



En Büyük Endüstriyel Kazalar; Fukushima ve Çernobil Nükleer Güç Santrali (NGS) Kazaları

Metin Serhat İlter^{1*}

¹ Çalışma Ekonomisi ve Endüstri İlişkileri Anabilim Dalı, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye

E-Posta: mserhatilter@gmail.com

Gönderim 13.05.2025; Kabul 20.10.2025

Özet: Nükleer kazalar büyük insani ve ekonomik kayıplara sebep olduğundan Çalışma Ekonomisi ve Endüstri İlişkileri Anabilim Dalında incelenmesi gereken konuların başında yer almaktadır. Teknolojik afetler kategorisinde yer alan nükleer kazalar, tesisi doğrudan etkileyen iç veya dış sorunlar sebebiyle olabilmektedir. Örneğin, Çernobil kazasında olduğu gibi tesis içi sorunlar kaynaklı veya Fukushima kazasında olduğu gibi deprem kaynaklı olabilmektedir. Her ne sebeple olursa olsun barışçıl amaçlarla faaliyete geçen nükleer güç santrallerinin kazaya uğraması telafisi imkânsız sonuçlar meydana getirmektedir. Bu nedenle yaşanan nükleer kazalardan ders alınması ve bir daha yaşanmaması için daha kapsamlı önlemlerin alınması önem arz etmektedir. Bu bağlamda her nükleer güç santralinin bir acil durum planının olması gereklidir. Bu plan olası bir kazanın etkileri konusunda bilgiler içermelidir. Ayrıca yeni kurulacak nükleer güç santrallerinin de geçmiş kaza analizlerini inceleyerek risk değerlendirmesi hazırlamaları gerekmektedir. Hazırlanacak risk değerlendirmesinde; insan ve diğer canlılardan, çevre sağlığından, tarımsal ürünlerden ve radyasyonun türler üzerindeki etkilerinden bahsedilmelidir.

Anahtar Kelimeler: Nükleer Enerji, Büyük Endüstriyel Kazalar, Teknolojik Afetler

The Biggest Industrial Accidents; Fukushima and Chernobyl Nuclear Power Plant (NPP) Accidents

Received 13.05.2025; Accepted 20.10.2025

Abstract: Nuclear accidents cause significant human and economic losses, which is why they are one of the foremost topics examined by the Department of Labour Economics and Industrial Relations. Nuclear accidents fall under the category of technological disasters and can be caused by internal or external issues that directly affect the facility. For instance, they may be caused by internal issues, as in the Chernobyl accident, or by external factors such as earthquakes, as in the Fukushima accident. Regardless of the cause, accidents at nuclear power plants intended for peaceful purposes can have irreparable consequences. Therefore, it is crucial to learn from past nuclear accidents and implement more comprehensive measures to prevent them from happening again. In this context, every nuclear power plant must have an emergency plan. This plan should contain information about the potential consequences of an accident. Furthermore, new nuclear power plants should prepare risk assessments based on analyses of past accidents. These risk assessments should address the effects on humans and other living beings, environmental health, agricultural products and radiation exposure.

Key Words: Nuclear Energy, Major Industrial Accidents, Technological Disasters

GİRİŞ

6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'nun 3. Maddesinde iş kazası; işyerinde veya işin yürütümü nedeniyle meydana gelen, ölüme sebebiyet veren veya vücut bütünlüğünü ruhen ya da bedenen engelli hâle getiren olay olarak tanımlanırken meslek hastalığı; Mesleki risklere maruziyet sonucu ortaya çıkan hastalık olarak tanımlanmıştır ^[1].

5510 Sayılı Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu'nda ise meslek hastalığı daha geniş bir perspektiften tanımlanmış ve sigortalının çalıştığı veya yaptığı işin niteliğinden dolayı tekrarlanan bir sebeple veya işin yürütüm şartları yüzünden uğradığı geçici veya sürekli hastalık, bedensel veya ruhsal engellilik halleri olarak tanımlanmıştır ^[2].

Her iki kanunda iş kazası ve meslek hastalıkları tanımı yapılmış olup henüz ülkemiz sınırlarında bir nükleer güç santrali bulunmadığından (proje aşamasında ve/veya yapımı devam etmekte) bu konuda

* İlgili E-posta / Corresponding E-mail: mserhatilter@gmail.com (ORCID: 0000-0002-6146-0057)

özel olarak hazırlanmış kanunlar[†] bulunmamaktadır[‡]. Fakat teoride bir nükleer güç santralinden çevreye serbest halde yayılan veya sızan radyasyon iş kazası olarak değerlendirilmekle birlikte ilerleyen yıllarda meslek hastalığına da sebebiyet verebilmektedir.

