180 MWe gücündeki Dresden-1 nükleer santralidir.

BWR tipi reaktörlerin diğer hafif sulu reaktörlere göre üstünlüğü reaktör koru içinde doğrudan elde edilen buharın türbinlere gönderilmesidir. Bu nedenden dolayı BWR reaktörleri doğrudan çevrim ile çalışırlar.

3.3. Basınçlı Ağır Sulu Reaktör (PHWR)

Dünyada 1995 istatistiklerine göre çalışmakta olan Basınçlı Ağır Su Reaktörü 33 adet olup toplam kurulu güç 18637 MWe'tir. İnşa halinde olanların sayısı 17 olup 11 tane de kurulması planlanmaktadır.

Basınçlı Ağır Sulu Reaktörler, Basınçlı Sulu Reaktörler ile benzer özellikler taşırlar. Ağır sulu reaktör olarak adlandırılmalarının nedeni, yavaşlatıcı ve soğutucu için ağır su D₂O kullanılmalarıdır. Bu tür reaktörlerin en yaygın olarak kullanıldığı ülke Kanada'dır.

CANDU reaktörü, içinde düşük basınçta yavaşlatıcı, ağır su D₂O bulunan yatay silindir şeklinde bir reaktör kabı, zırhlama kabı, zırhlama suyu, kor çukuru, yakıt kanalları ve reaktivite mekanizmasından oluşur. Reaktör kabı, içinden yatay şekilde geçen 380 adet yakıt kanalı ve reaktivite kontrol mekanizmalarını içerir. Yakıt kanalları doğal uranyum yakıt ve ağır su soğutucusundan oluşur. Yakıt kanalı kullanımı reaktör çalışırken yakıt değişimini ve optimum yakıt işletimini sağlar.

4. NÜKLEER SANTRALİN GÜVENLİ İŞLETİLMESİ VE KARŞI ÖNLEMLER:

Santralin güvenli işletilmesinde uygulanacak temel prensipler üç düzeyde ele alınmaktadır.

1. İşletme prensipleri: Reaktör kurulurken ve çalıştırılırken göz önünde bulundurulması gereken hususları kapsar. Kısaca,

- Tasarımda yeterli güvenlik paylarının bulunması
- Tasarım, imalat, inşaat, montaj, işletmeye alma deneyleri ve işletmede kalitenin temini,
- Servis içi gözetim ve denetime önem verilmesi
- Güvenilir monitoring sistemi ve işletme talimatlarının bulunması,
- İşletme personelinin yeterliliği, eğitimi ve bilgi tazeleme becerisinin artırılmasıdır.

2. Anormal olayların kazaya dönüşmesini önleme:

- Reaktörün "kendine öz güvenlik" özelliklerinin bulunması,
- Önemli parametreleri sınırlayan güvenlik sistemlerinin bulunması,
- Kusurları haber veren ışıklı ve sesli alarm sistemlerinin olmasıdır.

3. Mühendislik Koruma Sistemleri:

Nükleer Santraller gerek normal çalışma koşullarında gerekse olası bir kaza durumunda çevreye zarar vermeyecek biçimde tasarlanırlar. Tasarım aşamasında, santralin normal işleyişi esnasında olabilecek her türlü insan ve alet hatasının kazaya neden olmaması için gerekli tüm önlemler alınır. Dolayısıyla bu tür hatalar oluşsa dahi normal işletme sistemleri bunu önleyecek yeterliliktedir.

Bu koruma sistemleri pasif ve aktif koruma sistemlerini içermektedir. Pasif koruma sistemleri (Radyoaktif maddeler veya radyasyonun sızmasına karşı konulan engeller); yakıt zarfı, soğutucu akışkanın basınç sınırı, biyolojik zırh, dış güvenlik kabuğu, reaktör çevresindeki yasak bölge gibi, radyasyon kaynağı ile işletme personeli, halk ve çevre arasına peşpeşe dizilmiş önlemleri içermektedir. Aktif koruma sistemleri ise; kontrol odası güvenlik sistemleri, kaza halinde kalp soğutma sistemi, güvenlik sistemlerini besleyen yedek güç sistemleri, kaza halinde buhar üreticilerini besleme suyu sistemi, atık ısı alma sistemi, kaza halinde reaktör binasını havalandırma sistemi, dış güvenlik kabuğu basınç düşürme düzeni, dış güvenlik kabuğu kaçak önleme sızdırmazlık sistemi vb. dir.

