



TÜRKİYE ATOM ENERJİSİ KURUMU

**NÜKLEER GÜÇ SANTRALLERİNDE BİRİNCİL DEVRE
EKİPMANLARINDA DEKONTAMİNASYON
UYGULAMASI**

UZMANLIK TEZİ

**Hazırlayan
Yasin ÇETİN**

**Tez Danışmanı
Raşit KIRIŞIK**

Aralık,2017 -ANKARA

Yasin ÇETİN tarafından hazırlanan “NÜKLEER GÜÇ SANTRALLERİNDE BİRİNCİL DEVRE EKİPMANLARINDA DEKONTAMİNASYON UYGULAMASI” adlı bu tezin Atom Enerjisi Uzmanlık tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

(Dr. Raşit KIRIŞIK)

Tez Danışmanı

Bu çalışma, aşağıdaki tez jürisi tarafından Atom Enerjisi Uzmanlık tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : (Unvanı, Adı, SOYADI)
(İmza)
:

Üye : (Unvanı, Adı, SOYADI)
(İmza)
:

Üye : (Unvanı, Adı, SOYADI)
(İmza)
:

Üye : (Unvanı, Adı, SOYADI)
(İmza)
:

Üye : (Unvanı, Adı, SOYADI)
(İmza)
:

Bu tez Atom Enerjisi Uzmanlığı Tez Hazırlama Kılavuzu'na uygundur

ÖZET

NÜKLEER GÜÇ SANTRALLERİNDE BİRİNCİL DEVRE EKİPMANLARINDA DEKONTAMİNASYON UYGULAMASI

Yasin Çetin

TÜRKİYE ATOM ENERJİSİ KURUMU

Aralık, 2017

Tez Danışmanı: Raşit KIRIŞIK

Dekontaminasyon tanımı; ekipman veya tesislerin yüzeylerinde bulunan kontaminasyonların; yıkama, ısıtma, kimyasal-elektrokimyasal, mekanik temizleme ve diğer metotlar ile yüzeyden alınması ve temizlenmesi işlemidir. Dekontaminasyon uygulamaları, nükleer santrallerin söküm öncesinde ekipmanlarının ve söküm sonrasında oluşan kontamine olmuş atıkların uygun yöntem ile radyoaktivitesinin azaltılması işlemine dayanmaktadır. Ayrıca birincil devrede yer alan ekipmanların dekontaminasyonunda, kimyasal, elektrokimyasal ve fiziksel yöntemlerle ekipman veya parçaların yüzeylerinde veya yüzeye yakın derinliklerinde oluşan radyoaktif kirliliklerden başarılı bir şekilde kurtulunmaktadır. Tez kapsamında farklı tipte reaktörler için de dekontaminasyon uygulamaları anlatılmış olup; farklı ülkelerin nükleer alanda düzenleyici kurumlarının dekontaminasyona düzenleyici açıdan bakış açıları ele alınmıştır. Bu çalışmanın Türkiye Atom Enerjisi Kurumu nezdinde uzmanlık tezi olarak yürütülmesi, dekontaminasyon uygulamaları hakkında bilgilendirici mahiyette olup, ileriki çalışmalar için referans doküman olarak kullanılabilecektir.

Anahtar Kelimeler: Dekontaminasyon, nükleer santral, radyoaktivite.

ABSTRACT

DECONTAMINATION APPLICATION IN PRIMARY CIRCUIT EQUIPMENT OF NUCLEAR POWER PLANTS

Yasin Çetin

TURKISH ATOMIC ENERGY AUTHORITY

December, 2017

Supervisor: Raşit KIRIŞIK

Decontamination is defined as the removal of contamination from surfaces of facilities or equipment by washing, heating, chemical or electrochemical action, mechanical cleaning, or other techniques. Decontamination practices are based on the reduction of radioactivity of the equipment contaminated at pre-decommissioning stage and the contaminated wastes formed at after decommissioning stage in nuclear power plants. In addition, contamination on surface or near the surface of the equipment in the primary circuit is successfully removed with chemical, electrochemical and physical decontamination methods. Within the scope of the thesis, decontamination applications for different types of reactors are explained and the decontamination regulatory aspects of nuclear regulatory agencies of different countries are discussed. This study is prepared as specialist thesis for the Turkish Atomic Energy Authority provides information about decontamination techniques and can be used as a reference documentation for the future studies.

Keywords: Decontamination, nuclear power plant, radioactivity.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
TABLolar DİZİNİ.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	x
GİRİŞ.....	1
1.LİTERATÜR ÖZETİ.....	4
1.1 UAEA'nın Kontaminasyon ve Dekontaminasyon Tanımları	4
1.1.1 Kontaminasyon.....	4
1.1.1.1 Kontaminasyonun doğası.....	4
1.1.1.2 Kontaminasyona neden olan kaynaklar ve süreçler.....	5
1.1.1.3 Yüzeyin kontaminasyona etkisi	6
1.1.2 Dekontaminasyon	7
1.2 Kimyasal Dekontaminasyon	9
1.2.1 Oksidasyon prosesleri.....	10
1.2.1.1 ODP/SODP	11
1.2.1.2 REDOX ve SC	12
1.2.1.3 MEDOC	12
1.2.2 Oksidasyon/indirgenme prosesleri	13
1.2.2.1 CORD	14
1.2.2.2 HOP	15
1.2.2.3 NPOX.....	15
1.2.2.4 CANDEREM-CANDECON	16
1.2.2.5 EMMAC	17
1.2.2.6 PWR'ler için LOMI	17
1.2.2.7 CONAP	17
1.2.2.8 TURCO.....	18
1.2.2.9 Diğer kimyasal prosesler	18
1.3 Elektrokimyasal Dekontaminasyon.....	19

1.3.1 Fosforik asit	23
1.3.2 Nitrik asit	25
1.3.3 Sülfürik asit	25
1.3.4 Sodyum sülfat – ELDECON	26
1.4 Fiziksel Dekontaminasyon	27
1.4.1 Ultrasonik temizlik	27
1.4.2 Karbondioksit buz uygulaması	28
1.4.3 Su buz uygulaması.....	30
1.4.4 Yüksek basınçlı su	30
1.4.5 Kuru ve yaş aşındırıcılar	31
1.4.6 Fırçalama/Bileme.....	32
1.4.7 Eritme	32
1.5 Betonlu Yapılar için Dekontaminasyon	33
1.5.1 Kelly prosesi	34
1.5.2 Yontma	35
1.5.3 Beton taşlama	36
1.5.4 Beton tıraşlama	37
1.5.5 Kuşlama	37
1.5.6 Kesme işlemi	38
1.5.6.1 Alev kesici	38
1.5.6.2 Testereleme	39
1.5.6.3 Patlayıcı ile kesme işlemi	39
1.5.6.4 Elmas tel ile kesme	39
1.5.6.5 Aşındırıcılı su jeti ile kesme	40
2. ARAŞTIRMA BULGULARI	41
2.1 Düzenleyici Açısından Dekontaminasyon	41
2.1.1 UAEA	41
2.1.2 ABD (NRC, 1983).....	44
2.1.2.1 NRC	46
2.1.2.2 EPA	50
2.1.2.3 OSHA.....	51
2.1.2.4 DOT	51
2.1.2.5 Eyalet ve yerel kurumlar	51
2.1.3 Rusya (RTN, 1999)	51

2.1.4 Japonya (NRA, 2015)	56
2.1.5 Finlandiya	61
2.1.6 Güney Kore	65
2.1.7 Türkiye	68
2.1.7.1 Hukuki altyapı.....	68
2.1.7.2 Teknik altyapı	72
2.2 Farklı Reaktör Tiplerindeki Dekontaminasyon.....	76
2.2.1 PWR’de dekontaminasyon	77
2.2.2 BWR’de dekontaminasyon.....	80
2.2.3 CANDU’da dekontaminasyon.....	81
2.3 Dekontaminasyon Aşamaları	84
2.3.1 Sökülme öncesi.....	84
2.3.1.1 Birincil devre borularında dekontaminasyon uygulaması (IAEA, 1979a)85	
2.3.2 Sökülme işlemi sonrası dekontaminasyon.....	88
2.3.2.1 Eritme yöntemi ile dekontaminasyon uygulaması.....	89
2.3.3 Sökülme öncesi/sonrası dekontaminasyon uygulamasında Türkiye için proje önerisi	94
SONUÇ	96
KAYNAKLAR.....	103
EK-1	108
ÖZGEÇMİŞ	117
ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI	118

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1: Farklı yüzeyler üzerinde kontaminasyon	5
Şekil 2: Kontaminasyonun malzeme yüzeyinde yer aldığı katmanlar ve derinlikleri	9
Şekil 3: MEDOC prosesi çalışma alanı	13
Şekil 4: Elektrolitik bir hücrenin şematik gösterimi.....	20
Şekil 5: Elektrolitik temizlemenin şematik gösterimini	22
Şekil 6: Fosforik asit banyosunda elektrokimyasal dekontaminasyon işlemi	24
Şekil 7: Kuru buz dekontaminasyon prensibi.....	29
Şekil 8: Aşındırıcının yüzey üzerindeki etkisi.....	31
Şekil 9: Betonlu yapıların dekontaminasyonunda uygulanan temel metotlar	34
Şekil 10: Beton taşlama işlemi	36
Şekil 11: Elmas tel ile kesme işlemi.....	40
Şekil 12: Japonya’da yer alan nükleer tesisler.....	57
Şekil 13: Kori Ünite 1 bütün sistem dekontaminasyonu akış diagramı	67
Şekil 14: PWR’lerde radyasyon kaynakları.....	76
Şekil 15: PWR.....	78
Şekil 16: BWR.....	81
Şekil 17: CANDU.....	83

TABLolar DİZİNİ

Tablo	Sayfa
Tablo 1: DF değerleri	2
Tablo 2: Kimyasal dekontaminasyonda kullanılan proses ve kimyasallar.....	10
Tablo 3: Dekontaminasyon karşılaştırması	16
Tablo 4:UAEA tarafından yayınlanmış nükleer santrallerin dekontaminasyonu ile ilgili doküman listesi.....	42
Tablo 5: ABD’de dekontaminasyon uygulamasının gerekliliklerinin belirlenmesinde yer alan düzenleyici kuruluş ve ilgili dokümanlar.....	45
Tablo 6: VVER tipi reaktörlerde birincil devre sistemi parçaları için dekontaminasyon prosesleri.....	55
Tablo 7: Dekontaminasyon alanında farklı ülke karşılaştırmaları.....	75
Tablo 8: BR3 Nükleer Santrali’nde yapılan dekontaminasyon sonucu birincil devre ve buhar jeneratörü çevresindeki radyasyon alanında değişen aktivite değerleri	88
Tablo 9: Eritme tesislerinin özellikleri	91
Tablo 10: İşletmede olan metal eritme tesisleri.....	91

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A	Amper
Bar	Basınç birimi
Bq	Aktivite birimi
g	Gram
kJ	Kilojoule
mSv	Doz eşdeğer birimi
MW	Güç birimi
pH	Çözeltinin asitlik veya bazlık derecesini tarif eden ölçü birimi
ppm	Milyonda bir birime verilen isim
psi	Basınç birimi
t	Ton
V	Voltaaj

Kısaltmalar

Açıklama

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AEC	Atom Enerjisi Komisyonu <i>(Atomic Energy Commission)</i>
AECL	Atom Enerjisi Kanada Limited <i>(Atomic Energy Canada Limited)</i>
ALARA	Mümkün olan en düşük radyasyon dozu <i>(As low as Reasonably Achievable)</i>
AP	Alkali Permanganat
BWR	Kaynar Sulu Reaktör <i>(Boiling Water Reactor)</i>
CANDECON	Kanada Dekontaminasyonu <i>(Canadian Decontamination)</i>
CANDEREM	Kanada Dekontaminasyonu ve İyileştirme <i>(Canadian Decontamination and Remediation)</i>
CANDU	Kanada Döteryum-Uranyum Reaktörü <i>(Canadian Deuterium-Uranium Reactor)</i>

CITROX	Sitrik ve Oksalik Asit (Citric and Oxalic Acid)
CNSC	Kanada Nükleer Güvenlik Komisyonu (Canadian Nuclear Safety Commission)
CONAP	Westinghouse tarafından geliştirilen dekontaminasyon yöntemi özel ismi
CORD	Kimyasal Oksitlenme-İndirgenme Dekontaminasyonu (Chemical Oxidizing Reduction Decontamination)
CP	Korozyon Ürünleri (Corrosion Products)
CPC	Konteyner Ürünleri şirketi (Container Products Corporation)
DF	Dekontaminasyon Faktörü (Decontamination Factor)
DOT	Ulaştırma Departmanı (Department of Transportation)
EDTA	Etilendiamin tetraasetik asit
EHP	Elektrohidrolik pürüzlendirme
ELDECON	Cr(VI) Elektrokimyasal İndirgenme Dekontaminasyonu (Electrochemical Reduction of Cr(VI) Decontamination)
EMMAC	EDF tarafından geliştirilen dekontaminasyon yöntemi ismi
EPA	Çevre Koruma Ajansı (Envireonmental Protection Agency)
EPRI	Elektrik Gücü Araştırma Enstitüsü (Electric Power Research Institute)
ETKB	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
FANC	Federal Nükleer Kontrol Ajansı (Federal Agency for Nuclear Control)
FANR	Federal Nükleer Düzenleme Kurumu (Federal Authority for Nuclear Regulation)
FP	Fizyon Ürünleri (Fission Products)

GAR	Güvenlik Analiz Raporu
HEPA	Yüksek Verimli Partikül Hava (High Efficiency Particulate Air)
HOP	Hidrazin/Oksalik Asit/Potasyum Permanganat
JAEA	Japonya Atom Enerjisi Ajansı (Japan Atomic Energy Agency)
JAERI	Japonya Atom Enerjisi Araştırma Enstitüsü (Japan Atomic Energy Research Institute)
KEPCO	Kore Elektrik Güç Şirketi (Korea Electric Power Corporation)
KHNP	Kore hidro&Nükleer Güç Şirketi (Korea Hydro&Nuclear Power Corporation)
LOMI	Düşük Oksidasyonlu Metal İyon (Low Oxidation-State Metal Ion)
LWR	Hafif su Reaktörü (Light Water Reactor)
MEDOC	Seryum Oksitlenmesi ile Metal Dekontaminasyonu (Metal Decontamination by Oxidation with Cerium)
MEXT	Japonya Eğitim, Kültür, Spor, Bilim ve Teknoloji Bakanlığı (Ministry of Education, Culture, Sports and Technology)
MSC	Üretim Bilimleri Şirketi (Manufacturing Sciences Corporation)
NPDES	Ulusal Kirletici Arıtma ve Ayrıştırma Sistemi (National Pollutant Discharge Elimination System)
NPOX	Nitrik Asit/Potasyum Permanganat/Oksalik Asit
NRA	Nükleer Düzenleme Kurumu (Nuclear Regulation Authority)
NRC	Nükleer Düzenleme Komisyonu (Nuclear Regulatory Commission)
NTA	Nitritotriasetik asit
ODP	Ozon Dekontaminasyon Prosesi (Ozone Decontamination Process)

OSHA	İş sağlığı ve Güvenliği Dairesi (Occupational Safety and Health Administration)
PWHR	Basınçlı Ağır Su Reaktörü (Pressurized Heavy Water Reactor)
PWR	Basınçlı Su Reaktörü (Pressurized Water Reactor)
REDOX	İndirgenme-Oksitlenme Reaksiyonları (Reduction Oxidation Reaction)
SCWR	Süper Kritik Sulu Reaktör (Super Critical Water Reactor)
SEG	Bilimsel Ekoloji Grubu (Scientific Ecology Group)
SGHWR	Buhar Üretimli Ağır Su Reaktörü (Steam Generating Heavy Water Reactor)
SIMCON	Simule Kontaminasyon (Simulated Contamination)
SODP	Güçlü Ozon Dekontaminasyon Prosesi (Strong Ozone Decontamination Process)
STUK	Finlandiya Radyasyon ve Nükleer Güvenlik Kurumu (Radiation and Nuclear Safety Authority)
TAEK	Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
TECDOC	Teknik Dökümanlar (Technical Documents)
TURCO	Turco Şirketi tarafından geliştirilen dekontaminasyon yöntemi özel ismi
UAEA	Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı
UV	Ultra-viyole
VTI	Termal Enerji Enstitüsü (Thermal Engineering Institute)
VVER	Vodo-Vodyanoi Energetichesky Reaktör
YVL	Finlandiya Nükleer Güvenlik Düzenleyici Kılavuzları

GİRİŞ

Dekontaminasyon tanımı; ekipman veya tesislerin yüzeylerinde bulunan kontaminasyon denilen radyoaktif kirliliklerin; yıkama, ısıtma, kimyasal-elektrokimyasal, mekanik temizleme ve diğer metotlar ile yüzeyden alınması ve temizlenmesi işlemidir. Dekontaminasyon uygulamasında belirli hedefler vardır bunlar:

- Radyasyon dozunu düşürmek,
- Ekipman veya malzemeleri yeniden değerlendirebilmek,
- Atık alanında depolanacak veya yok edilecek malzeme ve ekipman hacimlerini azaltmak,
- Sahayı veya tesisi eski haline getirmek,
- Ekipmanlara işlem yapılmadan önce radyoaktif kirliliği minimum seviyelere indirmektir.

Malzemelerin dekontaminasyonu birçok alanda faydalar sağlamaktadır. Bilindiği üzere ömrünü tamamlayan nükleer santraller “sökülme” işlemine tabi tutulmaktadırlar. Özellikle radyoaktiviteye maruz kalan birinci devre ekipmanlarından basınç kabı, buhar jeneratörleri, boru sistemi gibi ekipmanların temizlenme işlemi yüksek radyoaktivite içermelerinden dolayı çok zor olmaktadır. Bu yüzden sökülme öncesinde yapılan dekontaminasyon uygulaması ile bu parçalar temizlenip aktiviteleri düşürülmesi sebebiyle daha kolay müdahale edilebilir seviyeye gelmektedirler. Ayrıca sökülme öncesi dekontaminasyon uygulamasının bir diğer sebebi nükleer santral çalışanlarının alacağı dozu düşürmektir. Ekipmanlarda herhangi bir sızıntı veya kaçak olması durumunda radyoaktivite artacak ve bu da çalışanlar için risk olacaktır. Bunun gibi doz artışının tespit edildiği durumlarda ekipman veya bütün sistem bazında dekontaminasyon uygulamasına gidilmektedir.

Radyoaktif parçaların sökülmesi sırasında kontaminasyonun yayılma sorunu önemli bir problem olarak görülmektedir. Bunu ortadan kaldırmak için parçaların aktivitelerin düşürülmesi gerekmektedir. Bu yüzden parçalara dekontaminasyon uygulanıp aktiviteleri düşürülebilir. Ayrıca aktivitesi çok düşürülen ekipmanların yeniden sanayide kullanılabilmesine olanak sağlanmaktadır.

Dekontaminasyonun etkinliği Dekontaminasyon faktörü (**DF-Decontamination Factor**) adı verilen formülle hesaplanmaktadır (Boing, 2006). Buradaki asıl amaç malzemedeki aktivitenin ne kadar düşürüldüğünün belirlenmesidir. Bu formül aşağıda verilmiştir.

$$DF = \text{Başlangıç Aktivitesi} / \text{Kalan aktivite}$$

$$\text{Azaltılan Aktivite (\%)} = (1 - 1/DF) \times 100$$

Yukardaki formüllere göre bir parçanın DF değeri 10 olarak belirlenmişse %90 civarında bir aktivite azalmasından söz edilmektedir. Bunun ile ilgili daha fazla örnek Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1 : DF değerleri

DF	Azaltılan Aktivite (%)
2	%50
5	%80
10	%90
50	%98
100	%99

Ayrıca dekontaminasyon sonrası açığa çıkan atık da dekontaminasyon verimliliği açısından önem arz etmektedir. Her ne kadar uygulanan tekniklerle ilgili olsa da oluşacak atığın hacmi dekontaminasyon verimliliği ve etkinliğini etkileyen bir diğer önemli parametredir. Bu konu diğer bölümlerde daha detaylı olarak anlatılacaktır.

Tez kapsamında anlatılması düşünölen konu, nükleer santrallerde kontaminasyonun olduğu birincil devre ekipmanları özelinde uygun dekontaminasyon yöntemi ile ekipmanların aktivitelerinin azaltılması işlemine dayanmaktadır. Literatürde çok fazla dekontaminasyon uygulaması bulunmaktadır. Bunlar tezde kategorilere ayrılmış ve özet olarak her bir metottan bahsedilmeye çalışılmıştır. Ayrıca dekontaminasyon konusunda ilerlemiş ve gelişmiş teknik altyapıya sahip olan ölkelerin konuyu ele alış şekilleri, özellikle düzenleyici olarak üstlendikleri görevleri incelenmiş ve elde edilen bulgular tezde verilmiştir.

Yukarıda belirtilen çalışmaların Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) nezdinde uzmanlık tezi olarak yürütülmesi, TAEK’de dekontaminasyon uygulamaları hakkında bilgi havuzu oluşturulmasına ve bunun dekontaminasyon ile ilgili mevzuat çalışmalarına referans olarak kullanılabilmesine olanak sağlayacaktır. Ayrıca ülkemizde yer alan araştırma reaktörlerinin olası sökölme işlemlerinde oluşabilecek kontamine olmuş atıkların uygun dekontaminasyon yöntemi ile aktivitelerinin serbestleştirme limitlerine düşürülmesi konusunda kılavuz doküman görevi görecektir.

1.LİTERATÜR ÖZETİ

1.1 UAEA'nın Kontaminasyon ve Dekontaminasyon Tanımları

1.1.1 Kontaminasyon

Kontaminasyon katı fazında, çözelti halinde bulunabilen veya gaz/buhar halinde taşınabilen radyoaktif bir kirlenmedir. Çok küçük miktarlarda olan radyoaktif bir maddeden kaynaklanabildiği gibi bilinen her element en az bir radyoaktif izotopa sahip olduğundan kontaminasyona neden olabilecek yüzden fazla element bulunmaktadır.

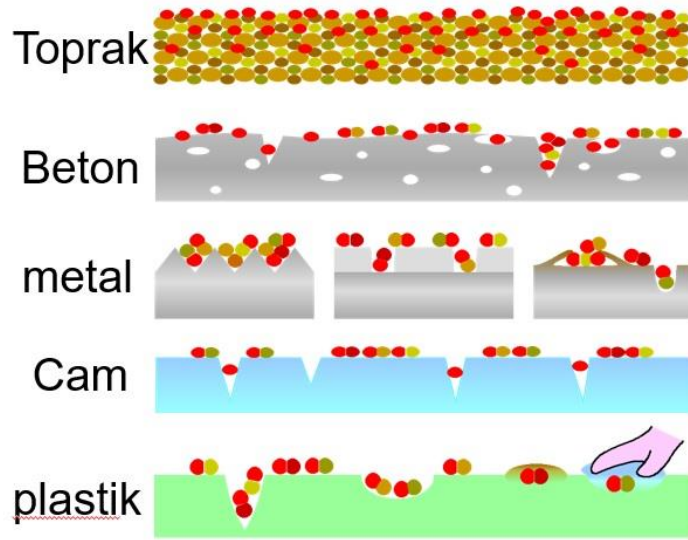
Kontaminasyon, çok sayıda radyoaktif maddenin bulunması ve bunların zaman içinde bozunması sonucu başka maddelerin radyoaktif izotoplarının oluşmasından ötürü karmaşık bir problemdir. Burada dekontaminasyonu etkileyen iki faktör göze çarpmaktadır:

- Kirleticinin kimyasal, fiziksel ve radyokimyasal yapısı,
- Ekipman veya parçanın malzeme veya yüzey özelliğidir.

1.1.1.1 Kontaminasyonun doğası

Radyoaktif maddelerin yüzeye tutunma mekanizmaları aktif olmayan grupların tutunma mekanizmalarından farklı değildir. Radyoaktif kontaminasyonu diğer kirliliklerden ayıran en büyük özelliği ise çok küçük miktarda olmalarıdır. Örneğin 1mCi ^{32}P yaklaşık olarak $3,5 \times 10^{-9}$ gramdır (IAEA, 1979b). Ayrıca kontaminasyonun, genellikle atmosferik koşullara maruz kalan yüzeylerde bulunan yağlı kirlilik ve metal yüzeylerinde oluşan oksit tabakaları ile de ilişki içerisinde bulunması, işlemleri zorlaştıran bir diğer etkidir. Şekil 1'de farklı yüzeyler üzerindeki kontaminasyonun gösterimi verilmiştir.

Şekil 1: Farklı yüzeyler üzerinde kontaminasyon



(JAEA, 2016)

Üç başlık altında kontaminantları sıralamak mümkündür; çözünür (iyonik), parçacık ve koloidal. Çözünür (iyonik) kirleticiler, malzeme yüzeylerinde fiziksel adsorpsiyon veya çoğu metalik olmayan malzemenin yüzeyinde bulunan reaktif grupların (genellikle asidik) iyon değişimiyle ilişkilidir. İyonik olmayan kontaminantlar negatif yüklü türlerin karşılıklı birbirini itmesi sonucu yüzeyden itilir ve düşük miktarlarda adsorpsiyon sağlanabilmektedir. Fakat iyonik olan, örneğin katyonlar, özellikle düşük konsantrasyonlarda asidik özellikteki yüzeye çekilip yüzey tarafından absorbe edilirler. Ne yazık ki, çoğu fisyon ürünü ve ağır radyoelementler bu kategoridedirler. Koloidal ve parçacık tipinde kontaminantlar ise yüzey tarafından kolaylıkla adsorbe edilebilmekte ve bir altlık üzerine çöktürülmektedir. Bu tarz kontaminasyonu gidermek için kirleticiyi çekecek belirli reaktiflerin kullanılması gerekmektedir (IAEA, 1979b).

1.1.1.2 Kontaminasyona neden olan kaynaklar ve süreçler

Kontaminasyonun en önemli ve en az belirgin bulaşma kaynağı, radyoaktif maddelerin yer aldığı bir alanda işlemlerin sürekli olarak devam ediyor olmasıdır. Herhangi bir sökölme veya kaza olmaması durumlarında bile alan, sürekli kontamine olmuş bir şekilde kalmaktadır. Bunların nedenleri şu şekilde belirtilmiştir:

- Maddenin küçük parçacıklarının atmosfere girmesi nedeniyle havada kontaminasyon oluşması,
- Radyoaktif maddelerin bir alandan diğerine transferi,
- Bölgenin çeşitli yerlerinde kullanılan eldivenlerden kirlenme yayılması,
- Bölgedeki atık bertaraf etme kaplarından olası sızıntılar.

Daha belirgin kaynaklar arasında şunlar bulunmaktadır:

- Kazara dökülmeler - bunlar oldukça yaygındır, ancak etkileri radyoaktif alanın dikkatli bir şekilde hazırlanması ve tasarımı ile asgariye indirilebilir.
- Bölgeye radyoaktif madde getirmek ve taşıma kutusundan çıkarmak,
- Kapların kendi içeriğinden kirlenmesi,
- Bölgedeki kimyasal işlemler, örn. buharlaştırma, çözücü ekstraksiyonu, farklı kimyasallar arasındaki reaksiyonlar, beherlerde karıştırma, cam aparatının kırılması ve solüsyonların havalandırılması,
- Filtre sızıntısı ve tıkanmaları,
- Torna, öğütme ve kesme makineleri, öğütme makineleri ile katı maddelerin mekanik olarak taşınmasıdır.

Denetim programları hazırlanırken, bulaşma ihtimali bulunan bu olası kaynakların tümünün mutlaka dikkatle incelenmesi gerekmektedir.

1.1.1.3 Yüzeyin kontaminasyona etkisi

Kontaminasyona maruz kalabilecek malzeme ve yüzey kaplamalarını seçerken, bir yüzeyin kontamine oluş mekanizmasını ve dekontaminasyonda kullanılabilecek kimyasal ve prosedürlerin çeşitlerinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Seçilen yüzey, dekontaminasyonun olumsuz etkilerine karşı dirençli olmalıdır. Aksi durumlarda bulaşma eğilimi giderek artabilmekte ve yüzey dekontaminasyona karşı dirençli bir hale gelebilmektedir. Bununla birlikte, dekontaminanta karşı tam bağışıklığının sağlanması pek mümkün olmamaktadır.

Genel olarak, sadece üç yüzey türü vardır: metalik, organik ve vitroz. Metalik yüzeylerde katyonik kirletici madde ile malzeme arasında genellikle kimyasal bir benzerlik vardır ve kirletici atomların bu malzemenin bir parçası haline gelmesine neden olabilir. Bu gibi

durumlarda dekontaminasyon yalnızca kirlenen iyonları içeren metalik yüzeyin çıkarılmasıyla sağlanabilir. Çoğu metal koruyucu bir tabaka gibi davranan bir yüzey oksit filmine sahiptir ve genellikle kontaminasyon bu tabaka ile bütünleşmiş durumdadır. Yine, bu tabakanın çıkarılması, bu gibi malzemeler için tercih edilen dekontaminasyon yöntemidir.

Organik ve vitroz yüzeylerin kontaminasyonu, muhtemelen en önemlisi iyon değişimi olan bir dizi işlemle ortaya çıkar. Boyalar, plastikler ve tekstiller gibi tüm organik materyallerin yanı sıra cam ve porselen gibi camsı yüzeyler kesin bir iyon değişim kapasitesine sahip reaktif asidik gruplara sahiptir. Konvansiyonel iyon değiştirici reçineler açısından, bu yüzeylerin iyon değişimi kapasitesi gerçekten çok düşüktür ancak nispeten yüksek seviyede radyoaktif iyonların adsorbe edilmesi için yeterlidir. Bu yüzey asit grupları ya doğal olarak ya da oksidatif bozunum ile mevcut olmakta ve hidroksil, karboksil ve silikat gibi yüksek kutuplu türleri içermektedir. Bu gruplar anyonları püskürtmekle birlikte, katyonik kontaminasyonu kolayca adsorbe edebilmektedirler (IAEA, 1979b).

1.1.2 Dekontaminasyon

Dekontaminasyon genel tanımında; radyoaktiviteye maruz kalmış ekipman veya parçaların kontamine olan yüzeylerden radyonuklidlerin çeşitli yöntemlerle arındırılması işlemi olarak belirtilmektedir. Literatürde birden fazla yöntem bulunmaktadır. Bunlar kimyasal, elektrokimyasal olabileceği gibi fiziksel yöntemler de olabilmektedir. Ayrıca fiziksel ve kimyasal tekniklerin beraber kullanıldığı dekontaminasyon yöntemleri de mevcuttur. En uygun metodun seçiminde farklı kriterler bulunabilmektedir. Bunlar örneğin:

- Kontaminasyon yüzeye yapışkan cinsten olabilir, bu gibi kontaminasyonlar korozyona da sebep olacağı için oksit tabakası ile birlikte alınmalı hatta taban malzemeden de biraz alınmalıdır.
- Nükleer santrallerde kullanılan birçok ekipman veya parçada yarık veya çatlaklar olabilir. Bu gibi durumlarda yarık veya çatlaklara etki edebilecek ve o bölümlerden efektif bir şekilde kontaminasyonun temizlenebileceği metod seçilmelidir.
- Nükleer santrallerde bazı tank veya kapların içerisinde de komponentler bulunmaktadır. Bu yüzden dekontaminasyon yapıldığında bu iç tarafta yer alan parçalar da dikkate alınmalıdır.

- Ne tür bir tesis olduğu (nükleer santral, araştırma reaktörü veya yakıt işletim tesisi vb.) ve işletme süresi bilinmeli, ona göre proses belirlenmelidir.
- Uygulanacak tekniğin fiyatı ve yeniden kullanılabilirliği önemlidir. Ayrıca işletme maliyetlerine de dikkat edilmelidir.
- Mümkün olan en düşük radyasyon dozu (**ALARA-As low as Reasonably Achievable**) prensibi göz önünde bulundurulmalı, dekontaminasyon işlemini yapacak personele en az zarar vermeli ve mümkünse uzaktan kontrol yöntemi tercih edilmelidir.
- Uygulanacak metodun endüstride yaygın olarak kullanılıp kullanılmadığı, ispatlanmış ama hala gelişme sürecinde mi olduğu veya deneysel çalışmalar seviyesinde mi olduğu gibi durumlar göz önünde bulundurulmalıdır.
- Atık yönetimi kapsamında dekontaminasyon sonrası oluşan atık hacimsel olarak minimum seviyelerde olmalı ayrıca atığın cinsi de kontrol edilebilir şekilde olmalıdır. Uçucu atıklar için uygun filtreleme yöntemleri sıvı atıklar için ise uygun depolama yöntemlerine sahip olmalıdır.
- Dekontaminasyon yapılacak parçanın büyüklüğü veya tipi uygulanacak metodun seçiminde göz ardı edilmemeli kapalı sistem parçalar için giriş açılıp açılmayacağı veya parçanın sökülüp sökülmeceğine ilişkin doğru ve uygun metotlar seçilmelidir.
- Kullanılacak metodun kimyasal yöntemler olması durumunda parçanın kimyasal malzeme ile tepkimeye girip korozyona neden olmaması gerekmektedir. Fiziksel metodun kullanıldığı durumlarda ise parçaya zarar vermemeli ve de yüzeylerden fazla malzeme kaybı yüzey bozukluğu gibi problemlere yol açılmamalıdır.
- Parça veya ekipmanlarda bulunan radyoaktif izotopların ne tipte olduğu ve aktivite seviyeleri bilinmelidir.
- Radyolojik ve endüstriyel güvenlik, her metot için en üst seviyede olacak şekilde uygulanmalıdır.

Yukarıda belirtilen maddeler uygun dekontaminasyon seçiminde göz önünde bulundurulması gereken kriterler olarak görülebilirler. Bu maddelere ek olarak dekontaminasyon yapılacak parçadaki malzeme tipi, yüzey özellikleri, kontaminasyona

neden olan maddenin özellikleri ve kompozisyonu, Dekontaminasyon Faktörü (**DF-Decontamination Factor**) ve zaman gibi parametreler de göz önünde bulundurulur.

1.2 Kimyasal Dekontaminasyon

Kontaminasyon, malzeme üzerinde farklı katmanlarda bulunmaktadır. Bu katmanlar ve katmanlarda yer alan bileşenler Şekil 2’de gösterilmiştir. Kimyasal temizlik prosesleri genellikle ardışık proseslerden oluşmakla birlikte yüzey oksitlerini çözmeye ve kalan malzemedeki radyoaktif izotopları alabilecek şekilde malzemeye nüfuz edecek kimyasalların kullanılmasına dayanan bir dekontaminasyon metodudur.

Şekil 2: Kontaminasyonun malzeme yüzeyinde yer aldığı katmanlar ve derinlikleri

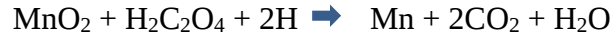


(Boing, 2006)

Dekontaminasyon öncesinde uygulanacak olan ilk adım malzemede yer alan oksit tabakalarının alınmasıdır. Bunlar krom-zengin, demir ve nikel-zengin oksit tabakalarıdır. Bunların temizlenmesi genellikle kimyasal yöntemlerle yapılmakla birlikte bazı fiziksel temizleme yöntemleri olan su jeti ve ultrasonik temizleme uygulamaları da kullanılmaktadır. Oksit tabakalarındaki farklılıklar reaktör tipi ile de değişmektedir. Örneğin, Vodo-Vodyanoi Energetichesky Reaktör/Basınçlı Su Reaktörü (**VVER/ PWR-Pressurized Water Reactor**) tipi reaktörlerde oksit tabakası genelde krom açısından zengin olmakla birlikte Kaynar Sulu Reaktör (**BWR-Boiling Water Reactor**) tipi reaktörlerde demir ve nikel açısından zengin oksitlere rastlanılmaktadır. Bu yüzden uygulanacak prosesler farklı seçilmektedir. Oksitlerin

genel özelliği olarak suda çözülmemeleri gösterilebilir ve bu yüzden bazı kimyasal bileşikler kullanılmaktadır. Bunlar Oksalik asit, Sitrik asit, Etilendiamin Tetraasetik asit (**EDTA**) ve Nitrilotriasetik asit (**NTA**) gibi kimyasallardır.

Malzemelerde yer alan oksit tabakaların alımında en zor olan kısım krom açısından zengin olan oksitlerin alınmasıdır. Bu tip oksitlere genellikle PWR/VVER tipi reaktörlerde yer alan parça veya ekipmanların temizlenmesi işleminde rastlanılmaktadır. Bunun için özel bir kimyasal olan permanganat bileşiği kullanılmaktadır (EC- CND , 2009):



Kromlu oksit tabakası alındıktan sonra asıl dekontaminasyon denilen demir ve nikel içeren oksit tabakasının alımına geçilmektedir. Burada kullanılan proses ve kimyasal içeriklerin çoğunun ticari veya patentli olmasından dolayı konularla ilgili bilgiler detaylı olarak literatürde yer almamaktadır. Kimyasal dekontaminasyonda kullanılan proses ve kimyasallar Tablo 2’de belirtilmiştir (EC- CND , 2009).

