



TÜRKİYE ATOM ENERJİSİ KURUMU

**NÜKLEER SANTRALLERDE OLASILIKSAL GÜVENLİK
DEĞERLENDİRMESİNİN LİSANSLAMADAKİ YERİ VE
ÜLKEMİZ LİSANSLAMA FAALİYETLERİNDE
KULLANILMAK ÜZERE MEVZUATA ÖNERİDE
BULUNULMASI**

UZMANLIK TEZİ

**Hazırlayan
Firdevs KILIÇ**

Ocak, 2019- ANKARA



TÜRKİYE ATOM ENERJİSİ KURUMU

**NÜKLEER SANTRALLERDE OLASILIKSAL GÜVENLİK
DEĞERLENDİRMESİNİN LİSANSLAMADAKİ YERİ VE
ÜLKEMİZ LİSANSLAMA FAALİYETLERİNDE
KULLANILMAK ÜZERE MEVZUATA ÖNERİDE
BULUNULMASI**

UZMANLIK TEZİ

**Hazırlayan
Firdevs KILIÇ**

**Tez Danışmanı
Buğra KILINÇ**

Ocak, 2019- ANKARA

Firdevs KILIÇ tarafından hazırlanan Olasılıksal Güvenlik Değerlendirmesinin Lisanslamadaki Yeri ve Ülkemiz Lisanslama Faaliyetlerinde Kullanılmak Üzere Mevzuata Öneride Bulunulması adlı bu tezin Atom Enerjisi Uzmanlık tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Mühendis Buğra KILINÇ
Tez Danışmanı

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

(Unvanı, Adı, SOYADI)

(İmza)

Başkan :

(Unvanı, Adı, SOYADI)

(İmza)

Üye :

(Unvanı, Adı, SOYADI)

(İmza)

Üye :

(Unvanı, Adı, SOYADI)

(İmza)

Üye :

(Unvanı, Adı, SOYADI)

(İmza)

Üye :

Bu tez Atom Enerjisi Uzmanlığı Tez Hazırlama Kılavuzu'na uygundur.

ÖZET

NÜKLEER SANTRALLERDE OLASILIKSAL GÜVENLİK DEĞERLENDİRMESİNİN LİSANSLAMADAKİ YERİ VE ÜLKEMİZ LİSANSLAMA FAALİYETLERİNDE KULLANILMAK ÜZERE MEVZUATA ÖNERİDE BULUNULMASI

Firdevs KILIÇ

TÜRKİYE ATOM ENERJİSİ KURUMU

Ocak, 2019

TEZ DANIŞMANI: Mühendis Buğra KILINÇ

Özellikle, 1980’lerden bu yana artan bir hızla nükleer düzenleyici kurum faaliyetlerinde kullanılan olasılıksal güvenlik değerlendirmesi, nükleer güç santrallerinin güvenli bir şekilde tasarlanması ve işletilmesinde önemli bir araç haline gelmiştir. Günümüzde olasılıksal güvenlik değerlendirmesi, deterministik güvenlik değerlendirmesinin bir tamamlayıcısı olarak görülmekte, nükleer düzenleyici kurumlar tarafından nükleer güvenliğe ilişkin karar oluşturmada yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, olasılıksal güvenlik değerlendirmesinin Türkiye lisanslama faaliyetlerinde nerelerde kullanılabileceği ortaya konulmaya çalışılmış, bu kapsamda, olasılıksal yaklaşımın esasları tartışılmış, olasılıksal güvenlik değerlendirmesinin düzenleyici faaliyetlerdeki yeri ve önemi irdelenmiştir. Dünya örnekleri çerçevesinde, nükleer düzenleyici kurumların bu tip güvenlik değerlendirmelerine ilişkin bakış açıları incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Örnek ülke uygulamalarında karşılaşılan, kabul kriterleri, bu kriterlerin ülke yasal düzenlemelerinde katı veya esnek bir şekilde yer alıp almadığı gibi riske dayalı mevzuat gerekleri, olasılıksal güvenlik değerlendirmesinin lisanslama faaliyetlerinin farklı aşamalarında sunumu, farklı seviyelerdeki değerlendirmelerin

kapsamı, olasılıksal güvenlik değerlendirmelerinin lisanslama faaliyetlerindeki yeri ve değerlendirme çıktılarının nasıl ele alınacağı vb. hususlar incelenmiştir.

Çalışmanın sonucunda, ülkemiz lisanslama faaliyetlerinde kullanılmak üzere olasılıksal güvenlik hedefleri, olasılıksal güvenlik değerlendirmesi çalışmalarının sunumu, bu çalışmaların asgari kapsamı ve niteliğini düzenleyen ve bu değerlendirmelerin kullanım alanlarını tanımlayan öneri niteliğinde bir mevzuat metni geliştirilerek tez ile birlikte sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Nükleer güç santralleri, güvenlik analizi, olasılıksal güvenlik değerlendirmesi, risk tanımlı yaklaşımlar, kor hasar frekansı, büyük ve erken salım frekansı

ABSTRACT

IMPORTANCE OF PROBABILISTIC SAFETY ASSESSMENT IN NUCLEAR POWER PLANT LICENSING ACTIVITIES AND PROPOSALS FOR LEGISLATION OF TURKEY

Firdevs KILIÇ

TURKISH ATOMIC ENERGY AUTHORITY

January, 2019

SUPERVISOR: Engineer Buğra KILINÇ

Probabilistic safety assessment, which is used in nuclear authority activities at an increasing tendency since the 1980s, has become an important tool in the safe design and operation of nuclear power plants. Today, probabilistic safety assessment is considered as a complement to deterministic safety assessment and it is widely used in regulatory decision-making process on nuclear safety.

In this thesis, it is tried to put forward that where probabilistic safety assessment can be used in Turkey's licensing activities. In this scope, the principles of probabilistic approaches and the importance of probabilistic safety assessment in licensing activities are discussed. Within the framework of world examples, approaches to probabilistic safety assessment are examined and compared from the viewpoint of regulatory bodies. In the sample country applications, risk based legislative requirements such as acceptance criteria or whether this criteria is strictly or flexibly included in the country's legislation, presentation of probabilistic safety assessment on different licensing stages, scope of probabilistic safety assessment, importance of probabilistic safety assessment, how the assessment outputs are addressed etc. is discussed.

As a result of this study, a proposal legislative text containing probabilistic safety objectives for the using in licensing activites in Turkey, defining the presentation, scope and minimum quality of probabilistic safety assessment works and describing the use areas of probabilistic safety assessment was developed and presented with the thesis.

Key words: Nuclear power plants, safety analysis, probabilistic safety assessment, risk informed approaches, core damage frequency, large early release frequency

İÇİNDEKİLER

İçindekiler	Sayfa
ÖZET	v
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
TABLolar DİZİNİ.....	xiii
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	xiv
GİRİŞ.....	1
1 LİTERATÜR ÖZETİ	3
2 OLASILIKSAL GÜVENLİK DEĞERLENDİRMESİNE İLİŞKİN TEMEL BİLGİLER	6
2.1 Olasılıksal Güvenlik Değerlendirmesinin Tanımı	6
2.2 Olasılıksal Güvenlik Değerlendirmesi Temel Bilgiler	8
2.3 Olasılıksal Güvenlik Değerlendirmesinin Tarihsel Gelişimi.....	11
3 OGD UYGULAMA ALANLARI	15
3.1 OGD'nin Tasarım Aşamasında Kullanılması	15
3.1.1 Nükleer güç santrallerinde ilk tasarım aşamasında OGD kullanımı.....	16
3.1.2 Nükleer güç santral tasarımının işletme aşamasında geliştirilmesi, güçlendirilmesi ve modifikasyonu faaliyetlerinde OGD kullanımı	20
3.2 Nükleer Güç Santralinin İşletilmesi Faaliyetlerinde OGD Kullanımı	22
3.2.1 Yapı sistem ve bileşenlerin sınıflandırılmasında OGD kullanımı	23
3.2.2 Nükleer güç santrali bakım ve test faaliyetlerinde OGD kullanımı.....	25
3.2.3 NGS teknik spesifikasyonları ile ilişkili OGD kullanımı	36
3.2.4 Operatör eğitimi programlarının geliştirilmesinde OGD kullanımı	39

3.2.5	Nükleer güç santrallerinde işletme olaylarının incelenmesinde OGD kullanımı	40
3.2.6	Acil durum işletme prosedürlerinin geliştirilmesi ve iyileştirilmesinde OGD kullanımı.....	41
3.2.7	Ciddi kaza yönetiminde OGD kullanımı	43
3.2.8	Düzenleyici kurum denetim faaliyetlerinde OGD kullanımı.....	44
3.2.9	Periyodik güvenlik değerlendirmelerinde OGD kullanımı.....	45
3.2.10	Risk izleme	45
4	OGD’NİN LİSANSLAMADAKİ YERİ VE ÖNEMİ	46
4.1	Deterministik Yaklaşımların Tamamlayıcısı Olarak OGD	46
4.2	Derinlemesine savunma ilkesi ve OGD arasındaki ilişki	49
4.3	Risk Tanımlı Yaklaşım	53
4.3.1	Risk tanımlı yaklaşımın uygulanması.....	55
4.3.2	Risk tanımlı yaklaşımın uygulanmasına ilişkin örnekler.....	57
4.4	OGD’nin Sunumu, Kapsam ve Kriterler	63
4.4.1	OGD’ye ilişkin dokümanların sunumu.....	63
4.4.2	OGD’ye ilişkin kapsamın belirlenmesi.....	64
4.4.3	OGD’ye ilişkin kriterlerin tanımlanması	65
5	OLASILIKSAL GÜVENLİK DEĞERLENDİRMESİNE İLİŞKİN ÜLKE YAKLAŞIMLARI	66
5.1	Uluslararası Atom Enerji Ajansı Yaklaşımı	66
5.2	Amerika Birleşik Devletleri Yaklaşımı	74
5.3	Fransa Yaklaşımı	91
5.4	Finlandiya Yaklaşımı	97
5.5	Rusya Yaklaşımı	100
5.6	Japonya Yaklaşımı	104
5.7	Türkiye Yaklaşımı	109

6 FARKLI ÜLKE YAKLAŞIMLARININ KARŞILAŞTIRILMASI VE ÖNERİLER.....	111
6.1 OGD’ye İlişkin Düzenleyici Kurum Yaklaşımlarının Karşılaştırması ve Türkiye için Öneriler	111
6.1.1 OGD’ye ilişkin düzenleyici kurum yaklaşımları	111
6.1.2 Türkiye düzenleyici kurum yaklaşımına ilişkin öneri	112
6.2 OGD risk hedeflerine ilişkin Düzenleyici Kurum Yaklaşımlarının Karşılaştırması ve Türkiye için Öneriler.....	114
6.2.1 OGD’ye ilişkin düzenleyici kurum risk hedefleri.....	114
6.2.2 Türkiye için OGD risk hedeflerine ilişkin öneri	116
6.3 OGD Dokümanlarının Kapsamına ve Sunumuna İlişkin Düzenleyici Kurum Yaklaşımlarının Karşılaştırması ve Türkiye için Öneriler.....	118
6.3.1 OGD dokümanlarının kapsamına ve sunumuna ilişkin düzenleyici yaklaşımlar	118
6.3.2 OGD dokümanlarının kapsamına ve sunumuna ilişkin öneri	120
6.1 OGD’nin Kullanım Alanlarına İlişkin Düzenleyici Kurum Yaklaşımlarının Karşılaştırması ve Türkiye için Öneriler	122
6.1.1 OGD’nin kullanım alanlarına ilişkin düzenleyici yaklaşımlar	122
6.1.2 OGD’nin kullanım alanlarına ilişkin öneri	124
6.2 Diğer Hususlara İlişkin Öneriler	128
7 TÜRKİYE MEVZUATINA ÖNERİLER	130
SONUÇ ve TARTIŞMA.....	137
KAYNAK LİSTESİ.....	142
ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI	147
ÖZGEÇMİŞ	148

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekiller	Sayfa
Şekil 1. OGD seviye 1, seviye 2, seviye 3	8
Şekil 2. Lisans başvuru sahibi ve düzenleyici kurum arasındaki risk tanımlı müzakere örneği	19
Şekil 3. WOG risk tanımlı HİD yöntemi.....	33
Şekil 4. EPRI risk tanımlı HİD yöntemi.....	35
Şekil 5. Derinlemesine savunma ilkesi ve OGD arasındaki ilişki.....	50
Şekil 6. Risk tanımlı yaklaşım süreci	55
Şekil 7. Risk tanımlı yaklaşım adımları	57
Şekil 8. Kor hasar frekansı için kabul edilebilir değerler.....	83
Şekil 9. Büyük ve erken radyolojik salım frekansı için kabul edilebilir değerler	83
Şekil 10. Risk tanımlı güvenlik sınıfı kategorileri	87

TABLÖLER DİZİNİ

Tablolar	Sayfa
Tablo 1. Güney Teksas Projesi risk tanımlı sınıflandırma sonuçları	24
Tablo 2. WOG yaklaşımına göre 2x2 risk matrisi	32
Tablo 3. EPRI yaklaşımı risk matrisi	34
Tablo 4. Olasılıksal yaklaşımların ve deterministik yaklaşımların karşılaştırılması	48
Tablo 5. KHF ve BESF'deki değişime göre risk önemi	89

SİMGELER ve KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ACRS	: Advisory Committee on Reactor Safeguards (Reaktör Güvence Danışma Komitesi)
ADİP	: Acil Durum İşletme Prosedürü
AEC	: Atomic Energy Commission (Atom Enerji Komisyonu)
ASN	: Autorité de Sureté Nucléaire (Fransa Nükleer Güvenlik Düzenleme Kurumu)
ASP	: Accident Sequence Precursor
BESF	: Büyük ve Erken Radyolojik Salım Frekansı (Large Early Release Frequency)
°C	: Santigrat derece
CFR	: Code of Federal Regulations (Federal Düzenleme Yasaları)
CKYK	: Ciddi Kaza Yönetim Kılavuzu
Cs	: Sezyum
EDF	: Electricité de France (Fransa Elektrik)
EPRI	: Electric Power Research Institute (Elektrik Güç Araştırma Enstitüsü)
FV	: Fussel Vesely
GAR	: Güvenlik Analiz Raporu
GMB	: Güvenilirlik Merkezli Bakım
GSR	: General Safety Requirements (Genel Güvenlik Gereklilikleri)
HİD	: Hizmet İçi Denetim (In-service Inspection)
HİT	: Hizmet İçi Test (In-service Test)
IPE	: Individual Plant Examination (Santral Özelinde İnceleme)

IPEEE	: Individual Plant Examination of External Events (Dış Olaylar için Santral Özelinde İnceleme)
IRSN	: Institut de Radioprotection et de Sureté Nucléaire (Radyolojik Koruma ve Nükleer Güvenlik Enstitüsü)
İİDKS	: İzin Verilen İşletme Dışı Kalma Süresi
KHF	: Kor Hasar Frekansı (Core Damage Frequency)
LER	: Licensee Event Reports (Lisans Olay Raporları)
LOCA	: Loss Of Coolant Accident (Soğutucu Suyu Kaybı Kazası)
MITI	: Japonya Uluslararası Ticaret ve Endüstri Bakanlığı
MWe	: Megawatt electric
NASA	: National Aeronautics and Space Administration (Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi)
NGS	: Nükleer Güç Santrali
NISA	: Nuclear and Industrial Safety Agency (Nükleer ve Endüstriyel Güvenlik Ajansı)
NRA	: Nuclear Regulation Authority (Japon Nükleer Düzenleme Kurumu)
NRC	: Nuclear Regulatory Commission (Nükleer Düzenleme Komisyonu)
NSC	: Nuclear Safety Commission (Nükleer Güvenlik Komisyonu)
OECD/NEA	: Organisation for Economic Cooperation and Development/Nuclear Energy Agency (Avrupa Ekonomik İşbirliği Teşkilatı/Nükleer Enerji Ajansı)
OGD	: Olasılıksal Güvenlik Değerlendirmesi
PGA	: Maksimum Yer İvmesi
PGD	: Periyodik Güvenlik Değerlendirmesi
RISC	: Risk Informed Safety Class (Risk Tanımlı Güvenlik Sınıfı)

RTNSS	: Regulatory Treatment of Non-Safety Systems (Güvenlikle İlgili Olmayan Sistemlerin Tanımlanması)
SCRAM	: Safety Control Rod Axe Man (Reaktörün Ani Durdurulması)
SDP	: Significance Determination Process (Önem Belirleme Süreci)
SPAR	: Standardized Plant Analysis Risk (Standardize Edilmiş Risk Analiz Modeli)
SRRA	: Structural Reliability and Risk Assessment (Yapısal Güvenilirlik ve Risk Değerlendirmesi)
STUK	: Säteilyturvakeskus (Finlandiya Radyasyon ve Nükleer Güvenlik Düzenleyici Kurumu)
TBq	: Terabecquerel
TMI	: Three Mile Island
UAEA	: Uluslararası Atom Enerji Ajansı (International Atomic Energy Agency)
YSB	: Yapı, Sistem, Bileşen
WENRA	: Western European Nuclear Regulators Association (Batı Avrupa Nükleer Düzenleyiciler Derneği)
WOG	: Westinghouse Owners Group

GİRİŞ

Nükleer güç santrallerinde (NGS) radyasyon riski nedeni ile güvenlikle ilgili hususlar, çevre ve insan sağlığı açısından özel olarak ele alınmaktadır. NGS'lerin güvenliğinin sağlanması amacıyla ilk dönemlerde deterministik yaklaşımlar kullanılmış olsa da, Three Mile Island (TMI) kazası sonrası deterministik yaklaşımlar ile birlikte olasılıksal yaklaşımların kullanılması gündeme gelmiştir. OGD, NGS'lerin riskine ilişkin bilgi sağlamakta, bir santralin zayıf ve güçlü yönlerini ortaya koyarak düzenleyici faaliyetlere ilişkin karar verme sürecinde yararlı bir araç olarak kullanılmaktadır. OGD, riske ilişkin bilgi sağlamanın yanı sıra, deterministik yaklaşımların tamamlayıcısı olarak görülmekte, deterministik kriterlerin değerlendirilmesinde de sonuçlarından faydalanılmaktadır.

OGD, ilk tasarım aşamasında santralin yeterli yedeklilik ve çeşitliliğe sahip olacak şekilde güvenli tasarlandığının, tasarımın dengeli olup olmadığının ve santralin önerilen tasarımı ve işletimi için riskin yeterince düşük olduğunu temin edecek şekilde risk kriterleri veya hedefleri ile karşılaştırılabilir olduğunun gösterilmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca, mevcut santraller için santralin zayıflıklarının tanımlanmasında, iyileştirilmesi gereken yerlere odaklanılmasında ve farklı iyileştirme seçenekleri arasında fayda/maliyet analizi yapılarak birçok seçenek arasından en etkin olanlarının belirlenmesinde OGD'den faydalanılmaktadır. Yapı, sistem, bileşenlerin (YSB) sınıflandırılmasında, santralde bakım, onarım ve denetim faaliyetlerinde önemli kısımlara odaklanılmasında, teknik spesifikasyonlarda yer alan izin verilen işletme dışı kalma sürelerinin (***allowed outage time***) (İİDKS) ve bu sürelerde gerçekleştirilecek değişikliklerin gerekçelendirilmesinde, yine teknik spesifikasyonlarda yer alan gözetim test aralıklarının planlanmasında, NGS'lerde gerçekleşen olayların değerlendirilmesinde, operatör eğitim programlarının oluşturulmasında, acil durum işletme prosedürlerinin (ADİP) belirlenmesinde ve ciddi kaza yönetiminde OGD çıktılarından yararlanılmaktadır.

Günümüzde, düzenleyici karar verme sürecinde OGD'ye ilişkin yaklaşımlar, OGD'den ne şekilde yararlanılacağı, OGD güvenlik hedeflerinin ne olması gerektiği, bu hedeflerin katı veya esnek bir şekilde mi ele alınması gerektiği ve OGD dokümanlarının tasarımın hangi aşamasında ve ne şekilde sunulması gerektiği konularında tartışmalar sürmektedir. Bu tez çalışmasında söz konusu tartışmalara yer verilmekte, OGD'nin düzenleyici faaliyetlerdeki

yeri ve önemi irdelenmekte, örnek ülke yaklaşımları çerçevesinde OGD'nin esasları ve OGD'ye bakış açıları tartışılmaktadır. Bu kapsamda tezin birinci bölümünde OGD'ye ilişkin incelenen teknik dokümanlar için literatür özetine yer verilmiştir. İkinci bölümde ise OGD'nin tanımı ve tarihçesi sunulmuştur. Tezin üçüncü bölümünde ise nükleer santralin tasarımı ve işletilmesi sırasında OGD'nin uygulama alanlarına değinilmiştir.

Tezin dördüncü bölümünde, OGD'nin lisanslamadaki yeri ve önemine yer verilmiştir. OGD, deterministik yaklaşımların bir tamamlayıcısı olarak görülmekte ve risk tanımlı (**risk informed**) yaklaşımların en önemli araçlarından biri sayılmaktadır. Derinlemesine savunma ilkesi ile OGD arasındaki ilişkinin ele alındığı bu bölümde, deterministik yaklaşımların ve olasılıksal yaklaşımların zayıf ve güçlü yönlerine değinilmiş, böylece olasılıksal yaklaşımların hangi yönlerden deterministik yaklaşımları tamamladığı ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Tezin beşinci bölümünde ise OGD'ye ilişkin farklı ülke yaklaşımları sunulmuştur. Uluslararası Atom Enerji Ajansı (IAEA), Amerika Birleşik Devletleri (ABD), Fransa, Finlandiya, Rusya ve Japonya'nın OGD'ye ilişkin bakış açıları incelenmiştir. Söz konusu ülkelerde OGD'nin düzenleyici faaliyetlerdeki yeri ve önemi irdelenmiş, ülke uygulamalarında karşılaşılan kabul kriterleri, OGD dokümanlarının lisanslama faaliyetlerinin farklı aşamalarındaki sunumu, farklı seviyelerdeki değerlendirmelerin kapsamı, örnek ülkelerde OGD'nin lisanslama faaliyetlerindeki uygulama alanları ele alınmıştır. OGD'ye ilişkin yaklaşımlar, risk hedefleri, OGD dokümanlarının kapsamı ve sunumu ve OGD kullanım alanları hususlarında örnek ülke yaklaşımlarının karşılaştırılmasının verildiği altıncı bölümde, örnek ülke uygulamaları çerçevesinde gerçekleştirilen analizler neticesinde Türkiye için öneriler sunulmuştur. Dünya örnekleri çerçevesinde ele alınan konulardan yola çıkılarak OGD'ye ilişkin Türkiye için bir mevzuat metni geliştirilmiştir. Sonuç ve tartışma kısmında ise tez çalışmasından elde edilen sonuçlara yer verilmiştir.

1 LİTERATÜR ÖZETİ

Nükleer santrallerde OGD'nin lisanslamadaki yeri ve önemi konusu ile ilgili yapılan literatür araştırması neticesinde temel olarak UAEA ve Amerika Birleşik Devletleri Düzenleyici Kurumu olan Nükleer Düzenleme Komisyonu (NRC) kaynaklarından faydalanılmıştır. Ayrıca, ülke yaklaşımlarının ele alındığı tez çalışmasında, örnek ülkeler çerçevesinde OGD'ye ilişkin mevcut olan yasal düzenlemeleri irdelenmiştir.

OGD'nin lisanslamadaki yerinin ortaya konulması açısından, bu tür değerlendirmelerin uygulama alanlarına değinilmiştir. Bu kapsamda temel alınan kaynaklardan biri UAEA'nın 'Nükleer Güç Santralleri için Olasılıksal Güvenlik Değerlendirmesi (OGD) Uygulamaları (*Applications of Probabilistic Safety Assessment (PSA) for Nuclear Power Plants*)' isimli teknik dokümanıdır. UAEA'nın 'Nükleer Santral Güvenliği Yönetiminde OGD'nin Bazı Uygulamaları için Modelleme ve Veri Önkoşulları (*Modelling and Data Prerequisites for Specific Applications of PSA in the Management of Nuclear Plant Safety*)' isimli teknik dokümanı da yararlanılan kaynaklar arasındadır. Konuya ilişkin dokümanlarda, bir NGS'nin tasarımı, işletimi, kaza yönetimi ve düzenleyici faaliyetlerde karar alınması konularında OGD'nin uygulama alanlarına ilişkin bilgiler sunulmaktadır. Ülkemiz lisanslama faaliyetlerinde OGD'nin uygulama alanlarının belirlenmesi sırasında söz konusu kaynaklar ile birlikte ülke yaklaşımları kısmında sunulan mevcut mevzuat incelemelerinden faydalanılmıştır.

UAEA'nın 'Nükleer Tesislere İlişkin Risk Tanımlı Düzenlemeler : Mevcut Duruma Genel Bir Bakış (*Risk Informed Regulation : Overview of the Current Status*)' isimli teknik dokümanında ise deterministik ve olasılıksal yaklaşımların güçlü ve zayıf yönlerine yer verilmektedir. Bu dokümanda, deterministik ve olasılıksal yaklaşımların bir karşılaştırması sunulmakta, her iki yaklaşımdan elde edilen bilgileri diğer gereklilikler ile birleştiren risk tanımlı karar alma sürecinin faydalarından bahsedilmektedir. Risk tanımlı yaklaşımların ana unsurlarının ele alındığı dokümanda, konuya ilişkin uygulamalara yönelik örnekler sunulmaktadır. Ayrıca, NGS'lere yönelik güvenliğin sağlanmasında en önemli kaidelerden biri olan derinlemesine savunma ilkesi ile OGD arasındaki ilişkinin ortaya konulmasında Batı Avrupa Nükleer Düzenleyiciler Derneği'nin (WENRA) 'Kapsamlı OGD ve Derinlemesine Savunma İlkesi Arasındaki İlişki (*The Link Between the Defence in Depth*

Concept and Extended PSA)’ isimli dokümanından faydalanılmıştır. Bu dokümanlardan yola çıkılarak, OGD’nin lisanslama faaliyetlerindeki önemi ortaya konulmaya çalışılmıştır. Mevcut düzenlemelerinde deterministik yaklaşımları benimseyen ülkemizin, lisanslama faaliyetlerinde risk tanımlı yaklaşımları kullanmasının önemine ilişkin vurgu yapılması açısından bu kaynaklar ile birlikte ülke yaklaşımları kısmında sunulan mevcut mevzuat incelemelerinden faydalanılmıştır.

UAEA’nın OGD’ye ilişkin bakış açısını ortaya koyan en üst seviyedeki dokümanı genel güvenlik gerekliliklerinden (GSR) biri olan GSR Part 4’dür. Bu doküman ile UAEA’nın güvenlik değerlendirmelerinde OGD’yi bir gereklilik olarak gördüğü ortaya konulmaktadır. OGD’ye ilişkin sayısal güvenlik hedeflerine ise, INSAG 12 kodlu ‘Nükleer Güç Santralleri için Temel Güvenlik İlkeleri’ isimli tavsiye niteliğinde olan dokümanlarında yer verilmektedir. SSG-3 kodlu ‘Nükleer Güç Santralleri için Seviye 1 Olasılıksal Güvenlik Değerlendirmesinin Geliştirilmesi ve Uygulamaları’ isimli kılavuzunda seviye 1 OGD’nin kapsamına, lisanslama faaliyetlerinde nerelerde kullanılabileceğine ve değerlendirme çıktılarının nasıl ele alınacağına değinilmektedir.

NRC, kurulması planlanan NGS’ler için OGD’yi, Federal Düzenleme Yasaları’nda (CFR), bir gereklilik olarak tanımlanmaktadır. OGD’nin kapsamına ve lisanslama faaliyetlerinin farklı aşamalarındaki sunum şekline ilişkin hususlara da Federal Düzenleme Yasaları’nda yer verilmektedir. OGD’ye ilişkin sayısal güvenlik hedefleri, OGD’nin lisanslama faaliyetlerinde nerelerde kullanılabileceği ve değerlendirme çıktılarının nasıl ele alınacağı ise RG 1.206 kodlu ‘Nükleer Güç Santralleri için Tümüleşik Lisanslama Uygulamaları’ isimli kılavuzunun 19. bölümünde ele alınmaktadır. Farklı uygulama alanları ile ilgili kapsam ve kriterlere ilişkin bilgiler detaylı olarak incelenen NRC mevzuatından yola çıkılarak tez kapsamında sunulmuştur.

Fransa’nın, OGD’ye ilişkin bakış açısını ortaya koyan en üst düzeydeki dokümanı yasal bağlayıcılığı olan ve 2012 senesinde yayımlanan ‘Temel Nükleer Tesisler İçin Genel Kuralların Belirlenmesine İlişkin 7 Şubat 2012 Tarihli Yönetmelik’tir. Bu Yönetmelik’e göre Fransa OGD’yi deterministik yaklaşımların bir tamamlayıcısı olarak görmekte, konu dışı olduğu gösterilmediği sürece olasılıksal yaklaşımlara ilişkin analizleri istemektedir. Fransa, OGD özelinde kabul edilebilir yöntemlerine ve mevcut santraller ile gelecekte

kurulması planlanan santraller için OGD'nin kullanım alanlarına Temel Güvenlik Kuralı'nda (**Basic Safety Rule**) yer vermektedir.

Finlandiya'nın konuya ilişkin bakış açısı Nükleer Tüzük'te ortaya konulmaktadır. Lisanslama faaliyetlerinin farklı aşamalarında OGD gerekli görülmek ile birlikte, OGD'ye ilişkin sayısal kriterlerine, kapsamına ve uygulamalarına YVL A7 kodlu 'Nükleer Güç Santrallerinde Olasılıksal Risk Değerlendirmesi ve Risk Yönetimi' isimli kılavuzunda yer verilmektedir.

Rusya, OGD'ye ilişkin sayısal hedeflerine NGS'ler için genel güvenlik hükümlerinin yer aldığı NP-001-15 dokümanında yer vermektedir. OGD'nin kapsamı ve uygulama alanlarına ise NP-095-15 kodlu 'Nükleer Güç Santrali Ünitesi Olasılıksal Güvenlik Değerlendirmesi için Temel Gereklere' isimli dokümanda değinilmektedir.

Japonya yaklaşımına ilişkin yapılan araştırmalar neticesinde OGD ile ilgili düzenleyici dokümanların İngilizce sürümlerinin mevcut olmadığı görülmüş olup, OGD'ye ilişkin bakış açısı ve sayısal hedefleri için Avrupa Ekonomik İşbirliği Teşkilatı/Nükleer Enerji Ajansı'nın (OECD/NEA) OGD'ye ilişkin anketi olan ve resmi cevaplardan oluşan 'Olasılıksal Güvenlik Değerlendirmesinin Kullanımı ve Geliştirilmesi' isimli dokümanından faydalanılmıştır.

2 OLASILIKSAL GÜVENLİK DEĞERLENDİRMESİNE İLİŞKİN TEMEL BİLGİLER

2.1 Olasılıksal Güvenlik Değerlendirmesinin Tanımı

Olasılıksal güvenlik değerlendirmeleri, karmaşık teknolojileri içeren sistemlerde, güvenliğin artırılması amacıyla, riskleri tanımlamak ve değerlendirmek yoluyla ne yanlış gidebilir, hangi sıklıkla yanlış gidebilir ve istenmeyen hangi sonuçlara yol açabilir sorularına cevap bulmak için gerçekleştirilen kapsamlı ve sistematik analizlerdir. Nükleer santrallerde yapılan OGD ise “bir nükleer santralin zayıflıklarını ve güçlü yönlerini ortaya koymada ve nükleer santralin güvenliğinin gösterilmesinde risk bilgisinden yararlanmak” olarak tanımlanmaktadır.

Yukarıda da değinildiği üzere risk değerlendirmesi, üç soruya cevap aramaktadır. Bu sorular sırası ile;

- Ne yanlış gidebilir?
- Hangi sıklıkla yanlış gidebilir?
- İstenmeyen hangi sonuçlara yol açabilir?

Risk'in bu ünlü üç sorusu Kaplan ve Garrick tarafından tanımlanmış olup, “risk üçlemesi (*risk triplet*)” olarak bilinmektedir. Nükleer santral tasarımları özelinde riskin bu tanımından yola çıkarak kaza senaryoları incelenmekte, bu senaryolardan kor hasarına neden olanlar belirlenmekte ve bu yolla ilk soruya (ne yanlış gidebilir?) cevap aranmaktadır. OGD çalışmalarında, “Ne yanlış gidebilir?” sorusunun cevabı, kor hasarına neden olacak minimum arıza kombinasyonu olarak bilinen minimum hata serileridir. Bu arıza kombinasyonlarının incelenmesi ile elde edilen bilgiler nicelikten öte niteliksel girdilerdir. Ünlü risk üçlemesinin ikinci sorusu olan “Hangi sıklıkla yanlış gidebilir?” sorusuna ise arıza olasılıklarına ilişkin istatistiki veriler (veya mühendislik muhakemesi) kullanılması yoluyla cevap aranmaktadır. Son soru olan “Sonuçları nelerdir?” sorusu ise nükleer santraller özelinde kor hasarı ve radyoaktif salım olup olmadığı ve bu salım sonucu toplum ve çevre üzerinde zararlı etkilerin ortaya çıkıp çıkmayacağının belirlenmesine yönelik analizleri gerektirmektedir. OGD çalışmaları bu halleri ile NGS’lerde bir kaza olasılığının azaltılması ve sonuçlarının hafifletilmesi amacıyla kullanılmaktadır.

Yukarıdaki genel açıklamanın UAEA ‘IAEA Safety Glossary 2007’ dokümanına göre matematiksel tanımı ise şu şekilde bir üçlü dizi ile ifade edilebilir (UAEA, 2007):

$$\text{Risk} = \{ \langle S_i | p_i | X_i \rangle \}$$

S_i =i senaryosunun tanımı

p_i =i senaryosunun olasılığı

X_i =i senaryosunun sonuçlarının büyüklüğü

Literatürün ortaya konulması açısından, riskin Lamarsh ve Baratta tarafından bir diğer tanımına da yer verilmektedir. Buna göre, bir olayın riski, olayın olma sıklığı ve sonuçlarının büyüklüğünden yola çıkılarak aşağıdaki gibi hesaplanır (Lamarsh ve Baratta, 2001):

$$\text{Risk} \left\{ \frac{\text{sonuçlar}}{\text{birim zaman}} \right\} = \text{sıklık} \left\{ \frac{\text{olaylar}}{\text{birim zaman}} \right\} \times \text{büyüklük} \left\{ \frac{\text{sonuç}}{\text{olay}} \right\}$$

Yukarıdaki formülde yer alan ‘sonuç’, NGS’ler için kor hasarı veya radyoaktif salım olarak yorumlanabileceği gibi, olası bir salım durumunda, radyasyonun insan sağlığı üzerine etkileri olarak da yorumlanabilmektedir.

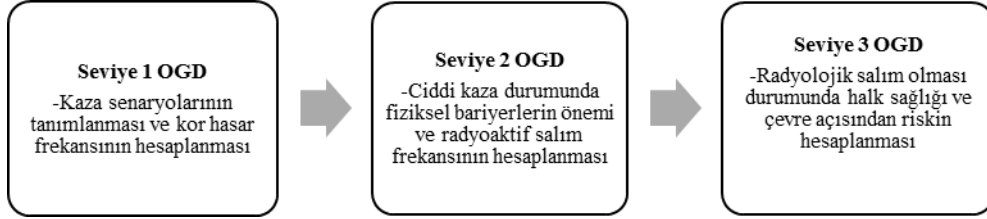
Risk üçlemesinin son sorusuna aranan cevap özelinde nükleer santraller için yapılan OGD çalışmaları üç seviyede gerçekleştirilebilmektedir (UAEA, 2000):

- Seviye 1 OGD: Bir NGS’de kor hasarına yol açan kaza senaryolarının tanımlanması, kor hasar frekansının (KHF) hesaplanması ve kor hasarını engellemek için kullanılan güvenlik sistemlerinin ve prosedürlerin güçlü ve zayıf yönlerinin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır.
- Seviye 2 OGD: Santralden gerçekleşebilecek radyoaktif salımların hareketini, değerlerini ve frekansını tahmin etmede kullanılmaktadır. Bu çalışma meydana gelebilecek kazaların sonuçlarının hafifletilmesi ve fiziksel bariyerlerin performansı hakkında fikir sağlamaktadır.
- Seviye 3 OGD: Olası radyoaktif salımların sonucunda gerçekleşebilecek toprak ve yiyeceklerin kontaminasyonu gibi halk sağlığına ilişkin toplumsal risklerin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Bununla beraber, ülkemiz ve dünyadaki mevcut

düzenleyici yaklaşımlar ve henüz literatürde kanıtlanmış bir metot olmaması nedeniyle Seviye 3 OGD bu tezin kapsamı dışında tutulmuştur. Bu seviye çalışmaların geleceği ile ilgili değerlendirmeye ise tezin sonuç kısmında yer verilmektedir.

OGD'nin yukarıda açıklanan seviyelerine ilişkin aşamalar Şekil 1'de sunulmaktadır.

Şekil 1. OGD seviye 1, seviye 2, seviye 3



2.2 Olasılıksal Güvenlik Değerlendirmesi Temel Bilgiler

Tezin ilerleyen bölümlerine yönelik teorik temelin sağlanması amacıyla bu kısımda OGD'ye ilişkin bilgilere yer verilmektedir. Daha önce bahsedildiği üzere OGD, NGS'lerde güvenliğin sağlanması amacıyla risk bilgisini kullanan kapsamlı ve sistematik analizlerdir. OGD'nin ilk basamağı başlatıcı olayların belirlenmesidir. Başlatıcı olay, kor reaktivitesinin kontrolü, reaktör korundan ısının atılması ve santralden radyasyon salımının engellenmesi şeklinde tanımlanan üç güvenlik fonksiyonunu tehdit eden olaylardır. Başlatıcı olayların belirlenmesi ise, santralin normal işletme koşullarından sapması veya doğrudan kor hasarına götürecek kazalar neticesinde güvenlik sistemlerinin veya güvenlikle ilgili olmayan sistemlerin kor hasarını engelleme amacıyla kullanıldığı olayların tanımlanması faaliyetidir (UAEA, 2010).

OGD'nin bir sonraki aşaması, güvenlik fonksiyonlarını yerine getiren güvenlik sistemlerinin, bir başlatıcı olay neticesinde, çalışmasına ihtiyaç duyulması halinde santral tepkisinin tanımlanmasıdır. Kor hasarını önlemek için gerekli olan güvenlik fonksiyonları her bir başlatıcı olay için tanımlanmaktadır. Güvenlik fonksiyonlarını yerine getiren güvenlik sistemlerinin minimum performansı ise başarı kriteri olarak bilinmektedir (UAEA, 2010). Bir başlatıcı olaydan başlayarak, her bir başlatıcı olaya atanan güvenlik fonksiyonları ve güvenlik fonksiyonlarını yerine getiren başarı kriterlerinin tepkisinin kor hasarına kadar irdelendiği senaryolar kaza senaryosu olarak bilinmektedir. Kaza

senaryolarının irdelenmesi sırasında genelde olay ağacı mantık modelleri kullanılmaktadır. Olay ağaçlarında yer alan başarı kriterlerine ilişkin sistemlerin arıza analizleri ise hata ağacı mantık modelleri ile yapılmaktadır. Mantık modelleri oluşturulurken ekipman arızaları, insan hataları, sistemler arasındaki bağımlılıklar ve insan hataları arasındaki bağımlılıklar tanımlanmaktadır.

Risk bilgisine ilişkin OGD'den elde edilen niceliksel veriler aşağıdaki gibi olabilmektedir;

Kor hasar frekansı: Bir reaktörde kor hasarına neden olacak kaza senaryolarının birim zamanda (genelde reaktör yıldır) olma sıklığını ifade etmektedir.

Büyük ve erken radyolojik salım frekansı: Bir reaktörde büyük bir salım olması durumunda, gerekli acil durum önlemlerinin erken safhada alınmasının mümkün olmadığı kaza senaryolarının birim zamanda olma sıklığını ifade etmektedir.

Yakıt hasarı frekansı: Reaktör içerisinde bulunan bütün yakıtları içerecek şekilde kor, yakıt havuzu gibi yerlerdeki yakıtların hasarına neden olacak kaza senaryolarının birim zamanda olma sıklığını ifade etmektedir. Bu durumda, yakıt havuzunda öngörülen kaza senaryoları da analize dahil edilir.

Korunak binası hasar frekansı: Kor hasarı meydana gelmesi durumunda, korunak binasının hasarına neden olacak kaza senaryolarının birim zamanda olma sıklığını ifade etmektedir.

Kor hasar olasılığı: Belli bir zaman diliminde bir reaktörde kor hasarına neden olacak kaza senaryolarının olma olasılığını ifade etmektedir. Kor hasar frekansı ile zamanın çarpılması sonucu elde edilmektedir.

Büyük ve erken radyolojik salım olasılığı: Bir reaktörde salım olması durumunda, gerekli acil durum önlemlerinin erken safhada alınmasının mümkün olmadığı kaza senaryolarının belli bir zaman diliminde olma olasılığını ifade etmektedir. Büyük ve erken radyolojik salım frekansı (BESF) ile zamanın çarpılması sonucu elde edilmektedir.

Değişen kor hasar frekansı: Bir reaktörün tasarımında veya işletme koşullarında değişiklik olması veya reaktörün konfigürasyonundaki değişiklikler sebebiyle referans alınan kor

hasar frekansında (**baseline core damage frequency**) meydana gelen değişimi ifade etmektedir.

Değişen büyük ve erken radyolojik salım frekansı: Bir reaktörün tasarımında veya işletme koşullarında değişiklik olması veya reaktörün konfigürasyonundaki değişiklikler sebebiyle referans alınan büyük ve erken radyolojik salım frekansında (**baseline large early release frequency**) meydana gelen değişimi ifade etmektedir.

Koşullu kor hasar frekansı: Bir başlatıcı olayın veya işletme durumunun gerçekleşmesi koşulu ile KHF'nin hesaplanması işlemini ifade etmektedir. Örneğin; reaktörde büyük soğutucu suyu kaybı kazası (LOCA) gerçekleşmesi durumunda KHF'nin hesaplanması koşullu kor hasar frekansını verecektir.

Koşullu büyük ve erken radyolojik salım frekansı: Bir başlatıcı olayın veya işletme durumunun gerçekleşmesi koşulu ile BESF'nin hesaplanması işlemini ifade etmektedir. Örneğin; reaktörde korunak binası dışındaki bir ara bağlantıda LOCA meydana gelmesi koşulu ile BESF'nin hesaplanması koşullu büyük ve erken radyolojik salım frekansını verecektir.

Ayrıca, OGD'den, temel olayların (**basic events**), temel olay gruplarının, güvenlik sistemlerinin ve başlatıcı olayların önemine ilişkin fikir sağlayan veriler elde edilmekte, bu veriler ışığında tasarımın güvenliği ve santralin güvenli bir şekilde işletilmesi ile ilgili yorumlar yapılabilmektedir. OGD'den elde edilen önem değerleri aşağıdaki gibidir (UAEA, 2010):

- *Fussell-Vesely Önem Değeri:* Fussell-Vesely (FV) önem değeri bir temel olayı içeren bütün kaza senaryolarının KHF'ye katkısının oranıdır.
- *Risk Azalma Değeri:* Bir arıza türü olasılığının sıfır olması durumunda KHF'deki nispi azalmayı ifade eder. Risk azalma değeri ekipmanın güvenilirliğinin doğrudan fonksiyonudur ve hata türünün KHF'ye katkısını değerlendirmede kullanılmaktadır.
- *Risk Artış Değeri:* Ekipmana ait arızanın kesin gerçekleşmesi durumunda KHF'deki nispi artışı ifade eder. Risk artış değeri, ekipman tarafından gerçekleştirilen fonksiyonun öneminin bir ölçüsüdür. Ekipmanın arıza olasılık değeri çok düşük olsa da güvenlik açısından önemi ile ilgili bilgi vermektedir.

- *Birnbaum Önem Değeri* : Birnbaum önem değeri bir bileşenin arıza verdiği durumun bileşenin çalışır durumuna göre karşılaştırıldığı değerdir.

Önem değerleri, temel olaylar vs.'den hangilerinin risk seviyesine en çok katkı sağladığının (FV önem değeri, risk azalma değeri), hangilerinin güvenliği sağlamada en önemlisi olduğunun (risk artış değeri) ve sonuçlar açısından hangilerinin en hassas olduğunun (Birnbaum önem değeri) bir göstergesidir (UAEA, 2010).

OGD gerçekleştirilirken modellerin geliştirilmesi sırasında ve kullanılan verilerden dolayı belirsizlikler oluşabilmektedir. Bu belirsizlikler hassasiyet çalışmaları ve belirsizlik analizlerinden uygun olan yöntemin seçilmesi ile OGD sonuçlarına yansıtılmaktadır. Belirsizlik analizleri, hesaplamalar sırasında kullanılan parametrelere belirsizlik dağılımlarının belirlenmesi ile yapılmaktadır. Hassasiyet analizleri ise, OGD sonuçlarında önemli bir etkisi olacağına inanılan ve belirsizlik seviyesinin çok fazla olduğu verilere ve varsayımlara uygulanmaktadır. Hassasiyet analizleri, alternatif varsayımlar veya belirsizliğin yansıtıldığı veriler kullanılarak tekrar hesaplama şeklinde gerçekleştirilmektedir (UAEA, 2010).

2.3 Olasılıksal Güvenlik Değerlendirmesinin Tarihsel Gelişimi

OGD, günümüzde ulaşım, kimya, havacılık ve uzay endüstrilerinde, askeri araştırmalarda ve hatta finansal yönetim projelerinde kullanılmaktadır. Bu uygulama alanlarında ilk olasılıksal çalışma 1957 senesinde çıkarılan ve Brookhaven Raporu olarak da bilinen WASH-740'dır. WASH-740, bir NGS'de büyük bir kaza olması durumunda sonuçlarının ne olacağına ilişkin olasılıksal tahminler sunmuş, bununla birlikte, raporda olasılığa ilişkin sistemli bir yöntem kullanılmamıştır. Mühendislik muhakemelerinden yola çıkılan bu ilk rapor her ne kadar olasılıksal bir çalışma olsa da, günümüzdeki OGD çalışmaları sınıfında değerlendirilmemektedir (US NRC, 2016).

OGD'nin temel metodlarının kökeni uzay araştırmaları programlarına dayanmaktadır. 1967 senesinde Apollo Uçuş Test programında üç astronotun öldüğü yangından sonra, Amerikan Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) risk değerlendirme çalışmalarına başlamıştır. NASA tarafından General Electric şirketine yaptırılan bu risk değerlendirme çalışmasına göre, bir insanın güvenli bir şekilde aya gidip aydan dönme olasılığı %5'den daha az

olarak hesaplanmıştır. Ancak, dönemin yöneticileri bu rakamın açıklanmasının Apollo projesine zarar verebileceğini düşünmüş olup, politik sebeplerden dolayı risk değerlendirme çalışmalarını belirsizliğin fazla olmasını öne sürerek rafa kaldırmıştır (Bedford ve Cooke, 2001). Bu çalışmanın önemine ilerleyen paragraflarda ayrıca değinilecektir.

Nükleer sektörde OGD, 1970'lerde yapılan WASH-1400 çalışması ile başlamaktadır. Reaktör Güvenlik Çalışması (**Reactor Safety Study**) veya Rasmussen Raporu olarak da bilinen WASH-1400 çalışmaları, senatör John O. Pastore'un, Atom Enerji Komisyonu (AEC) yöneticisi James Schlesinger'e bir mektup göndermesi ile başlamıştır. 1970'lerde acil durum soğutma sisteminin güvenilirliği üzerine ciddi şüpheler baş göstermiş, bunun üzerine, AEC tarafından Idaho'da bulunan Reaktör Test Tesislerinde acil durum soğutma sisteminin küçük ölçekli modeli üzerinden bir dizi deneyler yaptırılmış, bu deneyler acil durum soğutma sisteminin sanıldığı kadar iyi çalışamayabileceğini ortaya koymuştur. Deney sonuçlarına ilişkin senatör John O. Pastore'un mektubu üzerine, AEC, o zamanlarda Reaktör Güvence Danışma Komitesinin (ACRS) bir üyesi ve Massachusetts Institute of Technology nükleer enerji mühendisliği bölümünün başı olan Profesör Mason Benedict ile birlikte ABD'de nükleer santrallerin güvenilirliğinin değerlendirilmesi üzerine bir çalışma başlatmıştır. Profesör Benedict daha sonra yoğun çalışma programı nedeniyle, olasılıksal ve istatistiksel teknikler konusunda çalışan Profesör Norman Rasmussen'i bu çalışmayı yürütmesi için önermiş, böylece Reaktör Güvenlik Çalışması 1972 senesinde AEC'nin öncülüğünde fiilen başlatılmıştır. Reaktör Güvenlik Çalışması'nda farklı alanlarda çalışan hemen hemen 40 bilim adamı ve mühendisin yanı sıra, 7 AEC çalışanı yer almıştır. O zamanlarda 4 milyon dolarlık (enflasyon düzeltmesi ile bugün 15 milyon dolar) bir bütçe ile bu çalışma tamamlanmıştır. Reaktör risk hesaplamalarında ilk olarak hata ağaçlarının kullanılması düşünülmüş, bu amaçla kaynar su reaktörleri ve basınçlı su reaktörleri için ilk model hata ağaçları üretilmiştir. Bununla birlikte, bütün bir reaktör için oluşturulan hata ağaçlarının birleştirilmesinin hem zaman hem de kaynaklar açısından sıkıntı yaratacağı farkedilmiş, bunun üzerine Profesör Rasmussen tarafından önerilen ve AEC elemanlarından Mat Taylor tarafından geliştirilen olay ağaçlarının kullanımı gündeme gelmiştir. Olay ağaçlarının kullanımı, OGD'yi pratik bir gerçeklik haline getiren en önemli kararlardan biridir (Keller ve Modarres, 2005).

NRC'nin 1975 senesinde kurulması ile, Ekim 1975'te WASH-1400 raporunun son hali NRC tarafından yayımlanmıştır. Ancak, WASH-1400 raporuna gelen eleştiriler sonucu NRC, Lewis Committee olarak da bilinen risk gözden geçirme ve değerlendirme grubunu kurmuş, bu grup Eylül 1978'de raporunu sunmuştur. Bu rapora göre WASH-1400'de kullanılan yöntemler doğru olsa da, belirsizlikler fazladır ve WASH-1400'e bir çok alanda eleştiri yapılmıştır. Bu rapor sonrası, NRC düzenleyici faaliyetlere ilişkin karar verme sürecinde OGD'nin kullanımına olan desteğini geri çekmiştir (Keller ve Modarres, 2005).

OGD'nin düzenleyici faaliyetlere ilişkin karar verme sürecinde kullanımı için 1979 senesinde gerçekleşen TMI kazası dönüm noktası olmuştur. O tarihlerde NRC tarafından, reaktörlerin lisanslanması sırasında tasarıma esas kaza olarak en kötü senaryo olan büyük LOCA ele alınmaktadır. Ancak, WASH-1400 çalışması ile basınçlı su reaktörlerinde riske en fazla katkısı olan kazaların küçük LOCA'lar olduğu gösterilmiş, insan hatalarının ve ortak nedenli arızaların da olası rolüne dikkat çekilmiştir. TMI-2 kazasında gerçekleşen küçük LOCA ve insan hatasının kazanın ilerlemesine katkısı neticesinde NRC, OGD'yi tekrar gündeme almış, dokümanlarında WASH-1400 çalışmasına atıfta bulunmaya başlamıştır. Sonuç olarak, NRC operatör eğitimine, insan faktörüne, küçük arızalar sonucu oluşabilecek ciddi kazalara ve acil durum planlamalarına daha çok önem vermeye başlamış, reaktör araştırma programlarında da riske önemli katkısı olan kaza senaryolarına öncelik vermeye karar vermiştir. Almanya ise 1979 senesinin Ağustos ayında, nükleer santrallerinde olası kazalara ilişkin risk çalışması olan 'Nükleer Güç Santralleri için Alman Risk Çalışması (*German Risk Study for Nuclear Power Plants*)'nı yayımlamıştır (Keller ve Modarres, 2005).

