

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**NÜKLEER SANTRALLERİN SAHA ETÜTLERİ AŞAMASINDA
İNSAN KAYNAKLI DIŞ OLAYLARIN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kübra AYDIN

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

AĞUSTOS 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**NÜKLEER SANTRALLERİN SAHA ETÜTLERİ AŞAMASINDA
İNSAN KAYNAKLI DIŞ OLAYLARIN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Kübra AYDIN
(301111014)**

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Üner ÇOLAK

AĞUSTOS 2015

İTÜ, Enerji Enstitüsü'nün 301111014 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Kübra AYDIN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**NÜKLEER SANTRALLERİN SAHA ETÜTLERİ AŞAMASINDA İNSAN KAYNAKLI DIŞ OLAYLARIN İNCELENMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Üner ÇOLAK**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Yrd. Doç. Dr. Güzay PAŞAOĞLU**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Barış YILMAZ

Marmara Üniversitesi

Teslim Tarihi : **4 Mayıs 2015**

Savunma Tarihi : **14 Ağustos 2015**

Destekleriyle her zaman yanımda olan aileme,

ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanmasında bana vermiş olduğu her türlü destek ve katkı için danışmanım Sayın Prof. Dr. Üner ÇOLAK'a teşekkür ederim.

Ayrıca her zaman bana güvenen ve her zaman bana destek veren annem Hatice AYDIN, babam Mustafa AYDIN ve kardeşim Oğuzhan AYDIN'a teşekkürlerimi ve sevgilerimi sunarım.

Ağustos 2015

Kübra Aydın
(Nükleer Enerji Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Giriş ve Tezin Amacı	1
1.2 Konu İle İlgili Çalışma Örnekleri.....	7
1.3 Çalışmaya Dair Ulusal ve Uluslararası Temel Dokümanlar	8
2. POTANSİYEL TEHLİKELERİN BELİRLENME AŞAMALARI.....	13
2.1 Verilerin Toplanması.....	13
2.2 Kaynakların Gruplandırılması.....	14
3. OLAYLARI DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ	21
3.1 Genel Prosedür	21
4. İNSAN KAYNAKLI DIŞ OLAYLAR.....	29
4.1 Uçak Kazaları	29
4.2 Tehlikeli Akışkanların Yayılımı.....	33
4.3 Patlamalar.....	36
4.4 Yangınlar	39
4.5 Gemi Kazaları	41
4.6 Eddy Akımları ve Elektromanyetik Girişim	42
5. ÖRNEK ÇALIŞMALAR.....	43
5.1 Akkuyu Nükleer Santrali Güncellenmiş Yer Raporu.....	43
5.2 Darlington Nükleer Sahasının Saha Raporu.....	48
5.3 Ignalina Nükleer Santrali İçin Yapılmış Çalışma Örnekleri	51
6. ÖRNEK UYGULAMA	55
6.1 Örnek Olayın Belirlenmesi.....	55
6.2 Bilgi Difüzyonu Yönteminin Kullanıldığı Çalışma Örnekleri.....	56
6.3 Bilgi Difüzyonu Teorisi	57
6.4 Değerlendirme Yönetiminin Örnek Uygulaması	60
6.4.1 Tehlikeli madde taşıyan gemi kazalarının analizi.....	60
6.4.1.1 Verilerin toplanması.....	60
6.4.1.2 Hesaplamalar ve sonuçların yorumlanması	62
6.4.1.3 Minimum veri sayısının belirlenmesi	65
6.4.1.4 Farklı dağılım fonksiyonlarının incelenmesi	66
6.4.1.5 Farklı yöntemlerle karşılaştırma	70
6.4.2 Orman yangınları	72
6.4.2.1 Verilerin toplanması.....	72
6.4.2.2 Analiz sonuçları	73

6.4.2.3 Sonuçların yorumlanması.....	74
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	75
KAYNAKLAR.....	79
ÖZGEÇMİŞ.....	83

KISALTMALAR

BLEVE	: Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion
CFR	: Code of Federal Regulations
CPV	: Conditional Probability Value
DBPV	: Design Basis Probability Value
EHIH	: External Human Induced Hazards
IAEA	: International Atomic Energy Agency
LNG	: Liquefied Natural Gas
ÖGAR	: Ön Güvenlik Analizi Raporu
SDV	: Screening Distance Value
SPL	: Screening Probability Level
TAEK	: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
TEDO	: Tasarıma Esas Dış Olay
UAEA	: Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı
VCE	: Vapour Cloud Explosion
USNRC	: U.S. Nuclear Regulatory Commission

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Olayların değerlendirilmesi ve nükleer santrale etkileri [5].....	17
Çizelge 2.2 : Olayların nükleer santraller üzerine etkileri ve ilgili parametreler [5].	18
Çizelge 2.3 : Olayların nükleer santral üzerine etkileri ve sonuçları [5].....	19
Çizelge 6.1 : Gruplandırılmış gemi tipleri ve bölgelere göre kazalar.....	61
Çizelge 6.2 : Yıllara göre İstanbul Boğazındaki deniz kazaları.....	62
Çizelge 6.3 : Türlerine göre kazaya karışan gemi sayıları.....	62
Çizelge 6.4 : Farklı yöntemlerle ulaşılan ortalama olasılık değerleri.....	70
Çizelge 6.5 : İstanbuldaki tiplerine göre kaza sayılarının yıllara göre değişimi.....	71
Çizelge 6.6 : İstanbul'a gelen toplam gemi sayılarının yıllara göre değişimi.....	71
Çizelge 6.7 : Farklı yöntemlerle hesaplanan ortalama olasılık değerleri.....	71
Çizelge 6.8 : İstanbul Bölgesindeki orman yangınları (2001-2010).....	73

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 : İnceleme ve değerlendirme yöntemleri için genel akış şeması [5].	23
Şekil 6.1 : Kazaların bölgelere göre dağılımı [28].	61
Şekil 6.2 : Kaza olasılığı dağılımı.....	63
Şekil 6.3 : Tehlikeli yük taşıyan gemi başına kaza olasılık dağılımı.	63
Şekil 6.4 : Farklı yıl aralıkları için kaza olasılığı dağılımı.	65
Şekil 6.5 : Tehlikeli yük taşıyan gemi başına kaza olasılık dağılımı.	65
Şekil 6.6 : Kaza olasılığı dağılımı.....	69
Şekil 6.7 : Tehlikeli yük taşıyan gemi başına kaza olasılık dağılımı.	69
Şekil 6.8 : Kaza olasılıkları arasındaki fark (%).	72
Şekil 6.9 : İstanbul bölgesinde orman yangını olma olasılığı.....	73
Şekil 6.10 : İstanbul bölgesinde hektar alan başına orman yangını olma olasılığı....	74

NÜKLEER SANTRALLERİN SAHA ETÜTLERİ AŞAMASINDA İNSAN KAYNAKLI DIŞ OLAYLARIN İNCELENMESİ

ÖZET

Dünyada enerjiye olan gereksinimin hızla artması ve küresel ısınma gibi sorunların ortaya çıkması bizi daha ucuz, daha verimli ve daha çevreci enerji kaynaklarına yönlendirmiştir. Bu kapsamda enerji açığını kapatmak ve küresel ısınmanın önüne geçilmesini sağlamak için atmosfere sera gazı salınımına sebep olmayan nükleer santraller daha çok önem kazanmıştır.

Ülkemizde de bu konuda çalışmalar devam etmektedir ve şu anda Akkuyu ve Sinop Nükleer Santralleri Projeleri olmak üzere iki nükleer santral projesi bulunmaktadır. 12.05.2010 tarihinde Rusya Federasyonu Hükümeti ile Türkiye Cumhuriyeti Hükümeti Arasında Türkiye Cumhuriyeti'nde 'Akkuyu Sahası'nda Bir Nükleer Güç Santralin Tesisine ve İşletimine Dair İşbirliği Anlaşması'nın imzalanması ve Türkiye'de Hükümetlerarası Anlaşma'nın uygun bulunduğu kanun'un 21.07.2010 tarihinde Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmesinin ardından Akkuyu sahasında 4 ünite 1200 MWe Rus tasarımı VVER reaktörü kurulması için "Akkuyu NGS Elektrik Üretim A.Ş." kurulmuştur ve şirketin 28.02.2011 tarihinde Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, tarafından Kurucu olarak tanındığının bildirilmesi ile çalışmalar başlamıştır. Sinop Nükleer Santrali projesi için potansiyel proje katılımcıları olan Japon Mitsubishi Heavy Industry (MHI), ITOCHU ve Fransız GDF Suez firmalarıyla birlikte Türkiye adına ortak olan Elektrik Üretim A.Ş.(EÜAŞ) Sinop sahasında 4 ünite ATMEA1 reaktörünün kurulması için saha etüt çalışmalarına başlamışlardır.

Bir nükleer santralin kurulabilmesi için o ülkenin lisanslama otoritesinden belirli lisansların alınması gerekmektedir. Ülkemizde nükleer santrallerin lisanslanmasından sorumlu kurum Türkiye Atom Enerjisi Kurumudur (TAEK) ve nükleer tesislere lisans verilme işlemleri 19.12.1983 tarihli ve 18256 sayılı Nükleer Tesislere Lisans Verilmesine İlişkin Tüzük'te tanımlanmaktadır. İlgili Tüzük'e göre lisanslama işlemi Yer Lisansı, İnşaat Lisansı ve İşletme Lisansı olmak üzere üç adımdan oluşmaktadır.

18256 numaralı ilgili Tüzüğün İkinci Kısımın Birinci Bölümünde lisanslamada ilk adım olan yer lisansının alınabilmesi için başvuru işlemleri ve hazırlanması gereken Yer Raporu, anlatılmıştır.

Yer Raporu, TAEK tarafından 10.12.2009 tarihinde yayınlanan Nükleer Güç Santralleri için Yer Raporu Biçim ve İçeriği Kılavuzuna (GK-GR-01) göre hazırlanmaktadır ve kurulması planlanan santral için önerilen sahanın uygunluğunun değerlendirildiğinin ve bu değerlendirme sonucunda sahanın kurulacak nükleer santral için uygun olduğunu, en ciddi kaza durumlarında bile çevrenin kabul edilebilen sınırlarının üstünde zarar görmeyeceğinin belirlendiğinin belirtildiği rapordur.

Yer Raporunun kapsadığı inceleme konularından biri de seçilen yerin uçak düşmesi, yangın, patlama, baraj çökmesi gibi olaylar sonucu meydana gelebilecek dış tehlikelere karşı değerlendirilmesidir. Bu yüzden sahanın uygunluğunun araştırılması kapsamında santralin güvenliğini etkileyebilecek insan kaynaklı dış olayların belirlenmesi ve gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

Bu çalışma ile nükleer santrallerin yer aşamasında değerlendirilen, nükleer santralin güvenliğini etkileyebilecek insan kaynaklı dış olaylar hakkında ulusal ve uluslararası mevzuat, kılavuzlar ve standartlar ışığında bilgi edinmenin yanı sıra bu olayların nükleer santral tasarımında esas alınacak olaylar kapsamına alınıp alınmayacağına karar vermek için uygulanacak değerlendirme yöntemini incelemek ve örnek olaylar üzerinde bu yöntemi uygulamak amaçlanmıştır.

Bu çalışma kapsamında ilk bölümde incelenecek insan kaynaklı dış olaylar konusuna dair genel bir giriş yapılmıştır. İnsan kaynaklı dış olayların neler olduğu ve bu olayları değerlendirme süreci genel olarak anlatılmıştır. Daha sonra bu konuyla ilgili yapılan örnek çalışmalardan ve bu olayların değerlendirmeleri sırasında bu çalışmada kullanılan Bilgi Difüzyon Yönteminin kullanıldığı diğer örnek çalışmalardan kısaca bahsedilmiştir. İlk bölümde konuyla ilgili referans alınabilecek temel ve yardımcı ulusal ve uluslararası dokümanlara örnekler verilmiştir.

İkinci bölüm santral güvenliğine tehlike oluşturabilecek potansiyel kaynaklar ve olaylara dair veri toplama ve toplanan verilerin gruplandırılması üzerinedir. İnsan kaynaklı dış olayların değerlendirilmesinde veri toplama işlemine olabildiğince erken başlanması gerektiği belirtilen bu bölümde toplanan verilerin tetikleyici olayların yerine göre sabit ya da hareketli (mobil) kaynaklar olarak iki gruba ayrıldığı anlatılmıştır ve çeşitli çizelgeler kullanılarak kaynaklar, tetikleyici olaylar, ilgili parametreler ve olayların etkileri anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde insan kaynaklı dış olayların değerlendirme yöntemleri anlatılmıştır. Mesafe ve olayın olma olasılığı değerine göre ilk değerlendirmenin yapıldığı ön incelemeden bahsedildikten sonra ve bu değerlendirme sonucunda elenmemiş potansiyel kaynaklar için yapılması gereken detaylı değerlendirme ve bu değerlendirme sonucunda tasarıma esas dış olayların belirlenme sürecinden bahsedilmiştir.

Dördüncü bölümde insan kaynaklı dış olayların neler oldukları ve ilgili özellikleri detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

Beşinci bölümde insan kaynaklı dış olaylar kapsamında daha önce yapılmış çalışmalardan örnekler incelenmiştir.

Altıncı bölümde tüm çalışma boyunca anlatılan insan kaynaklı dış olayların ve değerlendirme sürecinin daha iyi anlaşılması için ülkemizde en çok gemi kazalarının yaşandığı İstanbul Boğazındaki gemi kazalarının verilerinden yararlanılarak santral su alma yapılarına çarpma olayının ve yine İstanbul bölgesinin orman yangınları verilerinde yararlanılarak orman yangınları olayının santral tasarımına esas dış olay kapsamına alınıp alınmayacağı Bilgi Difüzyon yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Yeterli verinin olmadığı durumlarda tercih edilen Bilgi Difüzyon Yönteminin en az kaç veri için daha doğru sonuç verdiği yapılan değerlendirmelerle gözlenmiştir. Farklı difüzyon fonksiyonlarının bu yöntemde sonuçları nasıl etkilediğinin anlaşılması için normal ve kuadratik (2.dereceden) difüzyon fonksiyonları kullanılarak normal bilgi difüzyonu ve kuadratik bilgi difüzyonu hesaplamaları yapılmıştır ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Ayrıca Bilgi Difüzyonu

Yönteminin etkinliğinin ve güvenilirliğinin belirlenmesi için Alp KÜÇÜKOSMANOĞLU tarafından 2008 yılında hazırlanan ve Monte Carlo modeli kullanılarak İstanbul Bölgesindeki gemi kazalarına dair risk hesaplamalarının yapıldığı doktora tezinde elde edilen sonuçlar ile tezde kullanılan aynı veriler kullanılarak uygulanan Bilgi Difüzyon modeli ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Sonuç olarak bu çalışma ile nükleer santraller için önerilen sahada yapılması gereken saha etütleri işlemlerinde değerlendirmesi gereken insan kaynaklı dış olaylar ulusal ve uluslararası dokümanlar ve çalışmalar ışığında incelenmiştir. İnsan kaynaklı dış olayların değerlendirme sürecinde nükleer santralin güvenliğine etki edebilecek ve tasarıma esas dış olaylar kapsamına girebilecek olaylar olup olmadıklarına karar vermek için yapılması gereken analizler ve hesaplamalar örnek olay analizleri de yapılarak anlatılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda insan kaynaklı dış olayların santral güvenliğine olası etkilerinden dolayı, olaylara dair yeterli veriler toplanarak ve uygun matematiksel yöntemler kullanılarak olayların değerlendirilmesinin önemi anlaşılmıştır. Yeterli verinin olmadığı durumlarda ise Bilgi Difüzyon Yönteminin insan kaynaklı dış olayların olma olasılıklarının hesaplanmasında uygulanabilecek önemli bir yöntem olduğu anlaşılmıştır.

ANALYSIS OF EXTERNAL HUMAN INDUCED EVENTS DURING THE SITE EVALUATION STAGE OF NUCLEAR POWER PLANTS

SUMMARY

Increasing electricity demand and environmental problems such as global warming force the countries to use more clear and economical energy sources. Nuclear energy plays a key role to meet growing electricity demand without contributing to global warming so the importance of the nuclear is increasing. Turkey is also one of the newcomer country to nuclear energy. Turkey has two Nuclear Power Plant Projects. One of these projects is Akkuyu Nuclear Power Plant Project and the other is Sinop Nuclear Power Plant Project.

To construct and operate the Nuclear Power Plants (NPPs) some licences and permissions should be taken from the each countries' Regulatory Bodies. Turkish Atomic Energy Authority (TAEK) is the Regulatory Body of Turkey. According to Turkish Atomic Energy Authority Regulations, NPPs' licensing process has three stages. Firstly, Site Licence should be taken for the proposed site and then for construction and operation of the nuclear power plant Construction Licence and Operation Licence should also be taken. During the site licence application, the applicant should prepare and submit Site Report to Turkish Atomic Energy Authority (TAEK) to show the proposed site suitability for the nuclear power plant.

Site selection and evaluation of the site are very important because the site should be suitable with the proposed NPPs. After the site evaluation, if some deficiencies related with site cannot be eliminated with engineering solutions or administrative procedures, the site shall be deemed unsuitable.

The main objective in site evaluation for NPPs in terms of nuclear safety is to protect the public and the environment from the radiological consequences of radioactive releases due to accidents. One of the specific subject which should be considered and evaluated during the site evaluation stage is External Human Induced Events and this subject should be investigated and assessed for every proposed nuclear power plant site. Evaluation external human induced events subject is also the subject of this study.

The external human-induced events considered in this study are accidental origin. Because it is hard to collect data and evaluate the malicious acts to NPPs. During these evaluations, foreseeable significant changes in land use shall also be considered and evaluated.

The content of this study is based on two main documents. One of them is TAEK Regulation on Nuclear Power Plants Sites (Date/Number: 21 March 2009/27176) and the other is IAEA Safety Guide "External Human Induced Events in Site Evaluation For Nuclear Power Plants".

To assess these events, firstly the potential sources which may affect the safety of the NPPs shall be defined. Sometimes, the sources can be eliminated with the simple

deterministic methods. According to Article 13 of the 27176 numbered TAEK Regulation on Nuclear Power Plant Sites, the defined distance from the site is 10 km.

To define potential sources, the site with its surrounding shall be examined for facilities and human activities that may affect the safety of the proposed nuclear facility. Chemical plants, oil refineries, storage depots, road, rail, waterways, air, pipelines and other nuclear facilities at the same site can be the potential sources so during the site investigations they should be considered.

Each site has different characteristics so it is not possible to make a general list for potential sources. Site specific data shall be used in the determination of the external events. If enough site data cannot be obtained to evaluate frequency and severity of external human induced events, the regional, national or global datas shall be collected.

Potential sources can be classified according to location of the initiating mechanism. If the location of the initiating mechanism is fixed, these sources are categorized as stationary sources. If the location of the initiating mechanism is not totally constrained, these sources are categorized as mobile sources.

According to TAEK Regulation 27176 following events shall be considered during site evaluation for external human induced events;

- Explosions
- Delayed ignition after occurrence of burning gas clouds
- Dispersion of toxic and asphyxiant chemicals and radioactive materials
- Fires
- Collisions to water intake structures of nuclear power plant
- Collisions to nuclear power plant
- Dispersion of liquid and solid materials
- Eddy currents and electromagnetic interference

According to these events site related design bases are determined and all these characteristics shall be observed and monitored throughout the lifetime of the NPPs.

General procedure to screen and evaluate the hazards can be divided into two steps. First step is the preliminary screening. Events are evaluated in this step according to distance from the site and probability of occurrence. Screening distance value (SDV) for a particular type of source is 10 km according to 27176 numbered TAEK Regulation beyond which the effects of such sources may be ignored. If the source is outside the SDV for the initiating event, no further action is necessary.

If the source is in the SDV or any source which is beyond the distance but we think that it may affect the plant safety, the occurrence probability of the event should be determined and compared with the specified Screening Probability Level (SPL). The SPL is identified as 10^{-7} /year in the 27176 numbered TAEK Regulation and IAEA Guide.

If the probability of occurrence of the initiating event under consideration is greater than the 10^{-7} /year, a detailed evaluation should be made for this event. To make detailed evaluation, detailed data should be collected. In case of lack of data, the

evaluation methods results may not be correct so some mathematical methods (Event Tree, Fault Tree, Monte Carlo Simulation etc.) shall be used during these calculations.

During these calculations, meteorological conditions, topographical characteristics and any protective measures related to one of the activities shall be taken into account.

In detailed evaluation, the probability of occurrence of each interacting event should be compared with the Design Basis Probability Value (DBPV). A design basis probability value (DBPV) for the interacting event under consideration is determined by dividing the SPL by the Conditional Probability Value (CPV). CPV is the conditional probability that an interacting EHIE will result in a radiological release. It will have a range between near-zero and 1.0 and generally it is taken as 0,1. If the probability is less than the DBPV, no further consideration should be given to that event. If the probability is greater than DBPV, the engineering and administrative measures should be analyzed to prevent or mitigate the effects of events. If the effects cannot be prevented or mitigated, the site shall be deemed unsuitable. Design basis events and parameters are not in the content of this study.

In the content of this study firstly external human induced events have been defined and then screening and evaluation processes have also been explained in detail. Related national and international regulations, standards and guides have been reviewed. Example of the studies about the external human induced hazards such as updated Site Report of Akkuyu Nuclear Power Plant and Site Evaluation Report of Darlington Nuclear Power Plant sites have been summarized. To apply the evaluation method, the ship collision accidents in İstanbul Strait and forest fire in İstanbul region have been examined as an example. Most of the ship collisions accidents occur in İstanbul Strait in Turkey so this location has been selected for the calculation of this analysis. Ship collisions in other regions of the Turkey shall be commented depending on İstanbul strait evaluation results.

Information Diffusion Method has been used to evaluate the occurrence probability of the ship collisions and forest fire. If enough data cannot be collected for the calculations, Information Diffusion Method is one of the useful method to offset the information deficiency so this method is used for this study. Some example studies about Information Diffusion Method have also been summarized in the content of this study. For the purpose of finding the minimum required data to adopt Information Diffusion Method, calculation has been done with different number of accident data. Also, normal diffusion method and quadratic diffusion method have been used and results have been compared to see the effects of different diffusion functions on the Information Diffusion Method results. Finally, to see the efficiency and effectiveness of Information diffusion method, a comparison has been made between Information Diffusion method results and Alp KÜÇÜKOSMANOĞLU doctoral dissertation results published at 2008 in which Monte Carlo method was used to calculate ship collision risk for İstanbul region .

In the conclusion, importance of external human induced events and the evaluation of these events effectively and efficiently with sufficient data and suitable methods is corroborated. Information Diffusion method's importance to offset the information deficiency is also corroborated.

1. GİRİŞ

1.1 Giriş ve Tezin Amacı

Bir Nükleer Santralin kurulup işletilebilmesi için gerekli lisans ve izinlerin alınması gerekmektedir. Nükleer Santrallerin lisanslanma süreci birbirini takip eden aşamalardan oluşmaktadır ve her bir aşama için hazırlanması gereken dokümanlar, alınması gereken izinler ve lisanslar vardır.

Nükleer lisanslama işlemleri ülkelerin düzenleyici kurumlarının yaklaşımındaki farklılıklardan dolayı ülkeden ülkeye farklılık göstermektedir. Lisanslama süreçlerindeki farklılıklar lisanslama süreci kapsamında yapılan faaliyetlerde, alınan lisans ve izinlerde ve paydaşların rollerindeki farklılıkları da beraberinde getirmektedir.

Kurucu gerekli izinleri ve lisansları almak için ülkemizde nükleer alanda düzenleyici kurum olan Türkiye Atom Enerjisi Kurumuna (TAEK) başvurur.

Nükleer Tesislere Lisans Verilmesine İlişkin Tüzük [1] Madde 6'da belirtildiği üzere; Nükleer tesis kurmak ve işletmek için TAEK'ten lisans almak zorunludur. Bunun için kurucunun, kurmak istediği tesisi belirten, teknik ve mali gücünü kanıtlayan belgeleri de eklediği bir dilekçeyle TAEK'e başvurması gerekir. İlgili Tüzük'ün 8. Maddesine göre ülkemizde nükleer tesislere lisans verilmesi, aşağıdaki üç aşamada tamamlanır:

1. Yer lisansı,
2. İnşaat lisansı,
3. İşletme lisansı

Nükleer santral lisanslama sürecinin ilk adımı olan Yer Lisansının alınabilmesi için; Nükleer Güç Santrali Sahalarına İlişkin Yönetmelik [2], Kurucu tarafından yapılan ayrıntılı yer etütleri sonucunda hazırlanan yere ilişkin inceleme ve analizleri içeren, Yer Raporu ile TAEK'e başvuru yapılması gerektiğini belirtmektedir. Yer raporu nükleer santral kurulması planlanan sahanın, tasarıma esas parametreler

çerçevesinde, uygunluğunu göstermek amacıyla yapılan çalışmalar sonucunda hazırlanmaktadır. TAEK'in 2009 yılında yayınladığı Yer Raporunun hazırlanmasına dair "Yer Raporu Biçim ve İçeriği Kılavuzu (GK-GR-01)" başlıklı bir kılavuz bulunmaktadır [3]. Kurucu bu kılavuza göre Yer Raporunu hazırlar. TAEK gerekli değerlendirmeleri yaptıktan sonra eğer olumsuz bir durum tespit etmemişse Yer Lisansını verir. Yer lisansını alan Kurucu, santralin yapılacağı yerin düzenlenmesi, yol, su, elektrik, liman vb. gibi nükleer reaktörler dışında kalan bina ve tesislerin yapımına başlama hakkını elde etmiştir.

Sahanın uygunluğunun değerlendirilmesi nükleer santral projesi için önemli bir aşamadır. Nükleer santral için kurulacağı sahaya özgü tasarım parametreler belirlenir. Saha değerlendirilmesi nükleer santralin kurulma ve işletilme aşamaları sırasında sahanın, personelin, halkın ve çevrenin korunmasını sağlamak için yapılmaktadır [4].

Saha değerlendirme süreci tesisin ömrü boyunca, saha aşamasından tasarım, inşaat, işletme ve devreden çıkarma aşamasına kadar devam etmektedir [5].

Nükleer Güç Santrali Sahalarına İlişkin Yönetmelik'te [2] Madde 5'e göre bir yerin nükleer güç santral sahası olarak uygunluğunun değerlendirilmesinde aşağıdaki hususlar dikkate alınır:

- a) Önerilen yerde meydana gelebilecek doğal ve insan kaynaklı dış olayların etkileri.
- b) Santralden salınabilecek radyoaktif maddelerin bireylere veya çevreye taşınımını etkileyebilecek saha ve yer karakteristikleri.
- c) Acil durum önlemlerinin uygulanabilirliğini etkileyebilecek nüfus yoğunluğu ve dağılımına ilişkin bilgiler ile diğer yer karakteristikleri.

Eğer bu üç hususa ilişkin olarak yer değerlendirmesi sırasında belirlenen zaafiyetlerin tasarım özellikleri, korunma önlemleri veya idari prosedürler ile giderilebileceği gösterilemiyorsa, sahanın uygun olmadığına karar verilir denilmektedir.

Saha uygunluğunun değerlendirilmesi için araştırılması gereken insan kaynaklı dış olaylar bu çalışmanın kapsamını oluşturmaktadır ve bu olayların tasarıma esas olay kapsamına alınıp alınmamasının nelere bağlı olduğu araştırılacaktır fakat tasarıma

esas insan kaynaklı dış olaylara dair değerlendirmeler bu çalışmanın kapsamı dışındadır.