Nükleer kazalar, teknolojik afetler kategorisinde yer almakta, olayın gelişimine göre bazen neden bazen de sonuç olabilmektedir. Örneğin, Çernobil kazasında; mühendislik hatalar sebebiyle olduğundan neden, Fukuşima kazasında deprem sebebiyle olduğundan sonuçtur.

Nükleer Kazalar; nükleer reaktörde gerçekleşen bir kazanın olası tehlikesi, radyasyon maruziyetidir. Bu maruziyet, reaktörde bulunan radyoaktif maddelerin atmosfere salımı nedeniyle oluşabilmekte ve bu salım genellikle bulut şeklinde nitelendirilmektedir. Etkilenen alanın büyüklüğü; reaktörden salınan radyoaktif maddelerin miktarı ve özellikleri, rüzgâr yönü ve hızı salınan radyoaktif maddelerin hızlı bir şekilde yeryüzünde birikmesine neden olacak hava şartları (yağmur, kar vb.) gibi etmenlere bağlıdır^[3].

İş kazası özelinde nükleer kazaların anlatıldığı bu olgu çalışması dört bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde tarihin gördüğü en büyük ikinci nükleer felaket olan Fukuşima Nükleer Güç Santrali (NGS) Kazası anlatılmıştır. İkinci bölümde tarihin gördüğü en büyük nükleer felaket olan Çernobil NGS Kazası anlatılmıştır. Üçüncü bölümde nükleer kazalardan alınması gereken derslerden bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde kayıpların en aza indirilmesi için nükleer kaza acil durum planlamasında yapılması gereken iş ve işlemlerden bahsedilmiştir. Sonuç bölümünde konunun genel bir durum değerlendirmesi yapılmıştır.

FUKUŞİMA[§] NGS KAZASI

Fukuşima Daiichi nükleer kazası, bir dizi kazanın peşi sıra deprem sebebiyle meydana gelmesidir. 11 Mart 2011 tarihinde pasifik okyanusunda gerçekleşen 9,1 büyüklüğündeki deprem ve ardından oluşan tsunami sebebiyle Fukuşima Nükleer Santraldeki üniteler zarar görmüştür. Reaktörün kalbi sayılan ve uranyum yakıt çubuklarının bulunduğu kaplar tüm müdahalelere rağmen ısınmaya devam etmiş ve erimiştir. Oluşan radyasyon sızıntısından çok sayıda acil durum çalışanı etkilenmiştir^{**}.

11 Mart 2011'de Japonya'nın doğu kıyısında meydana gelen Büyük Doğu depremi ve ardından gelen tsunami, ilerleyen günlerde üç nükleer reaktörün erimesine ve 1, 2, 3 ve 4 numaralı binalarda dört hidrojen patlamasına neden oldu. Meydana gelen felâket (Fukuşima) tarihteki en büyük endüstriyel kaza olarak tanımlandı. Bu hasarlı reaktörlerden atmosfere ve okyanusa büyük miktarlarda radyonüklit karıştı. Ayrıca Çernobil'de salınandan üç kat daha fazla argon, ksenon, kripton, sezyum, stronsiyum ve trityum gibi gazlar ve diğer radyoaktif maddeler karıştı. Japon hükümeti panik yaratmamak için halkına üç ay boyunca erimeleri bildirmede. 1.000 Hiroşima büyüklüğünde bomba ve parçalanmış uranyum, orijinal uranyumdan bir milyar kat daha fazla radyoaktif hale geldi. Çünkü yarı ömürleri saniyeler ile milyonlarca yıl arasında değişen 200'den fazla yoğun radyoaktif element yaratıldı. Neyse ki Japonya için kazanın ilk üç gününde rüzgâr batıdan esiyordu. Böylece radyasyonun %80'i Pasifik Okyanusu üzerine doğuya taşındı. Bununla birlikte, rüzgâr daha sonra güneydoğudan Fukuşima Eyaletinin büyük bir bölümünde esmeye başladı ve yeri yoğun bir şekilde serpinti ile kirletti. Tokyo da önemli miktarda kontaminasyona maruz kaldı. Dönemin Başbakanı Naoto Kan'a göre, Japon hükümeti o kadar endişeliydi ki, doğu kıyısındaki Fukuşima Daiichi de dâhil olmak üzere diğer reaktörler de risk altında olduğundan otuz beş milyon insanı Tokyo'dan tahliye etme planını düşünüyordu. İçin için yanan reaktörlerden kaçan binlerce kişiye radyoaktif dumanların ne yöne gittiği bildirilmedi^[4].