4.1 - Bir Nükleer Santralin Güvenli İşletilmesi

Bir Nükleer Santralin başarılı ve güvenli işletilmesinde aşağıda tanımlanan konular;

- Yer Seçimi (Yerleşim),
- Tasarım,
- İnşaat,
- Montaj, test ve işletmeye alma

yanısıra santralin yönetimi ve işletilmesi de en önemli unsurlar olarak göz önüne alınmalıdır.

Buradaki amaç, işletme faaliyetlerini çevreye, insanlara ve nükleer santrallarda çalışan personele radyasyon tehlikesi yaratmaksızın gerçekleştirmektir.

4.2. İşletici Ve Otorite Kuruluş Tarafından Gözetim

Nükleer santralin güvenli işletmesinden tamamen işletici kuruluş sorumludur. Santral yönetimi doğrudan sorumlu olmasına rağmen, işletici kuruluş gerekli bütün desteği verecek ve işletme sınırları ve şartlarına göre güvenli bir biçimde nükleer santralin çalışmasını temin etmek için gerekli gözetimi sağlayacaktır.

İşletmecisi kuruluşun tamamen bağımsız otorite kuruluş, nükleer santralin güvenli işletilmesinde denetim yapacak tek kuruluştur.

Güvenli işletme her iki kuruluşun da ortak amacı olup otorite kuruluş ve işletici kuruluş arasındaki münasebet karşılıklı anlayışa ve saygıya dayanır.

Otorite kuruluşun uygulanabilir şartlarına göre işletici kuruluş elde mevcut döküman ve bilgileri sağlayacak veya temin edecektir.

Döküman ve bilgiler aşağıdaki başlıklarla tanımlanmıştır:

- Kalite temini programı
- İşletme sınırları ve şartları
- Daha önceden tanımlanan yöntemlere göre işletme sınır ve şartlarından sapmaların belirlenmesi
- Montaj programı ve uygulama adımların gözden geçirilmesi
- Montaj sonrası test sonuçları
- İşletme talimatları ve yöntemleri
- Periyodik bakım, test, deneme ve denetim programı
- Bakım, test, deneme ve denetim kayıtları
- Değişiklik Yöntemleri
- Değiştirilmesi düşünülen gözden geçirilmiş bir parçanın ele alınışı ve kayıtları
- Güvenlikle ilgili kategoriye giren gözden geçirilmiş bir parçanın değiştirilmesi
- İşinlanma kayıtları
- Önerilen artık yönetim programı ve ilgili dökümanları
- Etrafa bırakılan artık sınırları ve bırakılan artığın kontrolü ve ölçüm metod ve yöntemleri
- İşletici kuruluşun uygulayacağı acil plan programı
- Beklenen işletme şartları ve kaza koşullarını periyodik işletme özet raporu ve gözden geçirmeyle ilgili kayıtlar
- Nükleer Santralın sökülmesi programı.

Otorite kuruluş işletme denetiminde;

- İşletici kuruluş tarafından sunulan önerilerin tüzük ve yönetmeliklere göre yerine getirildiğin değerlendirilmesi,
 - İşletme sınır ve şartlarına göre Nükleer Santralın işletildiğinin araştırılması için nükleer santral işletmesinin gözden geçirilmesi,
 - Nükleer santralın durdurulması ve değişikliklerin yapılması dahil nükleer güvenlikle ilgili tedbirleri içine alan, gerekliyse uygulama ve güvenlikle ilgili işletici kuruluşunun bütün diğer görevleri, işletme sınır ve şartlarını doğru denetleyerek doğruluğunu saptamak.
 - Otorite kuruluşun görevini yerine getirebilmesi için, işletici kuruluş otorite kuruluşun ihtiyaç duyduğu zamanda;
 - Nükleer santrale girişini kolaylaştırma
 - Özel test ve denetimleri üzerine alma gibi
- her türlü yardımı verecektir.