Nükleer Güç Santrali Sahalarına İlişkin Yönetmelik [2] Madde 7, nükleer santrale tehlike oluşturabilecek potansiyele sahip insan kaynaklı ve doğal dış olayların belirlenmesi üzerinedir ve bu madde 7 alt maddede tanımlanmıştır;

Madde (7/1), “Önerilen nükleer santral yeri, doğal ve insan kaynaklı dış olaylar kapsamında güvenlik açısından önemli olabilecek bütün yer karakteristiklerini ortaya koyacak ayrıntıda araştırılır”.

Madde (7/2), “Saha ve çevresindeki olası tüm doğal olaylar ile insan kaynaklı olay ve faaliyetler belirlenir ve santralin güvenli işletimi açısından değerlendirilir. Bu değerlendirme sonucunda, doğal veya insan kaynaklı dış olaylar arasından önemli olanlar belirlenir. Değerlendirme sırasında, mümkünse, santralin tüm ömrünü kapsayan bir zaman süresi için tahmin edilebilir değişimler de göz önüne alınır”.

Madde (7/1) ve Madde (7/2) dış olayların değerlendirilme sürecinde ilk adımı oluşturmaktadır. Tehlike oluşturma potansiyeline sahip tesisler belirlendikten sonra bu olaylara dair verilerin toplanması ve olayların gerçekleşme olasılıklarına dair gerekli hesaplamaların yapılması gerekmektedir.

Madde (7/3), “Önemli doğal olaylar ile insan kaynaklı olay ve faaliyetlerin meydana gelmesi, sıklığı ve şiddetine ilişkin, tarih öncesi, tarihsel veya ölçüm aletleriyle kaydedilmiş tüm bilgi ve kayıtlar derlenir ve bu bilgiler güvenilirlik, kesinlik ve bütünlük açısından analiz edilir”.

Madde (7/4), “Santralin tasarımında dikkate alınacak önemli dış olaylarla bağlantılı tehlikeler belirlenir, bu tehlikelerin türetilmesinde, tehlikelerin diğer çevre koşullarıyla kombinasyonunun etkileri de dikkate alınır”.

Olasılık hesaplamaları yapılırken dikkat edilmesi gerekenler ise aynı Yönetmeliğin Madde 7/5-6-7’de belirtilmiştir.

Madde (7/5), “Önemli dış olaylar ile ilgili tehlikeler belirlenirken, uygulanabilir olasılık metodolojilerine özel önem verilerek uygun metodlar seçilir. Bu metodların güncellikleri ve incelenen yerin karakteristikleri ile uyumlu olduğu doğrulanır. Seçilen metodun uygulanacağı bölgenin genişliği incelenen olayın

karakteristiklerinin belirlenebilmesi açısından anlam ifade edebilecek tüm alanları ve özellikleri içerecek yeterli büyüklükte olmalıdır”.

Madde (7/6), “Tehlikelerin belirlenmesinde yere özgü veriler kullanılır. Sadece verilerin elde edilemez olduğu durumlarda, önerilen yer ile yeterince ilişkili diğer bölge verileri veya uygun ve kabul edilebilir simülasyon teknikleri kullanılır. Benzer bölgelerden veya simülasyon tekniklerinden elde edilen veriler yere özgü verilerin çoğaltılmasında da kullanılır”.

Madde (7/7), “Önemli bir dış olay veya neden olacağı olaylar kombinasyonu için nükleer güç santrali ile ilişkili tehlikeler, santralin tasarımında kullanılabilir, tehlikeyi tanımlayan uygun parametreler cinsinden ifade edilir”.

Dış olayların olmaları ve nükleer santral üzerine etkilerinin modellenmesi, olaylara dair riskin hesaplanması ve güvenlik açısından önemli sistemlerde oluşabilecek potansiyel arızaların engellenmesi amacı ile yapılır. Bu tür olayların olma olasılıkları ve santral üzerine etkileri istatistiksel verileri, matematiksel modelleri ve olasılık simülasyonlarını kullanarak belirlenir [6].

İlgili her bir potansiyel tehlike kaynağının belirlenip, personelle ve santralin güvenlikle ilgili parçalarıyla olabilecek etkileşimlerine karar verilmelidir [4]. Herbir tehlike kaynağı için, risk değeri belirlenmeli ve kabul edilir bir seviyede olup olmadığına ya da bu seviyeye indirilebileceğine karar verilmelidir.

İnsan kaynaklı dış olayların kaynaklarına dair kapsamlı bir liste oluşturmak her bir saha farklı olduğu için ve endüstriye, ulaşım ve yerleşkeye bağlı yapılan işlemler bölgeden bölgeye, ülkeden ülkeye farklı olduğu için mümkün olmayabilir [5]. Fakat TAEK Yönetmeliğinin 13. maddesinde Yer Raporu hazırlanırken incelenmesi gereken tesis ve faaliyetlerin genel olarak neler olduğunu belirtilmiştir.

Nükleer Güç Santrali Sahalarına İlişkin Yönetmelik [2] Madde (13/2)’ye göre; “Tehlike oluşturma potansiyeline sahip tesis ve faaliyetler belirlenirken kimyasal tesisler, rafineriler, maden ve taşocağı işletmeleri, askeri tesisler, askeri tatbikatlar, hava, kara ve su taşımacılığı, liman, rıhtım, havaalanları gibi taşıma tesisleri, petrol ve gaz boru hatları, sondaj tesisleri, petrol kuyuları, gaz depolama tesisleri, elektromanyetik girişim ve Eddy akımları oluşturan tesisler, aynı sahadaki diğer üniteler ile üretilen, depolanan veya taşınan ürünleri veya malzemeleri santralin

güvenliği açısından tehlike oluşturabilecek benzeri diğer tesis veya faaliyetler dikkate alınır”.

Tehlike oluşturan tesis ve faaliyetler belirlenirken gelecekte tesisin öngörülen ömrü boyunca olası bölgedeki gelişmeler, kurulması planlanan ya da olması muhtemel tesis ve faaliyetler de hesaba katılmalıdır.

TAEK Yönetmeliğinde belirtilen tesis ve faaliyetlere dair araştırılma yapılırken tehlike oluşturma potansiyeline sahip bu kaynakların santrale olan mesafesi ve özellikleri, içerdiği tehlikenin kaynağını oluşturan ürün, malzeme, ekipman veya sistemlere ilişkin gerekli tüm bilgiler toplanmalıdır. Gerekli tüm bilgiler toplandıktan sonra tesis veya faaliyete ilişkin olarak meydana gelebilecek tehlikeli olaylar, bunların yaratabileceği olası tehlikeler ve santrale etkileri belirlenir.

Uçak çarpması, tehlikeli akışkanların yayılımı, patlamalar, yangınlar, gemi kazaları, Eddy akımlarının veya elektromanyetik girişimler bu çalışma kapsamında değerlendirilen insan kaynaklı dış olaylardır.

TAEK tarafından yayınlanan Nükleer Güç Santralleri İçin Yer Raporu Biçim Ve İçeriği Kılavuzu, Nükleer Güç Santrali Sahalarına İlişkin Yönetmelik’e [2] atıf yaparak tehlike oluşturma potansiyeline sahip insan kaynaklı dış olayların değerlendirme sürecini 7.8. Bölümde genel olarak anlatmıştır. Kılavuzun 7.8. Bölümünün ilgili alt maddeleri [3];

Madde (7.8.3), “İnsan kaynaklı potansiyel dış olayların ayrı ayrı analizi yapılarak, önerilen santral üzerindeki olası etkileri niteliksel ve/veya niceliksel olarak tanımlanmalı ve herbir olayın istatistiksel verilere dayanan gerçekleşme olasılığı verilmelidir”.

Madde (7.8.4), “Bu bilgiler ışığında her bir olay, aynı Yönetmelik 7 ve 11 ila 15 inci maddelerde belirtilen kriterler çerçevesinde gerekçeleriyle birlikte tartışılmalı ve TEDO kapsamına girenler listelenmelidir. TEDO kapsamına giren olayların nihai analizleri yapılarak, önerilen nükleer güç santralının tasarımına etki edecek maksimum ısı akısı ve süre, kütle, hız ve konsantrasyon gibi parametrelerin kesin değerleri verilmelidir”.

Madde (7.8.5), “Olayların ve/veya sonuçlarının önlenmesi veya hafifletilmesi için, olayın şiddet ve olasılığının azaltılması, önerilen santrale mühendislik güvenlik önlemlerinin ilave edilmesi ve santral yapılarının güçlendirilmesi gibi alınabilecek

önlemler tartışılmalıdır. Alınacak bu önlemlerle, tasarıma esas insan kaynaklı dış olayların sonuçlarının santral güvenliği açısından riskinin kabul edilebilir düzeyde olduğu veya olacağı gösterilmelidir”.

Madde (7.8.6), “Eğer önerilen nükleer güç santralının tasarımına ilişkin yeterli bilgi bu rapor hazırlanırken sağlanamıyorsa, bu kısma ilişkin kesin bilgi, analiz ve değerlendirmeler santralin Güvenlik Analizi Raporu’nda yer almalıdır. Bu durumda, Yer Raporunda, tasarıma esas insan kaynaklı dış olayların sonuçlarına karşı alınması gereken önlemlerin pratikte uygulanabilirliği tartışılmalı ve örneklerle gösterilmelidir”.

Bahsedilen ilgili kılavuz maddelerinden de anlaşılacağı üzere yapılan değerlendirmeler sonucunda tasarıma esas dış olay kapsamına alınan tehlikeler için santrale uygun tasarım esaslarının belirlenmesi gerekmektedir. Tasarım esasları belirlenirken daha detaylı değerlendirmeler yapılmalı ve oluşabilecek tehlikenin sonuçlarının şiddeti hesaplanmalıdır. Tehlike değerlendirmeleri sırasında deterministik ve olasılıksal yaklaşımların hangisinin tercih edileceği verilerin ulaşılır olması, uygulanacak tasarım yaklaşımı, tehlike değerlendirmesi için olan ulusal standartlar ile tasarımın uyumu gibi birçok maddeye bağlıdır.

Belirlenen tasarım esaslarının sürekliliğinin sağlandığını anlamak için santralin ömrü boyunca izlenmeli ve periyodik olarak değerlendirilmelidir [5].

Santralin kurulması planlanan sahaya ilişkin yapılan değerlendirmeler sonucunda nükleer santral sahasının kurulacak nükleer santral için uygun olduğu ispatlanmalıdır.

Bu tez çalışmasında insan kaynaklı dış olaylar, Nükleer Güç Santrali Sahalarına İlişkin Yönetmelik’in [2] Dördüncü Bölümünde belirtilen tehlike oluşturma potansiyeline sahip tesis ve faaliyetlere göre değerlendirilmiştir.

Nükleer Santraller için sahaya kurulacak nükleer kapasite saha seçimi sürecinin en başından belli olması gerekmektedir. Eğer önerilen kurulacak nükleer kapasitede belirgin bir artış olursa, sahanın uygunluğunun tekrar değerlendirilmesi gerekmektedir [4].

Bu çalışmada belirtilen insan kaynaklı dış olayların hepsi kazasal temellidir. Üçüncü kişiler tarafından santrale karşı yapılan kasıtlı müdahalelerle ilgili fiziksel korumalar bu çalışmanın kapsamı dışındadır.

1.2 Konu İle İlgili Çalışma Örnekleri

Nükleer santral güvenliği için tehdit oluşturma potansiyeline sahip tesis ve faaliyetlerin incelendiği çalışmalar saha aşamasında santrallerin kurulacağı saha için oluşturulan saha raporlarında, Ön Güvenlik Analizi Raporlarında ve daha sonra santrallerin işletim ömürleri boyunca yapılan güvenlik analizlerinde ele alınır ve değerlendirilir. Bu konuda yapılan çalışmalardan bazı örneklerle ve kısa özetlerine bu bölümde yer verilmiştir. Ayrıca insan kaynaklı dış olayların değerlendirme sürecinde olayların olma olasılıklarının hesaplanması için bu çalışmada Bilgi Difüzyon Metodu seçilmiştir. Bu metodun kullanıldığı çalışma örneklerine ve kısa özetlerine de bu bölümde yer verilmiştir. Yapılan örnek çalışmaların daha detaylı değerlendirilmeleri Bölüm 5 ve Bölüm 6'da yer almaktadır.

Akkuyu Nükleer Santrali Güncellenmiş Yer Raporu, 17 Mart 2015 tarihinde TAEK tarafından yayınlanmıştır ve bu raporun 8. Bölümü, insan kaynaklı dış olayların Akkuyu Nükleer Santrali için değerlendirmesini kapsamaktadır. İlgili raporda 10 km'lik alan içerisindeki Akkuyu NGS açısından potansiyel tehlike oluşturacak tesis ve faaliyetlerin D400 Adana-Antalya karayolu, bölgede bulunan taş ocakları ve akaryakıt istasyonları, deniz taşımacılığı, hava taşımacılığı ve ormanlar olduğu belirtilmiştir [7].

Darlington Nükleer sahasında kurulması planlanan ek nükleer santral için Ontario Power Generation Inc. (OPG) [8] tarafından yayınlanan yer değerlendirme raporu ve bu raporun bir parçası olan İnsan Kaynaklı Dış Olayların değerlendirildiği özet raporda, santraller için tehlike oluşturma potansiyeline sahip olaylar kapsamında uçak kazaları, gemi kazaları, detonasyon (İnflak), tehlikeli akışkanları yayılması, yangınlar, elektromanyetik girişim, sahada bulunan diğer santralden kaynaklı radyolojik salınımlar ve yakında bulunan St. Marys çimento fabrikası taş ocağında patlama olayları detaylı olarak değerlendirilmiştir.

Kupciuniene ve Alzbutas [6], Litvanya'da bulunan Ignalina Nükleer Santrali (2 ünite RBMK-1500 reaktörü) için ve aynı sahada kurulacak bir nükleer santral için de temel oluşturmak için "Updated Probabilistic Analysis Of External Events Data And Safety Of The Nuclear Power Plant In Lithuania" başlıklı çalışmalarında insan kaynaklı ve doğal dış olayların değerlendirmişlerdir. Çalışmada insan kaynaklı dış olaylar kapsamında orman yangınları, uçak çarpması olayları değerlendirilmiştir.

Liukonis ve Augutis [9] tarafından yapılan çalışmada Litvanya’da bulunan Ignalina Nükleer Santralinin güvenliği açısından tehdit oluşturabilecek insan kaynaklı dış olaylar kapsamında uçak kazaları ve orman yangınları değerlendirilmiştir ve bu olayların santral için ihmal edilebilir düzeyde tehdit oluşturduklarını belirlemişlerdir.

Bilgi Difüzyon metodunun uygulandığı çalışma örnekleri;

Zhang ve Zhao [10] tarafından yapılan çalışmada Bilgi Difüzyon Teorisi tehlikeli kimyasalların taşınması sırasında olabilecek kazaların hesaplanması için kullanılmıştır. Bu çalışma daha çok tehlikeli kimyaların taşınmasından doğacak risklerin kaza oranı hesaplanması ve tehlikeli kimyaların taşınması sırasında olacak kazalarının sonuçlarının GIS (Coğrafi Bilgi Sistemi) simülasyon teknolojisi kullanılarak modellenmesi olmak üzere iki boyutu üzerine yoğunlaşmıştır.

Si ve diğ. [11] çalışmalarında Çin’deki Changshou Chemical Industrial Distripark (CID) depolama alanındaki tanklardan sızıntı riskini belirlemede bilgi difüzyon metodunu kullanmışlardır. Bu çalışmanın ana amacı tehlikeli kimyasalların sızıntı riskini belirleme ve bu tür kazaları karşı gerekli önlemlerin alınmasıdır.

Chu ve diğ. [12] çalışmalarında Bilgi Difüzyon Teorisini LNG terminal istasyonlarında oluşabilecek risk hesaplamalarında kullanmışlardır.

1.3 Çalışmaya Dair Ulusal ve Uluslararası Temel Dokümanlar

İnsan kaynaklı dış olayların saha etütleri aşamasında değerlendirilmesi sürecinde temel olarak referans alabileceğimiz ulusal ve uluslararası dokümanlar:

Ulusal Dokümanlar:

Nükleer Tesislere Lisans Verilmesine İlişkin Tüzük [1]: Bu Tüzük ile nükleer tesislere lisans verilmesine ilişkin esasları düzenlemek amaçlanmıştır.

Nükleer Güç Santrali Sahalarına İlişkin Yönetmelik [2]: Bu Yönetmelik ile nükleer santralin kurulması planlanan bir sahada santralin kurulabilmesi için nükleer güvenliğe ilişkin olarak uyulması gereken esasların belirlenmesi amaçlanmıştır.

TAEK tarafından yayınlanan Nükleer Güç Santralleri İçin Yer Raporu Biçim ve İçeriği Kılavuzu (GK-GR-01) [3]: Bu Kılavuzun amacı nükleer güç santrali kurulması öngörülen bir yere ilişkin olarak önerilen sahanın, tasarıma esas parametreler çerçevesinde, bir nükleer güç santral sahası olarak kabul edilmesine

temel teşkil edecek bilgileri kapsayan Yer Raporunun biçim ve içeriğini belirlemektir.

TAEK tarafından yayımlanan Özel Tasarım İlkeleri Kılavuzu [13]: Bu kılavuz, özel ilkeleri düzenlemek amacı ile nükleer santrallerin tasarım sürecinde uyulması gereken özel tasarım ilkelerini tanımlamaktır.

İnsan kaynaklı dış olayların değerlendirilmeleri sırasında TAEK tarafından yayımlanmış diğer dokümanların ilgili kısımlarından da yararlanılmalıdır. Ayrıca insan kaynaklı dış olayların değerlendirme sürecinde risk hesaplamaları yapılırken ve değerlendirilirken birçok yasal ve teknik dokümanlardan yararlanılması gerekebilir. Bu dokümanlardan bazılarının örnekleri aşağıdaki gibidir;

- Askeri Yasak Bölgeler Ve Güvenlik Bölgeleri Yönetmeliği (Resmi Gazete Tarih/Sayı: 30.4.1983/18033)
- Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik (Resmi Gazete Tarih/Sayı: 30.12.2013/28867)
- Tehlikeli Kimyasallar Yönetmeliği (Resmi Gazete Tarih/Sayı: 11.07.1993/21634)
- Tehlikeli Maddelerin Karayoluyla Taşınması Hakkında Yönetmelik (Resmi Gazete Tarih/Sayı: 24.10.2013/28801)
- Tehlikeli Maddelerin Deniz Yoluyla Taşınması Hakkında Yönetmelik (Resmi Gazete Tarih/Sayı: 3.03.2015/29284)

Değerlendirme ve hesaplama işlemlerinde ulusal dokümanların yanında birçok uluslararası dokümanlardan da yararlanılmaktadır. Uluslararası dokümanlardan bazılarının örnekleri aşağıdaki gibidir:

IAEA [5] tarafından yayımlanan nükleer santrallerin saha etütleri aşamasında incelenmesi gereken insan kaynaklı dış olayların anlatıldığı kılavuz aşağıdaki maddelerle ilgili bilgiler içermektedir;

1. Nükleer santrale etki edebilecek uçak çarpması, tehlikeli akışkanların yayılması, patlamalar, diğer insan kaynaklı dış olaylar (yangınlar, gemi çarpması, elektromanyetik girişim) gibi olayların tanımlanması.
2. İnsan kaynaklı dış olaylara dair veri toplama ve inceleme aşamaları
3. İnceleme ve Değerlendirme Prosedürleri.

İki Aşamalı inceleme yaklaşımının kullanılmış olduğu bu Güvenlik Kılavuzunda nümerik değerler olarak değerlendirme yapılmamıştır.

İnceleme Aşamaları:

I. Ön İnceleme

- a. Mesafe
- b. Olasılık

II. Detaylı Değerlendirme

U.S.NRC [14] tarafından yayınlanan yönetmelikte 100. Bölüm (10 CFR Part 100) saha kriterleri üzerinedir. Bu bölümün amacı güç ve test reaktörleri için aynı Yönetmeliğin 50, 51 ve 52. (10 CFR Part 50/51/52) Bölümlerine bağlı olarak önerilen sahaya uygun kabul kriterlerinin oluşturulmasıdır. 10 CFR 100.21 kısmı sismik olmayan saha kriterleri üzerinedir. Bu kısma göre saha özellikleri ve çevredeki ulaşım hatları, endüstri ve askeri tesislerden kaynaklanan potansiyel tehlikeler belirlenmeli ve değerlendirilmeli böylece bu tür hatlardan ve tesislerden kaynaklanan potansiyel tehlikeler santral üzerine risk oluşturmaz.

U.S.NRC [15] tarafından yayınlanan Nükleer Santrallerin (LWR) Güvenlik Analiz Raporlarını Değerlendiren Standart Değerlendirme Planının (NUREG-0800) 2.2. Bölümüne göre sahanın çevresinde bulunan veya santralin ömrü süresince kurulabilecek endüstri, askeri ve ulaşım tesislerindeki tehlikeli madde ve faaliyetlerden kaynaklanan potansiyel kazalara karşı sahanın uygunluğunun detaylı olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Bölüm 2.2.3'te ise saha yakınındaki potansiyel kazalar için değerlendirme prosedürleri ve kriterlerini tanımlanmaktadır. Bölüm 3.5.1.6. potansiyel uçak kazaları için değerlendirme prosedürlerini tanımlar.

U.S. NRC Düzenleyici Kılavuzlar (Regulatory Guide) :

U.S.NRC [16] tarafından yayınlanan ve nükleer santrallerin kurulacağı sahaların uygunluklarının belirlenmesinde yardımcı olması amaçlanan kılavuzda, nükleer santraller için saha uygunluğuna dair genel kriterleri içerir. Hafif Su Reaktörleri için saha uygunluğuna NRC personelleri tarafından karar verilirken değerlendirilen halk sağlığı ve güvenliği ve çevre konularıyla ilgili temel saha özelliklerine dair bilgiler bu kılavuz kapsamında değerlendirilir ve kılavuz nükleer santrallere uygun sahanın belirlenmesi için kullanılabilir. Fakat ilgili birçok faktör ve olası sahaların uygunluğu

hakkında detaylı olarak kılavuzluk edemediği için saha seçiminin sadece ilk aşaması için kullanılabilir. Saha ile santralin uygunluğunu sağlayacak mühendislik tasarımlarının detaylarını veya güvenlik analizlerinin ve çevre raporlarının hazırlanması için gerekli detaylı bilgilerini içermez. Kılavuza göre önerilen sahadan 8 km (5 mil) uzaklıktaki potansiyel tehlikeli tesis ve faaliyetler ve 16 km (10 mil) içerisindeki havaalanları belirlenmelidir.

U.S.NRC [17] tarafından patlama olayı üzerine yayınlanan kılavuzda nükleer santrale yakın alanlardaki tesislerde ve ulaşım hatlarında meydana gelen patlamalar değerlendirilir.

U.S.NRC [18] tarafından yayınlanan nükleer santrallerin yangından korunması üzerine olan kılavuz sahadaki ve tesis yakınındaki potansiyel yangın ve patlamalardan bahseder.

2. POTANSİYEL TEHLİKELERİN BELİRLENME AŞAMALARI

2.1 Verilerin Toplanması

Çalışmalara bölgede bulunan ve santrale tehlike oluşturma potansiyeline sahip tüm potansiyel kaynaklar belirlenmesi ile başlanmalıdır. Bilgi toplanmasına olabildiğince erken başlanmalı. Potansiyel saha belirlendiğinde, insan kaynaklı dış olayların referans tehlikelerinin belirlenmesi için ve tasarıma esas parametrelere bilgi sağlamak için (saha karakterizasyonu aşaması) daha detaylı bilgilere ihtiyaç duyulabilir. Ayrıca, santralin ömrü boyunca (işletmeden önce ve işletme aşamalarında) sahanın gözlemlenmesi ile periyodik güvenlik değerlendirilmelerinde kullanılacak daha çok bilgiye ulaşılabilir olmalıdır.

Bölgedeki şu an olan ya da planlanan tesisler ve aktivitelerle ilgili bilgiler, haritalardan, yayınlanan raporlardan, kamusal ya da özel ajanslardan ve yerel alanlarla ilgili bilgi sahibi kimselerden araştırılmalıdır. Bu bilgiler, santral üzerine belirli potansiyel etki edebilecek olan tesislerin direk incelenmesiyle elde edilen bilgilerle birlikte doğrulanarak araştırılmalı ve böylece tehlike potansiyeline sahip ve araştırılması gereken faaliyetlerin belirlenmesi sağlanır [5].

Belirlenen kaynaklar tetikleyici mekanizmanın yerine göre **Sabit Kaynaklar** ve **Hareketli (Mobil) Kaynaklar** olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Bölgede yapılan araştırmalar sonucunda belirlenen kaynaklar sabit ve hareketli kaynak olarak iki grupta kategorize edilerek ve değerlendirilir.

Toplanan bilgiler ışığında mesafe ve olayların olma olasılıklarına değerlerine göre incelemeler yapıp detaylı değerlendirme gerektirip gerektirmeyeceğine karar verilir.

Etkileşimli olayların birçok kategorileri için olayın olma olasılığının ve olayın şiddetinin güvenli bir şekilde hesaplanması için bölge ile ilgili yeterli bilgi genellikle yoktur. Yerel, kıtasal ya da global tabandaki istatistiksel verilerin elde edilmesi daha yararlı olabilir. İnsan kaynaklı dış olayların etkilerinin şiddetinin hesaplanmasında hiçbir dayanak olmadığında, olayla ilgili elde edilebilir bütün bilgiler ve kabuller

evrensel bazda elde edilmeli böylece tasarım esaslarına mühendislik hükümleri ile karar verilebilir [5].

2.2 Kaynakların Gruplandırılması

Sabit kaynaklar; başlatıcı mekanizmanın yeri sabit olduğu kaynaklardır. Sabit kaynaklara örnek olarak; petrol rafinerileri, kimya tesisleri, depolama alanları, madencilik ve taş ocağı işletmeleri, ormanlar, diğer nükleer tesisler, yüksek enerjili dönen ekipmalara sahip tesisler, askeri tesisler (kalıcı ve geçici) gibi tesisler verilebilir.

Sabit kaynaklardan meydana gelebilecek potansiyel tehlikeler; patlama, yangın, yanıcı, patlayıcı, boğucu, aşındırıcı, zehirli ve radyoaktif malzemelerin yayılımı, çökme, misiller, elektromanyetik girişim, eddy akımları gibi olaylardır.

Bölgede bulunan ve santrale tehlike oluşturma potansiyeline sahip tüm sabit potansiyel kaynaklar belirlendikten sonra bu tesislere dair ve tesislerle ilgili kazalara ya da hatalara dair elde edilebilir tüm bilgiler aktif ve pasif güvenlik özellikleri de dikkate alınarak toplanmalıdır.

Sabit kaynaklardan tehlikelerin içeriğiyle ilgili ihtiyaç duyulan bilgiler; tehlikeli maddenin tipi ve depolanan, işletilen ve transfer edilen miktarı, depolama şekilleri (fiziksel durumları) ve işlemler (akış şemaları), depolama kaplarının, depoların ve diğer tür depolama şekillerinin boyutları, bu tür depolama alanlarının konumları, onların inşaat ve izolasyon sistemleri, işletme koşulları (bakım frekanslarını içerir); ve aktif ve pasif güvenlik özellikleri [5].