Türbin tabanında bulunan yüksek kirlilik seviyesindeki suya dikkatsizlik sonucunda maruz kalan üç çalışanın ayaklarında ve bacaklarında şüpheli radyasyon yanıkları bildirilmiştir. Bu çalışanlar hastanede tedavi edildikten sonra, dört günlük müşaadenin ardından taburcu edilmişlerdir. Diğer başka üç çalışanın ise radyasyon maruziyeti dışındaki nedenlerden ötürü sahada yaşamını yitirdiği ve

[†] 7381 Sayılı Nükleer Düzenleme Kanunu, İş Sağlığı ve Güvenliği ile İş Kazası ve Meslek Hastalıkları konusunda herhangi bir bilgi içermemektedir. Fakat "Güvenlik" kavramı içinde daha genel geçer bir ifade olarak değerlendirilmiştir. Bu sebeple nükleer tesislerdeki *güvenlik iklimi* değerlendirilmelidir.

[‡] Bu konuda hazırlanmış bir yönetmelik için bkz. Nükleer Tesislere İlişkin Yetkilendirme Yönetmeliği.

[§] Türkçede Japonca şehir adları İngilizcede olduğu gibi yazılmamaktadır. Örneğin; Hiroşima, Hiroshima olarak yazılmadığı gibi Fukuşima da Fukushima olarak yazılmamalıdır.

^{**} Daha detaylı bilgi için bkz. The Fukushima Daiichi Accident Report by General Director, 2015, Vienna: International Atomic Energy Agency (IAEA) Publishing, p. 130.

birkaçının da yaralandığı belirtilmiştir ^[3]. Fakat ölüm nedenleri konusunda yetkililer tarafından bir açıklama yapılmamıştır.

Radyoelementleri solumak insan sağlığına zararlıdır. Miharü kasabası dışında, bu insanlara ölümcül radyoaktif iyotun tiroid bezleri tarafından alınmasını engelleyecek inert potasyum iyodür tabletleri de sağlanmamıştır. Bununla birlikte, kazadan sonraki günlerde yakınlardaki yapraklı sebzelerde son derece yüksek seviyelerde radyoaktif iyot^{††} bulunmasının ardından, Fukuşima Tıp Üniversitesi personeline iyot tabletleri dağıtıldı ^[4].

Hokkai Adası'ndan Japon Denizi'ne doğru akıntılara dayalı olarak radyoaktif kirlenmenin Kore'den Çin'e etki alanı hazırlanmıştır. Pasifik Okyanusu'na bu kontamine su salımı, Kore ve Çin hükümetleri ve vatandaşları için önemli endişelere neden olmuştur. Kyodo News'e göre Japonya Hükümeti, felaketlerden bu yana Fukuşima tesisinden Pasifik Okyanusu'na her gün 300 ton kontamine su aktığını duyurmuştur. Deniz kirliliği nedeniyle, Kore hükümeti sekiz vilayette 49 deniz ürününü yasaklamıştır. Çin hükümeti Japonya'nın on vilayetinden her türlü deniz ürününü almayı yasaklamış ve güvenlik endişeleri Kore ve Çin'de turizmi ve balıkçılığı önemli ölçüde azaltmıştır ^[6].

Radyoaktif kirlilik Japonya'nın birçok bölgesinde sebze, meyve, et, süt, pirinç ve çayda yaygın olarak görüldü^{‡‡}.

Erime olayına maruz kalmış üç reaktörün asla sökülmeceği veya hizmet dışı bırakılmayacağı tahmin edilmektedir. Hatta TEPCO (Tokyo Elektrik Enerjisi Şirketi) bunun en az otuz ile kırk yıl süreceğini söylemektedir. Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu, çok yüksek miktarda radyasyon seviyeleri sebebiyle herhangi bir ilerleme kaydetmeden önce kırk yıldan daha fazla zaman geçeceği tahmininde bulunmuştur^{§§}.