- İşletici kuruluş, işletme sınır ve şartlarına göre, Nükleer Santral işletilmesi için gerekli olan talimat ve yöntemleri tespit edecektir.
- İşletici kuruluş önceden tanımlanan tüzük ve yönetmeliklere göre kayıt ve raporların hazırlanması, muhafazası ve dağıtımını düzenleyecektir.

4. 3. İşletme Sınırları Ve Şartları (İSVŞ)

• Güvenli işletmeyi temin etmek için bir dizi işletme sınırları ve şartları resmi olarak yazılmalıdır. Buda son tasarımda bütün önlemlerin alındığı göstermeli ve ticari işletmeden önce otorite kuruluş tarafından değerlendirilmeli ve onaylanmalıdır.

• İşletme sınırları ve şartları, işletici kuruluşun nükleer santrali işletmek için yetkilendirilmesinde en önemli unsurdur

- Otorite kuruluş tarafından değerlendirilmesi ve onaylanması sonrası
- İşletici kuruluşa Nükleer Santral işletme yetkisi verir
- Kaza koşullarına sebep olacak durumları önler
- Güvenli işletme, personele olduğu kadar aletede bağlıdır. Bunun için İSVŞ alınacak bütün önlemleri kapsar ve işletmecisi personel tarafından sınırlar izlenebilecektir.

• Aşağıdaki fiziksel karakteristiklere göre sınıflandırılabilir ve tespit edilecektir.

- Güvenlik sınırları
- Güvenlik sistemlerinin kurulması
- Normal işletme için sınır ve şartlar
- Gözetim şartları

• Beklenen işletmenin meydana gelmesinden sonra normal işletme şartlarından birine yeniden getirilebilir, hatta gerekliyse, reaktör durdurulabilir. İSVŞ'dan herhangi bir sapma olursa Nükleer santral yönetimi uygun düzeltme hareketini ani olarak alacak ve işletme kuruluşu, gerekirse, yeniden gözden geçirecek, değerlendirecek eğer uygulanan yöntem ihtiyaç duyulursa otorite kuruluş haberdar edilecektir.

• Montaj ve test programının uygulanması boyunca işletmecisi kuruluş ile otorite kuruluş arasında sıkı bağlantı temin edilmelidir.

4.4. Montaj, Test Ve İşletmeye Alma

• Nükleer Santral güvenli işletmesinde temel bilgilerin toplanması için dikkatli planlama ve montajın yapılması gereklidir. Bu nedenle detaylı bir test programı hazırlanmalı ve programın çeşitli kısımları detaylı program üzerine uygulamada ve raporlamadaki sorumluluklar açıkça belirlenmelidir. Montaj ve test programının uygulanması boyunca işletmecisi kuruluş ile otorite kuruluş arasında sıkı bağlantı temin edilmelidir.

- Testlerin amacı, test şartlarında beklenen sonuçlar, kabul edilir kriterler uygun olan yerlerde önerilen işletme sınırları ve şartlarına uygunluğu
- Test sıralaması
- Test yapımı esnasında gereken minimum teknik ve idari önlemler ve güvenlik ön tedbirleri
- Santral sahasında gereken personelin nitelik (vasıf) ve sayısı (ilerde kullanılacak işletmecisi personel de dahil)
- Test yönetimi (usulü)
- Görevlendirilenlerin rolü ve sorumluluklarını içeren organizasyon düzenlenmesi.

Yukarda başlıkları tanımlanan her bir programın dökümanı istenecektir. Bunlara ek olarak bütün gerekli test sonuçlarını içeren detaylı test raporu; takip edecek işletmede her iki konuda da testin başarılı tamamlandığını rapor etmesi ve temel bilgiyi sağladığını göstermek için, hazırlanacaktır.

Montaj ve test programı işletici kuruluşun amacını yerine getirmeli ve otorite kuruluş tarafından onaylanmalıdır.

Otorite kuruluş tarafından gerekli görülen bütün ön-işletme tesisleri yerine getirilmedikçe ve elde edilen sonuçlar her iki kuruluş tarafından kabul edilmedikçe ilk yakıt yüklemeye izin verilmez.