Tablo 2 : Kimyasal dekontaminasyonda kullanılan proses ve kimyasallar

Kimyasal	Örnekler
Güçlü Mineral Asitleri	Nitrik asit, sülfürik asit, fosforik asit
Asit Tuzları	Sodyum fosfat, sodyum sülfat
Organik Asitler	Formik asit, oksalik asit, sitrik asit
Bazlar ve alkali tuzlar	Potasyum hidroksit, sodyum hidroksit
Kompleks ajanlar	Pikolinik asit, EDTA
Beyazlatıcı	Kalsiyum hipoklorit
Organik çözücüler	Kerosen, tetrakloroetan

1.2.1 Oksidasyon prosesleri

Oksidasyon prosesleri seryum iyonun yüksek oksitlenme potansiyelini temel almakta ve tek adımda çok yüksek olmayan sıcaklıklarda kullanılmaktadır. Dekontaminasyon çözeltileri

içerik olarak seryum iyonu, sülfürik asit, nitrik asit veya hidroflorik asit içermektedirler. Seryum iyonun paslanmaz çeliklerde hem oksit tabakasını hem de taban malzemeyi çözebilme özelliğinden dolayı PWR’lerde tercih edilmektedirler.

Uygulamalar içerikleri ve uygulandıkları sıcaklıklar bakımından farklılık göstermektedir. Bu farklılıklar ülkeler tarafından geliştirilmiş dekontaminasyon yöntemleri olarak ortaya çıkmaktadır. Örneğin İsveç STUDSVİK firması tarafından geliştirilen Ozon Dekontaminasyon Prosesi (**ODP-Ozone Decontamination Process**) ve Güçlü Ozon Dekontaminasyon Prosesi (**SODP-Strong Ozone Decontamination Process**), Japonya Atom Enerjisi Araştırma Enstitüsü (**JAERI-Japan Atomic Energy Research Institute**) tarafından geliştirilen İndirgenme-Oksitlenme Reaksiyonları (**REDOX-Reduction Oxidation Reaction**) ve Sülfürik Asit-Seryum (**SC**), Belçika Federal Nükleer Kontrol Ajansı’nın (**FANC-Federal Agency for Nuclear Control**) geliştirdiği Seryum Oksitlenmesi ile Metal Dekontaminasyonu (**MEDOC-Metal Decontamination by Oxidation with Cerium**) prosesleri oksidasyon proseslerinin en bilinen uygulamalarıdır (Laraia, 2012). Belirtilen yöntemler aşağıda detaylandırılmıştır.

1.2.1.1 ODP/SODP

ODP, İsveçli “STUDSVİK” firması tarafından PWR’LERİN buhar jeneratörlerinde yer alan değerli metallerin geri dönüştürülmesi amacı ile geliştirilmiştir. İsveç’te yer alan Ringhals-2 PWR tipi Nükleer Santrali’nde başarı ile kullanılmıştır. Proses tek bir adımdan oluşmakta, ozon ve seryum kimyasallarının nitrik asit çözeltisi içerisinde kullanılmasına dayanmaktadır. Oda sıcaklığında ve düşük asidite (pH=2,0) seviyesinde gerçekleştirilmektedir.

ODP prosesine alternatif ve daha güçlü versiyonu olan SODP metodu, ODP’den sonra geliştirilen bir diğer prodestir. Çoğu özellikleri birbirine benzemekle beraber SODP yönteminde daha konsantre asit (pH=0,6) ve yüksek seryum konsantrasyonu kullanılmaktadır. Her iki yöntemde İsveç’de yer alan “Agesta” ve “Ringhals” Nükleer Santrallerinde başarı ile kullanılmış aktivite değerleri 1 Bq/g seviyelerinin daha altına düşürülmüştür. Ayrıca kullanımlarındaki amaç geri dönüşüm olması sebebi ile dekontaminasyon sonrası ekipman veya parçalara eritme işlemi uygulanmış bu da radyasyon seviyelerini daha aşağılara çekmiştir. STUDSVİK firması iki prosesin de patentini elinde

tutmakta ve özellikle ikincil atık kimyasalları üzerinde çalışmalara devam etmektedir (Lesage ve Sarkisov, 1995).

1.2.1.2 REDOX ve SC

REDOX ve SC prosesleri JAERI tarafından aynı kimya üzerine (seryum iyon kullanımı) geliştirilmiş kimyasal dekontaminasyon teknikleridir. Temel mantık SODP ve ODP prosesleri ile aynı olmakla beraber fark olarak yüksek sıcaklıklarda (60-80°C) işlemlerin gerçekleştirilmesi gösterilebilir. Sıcaklığın yüksek tutulması prosesi hızlandırmış olduğu yapılan testler sonucunda ortaya çıkmıştır. REDOX, nitrik asit çözeltisi içerisinde; SC ise, sülfürik asit çözeltisi içerisinde gerçekleştirilmektedir. seryum iyonun yeniden dönüştürülmesi işlemi farklı kaplarda elektrokimyasal işlemler ile yapılmaktadır.

1.2.1.3 MEDOC

MEDOC prosesi SODP veya REDOX'da yer alan sıcaklıkla prosesin hızlanması ve ozon ile seryum iyonun yeniden dönüştürülmesi avantajlarının bir araya getirildiği dekontaminasyon yöntemidir. Seryum iyonunun metali oksitlemesi aşağıdaki denklemde verilmiştir:

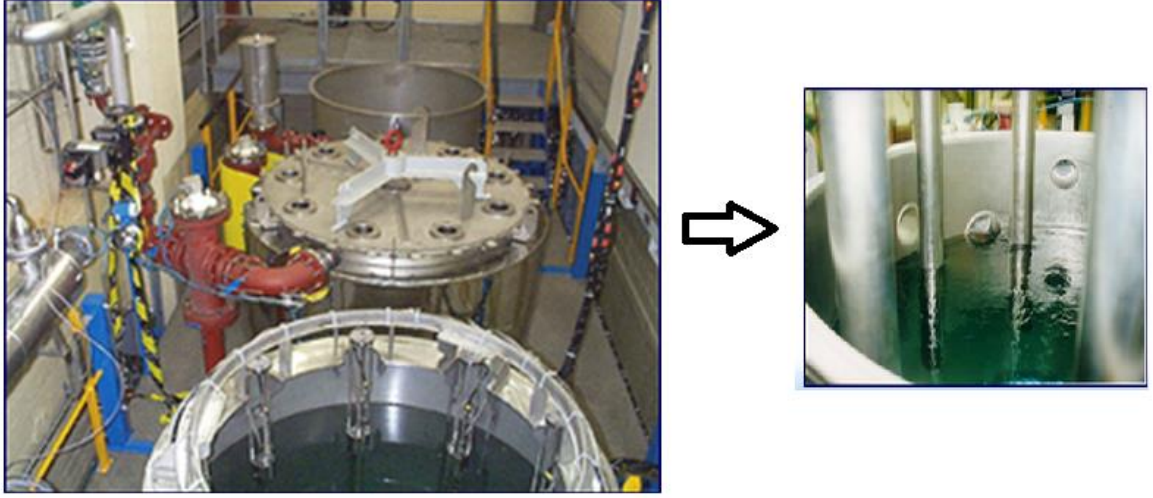


MEDOC prosesinin en büyük avantajlarından biri ise ozon kullanılması sebebiyle oluşan Ce^{3+} iyonun Ce^{4+} iyonuna dönüşmesi ve böylelikle proste sürekli bir döngünün oluşması sağlanmıştır. Aşağıdaki denklemde asidik dekontaminasyon çözeltisinin içerisinde ozonun seryum iyonunu yeniden oksitlenmesi verilmiştir:



MEDOC prosesinde çok düşük aktivite seviyelerine de düşülmektedir (0,1 Bq/g). Ayrıca ortaya çıkan ikincil atık miktarları da diğer proseslere oranla daha düşük olmaktadır (Ponnet vd., 2000).

Şekil 3: MEDOC prosesi çalışma alanı



(Ponnet vd., 2000)

1.2.2 Oksidasyon/indirgenme prosesleri

Oksitlenme-indirgenme proseslerinde birçok kimyasal dekontaminasyon uygulaması bulunmaktadır. Bunlardan sadece en yaygın olanları:

- Kimyasal Oksitlenme-İndirgenme Dekontaminasyonu (***CORD-Chemical Oxidation Reduction Contamination***),
- Hidrazin/Oksalik Asit/Potasyum Permanganat (***HOP***),
- Nitrik Asit/Potasyum Permanganat/Oksalik Asit (***NPOX***),
- Kanada Dekontaminasyonu ve/veya İyileştirme (***CANDEREM, CANDECON-Canadian Decontamination and/or Remediation***),
- EDF tarafından geliştirilen “***EMMAC***” dekontaminasyonu,
- Düşük Oksidasyonlu Metal İyon (***LOMI-Low Oxidation-State Metal Ion***),
- Westinghouse tarafından geliştirilen “***CONAP***” dekontaminasyonu,
- Turco Şirketi tarafından geliştirilen “***TURCO***” dekontaminasyonu,

tez kapsamında anlatılmıştır.

1.2.2.1 CORD

Dünyada en yaygın olarak kullanılan sistemdir. Amerika birleşik Devletleri (**ABD**) haricinde bütün dünyada kullanılmaktadır. Temel olarak dört temel adımdan oluşmaktadır. Bunlar:

- Krom oksit tabakasında bulunan Cr^{+2} iyonlarının permanganat asit kullanılarak Cr^{6+} iyonlarını hidrojen kromat kimyasalına çevrilmesi,
- Oksalik asit kullanımı ile permanganik asidin indirgenmesi ($\text{Mn}^{+7} - \text{Mn}^{+2}$),
- Oksalik asit ile dekontaminasyon uygulanması,
- Dekontaminasyon kimyasallarının Ultra Viyole (**UV**) ve hidrojen peroksit kullanımı ile su ve karbondioksit'e dönüştürülmesi işlemlerinden oluşmaktadır.

CORD prosesleri bütün PWR ekipman veya parçaları için kullanılabilir. Oksitlenme ve dekontamine işlemleri arasında geçiş adımlarına gerek olmadığı için hızlı bir prosesdir. Ortalama 95°C sıcaklıkta gerçekleştirilmektedir (Wille vd., 1997).

CORD prosesi uygulama açısından birçok avantaja sahiptir. Bunlar:

- Yüksek malzeme uyumluluğu,
- Basit kimyasalların kullanılması,
- Yenilemeli bir proses olması,
- Yüksek DF,
- Dekontaminasyon asitlerinin karbondioksit ve suya çevrilmesi,
- Atıkta dekontaminasyon atığının bulunmaması,
- Birçok kere kullanılabilir olması,
- Bütün oksit tabakasının alınabilmesi,
- Baz malzemenin de çözünmesi (aktiviteyi düşürüyor),
- Çözelti içerisinde malzemeyi yeniden oksitlenmesine yol açacak hiç bir kimyasalın kalmaması (Fe^{+3} , oksijen gibi),
- Bütün sistemlerde (basınç kabı, buhar jeneratörü, birincil devre boruları...) kullanılabilirliği.

CORD metodunda permanganik asidin taşıma veya depolama sorunları ve bazı patent sınırlamalarından dolayı geliştirmeler yapılmıştır. Bunlardan örnek olarak Kore'deki PWR için yapılan geliştirmeler aşağıdaki gibidir (Kim vd., 2004):

- Permanganik asit yerine potasyum permanganat ve fosforik asit kullanımı (Oksitlenme adımı),
- Oksalik asit yerine aktif karbonlu hidrojen peroksit kullanımı (indirgenme adımı),
- Asıl dekontaminasyon adımında ise oksalik asit yanında EDTA kullanımı,
- Sıcaklık 10 derece düşürülmüştür (85°C).

1.2.2.2 HOP

HOP Japonya'da Fugen Nükleer Santrali'nde kullanılmak üzere geliştirilen ve CORD prosesi ile çok fazla benzerlik gösteren dekontaminasyon yöntemidir. 1989 ve 1991 arasında Fugen Nükleer Santrali'nde dekontaminasyon uygulanması için KD-203 (kompozisyonu verilmemiş) kimyasalı kullanılarak indirgenme metodu uygulanmıştır. Ancak bir yıl kullanım sonrasında yapılan incelemelerde aktivitenin yeniden başlangıç düzeyinin %70'i seviyelerine kadar çıktığı tespit edilmiştir. Ayrıca nükleer santralde malzemelere uzun zamanlı hidrojen nüfuz etmesi sorununa bağlı gerilime dayalı korozyon ve hidrojen nüfuziyetinden dolayı krom oksit tabakasındaki krom miktarını artırıcı etkileri gözlemlenmiştir. Bu sebeplerden HOP yöntemini uygulamaya karar vermişlerdir. HOP yönteminde ilk olarak krom açısından zengin krom oksit tabakası sonrasında ise demir-nikel açısından zengin olan demir-nikel oksit tabakası alınmaktadır. Ardından 500 ppm konsantrasyonunda potasyum permanganat kullanılarak oksidasyon gerçekleştirilmekte indirgenmede ise 200 ppm civarından oksalik asit kullanılmaktadır. Dekontamine edilecek malzemeye bağlı olmakla birlikte DF 3 ile 20 arasında değişmektedir (EC- CND , 2009).

1.2.2.3 NPOX

NPOX, kimyasal olarak CORD yöntemine benzemekle birlikte diğer dekontaminasyon uygulamalarının karışımı olarak da düşünülebilir. Çözelti olarak nitrik asit, potasyum permanganat, oksalik asit ve hidrojen peroksit kullanılmaktadır. Ayrıca sistem uzaktan yönetilmekle birlikte ultrasonik banyo içerisinde gerçekleştirilebilmektedir. Archibald ve diğerleri (WM SYMPOSIA, 2002), zirkonyum oksit ve sezyum içeren Simule Kontaminasyon (**SIMCON-Simulated Contamination**) çelik kuponları ile yapmış olduğu çalışmada ultrasonik banyo kullanılmadığı durumda %95 sezyum ve %80 oranında zirkonyum miktarlarında azalma olduğunu farketmişlerdir. Fakat ultrasonik kullanımı

sonrası hem zirkonyum hem de sezyum'da %100 azalma gerçekleştiğini gözlemlemiştir. Ayrıca Tablo 3'de gerçekleştirilen yöntemler ve bunların sezyum ve zirkonyum miktarlarındaki azalmalara olan etkisi gösterilmiştir.

Tablo 3: Dekontaminasyon karşılaştırması

Teknik	% Azalma	
	Cs	Zr
NPOX + Ultrasonik Banyo	%100	%100
NPOX	%95	%80
Sıcak su	%72	%17
Raspa	%100	%100
Alkali Permanganat	%60	%29
Nitrik/Oksalik	%50	%20
Nitrik permanganat	%60	%12

(WM SYMPOSIA, 2002)

1.2.2.4 CANDEREM-CANDECON

CANDECON ve CAN-DEREM yöntemleri Atom Enerjisi Kanada Limited (**AECL-Atomic Energy Canada Limited**) tarafından geliştirilmiştir. Başlangıç olarak Kanada Döteryum-Uranyum Reaktörü (**CANDU-Canada Deuterium-Uranium reactor**) için düşünülmüş olsa da daha sonra BWR ve PWR içinde uygulama alanı bulmuştur. Kimyasal olarak LND-101A isimli EDTA, sitrik asit ve oksalik asit karışımı kullanılmaktadır. 85-125°C sıcaklıklarda ve 2,7-2,8 pH değerlerinde uygulanmaktadır. Geliştirmeler sonucunda ferrik iyonun korozyon önleyici özelliklere sahip olmasından ötürü 50-500 ppm arasında ferrik iyon da çözeltiye eklenmektedir. CAN-DEREM uygulamasının CAN-DECON uygulamasından tek farkı oksalik asit kullanılmamasıdır. Çünkü araştırmalar sonucunda oksalik asit kullanımının bazı hassas paslanmaz çelik malzemelerde taneler arası gerilimli korozyon çatlaklarına neden olduğu gözlemlenmiştir (EC- CND , 2009).

Bu prosesler CORD yönteminin aksine ABD’de kullanılabilir. Ortalama DF elde edilmekle birlikte oksidasyon öncesi uygulama adımlarından dolayı ikincil atıklarda problemler oluşabilmektedir.

1.2.2.5 EMMAC

EMMAC yöntemi oksitlenme ve indirgenme adımlarından oluşmaktadır. Kullanım alanları olarak buhar jeneratörlerinin yenilenmesi veya birincil devre pompalarının hidrolik parçalarının dekontaminasyonu gösterilebilir. Sıcak ayağın doz azaltılmasında DF, 50-70 civarında iken soğuk ayağın aktivitesinin düşürülmesinde bu sayı 60 civarındadır. Sistem birincil devre borularında kullanılan paslanmaz çelik parçalarının dekontaminasyon uygulamaları için özelleştirilmiştir. Ayrıca Fransa’da yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun en önemli sebebi olarak prosesin malzeme ve kontaminasyona özel olması ayrıca oluşan atıkların nükleer santrallerdeki atık sistemi ile uyumlu olması gösterilebilir (NEA, 1998).

1.2.2.6 PWR’ler için LOMI

LOMI yöntemi 1980’lerde Elektrik Gücü Araştırma Enstitüsü (*EPRI-Electric Power Research Institute*) tarafından geliştirilmiştir. Bu prosesden önce kullanılan diğer yöntemlerde oksalik-sitrik asit veya düşük konsantrasyonlarda kompleks organik asit kullanılmaktaydı. Bunların en büyük dezavantajı çok fazla hacimlerde ikincil radyoaktif atık oluşturmalarıdır. Bu yüzden LOMI yöntemi geliştirilmiş ve ikincil atık miktarı daha düşük seviyelere indirilmiştir. LOMI kullanımının en önemli avantajları daha etkili olması, az miktarda ikincil atık oluşturmaları ve korozyon problemlerini azaltması olarak düşünülebilir (NEA, 1998).

1.2.2.7 CONAP

CONAP yöntemi “Westinghouse” firması tarafından geliştirilen dört adımlı dekontaminasyon yöntemidir. İlk adımda, kontaminasyon yüzeyinin alkali ile işlenip daha sonra ise potasyum permanganat ile oksitlendirme işlemi gerçekleştirilmektedir. Ardından uygun kompleksanlar ile oksitlerin çözünmesi ve kompleks yapılar oluşturma işlemi uygulanmaktadır. En son olarak da dekontamine parçanın yüzeyinde olan proses çözeltilerinin arındırılması işlemi gerçekleştirilmektedir. Birincil devre soğutma parçalarında yapılan denemelerde DF 10 binin üzerinde çıkmaktadır.

İngiltere’de yer alan “Tihange-1” reaktöründe gerçekleştirilen geliştirmelerden sonra çok fazla kontamine olmuş paslanmaz çelik borular ortaya çıkmıştır. Bunların dekontaminasyonu için CONAP prosesi kullanılmıştır. Sonuç olarak çok düşük miktarlarda ikincil atık çıkmış, ayrıca çok düşük aktivite seviyelerine ulaşılabilmıştir. Kullanılan malzemelerin değerli olmalarından ötürü genellikle geri dönüşüm amacı ile dekontaminasyon yapılmaktadır. CONAP prosesi de geri dönüşüm için daha sonra yapılacak fabrikada eritme yöntemleri ile uyumlu olması diğer bir avantajı olarak görölmektedir. “Tihange-1” reaktöründen çıkarılan paslanmaz çelikler de CONAP ile dekontamine edildikten sonra eritme ve yeniden işleme yöntemleri uygulanıp yeniden kullanılmak üzere tekrardan santrale geri gönderilmiştir (Hebrant, 1989).

1.2.2.8 TURCO

TURCO metodu ticari bir metot olarak Cincinnati, Ohio’da yer alan “Turco” şirketi altında kullanılmaktadır. Kimyasal olarak nükleer endüstride yaygın olarak kullanılan alkali potasyum permanganat kimyasalı içermektedir. Bu kimyasal, güçlü bazik ve oksitleyici kimyasallardan; sodyum hidroksit veya potasyum hidroksit (%5-20) ve potasyum permanganat (%1-5)’dan oluşmaktadır.

TURCO 4502 isimli SIMCON test kuponlarının dekontaminasyon uygulaması için test edilmiştir. Sonuçlar bu çözeltinin sezyumda etkili olduğunu fakat zirkonyumun azaltılmasında başarısız olduğunu göstermiştir. TURCO firmasının geliştirdiği diğer dekontaminasyon çözeltileri (TURCO 4501, 4502, 4513, 4518, Decon Sac) ile paslanmaz çeliklerde (304, 321, A106) sezyum 137 aktivitesinin azaltılmasına yönelik başka bir çalışma gerçekleştirilmiş ve DF’nin sıcaklıkla değiştiği ve ortalama sıcaklıklarda çok yüksek DF elde edildiği gözlemlenmiştir (WINCO, 1994).

1.2.2.9 Diğer kimyasal prosesler

Anlatılan kimyasal dekontaminasyon yöntemlerin dışında literatürde uygulanan daha birçok başka proses de bulunmaktadır. Bunlara örnek olarak köpük dekontaminasyonu, kimyasal jeller, yapıştırıcı ve gaz ile yapılan dekontaminasyon uygulamaları örnek olarak gösterilebilir.

Köpük dekontaminasyonunda, temizleyici kimyasal olarak deterjan veya diğer yüzey ıslatıcı ajanlar kullanılmaktadır. Birçok metalik ve kompleks parçaların dekontaminasyonunda etkili olarak kullanılmaktadır. En büyük avantajı büyük ve kompleks yapıdaki ekipmanlar için verimli şekilde kullanılabilmesi, özellikle sökölme işlemi öncesi bulaşabilen kontaminasyonun alınmasında etkili olması ve de çok düşük hacimlerde ikincil atık çıkarmasıdır. Ayrıca uzaktan uygulanabilmesi de operatörün güvenliği açısından avantajlı görölmektedir. Prosesin etkili olmasında birçok parametre bulunmakla beraber en büyük dezavantajı olarak düşük DF'ye sahip olmasıdır.

Kimyasal jel kullanılan dekontaminasyon da ise köpük dekontaminasyonun da olduğu gibi büyük parçalar etkili bir şekilde dekontamine edilebildiği gibi düşük hacimlerde ikincil hacim oluşmaktadır. Uzaktan uygulanabilme özelliğine sahip ve de yüksek DF'ler elde edilebilmektedir. Örneğin; aşağıda verilen prosedür soğutucu karbondioksit taşıyan borularda ve ferritik çelik tipi borularda uygulama adımları verilmiştir (NEA, 1998):

- Soda jel sprey,
- 30 dakika etki süresi,
- Durulama,
- Asit jel sprey uygulaması,
- 30-60 dakika durulama.

Uygulanan prosedür/test sonucuna göre jel sprey yöntemi ferritik demir malzemesinde ve basit geometrideki borularda etkili olmakta, düşük hacimlerde ikincil atık ortaya çıkarmaktadır.

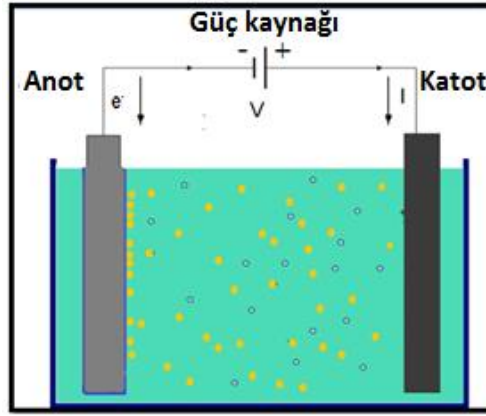
1.3 Elektrokimyasal Dekontaminasyon

Elektrokimyasal reaksiyonlar REDOX reaksiyonlarıdır. Burada indirgenen elektron vericisi, yükseltgenen ise elektron alıcısıdır. Ayrıca yükseltgenmenin gerçekteştiği elektrota “anot” indirgenmenin gerçekteştiği elektrota ise “katot” denilmektedir.

Elektrokimyasal uygulamalar endüstride çok yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Özellikle yüzeylere yapılan kaplama, elektrolitik parlatma, elektrokimyasal şekil verme en önemli uygulamaları olarak gösterilebilir.

Elektroliz yöntemi ile kaplama ya da elektrokaplama olarak bilinen yöntem, pil gibi doğrudan akım desteği sağlayan harici bir ünitenin verdiği elektrik akımı sonucunda bu elektrolitin kimyasal olarak değişime uğramasıdır. Bunun sonucunda kaplama malzemesi olarak kullanılacak olan metal, çözelti içerisindeki metal iyonları aracılığıyla anot üzerine kaplanmaktadır. Bu sayede de bu yöntemin uygulandığı hedef nesne, anodu oluşturmuş olan ince bir metal tabakası ile kaplanmış olur. Ayrıca bazı uygulamalarda anot malzemesi olarak çözünmeyen malzeme (platin, altın, vb.) kullanılıp kaplanacak malzeme çözelti içerisinde hazır olarak bulundurulmaktadır. Örnek bir kaplama hücresi **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'de gösterilmiştir.

Şekil 4: Elektrolitik bir hücrenin şematik gösterimi



Elektrolitik işleme veya elektroparlatma, kaplama işleminin tam tersi olarak metalik bir cismin yüzeyinden metalin elektrolitik bir biçimde uzaklaştırıldığı kimyasal bir yüzey sonlama tekniğidir. Elektroparlatma işlemindeki başlıca amaç yüzeydeki pürüzlülüğü en aza indirmek böylelikle parlak bir yüzey elde etmektir. Ayrıca yüzeyde kir ve atıkların birikmesi riskini önemli ölçüde azaltıp, yüzeyin temizlenebilirliğini de iyileştirmektedir. Elektrolitik işleme ise elektroparlatma tekniği kullanıp yüzeyden metal koparma tekniği ile metal ve malzemelere şekil verebilmeye dayanmaktadır. Çok hassas ölçülerde işlemler elektroişleme tekniği ile kolayca gerçekleştirilebilmektedir.

Gerçekleştirilen uygulamalar malzemeyle uyumlu elektrolit çözeltisi içerisinde gerçekleştirilmektedir. İşlem sırasında elektrik akımı kullanıldığında yapılan uygulama elektrokimyasal, elektrik akımı kullanılmadığı durumlarda ise kimyasal temizlik adını almaktadır.

Elektrokimyasal dekontaminasyon, elektrik yardımı ile ekipman veya parçaların kimyasal olarak dekontaminasyon işleminin genel adıdır. Elektrokaplamanın tam tersi olan bu proses endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır.

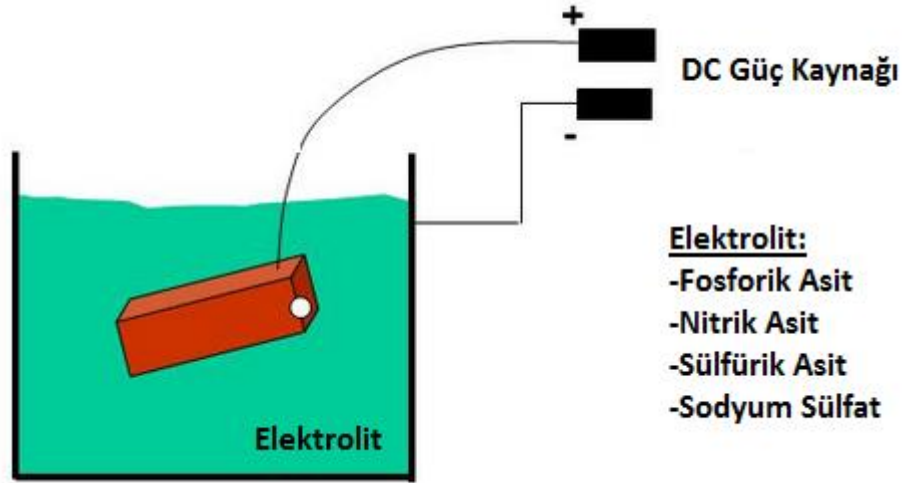
Elektrokimyasal dekontaminasyon işlemi aynı zamanda bir anodik çözündürme tekniğidir. Dekontamine edilecek malzeme anot yapılmakta, katot olarak ise paslanmaz çelik veya bakır kullanılmaktadır. Bazı uygulamalarda dekontaminasyon tankının kendisi katot görevi görmektedir. Dekontaminasyon işlemi süresince yüzeyden kontrollü olarak metal çözünmektedir. Bu yöntem günümüzde paslanmaz çelik gibi malzemelerde yüzey düzleştirme ve parlatma işlemlerinde de kullanılmaktadır. Ayrıca elektrokimyasal proses korozyona olan direnci artırmakta ve daha sonra yapılacak olan dekontaminasyonu kolaylaştırmaktadır. Elektrokimyasal dekontaminasyon yapılacak malzemelerin yeniden kullanılması gerektiği durumlarda, yüzey özellikleri önemli hale gelmekte ve pürüzlülükte iyileşmeler yapılması gerekmektedir. Fakat parça hurdaya ayrılacak bir parça ise yüzey pürüzlülüğünden ziyade ikincil atık miktarları önemli hale gelmektedir.

Elektirik kullanılmasından ötürü dekontaminasyonu gerçekleştirilecek parçanın iletken olması gerekmektedir. Bunlar paslanmaz çelik, bakır alüminyum, kurşun veya molibden olabilir. Çok verimli ve DF'ye sahip uygulamalardır.

Elektrokimyasal dekontaminasyon uygulamalarında çok farklı parametreler bulunmaktadır. Bunlar elektrolit çözeltisi, sıcaklık, elektrot potansiyelleri, akım yoğunluğu, çözelti karıştırma gibi parametrelerdir. Elektrokimyasal işlem uygulanmadan önce malzeme yüzeyinin elektrik akımını iletmesindeki engellerden yağ, kir, pas gibi yalıtkanlar temizlenmeli daha sonra işlem uygulanmalıdır.

Çözelti olarak genellikle fosforik asit bazlı çözeltiler kullanılmaktadır. Bu fosforik asidin stabil, güvenli ve birçok alaşım sistemi ile uyumlu çalışmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca fosforik asidin kolayca kompleks yapı oluşturması çözeltilerden kolayca temizlenmesine imkân vermektedir. Fosforik asit dışında nitrik asit ve sodyum sülfat elektrolitleri de kullanılabilir. Özellikle kaynak bölgelerin dekontaminasyonunda nitrik asit kullanımı verimli sonuçlar vermekte fakat bazı uygulamalarda hidrojen ve azot gazı çıkışına sebep olmaktadır. Ayrıca nitrik asit karbon çeliklerinde kullanılmamakta bunun sebebi ise patlama ve yangına sebep olmasından kaynaklanmaktadır.

Şekil 5: Elektrolitik temizlemenin şematik gösterimi



Literatürde yaygın olarak bulunan elektrokimyasal dekontaminasyon uygulamalarına ait parametreler aşağıdaki gibidir (NEA, 1998):

- Akım yoğunluğu: 0,25-0,6 A/cm²
- Voltaj: 3-8 V
- Sıcaklık: 20-90°C

Avantajları

- Endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır.
- Kullanılan ekipmanlar fiyat olarak ucuzdur.
- Basit bir prosestir.
- Bütün radyonuklidler başarılı bir şekilde temizlenebilmektedir (plütonyum, uranyum, radyum, kobalt, stransiyum, sezyum, amerisyum DF>100).
- Elektrokimyasal dekontaminasyon sonrası düzgün ve düşük pürüzlülükte yüzeyler oluşmaktadır.
- Malzemenin kalınlığında çok büyük değişimler olmamaktadır.
- Prosesin uygulanması için gerekli hacimler kimyasal dekontaminasyon tekniklere göre daha düşüktür.

Dezavantajları

- Parçanın elektrokimyasal olarak dekontamine olabilmesi için sökölmesi gerekmektedir.
- Parçanın geometrisi hazırlanacak banyonun boyutları için önemlidir.
- Yalıtkan malzemeler yüzeyden temizlenmelidir.
- Özellikle boru içlerinde kalan saklı parçaların dekontaminasyonu zorlaşmaktadır.
- Parçaların sökölmesinden dolayı oluşan ekstra iş çalışanlar için zorluk çıkarmaktadır.
- Çözeltinin değıştirilmesi gereğı: Özellikle fosforik asit kullanımında çözeltide çözölmiş demir birikmektedir ve bu 100g/dm³ değeriini geçtiğı andan itibaren demir fosfat çökeltileri oluşmaktadır. Bu yüzden bu oluşumu engellemek adına çözelti ara ara değıştirilmeli veya yenilenmelidir.

1.3.1 Fosforik asit

Fosforik asit bazlı elektrokimyasal dekontaminasyon uygulamaları için kullanılan genel parametreler aşğıdaki gibidir:

- Konsantrasyonu: %40-80 hacim
- Çalışma sıcaklığı: 40-80°C
- Potansiyel fark: 8-12 V
- Akım yoğunluğu: 60-500 mA/cm²

Fosforik asit bazlı prosesler karbon çelikleri ve paslanmaz çelikler için yaygın olarak kullanılmaktadır.

Almanya'da yer alan Gundremmingen Nükleer Santrali'nin (BWR-250MWe) ferritik çelik parçaları için fosforik asit kullanılarak elektrokimyasal dekontaminasyonu gerçekleştirilmiştir. Parçalarda %100 seviyesinde dekontaminasyon başarılmış olup parçalar üzerindeki kontaminasyonun tamamen alınabilmesi için 100 ile 500 µm kalınlıklarda azalmalar gerçekleştirilmiştir (EC- CND , 2009).

Şekil 6: Fosforik asit banyosunda elektrokimyasal dekontaminasyon işlemi



(Boing, 2006)

Gundremmingen Nükleer Santrali parçaları için dekontaminasyon uygulaması 3 m³'lük iki adet tank içerisinde ve 100 ile 400 mA/cm² akım yoğunluklarında iki saat boyunca gerçekleştirilmiştir. Solüsyonda çözünme sonrası oluşan demir iyonları 100g/l değerini geçtiği durumlarda demir oksalat bileşiği oluşmakta ve buda ⁶⁰Co aktivitesi içermektedir. Bu değerden sonra devam edildiğinde çözeltinin verimi düşmekte ve aktivitesi yükselmektedir. Bunun için fosforik asit kullanılan elektrokimyasal dekontaminasyonunda aşağıdaki adımlar uygulanmaktadır (IAEA, 2000):

- Oksalik asit eklenerek ferrus oksalatın çökertilmesi gerçekleştirilmektedir. (⁶⁰Co çöktürmesi)
- Çözeltide kalan fosforik asit sedimasyon tekniği ile ayrıştırılıp daha sonra yeniden konsantre edilerek tekrar kullanılmaktadır.
- Son olarak da kobalt içeren demir oksalat piroliz tekniği ile 250°C sıcaklıkta demir oksite dönüştürülmektedir.

Proses, ferritik çelikler için çok etkilidir. Ancak ikincil atık olarak demir oksalat bileşiğinin oluşması ve bunun dönüştürülmesi işlemleri ekstra iş olarak ortaya çıkmaktadır. Boyalı çelik parçalar için işlemin elektrokimyasal olmasından ayrıca bir yüzey işlemi gerektirmektedir. Yüzeyde yer alan bu boyaın alınması işlemi kimyasal (NaOH) veya mekanik olarak gerçekleştirilmektedir. Son olarak elektrokimyasal dekontaminasyon işlemi hidrojen gazı

çıkışına sebep olmasından ötürü patlama veya yangın oluşma riskini en aza indirmek için uygun filtreleme sistemi kullanılmaktadır.

1.3.2 Nitrik asit

Paslanmaz çeliklerin dekontaminasyonu için geliştirilmiştir. Uygulama koşulları şu şekildedir (EC- CND , 2009):

- 1 M nitrik asit ortam sıcaklığında,
- Düşük akım yoğunluklarında 2-3 mA/cm²,
- Hidrojen gazı oluşumunu en aza indirmek için titanyum elektrot kullanımıdır.

Proseste dekontamine edilecek parçalar titanyum kafes içerisine konulmaktadır. 2 saatlik dekontaminasyon süresi sonunda 10.000 DF değerine ulaşmak mümkün olmaktadır. Malzeme yüzeyinde 0,5 µm kalınlık azalışı gerçekleşmekte ve dekontaminasyonu gerçekleştirilen her bir m² malzeme için 0,6 dm³ atık ortaya çıkmaktadır. Nitrik asit kullanımlı elektrokimyasal dekontaminasyon prosesi özellikle küçük boyutlu parçaların temizlenmesinde çok etkilidir. Ayrıca prosesin kolayca uygulanabilir olması ve malzemede daha derin noktalara nüfuz edebilmesi diğer bir avantajı olarak görülmektedir. Bir çalışmada plütonyum kontamine atık metalik parçaların dekontaminasyonunda elektrokimyasal nitrik asit banyosu kullanılmıştır. 2 M nitrik asit çözeltisi, 10 ile 30 A/cm² arasında değişen akım yoğunluklarında ortalama 2 saat dekontamine edilmiştir. Sonuç olarak paslanmaz çelikler için 16µm/h, boyasız ve kaplamasız ferritik çeliklerde 500 µ/h ve alüminyum alaşımlar için 20 µm/h erozyon oranları elde edilmiştir (EC- CND , 2009).