Hasarlı reaktörlerden ilk depremde yapısal olarak ciddi şekilde hasar görmüş olan 4. bina, Richter ölçeğine göre 7'den büyük bir deprem sırasında çökebilir ve 100 fit yükseklikte tehlikeli bir şekilde duran soğutma havuzundaki 100 tondan fazla taze radyoaktif yakıtı alarak çökebilir. Felaket senaryosuna göre soğutma suyu dağılacak ve yakıt çubukları kendiliğinden tutuşarak Çernobil'de salınan sezyumdan on kat daha fazla sezyum salarak kuzeyin çoğunu kirletecektir ^[4].

Bir nükleer reaktörde meydana gelmiş bir kazanın etki alanı 30km ve katları şeklinde hesaplanmaktadır. Nükleer reaktörün merkez kabul edildiği ilk 30km yarıçapındaki dairesel alan $[\pi \times r^2]$ formülüyle 2827km²'lik bir alanın etkilendiği öngörüsünde bulunmaktadır^{***}.

Japon yetkililerce, vatandaşların radyasyon maruziyetinin önüne geçebilmek için santralin 30km çapındaki alanda bulunan herkes tahliye edilmiştir.

Fukuşima Daiichi NGS kazasında çok sayıda personel 100 milisievert üzerinde radyasyon dozuna maruz kalmıştır^{†††}. Bu oran kabul edilebilir doz aşım miktarının çok fazla üzerindedir. Radyasyon maruziyetleri milisievert (mSv) cinsinden hesaplanır. Bu hesaplama göre röntgen (göğüs filmi çekimi) 0,05 mSv, on saatlik uçak yolcuğu 0,03 mSv ve yıllık ortalama doğal doz ise 2,4 mSv'dir^{†††}.

ÇERNOBİL NGS KAZASI

26 Nisan 1986 tarihinde, nükleer endüstri tarihinin en büyük kazası, eski Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği'nde günümüzde Belarus, Rusya Federasyonu ve Ukrayna ortak sınırlarına yakın olan Çernobil Nükleer Güç Santrali'nin 4. Ünite'sinde yaşanmıştır. Meydana gelen patlamanın sonucunda 4. Ünite tamamiyle tahrip olmuş ve radyonüklitler çevreye salınmıştır.

^{††} Radyoaktif iyotun miktarı, kilogram başına 1,9 milyon bekerel olup bir bekerel, saniyede bir radyasyon parçalanmasıdır.

^{‡‡} Daha detaylı bilgi için bkz. The Fukushima Daiichi Accident Report by General Director, 2015, Vienna: International Atomic Energy Agency (IAEA) Publishing, p. 17.

^{§§} Daha detaylı bilgi için bkz. The Fukushima Daiichi Accident Report by General Director, 2015, Vienna: International Atomic Energy Agency (IAEA) Publishing, p. 148.

^{***} Daha detaylı bilgi için bkz. The Fukushima Daiichi Accident Report by General Director, 2015, Vienna: International Atomic Energy Agency (IAEA) Publishing, p. 87.

^{†††} Daha detaylı bilgi için bkz. The Fukushima Daiichi Accident Report by General Director, 2015, Vienna: International Atomic Energy Agency (IAEA) Publishing, p. 13.

^{†††} Daha detaylı bilgi için bkz. The Fukushima Daiichi Accident Report by General Director, 2015, Vienna: International Atomic Energy Agency (IAEA) Publishing, p. 102.

Çernobil kazası, doğası gereği emniyetsiz bir reaktör tasarımının sonucudur. Buna ek olarak, operatörler tasarımdaki eksiklikler hakkında bilgilendirilmemiş ve işletimle ilgili tüm prosedürleri yerine getirmemişlerdir. Tüm bu etmenlerin bir araya gelmesi en kötü nükleer kaza türüne yani reaktörün birkaç saniye içinde tamamen yerle bir olmasına sebep olmuştur. Çernobil kazası sebebiyle en yüksek radyoaktif kirlilik düzeyleri Belarus, Rusya ve Ukrayna'da ölçülmüştür^[3].

1986-1987 yılları arasında ilk etapta aralarında NGS personeli, itfaiye, sağlık ve diğer çalışanların olduğu 350.000 kadar kişi, kaza sonrasındaki temizleme çalışmaların yer almıştır. 1986 yılının baharında ve yazında 30km çapındaki yasak bölgede bulunan 116.000 kişi radyoaktif maddelerle kirlenmiş yerleşim birimlerinde tahliye edilmiştir. Sonrasında ise yaklaşık 220.000 kişi başka bölgelere yerleştirilmiştir^[3].