Otorite kuruluş tarafından gerekli görülen bütün testler yerine getirilmedikçe ve elde edilen sonuçlar her iki kuruluş tarafından kabul edilmedikçe ilk güç yükseltmesine izin verilmez.

4.5. İşletmeciler Kuruluşun Yapısı

Nükleer Santral işletilmesinde, işletmeciler kuruluş güvenliğe özel önem verilmesi bilincinde olacaktır.

İşletmeciler kuruluş, düzenli yönetimi ve Nükleer Santrali güvenli işletmeyi sağlamak için aşağıdaki sorumlulukları yerine getirecek bir yapıda olacaktır:

- İşletmeciler kuruluş içinde ayrıcalıklı sorumluluk ve yetkili otoriteye sahip olması
- Başarılı yönetim programının yerine getirilmesini tesis etme ve takipçisi olma
- İşletme personelinin yeterli eğitimini sağlama güvenlik şartlarına uygunluğu elde etme, anlama ve amacını gözönünde tutarak kamu kuruluşları ve otorite kuruluş arasında sıkı işbirliğini temin etme.
- Santral yönetimine hizmet ve tesisleri temin etme
- Yeterli halkla ilişkiler bağlantısı kurma

Organize edilmiş bir yapı oluşturmada yönetim görevlerinin ana kategorileri aşağıdaki şekilde ele alınacaktır:

- Karar verme görevleri
- İşletme görevleri-Normal işletme
- Takviye görevleri
- Yeniden gözden geçirme görevleri

4.6. Nükleer Santralin Yönetimi ve İşletme Personeli

Nükleer Santral yönetimi, doğrudan Nükleer Santral güvenliği işletiminden sorumludur. Nükleer santral güvenli işletilmesine katlanırken Nükleer Santral yönetim yapısı bütün görevleri uygun performansla yerine getirecektir.

İşletme personelin görev ve sorumlulukları haberleşme hatları ve yetkileri yazılı olarak tanımlanacaktır.

İşletme personelinin her biri görevlerini rahatlıkla yerine getirebilmeleri için yeterli haklar verilmiştir. Kontrol odası yetkili ve görevlileri ve Nükleer Santrali güvenli bir şekilde durduracak şekilde düzenli bir biçimde açıkça yazılı olarak yapılacaktır. Benzer şekilde, anormal bir olay sonucu durdurulan veya uzatılan bakım süresi sonucu Nükleer Santral yeniden işletmeye alınması için sorumluluk ve yetki, yazılı olarak açık bir şekilde saptanacaktır.

Santralin işletme durumlarındaki herhangi bir değişikliği, sadece görevli ve yeterli yetenekte işletme personeli kontrol ve süpervizyonluk yapabilirler. Güvenlikle ilgili sorumlu kararı bu kişilerin dışında kimsenin sorumluluğu almasına müsaade edilmemiştir.

İşletme personelinin her biri için gerekli yeterlik, işletmeciler kuruluş tarafından tanımlanacak ve otorite kuruluş tarafından gerekirse onaylanacaktır. Güvenlikle ilgili çalışan personel otorite kuruluş tarafından yeterlilik sınavına tabi olacak ve yeterliliği tarafından onaylanacaktır.

Bu kişilere uygun bir eğitim programı uygulanır. Bu program belirli bir periyotta yenilenir, özellikle kaza şartları ve acil durumlar sık sık tekrarlanır. Eğitimi düzenli esaslar dahilinde yenileyerek işletmeci personelin belirli zamanla durumları kontrol edilir.

Santral yönetimi, santralin işlemlerini periyodik olarak gözden geçirecek ve belirlenen herhangi bir soruna karşı alınacak doğru uygulama hareketini belirleyecektir.

4.7. İşletme Talimatları ve Yöntemleri

Ticari işletmeye geçmeden önce, işletici kuruluş Nükleer Santralı işletmek için detaylı işletme talimatını ve yöntemlerini düzenli bir biçimde yazacaktır. Bu dökümanlar, santralı tasarlayan ve yapan firma ile işbirliği içerisinde yapılır. Bütün işletme koşulları, normal işletme ve beklenen işletme koşulları, tasarıma esas kaza koşulları, dahil, ciddi kaza durumlarını da içeren işletme talimatları ve yöntemleri düzenli bir şekilde yazılmış olacaktır.