1.3.3 Sülfürik asit

Sülfürik asit kullanımlı elektrokimyasal dekontaminasyon prosesi reaktörlerin sökülmesi sonrasında ortaya çıkan paslanmaz çelik atıkların dekontaminasyonunda kullanılmak üzere geliştirilmiştir.

Prosesin karakteristik özellikleri aşağıdaki gibidir:

- %5 sülfürik asit konsantrasyonu,
- 60°C sıcaklık,
- Akım yoğunluğu 300-1000 mA/cm²'dir.

Prosesde başlangıç olarak 240µm/h erozyon oranları elde edilmiştir. Daha sonra, çözölmüş tuz konsantrasyonunun artması ve çözeltideki H⁺ iyonlarının çoğalması sonucu asiditenin düşmesine bağılı olarak erozyon oranı 60µm/h'lara kadar düşmektedir. Ayrıca akım verimliliğı de %40'lardan %20 seviyelerine inmektedir. Bunları engellemek adına banyodaki asidite, pH, değeri belirli bir seviyede sabitlenmektedir (IAEA, 1979b).

Belçika'da yer alan "BR3" reaktöründe yer alan yüksek kontaminasyonlu çelik parçalar için bazı testler gerçekleştirilmiştir. Sülfürik asit kullanım sonrası yüksek erozyon oranına (50mg/cm²) ve çok düşük kalıcı kontaminasyon seviyelerine ulaşılabilmiştir. Ayrıca bu test seryum kullanılan prosesler ile karşılaştırılmış ve malzemeyi aynı kalıcı kontaminasyon seviyelerine düşürebilmek için seryumlu proseslerde daha kalın katmanın kaldırılması gerektiğı sonucuna ulaşılmıştır.

1.3.4 Sodyum sülfat – ELDECON

"Toshiba" firması tarafından geliştirilmiş ve sodyum sülfat içerisinde gerçekleştirilen elektrokimyasal dekontaminasyon yöntemidir. Proses olarak anodik ve katodik elektrolizin birlikte gerçekleştirilmesi ile iki adımdan oluşan bir yöntemdir. Proses özellikle kalın oksit tabakasına sahip ferritik çelik parçalar için verimli bir şekilde kullanılabilir. İşletme koşulları aşağıdaki gibidir (Laraia, 2012):

- %20 sodyum sülfat,
- 20 V.

Çözönmüş demir çözelti içerisinde yüksek kobalt (⁶⁰Co) içeren demir hidroksit şeklinde bulunmaktadır. Çok fazla enerji harcanmasına rağmen (4000kWh/ton), çözelti verimi diğer banyolara oranla düşük seyretmektedir (%6). Fakat Toshiba'nın değeri temel alındığında çok düşük ikincil atık ortaya çıkmaktadır (10kg/ton) (Laraia, 2012).

Cr(VI) Elektrokimyasal İndirgenme Dekontaminasyonu (**ELDECON-Electrochemical Reduction of Cr(VI) Decontamination**) İsveç'de geliştirilen sodyum sülfat elektrolit kullanımına dayanan elektrokimyasal dekontaminasyon yöntemidir. Prosesin karakteristik özellikleri aşağıdaki gibidir (Laraia, 2012):

- %5 sodyum sülfat,
- Akım yoğunluğu, 100-600mA/cm²,

- pH = 7,
- Potansiyel fark, max 24 V,
- Süre, 15-60 dk.

Prosesin süresi, parça büyüklüğü ve kontaminasyon seviyesi ile orantılı olarak değişmektedir. Örneğin, 400mA/cm² akım yoğunluğunda 60µm/h erozyon seviyesinde dekontaminasyon mümkün olmaktadır. Ayrıca “ABB” firmasının ticari olarak geliştirdiği 1060x660x500 mm boyutlarındaki banyoda 600 kg’lık parçaların dekontaminasyonu kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir (Laraia, 2012).

1.4 Fiziksel Dekontaminasyon

Fiziksel veya mekanik dekontaminasyon, kimyasal dekontaminasyon uygulamalarına alternatif olarak veya birlikte her iki metodun da avantajını kullanarak gerçekleştirilen yüzeysel arındırma yöntemidir. Fiziksel dekontaminasyon iki farklı şekilde gerçekleştirilmektedir, yüzey temizliği ve yüzeyin koparılması şeklindedir. En önemli avantajı malzemenin cinsi veya yüzey özelliği farketmeksizin her türlü ekipman ve parça için kullanılabilir olmasıdır. Örneğin, yüksek poroziteli yüzeylere sahip parçalar için fiziksel dekontaminasyon tek çare olabilmektedir.

Fiziksel dekontaminasyonların iki önemli dezavantajı bulunmaktadır. Bunlardan birincisi uygulama yapılacak yüzeyin ulaşılabilir olmasıdır. İkincisi ise çok fazla toz ortaya çıkmakta bu hem kontaminasyonun yayılması açısından hem de çalışan operatörün sağlığı açısından risk teşkil etmektedir (Lawrence, tarih yok).

1.4.1 Ultrasonik temizlik

Fiziksel dekontaminasyon türlerinden en yaygın olarak kullanılanı ultrasonik temizlemedir. EPRI tarafından geliştirilen bu teknik, özellikle yakıt demetleri ve basit şekilli parçalar için kullanılmaktadır.

Ultrasonik temizleme, yüksek frekanslı ses dalgalarının sıvı dolu bir tankın içerisine uygulanması ile tank içindeki malzemenin kontaminasyondan arındırılması işlemidir. Ultrasonik enerjisi “kavitasyon” adı verilen etkiyi açığa çıkararak temizliğin gerçekleşmesini sağlar. Temizleme işlemi genellikle su içinde yapılır. Temizlenecek

malzemenin niteliğine ve kirlilik derecesine bağlı olarak çeşitli kimyasal maddeler suya ilave edilerek temizliğin etkinliği artırılır.

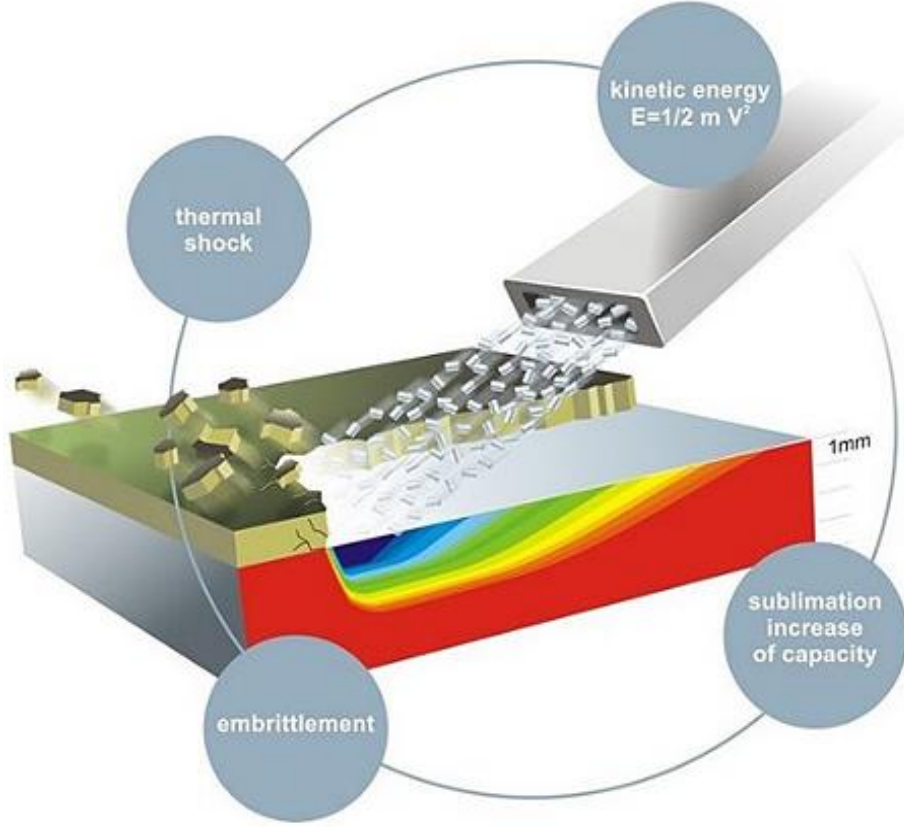
Ultrasonik banyo içerisindeki sıvıya mekanik enerji uygulayarak oluşturulan kavitasyon, sürekli olarak basınç-genişleme döngüsüne sokulan sıvı moleküllerinin oluşturduğu mikro ölçekteki baloncuklara verilen isimdir. Bu baloncuklar basınç ortadan kalktığı genişleme anında kendi içine çöker ve baloncuk içine doğru sıvı çok yüksek hızda hareket eder. Bu olay tank içine konulan materyalin yüzeyinde gerçekleştiğinde mikro seviyede çok hassas ve yoğun bir temizlik gerçekleşir. Materyalin yüzeyindeki yabancı maddeler fırçalama veya ovalamaya benzer bir etkiyle yüzeyden koparılarak uzaklaştırılır.

Callaway Nükleer Santrali'nde, 1999 yılında, 16 adet yakıt çubuğunun dekontaminasyonu için ultrasonik temizleme metodu kullanılmıştır. Temizleme sonrası yapılan ölçümlerde başlangıç aktivitesinin %86 oranında düşürüldüğü ve daha sonra hiç bir sıkıntı ile karşılaşılmadığı rapor edilmiştir. Daha sonra devam eden prosesde 96 çubuğun daha dekontaminasyonu gerçekleştirilmiş olup süre olarak 4 saat içerisinde bütün temizlik işleminin sonlandığı bildirilmiştir (Lawrence, tarih yok).

1.4.2 Karbondioksit buz uygulaması

Karbondioksit buz ile yapılan dekontaminasyonda 1-3 mm çaplarında değişen ve -38°C sıcaklıkta karbondioksit topları kullanılmaktadır. Bu toplar basınçlı hava ile hızlandırılıp (100-150 psi) yüzeye çarptırılarak, yüzeyde bulunan kontaminasyonun alınması prensibine dayanan dekontaminasyon yöntemidir (BS INNOCLEAN, tarih yok).

Şekil 7: Kuru buz dekontaminasyon prensibi



(BS INNOCLEAN, tarih yok)

Temel olarak üç adımlı mekanizmada gerçekleşmektedir. Bunlar:

1. Yüksek hızlı kuru buz toparlarının yüzeye çarpması ile birlikte yüzeyde bulunan kontaminasyon koparılıyor.
2. Kullanılan düşük sıcaklıktaki kuru buz yüzeyde termal fark yaratarak kontamine malzeme ile yüzey arasındaki bağların zayıflatılmasını sağlıyor.
3. Karbondioksitin buharlaşırken çok hızlı genişlemesi sebebi ile yüzeydeki kontaminasyon dışarı çekiliyor.

Bu yöntemin en büyük avantajı karbondioksitin hemen buharlaşmasından ötürü kontamine malzemenin tek başına yüzeyde kalması olarak görülmektedir. Bu sayede ikincil atık miktarında önemli oranda düşüşler sağlanmaktadır. Fakat karbondioksitin gaz olarak

buharlaşması sebebi ile ayrı bir filtreleme sistemi gerekmektedir. Ayrıca proses sırasında çok yüksek desibelde ses ortaya çıkmaktadır, bu yüzden dekontaminasyonu gerçekleştiren operatörün gerekli önlemi alması gerekmektedir. Bunlar prosesin maliyetini artırmakla birlikte diğerk yöntemlere oranla daha yavaş bir proses olmasına sebep olmaktadır.

1.4.3 Su buz uygulaması

Buz ile yapılan dekontaminasyon karbondioksit dekontaminasyon tekniğı ile çok benzerlik göstermektedir. Bu teknikte buz kristalleri sıkıştırılmış hava ile hızlandırılıp yüzey çarptırılmaktadır. Daha sonra buzun erimesi ile oluşan su, yüzeyden kopan kontaminasyonu hapsederek yayılmasını engellemektedir.

Bu teknik karbondioksit ile benzerlik gösterse de buzun erimesi sonucu kontaminasyonun suda hapsolmasıyla ikincil atık yönetimi daha kolaylaşmakta ayrıca buharlaşma olmadığı için ekstra havalandırma sistemine ihtiyaç duyulmamaktadır. Verimlilik olarak ise aralarında çok bir fark yoktur (NEA, 1998).

1.4.4 Yüksek basınçlı su

Basınçlı su ile yapılan dekontaminasyonda temel olarak yüksek sıcaklıkta ve yüksek basınçlarda su kullanılarak kontamine malzemenin yüzeyden temizlenmesi amaçlanmaktadır. Buradaki sıcaklık farkı kontamine yüzey ile dekontaminasyon çözeltili arasındaki kimyasal tepkimeleri hızlandırmakta ayrıca yüksek basınçlı suyun enerjisi ile de yüzeyden kontaminasyonun koparılması gerçekleştirilmektedir. İkincil atık miktarı az olmakla beraber kullanılan suyun sıcaklığı 50 ile 100°C arasında değişmektedir.

Basınçlı su kullanımı ile dekontaminasyon üç farklı şekilde gerçekleştirilmektedir (Boing, 2006):

Düşük basınçlı su jeti (50-150 bar)

Bu teknik genellikle yüksek kontaminasyonlu parçaların öncü dekontaminasyonunda veya sökülme sonrası ortaya çıkan parçaların dekontaminasyonunda kullanılmaktadır. Prosesin genel amacı dekontamine edilecek parçaların doz oranlarını 2 mSv/h değerinin altına düşürmektir. Özellikle havuz duvarlarında veya havuz içerisinde uzun süre beklemiş parçaların dekontaminasyonunda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Orta basınçlı su jeti (150-700 bar)

Orta basınçlı su jetinde düşük basınçta olduğu gibi genellikle asıl dekontaminasyon öncesi doz oranlarını düşürmek amaçlanmaktadır. Düşük basınca oranla penetrasyon derinliği daha fazla olmakla birlikte su akışı 60 ile 6000 litre/saat oranlarında değişmektedir. Ayrıca suyun içerisine çeşitli kimyasal eklentiler katılabileceği gibi sıcaklık 60°C civarlarında da kullanılabilir. Bu prosesin en büyük dezavantajı kontamine aresol oluşumu ve çok yüksek miktarlarda su harcanmasıdır.

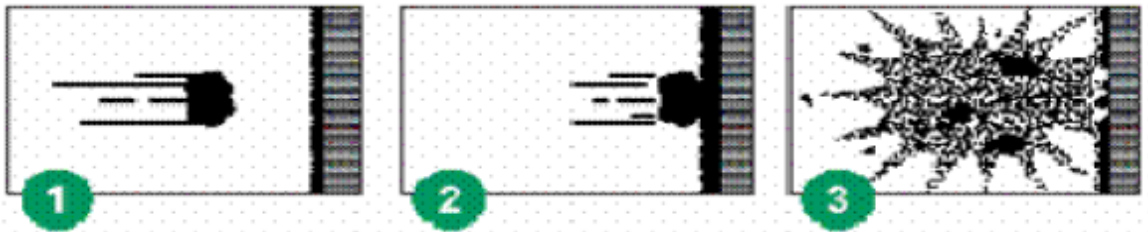
Yüksek basınçlı su jeti (>700 bar)

Bu basınçlarda su kullanımı ile metal malzemelerin kesimi de gerçekleştirilebilmektedir. Su basıncı 3000-4000 bara çıkabilmekte ve basınçlandırılan suyun hızı 900 m/s değerlerine ulaşmaktadır. Prosesin verimi diğerlerine oranla daha yüksek olmakla beraber daha fazla verim için suyun içerisine aşındırıcılar da katılabilmektedir.

1.4.5 Kuru ve yaş aşındırıcılar

Aşındırıcı içeren dekontaminasyon metodunda kuru veya yaş olarak kullanılan aşındırıcılar yüksek hızda yüzeye püskürtülmekte ve yüzeyden kontaminasyonun kopması ile birlikte aşındırıcı malzemenin yeniden kullanılması ile prosese devam edilmektedir. Yaş olarak kullanılan sistemlerde taşıyıcı olarak su, aşındırıcı malzeme ve basınç altında sıkıştırılmış hava kullanılmaktadır. Bu tür sistemler sökölme işlemleri sırasında büyük kontamine parçalar, boyalı metaller ve lokal kontamine olmuş ekipmanlar için etkili sonuçlar vermektedir. Kuru olarak gerçekleştirilen dekontaminasyonda ise taşıyıcı olarak sıkıştırılmış hava kullanılmaktadır (Boing, 2006).

Şekil 8: Aşındırıcının yüzey üzerindeki etkisi



(Boing, 2006)

Her iki teknikte de seçilen aşındırıcılar büyük önem arz etmektedir. Ayrıca aşındırıcı malzemelerin pahalı olması ve ikincil atık miktarının azaltılması açısından geri dönüştürülebilen ve proses sırasında az zarar gören aşındırıcıların kullanımı önemlidir. Bazı aşındırıcı malzeme çeşitleri aşağıdaki gibidir:

- Mineraller (magnetit veya kum),
- Çelik toprak veya alüminyum oksit,
- Silikon karbit veya seramikler,
- Plastik toprak,
- Doğal ürünlerdir (fındıkkağıdı vb.).

Kuru ve yaş aşındırıcı sistemler otomatik olarak da kullanılabilirler. Ayrıca proseslerde havalandırma sistemlerin özellikle de kuru aşındırıcı kullanıldığı durumlarda uygun filtreleme özelliklerine sahip olunması hem kontaminasyonun yayılması hem de çalışanların güvenliği açısından büyük önem arz etmektedir.

1.4.6 Fırçalama/Bileme

Bu teknik daha çok inşaat yapılarının dekontaminasyonunda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlara ekstra olarak bazı metal yüzeylerinin dekontaminasyonu için de uygulanabilmektedir. Genellikle aynı tip bir cihaz ile farklı fonksiyonlarda ve farklı tipte yüzeyler için dekontaminasyon gerçekleştirmek mümkün olmaktadır. Ayrıca endüstriyel uygulamalar içinde çok farklı boyutlarda ve değerlerde bileme ve parlatma malzemeleri bulunmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli nokta oluşan tozun çevreye yayılmaması için uygun havalandırma sistemlerinin kullanılmasıdır. Ayrıca çalışanlar uygun kıyafetler giymesi ve maske takması gerekmektedir (Boing, 2006).

1.4.7 Eritme

Nükleer santrallerin hizmet dışı kalması sonrasında büyük miktarlarda az kontamine olmuş metalik hurda üretilmektedir. Bu hurdalar sadece sökölme sonrası değil bakım veya ekipmanın değiştirilmesi sonucunda da ortaya çıkmaktadır. Bu atıkların büyük kısmı hacim olarak büyük, ısı eşanjörleri, buhar ayırıcı veya buhar jeneratörü gibi ekipmanlardan oluşmaktadır. Bu tip ekipmanlar tasarımları gereği paslanmaz çelik ve inkonel de dahil olmak üzere geri dönüştürülebilen değerli malzemelerden oluşmaktadırlar. Çok fazla

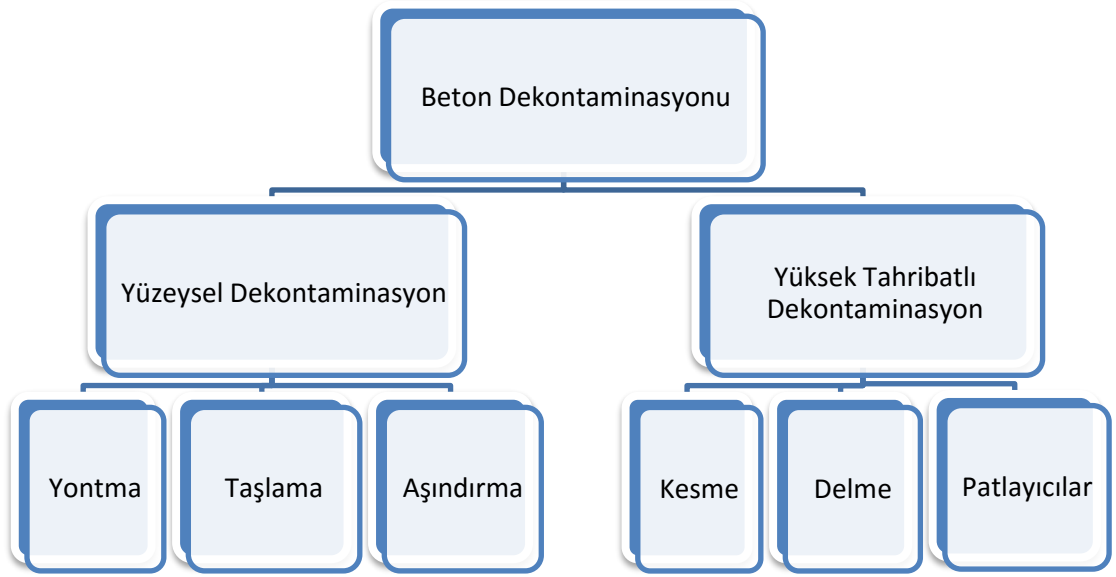
kontamine olmamış bu tip ekipman veya malzemeler eritilerek bu tip metallerin geri kazanımı mümkün olmaktadır. Ayrıca eritme sonrası bertaraf tesislerinde depolama için kullanılacak alan miktarlarını da azaltmada yardımcı olmaktadır. Ekipman parçaları genellikle karmaşık geometrilere sahiptir ve iç yüzeylerdeki radyoaktivitenin tam yerini ve seviyesini belirlemek oldukça zor, zaman alıcı ve pahalıdır. Ancak eritildikten sonra, radyoaktivite, her bir külçe örneğinden tam olarak belirlenebilmektedir.

Eritme işlemi bir dekontaminasyon tekniği olarak kontamine malzemedeki bileşenleri tamamen yok etmektedir. Dekontaminasyon verimliliği, mevcut radyoizotopa bağlı olarak geniş ölçüde değişmektedir. Erimiş materyalde kalan radyonüklitler homojen olarak dağılır ve etkili bir şekilde hareketsiz hale getirilerek kontaminasyonun yayılma olasılığı azaltılmaktadır. Bazı durumlarda, külçelerin çok aktif olduğu ve nihai bir depoya gönderilmesi gerektiğinde, eritmenin maksimum hacim azalması sağlaması ve dolayısıyla değerli depo kapasitesinin korunması eritme yönteminin diğer bir avantajı olarak görülmektedir.

1.5 Betonlu Yapılar için Dekontaminasyon

Betonlu yapıların dekontaminasyonunda genellikle yüzey temizleme teknikleri tercih edilmektedir. Yapılarda dekontaminasyon uygulanırken öncelikle gerekli hazırlık ve güvenlik önlemleri alınmaktadır. Yüzeyler engelsiz olması açısından her türlü boru ve destek parçaları sökülme işlemine tabi olmalı ve yapıdan uzaklaştırılmalıdır. Dekontaminasyon işlemi de fiziksel uygulamalarda olduğu gibi çok toz çıkartması sebebi ile kontaminasyonun yayılmaması açısından çalışma alanı vakum altına alınmaktadır. Ayrıca çevrede yangıcı ve patlayıcı malzemelerin olması durumunda gerekli önlemler alınmakta ve bunlar sahadan uzaklaştırılmaktadır.

Şekil 9: Betonlu yapıların dekontaminasyonunda uygulanan temel metotlar



1.5.1 Kelly prosesi

Konteyner Ürünleri şirketi (**CPC-Container Products Corporation**) tarafından pazarlanan Kelly Dekontaminasyon Sisteminde herhangi bir yüzeyden kontaminasyonu temizlemek için kızgın ve basınçlı (350 psi) bir su akımı ile birlikte çıkan atıkları toplamak için bir vakum sistemi kullanılmaktadır. Yıkama etkinliğini arttırmak için basınçlı su akımına bir deterjan eklenebilmektedir. Aşırı ısıtılmış su, elle tutulan bir püskürtme çubuğu veya bir dizi buharlı/vakumlu temizleme kafası yardımı ile yüzeye iletilir. Bu temizleme kafaları değişik boyutlarda olmakla birlikte farklı alanlarda kullanılmak üzere zemin aleti, elle tutulabilen duvar aleti, taşınabilir tavan ve spreyci aletlerinden oluşabilmektedir. Aşırı ısıtılmış su, hedef yüzeyi etkilediğinde buharlaşmaya başlar ve böylece kontaminasyonu yerinden çıkarır. Buhar/vakum temizleme kafası, kontamine olan buhar ve su damlacıklarını toplar ve bunlar yoğunlaştırıcı ve Yüksek Verimli Partikül Hava (**HEPA-High Efficiency Particulate Air**) filtresinden geçerek temizlenen hava atmosfere salınmakta ve kalan kontaminasyon ise vakum geri kazanım sisteminde toplanmaktadır (EPA, 2006).

Kelly Dekontaminasyon Sistemi, metaller, beton ve benzeri yüzeyler de dahil olmak üzere nükleer tesislerdeki genel alanların kapsamlı bir şekilde temizlenmesi ve dezenfekte edilmesi için tasarlanmıştır. Ticari nükleer sektörde öncelikle odaların, havuz duvarlarının, büyük parçaların, duvarlar ve zeminler gibi diğer büyük ve/veya pürüzsüz yüzeylerin

dekontaminasyonunda geniş bir kullanım alanına sahiptir. Sistemin buhar/vakum temizleme kafaları, düzensiz şekilli nesneleri temizlemek için uygun olmamakla birlikte geniş ve düz yüzeylerin kapsamlı bir şekilde yıkanması ve dekontaminasyonu için daha uygundur. Püskürtme çubuğu pürüzsüz yüzeylerde yüksek manevra kabiliyetine sahip olsa bile Kelly Dekontaminasyon Sisteminin sunduğu en büyük avantaj olan atıkların aynı anda toplanması ile havadan bulaşma ve işçilerin sağlığı için risk değerlerini ortadan kaldırmaktadır.

1.5.2 Yontma

Elektrohidrolik pürüzlendirme (**EHP**), düşük sürelerde (mikrosaniye), yüksek akım (on binlerce amper) ve yüksek voltaj (on binlerce volt) kullanılarak beton yüzeyi üzerinde iki elektrot arasında plazma kabarcığı oluşturmak ve yaratılan şok dalgası ile de beton yüzeylerde yer alan kontaminasyonun sıyrılması amacıyla kullanılmaktadır. Beton yüzeyin yakınına yerleştirilen elektrotlar arasında ve ince bir su tabakası altında saniyede birkaç vuruş oranında tekrarlanan bir dizi deşarj meydana getirilmektedir. Su, beton katmanlarının çatlayıp soyulması için şok ve kavitasyon dalgalarını aktaran bir araç görevi görür. Ayrıca kullanılan su, beton yüzeyin üstünde hava dalgası oluşmasını engeller ve hava kirliliğini ortadan kaldırmaktadır (Pettit, 2004).

EHP prosesi, çok az ikincil atık üreten hızlı ve kontrol edilebilir bir beton dekontaminasyon tekniğidir. EHP'de su tüketimi, geleneksel yüksek basınçlı, su jetli dekontaminasyon tekniklerinden daha düşüktür. Darbenin enerjisini, darbenin profilini ve belirli bir yerde toplam atım sayısını değiştirerek, dekontaminasyon derinliği kontrol edilebilmektedir (Pettit, 2004).

EHP, kirlenmiş beton zeminler, duvarlar veya tavanların dekontaminasyonunda kullanılmaktadır. Avantajları arasında şunlar bulunur (NETL, 1997):

- Tek pasolu derin tarama,
- Atık miktarlarının azaltılması,
- Hava ve havadaki partiküllerden gelen sağlık ve çevresel tehlikelerin azaltılması,
- Daha düşük enerji tüketimi nedeniyle maliyetin düşürülmesi,
- Daha yüksek işleme oranları,
- Düşük işgücü gereksinimleri,

- Düşük atık bertaraf etme maliyetleri.

1.5.3 Beton taşlama

Beton taşlama makinesi, beton yüzeyleri dekontamine etmek ve temizlemek için bir elmas taşlama çarkı kullanmaktadır. Hafif el tipi cihaz, düz veya hafif kavisli yüzeylere uygulandığında pürüzsüz bir yüzey oluşturur, az titreşim üretir ve bir yardımcı vakum sistemi ile öğütme işlemiyle oluşan tozları etkili bir şekilde gidermektedir (DOE, 1998).

Şekil 10: Beton taşlama işlemi



(Boing, 2006)

Dairesel bir hareketle kullanıldığında, 1,5 ile 3 milimetre derinliğinde beton yüzeyleri hızla taşlanmaktadır. Öğütücü kullanımında vakum filtrasyon sistemi gerekli olduğundan işlem yapılan alan toz toplama örtüsü ile kapalı olup burada toplanan tozlar vakum sistemi aracılığı ile HEPA filtrelerinden geçerek depolanma alanında tutulmaktadır. Elmas taşlama çarkında bulunan harici örtü delikleri sayesinde çalışan bıçakların soğutulmasına izin verilmektedir. Bu teknolojinin betonun dekontaminasyon ve sıyırma işlemleri için etkili olmasının yanı sıra tek bir kişi işlemi kolaylıkla gerçekleştirebilmektedir. Ayrıca benzer teknolojilere kıyasla hızlı ve kullanımı kolaydır.

Beton taşlama genellikle beton yüzeylerin genel dekontaminasyonunda veya beton yüzeylerin sıcak nokta dekontaminasyonlarında kullanılmaktadır. Beton taşlama, düz veya hafif kavisli beton yüzeylerin, özellikle zeminlerin ve duvarların kir dekontaminasyonu için

kullanılabilmektedir. Bu yüzeyleri 3 ila 40°C arasında değişen ortam sıcaklıklarında 1,5 ila 3 milimetrelik derinliklerde arındırabilmektedir.

1.5.4 Beton tıraşlama

Beton tıraş makinesi, beton zeminlerdeki kontaminasyonu giderebilen elektrikle çalışan kendinden tahrikli bir cihazdır. Geleneksel elle itilen, çok pistonlu pnömatik tıraş makinesine avantajlı bir alternatif olarak kabul edilmektedir.

Beton tıraşlama makinesinde kesme işlemi için kullanılan elmasların gömülü olduğu bir tambur bulunmaktadır. Örneğin Marcris patentli modelde makine 25 cm uzunluğunda, 12 cm genişliğinde ve 5 cm çaplarında tıraş tamburu üzerine elmas içeren bıçaklar takılmıştır. Buradaki bıçak sayıları dekontamine edilecek yüzey ölçütlerine bağlıdır. Bıçakları tambur üzerine monte etme tasarımı düşük titreşim seviyelerine neden olmaktadır.

Beton yüzeylerin genel dekontaminasyonunda, zeminde geniş alanlarda veya "sıcak noktalar" denilen bölgelerde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Kontaminasyonda ve boyalarda etkili olmakla birlikte düzlemsel veya hafif kavisli beton zeminlerin ve döşemelerin dekontaminasyonunda kullanılabilmektedirler. Kendinden tahrikli, elektrikle çalışan beton tıraş özellikle geniş, düz ve açık alanlarda kullanışlıdır. Beton tıraş makinesinin fiziksel boyutu ve geometrisi nedeniyle, çok küçük beton zeminler ve döşeme levhaları veya önemli miktarda engelli olan alanlar için uygun değildirler (EPA, 2006).

1.5.5 Kumlama

Kum püskürtme, aşındırıcı parçacıkların pnömatik olarak hızlandırıldığı ve bir yüzeyin üzerine kuvvetle yönlendirildiği bir işlemdir. Bu yüksek hızdaki parçacıklar, bir yüzeyden kirleticilerin çıkarılması ve yüzeyin dekontaminasyonu amaçlı kullanılmaktadırlar.

Tipik kum püskürtme uygulamaları arasında şunlar bulunmaktadır (DOE, 1994):

- Termal püskürtme, boyama, yapıştırma veya diğer kaplama işlemleri için hazırlanan pürüzlendirme yüzeyleri,
- Pas, pul, kum veya boya çıkarma,
- Çapakların giderilmesi,
- Mat yüzey oluşturma,

- Flaşın kalıplanmış parçalardan çıkarılması,
- Kozmetik yüzey düzeltilmesi veya dağlama işlemi.

Aşındırıcı parçacıkları bir yüzeye çarptırmak, metal ve beton yüzeylerinden oksitleri ve diğer yüzey kirleticilerini temizleme, kireç çözme, çapak alma ve uzaklaştırma için etkili bir araçtır. Kum püskürtme, zeminler ve duvarlar gibi açık yüzeylerde ve makine parçaları gibi düzensiz şekilli yüzeylerde kullanılmaktadırlar. Püskürtme işleminin etkinliği kullanılan aşındırıcı, sağlanan kuvvet, hedeflenen malzeme ve yüzey özelliklerine bağlı olarak değişmektedir (NEA, 1998).

1.5.6 Kesme işlemi

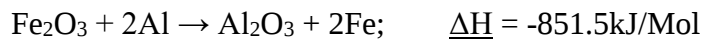
Betonlu yapıların dekontaminasyonunda uygulanan kesme işlemi, belirli miktarda betonun bölümlerini kesip çıkararak bunların ek dekontaminasyon uygulamalarına olanak sağlamak amacı ile gerçekleştirilmektedir. Kesme işleminde kullanılan teknikler ve hedeflerden bazıları şunlardır:

- Kısımların giderilmesi: Her bölümün kontamine olan alanları çıkarıldıktan sonra kalan kısmın temiz kalmasına izin veren dekontaminasyon.
- Belirlenen alanların sökülmesi: Büyük yüzeyler tamamen kirlenmemelidir; bu nedenle, sadece etkilenen alanların kaldırılması gereklidir.
- Kirlenmiş bölgelere erişimi kısıtlayan bölümlerin çıkarılması: Seçici kesme, çapraz kontaminasyon olmaksızın bu yapıların düzgün bir şekilde çıkarılmasına izin verir.

Betonun kesilmesi için temel teknikler aşağıdaki bölümlerde açıklanmaktadır.

1.5.6.1 Alev kesici

Betonun alevle kesilmesi işlemi, oksijen yardımı ile demir ve alüminyum tozlarından oluşan bir karışımının oksitlendiği bir termit reaksiyon işlemidir. Jet alev sıcaklığı (~8900°C) betonun hızlı ayrışmasına neden olur. Oluşan erimiş beton, kesiti temiz tutarak, jet kütle akış oranı ile kesme noktasından atılmaktadır. Alev kesme yönteminin en büyük dezavantajı, büyük miktarda ısı, duman ve zehirli gaz üretmesidir.



1.5.6.2 Testereleme

Motorla çalışan elmas veya karbür bıçaklı testereleler, zeminler veya duvarların dekontaminasyonunda kesme işlemi için kullanılmaktadırlar. Bıçaklar, kesime dik açı yapacak olursa, inşaat demirini kesme özelliğine sahiptirler. Yaygın olarak kullanılan çoğu beton testeresi, raylı olarak monte edilir ve manuel olarak çalıştırılırlar; bununla birlikte, yeni teknolojiler uzaktan çalıştırılan sistemleri de mümkün kılmaktadır. Normal kesme kalınlığı bıçağın çapının yaklaşık 1/3'ü kadardır ve yaklaşık 1 metre maksimum kalınlıktaki betonları kesebilmektedirler. Çoğu beton testere bıçağı ısınmayı önlemek için suyla soğutulduğundan, burada oluşan su, ikincil atık olarak ortaya çıkmaktadır. Ayrıca ortaya çıkan toz veya metal parçacıkları da havadaki kirlenmeyle oluşan ikincil atık olarak değerlendirilmektedir.

1.5.6.3 Patlayıcı ile kesme işlemi

Metal ve beton parçalarının kesilmesinde kullanılan bu yöntem normalde istenilen geometrik şekilde ve boyutlarda parçaları kesmek için patlayıcı kullanılmasına dayanmaktadır. Kurşun, alüminyum bakır veya gümüş bir muhafaza içinde bulunan patlayıcının patlaması ile oluşan şok dalgaları ile hedeflenen malzemede kesim işlemi gerçekleştirilmektedir.