Radyasyona maruz kalmış 134 acil durum çalışanına Akut Radyasyon Sendromu (ARS) teşhisi konulmuştur. Maruziyet sonrasındaki üç ay içerisinde yirmi sekiz hasta yaşamını yitirmiştir. Kazadan 25 yıl sonra, Belarus, Rusya ve Ukrayna'da radyasyona maruz kalan 0-18 yaşları arasındaki 6000 kişide tiroit kanseri teşhis edilmiştir^[3].

Çernobil NGS kazasında görev alan acil durum personelinin maruz kaldığı radyasyon dozu 16.000 mSv olarak ölçülmüştür^{§§§}. Fakat olaydan sonra Sovyet yetkililer tarafından kaç kişinin yüksek doz sebebiyle öldüğü konusunda resmi ve net bir açıklama yapılmamıştır. Fakat günümüzde radyoaktif etkileri devam eden bölge kaynaklı radyasyon sebebiyle kaç kişinin etkilendiği ve dünya üzerinde doğrudan veya dolaylı olarak^{****} kaç kişinin zarar gördüğüne dair somut ve bilimsel çalışmalar henüz yapılmamıştır.

Çernobil NGS kazasının asıl sebebi ihmal ve psikolojik baskıdır. Çünkü santral yönetimi tarafından aksaklıklar göz ardı edilmiştir. Gücü 30MW'a düşen reaktör, sistemin kendini tekrar toplaması için bir gün (24 saat) süreyle kapatılmamıştır. Mühendis ekibin ihmali ve/veya üzerindeki psikolojik baskı sebebiyle reaktörün içindeki bor çubuklarının (yaklaşık 200 adet) çıkarılması ve soğutma suyunun kesilmesi sistemi işlemez hale getirmiştir. Reaktörün gücü kısa bir süre içinde amaçlanan test öngörülerinin üstüne çıkmış, acil durum butonu çalışmamış, 33.000MW'a çıkan ve yükselmeye devam eden reaktörün gücü devasa büyüklüğe ulaşmış, reaktör nükleer bombaya dönüşmüş ve patlamıştır^{††††}.

Çernobil NGS kazasını, iş sağlığı ve güvenliği açısından bir iş kazası olarak değerlendirdiğimizde; endüstriyel tesis çalışanlarının üzerindeki psikolojik baskı (mobing) ve bu psikolojik baskıdan mütevellit ihmaller zinciri kaynaklı olduğu sonucuna varılmıştır. Yoksa, bile bile konusunda son derece uzman bir ekibin böyle bir işe kalkışması akla mantığa ve bilime uygun düşmemektedir.

Çernobil NGS kazası doğrudan ülkemizi de etkilemiştir. Coğrafi olarak geniş kapsamlı radyolojik kirlenmeye sebep olduğundan sınırları aşan afetler kategorisinde yer almaktadır.

İyonlaştırıcı Radyasyon (IR) tıbbi, endüstriyel, çevresel, enerji üretimi ve güvenlik uygulamaları için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle, IR içeren kazalar/olaylar meydana gelebilir ve yaralanma derecesine göre kategorize edilmesi gereken çok sayıda potansiyel kayıp içerebilir. Ayrıca, birçok ülke nükleer enerjiyi bir enerji kaynağı olarak kullanmaktadır ve kontrolsüz bir nükleer kazanın anlık (örn. ısılanma, yaralanma ve deterministik etkiler) ve radyasyon kaynaklı hastalıkların (stokastik etkiler, örn. kanser) gelişme riskinin artmasına yol açabilecek uzun vadeli sonuçları olabilir. Nisan 1986'daki Çernobil gibi kazalarda çok sayıda kişi (halk, nükleer santralde çalışan personel, ilk müdahale ekipleri ve tasfiye memurları) açığa çıkan radyasyona maruz kalmıştır. Daha yakın bir tarihte, bir deprem ve tsunami sonucu Fukushima Daiichi santralinde meydana gelen kazadan 1.000.000'dan fazla kişi etkilenmiştir. Radyoaktif kaynakları kullanan bir terörist saldırı gibi kötü niyetli eylemler de mümkündür. Örnek olarak kalabalık bir yerde Radyolojik Yayılma Cihazı (RDD, kirli bomba) veya toplu taşıma sisteminde gizlenmiş bir Radyolojik Maruziyet Cihazı (RED) verilebilir^[7].