4.8. Bakım, Test, Kontrol ve Denetim

Ticari işletmeye geçmeden önce, işletmeci kuruluş güvenli işletme için gerekli olan sistem, bileşen ve yapıların periyodik bakım, test, kontrol ve denetim programını hazırlayacaktır. Bu program otorite kuruluşta da olacak ve işletme tecrübelerinin ışığı altında yenilenecektir. İşletici kuruluş uygun alet ve tekniği kullanan, yetenekli uzman personeliyle yapacağı periyodik test kontrol ve denetimi düzenleyecektir.

İşletmeci kuruluş yapı, sistemde bileşenlerin bakım, test, kontrol ve denetiminden önce düzenli bir şekilde yazılan talimat ve yöntemleri hazırlayacaktır. Bu dökümanlar tasarımcı, santral ve ekipmanı temin eden firmalar, kalite temin ve radyasyondan korunma personeli tarafından hazırlanacaktır. Bu dökümanlarda, personelin "ALARA" prensibine göre işinlanması temel alınacaktır. Santral yönetimi bu aktivitelerin yapılması sırasında kullanılan talimat ve yöntemlerin uygulama yönteminin takipçisi olacaktır.

4.9. Reaktör Kalb Yönetimi ve Yakıtın Kullanımı

Yakıtın santral yerinde taşınması ve depolanması esnasında güvenliğin ve reaktörde yakıtın güvenli kullanımını sağlamak için işletici kuruluş santral yerinde yakıtın kullanımı ve reaktördeki yakıtın yönetimiyle ilgili bütün faaliyetleri düzenleyecek ve sorumlu olacaktır.

Reaktörde kalb yönetimi için işletici kuruluş yakıtın temini, yüklenmesi, kullanımı, değiştirilmesi ve reaktör kalb bileşenlerinin ve yakıtın test edilmesiyle ilgili talimat ve yöntemleri hazırlayacak ve yazılı hale getirecektir.

Tasarıma esas olarak hazırlanan yakıt programı düzenlenecek ve otorite kuruluşta sunulacaktır. Kalb durumunun monitoringi yapılacak ve yakıt programı yenilenecektir birinci soğutma devresinde ve gaz arıtma sistemindeki fizyon ürünü aktivitesini azaltmak için hatalı yakıt kullanılmaması için kriterler düzenlenerek ve yöntemler hazırlanacaktır.

Kullanılmamış - kullanılmış yakıtın taşınması, sahada depolanması ve sahadan başka bir yere taşınmasını da içeren yakıt ve kalbde kullanılan bileşenler, kullanım yöntemleri yazılı olarak hazırlanacaktır.

Kullanılmamış ve kullanılmış yakıtın depolama planları, onaylanması için otorite kuruluşta sunulacaktır.

Kullanılmamış - kullanılmış yakıtın paketlenme, taşıma ve gönderilmesi ulusal ve uluslararası düzenlemelere göre yapılacaktır.

Kalb yönetimi, yakıt performansı, yakıt ve kalb bileşenlerin kullanımı ve yakıt depolamayı içeren bir kapsamlı raporlama sistemi sürdürülecektir.

4.10. Değişiklikler

Santralın işletmesi sırasında yapılacak değişiklikler;

- Yapı, sistem ve bileşenlerin değiştirilmesi,
- İşletme sınır ve şartlarının değiştirilmesi,
- Talimat ve yöntemlerin değiştirilmesi veya
- Bunların bileşenleri'nden ibarettir.

Yukarda tanımlanan değişikliklerden herhangi biri, önceden otorite kuruluştan alınan işletme lisansını etkiliyorsa, yeniden yapılan değişiklikler için otorite kuruluşun onayına başvurulur.

Bütün değişiklikler tasarım, malzemenin temini ve hizmetleri, inşaatı, test ve bakım dökümanları, çizimler ve kayıtların hepsi bir kalite temin yönetmeliğine göre yapılacaktır.