Lisanslı bir operatör tarafından yapılması gereken patlayıcı kesme, 15 cm'den daha kalın malzemelerde havada ve su altında yapılmaktadır. Patlama çevresindeki yapıların yapısal bütünlüğünü etkileyebileceğinden veya kontrol edilemeyen radyoaktif materyal yayılımı üretebileceğinden kullanım alanı sınırlıdır. Bu nedenle, diğer kesme yöntemlerinin pratik olmadığı veya erişimin sınırlı olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Oluşacak gürültü, duman ve enkaz ürünlerinden dolayı uzaktan kontrol edilmesi gerekmektedir.

1.5.6.4 Elmas tel ile kesme

Elmas tel ile kesme işlemi genellikle betonarme monolitlerin kesilmesi işlemleri için kullanılmaktadır. Kullanılan telin boyut ve uzunluğu uygulamaya bağlı olarak değişmektedir. Normalde 1 veya 1,5 cm çapındaki tel ile 2 ile 3 metre/saat kesme hızına sahiptirler. Bu teknik de 1 metre elmas tel başına yaklaşık 1 m² beton kesilebilmektedir.

Şekil 11: Elmas tel ile kesme işlemi



(Boing, 2006)

Elmas tel, kesme sırasında su soğutmalı olmalıdır; su, kesimden çıkan pisliğin temizlenmesi için de kullanılmaktadır. İkincil bir atık olan su, genellikle dakikada 10 ila 15 litre mertebelerinde üretilmektedir. Havadaki kirlilik, soğutma suyu ve içerdiği toz periyodik olarak temizlendiği sürece azdır.

1.5.6.5 Aşındırıcılı su jeti ile kesme

Aşındırıcılı su jeti ile kesme sistemi, yüksek hızdaki bir su jeti yardımı ile büyük beton parçaları kesmek için kullanılmaktadır. 1,5 m/saate kadar kesim hızlarına ulaşan sistem, bir yoğunlaştırıcı pompa, bir nozul ve bir aşındırıcı besleme sisteminden oluşur. Uzaktan kumandaya izin vermek için nozul tertibatı besleme sisteminden uzakta bulunabilir. Bu sistemdeki püskürtücüler yaklaşık 50 saatlik kullanım sonrasında aşınır ve değiştirilmesi gerekmektedir. Havadaki bulaşma önemli bir endişe kaynağı değildir ancak su spreyi ve sis nedeniyle çapraz kontaminasyon dikkate alınmalıdır.

2. ARAŞTIRMA BULGULARI

2.1 Düzenleyici Açıdan Dekontaminasyon

2.1.1 UAEA

UAEA'nın güvenlik standartları serisi “Nükleer Güç Santrallerinin ve Araştırma Reaktörlerinin Sökülmesi” (*Decommissioning of nuclear power plants and research reactors*) WS-G-2.1 numaralı dökümanında dekontaminasyon tanımı olarak bir nükleer yapıda yer alan malzeme, yapı veya ekipmanların yüzeylerinde veya içlerinde bulunan kontaminasyonun azaltılması veya yok edilmesi işlemi olarak geçmektedir. Bir reaktörün sökölme işleminin, kısmi veya tamamen dekontaminasyon uygulamasını hedef alması gerektiğinden bahsedilmiştir. Ayrıca dekontaminasyon uygulamasının sökölme işlemi öncesinde, sırasında veya sonrasında kullanılabileceği gibi sistem veya ekipmanın, iç veya dış yüzeylerinde, yapısal yüzeylerde ve sökölme sırasında kullanılan aletlerin arındırılmasında kullanılmasının uygun olacağı belirtilmiştir. Ayrıca dökümanın 6.13 maddesinde dekontaminasyonun hedefleri olarak:

- Sökölme sırasında radyoaktivitenin yayılmasını azaltmak,
- Katı radyoaktif atıkların hacimsel olarak miktarlarını azaltmak,
- Malzeme veya ekipmanların yeniden kullanılabilirliğini artırmak belirtilmiştir.

Dekontaminasyon uygulamasında özellikle sökölme programı ile birlikte uygulanabilecek birçok yöntem bulunmaktadır. Ayrıca ülkelerde yapılan araştırma-geliştirme faaliyetleri ile beraber bu yöntemler gelişme göstermiştir. UAEA dökümanında bu konu detaylı olarak ele alınmış uluslararası düzeyde bilgi alışverişinde bulunularak daha verimli sonuçlara ulaşmanın mümkün olduğundan bahsedilmiştir.

Dekontaminasyon stratejisi belirlenirken uygulanacak yöntemin verimliliğinin değerlendirilmesi büyük önem arz etmektedir. Verim değerlendirmesinin yanında ALARA prensibinin de göz önünde bulundurulması UAEA tarafından önerilmektedir.

Yöntemin değerlendirilmesinde aşağıdaki kriterler yer almaktadır:

- Hedeflenen dekontaminasyon seviyesi,
- Çalışanların alacağı tahmini doz miktarı,

- Aerosol oluşma miktarı,
- Hedeflenen doza ulaşılabilirdiğini ölçebilecek sistemin bulunup bulunmaması,
- Malzemenin dekontaminasyonu ile tamamen yok edilmesi arasındaki fiyat farkı,
- Birincil ve ikincil atıkların hacim, kategori ve aktivitesel tahmini,
- Radyolojik olmayan tehlikeler (kullanılan kimyasalın toksit seviyesi).

UAEA'nın dokümanına göre dekontaminasyon sökölme öncesi ve sonrası olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Sökölme öncesi gerçekleştirilen dekontaminasyonun ana hedefleri olarak doz oranlarının azaltılması (radyolojik koruma hedefi) ve sökölme sırasında daha fazla yayılmasının (güvenlik hedefi) engellenmesidir. Sökölme sonrasında gerçekleştirilen dekontaminasyon hedefleri ise bertaraf edilecek parçanın atık kategorisini değıştirme ve böylelikle fiyat ve işçilik olarak avantaj elde etme, malzemenin yeniden kullanılması veya dönüştürülmesi ve atık yönetimi için doz oranlarının düşürülmesi olarak görölmüştür.

UAEA'nın dekontaminasyon ile ilgili düzenleyici dokümanları genel olara söküm aşamalarında ele alınmakla birlikte yayınlanan dokümanların aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.

Tablo 4 :UAEA tarafından yayınlanmış nükleer santrallerin dekontaminasyonu ile ilgili doküman listesi

Güvenlik Serileri		
1	Manual on Decontamination of Surfaces	Safety Series No. 48 (1979)
2	Predisposal Management of Radioactive Waste, Including Decommissioning	SR No. WS-R 2 (2000)
3	Application of the Concepts of Exclusion, Exemption and Clearance Safety Guide	SS No. RS-G-1.7 (2004)
4	Derivation of Activity Concentration Values for Exclusion, Exemption and Clearance	Safety Reports Series No. 44 (2005)

Teknik Rapor Serileri (TRS)

- | | | |
|-----------|---|--------------------|
| 1 | Decontamination of Nuclear Facilities to Permit Operation, Inspection, Maintenance, Modification or Plant decommissioning | TRS No. 249 (1985) |
| 2 | Methods for Reducing Occupational Exposure During the Decommissioning of Nuclear Facilities | TRS No. 278 (1987) |
| 3 | Decontamination and Demolition of Concrete and Metal Structures During the Decom. of Nuclear Installations | TRS No. 286 (1987) |
| 4 | Factors Relevant to the Recycling or Reuse of Components Arising from the Decommissioning and Refurbishment of Nuclear Facilities | TRS No. 293 (1988) |
| 5 | Cleanup and Decommissioning of a Nuclear Reactor After a Severe Accident | TRS No. 346 (1992) |
| 6 | Application of Remotely Operated Handling Equipment in the Decommissioning of Nuclear Facilities | TRS No. 348 (1993) |
| 7 | Decontamination of Water Cooled Reactors | TRS No. 365 (1994) |
| 8 | State-of-the-art Technology for Decontamination and Dismantling of Nuclear Facilities | TRS No.395 (1999) |
| 9 | Minimisation of Radioactive Waste from Decontamination and Decommissioning of Nuclear Facilities | TRS No. 401 (2001) |
| 10 | Management of Problematic Waste and Material Generated During the Decommissioning of Nuclear Facilities | TRS No. 441 (2006) |
| 11 | The Decommissioning of Underground Structures, Systems and Components | TRS No. 439 (2006) |
| 12 | Redevelopment of Nuclear Facilities after Decommissioning | TRS No. 444 (2006) |

Teknik Dökümanlar (TECDOC)

1	Decontamination of Operational Nuclear Power Plants (SUPERSEDED)	IAEA-TECDOC-248 (1981)
2	Decontamination and Decommissioning of Nuclear Facilities: Final Report of Three Research Meetings	IAEA-TECDOC-511 (1989)
3	Decontamination of Transport Casks and of Spent Fuel Storage Facilities	IAEA-TECDOC-556 (1990)
4	National Policies and Regulations for Decommissioning Nuclear Facilities	IAEA-TECDOC-714 (1993)
5	Decontamination and Decommissioning of Nuclear Facilities - Results of a CRP, Phase II: 1989-1993	IAEA-TECDOC-716 (1993)
6	New Methods and Techniques for Decontamination in Maintenance or Decommissioning Operations- Results of a Co-ordination Research Programme, 1994-1998	IAEA-TECDOC-1022 (1998)
7	Spent Fuel Storage and Transport Cask Decontamination and Modification	IAEA-TECDOC-1081 (1999)
8	The Decommissioning of WWER-Type Nuclear Power Plants	IAEA-TECDOC-1133 (2000)
9	Decom Costs of WWER-440 Nuclear Power Plants Interim Report: Data Collection and Preliminary Evaluations	IAEA-TECDOC-1322 (2002)

2.1.2 ABD (NRC, 1983)

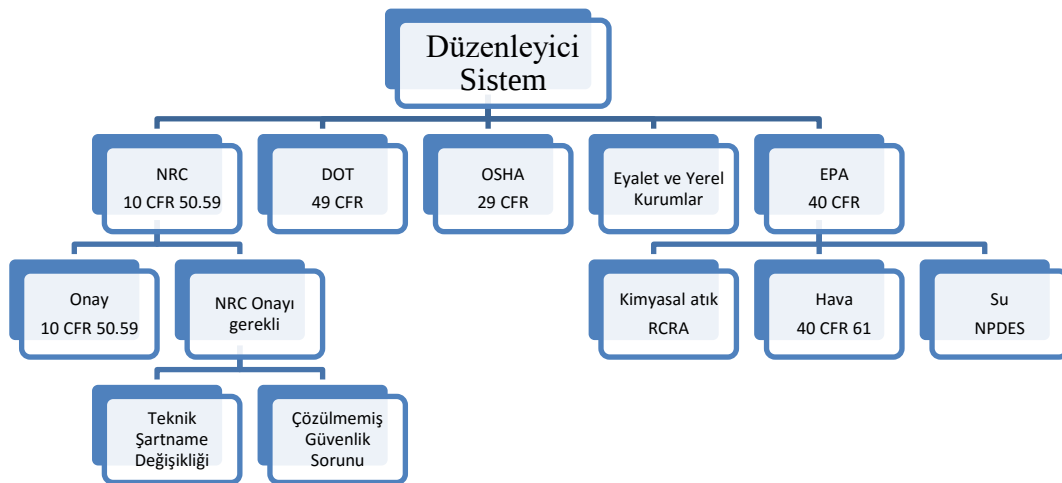
ABD’de toplamda 100.350 MW güce sahip 99 reaktör işletmededir. Bunlardan 65 tanesi PWR, kalan 34 tanesi ise BWR’dır. Bu reaktörlerde 2016 yılında ülkenin toplam elektrik enerjisi üretiminin %19,7’sine denk gelen 805,3 terawatt-saat elektrik üretilmiştir. Eylül 2017 tarihi itibarıyla 2500 MW brüt elektrik kapasitesine sahip iki yeni reaktör inşa halindeyken 34 reaktör kalıcı olarak kapatılmıştır (IAEA, 2016).

1954 tarihli “Atom Enerjisi Kanunu” ABD’de nükleer enerjiye ilişkin temel yasadır. Bu kanunla federal hükümetin radyoaktif maddelerin üretimi ve kullanımına ilişkin faaliyetler üzerindeki tekeli kaldırılmış ve savunma alanı dışında bu faaliyetlere özel sektörün katılmasının önü açılmıştır. Aynı kanun ile Atom Enerjisi Komisyonu (*AEC-Atomic Energy*

Commission) kurulmuştur. AEC 1974 yılında çıkarılan bir kanunla lağvedilmiş, lisanslama ve denetim görevleri aynı kanun ile kurulan ve hala ABD’de nükleer enerji alanındaki düzenleyici otorite görevini sürdüren Nükleer Düzenleyici Komisyonu’na (**NRC-Nuclear Regulatory Commission**) devredilmiştir. NRC’nin temel görevi nükleer madde ve tesislerin kullanımının kamu sağlığı, ABD’nin savunması ve çevreyi koruma hedefleri ile uyumlu olmasını sağlamaktır. Bu görevi yerine getirmek için standart oluşturma, kural koyma, lisans verme, teknik gözden geçirme izin, teftiş gibi araçlara sahiptir.

ABD’de nükleer santrallerde uygulanan dekontaminasyon uygulaması için düzenleyici işlemler birçok kurum ve kuruluş tarafından gerçekleştirilmektedir. NRC’nin yanı sıra Çevre Koruma Ajansı (**EPA-Envireonmental Protection Agency**), İş Güvenliği ve Sağlığı Dairesi (**OSHA-Occupational Safety and Health Administration**), Ulaştırma Departmanı (**DOT-Department of Transportation**) ve diğer eyalet ve yerel kurumlar dekontaminasyon uygulaması gerekliliklerini belirlemektedirler. Dekontaminasyon uygulanacak olan nükleer santral ve saha belirlendikten sonra ilgili kuruluşlar belirlenir ve bu kuruluşlarda yer alan sağlık, işgücü, çevresel koruma, taşıma ve acil durum servisi gibi bölümlerde gerek olması durumunda tanımlama işlemine dahil edilmektedir. Tablo 5’de ABD’de dekontaminasyon uygulamasının gerekliliklerinin belirlenmesinde yer alan düzenleyici kuruluş ve ilgili dokümanlar verilmiştir.

Tablo 5 : ABD’de dekontaminasyon uygulamasının gerekliliklerinin belirlenmesinde yer alan düzenleyici kuruluş ve ilgili dokümanlar



2.1.2.1 NRC

Nükleer reaktörlerde düzenleyici otorite kurum olan NRC birincil sorumluluğa sahiptir. Düzenleyici doküman olan “Değişiklikler, testler ve deneyler (*Changes, tests and experiments*) 10 CFR 50.59 numaralı dokümanda dekontaminasyon ile ilgili gereklilikler yer almaktadır. NRC’ye göre eğer dekontaminasyon işlemi güvenlik analiz raporunda yeteri kadar ele alındığında, teknik şartnamede bir değişiklik olmaması ve çözülmemeyen güvenlik sorunlarının olmaması durumlarında sadece güvenlik değerlendirme formunun doldurulması ve dekontaminasyon için düzenli raporlamanın yapılması yeterli görülmektedir. Dekontaminasyon değerlendirme formunda aşağıdaki maddeler yer almaktadır:

1. Tesisin adı,
2. Dekontaminasyon için planlanan tarih,
3. Dekontaminasyon yapılacak olan sistem veya ekipmanın adı,
4. Dekontaminasyon veya operasyonun yeniden başlatılması teknik şartnamenin değiştirilmesini veya diğer lisans değişikliğini gerektirir mi?
Cevap evet ise, genel olarak bunlar ne olacak? Önerilen lisans verme eylemi ve destekleyici bilgi sunmak için planlanan tarih (ler) nedir?
Cevap hayır ise, dekontaminasyon uygulamasında güvenlik sorunu oluşmaması için uygulanacak prosedür “Tesis Güvenliği Gözden Geçirme Komitesi” tarafından değerlendirildi mi? (Referans 10 CFR 50.59)
5. Dekontaminasyon ile ilgili bilgiler ve açıklama (metot, metodun seçme nedenleri, sistem malzemeleri ile dekontaminasyon çözeltisi arasındaki uyum gibi...)
6. Dekontaminasyon gerekçesinin nedenleri,
7. Dekontaminasyon personelinin nitelikleri, eğitim programları, kalite güvence programları, personel kararlarının onaylanma mekanizması, halkla ilişkiler vb. de dahil olmak üzere, dekontaminasyona uygulanacak yönetim sisteminin açıklaması,
8. Atık yönetimi sistemi ile ilgili açıklama,
9. Dekontaminasyon uygulamasının çevreye olan etkisinin açıklanması,
10. Dekontaminasyon uygulaması için acil durum prosedürlerinin listesi ve açıklaması,
11. Yangından korunma programı dahilinde iş sağlığı ve güvenliği programının açıklanması,

12. Reaktörün yeniden işletmeye alınmasından önce yapılacak olan test ve denetimlerin açıklanması,
13. Sunulacak olan doküman ve raporlar.

Uygulanacak olan dekontaminasyon:

- Güvenlik analiz raporunda açıklanan değişiklik,
- Teknik şartname verilerinin değişmemesi,
- Çözümlemeyen güvenlik sorunlarının olmaması,

gibi durumlarda 10 CFR 50.59 dokümanı ile uyumlu olarak NRC tarafından onaylandığından bahsedilmektedir. Bunların dışında yapılacak olan değişiklikler yukarıda belirtilen üç madde ile örtüşmemesi durumlarında düzenleyici kurumunu normal lisanslama süreci gibi bilgilendirilmesi gerekmektedir.

Çözümlemeyen güvenlik sorunlarının var olduğu bazı durumlarda dekontaminasyon için yeniden lisans almayı gerektirmeyen uygulamalar olarak gerçekleştirilebilmektedir. Güvenlik sorunlarının neler olduğu ile değişmekle beraber bu gibi durumlarda NRC'nin düzenli olarak bilgilendirilmesi ile dekontaminasyon uygulamasına devam edilebilmektedir. Aşağıda bunlar gibi çözümlenmemiş güvenlik sorunlarının ait kriterler belirtilmiştir.

Doğal olaylara karşı koruma

Dekontaminasyon veya dekontaminasyon atık yönetimi faaliyetleri, beklenen doğal olayların etkisinin ciddiyetini önemli ölçüde artırabilirse, (deprem, kasırga, sel vb.) bu güvenlik boyutu ek inceleme gerektirmektedir.

Yangından korunma

Dekontaminasyon, emniyet için önemli olan yeni veya geçici tesislerin inşa edilmesini gerektirirse (örneğin radyoaktif materyallerin dağılımındaki bariyer) ve bu tesisler, emniyet için önemli diğer istasyon yapılarının yangın koruma standartlarını karşılamayacak olursa (yanıcı olmayan ve ısıya dayanıklı malzeme, yangın algılama ve yangın söndürme sistemleri, vb.) çözümlenmemiş güvenlik sorunu ortaya çıkmaktadır.

Reaktör soğutulmasına yarayan ekipman ve malzemeler

Dekontaminasyonda kullanılan veya reaktör sisteminde çatlak bölgelerde kalabilecek kimyasallar, anormal sızıntının hızlı yayılması veya reaktör ekipmanlarında büyük çaplı değişme ihtimalini artırabilecek olursa, incelenmemiş bir güvenlik öngörüsü söz konusu olmaktadır. (Dekontaminasyon reaktiflerinin saflık kontrolü, korozyon testi ve dekontaminasyondan sonra yapılan ekipman veya malzemelerin denetimi, bunlardaki hata ihtimalinin güvenlik analiz raporunda değerlendirilenin üzerine çıkmadığından emin olmak için kullanılabilir.)

Koruma kabı

Dekontaminasyon uygulamasını kolaylaştırmak için kurulacak olan geçici boru bağlantıları ve yardımcı çalışmalar, koruma kabının sızdırmazlık özelliklerini bozma veya varsayılan kaza koşulların gerektirdiklerini yerine getirmediği durumlarda çözümlenmemiş güvenlik sorunu ortaya çıkmaktadır.

Koruyucu sistem işlevleri

Dekontaminasyon kimyasallarının ve dekontaminasyon sonrası test programı, kontrol çubuğu hareket mekanizmalarının işlevinin bozulmadığından emin olmaya hizmet etmelidir. Bu sistemde meydana gelen bozulma çözümlenmemiş güvenlik sorununun var olduğunu göstermektedir.

Reaktör soğutucu ekipman ve malzemelerin kalitesi

Paketleme ve conta malzemeleri de dahil olmak üzere tüm reaktör soğutmada kullanılan malzeme ve ekipmanlar test edilmeli, dekontaminasyon işlemi tarafından etkilenmediği gösterilmeli veya dekontaminasyondan sonra gerektiğinde kontrol edilmeli ve değiştirilmelidir. Bunun yapılmasındaki başarısızlıklar çözümlenmemiş güvenlik sorunu ortaya çıkarmaktadır.

Reaktör soğutucu ekipman ve malzemelerin kırılmasının önlenmesi

Temizleme, işletme, bakım, test ve kazaya neden olan koşullar altında reaktör malzeme ve ekipmanları için sağlanan emniyet marjini, kırılkan olmayan davranış ve çatlak ilerlemesi açısından azaltılmamalıdır. Güvenlik Analiz Raporunda (GAR) belirtilen emniyet marjiniinde herhangi bir azalma, incelenmemiş bir güvenliği sorununa işaret etmektedir.

Dekontaminasyonun buhar üretici tüpleri üzerindeki etkisi, farklı konseptlerde güvenlik tedbirleri gerektirmektedir.

Boru sistemlerinin basınç kabına penetrasyonu

Basınç kabı ile bütünleşik boru sistemleri bir dahaki işletme periyoduna kadar sabit olarak kalması durumunda sızıntı tespiti, izolasyon test ve kontrollerin yapılması gerekmektedir. Bunların gerçekleştirilmesindeki ihmaller ve eksiklikler çözülmemeyen güvenlik sorununun var olduğunu göstermektedir.

Radyoaktif maddelerin çevreye bırakılmasının kontrolü

Dekontaminasyon ön hazırlığı, gaz ve sıvı haldeki radyoaktif atık maddelerin salınımını kontrol etmek ve dekontaminasyondan üretilen radyoaktif katı atıkları, GAR'da tarif edilen ile eşdeğer veya daha üstün bir şekilde işlemek için araçlar içermelidir. Aynı şekilde, çalışma esnasında üretilen sıvı ve gaz dekontaminasyon atığının benzer seviyelerde radyoaktivite içeren atıklar için sağlanan tutulma sürelerinden eşit veya daha fazla sürelerde tutulması için yeterli bekletme kapasitesi sağlanmalıdır. Atıkların GAR'da öngörülen konsantrasyon limitlerinden daha fazla olması, yetersiz bekletme kapasiteleri veya GAR'da belirlenen atıkların bekletme kapasitelerinden daha az olması gibi durumlar incelenmemiş bir güvenlik sorunu oluşturmaktadır.

Radyoaktivite kontrolü

Dekontaminasyon çözeltisinin radyoaktif içeren atıklarının bulunduğu sistemler güvenlik açısından önemli bileşenlerin kullanılmadan önce uygun şekilde muayene ve test edilmesine izin verilerek (tekrar kullanım durumlarında periyodik olarak), radyasyon koruması için uygun korucu ile koruma, sınırlandırma ve montaj sistemleri ile tasarlanmaktadır. Güvenlik analiz raporunda radyoaktif atık arıtma sistemi için belirtilen güvenlik marjinleri sağlanamaması durumlarında çözülmemiş güvenlik sorunu oluşturmaktadır.

Kritikliğin önlenmesi

Atık toplama çözeltisindeki kritikliğin, yakıt demetleri dışındaki reaktör sisteminde az miktarda fisil malzeme tarafından engellenmediği durumlarda, ciddi bir yakıt kırılması veya kopması ile sonuçlanacak kazaya neden olabilir ve bu gibi durum çözülmemiş güvenlik sorunu oluşturmaktadır.

Atık depolamanın gözlemlenmesi

Dekontaminasyon atığındaki yüksek radyasyon seviyesini tespit etmek ve uygun güvenlik eylemini başlatmak için kullanılan sistemler güvenlik analiz raporunda atık işletme alanlarında tanımlanan değerler ile eşdeğer olmalıdır. Bu konudaki farklılıklar çözümlenmemiş güvenlik sorunu ortaya çıkarmaktadır.

2.1.2.2 EPA

EPA, çevrenin korunması için belirli sorumluluklara sahiptir. EPA'nın işlevleri, eyaletin federal ajansın prosedürlerine ve düzenlemelerine eşdeğerde olması ve eyalet ile EPA arasında bir anlaşmaya varıldığı durumlarda, eyalet tarafından yerine getirilmesi mümkün olmaktadır.

Kimyasal atıklar

Radyoaktif olan atık kimyasalların bertarafı, kimyasalın ömrüne göre düzenlenmektedir. Düzenlenmiş bir kimyasalın üretildiği, kullanıldığı veya elden geçirildiği her konu Kaynak Koruma ve Kurtarma Yasası'na (40 CFR 260-265) uyumlu olmalıdır. İlgili dokümanda kriterler dekontaminasyona engel olmayacak şekilde iyi ve net olarak belirlenmişlerdir.

Hava

Hava kalitesi, EPA tarafından Temiz Hava Kanunu (40 CFR 50, 60 ve 61) ile düzenlenmektedir. Reaktörün dekontaminasyonu sonucu hava kirleticisi bir kaynak (air pollutant source) oluşmaması gerekmektedir. Hava yoluyla salımların çok küçük olması ve her halükarda EPA limitleri dahilinde olması beklenmektedir.

Su

Sıvı atıklar Ulusal Kirleticisi Arıtma ve Ayırıştırma Sistemi (**NPDES-National Pollutant Discharge Elimination System**) (40 CFR 122-125) ve “Temiz Su Yasası” kapsamında düzenlenmektedir. Ayrıca, taşınabilir sulara herhangi bir sıvı atılması durumunda, NPDES izninin alınması ve bu izine uyulması gerekmektedir.

2.1.2.3 OSHA

Bu ajans, işçi sağlığı ve güvenliği ile ilgili dekontaminasyon uygulaması üzerinde düzenleyici otoriteye sahiptir. OSHA ve NRC arasında bir yapılan mutabakata göre, NRC'nin talebi veya bir çalışan şikayetininin olmadığı durumlarda, OSHA sisteme çok dahil olmamaktadır. OSHA yönetmelikleri, Federal Düzenlemeler Kanunu'nun 29 uncu bölümünde (29 CFR) belirtilmiştir.

2.1.2.4 DOT

Dekontaminasyon kimyasallarının sahaya taşınması veya katılaşmış dekontaminasyon atıklarının saha dışına taşınmasında DOT düzenlemesine uyulması gerekmektedir. Kriterler ve prosedürler, Federal Düzenlemeler Yönetmeliği'nin 49. Bölümü'nde (49 CFR) oluşturulmuştur.

2.1.2.5 Eyalet ve yerel kurumlar

Eyalet bünyesinde EPA veya OSHA eylemlerini yürütmek için federal hükümetle bir anlaşma yapılması halinde, eyaletler dekontaminasyona ilişkin bazı düzenleyici yetkilere sahip olabilirler. Eyalet ve yerel yönetimlerin eyaletler arası ticareti düzenlemesi yasaklandığından, diğer düzenleyici rolleri olması beklenmemektedir.

2.1.3 Rusya (RTN, 1999)

Nükleer alanda Rus düzenleyici kurumu olan Rosteknadzor'un düzenleyici dökümanları incelendiğinde dekontaminasyon ile ilgili düzenleyici bilgilerin sökülme aşamasında ele alındığı görülmüştür. Rosteknadzor'un hazırlamış olduğu NP-012-99 numaralı "Nükleer santrallerin sökülmesi işlemi için güvenlik kuralları" dökümanında nükleer santralin sökülme aşamasında işleticinin uyması gereken kurallar düzenlenmektedir. Bu döküman sökülme aşaması için güvenliğin sağlanmasını düzenleyen ana dökümandır. Dökümanda yer alan kurallar, nükleer santralin ömrünün tüm aşamalarında sökülme faaliyetlerinin güvenli bir şekilde uygulanmasını düzenleyen temel ilke ve şartları belirlemektedir. Kurallar, nükleer santralin yerleşim, tasarım, inşaat, işletme ve hizmetten uzaklaştırma faaliyetlerinde bulunan tüzel (kurumsal) kişiler ve bireysel (doğal) kişiler için zorunludur.

Dökümunda sökölme aşamasında güvenliğin sağlanabilmesi için nükleer santrallerin tasarım, inşaat ve operasyon aşamalarında alınan önlemlerden bahsedilmiştir. Bunlar her aşama için farklı önlemlerin yer aldığı maddeler halinde sunulmuştur. Bu maddeler arasında dekontaminasyon işlemleri ile ilgili hükümler de yer almaktadır. Dekontaminasyon işlemi tasarım aşamasından sökölme işleminin uygulanmasına kadar geçen süre boyunca dikkate alınması gereken bir konudur. Aşağıda dekontaminasyon ile ilgili her bir bölümde bahsedilen alınması gereken önlemler anlatılmaktadır.

Tasarım aşamasında

Nükleer santralin sökölmesi sırasında güvenlik teminine yönelik çözümler tasarım sırasında sağlanmakta ve aşağıda yer alan:

- Nükleer santralde kullanılacak ekipman, sistem ve bileşenlerin imalatı için, işletme ömrünün tamamı boyunca düşük aktivite ve sökölme işlemi sırasında minimum radyoaktif atık miktarı sağlayan malzemelerin seçilmesi;
- İşletme sırasında nükleer santralin ekipman, sistem ve bileşenlerin yüzey kontaminasyonunun en düşük seviyede tutulmasını sağlayan tasarım çözümleri üretilmesi;
- Nötron aktivasyonu sebebiyle yapılarıdaki ve ekipmanlardaki radyonüklid içeriğinin güvenilir bir şekilde tahmin edilmesini sağlayan örnekler için uygun yerlerin seçimi;
- Sökölme işlemi sırasında oluşacak radyoaktif maddelerin miktar, tip, kategori ve aktivitelerinin belirlenmesi,
- Nükleer santralin ana sistem, ekipman ve yapılarının sökölmesi ve santralin hizmetten çıkarılması sırasında uygulanacak dekontaminasyon işlemi için uygun olan teknolojilerin önerilmesi;

işlemlerinden oluşmaktadır.

İşletme aşamasında

Nükleer santralin işletme ömrü boyunca işleten santralin sökölme işlemini geliştirilmesi ve daha iyi yapılabilmesi amacıyla sökölme ile ilgili ve sökölme sırasında kullanılabilecek tüm verilerin veritabanında toplanmasını ve düzenlenmesini sağlamakla sorumlu olduğundan bahsedilmektedir. Bu veriler aşağıda belirtilmiştir:

- Nükleer santrallerde meydana gelen kazalara ilişkin veriler (santralin kapatılmasından sonra yapı sistem ve bileşenlerde ve ayrıca rutin dekontaminasyon için erişimin zor olduğu alanlarda oluşan kontaminasyonun tahmin edilebilmesi amacıyla kullanılmaktadır),
- Nükleer santralin kapatılmasından önce boru hatları ve ekipmanın iç yüzeylerinde korozyon ve diğer tip çökeltilerde yer alan radyonüklid kompozisyonu hakkında veriler;
- Nükleer santralde yer alan yapı, sistem ve bileşenlerde uygulanmış olan dekontaminasyon ile ilgili veriler,
- Nükleer santralin kapatılmasından önce yapılan son rutin dekontaminasyondan sonra ana ekipmanların ve tesislerin yüzey kirlenmesi üzerine veriler,
- İşletme esnasında biriken sıvı ve katı radyoaktif atığın miktar, radyonüklid kompozisyonu ve bu atıkların kategorisi, yerleri ve santral içi depolama yöntemleri hakkında veriler.

Sökülme işlemi için hazırlık aşamasında

Nükleer santrakin sökülme işlemi öncesinde yapılan hazırlık ile ilgili işleticinin dekontaminasyon ile ilgili olarak:

- Nükleer santralin ekipman ve proses sistemlerinin radyoaktif çalışma ortamlarından uzaklaştırılmasını;
- Ekipman, sistem, tesis ve yapıların, nükleer santralin sökülmesine hazırlık için gerekli olan bir faaliyet alanı oluşuncaya kadar dekontaminasyon ile temizlenmesini;
- İşletme sırasında nükleer santralde biriken radyoaktif atığın bertarafı veya uzaklaştırılmasını;

sağlaması gerekmektedir.

Yukarıda bahsedilen aşamalara ek olarak radyoaktif atık yönetimi ve geri dönüşümlü malzemeler ile ilgili olarak nükleer santralin sökülmesinden sonra ortaya çıkan tüm malzemeler (sökülmüş ekipman parçaları, inşaat yapıları vb.) radyasyon kontrolüne tabi tutulmaktadır. Radyoaktif atığın ekonomide tekrar kullanılmaya uygun malzemelerden seçilmesi ise radyasyonun sonuçlarına göre yapılmaktadır. Nükleer santrallerin

sökülmesinden sonra geri dönüştürülmüş malzeme ve ekipmanlar kısıtlı ve sınırsız kullanıma uygun malzeme ve ekipman olarak sınıflandırılmaktadırlar.

Rusya’da işletmede olan nükleer santrallerin büyük çoğunluğu VVER tipi reaktörlerdir. Ayrıca Akkuyu Nükleer Santrali’nin de aynı tip reaktörden inşa edilmesi planlanmaktadır. Bu amaçla hem Rusya araştırması anlamında hem de ileride Akkuyu Nükleer Santrali özelinde VVER’lerde dekontaminasyon uygulamaları aşağıda anlatılmıştır.

VVER’lerin işletmede olduğu çoğu ülkede, radyasyona maruz kalmanın azaltılması yaklaşımı, ekipmanın, parçaların, bazı reaktör sistemlerinin ve alt sistemlerinin düzenli olarak dekontaminasyonuna bağlıdır. İzole edilmiş bileşenlerin, sökülebilir parçaların ve yardımcı sistemlerin kimyasal olarak dekontaminasyonu ile radyasyona maruz kalma önemli oranlarda azaltılmıştır. Bu dekontaminasyon işlemleri aynı zamanda sistemdeki kontaminantların miktarlarını da azaltmaktadırlar.

VVER’lerde yer alan çeşitli aletlerin, çıkarılabilir ekipmanların, reaktör sistemlerinin, alt sistemlerinin ve ayrı olarak izole edilmiş bileşenlerinin rutin dekontaminasyonunda kullanılmak üzere fiziksel, mekanik, kimyasal ve elektrokimyasal teknikler geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Bu teknikler, gevşek olarak tutunan yüzey kirliliğini gidermek için vakum temizleme veya su jeti gibi saldırgan olmayan fiziksel tekniklerden, malzeme yüzeyinin kontaminasyonla birlikte çıkarıldığı daha saldırgan tekniklere kadar birçok yöntemden oluşmaktadırlar.

VVER tesislerindeki normal dekontaminasyon uygulaması, reaktör soğutma sistemlerinin ana parçalarının kontrol edilip onarıldığı bakım periyotları boyunca gerçekleştirilmektedir. Rutin dekontaminasyonun gerçekleştirildiği tipik bileşenler ana dolaşım pompaları, ana izolasyon vanaları ve buhar jeneratörlerdir.

Radyolojik araştırmalar, buhar jeneratörleri veya bütün sistem dekontaminasyonu gibi büyük bileşenlerin dekontaminasyonunun tesisin genel radyasyon seviyesinin düşürülmesinde etkili olduğunu göstermiştir. Bir buhar jeneratörü, birincil halkanın toplam yüzeyinin %15’ini temsil eder ve 10^{11} - 10^{12} Bq değerindeki aktivite dekontaminasyonla giderilebilmektedir.

Büyük hacimli bileşenler ve çıkarılabilir bileşenler için dekontaminasyon teknikleri iyi bilinmesine rağmen bütün sistem dekontaminasyonunda sınırlı pratik deneyim

bulunmaktadır. Tablo 6’da bilinen bazı VVER’ler için birincil devre sistemi parçaları için dekontaminasyon prosesleri verilmiştir (IAEA, 2000).

Tablo 6 : VVER tipi reaktörlerde birincil devre sistemi parçaları için dekontaminasyon prosesleri

Dekontaminasyon Prosesi	Dekontaminasyon Hedefi	Tesis
AP – CITROX	Birincil Devre Sistemi	NPP Rheinsberg, 1968-1975
AP – CE	Birincil Devre Sistemi	NPP Greifswald 1-4, 1978-1990
AP – CE	Birincil Devre Sistemi	NPP Novovoronesh – 1,2 1981,1984
AP – CE	Birincil Devre Sistemi	NPP Greifswald – 5, 1994
CORD-UV	Birincil Devre Sistemi	Loviisa NPP-2, 1994
AP-CE	Birincil Devre Sistemi	Kozloduy 3 1994, 4-1996
Elektrokimyasal	Birincil Devre Sistemi	NPP Greifswald – 1,2 1996-1997

VVER’lerde radyolojik koşullar, normal çalışma sırasında tam sistem dekontaminasyonu gerektirmemektedir. Bu yöntem, doz oranının anormal bir artış göstermesi durumunda, koruyucu bariyer üzerinden önemli miktarda sızıntının (arızalı yakıt düzenekleri) olduğu veya çok sayıda bakım çalışması veya tadilat yapılması gereken durumlarda kullanılmaktadır.