§§§ Daha Detaylı bilgi için bkz. Poyarkov (2018) Nükleer tehlikeler hakkında temel bilgiler: Çernobil ve Fukushima'dan alınan dersler, Ankara: AFAD Yayını.

**** Radyasyona maruz kalan bireylerin kazadan yıllar sonra doğan çocuklarında uzuv eksikliği ve çeşitli hastalıklar tıbben tespit edilmiştir.

†††† Daha detaylı bilgi için bkz. https://tr.wikipedia.org/wiki/%C3%87ernobil_Facias%C4%B1 (Erişim Tarihi: 29.8.20259).

NÜKLEER KAZALARDAN ALINMASI GEREKEN DERSLER

2011 yılında Japonya’da meydana gelen deprem ve tsunaminin ardından Fukuşima’daki nükleer santrallerde yaşanan erime, bu ölçekte bir felaketin uluslararası ortakların desteği olmadan, yalnızca bölgedeki ulusal acil müdahale sistemleri tarafından yönetilip yönetilemeyeceği konusunda önemli bir tartışma yaratmıştır^[8].

Fukuşima Daiichi Nükleer Güç Santrali’nde (FDNPP) 11 Mart 2011 tarihinde meydana gelen Büyük Doğu Japonya Depremi’nin ardından yaşanan kazadan sonra, gerçeklerin doğrulanması ve çıkarılan dersler için birçok girişimde bulunulmuştur. Bu dersler; kazalar ve kazaların değerlendirilmeleri, acil durum hazırlığı-müdahalesi, radyolojik sonuçlar, kaza sonrası iyileştirme çalışmaları ve IAEA^{****}’nın kazalara müdahalesi olmak üzere altı maddeye ayrılmış ve raporda özetlenmiştir. Bu derslere dayanarak, Eylül 2012’de kurulan Nükleer Düzenleme Kurumu (NRA), insanları ve çevreyi korumak için NGS'lere ilişkin yeni düzenlemeler geliştirmiştir. Acil durum hazırlığı ve müdahalesi konusunda, kaza, radyoaktif madde yayılım tahmini, Çevresel Acil Durum Doz Bilgisi Tahmin Sistemi’nin (SPEEDI) bir nükleer felaket durumunda yerel sakinleri korumak için bir önlem olarak kullanılmasının zor olduğunu ortaya koymuştur. Bunun nedeni, salımın ne zaman ve ne kadar olduğunu gerçek zamanlı olarak kavramanın imkansız olması ve meteorolojik tahminin belirsizliğini ortadan kaldırmanın imkansız olmasıdır. NRA, SPEEDI hesaplamalarına dayanarak koruyucu önlem kararları vermenin maruz kalma riskini artırabileceğini belirlemiştir. Başka bir deyişle radyoaktif maddelerin salımından sonra acil bir durumda tahliye ve geçici yer değiştirme gibi acil veya erken koruyucu önlemlere acil radyasyon izleme ölçüm değerlerine göre karar verilmiştir^[8].

Böylece, önleme sistemi, nükleer işletmeciler, hükümet ve bölge sakinleri arasındaki iletişim ve bölge sakinleri için barınma ve tahliye gibi koruyucu eylemler, IAEA güvenlik standartları uyarlanarak nükleer tesisin bulunduğu her belediyede radyasyon izleme sonuçlarına dayanacak şekilde geliştirilmiştir. Ancak, yeni önleme sisteminde komşu bir ülkeden radyoaktif serpentinin gelişine yönelik bir radyasyondan korunma stratejisi bulunmamaktadır. FDNPP kazasında karşı önlemler konusunda, bölge sakinlerinin yakınında ölçülen radyasyon izleme bilgileri sadece ilk müdahale olarak değil, aynı zamanda sonraki risk iletişimi ve dekontaminasyon^{§§§§} yoluyla çevresel iyileşme için bir endeks olarak sürekli kullanılmıştır. Bu nedenle FDNPP kazası, yerleşim alanlarında sürekli radyasyon izlemenin yanı sıra Kapsamlı Nükleer Test Yasağı Anlaşması Örgütü (CTBTO^{*****}) tarafından işletilen Uluslararası İzleme Sistemi (IMS) gibi uluslararası izleme ve uyarı sistemlerinin önemini vurgulamıştır^[17,28].