Bölgeye dair bilgi toplama aşamasında askeri eğitim alanları ya da askeri faaliyetlerin olduğu askeri tesislere dair bilgiler ülke güvenliği ve savunması açısından önem taşımasından dolayı gizlilik içerebilecek olmaları bilgi toplama aşamasında bazı zorlukları da beraberinde getirebilmektedir. Fakat nükleer santrallerin güvenliğinin sağlanması açısından da bu tür bilgileri toplamak ve değerlendirmek önemlidir. Bu durumda gerekli makamlardan bilgi paylaşımına dair izinler alınmalı ve alınan bilgiler belli bir hassasiyet içerisinde gizlilikleri gözetilerek paylaşılmalıdır. İlgili taraflarca imzalanacak gizlilik anlaşmaları kapsamında gizlilik derecesi korunarak bilgilerin paylaşılması ve bilgilere güvenlik kleransına sahip

yetkili personelin erişim sağlaması bu aşamanın daha kolay bir şekilde yürütülmesini sağlar.

Sabit kaynaklar kapsamında değerlendirilmesi gereken önemli faaliyetlerden biri de madenciliktir. Maden ve taş ocakları işletmelerinde patlayıcılar kullanıldığından bu faaliyetlerden dolayı basınç dalgaları, fırlayan cisimler oluşabildiği gibi ayrıca çökme ve yer sarsıntıları da oluşabilmektedir. Bu yüzden bu faaliyetleri araştırırken daha dikkatli olunmalı ve santralin güvenliğinin tam olarak sağlayacak önlemlerin alınabilmesi için bölgenin jeolojik ve jeofiziksel karakteristikleri de dikkate alınarak sahaya dair tüm bilgiler elde edilmelidir. Araştırma sürecinde madencilikle, ocakçılıkla ilgili tüm işler ve depo edilmiş patlayıcıların maksimum miktarları gibi bilgiler toplanmalıdır.

Değişik depolarda ya da işlemlerdeki materyallerin birbirleriyle etkileşme olasılıklarıyla ilgili bilgiler ki bunlar büyük tehlikelere yol açabilir, belirlenmelidir. Bölgenin istatistiksel meteorolojik bilgilerine ayrıca ve potansiyel kaynaklarla nükleer güç santralının yeri arasındaki alanın yerel meteorolojik bilgileri ve topografik özellikleri de gerçekçi değerlendirmeler yapmak için elde edilmelidir.

Hareketli kaynaklar; başlatıcı mekanizmanın yerinin tam olarak kısıtlı olmadığı kaynaklardır. Örneğin; demiryolu trenleri, vagonları, karayolu araçları, gemiler, boru hatları, hava trafik koridorları ve uçuş sahaları (askeri ve sivil).

Araştırılan bölgedeki potansiyel mobil kaynaklara dair bölgedeki alanlar, limanlar, kanallar, demiryolu şantiyeleri, karayolu araç yükleme alanları ve yoğun bağlantılar ve kesişimler bölgelerindeki sabit trafik tesisleri ve sahada bulunan trafik hatları ile ilgili bilgiler toplanmalıdır. Bölgedeki trafik akışının karakteristiklerine dair; örneğin tek bir taşıma yönetimi ile hat boyunca taşınacak maddelerin yapısı, tipi, miktarı; kapların büyüklüğü, miktarı ve tipi, hızlar, kontrol sistemleri, güvenlik elemanları ve sonuçlarını da içeren kaza istatistikleri gibi bilgiler toplanmalıdır. Boru hatlarına dair ise taşınacak maddenin miktarı, akış kapasitesi, iç basıncına, vanalar arasındaki uzaklık veya pompa istasyonları, güvenlik özellikleri ve sonuçlarını da içeren kaza raporları gibi bilgiler toplanmalıdır [5].

Genel olarak yapılan hesaplamalarda taşıma hattı boyunca kaza olasılığı eşit olarak dağılmış olarak kabul edilir. Fakat gerçekte kaza olasılıkları bağlantı noktalarında veya kesişme noktalarında artabilir [19].

Hava trafiği ile ilgili toplanan bilgiler, hava alanlarının yerlerini, bölgedeki hava trafik koridorlarını, uçakların kalkış, iniş ve uçuş takımlarını, uyarı ve kontrol araçları tiplerini ve uçuş frekanslarını içermelidir. Bölgedeki uçak kazaları ve aynı tip hava alanları ve hava trafikleri için benzer bilgiler toplanmalıdır. Sivil ve askeri hava trafiklerine dair bilgiler de toplanmalıdır. Askeri uçak eğitim alanları, alçaktan uçuşlar yapıldığı için bu alanlarda ve çevresinde yüksek kaza frekansına sahiptir bu yüzden özellikle ilgilenilmelidir.

Hareketli (Mobil) kaynaklardan meydana gelebilecek potansiyel tehlikeler sabit kaynaklardan oluşabilecek tehlikelerle benzerdir; patlama, yangın, yanıcı, patlayıcı, boğucu, aşındırıcı, zehirli ve radyoaktif malzemelerin yayılımı, soğutma suyu alma yapılarının engellenmesi, kazalara sebebiyet verecek normal olmayan uçuşlar.

Elde edilen verilere göre olayların olma olasılıkları, şiddetleri hesaplanmalı ve Tasarıma Esas Dış Olay kapsamına alınıp alınmayacağına karar verilmelidir.

Sahadaki diğer ünitelere ilgili tehlikeli maddelerin saha içinde taşınması da hesaplamalar sırasında göz önünde bulundurulmalıdır [5].

Saha değerlendirmeleri sırasında santral etrafında bulunan tehlike oluşturma potansiyeline sahip kaynaklardan (sabit ve hareketli kaynaklar) meydana gelebilecek tehlikelerin değerlendirilmesi için kaynaklarla ilgili özellikler araştırılıp elde edilen verilere göre değerlendirmeler yapılır.

Yapılacak değerlendirmeler sırasında kaynaklarda meydana gelebilecek ve santralin güvenliği üzerine tehlike oluşturabilecek olaylar analiz edilir.

Kaynaklarda meydana gelebilecek başlatıcı olayların neler olduğu, bu olayların gelişimi, ne tür olaylara sebebiyet verdiği ve bu olayların santral üzerine etkileri değerlendirilmesi gerekmektedir.

IAEA [5] kılavuzundan yararlanılarak oluşturulan aşağıdaki çizelgelerin (Çizelge 2.1, Çizelge 2.2 ve Çizelge 2.3) ilki olan Çizelge 2.1'de potansiyel kaynaklar (sabit ve hareketli kaynaklar) için analiz edilmesi gereken tetikleyici insan kaynaklı dış olayların neler olduğu, bu olaylar meydana geldiğinde ne tür olaylara sebep oldukları ve bu olayların santral üzerine ne tür etkileri olduğu belirtilmiştir.

Çizelge 2.1 : Olayların değerlendirilmesi ve nükleer santrale etkileri [5].

Başlatıcı Olay	Olayın Gelişimi	Her bir Olayın Santral Üzerine Olası Etkileri ¹
Patlama (Tutuşma, İnflak)	Basınç dalgaları Fırlayan parçalar Patlama ile oluşan duman, gaz ve tozun santrale doğru sürüklenmesi Patlama sonucu yangınlar	(1)(2)(3)(4)(5)(6)(7)
Yangın (Santral dışı)	Kıvılcımlar diğer yangınları tetikleyebilir Duman ve yanma gazları santrale doğru sürüklenabilir Isı(Termal Akı)	(3)(4)(5)(6)
Yanıcı, patlayıcı, boğucu, aşındırıcı, zehirli veya radyoaktif maddelerin yayılımı	Bulutlar ya da sıvılar santrale doğru sürüklenabilir, santrale ulaşmadan önce ya da sonra santral içinde ya da dışında yanabilir ya da patlayabilir Bulutlar ve sıvılar operatörlerin, güvenlikle ilgili ekipmanların olduğu alana doğru sürüklenebilir görevlerini yerine getirmelerini engellerebilir	(1)(2)(3)(4)(5)(6)
Uçak kazaları veya kazalara, uçak çarpışmalarına, fırlayan parçalara sebep olan uçuş anormallikleri	Fırlayan parçalar Yangın Yakıt tankların patlaması	(1)(2)(3)(4)(5)(6)
Zemin çökmesi	Zemin Çökmesi Soğutma suyu sistemlerinin karışması, engellenmesi	(7)(8)(9)
Soğutma suyu alma yapılarının engellenmesi veya zarar görmesi	Soğutma suyu sistemlerinin karışması, engellenmesi	(12)
Elektromanyetik girişim	Elektrikli ekipmanların çevresindeki elektromanyetik alan	(10)
Eddy akımları	Elektriksel Potansiyel	(11)

¹ Sayıların açıklaması için Çizelge 2.2'e bakınız.

Kaynaklarda olabilecek ve santrale tehlike oluşturabilecek olaylar belirlendikten sonra bu olayların santral üzerine etkilerinin değerlendirilmesi gerekmektedir.

Aşağıdaki çizelgede (Çizelge 2.2) olayların etkileri, bu olayların etkilerinin değerlendirilmesi için elde edilmesi gereken ilgili parametreler belirtilmiştir.

Çizelge 2.2 : Olayların nükleer santraller üzerine etkileri ve ilgili parametreler [5].

Santral Üzerine Etkiler	Parametreler
(1) Basınç Dalgaları	Zamanın fonksiyonu olarak santralde yerel yüksek basınç
(2) Fırlayan parçalar	Kütle, Hız, Yapı, Boyut, Malzeme tipi, Yapısal Özellikler, Darbe açısı
(3) Isı	Maksimum ısı akısı ve süre
(4) Duman ve Toz	Yapı, Zamanın fonksiyonu olarak konsantrasyon ve miktar
(5) Boğucu ve zehirli maddeler	Zamanın fonksiyonu olarak konsantrasyon ve miktar, Zehirlilik ve boğuculuk limiti
(6) Aşındırıcı ve radyoaktif sıvılar, gazlar ve aerosoller	Zamanın fonksiyonu olarak konsantrasyon ve miktar, Aşındırıcı ve radyoaktif limitler, Kaynak(deniz, kara)
(7) Yer Sarsıntısı	Davranış spektrumu
(8) Su baskını (ya da kuraklık)	Zamana bağlı su seviyesi, Olay sırasında tehlike oluşturacak suyun hızı
(9) Çökme	Çökme, Diferansiyel yer değiştirme, Çökme hızı
(10) Elektromanyetik Girişimler	Frekans bandı ve enerji
(11) Yere doğru girdap akımları	Yoğunluk ve süre
(12) Santrale su alımının zarar görmesi	Gemi kütlesi, etki hızı ve alanı, engelleme derecesi

İnsan kaynaklı dış olayların santral üzerine oluşturacağı basınç dalgaları, ısı, fırlayan parçalar, duman, toz, su baskını, boğucu ve zehirli maddelerin yayılması, elektromanyetik girişim, su alma yapılarına zarar verme, yer sarsıntısı, çökme gibi etkilerin sonucunda santralde meydana gelebilecek olaylar aşağıdaki Çizelge 2.3'te belirtilmiştir. Bu sonuçların olmaması için saha etütleri aşamasından başlayarak insan kaynaklı dış olayların detaylı bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir.

Çizelge 2.3 : Olayların nükleer santral üzerine etkileri ve sonuçları [5].

Santral Üzerine Etkiler	Etkilerin Sonuçları
Basınç Dalgaları	Yapının bir kısmının çökmesi veya sistemlerin ve bileşenlerinin zarar görmesi
Fırlayan parçalar	Penetrasyon, perforasyon ya da yapıların parçalanması ya da sistemlerin ve bileşenlerinin bozulması Yapının bir kısmının çökmesi, sistemlerin ve bileşenlerinin bozulması Titreşim kaynaklı ekipmanlardaki hatalı sinyaller
Isı	Kontrol odasının kalınabilirliğinin bozulması Sistemlerin veya bileşenlerinin bozulması Yanııcıların ateşlenmesi
Duman ve Toz	Hava giriş filtrelerinin tıkanması Kontrol odasının veya diğer önemli santral odalarının ya da etkilenen alanların kalınabilirliğinin bozulması
Boğucu ve zehirli maddeler	İnsan hayatının ve sağlığının tehdit edilmesi Güvenlikle ilgili alanlarda yaşanabilirliğin bozulması Güvenlik fonksiyonlarını yerine getirilmesinin engellenmesi.
Aşındırıcı ve radyoaktif sıvılar, gazlar ve aerosoller	İnsan hayatının ve sağlığının tehdit edilmesi Güvenlikle ilgili alanlarda yaşanabilirliğin bozulması Sistem ve bileşenlerinin aşınması ve bozulması Güvenlik fonksiyonlarının yerine getirilmesinin engellenmesi
Yer Sarsıntısı	Mekanik hasar
Su baskını (ya da kuraklık)	Yapıların, sistem ve bileşenlerinin zarar görmesi
Çökme	Yapıların çökmesi ya da sistemlerin ve gömülü borular ve kablolar gibi bileşenlerinin zarar görmesi
Elektromanyetik Girişimler	Elektrikli ekipmanlara hatalı sinyaller
Yere doğru girdap akımları	Yeraltındaki metal ekipmanların korozyonu Topraklama problemleri
Santrale su alımının zarar görmesi	Soğutma suyunun olmaması

3. OLAYLARI DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ

Bu çalışmada, insan kaynaklı dış olayların incelenmesi ve değerlendirilmesi Nükleer Güç Santrali Sahalarına İlişkin Yönetmelik'te ve IAEA tarafından yayınlanan güvenlik kılavuzunda belirtilen yönteme göre yapılmıştır [2,5].

3.1 Genel Prosedür

IAEA [5] kılavuzunda insan kaynaklı dış olayların değerlendirme sürecini iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşama ön inceleme aşaması ve ikinci aşama detaylı değerlendirme aşamasıdır. Detaylı değerlendirme sonucunda tasarıma esas dış olay olup olmadığına karar verilir.

İlk eleme aşaması olan ön inceleme aşamasında detaylı analizler yapmaya gerek kalmadan basit yöntemlerle bölgede belirlenen tehlike oluşturma potansiyeline sahip kaynakların “inceleme mesafe değeri” ve/veya olayın olma olasılığını ulaşılabilir bilgiler ışığında hesaplamalar yapılarak gerçekleştirilir.

Nükleer Güç Santrali Sahalarına İlişkin Yönetmelik [2], Madde (13/1)'de santrale tehlike oluşturma potansiyeline sahip tesis ve faaliyetler belirlenirken incelenmesi gereken mesafe değeri tanımlanmıştır. İlgili maddeye göre önerilen santral sahasının içerisi de dahil olmak üzere önerilen santralden 10 km'lik mesafe içerisinde yer alan ve tehlike oluşturma potansiyeline sahip tüm tesis ve faaliyetler belirlenir. Ayrıca belirlenen bu mesafeden daha uzak mesafede önerilen santralin güvenliği açısından önem taşıyabilecek olan tesis ve faaliyetler de incelenmesi gereken tesis ve faaliyetler olarak belirlenir.

Bu mesafe, İnceleme Mesafe Değeri (Screening Distance Value (SDV)) olarak adlandırılan uzaklıktır. Her bir tehlike için tanımlanan bu mesafe değerinin ilerisinde bulunan potansiyel tehlike kaynakları santral üzerine etki oluşturabilecek mesafeden daha ötede oldukları için ihmal edilebilir. Madde (13/1)'den de anlaşılacağı üzere İnceleme Mesafe Değeri olarak adlandırılan bu değer TAEK tarafından 10 km olarak belirlenmiştir. Yine aynı maddeden anlaşılacağı üzere çalışmalar yapılırken bu

mesafenin ötesinde olduğu halde santrale tehlike oluşturabileceğini düşündüğümüz tehlikeler de değerlendirme kapsamına alınır ve tehlike oluşturma potansiyellerine dair analizler yapılır.

Değerlendirme sürecinde belirlenen inceleme mesafe değerinin (SDV) ötesinde olan bazı kaynaklar için mesafe ve kaynakların özelliklerine dayalı olarak basit deterministik bir çalışma ile belirgin etkileşimli olayların olmayacağını göstermek mümkün olabilir.

Eğer belirlenen mesafenin içerisinde kalan veya bu mesafenin dışında olup da santrale tehlike oluşturma potansiyeline sahip kaynaklar varsa olayın olma olasılığına dayalı ikinci bir ön eleme yapılır. Olayın yıllık olma olasılık değeri İnceleme Olasılık Seviyesi (Screening Probability Level (SPL)) olarak adlandırılır ve bu değer ülkelerin düzenleyici kurumları tarafından tehlike oluşturma potansiyeline sahip, endüstriyel tesisler gibi, tesisler için belirlenen risk yönetimi politikası ile tutarlı olacak şekilde belirlenmelidir.

Nükleer Güç Santrali Sahalarına İlişkin Yönetmelik [2] Madde(12/1)'e göre, “Önerilen santralin çevresinde bulunan tehlike oluşturma potansiyeline sahip tesisler ile faaliyetlerden kaynaklanabilecek olaylar belirlenerek değerlendirilir. Bunların arasından gerçekleşme olasılığı 10^{-7} /yıl veya daha büyük olan olaylar incelemeye alınır. Etki mesafesi santrale ulaşarak tesiste radyolojik sonuçlara yol açabilecek olaylara karşı alınması gereken önlemler ile bunlara ilişkin tasarım parametreleri belirlenir”.

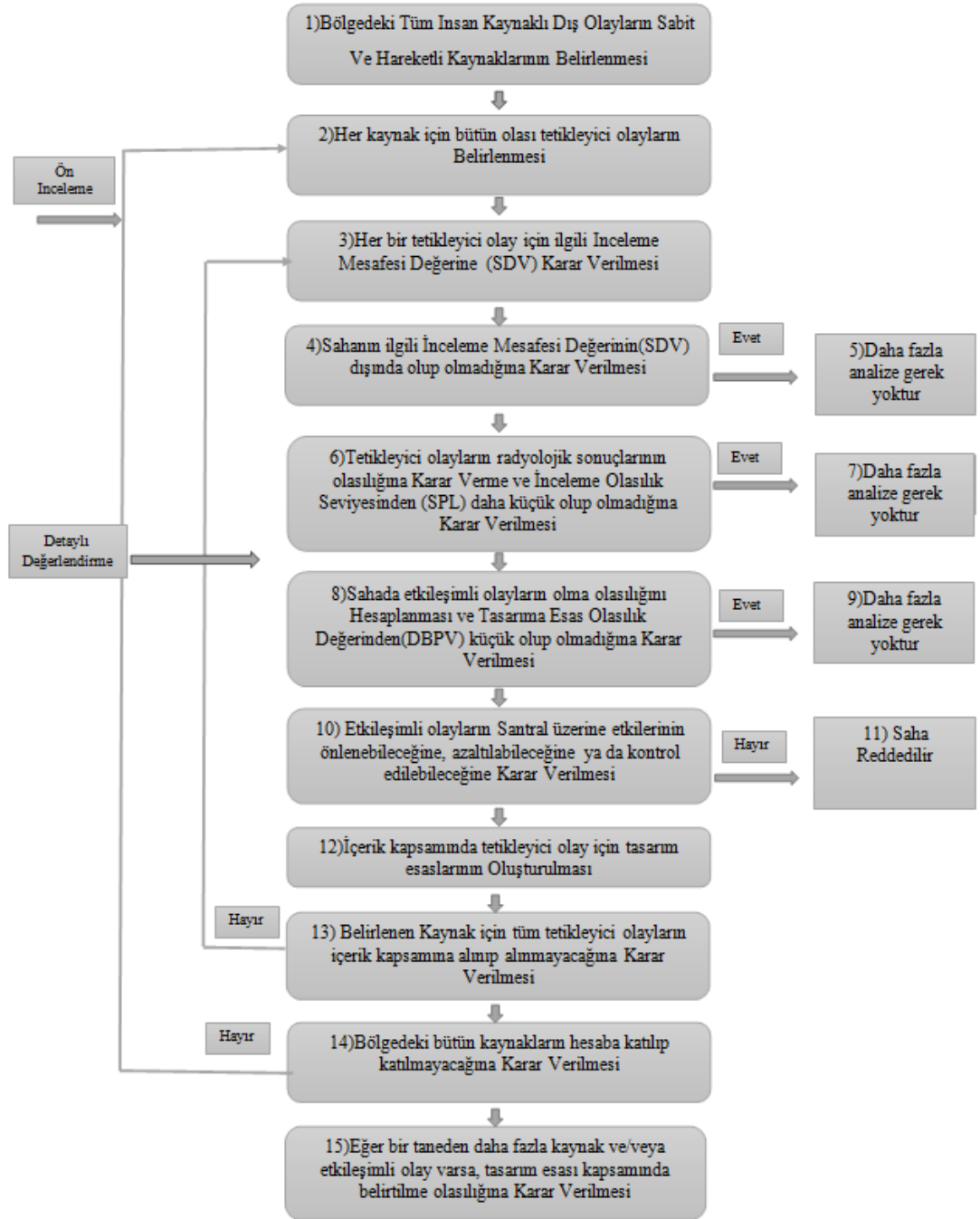
IAEA [5] kılavuzunda da olayın potansiyel radyolojik sonuçlarıyla beraber yıllık olma olasılığının kabul edilebilir limit değerini 10^{-7} /reaktör yıl olarak belirtilmiştir.

SPL değeri seçilirken insan kaynaklı dış olaylarla ilgili radyolojik riskler, santral içerisinde olan veya diğer dışsal sebeplerle oluşan kazalarla ilgili radyolojik risk aralığını geçmeyecek şekilde seçilmelidir [5].

Yapılan değerlendirmeler sonucunda inceleme olasılık seviyesinden daha düşük olma olasılığına sahip tetikleyici olaylar sonuçlarına bakılmaksızın oluşturacakları tehlikeler ihmal edilebilir olacağı için daha fazla değerlendirme sürecine dahil edilmemelidirler.

İki aşamalı ön inceleme sürecinde elenmemiş her bir olay ve kaynak için daha detaylı hesaplamaların yapılması gerekmektedir. İnsan kaynaklı dış olaylara karşı sahanın kabul edilebilirliğini göstermek ve ilgili tehlikelere karar vermek için yeterli olacak detay içeren bilgiler toplanmalı ve tasarıma esas dış olay kapsamına alınıp alınmayacaklarının belirlenmesi gerekmektedir.

IAEA [5] kılavuzundan alınan aşağıdaki Şekil 3.1, ön inceleme ve detaylı değerlendirme aşamalarındaki basamaklar için akış şemasını göstermektedir.



Şekil 3.1 : İnceleme ve değerlendirme yöntemleri için genel akış şeması [5].

Yukarıdaki şekildeki değerlendirme adımları;

1) Bölgedeki potansiyel insan kaynaklı dış olayların bütün sabit ve hareketli kaynaklarının belirlenmesi ve her bir kaynak için tetikleyici olayların tanımlanmasından sonra inceleme mesafe değeri (screening distance value (SDV)) her bir tip kaynak (sabit ya da hareketli) için konservatif yaklaşımlar kullanılarak belirlenmelidir, böylece bu mesafe ötesindeki etkileşimli olayların etkileri daha fazla hesaplamalara dahil edilmemelidir (Bkz Şekil 3.1 kutu 3).

2) SDV'ye karar vermek için olayın ciddiyeti ve boyutunun yanı sıra sahada kurulacak olan nükleer santralin beklenen özellikleri de kadar hesaba katılmalıdır. Standart santral tasarımına bağlı olarak bu özelliklere dair yer seçiminin ilk aşamaları için varsayımlar yapılabilir. Eğer belirlenen tetikleyici olay sahası İnceleme Mesafe Değerinin (SDV) dışında ise daha fazla hesaplama yapılmasına gerek yoktur (Bkz Şekil 3.1 4-5.kutular).

Bilgi Toplama işlemi ilk olarak bölgede belirlenen SDV içerisinde tehlike oluşturma potansiyeline sahip tesisler olup olmadığı üzerinedir. Ayrıca TAEK'in Yönetmeliğine göre 10 km'lik yarıçap olarak belirlenen SDV değerinin içerisinde olmayan fakat tehlike oluşturma potansiyeline sahip olan tesis ve faaliyetlerde yapılan inceleme kapsamına alınmalıdır.

Değerlendirme sürecinde ilk değerlendirme aşaması olarak potansiyel kaynakların belirlenmesi aşamasında aşağıdaki bilgiler ilgili Kurum ve Kuruluşlardan istenilebilir.

Saha alanı sınırından itibaren 10 km'lik yarıçap içerisinde,

- Ormanlık alanlar
- Yüksek Enerjili Dönen Ekipmanlara sahip tesisler
- Yüksek gerilim şaltı, taşınabilir telefon, taşınabilir elektronik alet, bilgisayar, radyo, televizyon ve telefon yayın ağları ile ilgili elektromanyetik girişim (dalga) oluşturan yapılar
- Eddy akımları yaratan yapılar, örneğin demiryolları
- Askeri üsler, mühimmat depolama alanları ve mühimmat deneme yerleri, füze üsleri, ateşleme ve bombalama alanları,

- Petrol veya gaz kuyuları
- Su baskınına veya zemin çökmesine sebebiyet verebilecek, patlayıcı kullanılan ve depolanan veya su akıntıları önüne geçici olarak set oluşumuna neden olabilecek madenler, taş ocakları ve şantiyeler
- Rafineri, kimyasal tesis ve tehlikeli malzemeleri (petrol, gaz, kimyasallar) depolama tesisleri dahil, tehlikeli malzemelerin işlendiği endüstriyel tesisler
- Tehlikeli malzemelerin (petrol, gaz, kimyasallar) taşındığı boru hatları
- Tehlikeli malzemelerin taşındığı karayolu güzergahları
- Tehlikeli malzemelerin taşındığı demiryolu güzergahları (manevra istasyonları dahil)
- Tehlikeli malzemeler için rıhtım, liman, iskele
- Büyük gemiler için geçiş yollarının tanımlanması (tehlikeli malzemelerin gemi yoluyla taşınma güzergahlarını içerecek şekilde)

Saha Alanı sınırından itibaren 16 km'lik yarıçap içerisinde,

- Hava alanları
- Hava koridorları

Saha Alanı sınırından itibaren 37 km'lik yarıçap içerisinde,

- Askeri ve sivil faaliyetler ve bu faaliyetlere ait uçuş çizelgeleri

Bu çalışmada ön inceleme aşamasında havaalanı ve uçuş faaliyetleri için seçilen İnceleme Mesafe Değeri, uçaklardan kaynaklı tehlikelerin tanımlanmasında TAEK Yönetmeliğinde belirlenen mesafeden (10 km) biraz daha geniştir.

Hava alanı ve hava koridorları için seçilen 16 km'nin kaynağı USNRC dokümanına dayanmaktadır. USNRC tarafından yayınlanan "Aircraft Hazards" başlıklı Standard Review Plan 3.5.1.6 dokümanına göre saha ile havaalanı arasındaki mesafenin 5 ile 10 mil arasında olması gerektiği belirtilmektedir [20]. Daha güvenli bir sonuç elde etmek için santral için önerilen sahanın değerlendirme sürecinde inceleme mesafesini 10 mil (~16 km) olarak almanın daha uygun olacağı düşünülmektedir.

Uçuş faaliyetleri için seçilen 37 km'lik mesafenin kaynağı, "Accident Analysis For Aircraft Crash Into Hazardous Facilities" başlıklı Department of Energy standard

3014 dokümanına dayanmaktadır. Bu stadarta göre uçuş faaliyetlerin incelenmesi için 37 km'lik bir sınır belirlemiştir [21].

Bu sınır değerleri Yönetmelikte belirtilen 10 km'lik mesafeden daha geniş olduğu için santrali tehdit edebilecek tehlikelerin daha detaylı değerlendirilmesi açısından 16 km'lik ve 37 km'lik mesafeleri İnceleme Mesafe Değeri olarak almanın daha yararlı olacağı düşünülmektedir. Belirtilen olaylara dair toplanan bilgilerin ve yapılan hesaplamaların daha güvenilir olması beklenmektedir.