16 Ağustos 1995 tarihinde NRC'nin yayımladığı politik beyanname ile OGD'nin düzenleyici faaliyetlere ilişkin karar verme sürecinde kullanımı hız kazanmış, risk tanımlı düzenlemeler olarak adlandırılan yeni bir mevzuat oluşturma süreci başlamıştır. 1998 senesine gelindiğinde, NRC tarafından, risk tanımlı yaklaşıma ilişkin ilk düzenleyici kılavuzlar yayımlanmıştır (Keller ve Modarres, 2005).

OGD'yi, Apollo Uçuş Test programı kapsamında ilk olarak kullanan NASA'nın bu konuda öncü olması beklenebilir. Ancak, 1970'lerde ilk olarak uzay araştırmalarından nükleer sektöre aktarılan OGD, 1980'lere gelindiğinde daha kapsamlı ve sistematik bir biçimde nükleer sektörden uzay araştırmaları sahasına aktarılmıştır (Keller ve Modarres, 2005). 28

Ocak 1986 tarihinde besleme roketinde arıza sebebiyle gerçekleşen Challenger kazası sonrası OGD, NASA'nın tekrar gündemine gelmiştir. 1983 senesinde Amerika Birleşik Devletleri Hava Kuvvetleri, Challenger besleme roketindeki arızaları her 35 uçuşta 1 olasılık olarak tahmin etmiş, ancak o zamanın NASA yöneticileri bunu reddetmiş, kendi mühendislik muhakemesi yöntemleri ile tahmin ettikleri 100000 uçuşta 1 arıza olasılığını kabul etmişlerdir. Challenger kazasından sonra OGD, NASA tarafından da risk analizinde kullanılır hale gelmiştir (Bedford ve Cooke, 2001).

Bu tarihi gelişmeler ışığında, OGD'nin yakın zamanda düzenleyici kurumlar tarafında ele alınış biçimi ve gelişimine tezin ülke uygulamaları kısmında ayrıntıları ile yer verilmektedir.

3 OGD UYGULAMA ALANLARI

Düzenleyici kurumların karar alma mekanizmalarında risk ile alakalı iki farklı yaklaşım ön plana çıkmaktadır. Bunlar riske dayalı (**risk based**) yaklaşım ve risk tanımlı yaklaşımlardır. Düzenleyici kararlarda riske dayalı yaklaşımlar sadece risk üzerinden değerlendirmelere yer verirken, risk tanımlı yaklaşımlar geleneksel yaklaşımlarla birlikte risk bilgisinin kullanıldığı uygulamalardır. Günümüzde düzenleyici kurumlarca risk tanımlı yaklaşımlar kullanılmakta olup, riske dayalı yaklaşımlar şu ana kadar benimsenmemiştir. Risk tanımlı yaklaşımların kullanılır hale gelmesiyle birlikte OGD günden güne önem kazanmıştır.

OGD, nükleer endüstride reaktör tasarımcı ve işleticileri tarafından da artan bir hızla kullanılmaktadır. Ayrıntıları tezin ilerleyen kısımlarında görüleceği üzere, OGD tasarımcılar ve işleticiler tarafından NGS'lerin güvenli bir şekilde tasarlanması, mevcut santrallerde değişikliğe gidilmesi gereken tasarım ve işletme esaslarının belirlenmesi ve NGS'lerde öngörülen değişiklikler için fayda/maliyet analizlerinin yapılması amacıyla kullanılmaktadır.

3.1 OGD'nin Tasarım Aşamasında Kullanılması

OGD'nin ana uygulama alanlarından biri, santral tasarımıdır. Burada tasarımdan kasıt santralin ilk tasarımı olduğu aşama olduğu gibi, işletmede olan santrallerin ihtiyaç duyduğu tasarım değişiklikleridir. OGD tasarımı, deterministik yaklaşımlar ve mühendislik muhakemeleri ile birlikte kullanılmaktadır.

Tasarımda OGD (OECD/NEA, 2012);

- Tasarımın risk seviyesine anlamlı katkıda bulunan faktörlerin belirlenmesinde,
- Tasarımın dengeli bir tasarım olup olmadığının tespit edilmesinde,
- Tasarım ve santral işletmesindeki zayıflıkların ve ihtiyaç duyulan iyileştirmelerin belirlenmesinde,
- Tasarımda ihtiyaç duyulan iyileştirmeler için fayda/maliyet analizlerinde

kullanılmaktadır.

Bahse konu çalışmalar, tasarım aşaması ve işletme sırasında ihtiyaç duyulan haller dışında Periyodik Güvenlik Değerlendirmesi (PGD) sırasında da yapılmaktadır. Genellikle santralin ömrü boyunca gerçekleştirilen PGD ile OGD'nin kapsamı genişletilebilmekte, o günün gerektirdiği ek çalışmalar ışığında santralin daha sonra ortaya çıkabilecek zayıflıkları tespit edilebilmektedir (OECD/NEA, 2012).

3.1.1 Nükleer güç santrallerinde ilk tasarım aşamasında OGD kullanımı

OGD çalışmaları, niceliksel ve niteliksel olmak üzere iki farklı sonuç sunmaktadır. Bir reaktörde kor hasarına neden olacak minimum arıza kombinasyonu minimum hata serisi olarak bilinmekte ve bu kombinasyonlardan tek hata kriteri, ortak nedenli arızalar ve insan hataları üzerine birçok niteliksel sonuç çıkarılabilmektedir. Örneğin, bir Y valfine elektrik gücü sağlaması için X barası kullanılsın ve X barasına ilişkin kaza senaryosu için iki noktada arızanın oluşması gereksin. Diğer taraftan, Y valfine elektrik gücü sağlaması için Z barası kullanılsın ve Z barasına ilişkin kaza senaryosu için üç noktada arızanın oluşması gereksin. Bu durumda, Y valfi için Z barasının tercih edilmesi daha olası olmaktadır (UAEA, 1984). Bir NGS'de yedeklilik ve çeşitlilik seviyelerinin kontrol edilmesinde de OGD'nin niteliksel sonuçlarından faydalanılmaktadır. Yedeklilikte, sisteme eklenen yeni bir bileşen ile sistemin güvenilirliğinin artırılması sağlanırken, çeşitlilikte güvenilirliği daha iyi bir bileşenin eklenmesi ve ortak nedenli arızaların engellenmesi ile sistemin güvenilirliği artırılmaktadır.

Aynı zamanda, her bir başlatıcı olay ve kaza senaryosu için KHF'ye katkısı bilgisinden, reaktörün dengeli olup olmadığı sonucuna varılabilmektedir. NGS'de gerçekleşmesi beklenen bir kaza senaryosunun KHF'ye çok büyük bir katkısı olmayacak şekilde, NGS'nin dengeli tasarlanması beklenmektedir.

OGD, tasarımda yapılacak değişiklik seçeneklerinin riskteki nispi azalmaya katkılarının karşılaştırılmasında da kullanılmaktadır. Bu genellikle tasarım aşamasında santralde iyileştirmelerin ne olması gerektiğini belirlerken kullanılan fayda/maliyet yaklaşımının bir parçası olarak yapılmaktadır (OECD/NEA, 2012). OGD tekniklerinin kullanılması mühendislik kabullerine dayalı tasarım karşılaştırmalarından daha güvenilir bir yöntemdir. Örneğin, güvenlik sistemleri ve daha karmaşık olan güvenlik fonksiyonlarına ilişkin alternatif tasarım fikirleri yüksek bir güvenilirlik düzeyi ile OGD sayesinde

karşılaştırılabilmektedir. Bu durum, özellikle tasarım aşamasında, sistemlerin yardımcı sistemlere bağımlılıklarına ve yedeklilik ve çeşitlilik düzeylerine ilişkin karar verme konularında yarar sağlamaktadır (UAEA, 1984). Tasarıma ilişkin alternatiflerin karşılaştırılması için tasarımın ilk aşamasında sınırlı bir kapsamda dahi OGD çalışmasının yapılması, riski minimuma indirecek maliyet etkin tasarım seçeneğinin değerlendirilmesine yardımcı olmakta, tasarımın erken safhasında güvenlik iyileştirmelerine imkan tanımakta, böylece tasarımın sonraki aşamalarında değişikliği zor ve maliyetli olacak adımların atılmasına engel olmaktadır.

OGD tasarım aşamasında yukarıda bahsedilen tasarım seçeneklerini karşılaştırırken minimum hata serilerini kullanarak, yedeklilik ve çeşitlilik düzeylerini niteliksel ve niceliksel olarak ele almaktadır. Yapılan OGD çalışmaları, sınırlı sayıdaki hata serilerinin riske büyük katkı sağlayabileceğini göstermiştir. Daha yüksek olasılıkla meydana gelebilecek minimum hata serileri için tasarımda yedekliliğe veya çeşitliliğe gidilmesi gerekebilmektedir. Valflerin yedekli konulması veya test aralıklarının değiştirilmesi gibi tasarımda yapılacak basit ve ucuz değişiklikler, riske büyük katkısı olan hata serilerini ortadan kaldırmaktadır (UAEA, 1984).

OGD aynı zamanda başlatıcı olay sıklıklarının, ekipman arızalarının ve insan kaynaklı hataların göz önünde tutulmasında önemli bir araçtır. OGD modelinde ön güvenlik sistemleri (*front-line safety system*) ve yardımcı sistemler bir arada değerlendirilerek, sistemler arası önemli bağımlılıkların riske katkısı konusunda tasarımcıya fikir sağlamaktadır. OGD, tasarımcıya tek hataların ve çoklu hataların öneminin incelenmesinde ve ‘güvenlik’, ‘güvenlikle ilgili’ ve ‘güvenlikle ilgili olmayan’ sistemlerin riske katkısının tanımlanmasında yardımcı olmaktadır. Güvenlik fonksiyonlarına, sistemlerine ve bileşenlerine geleneksel deterministik yaklaşımların uygulanması ile sınırlı sayıda tasarıma esas kazanın incelenmesi mümkün olmakta, bu ise geleneksel yaklaşımlar ile OGD’nin birlikte kullanılmasından elde edilecek faydayı sağlamamaktadır (UAEA, 2001). NGS’lerin bir veya daha fazla ciddi kaza senaryolarına karşı daha zayıf olduğu da OGD ile gösterilmiştir. Bu tür sonuçlar, santral tasarımını veya işletimini değişime götürerek riskin azaltılmasını hedefleyen önlemlerin daha tasarım aşamasında alınmasını gerektirmekte, bu ise OGD’nin önemli çıktılarından biri sayılmaktadır (UAEA, 1984).

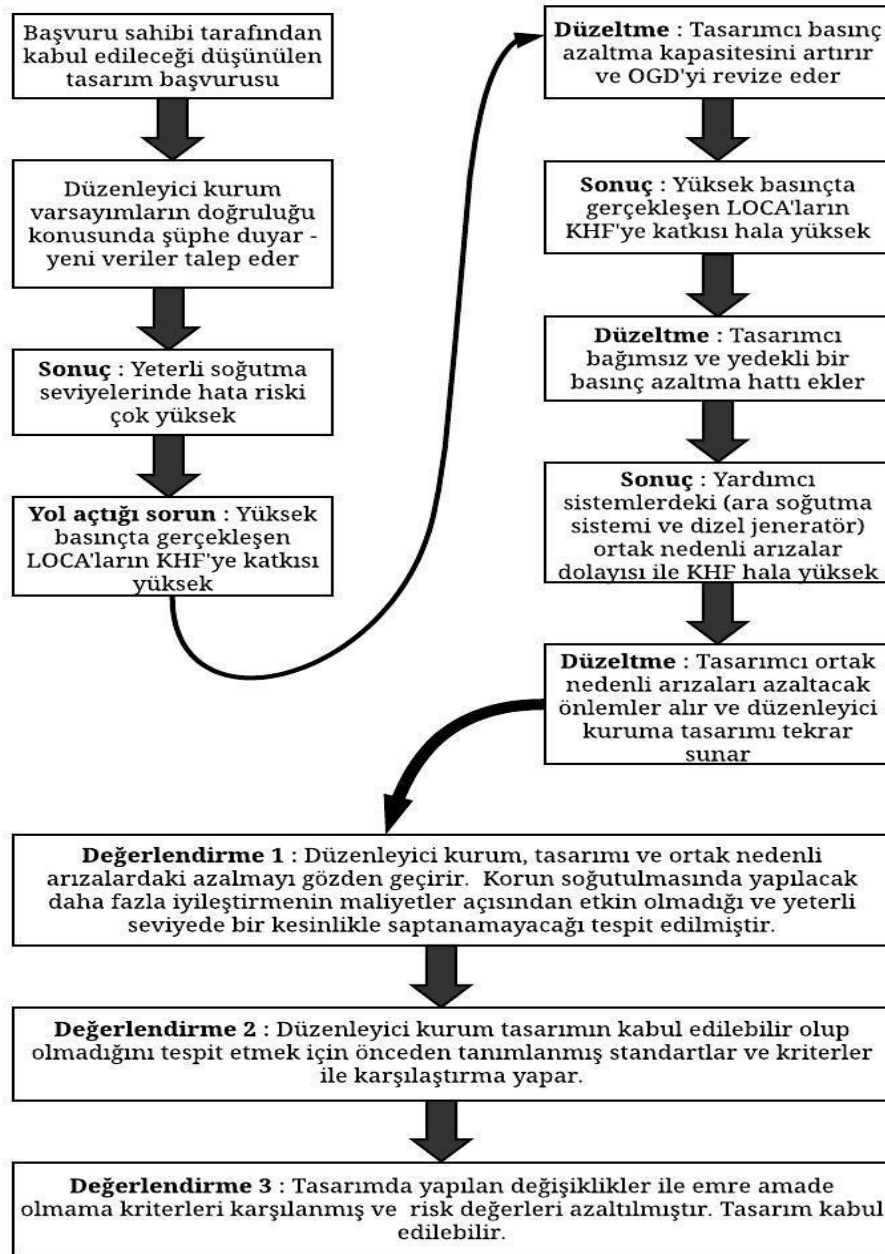
Özetle tasarımcı, tasarım aşamasında, OGD çalışmalarını;

- Santralin zayıflıklarının tanımlanması ve bunlara çözüm getirilmesinde,
- Farklı tasarım seçenekleri için riskteki değişimin incelenmesinde,
- Güvenilirlik ve emre amadelik açısından sistemlerin ve bileşenlerin optimizasyonunda,
- Sistemler arası bağımlılıkların ve olası ortak nedenli arızaların tanımlanmasında,
- Kaza senaryolarının ve insan hatasına yüksek hassasiyeti olan operatör eylemlerinin tanımlanmasında,
- Sistemlerin ve bileşenlerin kaza senaryolarına katkısının anlaşılmasında ve sayısal bilginin elde edilmesinde

kullanmaktadır (UAEA, 2001).

Tasarım aşamasında yapılan OGD çalışmaları lisans başvuru sahibi tarafından düzenleyici kurumlara düzenleyici faaliyetlerinde karar vermede destekleyici doküman olarak sunulmaktadır. Şekil 2’de, karar verme aşamasında düzenleyici kurum ile lisans başvuru sahibi arasında OGD sonuçlarından yola çıkılarak gerçekleştirilen müzakerelere örnek sunulmaktadır.

Şekil 2. Lisans başvuru sahibi ve düzenleyici kurum arasındaki risk tanımlı müzakere örneği



(Apostolakis ve diğerleri, 2001)

Tasarıma ilişkin karar verme aşamasında sunulan OGD dokümanlarının kapsamı düzenleyici kurumun kor hasar frekansını, büyük ve erken radyolojik salım frekansını (BESF) ve bireylere saha dışı etkin dozun değerlendirilmesini içeren gerekliliklerine göre belirlenmektedir. Tasarım konusunda fikir oluşturması açısından en azından tam kapsamlı seviye 1 OGD'nin ve sınırlı kapsamda seviye 2 OGD'nin yapılması, farklı santral hasar

durumlarının frekanslarının değerlendirilerek, korunak binası ve sınırlandırma sistemlerinin (*confinement systems*) etkinliğinin değerlendirilmesi gerekmektedir (UAEA, 2001).

3.1.2 Nükleer güç santral tasarımının işletme aşamasında geliştirilmesi, güçlendirilmesi ve modifikasyonu faaliyetlerinde OGD kullanımı

İşletme durumundaki NGS'ler için, güvenliğin olası iyileştirilmesi, santral tasarımı ve lisanslanma güncelleştirmelerinin (örneğin lisanslama kriterlerindeki değişime bağlı güncellemelerin yapılması sırasında) desteklenmesi çalışmalarında OGD önemli araçlardan biridir. Bu kapsamda önerilen değişiklikler iki şekilde kendini göstermektedir. Bunlardan ilki, işletmedeki zayıflıkların güçlendirilmesi amacı ile düzenleyici kurumlar tarafından önerilen iyileştirmelerdir. Bu tür öneriler, NGS'lerin işletilmesi sırasında ortaya çıkan ve yakın zamanda anlaşılan, bu nedenle daha etkin bir şekilde ele alınması gerektiğine inanılan güvenlik konularına ilişkin değişikliklerdir. Örneğin, dış olayların etkileri ve fiziksel ayırmanın önemi daha sonra anlaşılmış, bu konularda işletme sahipleri bazı değişikliklere gitmiştir. Önerilen değişikliğin ikinci türü ise işletme sahiplerinden gelmektedir. İşletme sahipleri, işletim sırasında ortaya çıkan bazı güvenlik sorunlarını ele almak, daha düşük maliyetlerde santralin etkin bir şekilde işletimini sağlamak veya bazı durumlarda düzenleyici kurumlar tarafından önerilen değişikliklere alternatif daha az maliyetli değişiklikler uygulamak amacı ile bu önerilerde bulunabilmektedir (UAEA, 2001; UAEA, 1994).

Hem düzenleyici kurum hem de işletme sahibi tarafından OGD, işletme durumundaki santrallerin güvenlik seviyesinin belirlenmesinde ve önerilen santral değişikliklerinden kaynaklanabilecek olası tasarım zayıflıklarının tanımlanmasında kullanılmaktadır. Bu analizlerde, KHF veya saha dışına ciddi radyoaktif salımlar sınırlı sayıdaki kaza senaryoları için baskın bir durumdaysa, bu kaza senaryolarını engelleyici ve etkin güçlendirmeler önerilmelidir. Eğer işletme durumundaki santral ulusal veya uluslararası olasılıksal güvenlik kriterlerini karşılamıyorsa, aynı şekilde santralin güçlendirme çalışmalarının yapılması gerekebilmektedir. Önerilen iyileştirmeler sistem tasarımına veya yeni donanım kurulumuna ilişkin olabileceği gibi, işletme prosedürlerinin değiştirilmesine, kaza yönetim prosedürlerinin değiştirilmesine veya operatör eğitiminde değişiklik

yapılmasına ilişkin de olabilmektedir (UAEA, 2001). OGD'den elde edilen bilgiler ışığında aşağıda sunulan değerlendirme sonuçlarına varılabilmektedir (UAEA, 1994);

- Önerilen değişikliğin santral tasarımının iyileştirilmesine fayda sağlamamasından dolayı bir eylemde bulunulmaması,
- Personelin eğitiminde veya organizasyonunda iyileştirmeye gidilmesi,
- İşletimsel veya bakım prosedürlerinin değiştirilmesi,
- Bazı sistemlerin veya tüm santralin işletiminde değişikliğe gidilmesi,
- Bileşenlerin değiştirilmesi,
- Bazı bileşenlerin uygulamalarında değişiklik yapılması,
- Sistem tasarımında değişikliğe gidilmesi (yedeklilik, yeni bileşen, fiziksel ayırma vb. eklenmesi, bileşenlerin aktivasyonunda değişiklik yapılması)
- Tamamen yeni bir sistemin eklenmesi (gerekirse eski sistemin sökülmesi)
- Sistem gruplarının sökülmesi, değiştirilmesi veya tekrar tasarlanması.

Karar verme sürecinde OGD tek araç olmamak ile birlikte, önerilen değişiklik düzenleyici kurumun uygun yedeklilik, çeşitlilik, yeterli bağımsızlık ve uygun güvenlik marjini gibi tasarım kriterlerini ve gereklerini de karşılamak zorundadır. Buna göre fonksiyonel ve işletimsel gerekliliklerin yerine getirilmesi ile birlikte önerilen değişiklik uygulamaya konulmak için aday olmakta, bu kapsamda fayda/maliyet analizi yapılmaktadır. Santrale özgü yapılan OGD, faydaları ve zayıflıkları değerlendirmede ve fayda/maliyet analizlerine girdi sağlamada en önemli araçlardan biridir. Birçok seçenekten güvenlik için net fayda sağlayanların değerlendirilmesinde ve akabinde en etkin çözümün tanımlanmasında OGD kullanılmaktadır (UAEA, 2001; UAFA, 1984).

Hangi modifikasyonların kabul edilebilir olduğunun gösterilmesi ve diğer alternatiflerle karşılaştırma yapılması açısından tam kapsamlı OGD analizlerinin gerçekleştirilmesi gerekebilmektedir. OGD, genellikle modifikasyon onay sürecinin bir parçası olarak santral işleticisi tarafından gerçekleştirilmekte, düzenleyici kurumlar tarafından ise gözden geçirilip değerlendirilmektedir. OGD, riske katkının anlaşılması ve niteliksel ve niceliksel veri sağlaması ile santral işleticisi ve düzenleyici kurumlar arasında müzakereleri desteklemektedir. Santral işleticisi ve düzenleyici kurum arasındaki müzakereler sırasında önerilen iyileştirme seçeneklerine öncelik sırası vermede de OGD çalışmalarından faydalanılmaktadır (UAEA, 2001).

Bu tür bir çalışmada minimum seviye 1 OGD yeterli olmakla birlikte, önerilen güçlendirmelerin öneminin etkin bir şekilde değerlendirilmesi açısından iç ve dış tehlikelerin de göz önüne alınması gerekmektedir. Aynı zamanda, önerilen modifikasyonlar diğer işletme durumlarındaki riski de etkileyebileceği için düşük güç ve reaktörün kapalı olduğu durumların ele alındığı bir değerlendirmenin yapılması faydalı olacaktır. Korunak binası ve sınırlandırma sistemlerine ilişkin yapılan modifikasyonlarda KHF’de önemli bir düşüş olmasa da, BESF’de düşüş meydana geleceği için bu tür modifikasyonlarda sınırlı kapsamda seviye 2 OGD analizinin yapılması önemlidir. Ayrıca, örneğin önerilen değişiklik bir sistemin emre amadeliğinin iyileştirilmesine yönelik ise, değerlendirme sırasında emre amadeliğe yönelik güvenlik ölçütleri de dikkate alınmalıdır (UAEA, 2001; UAEA, 1994).

3.2 Nükleer Güç Santralinin İşletilmesi Faaliyetlerinde OGD Kullanımı

OGD, birçok ülkede hem işletme sahiplerince hem de düzenleyici kurumlarca santralin işletilmesi faaliyetlerinde bir girdi olarak kullanılmaktadır. OECD/NEA tarafından paydaş ülkeler ile hazırlanan anketler ışığında OGD’nin;

- YSB’lerin sınıflandırılmasında,
- Yeniden yakıt yükleme periyotlarının uzatılması, kordaki güç seviyesinin artırılması ve yaşlanma yönetimi programlarının bir parçası olarak dikkat edilmesi gereken bileşenlerin tanımlanması gibi konularda karar vermede (önceki bölümlerde tanımlı verildiği üzere risk tanımlı yaklaşım ile),
- Bakım faaliyetlerinin optimizasyonu, risk tanımlı hizmet içi testlerin (HİT) ve risk tanımlı hizmet içi denetimlerin (HİD) oluşturulması, ve santrale özgü teknik spesifikasyonların geliştirilmesi veya gerekçelendirilmesinde,
- Riskin izlenmesi faaliyetinde,
- İşletme olaylarının analizinde ve bazı ülkelerde kor erimesi öncesi ve sonrası kaza yönetiminde kullanıldığı görülmektedir (OECD/NEA, 2012). Bu örnekler ayrıntılı olarak izleyen bölümlerde ele alınmaktadır.

3.2.1 Yapı sistem ve bileşenlerin sınıflandırılmasında OGD kullanımı

Deterministik düzenleyici gereklilikler, NGS'lerin belirlenen tasarıma esas kaza gruplarına dayanacak şekilde tasarlanmasını ve işletilmesini talep eden gereklilikler olarak tanımlanmaktadır. Bu deterministik gereklilikler, YSB'lerin güvenlik açısından önemine göre sınıflandırılmasını, üretim, imalat ve montajında da bu sınıfa uygun özel proseslerin uygulanmasını şart koşturmaktadır. Bu özel prosesler/gereklilikler, YSB'lerin tasarıma esas kaza durumunda güvenlik fonksiyonunu yerine getirmesini teminat altına alacak şekilde belirlenmektedir (US NRC, 2005).

Bahse konu sınıflandırmada nükleer endüstride güvenlik açısından önemli bulunan bileşenler için tasarım değerlendirmesi, nitelik, kontrol mekanizması, dokümantasyon, raporlama, bakım, test, gözetim ve kalite temini konularında diğer endüstriyel standartların ötesinde standartlar geliştirilmiştir. Bu gereklilikler, NGS'lerin fiili olarak işletilmesinden elde edilecek verilerin olmadığı ilk dönemlerde oluşturulmuştur. NGS'lerin fiili olarak işletilmesi ve normal işletmeden sapmalara, kazalara ve ekipman performansına ilişkin gerçek verilerin elde edilmesi ile birlikte kaza senaryolarının modellendiği ve riskin değerlendirildiği OGD çalışmaları başlamıştır. Bu olasılıksal çalışmalarda görülmüştür ki deterministik gereklilikler açısından önemli görülen bazı ekipmanlar aslında güvenlik açısından daha az öneme sahip olabilmekte, deterministik gerekliliklerde yer almayan bazı ekipmanlar ise güvenlik açısından önemli olabilmektedir. (US NRC, 2005). Bu durum, YSB'lerin risk tanımlı yaklaşımlar kullanılarak sınıflandırılmasını gündeme getirmiştir.

YSB'lerin sınıflandırılmasında risk tanımlı yaklaşımları ilk olarak kullanan düzenleyici kurum NRC'dir. Geleneksel deterministik yaklaşımlara göre, NRC, YSB'leri 'güvenlikle ilgili' veya 'güvenlikle ilgili olmayan' olmak üzere iki gruba ayırmaktadır. Deterministik sınıflandırmada, eğer bir sistem güvenlikle ilgili sınıfta değerlendiriliyor ise, söz konusu sisteme ait bütün bileşenler de 'güvenlikle ilgili' sınıfına dahil olmakta ve bu bileşenlerin tamamı özel gerekliliklere tabi olmaktadır. Eğer bir sistem 'güvenlikle ilgili olmayan' sınıfta değerlendiriliyor ise, sistem içerisinde bulunan bütün bileşenler güvenlikle ilgili olmayan sınıfta yer almakta ve özel gerekliliklere tabi olmamaktadır. Bu durum ise, güvenlik açısından etkin olmayan bir tutuculuğa yol açmaktadır (US NRC 2005; Zhao ve diğerleri 2005).

Risk tanımlı yaklaşımlar ile güvenlik açısından önemli bileşenlere odaklanması ve böylece hem lisans sahibi hem de NRC kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılması sağlanmıştır. Risk tanımlı yaklaşımlar, mevcut olan ‘güvenlikle ilgili’ ve ‘güvenlikle ilgili olmayan’ kategorilerinin yerini almamaktadır. Ancak, bu kategorilerin ‘güvenlik açısından yüksek öneme sahip’ ve ‘güvenlik açısından düşük öneme sahip’ olmak üzere iki alt kategoriye ayrılmasını ve bütün bileşenlerin bu kategorilerde ele alınmasını sağlamaktadır (US NRC 2005; Zhao ve diğerleri 2005).

Risk tanımlı güvenlik sınıfı (*risk informed safety class*) (RISC) olarak bilinen bu 4 sınıf aşağıdaki gibidir (Zhao ve diğerleri, 2005):

- RISC 1 - Güvenlik açısından yüksek öneme sahip fonksiyonları yerine getiren güvenlikle ilgili YSB’ler,
- RISC 2 - Güvenlik açısından yüksek öneme sahip fonksiyonları yerine getiren güvenlikle ilgili olmayan YSB’ler,
- RISC 3 - Güvenlik açısından düşük öneme sahip fonksiyonları yerine getiren güvenlikle ilgili YSB’ler,
- RISC 4 - Güvenlik açısından düşük öneme sahip fonksiyonları yerine getiren güvenlikle ilgili olmayan YSB’ler.

Güvenlik açısından önemli fonksiyonlar, degradasyonu veya kaybedilmesi durumunda derinlemesine savunma, güvenlik marjini ve risk seviyesi üzerinde olumsuz etki yaratabilecek fonksiyonlardır. NRC, YSB’lerin risk tanımlı yaklaşımlar ile sınıflandırılmasına ilişkin ilk pilot çalışmasını Güney Teksas (*South Texas*) Projesi kapsamında gerçekleştirmiştir (Zhao ve diğerleri, 2005). Güney Teksas Projesi kapsamında gerçekleştirilen risk tanımlı yaklaşım sınıflandırmasına ilişkin elde edilen sonuçlar Tablo 1’de sunulmaktadır.

Tablo 1. Güney Teksas Projesi risk tanımlı sınıflandırma sonuçları

Deterministik Sınıflandırma	Güvenlikle İlgili		Güvenlikle İlgili Olmayan	
Risk Tanımlı Sınıflandırma	RISC 1	RISC 3	RISC 2	RISC 4
Bileşen Sayısı	4197	13325	393	29906
Yüzde	%8,8	%27,9	%0,8	%62,5

(Zhao ve diğerleri, 2005)

Güney Teksas Projesi sonuçları, güvenlikle ilgili bir çok bileşenin RISC-3 sınıfında, güvenlikle ilgili olmayan bazı bileşenlerin ise RISC-2 sınıfında değerlendirildiğini göstermektedir. RISC-3 sınıfında yer alan bileşenler için, NGS'nin güvenliğinden ödün verilmeden, özel gerekliliklerde bazı esneklikler sağlanabilmektedir. Diğer taraftan, RISC-2 sınıfında yer alan bileşenlere ilişkin gerekliliklerin, NGS'nin güvenliğinin sağlanması için, iyileştirilmesi gerekmektedir. Böylece, risk tanımlı sınıflandırma gereksiz tutuculuğun azaltılması ve güvenlik açısından önemli bileşenlere odaklanması ile lisans sahibi ve düzenleyici kurum kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılmasını sağlarken, NGS'nin güvenliğinin iyileştirilmesine de katkıda bulunmaktadır (Zhao ve diğerleri, 2005).

3.2.2 Nükleer güç santrali bakım ve test faaliyetlerinde OGD kullanımı

NGS'lerde bakım faaliyetleri önleyici ve düzeltici bakım faaliyetleri olmak üzere iki şekilde yürütülmektedir. Önleyici bakım faaliyetleri, bir ekipmanın arızalanmasını engellemek amacıyla gerçekleştirilen yağ değiştirme vb. gibi faaliyetler iken, düzeltici bakım faaliyetleri bir ekipmanın arızalanması durumunda tamirine yönelik faaliyetlerdir. Önleyici bakım faaliyetleri, belli bir zaman dilimi içerisinde ekipmanın arızalanma sıklığını azaltması nedeniyle ekipmanın güvenilirliğine olumlu katkıda bulunmaktadır. Ancak, bu faaliyetlerin santralin tam güçte çalıştığı normal işletme sırasında yapılması halinde ilgili ekipmanın emre amade olmamasına sebep olunmakta ve santralde bir başlatıcı olay olması durumunda kor hasarına gidilmesi riski artırılmaktadır. Bu nedenle, ekipmanın emre amade olmama durumu, güvenilirliği ve fayda/maliyet analizleri gibi öğelerin göz önüne alınarak bakım faaliyetlerinin risk seviyesini önemli derecede artırmayacak şekilde planlanması gerekmektedir.

Aynı zamanda, test ve denetim faaliyetlerinin planlanması hususlarında da OGD kullanılmaktadır.

3.2.2.1 Önleyici bakım planlarının desteklenmesinde OGD kullanımı

Önleyici bakımın amacı, herhangi bir arızanın ve degradasyonun erken tespiti ve gerekli düzeltmelerin zamanında yapılmasıdır. Bakım faaliyetleri güvenilirliği iyi yönde artırsa da ekipmanın emre amadeliğini azaltmakta ve maliyetleri artırmaktadır. Bu nedenlerle bakım faaliyetlerinin optimize edilmesi gerekmektedir.

Bir santralde normal işletmede iken önleyici bakım faaliyetlerinin planlanması, mühendislerin ve bakım personelinin önemli görevlerinden biridir. Bazı ülkelerde önleyici bakıma normal işletmede izin verilirken, bazı ülkelerde bu konuda sınırlamalar getirilmiştir.

Santralin güvenliğinin ve risk seviyesinin incelendiği OGD çalışmaları ile, bahse konu bakım faaliyetleri sırasında risk seviyesinde artma ve bunun sonucunda santral güvenliğinde azalmaya neden olunmadığı kontrol edilmektedir. Bu kapsamda, bakım süresi boyunca ekipmanın emre amade olmamasından dolayı oluşacak olumsuz etkinin en aza indirilmesi için çalışılmaktadır (UAEA, 1994; UAEA, 2001).

OGD ile risk seviyesine ve santralin güvenliğine önemli katkısı olan ekipmanlar önceliklendirilmekte ve bunun neticesinde risk tanımlı bakım faaliyetleri planlanmaktadır. Böylece, sistemler için hangi bakım prosedürlerinin uygun olduğuna karar verilmekte, sistem ve bileşen güvenilirliğindeki değişime ilişkin yeterli verinin olduğu durumlarda, bakım ve test stratejilerindeki değişimin risk üzerindeki etkisi izlenebilmektedir (UAEA, 1994; UAEA, 2001).

Ancak, bu faaliyetlerin çok sayıda olması nedeniyle tesis güvenliğine ve kaynakların tahsisine verilen önem zorlaşmaktadır. OGD'nin kullanımı, yüksek seviyede önleyici bakım isteyen ekipmanların (güvenilirliğinde artışın güvenlikte büyük bir kazanç sağladığı), görece düşük seviyede önleyici bakım isteyen ekipmanların (güvenilirliğindeki düşüşün güvenlik seviyesini etkilemediği) veya sadece düzeltici bakım isteyen ekipmanların (emre amade olmama durumunun riskte artışa sebep olmadığı) tanımlanmasını sağlayarak, gerekli yerlere önem verilmesini ve bakım programının optimize edilmesini sağlamaktadır (UAEA, 1994; UAEA, 2001).

Sonuç olarak, mühendislik muhakemesi ile oluşturulan bakım programları ve stratejileri güvenlik seviyesi ile ilgili bir iyileştirme için yönlendirici olmayabilir. OGD temelli yaklaşımlar ise güvenlik, işletimsel/teknik ve ekonomik gereklilikler açısından denge sağlaması için önemli bir araçtır. Etkin bir bakım programının geliştirilmesi karmaşık ve çok yönlü fayda/maliyet analizi gerektirmektedir. OGD, bakım için hizmet dışı bırakılan ekipmanların riske katkılarının değerlendirilmesi ve ekipmanın güvenilirliğinin artırılmasının riskteki olası iyileştirmeleri ile ilgili niceliksel veriler sağlamaktadır. Bu

bilgi, diğer maliyet ve faydalarla karşılaştırmalar sonucu, yüksek seviyede bir santral güvenliği ve emre amadeliğin sağlanarak kaynakların verimli bir şekilde kullanıldığı bakım programlarının geliştirilmesine yardımcı olmaktadır (UAEA, 2001). Bakım planlama faaliyetlerinde OGD'nin kullanım amacı şu şekilde özetlenebilir (UAEA, 1994);

- Risk bilgisinin kullanılması ile bileşenlerin ana bakım programlarının geliştirilmesi,
- Önleyici bakım faaliyetleri nedeni ile risk seviyesinde oluşacak gereksiz bir artışın önüne geçilmesi,
- Önleyici bakım faaliyetlerinin gerçekleştirilmesinde, mümkün olduğu ölçüde, esneklik sağlanması.

Her bir bakım faaliyetinin öneminin en etkin şekilde değerlendirilmesi için en azından santrale özgü kapsamlı bir seviye 1 OGD'nin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Genelde, önerilen bakım planları korunak binası ve sınırlandırma sistemlerini ve onların yardımcı sistemlerini de içereceği için, sınırlı kapsamda seviye 2 OGD'nin yapılması da gerekebilmektedir (UAEA, 2001).

3.2.2.2 Güvenilirlik merkezli bakım programları için OGD kullanımı

Güvenilirlik merkezli bakım (GMB), önleyici bakım programının optimize edilmesi için kullanılan sistematik araçlardan birisidir. Daha önce de vurgulandığı üzere OGD, bileşenlerin ve bakım faaliyetlerinin güvenlik açısından önemini ortaya koyan bir çalışma olup, GMB sürecinde önemli alanların belirlenmesinde kullanılabilir.

GMB programlarının oluşturulması sırasında karar verme sürecinde önemli bir girdi, OGD için oluşturulan güvenilirlik veri tabanıdır. OGD sayesinde aynı zamanda, GMB ile belirlenen bakım stratejilerinin riske etkisi de uygun verilerin değiştirilmesi (örneğin; ekipman ve sistemlerin emre amade olmama verilerinin yeni stratejilere göre belirlenmesi) ile tekrar tekrar değerlendirilebilmektedir (UAEA, 2001).

GMB planları, sürecin en etkin şekilde desteklenmesi için en azından santrale özgü kapsamlı bir seviye 1 OGD'nin gerçekleştirilmesine ihtiyaç duyan faaliyetlerdir (UAEA, 2001).

3.2.2.3 Risk tanımlı hizmet içi testler için OGD kullanımı

Geleneksel olarak test stratejileri santral güvenliğinin mühendislik kabulü veya yarı niceliksel değerlendirmesiyle deterministik olarak belirlenmektedir. OGD, deterministik metotlar ve uzman görüşleri ile birlikte, bileşenlerin risk önemini değerlendirmek, onları kategorize etmek ve buna göre yeni test stratejileri oluşturmak için kullanılmaktadır. Bu doğrultuda, son dönemlerde HİT için bileşenlerin riske göreli katkılarının göz önüne alındığı OGD uygulamaları kullanılmaktadır. HİT programlarının optimizasyonunda risk bilgisinin (yani OGD çalışmalarının) kullanılması sınırlı kaynakların daha iyi dağıtılmasını sağlamaktadır. Böylece, santrale ilişkin yüksek güvenlik seviyeleri korunurken, genel işletme ve bakım maliyetlerinde de azalma olmaktadır. (UAEA, 2001).

Nükleer santrallerde bulunan aktif bileşenlerin hizmet içi testlerine yönelik risk tanımlı yöntemler üç temel alanda kullanılmaktadır. Bunlar; bileşenlerin önemine göre kategorize edilmesi, HİT programlarının geliştirilmesi ve test programının uygulanması alanlarıdır (UAEA, 2000a).

Bileşenlerin Önemine göre Kategorize Edilmesi: OGD tanımlı ölçütlerin kullanımı ile bileşenlerin güvenlik açısından önemlerinin tanımlanması önemlidir. Bileşenler, ‘güvenlik açısından yüksek önem’ derecesine sahip olanlar ve ‘güvenlik açısından daha az önemli’ olanlar olmak üzere iki grupta kategorize edilmektedir (UAEA, 2000a). Güvenlik açısından daha önemli olan bileşenler için düşük önem derecesine sahip bileşenlere göre daha titiz test programları uygulanmaktadır (UAEA, 2001).

OGD çalışmalarında yer verilen hassasiyet değerlendirmeleri ile çeşitli santral konfigürasyonu ve işletme durumu, OGD model varsayımları, veri ve model belirsizlikleri için riski domine edecek HİT bileşenlerinin tanımlanması mümkün olmaktadır. Yine OGD çalışmalarının bir parçası olan önem değeri hesaplamaları ise, risk tanımlı uygulama süreci boyunca, HİT faaliyetlerinde iyileştirmeleri tanımlamak için yararlı bir araçtır. Sistem veya fonksiyon seviyesinde elde edilen önem değeri sonuçları, bileşen seviyesindeki sonuçların doğrulanmasını mümkün kılmakta ve OGD’de modellenmeyen HİT bileşenleri için olası risk önemine ilişkin fikir sağlayabilmektedir (US NRC, 1998).

Bileşenlerin risk açısından önemlerinin belirlenmesi için yapılan analizlerde FV önem değeri kullanılabilir. Örneğin; UAEA'nın TECDOC-1138 kodlu ve 'Güvenlikle İlişkili Bakım Faaliyetlerindeki Gelişmeler' isimli dokümanına göre, risk derecelendirmesi sırasında kullanılan FV eşik değeri 0,001'dir. Bu değeri geçen bileşenler risk açısından önemli olarak değerlendirilirken, bu değerin altında kalan bileşenler daha az riskli olarak kabul edilmektedir. OGD'ye ilişkin sayısal analizler, santral uzman görüşleri ile şekillenen deterministik analizlerle harmanlanır (UAEA, 2000a).

Güvenlik Açısından Yüksek Önem Derecesi Verilen Bileşenler için HİT Programlarının Geliştirilmesi: Bileşenlerin HİT programlarının uzmanlar tarafından geliştirilmesi sırasında aşağıdaki adımlar göz önüne alınır (UAEA, 2000a):

- 1- Bileşenin hata türü ve etkileri analizi: Bu adımda bileşenlere ait önemli özellikler tanımlanır. Bunlar bileşen tipi, tasarım özellikleri, konfigürasyon, bileşenin fonksiyonu, bileşenin eskimesi (**component age**), bileşene ait endüstriden gelen veriler ve santralden toplanan verilerdir. Bileşenlerin önem derecelendirmesi sırasında kritik olduğu belirlenen hata türleri için kök neden arıza analizleri yapılır. Bileşen arızalarına ilişkin kök neden analizlerinin sonuçları, bileşenlerin gerçekten çalışma durumunda arıza verme yollarının tanımlanması açısından oldukça faydalıdır.
- 2- Test etkinliğinin değerlendirilmesi: Her tür arıza için etkin test yöntemleri belirlenmelidir. Bunun için, her testin etkinliğinin niteliksel ve niceliksel olarak değerlendirilmesi ile bir arızanın ve bir arızaya öncü olan durumların tespit edilmesi gerekmektedir.
- 3- Test stratejisinin şekillendirilmesi ve değerlendirilmesi: Bu adımda, her bir bileşen için, test zamanlama planlarının bir tanımı yapılmaktadır. Çeşitli test stratejileri için güvenilirlik düzeyinin ve KHF ve maliyet açısından etkisinin değerlendirilmesi gerçekleştirilir. Güvenlik ve maliyetler açısından en uygun test stratejisi seçilmektedir.

Test Programının Uygulanması: Bu adımda ilk iki adımdaki faaliyetler sonucu belirlenen HİT programının uygulanması ve uygulanan HİT programının geri beslemelere göre revize edilmesi gerçekleştirilmektedir. Revize edilen test programlarının güvenliğe olumsuz yönde etkisi olmadığından emin olunmakta, risk derecelendirmesi sırasında kullanılan

temel OGD’de tekrar hesaplamalar yapılarak bu değışikliklerin sayısal etkileri tayin edilmektedir. Santralde yapılan testle ilişkili olası normal işletmeden sapmalar ve ekipmanın servis dışı olmasından dolayı sistem güvenlik fonksiyonlarına etkisi göz önüne alınmaktadır. HİT programlarının ve geri beslemelere göre yapılan revizyon işlemlerinin etkinliğinin saptanması için periyodik değerlendirmelerin yapılması gerekmektedir (UAEA, 2000a).

Yukarıdaki adımlarda yürütölen risk tanımlı HİT programı belirlenmesi faaliyetinde kapsamı tam (bütün başlatıcı olayları ve işletme durumlarını içeren) bir OGD’nin kullanılması önceliklidir. Bununla beraber, zaruri hallerde daha dar kapsamlı bir OGD ile bu faaliyetler yürütölebilmektedir. Dar kapsamlı bir OGD ile bu faaliyetlerin yürütölmesi durumunda, önerilen risk tanımlı HİT için, ek bilgilerin de (deterministik ve nicel) karar verme sürecine dahil edilmesi gerekmektedir (US NRC, 1998).

3.2.2.4 Risk tanımlı hizmet içi denetimler için OGD kullanımı

Bir NGS’de işleticinin boru parçaları üzerinden gerçekleştirdiğı ve borularda degradasyon olup olmadığına ilişkin denetimler, HİD olarak tanımlanmaktadır. Normalde ASME Bölüm 11’de tanımlanan yöntemlere ve talimatlara göre gerçekleştirilen HİD programlarının kapsamı, genel olarak tasarım stres raporlarında yer alan deterministik sonuçlara dayanmaktadır. Bu raporlar çok tutucu olmakla birlikte olası hataların doğru bir sunumunu sağlamamaktadır. İşletme deneyimleri hataların genelde korozyonun ve yorgunluğun olduğı yerlerde ve santralin HİD programında yer almayan alanlarında meydana geldiğini göstermiştir. Sonuç olarak, nükleer santraller minimum yarar sağladıkları denetim programlarına önemli derecede kaynaklarını aktarmaktadır (EPRI, 2000).

NGS’lerde HİD programlarının oluşturulmasında risk tanımlı yöntemler alternatif bir yöntem olarak uygulanmaktadır. Amerikan Elektrik Güç Araştırma Enstitüsü (EPRI) çalışmaları, bu tekniklerin uygulanması ile mevcut HİD programlarının kapsamının %60 ila %80 civarında azaltıldığını, maliyetleri ise önemli derecede düşürürken NGS güvenlik standartlarının sağlanmaya devam ettiğini göstermektedir (EPRI, 2000).

Degradasyona tabi bütün boru lokasyonlarını içerecek şekilde oluşturulan HİD programlarına risk analizlerinin dahil edilmesi ile denetimlerin daha önemli lokasyonlara yoğunlaştırılması sağlanmaktadır. Bu kapsamdaki faaliyetler, risk tanımlı denetim yöntemlerinin belirlenmesini, denetime konu elemanları risk önemine göre derecelendirmeyi ve risk önemleriyle uyumlu denetim stratejilerinin (sıklık, yöntem, örnek boyutu vs.) tanımlanmasını kapsamaktadır. Böylece, kaynakların maliyet etkin bir şekilde tahsisi gerçekleştirilirken, aynı zamanda denetim faaliyetlerinin en çok ihtiyaç duyulan noktalara yoğunlaştırılması sağlanır. OGD bulguları ve riske ilişkin verdiği bilgiler santral denetim programında yapılması önerilen değişikliklerin desteklenmesinde de kullanılabilmektedir (UAEA, 2001).

Risk tanımlı HİD programlarının oluşturulmasında genelde EPRI ve Westinghouse Owners Group (WOG) tarafından NRC için hazırlanmış olan iki farklı yaklaşım kullanılmaktadır. Her iki yaklaşımda da boru parçaları (**pipe segments**) tanımlanır, bu parçalarda denetim yapılacak boru lokasyonları belirlenir, uygun denetim yöntemleri seçilir ve güvenlik açısından yüksek önem derecesine sahip veya düşük önem derecesine sahip boru bileşenleri tanımlanır. Bununla birlikte WOG yaklaşımında boru parçalarına ilişkin hata olasılıkları Yapısal Güvenilirlik ve Risk Değerlendirmesi (SRRA) isimli olasılıksal kırılma mekaniği kodu kullanılarak niceliksel olarak belirlenirken, EPRI yaklaşımında hata türü ve etkileri analizinin kullanıldığı boru parçalarının hata mekanizmalarına ve sebep olduğu etkilere göre sınıflandırıldığı niteliksel yaklaşımlar kullanılmaktadır. Daha sonra boru bileşeninin hata sonuçlarının ve hata olasılıklarının değerlendirildiği matrisler kullanılarak denetim programları oluşturulmaktadır. EPRI ve WOG yaklaşımlarında bu matrisler de farklı şekillerde sunulmaktadır (EPRI, 2000; Westinghouse Electric Company, 1999).

WOG yaklaşımında, hata önemine karşı boru parçalarının güvenlik açısından öneminin değerlendirildiği 2x2 matrisler oluşturulmaktadır. Her bir boru parçasının hata önemi belirlenirken SRRA kodu ile elde edilen hata olasılıkları kullanılmaktadır. Örneğin; her 40 reaktör yılında 10^{-4} olasılıkla hata veren bir boru parçası yüksek hata önemine sahip olarak değerlendirilir (Corak, 2003). Güvenlik açısından önem değerleri ise OGD çıktıları ve uzman grupları görüşleri ile belirlenmektedir. Boru parçalarının güvenlik önemine göre derecelendirilmesi sırasında temel önem değerlerinden olan risk azalma değeri kullanılmaktadır. Risk azalma değeri 1,005'den yüksek boru parçaları güvenlik açısından

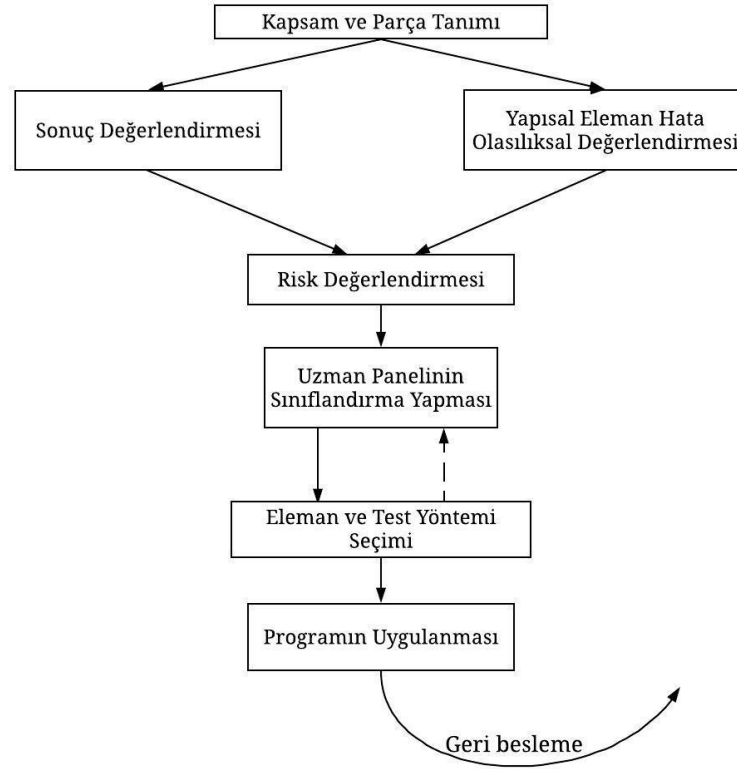
yüksek önem derecesine sahip borular olarak kategorize edilirken, risk azalma değeri 1,001 ve 1,004 arasındaki boru parçaları bir uzman grubu tarafından değerlendirilerek derecelendirilmesi yapılır (Westinghouse Electric Company, 1999). Hata öneminin ve güvenlik açısından öneminin belirlendiği boru parçaları 2x2'lik matrise göre sınıflandırılarak, risk tanımlı HİD programları oluşturulur. WOG yaklaşımına göre 2x2'lik risk matrisi Tablo 2'de sunulmaktadır. WOG yaklaşımına ilişkin adımlar ise Şekil 3'de sunulmaktadır.