Rus Termal Enerji Enstitüsünde (**VTI-Termal Engineering Institute**) geliştirilen bütün sistem kimyasal dekontaminasyon işlemi, Kozloduy Nükleer Santrali Üniteleri III ve IV’de kullanılmıştır. İki aşamalı dekontaminasyon işlemi, reaktörde yakıt olmadan gerçekleştirilmiştir. İki adımlı gerçekleştirilen bu prosesde ilk adım, 135°C’de potasyum permanganat çözeltisi kullanarak oksidasyon işlemi, ikinci aşama ise 160°C’de bir sitrik asit ve EDTA/Sodyum karışımı kullanılarak korozyon tabakası çözülmesi işlemlerinden oluşmaktadır. İlk doz değeri, 100’den fazla ölçüm noktası kullanılarak 7-57 mSv/saat ölçülmüştür. Bu doz oranları, uygulanan dekontaminasyon sonrasında düşürülmüştür.

Dekontaminasyon sonrasında azaltılan toplam radyoaktivite değeri, her ünite için sırasıyla $9,3 \times 10^{12}$ ve $1,4 \times 10^{13}$ Bq olarak hesaplanmıştır (Dishkova, 2014).

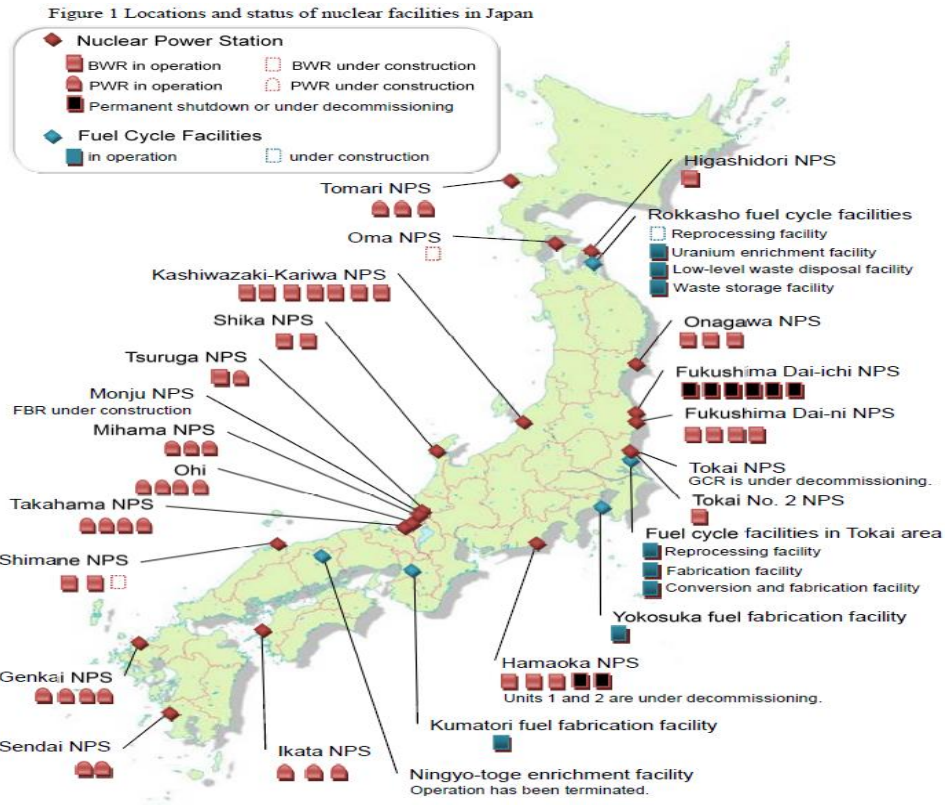
1993-1996 yılları arasında Dukovany Nükleer Santrali'nde, 20'den fazla buhar jeneratörü CITROX prosesi kullanılarak dekontamine edilmiştir. Yaklaşık olarak $1,2 \times 10^{12} - 13,5 \times 10^{12}$ Bq radyoaktivite dekontaminasyon işlemi sırasında azaltılabilmektedir (CHEMCOMEX PRAHA A.S, 1995).

Loviisa II'de dekontaminasyondan birkaç yıl önce birincil devredeki doz oranları, (ortalama değerler: sıcak ayak 0.79 mSv/saat, soğuk ayak - 2.01 mSv/saat, rejeneratif ısı eşanjörleri 14,0 mSv/saat) belirgin şekilde artmıştır. Planlanan muayene ve tamir için yapılan kesinti sırasında CORD/UV prosesini kullanarak tam sistem dekontaminasyonunu gerçekleştirilmiştir. Dokuz gün ve dört CORD/UV dekontaminasyon çevrimi gerçekleştirildikten sonra, Loviisa tam sistem dekontaminasyonu yaklaşık 291 kg korozyon ürününün (Fe, Cr, Ni) uzaklaştırılması sağlanmıştır. Yaklaşık. 4.1×10^{13} Bq aktivite değeri birincil devrede azaltılmıştır. $2 \times 10^3 - 5 \times 10^4$ Bq / cm² değerinde aktivite ana dolaşım borulama yüzeyinde kalmıştır (NEI, 1995).

2.1.4 Japonya (NRA, 2015)

Japonya'da işletmede olan 42 adet nükleer reaktör bulunmaktadır ve toplamda 17 reaktör kalıcı olarak kapatılmıştır. Ayrıca Japonya'da bunlara ek olarak 14 araştırma reaktörü işletme durumunda olup 8 tanesi ise söküm aşamasındadır. Nükleer yakıt tesisi olarak 2 adet kullanılmış yakıt işleme tesisi bulunmaktadır. Bunlara ek olarak başka bir tanesi yapım aşamasındadır. Ayrıca 7 adet nükleer yakıt imalatı ve zenginleştirme tesisi, 1 adet kullanılmış yakıt ara depolama tesisi (yapım aşamasında), 2 atık imha tesisi, 2 radyoaktif atık depolama tesisi ve diğer amaçlar için belli miktarda nükleer yakıt malzemesi kullanan 15 tesis bulunmaktadır. Şekil 12'de Japonya'da yer alan bütün nükleer tesisler ve bu tesisler ile ilgili mevcut durumları ve konumları gösterilmektedir (IAEA, 2017).

Şekil 12: Japonya’da yer alan nükleer tesisler



(NRA, 2015)

Japonya’da nükleer enerji ve radyasyon konuları ile ilgili Nükleer düzenleyici kuruluş olan Nükleer Düzenleme Kurumu’nun (**NRA-Nuclear Regulation Authority**) yanı sıra daha birçok kurum görev almaktadır. Aşağıda bu kurumlar ve görevleri özet olarak sunulmaktadır.

NRA

Radyoizotoplar vb. Sebeplerden Kaynaklanan Radyasyon Tehlikelerinden Korunma ile ilgili yasaya uygun olarak radyasyon kullanımına ilişkin güvenlik yönetmelikleri ve nükleer enerjinin kullanımına ilişkin nükleer güvenlik düzenlemeleri ve önlemleri ile nükleer acil durumlara hazırlık durumlarından sorumlu kurumdur.

Kabine Ofisi

Kabine Ofisinin temel görevi Nükleer Acil Durum Hazırlık Ofisi, Nükleer Acil Durum Hazırlık Komisyonu ve Nükleer Acil Müdahale Merkezi'nin sekreterliğini

gerçekleştirmektedir. Ayrıca yetkili devlet daireleri, yerel yönetimler arasındaki sıradan zamanlarda ve acil durumlardaki hazırlık ve tepkiler için kapsamlı koordinasyon görevini yerine getirmektedir.

Atom Enerjisi Komisyonu

İlgili hükümet kuruluşlarının nükleer enerji kullanımı politikaları ve faaliyetlerinin eşgüdümünden sorumludur.

Eğitim, Kültür-Spor, Bilim ve Teknoloji Bakanlığı (MEXT-Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology)

Bilim ve teknoloji ile ilgili nükleer araştırma politikalarının sorumluluğu dahil olmak üzere nükleer enerji araştırmaları ve geliştirilmenin teşviki, nükleer araştırmacıların ve mühendislerin insan kaynaklarının geliştirilmesi, niteliklerinin geliştirilmesi, nükleer kazalar için ulusal sorumluluk gibi görevleri bulunmaktadır.

Sağlık, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı

Radyoizotopların tıbbi olarak uygulanmasından sorumludur. İş güvenliği ve sağlığından, ayrıca radyasyondan korunmadan da sorumlu kurumdur.

Ekonomi, Ticaret ve Endüstri Bakanlığı

Nükleer enerji politikalarının yürütülmesi, nükleer kaynak malzemelerinin ve nükleer yakıt malzemelerinin istikrarlı ve verimli bir şekilde tedarik edilmesi ve nükleer enerjinin kullanımından kaynaklanan radyoaktif atıkların geliştirilmelerinin sağlanması gibi görevleri bulunmaktadır.

Arazi, Altyapı, Ulaştırma ve Turizm Bakanlığı

Nükleer ve radyoaktif maddelerin güvenli bir şekilde taşınmasından sorumludur.

Çevre Bakanlığı

Fukushima Dai-ichi kazasından sonra radyoaktif maddelerin salınması nedeniyle kontamine alanların iyileştirilmesinden sorumludur.

Dekontaminasyon uygulaması genel bir kavram olması açısından yukarıda bahsedilen kurumların hepsi ile ilişki içerisindedir. Sonuç olarak dekontaminasyon uygulamasının kendisinin teknik bir uygulama olması Bilim ve Teknoloji Bakanlığını, radyoaktif

maddelerin salınması nedeniyle kontamine alanların iyileştirilmesini içermesi bakımından çevre bakanlığını vb. gibi sebepler ile her bir kurum ile ilgilidir. Japonya’da nükleer düzenleme belirli yasalar doğrultusunda gerçekleştirilmektedir. Dekontaminasyon uygulamasının da düzenlendiği Japonya'daki nükleer düzenlemeler ile ilgili yasalar aşağıda belirtilmiştir.

Atom Enerjisi Temel Yasası

Japonya'da, “Atom Enerjisi Temel Yasası”, nükleer enerjinin araştırılması, geliştirilmesi ve kullanılması için bir temel oluşturmaktadır. Yasanın amacı, gelecekte enerji kaynaklarının güvence altına alınması, bilimsel ve etik teknolojik ilerlemeyi, nükleer enerjinin araştırılmasını, geliştirilmesini ve kullanılmasını teşvik ederek toplumunun refahının ve standartlarının geliştirilmesine katkıda bulunmaktır.

Reaktör Düzenleme Yasası

1957'de ilan edilen ve Fukushima Dai-ichi kazasından sonra önemli ölçüde modifiye edilen Reaktör Düzenleme Yasası, nükleer enerjinin kapsamlı bir şekilde kullanılması için düzenlemeler yapmaktadır. Bu Yasanın amacı, halkın hayatının, sağlık ve mülkiyetin, çevrenin korunması ve ulusal güvenliğe katkı sağlamasıdır. Bunları gerçekleştirmek için, Kanun, nükleer tesisler ve faaliyetler hakkında düzenlemeler yapar, genel itibarıyla bunlar; nükleer tesislerdeki ciddi kazalar nedeniyle anormal düzeyde radyoaktif maddelerin serbest bırakılması da dahil olmak üzere herhangi bir felaketi önleyerek kamu güvenliğini sağlamak, büyük ölçekli doğal felaketler ve güvenlik olayları ihtimalini göz önünde bulundurmak, uluslararası kontrollü nükleer maddeler üzerinde düzenlemeler yapmak ve nükleer enerjinin yalnızca barışçıl amaçlar için kullanılmasını sağlamaktır.

Radyasyon Tehlikeleri Önleme Yasası

Radyasyon Tehlikeleri Önleme Yasası'nın amacı, Atom Enerjisi Temel Yasası'nın ruhuna uygun olarak radyasyon kaynaklı zararı engellemek ve halkın güvenliğini sağlamaktır. Bu yasa radyoizotopların ticareti, kiralanması ve diğer işlemleri ile radyoaktif atık yönetimi, radyasyon üreten cihazların kullanımı ile radyoaktif atıkların ürettiği radyasyonla ilgili düzenlemeler getirmektedir.

Nükleer Acil Durum Yasası

Nükleer Acil Durum Yasası'nın amacı, nükleer acil durumlara karşı müdahale önlemlerini güçlendirmek suretiyle halkın hayatını, sağlığını ve mülkiyetini nükleer felaketten korumaktır. Bu Yasa, nükleer operatörlerin sorumluluğunu, nükleer acil durum bildirme prosedürünü, Nükleer Acil Müdahale Merkezi'ni kurmayı, acil müdahale uygulamasını veya nükleer acil durumla ilgili diğer önlemleri düzenlemektedir.

Yukarıda belirtilen yasalara ek olarak NRA'nın nükleer santral saha, inşaat, işletme ve sökölme işlemleri için belirlediği düzenlemeler yer almaktadır. Saha ve inşaat aşamalarında dekontaminasyon ile ilgili bir düzenleme yer almamaktadır. İşletme aşamasında ise lisans sahibi NRA'nın onaylaması için "Operasyonel Güvenlik Programı" sunmak zorundadır. Bu program tesisin bakımı, ekipmanın çalışması ve radyoaktif atıkların yönetimi gibi konuları içermektedir. İlgili NRA Yönetmeliği, her bir tesis için sunulan operasyonel güvenlik programına dahil edilecek ayrıntılı maddeleri şart koşturmaktadır. Bunlar içerisinde dekontaminasyon ile ilgili olarak "radyoaktif maddelerle kirlenmiş nesnelerin yüzeyleri üzerindeki radyasyon dozlarının, doz eşdeğerlerinin, radyoaktif malzeme konsantrasyonlarının ve radyoaktif malzeme yoğunluğunun izlenmesi ve dekontaminasyon" ile ilgili maddeler de yer almaktadır. Buradan anlaşılabacağı üzere NRA, işletme sırasındaki ekipman veya parçalarda yer alan kontaminasyon seviyelerinin takibini ve dekontaminasyon işleminin operasyonel güvenlik programında sunulmasını işleticiye zorunlu tutmaktadır. İlgili programın uygunluğunun kontrolü NRA tarafından dökümanların gözden geçirilmesi, saha personeli ile konuşulması ve de operasyonel güvenlik denetimleri ile takip edilmektedir. Bu denetimler yılda dört kez gerçekleştirilir ve genellikle iki hafta sürmektedir.

Reaktör Düzenleme Yasası'nda her bir tesise ve faaliyete göre santralin sökölme şartları belirtilmiştir. Bir nükleer enerji santralinin sökölmesi işleminde işleticinin sorumlulukları; tesisin sökölmesi, nükleer yakıt malzemesinin taşınması, dekontaminasyon işlemi, kirlenmiş nesnelerin ve alanların iyileştirilmesi ve radyasyon kontrol kayıtlarının belirlenmiş ajanslara devredilmesini içermektedir. İşletici sökölme işlemini gerçekleştirmek için "sökölme planı" hazırlaması gerekmekte ve bu planın NRA tarafından onaylanması beklemek zorundadır. NRA tarafından bu planda yer alması gereken her bir madde ayrıntılı olarak belirtilmiştir. Dekontaminasyon ile ilgili olarak yer alan hükümler şunlardır:

- Nükleer yakıt malzemeleri nedeniyle kontamine olmuş malzemelerin iyileştirilmesi,

- Nükleer yakıt malzemelerinin veya bunların kirlettiği malzemelerin bertaraf edilmesi,
- Nükleer yakıt maddesine bağlı kontaminasyon dağılımının tarifi ve kontaminasyonun değerlendirilmesi için yöntem
- Nükleer yakıtla kirlenmiş malzemeye uygun olarak malzemenin yönetimi, işlenmesi ve dekontaminasyonu.

İlgili plan onaylandıktan sonra işletici tarafından sökölme işlemi gerçekleştirilebilecektir. Sökölme işlemi tamamlandıktan sonra işletici, NRA'dan, sökölme işleminin tamamlanmasının NRA yönetmeliğinde belirtilen kriterleri karşıladığına dair bir onay alması gerekmektedir. Bu onayda ise sökölme kriterlerinin yanı sıra dekontaminasyon ile ilgili olarak nükleer yakıt malzemeleri ile kontamine olmuş malzemenin iyileştirme durumu ve kontamine olmuş malzemelerin bertarafı durumları hakkında bilgi sunulması gerekmektedir. NRA'nın sökölme işleminin tamamlanmasını onaylamasının ardından tesisin kuruluş izni sona ermektedir.

2.1.5 Finlandiya

Finlandiya, toplam gücü net 2700 MWe olan dört adet nükleer reaktöre sahiptir. Loviisa Nükleer Santrali PWR, Olkiluoto Nükleer Santrali ise BWR'dir. Ayrıca bunlara ek olarak yapımı süren PWR Hanhikivi Nükleer Santrali'nin işletmeye alınması 2024 yılı olarak planlanmıştır. Planlanan projelerin zamanında tamamlanması sonucunda elektrik üretiminde nükleer enerjinin payı iki katına çıkarak % 60 seviyesine geleceği düşünülmektedir (STUK, 2017).

1987 tarihli Nükleer Enerji Yasası uyarınca Ticaret ve Endüstri Bakanlığı nükleer enerji faaliyetlerinin yönetilmesinden ve atıkların bertarafından sorumlu kurumdur. Bu kurum önemli durumlarda Nükleer Enerji Danışma Komitesi ve Radyasyon Koruma Danışma Komitesi tarafından desteklenmektedir. Finlandiya'nın Radyasyon ve Nükleer Güvenlik Kurumu (**STUK**) nükleer enerjinin düzenleme ve denetimden sorumlu kuruluştur. STUK, Sosyal İşler ve Sağlık Bakanlığı bünyesinde olup, başlıca konularda Nükleer Güvenlik Danışma Komitesi tarafından desteklenmektedir (STUK, 2017).

STUK, dekontaminasyon işlemi ile ilgili düzenlemeleri birçok kılavuz içerisinde ele almıştır. İçerisinde dekontaminasyon ile ilgili düzenlemeler de bulunduran düzenleyici dokümanları aşağıda verilmiştir:

- YVL C.1 “Bir nükleer tesisteki yapısal radyasyon güvenliği”
- YVL 7.18 “Bir nükleer santral tasarımında radyasyon güvenliği”
- YVL B.5 “Nükleer santralin reaktör soğutma devresi”
- YVL C.5 “Nükleer santralin acil durum düzenlemeleri”
- YVL C.2 “Nükleer tesis işçilerinin radyasyondan korunma ve maruziyet kontrolü”
- YVL D.4 “Düşük ve orta seviyedeki nükleer atıkların bertaraf yönetimi ve bir nükleer tesisin hizmetten çıkarılması”
- YVL 7.4 “Nükleer santral acil durum hazırlığı”
- YVL 8.3 “Nükleer santralde düşük ve orta dereceli atıkların arıtılması ve depolanması”
- YVL 7.11 “Nükleer santral radyasyon izleme sistemleri ve ekipmanları”
- YVL E.11 “Nükleer tesislerin kaldırma ve taşıma ekipmanları”
- YVL B.1 “Bir nükleer santralin emniyet tasarımı”
- YVL 7.9 “Nükleer tesislerde çalışanların radyasyondan korunması”
- YVL E.3 “Bir nükleer tesisin basınçlı kapları ve boruları”
- YVL C.6 “Bir nükleer tesisteki radyasyon izleme”
- YVL B.8 “Bir nükleer tesiste yangından koruma”
- YVL 8.5 “Harcanmış nükleer yakıt için bertaraf etme tesisinin işletme güvenliği”
- YVL 7.10 “Nükleer tesislerde mesleki maruziyetin izlenmesi”
- YYVL 6.8 “Nükleer yakıtların depolanması ve taşınması”
- YVL 5.7 “Nükleer tesis pompa üniteleri”
- YVL 5.3 “Nükleer tesis vana üniteleri”
- YVL 2.1 “Nükleer santral sistemleri, yapıları ve bileşenleri ve bunların güvenlik sınıflandırması”

Yukarıda belirtilen her doküman dekontaminasyon ile ilgili düzenleyici hükümler bulundurmaktadır. Bunlardan bazıları sadece belirli alanlarda dekontaminasyon işlemi için maddeler içermektedir. Örneğin YVL 5.7 ve YVL 5.3 (STUK, 2008a), (STUKa, 2008b),

“Nükleer Tesis Pompa ve Vana Üniteleri” ile ilgili kılavuzlarda seçilecek ekipman ve malzemenin kolaylıkla dekontamine edilebilecek özelliklerde olması ile ilgili hüküm bulunmaktadır. Ayrıca dekontaminasyon konusunun tasarım aşamasında ele alınması gerektiğinden bahseden maddeler de yer almaktadır. Bunların dışında dekontaminasyonun daha detaylı olarak ele alındığı kılavuzlardan aşağıda bahsedilmiştir.

Diğer ülke örneklerinde görüldüğü üzere genellikle dekontaminasyon düzenlemeleri sökölme ile ilgili başlık altında yer almaktadır. STUK’un sökölme aşaması ile ilgili olan YVL D.4 (STUK, 2013a), “Düşük ve Orta Seviyedeki Nükleer Atıkların Bertaraf Yönetimi ve Bir Nükleer Tesisin Sökölmesi” kılavuzunda atıkların depolanması ve bertaraf edilmesi ile hükümlerinin yanı sıra santralin sökölmesi ile ilgili de düzenlemeler yer almaktadır. Dekontaminasyon ile ilgili olarak depolanması veya atılması gereken atıkların dekontaminasyon ve hacim azaltma yöntemleri ile sınırlandırılması gerektiğinden bahsedilmektedir.

Ayrıca ilgili dökümanda bir nükleer tesisin tasarım hedeflerinden birinin, nihai olarak sökölme işleminin kolaylaştırılma olması gerektiğinden bahsedilmektedir. Bu amaca yönelik olarak tesisin tasarımında özellikle malzemelerin, radyoaktif materyallerin oluşmasını ve yayılmasını en aza indirmek ve yüzeylerin temizlenmesini kolaylaştıracak şekilde seçilmesi gerektiğinden; ayrıca büyük bileşenlerin çıkarılması, aktive edilmiş bileşenlerin taşınması ve sistemin dekontaminasyonun mümkün olacak şekilde tasarlanması gerektiğine dikkat çekilmiştir.

Bir nükleer tesisin sökölmesinde dekontaminasyon, sökme, aktarma, kesme ve paketleme teknikleri uygulandığı durumlarda çalışanların radyasyona maruz kalması, radyoaktif maddelerin salınımı ve üretilen atık miktarlarının korunması en makul ölçülerde tutulması gerekmektedir. Ayrıca olası kazalar için risk değerlendirilmesinden ve kanıtlanmış veya uygun görülen yöntemlere öncelik verilmesinden bahsedilmektedir.

STUK’un YVL C.1 (STUK, 2013c), “Bir Nükleer Tesisteki Yapısal Radyasyon Güvenliği” kılavuzunda “radyoaktif sıvıların sızabileceği zemin ve duvarların sıvı seviyesinin belirlenmiş limitine kadar yerleri sıvı geçirmez olmalıdır” denilmektedir. Bu tür yüzeylerin planlanan dekontaminasyonun kolaylıkla uygulanabilmesine izin verecek şekilde karakteristiğe sahip olması istenmektedir. Bileşen ve parçaların dekontaminasyonunda ise

nükleer tesiste kontamine olmuş parçaların onarımı, bakımı ve dekontaminasyonu için belirli odalar bulunması gerektiği belirtilmiştir. Bu odaların dekontaminasyon işlemini gerçekleştirebilmek için gerekli tüm teçhizat ve sisteme sahip olması gerektiği bildirilmiştir. Dekontaminasyon gerektiren parçalar tesisin tasarımı sırasında tanımlanacak ve dekontaminasyon amacıyla sökülme ve taşınmalarının çalışanlar için yüksek dozlarda radyoaktiviteye sebep vermeyecek şekilde planlanması gerekmektedir.

Aynı dökümanın 5.3 numaralı “radyoaktif maddelerin birikimi ve sistemlerin dekontaminasyonu” ile ilgili maddesinde:

- Bileşenler ve parçaların radyoaktif maddelerin kontrolsüz bir şekilde birikmesini önleyecek şekilde tasarlanması,
- Sistemler ve bileşenlerde uygun malzemeler kullanılması ve yüzey işlemleri ile kontaminasyonun azaltılması,
- Boru hatlarında radyoaktif maddeler içeren parçacıkların kontrolsüz birikimi sıvı akışı ve kimya tasarımı ile önlenmesi,
- Santralinin reaktör devresi ve önemli miktarda radyoaktif madde içeren birincil devre bileşenlerinin dekontamine edilebilir olması,
- Gerekli yıkama ve dekontaminasyon ekipmanının, radyoaktif sıvılar ihtiva edebilen sistemlere ve boru tesisatına bağlanabilir olması,
- Boru hatlarının bir radyoaktif gaz işleme sistemine sahip bir havalandırma ve kapalı sisteme bağlı bir boşaltma hattına sahip bir şekilde tasarlanması,
- BWR’de buhar kurutmasının türbin sisteminin doz oranlarını ve yüzey kirliliğini minimum tutacak şekilde tasarlanması,

gerektiğinden bahsedilmektedir.

STUK’un YVL B.5 (STUK, 2013b) “Nükleer Santralin Reaktör Soğutma Devresi” kılavuzunda birincil devreye dahil edilen veya bunlarla ilişkili sistemler için bir dekontaminasyon planının STUK’a onay için sunulması gerektiğinden bahsedilmiştir.

Ayrıca tesisin, bileşen ve parçaların dekontaminasyonu için prosedürlere sahip olması gerekmektedir. Dekontaminasyon işleminin etkinliğinin tesis tarafından izlenmesi ve bunların sonuçlarının kayıt edilmesi tesisin sorumluluğunda bulunmaktadır. Ayrıca birincil devre yüzeylerinin büyük ölçekli dekontaminasyon işlemine ihtiyaç duyulduğunda yüzey

temizleme işlemi gerçekleştirilmesi ve bu işleminin de etkinliğinin ve sonuçlarının kayıt altına alınması gerekmektedir.

STUK'un YVL C.2 (STUK, 2014), "Nükleer Tesis Çalışanlarının Radyasyona Karşı Korunması ve Maruziyet Kontrolü" kılavuzunda nükleer tesisin, çalışanlar için doz oranlarını düşük tutmak için yazılı bir programa (ALARA eylem programı) sahip olması gerektiğinden bahsedilmektedir. İlgili program, çalışanların alacağı doz oranlarını sınırlandırmak için hem kısa hem de uzun vadeli planları ve tedbirleri içermeli ayrıca eylem programı, radyasyondan korunmanın genel bakış açısından dikkate alınabilecek; tesisin çalışması, su kimyası, tesis modifikasyonları, malzemeler, dekontaminasyon, atık yönetimi gibi konuları da içermesi gerekmektedir.

İlgili dökümanda nükleer santral alanında havadaki radyonüklid konsantrasyonunun ve ekipman veya parçalardaki kontaminasyon miktarının sistematik olarak ölçülmesi gerektiği ve ölçüm sonuçlarına göre de çalışma alanlarının kontrollü ve denetlenen alanlara ayrıldığından bahsedilmektedir. Kontrollü ve denetlenen alanların dışındaki alanlar radyasyondan korunma açısından kategorize edilmemektedir. Kontrollü bölgedeki odalar, dış doz oranı, yüzey kirliliği ve hava yoluyla taşınan radyonüklit konsantrasyonuna dayalı olarak bölgelere ayrılmaktadır. En az üç bölge olması gerektiğinden bahsedilmiş ve bölgelerin sınıflandırma limitleri ilgili dökümanda detaylı olarak verilmiştir. Bölgelerde çalışacak personelin maruz kalacağı doz oranlarını düşük tutmak amacıyla dış doz oranı, yüzey kirliliği veya havadaki radyonüklid konsantrasyonun sınıflandırma limitini yerel olarak aştığı durumlarda gerekli dekontaminasyon işlemlerinin yapılması gerektiğinden bahsedilmektedir.

2.1.6 Güney Kore

Güney Kore'de şu anda işletmede olan 24 adet reaktör bulunmaktadır. Bunlara ek olarak 3 tanesi yapım aşamasında 2 adet yeni reaktör ise GAR değerlendirme aşamasındadır. Güney Kore'de işletmede olan hiçbir nükleer santral için sökölme işlemi gerçekleştirilmemiştir. Yalnızca 2 adet eski araştırma reaktörü için sökölme işlemi gerçekleştirilmiş ve 1997 yılından günümüze kadar devam etmektedir (Ahn vd., 2016).

2011 yılında yaşanan Fukushima kazasından önce Güney Kore daha çok nükleer santrallerin işletmesine odaklanmıştır. Bu yıllardaki Güney Kore düzenleyici kuruluşunun sökölme

işlemi ile ilgili düzenlemelerine göre nükleer santral işleticisi sökölme işlemine karar verdiğinde sadece sökölme planı hazırlamakta ve bunu düzenleyici kuruluşa sunmaktaydı. Düzenleyici kuruluş ilgili raporu değerlendirip sökölme işlemi için onay vermesinin ardından sökölme işlemi gerçekleştirilmekteydi. Fakat daha sonra UAEA tarafından alınan misyon çerçevesinde ilgili ajans güvenlik standartları ve ajansın önerileri ile Güney Kore’de yer alan reaktörler için sökölme işlemlerinde düzenleyici kuruluş etkisi artırılmış ve kendi kanunları olan “Nükleer Güvenlik Kanunu” 2015 yılında revize edilip daha etkili ve verimli bir hale getirilmiştir (Ahn vd., 2016).

Sökölme işleminde uygulanması gereken dekontaminasyon metotları ve düzenlemeleri Nükleer Güvenlik Kanunu’nun içerisinde sökölme prosesi altında düzenlenmiştir. UAEA misyonu öncesinde sökölme işlemi detaylı olarak ele alınmamış fakat 2015 yılındaki revizyon ile birlikte sökölme işlemi daha detaylı ve işlev hale getirilmiştir. 2015 yılında revize edilen Nükleer Güvenlik Kanun’da sökölme bölümü altında dekontaminasyon ile ilgili bilgilerde yer almaktadır. Genel olarak dekontaminasyonun amacı ve işlevinden bahsedilmiş olup, kullanılacak metot ile ilgili işleticiye sorumluluk verilmiştir. Uygulanan dekontaminasyon metodu ile ilgili detaylı bir rapor Güney Kore düzenleyici kuruluşa tarafından değerlendirilecek olup gerektiğinde düzenleyici kuruluş tarafından yerinde denetimin gerçekleştirileceğinden bahsedilmiştir (Choi ve Kim, 2017).

Yukarıda da bahsedildiği üzere sökölme ve dekontaminasyon işlemi Güney Kore’de ilk kez “Kori Ünite 1” için gerçekleştirilmektedir. İlgili Kanunda yapılan revize ve geliştirme çalışmaları sonrası sökölme işlemi düzenleyici açısından daha kontrollü bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

Sökölme planının içerisinde yer alan dekontaminasyon ile ilgili bilgiler işletici tarafından düzenleyici kuruluşa sunulmaktadır. Sökölme işlemine onay verilip yakıt ve diğer radyoaktif malzemelerin taşınmasından sonra dekontaminasyon işlemine geçilmektedir. Dekontaminasyon sürecinin yaklaşık olarak 4 yıl süreceği öngörülmüştür.

Güney Kore’de yer alan nükleer santrallerin büyük çoğunluğu devlet şirketi olan Kore Elektrik Güç Şirketi (**KEPCO-Korea Electric Power Corporation**) bünyesinde Kore hidro&Nükleer Güç Şirketi (**KHNP-Korea Hydro&Nuclear Power Corporation**) tarafından işletilmektedir. Bu amaçla dekontaminasyon ilgili metotlar ve geliştirmeler genellikle bu

Kori Nükleer Santrali için hem sistem dekontaminasyonu hem de ekipmanlar için ayrı dekontaminasyon gerçekleştirilmesine karar verilmiştir. Sistem dekontaminasyonunda kimyasal yöntem kullanılacak olup ilgili dekontaminasyon kimyasalı sistem içerisinde çevrilerek önemli ekipmanların radyoaktivitesinin azaltılması amaçlanmıştır. Şekil 13’de Kori Ünite 1 için bütün sistem dekontaminasyonu akış diagramı verilmiştir.

Sistem dekontaminasyonuna ek olarak ekipmanlar için ayrı ayrı dekontaminasyon uygulamaları da gerçekleştirilmektedir. Bu amaçla şirket bünyesinde araştırma projeleri gerçekleştirilmekte, uluslararası kuruluşlar ile birlikte çalışılmaktadır.

67

düzenlemelerin bu amaç için yetersiz olması sebebi ile belirli problemler ortaya çıkmıştır. Bu amaçla UAEA tarafından alınan misyon ve düzenlemelerde yapılan geliştirmeler neticesinde 2015 yılında “Nükleer Güvenlik Kanunu”nda revizyona gidilmiş, düzenleyici kuruluşun etkisi ve verimi artırılmış ve belirli bir dekontaminasyon stratejisi ortaya konulmuştur (Choi ve Kim, 2017).

2.1.7 Türkiye

2.1.7.1 Hukuki altyapı

Dekontaminasyon uygulamaları ülkemizde resmi olarak tek başına düzenlenmemiş olsa da bazı yöntemeliklerde bu konuya atıflar yapılmıştır. Konu ile ilgili yönetmeliklerin bölümleri aşağıda açıklanmıştır.

Atıklar, 09 Mart 2013 tarihli ve 28582 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Radyoaktif Atık Yönetimi Yönetmeliği’nde (TAEK, Radyoaktif Atık Yönetimi Yönetmeliği, 2013b) çok kısa ömürlü, çok düşük seviyeli, düşük ve orta seviyeli ve yüksek seviyeli olarak sınıflara ayrılmıştır. Bunlardan çok kısa ömürlü olanlar; muafiyet sınırının üzerinde radyoaktivite içeren, en fazla birkaç yıl depolandıktan sonra aktivite içeriği serbestleştirme sınırlarının altına düşerek serbestleştirmeye uygun hale gelecek olan atıklar, çok düşük seviyeli olanlar; muafiyet sınırının üzerinde radyoaktivite içeren, çok kısa ömürlü radyoaktif atık sınıfına girmeyen ve serbestleştirme sınırlarının da yaklaşık 100 katının altında aktivite konsantrasyonu içeren radyoaktif atıklar, düşük ve orta seviyeli olanlar; radyoaktivite seviyeleri çok düşük seviyeli radyoaktif atıkların aktivite konsantrasyonundan fazla olan ancak yüksek seviyeli radyoaktif atık sınıfına girmeyen atıklar, yüksek seviyeli olanlar ise TAEK tarafından radyoaktif atık olarak kabul edilen kullanılmış nükleer yakıtlar, yeniden işleme sonucunda ortaya çıkan ve fisyon ürünleri ve aktinitleri içerebilecek radyoaktif atıklar ve bunların aktivitelerine yakın seviyede aktiviteye sahip diğer radyoaktif atıklar olarak sınıflandırılmışlardır.

İlgili Yönetmelikte atık sınıfları belirlenmiş olup atık türlerine göre uygun bertaraf tesis özellikleri de belirlenmiştir. Örneğin, çok düşük seviyeli radyoaktif atıkların bertarafı yüzey bertaraf tesislerinde, düşük ve orta seviyeli olanlar radyasyon seviyesine göre yüzey veya orta-derin bertaraf tesislerinde, yüksek seviyeli radyoaktif atıkların ise sadece derin bertaraf

tesislerinde bertaraf edilebileceğinden bahsedilmiştir. Ayrıca Yönetmelik, bu tip tesislerin ne gibi güvenlik önlemlerine sahip olması gerektiği, tasarımı ve sorumluklarını detaylı olarak anlatmıştır. Dekontaminasyon ile ilgili yapılacak olan mevzuat çalışmasında radyoaktif atık sınıflarının belirlenmesinde ve bertaraf tesisi tanımına giren dekontaminasyon uygulanan tesisin özelliklerinin belirlenmesinde bu Yönetmelikten faydalanarak, paralel bir doküman ortaya çıkarılabileceği düşünülmektedir.