3) Belirlenen tetikleyici olay sahası eğer SDV'nin dışında değil ise, bu tür bir olayın olma olasılığına karar verilmelidir ve belirlenen İnceleme Olasılık Seviyesi (SPL) ile karşılaştırılmalıdır (Bkz Şekil 3.1 kutu 6).

Eğer olayın olma olasılığı İnceleme Olasılık Seviyesinden (SPL) daha küçükse daha fazla analiz yapılmasına gerek yoktur (Bkz Şekil 3.1 kutu 7).

Hesaplamalar sırasında uygun istatistiksel yaklaşımlar uygulanmalıdır ve bölgedeki aynı derecede riske sahip diğer olaylarla için ve diğer tesisler için kullanılan benzer istatistikler ile karşılaştırmalar yapılmalıdır.

İnsan kaynaklı dış olayların olası kaynaklarının aynı tür etkileşimli olaylar için tahmin edilen olasılıkları (her bir kaynak için) SPL'den daha az olabilir fakat tahmin edilen toplam olasılıklar (tüm kaynaklar için) SPL değerini geçebilir [22].

Farklı tesis veya faaliyetlerden kaynaklanabilecek belirli bir tip tehlike için tek tek gerçekleşme olasılıkları 10^{-7} /yıl değerinden daha düşük olmakla birlikte, toplam olasılık yeterince büyükse, bu tip tehlike de TEDO kapsamına alınır [2].

Sonuç olarak eğer tetikleyici olayın olma olasılık değeri 10^{-7} /yıl olarak belirlenen SPL değerinden büyükse daha detaylı bilgiler toplanarak daha detaylı bir değerlendirme yapılmalıdır ve bu detaylı değerlendirme sonucunda tasarıma esas olay kapsamına alınıp alınmayacağına karar verilmelidir. Bu konuda önemli noktalardan biri de olayın yıllık olma olasılık değerinin belirlenen SPL değerinden büyük olması bu olayın yüksek miktarda radyoaktivite salınımına sebep olacağı anlamına gelmemesidir. Bu duruma yapılan değerlendirme sonucunda elde edilen verilere göre karar verilmelidir.

Bazen verilerin kalitesinden (doğruluk, uygulanabilirlik, bütünlük veya miktar) tam olarak emin olunmaması belli bir olay için veya olaylar dizisi için tasarım esasını

belirlenmesi veya içerikten elenmesi için karar verme aşamasında, kantitatif olasılık kriterlerinin kullanılmasını engelleyebilir. Bu tür durumlarda, tehlikelerin detaylı olarak değerlendirilmeleri sırasında hangi olayların veya olaylar dizilerinin değerlendirileceğini belirlemek için uzman görüşü esas alınarak pragmatik bir yaklaşım yapılmalıdır [5].

Detaylı değerlendirme aşamasında tehlike oluşturma potansiyeline sahip kaynaklardan oluşacak etkileşimli olaylara ve onların olma olasılıklarına karar verilmesi gerekmektedir.

Etkileşimli olay belirlendiğinde, kabul edilemez radyolojik sonuçlara sebep olabileceği durumlar için koşullu olasılık seviyesi için üst sınır belirlenmelidir. Üst sınır, burada koşullu olasılık değeri (conditional probability value (CPV)) olarak belirtilmiştir, belirli bir nükleer santral için konservatif olarak hesaplanmış olmalıdır [5]. IAEA [5] kılavuzuna göre CPV değeri 0,1 olarak alınır. Belirlenen etkileşimli olay için tasarıma esas olasılık değeri (design basis probability value (DBPV)) SPL değerinin CPV değerine bölünmesi ile elde edilir.

Her bir etkileşimli olayın olma olasılığı ilgilenilen etkileşimli olaylar için elde edilen tasarıma esas olasılık değeri (DBPV) ile kıyaslanmalıdır. Aşağıdaki her iki durumdan herhangi biri gelişebilir (Bkz Şekil 3.1 kutu 8).

1)Eğer olasılık DBPV'den daha az ise, olay için daha fazla içeriğe gerek yoktur (Bkz Şekil 3.1 kutu 9).

2) Eğer olasılık DBPV'den daha fazla ise, bu santraldeki etkileşimli olayların etkilerinin sınırlandırılabilmesi, azaltılabileceği ya da önlenilebileceği mühendislik veya yönetsel tedbirler alınabileceği hesaplanmalıdır (Bkz Şekil 3.1 kutu 10). Bu durumda, etkileşimli olaylar için tehlikelerin detaylı değerlendirmeleri yapılmalıdır.

Olma olasılıkları benzer (değer olarak aynı büyüklükte) olan ve santralin korunuyor olmasını gerektiren iki ya da daha fazla insan kaynaklı etkileşimli dış olaylar için, tasarıma esas olay en ciddi radyolojik sonuçlara sebep olacak olan olaya dayalı olmalıdır [5].

Frekans değeri DBPV değerinden düşük olan herbir olay için önerilen santral için önemsiz risk artışı olduğu kabul edilir. Fakat frekans değeri DBPV değerinden büyük olan olaylar belirlenmeli ve gerekli azaltma, kontrol ve önlemler alınmalıdır.

Yapılan incelemeler ve değerlendirmeler sonucunda santrale tehlike oluşturma potansiyeline sahip tesis ve faaliyetler belirlenirse bu tesis ve faaliyetlerin tasarımı esas dış olay (TEDO) kapsıma girme olasılığına karar verilmelidir (Bkz Şekil 3.1 kutu 15).

Nükleer Güç Santrali Sahalarına İlişkin Yönetmelik'te [2] Dördüncü Bölüm Madde 15 bu konudan bahsetmektedir. 15. Maddenin ilgili alt maddeleri;

MADDE (15/2), “İnsan kaynaklı potansiyel dış olaylardan etkileri radyolojik sonuçlara neden olabilecek ve gerçekteşme olasılığı 10^{-7} /yıl veya daha büyük olanlar TEDO kapsamına alınır”.

MADDE (15/3), “Olasılıkların doğru bir Şekilde hesaplanabilmesi için yeterli verinin bulunamadığı durumlarda, gerçekteşme olasılığı 10^{-7} /yıl değerine yakın hesaplanan, ancak mantıklı nitel tezlerle gerçekteşme olasılığının daha düşük olacağı gösterilebilen olaylar TEDO kapsamından çıkartılabilir”.

MADDE (15/5), “Her bir TEDO'nun ayrıntılı inceleme ve analizleri yapılarak santral tasarımında esas alınacak parametreler ve değerleri kesin olarak belirlenir”.

Sonuç olarak; TEDO kapsamına alınan olayların veya sonuçlarının önlenmesi veya hafifletilmesi için, olayın Şiddet ve olasılığının azaltılması, alınabilecek önlemler belirlenmelidir. Örneğin, santral yapılarının güçlendirilmesi ve santrale mühendislik güvenlik önlemlerinin uygulanması gibi önlemler alınması gerekmektedir.

4. İNSAN KAYNAKLI DIŞ OLAYLAR

Nükleer Güç Santrali Sahalarına İlişkin Yönetmelik (2009), nükleer santraller için tehlike oluşturma potansiyeline sahip olayları aşağıdaki Şekilde sekiz gruba ayırmaktadır [2].

- a) Patlamalar
- b) Yanıcı gaz bulutlarının oluşması sonrası gecikmiş ateşlenme
- c) Zehirli ve boğucu kimyasallar ile radyoaktif maddelerin yayılması
- d) Yangınlar
- e) Nükleer güç santralinin su alma yapılarına çarpmalar
- f) Nükleer santrale çarpmalar
- g) Sıvı veya katı maddelerin yayılması
- h) Eddy akımlarının veya elektromanyetik girişimlerin oluşması

Bu çalışma kapsamında olaylar, Uçak Kazaları, Tehlikeli Akışkanların Yayılımı, Patlamalar, Yangınlar, Gemi Kazaları, Eddy Akımları ve Elektromanyetik Girişimler olmak üzere altı alt başlık altında incelenecektir.

4.1 Uçak Kazaları

Santral sahasının uygunluğunu belirleme çalıŐmaları sırasında en önemli diŐ olaylardan biri uçak kazalarıdır. Santralin güvenliği üzerine tehlike oluşturabilecek potansiyel uçak kazaları saha değerlendirme iŐleminin ilk aşamalarında dahil edilmelidir ve santral ömrü boyunca da değerlendirilmelidirler.

Uçak kazaları genel olarak uçuş güzergahları, saha yakınından geçen uçakların uçuş yolu hatalarından veya sahaya yakın bulunan havaalanlarından dolayı geliŐen uçuş faaliyetlerinden meydana gelebilir.

Uçak kazalarının analizi kapsamında terörist faaliyetler ve diğer alıŐılmıŐ olmayan insan faaliyetleri istatistiksel olarak belirlenemeyecekleri için kapsam dıŐıdır. Uçak

kazalarının analiz edilen kaza frekansı; hedef cisim yakınındaki uçuş yoğunluğuna, uçakların teknik koşullarına, mürettebatın denetimine, meteorolojik şartlara ve diğer faktörlere bağlıdır [6].

Potansiyel uçak kazaları aşağıda belirtilen olayların bir ya da daha fazlasının olma olasılıklarının sonucunda oluşmaktadır [5]:

Tip 1 Olayı: Bölgedeki genel hava trafiğinden dolayı sahada olan kazalar. Bu tür kazaların olma olasılıklarını hesaplamak için saha 0-0,1 km²'lik geniş alan veya yuvarlak alan olarak ve bölge 100-200 km yarı çaplı yuvarlak alan olarak kabul edilir.

Tip 2 Olayı: Sahada, havaalanına yakın bölgede kalkış veya iniş operasyonları sonucunda olan kazalar.

Tip 3 Olayı: Sivil hava trafik koridoruna ve askeri uçuş sahasına sahip sahalarda olan kazalar.

Uçak kazaları için yapılacak değerlendirme daha önceki bölümde bahsedilen UAEA kılavuzunda belirtilen yöntem uygulanarak yapılır. İlk olarak belirlenen saha sınırları içine kazalara sebebiyet verecek potansiyel kaynaklar tespit edilmelidir.

Uçak kazaları için inceleme mesafe değeri belirlenirken saha yakınındaki hava alanları ve uçuş tipleri ve frekanslarına dair bilgiler toplanmalıdır ve bu değer uçak kazalarının spektrumlarının deterministik ve olasılıksal olarak değerlendirilmesi ile elde edilir.

İnceleme Mesafe Değeri (SDV)'nin hesaplanması için toplanması gereken bilgiler aşağıdaki maddeleri içermektedir [5];

- Sahaya en yakın büyük hava alanından mesafe, santralin yerine bağlı olarak olarak uçuş pistinin konumu
- Hava trafiğinin tip ve frekansı
- Hava trafik koridorlarının rotası ve hava yolu geçişlerinin konumları
- Askeri hava alanı ve bombalama ve atış sahaları gibi askeri tesislerin santrale olan uzaklığı

Yönetmeliğe göre İnceleme Mesafe Değeri (SDV) 10 km olarak belirlenmiştir. Fakat daha önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi hava alanları ve uçuş faaliyetleri için

incelenecek alanların aşağıdaki mesafe değerlerine göre belirlenmesi elde edilen sonuçların güvenilirliğini daha çok arttıracadı düşünülmektedir.

Değerlendirme sürecinde, ilk olarak aşağıda belirtilen sınırlar dahilinde saha ve çevresi değerlendirilir,

Saha Alanı sınırından itibaren 16 km'lik yarıçap içerisinde:

- Hava alanları
- Hava koridorları

Saha Alanı sınırından itibaren 37 km'lik yarıçap içerisinde :

- Askeri ve sivil faaliyetlere ait uçuş izelgeleri
 - I. CTR (Controlled Traffic Region) (Kontrollü Bölge)
 - II. TMA (Terminal Manoeuvring Area) (Terminal Manevra Alanı)
 - III. Beklemede Uçuş Yolu
 - IV. Askeri eğitim alanları, rneğin;
 1. TRA/TSA (Temporary Reserved Area/ Temporary Segregated Area)(Geçici Rezerve Saha/ Geçici Ayrılmış Saha)
 2. Alçaktan Uçuş Bölgesi
 3. Bombalama Eğitim Sahası
 - V. Askeri eğitim uçuş alanları

Eğer saha önceden belirtilen SDV'nin dışında değilse ve santrale tehlike oluşturma potansiyeline sahipse, olayların yıllık olma olasılıklarına dair yaklaşım uygulanmalıdır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda olayların olma olasılığı, inceleme olasılık seviyesi olan SPL değerine eşit ya da büyükse elde edilirse bu olaylar için detaylı değerlendirme yapılmalıdır.

İnceleme Olasılık Seviyesine (SPL) göre değerlendirme kriterlerinin uygulanmasında, aşağıdakiler akla gelmelidirler [5];

1) Tip 1 olaylarının olasılıkları dikkatli bir şekilde değerlendirilmelidir özellikle yüksek nfs yoğunluğu olan ve sivil hava alanları çok olan yani çok fazla uçuşun olduğu bölgelerde.

2) Uçak kazalarının olma olasılığı sivil ve askeri hava alanlarının yakınında daha yüksektir (Tip 2 olaylar). Bu yüzden hava alanı yanındaki bölgeler için ayrı bir değerlendirme yapılmalıdır.

3) Tip 3 olayları için, hava trafik koridorlarının yanında sivil uçak kazalarının olma olasılığı dikkatli bir şekilde tahlil edilmelidir, fakat genellikle hava trafik koridorlarının dışındaki alanlarda bu olasılık fark edilir şekilde azalıyor ve genellikle belirlenen SPL'den daha az oluyor (örneğin 10^{-7} /yıl). Bu programlı bir uçuş planı ya da uçuş düzenlemesi içermeyen askeri uçaklar için tam olarak doğru değildir.

Eğer yapılan değerlendirmeler sonucunda bulunan SPL değeri 10^{-7} /yıl değerinden büyük ise detaylı hesaplama aşamasına geçilmesi gerekmektedir. Detaylı değerlendirme aşamasında bölgedeki uçak kazaları olasılıkları uçak kazaları istatistiklerini kullanarak her bir tip uçak sınıfı (küçük, orta, büyük sivil ve askeri uçaklar) için hesaplanmalıdır.

Uçak kazaları için başlatıcı olay yüksek belirsizlik içerdiğinden dolayı, uçak kazaların modellenmesi genellikle konservatif kabuller yapılarak veya belirsizlik analizleri uygulanarak yapılır [23].

Genellikle uçak kazaları olasılıksal modeli nükleer santral ile en yakın hava alanı arasındaki mesafeye bağlıdır [10].

Eğer nükleer santralin yakınında hava alanı yoksa ve uçuş rotaları biliniyorsa, bu durumda da uçak kazası olasılığı hesaplaması yapılabilir (olay sayısı / yıl) [24].

Uçak kazalarının olma olasılığı Tasarım Esası Olasılık Değerine eşit olursa ya da bu değerden daha büyük olursa, etkilerin şiddetine karar verilmelidir. Buna ek olarak referans uçak kazalarının deterministik kabulleri birçok olası senaryoyu kapsayacak şekilde ve oluşacak etkilerin detaylı analizlerini ki bu analizler yerel yapısal etkileri, fırlayan parçaların hasarları, vibrasyonları ve yakıttan oluşacak etkileri kapsayacak şekilde gerçekleştirilmelidir [5].

Santralin uçak kazasının etkilerinden korunması için gereken önlemler alınmalıdır.

TAEK [13] tarafından yayınlanan özel tasarım ilkelerine dair kılavuzda 10. Madde, nükleer santrali etkileyebilecek dış olaylar kapsamında uçak çarpması için aşağıdaki ilkelerin tasarımda dikkate alınması gerektiğini belirtmektedir:

- a) Tesis merkezli 10 km yarıçaplı alan içerisinde havaalanı yapılmaz ve yakın havaalanlarının iniş kalkış güzergahları bu alan üzerinden geçirilmez.
- b) Tesis merkezli 5 km yarıçaplı alanın üzerinden hava koridoru geçirilmez.
- c) Nükleer santralde A tipi uçak çarpmasının tasarıma esas kaza, B tipi uçak çarpmasının ise ciddi kaza sınıfında kalması için gerekli önlemler alınır.

A tipi uçak: en az 20 ton kütle ve 200 m/s hız, diğer parametreler kurucu tarafından belirlenir.

B tipi uçak: en az 400 ton kütle ve 200 m/s hız, diğer parametreler kurucu tarafından belirlenir.

Ayrıca nükleer santrale çarpmalar kapsamında ilgili Yönetmeliğe göre yüksek enerjide dönen ekipmaların oluşturacağı etkide göz önünde bulundurulmalıdır.

Uçak veya füze çarpması gibi doğrudan çarpmaların yanı sıra yüksek enerjide dönen ekipmanlara sahip tesislerden fırlayan ekipman parçaları ile yakındaki diğer tesis veya faaliyetler sırasında meydana gelen patlama gibi bir olay sonucunda sahaya erişebilecek misillerin santralin güvenlik açısından önemli yapı, sistem ve bileşenlerine zarar verebileceği gözönüne alınır. Çarpmanın doğrudan etkisinin yanısıra, çarpma sırasında veya sonrasında oluşabilecek yangın veya patlamalar da dikkate alınır [2].

4.2 Tehlikeli Akışkanların Yayılımı

Patlayıcı bulutlar halini alabilecek ve havalandırma sistemlerinden girebilecek ve yanacak veya patlayabilecek yanıcı gazlar ve buharlar, insan hayatını tehdit edebilecek ve güvenlik fonksiyonlarına zarar verebilecek boğucu ve zehirli gazlar ve insan hayatına tehlike oluşturmanın yanında ekipmanların fonksiyonlarına zarar verebilecek aşındırıcı ve radyoaktif gazlar tehlikeli akışkan olarak adlandırılır ve bu çalışma kapsamında değerlendirilir.

Tehlikeli akışkaların değerlendirilmesinde ilk olarak bölgede inceleme mesafe değerine göre tehlike oluşturma potansiyeline sahip tüm tehlikeli akışkanların olası kaynakları, taşıma güzergahları, endüstriyel tesisler, saha yakınındaki boru hatlarının olup olmadığı belirlenir.

Özellikle kimya tesisleri, rafineriler, yer altı ve yer üstü depolama sistemleri, uçucu sıvılar, gazlar ve sıvılaştırılmış gazlar için boru hatları, tehlikeli bulutların oluşabileceği taşıma rotaları ve SDV dışındaki ilgili potansiyel kaynaklara gereken önem verilmelidir.

Bu konuda dikkat edilmesi gereken diğer bir nokta ise eğer saha içerisinde gerekli önemleri alınarak depolanan tehlikeli maddeler varsa ve dışarıdaki maddeler bu maddelere benzer ise daha detaylı değerlendirme yapmaya gerek yoktur çünkü zaten sahadaki malzemelerden dolayı gerekli önlemler alınmıştır.

Eğer inceleme mesafe değerinin içerisinde tehlike oluşturma potansiyeline sahip kaynak varsa, inceleme olasılık seviyesine göre ikinci bir eleme yapılır ve olayın yıllık olma olasılığı SPL değerinden büyük olup olmadığı hesaplanır.

Bu tür olayların yıllık olma olasılığı diğer olaylarda da olduğu gibi şu anki durum ve santralin öngörülen ömrü de hesaba katılarak değerlendirilir. Eğer 10^{-7} /yıl değerinden büyük olma olasılığına sahip olay varsa potansiyel tehlikelerine dair daha detaylı değerlendirmeler yapılmalıdır.

Detaylı değerlendirme aşağıdaki maddeleri içermektedir;

- a) Ön inceleme sonucunda elenmemiş ve tehlikeli olabilecek akışkanların potansiyel tehlikeleri belirlenir.
- b) Sıvı kaynaklarının yerleri belirlenmeli ve depodaki maksimum envanter ve depolanan veya diğer şekilde tutulan miktarlar belirlenmelidir.
- c) Yayılan tehlikeli sıvıların maksimum miktarı, yayılma oranı ve ilgili yayılma olasılıkları en kötü olası durum olarak hesaplanmalıdır.
- d) Konteynırın kırılma veya depolama tesislerinden herhangi bir sızıntı olma olasılığı hesaplanmalıdır.
- e) İnceleme mesafe değeri içerisindeki mobil kaynaklardan tehlikeli akışkanların yayılma olasılığı taşınan maksimum miktarın sızdığı düşünülerek hesaplanmalıdır.
- f) Potansiyel tehlikeli akışkanların en yakında bulunan su alım yolları ile etkileşme olasılığı belirlenmelidir.

Yük mavnaları, gemiler gibi SDV sınırları içinde büyük miktarda tehlikeli sıvı içeren hareketli kaynaklar, nükleer güç santraline yakın bir noktada karaya oturduğu farz edilmelidir ki bu durum en beklenmeyen etkiler ile sonuçlanabilir [5].

Santral yakınında olan tanker kazaları gibi kazalar ya da santral yakınındaki diğer tesislerden ve santrallerden sızıntılar olabilir bu durum su alımı yoluyla santrali etkileyebilir ve istenmeyen sonuçlara sebep olabilir bu yüzden sıvıların seyreltilme ve dağılma parametreleri ve su alım yapılarında suyun girişi ile ilgili hesaplamalar santralin tam olarak korunması sağlanacak şekilde yapılmalıdır. Bir başka detaylı incelenmesi gereken durum ise güvenlik açısından önemli parçalarla ve personelle tehlikeli etkileşimlerin olma olasılığıdır.

Hesaplamalar sırasında tehlikeli maddelerin yer altına sızması ve yer altındaki yayılımları da dikkate alınmalıdır.

Detaylı değerlendirme sonucunda tasarıma esas olaylar belirlenir ve bu olaylar için gereken hesaplamalar ve önlemler alınır.

Uçucu sıvılardan veya sıvılaştırılmış gazlardan; gazlar, buharlar ve aerosoller bulut oluşturabilir ve sürüklenir.

Bulutların sürüklenmesi nükleer güç santrallerini iki şekilde etkileyebilir [5]:

- I. Bulut santralin dışında kaldığı zaman (kaynağın yanında ya da sürüklenirken sonra) bu Güvenlik Kılavuzunda bahsedilen diğer insan kaynaklı olaylar gibi potansiyel bir tehlikedir.(yangınlar, patlamalar ve ilgili etkiler)
- II. Bulut santral binalarına nüfuz edebilir personel ve diğer güvenlik için önemli parçalar için tehlike oluşturabilir, özellikle zehirli, boğucu ya da patlayıcı gaz bulutları. Ayrıca kontrol odasının ve diğer önemli santral alanlarının kalınabilirliğini de etkiler.

Yangın olmayan durumlarda, zehirli akışkanlar havada taşınarak santrale doğru yayılıp, havalandırmalardan girip ana kontrol odasındaki personelleri etkileyebilir. Yanmayan bu tür zehirli akışkanlara “soğuk” zehirli gazlar denilmektedir. Bunlara ek olarak, yanıcı, kolay tutuşabilen bazı akışkanlar zehirli yanıcı ürünler oluşturabilir. Bu tür yanıcı akışkanlar, klor, nitrojen veya sülfür gibi yanıcı yüksek derecede toksik ürünler oluşturur. Bu tür akışkanlara “sıcak” zehirli gazlar denilmektedir [8].

Bu tür tehlikeleri karşı savunmada en pratik metot, uzaklık olarak santralin potansiyel kaynaklardan korunmasını sağlamaktır [5].

Aşındırıcı gazlar güvenlik sistemine zarar verebilir, örnek olarak elektrik sisteminin yalıtımının kaybolmasına sebep olabilir.

Bulutların sürüklenmesi gibi yerel meteorolojik koşulların dağılımını etkileyen meteorolojik veriler tehlikeleri belirlerken hesaba katılmalıdır. Özellikle dağılım konuları rüzgar yönünün, rüzgar hızının olasılıksal dağılımına dayalıdır ve atmosferik kararlılık sınıflandırması yapılmalıdır.

Detaylı değerlendirmede gaz bulutlarına bağlı etkileşimli olayların olma olasılıkları yani yanma ya da zehirlilik limitlerinin geçilme olasılığı belirlenmeli ve aşağıdaki faktörler göz önünde bulundurulmalıdır;

- başlatıcı olayın olma olasılığı(örnek olarak boru kırılması)
- yayılan maddelerin miktarı ve yayılma oranı
- nükleer güç santraline doğru bulutun sürüklenme olasılığı
- atmosferik dağılıma göre seyreltilme durumu
- patlayıcı bulutların ateşlenme olasılığı

4.3 Patlamalar

Patlama kelimesi daha çok katılar, sıvılar, buharlar ve gazlar arasındaki basıncı yükselmesine sebep olabilen, darbe yüklerine, sürüklenme yüklerine, ateşlenme veya ısıya sahip olabilen her türlü kimyasal reaksiyonlardır. Patlamalar basınç, sıcaklık veya yangına sebep olan deflagrasyon (tutuşma) şekline bürünebilir veya yüksek alan basınçları ve bununla ilgili sürüklenme dalgası oluşturan fakat genellikle termal etkisi olmayan detonasyon (inflak) şeklinde olabilir. Kimyasal buhar ya da gazların ateşlenmesi havadaki kimyasal buhar ve gazların konsantrasyonuna bağlı olarak havada deflagrasyona (tutuşma) ya da detonasyona (inflak) sebep olur. Tutuşma limitinin 2 ya da 3 katı olan konsantrasyonlarda ise detonasyon (inflak) şeklinde patlamalar olabilir. Deflagrasyon (tutuşma) limiti ve ilgili etkileri genellikle yanma hızıyla ilgilidir.

Gaz bulutları için, maksimum yanma hızının (yanmayan gazlara göre) gaz bulutlarının büyüklüğü ile arttığına dair kanıt vardır ve homojen karışımların yanma hızıyla ilgili üst bir limit vardır. Bu limit ateşleme gücünün ve farklı engellerin oluşturduğu türbülansın fonksiyonu gibi gözükmetedir. Havada deflagrasyon (tutuşma) için ve belirli bir türbülansın olmadığı durumlarda, yanma hızı saniyede onlarca metreyi muhtemelen geçmez. Kimyasal reaksiyonlar ses hızına yakın bir hızda hareket eden basınç dalgaları şeklini alabilir, ilk dalgada birkaç onda bir barlık pik basınç oluşturur (yaklaşık 0,3 bar ya da 30 kPa'a kadar). Bütan gibi doymuş hidrokarbonlar için yanma hızı daha yüksek olabilir ve 1 barlık deflagrasyon (tutuşma) yüksek basıncı elde edilebilir. Eğer basınç dalgalarının yapılarla etkileşime girmeden yayılabileceği saha şartlarında etilen gibi daha fazla reaktif yakıtlar varsa basınç 5 bar ya da daha fazla değerlere yükselebilir. Ayrıca gaz bulutların ateşlenmesi sonucu deflagrasyon (tutuşma) oluşabilir. Bu durumda çevrede birkaç onda bir bar ile 20 bar arası yüksek basınç oluşabilir. Katı maddelerin detonasyonu (inflak) ve / veya yakıt-hava gazı ya da buhar karışımının kısmi detonasyonu (inflak) ses hızından daha yüksek hızda yol alır ve yüksek basınç piki oluşturur. Yüksek patlayıcılarda (trinitrotoluen TNT gibi), yakın alanlardaki basınç pikleri 1000 bar (100 MPa) civarı olabilir. Fakat ilgilenilen emniyet mesafesinde yüksek basınç 0,5 bardan az olabilir. Basınç piki, patlayıcı miktarı ve patlamaya olan uzaklık arasındaki bağıntıya mühendislik ilişkileri kullanılarak karar verilmelidir [5].