Tablo 2. WOG yaklaşımına göre 2x2 risk matrisi

Hata Önemi Yüksek $P_{\text{büyük sızıntı}} > 10^{-4}$	3 İşletici Tanımlı Program	1(A) Şüpheli Lokasyonlar(%100)
		1(B) İstatistiksel Denetim Seçme İşlemi Olarak Denetim Lokasyonu
Hata Önemi Düşük	4 Sadece Sistem Basınç Testi ve Görsel İnceleme	2 İstatistiksel Olarak Denetim Lokasyonu Seçme İşlemi
	Güvenlik Açısından Düşük Önem Sahip	Güvenlik Açısından Yüksek Önem Sahip (Risk Azalma Değeri > 1,005)

(Westinghouse Electric Company, 1999)

Şekil 3. WOG risk tanımlı HİD yöntemi



(Corak, 2003)

EPRI yaklaşımında ise boru parçalarının hata potansiyellerinin, boru kırığı sonuç kategorilerine göre sınıflandırıldığı 3x4'lük risk matrisi oluşturulmaktadır. Her bir boru parçası, EPRI risk matrisinde uygun yere konumlandırılır. Hata potansiyelleri, degradasyon tipine göre yüksek, orta ve düşük olarak tanımlanırken, boru kırığı sonuçları koşullu kor hasar olasılığı ve koşullu büyük ve erken radyolojik salım kriterlerine göre yüksek, orta, düşük ve hiç olarak tanımlanmaktadır. Boru kırığı sonuçları açısından kategorize edilirken koşullu kor hasar olasılığı 10^{-4} 'den büyük olanlar yüksek, koşullu kor hasar olasılığı 10^{-4} ile 10^{-6} arasındakiler orta, 10^{-6} 'dan küçük olanlar ise düşük olarak sınıflandırılmaktadır. Koşullu büyük ve erken radyolojik salım kriterleri ise koşullu kor hasar olasılığı için sunulan kriterlerin bir merteye altındadır. Oluşturulan risk matrisinde boru parçaları 7 kategoriye ayrılmaktadır. Kategori 1, 2, 3 risk açısından yüksek, kategori 3 ve 4 risk açısından orta, kategori 5, 6, 7 ise risk açısından düşük boru parçalarını içermektedir (EPRI, 2000). İlk 3 kategoride bulunan boru parçaları için her kategoriye ait elemanlardan en az %25'inin denetim programı kapsamında olması gerekirken, kategori 4 ve 5'te bulunan boru parçaları için her kategoriye ait elemanlardan en az %10'unun denetim

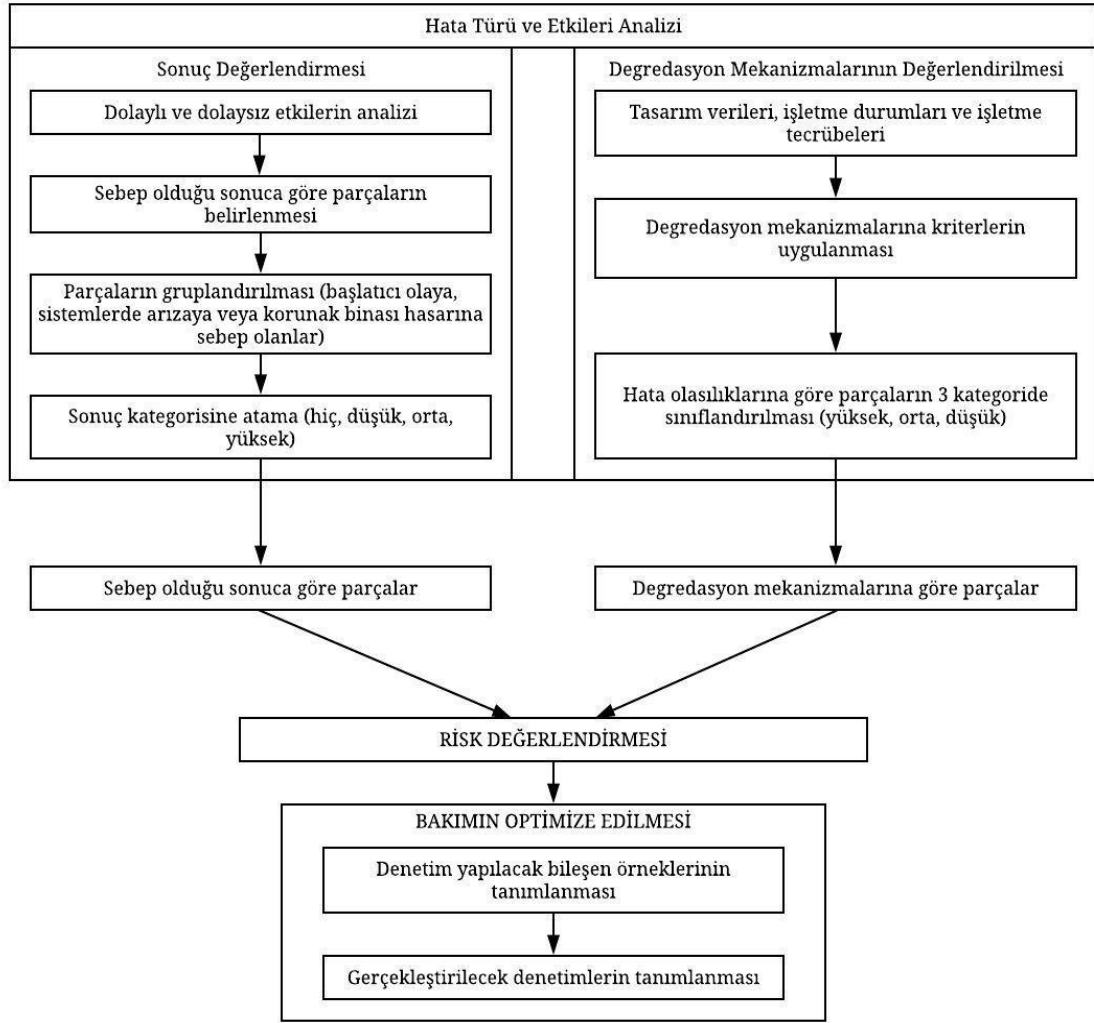
programı kapsamında olması gerekmektedir (Simola ve diğerleri, 2009), EPRI yaklaşımına ilişkin risk matrisi Tablo 3’de sunulmaktadır. EPRI risk tanımlı HİD yöntemine ilişkin adımlar ise Şekil 4’de sunulmaktadır.

Tablo 3. EPRI yaklaşımı risk matrisi

Boru Kırığı Hata Potansiyeli (Degradasyon Tipine Göre)	Boru Kırığı Sonuçları (Koşullu Kor Hasar Olasılığı ve Koşullu Büyük ve Erken Radyolojik Salım Kriterlerine Göre)			
	HİÇ	DÜŞÜK	ORTA	YÜKSEK
YÜKSEK	Düşük (Kategori 7)	Orta (Kategori 5)	Yüksek (Kategori 3)	Yüksek (Kategori 1)
ORTA	Düşük (Kategori 7)	Düşük (Kategori 6)	Orta (Kategori 5)	Yüksek (Kategori 2)
DÜŞÜK	Düşük (Kategori 7)	Düşük (Kategori 7)	Düşük (Kategori 6)	Orta (Kategori 4)

(Simola ve diğerleri, 2009)

Şekil 4. EPRI risk tanımlı HİD yöntemi



(Corak, 2003)

Risk tanımlı HİD programlarının kapsamı, mevcut ASME 11 boru gerekliliklerinde tanımlanan denetimlerin sayısı, tahribatsız muayene yapılacak denetim yerleri ve denetim metotlarındaki değişiklikleri kapsarken, denetim aralıkları ve periyodu, kusurların değerlendirilmesinde kullanılan kabul kriterleri ve denetim yapacak personel nitelikleri konusundaki değişiklikleri içermez (Westinghouse Electric Company, 1999).

HİD programının uygulanması ile birlikte geri beslemelere göre revize edilmesi gerekmektedir. HİD programlarının ve geri beslemelere göre yapılan değişikliklerin etkinliğinin saptanması için periyodik değerlendirmeler yapılır.

3.2.3 NGS teknik spesifikasyonları ile ilişkili OGD kullanımı

Teknik spesifikasyonlar, bir NGS’de işletme koşullarını ve güvenlik sistemlerine ilişkin tamir, bakım ve test gibi süreçleri tanımlayan, sınırlayıcı işletme koşullarını (**limiting operating conditions**) ve gözetim gerekliliklerini (**surveillance requirements**) içeren, düzenleyici kurumların gözden geçirme ve değerlendirme programı kapsamında yer alan dokümanlardır.

Teknik spesifikasyonlar genelde beş alanı kapsamaktadır;

- Güvenlik sınırları ve güvenlik sistemlerinin ayar noktaları
- Sınırlayıcı işletme koşulları
- Gözetim gereklilikleri
- Tasarım özellikleri
- Yönetici kontrolleri

OGD uygulamaları bu beş alandan ikisine yönelik olarak kullanılmaktadır. Bunlar sınırlayıcı işletme koşulları ve gözetim gerekliliklerinde yapılacak değişikliklerdir. Teknik spesifikasyonlarda yapılacak her bir değişiklik düzenleyici kurumların gözden geçirme ve değerlendirme sürecine dahil edilmektedir (US NRC, 1996).

İİDKS sınırlayıcı işletme koşulları kapsamında yer alırken, gözetim test aralıkları gözetim gereklilikleri kapsamında yer almaktadır. İİDKS, bir bileşenin reaktör işletme halinde iken tamir, bakım, test vb. nedeniyle izin verilebilecek maksimum emre amade olmadığı süreyi tanımlamaktadır. Tamir, bakım veya test süresi İİDKS’yi aşmışsa reaktör hızlı bir şekilde kapatılmaktadır. Gözetim test aralığı ise iki test arasında geçen süreyi tanımlamaktadır. Gözetim test aralığı teknik spesifikasyonlarda belirtilen süreyi geçmiş ise bileşenin emre amade olmadığı kabul edilir ve İİDKS kadar zaman geçtikten sonra reaktör kapatılır. OGD, teknik spesifikasyonlarda yer alan İİDKS’yi ve gözetim test aralıklarını optimize etmek ve yapılan değişiklikleri gerekçelendirmek amacıyla kullanılmaktadır (UAEA, 2001).

Gözetim testleri, bekleme durumundaki (**stand by**) bileşenlerde var olabilecek arızaları tespit etmek amacıyla uygulanmaktadır. Gözetim test aralıklarının kısalması ile birlikte gözetim test frekansları artmaktadır. Gözetim test frekanslarının artması, bir yandan bekleme durumundaki bileşene dair güvenilirliği artırırken (bileşenden emin olunmasını

sağlarken), diğer taraftan test sırasında hizmet dışı olmasından dolayı karşıt bir şekilde emre amade olmama (işletme dışı olma) sürelerini artırır. Buna ek olarak, test frekanslarının artması, teste bağlı yıpranmaları, test sırasında olası insan hatalarını ve maliyetleri arttırdığı gibi, santral personelinin test sırasında fazla radyasyona maruz kalmasına da sebep olabilmektedir. Yapılan testler sırasında, santral koşullarında teste bağlı normal işletmeden sapmalara ve başlatıcı olaylara da sebep olunabilmektedir (UAEA, 1992). Örneğin; bir basınçlandırıcı (**pressurizer**) basınç emniyet valfinin testi sırasında, valf açıldıktan sonra kapanma sırasında hata verebilmekte, bu ise küçük LOCA'ya yol açabilmektedir. Bu nedenle, gözetim test aralıklarının uzatılmasının avantajları ve dezavantajları birlikte göz önüne alınarak, en uygun test aralığı seçimi yoluna gidilmekte, bunun için ise OGD'den faydalanılmaktadır.

İİDKS'nin kısa olması, santral riskinin daha yüksek olduğu seviyelerde santralin daha kısa süreli işletilmesini sağlamaktadır. Ancak, bu durum santralin daha sıklıkla kapatılmasına sebep olmakta ve santralin emre amadelik kapasitesini azaltmaktadır. İİDKS'nin uzatılması, santralin işletiminde esneklik sağlayarak gereksiz yere kapatılmasının önüne geçmekte, ancak bu durum risk seviyesini artırabilmektedir. Önemli olan bu artışın tolere edilebilir seviyelerde olup olmadığının belirlenmesidir. Bu nedenle, İİDKS optimize edilmelidir. Bu amaçla, risk değişimine ilişkin analizler yapılmalı ve teknik spesifikasyondaki değişimlerin geçerliliği OGD uygulamaları ile kanıtlanmalıdır (Hyuk-Soon ve Doo-Hyun, 2009). Bununla beraber, daha önce yedekli hatlarda meydana gelen çoklu arızaların santralin tam güçte çalıştığı işletme koşullarında riske katkısının, reaktörün kapalı olduğu duruma göre daha fazla olduğu düşünülmekteydi. Ancak, son çalışmalar bir gün veya daha kısa süreli tamir zamanı olan bileşenler için, reaktörün kapalı olduğu durumun, santralin tam güçte çalıştığı işletme koşullarına göre daha fazla risk içerdiğini göstermiştir. Böyle durumlarda, reaktörün kapalı duruma geçirilmesi sakıncalı olabilmektedir. Santralin tam güçte çalıştığı işletme koşulları ve reaktörün kapalı olduğu işletme koşulları arasındaki risk OGD uygulamaları ile karşılaştırılarak risk etkin eylemlerin tanımlanması gerçekleştirilmektedir (UAEA, 1993).

Gözetim test aralıklarındaki değişiklikler

Gözetim test aralıklarındaki değişikliklerin sebebi şu şekilde sıralanabilir (UAEA, 1993):

- Gözetim test sıklığındaki gereksiz fazlalığı hem güvenlik hem de işletimsel açıdan azaltmak,
- Test sonucu bileşenlerin yıpranmasını engellemek ve test sırasında arızaların tespitine yönelik avantaj ile test sırasında meydana gelebilecek dezavantaj durumlarını dengelemek,
- Testle ilişkili santralde meydana gelen normal işletmeden sapmaların önüne geçmek, teste bağlı başlatıcı olayları azaltmak.

İİDKS'deki değişiklikler

Tecrübeler göstermiştir ki, bir çok durumda İİDKS gereksiz bir şekilde kısıtlayıcı ve bazı durumlarda, riske ilişkin değerlendirmelerle uyum içinde olmamaktadır. İİDKS'de, işletme koşullarının daha esnek hale getirilmesi ve aşırı riske girmeden gereksiz santral kapatılmalarının önüne geçilmesi için değişikliğe gidilmektedir. OGD:

- İİDKS'nin artması ile artan riskin etkisinin minimum olduğunu göstermek,
- Özellikle çoklu hata durumunda santralin tam güçte çalıştığı ve kapalı olduğu durumlar arasındaki riski karşılaştırmak, böylece bu arıza durumlarında santralin tam güçte ve kapalı olduğu işletme koşullarının genel riske katkısını minimum seviyeye getirecek İİDKS'yi tanımlamak

amacıyla kullanılmaktadır (UAEA, 1993).

Teknik spesifikasyon şartlarının değiştirilmesi sırasında OGD'nin kullanım amaçları şu şekilde özetlenebilir (UAEA, 1993):

- Teknik spesifikasyondaki herhangi bir değişikliğin normal ve kaza koşullarında güvenlikten ödün verilmeyecek şekilde yapıldığını garanti altına almak,
- Teknik spesifikasyonda yapılan değişikliklerin riske katkısına ilişkin sayısal bir değerlendirme elde etmek ve gerekçelendirmelere ilişkin sayısal bir temel sağlamak,
- Onayı istenen değişiklikler için düzenleyici kurumlara kabul edilebilir bir değerlendirme sağlamak.

En son adımda gözetim gerekliliklerindeki ve İİDKS'deki değişiklikler yakından izlenir. İzleme programı ile birlikte, değişikliklerin bileşen performansına etkisi olabildiğince hızlı bir şekilde tespit edilmektedir.

Teknik spesifikasyondaki değişikliklerin en azından KHF'de yol açtığı etkinin değerlendirilmesi açısından seviye 1 OGD'nin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Aynı zamanda, KHF'ye anlamlı katkısı olan kaza senaryolarının da değerlendirilmesi gerekebilir, çünkü KHF'de ihmal edilebilir bir değişiklik olsa da, teknik spesifikasyondaki değişiklik, KHF'ye anlamlı katkısı olan kaza senaryosunda önemli bir değişiklik yaratabilir. Korunak binası sistemlerine ilişkin teknik spesifikasyondaki değişiklikler için ise seviye 2 OGD'nin gerçekleştirilmesi gerekmektedir (US NRC, 1996). Ayrıca, buhar üretici tüp kırığı gibi kazaların, KHF'ye katkısı önemsiz olsa da, BESF'ye katkısı fazla olabilmekte, bu nedenle bu tür olaylara ilişkin sistemlerdeki değişiklikler için seviye 2 OGD'nin gerçekleştirilmesi gerekmektedir (UAEA, 2001).

3.2.4 Operatör eğitimi programlarının geliştirilmesinde OGD kullanımı

OGD, reaktörde meydana gelebilecek kaza senaryolarının sınıflandırılmasında ve olasılığının tahmininde kullanılırken, en olası kaza senaryoları ve kor hasarını önlemek için operatörler tarafından gerçekleştirilmesi gereken eylemleri de ortaya koymaktadır. Bu nedenle, operatör eğitimlerinde kullanılacak simülatörlerde hangi kaza senaryolarına ağırlık verileceği santrale özgü OGD modelleri ile belirlenmektedir (UAEA, 1984). OGD çalışmaları, eksik bir operatör eğitiminin KHF'ye en önemli katkılardan birini oluşturduğunu ortaya koymuştur. Operatör eğitiminin, insan hata olasılıklarına etkisi performans şekil faktörü ile incelenmektedir. Performans şekil faktörüne yönelik hassasiyet çalışmaları, iyi bir eğitimin, riski önemli ölçüde düşürdüğünü göstermektedir. Kaza senaryolarının KHF'ye katkısının ve bir kaza senaryosundaki insan hatasının kaza senaryosuna nispi katkısının belirlenmesinde OGD kullanılmaktadır. Sıklığı yüksek-olası sonucu hafif olan ve sıklığı düşük-olası sonucu ağır olan kaza senaryoları, operatör eğitiminde göz önüne alınması gereken hususlardandır. Bu nedenle kaza senaryolarına ilişkin frekanslar konusunda bilgi sağlayan seviye 1 OGD ile birlikte, sonuçlara ilişkin bilgi sağlayan seviye 2 OGD'nin gerçekleştirilmesi operatör eğitiminde oluşturulan programlar için önem arz etmektedir (UAEA, 2001).

3.2.5 Nükleer güç santrallerinde işletme olaylarının incelenmesinde OGD kullanımı

NGS'lerin işletilmesi sırasında güvenlik açısından farklı önem seviyelerine haiz işletme olayları (ekipman seviyesindeki arızalar, normal işletmeden sapmalar, kazalar vb.) meydana gelebilmektedir. Geleneksel olarak bu olaylar santral tasarımının güçlendirilmesine ihtiyaç duyulan alanların saptanması ve güvenliğinin artırılması amacıyla kök neden analizi ile niteliksel olarak incelenmektedir. Bu geleneksel yaklaşıma ek olarak OGD'nin, gerçekleşen işletme olaylarının incelenmesinde kullanılması ile daha sistematik ve riske dayalı niceliksel analizlerin yapılabilmesi de mümkün hale gelmiştir (UAEA, 2004).

Olasılıksal ve geleneksel yaklaşımlar açısından işletme olaylarının analizi bahse konu olayın öncüllerinin incelenmesi ile başlamaktadır. Kazadan önce gelen ve kazaya yol açabilecek koşullar, olaylar ve senaryolar öncüller (**precursor**) olarak tanımlanmaktadır. Temelde, iki tür öncül olaydan bahsetmek mümkündür. Bunlardan ilki, normal işletmeden sapmalardır. Bu durumda, öncül olay, başlatıcı olay ile doğrudan ilişkilidir ve kaza senaryoları bu başlatıcı olaydan geliştirilmektedir. İkinci tür öncül olay ise, tesis işletimi üzerinde doğrudan etki yapmadan, ekipman veya sistemlerin degradasyonları veya emre amadeliikten çıktığı durumlardır (UAEA, 2001; UAEA, 2004). Öncüllerin incelenmesinde kullanılan geleneksel yaklaşımlar, olayların analizinde kaza raporlama sistemini kullanmaktadır. Bu yaklaşıma göre, santralde gerçekleşen bütün olaylar kayıt altına alınmakta, ciddiyetlerine göre sınıflandırılmaktadır. UAEA tarafından geliştirilen Uluslararası Nükleer Olay Ölçeği (**International Nuclear Event Scale**) dünya çapında takip edilen geleneksel yaklaşımlı bir sistemdir (Verma ve diğerleri, 2015).

OGD çalışmaları yukarıdaki tanımlar ile doğru orantılı olarak, santralde ani durmaya yol açan olayları, güvenlik sistemlerinin degradasyonu veya fonsiyonunun kaybedilmesi veya her ikisinin de aynı anda gerçekleştiği durumları analiz etmek için kullanılmaktadır (UAEA, 2001; UAEA, 2004). Bu kapsamda, OGD çalışmalarından elde edilen minimum hata serilerinin önem değerleri ve kor hasar frekansına katkıları bilgisinden yola çıkılarak işletme olayının önemi irdelenmektedir. Minimum hata serileri bir santraldeki başlatıcı

olayları ve bileşen hata olasılıklarını içerebilmektedir. Böylece, olay, başlatıcı olay veya bileşen arızası olsa da, OGD ile incelenebilmektedir (Verma ve diğerleri, 2015).

İşletmede gerçekleşen olayların OGD ile incelenmesi sırasında analist, olay ile ilişkili bütün kaza senaryolarını, hata ağacı modellerini, temel olayları belirler ve OGD’de gerekli modifikasyonları gerçekleştirir. Böylece, olayın gerçekleştiği varsayımı ile koşullu kor hasar olasılığı hesaplanır. Analiz sonuçları, olayın güvenlik açısından etkisine ilişkin veri sağlamada önemli bir araçtır. Olayın önemi irdelendikten sonra, NGS’nin güvenlik seviyesinin artırılması için gerekli tedbirler ele alınır (UAEA, 1991). OGD’nin, NGS’lerde gerçekleşen olayların incelenmesindeki kullanım amacı şu şekilde özetlenebilir (UAEA, 1994):

- Santral sahasında gerçekleşen olayların risk önemini niceliksel olarak değerlendirmek,
- OGD’den elde edilen veriler ışığında tasarımda veya işletme prosedürlerinde iyileştirilmesi gereken eksiklikleri tespit etmek.

3.2.6 Acil durum işletme prosedürlerinin geliştirilmesi ve iyileştirilmesinde OGD kullanımı

ADİP’ler, santralin koruma sisteminin veya tasarımlanmış güvenlik özelliklerinin (*engineered safety features*) devreye girmesine neden olan normal işletmeden sapmaların ve kazaların sonuçlarının hafifletilmesi için operatörlerin takip etmesi gereken, önceden tanımlanmış ve dokümanite edilmiş prosedürlerdir (US NRC, 1982). ADİP’ler olay merkezli ve semptom merkezli olmak üzere iki şekilde oluşturulmaktadır. Bunlardan ilki olan olay merkezli ADİP’de başlatıcı olay tanımlanmakta ve prosedürler bu başlatıcı olaya göre geliştirilmektedir. Olay merkezli prosedürlerin özelliği, operatörün ilgisini başlatıcı olayla ilişkili parametreler ve kontroller üzerinde yoğunlaştırması ve bu olayın ötesindeki parametrelerin değerlendirilmesi için operatörü yönlendirmemesidir. Semptom/durum merkezli prosedürler ise NGS’nin fiili durumunun operatör tarafından değerlendirilmesi ile santraldeki semptomların/durumların tespit edilmesine yönelik prosedürlerdir. Semptom merkezli prosedürlerde kontrol odasındaki operatörler kazanın gelişimini izlemekte, bir veya daha fazla santral parametresine göre semptomları tanımlamaktadır. Bu tür prosedürlerde, operatörler tesisin genel durumundan yola çıkarak güvenlik fonksiyonlarına

odaklanmaktadır. Kordaki sıcaklığın artması durumunda, korun soğutulmasını sağlayan sistemlerin devreye alınması semptom merkezli prosedürlere örnek verilebilir (UAEA, 2006).

Söz konusu prosedürlerin oluşturulmasında iki yaklaşım kullanılmaktadır. Bu yaklaşımlardan ilki prosedürün senaryoya bağlı oluşturulması, diğeri ise senaryodan bağımsız oluşturulmasıdır. Senaryoya bağlı yaklaşımların amacı, operatöre belirli bir olay veya kazadan kurtulmak için talimatlar sağlamaktır. Prosedürün uygulanmasından önce başlatıcı olayın tespit edilmesini gerektiren olay merkezli prosedürler senaryoya bağlı yaklaşımlar ile ele alınmaktadır. Bu konuda önemli bir dönüm noktası TMI kazasıdır. TMI kazası öncesi NGS'lerde kullanılan bütün ADİP'ler senaryoya bağlı olarak geliştirilmiştir. Ancak TMI kazasında olduğu gibi operatörün başlatıcı olayın tespitini gerçekleştiremediği veya yanlış bir şekilde tespit ettiği durumlar için bahse konu senaryoya bağlı prosedürler yetersiz kalmış ve kazaya müdahale edilememiştir. Bunun sonucu olarak nükleer endüstride senaryodan bağımsız prosedürlerin geliştirilmesi gerektiği görülmüştür. Senaryodan bağımsız bu prosedürlerin amacı, tüm güvenlik bariyerlerinin sağlam kalmasını temin etmektir. Semptom merkezli prosedürlerin hem senaryoya bağlı hem de senaryodan bağımsız geliştirilen prosedürler olduğu bilinmelidir (UAEA, 2006).

ADİP'lerin oluşturulması sırasında ilk adım kapsamın belirlenmesidir. Kapsam belirlenirken kullanılan kaynaklar arasında ön güvenlik analiz raporu (GAR), düzenleyici kurum gerekleri, işletme deneyimi ve OGD çalışmaları yer almaktadır. OGD, ADİP'lerin geliştirilmesi sırasında niceliksel bir değerlendirmenin yapılmasını sağlayan önemli bir kaynaktır. Geliştirilen ADİP'lerin risk açısından önemli kaza senaryolarına atıfta bulunuyor olması gerekmektedir. OGD ayrıca, semptom/durum merkezli ADİP'ler için senaryodan bağımsız olaylar kısmında değerlendirilecek kaza senaryolarının belirlenmesinde kullanılır. Bu belirleme faaliyetinde, bir kaza senaryosunun, senaryodan bağımsız olay kapsamında değerlendirilmesi için genel olarak kabul edilen frekans değer sınırı 10^{-6} - 10^{-8} /reaktör yıl olup, nihai değere düzenleyici kurum ile varılan mutabakat sonucu karar verilmektedir (UAEA, 2006).

OGD, mevcut olan ADİP'lerin iyileştirilmesinde ve ADİP'lerde yapılan değişikliklerin güvenlik açısından değerlendirilmesinde de kullanılmaktadır. Örneğin, ADİP'ler santralin kapalı olduğu durumları genellikle içermez. Ancak, OGD çalışmaları göstermiştir ki,

santralin kapalı olduğu veya düşük güçte çalıştığı bu durumlar için risk seviyesi, santralin normal işletme durumundaki risk seviyesi ile yakındır. Bu nedenle, ADİP'lerin santralin kapalı olduğu ve düşük güçte çalıştığı durumları da içermesi gerekmektedir. ADİP'ler santralin ömrü boyunca tamamlanmış sayılmamakta, sürekli iyileştirilmektedir. ADİP'ler bir kere geliştirildikten sonra değiştirilemeyen ve aynı kalan prosedürler olmayıp, santralin ömrü boyunca sürekli iyileştirilmesi gereken dokümanlardır. Bu iyileştirme sırasında gerçekleştirilen güncellemelerde, simülatör eğitimlerinden gelen geri bildirimler, işletme tecrübeleri, ek termalhidrolik analizler ve düzenleyici kurum gereklerinin yanı sıra OGD'den elde edilen veriler kullanılmaktadır (UAEA, 2006). Örneğin, Çek Cumhuriyeti'nde bulunan ve VVER 440 tipi olan Dukovany NGS'de 1998 senesine kadar olay merkezli ADİP kullanılırken, 1999 senesi itibari ile OGD sonuçları ile desteklenen semptom merkezli ADİP'lerin kullanılmasına karar verilmiştir. 2002 senesinde reaktörün kapalı olduğu ve düşük güçte çalıştığı durumlar için gerçekleştirilen OGD çalışmaları neticesinde, ADİP'lerde reaktörün kapalı ve düşük güçte olduğu durumlara da yer verilmiştir. Bu OGD çalışmaları, semptom merkezli ADİP'lerin uygulanması ile reaktörün tam güçte çalıştığı durumlar için KHF'nin %43 azaltıldığını, reaktörün kapalı olduğu durumlar için ise KHF'nin %15 azaltıldığını göstermiştir. Reaktörün tam güçte çalıştığı durumlar için gerçekleştirilen OGD çalışmaları, besleme ve tahliye (*feed and bleed*) sistemi veya türbin jeneratörü alanındaki su baskınları için de prosedürlerin geliştirilmesi gerektiğini göstermiştir. Reaktörün kapalı olduğu durumlar için gerçekleştirilen OGD çalışmaları ise yakıt havuzundan su kayıplarının, düşük sıcaklıklardaki aşırı basınç (*cold overpressurization*) senaryolarının ve reaktör soğutma sistemi testleri sırasında gerçekleşebilecek LOCA'ların da prosedürlerde yer alması gerektiğini ortaya koymuştur (Spitzer ve diğerleri, 2004).

3.2.7 Ciddi kaza yönetiminde OGD kullanımı

ADİP'ler, bir olay veya kaza sırasında santral durumunun tespit edilmesi, karşı önlemlerin alınması ile santralin güvenli ve kararlı duruma getirilmesi için talimatların bulunduğu prosedürlerdir. Ancak, santralin güvenli ve kararlı duruma getirilemediği ciddi kazalar için ciddi kaza yönetim kılavuzları (CKYK) devreye girmektedir. CKYK semptom merkezli kılavuzlardır. ADİP'lerin devreden çıktığı ve CKYK'ların devreye girdiği koşulların tanımlanmasında OGD kullanılmaktadır. Örneğin, 650°C'lik bir kor çıkış sıcaklığında

CKYK'ların devreye girmesi gibi işletme koşulları seviye 2 OGD için gerçekleştirilen analizlerden elde edilen bilgiler ışığında belirlenmektedir. OGD, ciddi kaza durumunda devreye giren sistemlerin ve CKYK'ların etkinliğinin değerlendirilmesinde de kullanılan önemli araçlardan biridir. (UAEA, 2004a; OECD/NEA, 2018).

Korunak binasının yapısal bütünlüğünü tehdit eden ve radyoaktif salımlara yol açabilecek kaza senaryolarına odaklanılmasında seviye 2 OGD kullanılmaktadır. Seviye 1 OGD'den seviye 2 OGD'ye geçişte kor hasarına yol açan bütün kaza senaryolarından benzer özellikte olanlar santral hasar durumu (*plant damage state*) adı verilen küçük gruplarda sınıflandırılmaktadır. Böylece, grup içinde yer alan bütün kaza senaryolarının, grup içinden seçilen tek bir kaza ile temsil edilebilmesi sağlanmaktadır. Genellikle, belirli bir durumla ilgili en kötü sonuca yol açan kazalar temsili kaza olarak seçilmekte, ciddi kaza yönetim sistemleri ve CKYK'lar bu kazaya göre değerlendirilmektedir. Örneğin, hidrojen patlamasına ilişkin gerçekleştirilen bir değerlendirmede, seviye 2 OGD analizlerinden maksimum hidrojen üretimine yol açtığı tespit edilen kaza temsili kaza olarak seçilmekte, bu kazaya ilişkin önlemler alınmaktadır (UAEA, 2004a; OECD/NEA, 2018). Ciddi kazalara karşı alınan önlemlerin etkinliğinin değerlendirilmesinde de OGD kullanılmaktadır.

3.2.8 Düzenleyici kurum denetim faaliyetlerinde OGD kullanımı

NGS'ler, yetkili makamlar tarafından belirlenen limit ve koşullar dahilinde işletildiğinden ve bir kazaya tam olarak müdahale edilebileceğinden emin olmak amacıyla düzenleyici kurumlarca sürekli denetime tabidirler. Bahse konu denetimler sırasında, riske anlamlı derecede katkısı olan YSB'ler ve faaliyetler üzerinde durulması önemlidir. OGD'ler, risk açısından en önemli alanlara odaklanılmasını, böylece denetime ayrılan kaynakların verimli bir şekilde kullanılmasını sağlamaktadır (UAEA, 1994). Denetim bulgularının değerlendirilmesinde OGD önemli araçlardan biridir. Bulguların önemine göre ek denetimlerin yapılmasına ve gerekli önlemlerin alınmasına karar verilmektedir.

OGD'nin denetim faaliyetlerinde kullanılmasına ilişkin uygulamalara ülke yaklaşımları bölümünde, OGD'yi denetim faaliyetlerinde ana unsurlardan biri olarak gören ABD özelinde ayrıca yer verilmektedir. Sonuç ve tartışma kısmında da görüleceği üzere başlığın

önümüzdeki süreç için ülkemiz düzenleyici faaliyetleri açısından önemli olduğu değerlendirilmektedir.

3.2.9 Periyodik güvenlik değerlendirmelerinde OGD kullanımı

PGD, güncel güvenlik standartlarına ve işletme tecrübelerine göre santral tasarımının ve işletiminin tekrar değerlendirilmesini içerirken, aynı zamanda, santralin çalışma ömrü boyunca, güvenliğin etkin bir şekilde sağlanmasını amaçlamaktadır. OGD, NGS'lerin güvenliğinin değerlendirilmesi amacıyla gerçekleştirilen PGD sırasında 'güvenlik analizine ilişkin güvenlik öğelerinden' biri olarak düzenleyici kurumlar tarafından talep edilmektedir (UAEA, 2013).

3.2.10 Risk izleme

Risk izleme, her bir santral konfigürasyonu için, riskin gerçek zamanlı değerlendirilmesini sağlayarak santral çalışanlarının karar vermesinde yardımcı olan OGD araçlarından biridir. Risk izleme, günlük bakım faaliyetleri sırasında riskin yüksek olmasını önlemek amacıyla, bakım planlamasının yapılmasında kullanılmaktadır. Ayrıca, NGS'lerde test, bakım, arızalanma ve onarım gibi santral konfigürasyonunda değişiklik olması durumunda işletimsel kararların desteklenmesinde de risk izleme uygulamalarından faydalanılmaktadır (UAEA, 2010). Risk izlemede kullanılan bazı OGD araçları, derinlemesine savunma ilkesinin seviyeleri ile ilgili bilgi sağlamaktadır (WENRA, 2016). Risk izleme ile elde edilen niceliksel ve niteliksel veriler ise risk tanımlı yaklaşımlarda tümleşik karar alma sürecinin bir parçası ve denetim faaliyetlerinde bir girdi olarak kullanılabilir (UAEA, 2010).

4 OGD’NİN LİSANSLAMADAKİ YERİ VE ÖNEMİ

OGD uygulamaları 1970’li yıllara kadar reaktör güvenliği alanında kullanılmamıştır. TMI kazasının gerçekleşmesi ile OGD hem endüstriyel hem de düzenleyici çevrelerce önem kazanmıştır. Bu kaza ile birlikte deterministik yaklaşımların zayıf yönleri ortaya konulmuş, olasılıksal yaklaşımlar deterministik yaklaşımların bir tamamlayıcısı olarak görülmeye başlanmıştır. Tezin bu kısmında OGD’nin öneminin ortaya konulması açısından olasılıksal yaklaşımların, deterministik yaklaşımları ne şekilde tamamladığı ve derinleme savunma ilkesi çerçevesinde nasıl ele alındığı üzerinde durulmuştur. Bu tartışmalardan yola çıkarak, risk tanımlı yaklaşımların tanımı yapılmakta ve bu sürecin ana unsurları anlatılmaktadır.

4.1 Deterministik Yaklaşımların Tamamlayıcısı Olarak OGD

Düzenleyici kurumlarca deterministik yaklaşımın kullanılması, bir nükleer tesisin işletilmesi ve tasarımı sırasında bir dizi tutucu kuralların ve gerekliliklerin uygulanmasını gerektirmektedir. Deterministik ilkeler, derinlemesine savunma ilkesinin ve yüksek güvenlik marjlerinin sağlanmasının yanı sıra, ortak nedenli arızaları engelleyecek çeşitlilik ve fiziksel ayrılık kriterlerinin, tek hata kriteri gerekliliğinin ve ekipman yeterliliğinin sağlanmasını ve tesis personeline ihtiyacın azaltılmasını içermektedir. Deterministik yaklaşımın güçlü yönlerinden biri tecrübe birikimine bağlı olarak yöntemlerinin çok gelişmiş olmasıdır (UAEA, 2005). Bununla birlikte, deterministik yaklaşımın zayıf yönleri şu şekilde sıralanabilir (UAEA, 2005):

- Deterministik yaklaşımda sadece bazı temsili kazalar seçilmektedir (tasarıma esas kazalar gibi). Nükleer tesisin güvenliğinin gösterilmesi için uygun olan hatalar/arızalar ve kazalar mühendislik muhakemesine göre seçilmektedir. Bütün olası kazaların ve hataların/arızaların değerlendirilmesi mümkün değildir (JAEA, 2017),
- Geçmişte, deterministik yaklaşım daha sık olan ve riske katkısı daha yüksek olan başlatıcı olaylar (örneğin küçük LOCA’lar) yerine, sık olmayan ancak sonuçları ağır olabilecek başlatıcı olayları (örneğin büyük LOCA’lar) incelemekteydi,
- Deterministik yaklaşımda tasarımın dengeli olup olmadığının gösterilmesi pek mümkün değildir,

- Mevcut bir NGS için eksikliklerin tanımlanması durumunda, riskin en fazla azalmasını sağlayacak, böylece en yüksek önceliğin verilmesi gereken iyileştirmelerin belirlenmesi deterministik yaklaşım ile mümkün değildir.

OGD’de ise hemen hemen bütün olası kazalar ve arızalar modellenmektedir. Böylece, tasarımın zayıf ve güçlü yönlerinin belirlenmesinde OGD kullanılabilir. Tasarımın dengeli olup olmadığının gösterilmesinde ve mevcut santraller için gerekli iyileştirmelere yönelik önceliklerin belirlenmesinde de risk bilgisinden yararlanılmaktadır. NGS’lerin lisanslanmasına ilişkin karar verme sürecinde OGD’den faydalanılmasının yanı sıra, mevzuatını risk tanımlı yaklaşıma göre hazırlayan düzenleyici otoriteler, bu sayede gereksiz tutuculuktan kaçınılmaktadırlar (UAEA, 2005).

Bu bilgiler ışığında OGD’nin güçlü yönleri şu şekilde sıralanabilir (UAEA, 2005):

- NGS’lerde görülebilecek başlatıcı olayların ve arızaların kapsamlı bir analizinin yapılması mümkün olmaktadır,
- NGS’nin risk seviyesine ilişkin (farklı konfigürasyonlar için de risk seviyelerinin belirlenmesi ve işletmenin söz konusu risk seviyesinde devam edip edemeyeceğine yönelik) sayısal bir değerlendirme yapılabilir,
- Modern OGD yazılımları sayesinde hesaplanan önem değerleri ile, OGD modelinde yer alan bütün başlatıcı olaylar, kaza senaryoları ve YSB’lerin risk açısından önemi tanımlanabilmektedir,
- Yine bu OGD yazılımları sayesinde, modellemede kullanılan önemli kabul ve parametrelere yönelik belirsizlik ve hassasiyet (‘... olursa ne olur?’ sorusuna cevap aranması) analizleri yapılabilir,
- Derinlemesine savunma ilkesi ve tek hata kriteri gibi deterministik yaklaşım gerekliliklerinin karşılanıp karşılanmadığının belirlenmesinde de OGD’den faydalanılabilmektedir,
- Santralin tasarımı ve işletimine yönelik modifikasyonlarda riskte en fazla azalış sağlayan iyileştirmeler OGD sayesinde tanımlanabilmektedir,
- OGD, görece risklerin karşılaştırılmasında en iyi araçlardan biridir.

Olasılıksal yaklaşımın olgunluk seviyesi (modelleme metotlarının kabul edilebilirliği, verilerin yeterliliği vs.), şu anda OGD'nin düzenleyici kurumlarca çeşitli alanlarda kullanımına izin veren bir düzeydedir (UAEA, 2005).

OGD'nin sayılan güçlü yönlerine rağmen, zayıf yönleri de bulunmaktadır. Bunlar (UAEA, 2005);

- OGD'nin bazı alanlarında çok büyük belirsizlikler vardır (örneğin insan hataları ve ortak nedenli arızalar), bu nedenle karar verme sürecinde sadece OGD sonuçlarının kullanımı zordur,
- OGD'de kullanılan verilerin (özellikle jenerik verilerin) gerekçelendirilmesi zordur,
- OGD'de bazı alanların modellenmesinde zorluk yaşanmaktadır (örneğin insan hatalarının ve insan hataları arasındaki bağımlılıkların),
- OGD'nin modellenmesi sırasında bazı yöntemlerin kullanılmasında öznellik mevcuttur.

Olasılıksal yaklaşımlar ile deterministik yaklaşımların karşılaştırması Tablo 4'de sunulmaktadır.

Tablo 4. Olasılıksal yaklaşımların ve deterministik yaklaşımların karşılaştırılması

Olasılıksal Yaklaşımlar	Deterministik Yaklaşımlar
Başarı kriterlerinin belirlenmesinde bazen tutucu yaklaşımlar kullanılıyor olsa da, genelde en iyi tahmin (<i>best estimate</i>) yöntemi kullanılmaktadır.	Modelde ve verilerdeki belirsizliklerin tanımlanması için genelde tutucu yaklaşımlar kullanılmaktadır.
Kapsamlı bir şekilde başlatıcı olaylara, tehlikelere, arıza senaryolarına yer verilmektedir.	Sadece seçilen bazı başlatıcı olaylara ve arıza senaryolarına yer verilmektedir.
Bütün başlatıcı olaylar ve güvenlik sistemleri, tek bir model içerisinde entegre bir şekilde ele alınmaktadır.	Kaza durumları ayrı ayrı ele alınmaktadır.
Başlatıcı olay frekansları ve sistem/bileşen arıza olasılıkları açık bir şekilde OGD	Başlatıcı olay frekansları ve sistem/bileşen arıza olasılıkları tahmini olarak ele

modeline dahil edilmektedir.	alınmaktadır.
Belirsizlikler, OGD modellerinde doğrudan ele alınmaktadır. OGD yazılımlarında, parametreler için belirsizliklerin tanımlanması mümkündür.	Belirsizlikler, tutucu yaklaşımlar kullanılarak ya da en iyi tahmin yöntemi kullanılarak bulunan sonuçlara belirsizlik analizleri uygulanarak tanımlanmaktadır.
Modern OGD yazılımları sayesinde bütün YSB'lerin öneminin belirlenmesi mümkün olmaktadır.	YSB'lerin öneminin belirlenmesi sırasında kaba tahminlerde bulunmaktadır.

(UAEA, 2005)

OGD'nin güçlü yönlerine rağmen, sahip olduğu zayıflıklardan dolayı düzenleyici kurumlarca karar alma sürecinde risk bilgisi tek başına kullanılmamaktadır. Olasılıksal ve deterministik yaklaşımların zayıf ve güçlü yönleri göz önüne alındığında, çoğu düzenleyici kurum tarafından, deterministik güvenlik değerlendirmesi ve OGD birbirlerinin tamamlayıcısı olarak görülmektedir. Bu nedenle, lisanslama sürecinde risk tanımlı yaklaşım olarak da bilinen olasılıksal ve deterministik yaklaşımların bir arada kullanıldığı tümleşik karar alma yaklaşımı etkilidir.

4.2 Derinlemesine savunma ilkesi ve OGD arasındaki ilişki

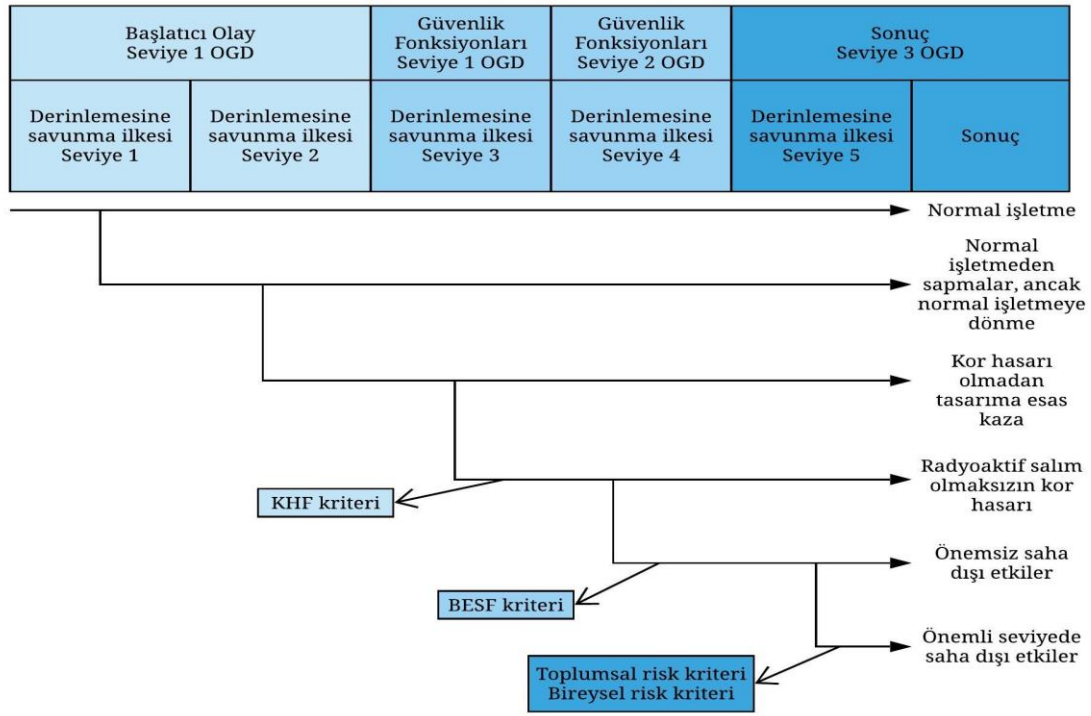
OGD, genel olarak derinlemesine savunma ilkesi çerçevesinde ele alınmaktadır. Derinlemesine savunma ilkesi, deterministik ve olasılıksal yaklaşımlar ile doğrulanmaktadır (SSM, 2015). Derinlemesine savunma ilkesinin seviyeleri UAEA'nın tanımladığı şekilde aşağıdaki gibi sıralanabilir (UAEA, 1996);

1. seviye : Normal işletmeden sapmaların ve arızaların önlenmesi,
2. seviye : Normal işletmeden sapmaların kontrol altına alınması ve arızaların tespiti,
3. seviye : Tasarıma esas kazaların kontrolü,
4. seviye : Ciddi kazaların kontrolü,

5. seviye : Radyoaktif salım olması durumunda acil durum planlarının devreye sokularak sonuçlarının hafifletilmesi.

Derinlemesine savunma ilkesi ve OGD arasındaki ilişki Şekil 5’de sunulmaktadır.

Şekil 5. Derinlemesine savunma ilkesi ve OGD arasındaki ilişki



(SSM, 2015)

Derinlemesine savunma ilkesinin genel hedeflerinden biri, tek bir hatanın derinlemesine savunma ilkesinin sonraki seviyelerinde tehlikeye yol açmayacağından emin olmaktır. Derinlemesine savunma ilkesinin farklı seviyeleri arasında bağımsızlığın sağlanması bu hedefi karşılayan en önemli faktörlerinden biridir. Bununla birlikte, derinlemesine savunma ilkesi seviyeleri arasında tam bir bağımsızlığın sağlanması mümkün değildir. Bunun bir örneği, YSB'lere soğutma veya güç sağlayıcı yardımcı sistemlerin derinlemesine savunma ilkesi seviyeleri arasındaki bağımsızlığı ihlal edebilmesidir.

Derinlemesine savunma ilkesi seviyelerine özgü YSB'ler olabileceği gibi, birkaç derinlemesine savunma ilkesi seviyesine ait YSB'ler de mevcuttur. Belirli bir güvenilirliğin sağlanabilmesi için derinlemesine savunma ilkesinin farklı seviyelerine belli tasarım ilkeleri çerçevesinde farklı önlemler uygulanmaktadır. Bunlar (SSM, 2015);

- Yüksek kalite,
- Güvenli arıza tasarımı,
- Otomasyon,
- Yedeklilik,
- Derinlemesine savunma ilkesi seviyesi içindeki bağımlılıkların giderilmesi,
- Derinlemesine savunma ilkesi seviyeleri arasındaki bağımlılıkların giderilmesidir.

Derinlemesine savunma ilkesi ile OGD arasındaki ilişki şu şekilde sıralanabilir:

- Öngörülen başlatıcı olayların (*postulated initiating events*) meydana gelme sıklığına göre belli bir kategoriye ve derinlemesine savunma ilkesinin seviyelerine atanmasında OGD kullanılmaktadır (WENRA, 2016). UAEA'nın SSG-2 kodlu ve 'Nükleer Güç Santrallerinde Deterministik Güvenlik Analizi' isimli dokümanının 2.3'üncü maddesine göre santralin bütün işletme durumları için kapsamlı bir öngörülen başlatıcı olay listesi hazırlanmalı, söz konusu öngörülen başlatıcı olaylar ve ilgili normal işletmeden sapmalar kategorik olarak gruplandırılmalıdır. Aynı dokümanın 2.9'uncu maddesine göre öngörülen başlatıcı olayların ve ilgili normal işletmeden sapmaların gruplandırılması sırasında iki alternatif yaklaşımdan bahsedilmektedir. Bunlardan biri, başlatıcı olayların beklenen frekansına göre, diğeri ise kaza senaryolarının frekansına göre gruplandırılmasıdır. Her bir kaza senaryosunun frekansının hesaplanması ise OGD ile mümkündür (UAEA, 2009).
- Derinlemesine savunma ilkesinin farklı seviyelerinin güvenilirliği, derinlemesine savunma ilkesinin önemli unsurlarından biridir. Maddi ve maddi olmayan unsurların yüksek güvenilirliğini sağlamak amacıyla birtakım deterministik tasarım gerekleri ve uygulamaları vardır. Bunlar; tasarımılanmış güvenlik özellikleri, kendiliğinden düzenleme özellikleri (*inherent features*), prosedürler ve operatör müdahaleleridir. Güvenlik sistemleri için tasarım gerekleri ve uygulamaları; yedekliliği, fiziksel ayrılığı, çeşitliliği, bağımsızlığı, güvenli arıza tasarımı, güvenlik marjlerini, tutucu tasarımı ve tek hata kriterini içermektedir. Tasarımılanmış güvenlik sistemlerinin güvenilirliği, olasılıksal bir değerlendirme kullanılarak sayısal olarak analiz edilebilir (WENRA, 2016).

Sayısal risk verilerine ek olarak, OGD'ler kaza senaryolarına katkısı olan arızalar ile ilgili önemli niteliksel sonuçlar da vermektedir. Hata ağacı bağlama¹ yaklaşımını kullanan OGD'ler için bu katkılar kaza senaryosu minimum hata serileri ile tanımlanmaktadır. Hata serileri, kor hasarının veya radyolojik salımın gerçekleşmesi için kaç tane arızanın meydana gelmesi gerektiğini ortaya koyarak derinlemesine savunma ilkesinin gerekleri (tek hata kriteri gibi) ile ilgili önemli bilgiler sağlamaktadır. Minimum hata serileri santralin etkin yedekliliğe ve çeşitliliğe sahip olup olmadığını da ortaya koymaktadır (US NRC, 2007).