Dekontaminasyon uygulamaları tezin ilk bölümlerinde detaylıca anlatılmıştır. Bu uygulamalar birbirinden farklı prosedürler olmaları sebebi ile dekontamine edilecek malzemeden ortaya çıkacak ikincil atıklara kadar farklı düzenlemelere gidilmesini gerektirmektedir. Örneğin; elektrokimyasal işlemler ile yapılan dekontaminasyon uygulamasında ortaya ikincil radyoaktif atık çıkmakla beraber radyoaktif olmayan fakat çevreye zararlı atıklar da ortaya çıkmaktadır. Özellikle elektrokimyasal işlemlerde güçlü asitlerin kullanılması, yüksek voltajda elektrik akımı uygulaması düzenlemenin daha detaylı yapılması veya dekontaminasyonu gerçekleştiren kişi/kuruluş tarafından TAEK'e daha detaylı bilginin verilmesini elzem kılmaktadır. Bu amaçla ileride dekontaminasyon ile ilgili mevzuat çalışmalarında yapılacak olan dekontaminasyon ile ilgili tüm detayların yer aldığı dekontaminasyon planının, TAEK tarafından talep edilmesi sürecin daha sağlıklı yürümesi açısından büyük önem arz etmektedir. Bu plan gerçekleştirilecek olan dekontaminasyon önceki işlemlerden, dekontaminasyonun türüne; uygulanacak olan malzemenin türü ve sonunda malzemede oluşan pürüzlülük değerlerine kadar bütün detayları içermesi gerekmektedir.

09 Mart 2013 tarihli ve 28582 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanan Nükleer Tesislerde Serbestleştirme ve Sahanın Düzenleyici Kontrolünden Çıkarılmasına İlişkin Yönetmelik (TAEK, 2013a) kapsamında katı halde olan radyoaktif atık veya maddelerin dekontaminasyonu sonucu serbestleştirme sınırlarından bahsedilmektedir. İlgili Yönetmelikte, radyoaktif atık ve maddelerin aktivitelerinin serbestleştirme sınırlarına inmesi için dekontaminasyon, bekletme gibi yöntemler uygulanabileceğini ve metallerin doğrudan kullanım ya da geri dönüşüm için serbestleştirilebildiği hükümleri yer almaktadır. Tezin literatür araştırma kısmında yer alan eritme yöntemiyle dekontaminasyon uygulaması "metalin geri dönüşüm amacıyla serbestleştirilebilmesi" hükmü altında yer almaktadır. İlgili Yönetmeliğin 7. ve 8. maddelerinde metal, bina ve molozların dekontaminasyonu sonucu

serbestleştirme sınırları Yönetmeliğin ekinde verilmiştir. Ayrıca Yönetmeliğin binalar ve molozların serbestleştirilmesi ile ilgili maddesinde:

“Nükleer tesislerin işletmeden çıkarılması sürecinde binalar, yıkılmadan önce veya sonra ya da yıkılmaksızın serbestleştirilebilir. Molozlar serbestleştirildikten sonra yeniden kullanım, geri dönüşüm işlemine tabi tutulabilir ya da bertaraf edilebilirler. Ayrıca yüksek yüzey bulaşmasına sahip binaların yüzeyleri yıkılmadan önce temizlenir ve açığa çıkan maddeler radyoaktif atık olarak işlem görür”

hükümleri yer almaktadır. Bu hükümler tezde de anlatılan betonlar için dekontaminasyon uygulamalarında beton yüzeylerinin ön temizliği, geri dönüştürülmesi veya doğrudan bertaraf edilmesi konularını kapsamaktadır. Bu sebeple ortaya çıkan her bir durumda farklı serbestleştirme sınırlarının belirlenmesi ve bunların ek olarak sunulması dekontaminasyon süreçlerinde uygulanacak adımlar sonrası oluşacak limit değerlerinin belirlenmesi amacıyla kullanılmasına da olanak sağlayacaktır.

02 Eylül 2004 tarihli ve 25571 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan “Radyoaktif Madde Kullanımından Oluşan Atıklara İlişkin Yönetmelik” (TAEK, 2004) radyoaktif maddelerin tıp, endüstri ve araştırma gibi alanlarda kullanılmaları sonucu meydana gelen atıkların kullanıcı tarafından gerektiğinde biriktirilip, bekletilmesinden sonra çevreye verilmesi ile ilgili sınırları ve şartları kapsamaktadır. İlgili Yönetmelikte radyoaktif maddelerin kullanılması esnasında bu maddelerle bulaşmış olan kullanım malzemeleri ve kullanılmayacak olan katı radyoaktif maddeler atık olarak değerlendirilerek belirli sınırlar dahilinde lisans sahibinin sorumluluğunda çevreye verilebileceğinden bahsedilmektedir.

Sonuç olarak dekontaminasyon ile ilgili yapılacak olan mevzuat çalışmasında ortak noktalar bulunması sebebi ile ilgili diğer dokümanlar ile beraber bir çalışma yürütülmesi gerekmektedir. Yukarıda bahsedilen yönetmeliklerde dekontamine edilecek radyoaktif atıkları ve ya dekontamine sonrası serbestleştirme sınırlarını belirleyen kurallar yer almaktadır. Bu sebeple hazırlanacak olan dekontaminasyon ile ilgili dokümanda bu yönetmeliklerin hükümleri de göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Ayrıca, dekontaminasyon tesisine atıkların kara, hava veya deniz yoluyla taşınarak gelecek olmasından dolayı 08 Temmuz 2005 tarihli ve 25869 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Radyoaktif Maddelerin Güvenli Taşınması Yönetmeliği (ETKB, 2005) , dekontaminasyon

işleminin tamamının radyasyon ile ilgili olmasından dolayı 24 Mart 2000 tarihli ve 23999 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan, “Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği” (TAEK, 2000) veya tesisin kontrollü alan bulundurması ve radyasyon ile çalışacak personel bulundurmasından ötürü 18 Haziran 2011 tarihli ve 27968 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Kontrollü Alanlarda Çalışan Harici Görevlilerin İyonlaştırıcı Radyasyondan Kaynaklanabilecek Risklere Karşı Korunmasına Dair Yönetmelik (TAEK, 2011) hükümleri de yapılacak olan mevzuat çalışmasında göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

13.07.1982 tarihli ve 17753 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanan 2690 sayılı Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Kanunu ile TAEK' in Madde 4’de yer alan hükümler gereği:

“Nükleer güç ve araştırma reaktörleri ve yakıt çevrimi tesislerinin yer seçimleri, inşaat, işletme ve çevre güvenlikleri ile ilgili her türlü onay, izin ve lisansları vermek; gerekli inceleme ve denetimleri yapmak, izin ve lisanslara uyulmayan hallerde işletme yetkilerini sınırlamak; verilen izin veya lisansı geçici veya sürekli olarak iptal etmek ve bu tesislerin kapatılmaları için Başbakana önerilerde bulunmak.”

“Nükleer hammaddeler, özel bölünebilir maddeler ve nükleer alanda kullanılan diğer stratejik maddelerle ilgili olarak yürütülen her türlü arama, çıkarma, arıtma, işletme, üretme, dağıtım, ithal, ihraç, ticaret, taşıma, kullanma, devir ve depolama gibi hususlarda uyulacak genel esasları saptamak, tavsiyelerde bulunmak ve işbirliği yapmak”

gibi yasal sorumlulukları bulunmaktadır. Bu sebeple dekontaminasyon ile ilgili mevzuat çalışmasında en önemli sorumluluk nükleer alanda düzenleyici kurum olan TAEK’e aittir.

Sonuç olarak yukarıda bahsedilen yönetmeliklerde yer alan hükümler göz önünde bulundurularak, radyoaktif atıkların dekontaminasyonunu düzenleyen, bunlar ile ilgili kurulacak olan tesisin güvenliğinin ne seviyede olacağı, radyoaktif atıkların tesis çapında nasıl ele alınacağı, atıkların depolanması, taşınması, işlenmesi ve serbestleştirme faaliyetlerini düzenleyen ve bunlar ile ilgili denetim ve yaptırımların nasıl yapılacağını ele alan bir dekontaminasyon düzenleyici dokümanının oluşturulması büyük önem arz etmektedir.

2.1.7.2 Teknik altyapı

Nükleer maddelerin gerek nükleer santrallerde kullanımı gerekse endüstriyel ve sağlık alanlarında kullanımı sonucunda radyoaktif atıklar oluşmaktadır. Kaynağı farketmeksizin ortaya çıkan bu radyoaktif atıklar güvenli, ekonomik ve çevreye ve halka zarar vermeyecek bir şekilde yönetilmek zorundadır.

Radyoaktif atıklar taşınma, depolama ve atık düzenlemelerini kolaylaştırmak için içerdiği radyoaktif malzemenin konsantrasyonu ve radyoaktif kaldıkları süre dikkate alınarak sınıflandırılmaktadırlar. Kategorilerin tanımı ülkeden ülkeye değişmekle beraber radyoaktif atıklar düşük seviye, orta seviye ve yüksek seviyeli atıklar olarak sınıflandırılabilir. Bu sınıflar bir önceki bölümde detaylı olarak açıklanmıştır.

UAEA'nın "Radyoaktif Atık Yönetim İlkeleri" radyoaktif atıkların aşağıdaki hususlar sağlanacak şekilde yönetilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır: (IAEA, 2011)

- Ulusal sınırları da aşan boyutta çevre ve insan sağlığı için kabul edilebilir seviyede bir koruma vardır.
- Radyoaktif atıkların gelecek nesiller üzerindeki etkisi bugün kabul edilen seviyelerden daha büyük değildir ve gelecek nesillere gereksiz yükümlülüklerin bırakılmasından kaçınılmıştır.
- Yükümlülüklerin açıkça belirlendiği ve bağımsız düzenleme için önlemlerin alındığı yasal bir çerçeve oluşturulmuştur.
- Değişik adımlar arasındaki bağımlılıklar hesaba katılarak, atık üretimi mümkün olan en az seviyede tutulmaktadır.
- Atık yönetim tesislerinin güvenliği uygun bir şekilde garanti altına alınmaktadır.

Radyoaktif atıkların yönetimi için gerekli faaliyetler şu şekilde sınıflandırılabilir:

- Üretilen miktarın en aza indirilmesi,
- Güvenli yönetim ve taşıma sırasında koruma için koşullandırma ve paketlenme,
- Ara depolama,
- Nihai Depolama.
- Atık miktarını azaltma

Nihai depolama radyoaktif atık yönetiminin son adımıdır. Genellikle bu işlem, geri alma amacı olmaksızın atıkları bertaraf etmek, uzun süre izleme ve gözetmeye gerek görmeden halk ve çevreden güvenli bir şekilde izole ederek muhafaza etmek olarak tanımlanır. Radyoaktif atıklar özel olarak hazırlanmış tesislere gömülür ve radyoaktif olmayan atıklarla karıştırılmaz. Dünyada atık depolama konularında önemli çalışmalar yapılmaktadır. Yakın gelecekte birçok ülkede depolama tesisleri kurmak için araştırmalar yapılmakta ve yer seçimleri çalışmaları devam etmektedir. Örneğin Belçika ve Kanada’da merkezi depo ve yer altı laboratuvarı yapılmış, ömürsüz depolama tesisi için planlamalar yapılmaktadır. ABD’de düşük yoğunluklu depolar kullanılmakta olup Yucca Dağları’nda derin depolama için 2002 yılında karar alınmıştır (Türkmen, 2015).

Radyoaktif atıkların yönetimi için gerekli faaliyetlerde depolama önemli konulardan biridir. İleriki zamanlarda ülkemizde yapılacak olan işleticisinin kendimizin olduğu yerli nükleer santral projelerinde oluşan atıkların nihai depolanmasının önemli bir teknik sorun olarak ortaya çıkacağı öngörülmektedir. Bununla ilgili çalışmalara şimdiden başlanması büyük önem arz etmektedir.

Radyoaktif atıkların yönetiminde bir diğer önemli parametre ise üretilen miktarın en aza indirilmesidir. Bu konuda teknolojik gelişmelerle atık miktarını azaltmanın yanı sıra özellikle santrallerde radyoaktif ortamda çalışan ekipman veya parçaların dekontamine edilmesiyle önemli hacimsel oranlarda azalmalar gerçekleşebilmektedir. Örneğin, birincil çevrimdeki boruların dekontamine edilmeden atık olarak değerlendirmesi çok fazla boyutlarda depolama alanına gereksinim duyuracak ayrıca önemli miktarda malzemenin kaybına sebep olacaktır. Fakat kimyasal veya elektrokimyasal yöntemle boruların dekontamine edilmesi, sadece sıvı ve çok düşük hacimde atık ortaya çıkaracak ve malzemenin tekrar kullanılmasına olanak sağlayacaktır.

Dekontaminasyon alanında dünyada sayılı ülkeler teknik olarak çok iyi seviyelerdedir. Tezin literatür kısmında bahsedilen prosesler incelendiğinde genelde her ülke kendi ticari ve patentli dekontaminasyon proseslerini kullanmakta ve bu prosesler ülkelerinde yer alan santraller ile entegre bir biçimde çalışmaktadır. Ayrıca işlemin radyoaktif olması, çevreye zarar verebilecek kimyasalların kullanılması, radyoaktif maddelerin taşınmalarının çok zor ve kâlfetli olması sebebi ile ülkeler bu konuda kendi kendilerine yetebilmenin gayreti

içerisindedirler. Ülkemiz açısından düşünüldüğünde İstanbul Teknik Üniversitesi'nde yer alan araştırma reaktörünün faal olması, Çekmece'deki TR-2 araştırma reaktörünün yakın zamanda devreye girecek olması ve 2 adet nükleer santral projesinin bulunması sebebi ile dekontaminasyon alanında teknik yeterliliğe ulaşmanın bir an önce gerçekleşmesinin elzem olduğu düşünülmektedir. Ayrıca endüstriyel ve sağlık alanlarında radyografik tekniklerin kullanılması, demir çelik sektöründe kontamine olmuş parçalara rastlanılması gibi durumlar da göz önünde bulundurulduğunda, bu gibi ürünlerin sadece depolanması çözüm olarak yeterli olmayacaktır. Uygun dekontaminasyon teknikleri ile kontaminasyonun azaltılması ve radyoaktif atıkların miktarının azaltıldıktan sonra gömülmesi gerekmektedir.

Tezin bu bölümünde dekontaminasyon uygulamalarına yönelik olarak farklı ülkelerin bakış açıları anlatılmıştır. Düzenleme anlamında yukarıda anlatılan ülkeler arasındaki farklılıklar ve benzerlikler Tablo 7' de özet olarak sunulmuştur.

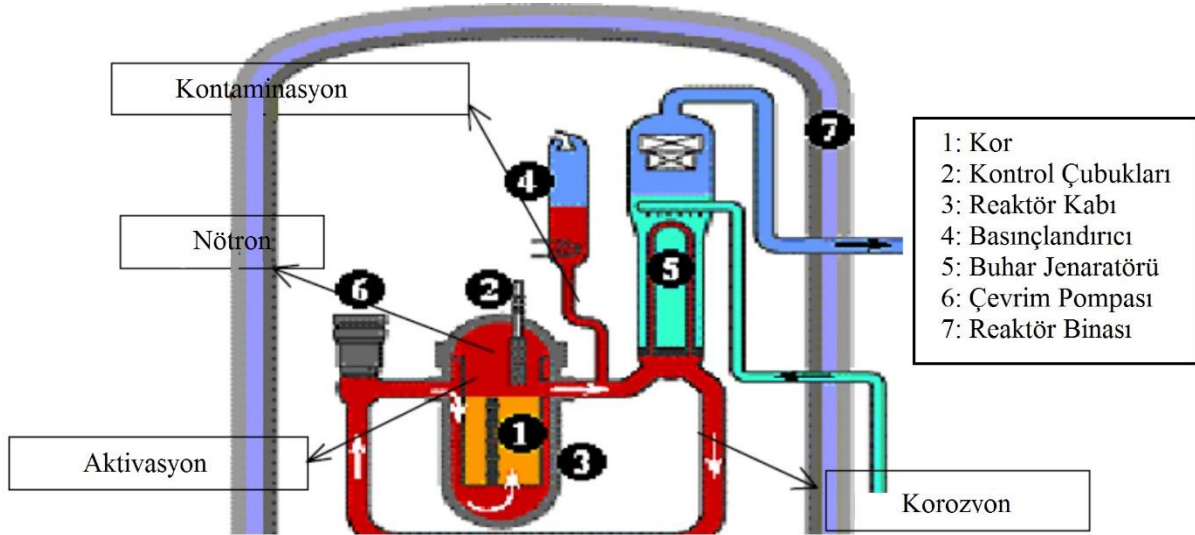
Tablo 7: Dekontaminasyon alanında farklı ülke karşılaştırmaları

	ABD	Rusya	Japonya	Finlandiya	Güney Kore	Türkiye
Düzenleyici Kuruluş	NRC	RTN	NRA	STUK	NSSC	TAEK
Düzenleyici dökümanlar	• 10 CFR 50.59 • 49 CFR • 29 CFR • 40 CFR 61	NP-012-99	• Atom Enerjisi Temel Yasası • Reaktör Düzenleme Yasası • Radyasyon Tehlikeleri Önleme Yasası	• YVL B.5 • YVL C.1 • YVL C.2 • YVL D.4 • YVL E.6	Nükleer Güvenlik Kanunu	• TAEK Kanunu • Radyoaktif Atık Yönetmeliği
Sorumlu kurumlar	• NRC • EPA • OSHA • DOT	RTN	• NRA • Atom Enerjisi Komisyonu • Çevre Bakanlığı	STUK	NSSC	TAEK
Ele alınan aşamalar	Bilgi yok	• Tasarım • İşletme • Sökülme	• İşletme • Sökülme	• Tasarım • İşletme • Sökülme	• İşletme • Sökülme	-
Özel durumlar	Dekontaminasyon işlemi nükleer güvenlik kriterlerini karşılamadığı durumlarda yeniden lisans alınması gerekiyor.	Bakım ve onarım zamanlarında rutin dekontaminasyon uygulamaları yapılıyor	İşletme sırasındaki ekipman veya parçalarda yer alan kontaminasyon seviyelerinin takibini işleticiye zorunlu tutmaktadır	İşleticinin, bileşen ve parçaların dekontaminasyonu için prosedürlere sahip olması gerekmektedir	Bilgi Yok	-
Tecrübe	Var	Var	Var	Yok	Yok	Yok
İşleticiden istenilen plan, program	Dekontaminasyon güvenlik değerlendirme formu	Bilgi yok	Operasyonel güvenlik programı	Birincil devre ile ilişkili sistemler için dekontaminasyon planı	Dekontaminasyon Güvenlik Raporu	-

2.2 Farklı Reaktör Tiplerindeki Dekontaminasyon

İşletmede olan nükleer bir reaktör fisyon reaksiyonlarından dolayı kendi başına bir radyasyon kaynağı gibi davranıp kontaminasyona neden olmaktadır. Ekipman üzerinde oluşan kontaminasyonların en büyük nedeni ise korozyondur. Aşağıdaki şekilde bir basınçlı su reaktöründe yer alan radyasyon kaynakları görülmektedir.

Şekil 14: PWR’lerde radyasyon kaynakları



(IAEA, tarih yok)

Fisyon Ürünleri (**FP- Fission Products**), yakıtta oluşan fisyon reaksiyonundan gelmektedir. FP’ler birincil devrede, yakıt kaplamasında bulunan Zircaloy alaşımında bulunan uranyum safsızlıklarından ötürü bulunur. Bir yakıt kaplamasında hata ortaya çıktığında, serbest bırakılan FP miktarı yükselmekte ve normalde yakıt çubuğunun dışına çıkmayan (Ba, Sr, Ce, Pr, Zr, Ru ...) ve aktinitler ortaya çıkmaktadır. Ortaya çıkan miktar, kusurun uzunluğuna ve konumuna, arızalı yakıt çubuğunun konumu ve yanma fraksiyonuna bağlı olmaktadır (IAEA, tarih yok)

Genel olarak, uranyum çözünmez haldedir ve birincil devrede çok az miktarda bulunur. FP, Korozyon Ürünleri'nin (**CP-Corrosion Products**) yaptığı gibi, birincil devre yüzeylerinin metal oksitleriyle birleşmiş halde bulunmaktadır. Örnek olarak birikmiş uranyum oksit yığınları, temiz bir reaktör için 1 g, küçük yakıt kaplama kusurları olduğu durumda (50

um'nin altında) 1 ila 10 g ve kırık yakıt çubuğuna sahip bir reaktör için 50 ila 200 g civarındadır.

Aktivasyon Ürünleri, nötron sebebiyle aktive edilen kimyasal elementlerden gelmektedir. Dolayısıyla, birinci devrede yer alan CP'lerin aktivasyonundan kaynaklanan nüklidler, aynı zamanda aktivasyon ürünüdürler (IAEA, tarih yok).

CP'ler birincil soğutma sıvısı ile temas eden yapı malzemelerinin korozyonundan gelmektedir. Bunlar doğrudan aktive edilmiş bir form altında serbest bırakılan veya nötron akı altında aktive olan kobalt, demir, nikel vb. metalik elementlerdir. Erozyon ve korozyon, devrelerde CP oluşumuna ve dolaşımına neden olan iki mekanizmadır. Birincil devredeki yüksek hızdaki akışın sebep olduğu erozyon ile ekipman yüzeylerinden salınan çözünür, koloidal korozyon ürünleri, birincil soğutma sıvısı tarafından kora taşınırlar ve burada aktive olarak yeniden birincil devredeki akış ile yeniden dağıtılarak mevcut oksit filmler tarafından emilmektedirler. En ağır parçacıklar, birincil soğutma sıvısı akış oranının düşük olduğu veya devrenin yatay bölümlerinde birikirler. Bu çökeltiler, ağırlıklı olarak basınç kabının tabanında ve buhar jeneratörü tüplerinin yüzeyinde birikerek reaktör içerisindeki doz oranını artırmaktadırlar (IAEA, tarih yok).

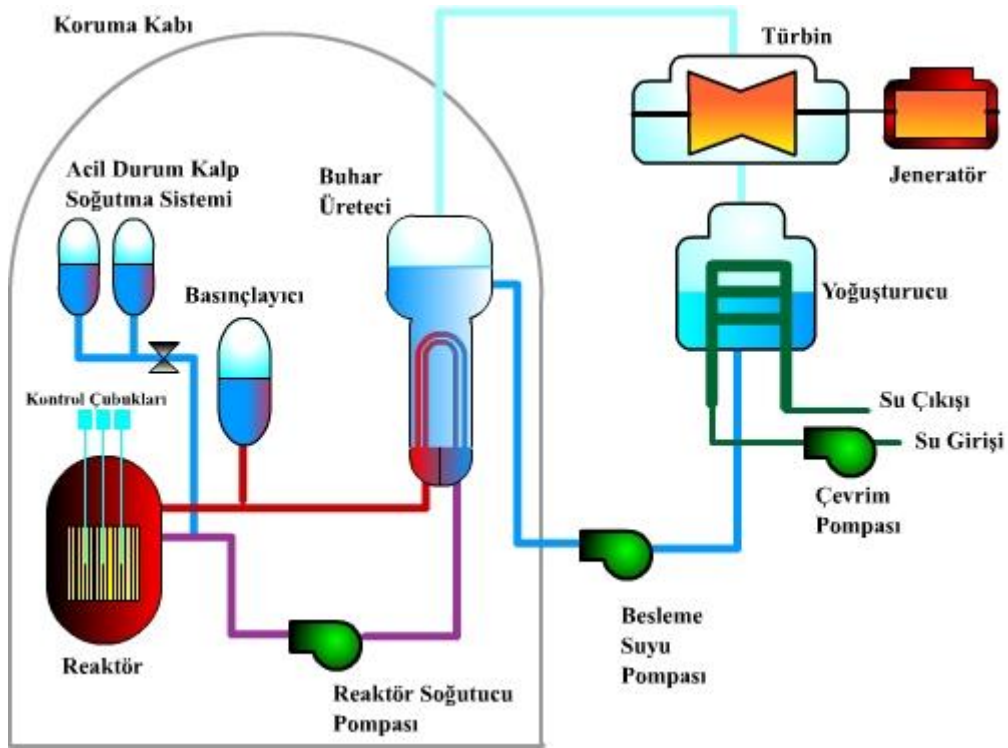
2.2.1 PWR'de dekontaminasyon

PWR'ler dünyadaki nükleer santrallerinin büyük çoğunluğunu oluşturmakta (Birleşik Krallık, Japonya, Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada olmak üzere önemli istisnalar hariç) ve üç tip Hafif Su Reaktörü'nden (**LWR-Light Water Reactor**) biri olup, diğerleri BWR'ler ve Süper Kritik Sulu Reaktör'dür (**SCWR-Super Critical Water Reactor**). Bir PWR'de, birincil soğutucu (su) yüksek basınç altında reaktör kalbine pompalanır ve atomun parçalanması sonucu oluşan enerji ile ısıtılır. Isıtılan su daha sonra bir buhar jeneratörüne gönderilir ve burada termal enerjisini buharın üretildiği bir ikincil sisteme aktarır. Oluşan buhar türbin ve jeneratör sistemi sayesinde elektrik enerjisine çevrilir. Bir BWR'nin aksine, birincil soğutma sıvısı devresindeki basınç, suyun reaktör içinde kaynamasını önlemektedir. Tüm LWR'ler hem soğutucu hem de nötron moderatörü olarak sıradan suyu kullanmaktadır. PWR'lerin temel özellikleri aşağıda verilmiştir (TAEK, 2009a):

- %2,5 ila %3 oranında zenginleştirilmiş uranyum yakıtla çalışır.

- Üretilen enerji birincil devre soğutucusu (hafif su) vasıtasıyla reaktör kalbinden çekilir. Reaktöre giriş sıcaklığı 290°C ve çıkış sıcaklığı 330°C civarında olan, soğutucu, kaynamaması için atmosfer basıncının 150 katı basınç altında tutulur.
- Bu suretle çekilen enerji, buhar üreticileri vasıtasıyla ikincil devreye aktarıldıktan sonra soğutucu birinci devre pompası tarafından reaktör kalbine geri gönderilir.
- İkincil devreye aktarılan ısı enerjisiyle üretilen buhar, türbin-jeneratör biriminde elektrik üretir.
- Yoğusturucuda sıvı fazına dönen ikincil devre soğutucusu yeniden buhar üreticisine gönderilir.

Şekil 15: PWR



(TAEK, 2009a)

PWR'lerin birincil devrelerinde alkali ve indirgeyici soğutucu kullanımı ve işlemlerin yüksek basınç ve yüksek sıcaklıklarda gerçekleşmesinden dolayı metalik duvarlara kuvvetle yapışan ince koruyucu filmler oluşmaktadır. Bu ince filmler spinel benzeri bir yapıya sahip olup kristal halde bulunmaktadır. Karbon çeliği üzerinde bulunan filmler manyetitten, paslanmaz çelik ve yüksek nikel alaşımlı çeliklerin üzerindeki filmler ise nikel ferritten

oluşmaktadır. Çeliklerdeki krom miktarı çok düşük olsa bile bu bileşiklerin çözünürlüğünü önemli oranda azaltmaktadır. Bu filmlerin en büyük dezavantajı, radyoaktif aktivasyon ve FP'leri içine almaları veya adsorbe etmeleridir. Bu kontaminasyon oksit tabakası boyunca dağılmakta ve bazı durumlarda birinci metal katmanına kadar erişebilmektedirler.

Tezin literatür bölümünde açıklanan fiziksel temizleme yöntemleri, gevşek veya zayıf yapışan kontaminasyon içeren filmin çıkarılması için etkilidir; ancak sıkı sıkıya bağlı koruyucu katların çıkarılması sadece fiziksel temizleme yöntemleri ile mümkün olmamaktadır.

Asitler kullanılarak yapılan tek adımlı kimyasal temizleme, karbon çeliğindeki manyetiti ortadan kaldıracaktır ancak diğer alaşımlar üzerindeki krom içeren pasif tabakaları çözmemektedir.

PWR birincil devrelerin paslanmaz çelik bölümlerini dekontamine etmek için tüm pratik yöntemler, alkalik permanganat ile krom (VI) iyonunun oksitleyen ve filmi asit içerisinde kolaylıkla çözölebilen bir yapıya getiren bir ön işleme basamağını içermektedir (IAEA, 1979a).

Çözünme basamağında oksalik asit kullanımı tam olarak verimli olmamaktadır. Çünkü birkaç saatlik temastan sonra demirli oksalat çökmesi ile tekrar malzeme yüzeyinde yeni bir birikme meydana gelmektedir. Amonyum sitrat ve fosforik asit kullanımı da aynı dezavantajı sahiptir; ancak bu olay daha az ölçüde gerçekleşmektedir. EDTA gibi demir tutucuların kullanımı ile bu işlem asgariye indirilebilmektedir.

Yukarıda bahsedilen bazı sert tekniklere ek olarak, aşağıdakilerden birini içeren daha basit teknikler de bulunmaktadır (IAEA, 1979a).

- Yeniden yakıt yükleme için kapatma işlemi hemen öncesinde birincil soğutucuya hidrojen peroksit ilavesi: Bu işlem kobalt çözünürlüğünü arttırmaktadır. Kobalt içeren soğutucu ise normal kimyasal kontrol sistemi ile kontrol edilmektedir.
- Duvar yüzeylerinde oluşan birikmeleri çözmek için soğutma sıvısının sıcaklık, basınç veya REDOX potansiyeli çevrimi: Süspansiyon haline getirilmiş çözünmüş duvar atıkları, normal kimyasal kontrol sistemindeki filtrelerle uzaklaştırılmaktadırlar.

- Sürekli sirkülasyona tabi tutulan soğutucuya kimyasalların düşük konsantrasyonda eklenmesi.

Bu tür basit ve daha yumuşak tekniklerin kullanımı aşağıda yer alan dezavantajların da oluşmasının önüne geçecektir. Bunlar (IAEA, 1979a):

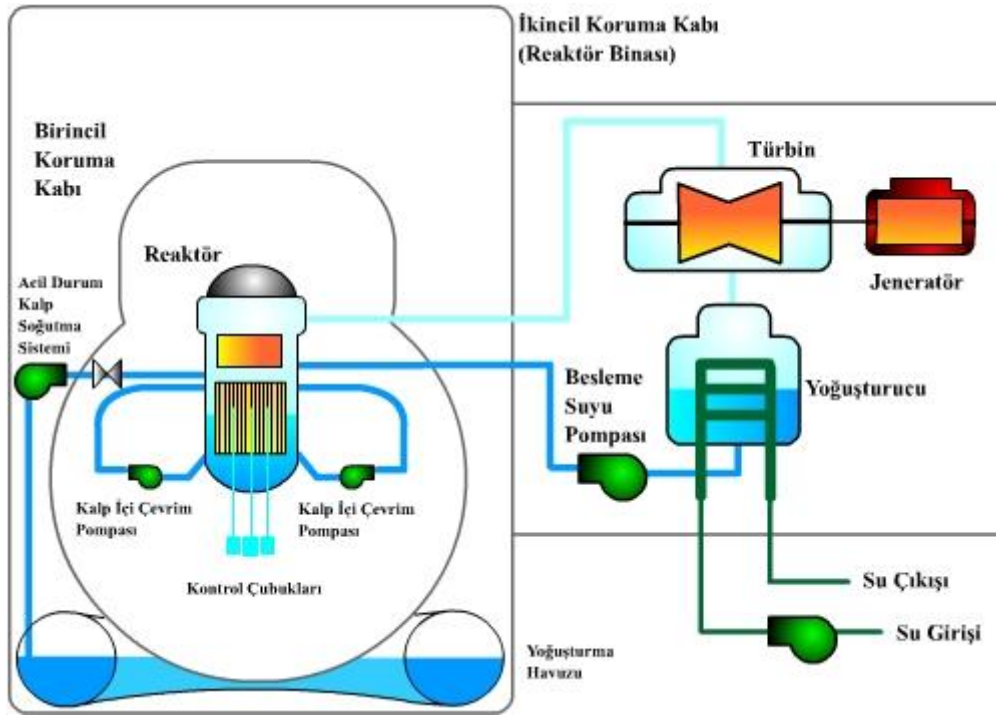
- Orta seviyeli büyük hacimlerde sıvı atıkların oluşması,
- Aşındırıcı sıvılarla uğraşılması,
- Dekontaminasyon öncesi yakıtın çıkarılması zorunluluğu,
- Korozyona karşı hassas bileşenlerini koruyucu kaplamalarla izole etmek, pompa contalarını deiyonize suyu ile yıkamak veya birinci devrenin yalnızca belirli bir kısmını dekontamine etmek gibi.

2.2.2 BWR’de dekontaminasyon

BWR, elektrik enerjisi üretimi için kullanılan ve PWR’lerden sonra elektrik enerjisi üreten nükleer santrallerin ikinci en yaygın tipi olan LWR’dir. Bir BWR ve PWR arasındaki temel fark, bir BWR’de reaktör kalbinde su ısıtıp buhar haline dönüştürülmekte ve buhar türbinlerini döndürmektedir. Fakat PWR’de, reaktörde ısıtılan su bir buhar jeneratörüne gönderilir ve burada termal enerjisini buharın üretildiği bir ikincil sisteme aktarır. Oluşan buhar türbin ve jeneratör sistemi sayesinde elektrik enerjisine çevrilir. BWR’lerin temel özellikleri aşağıda verilmiştir (TAEK, 2010):

- % 3 civarında zenginleştirilmiş uranyum oksit yakıt kullanır.
- Üretilen enerjinin çekilmesi giriş sıcaklığı 275°C, çıkış sıcaklığı 290°C civarında olan, atmosfer basıncının 70 katı basınç altında tutulan soğutucu (hafif su) vasıtasıyla sağlanır.
- Belli bir oranda buharlaşan soğutucu, nem ayırıcı ve kurutuculardan geçtikten sonra taşıdığı ısı enerjisi türbin-jeneratör biriminde elektrik enerjisine dönüştürülür.
- Yoğusturucuda sıvı fazına dönen soğutucu yeniden reaktör kalbine gönderilir.
- Reaktör kontrolünde ve kapatmada kullanılan kontrol çubukları, reaktör içerisinde düzgün bir ısı dağılımı sağlamakta kullanılan çevrim pompaları ve bir kaza durumunda reaktör kalbini soğutan acil durum soğutma sistemi önemli bileşenler arasında sayılabilir.

Şekil 16: BWR



(TAEK, 2010)

BWR'lerde kontaminasyon genellikle basınç kabında ve soğutma sıvısı arındırma çevriminde kalmaktadır. Buhar hatları ve yoğunlaştırıcı sistem genelde düşük aktivasyona sahip olmakla birlikte bu parçalardaki korozyon, halkanın diğer bölümlerinde kontaminasyona neden olabilmektedirler. Bununla birlikte, türbin, kısa ömürlü ksenonun buhar tarafından tutulması nedeniyle baryum izotopları ile hafifçe kontamine olabilmektedir.

BWR'lerde bulunan oksit filmleri PWR'lerden farklıdır (Fe_2O_3 , bazı yerlerde bulunabilir). Bu amaçla bazı dekontaminasyon metotları PWR'lerde oldukça etkili olduğu halde BWR'ler için çok etkili olmayıp düşük dekontaminasyon faktörleri verebilmektedir. Her ikisi için verimli çalışan yöntemlerden biri ise kimyasal CITROX yöntemidir (IAEA, 1979a).