Yapılan değişiklikler Nükleer santral performansını hiç bir şekilde azaltmayacaktır.

4.11. Radyasyondan Korunma

Sosyal ve ekonomik faktörler gözönüne alınarak ışınlamada "ALARA" prensibi radyasyondan korunmada hedeflenmiştir. Nükleer santralda çalışan personel ve halktan herhangi bir kişinin ışınlama miktarı otorite kuruluş tarafından belirlenen sınırları, aşmayacaktır.

Bu amaçla işletici kuruluş tarafından hazırlanan radyasyondan korunma programı aşağıdaki sorumlulukların bilinci dahilinde uygulayacaktır.

- Santralın işletilmesinden sonra santralda çalışan personelde artacak radyasyon dozunun kontrolü
- Santralda çevreye bırakılan radyoaktif madde miktarının kontrolüdür.

Ayrıca, Radyasyondan Korunma Programı (RKP) yeterli önlemleride ihtiva edecektir;

- Önceden tanımlanan sınırlar ve ALARA prensibine göre personel ve halkın ışınlanmasının temini,
- Personelin kontrolü ve korunması için enstruman ve kontrol cihazları,
- Sahada radyolojik kontrol ve gözetim,
- Radyolojik bir kaza senaryosuna göre işletme ve bakım yönteminin kurulmasında işbirliği
- Çevresel radyolojik gözetim
- Personel, ekipman ve yapıların radyoaktif kirliliğinin temizlenmesi(dekontaminasyon)
- Radyoaktif maddenin sevk edilmesinde varolan yönetmeliklere uyulmanın kontrolü

Radyasyon kontrol programı yetenekli sağlık fizikçileri sayesinde temin edilir.

İşletmeciler kuruluşlar, denetim ve onaylarıyla, RKP'nın doğru bir şekilde uygulandığını ve hedeflediği amaca ulaştığını, gerekirse düzeltme kararları alabileceğini ve eldeki işletme deneyimine göre programı yenileyebilir.

RKP ayrıca çalışan personelin tıbbi kontrolünuda kapsar.
RKP, nükleer yakıt santral sahasına getirilmeden önce düzenlenir.

4.12. Çevreye Bırakılan Atık ve Atık Yönetimi

Radyoaktif atık, otorite kuruluşun tanımladığı yönetmelik çerçevesinde aktivite ve miktar açısından en alt sınırdan tutulur. Yani, üretilen ve dışarı bırakılan atık ve atık yönetimi sürekli kontrol altındadır.

Otorite kuruluşun tanımladığı sınırlar dahilinde radyoaktif atık çevreye bırakılır ve saha dışı radyasyon kontrol programına göre düzenlenir. Bırakma sınır değerleri deneysel ve teknolojik gelişmelerin ışığında tanımlanır.

İşletici kuruluş radyoaktif atık yönetimini hazırlamış olup, bu da işleme, sabitleştirme, depolama, taşıma ve alıcı ortamdan izole edilmiş alanlara koyma adımlarını içerir.

Paketleme, taşıma ve sevketmede ulusal ve uluslararası kurallara uyulur.

4.13. Acil Durum Hazırlığı

Nükleer santraller halka, çalışan personele ve çevreye radyolojik zarar vermeksizin işletme şartlarını yerine getirecek, gerekenden fazla bir miktarda yeterli güvenlikte işletilmesine göre tasarlanmıştır. Bununla beraber, alınan bütün bu önlemlere rağmen, nükleer acil durum halinin yaşanmasında, yani önemli miktarda radyoaktivite çevreye bırakılır veya önemli miktarda ısınlama olursa, bu miktar fazla olmamalıdır. Bunun için işletmeciler kuruluş hazırlık yaparak, bu durumu en az zararlarla kapatabilmek için bölgesel, ulusal, yerel ve diğer kurumlarla işbirliği halinde önceden hazırladığı acil durum planına göre birlikte çalışırlar.

Acil durum planı işletici kuruluş, otorite kuruluş ve kamu kurumlarının birlikte koordineli bir çalışmasını içerir.