- Farklı derinlemesine savunma ilkesi seviyeleri arasındaki başlatıcı olayların kontrolü sırasında gerekli olan güvenlik sistemleri ve diğer güvenlik özelliklerinin bağımsızlığı derinlemesine savunma ilkesinin önemli yönlerinden biridir. Buna göre; güvenlik fonksiyonlarını yerine getiren YSB'ler, derinlemesine savunma ilkesinin diğer seviyeleri için tasarımılanan YSB'lerin arızasından veya çalışmasından olumsuz etkilenmemeli ve öngörülen başlatıcı olayların etkileri (ikincil etkiler dahil) ihtiyaç duyulan YSB'yi tehlikeye atmamalıdır. Yedeklilik seviyesinin işlevsizliğine ve çoklu sistem arızasına yol açan kaynaklar arasında, fonksiyonel bağımlılıklar, sistem arayüzlerindeki bağımlılıklar, sistem ve bileşenlere atanan çoklu fonksiyonlar, insan hataları ve ortak nedenli arızalar yer almaktadır. Derinlemesine savunma ilkesi seviyeleri arasındaki bağımsızlık deterministik araçlar ile gösterilmeye çalışılsa da, özellikle aktif güvenlik özelliklerinin bağımsızlığının gösterilmesi oldukça zordur. Bu nedenle, makul seviyede bağımsızlık derecesi gösterilmelidir. OGD'nin sistematik yaklaşımı, güvenlik özellikleri arasındaki karşılıklı bağımlılıkların keşfedilmesinde etkili bir araçtır (WENRA, 2016).

¹OGD uygulamalarında genel olarak iki yaklaşım kullanılmaktadır. Bunlardan ilki ve genelde kullanılan yaklaşım olan 'hata ağacı bağlama (*fault-tree linking*)' yaklaşımıdır. Bu yaklaşıma göre olay ağaçları olabildiğince küçük tutularak, bütün yardımcı sistemler ve insan kaynaklı hatalar hata ağaçlarında modellenir. Diğer bir yaklaşım olan 'büyük olay ağacı-küçük hata ağacı' yaklaşımına göre ise yardımcı sistemler ve insan kaynaklı hataların olay ağaçlarında yer aldığı büyük olay ağaçları oluşturulmaktadır. Bununla birlikte 'büyük olay ağacı-küçük hata ağacı' yaklaşımında bağımlı arızaların ele alınış biçimi dikkat edilmesi gereken hususlardan biridir.

- YSB'lerin, tasarımının bir gereği olarak, güvenlik açısından önemine göre sınıflandırılması gerekmektedir. YSB'lerin sınıflandırılması ve farklı derinlemesine savunma ilkesi seviyelerine atanması derinlemesine savunma ilkesinin önemli konularından biridir. YSB'ler, sınıflandırmaya bağlı olarak, tasarım kuralları, yeterlilik şartları, güvenlik marjınları, test rejimleri, sınır ve koşullar, güvenliğin gösterilmesi için kullanılan kabul kriterleri ile ilgili özel gerekliliklere tabidirler. YSB'lerin ve güvenliğin ayrılmaz bir parçası olan bu hükümlerin sınıflandırılması esas olarak deterministik yöntemlere dayansa da, olasılıksal yöntemlerden elde edilen veriler de bir girdi olarak değerlendirilebilmektedir (WENRA, 2016).
- Kaza senaryolarının OGD çalışması ile incelenmesi derinlemesine savunma ilkesinin farklı seviyelerindeki güvenlik özelliklerinin (güvenlik sistemi veya güvenlik fonksiyonu) başarılı veya başarısız olmasının görülmesine imkan sağlaması açısından önemlidir. OGD'nin, derinlemesine savunma ilkesinin en azından ilk dört seviyesini içerecek şekilde yukarıda bahse konu hükümleri kapsamı ve modellenmesi gerekmektedir. Böylece, OGD, derinlemesine savunma ilkesi seviyeleri arasındaki bağımlılıkların giderilmesi için önemli bir girdi sağlayabilmektedir (WENRA, 2016).
- Risk izlemede kullanılan bazı OGD araçları, derinlemesine savunma ilkesinin seviyeleri, başlatıcı olaylar veya santralin normal işletmeden saptığı durumlar için gerekli olan güvenlik fonksiyonları ve güvenlik sistemlerinin durumu ile ilgili bilgi sağlamaktadır. Bu durum, santralin söz konusu konfigürasyonundaki yedeklilik, çeşitlilik, derinlemesine savunma ilkesinin seviyeleri, güvenlik marjınları vb. ile ilgili bir göstergedir. Bu bilgi ise söz konusu sistemlerin emre amadeliğine ilişkin teknik spesifikasyonlardaki gereklilikler ile bağlantılıdır (WENRA, 2016).

4.3 Risk Tanımlı Yaklaşım

Bölüm 3 OGD Kullanım Alanları başlığı altında tanımlı yapılan risk tanımlı yaklaşımların düzenleyici kurum faaliyetlerindeki faydaları ve yeri şu şekilde sıralanabilir (UAEA, 2005):

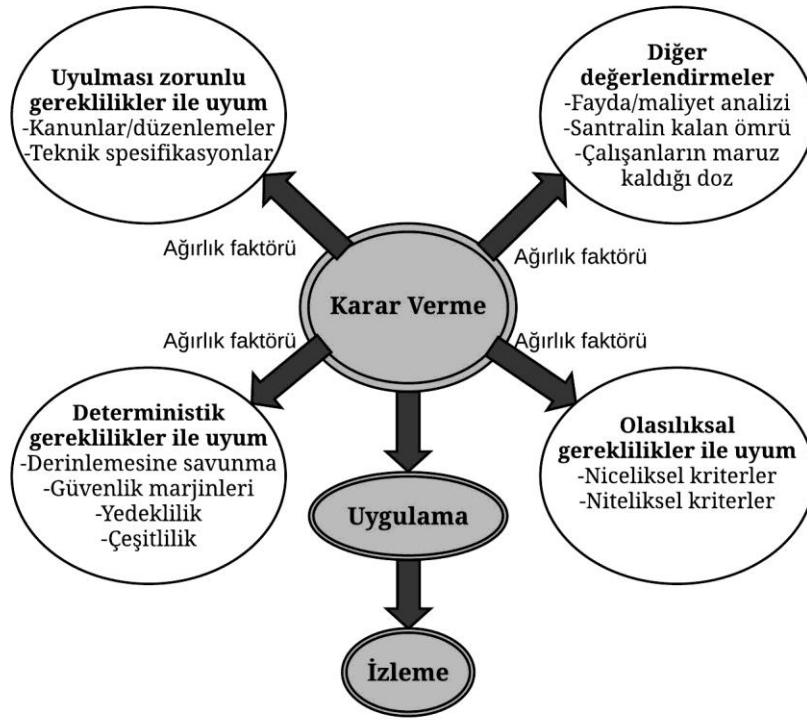
- *Başlatıcı olaylar açısından tasarımın dengeli olduğunun gösterilmesinde :* OGD'nin kullanılması ile başlatıcı olay gruplarından riske en fazla katkısı olanların

tanımlanması, böylece tasarımın dengeli olup olmadığının gösterilmesi mümkündür. Daha sık olan başlatıcı olaylar için yedeklilik ve çeşitlilik ilkesine göre tasarımın tekrar ele alınması sağlanmalıdır.

- *Derinlemesine savunma ilkesinin seviyeleri açısından tasarımın dengeli olduğunun gösterilmesinde* : OGD'nin kullanılması ile derinlemesine savunma ilkesinin seviyeleri arasındaki bağımlılıkların ve derinlemesine savunma ilkesinin ne kadar iyi uygulandığının ele alınması mümkündür. Sadece deterministik yaklaşımın kullanılması ile derinlemesine savunma ilkesinin seviyeleri açısından tasarımın dengeli olduğunun gösterilmesi mümkün olmamaktadır.
- *YSB'lerin öneminin tanımlanmasında* : OGD bütün başlatıcı olayları, tehlikeleri ve YSB'leri tek bir model ile modellemektedir. Böylece, YSB'lerin görece önemine ilişkin fikir edinmede OGD'den faydalanılmaktadır. Kaza senaryolarını ve YSB'leri ayrı ayrı modelleyen deterministik yaklaşım ile böyle bir derecelendirmenin yapılması mümkün değildir.

Risk tanımlı yaklaşımda, OGD bilgisi karar verme sürecinde kullanılan etkenlerden sadece biridir. Uyulması zorunlu gereklilikler, deterministik yaklaşımlardan elde edilen bilgi ve diğer etkenler karar verme sürecinin farklı girdilerini oluşturmaktadır. Risk tanımlı yaklaşımda, bir karar verildikten sonra, uygulanması ve ne kadar etkin olduğunun belirlenmesi için izlenmesi, gerektiğinde kararın yeniden gözden geçirilerek düzeltilmesi ise diğer adımları oluşturmaktadır. Sadece OGD bilgisinden yararlanılan riske dayalı karar verme süreci hiçbir ülkenin düzenleyici kurumu tarafından uygulanmamakta, nükleer güvenliğin sağlanması hususunda sadece riske dayalı karar verilmesi tavsiye edilmemektedir (UAEA, 2005). Risk tanımlı yaklaşım yöntemi Şekil 6'da sunulmaktadır.

Şekil 6. Risk tanımlı yaklaşım süreci



(UAEA, 2005)

4.3.1 Risk tanımlı yaklaşımın uygulanması

Risk tanımlı yaklaşım sürecinin uygulanmasında aşağıdaki adımlar izlenmektedir:

Adım 1 – konunun tanımlanması: Risk tanımlı yaklaşımın ilk adımı değişikliğe gidilecek konunun tanımlanmasıdır. Bu değişiklik tasarıma veya işletme prosedürleri ve sınırlarına ilişkin bir değişiklik olabilir.

Adım 2 – uyulması zorunlu gerekliliklerin tanımlanması ve önerilen değişikliğin bu gerekliliklerle uyumu: Risk tanımlı yaklaşımın bu aşamasında, ilk olarak eğer söz konusu değişikliğe ilişkin uyulması zorunlu herhangi bir düzenleyici gerek varsa o tanımlanır. Daha sonra değişikliğin bu gerekler ile uyumu kontrol edilir.

Adım 3 – deterministik gerekliliklerin tanımlanması ve deterministik açıdan değerlendirmenin yapılması: Risk tanımlı yaklaşımın bu aşamasında, deterministik gerekliliklerin en önemli unsurlarından derinlemesine savunma ilkesi ve güvenlik

marjinlerinin tanımlanması ve söz konusu değişikliğin bu deterministik gereklilikler ile uyumunun kontrol edilmesi gerçekleştirilir.

Adım 4 – olasılıksal gerekliliklerin tanımlanması ve olasılıksal açıdan değerlendirmenin yapılması: Risk tanımlı yaklaşımın bu aşamasında, niceliksel veya niteliksel risk kriterlerinin tanımlanması ve söz konusu değişikliğin bu olasılıksal kriterler ile uyumunun kontrol edilmesi gerçekleştirilir.

Adım 5 – diğer gerekliliklerin tanımlanması ve değerlendirmenin yapılması: Bu aşamada, karar verme sürecinde ele alınması gereken diğer gereklilikler değerlendirilmektedir. Örneğin; söz konusu değişikliğin faydaları ve maliyeti, santral çalışanlarının aldığı doza etkisi, santralin kalan ömrü, denetim bulguları ve işletimsel deneyimler bu aşamada göz önüne alınmaktadır.

Adım 6 – gerekliliklere ilişkin ağırlıklandırmanın yapılması: Ağırlıklandırma işlemi mühendislik muhakemesine bağlı olarak yapılmaktadır. Karar verme sürecinde, genel olarak, yasal zorunluluklar ve ulusal uygulamalar en yüksek ağırlığa sahiptir. Deterministik ve olasılıksal gereklilikler ise sıklıkla aynı ağırlıkta ele alınır, çünkü birindeki iyileştirme diğerini de etkileyecektir. Örneğin, deterministik gerekliliklerden olan yedeklilik ve çeşitliliğin artırılması, risk değerinde de azalışa sebep olacaktır. Böyle durumlarda, ağırlık diğer etkenlere verilmektedir. Eğer deterministik ve olasılıksal etkiler temelde aynı etkiye yol açmıyor ise, ağırlığa tutucu tarafta kalacak şekilde karar verilmektedir. Örneğin; söz konusu değişiklik genel riskte kabul edilemeyecek seviyede bir artışa sebep oluyorsa, değişiklik yapılmaz.

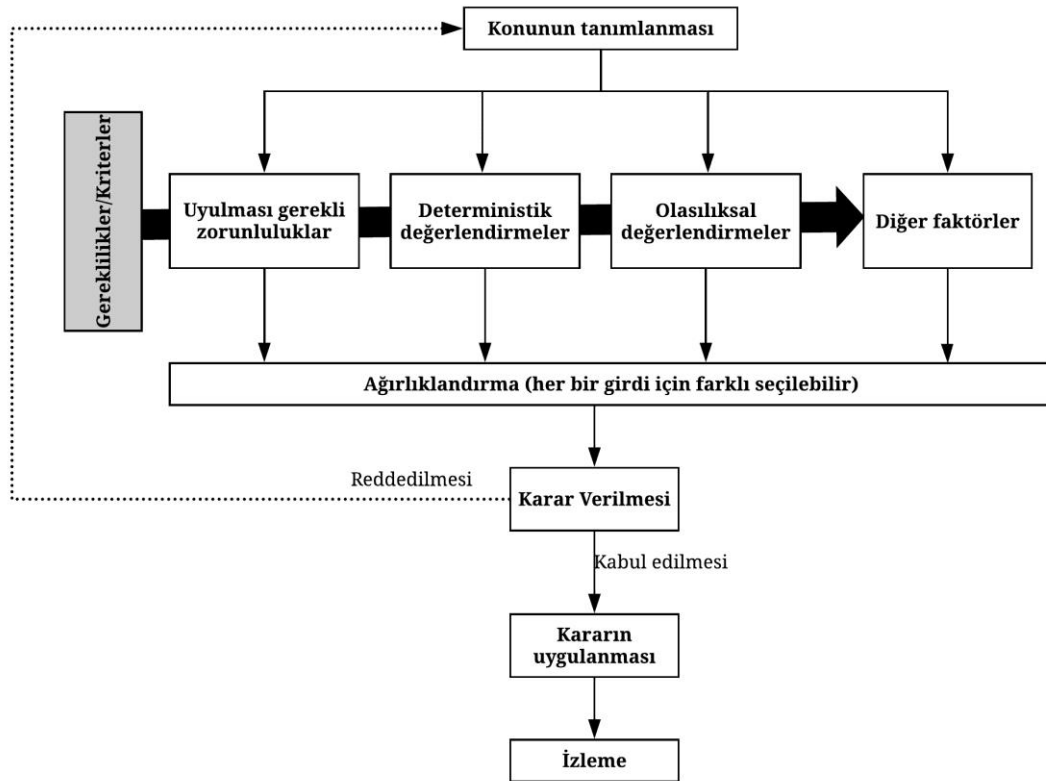
Adım 7 – karar verme süreci: Gerekliliklere uyumun belli ağırlıklar ile değerlendirilip değişikliğin yapılıp yapılmamasına ilişkin kararın verildiği aşamadır. Bu aşamada, değişikliğe ilişkin bütün alanları ilgilendiren çok disiplinli uzmanlar grubu tarafından kararın alınması doğru bir yaklaşımdır.

Adım 8 – kararın uygulanması: Olumlu karar verilmesi durumunda, NGS tasarımında veya işletiminde söz konusu değişikliğin yapıldığı aşamadır. Bu değişiklik, santrale özgü güvenlik dokümanlarına, işletme prosedürlerine ve operatör eğitimlerine de yansıtılmaktadır.

Adım 9 – izleme: Risk tanımlı yaklaşımın son aşaması olan izlemde, verilen kararın sonuçları gözlemlenmekte ve değişikliğin etkinliğine dair geri beslemeler alınmaktadır. İzlemenin amacı, değişikliğin etkin bir şekilde yapılıp yapılmadığının veya yapılan değişikliğin istenmeyen ve öngörülemeyen bir etkiye yol açıp açmadığının tespit edilmesidir. NGS tasarımında ya da işletiminde yapılan değişikliklerin izlenmesi, genelde santral operatörlerinin izlenimleri ile veya düzenleyici kurum tarafından gerçekleştirilen denetimler esnasında yerine getirilmektedir (UAEA, 2005).

Risk tanımlı yaklaşım sürecine ilişkin adımlar Şekil 7’de sunulmaktadır.

Şekil 7. Risk tanımlı yaklaşım adımları



(UAEA, 2005)

4.3.2 Risk tanımlı yaklaşımın uygulanmasına ilişkin örnekler

Risk tanımlı yaklaşımın uygulamaları ile yukarıda da değinildiği üzere farklı durumlarda karşılaşılabilmektedir. Bunlara örnek olarak literatürde yer alan geçmiş tecrübeler bu

bölümde yer verilmektedir. Söz konusu örnekler bir önceki alt bölümde tanıtılan yöntemin adımlarında sunulmaktadır.

4.3.2.1 Sismik dayanımın artırılması

Konu: NGS'lerin ilk kurulduğu zamanlarda, YSB'lerin sismik yeterliliklerine ilişkin herhangi bir gereklilik bulunmamakta ve bu nedenle ilk kurulan NGS'ler sismik açıdan yeterli olmamakla birlikte, bazı iyileştirmelere ihtiyaç duymaktadır. Bu kısımda, santral işleticileri tarafından yapılması planlanan iyileştirmeler için en uygulanabilir olanlarının seçimi ele alınacaktır.

Uyulması zorunlu gereklilikler açısından: Bu tür değişiklikler, hükümet, uluslararası camia ve düzenleyici kurumların yeni yaklaşımları sonucu gerekli hale gelmiştir. Ayrıca, bu konu eski NGS'ler için gerçekleştirilen PGD sırasında bir zayıflık olarak tanımlanmaktadır.

Deterministik yaklaşım açısından: Deterministik gereklilikler güvenlik açısından önemli YSB'lerin depreme dayanıklı olması ve tasarıma esas deprem koşullarında başarısız olmaması gerektiğini belirtmektedir. Tasarıma esas deprem, yıllık sıklığı 10^{-4} 'ü geçen depremler olarak tanımlanmaktadır. Tasarıma esas deprem sırasında güvenlik fonksiyonlarını yerine getirecek en az bir güvenlik hattının mevcut olması tasarım gerekliliklerindendir. Bununla birlikte, eski NGS'ler bu tasarım gerekliliği için yetersiz kalmaktadır.

Olasılıksal yaklaşım açısından: Olasılıksal gereklilikler, riske sismik olaylardan gelen katkının düşük olması ve eğer sayısal risk kriterleri var ise bu kriterlerin sağlanması gerektiğini belirtmektedir. Eski santrallerin çoğu için sismik OGD yapılmamıştır. Kor hasarına veya büyük ve erken radyolojik salıma sebep olan tek hatalar bu değerlendirmede özellikle incelenmektedir.

Diğer etkenler açısından : Gerekli değişikliğin yapılmasına ilişkin maliyetler ve santralin kalan ömrü bu değerlendirmede göz önüne alınmaktadır.

Kararın verilmesi: Bir çok ülkede, eski santrallerin sismik dayanımına ilişkin iyileştirmelerin yapılması düzenleyici kurumların ve hükümet baskısının bir gerekliliği olarak gündeme gelmiştir. Deterministik, olasılıksal ve diğer etkenlerden elde edilen

veriler ışığında uygulanabilir adımlar atılmaktadır. Eski santraller için yapılan sismik değerlendirmeler neticesinde, iyileştirmelerin fayda/maliyet açısından çok etkin olmadığı sonucuna varılmış, bir çok eski santral bunun sonucunda kapatılmıştır (UAEA, 2005).

4.3.2.2 Güvenlik sistemlerine çeşitlilik eklenmesi

Konu: Sık olan başlatıcı olaylar için güvenlik fonksiyonlarını yerine getiren güvenlik sistemlerinin çeşitlilik ilkesine göre tasarlanması gerekmektedir. Bununla birlikte, bazı eski NGS'ler için çeşitlilik seviyesi oldukça düşüktür. Düzenleyici kurumlar, bu santraller için güvenlik sistemlerine ilişkin çeşitliliğin artırılmasını istemektedir.

Uyulması zorunlu gereklilikler açısından: Bu tür değişiklikler, hükümet, uluslararası camia ve düzenleyici kurumların yeni yaklaşımları sonucu gerekli hale gelmiştir. Ayrıca, bu konu eski NGS'ler için gerçekleştirilen PGD sırasında zayıflık olarak tanımlanan hususlardan biridir.

Deterministik yaklaşım açısından: Deterministik gereklilikler, sıklığı yüksek olan başlatıcı olaylar için kullanılan güvenlik sistemlerinin çeşitlilik prensibine uygun tasarlanması gerektiğini belirtmektedir. Bazı ülkelerce, sıklığı 10^{-3} 'den yüksek olan başlatıcı olaylar, sıklığı yüksek başlatıcı olay kategorisinde yer almaktadır. Bu aşamada, başlatıcı olayların ve çeşitliliği sağlamayan güvenlik sistemlerinin tanımlanması deterministik yaklaşımlar ile gerçekleştirilir.

Olasılıksal yaklaşım açısından: OGD, NGS'nin genel risk bilgisinin belirlenmesi için kullanılmaktadır. Çeşitliliğin düşük seviyede olduğu NGS'ler için KHF yüksektir ve riskin düşürülmesi gerekmektedir. Ortak nedenli arızaların önem değerinin yüksek olduğu noktalarda ek çeşitliliğe gidilmesi gerekmektedir. Çeşitliliğe gidilmesi gereken noktalarda, riskteki azalmanın karşılaştırılması açısından OGD uygun bir araçtır.

Diğer etkenler açısından: Gerekli değişikliğin yapılmasına ilişkin maliyetlerin ve santralin kalan ömrünün bu değerlendirmede göz önüne alınması uygun olacaktır.

Kararın verilmesi: Bir çok ülkede, en yüksek ağırlıklandırma faktörü deterministik gerekliliklerin karşılanmasına verilmiştir. Güncellenen OGD'ler bu santrallerde gerçekleştirilen çeşitliliğe ilişkin iyileştirmelerin riskte önemli ölçüde bir azalışa sebep

olduğunu göstermiştir. Eski NGS'lerin çeşitlendirilmesine ilişkin en fazla değişiklik reaktör kapatma ve buhar üretici besleme suyu sistemlerinde gerçekleştirilmiştir (UAEA, 2005).

4.3.2.3 Reaktör güç seviyesinin artırılması

Konu: NGS güç seviyesinin %5 oranında artırılması için düzenleyici kurum onayının alınması.

Uyulması zorunlu gereklilikler açısından: Uyulması zorunlu gereklilikler açısından NGS'nin lisanslama kriterlerine uygunluğu istenmektedir.

Deterministik yaklaşım açısından: Deterministik gereklilikler, yeterli güvenlik marjininin sağlanmasını istemektedir. Normal işletmeden sapılan durumlar için güvenlik marjinleri düşüyor olsa da, güvenlik marjinleri hala uygun seviyededir.

Olasılıksal yaklaşım açısından: Reaktör gücünün artırılmasının, kor hasar frekansında ve büyük ve erken radyolojik salım frekansında artışa sebep olması beklenmektedir. Bununla birlikte, güvenlik sistemlerinin başarı kriterlerindeki marjinlerden dolayı bir artış gözlemlenmemiştir.

Diğer etkenler açısından: NGS'nin gücünde %5'lik bir artış, santralden elde edilen geliri artıracaktır. Ancak, bu durum düzenleyici kurumlar açısından önem arz etmediği için, diğer etkenler için ağırlıklandırma faktörü sıfır olarak seçilmiştir.

Kararın verilmesi: Deterministik ve olasılıksal gereklilikler açısından değerlendirme yapıldığında, düzenleyici kurum NGS güç seviyesinin %5 oranında artırılmasını uygun bulmuştur (UAEA, 2005).

4.3.2.4 Test aralıklarının genişletilmesi

Konu: Santral teknik spesifikasyonlarında belirtilen test aralıklarının genişletilmesi için düzenleyici kurumun onayının alınması.

Uyulması zorunlu gereklilikler açısından: Uyulması zorunlu gereklilikler, santral teknik spesifikasyonlarının incelenmesini gerektirmektedir.

Deterministik gereklilikler açısından: Deterministik açıdan, teknik spesifikasyonların üreticinin sağladığı gereklilikleri ve en iyi uygulamaları yansıttığı düşünülse de, test aralıklarının gerekçelendirilmesine ilişkin katı kurallar sağlanmamıştır.

Olasılıksal gereklilikler açısından: OGD sırasında KHF'nin hesaplanmasında teknik spesifikasyonlarda yer alan test aralıkları kullanılmaktadır. Bileşenlerin risk önemlerinin belirlenmesinde önem değerleri kullanılmıştır. Hassasiyet çalışmaları ile yüksek önem derecesine sahip bileşenlerin test aralığının düşürülmesinin ve düşük önem derecesine sahip bileşenlerin test aralıklarının artırılmasının riskte yol açtığı değişim değerlendirilmiştir. Böylece, teknik spesifikasyonlarda yer alan test aralıklarının iki kattan daha fazla olmayacak şekilde değiştirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Diğer etkenler açısından: Test aralıklarının genişletilmesi test maliyetlerini azaltacaktır. Ancak bu durum düzenleyici kurumun karar verme sürecinde etkili değildir.

Karar verme: Düşük önem derecesine sahip bileşenlerin test aralıklarının artırılması, yüksek önem derecesine sahip bileşenlerin test aralıklarının azaltılması ile dengelendiği için riskte bir değişim gözlemlenmemiştir. Yeni test aralıklarının, teknik spesifikasyonlarda geçen orjinal değerlerine göre iki kat artırılacak ya da azaltılacak şekilde seçilmesi uygundur (UAEA, 2005).

4.3.2.5 Reaktör kapatma sistemi girdilerinden birinin iptal edilmesi

Konu: Reaktör kapatma sistemi girdilerinden biri, reaktör korunun tepesinde bulunan cihazlardan biri ile sağlanmaktadır. Ancak, bu cihazın güvenilirliği azdır. Aynı zamanda, radyasyon seviyelerinin yüksek olduğu bir konumda bulunan bu cihazlar, tamiri veya değiştirilmesi sırasında çalışanların yüksek dozda radyasyona maruz kalmalarına yol açmaktadır. Santral işleticisi tarafından daha önce kurulmuş olan yeni bir sistem ile reaktör kapatma sistemine daha güvenilir bir girdinin sağlanması söz konusudur. Yeni parametrelerin erişilebilir olması ile birlikte, reaktör tepesinde bulunan cihazın kaldırılması için düzenleyici kurumun onayı istenmektedir.

Uyulması zorunlu gereklilikler açısından: Uyulması zorunlu gereklilikler açısından NGS'nin lisanslama kriterlerine uygunluğu istenmektedir.

Deterministik gereklilikler açısından: Deterministik açıdan, reaktör kapatma sistemlerinden birinin iptal edilmesi, çeşitliliğin azaltılması anlamına gelmektedir. Bununla birlikte, santral işleticisi normal işletmeden sapma durumları için alternatif bir kapatma sistemi parametresinin var olduğunu göstermiştir. Her ne kadar bu kapatma sistemi parametresi, reaktör kapatma sistemini daha geç devreye alıyor olsa da, güvenlik marjlerinin altında kalmaktadır.

Olasılıksal gereklilikler açısından: Olasılıksal açıdan, eski ve güvenilir olmayan parametrenin, alternatifi olan ve daha güvenilir yeni parametre ile değiştirilmesi sonucu riskin azalması beklenmektedir. Bununla birlikte, reaktör korunun tepesinde bulunan cihazın her ne kadar güvenilirliği az olsa da, yedeklilik açısından bir girdi oluşturmaktadır. Bu cihazın kaldırılması yedekliliğin azalmasına, doğal olarak riskin artmasına yol açacaktır.

Diğer gereklilikler açısından: Reaktörün tepesinde bulunan cihazın kaldırılması ile çalışanların yüksek dozda radyasyona maruz kalmalarının önüne geçilecektir. Aynı zamanda, güvenilirliği az olan cihazın kaldırılması ile bakım ve tamir masrafları da azalacaktır.

Karar Verme: Reaktör kapatma sistemi girdilerinden biri olan reaktör tepesindeki cihazın kaldırılması, düzenleyici kurum tarafından onaylanmıştır (UAEA, 2005).

4.3.2.6 Vardiyalı çalışma saatlerinin uzatılması

Konu: NGS işleticisi tarafından vardiyalı çalışma saatlerinin 8 saatten 12 saate çıkarılması için düzenleyici kuruma başvuruda bulunulmuştur.

Uyulması zorunlu gereklilikler açısından: Uyulması zorunlu gereklilikler açısından, NGS’de güvenli bir şekilde işletmeyi sağlayacak yeterli sayıda deneyimli ve nitelikli personel istihdam edilmelidir. Personel rejimine ilişkin değişiklikler için düzenleyici kurumun onayı gerekmektedir.

Deterministik gereklilikler açısından: Personel rejimine ilişkin deterministik bir gereklilik yoktur.

Olasılıksal gereklilikler açısından: Vardiyalı çalışma saatlerinin uzatılması, yorgunluk düzeyini artırarak personel performansını etkileyecek, insan hatalarının artmasına yol açacaktır. Vardiyalı çalışma saatlerinin uzatılması durumunda, insan hata olasılıklarının hesaplanmasında kullanılan ‘performans şekil faktörü’ katsayısı artırılır. Bunun için, OGD modelinde hassasiyet çalışması yapılmaktadır. İnsan hata olasılıkları ve bazı başlatıcı olayların frekansları 2 ila 3 katına çıkarılmakta ve kor hasar frekansındaki artışa bakılmaktadır. NGS’lerde insan hatalarının önüne geçmek amacıyla çoğu sistemin otomasyona bağlanmış olması, yapılan hassasiyet çalışması neticesinde kor hasar frekansında fazla bir artışın olmamasını sağlamıştır.

Diğer gereklilikler açısından: Vardiyalı çalışma saatlerinin uzatılması santral işletme maliyetlerinin azalmasına yol açacaktır. Ancak bu durum düzenleyici kurumun karar verme sürecinde etkili olmayıp, ağırlıklandırma faktörü sıfırdır.

Karar verme: Düzenleyici kurum vardiyalı çalışma saatlerinin uzatılmasını onaylamıştır. Ancak, santralin güvenlik düzeyinin azalmadığına dair düzenleyici kurum tarafından bir denetim programı oluşturulmuştur (UAEA, 2005).

4.4 OGD’nin Sunumu, Kapsam ve Kriterler

OGD, düzenleyici kurumlar tarafından tümleşik karar alma sürecinde günden güne artan bir hızla kullanılır hale gelmiştir. Bununla birlikte, OGD’ye ilişkin dokümanların sunumu, kapsamın belirlenmesi, kriterlerin tanımlanması, yasal olarak bağlayıcılığın olup olmaması konularında farklı ülkelerde farklı uygulamalar söz konusudur.

4.4.1 OGD’ye ilişkin dokümanların sunumu

OGD dokümanlarına ilişkin düzenleyici kurumlarca gerçekleştirilen gözden geçirme ve değerlendirmeler, çevrimiçi (*online*) ve çevrimdışı (*offline*) olmak üzere iki şekilde yürütülmektedir. Çevrimiçi yaklaşımlar, OGD ekibinin belirli bir görevi tamamlamasının ardından yapılan gözden geçirme ve değerlendirmelerdir. Söz konusu yaklaşımın avantajı, bulguların çoğunun OGD’ye işlenmesinin sağlanması ile tekrar üzerinde çalışma süresinin kısaltılmasıdır. Dezavantajı ise, analiz sürecinin henüz devam etmesi ve bu analizlerin raporlarda değişikliklere yol açması nedeni ile tekrar tekrar gözden geçirilmesi ihtiyacının doğmasıdır. Çevrimdışı yaklaşımlarda ise, OGD ekibinin nihai OGD raporunu

sunmasından sonra gözden geçirme ve değerlendirme süreci başlamaktadır. Bu yaklaşımın avantajı, OGD dokümanlarının bir kez gözden geçirilmesidir (eğer büyük bir bulgu ve üzerinde çalışma gerekmiyorsa). Dezavantajı ise gözden geçirme ve değerlendirme sırasında analizin başında tanımlanabilecek ve kolayca düzeltilebilecek bulgular için problem oluşturmastır (UAEA, 2000).

Gözden geçirme ve değerlendirmenin OGD'nin gerçekleştirilmesi ile birlikte yapılması önemlidir (çevrimiçi yaklaşımlar ile), böylece düzenleyici kurum OGD analizinin kabul edilebilir bir şekilde gerçekleştirildiğini erken bir aşamada belirleyebilir, eksikliklerin erken bir aşamada giderildiğinden emin olunur. Bu durum aynı zamanda, OGD'nin düzenleyici kurumca kabulü için erken bir tarihin verilmesine neden olmaktadır. Düzenleyici kurum gözden geçirme ekibi, her iki kuruluşun ihtiyaçlarına uygun bir şekilde, kurucunun OGD ekibiyle bir çalışma programı üzerinde anlaşmaya varmayı düşünebilir, böylece gözden geçirme ve değerlendirme sürecinin verimli bir şekilde yürütülmesini ve değerlendirmeyi tamamlamadaki gecikmelerin en aza indirilmesini sağlar. Ancak, OGD analizinin gerçekleştirilmesi ve gözden geçirilmesi için en önemli hususlardan biri, tesis tasarımının ve nasıl işletileceğinin açık bir şekilde ortaya konulmasıdır. Tesis tasarımının ve nasıl işletileceğinin açık bir şekilde ortaya konulması ise tasarım aşamasındaki santraller için kararlaştırılan bir tarih itibari ile dondurulmuş tasarım (**frozen design**) olması ile mümkündür (UAEA, 2000).

4.4.2 OGD'ye ilişkin kapsamın belirlenmesi

OGD'ye ilişkin kapsam ülkeden ülkeye;

- Başlatıcı olayların ele alınmasına göre (iç başlatıcı olaylar, iç tehlikeler, dış tehlikeler)
- Santralin işletme durumuna göre (tam güçte, düşük güçte ya da santralin kapalı olduğu durumda)
- Radyoaktif kaynakların ele alınmasına göre (sadece kordaki yakıtlar ya da kordaki yakıtlar ile birlikte yakıt havuzunda bulunan yakıtlar)
- Değerlendirilen kriterlere göre (KHF'nin değerlendirildiği seviye 1 OGD, korunak binası fonksiyonunun, salım seviyelerinin ve frekansının değerlendirildiği seviye 2 OGD ve çevre ve halk sağlığı için risk frekansının değerlendirildiği seviye 3 OGD)

değişiklik gösterebilmektedir (OECD/NEA, 2012).

Bazı ülkeler seviye 1 iç olaylara ilişkin OGD'yi yeterli görmektedir. Bununla birlikte, düşük güç ve reaktörün kapalı olduğu durumları, iç tehlikeleri (yangın, su basması vs. gibi) ve dış tehlikeleri (sahaya bağlı olarak deprem, kuvvetli rüzgar, sel vs. gibi) içerecek şekilde seviye 1 OGD'nin kapsamının genişletilmesi mümkündür. Bazı ülkelerde OGD'nin kapsamı, yakıt havuzunun değerlendirilmesi ve/veya birden fazla reaktör ünitesi bulunan sahalar için çoklu ünitelerin değerlendirilmesi şeklinde genişletilmiştir. Bazı ülkelerde ise seviye 1 OGD'ye ek olarak, radyolojik salım hesaplarının yapılmadığı ancak korunak binası fonksiyonunun hesaba katılarak KHF'nin radyolojik salım kategorilerine sınıflandırıldığı seviye 1,5 OGD veya frekansın ve radyolojik salım seviyelerinin değerlendirildiği seviye 2 OGD de istenmektedir. Çevre ve halk sağlığı için santralin risk analizinin yapıldığı seviye 3 OGD ise dünyada sadece birkaç santral için gerçekleştirilmiştir (OECD/NEA, 2012).

4.4.3 OGD'ye ilişkin kriterlerin tanımlanması

OGD'ye ilişkin düzenleyici kurumlarca belirlenen kriterler niteliksel ve niceliksel olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Niteliksel kriterler genellikle olasılıksal olarak ifade edilmemekte, riske ilişkin olarak belirlenmektedir. Örneğin; ABD'nin 51 FR 30028 kodlu politik beyannamesinde yer verdiği, "Toplumun bireysel üyeleri için, kişilerin hayatına ve sağlığına önemli derecede ek risk getirmeyecek bir seviyede, nükleer güç santrallerinin işletilmesinin sonuçlarından koruma sağlanmalıdır." kriteri niteliksel bir kriterdir (US NRC, 1986). Bu tür niteliksel kriterler risk değerlendirmesi gerektirmektedir. Risk değerlendirmesinin sistematik ve kapsamlı bir aracı olan OGD ile niceliksel veriler üretilmekte, söz konusu niteliksel kriterleri karşılayan niceliksel kriterler ile riske ilişkin bir değerlendirmenin yapılması mümkün olmaktadır. Risk bilgisine ilişkin OGD'den elde edilen niceliksel verilere tezin 'Olasılıksal Güvenlik Değerlendirmesi Temel Bilgiler' başlığı altında yer verilmiştir.

5 OLASILIKSAL GÜVENLİK DEĞERLENDİRMESİNE İLİŞKİN ÜLKE YAKLAŞIMLARI

Tezin bu kısmında, UAEA, ABD, Rusya Federasyonu, Finlandiya, Japonya ve Türkiye'nin NGS'lerin lisanslanması aşamasında ve NGS'lerin işletilmesi sırasında OGD'ye nasıl yaklaştığı üzerinde durulacaktır. Bu bölüm ile uluslararası düzenlemelerde OGD'nin yasal bağlayıcılığı, gereklilik olarak mı yoksa endüstriyel uygulamalar kapsamında mı ele alındığı, ülkelerce risk ölçütlerinin belirlenip belirlenmemesi, belirlenmiş ise bu ölçütlerin niceliksel mi yoksa niteliksel mi olduğu ve güvenlik kriteri olarak mı yoksa güvenlik hedefi olarak mı kullanıldığı (yani mevzuatında katı veya esnek bir biçimde yer alıp almadığı), değerlendirmeler sırasında OGD'nin hangi kapsamda talep edildiği, ülkelere OGD'nin hangi alanlarda ne şekilde kullanıldığı, değerlendirme çıktılarının nasıl ele alındığı, OGD'nin, lisanslamanın ve santralin diğer güvenlik değerlendirmelerinin hangi aşamasında ne şekilde sunulmasının uygun görüldüğü gibi hususların ortaya konulması amaçlanmaktadır.

5.1 Uluslararası Atom Enerji Ajansı Yaklaşımı

UAEA lisanslama sırasında OGD'nin, deterministik güvenlik değerlendirmesi ile birlikte karar verme sürecinde temel teşkil etmesini gerekli görmektedir. UAEA'nın genel güvenlik gereklilikleri dokümanlarından biri olan GSR Part 4'ün 4.13'üncü maddesinde "Güvenlik değerlendirmesi, güvenliğini tehdit edecek unsurlar değerlendirilirken, deterministik ve olasılıksal yöntemleri içerecek şekilde bir dizi farklı sayısal analizden oluşmalıdır." ifadesine yer verilmektedir. UAEA'nın yine aynı dokümanının 4.53'üncü maddesine göre deterministik ve olasılıksal yaklaşımlar birbirlerinin tamamlayıcısı olarak görülmekte ve tümleşik karar alma sürecine girdi sağlamada birlikte kullanılması gerektiği belirtilmektedir. Ayrıca, 5.8'inci maddesinde, güvenlik değerlendirmesinin sonuçlarının tümleşik, risk tanımlı yaklaşımlar kullanılarak yorumlanması gerektiği ifade edilmekte, işletme veya faaliyet ile ilişkili güvenliğini ilgilendiren konularda karar verilirken deterministik, olasılıksal ve diğer gerekliliklerin sağladığı sonuçlar ve fikirler ışığında değerlendirme yapılması gerektiği belirtilmektedir (UAEA, 2016). UAEA, GSR Part 4 dokümanı ile OGD'nin bir gereklilik olduğunu ortaya koymaktadır.

UAEA, OGD'ye ilişkin sayısal güvenlik hedeflerine, INSAG 12 kodlu 'Nükleer Güç Santralleri için Temel Güvenlik İlkeleri' isimli tavsiye niteliğinde olan dokümanlarında değinmektedir. UAEA, INSAG 12 dokümanında, seviye 1 OGD güvenlik hedefi olarak, işletmede olan NGS'ler için KHF'nin her bir reaktör yılında 10^{-4} olmasını tavsiye ederken, seviye 2 OGD güvenlik hedefi olarak ciddi kaza yönetimi ve sonuçlarının hafifletilmesine ilişkin kısa zamanlı saha dışı önlemlerin alınmasını gerekli kılacak (erken) büyük salım frekansının en az 10 faktör düşük olması gerektiğini tavsiye etmektedir. Bu tanıma göre, UAEA işletmede olan NGS'ler için BESF'nin her bir reaktör yılı için 10^{-5} olmasını önermektedir. Yine aynı dokümana göre, kurulması planlanan NGS'ler için KHF her bir reaktör yılında 10^{-5} olarak tavsiye edilmektedir. Bununla birlikte, INSAG 12 veya diğer UAEA dokümanlarında kurulması planlanan NGS'ler için seviye 2 OGD'ye ilişkin herhangi bir sayısal güvenlik hedefi sunulmamaktadır. Bunun yerine, INSAG 12'de "Kurulması planlanan nükleer güç santralleri için diğer bir hedef büyük ve erken radyoaktif salıma giden kaza senaryolarının pratik olacak şekilde bertarafının sağlanmasıdır" şeklinde ifade edilen niteliksel kriter yer almaktadır (UAEA, 1999)

UAEA'nın, SSG-3 kodlu 'Nükleer Güç Santralleri için Seviye 1 Olasılıksal Güvenlik Değerlendirmesinin Geliştirilmesi ve Uygulamaları' isimli kılavuzunda ise düzenleyici kurumların karar alma sürecinde kullanacakları değerlendirme kriterlerine ilişkin tavsiyeleri yer almaktadır. Bu dokümanın amacı, genel güvenlik gerekliliklerinden olan bir NGS'nin güvenli bir şekilde tasarımının ve işletilmesinin desteklenmesi ve seviye 1 OGD'nin gerçekleştirilmesi için tavsiyeler vermektir. Dokümanda, seviye 1 OGD'nin kapsamı tüm işletme durumlarını (tam güç, düşük güç ve reaktörün kapalı olduğu durumlar), iç tehlikeleri(yangın, su basması vs.) ve dış tehlikeleri(deprem, kuvvetli rüzgar, sel vs.) içerecek şekilde belirlenmiştir. Bununla birlikte, dokümanda sadece kor içerisinde bulunan yakıtlar ele alınmış olup, yakıt havuzu gibi kor dışında bulunan diğer radyoaktif kaynaklar değerlendirme kapsamı dışında tutulmuştur UAEA, OGD'nin kapsamını daha çok ülkelerin kendi uygulamalarına bırakmıştır. Ancak, bir nükleer tesis sahası yakınında bulunan halkın toplam riskinin değerlendirilmesi için kor içinde ve dışında bulunan bütün radyoaktif kaynakların ele alınması tavsiye edilmektedir (UAEA, 2010).

Dokümanın 4, 5, 6, 7, ve 8. kısımlarında tam güçte gerçekleştirilmiş seviye 1 OGD değerlendirilirken nelere dikkat edilmesi gerektiği üzerinde durulmuştur. 9. kısımda ise

düşük güç ve santralin kapalı olduğu durumlar için gerçekleştirilmiş seviye 1 OGD'nin değerlendirilmesine ilişkin tavsiyeler yer almaktadır. Bu kısımlarda OGD'nin nasıl yapılması gerektiğine ilişkin bilgiler sunulmak ile birlikte, bu tezin amacı OGD'nin nasıl yapıldığından ziyade, OGD'nin lisanslamadaki yeri ve öneminin ve ülkemiz düzenleme faaliyetlerinde nerelerde kullanılabileceğinin ortaya konması olduğu için ülke yaklaşımları bölümünde bu kısımlar üzerinde durulmamıştır.

SSG-3 dokümanının 10. kısmında OGD çalışmalarından elde edilen sonuçların düzenleyici kurumlarca nerelerde ve ne şekilde kullanılabileceğine ilişkin öneriler sunulmakta ve değerlendirme çıktılarının nasıl ele alınması gerektiği üzerinde durulmaktadır. Bu dokümana göre, OGD'den elde edilen çıktılar risk tanımlı yaklaşımların bir parçası olarak karar alma sürecinde kullanılmalıdır. Böylece, bütün ilişkili etkenlerin dikkate alındığı dengeli bir karar alma sürecinin temini sağlanmış olmaktadır. Santralin tüm ömrü boyunca tasarıma ilişkin olarak OGD'nin;

- Gerek güvenlik sistemleri ve yardımcı sistemlerin önerilen tasarımlarının gerekse santralin yerleşim planının yeterli ve uygun olduğunun gösterilmesinde,
- Tasarıma ve güvenlik analizine ilişkin yeni veriler dikkate alınarak ayrıntılı tasarım ve inşaat aşamaları boyunca güncellenmesinde,
- İşletmedeki santraller için güncellenmiş OGD'nin sağlanması ile işletmeye, PGD'ye ve santralin ömrünün uzatılmasına ilişkin meselelerde karar verme ve önerilen tasarımsal ve işletimsel değişikliklerin yeterliliğine dair fikir sağlaması açısından veri sağlamasında

kullanılması önerilmektedir. OGD sonuçlarının, tasarım ve işletim zayıflıklarının tanımlanması ve tasarıma veya işleme ilişkin iyileştirmelerin değerlendirilmesi, bu iyileştirmeler için sunulan farklı seçenekler arasında derecelendirme yapılması amacıyla kullanılması gerektiği ifade edilmektedir. OGD sonuçları, kor hasarını önlemede kullanılan güvenlik sistemleri ve güvenlik ile ilgili sistemlerin tasarım ve işletimine ilişkin bilgiler vermede kullanılmalı ve bu sonuçların risk kriterleri veya hedefleri ile uyumu karşılaştırılmalıdır (UAEA, 2010).

Daha önce belirtildiği üzere, SSG-3 dokümanının 10.11'inci maddesinde, OGD sonuçlarından maksimum seviyede fayda sağlanması için, tasarımın değerlendirilmesi

sırasında kullanılan OGD'nin tam kapsamlı bir şekilde ele alınması gerektiği ifade edilmektedir. Böylece, OGD ile santralin tasarımına ve işletimine ilişkin hususların hemen hemen tamamının ele alınması mümkün olmaktadır. Aynı dokümanın 10.12'inci maddesine göre ise ayrıntılı niceliksel veriler (başlatıcı olay gruplarının ve hata serilerinin frekansları, temel olaylar için önem değerleri) ve OGD'den elde edilen niteliksel veriler ışığında tasarıma ilişkin değerlendirme yapılmalıdır. Bu kapsamda, risk kriterleri veya hedeflerinin, hata serilerinin ve önem değerlerinin, değerlendirme sırasında fikir oluşturma açısından kullanılması söz konusudur. SSG-3'de kullanılması gereken bu değerlere ilişkin şu ifadeler yer almaktadır (UAEA, 2010):

- Santralin önerilen tasarımı ve işletimi için riskin yeterince düşük olduğunu temin edecek şekilde risk kriterleri veya hedefleri ile karşılaştırılması gerekmektedir. Böylece, risk kriterlerinin veya hedeflerinin karşılanıp karşılanmadığının belirlenmesi ve kor hasarını önlemek için santral tasarımı ve işletimi ile uyumlu güvenlik seviyelerinin yeterli düzeyde sağlanıp sağlanmadığı, yani güvenlik sistemlerinin ve ADİP'lerin yerinde olup olmadığı konusunda bir gösterge sağlanması amaçlanmaktadır. Aynı değerlendirme seviye 2 OGD için de geçerlidir.
- Risk kriterleri veya hedefleri ile karşılaştırma işleminin tasarım aşaması, inşaat aşaması ve işletme aşaması dahil tüm aşamalarda yapılarak tasarımın yeterli olduğuna ilişkin kontrollerin yapılması gerekmektedir. Bu karşılaştırmalar yapılırken gerçekleştirilen belirsizlik ve hassasiyet sonuçları da dikkate alınmalıdır.
- Santralin tasarımında veya işletilmesindeki zayıflıkların tanımlanmasında seviye 1 OGD'den elde edilen hata serileri kullanılmalıdır. Bu değerlendirme, KHF'ye önemli seviyede katkısı olan başlatıcı olay gruplarının veya KHF'ye önemli seviyede katkısı olan güvenlik fonksiyonlarının bulunduğu hata serileri için gerçekleştirilmelidir. Ayrıca, önem değeri yüksek temel olayları içeren hata serileri de değerlendirme kapsamında dikkate alınmalıdır.
- Tasarımın dengeli olduğunun değerlendirilmesi sırasında, KHF'ye katkılar dikkate alınarak, herhangi bir başlatıcı olay grubunun veya herhangi bir kaza senaryosunun KHF'ye önemli seviyede katkı yapmaması temin edilmelidir. Aynı değerlendirme seviye 2 OGD için de geçerlidir.

- Hata serisi listeleri aynı zamanda tek hata kriteri ile uyumsuz bir şekilde, güvenlik sistemleri için tek bir bileşenden oluşan hata serilerinin olup olmadığının gösterilmesinde de kullanılmalıdır.
- Riske önemli ölçüde katkısı bulunan sistem ve bileşenlerin tanımlanmasında önem değerleri dikkatli bir şekilde yorumlanmalı, santralin tasarımı veya işletimi sırasında gerekli olan iyileştirmelerin belirlenmesinde bu değerler kullanılmalıdır. Yüksek bir FV veya Birnbaum önem değeri santraldeki söz konusu sisteme ilişkin bazı işletme koşulları için yedekliliğin yetersiz olduğunun bir göstergesi olabilmekte ve bu durum santralde bir iyileştirmeye gidilmesinin gerekliliğini gösterebilmektedir. Böyle durumlarda ya sistemin yedekliliği artırılır ya da mümkünse sistemin işletimine ilişkin bazı sınırlamalar getirilir.
- Yüksek bir risk artış önem değeri ise o ekipman için güvenilirlik seviyesinin dikkatli bir şekilde sağlanması gerektiğini göstermektedir.
- Bir ortak neden arızası için yüksek bir FV önem değeri ise bir güvenlik fonksiyonuna ilişkin güvenlik sistemlerindeki çeşitliliğin yetersiz olduğu ile ilgili bilgi verebilmektedir. Bu durumda, tasarımda önemli bir değişikliğe gidilme ihtiyacı duyulabilmektedir.

SSG-3’de yer alan bu ifadelerden de anlaşılacağı üzere, OGD sadece bir santralin kurulması ile oluşabilecek riske ilişkin bilgi vermemekte, aynı zamanda OGD’nin sunduğu önem değeri veya KHF’ye katkı gibi niceliksel ve hata serilerine ilişkin niteliksel veriler ışığında santralin zayıf noktalarına, tasarımın dengeli olup olmadığına, güvenlik açısından en kritik başlatıcı olaylara, güvenlik açısından en kritik sistemlere, tek hata kriterine uygunluğa, yedeklilik ve çeşitlilik düzeylerine ilişkin değerlendirmelerin yapılması da mümkün olmaktadır. Böylece, OGD sadece santral düzeyinde değil, fonksiyon, sistem ve bileşen düzeyinde değerlendirmelere de olanak sağlamaktadır. Aynı zamanda, iç olayları ve dış olayları da içeren bir OGD sayesinde ekipmanların bu durumlara dayanımı ve fiziksel ayırma konularında da değerlendirme yapmak mümkün olmaktadır.