Saha değerlendirme aşamasında insan kayaklı dış olaylar kapsamında patlama olayının değerlendirilmesinde ilk aşama bölgede bulunan tehlike oluşturma potansiyeline sahip tesislerin belirlenmesidir. Patlamalara dair kaynaklar belirlendikten sonra ana parametrelerin tanımlanır ve patlamaların potansiyel kaynaklarına basit deterministik metotlar uygulanarak ön değerlendirmeler yapılır. İlk olarak inceleme mesafe değerine göre bir eleme yapılmalıdır.

Patlamalarla ilgili İnceleme Mesafe Değeri, Trinitrotoluen (TNT)'ye eşdeğer kütle ve mesafe arasındaki mühendislik ilişkilerine dayalı basitleştirilmiş ölçülü bir yaklaşımla tahmin edilmelidir. Nükleer güç santrallerin yakınındaki baskın bir kaynağın oluşturacağı potansiyel tehlikelere karar verilmesi genellikle yeterlidir, bu aynı tip bütün kaynakları kapsar [5].

Farklı kimyasal yapılara ve spesifik enerjilere sahip patlayıcı maddeler kullanılırken, ya da hasar değerlendirilmeleri yapılırken çalışma birliği ve kolaylık sağlamak

maksadıyla birbirleri ile mukayese edilirler. Bu mukayese için gereken referans patlayıcı madde, TNT olarak kabul edilmiştir. Nispi etkinlik faktörü, belli miktardaki patlayıcı maddenin oluşturduğu enerjiye, eşdeğer miktardaki TNT patlayıcı maddesinin oluşturduğu enerji kıyaslanarak yapılmaktadır [25].

Güçlü patlayıcılar, cephaneler, kimyasallar veya sıvı ve gaz yakıtlar gibi patlayıcı malzemelerin üretildiği, depolandığı, kullanıldığı veya taşındığı tesis ve faaliyetler için patlama kazaları dikkate alınır. Patlamanın hava basınç dalgası etkisinin yanı sıra, yer sarsıntısı yaratma, zemin kayması veya çökmesine yol açma ile tehlikeli duman, gaz ve toz bulutları oluşturma etkileri de dikkate alınır [2].

Patlama potansiyeli değerlendirilirken, İnceleme Mesafe Değeri içinde bulunan bütün potansiyel kaynaklar önceki bölümlerde belirtildiği gibi değerlendirilmelidir. Bu süreç, bütün belirtilmiş kaynaklar için aynı anda patlayabilecek maddelerin yapısı ve maksimum miktarı ve sahadaki patlama merkezinden uzaklık, yön değerlerini incelemeye izin vermelidir.

Elememiş olaylar için olayların olma olasılığına göre diğer eleme aşaması uygulanır. Tehlikeli endüstriyel tesislerde, rafinerilerde, depolama alanlarında patlama olma olasılığı genellikle İnceleme Olasılık Seviyesi (SPL) değerinden daha yüksektir. Tam olarak gerekçelendirilemediği sürece, depolanan patlayıcı maddelerin maksimum miktarı patlayacağı şekilde konservatif kabuller yapılmalı ve etkileşimli olayların güvenlik için önemli parçalar üzerine etkilerinin analizleri yapılmalıdır (basınç dalgaları, yer şokları ve fırlayan ekipman parçaları). Patlama sonrası oluşan yangınların ikincil etkisi de hesaplanmalıdır [5].

Patlamaların mobil kaynakları için de aynı sabit kaynaklarda olduğu değerlendirmeler yapılır eğer bölgede yapılan incelemeler sonucunda patlayıcı maddelerin taşındığı patlama potansiyeli olan karayolları, deniz yolları gibi alanlar varsa buralarda oluşabilecek patlamaların potansiyel etkiler belirtilmelidir. Eğer bu etkiler belli ise, patlayıcı maddelerin sevkiyat frekansına karar verilmelidir ve patlama olma olasılığını belirleyip elde edilen değer İnceleme Olasılık Seviyesi (SPL) değeri ile karşılaştırılmalı eğer daha az ise daha fazla hesaplama yapmaya gerek yoktur. Değerlendirmeler yapılırken yük trenleri ya da gemilerle daha büyük miktarda patlayıcı yükler taşındığı için değerlendirme sürecinde bu tür tehlikelere daha fazla dikkat edilmelidir.

Ön eleme sonucunda elenmeyen kaynaklara dair potansiyel tehlikelerin detaylı analizi yapılmalı. Belirlenen kaynaktan bulunan patlayıcı maddelerin maksimum miktarı için ve etkileşimli olayların (basınç dalgaları, yer sarsıntıları ve projektiller gibi) etkilerine dair kapsamlı analizler yapılmalı.

Patlayıcı maddelerin yayılmalarını hesaplamak amacıyla daha öncede bahsedilen patlayıcı gaz ve buhar bulutlarının hareketleri de değerlendirilmektedir. Patlamalar kaynaktan uzağa yayılan basınç dalgalarına sebep olur. Yüksek basıncın olduğu zaman, yani basıncın ilk atmosferik basınçtan yüksek olduğu zaman, standart prosedürler kullanılarak karar verilmelidir. Basınç dalgalarının etkileşimli engellerden yansıması ile, yüksek basınç birçok kez yükselebilir ve yansıyan yüksek basınç olarak kabul edilir [5].

Eğer hesaplamaların yapılması için yeterli veri yok ise hesaplamalar global istatistikler ve/veya saha çevresindeki potansiyel kaynakların teknik incelemesinden sonra uzman görüşleri referanslığında yapılmalıdır.

İlerleyen aşamalarda dış patlama olayının olma olasılığının hesaplanması için birçok metot kullanılır örneğin; Hata Ağacı Analizi, Olay Ağacı Analizi ve Monte Carlo simülasyonları gibi [19].

Olma olasılığı belirlenen İnceleme Olasılık Seviyesinden büyük olan olaylar için daha detaylı bilgiler toplanır ve daha detaylı değerlendirmeler sonucunda TEDO kapsamına alınacak olaylar belirlenir ve gerekli önlemler alınır.

Etkileşimli olayların önemini hesaplamak amacıyla tasarıma esas patlama olayına karşı koruma gerekliliği ile aşırı rüzgar ve tornado gibi diğer dış olayların yüksek basıncına karşı halihazırda sağlanmış olan önlemler karşılaştırılmalıdır [5]. Örneğin santral hortum, kasırga ve uçak çarpması gibi dış kaynaklı füze parçalarının etkilerini karşılayacak şekilde tasarlanmışsa, patlama kaynaklı füzelerin etkisi zaten hesaba katılmıştır. Fakat bunlardan ayrı patlamayla birlikte özel olarak tehdit unsuru olan füzeler varsa bunlar santral tasarımında dikkate alınmalıdır.

4.4 Yangınlar

Bir yanma olayının meydana gelmesi için 3 temel parametreye ihtiyaç vardır;

I. Yanıcı madde

II. Oksijen

III. Isı/ tutuşma sıcaklığı

İlk olarak sahada ve çevresinde yangın oluşmasına sebebiyet verecek yanıcı madde kaynakları belirlenmelidir. Bölgede ormanlar, turba kömürü, düşük uçuculuk özelliği olan yanıcı maddelerin depolama alanları (özellikle hidrokarbon depolama tankları), odun veya plastikler ve bunları üreten ya da depolayan fabrikalar, onların ulaşım hatları ve bitkiler gibi potansiyel yangın kaynaklarını belirlemek için incelemeler yapılmalıdır.

Yakındaki endüstriyel, kimyasal ve depolama tesislerinde, petrol ve gaz boru hatlarında çıkan yangınlar, çalı ve orman yangınları ile taşımacılık kazaları nedeniyle oluşan yangınların yüksek ısı akılarına ve yanıcı olmayan gaz veya kimyasalları taşıyan bulutların oluşmasına yol açabileceği varsayılır. Bu yangınların diğer yangınları da başlatabileceği göz önüne alınır [2].

Güvenlik için önemli olan parçaları etkileyebilecek yangınların olma olasılıklarının test edileceği alanın bu tip bir tehlike için belirlenen SDV 'ye eşit bir yarıçap büyüklüğünde olmalıdır. IAEA [5] kılavuzunda SDV değeri genellikle nükleer güç santralinden 1-2 km olarak belirtilmiştir fakat Nükleer Güç Santrali Sahalarına İlişkin Yönelim'e [2] göre SDV değeri 10 km olarak belirtilmiştir.

Yapılan mesafeye dayalı ilk eleme aşamasından sonra yangın olma olasılığına dair bir eleme gerçekleşir. Eğer bunun sonucunda da yangının olma olasılığı belirlenen 10^{-7} /yıl değerinden büyük çıkarsa daha detaylı değerlendirmeler gerçekleştirilir ve tasarıma esas olay kapsamına alınıp alınmayacağı belirlenir.

Kontrol odasında kalınabilirliğinin ve çevresel koşullardan etkilenebilecek güvenlikle ilgili ekipmanların işletilebilirliğinin değerlendirilebilmesi için, çeşitli meteorolojik koşulları dikkate alan bir yanıcı olmayan madde konsantrasyon dağılımı belirlenir [2].

Nükleer Santraller için santralin içinde oluşabilecek yangınlardan koruyacak önlemlerin örneğin otomatik yangın söndürücü sistemler veya yerel itfaiyenin devamlı santral alanında bulunması gibi ciddi yangın olma olasılığını ciddi oranda azaltıcı önlemlerin dışarıda oluşacak yangınlara karşı da koruma sağlayabilecek

olmaları bu tür bir dış olayın santral üzerine etkilerini hesaplarırken göz önünde bulundurulmalıdır.

Nükleer güç santrali sahasında yangından kaynaklı ana tehlike santralin parçalarının yanması ve oluşan hasarlar. Yerel yapısal çökmeler olabilir. Duman ve zehirli gazlar santral operatörünü ve santral sistemlerini etkileyebilir. Ortak modda hatalara sebep olabilecek kaynaklara özellikle dikkat edilmelidir. Örneğin, saha dışı acil durum güç kaynağı yangından dolayı kesilebilir ve aynı zamanda hava girişlerinden duman içeri çekilmesi sonucu acil durum dizel jeneratörleri bozulabilir. Acil erişimin engellenebilir ve kaçış güzergahları büyük yangınlarla kapanabilir, tüm bu olasılıklar değerlendirilmelidir [5].

Santral dışında olabilecek yangın riski daha çok orman yangınlarından kaynaklanmaktadır. Diğer yangınlar daha yerel ve santraldeki güvenlik sistemleri sayesinde giderilebilecekleri için orman yangınları kadar güvenliği tehdit etmezler [6].

4.5 Gemi Kazaları

Gemi çarpma kazaları nükleer santrallerin su alan yapıları için tehlikeli bir durum oluşturabilir. Yakınında su yoluyla taşımacılığın yapıldığı santral sahaları için, farklı büyüklük ve tipte taşıma araçlarının herhangi bir nedenle santralin su alma yapılarına çarpması durumu saha değerlendirmeleri sırasında ve güvenlik analizleri yapılırken gözönüne alınır. Çarpma sırasında veya sonrasında oluşabilecek yangın veya patlamalar da dikkate alınır. Olay sonrası, ek bir soğutma suyu kaynağına ihtiyaç olup olmadığı belirlenir.

İnsan kaynaklı dış olayların değerlendirme süreci uygulandığında ilk olarak ilgili tehlikeler belirlendikten sonra santral su alma ve boşaltma yapılarını etkileyecek su akışına zarar verecek gemi kazalarının yıllık olasılığı belirlenmelidir ve bu tür bir olayın olma olasılığı belirlenen SPL değerinden daha büyük bulunursa, bu tür bir etkinin sonuçlarını değerlendirecek detaylı analizler yapılmalıdır ve bu değerlendirme sonucunda radyolojik sızıntıya sebebiyet verecek olayların belirlenmesi sağlanmalıdır.

Bu tür bir analizde, kontrol edilemeyen gemilerin ve eğlence teknelerinin (özellikle yelkenli gemiler) sürüklenmelerinin simülasyonları hakim rüzgar ve akıntı yönüne

göre uygulanmalıdır. Normal seyirdeki büyük gemilerin çarpışmaları genellikle idari tedbirler ve önlemlerin uygulanması ile engellenir [5].

4.6 Eddy Akımları ve Elektromanyetik Girişim

Bazı tesislerin Eddy akımları yaratması sonucu santralde topraklama problemine ve yeraltındaki metal bileşenlerin korozyonuna yol açılabilir ayrıca saha içi veya saha dışı kaynaklardan oluşabilecek elektromanyetik girişimler santralin güvenliği açısından önemli elektrik ekipmanlarını bozmasına sebep olabilir. Elektromanyetik girişimler yüksek voltajlı şalt, taşınabilir telefon, taşınabilir elektronik aletler, bilgisayarlar gibi sahadaki kaynaklardan ve radyo, telefon ağları gibi saha dışı kaynaklardan oluşabilir.

5. ÖRNEK ÇALIŞMALAR

5.1 Akkuyu Nükleer Santrali Güncellenmiş Yer Raporu

17 Mart 2015 tarihinde TAEK tarafından Akkuyunun Güncellenmiş Yer Raporu yayınlanmıştır ve bu raporun 8. Bölümü insan kaynaklı dış olayların Akkuyu Nükleer Santrali için oluşturacağı tehlikeleri, bu olaylar için yapılan değerlendirmeleri ve analizleri içermektedir [7].

İnceleme mesafe değeri olan 10 km'lik alan içerisindeki Akkuyu NGS açısından aşağıdaki tesis ve faaliyetlerin tehlike oluşturabileceği belirlenmiştir [7]:

- Yollar: D400 Adana-Antalya karayolu: patlamalar, yanıcı gaz bulutlarının oluşması sonrası gecikmiş ateşlenme, zehirli ve boğucu kimyasallar ile radyoaktif maddelerin yayılması, yol üzerinde seyir halindeki araçlarda yangının meydana gelmesi;
- Taş Ocakları: patlamalar, ekipman yangınları;
- Akaryakıt istasyonları: patlamalar ve yangınlar;
- Deniz taşımacılığı: nükleer güç santralinin su alma yapılarına çarpma, sıvı ve katı maddelerin yayılması ve yangınlar;
- Hava taşımacılığı: nükleer güç santraline çarpmalar, yangınlar
- Nükleer güç santrali ormanlık bir alanla çevrelenmiştir. Vadinin etekleri genellikle orman altı bitki örtüsü ya da çalılar bulunmayan, bir yangın kaynağı olan iğne yapraklı bitkilerden oluşan seyrek ağaçlarla kaplıdır. Buna bağlı olarak diğer muhtemel tehlike; orman yangınıdır.

Yukarıda belirtilen tesis ve faaliyetlere göre Akkuyu Nükleer Güç Santraline tehlike oluşturabilecek insan kaynaklı dış olayların değerlendirilmeleri aşağıdaki şekildedir;

a) Patlamalar

Akkuyu Nükleer Santrali için potansiyel patlama kaynakları şunlardır:

- Karayolu üzerinde bir araçta meydana gelebilecek patlama
- Taş Ocaklarında meydana gelebilecek patlama
- Akaryakıt istasyonlarında meydana gelebilecek patlama
- Koyda bulunan bir gemide meydana gelebilecek patlama

Akkuyu NGS için en yakın karayolu, sahaya en yakın olan noktanın kuzeyinde aşağı yukarı 2,26 km'lik mesafede yer almaktadır [7].

Değerlendirme, USNRC [26] tarafından hazırlanan Düzenleyici Kılavuza göre yapılmıştır. Bu kılavuz, olası bir olaya güvenli mesafenin belirlenmesinde kullanılan yöntemin, ciddi bir hasarın beklenmeyeceği maksimum patlama aşırı basınç seviyesine dayandığını belirtmektedir. USNRC eksperlerinin görüşlerine göre, söz konusu olabilecek yapılar, sistemler ve bileşenler için bu seviye tutucu olarak 1 psi (6,9 kPa) olabilir [26].

USNRC [26] kılavuzunda patlayıcı maddelere güvenli mesafelerin belirlenmesinde kullanılan yöntem, maksimum patlama aşırı basınç seviyesine dayanmakta olup aşağıdaki miktar - mesafe korelasyonu ile verilmektedir **(5.1)**.

$$R \geq k \cdot W^{\frac{1}{3}} \quad (5.1)$$

Burada R , W kilogram TNT (ya da TNT dengi) patlayıcıdan olan mesafenin metre cinsinden karşılığıdır. R (Metre), W (kg), $k=18$

Kılavuzun 1.91. maddesine göre, karayolu üzerindeki tek bir kamyon için maksimum tehlike potansiyeli taşıyan yük miktarı 23.000 kg TNT'ye eşdeğer olarak verilmiştir. 1 psi için olan mesafe, **(5.2)**.

$$R \geq 18.23000^{\frac{1}{3}} = 511m \quad (5.2)$$

Akkuyu Nükleer Santrali sahasına en yakın karayolu, sahadan 2.260 metre mesafede olduğundan, karayolu üzerinde patlayıcı maddeler taşınması durumunda dahi herhangi bir olumsuz etki meydana gelmeyecektir ve bu sebepten dolayı değerlendirmeyi devam ettirmeyi gerektirecek herhangi bir tehlikeli bulut ya da patlama tehlikesi söz konusu değildir [7].

Rapora göre NGS sahasından yaklaşık 8,3 km mesafede faaliyet gösteren tek bir taş ocağı bulunmaktadır ve bu mesafede 1 psi basınca neden olacak bir patlatılma için gereken patlayıcıların miktarının gerçekçi olmadığını göstermektedir (5.3).

$$W = \left(\frac{R}{k}\right)^3 = \left(\frac{8300}{18}\right)^3 = 9,8 \cdot 10^7 \text{ kg} \quad (5.3)$$

W=9,8×10⁷kg TNT dengi olarak

Akkuyu Sahası ile taş ocağı arasındaki mesafe (8,3 km) uzak olduğundan dolayı ocakta kazara ya da planlı olarak bir patlamanın meydana gelmesi durumunda bu olayın santrale herhangi bir etkisi olmayacağı belirlenmiştir [7].

Rapora göre 10 km'lik alan sınırları içinde iki benzin istasyonu bulunmaktadır ve Akkuyu NGS Sahasına en yakın akaryakıt istasyonu Büyükeceli karayolu üzerindedir ve 3,3 km doğuda yer almakla birlikte sahadan, yüksekliği 250 m'ye ulaşan tepelerle ayrılmaktadır.

Raporda yapılan hesaplamalara göre 23.000 kg TNT'ye denk bir patlamanın 1 psi (6,9 kPa) maksimum pozitif basınç oluşturması için gereken mesafe 511 metredir ve bu durumun 3.300 m'lik mesafede bulunan gaz istasyonundan kaynaklanabilecek tüm potansiyel tehlikeleri elimine ettiği belirlenmiştir.

Raporda kargo gemisi kazalarının meydana gelmesi durumu 1977 yılında yapılmış olan olasılık analizi ve aşağıdaki varsayımlarına dayandırılmıştır [7].

- Türkiye'nin kara sularında yapılan tehlikeli kargo taşımacılığının sayısı yılda 30.000 seferdir;
- Kazaların sayısı her beş yılda bir, dolayısıyla yılda $6,7 \times 10^{-6}$ seferdir
- Türkiye kıyı şeridinin toplam uzunluğu 3.000 km'dir

Akkuyu NGS yakınlarında bir yılda yapılabilecek tehlikeli kargo sefer sayısı;

- Patlayıcı maddeler taşıyan gemiler – 4;
- Tehlikeli sıvılar taşıyan gemiler – 16;
- Petrol tankerleri – 900

1977 yılında Türkiye ve Kıbrıs arasındaki körfez üzerinden yapılan gemi seferleri sayısı artış eğilimi göstermekle beraber yılda ortalama 500 ila 1000 sefer

civarındadır.Yapılan analize göre varsayımlar dahilinde, 1980’lerde denizde patlama ile bağlantılı olarak meydana gelebilecek kaza olasılığı $4,4 \times 10^{-8}$ olarak hesaplanmıştır ve belirlenen olasılık seviyesinin Yönetmelikte belirlenen olasılık seviyesinden düşük olması nedeniyle daha fazla araştırılmasına gerek olmadığı belirtilmiştir.

Santralin kurulacağı sahada belirlenen 10 km’lik alan içerisinde herhangi bir deniz taşımacılığı ve tehlikeli madde taşımacılığı yapılmadığından ve balıkçı ve turist teknelerinde depolanan yakıt, karayolundaki tek bir kamyon için olan maksimum muhtemel tehlikeli yük miktarından fazla olmadığından dolayı, denizde kıyı şeridinden birkaç kilometre mesafede meydana gelebilecek bir patlamanın NGS’yi etkilemeyeceği belirlenmiştir [7].

b) Yanıcı gaz bulutlarının oluşması sonrası etkiler

Rapora göre Akkuyu NGS Sahası deniz kıyı alanında yer almaktadır ve diğer bölgelerden 200-250 yüksekliğindeki tepelerle ayrılmaktadır. Böylesine doğal bir vadide; sürüklenen gaz bulutlarının, zehirli ya da boğucu kimyasal ve radyoaktif maddelerin kaynağı olabilecek herhangi bir tesis bulunmamaktadır. Vadiyi çevreleyen 10 km’lik bölgede bu tür kalıcı üst yapı tesisleri bulunmamaktadır.

Raporda bu tip bir olay için tasarım, güvenlik açısından önemli olan binaların bütünlüğü ve havalandırılmasının sağlanmasının yanı sıra görevli personel için kişisel koruyucu donanımların (gaz maskeleri) bulundurulmasını öngörüldüğü belirtilmektedir.

c) Dış etkilerden kaynaklanan yangınlar

Akkuyu Güncellenmiş Yer Raporuna göre orman yangınlarının NGS üzerindeki potansiyel etkisi daha sonra, ÖGAR (Ön Güvenlik Analzi Raporu) aşamasında değerlendirilecektir [7].

Orman yangınlarıyla baş etmeyi sağlayacak mühendislik önlemlerinin yanı sıra santral etrafına yanıcı maddelerden arındırılmış koruma alanlarının oluşturulması gibi güvenlik önlemlerinden de raporda bahsedilmektedir.

Yangın ya da büyük yangınların açığa çıkardığı ısıdan kaynaklanan herhangi bir tehlikeli etkinin oluşması beklenmediğinin belirtildiği rapora göre bir diğer potansiyel yangın kaynağı olarak denizde bulunan bir gemide yangının meydana

gelmesidir fakat denizde meydana gelebilecek bir yangının NGS'ye hiçbir ısı etkisi oluşturamayacağı düşünülmektedir [7].

Raporda bu tür olaylara koruyucu önlem olarak Akkuyu NGS Tasarımında, güvenliği etkileyen binalar ve yapıların yangına dayanıklılığı (ısı dayanımı) ve sahada yangın söndürme araçlarının bulundurulması öngörüldüğü belirtilmektedir.

ç) Nükleer güç santralının su alma yapılarına çarpmalar

Raporda nükleer güç santralının su alma yapılarına çarpmaların değerlendirileceği çalışmalar için Antalya, Mersin, İskenderun ve Taşucu Limanlarında 2001 ile 2012 yılları arasında meydana gelen son 12 yıla ait denizcilik faaliyetleri dikkate alınacağı belirtilmektedir.

Tehlikeli maddelerden oluşan kargo (örneğin ham petrol) taşıyan gemilerin seyir sıklığı ve boyutu analiz edilecektir. Limana uğramaksızın bölgeden transit geçen gemiler ya da gemilerin gerçek rotaları hakkında herhangi bir veri bulunmamasından dolayı NGS sahası civarındaki trafik yükünün Mersin, Taşucu ve İskenderun limanlarında kayıt altına alınan gemilerin sayısının toplamına eşit olduğu varsayılmıştır [7].

Akkuyu NGS için su alma yapılarına çarpma olasılıkları ve sonuçlarının ÖGAR aşamasında yer verilecek olduğu aynı zamanda bu tür bir olayın engellenmesi ya da azaltılması amacıyla uygulanabilecek önlemler hakkında bilgi verileceği Raporda belirtilmiştir.

d) Nükleer güç santraline çarpmalar

Tasarımda, tasarımın ötesi kaza olarak büyük ticari hava taşıtının çarpması dikkate alınacaktır [7].

e) Sıvı ve katı maddelerin yayılması

Akkuyu NGS Sahası alanındaki doğal vadide zehirli ya da aşındırıcı sıvı kaynağı olabilecek herhangi bir tesis bulunmamaktadır [7].

Bu konuda 1980'li yıllarında yapılan değerlendirmelerin yapıldığının belirtildiği Raporda, 10 km yarıçaplı alanın ötesinde denizde meydana gelecek ve petrol ürünlerinin sızıntısı ile sonuçlanacak bir kaza olasılığı tasarım dokümantasyonun hazırlanması çerçevesinde detaylı olarak inceleneceği de belirtilmiştir.

f) Eddy akımları ve elektromanyetik girişim

İlgili raporda 10 km yarıçaplı alan içerisinde elektromanyetik titreşime neden olabilecek herhangi bir tesis bulunmadığı ve NGS Tasarımında NGS bileşenlerinin elektromanyetik etkileşimi ve koruyucu önlemler yer aldığı belirtilmektedir.

5.2 Darlington Nükleer Sahasının Saha Raporu

2005 yılında hazırlanmış Darlington Nükleer sahasında kurulması planlanan ek nükleer santral için yer değerlendirme raporu ve bu raporun bir parçası olan İnsan Kaynaklı Dış Olayların değerlendirildiği Özet Raporu incelediğimizde, belirtilen saha için yapılan değerlendirmeler sonucunda aşağıdaki verilere ulaşılmıştır:

İnceleme Mesafe Değeri bu değerlendirme için: Olayın olma olasılığı 100 milyonda bir (1×10^{-8} /yıl) olarak kabul edilmiştir [27].

Risk değerlendirmesi 2 aşamada tamamlanmıştır. İlk aşamada santralin güvenliğini tehdit etme olasılığına sahip tehlikeler incelenmiştir. İkinci aşama belirgin radyolojik sonuçlar oluşturabilecek tehlikelerin potansiyellerinin değerlendirilmesi ve bu tür tehlikelerin etkilerinin azaltılması için kantitatif değerlendirmeler yapılmasıdır [8].

Belirlenen İnsan Kaynaklı Dış Olayların incelemesi ve değerlendirilmesi IAEA [5] kılavuzunda belirtilen metodolojiye dayanarak yapılmıştır [27].

İlk olarak belirlenen İnceleme Mesafe Değeri içindeki tehlike oluşturma potansiyeline sahip kaynaklar belirlenmiştir.

Değerlendirme kapsamına alınan olaylar;

- Uçak Kazaları
- Gemi Kazaları
- Detonasyon (İnflak)
- Tehlikeli Akışkanları Yayılması
- Yangınlar
- Elektromanyetik Girişim
- Sahada bulunan diğer santralden kaynaklı Radyolojik Salınımlar
- Yakında bulunan St. Marys Cement Plant taş ocağında patlama

i. Uçak kazaları

Kanada'daki uçak hareketlerine dayalı istatistiklere bakıldığında uçak kazalarının değerlendirilmesi için, hafif uçaklar, küçük taşıma uçakları, büyük taşıma uçakları, helikopterler ve askeri savaş uçakları ve eğitim jetleri değerlendirme kapsamına alınmıştır.

Sahayla yakınında bulunan hava alanları arasındaki mesafe bilgileri uçakların tipleri ve uçuş frekansları İnceleme Mesafe Değerine (SDV) karar vermek için toplanmıştır [8].

Kanada'da hiç hava koridoru olmadığı için, İnceleme Mesafe Değeri sadece havaalanı kazaları için uygulanabilir [27].