İşletici kuruluşun acil planının amacı; kazanın sonucunu ve radyoaktif bırakma sınırlarını azaltmaktır.

4.14. Kalite Temini Programı

Nükleer santralin güvenli işletimi için işletici kuruluş nükleer santralin test, montaj, deneme işletmesi, işletme ve sökülmesinde detaylı bir kalite temin programı hazırlayacaktır.

Bu program ulusal yönetmelikler ve elde edilen tecrübelerle göre gerçekleştirilecek ve özenle hazırlanacaktır.

4.15. Düşmanca Hareketlere Karşı Korunma

Güvenliği tehlikeye sokacak yetkisiz faaliyetlerin oluşumundan sorumlu olacak insanlardan korunmak için alınan bütün kabul edilebilir önlemlerdir.

Bu nedenle güvenli işletilmesine gerek duyulan aletleri ihtiva eden kısımlar geçişi yasak bölgeler olarak nükleer santral çeşitli bölgelere ayrılmıştır.

Bu nedenle giriş noktalarının sayısı en alt sayıda tutulmuştur.

Bu koruma planı, ancak bilmesi gereken bir kaç insanın kontrolünde olacaktır.

4.16. İşletme ve Takviye Deneyimlerinin Gözden Geçirilmesi

İşletmeciler kuruluş, güvenlik tedbirlerinin yerine getirildiğini hedefleyerek nükleer santralin işletme tutanaklarının düzenli gözden geçirilmesini temin edecektir. Dökümanlar güncelleştirilecek, gözden geçirmeler uzman personelle temas kurularak yapılacak, uygun kayıtlar yapılan düzeltme müdahalelerini de içerecek şekilde tutulacaktır.

Nükleer santral güvenliğini ters yönde etkileyecek herhangi bir olayı önceden tesbit etmek için, işletme deneyimi dikkatlice incelenecek böylelikle ciddi durum ortaya çıkmadan önce bu olayı önlemek için olayı düzeltecek önlemler alınacaktır.

Benzer şekilde, işletmeciler kuruluş diğer nükleer santrallerin işletme deneyimlerinden bilgiyi elde etmek ve değerlendirmeyi yapmak için, orada işletmede elde edilen tecrübeler tatbik edilip, denenecektir.

4.17. Kayıtlar Ve Raporlar

Nükleer santral ticari işletmeye alınmadan önce, santralin güvenli işletilmesi için santralin tasarım ve inşasını içeren bütün önemli bilgilere işletmeciler kuruluşun sahip olması gereklidir. Bu bilgiler tasarım ayrıntıları, güvenlik analizleri, sağlanan ekipman ve malzemenin detayları, çizimler ve resimler, imalatçının işletme bakım el kitapları ve diğer kalite temin dökümanları işletme esnasında denetim, deneme ve periyodik testler için gerekli kalite temin ve test raporlarında dahil montaj ve test kayıtları işletmeciler kuruluşun elinde olacaktır.

İşletme kayıtları bunlarla sınırlı kalmamak kaydıyla ;

- Nükleer Santral işletme statüsü
- Parçalanabilir, üretken ve diğer özel malzemenin dolaşımı ve miktarı
- Bakım, test, deneme, denetim ve onarım,
- Kalite temini,
- Çalışan personelin eğitimi, tıbbi kontrolü, pozisyon ve yetenekleri
- Radyasyon ışınlama, dışarı bırakılan atıklar, çevrede radyasyon kontrolü ve radyoaktif atık depolama.

Güvenlikle ilgili konularda, periyodik özet raporlar işletmeciler kuruluş tarafından hazırlanarak otorite kuruluşuna sunulacaktır. Beklenmeyen olayları, kaza durumlarını takiben gözden geçirilmesi gerekli raporlar ve kayıtlar ayrıca yapılan değişikliklerle ilgili raporlar ve kayıtlar sürekli tutulacak ve otorite kuruluşun talebi halinde el altında bulundurulacaktır.