SSG-3 dokümanının 10.23’üncü maddesinde OGD sonuçlarının aşağıdaki yorumların yapılmasında kullanılması gerektiği belirtilmektedir:

- Güvenlik sistemlerinin çeşitlilik ve yedekliliklerinin yeterli seviyede olduğunun gösterilmesinde,

- Kaza durumlarında sert koşullara maruz kalan YSB ekipman niteliklerinin yeterli seviyede olduğunun gösterilmesinde,
- Yangın ve su basması gibi olaylarda yeterli fiziksel ayrımın olduğunun gösterilmesinde,
- Olası insan hatalarını yeterince düşük seviyeye getirecek insan-makine arayüz tasarımlarının yeterli olduğunun gösterilmesinde,
- Tasarımın dengeli olduğunun veya riskin azaltılması için ilave tedbirlerin alınması gerekliliğinin gösterilmesinde (UAEA, 2010).

Santrale ilişkin zayıflıklar tanımlanırken, seviye 1 OGD sonuçlarındaki belirsizlikler dikkate alınmalı, hassasiyet çalışmalarından elde edilen bilgiler ışığında değerlendirme yapılmalıdır (UAEA, 2010).

OGD çıktılarının aynı zamanda tasarıma ilişkin iyileştirme seçeneklerinin karşılaştırılması amacı ile kullanılabileceği yine bu dokümanda ortaya konulmaktadır. SSG 3 dokümanının 10.25'inci maddesinde bir NGS'de tasarıma ilişkin değişiklik öngörüldüğünde birçok seçeneğin var olduğu, bu seçenekler arasında karşılaştırma yapılırken seviye 1 OGD'nin de tümleşik risk tanımlı yaklaşımlar çerçevesinde bir girdi olarak kullanılması gerektiği belirtilmektedir (UAEA, 2010).

SSG-3 dokümanının 10.31'inci maddesinde ise işletme, bakım ve test faaliyetleri için sınır ve koşulların yer aldığı teknik spesifikasyonların gerekliliklerinin belirlenmesinde risk tanımlı yaklaşımların kullanılması tavsiye edilmektedir. Böylece, santralin güvenliğini tehdit edecek unsurların risk önemi ile ilgili tutarlı bir değerlendirme yapılmasının mümkün olması sağlanmaktadır. OGD'den elde edilen veriler (UAEA, 2010):

- İİDKS için sınır koşullarının gerekçelendirilmesine bir girdi sağlamaktadır,
- Bakım faaliyetleri sırasında reaktörün tam güçten düşük güce geçirilmesine veya reaktörün kapatılmasına karar verilmesinde girdi sağlamaktadır. OGD, tam güç, düşük güç veya reaktörün kapalı olduğu durumlardaki risklerin karşılaştırılmasında kullanılmaktadır,
- Gözetim test aralıklarının optimizasyonunda girdi sağlamaktadır,
- Test stratejilerinin değiştirilmesi ile (örneğin; aşamalı teste geçilmesinde) KHF'de meydana gelen değişimin tanımlanmasında kullanılmaktadır. Ortak nedenli arıza

olasılıklarında ve test sırasındaki olası insan hatalarındaki değişimler dikkate alınarak tekrar bir değerlendirme yapılmaktadır.

Kısacası, SSG-3 dokümanına göre teknik spesifikasyonların gerekçelendirilmesinde, İİDKS'nin ve gözetim test aralıklarının optimizasyonunda, test stratejilerinin belirlenmesinde ve sınır koşullarının tanımlanmasında OGD'den yararlanılabileceğine değinilmektedir.

UAEA'nın SSG-3 dokümanında risk izleme çalışmalarının yapılmasını tavsiye eden açık bir ifadeye yer verilmemektedir. Ancak, 10.36-10.54 maddelerinde risk izleme çalışmalarından elde edilen verilerin günlük bakım planlarının yapılmasında fayda sağladığı belirtilmekte, bu kapsamda risk izleme çalışmaları için OGD modelinin, yazılımının ve bu yazılımın kullanımının esasları ortaya konulmaktadır. SSG-3 dokümanının 10.53'üncü maddesinde, risk izleme ile elde edilen niceliksel ve niteliksel risk bilgisinin, uyulması zorunlu gereklilikler (teknik spesifikasyonlar gibi) ve deterministik gereklilikler (derinlemesine savunma ilkesi gibi) ile birlikte, risk tanımlı yaklaşımlarda tümleşik karar alma sürecinin bir parçası olarak kullanımı tavsiye edilmektedir (UAEA, 2010).

HİD'ler için de risk tanımlı yaklaşımların kullanılabildiğine SSG-3 dokümanında yer verilmektedir. Bu dokümanda, OGD'den elde edilen bilgilerin risk tanımlı yaklaşımlar çerçevesinde denetim programlarının (denetimin sıklığı, kullanılan metotlar, örnek boyutu vb.) yeniden oluşturulmasında, riskin en yüksek olduğu borulara odaklanılmasında ve riskin düşük olduğu borulardaki denetimlerin azaltılmasında kullanıldığı belirtilmektedir. OGD'den elde edilen verilerin;

- Risk tanımlı HİD sırasında değerlendirmeye alınacak boru parçalarının belirlenmesi faaliyetinde,
- Boru parçalarının risk öneminin belirlenmesi faaliyetinde,
- Denetlenecek boru parçalarına ilişkin olarak risk hedefleri ile uyumun kontrol edilmesi faaliyetinde,
- HİD programının değiştirilmesi ile riskteki değişimin belirlenmesi faaliyetinde

kullanılması tavsiye edilmektedir (UAEA, 2010).

Risk tanımlı yaklaşımların bir diğer kullanım alanı olan HİT'lere de SSG-3 dokümanında yer verilmektedir. Bu dokümanda, HİT programlarının optimize edilmesinde, böylece risk açısından en önemli bileşenlere odaklanılmasında OGD'nin kullanılması tavsiye edilmektedir. HİT'ler için risk tanımlı yaklaşımların kullanılması ile bakım masraflarının düşürüleceğine ancak yine de yüksek seviyede güvenliğin sağlanılacağına değinilmektedir. SSG-3 dokümanının 10.68'inci maddesinde, OGD'den elde edilen risk bilgisinin, yüksek öneme sahip bileşenler için katı HİT programlarının uygulanmasında kullanılması, düşük öneme sahip bileşenler için ise daha esnek HİT programlarının uygulanmasında kullanılması tavsiye edilmektedir. Ayrıca, HİT zaman aralıklarının değiştirilmesi durumunda, OGD'nin de güncellenerek KHF'nin kabul edilebilir bir seviyede kaldığının gösterilmesi gerektiği aynı dokümanda belirtilmektedir (UAEA, 2010).

SSG-3 dokümanının 10.78'inci maddesine göre işletme olaylarının analizinde OGD kullanılabilmektedir. Olay analizinin amacı, olayların risk önemlerinin belirlenmesi ve risk önemine göre gerekli tedbirlerin alınmasıdır. 10.81'inci maddede ise sonuçların karşılaştırılabilmesi için koşullu kor hasar olasılığının değerlendirilmesi gerektiği belirtilmektedir. Bu maddeye göre, olay analizleri, "Olursa ne olur?" sorusuna yanıt arayan hassasiyet çalışmaları ile desteklenmelidir. Örneğin; "Eğer operatör olaya doğru bir şekilde müdahale etmeseydi koşullu kor hasar olasılığı ne olurdu?" gibi sorular ile riske katkı sağlayacak durumların anlaşılması sağlanmalıdır. Bu sorulara getirilen cevaplar, niteliksel sonuçlar ile desteklenmelidir. 10.82'inci maddede ise OGD'ye dayanan olay analizlerinin deterministik analizlerin tamamlayıcısı olarak gerçekleştirilmesi ve bu işletme olaylarının tekrarlanma olasılıklarının azaltılması için hangi değişikliklerin yapılabileceğinin değerlendirilmesi gerektiği ifade edilmektedir.

OGD'den elde edilen bilgiler ışığında risk tanımlı yaklaşımların, düzenleyici kurumun aktivitelerinde de kullanılabileceği SSG-3 dokümanının 10.84'üncü maddesinde belirtilmektedir. Bu dokümana göre düzenleyici kurumlar düzenlemelerini oluştururken OGD verilerinden aşağıda sunulduğu şekilde faydalanabilmektedir (UAEA, 2010);

- Varolan düzenlemelerde yer almayan risk açısından önemli konuların tanımlanması, böylece gerekli düzenlemelerin oluşturulmasında,
- Varolan düzenlemelerin görece risk önemlerinin belirlenmesinde, böylece risk önemine göre bu düzenlemelerin yeniden gözden geçirilmesinde,

- Düzenlemelerin gereksiz ve etkisiz kısımlarının tanımlanmasında, böylece bu kısımların düzenlemelerden çıkarılmasında.

Aynı zamanda, OGD'den elde edilen verilerin düzenleyici kurum aktivitelerinin optimize edilmesinde ve önceliklendirilmesinde kullanıldığına da bu dokümanda değinilmektedir. Örneğin; düzenleyici kurum tarafından gerçekleştirilen denetimler için önceliklerin tanımlanmasında, böylece santralin tasarımı ve işletimi açısından yüksek önem derecesine sahip noktalara odaklanılmasında OGD önemli bir araç olarak kullanılabilir (UAEA, 2010).

5.2 Amerika Birleşik Devletleri Yaklaşımı

NRC'nin, lisans sahiplerinden OGD'ye ilişkin ilk analizlerini istemesi, 8 Ağustos 1985 tarihinde yayımladığı 'Gelecekte İnşa Edilecek ve Mevcut Santraller için Ciddi Kazalar' isimli politik beyannamesine dayanmaktadır. Bu beyanname ile toplum sağlığı ve güvenliğine ilişkin gereksiz riskten kaçınmak için, mevcut tesislerin zayıflıklarını ve istenen maliyet etkin değişiklikleri incelemek üzere sistematik bir güvenlik incelemesi yaklaşımının formüle edilmesi planı ele alınmıştır (US NRC, 1985). Bu plan gereği, 1988 senesinde bütün lisans sahiplerine, Santral Özelinde İnceleme (**Individual Plant Examination**) (IPE) programı kapsamında OGD analizlerinin gerçekleştirilmesinin istendiği bir genel mektup gönderilmiştir. GL 88-20 kodlu mektuba göre, bütün mevcut santrallerde ciddi kazalara ilişkin santrale özgü zayıflıkların tanımlanması için iç olayların (su basması dahil) incelendiği bir OGD çalışması gerçekleştirilmelidir. Bu çalışmanın amacı (US NRC, 1988);

- Ciddi kaza davranışının gelişimini değerlendirmek,
- Santrale özgü gerçekleşebilecek en olası ciddi kaza senaryolarını tanımlamak,
- Kor hasarı ve fizyon ürünü salınımlarının olasılıklarına dair sayısal tanımlar elde etmek,
- Eğer gerekiyorsa, ciddi kazaların engellenmesini veya sonuçlarının hafifletilmesini sağlayacak değişiklikler ile kor hasarı ve fizyon ürünü salınım olasılıklarının azaltılmasını sağlamaktır.

1991 senesinde, NRC tarafından, bu mektuba iliştirilen ek-4 (General Letter 88-20, Supplement 4) ile Dış Olaylar için Santral zelinde İnceleme (***Individual Plant Examination of External Events***) (IPEEE) programı kapsamında dış olayların ve i yangınların da dahil edildiği bir OGD'nin gerçekleştirilmesi talep edilmiştir. Bu mektupta, IPE programına dahil edilmesi gereken olaylar; sismik olaylar, i yangınlar, kuvvetli rüzgarlar ve tornadolar, dış su basmaları, nakliye ve yakın tesis kazaları olarak belirlenmiştir. Mektupta, dış olaylara ve i yangına ilişkin kabul edilebilir yaklaşımlara da değinilmektedir (US NRC, 1991). Böylece, uygulamada bütün mevcut santrallerin tam kapsamlı seviye 1 ve sınırlı kapsamlı seviye 2 OGD'si gerçekleştirilmiştir.

Bununla birlikte, düzenleyici faaliyetlere ilişkin karar verme sürecinde OGD'nin kullanımına 16 Ağustos 1995 tarihinde yayımlanan politik beyannameden sonra karar verilmiştir. Söz konusu politik beyannamede, OGD'den elde edilen verilerin üç alanda kullanımının tavsiye edildiği görülmektedir. Bu alanlar, NGS'lerin güvenliğinin geliştirilmesine ilişkin karar alma, NRC kaynaklarının daha etkin kullanımının sağlanması ve lisans başvuru sahiplerine yönelik gereksiz zorunlulukların azaltılmasıdır. 60 FR 42622 kodlu politik beyannameye göre (US NRC, 1995);

“(1) OGD teknolojisinin kullanımı, bütün düzenleyici konularda OGD yöntem ve verilerindeki gelişmeler ışığında, NRC'nin deterministik yaklaşımını tamamlayacak ve NRC'nin geleneksel derinlemesine savunma ilkesini destekleyecek şekilde artırılmalıdır,

(2) OGD ve ilgili analizler (rn; hassasiyet çalışmaları, belirsizlik analizleri ve önem değerleri), gelişmelerin izin verdiği lde, düzenleyici gerekler, kılavuzlar, lisans yükümlülükleri ve düzenleyici kurum personel uygulamalarındaki gereksiz tutuculuğun azaltılması için düzenleyici konularda kullanılmalıdır. Uygun olduğu hallerde, OGD, 10 CFR 50.109 uyarınca ilave düzenleyici gereklerin önerilmesini desteklemede kullanılmalıdır. Düzenleyici gereklerin OGD'ye yer vererek değiştirilmesi için uygun prosedürler geliştirilmeli ve izlenmelidir,

(3) Düzenleyici kararların desteklenmesinde kullanılan OGD, uygulanabildiği ölçüde gerçekçi olmalı ve uygun destekleyici veriler, gözden geçirilmek üzere kamuya açık olmalıdır,

(4) Nükleer güç santali lisans sahiplerine, gerekmesi durumunda önerilen ve lisans sahiplerinin iyileştirmesi beklenen yeni gereksinimler ile ilgili düzenleyici kararların alınması sırasında, belirsizlikler de uygun bir şekilde değerlendirilerek, Komisyon'un güvenlik amaçları ve tamamlayıcı sayısal hedefleri kullanılır.”

İlk maddeden de anlaşılacağı üzere, NRC risk tanımlı yaklaşımları benimsemiş olup, olasılıksal yaklaşımları, deterministik yaklaşımların bir tamamlayıcısı olarak görmektedir. NRC, sadece deterministik yaklaşımlar veya sadece OGD çıktılarının risk kriterleri ile uyumunun incelendiği riske dayalı yaklaşımlar yerine tümleşik bir süreç olan risk tanımlı yaklaşımları düzenleyici konularda kullanmayı uygun görmektedir. Aynı beyannamenin ikinci maddesine bakıldığında ise, OGD'nin sadece düzenleyici kararların alınmasında değil, aynı zamanda deterministik olarak belirlenen düzenlemelerden tutucu olanların daha esnek hale getirilmesi amacı ile de kullanılması önerilmektedir. NRC, 60 FR 42622 kodlu politik beyannamesinin ardından, düzenlemelerinde geleneksel deterministik yaklaşımlar yerine, 'risk-tanımlı performansa-dayalı' yaklaşımları benimsemiş olup, bu şekilde gereksiz tutuculuktan kaçınmayı amaç edinmiştir. Üçüncü maddede ise OGD'nin olabildiğince gerçekçi yapılması gerektiği belirtilmekte, bu nedenle, OGD'de belirsizlikler doğrudan, yani analizin yapılmasının ardından elde edilen verilere uygulanmaktadır.

NRC, Komisyon'un 60 FR 42622 kodlu politik beyannamesinin ardından, OGD'nin düzenleyici faaliyetlerde daha aktif bir şekilde kullanılması amacıyla, düzenlemelerinde ve prosedürlerinde bazı değişikliklere gitmiştir. Bu kapsamda, ilk olarak 1998 senesinde çıkardığı ve ayrıntılarına daha sonra yer verilecek olan aşağıdaki kılavuzları geliştirmiştir;

- RG 1.175 kodlu 'Hizmet İçi Testlere Yönelik Santrale Özgü, Risk Tanımlı Karar Alma Yaklaşımları'
- RG 1.176 kodlu 'Dereceli Kalite Teminine Yönelik Santrale Özgü, Risk Tanımlı Karar Alma Yaklaşımları' (Kullanılan yöntemlerin kabul edilebilir olmaması nedeni ile daha sonra geri çekilmiştir (US NRC, 2008)).

- RG 1.177 kodlu ‘Teknik Spesifikasyonlara Yönelik Santrale Özgü, Risk Tanımlı Karar Alma Yaklaşımları’
- RG 1.178 kodlu ‘Hizmet İçi Boru Denetimlerine Yönelik Santrale Özgü, Risk Tanımlı Karar Alma Yaklaşımları’

NRC, lisanslama faaliyetlerini 10 CFR 50 ve 10 CFR 52’ye göre iki farklı şekilde gerçekleştirmektedir. 1989 senesine kadar lisanslama faaliyetleri 10 CFR 50’ye göre inşaat izni ve işletme lisansı olarak iki farklı aşamada gerçekleştirilmiştir. 1989 senesinde yürürlüğe giren 10 CFR 52 ile birlikte diğer bir yaklaşım olan tümleşik lisanslama yöntemi ve tasarım sertifikasyonu süreçleri gündeme gelmiştir. İnşaat izni ve işletme lisansı aşamalarının birlikte yürütüldüğü süreç tümleşik lisanslama olarak bilinmek ile birlikte, tasarımın bir sahadan bağımsız olarak güvenliğinin değerlendirildiği süreç ise tasarım sertifikasyonu olarak bilinmektedir.

10 CFR 50’ye göre yürütülen lisanslama süreci için değerlendirmek üzere istenen teknik bilgiler 10 CFR 50.34’de belirtilmiş olup, nasıl sunulması ile ilgili detaylı bilgilere RG 1.70 kodlu ve ‘Nükleer Güç Santralleri için Güvenlik Analizi Raporunun Standart Format ve İçeriği’ isimli kılavuzunda yer verilmektedir. 10 CFR 52’ye göre yürütülen lisanslama süreci için değerlendirmek üzere istenen teknik bilgiler ise tasarım sertifikasyonu için 10 CFR 52.47’de, tümleşik lisanslama için ise 10 CFR 52.79’da belirtilmiş olup, nasıl sunulması ile ilgili detaylı bilgilere RG 1.206 kodlu ve ‘Nükleer Güç Santralleri için Tümleşik Lisanslama Uygulamaları’ isimli kılavuzda yer verilmektedir.

Tasarım sertifikasyonu için yapılan başvurularda sunulması gereken teknik bilgilerin ortaya konulduğu 10 CFR 52.47 kodlu dokümanın (a) (27) maddesinde, tasarıma özgü OGD’nin sonuçları ile birlikte sunulması gerektiği belirtilmektedir (US NRC, 2017). Aynı şekilde, tümleşik lisanslama süreci için sunulması gereken bilgilerin ortaya konulduğu 10 CFR 52.79 kodlu dokümanın (a) (46) maddesinde, santrale özgü OGD’nin sonuçları ile birlikte sunulması gerektiği ifade edilmektedir (US NRC, 2017a). Bu kapsamda, RG 1.206 kodlu kılavuzda, OGD’nin GAR’ın 19. bölümünde sunulması tavsiye edilmektedir (US NRC, 2007a).

İki aşamalı lisanslama başvurularında sunulması gereken GAR detaylarının belirlendiği RG 1.70 kodlu dokümanda ise OGD’ye ilişkin bilgi yer almamaktadır. RG 1.70 kodlu

dokümanın en son revizyonunun 1978 tarihinde yapılmış olması ve o tarihlerde OGD'nin güvenlik değerlendirmesinde kullanımının henüz gündemde olmaması nedeniyle OGD'ye bu dokümanda yer verilmemektedir. Bununla birlikte, NRC personelinin 2014 senesinde Thomas Kevern liderliğinde RG 1.70'ye ilişkin yaptığı periyodik değerlendirmede, RG 1.70'in geliştirilmesinden bu zamana kadar kılavuzlarda bir çok güncelleme olduğu, bu nedenle başvuru sahipleri tarafından bu kılavuzun artık kullanılmadığı belirtilmektedir. Aynı değerlendirmede, başvuru sahiplerinin artık RG 1.206 kodlu kılavuzu kullandığı, bu nedenle RG 1.206 kodlu kılavuzun içeriğinin iki aşamalı lisanslama başvurularını da içerecek şekilde genişletilip, RG 1.70 kodlu kılavuzunun yerine kullanılması tavsiye edilmektedir (US NRC, 2014). Her ne kadar iki aşamalı lisanslama başvuruları için içerik kılavuzu olan RG 1.70'de OGD'ye yer verilmemiş olsa da, NRC başvuruları uygulamada RG 1.206'ya göre kabul etmekte, kurulması planlanan bütün santraller için OGD'yi talep etmektedir.

NRC, niteliksel ve niceliksel güvenlik hedeflerine 1986 senesinde yayımladığı 51 FR 30028 kodlu politik beyannamesinde yer vermektedir. Bu politik beyannamede yer alan niteliksel güvenlik hedeflerine göre (US NRC, 1986);

“-Toplumun bireysel üyeleri için, kişilerin hayatına ve sağlığına önemli derecede ek risk getirmeyecek bir seviyede, nükleer güç santrallerinin işletilmesinin sonuçlarından koruma sağlanmalıdır.

-Nükleer güç santrallerinin işletilmesinden kaynaklanan hayat ve sağlıkla ilgili toplumsal riskler, elektrik üretilen ve uygulanabilir olan diğer teknolojilerin riskleriyle karşılaştırılabilir veya bunlardan daha az olmalıdır ve diğer toplumsal risklere önemli bir katkı oluşturmamalıdır.”

İlk maddede bireysel riskden bahsedilmiş olup, NGS'lerden oluşabilecek risklerin bireylerin hayatı ve sağlığı açısından önemli bir katkı oluşturmaması gerektiği ifade edilmektedir. Diğer maddede ise, toplumsal riskten bahsedilmekte, elektrik üreten diğer teknolojilerden oluşacak riskin NGS'lerden oluşabilecek risk ile karşılaştırılabilir olması gerektiği belirtilmektedir.

Söz konusu niteliksel güvenlik hedefleri aynı dokümanda aşağıdaki niceliksel sağlık hedefleri ile desteklenmektedir (US NRC, 1986):

“-Nükleer güç santralının yakınlarında yaşayan ortalama bir birey için, reaktör kazasından dolayı ani ölümle sonuçlanabilecek risk, ABD nüfusunun genellikle maruz kaldığı diğer kazalardan kaynaklanan ani ölüm risklerinin toplamının %0.1’ini geçmemelidir.

-Bir nükleer güç santraline yakın bir alanda yaşayan nüfusun, nükleer güç santralının işletilmesinden kaynaklanabilecek kanserli ölüm riski, diğer tüm sebeplerden kaynaklanan kanserli ölüm risklerinin toplamının %0.1’ini geçmemelidir.”

NRC’nin RG 1.206 kodlu dokümanında, halk sağlığına ve güvenliğine ilişkin risklerin kabul edilebilirliğinin, santrale özgü OGD ve ciddi kaza değerlendirmelerinden elde edilen sonuçlar ve bilgiler ışığında tanımlanabileceği ifade edilmektedir (US NRC, 2007a). Bu amaçla, RG 1.174 kodlu ve ‘Lisanslamaya Temel Konularda Santrale Özgü Risk Tanımlı Kararlarda Olasılıksal Güvenlik Değerlendirmesinin Kullanımı için Yaklaşım’ isimli dokümanda ve diğer NRC dokümanlarında da belirtildiği üzere 51 FR 30028 kodlu politik beyannameye yer alan riske dair bu güvenlik hedeflerinin karşılanmasında, “Yardımcı risk ölçütleri (***subsidiary risk metric***)” adını verdikleri ve OGD’den elde edilen KHF ve büyük salım frekansı değerleri kullanılmaktadır. NUREG-1860 kodlu ve ‘Kurulması Planlanan Santrallerin Risk Tanımlı ve Performansa Dayalı Düzenleme Yapısı için Fizibilite Çalışması’ isimli dokümanın Ek-D kısmında KHF’nin niceliksel sağlık hedeflerinden (***quantitative health objectives***) ikinci maddede geçen potansiyel kanser riski yerine kullanılabileceği belirtilmektedir. Büyük salım frekansının ise niceliksel sağlık hedeflerinden ilk maddede geçen erken ölüm riski yerine kullanılabileceği ifade edilmektedir. Aynı dokümanın Ek-D kısmında KHF için 10^{-4} /reaktör yıl’ın ikinci maddede yer alan niceliksel sağlık hedefini karşıladığı, BESF için ise 10^{-5} /reaktör yıl’ın ilk maddede geçen niceliksel sağlık hedefini karşıladığı gösterilmektedir (US NRC, 2007b). Bu kapsamda, NRC, 51 FR 30028 kodlu politik beyannamesinde geçen niceliksel sağlık hedeflerinin karşılanmasında KHF’yi ve büyük salım frekansını göz önünde bulundurmaktadır.

NRC’nin RG 1.206 kodlu dokümanında, kurulması planlanan reaktörler için KHF’nin 10^{-4} /reaktör yıl, büyük salım frekansının ise 10^{-6} /reaktör yıl’dan düşük olması ifadesi yer almaktadır. Bu yardımcı risk ölçütleri hedef olarak tanımlanmış olup, katı bir şekilde kriter

olarak değerlendirilmemektedir. Dokümanda yardımcı risk ölçütlerinin bir hedef olduğu, düzenleyici bir gereklilik olmadığı bu nedenle bu hedefleri tutturmak için OGD sonuçlarının kasten veya hile ile azaltılmaması gerektiği ifade edilmekte, OGD'nin tasarımın dengeli olduğunun gösterilmesinde kullanılmasının daha önemli olduğu vurgulanmaktadır. Ayrıca, aynı dokümanda diğer bir güvenlik hedefi olarak koşullu korunak binası hasar olasılığının 0,1'den düşük olması hükmü yer almaktadır. NRC'nin tanımladığı risk hedeflerinden bir diğeri ise kurulması planlanan santraller için santral riskinin, mevcut santrallerin riskine göre daha az olduğunun gösterilmesidir (US NRC, 2007a).

OGD'nin kapsamına ilişkin gerekliliğe 10 CFR 50.71 kodlu dokümanın (h) (1) maddesinde yer verilmektedir. 10 CFR 52 kapsamında tümleşik lisans başvurusu yapan bütün başvuru sahiplerinin seviye 1 ve seviye 2 OGD'yi NRC'nin mutabakata vardığı standartlar çerçevesinde geliştirmesi ve ilk yakıt yüklemesini yapmadan 1 yıl önce sunması gerektiği belirtilmektedir. Aynı dokümanın (h) (2) maddesinde, tümleşik lisans sahiplerinin OGD'yi her 4 yılda bir güncellemesi gerektiği ifade edilmektedir (US NRC, 2017b). Bununla birlikte, mevcut santrallerin OGD'sinin periyodik olarak güncellenmesine ilişkin bir gereklilik bulunmamaktadır. RG 1.206 kodlu dokümanda da iç ve dış olayları içerecek ve santralin tüm işletme durumlarını ele alacak şekilde seviye 1 ve seviye 2 OGD'nin sunulması gerektiği belirtilmektedir. Aynı dokümanda, hassasiyet ve belirsizlik analizi sonuçları ile OGD'nin olası sınırlarının da yansıtılması gerektiği ifade edilmektedir (US NRC, 2007a).

RG 1.206 kodlu dokümana göre, OGD tasarım aşamasında;

- Kor hasarına, korunak binası hasarına veya büyük radyolojik salımlara sebep olabilecek arızalar için tasarım özelliklerinin ve santralin işletimsel zayıflıklarının tanımlanması ve ele alınmasında,
- Mevcut tesislerde riske önemli katkısı olan faktörlerin azaltılması veya ortadan kaldırılması ile yeni tasarıma uygulanabilir uygun özelliklerin ve gerekliliklerin getirilmesinde,
- Alternatif özellikler, işletimsel stratejiler ve tasarım seçenekleri arasında seçim yapılmasında

kullanılmaktadır (US NRC, 2007a).

Santralin tasarımı, inşaatı ve işletimi ile ilişkili riskin sistematik bir değerlendirmesine dayalı olan risk tanımlı yaklaşımlar ile;

- Tasarımın dayanıklılığının, derinlemesine savunma ilkesi seviyelerinin ve tasarımın iç ve dış olaylar ile başlayan ciddi kazalara toleransının tanımlanması,
- Operatör eğitim programlarının ve prosedürlerin geliştirilmesine girdi sağlayacak, tasarıma ilişkin insan hatalarının risk önemlerinin tanımlanması

mümkündür (US NRC, 2007a).

Ayrıca OGD;

- Tasarımla ilişkili riskin, Komisyon'un güvenlik hedeflerini karşıladığının gösterilmesinde,
- Tasarımın dengeli olduğunun değerlendirilmesinde,
- Sahaya özgü özelliklerin etkisi de dahil, kurulması planlanan santral riskinin, mevcut santrallerin riskine göre azaltıldığının gösterilmesinde,
- Bazı işletmede olan santrallerin kor ve korunak binası ısı atık sistemlerinin güvenilirliğinin gösterilmesinde (10 CFR 50.34 kodlu dokümanın f bendinde yer alan hüküm gereği),
- Güvenlikle İlgili Olmayan Sistemlerin Tanımlanması (**Regulatory Treatment of Non-Safety Systems**) (RTNSS) programının yeterli olduğunun gösterilmesinde ve eğer uygunsa RTNSS'de yer alan YSB'lerin tanımlanmasında,
- Düzenleyici Kurum Reaktör Gözetim Sürecinin (**Reactor Oversight Process**) desteklenmesinde,
- Santral tasarımı, inşaatı, denetimi ve işletimi için spesifikasyonların ve performans hedeflerinin geliştirilmesinde

kullanılmaktadır (US NRC, 2007a).

OGD, NRC tarafından düzenlemelerin ve kılavuzların oluşturulması sırasında da kullanılmaktadır. Örneğin; santral kararması başlatıcı olaylarının risk önemine ilişkin elde edilen veriler, 10 CFR 50.63 kodlu 'Santral Kararması Kuralı'nın ortaya çıkmasını

sağlamıştır (US NRC, 2016a). Bu kurala göre, NGS'ler santral kararmasına belli bir süre dayanacak ve bu süre zarfında tamir edilebilecek şekilde inşaa edilmelidir. Santral kararması kuralı nükleer santrallerin güvenliğinin geliştirilmesine yönelik bir hüküm olup, daha önce belirtildiği üzere, OGD, NRC tarafından, düzenleyici gereklerdeki gereksiz tutuculuğun azaltılması için de kullanılabilir. Teknik spesifikasyonlarda yer alan İİDKS'nin uzatılabilmesine yönelik risk tanımlı yaklaşımların kullanılabilir olması bunun örneklerindendir.

NRC, lisanslamaya temel konularda değişikliğe gidilmesi durumunda da risk tanımlı yaklaşımlardan faydalanabilmektedir. RG 1.174 kodlu dokümanda lisanslamaya temel konularda değişikliğe gidilmesi durumunda OGD bilgisinin nasıl kullanılması gerektiği tanımlanmaktadır. Bu dokümanda, lisanslamaya temel değişiklik başvurularında risk tanımlı yaklaşım kullanımının gönüllülük esasına bağlı olduğu, ancak NRC personeli tarafından risk bilgisinin istenmesi durumunda sunulması gerektiği ifade edilmektedir. Bu dokümana göre risk bilgisinin ağırlık faktörü NRC personeli tarafından belirlenmektedir. OGD'nin kapsamının ise öngörülen değişikliği yansıtacak şekilde olması gerektiği belirtilmektedir. RG 1.174 kodlu dokümana göre bütün risk tanımlı yaklaşımlarda izlenmesi gereken 5 önemli güvenlik prensibi bulunmaktadır. Bunlar;

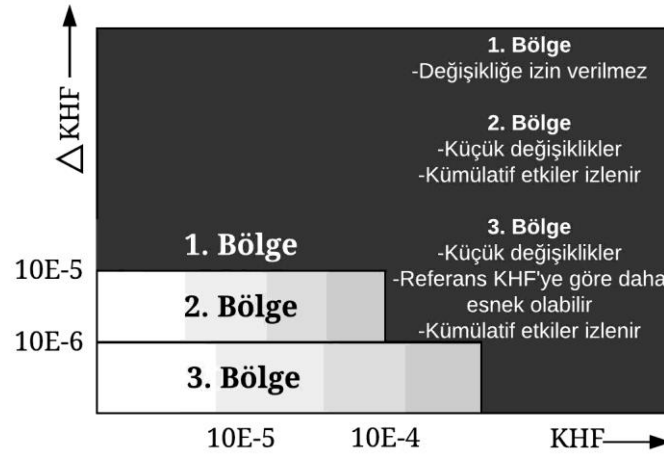
1. Önerilen değişiklik, talep edilen muafiyet veya kural değişikliği ile ilgili olmadığı sürece mevcut gereklilikleri karşılar.
2. Önerilen değişiklik derinlemesine savunma ilkesi ile uyumludur.
3. Önerilen değişiklikler güvenlik marjınlarını sağlar.
4. Önerilen değişikliğin KHF'de veya riskte artışa sebep olduğu durumlarda, artışın Komisyon'un Güvenlik Hedefi Politik Beyannamesi ile uyumlu bir şekilde küçük olması gerekmektedir.
5. Önerilen değişikliğin etkileri izlenmelidir.

Karar alma sürecinin bu 5 güvenlik prensibi, risk tanımlı ve tümleşik karar alma sürecinde göz önünde bulundurulmalıdır (US NRC, 2018).

RG 1.174 kodlu dokümanda, mevcut santraller için değişiklik öngörülmesi durumunda, eğer riskteki değişim KHF'yi veya BESF'yi arttıracak nitelikte ise, KHF'nin 10^{-4} /reaktör yıl, BESF'nin ise 10^{-5} /reaktör yıl'dan küçük olması tavsiye edilmektedir. Ayrıca, riskte

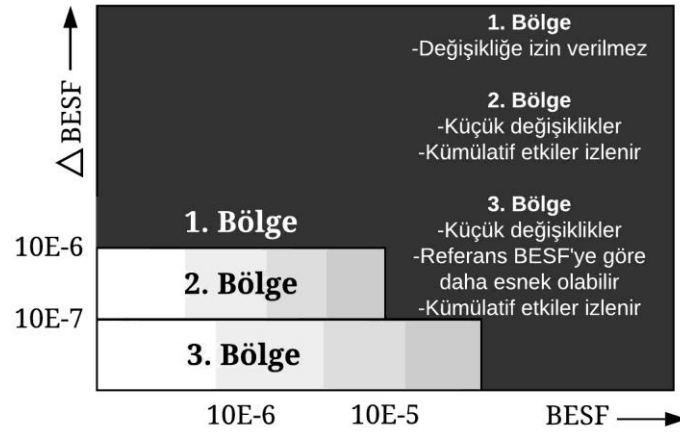
artış olması durumunda elde edilen faydaların açıklanması ve bu faydanın riskteki artış ile orantılı olması gerektiği ifade edilmektedir. RG 1.174 kodlu dokümanda öngörülen değişiklik ile birlikte KHF ve BESF'deki değişimler ve KHF ve BESF yardımcı risk ölçütleri arasındaki ilişki Şekil 8'de ve Şekil 9'da sunulmaktadır.

Şekil 8. Kor hasar frekansı için kabul edilebilir değerler



(USNRC, 2018)

Şekil 9. Büyük ve erken radyolojik salım frekansı için kabul edilebilir değerler



(USNRC, 2018)

KHF için;

- Eğer başvuru sahibi öngörülen değişiklik ile KHF’de azalış olduğunu gösterirse, KHF’ye göre risk tanımlı düzenlemenin ilgili ilkesinin yerine getirildiği değerlendirilir.
- Eğer KHF’deki artışın 10^{-6} /reaktör yıl’dan daha az olacak şekilde çok küçük olduğu gösterilir ise (Şekil 8’de 3. Bölge), toplam KHF hesaplanmasına bakılmaksızın değişim değerlendirilir. Her ne kadar toplam KHF’nin hesaplanması istenmese de, KHF’nin 10^{-4} /reaktör yıl’dan önemli ölçüde yüksek olduğunu gösteren bir gösterge (IPE ve IPEEE projesi sonuçları gibi) olması durumunda, arttırmaktan çok KHF’nin azaltılmasına odaklanılmalıdır.
- KHF’deki artışın 10^{-6} /reaktör yıl’dan 10^{-5} /reaktör yıl’a kadar olması durumunda, başvurular sadece KHF’nin makul bir şekilde 10^{-4} /reaktör yıl’dan düşük olduğunun gösterilmesi (Şekil 8’de 2. Bölge) durumunda değerlendirilecektir.
- 10^{-5} /reaktör yıl’dan daha yüksek KHF değişimi (Şekil 8’de 1. Bölge) ile sonuçlanan başvurular değerlendirilmez (US NRC, 2018).

BESF için;

- Eğer başvuru sahibi öngörülen değişiklik ile BESF’de azalış olduğunu gösterirse, BESF’ye göre risk tanımlı düzenlemenin ilgili ilkesinin yerine getirildiği değerlendirilir.
- Eğer BESF’deki artışın 10^{-7} /reaktör yıl’dan daha az olacak şekilde çok küçük olduğu gösterilir ise (Şekil 9’da 3. Bölge), toplam BESF hesaplanmasına bakılmaksızın değişim değerlendirilir. Her ne kadar toplam BESF’nin hesaplanması istenmese de, BESF’nin 10^{-5} /reaktör yıl’dan önemli ölçüde yüksek olduğunu gösteren bir gösterge (IPE ve IPEEE projesi sonuçları gibi) olması durumunda, arttırmaktan çok BESF’nin azaltılmasına odaklanılmalıdır.
- BESF’deki artışın 10^{-7} /reaktör yıl’dan 10^{-6} /reaktör yıl’a kadar olması durumunda, başvurular sadece BESF’nin makul bir şekilde 10^{-5} /reaktör yıl’dan düşük olduğunun gösterilmesi (Şekil 9’da 2. Bölge) durumunda değerlendirilecektir.
- 10^{-6} /reaktör yıl’dan daha yüksek BESF değişimi (Şekil 9’da 1. Bölge) ile sonuçlanan başvurular değerlendirilmez (US NRC, 2018).

RG 1.174 kodlu kılavuz, değişiklikler için hazırlanmış genel bir doküman olmak ile birlikte, bazı özel uygulamalara farklı kılavuzlarda da yer verilmiştir. HİT’lerde yapılacak değişiklikler için RG 1.175 kodlu kılavuz, teknik spesifikasyonlara yönelik değişiklikler için RG 1.177 kodlu kılavuz ve hizmet içi boru denetimlerinde yapılacak değişiklikler için ise RG 1.178 kodlu kılavuz kullanılmaktadır.

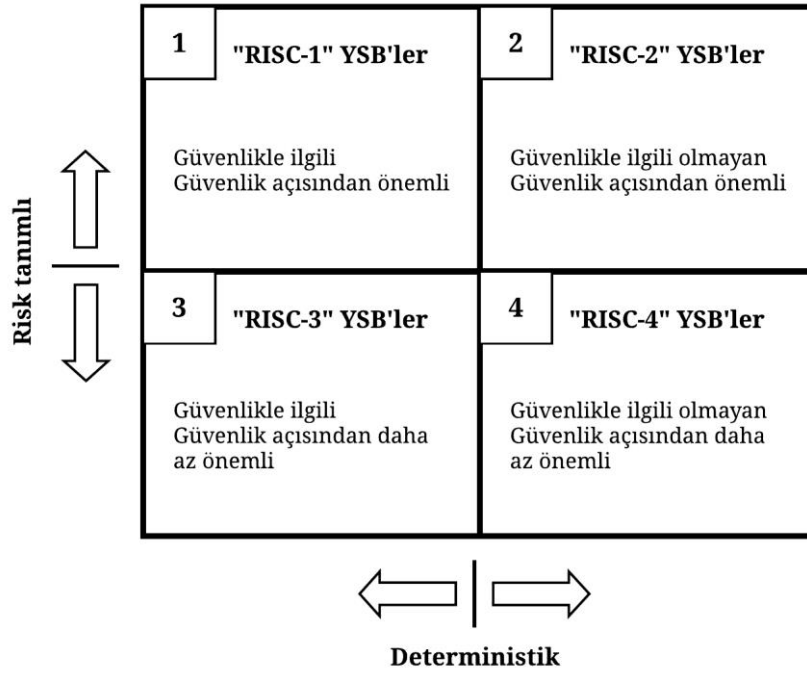
HİT’lerde yapılacak değişiklikler için hazırlanan RG 1.175 kodlu kılavuzda, risk tanımlı yaklaşımların, 10 CFR 50.55a (f)’de yer alan test programları ile ilgili gerekliliklere bir alternatif olarak uygulanabileceği belirtilmektedir. Bu dokümanda, OGD’nin, YSB’leri yüksek öneme sahip bileşenlere ve düşük öneme sahip bileşenlere gruptandırmak ve önerilen değişikliğin KHF’ye ve BESF’ye etkisini değerlendirmek amacıyla kullanıldığı ifade edilmektedir. OGD’nin ise bütün işletme durumlarını ve başlatıcı olayları içerecek şekilde tam kapsamlı olmasının tercih edildiği, daha az kapsamlı bir OGD’nin ise ek değerlendirmeler (deterministik ve sayısal) ile birlikte kabul edilebileceği belirtilmektedir. RG 1.175 kodlu dokümanda, risk tanımlı HİT programlarının geliştirilmesinde kullanılan OGD modelinin kor hasarını ve radyoaktif salımı engellemek için önemli olan güvenlikle ilgili veya güvenlikle ilgili olmayan bütün sistemleri içerecek şekilde bileşen seviyesinde geliştirilmesi gerektiğine değinilmektedir. Bileşenlerin sınıflandırılması, risk tanımlı HİT programının uygulanmasında önemlidir, çünkü güvenlik ile ilgili kabul edilemez sonuçlara yol açmaksızın güvenlik marjlerinin daha esnek bir şekilde ele alınmasını sağlayan etkili bir yoldur (US NRC, 1998).

Teknik spesifikasyonlara yönelik yapılacak değişiklikler için hazırlanan RG 1.177 kodlu kılavuz ile teknik spesifikasyonlarda yer alan İİDKS ve gözetim test aralıklarındaki değişiklikler için risk tanımlı yaklaşımların kullanılması gündeme gelmiştir. Böylece, NGS’lerde güvenlikle ilgili kabul edilemez sonuçlara yol açmaksızın, teknik spesifikasyonların daha esnek bir şekilde ele alınmasını sağlayan yöntemler geliştirilmiştir. Söz konusu kılavuzda, OGD’nin teknik spesifikasyonlarda yapılacak değişiklikler için kullanılmasına ilişkin gereklilikler yer almaktadır. Bu değişiklikler gönüllülük esasına dayalı olmakla birlikte, lisans sahibinin teknik spesifikasyonlarında bir değişiklik için risk tanımlı yaklaşımları benimsemesi durumunda bu kılavuza uymak esastır. Söz konusu kılavuz, mevcut santraller için hazırlanmış olup, tasarım aşamasındaki santrallerin teknik spesifikasyonlarına ilişkin gereklilikleri kapsamamaktadır (US NRC, 2011).

HİD'lere yönelik yapılacak değişiklikler için hazırlanan RG 1.178 kodlu kılavuzda ise boru denetimlerinde risk tanımlı yaklaşımların kullanılması sırasında OGD'ye ilişkin gerekliliklere yer verilmektedir. NRC, bu kılavuzda, risk tanımlı hizmet içi boru denetimlerine ilişkin EPRI tarafından geliştirilen EPRI TR-112657 ve WOG tarafından geliştirilen WCAP-14572 olmak üzere iki yaklaşımı kabul ettiğini belirtmektedir. HİD programlarının belirlenmesinde risk tanımlı yaklaşımların kullanımı gönüllülük esasına dayalı olmakla birlikte, lisans sahibinin HİD programlarının hazırlanmasında risk tanımlı yaklaşımları benimsemesi durumunda bu kılavuza uymak esastır (US NRC, 2003).

NRC, YSB'lerin sınıflandırılmasında da OGD'den faydalanmaktadır. 10 CFR 50.69 kodlu dokümana göre inşaat izni, işletme lisansı, tasarım onayı, tümleşik lisans veya üretim lisansı başvuru sahipleri gönüllü olarak risk tanımlı yaklaşımların benimsendiği sınıflandırma yapabilmektedir (US NRC, 2017c). YSB'lerin sınıflandırılması sırasında kullanılan risk tanımlı yaklaşımlara ilişkin gerekliliklere ise RG 1.201 kodlu dokümanda yer verilmektedir. Bu dokümana göre, güvenlik açısından daha az öneme sahip YSB'lerin tanımlanması ile ilgili gereksiz düzenleyici kurum gerekliliklerinin azaltılması amacıyla risk tanımlı yaklaşımların geliştirilmesi önerilmektedir. Söz konusu kılavuzda, başvuru veya lisans sahibi tarafından 10 CFR 50.69 dokümanında belirtilen sınıflandırma ile uyumlu kabul edilebilir alternatif bir metot sunulmadığı takdirde, NEI 00-04 kodlu ve 'YSB Sınıflandırma Kılavuzu' isimli dokümanda tanımlanan risk tanımlı YSB sınıflandırması yaklaşımlarının kabul edildiği belirtilmektedir. Risk tanımlı yaklaşıma göre, YSB'ler güvenlik önemlerine göre tanımlanmakta ve 4 farklı risk tanımlı güvenlik sınıfı kategorisine göre sınıflandırılmaktadır. YSB'lerin güvenlik önemlerine göre tanımlanmasında risk ve geleneksel mühendislik verilerinin birlikte kullanıldığı tümleşik karar alma süreci uygulanır. YSB'lerin güvenlik fonksiyonları tasarıma esas ve ciddi kazaların önlenmesi veya sonuçlarının hafifletilmesi fonksiyonlarının her ikisini de içermektedir. Bu fonksiyonları yerine getirmesi beklenen YSB'lere ilişkin gereklilikler, sınıflandırılan YSB'ler için uygulanır (US NRC, 2006). Risk tanımlı YSB'lerin sınıflandırılmasına ilişkin kategoriler Şekil 10'da sunulmaktadır.

Şekil 10. Risk tanımlı güvenlik sınıfı kategorileri



(US NRC, 2006)

Geleneksel deterministik yaklaşımlarda, YSB'ler güvenlikle ilgili veya güvenlikle ilgili olmayan olmak üzere iki kategoride sınıflandırılmaktadır. Ciddi kazaların da değerlendirildiği risk verileri, YSB'lerin, güvenlik açısından önemli veya güvenlik açısından daha az önemli olarak tanımlanması amacı ile kullanılmaktadır (US NRC, 2006). Degradasyonu veya hasarı; derinlemesine savunma ilkesi, güvenlik marjinleri veya risk üzerinde önemli derecede olumsuz etkiye sebep olan fonksiyonlar, güvenlik açısından önemli fonksiyonlar olarak tanımlanmaktadır (US NRC, 2017c).

RISC-1, santral güvenliğine önemli katkısı olan güvenlikle ilgili YSB sınıfıdır. Lisans sahibi, güvenlikle ilgili ve güvenlik açısından önemli bu fonksiyonların, sınıflandırma süreci ile tutarlı bir şekilde işlevlerini yerine getirmelerini sağlamaya devam etmelidir.

RISC-2, güvenlikle ilgili olmayan, ancak santral güvenliğine önemli katkısı olan YSB sınıfıdır.

RISC-3, güvenlikle ilgili, ancak santral güvenliğine önemli katkısı olmayan YSB sınıfıdır.

RISC-4, güvenlikle ilgili olmayan, santral güvenliğine önemli katkısı olmayan YSB sınıfıdır (US NRC, 2006).

RG 1.201 kodlu dokümanda, YSB'lerin sınıflandırılmasına ilişkin risk bilgisinden yararlanılması durumunda, olası başlatıcı olayların tamamının (iç ve dış başlatıcı olaylar gibi) ve tüm santral işletme durumlarının (tam güç, düşük güç ve santralin kapalı olduğu durum gibi) içerildiği tam kapsamlı bir değerlendirmenin yapılması gerektiği belirtilmektedir (US NRC, 2006).

OGD, düzenleyici kurumun kaynaklarının daha etkin kullanımının sağlanması amacı ile NRC personelinin kendi denetim programlarında da kullanılmaktadır. Reaktör Gözetim Süreci, reaktörün denetimini, ticari nükleer santral lisans sahibinin güvenlik ve emniyete ilişkin değerlendirmesini ve azalan performansına müdahale etmeyi kapsayan düzenleyici kurum programıdır. NRC, işletmede olan bütün santraller için santrale özgü OGD modellerine sahiptir. Standardize Edilmiş Risk Analiz Modelleri (**Standardized Plant Analysis Risk**) (SPAR) olarak bilinen bu modeller Reaktör Gözetim Süreci programı kapsamında, NRC tarafından, kullanılmaktadır. Reaktör Gözetim Süreci programının amacı, olası risklerin daha yüksek olduğu faaliyetlere odaklanılması ve NGS'nin performansının değerlendirilmesidir. NRC, NGS'leri santral performansına göre reaktör güvenliği, radyasyon güvenliği ve emniyet olmak üzere 3 stratejik alanda incelemektedir. Reaktör güvenliği alanında ise;

- Başlatıcı olaylar,
- Güvenlik sistemleri ve kazaların sonuçlarını hafifleten sistemler,
- Bariyerlerin bütünlüğü
- Acil durum hazırlıkları

konularında değerlendirme yapılmaktadır. Değerlendirmeye konu bu unsurlar NRC tarafından köşe taşı (**cornerstone**) olarak adlandırılmaktadır (US NRC, 2016b).

Bu alanlarda lisans sahiplerinden gelen bulgular veya denetim bulguları, Denetim El Kitabı olan IMC Bölüm 0609'da tanımlanan Önem Belirleme Süreci (**Significance Determination Process**) (SDP) içerisinde, kırmızı, sarı, beyaz ve yeşil olmak üzere 4 performans göstergesi üzerinden sınıflandırılmaktadır. Güvenlik veya güvence açısından

yüksek önem derecesine sahip olan bulgular kırmızı performans göstergesi, azımsanmayacak derecede önemli olan bulgular sarı performans göstergesi, orta derecede önemli olan bulgular beyaz performans göstergesi, çok düşük önem derecesine sahip bulgular ise yeşil performans göstergesi ile gösterilmektedir. Bu performans göstergeleri, NRC'nin ihtiyaç duyulan eylemlere karar vermesinde yardım etmektedir. NRC, asgari tetkik denetim (**baseline inspection**) programlarını ve ilave denetim programlarını (**supplemental/special inspection**) oluşturmada ve denetim bulgularını SDP içerisinde sınıflandırmada risk tanımlı yaklaşımları kullanmaktadır (US NRC, 2016b). Denetim bulgularının önemi ile ilişkili performans göstergesine göre sınıflandırılması Tablo 5'de sunulmaktadır.