Yapılan detaylı değerlendirme sonucunda şuan ki ve gelecekte olabilecek uçak kazaları riskine dair oluşabilecek riskin azaltılması gerektiği ve önerilen santral tasarımında özel olarak içerilmesi gerektiği belirlenmiştir [27].

ii. Gemi kazaları

Detaylı değerlendirme sonucunda gemi kazalarının sonucunda oluşacak radyolojik salınımın çok düşük olacağına karar verilmiştir ve bu yüzden gemi kazalarının risklerinin azaltılmasına dair çalışma yapılmasına gerek olmadığı belirlenmiştir.

iii. İnflak ederek patlama

Yapılan değerlendirmeler sonucunda detonasyon (inflak) olma frekansından dolayı herhangi bir risk azaltma tedbiri uygulanmasına gerek olmadığı belirlenmiştir. Fakat ileride risk artışı olabileceği göz önüne bulundurulursa konservatif bir önlem olarak tedbir alınmalıdır [8].

iv. Tehlikeli akışkanların yayılması

Santrale 4.4 km mesafede tesisler tespit edilmiştir. Bu tür tehlikelerin frekansı belirlenen Tasarıma Esas Olasılık Değerinden daha yüksek belirlenmiştir ve risk azaltıcı tedbirlerin uygulanması gerekmektedir. Yapılan detaylı değerlendirme sonucunda aşındırıcı gaz bulutlarının oluşturacağı risklere karşı sahada önlemler alınması gerektiği ve tasarımda da bu olayın göz önünde bulundurulması gerektiği belirlenmiştir.

Yanııcı tehlikeli akışkanların yayılması sonucu oluşacak yangınlardan kaynaklı termal radyasyonun santrali tehdit etmeyeceği belirlenmiştir. Sadece toksik yanma ürünlerinin rüzgarla yayılması durumu için önlemler alınması gerektiği belirtilmiştir.

Yanııcı tehlikeli akışkanların patlaması sonucu oluşacak yüksek basınç için de ayrıca tasarım sırasında tedbirlerin alınması gerektiği belirlenmiştir. Bu tedbirlere örnek olarak fiziksel bariyerler veya güvenlik açısından önemli parçaları / sistemleri fiziksel olarak ayrılmasının sağlanması gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca alınacak tedbirlerin projenin detaylı tasarımı aşamasında detaylı olarak değerlendirileceği belirtilmiştir.

Yanııcı akışkanların deflagrasyonu (tutuşma) sonucunda oluşan yüksek basınç etkisine karşı önerilen santralin tasarım esasları belirlenirken önlem alınması gerektiği belirlenmiştir.

Yapılan değerlendirme sonucunda nükleer santrale yakın bir kaynak olmadığı için yanııcı akışkanların yayılması sonucu sahada ihmal edilir düzeyde bir risk artışına sebep olacağı belirlenmiştir.

v. Orman yangınları

Orman yangınları, hidrokarbon yangınları gibi CO₂ ve CO oluşmasına sebep olmaktadır. CO'ya dair ilk dikkat edilmesi gereken durum yüksek oranlarda bulunması durumunda toksik bir gaz olmasıdır.

Yapılan değerlendirme sonucunda sahada orman yangınları kaynaklı risklere karşı tedbir alınması gereken bir durum olmadığı, ana kontrol odasında çalışan personelin CO'den dolayı etkilenmesinin ihmal edilecek düzeyde olduğu belirlenmiştir.

vi. Sahadaki nükleer olaylardan kaynaklanan radyolojik yayılım

Tasarım ötesi kazalarında dahil edildiği detaylı incelemeler sonucunda santrali etkileyecek riskte belirgin bir artış olmayacağı buyüzden ek tedbirlere gerek olmadığı belirlenmiştir.

vii. Elektromanyetik girişim

Elektromanyetik girişim kaynakları devamlı sahada bulunmaktadır, bunlara en temel örnek yüksek voltajlı iletim hatlarıdır [27]. Elektromanyetik girişim kaynakları devamlı sahada olduğu için, elektromanyetik girişimlerin sahada oluşturacağı risklere önerilen santralin tasarım esaslarında yer verilmelidir [8].

viii. St. Marys çimento fabrikası taş ocağında patlama

Yakında bulunan St. Marys Cement Plant taş ocağında patlama olayının iki temel etkisi vardır. Bunlardan ilki inflak sonucu oluşan yüksek basınç dalgasıdır ki bunun etkisine karşı tedbir alınmasına gerek olmadığı belirlenmiştir. İkinci etkisi sismik etkidir. Sismik etkinin santralin tasarım esasları belirlenirken göz önünde bulunması gerektiği belirlenmiştir.

5.3 Ignalina Nükleer Santrali İçin Yapılmış Çalışma Örnekleri

Litvanya'da bulunan Ignalina Nükleer Santrali (2 ünite RBMK-1500 reaktörü) için yapılan çalışmalardan ikisinde insan kaynaklı dış olayların değerlendirmesini incelersek;

1) İlk çalışma Kupciuniene ve Alzbutas [6] tarafından hazırlanmıştır. Halen işletimde olan Ignalina Nükleer Santrali için olasılıksal değerlendirmenin yapıldığı bu çalışma gelecekte aynı sahada kurulacak bir nükleer santral için de temel oluşturmak için hazırlandığı belirtilmiştir.

Risk hesaplaması için insan kaynaklı ve doğal dış olayların değerlendirildiği bu çalışmada insan kaynaklı dış olaylar kapsamında orman yangınları, uçak çarpması olayları değerlendirilmiştir.

Uygulanan teknikler bakımından dış olayların analizi iki aşamadan oluşmaktadır [6]:

- Başlatıcı olayın belirlenmesi ve analiz edilmesi
- Dış olay için olasılık hesaplamasının yapılması

Bu tür dış olayların olma olasılıkları ve santral üzerine etkileri istatistiksel verilerin analizleri, matematiksel modeller ve olasılık simülasyonları kullanılarak elde edilir [6].

a) Uçak kazaları

Uçak kazaları analizi kapsamında terörist faaliyetleri veya diğer sıradışı insan faaliyetler kapsam dışı tutulmuştur, çünkü bu tür olayları istatistiksel olarak tahmin etmek imkansızdır [8].

Ignalina nükleer santralinin de çevresinde hava alanının bulunmadığının belirtildiği dokümanda yapılan hesaplamalar sonucunda bulunan değerler referans değerden

küçük olduğu gözlenmiştir ve böylece uçak kazalarının bölgede kurulacak bir nükleer santral için tehlike oluşturmayacağı anlaşılmıştır.

b) Orman yangınları

Diğer yangınlar yerel oldukları ve nükleer santral güvenlik sistemleri kullanılarak söndürülebildikleri için güvenlik açısından çok önemli değillerdir. Alandaki orman yangınlarına dair istatistiksel veriler toplandıktan sonra, civarda oluşabilecek orman yangınlarının olasılığının hesaplanması için matematiksel modeller oluşturulur.

Bu çalışmada orman yangınlarının olasılık değerinin hesaplanması için, hesaplamaların sadece ekstrem orman yangınları durumları içermediğinden dolayı, μ ve σ değerleri kullanılarak lognormal dağılım kullanıldığı belirtilmiştir (5.4) (5.5) [8].

$$F_p(x) = 1 - \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (5.4)$$

$$F(x) = F_p(x) \cdot H / S \quad (5.5)$$

F(x) : Yangın frekansı (yıllık)

H : İncelenen ormanlık alan (hektar)

S : Bölgedeki toplam ormanlık alan

Çalışmada yapılan değerlendirmeler sonucunda orman yangınlarının bölgedeki santral için tehlike oluşturmayacağı belirlenmiştir.

2) Ignalina Nükleer Santrali için Liaukonis ve Augutis [9] tarafından yapılan bir diğer çalışmada da insan kaynaklı dış olaylar kapsamında uçak kazaları ve orman yangınları değerlendirilmiştir.

Uçak kazalarına ve orman yangınlarına dair yapılan hesaplamalar sonucunda bu olayların santrale etkilerinin ihmal edilebilecek düzeyde olduklarını belirlenmiştir. Uçuş yoğunluğu ileride hızlı bir şekilde artarsa hesaplamaların yeniden yapılması olasıdır [9].

Orman yangınları değerlendirilen dış olaylar arasında en yüksek olasılığa sahip olduğu belirlenmiştir. Fakat Ignalina Nükleer Santralinin güvenliği üzerine sınırlı bir etki oluşturabilir ve bu yüzden koruyucu bir faaliyet gerektirmemektedir [9].

6. ÖRNEK UYGULAMA

6.1 Örnek Olayın Belirlenmesi

Bu tez çalışmasında örnek değerlendirme uygulaması santrale tehlike oluşturabilecek iki olay grubu üzerine yapılacaktır. İncelenecek ilk olay, tehlikeli madde taşıyan gemilerden kaynaklı oluşabilecek potansiyel tehlikeler üzerine yapılacaktır. İkinci olay ise orman yangınlarının değerlendirilmesi üzerine olacaktır. Bilindiği üzere ülkemize yapılması planlanan iki nükleer santral projesi vardır ve bunlardan ilki Akkuyu Nükleer Santral Projesi, diğeri ise Sinop Nükleer Santral Projesidir. Bu santrallerin kurulması planlanan yerlerin birinin Akdeniz kıyısında diğerinin Karadeniz kıyısında denize yakın alanlar olduğu için her iki projede de soğutma suyu kaynağı olarak deniz kullanılmak istenmektedir ve her iki santralin kurulacağı alanlar ormanlık alanların yakınındadır. Bu sebeplerden dolayı örnek olay değerlendirmeleri sonucunda elde edilecek sonuçların ülkemizde kurulacak olan nükleer santrallerin sahalarında gerçekleştirilecek çalışmalara da ışık tutması beklenmektedir.

Bu çalışmada örnek olay analizlerinde kullanılacak verilerin elde edilmesi için daha önce yapılan yüksek lisans tezleri ve doktora tezlerinden yararlanılmıştır [28-30]. Hesaplama kısmında ise yeterli verinin elde edilemediği durumlarda daha çok tercih edilen ve yeni bir yöntem olan Bilgi Difüzyon Yöntemi kullanılarak hesaplamalar yapıp sonuçlar değerlendirilecektir. Bilgi Difüzyon Yönteminin uygulanması sırasında bu yöntemin minimum kaç veri için daha doğru sonuç vereceği ve farklı dağılım fonksiyonlarının kullanılmasının elde edilecek sonuçları nasıl etkileyeceği yapılacak hesaplamalarla değerlendirilecektir. Bu yöntem kullanılarak elde edilecek sonuçların güvenilirliği ise İstanbul Bölgesi için gemi kazalarının Monte Carlo Yöntemi uygulanarak analiz edildiği bir doktora tez çalışmasının sonuçları ile karşılaştırılarak değerlendirilecektir.

6.2 Bilgi Difüzyonu Yönteminin Kullanıldığı Çalışma Örnekleri

Bu çalışmalardan ilki Zhang ve Zhao [10] tarafından yapılan çalışmada Bilgi Difüzyon Teorisi tehlikeli kimyasalların taşınması sırasında olabilecek kazaların hesaplanması için kullanılmıştır. Bu çalışma tehlikeli kimyaların taşınmasından doğacak risklerin kaza oranı hesaplanması ve tehlikeli kimyaların taşınması sırasında olacak kazalarının sonuçlarının GIS (Coğrafi Bilgi Sistemi) simülasyon teknolojisi kullanılarak modellenmesi olmak üzere iki boyutu üzerine yoğunlaşmıştır.

Tehlikeli kimyasallar patlayıcı, toksik gaz, yanıcı sıvı veya gaz, oksitleyici madde, radyoaktif madde aşındırıcı ve tehlikeli atıklar gibi maddeleri içerir. Diğer maddelerle karşılaştırıldığında aralarındaki en önemli fark tehlikeli kimyasalların taşınması sırasında sızıntı kazalarındadır. Bu tür kazaların olma olasılıkları oldukça düşük olmasına rağmen, eğer olursa oldukça yıkıcı sonuçlara yol açacaktır. Sızan kimyasallar hayvanların, bitkilerin ve insanların yaralanmasına hatta ölmelerine neden olur. Çevre ve insan sağlığı açısından oldukça zararlıdır [10].

Bu çalışmada yapılan analizlerde en basit model olan normal difüzyon modeli kullanılmıştır. Yıllara göre kaza dağılım verilerine göre tehlikeli kimyasalların taşınması sırasında olabilecek kaza olasılıklarının dağılımı elde edilmiştir.

Veri toplama aşamasında detaylı bilgiler elde edilirse, kazaların frekans eğrisi daha detaylı olarak analiz edilebilir, eğer farklı noktadaki kaza sayısı bilinirse, tehlikeli kimyasalların taşınma kazalarına dair risk haritası farklı noktaları kapsayacak şekilde oluşturulabilir [10].

Bilgi Difüzyon Yöntemi kullanılarak yapılan diğer çalışma Si ve diğ. [11] tarafından yapılmıştır. Bu çalışmanın ana amacı tehlikeli kimyasalların sızıntı riskini belirleme ve bu tür kazaları karşı gerekli önlemlerin alınmasıdır. Çalışma Çin'deki Changshou Chemical Industrial Distripark (CID) depolama alanındaki tanklardan amonyum sızıntı riskini hesaplama üzerinedir. İlk olarak gerekli verilerin elde edilip daha sonrasında sızıntı olma olasılığı hesaplanmıştır. Sızıntı olduktan sonra oluşabilecek ikincil kazaların da hesaplandığı çalışmada, yanıcı bir kimyasal olan amonyumun sızması sonucunda oluşan jet yangınları, buhar bulutu patlaması ve zehirlenme kazaları incelenmiştir ve elde edilen veriler değerlendirilmiştir.

Tehlikeli kimyasalların yayılması sonrası oluşabilecek ikincil kazalar; jet yangınları, buhar bulutu patlamaları, zehirlenme, radyasyon, kirlilik gibi kazalardır [10]. Yanıcı

sıvı ya da gazların basınçlı salınımlarının parlaması sonucunda jet yangınları oluşmaktadır. Ateştopları, kaynayan sıvıların genişleyen buharlarının patlaması (BLEVE) ise yüksek kütlelerdeki basınçlı kızgın sıvıların atmosfere yayılımı ile oluşur.

Chu ve diğ. [12], çalışmalarında Bilgi Difüzyon Teorisini, LNG terminal istasyonlarında oluşabilecek riski 12 aylık verilere dayanarak hesaplamada kullanmışlardır.

6.3 Bilgi Difüzyonu Teorisi

Bilgi difüzyon yöntemine dayalı risk analiz metodu yetersiz verilerden kaynaklı eksiklikleri gidermektedir. Elde bulunan örneklemeler bulanık (fuzzy) bilgi olarak kabul edilmektedir.

“Information Diffusion Theory” yani Bilgi Difüzyon Teorisi yeterli veri olmadığı durumlarda eksiklerin giderilmesi için bulanık matematiğe yönlendirir. Bilgi Difüzyon Teorisi fırtına, deprem, kentsel afetler gibi durumlarda risk analizi yapılırken sıklıkla kullanılır [10].

Bilgi Difüzyonu Teorisi, imkan dahilinde belli başlı yararlı verileri örneklerden çıkartmaya yardımcı olup, sistem kabulünün doğruluğunu iyileştirmektedir [31-32]. Bilgi Difüzyonu Teorisinde, tek değerli örnek bir dizi, sayısal değerli bir örneğe dönüştürülmektedir. Bu tür modellerin en basiti normal difüzyon modelidir [33].

Bu çalışma kapsamında farklı dağılım fonksiyonlarının elde edilecek sonuçlar üzerine etkisini görmek için kuadratik (2. dereceden) difüzyon ve normal difüzyon dağılımları incelenmiştir. Kuadratik difüzyon fonksiyonu için Epanechnikov fonksiyonu örnek olarak alınmıştır.

i) Normal Difüzyon Modeli;

Belirlenen bölgedeki kazaların geçmiş m yıl için gerçek sayılarının x_1, x_2, \dots, x_m olduğunu, $U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_n\}$ değerinin kaza sayılarını ifade ettiğini ve $u_1, u_2, u_3, \dots, u_n$ değerlerinin de referans noktaları olduğunu varsayalım. U ayrık evreni (6.1).

$$U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_n\} \quad (6.1)$$

Tek değerli gözlem örneğinin, x_i , taşıdığı bilgi U alanının her noktasına yayılması normal difüzyon fonksiyonu ile aşağıdaki eşitlik ile ifade edilir (6.2).

$$f_i(u_j) = \frac{1}{h\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x_i - u_j)^2}{2h^2}} \quad (6.2)$$

h= difüzyon katsayısı

h değerini bulmak için farklı yöntemler vardır. Normal difüzyon fonksiyonunda, Ortalama Mesafe Modeli ve normal difüzyon için önerilmiş olan Yakındaki Kriter Modeli (Nearby Criteria of normal diffusion) kullanılarak bulunan difüzyon katsayıları kullanılmıştır [10, 34].

- Ortalama Mesafe Modelinde;

h değeri maksimum b ve minimum a değerleri ve örnek sayısı m ile belirlenir [10]. Maksimum “b” ve minimum “a” değerleri ve örnek sayısı “m” ile “h” değerinin hesaplanması aşağıdaki eşitlikler ile yapılır (6.3).

$$h = \begin{cases} 0,8146(b-a) & m = 5 \\ 0,5690(b-a) & m = 6 \\ 0,4560(b-a) & m = 7 \\ 0,3860(b-a) & m = 8 \\ 0,3362(b-a) & m = 9 \\ 0,2986(b-a) & m = 10 \\ 2,6851(b-a)/(m-1) & m \geq 11 \end{cases} \quad (6.3)$$

Huang [34], tarafından Yakındaki Kriter Modeline göre önerilen difüzyon katsayısı formülleri (6.4);

$$h = \begin{cases} 1,6987(b-a)/(m-1) & 1 < m \leq 5 \\ 1,4456(b-a)/(m-1) & 6 \leq m \leq 7 \\ 1,4230(b-a)/(m-1) & 8 \leq m \leq 9 \\ 1,4208(b-a)/(m-1) & 10 \leq m \end{cases} \quad (6.4)$$

$f_i(u_j)$ fonksiyonunun toplam değeri C_i (6.5).

$$C_i = \sum_{j=1}^m f_i(u_j) \quad (6.5)$$

Bulanık altkümenin ilgili normalize edilmiş bağlantı fonksiyonu aşağıdaki gibidir **(6.6)**.

$$\mu_{x_i}(u_j) = f_i(u_j) / C_i \quad (6.6)$$

x_i 'nin normalize edilmiş bilgi dağılımı $\mu_{x_i}(u_j)$ fonksiyonudur.

Aşağıdaki eşitlik ile u_j 'deki herbir örnekleme değerinin toplamı **(6.7)**.

$$q(u_j) = \sum_{i=1}^m \mu_{x_i}(u_j) \quad (6.7)$$

Yukarıdaki denklem ile eğer kaza indeksi gözlem değeri $u_1, u_2, u_3, \dots, u_n$ serisinin birinden seçiliyorsa, örnekleme sayısı u_j 'nin gözlem değeri ile birlikte $q(u_j)$ olur denilmektedir [10]. Bu değer sıfırdan küçük olmamak şartı ile pozitif bir tamsayı olmayacaktır. Aşağıdaki formülden de anlaşılacağı üzere u_j 'deki her bir örnekleme, değerinin toplamına eşittir **(6.8)**.

$$Q = \sum_{j=1}^m q(u_j) \quad (6.8)$$

Q'nun normalde teorik olarak m'e eşit olması gerekir fakat hesaplama sırasında yuvarlama gibi işlemlerden dolayı Q ile m arasında hafif farklılıklar oluşabilir [31].

u_j 'deki olasılık değeri aşağıdaki eşitlik ile ifade edilir **(6.9)**.

$$p(u_j) = q(u_j) / Q \quad (6.9)$$

$p(u_j)$ örnekleminin u_j noktasındaki olasılığıdır.

6.4 Değerlendirme Yönetminin Örnek Uygulaması

6.4.1 Tehlikeli madde taşıyan gemi kazalarının analizi

Gemi kazalarından kaynaklı tehlike değerlendirmesi ülkemizde deniz kazalarının en çok olduğu bölge olan İstanbul Boğazının kaza verilerine dayanarak gerçekleştirilecektir. İstanbul için bir nükleer santral kurulması planlanmamaktadır fakat ülkemizde en çok kazanın olduğu bölge İstanbul Boğazı olması sebebiyle en kötü durum analizi olarak bu bölge için hesaplama yapılacaktır. Elde edilen veriler ışığında diğer bölgelerdeki kaza sayısı Boğazdaki kazalardan daha az kaza oranına sahip oldukları için diğer bölgeler için karşılaştırmalı genel bir yorum çıkarılması amaçlanmaktadır. Bu çalışmada gemi kazaları IAEA [5] kılavuzunda belirtilen ve bu tez çalışması kapsamında anlatılan değerlendirme aşamaları uygulanarak yapılacaktır.

Yukarıdaki belirtilen Bilgi Difüzyonu Metodu kullanılarak İstanbul Boğazının 2004-2010 yılları arasındaki deniz kazaları verileri kullanılarak yazılan Matlab Kodu ile elde edilen sonuçlar bu tez kapsamında değerlendirilmiştir. Ayrıca bu tez çalışması kapsamında gemi kazaları analizinde ikinci adım olarak en az kaç veri ile Bilgi Difüzyon Yönteminin daha doğru sonuçlar verdiğini değerlendirmek ve farklı dağılım fonksiyonlarının sonuçları nasıl etkilediğini anlamak amacıyla işlemler yapılmıştır.

6.4.1.1 Verilerin toplanması

Değerlendirme Sürecinde yapılması gerekenler;

1. Saha çevresinde tehlike oluşturabilecek inceleme mesafe değeri sınırları dahilinde tesis ve faaliyetler varsa bunları belirlemek
2. Belirlenen tesisler için risk değerlendirmesi yapıp olayın oluşma olasılığı inceleme olasılık seviyesi olan 10^{-7} /yıl değerinden büyük mü küçük mü olduğuna karar vermek
3. 10^{-7} /yıl değerinden büyük yıllık olma olasılığına sahip olaylar için detaylı değerlendirme yapılması için olaya dair detaylı verilerin toplanması,
4. Detaylı değerlendirme sonucunda olayın tasarıma esas dış olay kapsamına alınıp alınmayacağına karar vermek

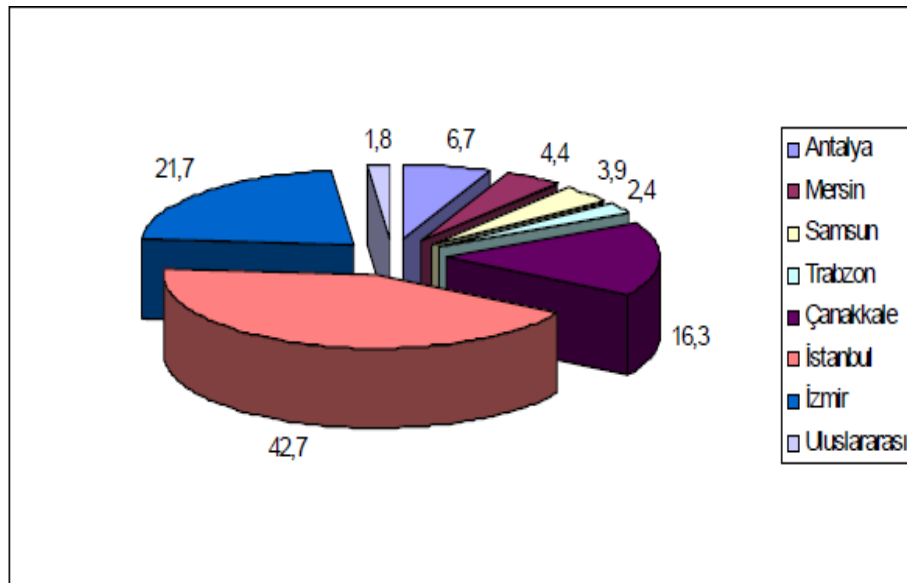
Yukarıda belirtilen değerlendirme aşamalarına göre ilk olarak bölgede tehlike oluşturabilecek kaynak olup olmadığına karar verilmesi gerekmektedir. Kaynak belirlendikten sonra potansiyel tehlikenin değerlendirilmesi için olaya dair elde edilebilen tüm verilerin toplanması gerekmektedir.

Verilerin toplanması insan kaynaklı dış olayların değerlendirilmesi sürecinde en önemli adımlardan biridir. Yeterli verinin toplanamadığı durumlarda eksik verinin sonuçlar üzerine etkisi olacaktır.

İstanbul Boğazı'nda olan deniz kazalarına dair elde edilen veriler aşağıdaki Şekil 6.1, Çizelge 6.1, Çizelge 6.2 ve Çizelge 6.3'te gösterilmektedir.

Çizelge 6.1 : Gruplandırılmış gemi tipleri ve bölgelere göre kazalar [28].

Gemi Tipi	Kazanın Yaşandığı Bölge								Toplam
	Antalya	Mersin	Samsun	Trabzon	Çanakkale	İstanbul	İzmir	Uluslararası	
Yük	10	27	35	13	143	386	57	15	686
Yolcu	14	3	0	2	18	82	14	1	134
Yat	41	4	1	1	19	35	139	2	242
Küçük tekne ve bot	11	3	2	2	7	19	38	3	85
Hizmet gemisi	1	4	3	0	9	20	12	1	50
Diğer	5	1	0	0	4	9	1	1	21
Balıkçı	10	18	13	15	24	35	37	1	153
Topla m	92	60	54	33	224	586	298	24	1371
Yüzde	6,7	4,4	3,9	2,4	16,3	42,7	21,7	1,8	100



Şekil 6.1 : Kazaların bölgelere göre dağılımı [28].

Çizelge 6.1 ve Şekil 6.1’den anlaşılacağı üzere ülkemizde deniz kazalarının en çok olduğu bölge İstanbul Boğazıdır. En çok deniz kazasının İstanbulda olmasının birçok sebebi vardır. İstanbul Boğazı, coğrafi ve oşinografik özelliklerinden dolayı tehlikeli seyir bölgesidir. Gerek akıntıların kuvvetli oluşları, gerekse keskin dönüşlü bölgeler olması dolayısı ile gemilere büyük kaza riski oluşturmaktadır [29]. Ayrıca konumu itibari ile İstanbul Boğaz’ından geçiş yapan gemilerin sayısının fazla olması da en çok kazanın bu bölgede olmasının sebepleri arasındadır.

İstanbul Boğazı için 2004-2010 yılları arasındaki deniz kazalarının sayısı aşağıdaki Çizelge 6.2’de belirtilmektedir.

Çizelge 6.2 : Yıllara göre İstanbul Boğazındaki deniz kazaları [30].

2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Toplam
67	72	68	54	96	67	105	529

Aşağıdaki çizelgede 2004-2010 yılları arasında gerçekleşmiş olan gemi kazalarına karışan gemi sayısının gemi tiplerine göre dağılımı verilmektedir. Toplamda 1006 tane kaza olduğu çizelgeden anlaşılmaktadır.