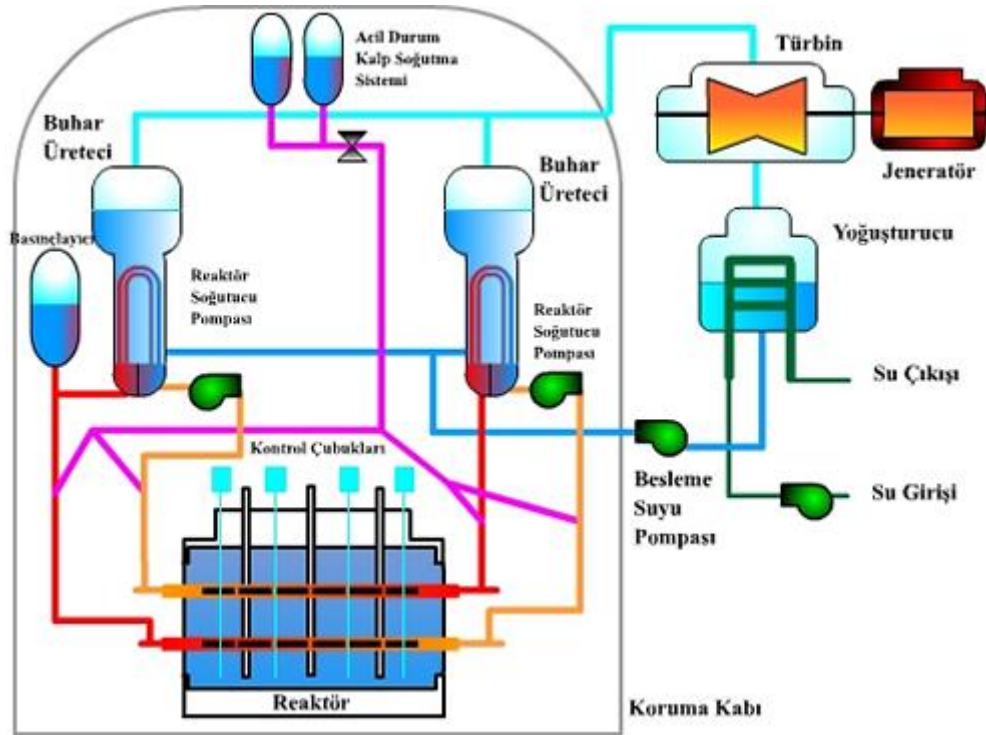
2.2.3 CANDU'da dekontaminasyon

Ağır sulu reaktörler, tasarımlarında, fiziksel ve termodinamik özellikleri suya çok benzeyen ancak nötronik özellikleri farklı olan ağır suyu, soğutucu ve yavaşlatıcı olarak kullanan reaktörlerdir. Ağır suyun nötron yavaşlatma gücünün normal sudan daha iyi olması ve soğurma özelliğinin daha az olması ile bu tip reaktörlerde yakıt olarak doğal uranyumun

kullanılmasına olanak verir. Ağır sulu reaktörler içinde en çok tercih edilen tip Basınçlı Ağır Su Reaktörleridir (**PWHR-Pressurized Heavy Water Reactor**). Bu reaktörlerde soğutucu, PWR'lerde olduğu gibi basınç altında tutularak kaynaması önlenir. PWHR'lerin en yaygın olarak kullanılan tipi CANDU'dur. CANDU'ların temel özellikleri aşağıda verilmiştir (TAEK, 2009b):

- CANDU, basınç tüpü tasarımına sahip bir PHWR'dir. Reaktör kazanı kalandria adı verilen büyük silindir şeklinde bir tanktır. Bu tankın içinden yakıt kanalları adı verilen birkaç yüz tüp geçer. Yakıt kanallarına yakıt demetleri yerleştirilir. Bunlar kaynamanın engellenmesi için atmosfer basıncının 100 katı basınç altında tutulan ağır su soğutucu ile soğutulur.
- Soğutucu, önce yakıt kanallarına, buradan buhar üreteçlerine pompalanır. Buhar üretecinde enerjisini bırakarak çıkan soğutucu başka bir kanaldan ve ters yönden yeniden reaktör kalbine gönderilir ve buradan çıktıktan sonra diğer buhar üretecine gider.
- Elektrik üretimi sistemin ikincil bölümünde PWR'ye benzer şekilde gerçekleşir.
- Önemli sistem bileşenleri arasında basınçlayıcı, yakıt değiştirme makinası, 2 farklı kapatma sistemi ve acil durum kalp soğutma sistemi sayılabilir.
- Sistem doğal uranyum kullanacak şekilde tasarlanmıştır ve yakıt değiştirme makinası vasıtasıyla reaktör çalışırken yakıt değiştirilebilmektedir.

Şekil 17: CANDU



(TAEK, 2009b)

CANDU, Siemens PWR veya İngiliz Buhar Üretimli Ağır Su Reaktörü (**SGHWR-*Steam Generating Heavy Water Reactor***) gibi ağır su reaktörlerinde, moderatörün izotop kalitesinin korunmasına büyük önem verilmektedir. Ağır su, sıradan temizleme kimyasalları ile yer değiştiremeyeceği ve organik reaktifler, tamamen dötere edilmese bile, reaktördeki ağır su ile büyük konsantrasyonlarda kullanılmayabileceğinden dekontaminasyon işlemleri üzerinde ciddi bir etkiye sahiptir. Bu sorun iki şekilde çözülebilmektedir. Bunlar (IAEA, 1979a):

- Sert yaklaşım: Döteryum moderatörü ve soğutucu (Eğer döteryum soğutuculu reaktör ise) sistemden boşaltılıp özel bir tank içerisinde muhafaza edilir ve kalan sistem PWR ve BWR’lerde kullanılan dekontaminasyon yöntemlerinden herhangi biri ile dekontamine edilir.
- Yumuşak yaklaşım: Kapatma sonrası kor normal haliyle bırakılır; dekontaminasyon, düşük konsantrasyonlarda kimyasal maddelerin soğutucuya enjekte edilmesi ile yapılır; soğutucu yüksek hızda devridaim ettirilip, filtreleme ve iyon değişimi

(normal soğutucu arıtma sistemi genellikle yeterli, ancak her zaman değil) ile sürekli arındırılır.

Yumuşak yaklaşım, CANDU'ların dekontaminasyonu için özellikle kullanılmaktadır. Tezin literatür kısmında da bahsedilen CAN-DECON prosesi yöntem olarak seçilmektedir. Kullanılan solüsyon, %0,1 nihai konsantrasyona ulaşacak şekilde soğutucuya ilave edilen sitrik asit, oksalik asit ve EDTA içermektedir. Solüsyon, radyonüklitleri yakalayan ve kimyasalları yenileyen filtreler ve iyon değiştiriciler aracılığıyla sürekli olarak geri dönüştürülmektedir. Çok az miktarda ikincil sıvı atık üretilmekte ve ekipman veya parçalar üzerinde oluşan manyetit filmler çıkarılmamasına rağmen, 5-15 arası DF'ye ulaşmak mümkün olmaktadır (IAEA, 1979a).

2.3 Dekontaminasyon Aşamaları

Nükleer santrallerde dekontaminasyon uygulamaları santralin işletme aşamasında uygulanabildiği gibi sökölme işlemi sonrasında da uygulanmaktadır. Genel olarak her iki aşamada uygulanan yöntemler ve amaçlar benzerlik taşımaktadır.

2.3.1 Sökölme öncesi

Sökölme öncesi uygulanan dekontaminasyon işlemindeki en büyük amaç nükleer santral çalışanlarının maruz kaldığı doz oranlarının azaltılmasıdır. Dekontaminasyon işlemleri uzun süreler almaktadır; bu amaçla çalışanlar için belirlenen limitler aşılmadığı sürece işletme aşamasında dekontaminasyon çok fazla tercih edilmemektedir. Aşağıda belirtilen nedenlerde, reaktörlerin dekontaminasyonunun sökölme işlemi öncesinde yapılmasının faydalı olduğu gösterilmiştir:

- Bütün sistemin dekontaminasyonu ile ısınım miktarları sökölme öncesinde önemli ölçüde azaltılmaktadır. Bu da daha düşük radyasyon seviyesi sağlayarak sonraki kesim ve sökme işlemlerini kolaylaştırmaktadır.
- Birincil devre sisteminin dekontaminasyonu ile tüm sistemin tek adımda sökölmesi mümkün olmaktadır.
- Sökölme işlemi öncesinde yerinde dekontaminasyon yapmak, söküm sırasında mevcut tesis sistemleri, tecrübeli personel ve mevcut altyapıyı maksimum düzeyde kullanmayı mümkün kılmaktadır.

Dünyadaki bütün nükleer santrallerde çalışan personeller için alacağı maksimum doz oranları belirtilmiştir. Örneğin Birleşik Arap Emirlikleri Federal Nükleer Düzenleme Kurumu (**FANR-Federal Authority for Nuclear Regulation**) bir nükleer tesisin normal çalışması sırasında santralde çalışan personeller için belirlenen doz oranını beş yıllık bir periyot için ve bu beş yıl içerisinde bir yılda alınacak doz oranının 50 mSv'yi geçmemesi şartıyla 100 mSv olarak belirlemiştir (FANR, 2010). Aynı şekilde Kanada Nükleer Güvenlik Komisyonu'nun (**CNSC-Canadian Nuclear Safety Commission**) yayınlamış olduğu radyasyondan korunma yönetmeliğinde de nükleer santralde çalışan personeller için de beş yıllık bir periyot boyunca ve bu beş yıl içerisinde bir yılda alınacak doz oranının 50 mSv'yi geçmemesi şartıyla 100 mSv olarak belirlenmiştir (CNSC, 2017). Bu oranların sağlanması işleticinin sorumluluğundadır. Eğer bir santralde oluşan sızıntıdan veya başka bir nedenden dolayı aktivitenin artması sonucu çalışan personelin almış olduğu doz miktarlarında artış olması durumunda gerekli ekipman veya parçalar için dekontaminasyon uygulamasına gidilmektedir. Genellikle işletmede olan bir santralde ekipmanların tek başına dekontamine edilmesi işlemi zor olması sebebiyle bütün sistemin tamamında dekontaminasyon uygulaması yapılmaktadır. Bütün sistem dekontaminasyon teknolojileri kullanılarak sağlanabilecek önemli faydalara ek olarak oluşan katı ve sıvı atık miktarları, hedeflenen doz miktarları gibi konularda dikkate alınması gerekmektedir.

İşletme sırasında uygulanan bütün sistem dekontaminasyonu ile ilgili olarak Belçika'da yer alan BR3 nükleer santralindeki gerçekleştirilen dekontaminasyon uygulaması aşağıda anlatılmıştır.

2.3.1.1 Birincil devre borularında dekontaminasyon uygulaması (IAEA, 1979a)

BR3 Belçika'da yer alan PWR tipi küçük bir nükleer santraldir. 1962 yılında kritik olmuş, 13 yıllık işletme süresi sonunda 1975 yılında birincil devre sisteminde dekontaminasyon uygulaması gerçekleştirilmesine karar verilmiştir.

Dekontaminasyon ile hedeflenenler:

- Buhar jeneratörünün denetlenebilmesi için kolay bir yol oluşturmak, (Buhar jeneratörü 1966 yılından beri denetlenmemiş olup 1974 yılının başlarında çok küçük bir sızıntı olduğu tespit edilmiştir.)

- Birincil sistem boru veya ekipmanların çevresindeki radyasyon alan mesafesini düşürerek yeniden yakıt yükleme sırasındaki denetim ve muayene işlemlerini kolaylaştırmak.

Dekontaminasyon iki adımlı proses olarak gerçekleştirilmiştir. İlk adımda sisteme oksitleyici uygulanıp bazı katyonların çözünülebilirliği artırılmıştır. İkinci adımda ise bu katyonlar kompleks şeklinde çözdürülmüştür. Birinci adım için 240g/L konsantrasyonunda 95°C sıcaklıkta TURCO 4502 kimyasalı kullanılmıştır. İkinci adımda ise 75g/L ve 70-80°C sıcaklıkta oksalik asit ve sitrik asit çözeltisi içeren TURCO 4521 kimyasalı kullanılarak dekontaminasyon gerçekleştirilmiştir.

Dekontaminasyon öncesi hazırlık aşaması:

Dekontaminasyon uygulanmadan önce belirli çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar maddeler halinde aşağıda anlatılmıştır.

1.Reaktör kapağının değiştirilmesi

Kontrol çubuklarını taşıma mekanizmasındaki bazı parçaların krom kaplamalı olması ve bunların tam olarak korunamayacak olması sebebi ile reaktör kapağı çıkarılmış ve yerine geçici olarak iç taraftan paslanmaz çelik kaplı, 25 kg/cm² çalışma basıncında yeni kapak yerleştirilmiştir.

2.Birincil devre pompalarının korunması

Birincil sistem devresinde suyu çevirmeye yarayan pompa motorlarındaki grafit mil yatakları, TURCO 4502 kimyasalının korozyonundan etkilenmemesi amacı ile izole edilmiştir.

3. Besleme pompaları

Besleme pompalarında yer alan krom kaplı pistonlar paslanmaz çelik olanlar ile değiştirilmiştir.

4.Taşıma

Dekontaminasyon sonrası oluşacak kullanılmış radyoaktif asidin basınç kabından alınıp yüksek seviye sıvı atık depolama tankına aktarılması için basınç kabında yeni boru sistemi kurulmuştur.

5. Isıtma

Ana buhar hattına yardımcı buhar hattından bağlantı yapılarak buhar jeneratörü içinde yer alan ikincil devreye buhar basılıp birincil devredeki kimyasalın istenilen sıcaklıklara çıkarılması sağlanmıştır.

6. Enstrümantasyon ve Kontrol

Bütün enstrümantasyon ve kontrol hücreleri izole edilmiştir. Bazı sistemler dekontaminasyondan sonra tamamen yenileneceği için değiştirilme ihtiyacı duyulmamıştır.

Dekontaminasyonun uygulanması

Dekontaminasyon uygulaması planlama, hazırlık, kimyasalın enjekte edilmesi, çevrimin gerçekleştirilmesi, ısıtma ve son olarak da atık dekontaminasyon sıvılarının alınması işlemlerinden oluşmaktadır. Ayrıca bu proste aralarda durulama amaçlı saf su ile çevrim gerçekleştirilmiştir. Ayrıntılı olarak dekontaminasyon prosesinde öncelikle dekontaminasyon çözeltisi 12 m³ kapasitedeki karıştırma tankında hazırlanmış, pompalar aracılığı ile sisteme enjekte edilmiştir. Yardımcı buhar hattı sayesinde istenilen sıcaklıklara (85-90°C) çıkarılmıştır. Daha sonra basınçlandırıcının yardımı ile birincil devredeki basınç çalışma basıncı olan 20 kg/cm² değerine yükseltilmiş ve dekontaminasyon gerçekleştirilmiştir. Son adım olarak kimyasallar sistemden alınıp, yüksek seviyeli sıvı atık tankında depolanmış, sistem saf su ile durulanmış ve işlemler sona erdirilmiştir.

Dekontaminasyon işlemi sonrası, dekontaminasyon sıvısındaki aktivite, radyonüklitlerin konsantrasyonları, dekontaminasyon faktörü, yüzeyde kalıcı aktivite gibi birçok ölçüm gerçekleştirilmiş ve bu ölçümler Gubel çalışmasında verilmiştir. Aşağıdaki tabloda BR3 nükleer santralinde yapılan dekontaminasyon sonucu birincil devre ve buhar jeneratörü çevresindeki radyasyon alanında değişen aktivite değerleri verilmiştir (IAEA, 1979a).

Tablo 8: BR3 Nükleer Santrali'nde yapılan dekontaminasyon sonucu birincil devre ve buhar jeneratörü çevresindeki radyasyon alanında değişen aktivite değerleri

Ekipman	Dekontaminasyon Öncesi – mR/h	Dekontaminasyon Sonrası – mR/h
Soğuk ayak No.2	540	18
Soğuk ayak No.1	460	13
Sıcak ayak	1100	78
Birincil devre pompa - 1	280	60
Birincil devre pompa - 2	290	62
Buhar Jeneratörü Tüpleri		
Üst seviye	660	12
Ortalama Seviye	500	8
Alt Seviye	800	46
Buhar Jeneratörü giriş ve çıkış hazneleri	420	28
Basınçlandırıcı		
Üst seviye	56	32
Ortalama Seviye	60	24
Alt Seviye	150	44

2.3.2 Sökülme işlemi sonrası dekontaminasyon

Tesisin söküm faaliyetlerinden sonra üretilen kontamine malzemelerin büyük hacimleri, uygun sökülme sonrası dekontaminasyon metotlarının kullanılması ile önemli ölçüde azaltılabilmektedir. Bir dekontaminasyon işlemi seçilirken dikkate alınması gereken ana kriterler şunları içerir:

- Mevcut temizleme kriterleri,

- Dekontaminasyon verimliliği,
- Üretilen ikincil atıkların hacmi,
- Operasyonel güvenlik ve personel deneyimi,
- Lisanslama,
- Maliyet,
- Doz taahhüdü.

Sökülme işlemi sırasında ve/veya sonrasında uygulanan dekontaminasyon işleminin en önemli amacı sahayı eski haline getirmek, ekipman veya parçalardaki kontaminasyonu azaltmak ve tekrar kullanılması veya çevreye zarar vermeyecek hale gelmesi amacıyla serbestleştirme sınırlarına getirmektir.

Nükleer Tesislerde Serbestleştirme ve Sahanın Düzenleyici Kontrolde Çıkarılmasına İlişkin Yönetmelik (TAEK, 2013a) kapsamında katı halde olan radyoaktif atık veya maddelerin dekontaminasyonu sonucu serbestleştirme sınırlarından bahsedilmektedir. İlgili Yönetmelikte, radyoaktif atık ve maddelerin aktivitelerinin serbestleştirme sınırlarına inmesi için dekontaminasyon, bekletme gibi yöntemler uygulanabileceğini ve metallerin doğrudan kullanım ya da geri dönüşüm için serbestleştirilebildiği hükümleri yer almaktadır. Tezin literatür araştırma kısmında yer alan eritme yöntemiyle dekontaminasyon uygulaması “metalin geri dönüşüm amacıyla serbestleştirilebilmesi” hükmü altında yer almaktadır. Nükleer Tesislerde Serbestleştirme ve Sahanın Düzenleyici Kontrolde Çıkarılmasına İlişkin Yönetmelik’in 7. ve 8. maddelerinde metal, bina ve molozların dekontaminasyonu sonucu serbestleştirme sınırları yönetmeliğin ekinde verilmiştir. Kontamine olmuş bir malzemenin eritme yöntemiyle dekontaminasyonu ve geri dönüştürülmesi işlemi sökölme sonrası uygulanan fiziksel dekontaminasyon yöntemlerinden biridir. Aşağıda eritme yönteminin uygulandığı dekontaminasyon işlemi ile ilgili örnek uygulamalar anlatılmıştır.

2.3.2.1 Eritme yöntemi ile dekontaminasyon uygulaması

Eritme yöntemi için özellikle avantajlı bir sonuç, yarıyıl ömrü 30 yıl olan uçucu bir element olan sezyum-137 üzerindeki dekontaminasyon etkisidir. Eritme esnasında, sezyum-137, havalandırma filtreleri tarafından toplanan toz içinde birikir ve çıkarılır. Külçelerdeki kalan nüklid hâkimiyeti (çoğu reaktör hurdası için) kobalt-60'tır. Bu ögenin yarı ömrü yalnızca 5,3 yıldır. Diğer kalan radyonüklidler yarılanma ömrü daha da kısadır. Dolayısıyla, makul

derecede düşük konsantrasyonda olan külçeler öngörülebilir bir gelecekte serbest bırakılmak üzere depolanabilmektedir. Dahası, sonradan ingotların yeniden eritilmesi sırasında dökümhane çalışanlarının radyasyona maruz kalma ihtimali, sezyum-137'nin çıkarılmasının bir sonucu olarak büyük ölçüde azaltılmaktadır. İkincil atık, eritme cürufu ile havalandırma filtrelerindeki tozdan oluşmakta ve bu ikincil atık, eritilmiş hurda ağırlığının yüzde 1 ile 4'ünü oluşturmaktadır.

Geleneksel tesislerde eritme işlemi için nükleer tesislerden gelen sınırlı miktardaki metaller kullanılmıştır. Genelde bu eritme işlemlerine vaka bazında izin verilmiş ve radyoaktivite için uygun serbest bırakma limitleri ülkeden ülkeye değişiklik göstermiştir. Bununla birlikte, son on yılda, özel amaçlı tesislerde kirlenmiş çeliğin geri dönüştürülmesi için erime, yeni bir endüstri olarak gelişmiş ve aktif metal atıklarının miktarını en aza indirmek için yeni teknikler kullanılmaktadır. Aşağıda nükleer hurdalar için eritme yapan tesisler yer almaktadır (NEA, 1998):

- CARLA Tesisi, Siempelkamp, Almanya (başlangıç 1989),
- STUDSVIK Ergitme Tesisi, İsveç (başlangıç 1987),
- INFANTE Tesisi, Marcoule, Fransa (başlangıç 1992),
- Bilimsel Ekoloji Grubu (**SEG-Scientific Ecology Group**) Tesisi, Oak Ridge, ABD (başlangıç 1992),
- Capenhurst Erime Tesisi, Birleşik Krallık (başlangıç 1994),
- Üretim Bilimleri Şirketi (**MSC-Manufacturing Sciences Corporation**), Oak Ridge, ABD (başlangıç 1996).

Tablo 9'de eritme tesislerinin özellikleri ve Tablo 10'da bu tesislerin bazılarının gerçekleştirdiği eritme işlemleri verilmiştir. Bu tesislerde filtrelenmiş havalandırma ve sağlık fizik denetimini de içeren güvenlik önlemleri kullanılarak "kontrollü" alanlarda çalışılmakta ve filtrelerde toplanan cüruf ve toz radyoaktif atık olarak ele alınmaktadır.

Tablo 9: Eritme tesislerinin özellikleri

Tesis	Fırın Tipi	Malzeme	Kapasite	Radyolojik Limitler
INFANTE	Elektrik Ark Fırını	Karbon çeliği, Paslanmaz çelik	12 t	⁶⁰ Co için max 250 Bq/g, diğer nüklitler için farklı limitler
STUDSVIK	İndüksiyon Fırını	Karbon çeliği, Paslanmaz çelik, Alüminyum	3 t	Belirgin bir limit yok
CARLA	İndüksiyon Fırını	Karbon çeliği, Paslanmaz çelik, Alüminyum, Bakır, Kurşun	3.2 t	Beta-gama nüklitleri için maksimum 200 Bq/g, alfa nüklidleri için maksimum 100 Bq/g, uranyum için ayrı limitler
SEG	İndüksiyon Fırını	Karbon çeliği, Paslanmaz çelik, Alüminyum	20 t	Normalde <2 mSv/h, ön inceleme ve onay ile daha fazla doz oranları

(NEA, 1998)

Tablo 10: İşletmede olan metal eritme tesisleri

Tesis	Eritilmiş hurda miktarı (t)	Geri dönüştürülen/Depolanan
CARLA	7000	6800 t nükleer endüstride yeniden kullanımda
STUDSVIK	1500	230 t yeniden kullanımda, kalan miktar depolanmış
INFANTE	3600	Tamamı nükleer endüstride depolandı veya kullanıldı
SEG	2000	Nükleer endüstride yeniden kullanımda

(NEA, 1998)

Eritme tesislerinde, külçeler, ticari dökümhanelerde yeniden eritilmesi için kullanılacak zamana kadar depolanmaktadır. Kullanımdan önce materyal, uygun radyasyondan korunma yetkilileri tarafından onaylanmaktadır. Yeniden eritildikten sonra, malzemeler radyolojik kısıtlamalar olmaksızın kullanılmaktadır.

Yeniden eritme stratejisinden elde edilen avantajlar şunlardır:

- Sezyum-137 gibi uçucu radyonüklitler ilk eriyik içinde giderilmiştir. Sonuç olarak, toz, daha sonraki yeniden eritme işlemlerinde radyolojik bir problem değildir.
- Yüzey kontaminasyonu yoktur. Sonuç olarak, daha fazla kesme veya ayırma işlemine gerek yoktur.
- Cüruf radyoaktif atık olarak uzaklaştırılmıştır.

İsveç'te yer alan STUDSVIK firması İsveç nükleer santrallerinde sökölme işlemi sonrası oluşan veya Almanya ve diğer bazı Avrupa ülkelerinden gelen radyoaktif hurdaların eritilmesi amacıyla iki indüksiyon ocağı ile yılda yaklaşık 5000 ton hurdanın eritme ile dekontaminasyonunu gerçekleştirmektedir. Gelen kontamine hurdalar, buhar jeneratörleri, türbinler ve ısı eşanjörleri gibi büyük bileşenlerden oluşmakta ve serbest bırakma ve geri dönüşüm için eritmeden önce dekontaminasyon ve küçük parçalara ayırma işlemlerine tabi tutulmaktadır (Lorenzen ve Lindberg, 2000).

Eritme işlemi sadece hacim azalması için değil, aynı zamanda doğru aktivite seviyesinin dikkatle saptanması amacıyla aktivitenin homojenleştirilmesi işlemi için de kullanılmaktadır. Erime yoluyla elde edilen bir diğer etki, bazı nüklidlerin (Cs-137 gibi) filtrelerde tutulması yoluyla dekontaminasyon işlemidir.

Erime esnasında, kontamine olmuş malzemenin dekontaminasyonu, malzeme içerisindeki radyoaktif bileşenlerin cürufa aktarılmasıyla sağlanmaktadır. Bu işlem katkılar kullanılarak elde edilmektedir. Malzemeye ve aktivitenin seviyesine bağlı olarak, prosedür tek adımda veya tekrar eden bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir.

Genellikle 5 yıl yarılanma ömrü olan ana nüklid olan Co-60'ın serbestleştirme seviyesine eritme sonrası depolamasıyla ulaşmak mümkün olmaktadır. Durum bazında firma, ortaya çıkan külçeleri serbestleştirme seviyelerine indirebilmek amacıyla 20 yıla kadar depolamak için izin alabilmektedir. Bu 20 yılda, önemli nüklid Co-60, yaklaşık 4 yarı-ömür

bozunabilmekte ve kalıntı aktivitenin 16 kat azalmasına neden olmaktadır (Lorenzen ve Lindberg, 2000).

STUDSVIK firması, şimdiye kadar geliştirilmiş dekontaminasyon yöntemi için özel katkı maddeleri kullanarak 200 tondan fazla ferritik hurda metalini başarıyla geri dönüştürmüştür. Ayrıca serbest bırakma için elde edilen seviyelerin çoğu durumda yetkililer tarafından belirlenen sınır değerlerinden çok daha düşük olduğu raporlanmıştır. Eritme işlemi ile dekontaminasyon yaklaşımı şu şekildedir (Lorenzen ve Lindberg, 2000):

- Kontamine olan hurdanın erime sırasında dekontaminasyonu,
- Kalıntı aktivite içeriğini ispatlamak için ölçüm,
- Atık hacmini en aza indirmek,
- Malzemenin serbest bırakılmasıdır.

Dekontaminasyon işlemi “İsveç Radyasyondan Koruma Enstitüsü”nün düzenlemelerine veya özel iznine dayanarak yapılabilmektedir. Yönetmelikler uyarınca temizleme durumunda, aktivite içeriği (toplam etkinlik) 0,5 Bq/g değerini aşamaz; bu miktar 0,1 Bq/g'dan fazla olmaması koşuluyla alfa emisyonlu nükleitlerden oluşabilir. Bu temizleme prosedürü, materyalin sınırsız olarak tekrar kullanılmasına neden olmaktadır. Bir radyoaktivite içeriği maksimum 1 Bq/g olan malzeme olması durumunda (toplam aktivite, 0,1 Bq/g'den fazla alfa etkinliği içermeyecek şekilde) temizlenme prosedürü, faaliyet içeriği 0,5 Bq/g'yi aşması sebebiyle düzenleyici makamdan özel izin alınması gerekmektedir. Külçeler halinde eritilmiş metal, yeniden eritileceği çelik fabrikalarına gönderileceğinden, bu seviye uygun olarak kabul edilmiştir. Yeniden eritme işlemi sırasında, genellikle külçeler, nükleer olmayan faaliyetlerden kaynaklanan diğer hurda metalleri ile karıştırılarak eritilmektedir (Lorenzen ve Lindberg, 2000).

STUDSVIK firmasının düzenleyici kurumdan almış olduğu; eritilmiş külçeleri saklamak için 20 yıllık süreye sahip izin belgesi bulunmaktadır. Külçelerin 20 yılda serbestleştirme seviyelerine gelemeyeceği durumlarda, külçeler sahibine iade edilmektedir. Ayrıca eritme işlemi sonrası oluşan ikincil atık da her zaman sahibine iade edilmektedir.

2.3.3 Sökölme öncesi/sonrası dekontaminasyon uygulamasında Türkiye için proje önerisi

Tez kapsamında düşünölen konu, nükleer santrallerde söküm sonrasında oluşın birincil devre kontamine olmuş atıkların veya işletme sırasında ekipman veya parçaların uygun dekontaminasyon yöntemi ile radyoaktivitesinin azaltılması işlemine dayanmaktadır. Bu amaca uygun olarak birincil devrede yer alan boruların dekontaminasyonunda, elektrokimyasal işlemlere uygun olan çözeltiler kullanılarak yüzeyden metal koparma ve böylelikle boruların yüzeylerinde veya yüzeye yakın derinliklerinde oluşın kontaminasyondan kurtulmak mümkün görölmektedir.

Bu tarz uygulamalar nükleer santrallerde uygulanmış ve bu detaylı olarak tezin literatür kısmında anlatılmıştır. Bilindiğı üzere birincil çevrim boruları genellikle paslanmaz çeliklerden imal edilmektedirler. Elektroparlatma dediğimiz işlem, elektrokimyasal bir proses olup paslanmaz çeliklerde yaygın olarak kullanılmakta, yüzeyden belirli derinlikte malzeme koparak yüzey pürüzlölüğü azaltmakta ve parlak bir görünüme ulaşmayı sağlamaktadır. Ayrıca anti bakteriyel yüzeyler yaratması, yüzey sürtünmesini azaltması gibi olanaklar da sağladığı için birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Elektroparlatma işleminin dekontaminasyonda kullanılma sebebi ise kontaminasyonun genellikle yüzey civarlarında olması ve de elektroparlatma ile yüzeyden belirli derinliğe kadar olan malzemeyi alarak kontaminasyonun malzemedan uzaklaştırılmasıdır. Ayrıca aynı amaçla elektrik akımına ihtiyaç duymayan sadece yüksek sıcaklıkta (50-60°C) kimyasallar kullanılarak da aynı işlemler gerçekleştirilebilmektedir. Elektrokimyasal işlemlerin en büyük avantajı ise daha düşük ikincil atık ortaya çıkarması ve kontrollöl bir proses olmasıdır.

Bilindiğı üzere nükleer santrallerde belirli sürelerde periyodik bakımlar gerçekleştirilmekte ve bu bakımlarda ekipman veya parçalar detaylı incelemelere tabi tutulmaktadır. Ancak özellikle radyoaktivitenin çok yüksek olduğı bölgelerde bu işlemler çok zor gerçekleştirilmekte ve bakım yapan teknik personeller için büyük riskler ortaya çıkmaktadır. Örnek vermek gerekirse içinden yüksek sıcaklıkta buhar veya su geçen borularda (Ör. birincil devre boruları) boru içinde sudan veya buhardan dolayı korozyon olmakta ve iç yüzeyde oksit tabakası birikmektedir. Bu oksit içerdeki akış sebebiyle yüzeyden kopmakta ve kalan malzeme tekrar oksitlenmektedir. Bu sürecin sürekli devam etmesi ile dışardan

farkına varılamayan incelmeler meydana gelmekte (**wall thinning**) ve borularda çatlamalara ve kopmalara sebep olarak önemli kazalara yol açabilmektedir. Bu amaçla boruların tahribatsız muayene ile kalınlıklarının rutin olarak kontrol edilmesi büyük önem arz etmektedir.

Sonuç olarak birincil devre borularının rutin tahribatsız kontrollerinin yapılması gerekmekte, fakat yüksek radyoaktivite bu işlemi zorlaştırmaktadır. Ayrıca özellikle incelmeyi tespit etmek adına kullanılacak olan ultrasonik muayene yönteminde yüzeyin pürüzsüz olması ve kirliliğin bulunmaması gerekmektedir. Fakat çalışan bir santral düşünüldüğünde bunun ne kadar zor olacağı bellidir. Tüm bunlar bir araya geldiğinde geliştirilmesi düşünülen proje, boru içinde hareket edebilen mobil bir cihaz tasarımı ve bu cihaza bağlı olarak, tahribatsız muayene, mekanik temizleme (**water jet**) ve elektrolitik temizleme (**electropolishing**) modülleri ile uygun denetim ve dekontaminasyon uygulaması gerçekleştirme düşüncesidir. Boru içinde hareket edebilen cihazlar dünyada kullanılmaktadır. Özellikle cihaz üzerinde kamera bağlanması ile boru içinde oluşan hataların bir kamera yardımı ile görsel muayenesi gerçekleştirilmektedir. Ultrasonik muayene gerçekleştirecek olan problemlerin cihaz üzerinde bir modülde bulunması, cihazın hareketiyle birlikte açılı veya düz problemlerin yüzeyi incelemesi ve bunun uzaktan kontrolü kolay olarak gerçekleştirilebilmektedir. Burada en zor kısım elektrokimyasal yöntemle borunun dekontamine edilmesi işlemidir.

Uygun banyonun belirlenmesi, parametrelerin girilip otomasyon programının yazılması sonrasında boru içinde hareket edebilen mobil bir cihaz tasarımı ve bu cihaza bağlı olarak, tahribatsız muayene, mekanik temizleme (**water jet**) ve elektrolitik temizleme (**electropolishing**) modülleri ile uygun denetim ve dekontaminasyon uygulaması gerçekleştirme düşüncesi çok uzak görülmemektedir.

Sonuç olarak bu tür bir cihaz ile sökölme öncesi kontamine olan ekipmanlar dekontamine edilerek çalışanların alacağı doz oranlarını düşürülebilir ve santralde gerçekleşen periyodik bakımların daha güvenli ve kolay bir şekilde gerçekleşmesi sağlanabilir. Ayrıca sökölme sonrası bütün sistem dekontaminasyonunda da kullanılabilir olması ekipmanlara, sökölme sırasında daha rahat bir şekilde müdahale edilebilmesine olanak sağlayacaktır.

SONUÇ

Dekontaminasyon tanımı; ekipman veya tesislerin yüzeylerinde bulunan kontaminasyonların yıkama, ısıtma, kimyasal-elektrokimyasal, mekanik temizleme ve diğer yöntemler ile yüzeyden alınması ve temizlenmesi işlemidir. Kimyasal temizlik prosesleri genellikle ardışık proseslerden oluşmakla birlikte yüzey oksitlerini çözmede ve kalan malzemedeki izotopları alabilecek şekilde malzemeye nüfuz edecek kimyasalların kullanılmasına dayanan bir dekontaminasyon metodudur. Elektrokimyasal yöntemler, proses olarak kimyasal yöntemlerle benzerlikler gösterse de daha az miktarda ikincil atık oluşması bakımından avantajlı görülmektedir. Ayrıca prosesin daha kontrollü olması ve yüzey pürüzlülüğü açısından daha etkili sonuçlar vermesi sebebiyle tekrardan kullanılacak ekipmanlar veya sadece aktivite düşürme amaçlı dekontaminasyon uygulamalarında tercih edilmektedir. Fiziksel veya mekanik dekontaminasyon, kimyasal/elektrokimyasal dekontaminasyon uygulamalarına alternatif olarak veya birlikte her iki yöntemin de avantajını kullanarak gerçekleştirilen dekontaminasyon yöntemidir. Fiziksel dekontaminasyonun en önemli avantajı, malzemenin cinsi veya yüzey özelliği farketmeksizin her türlü ekipman ve parça için kullanılabilir olmasıdır. Örneğin; yüksek poroziteli yüzeylere sahip parçalar için fiziksel dekontaminasyon tek çare olabilmektedir.

Tezin kapsamında bulunan bir diğer konu, dekontaminasyonun düzenleyici açıdan ele alınmasıdır. Bu amaçla düzenleyici açıdan dekontaminasyon uygulamasında ABD, Rusya, Japonya, Finlandiya, Güney Kore, Türkiye örnekleri ve UAEA'nın dekontaminasyona bakış açısı anlatılmıştır. ABD'de nükleer santrallerde dekontaminasyon uygulaması için düzenleyici işlemler, birçok kurum tarafından gerçekleştirilmektedir. NRC'nin yanı sıra EPA, OSHA, DOT ve diğer eyalet ve yerel kurumlar dekontaminasyon uygulaması gerekliliklerini belirlemektedirler. Yukarıda bahsedilen her bir kurumun dekontaminasyonun düzenlendiği düzenleyici dokümanı bulunmaktadır. Diğer ülke örnekleri incelendiğinde nükleer alanda düzenleyici doküman sadece yetkili düzenleyici kurum tarafından çıkarıldığı görülmektedir. Bu yönüyle ABD, diğer ülkelerden düzenleyici doküman farklılığı olabilmesi sebebiyle ayrılmaktadır. Ayrıca NRC, nükleer santralde uygulanacak olan dekontaminasyon için belirli kriterler belirlemiştir. NRC, bu kriterleri sağlamakla yükümlü olan işleticinin başvuru değerlendirmesinde, uygulanacak olan dekontaminasyonun nükleer güvenlik kriterlerini karşılamadığını öngördüğü durumlarda

işleticiye yeniden lisans almayı zorunlu tutmaktadır. Ancak, eğer dekontaminasyon işlemi GAR’da yeteri kadar ele alınmış, teknik şartnamede bir değişiklik olmaması ve çözümlenmeyen güvenlik sorunlarının olmadığı durumlarda sadece güvenlik değerlendirme formunun doldurulması ve dekontaminasyon için düzenli raporlamanın yapılması yeterli görölmektedir. ABD’de, dekontaminasyonun bu şekilde değerlendirilmesi bakımından diğer ölkeler ile arasında sadece yeniden lisans almayı gerektirecek durumun olması anlamında farklılıklar bulunmaktadır. Diğer ölkeler örneklere incelendiğinde genellikle dekontaminasyon uygulaması için işleticinin detaylı bir dekontaminasyon planı veya programı sunması yeterli olmaktadır. Aynı bir lisans alma süreci yer almamaktadır. Türkiye için mevcut durumda bulunan yönetmeliklerde bu konu ile ilgili hükümler bulunmamaktadır. Fakat ileride yapılacak mevzuat çalışmasında dekontaminasyon süreci ile ilgili işleticinin TAEK’e detaylı bir dekontaminasyon plan veya programı sunması büyük önem arz etmektedir.