Tablo 5.KHF ve BESF'deki değişime göre risk önemi

Frekans/ry	KHF'deki Değişime Göre	BESF'deki Değişime Göre
$\geq 10^{-4}$	Kırmızı	Kırmızı
$< 10^{-4} - 10^{-5}$	Sarı	Kırmızı
$< 10^{-5} - 10^{-6}$	Beyaz	Sarı
$< 10^{-6} - 10^{-7}$	Yeşil	Beyaz
$< 10^{-7}$	Yeşil	Yeşil

(US NRC, 2002)

NGS'lerde gerçekleşen olayların değerlendirildiği bir diğer program ise Kaza Senaryoları Öncülleri (**Accident Sequence Precursor**) (ASP) programıdır. Potansiyel öncülleri değerlendirmek amacıyla NRC personeli bütün lisans olay raporlarını (**licensee event reports**) (LER) gözden geçirmektedir. Her bir LER, potansiyel öncül olarak analiz edilecek olayları tanımlamak amacıyla, nitel eleme kriterlerine göre değerlendirilmektedir. Eğer LER'de yer alan olay ASP programının nitel kriterlerini sağlamıyor ise, ASP programından elenmektedir. ASP programının ilk aşama için belirlenen nitel kriterleri şu şekildedir (US NRC, 2018a);

- **Kriter 1** - Komplikasyonlar ile birlikte reaktörün plansız ani durdurulması (**safety control rod axe man**) (SCRAM) : İki veya daha fazla kontrol çubuğunun girememesi, türbinin devreden çıkmaması, güvenlikle ilgili elektrik baralarında meydana gelen arıza nedeniyle güç kaybı, SCRAM prosedürü dışında devreye

girmesi beklenen ADİP'lerin operatörler tarafından devreye sokulmaması vb. komplikasyonlar ile birlikte gerçekleşen plansız SCRAM olayları ASP programında incelenmektedir.

- *Kriter 2* - Kor hasarına yol açabilecek başlatıcı olaylar : Saha dışı güç kaybı, LOCA, buhar üretici tüp kırığı, ısı kuyusu kaybı vb. kazalar bu kapsamda değerlendirilmektedir.
- *Kriter 3* - Güvenlik sistemlerindeki fonksiyonel arızalar : Reaktör koruma sistemi, yardımcı/acil durum geri besleme suyu sistemi, acil durum kor soğutma sistemi, nihai ısı kuyusu sisteminde meydana gelen arızalar bu kapsamda değerlendirilmektedir.
- *Kriter 4* - OGD'de tanımlanan risk açısından önemli olaylar : Koşullu KHF veya değişen KHF 10^{-8} /reaktör yıl'dan büyük olan olaylar bu kapsamda değerlendirilmektedir.
- *Kriter 5* - Risk açısından önemli diğer olaylar : Uzman görüşlerine göre olası bir kor hasarı ile sonuçlanabilecek bütün olaylar bu kapsamda değerlendirilmektedir.

Ön elemenden geçen ve ASP programına konu olan olaylar daha sonra OGD ile tekrar değerlendirilir ve öncüller belirlenir. İki tür işletimsel olay tanımlanmaktadır. Bunlardan ilki, başlatıcı olay olmaksızın bir ekipmanın arızalanması veya emre amade olmaması ile karakterize edilen santral durumundaki degradasyonlardır. Bu durumda değişen KHF hesaplanır ve 10^{-6} /reaktör yıl'a eşit veya daha büyük olan degradasyonlar öncül olarak tanımlanır. Diğeri ise başlatıcı olaylardır. Bu durumda koşullu KHF hesaplanır ve 10^{-6} /reaktör yıl'a eşit veya daha büyük olan başlatıcı olaylar öncül olarak tanımlanır. Örneğin; 2017 senesinde LER'lerde yer alan 323 olay NRC tarafından değerlendirilmiştir. 323 olaydan 273'ü ilk aşamada elenmiş, 50 olay olası öncül olarak ASP programı kapsamında analiz edilmiştir. ASP programında değerlendirilen 50 olası öncülün ise 11'i, 10^{-6} /reaktör yıl eşiğini geçerek öncül olay kapsamında ele alınmıştır. Bu öncüllerden 3'ü, performans eksikliği kapsamında SDP programında ele alınmıştır. Koşullu KHF veya değişen KHF 10^{-3} /reaktör yıl'dan büyük olan öncüller, önemli olay olarak değerlendirilmektedir. 2017 senesinde koşullu KHF veya değişen KHF 10^{-3} /reaktör yıl'dan büyük önemli bir olay gerçekleşmemiştir (US NRC, 2018a).

NRC’de risk izleme çalışmalarına ilişkin teknik bir gereklilik bulunmamaktadır. Bununla birlikte, 10 CFR 50.65 kodlu ‘Bakım Kuralı’nın (*The Maintenance Rule*) (a) (4) maddesi gereği lisans sahiplerinin bakım faaliyetlerini (gözetim, bakım sonrası testler, düzeltici ve önleyici bakım dahil ancak bunlarla sınırlı olmamak üzere) gerçekleştirmeden önce, önerilen bakım faaliyetlerinden kaynaklanabilecek risk artışını değerlendirmesi ve yönetmesi gerekmektedir. Değerlendirmenin kapsamı, risk tanımlı değerlendirme sonucu toplum sağlığı ve güvenliği için önemli olan YSB’ler ile sınırlı olabilmektedir (US NRC, 2017d). Lisans sahipleri bakım faaliyetini gerçekleştirdiği sırada ekipmanı servis dışı tutmasından kaynaklı santrale özgü konfigürasyon riskini hızlı bir şekilde değerlendirmek için risk izleme yazılımları kullanmaktadır (OECD/NEA, 2012). Her ne kadar risk izleme NRC tarafından talep edilmese de, risk izlemeye sahip lisans sahipleri elde edilen bilgileri, risk tanımlı uygulamaları desteklemek amacıyla kullanabilmektedir. Bazı NRC yerleşik denetçileri, santral faaliyetlerinin gözetimi kapsamında, santrale özgü OGD’lere ve risk izlemelere erişim ve onları kullanım hakkına sahiptir (OECD/NEA, 2004).

5.3 Fransa Yaklaşımı

Fransa’da NGS’ler, Fransa Elektrik (*Electricité de France*) (EDF) adlı tek bir şirket tarafından işletilmektedir. Bu durum, 1980’li yıllarda Fransa’nın düzenleyici kurumu olan Fransa Nükleer Güvenlik Düzenleme Kurumu (*Autorité de Sureté Nucléaire*) (ASN) ve EDF arasında, OGD’ye ilişkin tanımlayıcı bir düzenleme olmadan teknik diyaloglar ile ilk çalışmaların başlamasına sebep olmuştur. EDF, 900 MWe ve 1300 MWe güce sahip NGS’ler için gönüllü olarak yaptığı Seviye 1 OGD’sini 1990 senesinde tamamlamıştır. Daha sonra bu çalışmalar seviye 2 OGD’ye genişletilmiştir. Bu çalışmalardan, güvenliğin iyileştirilmesi, santralin modifikasyonu ve geliştirilmesi alanlarında bir çok uygulamada yararlanılmıştır (OECD/NEA, 2012). 900 MWe güce sahip NGS’lerin ikinci PGD’si sırasında istenen güçlendirmelere yönelik bazı örnekler aşağıda sunulmaktadır (Verdier, 2012);

- Yardımcı geri besleme suyu sistemlerinin tüm işletme durumları için fonksiyonel yedekliliğinin sağlanması,
- Havalandırma sisteminin iyileştirilmesi,
- Reaktör SCRAM fonksiyonunun çeşitlendirilmesi,

- 1E Sınıfı acil durum barasının ortak nedenli arızalarını azaltacak önlemler alınması

İlk OGD çalışmalarının olumlu sonuçları ve bu çalışmaların kullanımının artması nedeni ile ASN 2002 senesinde OGD'ye ilişkin Temel Güvenlik Kuralı'nı¹ yayımlamıştır (OECD/NEA, 2012). Söz konusu dokümanın amaç kısmında, NGS'lerin güvenliğinin esas olarak deterministik yaklaşımlara dayandığı belirtilmekte, OGD'nin ise geleneksel deterministik analizlerini tamamlayıcı nitelikte olduğu ifade edilmektedir. Bu dokümanın amacı, OGD'lerin geliştirilmesi için kabul edilebilir yöntemleri belirlemek ve mevcut santraller ile gelecekte kurulması planlanan santraller için OGD'nin kullanım alanlarını tanımlamaktır (ASN, 2002).

ASN, OGD'den, yasal bağlayıcılığı olan dokümanlarında, ilk defa 2012 senesinde söz etmiştir. ASN'nin 7 Şubat 2012 senesinde yayımlanan 'Temel Nükleer Tesisler İçin Genel Kuralların Belirlenmesine İlişkin 7 Şubat 2012 Tarihli Yönetmelik'in² 3.2'inci maddesine göre nükleer güvenlik, ihtiyatlı bir deterministik prosedürle kanıtlanmalıdır. Yönetmeliğin 3.3'üncü maddesinde ise nükleer güvenliğin kanıtlanmasının, lisans sahibi konu dışı olduğunu göstermediği sürece, olasılıksal güvenlik analizini de içerecek şekilde olması gerektiği belirtilmektedir (ASN, 2012).

OGD'ye ilişkin Temel Güvenlik Kuralı ve 7 Şubat 2012 Tarihli Yönetmelik'inden de anlaşılacağı üzere, ASN, NGS'lerin güvenliğinin gösterilmesinde deterministik yöntemleri esas kabul etmekte, OGD'yi ise deterministik yaklaşımların bir tamamlayıcısı olarak istemektedir.

ASN'nin, OGD'ye ilişkin niceliksel hedefleri bulunmamaktadır. ASN dokümanlarından Temel Güvenlik Kuralı'na göre, belirli OGD uygulamaları için belirsizliklerin de hesaba katıldığı referans olasılıksal hedefleri (mutlak veya göreceli değerler, toplam veya kısmi) kullanılabilir. Ancak bu hedefler, katı sınırlar olarak değil kılavuz değerler olarak değerlendirilmelidir (ASN, 2012).

¹ Temel Güvenlik Kuralları, ASN tarafından yayınlanan yönergeler olup, yasal olarak bağlayıcı değildir.

² Yönetmelikler, Hükümet tarafından oluşturulmakta olup, yasal olarak bağlayıcıdır.

Aynı dokümana göre, OGD, reaktörün tüm işletme durumları için meydana gelmesi muhtemel iç olayları (yangın, su basması vb. hariç) olabildiğince gerçekçi ve tam bir şekilde içerir ve ilgili kaza senaryolarını kor hasarına kadar inceler. OGD'nin kapsamı, elde edilen sonuçların büyüklüğüne, analizlerin uygunluğuna ve OGD uygulama alanlarına göre iç ve dış tehlikeleri ve kor hasarı sonucu salım frekanslarını içerecek şekilde genişletilebilir (ASN, 2012). Bununla birlikte, Temel Güvenlik Kuralı'nda, OGD'nin kapsamının hangi durumlarda genişletilebileceğine ilişkin bilgi bulunmamaktadır. ASN'nin teknik destek kuruluşu olan ve lisans dokümanlarının gözden geçirme ve değerlendirmesini gerçekleştiren Radyolojik Koruma ve Nükleer Güvenlik Enstitüsü (IRSN) ile yapılan sözlü görüşmeler neticesinde, OGD'nin kapsamının tüm işletme durumları için seviye 1 iç başlatıcı olaylar olarak belirlendiği, ancak gerek duyulması halinde dış tehlikelerin ve salım frekansı değerini veren seviye 2 OGD'nin de istenebileceği ifade edilmiştir. Örneğin; deprem için, sıklığı 10^{-4} / yıl'a denk gelen maksimum yer ivmesi (PGA) değeri tasarıma esas deprem olarak seçilmektedir. Söz konusu PGA değerleri için EPRI dokümanlarında belirlenen sismik marjınler bulunmaktadır. Eğer sismik marjınler, EPRI dokümanlarında bulunan bu değerleri karşılıyorsa sismik OGD talep edilmemekte, ancak karşılamıyorsa sismik OGD talep edilmektedir. 0,15 PGA değerindeki bir sahaya, 0,3 PGA değerine uygun bir tasarım için lisans başvurusunda bulunulması durumunda sismik marjının olması nedeni ile sismik OGD'ye ihtiyaç duyulmamaktadır. Ancak, 0,12 PGA değerindeki bir sahaya, 0,13 PGA değerine uygun bir tasarım için lisans başvurusunda bulunulması durumunda sismik marjinin olmaması nedeni ile sismik OGD talep edilmektedir. Seviye 1 iç olaylara ilişkin OGD dokümanları inşaat lisansı başvurusu sırasında, iç tehlikelere (yangın, su basması) ilişkin OGD dokümanları ise fiziksel ayrılığın yeterli olduğunun gösterilmesi açısından inşaat lisansının verilmesinden yeterince zaman önce istenmektedir. Seviye 1'den seviye 2 OGD'ye geçiş sırasında santral hasar durumu gruplarından yüksek basınç kor hasarı ve baypas senaryoları ele alınarak en kötü senaryo için yük hesabı talep edilmektedir. Yapılan yük hesabı sonucunda, korunak binasının ağır bir şekilde zarar göreceği sonucuna varılır ise, seviye 2 OGD talep edilmekte ve işletme lisansından yeterince zaman önce sunulması beklenmektedir (Rodinov, 2018).

Temel Güvenlik Kuralı'na göre OGD 5 alanda kullanılabilmektedir (ASN, 2012);

- Mevcut nükleer santrallerin PGD'sinde,
- Olay analizinde,
- Kurulması planlanan santrallerin tasarımında,
- Sistem ve ekipmanların güvenlik değerlendirmesinde,
- Teknik spesifikasyonların iyileştirilmesinde.

ASN'nin Nükleer Alanda Şeffaflık ve Güvence Tüzüğü'nün (*Act on Transparency and Security in the Nuclear Field*) 29. maddesine göre PGD her 10 yılda bir yapılmaktadır. Temel Güvenlik Kuralı'na göre OGD, PGD sırasında kor hasar frekansını ve daha önce gerçekleştirilen OGD'deki değişimleri (işletme uygulamaları ve sistem özelliklerinde meydana gelen değişimlerden dolayı) değerlendirmek amacıyla kullanılmaktadır. Ayrıca, işletme ve tasarımdaki değişimlerin KHF'ye katkılarının tanımlanması ve hatta gerekirse bir hükme varılması mümkündür (ASN, 2012).

ASN, NGS'de gerçekleşen olayların analizinde de OGD'yi kullanabilmektedir. Temel Güvenlik Kuralı'na göre, güvenlik açısından önemli olayların sıklığının sınırlanması ana hedeflerden biridir. Bu hedefe ulaşmak amacıyla geleneksel yöntemler ile gerçekleştirilen olay analizleri düzeltici önlemleri tanımlamaktadır. Aynı dokümana göre, işletme deneyimine ilişkin analizlerin temel unsurlarından biri de olayların gerçekçi veya olası sonuçlarının göz önüne alınarak, ciddiyetlerine göre uygun işlemden geçmesinin sağlanmasıdır. Analiz edilen olayların çoğu ya çok düşük ya da sıfır sonuca sahip olduğundan, kor hasarına veya radyolojik salıma yol açacak daha elverişsiz koşulların ve olayı takip eden diğer arızaların olası sonuçlarının analizi için bazı araçlara sahip olmak ve düzeltici önlemlerin uygulanmasında öncelikleri tanımlamak önemlidir. Temel Güvenlik Kuralı'na göre olasılıksal yaklaşımların kullanılmasında iki ana sebep bulunmaktadır (ASN, 2012);

- Degradasyon senaryolarının daha sistematik ve gerçekçi incelenmesi ile olası sonuçların analizi sağlanmaktadır.
- Olasılıksal değerlendirmeler ayrıca bu tür senaryoların sıklığı ile ilgili sayısal veriler sağlamaktadır.

Olayların olasılıksal analizinin ana hedefi, koşullu kor hasar olasılığına göre olayların önceliklendirilmesini ve düzeltici önlemlerin uygunluğunun değerlendirilmesini

sağlamaktır. Bu ana hedefler diğer iki hedef ile desteklenmektedir. Bu hedeflerden ilki, tesis işleticisinin güvenlik kültürünün zenginleştirilmesi (sahada meydana gelen olayların analizinin gerçekleştirildiği OGD’lerden çıkarılan derslerin yaygınlaştırılması ile), ikincisi ise OGD’nin iyileştirilmesidir (modellerin gerçek olayların seyri ile karşılaştırılması sonucunda) (ASN, 2012).

Temel Güvenlik Kuralı’na göre bir olaya ilişkin koşullu KHF tanımlanmış bir referans değerinden daha yüksek olduğunda, olay ‘öncül olay’ olarak adlandırılır ve kapsamlı bir analize tabi tutulur. Önemi yüksek öncül olaylar için, işletici, düzeltici önlemlerin uygulanmasındaki süreleri ve işlemleri tanımlar. Eğer mümkünse iyileştirmeler değerlendirilir. Söz konusu dokümana göre OGD’den elde edilen sonuçlar bir düzeltici önlemin uygulanması kararının verilmesindeki girdilerden yalnızca biridir ve bu sonuçlar tek başlarına kullanılmazlar (ASN, 2012).

Temel Güvenlik Kuralı dokümanına göre, OGD ayrıca inşası planlanan reaktörlerin güvenliğinin gösterilmesi için deterministik çalışmaların bir tamamlayıcısı olarak kullanılmaktadır. Bu amaçla;

- Güvenlik sistemlerinin yedeklilik ve çeşitlilik kapsamında tasarlanması,
- Kor hasar frekansına önemli seviyede katkı sağlayan senaryoların bulunmadığına ilişkin olarak tasarımın dengeli olduğunun gösterilmesinde,
- Mevcut santrallere uygulanan güvenlik gerekliliklerinden sapmaların değerlendirilmesinde,
- Kurulması planlanan santraller ile mevcut santrallerin güvenlik seviyelerinin karşılaştırılmasında,
- Çoklu arızalara ilişkin işletme koşullarının tanımlanmasında,
- Ciddi kaza durumunda planlanan önlemler için güvenlik iyileştirmelerinin ön analizinin yapılmasında,
- Büyük ve erken salımlara yol açan kaza senaryolarının pratik olarak bertaraf edildiğinin (***practically elimination***) gösterilmesinde

kullanılmaktadır (ASN, 2012).

OGD nitel ve niceliksel analizleri;

- Belirli kaza senaryolarının sıklığını azaltmak ve korunak binasının fonksiyonunun kaybına ilişkin kaza sonuçlarını sınırlandırmada deterministik olarak tanımlanan tasarım esaslarını belirlemek,
- En önemli ekipmanlar için yeterli seviyede güvenilirliğin sağlanmasını sağlayan gerekliliklerin tanımlanmasına yardım etmek,
- İşletme prosedürlerini ve KHF'ye yüksek katkısı olan operatör eylemlerini göz önüne alarak operatör eğitimlerini düzenlenmek

amacıyla da kullanılabilir (ASN, 2012).

Temel Güvenlik Kuralı'na göre sistemlerin ve ekipmanların güvenlikle ilişkili önemlerinin belirlenmesinde de OGD kullanılmaktadır. Bu amaçla OGD ile;

- İyileştirilmeleri güvenliğe anlamlı seviyede katkıda bulunacak ve güvenilirliklerinin tatmin edici seviyede sağlanması gereken sistemlerin tanımlanması,
- Tesisin güvenliğinde önemli etki yaratacak ve arıza sıklığının sınırlanması gereken ekipman hata türlerinin tanımlanması mümkündür.

Bu yaklaşım, teknik spesifikasyonların, periyodik testlerin veya ekipman bakım programının tanımlanmasında kullanılabilir. Güvenliğe önemli katkısı olan sistemlerin tanımlanmasında KHF'ye katkılar değerlendirilirken, kor hasarına yol açan ekipman hata türlerinin tanımlanmasında ve önceliklendirilmesinde risk azalış değeri ve risk artış değeri gibi önem faktörleri kullanılmaktadır. Bu iki değer ASN tarafından birbirinin tamamlayıcısı olarak görülmektedir. Risk azalış değeri ekipmanın güvenilirliğinin bir fonksiyonu iken, risk artış değeri, ekipman tarafından gerçekleştirilen fonksiyonun önemi ile ilgili bilgi vermektedir (ASN, 2012).

Temel Güvenlik Kuralı'na göre OGD, teknik spesifikasyonlara ilişkin minimum kuralların tanımlanmasında da kullanılmaktadır. Bu kapsamda OGD;

- Gerekli sistem ve ekipmanın tanımlanması sırasında teknik spesifikasyonda belirtilen işletme için kabul edilen hükümlerin gerekçelendirilmesinde,

- Teknik spesifikasyonlarda istenen ekipmanın emre amade olmama durumunda en iyi işletme prosedürlerinin belirlenmesinde ve güvenlik için olası emre amade olmama durumlarının önemine göre gerekliliklerin önceliklendirilmesinde,
- Emre amade olmama durumları ve bir işletme durumundan diğer işletme durumuna geçişler de dahil reaktörün bütün işletme durumları için KHF'deki artışı değerlendirmede,
- Reaktörde belirli işlerin yürütülmesi ve/veya reaktörün teknik spesifikasyonlar ile uyumlu olmayan reaktör işletme durumunda çalıştırılması için yetki istenmesinde

kullanılmaktadır (ASN, 2012).

5.4 Finlandiya Yaklaşımı

Finlandiya Radyasyon ve Nükleer Güvenlik Düzenleyici Kurumu (***Radiation and Nuclear Safety Authority***) (STUK), Nükleer Tüzük'ün 35'inci bölümünün 2'nci maddesine göre inşaat lisansı sırasında ve 36'ncı bölümünün 2'nci maddesine göre işletme lisansı sırasında OGD istemektedir (STUK, 1988). STUK, OGD'nin kullanımına ilişkin gerekliliklere YVL A7 kodlu 'Nükleer Güç Santrallerinde Olasılıksal Risk Değerlendirmesi ve Risk Yönetimi (***Probabilistic Risk Assessment and Risk Management of a Nuclear Power Plant***)' isimli kılavuzunda yer vermektedir. YVL A7 kodlu doküman 1 Aralık 2013 tarihinden itibaren lisans başvurusunda bulunan nükleer tesisler için geçerli bir kılavuz olup, işletmede veya inşaat halinde olan nükleer tesisler için STUK tarafından alınan kararlar geçerli olmaktadır.

STUK, OGD'ye ilişkin sayısal kriterlerine, hafif sulu NGS'lerde seviye 1 ve seviye 2 OGD'nin hazırlanmasına, içeriğine, kapsamına ve uygulamalarına ilişkin gerekliliklerin sunulduğu YVL A7 kodlu kılavuzunda yer vermektedir. Bu dokümana göre NGS kor hasarı ortalama değeri 10^{-5} /reaktör yıl'dan küçük olacak şekilde tasarlanmalıdır. Bir kaza sırasında 100 TBq Cs-137'nin atmosfere salımının ise ortalama 5×10^{-7} 'den küçük olması gerekmektedir. Aynı kılavuzda, inşaat ve işletme lisansı başvuru sahibinin OGD aracılığı ile söz konusu sayısal güvenlik hedeflerini karşıladığını göstermesi gerektiği belirtilmektedir (STUK, 2013).

STUK, inşaat ve işletme lisansı için seviye 1 ve seviye 2 OGD'yi talep etmektedir. Seviye 1 ve seviye 2 OGD'nin kapsamı tüm işletme durumları, kor içinde ve dışında yer alan tüm radyoaktif kaynakları, iç tehlikeleri ve dış tehlikeleri içerecek şekilde belirlenmiştir. Güncellenmiş OGD, STUK'a her yıl değişiklikleri de içerecek şekilde sunulmalıdır. STUK, ayrıca OGD'nin elektronik ortamda modelini talep etmektedir (STUK, 2013).

OGD, STUK tarafından, inşaat lisansı ve işletme lisansı aşamasında santralin nükleer güvenlik kriterleri ile uyumunun incelenmesi sırasında kullanılmaktadır. Ayrıca, inşaat ve işletme lisansı sırasında YSB'lerin sınıflandırılmasının ve boru denetimi programlarının yapılması sırasında risk tanımlı yaklaşımlardan faydalanılması ve bilgi olarak düzenleyici kuruma sunulması talep edilmektedir (STUK, 2013).

STUK, teknik spesifikasyonlara ilişkin kapsam değerlendirmesinde de OGD'yi gerekli görmektedir. Bu kapsamda, risk tanımlı yöntemlerin tanımlandığı işletme sınır ve koşulları dokümanı santralin inşaatı sırasında STUK'un onayına sunulmalıdır. OGD, gözetim test aralıklarının ve güvenlik açısından önemli olan sistem ve bileşenlerin İİDKS'nin tanımlanmasında kullanılmalıdır. YSB'lere uygulanan işletme sınır ve koşulları ve İİDKS her bir işletme durumu için ayrı ayrı analiz edilmelidir. Aynı zamanda, işletme durumundaki değişimin, işletme durumunu değiştirmemeye göre daha büyük bir riske yol açtığı durumların analizi de OGD kullanılarak gerçekleştirilmelidir (STUK, 2013).

STUK, güvenlik açısından önemli sistem ve bileşenler için test prosedürlerinin ve önleyici bakım programlarının risk tanımlı geliştirilmesini, bu dokümanın ise işletme lisansı sırasında, işletme limit ve koşulları dokümanından daha geç olmayacak şekilde sunulmasını talep etmektedir (STUK, 2013).

OGD'den elde edilen bilgilerin operatör eğitimlerinde ve ADİP'lerde de kullanılması talep edilmektedir. YVL A7 dokümanına göre personel eğitimlerinin belirlenmesi sırasında, en önemli kazalara yol açacak eylemleri tanımlayan OGD'den faydalanılmalıdır. Kontrol odası operatörleri için en önemli kaza senaryoları ve riske önemli seviyede katkısı bulunan eylemler eğitimde yer almalıdır. En önemli kaza senaryoları aynı zamanda acil durum işletme prosedürlerini desteklemede kullanılmalıdır (STUK, 2013).

YVL A7 dokümanına göre hangi ciddi kazaların analizinin yapılması gerektiğine ve acil durum planlarında hangi kazaların kullanılmasına karar verilmesi aşamasında da OGD'den faydalanılmalıdır. İşletmeye alma test programlarının geliştirilmesinde OGD, işletmeye alma testlerinden kaynaklanan riskleri azaltmak, programların kapsamını ve dengesini değerlendirmek amacıyla kullanılmaktadır (STUK, 2013).

YVL A7 dokümanına göre, NGS'lerin işletilmesi sırasında lisans sahibi, nükleer santral güvenliğini artırmak, tesisin iyileştirilmesi gereken noktaları belirlemek ve önceliklendirmek ve alternatif çözümlerin güvenlik açısından önemini karşılaştırmak için OGD'yi kullanmalıdır. Önemli bir değişiklik gerçekleştirildiğinde sistem ve bileşenlerin sınıflandırılması ve bu dokümanının bilgi amacıyla tekrar sunulması STUK tarafından talep edilmektedir (STUK, 2013).

OGD, işletme sırasında, bakım ve yakıt değiştirme faaliyetleri, işletme durumları arasında geçişler ve işletmeden çıkarma ile ilgili riskleri yönetmek amacıyla da kullanılmaktadır. Ayrıca, yeni risk faktörlerinin tespit edilmesi, kapsamlı tesis modifikasyonu veya prosedürlerde büyük bir değişiklik olması neticesinde, işletme sınır ve koşullarının revize edilmesine ihtiyaç duyulması halinde OGD tekrar değerlendirilmektedir. İşletme sınır ve koşullarında yapılacak değişiklikler için de OGD değerlendirmesi gerekmektedir. OGD, ayrıca yaşlanma yönetimi programlarında kullanılmaktadır (STUK, 2013).

YVL A7 kodlu dokümana göre, işletme sırasında OGD'de tespit edilen en önemli kaza senaryoları ve risk açısından önemli operatör eylemleri her üç yılda bir yapılan simülasyon eğitimlerinde uygulanmalıdır (STUK, 2013).

STUK, işletmeden çıkarmaya ait OGD'yi de NGS'nin işletiminin son bulmasından yeterince önce sunulmasını talep etmektedir (STUK, 2013).

STUK, denetim faaliyeti programlarını oluştururken ve sahada yapılan denetim faaliyetlerini gerçekleştirirken OGD bilgisinden faydalanma yönünde çalışmalarını sürdürmektedir (OECD/NEA, 2012).

5.5 Rusya Yaklaşımı

Rusya’da, 1999 senesinde Gosatomnadzor³ tarafından ‘İşletmedeki Nükleer Santrallerin Olasılıksal Güvenlik Değerlendirmesi Uygulamaları (*Application of Probabilistic Safety Analysis of Operating Units of Nuclear Plants*)’ adlı politik beyanname yayımlanmıştır. Söz konusu politik beyanname ile, ilk olarak, Rusya Federasyonu’ndaki nükleer santrallerin güvenlik seviyelerinin değerlendirilmesi için OGD’nin kullanılmasının gerekliliğine dikkat çekilmiştir. Söz konusu politik beyannamede, hem Rusya Federasyonu hem de yurtdışında geçmiş dönemde edinilen OGD deneyimleri dikkate alınarak, Rusya Federasyonu’nun NGS’lerin güvenlik değerlendirmesinde kapsamlı bir araç olarak risk tanımlı yaklaşımları (olasılıksal ve deterministik araştırmaların sonuçlarının ortak olarak değerlendirilmesine dayalı) kullanması gerektiği belirtilmektedir (Rostechnadzor, tarih yok).

Rostechnadzor, OGD’ye ilişkin sayısal hedeflerine NGS’ler için genel güvenlik hükümlerinin yer aldığı NP-001-15 dokümanında yer vermektedir. Bu dokümanın 1.2.17’nci maddesine göre, OGD’ye ilişkin sayısal hedefler şu şekilde tanımlanmaktadır (Rostechnadzor, 2016);

- Her bir NGS ünitesi için ciddi kaza kümülatif olasılığının bir yıl içinde 10^{-5} ’i aşmaması
- Her bir NGS için büyük acil durum salımı kümülatif olasılığının bir yıl içinde 10^{-7} ’i aşmaması

Aynı dokümanın 1.2.18’nci maddesinde, 1.2.17’nci maddede değinilen büyük acil durum salım olasılığı hükmünün yerine getirilmemesi durumunda, NGS tasarımında kazaların

³Daha önce Federal Nükleer Gözetim Federal Servisi (*Federal Nuclear Oversight Service*) olarak bilinen ve Rusya’nın nükleer alandaki düzenleyici kurumu olan Gosatomnadzor, Mayıs 2004 tarihinde, Teknolojik Gözetim Federal Servisi (*The Federal Service for Technological Oversight*) ve Çevre ve Doğal Kaynakların Kullanımı Gözetimi Federal Servisi (*Federal Service for Oversight of the Environment and The Use of Nature*) ile birleşerek Çevre, Teknoloji ve Nükleer Gözetim Federal Servisi (*The Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Oversight*) olarak bilinen Rostechnadzor’u oluşturmuştur.

ortaya çıkma olasılıklarının azaltılması ve kaza sonuçlarının hafifletilmesi amacıyla ek teknik kararların (tasarım ötesi kazalar için özel teknik özellikler dahil) alınması gerektiği belirtilmektedir (Rostekhnadzor, 2016).

NP-001-15 kodlu dokümanda yer alan sayısal güvenlik hedefleri ile Rostekhnadzor tarafından seviye 1 ve seviye 2 OGD'nin talep edildiği ortaya konulmaktadır. Her bir NGS ünitesi için ciddi kaza kümülatif olasılığının bir yıl içinde 10^{-5} 'i aşmadığının gösterilmesi seviye 1 OGD ile mümkün iken, büyük acil durum salımı kümülatif olasılığının bir yıl içinde 10^{-7} 'i aşmadığının gösterilmesi seviye 2 OGD ile mümkündür. NP-095-15 kodlu Nükleer Güç Santrali Ünitesi Olasılıksal Güvenlik Değerlendirmesi için Temel Gereklere (*Basic Requirements to Probabilistic Safety Analysis of a Nuclear Power Plant Unit*) isimli dokümanın 8'inci maddesinde de bir güvenlik değerlendirme sırasında seviye 1 ve seviye 2 OGD'nin istendiği belirtilmekte, 16'ncı maddesinde inşaat ve işletme aşamalarında GAR'ın geliştirilmesi sırasında OGD'nin sunulması gerektiği ifade edilmektedir. NP-095-15 kodlu dokümanın 16'ncı maddesine göre NGS ünitesi için seviye 1 ve seviye 2 OGD'nin aşağıda belirtilen durumlarda sunulması gerekmektedir (Rostekhnadzor, 2015);

- İnşaat ve işletme sırasında GAR'ın geliştirilmesinde,
- NGS ünitesi periyodik güvenlik değerlendirmesinde,
- NGS ünitesi işletme ömrünün uzatılmasının gerekçelendirilmesi sırasında,
- NGS ünitesi güvenli işletme sınır ve koşullarındaki değişikliklerin gerekçelendirilmesi sırasında,
- Güvenlik açısından önemli sistem ve bileşenlerde değişiklik yapılması durumunda,
- Tasarım ve işletme dokümanlarında değişiklik yapılması durumunda.

16'ncı maddede ayrıca aşağıda belirtilen durumlarda OGD değerlerinde herhangi bir etkinin olmadığı kanıtlanır ise seviye 1 ve seviye 2 OGD'nin gerçekleştirilmesine ihtiyaç duyulmadığı belirtilmektedir (Rostekhnadzor, 2015);

- NGS ünitesi güvenli işletme sınır ve koşullarındaki değişikliklerin gerekçelendirilmesi,
- Güvenlik açısından önemli sistem ve bileşenlerde değişiklik yapılması,
- Tasarım ve işletme dokümanlarında değişiklik yapılması.

Rostekhnadzor, NGS'lerin tasarım ve inşaat sürecinde sunulması gereken seviye 1 ve seviye 2 OGD'nin kapsamına ilişkin gereğe ilk olarak 2004 senesinde yayımlanan RB-032-04 kodlu ve Nükleer Güç Santrallerinin Olasılıksal Güvenlik Değerlendirmesine İlişkin Temel Öneriler (*Basic Recommendations for Performing Probabilistic Safety Analysis of Nuclear Power Plants*) isimli dokümanında yer vermektedir. RB-032-04 kodlu dokümanın 3.1.1'inci maddesine göre, seviye 1 OGD'nin iç başlatıcı olayları, iç ve dış tehlikeleri içerecek şekilde tam güç, düşük güç, reaktörün başlatma, kapatma ve bekleme durumları dahil tüm işletme durumları için sunulması tavsiye edilmektedir. Söz konusu dokümanın 3.1.2'inci maddesinde ise seviye 2 OGD'nin iç başlatıcı olayları, iç ve dış tehlikeleri içerecek şekilde tam güç ve düşük güç işletme durumları için sunulması tavsiye edilmektedir (Rostekhnadzor, 2004). Bütün işletme durumları için iç başlatıcı olayların seviye 1 OGD'sinin değerlendirilmesine ilişkin önerilerin bulunduğu RB-024-11 kodlu düzenlemenin 5'inci maddesinde ise seviye 1 iç başlatıcı olaylar için kordaki ve yakıt havuzundaki radyasyon kaynaklarının ele alınması tavsiye edilmektedir (Rostekhnadzor, 2011). Seviye 1 ve seviye 2 OGD'nin kapsamına ilişkin bağlayıcı hükümlere ise 2015 senesinde yayımlanan NP-095-15 kodlu dokümanda yer verilmektedir. NP-095-15 kodlu dokümanın 9'uncu maddesine göre bir NGS ünitesi için seviye 1 OGD'nin gerçekleştirilmesi sırasında bütün başlatıcı olaylar, bütün normal işletme durumları ve NGS ünitesinde bulunan bütün nükleer malzeme içeren yerler dikkate alınarak ciddi kazaların toplam olasılığı hesaplanmalıdır. Aynı dokümanın, 10'uncu maddesine göre ise bir NGS ünitesi için seviye 2 OGD'nin gerçekleştirilmesi sırasında bütün başlatıcı olaylar, bütün normal işletme durumları ve NGS ünitesinde bulunan bütün nükleer malzeme içeren yerler dikkate alınarak yıllık büyük acil durum salımının toplam olasılığı hesaplanmalıdır. Söz konusu dokümanın 13'üncü maddesinde normal işletme durumları; güç üretimi, reaktörün kapatılması, reaktörün soğuk rejimi, yakıt değişimi, sistemlerin bakım ve onarımı, reaktörün sıcak rejimi, reaktörün tekrar devreye alınması şeklinde tanımlanmaktadır (Rostekhnadzor, 2015).

Rostekhnadzor tarafından yayımlanan 'Nükleer Santraller için Olasılıksal Güvenlik Değerlendirmesi ve Risk Tanımlı Yöntemlerin Uygulamaları' adlı politik beyannameye göre OGD ve risk tanımlı yaklaşımlar;

- NGS'lerin mevcut güvenlik seviyelerinin değerlendirilmesi ve uygun bir şekilde geliştirilmesi yollarının belirlenmesinde,
- Güvenlik açısından en önemli başlatıcı olayların, kaza senaryolarının, bileşenlerin ve personel eylemlerinin tespit edilmesinde,
- Güvenlik seviyelerini artırmaya yönelik eylemler için öneriler geliştirmek ve farklı seçeneklerin önceliklendirilmesi amacıyla,
- İyileştirme eylemlerinin NGS güvenlik seviyesini nasıl etkilediğini değerlendirmede,
- Güvenlik açısından önemli sistemlerin yaşlanma etkisi, ortak neden arızaları ve personelin hatalı eylemlerine ilişkin güvenilirlik seviyelerinin belirlenmesinde,
- NGS güvenli işletme koşullarının değerlendirilmesinde,
- Tasarım ve işletme dokümanlarındaki değişikliklerin gerekçelendirilmesinde,
- Denetimlerin planlanmasında ve sonuçlarının değerlendirilmesinde,
- İşletme olaylarının öneminin değerlendirilmesinde,
- Tasarıma esas ve tasarım ötesi kaza listelerinin değerlendirilmesinde,
- Tasarım ötesi kaza yönetim kılavuzlarının gerekçelendirilmesinde

kullanılmalıdır (Rostechnadzor, tarih yok).

Bu kapsamda, NP-095-15 kodlu dokümanın 6'ncı maddesinde OGD'nin amacı ;

- Olasılıksal güvenlik değerlerinin hesaplanması,
- Olasılıksal güvenlik değerlerinin, ciddi bir kaza toplam olasılığı ve büyük acil durum salımı toplam olasılığı hedefleri ile uygunluğunun doğrulanması,
- NGS'nin güvenliğinin sağlanması için en önemli başlatıcı olayların, NGS ünitesi kaza senaryolarının, sistemlerin ve personel eylemlerinin tespit edilmesi,
- NGS ünitesi güvenliğinin sağlanmasına yönelik faaliyetlerin geliştirilmesi ve uygulanması sırasında önceliklerin belirlenmesi,
- NGS sistemlerinin modernizasyonuna yönelik faaliyetlerin güvenliğe ilişkin etkilerinin değerlendirilmesi

olarak tanımlanmaktadır (Rostechnadzor, 2015).

NP-095-15 kodlu dokümanın aynı maddesinde OGD'nin diğer kullanım alanlarının;

- Güvenlik açısından önemli olan sistemlerin güvenilirliğinin değerlendirilmesi,
- Nükleer enerjinin kullanımı alanında federal düzenleme ve kurallar ile birlikte bu alanda geçerli diğer normatif yasal eylemlerden sapmaların NGS için öneminin değerlendirilmesi,
- NGS sistemlerinin güvenliğe olan etkisine göre sınıflandırılmasının gerekçelendirilmesi,
- Denetim faaliyetlerinin planlanması ve değerlendirilmesi,
- Tasarıma esas kazalar için başlatıcı olay listelerinin gerekçelendirilmesi,
- Tasarım ötesi kaza listelerinin gerekçelendirilmesi,
- Tasarım ötesi kaza yönetim kılavuzlarının gerekçelendirilmesi

olduğu belirtilmektedir (Rostekhnadzor, 2015).

5.6 Japonya Yaklaşımı

Japonya yaklaşımına ilişkin yapılan araştırmalar neticesinde OGD ile ilgili düzenleyici dokümanların İngilizce sürümlerinin mevcut olmadığı görülmüş olup, tezin bu kısmı ulaşılabilir ikincil kaynaklardan derlenmiştir. Bu kapsamda, OECD'nin OGD'ye ilişkin anketi olan 'Olasılıksal Güvenlik Değerlendirmesinin Kullanımı ve Geliştirilmesi' isimli dokümanda (OECD/NEA, 2012) yer alan ve Japonya düzenleyici kurumu tarafından verilen 'resmi cevaplardan' ağırlıklı olarak yararlanılmaya çalışılmıştır.

Japonya'da NGS'lerin güvenliğinin değerlendirilmesi sırasında deterministik yaklaşımlara dayanan sıkı düzenlemeler kullanılmaktadır. Japonya, OGD'yi deterministik yöntemlerin tamamlayıcısı olarak tasarımın dengeli olduğunun gösterilmesinde ikna edici bir araç olarak kabul etse de, mevcut düzenleyici süreçte OGD'yi etkin bir şekilde kullanmamıştır. Ancak, OGD'nin yöntemlerindeki ilerlemeler ve ciddi kazaların da düzenleyici süreçte ele alınması ile OGD'nin uygulama alanları genişlemiştir (OECD/NEA, 2012).

Japonya'da, Çernobil Kazası'nın gerçekleşmesinin ardından, Nükleer Güvenlik Komisyonu (***Nuclear Safety Commission***) (NSC⁴) tarafından, Temmuz 1987 tarihinde,

⁴ Japonya'da Ocak 2001 tarihine kadar NGS'ler için Uluslararası Ticaret ve Endüstri Bakanlığı (MITI) düzenleyici kurum olarak görev yapmaktaydı. Yetkili bakanların güvenlikle ilgili konularda kabineye bağlı

Reaktörlerin Güvenlik Standartlarına İlişkin Özel Güvenlik Komitesi altında Genel Sorunlar için Yuvarlak Masa Konferansı düzenlenmiştir. Söz konusu konferansta, Çernobil Kazası sonrası ciddi kazalara karşı alınması gereken tedbirler tartışılmıştır. Yuvarlak Masa Konferansı üyeleri ciddi kazaların ve OGD yöntemlerinin tanımlanması ve ciddi kaza sonrası korunak binasının işlevini sürdürmesi üzerine araştırma yapmıştır. Bu araştırmalar neticesinde, Mayıs 1992 tarihinde Ciddi Kazalara Karşı Önlem Olarak Kaza Yönetimi Çalışmaları Raporu ortaya konulmuştur. Bu rapora göre; nükleer tesis güvenliği, tasarıma esas kazalar ile mücadele edecek ve bölgedeki halkın radyoaktif maruziyeti riskini yeterince düşürecek şekilde güvence altına alınır. Nükleer tesiste ciddi bir kaza veya ciddi kazaya sebep olabilecek olayların meydana gelmesi durumunda dahi, OGD'ye dayalı uygun bir kaza yönetimi ile ciddi kaza olması veya ciddi kaza durumunda halkın radyoaktif maruziyet riskinin en düşüğe indirilmesi ile halkın etkilenme olasılığı azaltılır. (Ahn ve diğerleri, 2014).

Yuvarlak Masa Konferansı üyelerinin raporundan sonra NSC, 'Güç Üreten Hafif Sulu Reaktörlerde Ciddi Kazalara Karşı Önlem Olarak Kaza Yönetimi' başlıklı kararını yayımlamıştır. Bu karar çerçevesinde, lisans sahipleri gönüllü olarak (düzenleyici gerekler ile düzenlenmeden) kazaların ciddi kazalara dönüşmesini engelleyecek (faz 1) ve ciddi kaza durumunda etkilerini azaltacak (faz 2) önlemler almaya başlamıştır (Ahn ve diğerleri, 2014).

O dönemin düzenleyici kurumu olan Uluslararası Ticaret ve Endüstri Bakanlığı (MITI) NSC'nin kararının ardından, Temmuz 1992 tarihinde, hafif sulu NGS lisans sahiplerinden OGD'yi gerçekleştirmelerini ve OGD'ye dayalı kaza yönetimi önlemlerini sunmalarını

NSC'nin görüşlerini de dikkate almaları istenmiş, böylece lisanslama faaliyetleri çift kontrol (**double check**) sistemi ile yürütülmüştür. Ocak 2001 tarihinde Ekonomik Planlama Ajansı ile MITI'nın birleşmesi sonucu Ekonomi, Ticaret ve Sanayi Bakanlığı kurulmuş ve bu bakanlığa bağlı Nükleer ve Endüstriyel Ajans (**Nuclear and Industrial Agency**) (NISA) ticari reaktörlerin lisanslanmasından sorumlu hale getirilmiştir. Lisanslama faaliyetleri ise NISA ve NSC, tarafından çift kontrol sistemi ile yürütülmeye devam etmiştir. Ancak, Fukushima Daichi kazası sırasında sorumluluğun öncelikli olarak kimde olduğunun belirsiz olması soruna yol açmış, bu nedenle tüm bu kurumların (NISA, NSC) Japonya Çevre Bakanlığı'na bağlı Nükleer Düzenleme Kurumu (**Nuclear Regulation Authority**) (NRA) çatısı altında birleştirilmesine karar verilmiştir.

istemiş, MITI'nın içeriğini onayladığı bu eylemlere ilişkin sonuç raporlarını talep etmiştir (Japon Hükümeti, 2011). Bununla birlikte, bu OGD'lerin kapsamı iç başlatıcı olaylar ile sınırlı tutulmuş olup, depremler de dahil dış başlatıcı olaylar kapsam dışı bırakılmıştır (Ahn ve diğerleri, 2014).

1992 tarihinden sonra, reaktörün işletme ve kapalı durumu için gerçekleştirilen OGD'ler, her 10 yılda bir gerçekleştirilen PGD kapsamında, NGS'lerin güncel güvenlik seviyesinin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Resmi olmayan bu değerlendirme sayesinde, ciddi kaza yönetimine ilişkin gerçekleştirilen OGD'lerin kapsamı, yangın ve deprem gibi dış olayları da içerecek şekilde genişletilmiştir (OECD/NEA, 2012; Ahn ve diğerleri, 2014).

NSC, Kasım 2003 tarihinde risk tanımlı yaklaşımlara ilişkin politik beyannamesini yayımlamıştır. Politik beyannameye göre risk tanımlı yaklaşımların amacı;

- Nükleer güvenlik düzenlemelerinin makullüğünü, tutarlılığını ve şeffaflığını artırmak,
- Güvenlik düzenlemelerine ilişkin faaliyetler için ayrılan kaynakların uygun bir şekilde tahsisini sağlamak,
- Deterministik güvenlik değerlendirmesine ve mühendislik muhakemelerine dayalı olan düzenlemeleri, OGD sonuçlarından faydalananarak, geliştirmektir (OECD/NEA, 2012).

NSC tarafından yayımlanan politik beyanname sonrası 2006 tarihinde o zamanın düzenleyici kurumu olan Nükleer ve Endüstriyel Güvenlik Ajansı (***Nuclear and Industrial Safety Agency***) (NISA) tarafından OGD'ye ilişkin yüksek seviye kılavuzlar ve risk tanımlı yaklaşımlar için kalite kılavuzları yayımlanmıştır (OECD/NEA, 2012).

Şubat 2001 tarihinde, güvenlik hedefleri konusunda özel bir komite oluşturan NSC, 2003 senesinde ara raporunu sunmuştur. Bu raporda niteliksel ve niceliksel güvenlik hedeflerine yer verilmiştir. Ocak 2004 tarihinde son halini alan rapora göre niteliksel güvenlik hedefi şu şekildedir (OECD/NEA, 2012);

- Nükleer enerjinin kullanımı nedeniyle halkın sağlığını etkileyecek derecede radyasyon salınımının veya radyoaktif madde salınımının ortaya çıkma olasılığı, halk riskinde anlamlı bir artışa yol açmayacak seviyede sınırlandırılmalıdır.

Söz konusu raporda yer alan niceliksel güvenlik hedefleri ise şu şekildedir (OECD/NEA, 2012);

- Nükleer kazalar nedeniyle, NGS sahası sınırı yakınında yaşayan halkın bireylerinde ortaya çıkabilecek ortalama akut ölüm riski, yılda yaklaşık 10^{-6} olasılığından daha az olmalıdır.
- Nükleer kazalar nedeniyle, NGS sahasından belirli bir mesafede yaşayan halkın bireylerinde ortaya çıkabilecek kansere bağlı gizli ölüm ortalama riski, yılda yaklaşık 10^{-6} olasılığından daha az olmalıdır

Niceliksel hedeflerin ‘yaklaşık’ rakamlar ile ifade edilmesinin sebebi, belirsizlikler ve tesislerde uygulanabilir makul güvenlik önlemlerindeki değişkenlik nedeniyle OGD sonuçlarında da oluşabilecek değişkenliği dikkate almaktır. Bazı tesisler için değerlendirilen riskler niceliksel hedeflerden biraz daha büyük olsa bile, bu söz konusu tesislere uygulanan düzenleyici kuralların yetersiz olduğu anlamına gelmemekte, bu tesislerde uygulanabilir makul güvenlik önlemlerinin alınması şartı ile yeterli olabilmektedir (OECD/NEA, 2012).

Mart 2006 tarihinde yayımlanan Performans Hedefleri Raporu’nda, niceliksel hedefleri karşılayan performans hedefleri;

- Kor hasar frekansı 10^{-4} /reaktör yıl’dan küçük,
- Korunak binası hasar frekansı 10^{-5} /reaktör yıl’dan küçük

olacak şekilde belirlenmiştir (OECD/NEA 2012).

Performans hedefleri temsili olarak seçilen Japon santrallerinin seviye 2 ve seviye 3 OGD’lerinden yola çıkılarak, akut ve kansere bağlı gizli ölüm risk hedeflerini karşılayacak şekilde oluşturulmuştur (OECD/NEA, 2012; JAEA, 2017). Performans hedeflerinden kor hasar frekansı için seviye 1 OGD’nin gerçekleştirilmesi gerekirken, korunak binası hasar frekansı için seviye 1,5 OGD’nin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bununla birlikte, Japon düzenlemelerine ve düzenleyici kurumun kaynaklarına erişim sağlanamadığından OGD çalışmalarının seviyesi, kapsamı, kurulması planlanan NGS’lerin lisanslanması aşamasında talep edilip edilmediği ve hangi lisanslama aşamasında hangi seviyede sunulması gerektiği konularında açık bir bilgiye ulaşılamamıştır.

Fukushima Daiichi NGS kazası öncesi ciddi kaza yönetim önlemleri düzenleyici gereklerde yer almamakta, gönüllü olarak gerçekleştirilen ciddi kaza yönetimine ilişkin çalışmalarda ise OGD'den elde edilen risk bilgisinin yetersiz bir şekilde kullanıldığı dikkat çekmektedir. Eylül 2012 tarihinde kurulan Nükleer Düzenleme Kurumu (NRA), Temmuz 2013 tarihinde yeni düzenleyici kurum gereklerini oluşturmuş ve bu gereklerde ciddi kaza yönetim önlemlerine de yer vermiştir. Ciddi kaza yönetim önlemlerine ilişkin gerekliliklerin geliştirilmesi sürecinde, kaza senaryo grupları OGD'den elde edilen bilgiler ışığında seçilmiştir. NRA, risk tanımlı yaklaşımların kullanımını aşağıdaki alanlarda hızlandırmaktadır (NRA, 2015);

- Ciddi kaza yönetim önlemlerinin etkinliğinin değerlendirilmesi sırasında kaza senaryo gruplarının belirlenmesinde,
- İyileştirmelerin de ele alındığı PGD'de,
- Denetim alanında Güvenlik Performansı Göstergesi Değerlendirmesi ve Güvenlik Önem Değerlendirmesi sürecinde.

Lisans sahipleri, ciddi kaza yönetim faaliyetlerini gerçekleştirmek ve bu faaliyetlerin etkinliğini göstermek zorundadır. Ciddi kaza yönetim faaliyetlerinin etkinliğinin değerlendirilmesi sürecinde, NRA tarafından belirlenen kaza senaryolarına ek olarak, santrale özgü OGD'ye dayalı kaza senaryolarının da dikkate alınması gerekmektedir (NRA, 2015).