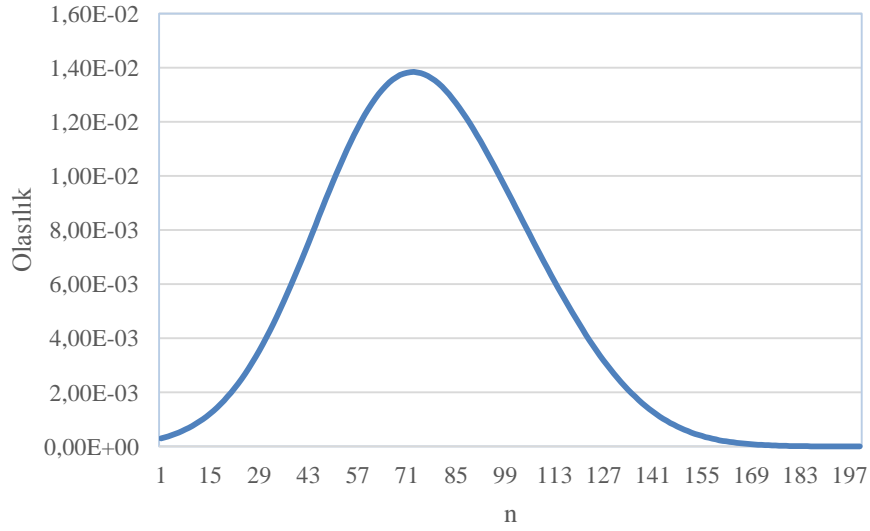
Çizelge 6.3 : Türlerine göre kazaya karışan gemi sayısı [30].

Yıllar/ Gemi Türleri	Tehlikeli Yük Taşıyanlar	Kuruyük/RO RO/OBO Kargo/Koster/ Kontryner/ Dökmeci	Motorla r/ Yatlar	Balıkçı	Yolcu	Diğer	Toplam
2004	19	55	20	-	24	77	195
2005	18	76	-	-	14	33	141
2006	10	73	-	-	-	35	118
2007		82	22	-	-	68	172
2008	18	89	14	7	3	11	142
2009	7	75	5	3	5	5	100
2010	13	82	10	13	5	15	138
Toplam	85	532	71	23	51	244	1006

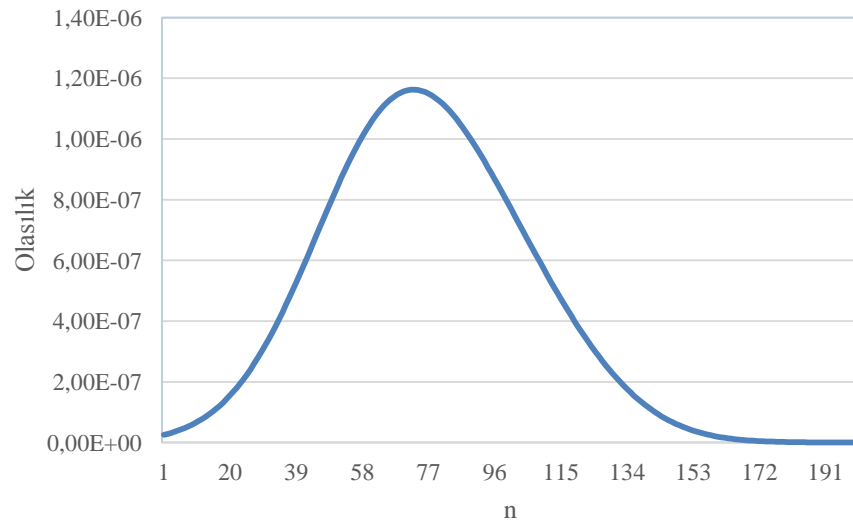
6.4.1.2 Hesaplamalar ve sonuçların yorumlanması

Bilgi Difüzyonu Metodu kullanılarak 2004-2010 yılları arasındaki verilere dayanılarak İstanbul Boğazında kaza olma olasılığının Matlab Kodu ile hesaplanması sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Elde edilen verilerden bilindiği üzere toplam kazaya karışan gemi sayısı 1006'dır ve 1006 tane geminin 85 tanesi tehlikeli yük taşıyor ve tehlike potansiyeli daha yüksektir. Bu yüzden gemi kazasının olma olasılığının dağılımı ve tehlikeli yük taşıyan gemi başına kaza olasılığı dağılımı ayrı ayrı hesaplanıp, Şekil 6.2 ve Şekil 6.3'te gösterilmiştir.



Şekil 6.2 : Kaza olasılığı dağılımı.



Şekil 6.3 : Tehlikeli yük taşıyan gemi başına kaza olasılık dağılımı.

7 yılda olan Toplam kaza sayısı 529'dır. Yıl başına toplam kaza sayısı yaklaşık 76 tanedir. Ortalama 76 kaza olma olasılığı yukarıdaki şekilden (Şekil 6.3) anlaşılacağı üzere $1,15E-06$ 'dir.

Bu değer 10^{-7} /yıl değerinden büyüktür fakat en yüksek kaza olasılığı İstanbul Boğazında olduğu için ve en çok kazanın yaşandığı ikinci bölge olan İzmir'den neredeyse iki katı kadar fazla kaza olduğu için diğer bölgelerde kurulacak bir santralde bu olasılık değeri daha düşük olacaktır. Bu sebepten dolayı değerlendirmeyi burada sonlarılıp Tasarıma Esas Dış Olay kapsamına alınması gerekmez denilebilir. Eğer daha detaylı değerlendirme yapılması gerekseydi değerlendirme metodunun ikinci kısmı detaylı değerlendirme için daha detaylı verilerin toplanması gerekmektedir.

Detaylı değerlendirme sresinde matematiksel modeller (hata ağacı analizi, olay ağacı analizi, Monte Carlo simülasyonu vb.) kullanılarak etkileşimli olayların olma olasılıkları belirlenip bu değerin belirlenen Tasarıma Esas Olasılık Değerinden büyük m ya da daha küçük m olduğuna karar verilmesi gerekmektedir. Detaylı değerlendirme sürecinde kullanılacak metotlar toplanan verilere ve verilerin kalitesine bağlı olarak değişmektedir.

Örneğin Si H. ve diğ. [11] tarafından yapılan çalışmada amonyum sızıntısı sonrası oluşan olayların olma olasılıklarını sızıntı oranını hesaplayacak verilere sahip oldukları için matematiksel formüller kullanarak hesaplamışlardı.

Fakat her zaman yeterli veri toplanamamış olabilir. Risk hesaplamalar sırasında yeterli veri olmadığı durumlarda yardımcı dokümanlar bulunmaktadır. Bu dokümanların en önemlilerinden biri; RIVM [35] tarafından yayınlanan ve Purple Book olarak adlandırılan dokümandır. Bu doküman hem sabit hem de mobil kaynaklar için olasılık verilerinde önemli bir kaynaktır. Avrupa'da kantitatif risk analizlerinde olasılık verilerine dair en yaygın olarak kullanılan referans kaynak Purple Book'tur [36]. Yeterli veri bulunmadığında risk hesaplamalarda yararlanılan bir diğer doküman; HSE [37] tarafından yayınlanmıştır.

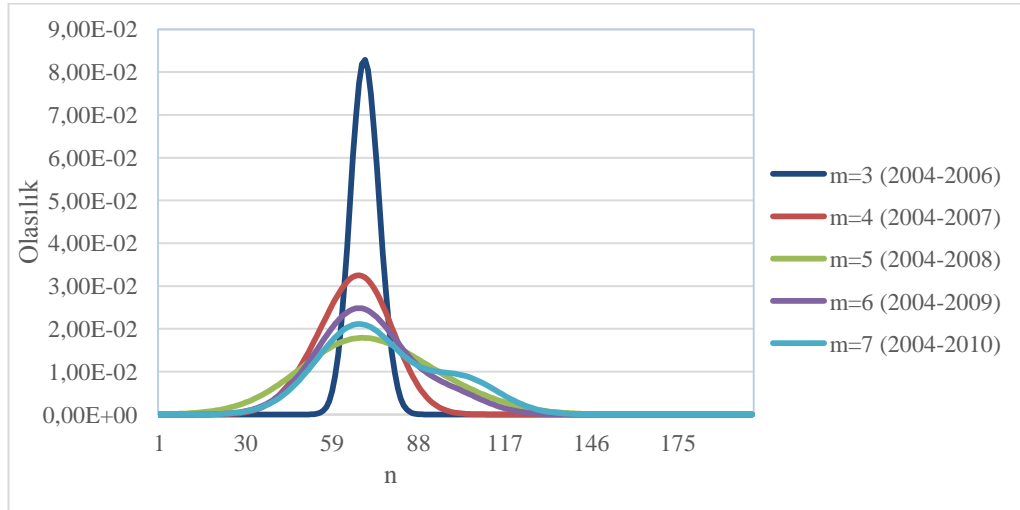
Bu tür kaynaklardan elde edilen olasılık verileri ile çeşitli matematiksel modeller(Olay Ağacı, Monte Carlo Simülasyonları, vb.) kullanılarak olasılık hesabı yapılabilir. Örneğin Purple Book'tan elde edilen frekans değerleri ile olay ağacı metodu kullanılarak tetikleyici olay sonrası olabilecek diğer olayları da diagram üzerinde göstererek hesaba katarak değerlendirmeler yapılabilir. Elde edilen olasılık değeri Tasarıma Esas Olasılık Değeri ile karşılaştırılıp TEDO kapsamına alınıp alınmayacağına karar verilir.

6.4.1.3 Minimum veri sayısının belirlenmesi

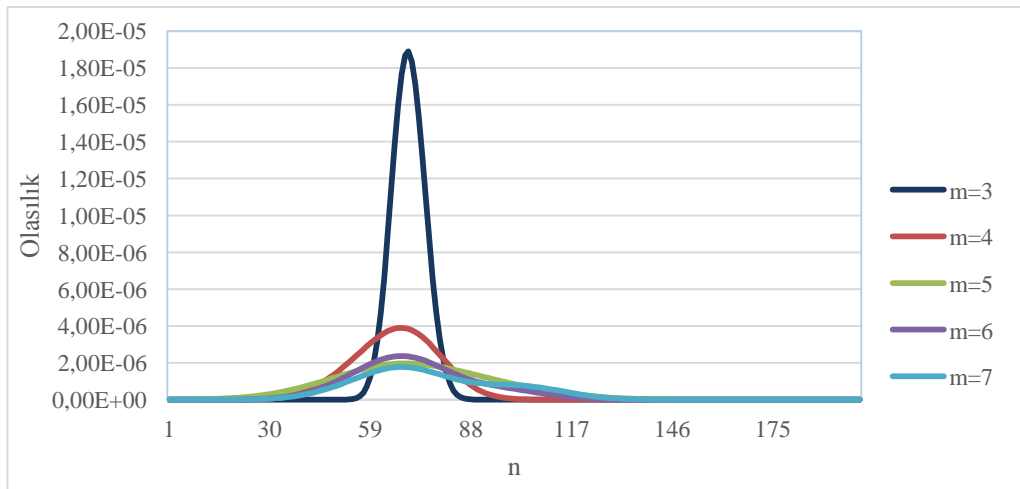
Bulanık matematik metodu olarak, Bilgi Difüzyonu küçük olay örneklerinde bilgi eksikliklerinin bulanık set içerisinde gözlem örneğine transferini sağlayarak bu eksikliklerin giderilmesini sağlayabilir [38].

Toplanan veri sayısının sınırlı olduğu durumlarda kullanılan Bilgi Difüzyon metodunun en az kaç veri ile daha doğru olarak sonuçlar verdiğini hesaplamak için farklı yıl sayılarına göre kaza değerlerini kullanarak sonuçlar aşağıdaki şekilde gözlemlenmiştir.

İlk olarak 2004-2006 yılları arası kaza değerleri alınmıştı sonrasında yıl aralığı birer birer arttırılarak 2004-2010 arası değerlere kadar hesaplanmıştır. Elde edilen dağılım grafikleri aşağıdaki şekillerde (Şekil 6.4 ve Şekil 6.5) belirtilmektedir.



Şekil 6.4 : Farklı yıl aralıkları için kaza olasılığı dağılımı.



Şekil 6.5 : Tehlikeli yük taşıyan gemi başına kaza olasılık dağılımı.

Şekil 6.4 ve Şekil 6.5, kaza olma olasılıklarının dağılımını ve Boğazdan geçen tehlikeli yük taşıyan gemi başına kaza olma olasılıklarının dağılımını farklı yıl aralıkları için göstermektedir.

Yukarıdaki dağılımlardan da görüleceği üzere toplanan veri sayısının en az 5 olduğu durum daha fazla verinin elde edildiği durumlara daha yakın sonuçlar vermiştir. 3 farklı yıl aralığı için elde edilen olasılık değerleri dağılımı diğer yıl aralıklarına göre daha farklı sonuçlar vermiştir.

Toplanan veri sayısı hesaplamaları ve elde edilecek sonuçları direk etkilediği için bu durum insan kaynaklı dış olaylar değerlendirilirken veri toplama aşamasının önemini arttırmaktadır.

6.4.1.4 Farklı dağılım fonksiyonlarının incelenmesi

Bu çalışma kapsamında bilgi difüzyon yöntemi uygulanırken farklı dağılım fonksiyonları kullanılmış ve farklı difüzyon fonksiyonlarının sonuçlar üzerine etkisi gözlenmiştir.

Bu kapsamda kuadratik (2. dereceden) difüzyon fonksiyonu ve normal difüzyon fonksiyonu incelenmiştir ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Kuadratik difüzyon fonksiyonu için Epanechnikov fonksiyonu örnek olarak alınmıştır.

Epanechnikov fonksiyonu (6.10);

$$\mu(y) = \begin{cases} \frac{3}{20\sqrt{5}}(5-y^2) & |y| < \sqrt{5} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (6.10)$$

Epanechnikov fonksiyonu kuadratik bir fonksiyondur ve bu fonksiyona dayalı difüzyon ise quadratic difüzyon olarak adlandırılır [39].

Epanechnikov kuadratik fonksiyonu teorikte en ideal difüzyon fonksiyonudur [39].

Normal difüzyon fonksiyonunda olduğu gibi bilgi difüzyon yöntemi kuadratik Epanechnikov fonksiyonu için de uygulanmıştır.

Belirlenen bölgedeki tehlikeli madde taşıyan gemi kazalarının geçmiş m yıl için gerçek sayılarının x_1, x_2, \dots, x_m olduğunu, $U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_n\}$ değerinin kaza

sayılarını ifade ettiğini ve $u_1, u_2, u_3, \dots, u_n$ değerlerinin de referans noktaları olduğunu varsayalım.

Tek değerli gözlem örneğinin, x_i , taşıdığı bilgi U alanının her noktasına yayılmasını sağlayan $f_i(u_j)$ fonksiyonunun toplam değeri aşağıdaki eşitlik ile ifade edilir **(6.11)**.

$$C_i = \sum_{j=1}^m f_i(u_j) = \frac{1}{m\Delta} \sum_{j=1}^m \begin{cases} \frac{3}{20\sqrt{5}} \left(5 - \left(\frac{x_i - u_j}{\Delta} \right)^2 \right) & |y| < \sqrt{5} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (6.11)$$

Δ = difüzyon katsayısı

Normal difüzyon fonksiyonu için uygulanan bilgi difüzyon yöntemi eşitlik **(6.11)** ve **(6-6)-(6.9)** eşitliklerinin kullanılması ile kuadratik difüzyon fonksiyonu için de uygulanır ve kuadratik bilgi difüzyon yöntemi elde edilir.

Epanechnikov kuadratik fonksiyonu teorikte en ideal difüzyon fonksiyonudur [39]. Kuadratik difüzyon modeli için Altın Oran Yöntemi (Golden Section Method) kullanılarak difüzyon katsayısı bulunmuştur.

Altın Oran Yöntemi (Golden Section Method), 0,618 algoritma olarak da adlandırılmaktadır.

Altın Oran Yönteminde difüzyon katsayısını bulmak için aşağıdaki adımların izlenmesi gerekmektedir.

Altın Oran Yöntemi Adımları:

- I. a) Bir ε değeri belirlenir ve belirlenen ε için $\varepsilon > 0$ olacak şekilde, olabildiğince küçük değer verir.
- b) x_0, x_2, x_1, Δ , aşağıdaki eşitliklerle **(6.12)** belirlenir.

$$\begin{aligned} x_0 &= 0 \\ x_2 &= b - a \\ x_1 &= x_2 / 2 \\ \Delta &= x_2 \\ \Delta_0 &= x_0 \end{aligned} \quad (6.12)$$

$$b = \max_{1 \leq i \leq n} \{x_i\}$$

$$a = \min_{1 \leq i \leq n} \{x_i\}$$

II. \tilde{p} fonksiyonu (6.13) hesaplanır.

$$\tilde{p} = \frac{1}{n\Delta} \sum_{i=1}^n \mu\left(\frac{x-x_i}{\Delta}\right) \quad (6.13)$$

III. \tilde{p} fonksiyonunun pik değerlerine göre, eğer sadece 1 pik değeri varsa a şikkına (6.14) daha fazla pik değeri varsa b şikkına (6.15) gidilir.

a)

$$x_2 = x_1$$

$$x_1 = x_0 + (x_1 - x_0) \times 0,618 \quad (6.14)$$

b)

$$x_0 = x_1$$

$$x_1 = x_1 + (x_2 - x_1) \times 0,618 \quad (6.15)$$

IV. Δ_0 ve Δ değerleri belirlenir (6.16), $|\Delta - \Delta_0|$ değeri ε değerinden küçük olana kadar işlemler devam ettirilir (6.17).

$$\Delta_0 = \Delta$$

$$\Delta = x_1 \quad (6.16)$$

$$|\Delta - \Delta_0| < \varepsilon \quad (6.27)$$

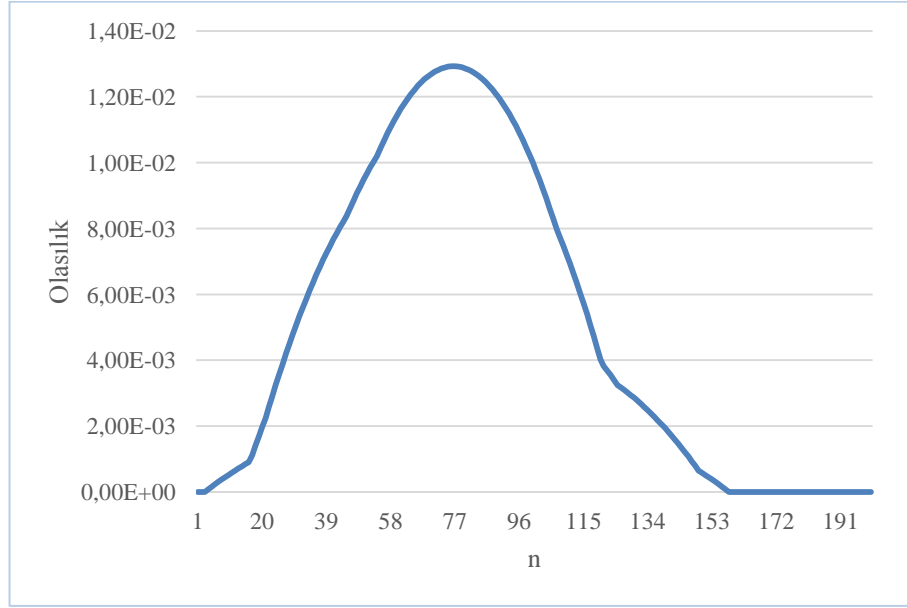
- $|\Delta - \Delta_0| < \varepsilon$ olduğunda işlemler sonlandırılır [39].

Kuadratik difüzyon yöntemi ile 2004-2010 yılları arasındaki verilere dayanarak elde edilen İstanbul Boğazında kaza olma olasılığının hesaplanması ile aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

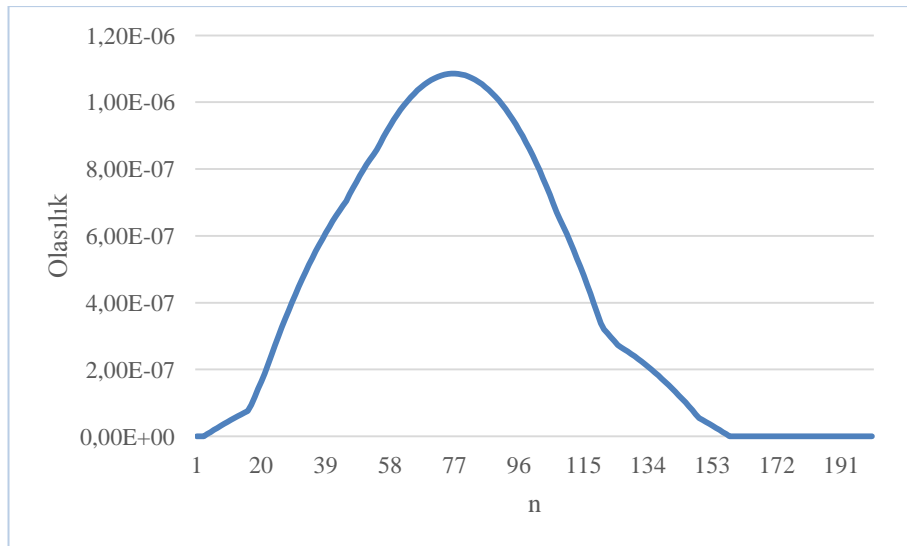
Bilindiği üzere 2004-2010 yılları arasında İstanbul Boğazında toplam kazaya karışan gemi sayısı 1006'dır ve 1006 tane geminin 85 tanesi tehlikeli yük taşıyor ve tehlike

potansiyeli daha yüksektir. Bu sebepten dolayı kaza olma olasılığının dağılımı ve tehlikeli yük taşıyan gemi başına kaza olasılığı dağılımı ayrı ayrı hesaplanmıştır ve Şekil 6.6 ve Şekil 6.7’de gösterilmiştir.

İstanbul Boğazının kaza verilerine dayanarak kuadratik difüzyon modeli için difüzyon katsayısı Altın Oran Yöntemi (Golden Section Method) kullanılarak $\Delta = 23,25512$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.6 : Kaza olasılığı dağılımı.



Şekil 6.7 : Tehlikeli yük taşıyan gemi başına kaza olasılık dağılımı.

Normal difüzyon fonksiyonu kullanılarak uygulanan normal bilgi difüzyon yöntemi ve kuadratik difüzyon fonksiyonu kullanılarak uygulanan kuadratik bilgi difüzyon

yöntemi ile elde edilen sonuçlar arasındaki farkı gözlemlemek için Çizelge 6.4'te ortalama olasılık değerleri arasındaki yüzde olarak hata oranı hesaplanmıştır.

Çizelge 6.4 : Farklı yöntemlerle ulaşılan ortalama olasılık değerleri.

	Normal Bilgi Difüzyon Yöntemi ile Hesaplanan Ortalama Olasılık Değerleri	Kuadratik Bilgi Difüzyonu Yöntemi ile Hesaplanan Ortalama Olasılık Değerleri
Kaza Olasılığı	5,00E-03	5,00E-03
Gemi Başına Kaza Olasılığı	4,20E-07	4,2E-07

Şekil 6.6 ve Şekil 6.7' den anlaşılacağı üzere kuadratik difüzyon fonksiyonu kullanılarak uygulanan kuadratik bilgi difüzyonu sonucunda ulaşılan İstanbul Boğazı için gemi kaza olasılığı ve tehlikeli yük taşıyan gemi başına kaza olasılığı değerleri normal difüzyon modeli ile elde edilen olasılık değerleriyle neredeyse aynı sonuçları vermiştir. Fakat, normal difüzyon modelinde elde edilen olasılık dağılımı kuadratik (2. dereceden) bir fonksiyon olan Epanechnikov fonksiyonu kullanılarak uygulanan kuadratik difüzyon modelinden elde edilen olasılık dağılımına göre biraz daha pürüzsüz çıkmıştır. Ayrıca, Çizelge 6.4'ten anlaşılacağı üzere her iki difüzyon fonksiyonu ile elde edilen ortalama olasılık değerleri aynıdır.

İki difüzyon modeli arasındaki ufak farklılıklar difüzyon katsayısı hesaplaması için optimum bir formülün belirlenmiş olmamasından ve kuadratik difüzyon fonksiyonu için altın oran yöntemi ile difüzyon katsayısının hesaplanmasından kaynaklı işlemlerden kaynaklanmış olabilir.

6.4.1.5 Farklı yöntemlerle karşılaştırma

Bu tez çalışması kapsamında kullanılan Bilgi Difüzyon Yönteminin doğruluğunun değerlendirilmesi amacıyla Küçükosmanoğlu [40] tarafından hazırlanan İstanbul Bölgesi için 2008 yılında farklı olay tipleri için Monte Carlo modellemesi kullanılarak risk değerlerinin hesaplandığı doktora tezinin verilerini kullanarak hesaplamalar yapılmıştır ve elde edilen sonuçlar tezin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Çizelge 6.5 ve Çizelge 6.6, sırasıyla, İstanbul Bölgesindeki kaza sayılarını kaza

tiplerine ve yıllara göre dağılımlarını ve İstanbul'a gelen toplam gemi sayısını yıllara göre göstermektedir.

Çizelge 6.5 : Tiplerine göre kaza sayılarının yıllara göre değişimi [40].

Yıl	Alabora	Çatma	Çatışma	Oturma	Yangın
2001	7	0	9	14	3
2002	6	0	7	11	9
2003	5	3	7	12	9
2004	12	5	11	15	7
2005	6	9	16	9	15
2006	5	6	11	11	8
2007	3	3	18	9	6

Çizelge 6.6 : İstanbul'a gelen toplam gemi sayılarının yıllara göre değişimi [40].

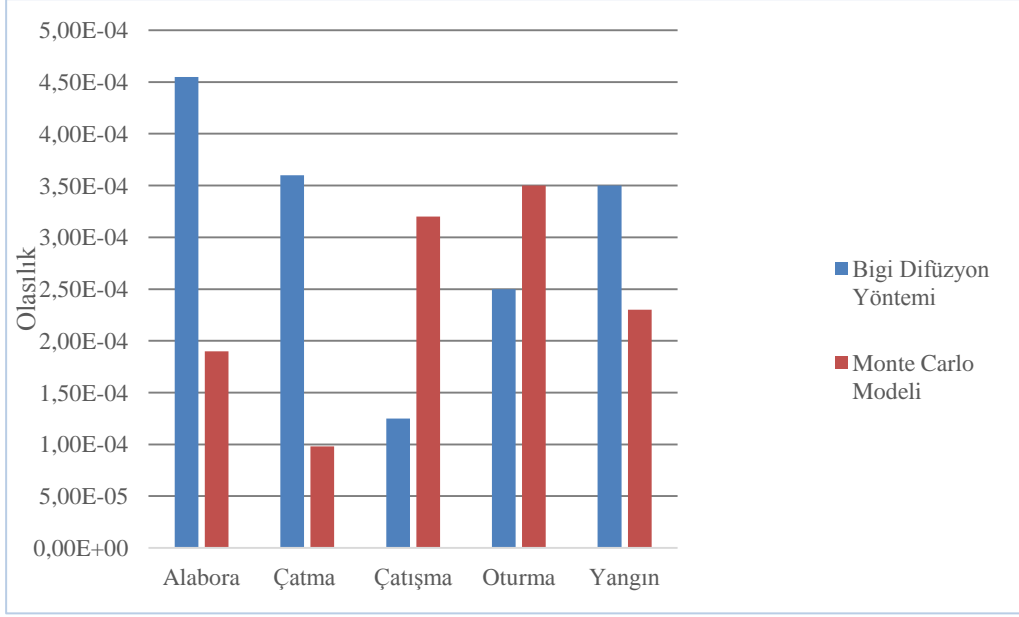
2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
26480	28336	30934	37545	38020	40723	43426

Yukarıdaki veriler kullanılarak 2000-2007 yılları arasındaki farklı kaza tiplerine göre Bilgi Difüzyon yöntemi ile elde edilen ortalama kaza olasılık değerleri ile Küçükosmanoğlu [40] Doktora tezinden alınan sonuçların karşılaştırılması aşağıdaki çizelgede gösterilmektedir.