Rapor ve kayıtların depolanması ve korunması ve tanzimi kalite temin şartlarına göre olacaktır. Döküman yönetim sistemi personelin kullandığı herbir dökümanın en son haline ulaşılabilir şartta olmalıdır. Acil durumda kullanım için bazı dökümanların Nükleer Santrallerin dışında depolanması düşünülmelidir. Bazı sınıflandırılmış rapor ve kayıtların belirli ve uygun bir sürece kadar tutulmaları önceden tanımlanmalıdır.

4.18- Sökme

Nükleer Santral işletilmesine son verilmesinden sonra işletmeciler kuruluş Nükleer Santralin sökümünden sorumlu olacak ve otorite kuruluş tarafından onaylanmasıyla işletmeciler kuruluşun sorumluluğu son bulacaktır.

Sökme, planlı bir programın güvenli ve gerekli organizasyonel düzenlemelerin ışığı altında yapılır. Bu program güvenliğin öncelikle her adımda yerine getirildiğini ve sökmenin tamamlanmasına kadar uygulanacaktır.

Sökme stratejisi, radyoaktif artık yönetimi konusundaki ulusal uygulama ve politikasına bağlıdır. Ulusal bir politikanın ve büyük miktardaki radyoaktif artıkların konulacağı uygun bir alanın varlığı işletici kuruluşun kararlarını yönlendirebilir.

Sökme alternatiflerin seçimine etki edecek faktörler:

- Reaktörün durdurulmasından sonra ve zamanın bir fonksiyonu olarak sökme esnasındaki personelin radyasyon ışınlanması
- Sökmenin ertelenmesi halinde çalışan personele ve halka tehlikesi
- Güvenlik ve gözetim şartları arasındaki denge
- Gelecekte bu yerin kullanımınıdır.

Sökme programının yönetiminde, göz önüne alınacak hususlar:

- Sökme projesinin yönetimi
- Saha yönetimi
- Bu konuda çalışan kuruluşun sorumlulukları ve rolü
- Radyasyondan korunma
- Radyoaktif artığı sabitleştirme, taşıma ve zararsız hale getirme alanında depolama
- Sökmenin herbir adımının tamamlanmasından sonra gözetim
- Güvenlikten ibarettir.

Sökme programı, otorite kuruluşa sunulur otorite kuruluştan onay alındıktan sonra sökme programı uygulanır. Sökmenin tamamlanmasından sonra otorite kuruluşun yer için yeniden onayı gereklidir.

İşletmecisi kuruluş Nükleer Santral işletme ömrü boyunca sökmeyi aklında tutmalıdır. Bakım veya değiştirme esnasında radyoaktif olarak kirlenmiş, radyoaktif hale gelmiş bina, sistem ve bileşenler rapor edilmiş olacak bunlar santralin sökülümünde kullanılacak şekilde tutulacaktır.

5. SONUÇ

Atom çekirdeğinin parçalanmasının bulunmasından bu yana, çeşitli endüstriyel ülkelerde atom enerjisi barışçıl amaçlarla kullanılmaya başlanmıştır. Alışılğelen yakıtların tabiatla sınırlı bulunuşu, elektrik üretiminde nükleer enerjinin önemini daha da artırmıştır.

Nükleer Santraller, içinde şiddetli bir radyasyon kaynağı bulunan, ileri teknoloji ürünü, kapital yoğun enerji üretim tesisleridir. Bir radyasyon kaynağı olan reaktör kalbi ile işletme personeli, halk ve çevre arasına derinliğine ard arda konmuş çok sayıda engel bulundurmak, maliyetleri rekabet sınırlarını aşmayacak şekilde, birbirinden bağımsız ve paralel çalışan, çok yedekli güvenlik sistemleri kullanmak suretiyle santralin güvenli işletilmesi amaçlanmıştır.

Nükleer Santraller gerek normal çalışma koşullarında gerekse olası bir kaza durumunda çevreye zarar vermeyecek biçimde tasarlanırlar. Tasarım aşamasında, santralin normal işleyişi esnasında olabilecek her türlü insan ve alet hatasının kazaya neden olmaması için gerekli tüm önlemler alınır. Dolayısıyla bu tür hatalar oluşsa dahi normal işletme sistemleri bunu önleyecek yeterliliktedir.