Japonya'da PGD yapılmasına rağmen, bu değerlendirmeler Fukushima Daiichi NGS kazasının olmasını engellememiştir. İşletime ilişkin güvenlik faaliyetlerini gözden geçirmeye odaklanan geleneksel PGD'ler, etkili önlemlerin alınmasını sağlayamamıştır. Bunun üzerine, 2015 senesinde Japonya Atom Enerjisi Topluluğu (**Atomic Energy Society of Japan**) tarafından UAEA'nın PGD dokümanlarından da yararlanılarak Proaktif Güvenlik Değerlendirmesi (**Proactive Safety Review**) kılavuzları oluşturulmuştur. Proaktif Güvenlik Değerlendirmesi, nükleer tesislerin gelecekteki koşullarının tahmin edilmesine ve güvenliğin iyileştirilmesine yönelik önlemlerin önceden belirlenmesine izin vermektedir. Proaktif Güvenlik Değerlendirmesi kapsamında gözden geçirilen 14 unsurdan biri de OGD'dir (Mochizuki, 2017).

NISA, 2009 senesinden itibaren işletme ile ilgili güvenlik faaliyetlerine ilişkin kapsamlı bir değerlendirme deneme çalışması olarak, Güvenlik Performansı Göstergesi Değerlendirmesi ve Güvenlik Önem Değerlendirmesi süreci ile risk bilgisinden yararlanmıştır. Bu deneme çalışması, Mart 2011 tarihinde meydana gelen Fukushima Daiichi NGS kazası sonrası durmuştur. Bununla birlikte, 2012 senesinde kurulan NRA'nın Komisyon toplantısının düzenli oturumunda denetim alanında risk bilgisinin kullanılmasına dair karara varılmış ve ilgili faaliyetler tekrar başlatılmıştır. Bu karara dayanarak, NRA tarafından, Göstergeler, Ölçüler ve Risk Bilgisi Kullanımı Çalışma Ekibi (*Study Team on Use of Indicators, Measures and Risk Information*) ve Değerlendirme Yöntemleri Görev Ekibi (*Task Team on Evaluation Method*) oluşturulmuştur (NRA, 2015). Yeni denetim programının 2020 senesinde başlatılması planlanmaktadır (Mochizuki, 2017).

5.7 Türkiye Yaklaşımı

Türkiye Mevzuatı'nda yapılan incelemeler neticesinde OGD özelinde bir düzenleyici dokümanın mevcut olmadığı görülmüş olup, OGD'nin sunumuna, risk kriterlerine, düzenleyici kararlarda nerelerde ve ne şekilde kullanılacağına ilişkin hükümlere de yer verilmemiştir. Bununla birlikte, Nükleer Güç Santrallerinin Güvenliği İçin Tasarım İlkeleri Yönetmeliği'nin 6'ncı maddesinin 3'üncü fıkrasında "santral ve güvenlik sistemleri, tasarıma esas kazalardan hiçbirisi toplam risk içinde baskın olmayacak şekilde tasarımlanır." ifadesine yer verilmektedir. Söz konusu fıkra, tasarımın dengeli olduğunun gösterilmesine ilişkin bir gerekliliktir. Tezin dördüncü bölümünde de değinildiği üzere deterministik yaklaşımlar ile tasarımın dengeli olup olmadığının gösterilmesi mümkün değildir. Tasarımın dengeli olduğunun değerlendirilmesi sırasında, herhangi bir başlatıcı olay grubunun veya kaza senaryosunun kor hasar frekansına (kor hasar frekansı özelinde riske) anlamlı seviyede katkı yapmaması dikkate alınmakta, bu nedenle OGD'ye ihtiyaç duyulmaktadır.

Nükleer Güç Santrallerinin Güvenliği İçin Tasarım İlkeleri Yönetmeliği'nin 19'uncu maddesinin 3'üncü fıkrasında ise "Koruma kabının erken kaybına yol açabilecek türdeki ciddi kazaların mümkün olduğunca önlenmesini sağlayacak tasarım tedbirleri alınır. Koruma kabının erken kaybına yol açabilecek hasarlı kor kazası olaylarının dikkate

alınmayı gerektirmeyecek kadar düşük olasılıkta olduğu gösterilir.” ifadesine yer verilmektedir. Koruma kabının erken kaybına yol açabilecek hasarlı kor kazası olaylarının dikkate alınmayı gerektirmeyecek kadar düşük olasılıkta olduğunun gösterilmesi risk değerlendirmesini gerektirmektedir. Ancak, bu ifadede yer alan düşük olasılığın neye işaret ettiğine yer verilmemektedir.

6 FARKLI ÜLKE YAKLAŞIMLARININ KARŞILAŞTIRILMASI VE ÖNERİLER

Bu bölümde, örnek ülkeler çerçevesinde OGD'nin düzenleyici karar verme sürecindeki önemi, söz konusu ülkelerin OGD'ye ilişkin belirledikleri kapsam ve bu kapsamda OGD'nin farklı lisanslama seviyelerindeki sunumu, kabul kriterleri ve bu kabul kriterlerinin ülke yasal düzenlemelerinde katı veya esnek bir şekilde yer alıp almaması ve OGD'nin lisanslama faaliyetlerinde kullanım alanları üzerinde durulmuştur. Diğer ülkelerin OGD'ye ilişkin bakış açıları irdelenerek Türkiye mevzuatına öneriler sunulmuştur.

6.1 OGD'ye İlişkin Düzenleyici Kurum Yaklaşımlarının Karşılaştırması ve Türkiye için Öneriler

6.1.1 OGD'ye ilişkin düzenleyici kurum yaklaşımları

Örnek ülkeler çerçevesinde OGD'ye ilişkin bakış açıları irdelendiğinde, ülkeler deterministik yaklaşımların bir tamamlayıcısı olarak ve derinlemesine savunma ilkesinin desteklenmesi çerçevesinde OGD'yi gerekli görmektedir.

UAEA, NGS'nin güvenliğinin değerlendirilmesi sırasında deterministik ve olasılıksal yöntemlerin birlikte kullanılması gerektiğini belirtmekte, bu ifadelerine üst seviyedeki dokümanlarından biri olan GSR Part 4'de yer vermektedir.

ABD ise üst seviyedeki düzenlemeleri olan Federal Düzenleme Yasaları'nda kurulması planlanan santraller için OGD'yi istediğini belirtmektedir. ABD'de mevcut santraller için resmi bir düzenleyici gereklilik bulunmamaktadır. Ancak NRC, tezin ülke yaklaşımları kısmında detaylarına yer verildiği üzere, kendi düzenleyici sistemi içerisinde mevcut santrallerin tamamı için OGD'nin gerçekleştirilmesini sağlamış, düzenleyici faaliyetlerinde de bu OGD'lerden elde edilen sonuçları kullanmaya devam etmiştir. NRC, OGD'yi deterministik yaklaşımların bir tamamlayıcısı ve derinlemesine savunma ilkesinin destekleyicisi olarak gerekli görmesinin yanı sıra, düzenleyici kurum uygulamalarındaki gereksiz tutuculuğun azaltılması amacı ile de kullanmakta, bu kapsamda 'risk tanımlı-performansa dayalı' yaklaşımları benimsemektedir. Daha önce düzenlemelerinde kuralcı

(*prescriptive*) yaklaşımları kullanan ABD, risk tanımlı-performansa dayalı yaklaşımlar ile düzenlemelerinde betimsel (*descriptive*) yaklaşımları kullanır hale gelmiştir.

Fransa ise ilk OGD çalışmalarını Fransa'daki NGS'lerin tek işleticisi olan EDF ile yaptığı teknik diyaloglar sonucu gerçekleştirmiştir. Bu çalışmalardan birçok alanda yararlanılması sonucu Fransa, OGD'ye ilişkin ilk düzenleyici dokümanı olan Temel Güvenlik Kuralı'nı yayımlamıştır. Fransa, yasal olarak bağlayıcı dokümanlarında ise OGD'den ilk defa 2012 senesinde bahsetmektedir. 'Temel Nükleer Tesisler İçin Genel Kuralların Belirlenmesine İlişkin 7 Şubat 2012 Tarihli Yönetmelik' ile NGS'lerin güvenliğinin gösterilmesinde deterministik yaklaşımlar esas kabul edilmekte, OGD ise deterministik yaklaşımların bir tamamlayıcısı olarak talep edilmektedir. Fransa'da risk tanımlı yaklaşımlar sadece güvenliğin iyileştirilmesinde kullanılmakta, ASN tutuculuğun azaltılmasında OGD'nin kullanılmasını teşvik etmemektedir.

Finlandiya, üst seviyedeki dokümanlarından olan Nükleer Tüzük'ünde OGD'yi istediğini belirtmektedir. Düzenlemelerinde deterministik kriterlere de yer veren Finlandiya, NGS'lerin tasarımının ve işletiminin güvenli olduğunun gösterilmesinde risk tanımlı yaklaşımları benimsemektedir.

Rusya ise NP-095-11 kodlu OGD özelinde yayımlanan üst seviyedeki düzenleyici dokümanı ile OGD'yi talep etmektedir. Rusya Federasyonu'ndaki nükleer santrallerin güvenlik seviyelerinin değerlendirilmesi için risk tanımlı yaklaşımlar kullanılmaktadır.

Japon düzenlemelerine ve düzenleyici kurumun kaynaklarına erişim sağlanamadığından OGD çalışmalarının NGS'lerin lisanslanması aşamasında talep edilip edilmediği konusunda üst seviyede bir gereklilik olup olmadığı konusunda net bir bilgiye rastlanmamıştır. Fukushima Daiichi NGS kazası öncesi OGD'yi sınırlı bir şekilde kullanan Japonya, kaza sonrası deterministik ve olasılıksal yaklaşımları birbirinin tamamlayıcısı olarak görmekte ve düzenleyici karar verme sürecinde artan bir hızla kullanmaktadır.

6.1.2 Türkiye düzenleyici kurum yaklaşımına ilişkin öneri

Türkiye, düzenleyici faaliyetlerinde genel olarak deterministik yaklaşımları benimsemektedir. Her ne kadar bir NGS tasarımının dengeli olduğunun ve koruma kabının erken kaybına yol açabilecek hasarlı kor kazası olaylarının dikkate alınmayı

gerektirmeyecek kadar düşük olasılıkta olduğunun gösterilmesi talep edilse de, Türkiye Mevzuatı'nın herhangi bir yerinde OGD'ye ilişkin açık bir ibareye yer verilmemektedir.

İlk NGS tasarımlarında sadece deterministik yaklaşımlar kullanılmış olsa da, NGS'lerin güvenliğinin sağlanmasında ve düzenleyici karar verme sürecinde faydaları nedeni ile olasılıksal yaklaşımların kullanımı da gündeme gelmiştir. Günümüzde OGD'nin olgunluk seviyesi ve yöntemleri genel olarak kabul edilmiş seviyededir. Bu nedenle, birçok düzenleyici kurum karar verme sürecinde artık risk tanımlı yaklaşımları kullanır hale gelmiştir. OGD'ye ilişkin bir diğer yaklaşım olan riske dayalı yaklaşımlar ise düzenleyici kurumlarca şu ana kadar benimsenmemiştir.

Tez çalışmasında da değinildiği üzere deterministik yaklaşım yöntemleri tecrübe birikimine bağlı olarak çok gelişmiş olsa da bu yöntemlerin bazı zayıf yönleri bulunmaktadır. Deterministik yaklaşımlarda, sadece belli kaza senaryoları tutucu bir yaklaşımla ele alınırken, olasılıksal yaklaşımlarda bütün önemli ekipman arızalarının, insan hatalarının ve kaza senaryolarının ele alınması mümkün olmaktadır. Santral özelinde bütün kaza senaryolarının ve hataların ele alınması ile derinlemesine savunma ilkesi ve tek hata kriteri gibi deterministik yaklaşım gerekliliklerinin karşılanıp karşılanmadığı OGD ile kolayca irdelenebilmektedir. OGD sonuçlarından olan minimum hata serileri, deterministik kriterlerin sağlandığının gösterilmesinde ve gerek sistemler arası gerek ise derinlemesine savunma seviyeleri arasındaki bağımlılıkların tanımlanmasında önemli araçlardandır.

NGS'lerin güvenliğinin sağlanması sırasında belli kaza senaryolarının ve arızaların, toplam risk içinde baskın olmaması yani tasarımın dengeli olması beklenmektedir. Tasarımın dengeli olduğunun gösterilmesi ise OGD ile mümkündür. OGD'den elde edilen bilgiler ışığında tasarımın zayıflıkları ortaya konulmakta, güçlendirilmesi gereken yönler belirlenebilmektedir. Bu nedenlerden dolayı düzenleyici kararlarda olasılıksal ve deterministik değerlendirmelerin birlikte kullanıldığı tümleşik lisanslama süreci olan risk tanımlı yaklaşımların kullanılması önem taşımaktadır.

Örnek ülkeler çerçevesinde değerlendirildiğinde, söz konusu ülkeler deterministik yaklaşımların bir tamamlayıcısı olarak ve derinlemesine savunma ilkesinin desteklenmesi çerçevesinde OGD'yi gerekli görmekte, düzenleyici karar verme sürecinde risk tanımlı yaklaşımları benimsemektedir.

Bu kapsamda, Türkiye Mevzuatı'nın yasal bağlayıcılığı olan düzenlemelerinde OGD'nin talep edildiğine dair açık bir ibarenin yer alması ve risk tanımlı yaklaşımların düzenleyici karar verme sürecinde etkin bir şekilde kullanılması gerektiği değerlendirilmektedir. Bölüm 7'de sunulan öneri niteliğindeki Yönetmelik ile düzenleyici kararlarda risk tanımlı yaklaşımların kullanılabilirliği ve OGD'nin inşaat lisansı, işletme lisansı ve işletme sırasında talep edildiği açık bir şekilde ortaya konulmaktadır. Ayrıca, öneri niteliğindeki Yönetmelik'in 3'üncü maddesi 2'inci fıkrasında olasılıksal güvenlik değerlendirmelerinin deterministik yaklaşımların bir tamamlayıcısı olarak gerçekleştirilmesi gerektiği ifade edilerek, Türkiye'nin düzenleyici karar verme sürecinde risk tanımlı yaklaşımları benimsediği belirtilmektedir.

6.2 OGD risk hedeflerine ilişkin Düzenleyici Kurum Yaklaşımlarının Karşılaştırması ve Türkiye için Öneriler

6.2.1 OGD'ye ilişkin düzenleyici kurum risk hedefleri

UAEA'nın tavsiye niteliğindeki dokümanlarından INSAG'da yer alan risk hedefleri, işletmede olan nükleer güç santralleri için KHF her bir reaktör yılında 10^{-4} , kurulması planlanan santraller için ise KHF her bir reaktör yılında 10^{-5} olarak belirlenmiştir. BESF'nin ise mevcut santraller için her bir reaktör yılında 10^{-5} olması önerilmektedir. INSAG 12 veya diğer UAEA dokümanlarında kurulması planlanan NGS'ler için seviye 2 OGD'ye ilişkin herhangi bir sayısal güvenlik hedefi sunulmamaktadır. INSAG 12'de "kurulması planlanan nükleer güç santralleri için diğer bir hedef, büyük ve erken radyoaktif salıma giden kaza senaryolarının pratik olacak şekilde bertarafının sağlanması gerektiği" şeklinde ifade edilen niteliksel kriter yer almaktadır.

Tezin ülke yaklaşımları bölümünde detaylarına yer verildiği üzere ABD risk hedefleri için niteliksel güvenlik hedefleri ve bu niteliksel güvenlik hedeflerini sayısal olarak destekleyen niceliksel sağlık hedefleri belirlemiştir. ABD, söz konusu niceliksel sağlık hedeflerinin sağlandığının gösterilmesinin ise OGD ile mümkün olduğunu belirtmekte, bu amaçla bu sağlık hedeflerini karşılayan ve yardımcı risk ölçütleri adını verdikleri KHF ve büyük salım frekansını tanımlamaktadır. ABD, kurulması planlanan reaktörler için KHF'nin 10^{-4} /reaktör yıl, büyük salım frekansının ise 10^{-6} /reaktör yıl'dan küçük olmasını talep etmektedir. Ancak, söz konusu yardımcı risk ölçütleri hedef olarak tanımlanmış olup,

kılavuz değeri olarak ele alınmakta, katı bir şekilde kriter olarak değerlendirilmemektedir. OGD'yi derinlemesine savunma ilkesi çerçevesinde ele alan ABD, OGD ile tasarımın dengeli olduğunu gösterilmesinin daha önemli olduğunu vurgulamaktadır. ABD'nin kurulması planlanan santrallere ilişkin bir diğer kriteri ise, KHF ve büyük salım frekansının mevcut santrallere oranla daha düşük olmasıdır.

OGD'yi deterministik yaklaşımların bir tamamlayıcısı olarak gören Fransa, düzenlemelerinde olasılıksal hedefler tanımlamamıştır. Fransa, yasal bağlayıcılığı olmayan dokümanlarından olan Temel Güvenlik Kuralı'nda OGD uygulamaları için referans hedefler belirlenebileceğini, ancak bu değerlerin katı bir şekilde değil, kılavuz değeri olarak ele alınması gerektiğini ifade etmektedir. Fransa'da hedefler, NGS'lerin tek işleticisi olan EDF ile yürütülen görüşmeler sonucu gayriresmi bir şekilde belirlenmektedir.

Finlandiya ise KHF ortalama değerinin 10^{-5} /reaktör yıl'dan küçük, bir kaza sırasında 100 TBq Cs-137'nin atmosfere salım değerinin ise ortalama 5×10^{-7} 'den küçük olmasını talep etmektedir. İnşaat ve işletme lisansı başvuru sahibinden söz konusu sayısal güvenlik hedeflerinin karşılandığını OGD aracılığı ile göstermesi istenmektedir. Bu ifadeden Finlandiya'nın sayısal güvenlik hedeflerini zorunlu bir gereklilik olarak tanımladığı anlaşılmaktadır.

Rusya'da sayısal hedefler ciddi kaza kümülatif olasılığının bir yıl içinde 10^{-5} 'i aşmaması, büyük acil durum salımı kümülatif olasılığının ise bir yıl içinde 10^{-7} 'i aşmaması gerektiği şeklindedir. Rusya bu hedefleri üst seviyedeki düzenlemelerinde tanımlamak ile birlikte, zorunlu tutmamaktadır. Ancak, büyük acil durum salım olasılığının yüksek olması durumunda, kazaların ortaya çıkma olasılıklarının ve kaza sonuçlarının hafifletilmesi amacıyla alınabilecek tüm önlemlerin alınması gerektiğini belirtmektedir.

Japonya risk hedeflerinde, niteliksel ve niceliksel sağlık hedeflerinin yanı sıra performans hedefi adını verdikleri KHF ve korunak kabı hasar frekansını kullanmaktadır. Japonya tanımı daha açık olması gerekçesi ile, BESF yerine, korunak kabı hasar frekansını tercih etmektedir. Korunak kabı hasar frekansı, erken ve geç radyolojik salımın tamamını kapsamaktadır. Japonya'da KHF 10^{-4} /reaktör yıl'dan küçük, korunak kabı hasar frekansı ise 10^{-5} /reaktör yıl'dan küçük olacak şekilde belirlenmiştir.

6.2.2 Türkiye için OGD risk hedeflerine ilişkin öneri

NGS’lerde, tasarıma esas kazalar ile mücadele edilmesi ve kor erimesi ile sonuçlanan ciddi kaza sonrası halkın radyasyona maruz kalmasının önlenmesi amacıyla alınan karşı tedbirlerde derinlemesine savunma ilkesi en önemli kaidelerden biridir. Ancak, NGS’lerde güvenliğin sağlanması amacıyla alınan bu tedbirlere rağmen riskin sıfıra indirilmesi mümkün değildir. Bu kapsamda, nükleer tesis güvenliği, tasarıma esas kazalar ile mücadele edecek ve bölgedeki halkın radyoaktif maruziyeti riskini tolere edebilir seviyeye düşürecek şekilde güvence altına alınmalıdır.

Türkiye, koruma kabının erken kaybına yol açabilecek hasarlı kor kazası olaylarının dikkate alınmayı gerektirmeyecek kadar düşük olasılıkta olduğunun gösterilmesini talep etmektedir. Ancak, Türkiye düzenlemelerinde olasılıksal güvenlik hedefleri tanımlanmamakta, riskin hangi seviyelerde tolere edilebilir olduğu açıkça ortaya konulmamaktadır.

Örnek ülkeler çerçevesinde risk hedeflerine ilişkin bakış açıları irdelendiğinde, OGD’yi düzenlemelerinde zorunlu olarak talep eden söz konusu bu ülkelerin, sayısal güvenlik hedeflerini katı bir gereklilik olarak tanımlamadığı görülmektedir. Bu durumun en önemli nedenlerinden biri OGD’deki belirsizliklerdir. Katı kriterler kullanılmamasının diğer bir nedeni ise OGD sonuçlarının modelin oluşturulması sırasında izlenen yollara bağlı olması, bu nedenle mutabık kalınacak kriterler oluşturulmasının zor olmasıdır. Güvenlik hedefleri tutturulsa bile, bu kriterlere ulaşmada getirilen teknik çözümler tartışılmalı, olasılıksal ve deterministik yaklaşımlar birlikte kullanılarak etkin çözümler bulunmalıdır. Ayrıca, katı kriter oluşturulmasının ters etkileri olabilmektedir. Söz konusu kriterler sağlandığında, kurucu güvenliğin iyileştirilmesi konusunda isteksiz davranabilmektedir. Aynı zamanda, tasarımın ilk aşamalarında OGD’nin belli varsayımlar ile gerçekleştirilmesi ve belirsizliklerin çok fazla olması nedeni ile olasılıksal hedeflerin altında kalılabilmekte, bu durum kurucu için de ters etkilere yol açabilmektedir. Türkiye için, OGD’ye ilişkin sayısal hedeflerin kılavuz değer olarak belirlenmesi gerektiği değerlendirilmekte, öneri niteliğindeki Yönetmelik’in 10’uncu maddesi 3’üncü fıkrasında bu hedeflerin kılavuz değer olarak ele alınması gerektiği ifade edilmektedir. Kılavuz değer olarak belirlenmesi ile güvenliğin iyileştirilmesi yönündeki ters etkilerin giderilmesinin yanı sıra, kurucu

açısından oluşabilecek olumsuzlukların da giderilmesi sağlanmaktadır. Ancak, NGS tasarımının ve ciddi kazalara karşı alınan önlemlerin etkinliğinin tespit edilmesinde OGD sonuçları ile sayısal güvenlik hedeflerinin tutarlı olması önemlidir. Özellikle ciddi kazalara karşı alınan önlemlerin değerlendirilmesi sırasında OGD önemli bir araç olarak görülmektedir. Olasılıksal güvenlik hedefi hükümlerinin yerine getirilmemesi durumunda daha derin güvenlik değerlendirmeleri gerçekleştirilmekte, hedeflerin tutturulamamasının nedenleri irdelenmektedir. Söz konusu kılavuz değerlerin tutturulamaması durumunda, sonuçlar titizlikle irdelenmeli, risk değerindeki yüksekliğin belirsizliklerden mi yoksa tasarımdaki zayıflıklardan mı kaynaklandığı tespit edilmelidir. Tasarımda iyileştirilmesi gereken yönler var ise bu kısımlara odaklanılmalıdır. Bu kapsamda, öneri niteliğindeki Yönetmelik'in 10'uncu maddesi 3'üncü fıkrasında bahsedilen kılavuz değerler katı kriterler olarak tanımlanmamış olsa da, bu hükmün yerine getirilmemesi durumunda, riskin olabildiğince azaltılması amacıyla, gerekli olan ek önlemlerin alınması gerektiği aynı fıkra da belirtilmiştir. Böylece, gözden geçirme ve değerlendirme personelinin daha derin güvenlik değerlendirmeleri gerçekleştirmesi ile riskteki yüksekliğin belirsizliklerden veya tasarımdaki zayıflıklardan mı kaynaklandığının tespit edilmesi ve zayıflıklardan kaynaklanması durumunda tasarımda veya işletmede değişikliğe gidilmesi ile gerekli önlemlerin alınması mümkün hale gelmiştir. Daha derin güvenlik değerlendirmelerinin gerçekleştirilmesi sırasında, önem, hassasiyet ve belirsizlik analizlerinin yapılması gerekmektedir. Bu amaçla, bölüm 7'de sunulan öneri niteliğindeki Yönetmelik'in 4'üncü maddesi 2'inci fıkrasında önem, hassasiyet ve belirsizlik analizlerinin gerçekleştirilmesi gerektiği belirtilmektedir. Bu durumda, OGD'de gerçekleştirilecek söz konusu analizlerin yanı sıra, ek deterministik analizler de gerekebilmektedir.

Bölüm 7'de sunulan öneri niteliğindeki Yönetmelik ile Türkiye lisanslama faaliyetlerinde kullanılmak üzere sayısal güvenlik hedefleri için KHF 10^{-5} /reaktör yıl, BESF ise 10^{-7} /reaktör yıl olarak belirlenmiştir. Büyük salım ise aynı Yönetmelik'te 100 TBq Cs-137'nin çevreye salımı olarak tanımlanmıştır.

Yönetmelik'te tanımlanan diğer risk tanımlı uygulamalar için ise farklı kriterler uygulanabilmektedir. Örneğin, YSB'lerin risk tanımlı olarak sınıflandırılması veya risk açısından önceliklendirilmesi sırasında önem değeri kullanılırken, HİD'lerde koşullu kor hasar olasılığı, olay analizlerinde ise koşullu KHF vb. kullanılabilmektedir. Risk tanımlı

yaklaşımların uygulama alanlarında uluslararası seviyelerde farklı yöntemlerin kullanılmasından dolayı aynı uygulama için farklı kriterler de tanımlanabilmektedir. Özellikle, son gelişmeler ışığında uygulama alanı sürekli genişleyen risk tanımlı yaklaşımlar için yeni gereklilikler kapsamında yeni yöntemler oluşturulabilmektedir. Bu kapsamda, kurucunun farklı risk tanımlı uygulamaları için kullandığı yöntemlerin ve kriterlerin doğrulanmış olması önem arz etmektedir. Yönetmelik'in 8'inci maddesi 2'inci fıkrasında söz konusu yöntemlerin analizin kapsamına ve amacına uygun seçilmesi, doğrulama ve geçerleme süreci ile uygun bulunan yöntemlerin kullanılması gerektiği belirtilmektedir. Risk tanımlı uygulamalar açısından Yönetmelik'in 11'inci maddesi 1'inci fıkrasında ise kriterleri Kurum'un onaylaması şartı ile kurucunun tanımlayabileceği belirtilmiştir. Bu madde ile kurucunun risk tanımlı uygulamalar için kendi yöntemi ile başvurması durumunda kriterlerin Kurum'un doğrulamasına tabii olduğu ifade edilmiştir. İleride OGD'nin farklı uygulamalarına ilişkin Kurum'un kendi yöntem ve kriterlerini oluşturması ihtimaline karşı, Yönetmelik'in 11'inci maddesi 2'inci fıkrasında Kurum tarafından belirlenen kriterlerin olması durumunda bunların takip edilmesinin yolu açılmıştır.

6.3 OGD Dokümanlarının Kapsamına ve Sunumuna İlişkin Düzenleyici Kurum Yaklaşımlarının Karşılaştırması ve Türkiye için Öneriler

6.3.1 OGD dokümanlarının kapsamına ve sunumuna ilişkin düzenleyici yaklaşımlar

Yapılan incelemede UAEA'nın, OGD'nin kapsamını daha çok ülkelerin kendi uygulamalarına bıraktığı görülmektedir. Ancak, bir nükleer tesis sahası yakınında bulunan halkın toplam riskinin değerlendirilmesi için tüm işletme durumlarının (tam güç, düşük güç ve reaktörün kapalı olduğu durumlar), iç tehlikelerin (yangın, su basması vs.), dış tehlikelerin (deprem, kuvvetli rüzgar, sel vs.) ve kor içinde ve dışında bulunan bütün radyoaktif kaynakların ele alınması tavsiye edilmektedir. UAEA dokümanlarında, OGD'nin farklı lisanslama aşamalarındaki sunumuna ilişkin bilgiye rastlanmamıştır.

ABD, OGD'nin sunumuna ilişkin gerekliliğe üst seviyedeki düzenlemelerinden olan Federal Düzenleme Yasaları'nda yer vermektedir. Kurulması planlanan santraller için

başvuru sahiplerinin NRC'nin mutabakata vardığı standartlarda seviye 1 ve seviye 2 OGD'yi ilk yakıt yüklemesini yapmadan en az 1 yıl önce sunması gerektiği belirtilmektedir. Bununla birlikte, RG 1.206 kodlu dokümanda tümleşik lisanslama başvurusu sırasında OGD'nin belirli bir kapsamda sunulması talep edilmektedir. RG 1.206 kodlu dokümana göre, seviye 1 ve seviye 2 OGD iç ve dış olayları içerecek ve santralin tüm işletme durumlarını ele alacak şekilde sunulmalıdır.

Detaylarına tezin Fransa Yaklaşımı bölümünde yer verildiği üzere, Fransa'da OGD'nin kapsamı tüm işletme durumları için seviye 1 OGD iç olaylar (yangın, su basması vb. iç tehlikeler hariç) olarak belirlenmiş, ancak gerek duyulması halinde bu kapsamın iç ve dış tehlikelere ve seviye 2 OGD'ye genişletilebileceği belirtilmiştir. Fransa'da seviye 1 iç olaylara ilişkin OGD dokümanları inşaat lisansı başvurusu sırasında, iç tehlikelere (yangın, su basması) ilişkin OGD dokümanları ise fiziksel ayrılığın yeterli olduğunun gösterilmesi açısından inşaat lisansının verilmesinden yeterince zaman önce istenmektedir. Seviye 1'den seviye 2 OGD'ye geçiş sırasında santral hasar durumu gruplarından yüksek basınç kor hasarı ve baypas senaryoları ele alınarak en kötü senaryo için yük hesabı talep edilmektedir. Yapılan yük hesabı sonucunda, korunak binasının ağır bir şekilde zarar göreceği sonucuna varılır ise, seviye 2 OGD talep edilmekte ve işletme lisansından yeterince zaman önce sunulması beklenmektedir.

Finlandiya ise inşaat ve işletme lisansının her bir aşaması için seviye 1 ve seviye 2 OGD'yi talep etmektedir. Seviye 1 ve seviye 2 OGD'nin kapsamı tüm işletme durumları, kor içinde ve dışında yer alan tüm radyoaktif kaynakları, iç tehlikeleri ve dış tehlikeleri içerecek şekilde belirlenmiştir.

Rusya ise seviye 1 ve seviye 2 OGD'yi inşaat ve işletme aşamalarında GAR'ın geliştirilmesi sırasında talep etmektedir. Seviye 1 ve seviye 2 OGD'nin kapsamı bütün başlatıcı olayları, bütün normal işletme durumlarını (güç üretimi, reaktörün kapatılması, reaktörün soğuk rejimi, yakıt değişimi, sistemlerin bakım ve onarımı, reaktörün sıcak rejimi, reaktörün tekrar devreye alınması) ve NGS ünitesinde bulunan bütün nükleer malzemeleri ele alacak şekilde belirlenmiştir.

Japonya'nın düzenlemelerine ve düzenleyici kurumun kaynaklarına erişim sağlanamadığından OGD çalışmalarının kapsamı ve farklı lisanslama aşamalarında

sunumu konularında açık bir bilgiye ulaşılammıştır. Ancak, Japonya'nın performans hedeflerinden olan kor hasar frekansının hesaplanması için seviye 1 OGD'ye, korunak binası hasar frekansının hesaplanması için ise seviye 1,5 OGD'ye ihtiyaç duyulmaktadır.

6.3.2 OGD dokümanlarının kapsamına ve sunumuna ilişkin öneri

Türkiye düzenlemelerinde OGD'nin sunumuna ve kapsamına ilişkin hükümler bulunmamaktadır. Bununla birlikte, Nükleer Güç Santrallerinin Güvenliği İçin Tasarım İlkeleri Yönetmeliği'nin 19'uncu maddesinin üçüncü fıkrasında geçen "Koruma kabının erken kaybına yol açabilecek hasarlı kor kazası olaylarının dikkate alınmayı gerektirmeyecek kadar düşük olasılıkta olduğu gösterilir" hükmünün yerine getirilmesi için en az seviye 1,5 OGD'nin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Santral tasarımındaki ve işletimindeki zayıflıkların düzgün bir şekilde tanımlanması ve bu kapsamda yedeklilik, çeşitlilik, fiziksel ayrılık veya alınması gereken teknik önlemler gibi unsurların belirlenmesi için tam kapsamlı bir OGD'nin gerçekleştirilmesi önemlidir. Ayrıca, tam kapsamda gerçekleştirilmeyen OGD ile risk gerçek değerinden düşük tahmin edilebilmekte, bu durum ise risk tanımlı yaklaşımlarda yanlış değerlendirmelere yol açabilmektedir. OGD çalışmaları, santralin kapalı olduğu veya düşük güçte çalıştığı durumlar için risk seviyesinin, santralin normal işletme durumundaki risk seviyesi ile karşılaştırılabilir olduğunu göstermektedir. Ayrıca, Fukushima Daiichi NGS kazası kor dışındaki (yakıt havuzu) radyoaktif kaynakların da risk üzerinde etkin olduğunu göstermiştir.

Santralden kaynaklanabilecek riskin gerçek bir değerlendirmesinin yapılması ve santralin bütün işletme durumları ve bütün radyoaktif kaynakları için zayıflıkların tanımlanması ve gerekli önlemlerin alınmasının sağlanması amacı ile bölüm 7'de sunulan öneri niteliğindeki Yönetmelik'te OGD'nin tam kapsamlı gerçekleştirilmesi istenmektedir. Bu Yönetmelik'e göre Türkiye lisanslama faaliyetlerinde kullanılacak OGD'nin kapsamı, iç başlatıcı olayları, iç tehlikeleri (yangın, su basması vs.), dış tehlikeleri (deprem, sel vs.) ve kor içindeki ve dışındaki (yakıt havuzu) radyoaktif kaynakları içerecek şekilde tüm işletme durumları (tam güç, düşük güç, reaktörün başlatma, kapatma ve bekleme durumları dahil) için seviye 1 ve seviye 2 OGD olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte, metodlarının gelişmemiş olması ve atmosferik dağılım, toplum sağlığı ve çevre üzerindeki stokastik

etkiler, yiyecek zinciri vb. gibi unsurlardaki belirsizliklerin fazla olması nedeni ile seviye 3 OGD kapsam dışı bırakılmıştır. Örnek ülkeler çerçevesinde mevcut düzenleyici yaklaşımlar irdelendiğinde, seviye 3 OGD'nin çoğu ülke tarafından da talep edilmediği görülmektedir.

OGD'nin lisanslamanın hangi aşamasında ne kapsamda sunulması gerektiği ise önemli bir husustur. Tezin '4.4.1 OGD'ye ilişkin dokümanların sunumu' başlıklı bölümünde de bahsedildiği üzere OGD gözden geçirme ve değerlendirmeleri çevrimiçi ve çevrimdışı olmak üzere iki şekilde yürütülmektedir. Gözden geçirme ve değerlendirme sırasında gerek zamanın etkin kullanılması gerekse bulunan eksikliklerin tasarımın erken bir aşamasında giderilmesinin sağlanması amacı ile OGD dokümanlarının tasarım ve inşaat lisansı aşamasında sunularak gözden geçirme ve değerlendirme sürecinde çevrimiçi bir yaklaşımın benimsenmesinin faydalı olacağı değerlendirilmektedir.

Ancak, tezin yine '4.4.1 OGD'ye ilişkin dokümanların sunumu' başlıklı bölümünde bahsedildiği üzere OGD analizinin gerçekleştirilmesi ve gözden geçirilmesi için en önemli hususlardan biri, tesis tasarımının ve nasıl işletileceğinin açık bir şekilde ortaya konulmasıdır. Bu durum için kurulması planlanan santrallerin tasarım ve inşaat lisansı aşamasında, özellikle tesisin nasıl işletileceğine dair hususların belli olmaması nedeni ile, zorluklar yaşanmaktadır. Düzenleyici kurumlar, OGD gözden geçirme ve değerlendirmelerinin başlamasından önce kurucu ile teknik görüşmeler gerçekleştirmekte ve gözden geçirme ve değerlendirme sürecinin etkin bir şekilde yürütülmesi için çalışma programı oluşturmaktadır. Çevrimiçi yaklaşımlar ile yürütülen gözden geçirme ve değerlendirme sürecinde tasarım aşamasındaki santraller için dondurulmuş bir tasarımın olması ve OGD dokümanlarının söz konusu dondurulmuş tasarım için son kez değerlendirilmesi önemlidir. Örnek ülkeler irdelendiğinde, ABD, RG 1.206 kodlu dokümanda tümleşik lisanslama başvurusu sırasında OGD'nin belirli bir kapsamda sunulmasını talep etmektedir. Federal Düzenleme Yasaları'nda ise seviye 1 ve seviye 2 OGD'nin nihai halinin ilk yakıt yüklemesini yapmadan en az 1 yıl önce sunulması gerektiği ifade edilmektedir. Fransa ise sunum şeklini teknik tartışmalar sonucu varılan mutabakat ile belirlemektedir. Finlandiya, hem inşaat lisansı hem de işletme lisansı aşamasında OGD dokümanlarının sunumunu talep etmektedir.

Yukarıda açıklanan nedenler ve örnek ülkelerin yaklaşımları çerçevesinde irdellemeler neticesinde, bölüm 7’de sunulan öneri niteliğindeki Yönetmelik’in 5’inci maddesinin 1’inci fıkrasında OGD raporunun ayrıntılarının ve kapsamının Kurum ve kurucu arasında gerçekleştirilen müzakereler sonucu Kurum tarafından belirlenmesi önerilmektedir. Ancak, işletme lisansı aşamasında ise dondurulmuş tasarımın, işletme koşullarının ve işletme ve acil durum prosedürlerinin artık tamamlanmış olması gerekçesi ile bölüm 7’de sunulan öneri niteliğindeki Yönetmelik’in 6’ıncı maddesinin 1’inci fıkrasında işletme lisansının verilmesinden 1 yıl önce bütün ayrıntıları (nihai hali) ile tam kapsamlı OGD’nin sunulması talep edilmektedir.

Tasarım aşamasında gerçekleştirilen OGD için santrale özgü verilerin olmaması nedeni ile, jenerik verilerden, benzer santrallerden gelen verilerden veya mühendislik muhakemesi sonucu oluşturulan verilerden yararlanılmaktadır. Ancak, işletmeye alınan santrallerde santrale özgü verilerin elde edilmesi ile birlikte metodolojik gelişmeler ışığında OGD güncellenmelidir. ABD, bu güncellemeleri kurulması planlanan santraller için her 4 yılda bir isterken, Fransa ve Japonya PGD sırasında, Finlandiya ise her yıl sunulmasını talep etmektedir. OGD yöntemlerindeki değişikliklerin ve işletme deneyimleri sonucu elde edilen santrale özgü verilerin OGD’ye yansıtılması amacıyla bölüm 7’de sunulan öneri niteliğindeki Yönetmelik’in 7’inci maddesinin 2’inci fıkrasında güncellenmiş OGD’nin her 5 yılda bir Kurum’a sunulması talep edilmektedir.

6.1 OGD’nin Kullanım Alanlarına İlişkin Düzenleyici Kurum Yaklaşımlarının Karşılaştırması ve Türkiye için Öneriler

6.1.1 OGD’nin kullanım alanlarına ilişkin düzenleyici yaklaşımlar

Örnek ülke yaklaşımları irdelendiğinde, teknik spesifikasyonların gerekçelendirilmesinde ve teknik spesifikasyonların şartlarının risk tanımlı olarak belirlenmesinde ABD, Fransa ve Finlandiya’da düzenlemelerin olduğu görülmektedir.

NGS’lerde lisanslamaya temel konularda değişiklik olması durumunda ise, riskin değerlendirilmesi kapsamında, bütün ülkeler için risk tanımlı yaklaşımlar ile bu değişimler gerçekleştirilmektedir. Ancak, Finlandiya ve Fransa gibi ülkeler söz konusu değişikliklerde risk tanımlı yaklaşımları güvenliğin sağlanması ve iyileştirilmesi için kullanmakta,

düzenleyici kısıtlamalarda kullanımını teşvik etmemektedir. ABD ise takip ettiği risk tanımlı-performansa dayalı yaklaşımları, güvenlikten ödün vermeden düzenleyici yaklaşımlardaki gereksiz tutuculuğun azaltılması için de kullanmaktadır. Bu kapsamda, örneğin işletmede olan bir santral için test aralıklarının uzatılması düzenleyici yaklaşımlarındaki risk hedeflerini aşmamak kaydı ile gerçekleştirilebilmekte veya iyileştirmenin gerekli olduğu durumlarda fayda/maliyet analizleri sonucu maliyet etkin iyileştirmelere gidilebilmektedir. Ancak, RG 1.174 kodlu dokümanda lisanslamaya temel konularda değişikliğe gidilmesi durumunda, risk tanımlı yaklaşım kullanımının gönüllülük esasına bağlı olduğu, NRC personeli tarafından risk bilgisinin istenmesi durumunda ise sunulması gerektiği ifade edilmektedir.

UAEA, ADİP'lerin geliştirilmesi sırasında OGD çalışmalarının da kullanılmasını tavsiye etmektedir. Finlandiya, düzenleyici dokümanı YVL A7'de ADİP'lerin oluşturulması sırasında OGD'den faydalanılmasını talep etmekte, en önemli kaza senaryolarına yer verilmesini istemektedir.

Ciddi kazalara karşı alınan önlemlerin değerlendirilmesinde ise OGD en etkin araçlardan biridir. ABD ve Japonya ilk OGD çalışmalarına ciddi kazaların değerlendirilmesi kapsamında başlamıştır. Fransa, ciddi kaza durumunda planlanan önlemler için güvenlik iyileştirmelerinin ön analizinin yapılması ve büyük ve erken salımlara yol açan kaza senaryolarının pratik olarak bertaraf edildiğinin gösterilmesinde OGD'yi kullanırken, Rusya tasarım ötesi kaza listelerinin ve tasarım ötesi kaza yönetim kılavuzlarının gerekçelendirilmesinde OGD'yi kullanmaktadır.

UAEA, operatör eğitim programlarının geliştirilmesinde OGD'nin kullanılmasını tavsiye etmektedir. ABD, Fransa ve Finlandiya gibi ülkelerin düzenlemelerinde operatör eğitim programlarının geliştirilmesinde OGD'nin kullanılmasına yer verilmektedir. Finlandiya risk açısından en önemli kaza senaryolarının ve en önemli insan eylemlerinin her 3 yılda bir operatör eğitimlerinde yer alması gerektiğini düzenlemelerinde ifade etmiştir. Rusya ise güvenlik açısından önemli insan eylemlerinin tanımlanmasında OGD'yi kullanmaktadır.

OGD'nin bir diğer kullanım alanı ise düzenleyici kurumlar tarafından gerçekleştirilen denetim faaliyetleridir. ABD, denetim faaliyetlerinde OGD'yi etkin bir şekilde kullanmaktadır. Tezin ABD Yaklaşımı kısmında detaylarına yer verildiği üzere, denetim

bulguları risk tanımlı Önem Belirleme Süreci içerisinde 4 performans göstergesi üzerinden sınıflandırılmakta, bu performans göstergeleri ihtiyaç duyulan eylemlere karar vermede kullanılmaktadır. ABD, asgari tetkik denetim programlarının ve ilave denetim programlarının oluşturulmasında da OGD'den yararlanmaktadır. Finlandiya ve Japonya ise denetim faaliyetlerinde OGD'den yararlanma yönünde çalışmalarını sürdürmektedir. Rusya'nın NP-095-15 kodlu düzenlemesine göre denetim faaliyetlerinin planlanması ve değerlendirilmesi OGD'nin kullanım alanlarından biridir.

NGS'lerde meydana gelen işletme olaylarının değerlendirilmesinde ise OGD etkili araçlardan biridir. UAEA, işletme olaylarının değerlendirmesinde OGD kullanımını güçlü bir şekilde önermektedir. Santralde meydana gelen olayların incelenmesinde OGD'yi etkin bir şekilde kullanan ABD, Kaza Senaryoları Öncülleri programı ile bunu gerçekleştirmektedir. Fransa, Temel Güvenlik Kuralı'nda tanımladığı OGD'nin kullanım alanlarında olay analizlerine de yer vermektedir. Rusya, NP-095-15 kodlu dokümana göre işletme olaylarının öneminin değerlendirilmesinde OGD'den faydalanabilmektedir. Japonya ise 2009 senesinde başladığı Güvenlik Önem Değerlendirmesi programı kapsamında olay analizinde OGD sonuçlarından yararlanma yönünde çalışmalarını sürdürmektedir.

6.1.2 OGD'nin kullanım alanlarına ilişkin öneri

OGD, teknik spesifikasyonların, test, bakım, denetim prosedürlerinin vb. geliştirilmesinde ve gerekçelendirilmesinde kullanılabilir. OGD'nin söz konusu hususlarda gereksiz tutuculuğun azaltılması amacı ile kullanılması da diğer uygulama alanlarından biridir. Genellikle mühendislik muhakemesi ile belirlenen teknik spesifikasyonların gerekçelendirilmesinde, niceliksel veriler sağlayan OGD önemli bir araçtır. UAEA ise SSG-3 kodlu kılavuzunun 10.31'inci maddesinde teknik spesifikasyonların gerekliliklerinin belirlenmesinde risk tanımlı yaklaşımların kullanılmasını tavsiye etmektedir. Bu durumun nedenlerinden biri, mühendislik muhakemesi ile belirlenen İİDKS'lerin aslında NGS'lerin güvenliğinin sağlanmasında etkili olmaması, santralin durdurulduğu bazı durumlardaki riskin santralin güçte olduğu riske göre daha yüksek olmasıdır. Söz konusu durum test, bakım, HİD prosedürleri için de geçerlidir. Bu kapsamda, öneri niteliğindeki Yönetmelik'in 6'ncı maddesi 2'inci fıkrasında kurucunun,

teknik spesifikasyonları, test, bakım, denetim prosedürlerini vb. oluşturması sırasında risk tanımlı yaklaşımları kullanması durumunda, risk tanımlı yöntemlerine ilişkin dokümanları Kurum'un değerlendirmesine ve onayına sunması, Kurum tarafından risk bilgisinin istenmesi durumunda ise teknik spesifikasyon, test, bakım, denetim prosedürleri vb. için olasılıksal güvenlik değerlendirmelerini sunması gereği getirilmiştir. Böylece, lisanslamaya temel teşkil eden prosedürlerdeki gereksiz kısıtlamaların azaltılması amacı ile kurucunun gönüllü olarak başvurması mümkün hale getirilmiş, ancak söz konusu prosedürlerde riske ilişkin önemli ölçüde yüksek olduğunu gösteren bir gösterge olması durumunda Kurum tarafından risk bilgisinin istenmesinin de yolu açılmıştır.

OGD'nin en önemli uygulama alanlarından biri ise işletmede olan NGS'lerde lisanslamaya temel konularda değişiklik olması durumudur. Söz konusu değişikliklere paralel olarak meydana gelen riskteki değişimler değerlendirmeler sırasında dikkate alınmaktadır. Referans risk değerlerindeki değişimin değerlendirilmesi ile OGD'deki belirsizlikler azalmakta, böylece OGD lisanslamaya temel konu değişiklik durumlarının değerlendirilmesi sırasında önemli bir araç olarak kullanılmaktadır. OGD'den elde edilen bilgiler ışığında NGS'lerde iyileştirme yoluna gidilebilmekte, bu iyileştirme faaliyetleri sırasında gerçekleştirilen fayda/maliyet analizlerinde de OGD kullanılabilmektedir. Lisanslamaya temel konularda değişiklik olmasına ilişkin olarak OGD'nin kullanım alanlarından bir diğeri ise mevcut düzenleyici hükümlerde güvenlikten taviz verilmeden esneklik sağlanmasıdır. Örneğin, teknik spesifikasyonlarda tanımlanan İİDKS ve gözetim test aralıklarında yapılan değişiklikler bu kapsamda değerlendirilebilir. Örnek ülkelerin düzenlemeleri irdelendiğinde, bütün ülkelerin işletme sınır ve koşullarında değişiklik meydana gelmesi durumunda OGD'yi talep ettiği görülmektedir. Özellikle düzenleyici kararlarda risk tanımlı-performansa dayalı yaklaşımları benimseyen ABD'de NGS'de yapılacak değişiklikler sırasında OGD'nin kullanılması geniş bir uygulama alanına sahiptir. Bölüm 7'de sunulan öneri niteliğindeki Yönetmelik'in 7'inci maddesi 1'inci fıkrasında NGS'de önemli bir değişiklik olması durumunda bu değişikliklerin risk tanımlı yaklaşımlar ile gerekçelendirilmesi gerektiği belirtilmektedir. Böylece, değişiklik olması durumunda risk bilgisinin sunulması zorunlu hale getirilmiş, riskteki değişimin kabul edilebilir seviyede olduğunun gösterilmesi istenmiştir. Düzenleyici gereklerdeki kısıtlamaların azaltılması için yapılan başvurular sırasında (örneğin; test aralıklarının veya personel vardiyalı çalışma saatlerinin uzatılması) riskteki artışın kabul edilemeyecek

seviyede olmadığının, NGS’de güvenliğin iyileştirilmesine yönelik faaliyetler için ise riskin yeterince azaltıldığının gösterilmesi sağlanmıştır.

ADİP’lerin oluşturulmasında da OGD çalışmaları kullanılmaktadır. ADİP’lerin risk açısından önemli kaza senaryolarına atıfta bulunuyor olması gerekmektedir. Bununla birlikte, güvenlik açısından önemli kazaların göz ardı edilmesinin önüne geçilmesi amacı ile ADİP’lerin geliştirilmesinde OGD’nin sistematik bir şekilde kullanılmaması gerektiği değerlendirilmektedir. Bölüm 7’de sunulan öneri niteliğindeki Yönetmelik’in 6’ncı maddesi 3’üncü fıkrasında OGD’den elde edilen sonuçların ADİP’lerin geliştirilmesi sırasında en önemli kaza senaryolarına atıfta bulunması istenmektedir. Böylece farklı NGS’lerde ve NGS tasarımlarında karşılaşılabilecek ve daha önce tanımlanmamış farklı risk faktörlerine karşı prosedür değişikliği ile risklerin azaltılması mümkün hale getirilmiş, ancak OGD, ADİP’ler için girdi sağlayan unsurlardan biri olarak tanımlanmıştır.

Ciddi kazaların pratik olarak bertaraf edildiğinin gösterilmesinde, ciddi kazaya yol açacak kaza senaryolarından pratik olarak bertaraf edilmeyenlere ilişkin gerekli önlemlerin ön analizinin yapılmasında OGD önemli araçlardan biridir. Bu kapsamda, bölüm 7’de sunulan öneri niteliğindeki Yönetmelik’in 3’üncü maddesi 2’inci fıkrasında tasarım ötesi kaza listelerinin gerekçelendirilmesinde OGD’nin kullanılması talep edilmektedir. Ciddi kazaların yönetilmesinde kullanılan CKYK’ların geliştirilmesi sırasında ise seviye 2 OGD’den elde edilen veriler kullanılmakta, seviye 2 OGD için gerçekleştirilen analizler semptom merkezli oluşturulan CKYK’larda girdi olarak kullanılmaktadır. Kaza yönetiminin etkinliği de seviye 2 OGD ile analiz edilmektedir. Bu kapsamda, bölüm 7’de sunulan öneri niteliğindeki Yönetmelik’in 6’ncı maddesi 3’üncü fıkrasında OGD’den elde edilen sonuçların CKYK’ların geliştirilmesinde kullanılması talep edilmektedir. Ayrıca, söz konusu Yönetmelik’in 3’üncü maddesi 2’inci fıkrasında OGD’nin amaçlarından biri ciddi kaza yönetim önlemlerinin etkinliğinin değerlendirilmesi olarak tanımlanmıştır.