Elde edilen değerler arasındaki fark yüzde olarak hesaplanmıştır ve Çizelge 6.7'de belirtilmiştir. Ayrıca Şekil 6.8'de farklı yöntemler uygulanarak elde edilen ortalama kaza olasılık değerleri ve bu değerlerin yüzde olarak farkı gösterilmiştir.

Çizelge 6.7 : Farklı yöntemlerle hesaplanan ortalama olasılık değerleri.

	Alabora	Çatma	Çatışma	Oturma	Yangın
Bilgi Difüzyon Yöntemiyle Hesaplanan Ortalama Kaza Olasılık Değerleri	4,55E-04	3,6E-04	1,25E-04	2,5E-04	3,5E-04
Küçükosmanoğlu [40] Doktora Tezinde Monte Carlo Yöntemiyle Hesaplanan Ortalama Kaza Olasılık Değerleri	1,9E-04	9,8E-05	3,2E-04	3,5E-04	2,3E-04



Şekil 6.8 : Kaza olasılıkları arasındaki fark (%).

Çizelge 6.7’de belirtilen değerlerden her iki yöntem sonucunda elde edilen sonuçlar arasında büyük farklılıklar olmadığı, değerlendirilen olayın olma olasılığı değeri genel olarak aynı olasılık değeri mertebesinde olduğu ve yakın sonuçlar elde edildiği gözlemlenmiştir. Bilgi difüzyon yöntemi ile belirlenen bölgeki kaza sayılarını kullanarak kaza olasılığının hesaplaması çok daha basit ve hızlı bir şekilde yapılabilmektedir.

6.4.2 Orman yangınları

İnsan kaynaklı dış olaylar kapsamında bu tez çalışmasında incelenecek diğer bir olay ise orman yangınlarıdır. Ülkemizde kurulması planlanan her iki nükleer santral için araştırılan sahaların ormanlık alanda olması orman yangınları riskinin çalışmalarda dikkatli bir şekilde incelenmesi gerektirmektedir.

6.4.2.1 Verilerin toplanması

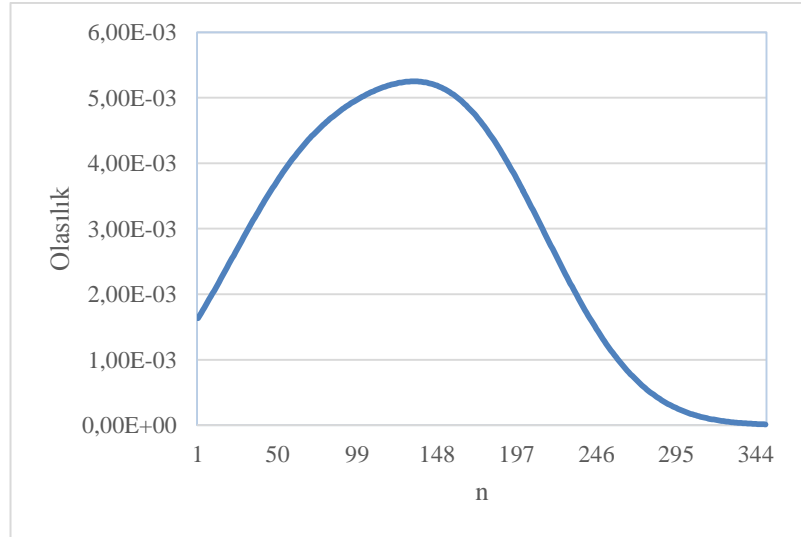
Orman yangınlarına dair hesaplamalar 2001-2010 yılları arasında İstanbul’da gerçekleşen orman yangınları ele alınarak, Bilgi Difüzyon Yöntemi normal difüzyon fonksiyonu için uygulanarak yapılmıştır. 2001-2010 yılları arasında İstanbul Bölge Müdürlüğünde meydana gelen orman yangınları aşağıdaki çizelgede (Çizelge 6.8) gösterilmektedir [41].

Çizelge 6.8 : İstanbul Bölgesindeki orman yangınları (2001-2010) [41].

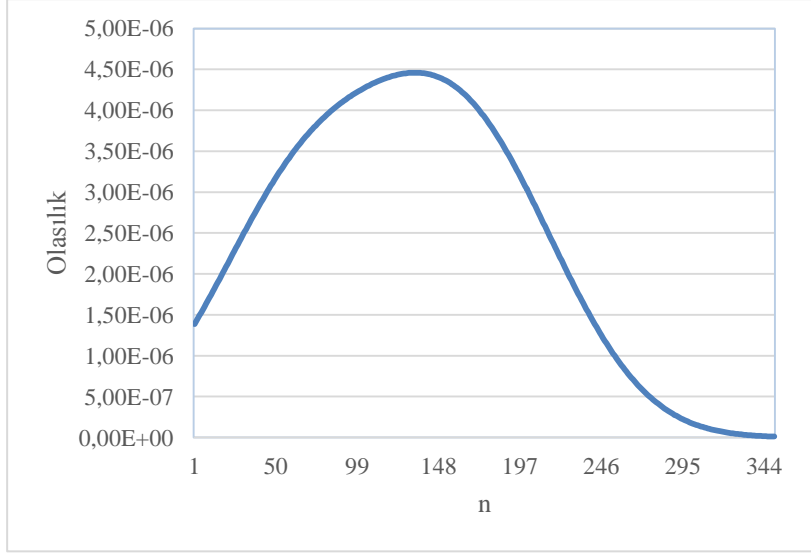
Yıl	Adet	Hektar Alan
2001	170	238
2002	99	33
2003	204	204
2004	68	144
2005	58	32
2006	150	68
2007	186	263
2008	137	96
2009	132	92
2010	42	7
Toplam	1246	1177

6.4.2.2 Analiz sonuçları

Orman yangınlarına dair, 2001-2010 yılları arasında İstanbul'da gerçekleşen orman yangınları ele alınarak ve Bilgi Difüzyon Yöntemi kullanılarak yapılan hesaplar sonucunda elde edilen İstanbul Bölgesindeki orman yangını olasılığı ve yine İstanbul Bölgesi için hektar alan başına orman yangını olasılığı dağılımı Şekil 6.9 ve Şekil 6.10'da gösterilmektedir.



Şekil 6.9 : İstanbul bölgesinde orman yangını olma olasılığı.



Şekil 6.10 : İstanbul bölgesinde hektar alan başına orman yangını olma olasılığı.

6.4.2.3 Sonuçların yorumlanması

Orman yangınları için 2001-2010 yılları arasındaki İstanbul Bölgesi yangın verileri ve bilgi difüzyon metodu kullanılarak yapılan olasılık hesaplamasında Şekil 6.6'dan İstanbul Bölgesi için hektar alan başına orman yangını olma olasılığının 10^{-6} mertebesinde olduğu gözlenmektedir. İnsan kaynaklı dış olayların kurulacak olan nükleer santrale tehlike oluşturma potansiyeline sahip olup olmadığını değerlendirmek için sınır değeri 10^{-7} /yıl olarak belirlenmiş olduğundan 10^{-6} mertebesinde olma olasılığı santrale tehlike oluşturma potansiyeline sahip olay anlamına gelebilir ve detaylı değerlendirme yapılması gerekebilir fakat orman yangınlarından korunmak için santral sahasının etrafına yanıcı maddelerden arındırılmış ara bölge bırakılması gibi önlemlerin alınması ile orman yangınlarının santrale tehlike oluşturmalarının engellenmesi sağlanabilir ve detaylı değerlendirmeye ihtiyaç duyulmaz.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında Nükleer Güç Santrali Sahalarına İlişkin Yönetmelik [2] ve IAEA [5] kılavuzu temel referans olarak alınmıştır ve bu kaynakların ışığında nükleer santrallerin kurulacağı sahaların uygunluğunun değerlendirildiği saha etütleri aşamasında araştırılması gereken konulardan biri olan insan kaynaklı dış olaylar incelenmiştir. Çalışmada ilk olarak insan kaynaklı olaylar tanımlanmıştır, daha sonrasında IAEA [5] kılavuzunda tasarıma esas dış olayların belirlenmesi amacıyla uygulanacak aşamaların anlatıldığı yöntemlere göre bu olaylar değerlendirilmiştir ve tasarıma esas dış olay kapsamına alınıp alınmama şartları incelenmiştir.

Bu kapsamda incelenen insan kaynaklı dış olaylar uçak kazaları, tehlikeli akışkanların yayılımı, patlama, yangınlar, nükleer santral su alma yapılarına çarpmalar, eddy akımları ve elektromanyetik girişimlerdir.

Değerlendirme sürecinin anlatıldığı çalışmada, değerlendirme kriterleri belirtilmiştir. Ön inceleme ve detaylı değerlendirme olmak üzere iki aşamadan oluşan bu süreçte detaylı değerlendirme sonucu elenmeyen kaynakların Tasarıma Esas Dış Olay kapsamına alınması gerektiği ve daha detaylı değerlendirmeler sonucunda bu olayların ve etkilerinin önlenmesi ve azaltılması için gereken önlemlerin alınması gerektiği belirtilmiştir. Düşünülebilen en ciddi kaza durumlarında kabul edilebilen sınırların üstünde risk oluşmayacak şekilde tasarım esasları oluşturulmalıdır.

Çalışma kapsamında örnek olarak 17 Mart 2015 tarihinde TAEK tarafından yayınlanan Akkuyu Nükleer Santralinin Güncellenmiş Yer Raporu ve 2005 yılında hazırlanmış Darlington Nükleer sahasında kurulması planlanan ek nükleer üniteler için yer değerlendirme raporu ve bu raporun bir parçası olan insan kaynaklı dış olayların değerlendirildiği özet rapor incelenmiştir. Ayrıca bu konuda yapılan diğer çalışmalara örnek olması açısından Ignalina Nükleer Santrali için ve aynı sahada kurulabilecek diğer santraller için dış olayların değerlendirildiği iki çalışmanın da ilgili kısımları bu çalışma kapsamında incelenmiştir.

İnsan kaynaklı dış olayların değerlendirmesine dair anlatılan yöntem İstanbul Boğazında olabilecek tehlikeli madde taşıyan gemi kazaları ve orman yangınları için uygulanmıştır. Türkiye’de en çok gemi kazasının İstanbul Boğazında olmasından dolayı bu İstanbul Boğazındaki yıllara göre kaza verilerinden yararlanılmıştır ve en kötü durumda elde edilecek sonuçların değerlendirilmesi ile Türkiye’nin diğer bölgelerine kurulacak bir nükleer santralin gemi kazalarından etkilenme derecesi belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre gemi kazalarının ülkemizde deniz kenarında kurulacak bir nükleer santral için ciddi bir tehlike oluşturmayacağı sonucuna ulaşılmıştır. Hesaplamalar sırasında Bilgi Difüzyonu Yöntemi uygulanmıştır. Çalışmada bu yöntemin uygulandığı diğer çalışmalara dair örnekler verilmiştir. Bilgi Difüzyon Yöntemi yeterli verinin olmadığı durumlarda risk analizlerinde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Bilgi Difüzyon Yönteminin en az kaç veri ile daha doğru sonuçlar verdiğini anlamak için farklı yıl sayılarında veriler değerlendirilmiş ve en az 5 yıla ait veri olması durumunda daha doğru sonuçlar elde edildiği gözlenmiştir. Farklı difüzyon modellerinin Bilgi Difüzyon Yöntemi üzerine etkisini anlamak için normal difüzyon modeli ve kuadratik difüzyon modeli ile aynı hesaplamalar yapıp farklı difüzyon fonksiyonlarının sonuçlar üzerine etkisi gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre normal difüzyon modeli ile daha düzgün bir olasılık dağılımı elde edilmesine rağmen normal difüzyon modeli ve kuadratik difüzyon modeli sonucunda birbirine çok yakın kaza olasılığı değerlerine ulaşılmıştır. Bu iki model sonuçları arasındaki ufak farklılıkların ise difüzyon katsayısının hesaplanması için kullanılan farklı yöntemler olmasına rağmen optimize edilmiş bir formülün önerilmiş olmamasından ve difüzyon katsayısı hesaplanırken uygulanan işlemlerden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Bu tez çalışması kapsamında ayrıca Bilgi Difüzyon Yönteminin etkinliğinin ve güvenilirliğinin anlaşılması için Küçükosmanoğlu [40] tarafından 2008 yılında hazırlanan İstanbul Bölgesi için farklı olay tipleri için Monte Carlo modellemesi kullanılarak risk değerlerinin hesaplandığı doktora tezinin verileri kullanılarak hesaplamalar yapılmış ve Bilgi Difüzyon Yöntemi ile elde edilen sonuçlar Monte Carlo modellemesi ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır ve elde edilen sonuçların birbirine oldukça yakın olduğu gözlenmiştir.

Bilgi Difüzyon Yöntemi ayrıca İstanbul Bölgesinde yıllara göre meydana gelmiş orman yangınlarının verilerine dayanarak uygulanmıştır ve orman yangınları için

10^{-6} mertebesinde yangın olma olasılığı elde edilmiştir fakat bu olasılığın santral sahasının etrafına yanıcı maddelerden arındırılmış ara bölge bırakılması gibi önlemlerin alınması ile etkisiz hale getirilebileceği detaylı değerlendirmeye ihtiyaç olmadığı ve tasarıma etki eden olay kapsamına alınmasına gerek olmadığı anlaşılmıştır.

Bilgi difüzyon yöntemi kullanılarak hem İstanbul Boğazındaki gemi kazaları için olasılık hesaplamalarından hem de İstanbul Bölgesinde olabilecek orman yangını olasılığı hesaplamalarından anlaşılacağı üzere bu yöntem diğer risk hesaplaması yöntemlerine göre daha az veri ile daha kolay bir şekilde tehlike değerlendirmesi yapılmasına imkan vermektedir. Veri analizlerinde oldukça yeni bir alan olan bilgi difüzyonu yönteminin uygulanmasında dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardan biri eldeki verilere uygun dağılım fonksiyonunun seçilmesidir. Eğer doğru dağılım fonksiyonu seçilmezse bu durum sonuçları etkileyebilmektedir. Bilgi difüzyon yönteminin en önemli eksikliği difüzyon katsayısını bulmak için kullanılan farklı yöntemler olmasına rağmen optimize edilmiş bir yöntemin olmaması ve bu durumun sonuçları etkilemesidir. Genellikle yapılan çalışmalarda daha kolay olduğu için tercih edilen normal difüzyon modeli kullanılmaktadır fakat toplanan verilere uygun doğru dağılım fonksiyonunun ve difüzyon katsayısının seçilmesi daha doğru sonuçlara ulaşmamızı sağlayacaktır.

Bu tez kapsamında çıkarılacak bir diğer sonuç ise bu tür analizlerde toplanan verilerin kalitesi uygulanan matematiksel yöntemler değerlendirme sonucunu çok etkilediğidir. Ülkemizde şuanda iki nükleer santral projesi vardır ileride kurulacak nükleer santrallerin sayısının artması da yüksek ihtimaldir bu sebepten dolayı bu tür analizlerin daha kolay ve daha doğru yapılabilmesi için düzenli veri kayıtlarının sağlanması gerekmektedir. Maalesef ki şuan için ülkemizde birçok konuda geçmişe yönelik verilere ulaşmak bu güne kadar düzenli veri depolanması yapılmadığı için çok zordur. Örneğin gemi kazaları analizlerinde toplam gemi sayısının hesaplarken sadece limanlara uğrayan gemilere dair bilgilere ulaşılabilir, limanlara uğramadan bölgeden transit geçen gemi sayısına ya da gemilerin gerçek rotalarına dair veri yoktur bu durum da bizi civar illerdeki limanlara gelen gemilerin sayılarını kullanarak yaklaşım yapmaya ve bu şekilde hesaplamalarımızı yapmaya zorluyor. Tabi tam verinin olmaması, yaklaşımlar yapılarak sonuçlara ulaşılması sonuçların kalitesini de etkilemektedir.

Ülkemiz henüz nükleer santralin olmaması nükleer alanda birçok faaliyetin yeni yeni yapılmaya başlaması ile nükleer alanda uzman eksikliğimiz olduğunu da ortaya çıkarmıştır. İnsan kaynaklı dış olayların değerlendirme sürecinde bazı durumlarda detaylı hesaplamaya gerek olmadan uzman görüşleri ile daha kolay sonuca ulaşılabilir. Bu yüzden bu tür faaliyetleri daha kolay ve daha kontrol altında ilerlemesi için yeterli sayıda uzmanın ülkemize kazandırılması için gereken eğitimlerin sağlanması önemlidir.

Ayrıca bu çalışması kapsamında bahsedilen RIVM [35] ve HSE [37] gibi kaynakların insan kaynaklı dış olayların analizinde yeterli verinin olmadığı durumlarda sıklıkla yararlanılan dokümanlar olduğu anlatılmıştır fakat ülkemizde bu dokümanlara benzer bu tür analizlerde yararlanabileceğimiz bir doküman bulunmamaktadır maalesef.

Çalışmalarda, yapılan analizlerde geçmişe yönelik veri eksikliğinin sıklıkla karşılaştığımız bir problem olmasından dolayı bu problemi aşabilmemiz için hesaplamalarda referans olarak alabileceğimiz RIVM [35] ve HSE [37] tarafından oluşturulmuş dokümanlara benzer dokümanların oluşturulması çalışmalarımızda bize kolaylık sağlayacaktır.

Ülkemizde kurulacak nükleer santrallerin çalışmalarında saha etütlerinden başlayarak bu konuda ilerlemek, kendi analizlerimizi kendimiz yapabilmemiz için ve yurt dışından uzmanlara gerek duymadan çalışmalarımız yürütebilmek için verilerin düzenli ve tam olarak kayıt altına alınması ve uzmanların yetiştirilmesi için gereken desteğin sağlanması gerekmektedir.

Sonuç olarak bu tez çalışması ile kurulacak bir nükleer santral için önerilen sahanın uygun olduğunun belirlenmesi için araştırılması gereken önemli konulardan biri de insan kaynaklı dış olayların olduğu ve bu olaylardan kaynaklı tehlikelerin belirlenmesi için toplanan verilerin yeterliliği ve kalitesinin çok önemli olduğu anlaşılmıştır. Her bir olay için ayrı ayrı analizler yapıp kurulacak sahaya bağlı olarak tasarıma esas dış olay kapsamına alınacak olayların belirlenmesi gerekmektedir. Belirlenen olaylara dair gerekli tedbirlerin alınması, mühendislik çözümlerinin uygulanması ve bu olayların önlenmesi veya etkilerinin azaltılması gerektiği anlaşılmıştır. Ayrıca tasarıma esas olayların santral ömrü boyunca izlenmesi gerektiği anlaşılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] **Nükleer Tesislere Lisans Verilmesine İlişkin Tüzük**, (1983). *T. C. Resmi Gazete*, 18256, 19 Aralık 1983.
- [2] **Nükleer Güç Santrali Sahalarına İlişkin Yönetmelik**, (2009). *T. C. Resmi Gazete*, 27176, 21 Mart 2009.
- [3] **TAEK**, (2009). Nükleer Güç Santralleri İçin Yer Raporu Biçim ve İçeriği Kılavuzu (GK-GR-01). *TAEK*, Ankara.
- [4] **AELB**, (2011). Guideline For Site Evaluation For Nuclear Power Plant, Atomic Energy Licensing Board, Ministry of Science, Technology and Innovation, Malaysia.
- [5] **IAEA**, (2002). External Human Induced Events in Site Evaluation for Nuclear Power Plants, *IAEA Safety Standards Series* No: NS-G-3.1.
- [6] **Kupciuniene, K. ve Alzbutas R.** (2009). Updated Probabilistic Analysis Of External Events Data And Safety Of The Nuclear Power Plant In Lithuania. Proceedings of the *17th International Conference on Nuclear Engineering*, Brussels, Belgium, 12-16 Temmuz.
- [7] **TAEK**, (2015). Akkuyu Güncellemiş Yer Raporu, 16 Mart 2015.
- [8] **OPG**, (2009). Site Evaluation for OPG New Nuclear at Darlington, Nuclear Safety Considerations (Report No: NK054-REP-01210-00008-R001). *Ontario Power Generation Inc.*, Canada.
- [9] **Liaukonis, M. ve Augutis, J.** (1999). External Evnets Analysis Of The Ignalina Nuclear Power Plant, *The 7th International Conference on Nuclear Engineering*, Tokyo, Japan, 19-23 Nisan.
- [10] **Zhang, J. ve Zhao, L.** (2007). Risk Analysis of Dangerous Chemicals Transportation, *Systems Engineering-Theory and Practice*, **27**, 117-122, doi: 10.1016/S1874-8651(08)60077-0.
- [11] **Si, H., Ji, H. ve Zeng, X.** (2012). Quantitative Risk Assessment Model Of Hazardous Chemicals Leakage And Application. *Safety Science*, **50**, 1452-1461 doi:10.1016/j.ssci.2012.01.011.
- [12] **Chu, Y., Dong, W., Li, Y. ve Liang, D.** (2013). Risk Prediction Model of LNG Terminal Station Based on Information Diffusion Theory. *Procedia Engineering*, **52**, 60-66, doi: 10.1016/j.proeng.2013.02.106.
- [13] **TAEK**, (2012). Özel Tasarım İlkeleri Kılavuzu, *TAEK*, Ankara.
- [14] **U.S.NRC**, (2012). NRC Regulations Title 10, Code of Federal Regulations (10 CFR). *U.S. Nuclear Regulatory Commission (U.S. NRC)*, USA.
- [15] **U.S.NRC**, (2014). Standard Review Plan for the Review of Safety Analysis Reports for Nuclear Power Plants, NUREG-0800. *U.S. Nuclear Regulatory Commission (U.S. NRC)*, USA.

- [16] **U.S.NRC**, (2014). NRC Regulatory Guide 4.7, General Site Suitability Criteria for Nuclear Power Stations. *U.S. Nuclear Regulatory Commission (U.S. NRC)*, USA.
- [17] **U.S.NRC**, (2013). NRC Regulatory Guide 1.91 Evaluations Of Explosions Postulated To Occur At Nearby Facilities And On Transportation Routes Near Nuclear Power Plants, Rev.2. *U.S. Nuclear Regulatory Commission (U.S. NRC)*, USA.
- [18] **U.S.NRC**, (2009). NRC Regulatory Guide 1.189 Fire Protection For Nuclear Power Plants. *U.S. Nuclear Regulatory Commission (U.S. NRC)*, USA.
- [19] **Berg, H. P. ve Hauschild, J.** (2012). Probabilistic Assessment of Nuclear Power Plant Protection Against External Explosions, Chapter 5. Adres: <http://dx.doi.org/10.5772/51492>.
- [20] **U.S.NRC**, (2010). USNRC Standard Review Plan, 3.5.1.6. Aircraft Hazards. *U.S. Nuclear Regulatory Commission (U.S. NRC)*, USA.
- [21] **DOE**, (2006). Department of Energy (DOE) Standard 3014, Accident Analysis For Aircraft Crash Into Hazardous Facilities.
- [22] **Touret, J. P.** (2010). External Human Induced Events In Site Evaluation for NPPs, *ANS Regional Workshop on Safety Requirements for Site Selection and Evaluation for NPPs*, Hanoi, Vietnam, 7-11 Haziran.
- [23] **U.S.NRC**, (1990). NUREG/CR-4550, 1986, Analysis of Core Damage Frequency, Surry Power Station, Unit 1, External Events, Sandia National Laboratories, SAND86-2084. *U.S. Nuclear Regulatory Commission (U.S. NRC)*, USA.
- [24] **Alzbutas, R., Kupciuniene, K., Adlyte, R. ve Augutis, J.** (2007). The aircraft crash on the Ignalina NPP probability estimation considering data uncertainty. *Energetika, I*, 1-9.
- [25] **Alkan, A.** (2006). *Kimyasal Patlayıcıların İnfilakı Sonucunda Oluşan Ses Şiddetinin Ölçeklendirme Yasaları Kullanılarak Tahmin Edilmesi* (Yüksek Lisans tezi). Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [26] **U.S.NRC**, (1978). NRC Regulatory Guide 1.91 Evaluations Of Explosions Postulated To Occur At Nearby Facilities And On Transportation Routes Near Nuclear Power Plants, Rev.1. *U.S. Nuclear Regulatory Commission (U.S. NRC)*, USA.
- [27] **OPG**, (2009). Summary Report: Site Evaluation Studies for Nuclear Installations at Darlington External Human Induced Events, (Report No: NK054-REP-01210-00010). *Ontario Power Generation Inc.*, Canada.
- [28] **Acar, B.** (2007). *Risk Değerlendirmesi Temelli Yönetim Anlayışının Denizcilikte Uygulanması Ve Türk Deniz Ticaret Filosunun Risk Değerlendirmesi Yöntemi İle Analizi* (Doktora tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- [29] **Öğüt, A.A.** (1999). *Denizlerin Gemi Kaynaklı Kirlenmesi* (Yüksek Lisans tezi). İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

- [30] **İnan, M.** (2011). *İstanbul Boğazı Ve Marmara Denizi'nin Kuzeydoğusunda Meydana Gelen Gemi Kazalarının Denizel Ortama Etkileri* (Yüksek Lisans tezi). İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, İstanbul.
- [31] **Huang, C.F.** (2002). An Application of calculated fuzzy risk, *Information Sciences*, **142**, 37–56.
- [32] **Palm, R.** (2007). Multiple step ahead prediction in control systems with Gaussian process models and fuzzy models. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* **20(8)**, 1023–35.
- [33] **Ti, C., Huang, C. ve Pan, Y.** (2007). Flood Disaster Risk Analysis for Songhua River Basin Based on Theory of Information Diffusion, *Computational Science ICCS 2007*, **4489**, 1069–1076.
- [34] **Huang, C.** (1997). Principle of Information Diffusion. *Fuzzy Sets and Systems*, **91**, 69-90.
- [35] **RIVM**, (1999). Guideline for Quantitative Risk Assessment , “Puple Book”, CPR-18E, *Netherlands National Institute for Public Health and the Environment (RIVM)*, Netherland.
- [36] **Ronza, A., Vilchez, J.A. ve Casal, J.** (2007). Using transportation accident databases to investigate ignition and explosion probabilities of flammable spills. *Journal of Hazardous Materials*, **146**, 106-123 doi:10.1016/j.jhazmat.2006.11.057.
- [37] **HSE**, (2012). Failure Rate and Event Data for Use Within Risk Assessments, *Health and Safety Executive (HSE)*, United Kingdom.
- [38] **Saral, A. ve Musaoğlu, N.** (2011). Çok Kriterli Karar Verme Ve Bilgi Difüzyonu Yöntemleri İle Taşkın Risk Analizi, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 13.Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara, 18-22 Nisan.
- [39] **Huang, C. ve Shi, Y.** (2002). Towards Efficient Fuzzy Information Processing, Using the Principle of Information Diffusion, Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH.
- [40] **Küçükosmanoğlu, A.** (2008). *Sızıntı Miktarlarının Deniz Kazaları Risk Modeli (MARISK) ile araştırılması* (Doktora tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [41] **Küçükosmanoğlu, M. A.** (2012). *İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü'nde Orman Yangınlarına Karşı Alınan Koruma ve Savaş Uygulamalarının İrdelenmesi* (Yüksek Lisans tezi). İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad :Kübra AYDIN

Doğum Yeri ve Tarihi : ANKARA, 04.02.1987

E-Posta :aydin.kubra@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2011, Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Nükleer Enerji Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM:

- Elektrik Üretim A.Ş. (EÜAŞ) / Nükleer Santraller Dairesi (2013-...)
Nükleer Enerji Mühendisi