Rusya’da dekontaminasyon konusunda yetkili tek kuruluş nükleer alanda düzenleyici kurum olan Rosteknadzor’dur. İlgili düzenlemeler, nükleer santrallerde sökölme işlemi için güvenlik gerekliliklerinin belirlendiği “NP-012-99” numaralı düzenleyici dökümanda anlatılmaktadır. Rusya’nın dekontaminasyona düzenleyici bakış açısı, bu konunun, nükleer santrallerin işletme ve sökölme aşamalarının yanı sıra tasarım aşamasında da ele alınması gerektiğidir. Buna benzer olarak Finlandiya örneğinde de dekontaminasyonun tasarım aşamasında ele alınması gerektiğinden bahsedilmektedir. Rusya’da nükleer santrallerde kullanılacak ekipman, sistem ve bileşenlerin imalatı için, işletme ömrünün tamamı boyunca düşük aktivite ve sökölme işlemi sırasında minimum radyoaktif atık miktarı sağlayan malzemelerin sečilmesi ile ilgili, işleticinin dekontaminasyona tasarım aşamasında dikkat etmesi gerektiğini belirten düzenleyici hükümler bulunmaktadır.

Rusya’nın diğer ölkelerden en önemli farkı nükleer santralin bakım ve onarım periyotları boyunca rutin olarak dekontaminasyon uygulaması gerçekleştirmeleridir. Diğer ölkeler düzenleme ve uygulamalarına bakıldığında, bakım sırasında sadece çalışanların aldığı doz oranlarının azaltılması veya sızıntı, kaçak vb. gibi sebeplerle belirli bölgelerde radyoaktivitenin çok fazla artmaması amacıyla dekontaminasyon işlemi uygulandığı görölmektedir. Fakat Rusya’da bu işlemin rutin olarak gerçekleştirilmesi diğer ölkelerden ayrılan önemli bir fark olarak ortaya çıkmaktadır. Bu işlemin dezavantajı tam olarak bilinemesi de özellikle santral çalışanları için avantajlı olduğu düşünölmektedir. Türkiye’de

dekontaminasyon anlamında yapılacak olan bir mevzuat çalışmasında rutin dekontaminasyon ile ilgili bir düzenlemenin yer alması öngörülmemektedir. Fakat yapılacak olan Akkuyu Nükleer Santrali'nin işleticisinin de Rusya olması, santralin bakım ve onarım süreçlerinde dekontaminasyon işlemini rutin olarak gerçekleştirebilecekleri düşüncesi ile çalışanların alacağı doz oranlarında önemli oranda artışın yaşanmayacağını düşündürmektedir.

Japonya'da nükleer enerji, temel yasalarla düzenlenmektedir. Bunlar, tezin ilgili bölümünde anlatılmıştır. Bu yasalarda dekontaminasyon ile ilgili hükümler de yer almaktadır. Japonya'da dekontaminasyon, santralin işletme ve söküm aşamalarında ele alınmaktadır. Tasarım aşaması ile ilgili düzenleyici dökümanda bilgi bulunmamaktadır. Ayrıca ABD örneğinde olduğu gibi, dekontaminasyon düzenlemesi için düzenleyici kurumun yanı sıra MEXT ve AEC'de gereklilikleri belirleyebilmektedir. Ayrıca Japonya işleticiden, santralde uygulanacak olan dekontaminasyon ile ilgili "Operasyonel Güvenlik Programı" isminde ve uygulamanın bütün detaylarının anlatıldığı bir doküman istemektedir. NRA tarafından değerlendirilen bu program ancak onaylandıktan sonra işletici, dekontaminasyon işlemini gerçekleştirebilmektedir. Bu tür detaylı bir dekontaminasyon programının mutlaka TAEK tarafından da düzenlenerek işleticiden istenmesinin elzem olduğu düşünülmektedir.

Japonya, işletme sırasındaki ekipman veya parçalarda yer alan kontaminasyon seviyelerinin takibini işleticiye zorunlu tutmaktadır. Bu tür bir düzenlemeye Rusya hariç diğer ülkelerinin herhangi bir düzenleyici dökümanında rastlanılmamıştır. Rusya bunun yanı sıra boru hatları ve ekipmanın iç yüzeylerinde korozyon ve diğer tip çökeltilerde yer alan radyonüklid kompozisyonu, son rutin dekontaminasyondan sonra ana ekipmanların ve tesislerin yüzey kirlenmesi üzerine veriler gibi birçok bilginin işletici tarafından tutulmasını ayrıntılı bir şekilde düzenleyici dökümanında belirtmektedir. Bu verilerin işletici tarafından tutulmasının, Rusya ve Japonya düzenleyici dökümanlarında yazılı olarak belirtilmesi Türkiye'de dekontaminasyon ile ilgili yapılacak mevzuat çalışmaları için de örnek olabileceği düşünülmektedir. Bu bilgilerin alınması işletme aşamasının yanı sıra sökölme aşamasında da ekipman veya parçalardaki kontaminasyon seviyelerinin bilinmesinde önemli rol oynayacağı düşünülmektedir.

Finlandiya, dekontaminasyon alanında tecrübesi diğer ülkelere kıyasla az olan bir ülkedir. ABD, Japonya ve Rusya, birçok nükleer santralin söküm işlemi gerçekleştirdiği için bu alanda tecrübesi çok olan ülkelerdir. Fakat Finlandiya örneğinin incelenme sebebi dekontaminasyonu düzenleyici anlamda etkili bir şekilde ele almasıdır. Finlandiya’da dekontaminasyon tek bir doküman olarak değil farklı dokümanlarda düzenleyici hükümler bulundurarak ele alınmıştır. Bu dokümanlar tezin ilgili bölümünde verilmiştir. Dekontaminasyon ayrıntılı olarak ele alındığı temel olarak beş adet kılavuz bulunmaktadır. Bunlar Tablo 7’de gösterilmiştir. İlgili kılavuzlarda dekontaminasyonun, santralin işletme ve söküm aşamalarına ek olarak tasarım aşamasında da dikkate alınması gerektiği bildirilmiştir. Aynı şekilde diğer ülke örneklerinde de görüldüğü üzere dekontaminasyon ile ilgili olarak işleticinin STUK’a “Birincil Devre ile İlişkili Sistemler için Dekontaminasyon Planı” sunması gerekliliği belirtilmiştir. Ayrıca diğer ülkelerden farklı olarak işleticinin, bileşen ve parçaların dekontaminasyonu için prosedürlere sahip olması gerektiğinden bahsedilmiştir. Bu tür düzenleme diğer ülkelerde hüküm olarak yer almamaktadır. Fakat işleticinin bu tür prosedürlere sahip olması Türkiye açısından da düşünüldüğünde düzenleyici kurumların dekontaminasyon ile ilgili nükleer güvenliğin sağlandığına yönelik bilgi ve takibini kolaylaştıracak bir yöntem olarak düşünülmektedir. Bu amaçla yapılacak olan mevzuat çalışmasında bu tür bir gerekliliğin düzenlenmesinin faydalı olacağı öngörülmektedir.

Güney Kore dekontaminasyon alanında düzenleme veya uygulama olarak tecrübeye sahip olmayan bir ülkedir. Güney Kore’de, dekontaminasyon ile ilgili düzenleyici dokümanlar Nükleer Güvenlik Kanunu’nun içerisinde söküm prosesi altında düzenlenmiştir. 2015 yılındaki revizyon ile birlikte söküm işlemi daha detaylı ve işlev hale getirilmiş ve dekontaminasyona düzenleyici anlamda daha detaylı yaklaşmıştır.

2015 yılında revize edilen Nükleer Güvenlik Kanun’da söküm bölümü altında dekontaminasyon ile ilgili bilgilerde yer almaktadır. Genel olarak dekontaminasyonun amacı ve işlevinden bahsedilmiş olup kullanılacak metot ile ilgili işleticiye sorumluluk verilmiştir. Diğer ülke örneklerinde olduğu gibi nükleer santralde uygulanacak olan dekontaminasyon ile ilgili detaylı bir rapor Güney Kore düzenleyici kurumu tarafından değerlendirilecek olup gerektiğinde düzenleyici kuruluş tarafından yerinde denetimin gerçekleştirileceğinden bahsedilmektedir. Ayrıca Güney Kore’de dekontaminasyon nükleer santralin işletme ve

sökölme aşamalarında ele alınmaktadır. Bunun Türkiye’de de bu şekilde yer alması ve buna ek olarak tasarım aşamasında da dekontaminasyon işleminin düzenlenmesinin faydalı olacağı düşünülmektedir.

Benzer olarak dekontaminasyon konusu Türkiye açısından da araştırılmış gerekli hukuki ve teknik altyapılar incelenmiştir. Dekontaminasyon uygulamaları ülkemizde resmi olarak tek başına düzenlenmemiş olsa da bazı yönetmeliklerde bu konuya atıflar yapılmıştır. İlerde yapılacak olan dekontaminasyon ile ilgili mevzuat çalışmasında kullanılmak üzere ilgili yönetmeliklerin bölümleri açıklanmıştır.

Ülke örneklerinde görüldüğü üzere dekontaminasyon genellikle tasarım, işletme ve söküm aşamalarında ele alınmaktadır. Bu amaçla yapılacak olan mevzuat çalışmasında bu konu dikkate alınmalıdır. Ayrıca Rusya, Finlandiya ve Güney Kore örneklerinde olduğu gibi dekontaminasyon ile ilgili düzenlemelerin sadece TAEK tarafından yapılabilir olması bir dezavantaj olarak ortaya çıkmamaktadır. Dekontaminasyon çalışmaları hiçbir ülkede tek bir düzenleyici doküman olarak sunulmamıştır. Genellikle farklı düzenlemeler içerisinde yer alan hükümler şeklinde verilmiştir. Türkiye açısından düşünüldüğünde örneğin; yapılacak olan sökölme aşaması ile ilgili bir yönetmelikte, dekontaminasyon gerekliliklerinin belirlenmesinin daha verimli olacağı düşünülmektedir. Burada en önemli konu TAEK’in düzenleyici kurum olarak nükleer santralin işleticisinden isteyeceği dekontaminasyon ile ilgili ayrıntılı bir plan, program veya bir raporun sunulmasıdır. Her ülke düzenlemesinde bu yer almaktadır. Ayrıntılı bir planın işletici tarafından hazırlanıp onay için düzenleyici kurumlara sunulması, düzenleyici kurumun dekontaminasyon ile ilgili nükleer güvenliğin sağlandığına yönelik bilgi ve takibini kolaylaştıracak bir yöntem olarak düşünülmektedir. Bu amaca uygun olarak ABD düzenlemesinde yer alan “Dekontaminasyon Güvenlik Değerlendirme Formu” Japonya düzenlemesinde yer alan “Operasyonel Dekontaminasyon Güvenlik Programı” Finlandiya düzenlemesinde yer alan “Birincil Devre ile İlişkili Sistemler için Dekontaminasyon Planı” ve son olarak Güney Kore düzenlemesinde yer alan “Dekontaminasyon ile İlgili Güvenlik Raporu” incelenmiş ve her bir dökümanda yer alan bilgiler değerlendirilerek TAEK’in işleticiden isteyeceği dekontaminasyon plan, program veya rapor içerisinde olması gereken bilgiler EK-1’de sunulmuştur.

Tezde farklı reaktör tipleri için dekontaminasyon uygulamaları incelenmiştir. Dekontaminasyon yöntemlerindeki temel amacın malzeme yüzeyinden kontaminasyonu uzaklaştırma olması sebebi ile farklı tipte reaktörler arasında önemli farklar bulunmamaktadır. LWR'lerdeki en önemli fark BWR'lerde bulunan oksit filmlerinin PWR'lerden farklı olmasıdır. Bu amaçla bazı dekontaminasyon metotları PWR'lerde oldukça etkili olduğu halde BWR'ler için çok etkili olmayıp düşük dekontaminasyon faktörleri verebilmektedir. Ağır su reaktörlerindeki temel fark ise dekontaminasyon sırasında döteryum moderatörü ve soğutucunun (Eğer döteryum soğutuculu reaktör ise) sistemden boşaltılıp özel bir tank içerisinde muhafaza edilmesidir. Kalan sistem PWR ve BWR'lerde kullanılan dekontaminasyon yöntemlerinden herhangi biri ile dekontamine edilebilmektedir. Düzenleme anlamında, EK-1'de yer alan, TAEK'in ilerki mevzuat çalışmalarında işleticiden isteyeceği dekontaminasyon ile ilgili ayrıntılı plan, program veya rapor da hangi tipte bir reaktör için dekontaminasyon yapıldığının ve dekontaminasyon yapılacak malzemeler ile ilgili bilgilerin de yer almasının önemli olduğu düşünülmektedir.

Sökülme öncesi uygulanan dekontaminasyon işlemindeki en büyük amaç nükleer santral çalışanlarının maruz kaldığı doz oranlarının azaltılmasıdır. Her bir ülke için nükleer santral çalışanın alacağı doz oranları belirtilmiştir. Bu oranın aşılması işleticinin sorumluluğundadır. “Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği”nde:

“Radyasyon görevlileri için etkin doz ardışık beş yılın ortalaması 20 mSv'i, herhangi bir yılda ise 50 mSv'i geçemez”

hükmü yer almaktadır. Bu değerler neredeyse bütün ülkeler içinde kabul görmüş değerlerdir. Bu amaca uygun olarak işleticinin bu durumların sağlanamaması durumlarında bütün sistem dekontaminasyonu veya belirli bir ekipman veya parça özelinde dekontaminasyon uygulaması gerçekleştirmesi gerekmektedir. Fakat dekontaminasyon işlemleri uzun süreler almaktadır; bu amaçla çalışanlar için belirlenen limitler aşılmadığı sürece işletme aşamasında dekontaminasyon çok fazla tercih edilmemektedir.

Sökülme işlemi sırasında ve/veya sonrasında uygulanan dekontaminasyon işleminin en önemli amacı sahayı eski haline getirmek, ekipman veya parçalardaki kontaminasyonu azaltmak ve tekrar kullanılması veya çevreye zarar vermeyecek hale gelmesi amacıyla serbestleştirme sınırlarına getirmektir. Bu amaca uygun olarak TAEK hali hazırda “Nükleer

Tesislerde Serbestleştirme ve Sahanın Düzenleyici Kontrolde Çıkarılmasına İlişkin Yönetmelik'e sahiptir. Bu dökümanda, serbestleştirme limitleri detaylı olarak ele alınmış ve dekontaminasyon sonrası ekipmanların yeniden kullanılmasına veya depolanmasına yönelik önemli düzenlemeler yer almaktadır. Ayrıca tez kapsamında Türkiye için sökölme öncesi veya sonrasında kullanılabilir santralde birinci devrede yer alan borular içerisinde hareket edebilen mobil bir cihaz tasarımı ve bu cihaza bağı olarak, tahribatsız muayene, mekanik temizleme (**water jet**) ve elektrolitik temizleme (**electropolishing**) modülleri ile uygun denetim ve dekontaminasyon uygulaması gerçekleştirme adına proje önerisi de sunulmuştur.

KAYNAKLAR

AHN Sangmyeon, LEE Jungjoon, CHEONG Jaehak, JEONG Chanwoo, LEE Byungsoo, 2016, The regulatory framework improvement for safe decommissioning of nuclear power plants in Korea, Lyon

BOING Lawrence, 2006, Decommissioning of Nuclear Facilities, Decontamination Technologies, Manila

BS INNOCLEAN, (tarih yok), Business Solutions for Innovative Cleaning, <http://www.bs-innoclean.lu/nettoyage-cryogenie.php?lg=en>, (2.11.2016)

CHEMCOMEX PRAHA A.S, 1995, Experimental Investigation of Radiological Situation on SG Collectors at the NPP Dukovany, CCE A 959901-1079500, Prag

CHOI Kyung-Woo, KIM Byung-II, 2017, Regulatory Consideration On Decommissioning Facilitation Of Nuclear Power, Transactions of the American Nuclear Society, San Francisco

CNSC,2017, Radiation Protection Regulations,Canadian Nuclear Safety Commission, Ottawa

DELSTAR, 2003, Electropolishing, A User's Guide to Applications, Quality Standards and Specifications, Delstar Metal Finishing

DISHKOVA Denitsa, 2014, Clearing out Kozloduy 1-4, European Nuclear Congress, Marseille

DOE, 1994, Decommissioning Handbook, DOE/EM-0142P, The U.S. Department of Energy, Washington

DOE, 1998, Innovative Technology Summary Report: Concrete Grinder, The U.S. Department of Energy, Washington

EC, 1995, Handbook on Decommissioning of Nuclear Installations, EUR 16211, The European Communitie, Luxembourg

EC- CND, 2009, Dismantling Techniques, Decontamination Techniques,Dissemination of Best Practice, Experience and Know-how, European Commission-Co-Ordination Network on Decommissioning

EPA, 2006, Technology Reference Guide for Radiologically Contaminated Surfaces, EPA-402-R-06-003, U.S. Environmental Protection Agency, Washington

ETKB, 2005, 08 Temmuz 2005 tarihli ve 25869 sayılı Resmi Gazete 'de yayımlanan Radyoaktif Maddenin Güvenli Taşınması Yönetmeliği

FANR, 2010, Regulation for Radiation Dose Limits and Optimisation of Radiation Protection for Nuclear Facilities, Federal Authority for Nuclear Regulation, Abu Dhabi

IAEA, 1979a, Decontamination of Operational Nuclear Power Plants, International Atomic Energy Agency, Vienna

IAEA, 1979b, Manual on Decontamination Surfaces, IAEA, Safety Series No.48, International Atomic Energy Agency, Vienna

IAEA, 1994, Decontamination of Water Cooled Reactors, IAEA Technical Reports Series No.365, International Atomic Energy Agency, Vienna

IAEA, 2000, The decommissioning of WWER type nuclear power plants, IAEA-TECDOC-1133, International Atomic Energy Agency, Vienna

IAEA, 2011, Disposal of Radioactive Waste, IAEA Specific Safety Requirements No. SSR-5, International Atomic Energy Agency, Vienna

IAEA, 2016, Power Reactor Information System, IAEA Nucleus, International Atomic Energy Agency, <https://www.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/CountryDetails.aspx?current=US>, (01.12.2017)

IAEA, 2017, Power Reactor Information System, IAEA Nucleus, International Atomic Energy Agency, <https://www.iaea.org/pris/CountryStatistics/CountryDetails.aspx?current=JP>, (29.11.2017)

IAEA, (tarih yok), Primary Circuit Contamination In Nuclear Power Plants: Contribution to Occupational Exposure, http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/37/115/37115714.pdf, (28.11.2017)

IAEA, 2016, Environmental Contamination and Decontamination in the Fukushima Accident, Nuclear Human Resource Development Center, Tokyo

KIM Hee Geun, 2016, Preparation Program at the Pre-Decommissioning Phase for the D&D of the Kori-1 Nuclear Power Plant, Seul

KIM Kyeongsook, LEE Hong-Joo, CHOI Mihwa, KANG Duk-Won, 2004, Establishment of an optimal decontamination process by the newly designed semi-pilot equipment, Nuclear Power Laboratory, Korea Electric Power Research Institute (KEPRI), Cilt 229, s.91-100.

LARAIA Michele, 2012, Nuclear Decommissioning: Planning, execution and international experience, Woodhead Publishing, Philadelphia

LAWRENCE Azar, (tarih yok), Cavitation in Ultrasonic Cleaning and Cell Disruption, PPB Megasonics

LESAGE L. G, SARKISOV A. A. ,1995, Nuclear Submarine Decommissioning and Related Problems, Kluwar Academic Publisher, Londra

LORENZEN Joachim, LINDBERG Maria, 2000, Decontamination Melting of Uranium Contaminated Metal, WM'00 Conference, Nyköping

NEA, 1998, Decontamination Techniques Used in Decommissioning Activities, Nuclear Energy Agency, Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris

NEI, 1989, Lending piping a new lease of life [decontamination], Nuclear Engineering International, Cilt 34, s.48-49.

NEI, 1995, Full System Decon, The Loviisa 2 Experience, Nuclear Engineering International, , Cilt 40, s.41-43

NETL, 1997, Concrete Decontamination by Electro-Hydraulic Scabbling, National Energy Technology Laboratory

NRA, 2015, Outline of Nuclear Regulation of Japan, Nuclear Regulation of Japan, Tokyo

NRC, 1983, Planning Guidance for Nuclear Power Plant Decontamination, NUREG/CR-2963 PNL-4585, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington

PETTIT Paul, 2004, Nuclear Facilities Decommissioning, Amerikan Society of Mechanical Engineers

PONNET Mathieu, KLEIN Michel, RAHIER André, 2000, Chemical Decontamination Medoc Using Cerium IV and Ozone, WM'00 Conference, Belgium

RTN, 1999, Safety Rules for Decommissioning of NPP Power Unit, Rostekhnadzor, Moscow

STUK, 2008a, Nuclear facility pump units, Radiation and Nuclear Safety Authority, <https://www.stuklex.fi/en/haku/ohje/YVL5-7?allWords=decontamination&pageNum=2>, (29.11.2017)

STUK, 2008b, Nuclear facility valve units, Radiation and Nuclear Safety Authority, <https://www.stuklex.fi/en/haku/ohje/YVL5-3?allWords=decontamination&pageNum=2>, (29.11.2017)

STUK, 2013a, Predisposal management of low and intermediate level nuclear waste and decommissioning of a nuclear facility, Radiation and Nuclear Safety Authority, <https://www.stuklex.fi/en/haku/ohje/YVLD-4?allWords=decontamination&pageNum=1>, (29.11.2017)

STUK, 2013b, Reactor coolant circuit of a nuclear power plant, Radiation and Nuclear Safety Authority, <https://www.stuklex.fi/en/haku/ohje/YVLB-5?allWords=decontamination&pageNum=1>, (29.11.2017)

STUK, 2013c, Structural radiation safety at a nuclear facility, Radiation and Nuclear Safety Authority, <https://www.stuklex.fi/en/haku/ohje/YVLC-1?allWords=decontamination&pageNum=1>, (29.11.2017)

STUK, 2014, Radiation protection and exposure monitoring of nuclear facility workers, Radiation and Nuclear Safety Authority, <https://www.stuklex.fi/en/haku/ohje/YVLC-2?allWords=decontamination&pageNum=1>, (29.11.2017)

STUK, 2017, Nuclear Power Plants in Finland, Radiation and Nuclear Safety Authority, <http://www.stuk.fi/web/en/topics/nuclear-power-plants/nuclear-power-plants-in-finland>, (29.11.2017)

TAEK, 2000, 24 Mart 2000 tarihli ve 23999 sayılı Resmi Gazete 'de yayımlanan "Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği"

TAEK, 2004, 02 Eylül 2004 tarihli ve 25571 sayılı Resmi Gazete 'de yayımlanan "Radyoaktif Madde Kullanımından Oluşan Atıklara İlişkin Yönetmelik"

TAEK, 2009a, Basınçlı Su Reaktörü Tipi, <http://www.taek.gov.tr/nukleer-guvenlik/nukleer-enerji-ve-reaktorler/170-nukleer-reaktorler/464-basincli-su-reaktoru-tipi.html>, (01.11.2017)

TAEK, 2009b, Basınçlı Ağır Su Reaktörü. <http://www.taek.gov.tr/nukleer-guvenlik/nukleer-enerji-ve-reaktorler/170-nukleer-reaktorler/462-basincli-agir-su-reaktoru.html>, (01.11.2017)

TAEK, 2010, Kaynar Sulu Reaktör Tipi, <http://taek.gov.tr/nukleer-guvenlik/nukleer-enerji-ve-reaktorler/170-nukleer-reaktorler/463-kaynar-sulu-reaktor-tipi.html>, (01.11.2017)

TAEK, 2011, 18 Haziran 2011 tarihli ve 27968 sayılı Resmi Gazete 'de yayımlanan Kontrollü Alanlarda Çalışan Harici Görevlilerin İyonlaştırıcı Radyasyondan Kaynaklanabilecek Risklere Karşı Korunmasına Dair Yönetmelik

TAEK, 2013a, 09 Mart 2013 tarihli ve 28582 sayılı Resmi Gazete 'de yayımlanan Nükleer Tesislerde Serbestleştirme ve Sahanın Düzenleyici Kontrollden Çıkarılmasına İlişkin Yönetmelik

TAEK, 2013b, 09 Mart 2013 tarihli ve 28582 sayılı Resmi Gazete 'de yayımlanan Radyoaktif Atık Yönetimi Yönetmeliği

TÜRKMEN Osman, 2015, Enerji Günlüğü, <http://www.enerjigunlugu.net/icerik/12395/nukleer-atiklari-bertaraf-etme-yontemleri.html>, (28.03.2017)

WILLE Harald, BERTHOLDT Horst Otto, ROUMIGUIERE Fernando, 1997, Chemical Decontamination With the CORD UV Process: Principle and Field Experience, Nuclear Energy in Central Europe, Bled

WINCO, 1994, Testing and Evaluation of Eight Decontamination Chemicals, WINCO-1228, Westinghouse Idaho Nuclear Company

WM SYMPOSIA, 2002, NPOX Decontamination System, WM'02 Conference, <http://www.wmsym.org/archives/2002/Proceedings/6b/358.pdf>, (27.11.2017)

EK-1

İşleticinin uygulayacağı dekontaminasyon işlemi ile ilgili hazırlaması gereken plan, program veya rapor içerisinde yer alması gereken bilgiler

TAEK'in işleticiden isteyeceği dekontaminasyon plan, program veya rapor içerisinde olması gereken bilgiler aşağıdakiler gibidir:

- Uygulanacak dekontaminasyon işleminin adı
- Uygulanacak dekontaminasyon işleminin kısa tanımı
- Uygulanacak dekontaminasyon yöntemi seçimindeki kriterler
- Uygulanacak dekontaminasyon işleminin hedefleri
 - Tesisteki doz oranının düşürülmesi
 - Atıkların yeniden sınıflandırılması
- Dekontamine edilecek malzemenin tanımı
 - Metalik olanlar: Paslanmaz çelik, karbon çeliği, inkonel, zirkonyum alaşım, kurşun, bakır alaşımları, alüminyum, zirkonyum...
 - Metalik olmayanlar: Beton, tuğla, kaplamalar, plastikler...
- Dekontamine edilecek malzemenin miktar bilgileri
 - Yüzey alanı (m²), hacim (m³), ağırlık (kg)
- Dekontamine edilecek malzemenin geometrisi
 - Düz yüzey/duvar, tank, boru, pompa, vana, ısı eşanjörleri...
- Dekontamine edilecek malzemenin tipi
- Reaktör tipi
 - PWR, BWR, GCR, FBR, MTR, CANDU, havuz tipi reaktörler...
- Yeniden işleme tesisi ise;
 - Yakıtın niteliği
 - İşlem türü
- Yakıt imalat tesisi ise;
 - MOX, UO₂, metalik U...
- Uranyum proses tesisi ise;
 - Madencilik ve işleme
 - Saflaştırma ve dönüştürme

- Zenginleştirme
 - Yeniden zenginleştirme
- Atık işleme tesisi ise;
 - İşlenen atık tipi
 - Aktivite seviyesi ve tipi
 - İşleme şekli
- Laboratuvar ise;
 - Özet bilgi
- Radyoizotop üretim tesisi ise
 - Özet bilgi
- Silah tesisleri (bakım/sökme) ise
 - Özet bilgi
- Dekontamine edilecek malzemenin orijinal kullanımı
 - Kaynak terimle ilgili bilgi, ör. MOX yakıt imalatı için kullanılan ekipman
- Kontaminasyon kaynağının niteliği
- Kirleticinin niteliği
- Kirleticinin taşınması
 - Katı taşıma
 - Sıvı taşıma
 - Gaz taşıma
 - Taşıma tankı
- Uygulanacak dekontaminasyon sürecinin açıklaması
- Uygulanacak dekontaminasyon işleminin türü
 - Bütün sistem
 - Ekipman/parçalar
- Uygulanacak dekontaminasyon işleminin aşaması
 - İşletme sırasında
 - Sökülme sonrası
- Dekontaminasyon yapılacak ekipman veya parçalar
 - Havuzlar
 - Kaplar

- Pompalar
 - Borular
 - Isı Eşanjörleri
 - Vanalar
 - Araçlar
 - Diğerleri
- Dekontaminasyon yöntemi
 - Kimyasal dekontaminasyon
 - Elektrokimyasal dekontaminasyon
 - Fiziksel dekontaminasyon
 - Fiziksel/kimyasal dekontaminasyon
- Kimyasal dekontaminasyon yöntemi kullanılıyor ise;
 - Detaylı açıklama
 - Çevrim sayısı
 - Adım sayısı
- Kimyasal dekontaminasyon yöntemindeki her bir adım için parametreler
 - Kimyasallar
 - Sıcaklık
 - Basınç
 - pH
 - Hidrodinamik parametreler
 - Reynolds aralığı
 - Süre
 - Hacim/alan oranı
 - Karıştırma yöntemi
 - Ultrasonik kullanımı
 - Diğerleri
- Elektrokimyasal dekontaminasyon yöntemi kullanılıyor ise;
 - Detaylı açıklama
 - Çevrim sayısı
 - Adım sayısı

- Elektrokimyasal dekontaminasyon yöntemi için parametreler
 - Elektrolit (ör. Komp, kimyasallar...)
 - Sıcaklık
 - pH
 - Akım yoğunluğu
 - Voltaj
 - Polarizasyon
 - Süre
 - Hidrodinamik parametreler
 - İletkenlik
 - Elektrot malzemeler
 - Diğerleri
- Fiziksel dekontaminasyon yöntemi kullanılıyor ise;
 - Detaylı açıklama
 - Çalışma prensibi
 - Yaş/kuru
 - Eklenti tipi ve miktarı
- Fiziksel dekontaminasyon yöntemi için parametreler
 - Basınç
 - Sıcaklık
 - Hidrodinamik parametreler
 - Süre
 - Diğerleri
- Kombine proses kullanılıyor ise;
 - Detaylı açıklama
 - Çalışma prensibi
- Uygulanacak dekontaminasyon işlemi ile uyumlu malzemeler
 - Malzeme
 - Ekipman
 - Contalar
 - Diğerleri

- Uygulanacak dekontaminasyon işlemi ile uyumlu olmayan malzemeler
 - Malzeme
 - Ekipman
 - Contalar
 - Diğerleri
- Sürecin uygulanması için gerekli olan hizmetler
 - Elektrik
 - Su
 - Buhar
 - Basınçlı hava
 - Hidrolikler
 - Soğutucu
 - Ötleme/önfiltrasyon
 - Havalandırma
 - Gazlar
 - Ses/görüntü iletişimi
 - Diğerleri
- Sürecin kullanımı sırasında alınması gereken önlemleri
 - Hidrolik önlemler
 - Tehlikeler: Kimyasal, korozif, toksitler, sıvılar, gazlar, aerosollar
 - Atmosfer (N_2 ve CO_2)
 - Yangın tehlikeleri
 - Yanabilirlik
 - Patlama
 - Elektrik şoku
 - Personel güvenlik ekipmanları
 - Fiziksel önlemler
 - Toz/aerosollar
 - Boğulma
 - Diğerleri
- Kritik güvenlik unsurları

- Kritik parametreler
- Dekontaminasyon işlemi ile ilgili göstergeler
 - Kullanılan personel sayısı ve niteliği
 - Normal günlük çalışma veya sürekli çalışma
- İlgili niteliklerle kullanılan personel bilgileri ve sayısı
 - Teknik çalışan: Profesyonel, mühendis, müdür vb.
 - Endüstri işçisi: Kalifiye çalışan, ör. Kaynakçı, tesisatçı, elektrikçi, laboratuvar teknisyeni, tesis operatörü, radyasyon kontrolü
 - Genel işçi: Belirli bir nitelik yok
- Uygulanacak dekontaminasyon öncesi hazırlık çalışmaları
 - Radyolojik envanter uygulaması
 - Deneme ve eğitim niteliği
 - Tesis değişiklikleri
- Dekontaminasyon öncesi işlemler
 - Dekontaminasyon işlemine başlamadan önce gereken işlemlerin listesi
 - İşlemlerin niteliği
 - Sökme
 - Kesme
 - Tesis girişi (hava kilidi)
 - Havalandırma
 - Çıkış gazı filtreleme
 - Diğerleri
- Dekontaminasyon ekipmanının tarifi
- Kullanılan sarf malzemelerinin türü ve kullanılan miktar
 - Eklenti
 - Ekipman parçaları
 - Filtreler
 - İyon dönüştürücüler
- Dekontaminasyon ekipmanına doğrudan bağlı olan servislerin tüketim miktarı
 - Elektrik
 - Su

- Buhar
- Basınçlı hava
- N₂
- Soğutma
- Gazlar
- Diğerleri
- Kontaminasyonu karakterize etmek için kullanılan yöntem
 - Örnekleme
 - Direkt ölçüm
- Radyo-kimyasal karakterizasyon için kullanılan araçlar
- Kontaminasyon tabakasının doğası
- Kontaminasyonun radyokimyasal niteliği
- Ana kontaminantların listesi
- Dekontaminasyon verimliliğinin ölçümü
 - Ölçüm tipi
 - Örnekleme
 - Doğrudan ölçüm
 - Ölçüm sayısı
 - Ölçülen alan
 - Kullanılan metot
 - Ölçülen değerler (öncesi/doz azalımı)
 - Doz oranı mSv/h
 - Aralık
- Düşürülen yüzey kalınlığı
- Yüzey pürüzlülüğü
- Azaltma oranı ($\mu\text{m}/\text{h}$ veya $\text{mg}/\text{cm}^2/\text{h}$)
- Radyasyon dozuna maruz kalma
 - Operasyonun farklı evreleri boyunca operatörler için radyasyon dozu
 - operatörlerin kritik grubu için bireysel doz maruziyeti (maks. Doz mSv/kişi).
- Toplu personel radyasyon dozu
 - Hazırlık

- Dekontaminasyon sürecinde
 - Dekontaminasyon sonrası işlemler
 - Diğer işlemler
- Atık değerlendirme politikası
- Üretilen atık miktarları
 - Dekontamine edilen m² veya malzeme ağırlık
 - Üretilen her bir atık türü için, üretilen hacmi ve toplam etkinlik
 - İzlenen şartlandırma ve muhafaza altına alma metodu
- Üretilen atık tipleri
 - Reçineler
 - Filtreler
 - Sulu atık
 - Kuru atık
 - Koruyucu giysi
 - Gaz
 - Sıvı
 - Aerosollar
- Atık bertaraf yöntemleri
 - Beton gömme
 - Dökme demir kaplarda depolama
 - Yakma
 - Polimerlere gömülme
 - Sıkıştırma
 - Bitüm içine gömme
 - Kurutma
 - Vitrifikasyon
 - Diğerleri
- Uygulanacak dekontaminasyon işleminin avantajları/dezavantajları
- Uygulanacak dekontaminasyon işleminin teknik anlamda ne kadar geliştirildiği
 - Laboratuvar ölçeği
 - Pilot ölçek

- Endüstriyel ölçekli
- Uygulanacak dekontaminasyon işlemi için Ar-Ge gerektiren alanlar
- Atık yönetimi sistemi
- Dekontaminasyon uygulamasının çevreye olan etkisi
- Dekontaminasyon uygulaması için acil durum prosedürleri
- Yangından korunma programı dahilinde iş sağlığı ve güvenliği programı
- Reaktörün yeniden işletmeye alınmasından önce yapılacak olan test ve denetimler
- Sunulacak olan doküman ve raporlar

ÖZGEÇMİŞ

Yazar, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Nükleer Güvenlik Dairesi'nde uzman yardımcısı olarak çalışmaktadır. 2012 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme mühendisliğinden mezun olmuş sonrasında aynı bölümde yüksek lisans eğitimini başarıyla bitirmiştir. Yüksek lisans eğitimi sırasında savunma sanayinde proje asistanı olarak çalışmıştır. Şu an TAEK'de uzman yardımcılığı görevine devam edip aynı zamanda Gazi Üniversitesi Enerji Sistemlerinde doktora yapmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Uzmanlık tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynak listesinde gösterilenlerden oluştuğunu, bunlardan her seferinde değinme yaparak yararlandığımı ve Atom Enerjisi Uzmanlığı Tez Hazırlama Yönergesine uygun olarak hazırladığımı belirtir ve bunu doğrularım.

Türkiye Atom Enerjisi Kurumu tarafından belirli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

04.12.2017

Yasin ÇETİN