Operatör eğitimi programlarının geliştirilmesinde göz önüne alınması gereken hususlardan biri OGD çalışmalarıdır. En olası kaza senaryoları ve kor hasarını önlemek için operatörler tarafından gerçekleştirilmesi gereken eylemleri ortaya koyan OGD çalışmaları ile operatör eğitimlerinde kullanılacak simülatörlerde hangi kaza senaryolarına ağırlık verileceği ortaya konulmaktadır. Bu kapsamda, operatör eğitim programlarının belirlenmesinde, tek girdi olmamak üzere, OGD çalışma sonuçlarının da bir girdi olarak kullanılması gerektiği

değerlendirilmektedir. Bu kapsamda, bölüm 7’de sunulan öneri niteliğindeki Yönetmelik’in 6’ncı maddesi 4’üncü fıkrasında OGD çalışmalarının operatör eğitim programlarının geliştirilmesi sırasında kullanılması gerektiği ifade edilmektedir.

YSB’lerin sınıflandırılmasında kullanılan kategoriler YSB’lerin niteliklerini belirlemektedir. OGD, YSB’lerin sınıflandırılması sırasında güvenlik açısından önemli bileşenlere odaklanılmasında yarar sağlamaktadır. Özellikle güvenlikle ilgili olmayan ancak güvenlik açısından önemli bileşenlere ilişkin gerekliliklerin NGS’nin güvenliğinin sağlanması için iyileştirilmesi gerekmektedir. Aynı zamanda, düzenleyici kurumlara sunulan YSB listelerinin ekipmanların risk açısından önemleri ile uyumlu olduğunun kontrol edilmesi kapsamında OGD’nin kullanımının faydalı olacağı değerlendirilmektedir. Finlandiya, YSB’lerin sınıflandırılmasında risk tanımlı yaklaşımların kullanılmaması durumunda dahi risk önemine göre sistem ve bileşen sınıflandırma dokümanlarının bilgi olarak Kurum’a sunulmasını talep etmektedir. Bu kapsamda, bölüm 7’de sunulan öneri niteliğindeki Yönetmelik’in 5’inci maddesi 2’inci fıkrasında YSB’lerin risk açısından da önceliklendirilerek Kurum’a sunulması talep edilmektedir. Bu önceliklendirmenin YSB’lerin sınıflandırılmasında ve diğer gerekliliklerde (teknik spesifikasyonların geliştirilmesi, önleyici bakım ve test programlarının oluşturulması, imalat, kalite, işletmeye alma testleri, işletme testleri vb.) kullanılması ifade edilmektedir. Bu madde ile sistematik bir şekilde gerçekleştirilen risk tanımlı YSB sınıflandırması zorunlu tutulmamakta, ancak YSB’lerin sınıflandırılmasında risk tanımlı yaklaşımlar kullanılmamış olsa dahi OGD’den elde edilen verilerin dikkate alınması gerektiği ifade edilmektedir.

OGD’nin bir diğer kullanım alanı ise düzenleyici kurumlar tarafından gerçekleştirilen denetim faaliyetleridir. OGD ile risk açısından önemli alanlara odaklanılmakta, böylece denetime ayrılan kaynakların verimli bir şekilde kullanımı sağlanmaktadır. Ancak, örnek ülkeler çerçevesinde irdelendiğinde OGD, düzenleyici kurum denetim faaliyetlerinde denetim bulgularının öneminin belirlenmesi ve önemlerine göre önlemlerin alınmasında etkili bir araç olarak kullanılmaktadır. Bölüm 7’de sunulan öneri niteliğindeki Yönetmelik’in 3’üncü maddesi 2’inci fıkrasında denetimlerin planlanması ve sonuçlarının değerlendirilmesi OGD’nin amaçlarından biri olarak tanımlanmaktadır.

NGS’lerde meydana gelen işletme olayları ise güvenlik açısından farklı önem seviyelerine haiz olabilmektedir. Gerçekleşen işletme olaylarının incelenmesinde OGD’nin kullanılması

daha sistematik ve niceliksel analizlerin yapılmasını sağlamakta, santral tasarımında veya işletme prosedürlerinde iyileştirilmesi gereken eksiklikler OGD ile tespit edilmektedir. “...olursa ne olur?” sorusunun cevabının arandığı hassasiyet çalışmaları ile olayların gidişatının ne olacağı tahmin edilmekte, iyileştirmeler bu bilgiler ışığında gerçekleştirilmektedir. Örnek ülke yaklaşımları irdelendiğinde ve UAEA’nın tavsiyeleri doğrultusunda işletme olay analizleri için OGD ile gerçekleştirilen sistematik bir yaklaşımın Türkiye açısından faydalı olacağı değerlendirilmektedir. Bölüm 7’de sunulan öneri niteliğindeki Yönetmelik’in 3’üncü maddesi 2’inci fıkrasında işletme olaylarının değerlendirilmesi OGD’nin amaçlarından biri olarak tanımlanmaktadır.

6.2 Diğer Hususlara İlişkin Öneriler

Santralin konfigürasyonunda değişiklik olması durumunda gerçek zamanlı bir değerlendirme sağlayan risk izleme çalışmalarının her ne kadar faydalı olduğu değerlendirilse de dünyadaki mevcut düzenleyici yaklaşımlar irdelendiğinde, risk izlemenin ülkelerce zorunlu tutulmadığı görülmektedir. Bu durumun gerekçelerinden biri aynı değerlendirmenin santrale özgü OGD’ler ile yapılmasının mümkün olmasıdır. Ancak ABD gibi santral konfigürasyonunda değişiklik olması durumunda risk artışının değerlendirilmesini talep eden ülkelerde işletme sahipleri pratik olması gerekçesi ile risk izleme yazılımlarından faydalanmaktadır. Buradan elde edilen veriler ise işletme sahipleri tarafından tümleşik karar alma sürecinin bir parçası olarak kullanılabilir. Bu nedenle risk izlemenin düzenleyici faaliyetlerde kullanılması durumunda modelleme tekniklerinin, yöntemlerin, varsayımların ve verilerin değerlendirmek üzere Kurum’a sunulması gerekmektedir. Bölüm 7’de yer alan öneri niteliğindeki Yönetmelik’in 7’inci maddesi 4’üncü fıkrasında kurucunun risk izleme araçlarını kullanması durumunda, izlemeye ilişkin yöntem ve prosedürleri değerlendirmek üzere Kurum’a sunması gerektiği ifade edilmektedir.

OGD modelinin elektronik bir versiyonunun Kurum’a sunulması ise gözden geçirme ve değerlendirme ekibinin tam bir değerlendirme gerçekleştirmesi için önem arz etmektedir. Böylece, modelde aranılan özel bir bilgiye kolayca erişim sağlanmakta, yöntemlerin, varsayımların ve verilerin doğruluğu kolayca değerlendirilmekte, varsayımların farklı varsayımlar ile değiştirilmesi sonucu hassasiyet analizleri yapılmakta, önem analizleri ile

gözden geçirilmesi gereken alanlara odaklanılabilmektedir. Ayrıca, denetim faaliyetleri, işletme olaylarının değerlendirilmesi ve “...olursa ne olur?” sorusunun cevabının elde edilmesi gibi önemli konularda model üzerinde çalışmalar yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Finlandiya modelin elektronik ortamda sunumunu düzenleyici dokümanlarında talep etmektedir. ABD ise Reaktör Gözetim Süreci programı kapsamında işletmede olan bütün santraller için SPAR olarak bilinen santrale özgü OGD modellerine sahiptir. Bu kapsamda, Yönetmelik’in 9’uncu maddesi 2’inci fıkrasında kurucunun bilgisayar ortamında oluşturulan OGD modelini ve modelin izlenebilirliği açısından gerekli tüm verileri Kurum’a sunması talep edilmektedir.

7 TÜRKİYE MEVZUATINA ÖNERİLER

Bu bölümde, bölüm 6’da tartışılan hususlar ve örnek ülke yaklaşımlarının irdelenmesi ile elde edilen sonuçlar ışığında ‘Nükleer Güç Santrallerinde Olasılıksal Güvenlik Değerlendirilmesine İlişkin Yönetmelik’ isimli öneri niteliğinde geliştirilen mevzuat metni sunulmaktadır. OGD çalışmalarının asgari kapsamı ve niteliği, bu çalışmaların sunumu, ülkemiz lisanslama faaliyetlerinde kullanılmak üzere olasıksal güvenlik hedeflerini düzenleyen ve bu değerlendirmelerin kullanım alanlarını tanımlayan Yönetmelik aşağıdaki gibidir;

NÜKLEER GÜÇ SANTRALLERİNDE OLASILIKSAL GÜVENLİK DEĞERLENDİRMESİNE İLİŞKİN YÖNETMELİK

BİRİNCİ BÖLÜM

Amaç, Kapsam ve Tanımlar

Amaç

MADDE 1 – (1) Bu Yönetmeliğin amacı, nükleer güç santrallerinde tasarım, inşaat, işletmeye alma ve işletme aşamalarında kullanılan olasıksal güvenlik değerlendirmesinin kapsamı ve kalitesine yönelik ilkeleri düzenlemek ve olasıksal güvenlik kriterlerini tanımlamaktır.

(2) Bu Yönetmelik, düzenleyici karar verme sürecinde kullanılan olasıksal güvenlik değerlendirmesine dayanan gerekçelerin kapsamı ve kalitesine yönelik özel ilkeleri düzenlemektedir.

Kapsam

MADDE 2 – (1) Bu Yönetmelik, nükleer güç santrallerinde tasarım, inşaat, işletmeye alma ve işletme aşamalarında gerçekleştirilen faaliyetlere ilişkin uygulamaları kapsar.

(2) Bu Yönetmelik, seviye 1 olasıksal güvenlik değerlendirmesi ve seviye 2 olasıksal güvenlik değerlendirmesini kapsar.

Tanımlar

MADDE 3 – (1) Bu Yönetmelikte geçen;

- a) Kurum : Türkiye Atom Enerjisi Kurumunu
 - b) Başlatıcı olay : Bir nükleer güç santralinde normal işletmeden sapmalara yol açan ve kaza ile sonuçlanabilecek olayları,
 - c) Kaza senaryosu : Kaza olması durumunda kazanın gidişatını,
 - ç) Seviye 1 olasılıksal güvenlik değerlendirme : Kaza senaryolarının tanımlandığı, kor hasarını engellemek amacıyla kullanılan güvenlik sistemlerinin ve prosedürlerin değerlendirildiği ve kor hasar frekansının hesaplandığı seviyeyi,
 - d) Seviye 2 olasılıksal güvenlik değerlendirme : Ciddi kaza durumunda kaza sonuçlarının hafifletilmesine yönelik prosedürlerin ve fiziksel bariyerlerin değerlendirildiği ve radyoaktif salım frekanslarının hesaplandığı seviyeyi,
- ifade eder.

İKİNCİ BÖLÜM

Genel İlkeler

Olasılıksal güvenlik değerlendirmesinin amacı

MADDE 3 – (1) Bir nükleer güç santralının olasılıksal güvenlik değerlendirme, nükleer güç santralının tasarım, inşaat ve işletme aşamaları sırasında güvenlik seviyelerinin niteliksel ve niceliksel olarak değerlendirilmesi ve Kurum'un düzenleyici kararlarının verilmesine destek olması amacıyla kullanılmaktadır.

(2) Olasılıksal güvenlik değerlendirme deterministik yaklaşımların bir tamamlayıcısı olarak gerçekleştirilir ve sonuçları;

a) Nükleer güç santrallerinin güvenli bir şekilde tasarlanmasının ve işletilmesinin desteklenmesinde,

b) Güvenlik sistemlerinin yeterli yedekliliğe ve çeşitliliğe sahip olduğunun doğrulanmasında,

c) Nükleer güç santralının tasarımında ve işletimindeki zayıflıkların ortaya konulması ve iyileştirilmesi gereken alanların belirlenmesinde,

ç) Belirli bir başlatıcı olayın veya kaza senaryosunun riske önemli ölçüde katkı sağlamayacak şekilde tasarımın dengeli olduğunun gösterilmesinde,

d) Güvenlik açısından en önemli başlatıcı olayların, kaza senaryolarının, bileşenlerin ve personel eylemlerinin tespit edilmesinde,

e) Denetimlerin planlanmasında ve sonuçlarının değerlendirilmesinde,

f) Tasarım ötesi kaza listelerinin gerekçelendirilmesinde,

g) İşletme olaylarının değerlendirilmesinde,

ğ) Ciddi kaza yönetim önlemlerinin etkinliğinin değerlendirilmesinde,

h) Nükleer güç santrali tasarımının ve işletiminin güvenlik hedefleri ile uyumunun gösterilmesinde

kullanılır.

Olasılıksal güvenlik değerlendirmesinin kapsamı

MADDE 4 – (1) Seviye 1 olasılıksal güvenlik değerlendirmesi ve seviye 2 olasılıksal güvenlik değerlendirmesi raporu tüm işletme durumları için;

a) iç başlatıcı olayları,

b) yangın, su basması gibi iç tehlikeleri,

c) deprem, sel gibi dış tehlikeleri

ç) kor içindeki ve dışındaki (yakıt havuzu) radyoaktif kaynakları

içerecek şekilde sunulur.

(2) Kurucu seviye 1 olasılıksal güvenlik değerlendirmesi ve seviye 2 olasılıksal güvenlik değerlendirmesinin önem, hassasiyet ve belirsizlik analizlerini gerçekleştirir ve Kurum’a sunar.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

Olasılıksal Güvenlik Değerlendirmesi Uygulama Alanları

Tasarım ve inşaat lisansı aşamalarında olasılıksal güvenlik değerlendirmesi

MADDE 5 – (1) Tasarım ve inşaat lisansı aşamalarında, kurucu inşaat lisansı almak için seviye 1 olasılıksal güvenlik değerlendirmesi ve seviye 2 olasılıksal güvenlik değerlendirmesi raporunu mümkün olduğunca ayrıntılı bir şekilde Kurum’a sunar. İnşaat lisansı aşamasında sunulacak olasılıksal güvenlik raporunun ayrıntıları ve kapsamı Kurum ve kurucu arasında gerçekleştirilen müzakereler sonucu Kurum tarafından belirlenir.

(2) Tasarım ve inşaat lisansı aşamalarında, kurucu olasılıksal güvenlik değerlendirmesi sonuçlarından risk önem değerlerinin göz önüne alınması ile yapı, sistem ve bileşenleri risk açısından önceliklendirir ve riske karşı duyarlı olan yapı, sistem ve bileşen listesini Kurum’a sunar. Risk önemine göre önceliklendirme; yapı, sistem ve bileşenlerin sınıflandırılması, teknik spesifikasyonların geliştirilmesi, önleyici bakım ve test programlarının oluşturulması, imalat, kalite, işletmeye alma testleri, işletme testleri vb. için kullanılır.

(3) Risk önemine göre önceliklendirilen yapı, sistem ve bileşen listesi Kurum’un denetim faaliyetlerinde de girdi olarak kullanılır.

İnşaat, işletmeye alma ve işletme lisansı aşamalarında olasılıksal güvenlik değerlendirmesi

MADDE 6 – (1) Kurucu işletme lisansı almak için tam kapsamlı seviye 1 olasılıksal güvenlik değerlendirmesi ve seviye 2 olasılıksal güvenlik değerlendirmesi raporunun nihai halini işletme lisansının verilmesinden 1 yıl önce Kurum’a sunar.

(2) Kurucunun, teknik spesifikasyonları, test, bakım, denetim prosedürlerini oluşturması sırasında risk tanımlı yaklaşımları kullanması durumunda, risk

tanımlı yöntemlerine ilişkin dokümanları Kurum'un değerlendirmesine ve onayına sunar. Kurum tarafından risk bilgisinin istenmesi durumunda ise teknik spesifikasyon, test, bakım, denetim prosedürleri için olasılıksal güvenlik değerlendirmesi sunulur.

(3) Olasılıksal güvenlik değerlendirmesinden elde edilen sonuçlar acil durum prosedürlerinin ve ciddi kaza yönetim kılavuzlarının geliştirilmesinde girdi olarak kullanılır. Risk açısından en önemli kaza senaryolarına acil durum prosedürlerinde yer verilir.

(4) Olasılıksal güvenlik değerlendirmesinin sonuçları operatör eğitim programlarının geliştirilmesinde girdi olarak kullanılır. Risk açısından en önemli kaza senaryolarına ve en önemli insan eylemlerine operatör eğitim programlarında yer verilir.

İşletme sırasında olasılıksal güvenlik değerlendirmesi

MADDE 7 – (1) İşletme lisansı almış bir nükleer güç santralinde yapılacak önemli değişikliklerin gerekçelendirilmesi sırasında risk tanımlı yaklaşımlar kullanılır. Bu değişiklikler, tasarım, işletme, işletme sınır ve koşullarındaki değişikliklerdir. Olasılıksal güvenlik değerlendirme raporu, değişiklik gerekçelerini ve santralin güvenlik seviyesindeki değişimleri değerlendirmek üzere Kurum'un onayına sunulur.

(2) Nükleer güç santralinde önemli bir değişiklik gerçekleşmemiş olsa bile olasılıksal güvenlik değerlendirmesi yöntemlerindeki gelişmeleri ve işletme deneyimlerini dikkate alan güncellenmiş olasılıksal güvenlik değerlendirme raporu değerlendirmek üzere her 5 yılda bir Kurum'a sunulur.

(3) Nükleer güç santralinin ömrünün uzatılmasının talep edilmesi durumunda, olasılıksal güvenlik değerlendirme raporu talebin değerlendirilmesi amacıyla Kurum'un onayına sunulur.

(4) Olasılıksal güvenlik değerlendirmesi, risk izleme araçlarının geliştirilmesinde kullanılabilir. Kurucunun risk izleme araçlarını kullanması durumunda, izlemeye ilişkin yöntem ve prosedürler değerlendirmek üzere Kurum'a sunulur.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

Kalite Gerekleri

Olasılıksal güvenlik değerlendirmesinin kalitesi

MADDE 8 – (1) Olasılıksal güvenlik değerlendirmesi modelinde kullanılan yöntemler ulusal ve uluslararası düzeyde benimsenen en son gelişmeler ve güncel en iyi uygulamalar ile tutarlıdır. Kullanılan yöntemler, gözden geçirme ve değerlendirme yapmak ve bir sonuç çıkarmak için yeterince detaylı olmalıdır.

(2) Olasılıksal güvenlik değerlendirmesi sırasında kullanılan model ve yazılımlar, analizin kapsamına ve amacına uygun seçilir. Kullanılan yöntemler ve bilgisayar yazılımları doğrulama ve geçerleme süreci ile uygun bulunan yüksek güvenilirliğe sahip yöntem ve yazılımlardır.

(3) Olasılıksal güvenlik değerlendirmesi mümkün olduğunca en iyi tahmin yöntemine göre modellenir. Sonuçlara ilişkin belirsizlikler daha sonra doğrudan tanımlanır ve hassasiyet analizleri gerçekleştirilir.

Olasılıksal güvenlik değerlendirmesi dokümantasyonu

MADDE 9 – (1) Olasılıksal güvenlik değerlendirmesi kapsamlı ve izlenebilir bir şekilde dokümente edilir. Tasarım bilgisi, yöntemler, modelleme teknikleri, varsayımlar, veriler, uzman muhakemeleri, sonuçlar ve varılan yargılar dokümanlara yansıtılır.

(2) Kurucu, elektronik ortamda oluşturulan olasıksal güvenlik değerlendirmesi modelini ve modelin izlenebilirliği açısından gerekli tüm verileri Kurum’a sunar.

BEŞİNCİ BÖLÜM

Güvenlik Hedefleri

Seviye 1 ve Seviye 2 olasıksal güvenlik değerlendirmesi için güvenlik hedefleri

MADDE 10 – (1) Nükleer güç santralleri, kor hasarına yol açan kaza senaryolarının toplam frekansı bir reaktör yılında 10^{-5} 'i geçmeyecek şekilde tasarlanır, inşaa edilir ve işletilir.

(2) Nükleer güç santralleri, bir kaza sırasında 100 TBq Cs-137'nin çevreye erken salım frekansının bir reaktör yılında 10^{-7} 'yi geçmemesini sağlayacak şekilde tasarlanır, inşaa edilir ve işletilir.

(3) Kor hasarına yol açan kaza senaryolarının toplam frekansı ve bir kaza sırasında 100 TBq Cs-137'nin çevreye erken salım frekansı için sunulan hedefler kılavuz değerlerdir. Yerine getirilmemesi durumunda, riskin azaltılması için ek teknik kararların alınması da dahil gerekli önlemler alınır.

MADDE 11 – (1) Kurucu, bu Yönetmeliğin ikinci bölümünde tanımlanan olasılıksal güvenlik hedeflerinin ve bu Yönetmeliğin üçüncü bölümünde tanımlanan olasılıksal güvenlik değerlendirmesi uygulamalarının gerçekleştirilmesinde olasılıksal güvenlik değerlendirmesi sonuçlarından koşullu kor hasar frekansı, önem değerleri vb. gibi belirli kriterler oluşturabilir. Bu kriterler, 10 uncu maddede tanımlanan güvenlik hedefleri ile uyumlu bir şekilde ve Kurum tarafından gözden geçirilmiş ve doğrulanmış olmalıdır.

(2) Kurucu, risk tanımlı yaklaşımlara dayanan düzenleyici faaliyetler için Kurum tarafından belirlenen olasılıksal güvenlik değerlendirmesine dayalı kriterler olması durumunda, bu kriterleri takip eder.

ALTINCI BÖLÜM

Son Hükümler

Yürürlük

MADDE 12 – (1) Bu Yönetmelik yayımı tarihinde yürürlüğe girer.

Yürütme

MADDE 13 – (1) Bu Yönetmelik hükümlerini Kurum Başkanı yürütür.

SONUÇ ve TARTIŞMA

Yapılan tez çalışması kapsamında, OGD'ye ilişkin temel bilgiler sunulmuş, uygulama alanları tartışılmış, lisanslamadaki yeri ve önemi irdelenmiştir. UAEA, ABD, Fransa, Finlandiya, Rusya ve Japonya'nın konuya ilişkin bakış açılarından yola çıkılarak bölüm 6'da öneriler getirilmiş, bu öneriler ışığında OGD risk hedeflerine, kapsamına, lisanslama aşamalarındaki sunum şekline, uygulama alanlarına ve kalitesine yönelik mevzuat metni geliştirilmiştir. Öneri niteliğindeki mevzuat metni bölüm 7'de sunulmuştur.

Tez çalışmasının ilk tartışmalarından biri OGD'nin düzenleyici faaliyetlerde zorunlu bir gereklilik olup olmaması üzerinedir. Bu kapsamda, OGD'nin önemi üzerinde durulmuş, örnek ülke yasal düzenlemeleri çerçevesinde OGD'ye bakış açıları irdelenmiştir. Düzenleyici kurumlar düzenleyici faaliyetlerine ilişkin karar alma sürecinde iki yaklaşım benimsemektedir. Bunlardan biri deterministik yaklaşımlar, diğeri ise olasılıksal yaklaşımlardır. Olasılıksal ve deterministik değerlendirmelerin birbirinin tamamlayıcısı olarak görüldüğü ve iki yaklaşımın birlikte kullanıldığı tümleşik lisanslama süreci ise risk tanımlı yaklaşımlar olarak bilinmektedir.

Tez çalışmasında da ortaya konulduğu üzere NGS'lerin gerek tasarım gerekse işletme aşamasında güvenliğinin sağlanması ve gösterilmesi için risk tanımlı yaklaşımlar önem arz etmektedir. Türkiye Mevzuatı'nın yasal bağlayıcılığı olan düzenlemelerinde OGD'nin talep edildiğine dair açık bir ibarenin yer alması ve mevcut şartlarda sınırlı bir şekilde kullanılan risk tanımlı yaklaşımların düzenleyici karar verme sürecinde etkin bir şekilde kullanılması gerektiği değerlendirilmektedir. Bu kapsamda, tez çalışmasında Türkiye için olasılıksal ve deterministik yaklaşımların birbirinin tamamlayıcısı olarak görüldüğü risk tanımlı yaklaşımlar önerilmiş, bu yaklaşımların düzenleyici karar verme sürecinde etkin bir şekilde kullanılması tavsiye edilmiştir.

Tezin bir diğeri tartışması ise Türkiye için OGD güvenlik hedeflerinin ortaya konulmasıdır. NGS'ler ciddi kaza sonrası halkın radyasyona maruz kalmasının önlenmesi amacı ile tutucu yaklaşımlar ile oluşturulan kriterlere göre tasarlanmakta ve işletilmektedir. Ancak, NGS'lerde güvenliğin sağlanması amacıyla alınan bu tedbirlere rağmen riskin sıfıra indirilmesi mümkün değildir. Bu kapsamda, nükleer tesis güvenliği, tasarıma esas kazalar ile mücadele edecek ve bölgedeki halkın radyoaktif maruziyeti riskini tolere edilebilir

seviyeye düşürecek şekilde güvence altına alınmalıdır. Tez çalışmasında, riskin örnek ülkelerce hangi seviyelerde tolere edilebilir olduğu ortaya konulmuş ve Türkiye için risk hedefleri ve bu risk hedeflerine ilişkin mevzuat gerekleri belirlenmiştir. Ülkeler tarafından en çok kullanılan sayısal risk hedefleri KHF ve BESF'dir. Uluslararası yasal düzenlemeler ve diğer ülke örneklerinin konuya bakış açıları irdelendiğinde sayısal risk hedeflerinin farklı ülkelerde farklı şekillerde tanımlandığı görülmektedir. Ülkeden ülkeye farklılık gösteren sayısal risk hedefleri, düzenlemelerde değinilerek zorunlu hale getirildiği gibi, bazı ülkelerce kılavuz değerler olarak ele alınmakta ve zorunlu tutulmamakta, bazı ülkelerde ise düzenlemelerinde yer verilmeyerek gayriresmi bir şekilde belirlenmektedir. Tezin 6. bölümünde gerekçelerine yer verildiği üzere Türkiye için OGD güvenlik hedefleri kılavuz değer olarak belirlenmiştir. Böylece, hem katı kriter olarak belirlenmesi ile NGS'nin güvenliğinin sağlanmasında oluşabilecek ters etkilerin, hem de OGD'deki belirsizlikler nedeni ile oluşabilecek gereksiz tutuculuğun engellenmesi amaçlanmıştır.

Kılavuz değer olarak belirlenen OGD sayısal risk hedefleri ise KHF 10^{-5} /reaktör yıl, BESF ise 10^{-7} /reaktör yıl olarak belirlenmiştir. Büyük salım ise 100 TBq Cs-137'nin çevreye salımı olarak tanımlanmıştır. Ancak, tezin 6. bölümünde gerekçelerine yer verildiği ve örnekler ile açıklandığı üzere özellikle işletmede olan santrallerde farklı uygulama alanlarına sahip risk tanımlı yaklaşımlar için farklı kriterler uygulanabilmektedir. Risk tanımlı yaklaşımların uygulama alanlarında uluslararası seviyelerde farklı yöntemlerin kullanılmasından dolayı aynı uygulama için farklı kriterler de tanımlanabilmektedir. Örneğin, tezin 3. bölümünde yer verildiği üzere risk tanımlı HİD programları için EPRI ve WOG yöntemlerinde değerlendirme kriterleri farklılık göstermektedir. NRC risk tanımlı-performansa dayalı yaklaşımlar çerçevesinde teknik spesifikasyonlara yönelik karar alma sürecinde, kendi yöntemlerini ve kriterlerini oluşturmuşken, Fransa güvenliği ön planda tutan ve tutucu yaklaşımlar ile ele aldığı risk tanımlı yaklaşımlarında farklı yöntem ve kriterler takip etmektedir. Bu kapsamda, kurucunun farklı risk tanımlı uygulamaları için kullandığı yöntemlerin ve kriterlerin doğrulanmış olması önem arz etmektedir. Yönetmelik'in 8'inci maddesi 2'inci fıkrasında söz konusu yöntemlerin analizin kapsamına ve amacına uygun seçilmesi, doğrulama ve geçерleme süreci ile uygun bulunan yöntemlerin kullanılması gerektiği belirtilmektedir. Risk tanımlı uygulamalar açısından Yönetmelik'in 11'inci maddesi 1'inci fıkrasında ise kriterleri Kurum'un onaylaması şartı ile kurucunun tanımlayabileceği belirtilmiştir. Bu madde ile kurucunun risk tanımlı

uygulamalar için kendi yöntemi ile başvurması durumunda kriterlerin Kurum'un doğrulamasına tabii olduğu ifade edilmiştir. İleride OGD'nin farklı uygulamalarına ilişkin Kurum'un kendi yöntem ve kriterlerini oluşturması ihtimaline karşı, Yönetmelik'in 11'inci maddesi 2'inci fıkrasında Kurum tarafından belirlenen kriterlerin olması durumunda bunların takip edilmesinin yolu açılmıştır.

Tezin bir diğer tartışması ise sunulması beklenen OGD'nin lisanslamanın farklı aşamalarında sunumu ve kapsamı üzerinedir. Bu konuda uluslararası kuruluşlar ve örnek ülkelerce lisanslama faaliyetlerinin farklı aşamalarında OGD'nin sunumu ve kapsamı üzerinde durulmuş, Türkiye için bu sunumun ve kapsamın ne şekilde olması gerektiği bölüm 6'da gerekçeleri ile tartışılmış ve bölüm 7'de sunulan öneri niteliğindeki Yönetmelik'te farklı lisanslama aşamaları için belirlenmiştir. OGD analizlerinin gerçekleştirilmesi için tesis tasarımı ve nasıl işletileceğinin açık bir şekilde belli olması gerekmektedir. Ancak, tasarım aşamasında gerek tasarımdaki gerekse işletme koşullarındaki belirsizlikler kurucunun OGD analizini aşamalı olarak veya belli yaklaşımlar ile gerçekleştirmesini gerekli kılmaktadır. Söz konusu nedenlerden dolayı, tasarım aşamasında sunuma ve kapsama Kurum ve kurucu arasında yapılacak olan müzakereler sonucu karar verilmesi gerektiği değerlendirilmekte, böylece lisanslama takvimi ile uyumlu bir şekilde OGD'nin aşamalı olarak sunumu önerilmektedir. Aynı zamanda, tasarım aşamasında başlayan gözden geçirme ve değerlendirme süreci ile zamanın etkin bir şekilde kullanılması ve tasarımın erken bir aşamasında eksikliklerin giderilmesi amaçlanmaktadır. Öneri niteliğindeki Yönetmelik'in 5'inci maddesi 1'inci fıkrasında bu hususa yer verilmektedir. Ancak, inşaat ve işletme lisansı aşamasında tasarımın ve işletmeye ilişkin prosedürlerin tanımlanması nedeni ile dondurulmuş tasarım için nihai OGD raporunun işletme lisansından 1 yıl önce sunulması talep edilmektedir.

Tez kapsamında ayrıca Türkiye lisanslama faaliyetleri sırasında OGD'nin hangi alanlarda kullanılması gerektiği ortaya konulmaya çalışılmıştır. Detaylarına tezin 3. bölümünde yer verildiği üzere santralin ilk tasarım aşamasında tasarımın ve işletimin zayıflıklarının ortaya konulması amacı ile derinlemesine savunma ilkesi çerçevesinde OGD kullanılmakta, OGD'den elde edilen veriler ışığında tasarımda ve işletmede değişikliğe gidilebilmektedir. Bu kapsamda, örnek ülke yasal düzenlemeleri incelendiğinde, bu ülkelerin tamamında tasarımın ve tasarımdaki değişikliklerin değerlendirilmesi amacıyla OGD'nin talep edildiği

görülmektedir. NGS'lerin güvenliğini iyileştirilmesi amacı ile gerçekleştirilen modifikasyonların riski yeterince düşürdüğünün, İİDKS, test aralıkları veya personel vardiyalı çalışma aralıklarının uzatılması gibi lisanslamaya temel değişikliklerde ise riskin kabul edilebilir sınırlar içinde kalması önemli bir husustur. Bu nedenle, bölüm 7'de sunulan öneri niteliğindeki Yönetmelik'te de Türkiye için tasarım, inşaat lisansı, inşaat ve işletme lisansı aşamalarında ve değişiklikler kapsamında OGD dokümanlarının değerlendirilmek üzere Kurum'a sunulması talep edilmiştir.

ADİP'lerin, oluşturulmasında da ise OGD çalışmaları risk açısından önemli kaza senaryolarına atıfta bulunuyor olması açısından önemlidir. Bölüm 6'da gerekçelerine yer verildiği üzere OGD'nin sistematik bir şekilde kullanılmasının güvenlik açısından ters etkileri olacağı değerlendirilse de, ADİP'lerin geliştirilmesi sırasında en önemli kaza senaryolarına atıfta bulunması önemlidir. Bu nedenle, OGD, ADİP'ler için girdi sağlayan unsurlardan biri olarak tanımlanmalıdır. Bölüm 7'de sunulan öneri niteliğindeki Yönetmelik'te OGD'nin ADİP'lerin oluşturulması sırasında kullanımı talep edilmiştir.

Ciddi kazalarda ise OGD iki şekilde kullanılmaktadır. Bunlar, ciddi kazalar için pratik olarak bertaraf edildiğinin gösterilmesi ve CKYK'lerin hazırlanmasıdır. Bu kapsamda, bölüm 7'de sunulan öneri niteliğindeki Yönetmelik'te tasarım ötesi kaza listelerinin gerekçelendirilmesinde ve CKYK'ların geliştirilmesinde OGD'nin kullanılması talep edilmektedir.

Operatör eğitimi programlarının geliştirilmesinde ise en olası kaza senaryoları ve kor hasarını önlemek için operatörler tarafından gerçekleştirilmesi gereken eylemleri ortaya koyan OGD çalışma sonuçlarının da operatör eğitimleri için bir girdi olarak kullanılması gerektiği değerlendirilmektedir. Bu kapsamda, bölüm 7'de sunulan öneri niteliğindeki Yönetmelik'te OGD çalışmalarının operatör eğitim programlarının geliştirilmesi sırasında kullanılması gerektiği ifade edilmektedir.

OGD, YSB'lerin sınıflandırılması sırasında güvenlik açısından önemli bileşenlere odaklanılmasında yarar sağlamaktadır. Bölüm 7'de sunulan öneri niteliğindeki Yönetmelik ile YSB'lerin risk açısından önceliklendirilmesine ilişkin dokümanların da Kurum'a bilgi olarak sunulması sağlanmıştır. Her ne kadar YSB'lerin sınıflandırılması risk tanımlı yaklaşımlar ile yapılsa da OGD'den elde edilen sonuçların YSB sınıflandırması ile

tutarlı olması gerekmektedir. Söz konusu Yönetmelik'te, sistematik bir şekilde gerçekleştirilen risk tanımlı YSB sınıflandırması zorunlu tutulmamakta, ancak YSB'lerin sınıflandırılmasında OGD'den elde edilen verilerin dikkate alınması gerektiği ifade edilmektedir.

OGD'nin bir diğer kullanım alanı ise düzenleyici kurumlar tarafından gerçekleştirilen denetim faaliyetleridir. Örnek ülkeler çerçevesinde irdelendiğinde, OGD düzenleyici kurum denetim faaliyetlerinde denetim bulgularının öneminin belirlenmesi ve önemlerine göre önlemlerin alınmasında etkili bir araç olarak kullanılmaktadır. Bu kapsamda, denetimlerin planlanması ve sonuçlarının değerlendirilmesinde OGD'nin kullanılması önerilmektedir.

UAEA, NGS'lerde meydana gelen işletme olaylarının incelenmesinde OGD'nin kullanılmasını güçlü bir şekilde önermektedir. Gerek işletme olaylarının önemine ilişkin sistematik bir analizin gerçekleştirilmesi gerekse analizler sonucu santral tasarımında veya işletme prosedürlerindeki etkin iyileştirmelerin belirlenmesinde OGD önemli bir araçtır. Örnek ülke yaklaşımları irdelendiğinde ve UAEA'nın tavsiyeleri doğrultusunda işletme olay analizleri için OGD ile gerçekleştirilen sistematik bir yaklaşımın Türkiye açısından faydalı olacağı değerlendirilmektedir. Bu kapsamda, bölüm 7'de sunulan öneri niteliğindeki Yönetmelik'te işletme olaylarının değerlendirilmesi OGD'nin amaçlarından biri olarak tanımlanmaktadır.

OGD modelinin elektronik bir versiyonunun Kurum'a sunulması ise gözden geçirme ve değerlendirme ekibinin tam bir değerlendirme gerçekleştirilmesi için önem arz etmektedir. Gereçlerine bölüm 6'da yer verildiği üzere etkin bir gözden geçirme ve değerlendirme süreci için modelin sunumu gerekmekte, bu konuya öneri niteliğindeki Yönetmelik'te yer verilmektedir.

Sonuç olarak, tez boyunca değinildiği üzere risk tanımlı yaklaşımların düzenleyici faaliyetlerde kullanılması ve bölüm 7'de önerilen Yönetmelik'in mevzuata kazandırılmasında büyük fayda olduğu değerlendirilmektedir.

KAYNAK LİSTESİ

AHN Joonhong, CARSON Cathryn, JENSEN Mikael, JURAKU Kohta, NAGASAKI Shinya, TANAKA Satoru, 2014, Reflections on the Fukushima Daiichi Nuclear Accident (der.), Switzerland, s.283-296

APOSTOLAKIS George E., GOLAY W. Michael, CAMP L. Allen, DURAN A. Felicia, FINNICUM David, RITTERBUSCH Stanley E., 2001, A New Risk Informed Design and Regulatory Process, Proceedings of the Advisory Committee on Reactor Safeguards Workshop on Future Reactors (NUREG/CP-0175), 4-5 Haziran 2001, Maryland, s.237-271

ASN, 2002, Developement and Utilisation of Probabilistic Safety Assessments, Basic Safety Rule rfs 2002-1, Montrouge, Fransa

ASN, 2012, Order of 7 February 2012 Setting The General Rules Relative to Basic Nuclear Installations, JORF (Official Journal of the French Republic) No. 0033 of 8 February 2012 page 2231 Text No. 12, Montrouge, Fransa

BEDFORD Tom, COOKE Roger, 2001, Probabilistic Risk Analysis : Foundations and Methods, Cambridge Üniversitesi Yayını, ISBN 0 521 77320, Cambridge

CORAK Zrinka, 2003, Risk Informed In-service Inspection, International Conference Nuclear Energy for New Europe 2003 Bildirileri, 8-11 Eylül 2003, Portoroz, Slovenya, s.408.1-408.8

EPRI, 2000, Revised Risk-Informed Inservice Inspection Evaluation Procedure, Topical Report TR-112657, Washington D.C

HYUK-SOON Lim, DOO-HYUN Kim, 2009, Risk Assessment of Emergency Diesel Generator (EDG) Allowed Outage Time Extension, Transactions of the Korean Nuclear Society Autumn Meeting, 29-30 Ekim 2009, Gyeongju, Kore, s.523-524

IAEA, 2017, Probabilistic Safety Assessment (PSA) and Utilization of Risk Information, Follow-up Training Course, 5-9 Haziran 2017, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Ankara

Japon Hükümeti, 2011, Report of Japanese Government to the IAEA Ministreal Conference on Nuclear Safety – The Accident at TEPCO’s Fukushima Nuclear Power Stations, Chapter IV, Kantei, Tokio

KELLER William, MODARRES Mohammad, 2005, A Historical Overview of Probabilistic Risk Assessment Development and Its Use in the Nuclear Power Industry : A Tribute to the Late Professor Norman Carl Rasmussen, Reliability Engineering & System Safety, Cilt 89, Sayı 3, s.271-285

LAMARSH John R., BARATTA Anthony J., 2001, Introduction to Nuclear Engineering, Prentice Hall Yayınları, ISBN 0-201-82498-1, New Jersey

MOCHIZUKI Masahito, 2017, Japanese Codes and Standards to Support Long Term Operation of Nuclear Power Plant, UAEA Fourth International Conference on Nuclear Power Plant Life Management, IAEA-CN-246-038, 23-27 Ekim 2017, Lyon, France

NRA, 2015, Outline of Nuclear Regulation of Japan, Reference Documents for IRRS Japan 2016, Tokio

OECD/NEA, 2004, Risk Monitors : The State of the Art in Their Development and Use at Nuclear Power Plants, Paris

- OECD/NEA, 2012, Use and Development of Probabilistic Safety Assessment : An Overview of the Situation at the End of 2010, Paris
- OECD/NEA, 2018, Informing Severe Accident Management Guidance and Actions for Nuclear Power Plants through Analytical Simulation, Paris
- Rostechnadzor, tarih yok, Rostechnadzor's Policy Statements, Application of Probabilistic Safety Analysis and Risk Informed Methods for Nuclear Plants, http://en.gosnadzor.ru/activity/policy_statements/index.php?sphrase_id=7202 (02.05.2018)
- Rostechnadzor, 2004, Basic Recommendations for Performing Probabilistic Safety Analysis of Nuclear Power Plants, RB-032-04, Moscow
- Rostechnadzor, 2011, Provisions on General Recommendations to the Development of Probabilistic Safety Analysis (Level 1 PSA) in Case of Internal Initiating Events (for all operational modes of an NPP Unit), RB-024-11, Moscow
- Rostechnadzor, 2015, Basic Requirements to Probabilistic Safety Analysis of a Nuclear Power Plant Unit, NP-095-15, Moscow
- Rostechnadzor, 2016, General Safety Provisions for Nuclear Power Plants, NP-001-15, Moscow
- RODINOV Andrei, 08.03.2018, Sözlü Görüşme, IRSN ile TAEK temsilcileri arasında gerçekleştirilen A2-1 Koordinasyon Toplantısı, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Ankara
- SIMOLA Kaisa, GANDOSSA Luca, HUERTA Alejandro, 2009, Benchmark Exercise on Risk-Informed In-Service Inspection Methodologies, 20th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMiRT 20) Bildirileri, ISBN: 978-1-61782-024-3, 9-14 Ağustos 2009, Espoo, Finlandiya, s.2368-2375
- SPITZER Cornelia, SCHMOCKER Ulrich, DANG Vinh N., 2004, Probabilistic Safety Assessment and Management PSAM 7 – ESREL '04 (der.), Berlin, s.3153-3157
- SSM, 2015, DiD-PSA : Development of a Framework for Evaluation of the Defence-in-Depth with PSA, Rapor No : 2015:04, ISSN : 2000-0456, Swedish Radiation Safety Authority, Stockholm, İsveç
- STUK, 1988, Nuclear Energy Decree, Decree 12.2.1988/161, Helsinki
- STUK, 2013, Probabilistic Risk Assessment and Risk Management of a Nuclear Power Plant, YVL A7, Helsinki
- IAEA, 1984, Survey of Probabilistic Methods in Safety and Risk Assessment for Nuclear Power Plant Licensing, IAEA-TECDOC-308, International Atomic Energy Agency, Vienna
- IAEA, 1991, Use of Plant Specific PSA to Evaluate Incidents at Nuclear Power Plants, IAEA-TECDOC-611, International Atomic Energy Agency, Vienna
- IAEA, 1992, Case Study on the Use of PSA Methods : Assessment of Technical Specifications for the Reactor Protection System Instrumentation, IAEA-TECDOC-669, International Atomic Energy Agency, Vienna
- IAEA, 1993, Risk Based Optimization of Technical Specifications for Operation of Nuclear Power Plants, IAEA-TECDOC-729, International Atomic Energy Agency, Vienna

UAEA, 1994, Modelling and Data Prerequisites for Specific Applications of PSA in the Management of Nuclear Plant Safety, IAEA-TECDOC-740, International Atomic Energy Agency, Vienna

UAEA, 1996, Defence in Depth in Nuclear Safety, INSAG-10, International Atomic Energy Agency, Vienna

UAEA, 1999, Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants 75-INSAG-3 Rev. 1, INSAG-12, International Atomic Energy Agency, Vienna

UAEA, 2000, Regulatory Review of Probabilistic Safety Assessment (PSA) Level 1, IAEA-TECDOC-1135, International Atomic Energy Agency, Vienna

UAEA, 2000a, Advances in Safety Related Maintenance, IAEA-TECDOC-1138, Vienna

UAEA, 2001, Applications of Probabilistic Safety Assessment (PSA) for Nuclear Power Plants, IAEA-TECDOC-1200, International Atomic Energy Agency, Vienna

UAEA, 2004, Precursor analyses – The use of deterministic and PSA based methods in the event investigation process at nuclear power plants, IAEA-TECDOC-1417, International Atomic Energy Agency, Vienna

UAEA, 2004a, Implementation of Accident Management Programmes in Nuclear Power Plants, Safety Reports Series No.32, International Atomic Energy Agency, Vienna

UAEA, 2005, Risk Informed Regulation of Nuclear Facilities : Overview of the Current Status, IAEA-TECDOC-1436, International Atomic Energy Agency, Vienna

UAEA, 2006, Developement and Review of Plant Specific Emergency Operating Procedures, Safety Reports Series No.48, International Atomic Energy Agency, Vienna

UAEA, 2007, Terminology Used in Nuclear Safety and Radiation Protection, IAEA Safety Glossary, International Atomic Energy Agency, Vienna

UAEA, 2009, Deterministic Safety Analysis for Nuclear Power Plants, Specific Safety Guide No. SSG-2, International Atomic Energy Agency, Vienna

UAEA, 2010, Development and Application of Level 1 Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Power Plants, Specific Safety Guide No. SSG-3, International Atomic Energy Agency, Vienna

UAEA, 2013, Periodic Safety Review For Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. SSG-25, International Atomic Energy Agency, Vienna

UAEA, 2016, Safety Assessment for Facilities and Activities, General Safety Requirements No. GSR Part 4 (Rev. 1), International Atomic Energy Agency, Vienna

US NRC, 1982, Guidelines for the Preparation of Emergency Operating Procedures, NUREG-0899, Washington D.C

US NRC, 1985, Policy Statement on Severe Reactor Accidents Regarding Future Designs and Existing Plants, 50 FR 32138, Washington D.C

US NRC, 1986, Safety Goals for the Operations of Nuclear Power Plants; Policy Statement; Republication, 51 FR 30028, Washington D.C

US NRC, 1988, Individual Plant Examination for Severe Accident Vulnerabilities – 10 CFR 50.54(f), Generic Letter No. 88-20, Washington D.C

US NRC, 1991, Individual Plant Examination of External Events (IPEEE) for Severe Accident Vulnerabilities – 10 CFR 50.54(f), Generic Letter No. 88-20 Supplement 4, Washington D.C

US NRC, 1995, Use of Probabilistic Risk Assessment Methods in Nuclear Regulatory Activities; Final Policy Statement, 60 FR 42622, Washington D.C

US NRC, 1996, Reviewing PSA-Based Analyses to Modify Technical Specifications at Nuclear Power Plants, NUREG/CR-6172, Washington D.C

US NRC, 1998, An Approach for Plant Specific, Risk Informed Decisionmaking : Inservice Testing, Regulatory Guide 1.175, Washington D.C

US NRC, 2002, Basis Document for Large Early Release Frequency (LERF) Significance Determination Process (SDP) : Inspection Findings that May Effect LERF, NUREG-1765, Washington D.C

US NRC, 2003, An Approach for Plant-Specific Risk-Informed Decisionmaking for Inservice Inspection of Piping, Regulatory Guide 1.178 Revision 1, Washington D.C

US NRC, 2005, 10 CFR 50.69 SSC Categorization Guideline, NEI-00-04 (Rev.0), Washington D.C

US NRC, 2006, Guidelines for Categorizing Structures, Sytems and Components in Nuclear Power Plants According to Their Safety Significance, Regulatory Guide 1.201, Washington D.C

US NRC, 2007, Review of Risk Information Used to Support Permanent Plant-Specific Changes to the Licensing Basis : General Guidance, Standard Review Plan NUREG-0800 Section 19.2, Washington D.C

US NRC, 2007a, Combined Licence Applications for Nuclear Power Plants, Part I : Standard Format and Content of Combined License Applications, C.I.19 Probabilistic Risk Assessment and Severe Accident Evaluation, Regulatory Guide 1.206, Washington D.C

US NRC, 2007b, Feasibility Study for a Risk-Informed and Performance-Based Regulatory Structure for Future Plant Licesing, NUREG-1860, Washington D.C

US NRC, 2008, Withdrawal of Regulatory Guide, Federal Register / Vol. 73; No.28, Washington D.C

US NRC, 2011, An Approach for Plant-Specific, Risk-Informed Decisionmaking : Technical Specifications, Regulatory Guide 1.177 Revision 1, Washington D.C

US NRC, 2014, <https://www.nrc.gov/docs/ML1427/ML14272A331.pdf> (09.04.2018)

US NRC, 2016, The Introduction of Risk Assessment to the Regulation of Nuclear Reactors, NUREG/KM-0010, Washington D.C

US NRC, 2016, Probabilistic Risk Assessment and Regulatory Decisionmaking : Some Frequently Asked Questions, NUREG-2201, Washington D.C

US NRC, 2016b, Reactor Oversight Process, NUREG-1649 Revision 6, Washington D.C

US NRC, 2017, Contents of Applications; technical information, Code of Federal Regulations 10 CFR 52.47, Washington D.C

US NRC, 2017a, Contents of Applications; technical information in final safety analysis report, Code of Federal Regulations 10 CFR 52.79, Washington D.C

US NRC, 2017b, Maintenance of Records, Making of Reports, Code of Federal Regulations 10 CFR 50.71, Washington D.C

US NRC, 2017c, Risk-Informed Categorization and Treatment of Structures, Systems and Components for Nuclear Power Reactors, Code of Federal Regulations 10 CFR 50.69, Washington D.C

US NRC, 2017d, Requirements for Monitoring The Effectiveness of Maintenance at Nuclear Power Plants, Code of Federal Regulations 10 CFR 65, Washington D.C

US NRC, 2018, An Approach for Using Probabilistic Risk Assessment in Risk-Informed Decisions on Plant-Specific Changes to the Licensing Basis, Regulatory Guide 1.174 Revision 3, Washington D.C

US NRC, 2018a, U.S. Nuclear Regulatory Commission Accident Sequence Precursor Program 2017 Annual Report, Washington D.C

VERDIER Edouard, 2012, Risk-Informed Applications and Online Maintenance in France and the United States, Massachusetts Institute of Technology Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Boston

VERMA Ajit Kumar, AJIT Srividya, PRASAD Hari, 2015, Risk Management of Non-Renewable Energy Systems, Springer Yayını, ISBN 978-3-319-16061-0, Switzerland

WENRA, 2016, The Link Between the Defence in Depth Concept and Extended PSA, Technical Report ASAMPSA_E / WP30 / D30.4 / 2016-26, Western European Nuclear Regulators' Association

Westinghouse Electric Company, 1999, Westinghouse Owners Group Application of Risk-Informed Methods to Piping Inservice Inspection Topical Report, WCAP-14572, Revision 1-NP-A, Pittsburgh

ZHAO Jun, TONG Jiejuan, HE Xuhong, 2005, Risk Informed Categorization of the SSCs in NPPs, 18th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMiRT 18) Bildirileri, ISBN: 978-1-5108-1701-2, 7-12 Ağustos 2005, Beijing, Çin, s.4048-4052

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 Yönetmeliğine ve Atom Enerjisi Uzmanlığı Tez Hazırlama Kılavuzuna uygun olarak hazırladığımı belirtir ve bunu doğrularım.

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

07/01/2019

Firdevs KILIÇ

ÖZGEÇMİŞ

1986 senesinde Ankara’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Ankara’da tamamladı. 2011 senesinde Hacettepe Üniversitesi, Nükleer Enerji Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2015 senesinde Türkiye Atom Enerjisi Kurumunda, Atom Enerjisi Uzman Yardımcısı olarak göreve başladı. Halen Atom Enerjisi Uzman Yardımcısı olarak çalışmaktadır.