1945’ten 1980’e kadar yüzlerce nükleer silah denemesi birçok radyoaktif maddeyi yeryüzüne yaymış ve günümüze kadar bir düzineden fazla nükleer kaza meydana gelmiştir. Bunlar uzun bir süre yeryüzünde radyoaktif serpinti olarak birikmiştir. Serpentinin dağılımı, iklim koşulları/toprak tipleri ile iyi bir şekilde karakterize edilmiştir. Çernobil kazası, komşu ülkeleri etkileyen radyoaktif madde salımının miktarı ve zamanlaması öngörülemeyen en büyük nükleer santral kazası örneğidir. Kaza sadece tahliye bölgesinin dışında değil, aynı zamanda birçok Avrupa ülkesinde de önemli ölçüde kirlenmeye yol açmıştır. Yakın zamanda, Ekim 2017’de atmosferik radyoaktif kirlenmenin izlenmesinde yer alan çeşitli Avrupa ağları tarafından önemli bir ¹⁰⁶Ru salım tespit edildi. Aktivite konsantrasyonuna, geri yörünge analizine ve kimyasal değerlendirmelere dayanarak, Rusya’daki Mayak nükleer kompleksi olası bir kaynak olarak kabul edilmektedir. Ayrıca, gelecekte olası bir kaza olarak, Güney Kore’deki Kori-3 NGS’de kullanılmış yakıt depolama havuzlarında bir soğutma sistemi arızasına ilişkin bir model hesaplaması bulunmaktadır. Bu arıza bir yangına yol açabilir ve büyük miktarda ¹³⁷Cs çevreye salınarak Japonya’nın geniş alanlarını kirlitebilir. Japonya’daki bir yerleşim bölgesinde radyolojik riskin değerlendirilmesi için, 1950’lerden bu yana çeşitli yerel bölgelerde herhangi bir kazaya salımı tespit

**** IAEA; International Atomic Energy. Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu “UAEK” veya Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı; 175 ülkenin yer aldığı, Birleşmiş Milletler bünyesinde faaliyet gösteren bağımsız, bilim ve teknoloji temelli uluslararası bir örgüt olup 29 Temmuz 1957 tarihinde kurulmuştur.

§§§§ Dekontaminasyon; Kişi, araç, malzeme ve binalar ile alanlar üzerinde etki gösteren kimyasal, biyolojik, radyoaktif ve nükleer maddelerin etkilerinin giderilmesi veya sağlık açısından tehdit oluşturmayacak seviyeye indirilmesi için yapılan işlemlerdir. Bu işlemlerin uygulamada en fazla yapılanı su ile temizlemedir. Su püskürtülen itfaiye sistemleri ya da basınçlı su tanklarından temiz suyun afetzedeki üzerine sıkılması yoluyla uygulanır. Dekontaminasyon işlemi esnasında kadın ya da erkek bireylerin mahremiyetine bir hâl gelmemesi için kapalı alanda yapılması veya mümkünse paravan gibi önlemler alınmalıdır.

***** CTBTO; The Comprehensive Nuclear Test-Ban Treaty Organization. Kapsamlı nükleer testlerin Yasaklanması Anlaşması Örgütü’nün İngilizce kısa adıdır^[12].

etmek amacıyla çevresel radyasyon gerçek zamanlı olarak veya belirli bir süre boyunca sürekli olarak izlenmiştir. Tüm veriler Çevresel Radyasyon Veritabanında depolanmıştır. Şu anda NRA tarafından desteklenmektedir, kamuya açıktır ve bugün çeşitli çevresel radyoaktivite verilerinin benzersiz bir koleksiyonunu içermektedir. Radyasyon bilgilerinin 60 yılı aşkın bir süredir sürekli olarak biriktirilmesine rağmen, bu izleme sisteminin gerçek zamanlı bir uyarı sistemi olarak nasıl kullanılacağı veya yerleşim alanlarında acil bir durumda nasıl kullanılacağı konusunda herhangi bir tartışma yapılmamıştır [8].

Acil bir durumda erken uyarı, sürekli radyasyon monitörlerinden hızlı uyarı sinyali gerektirir, böylece brüt beta aktivite konsantrasyonu (haftalık veri alma) ve ^{137}Cs birikim yoğunluğu (aylık veri alma), hava doz hızı ile uyarı sinyali verdikten sonra iç/dış maruziyeti tahmin etmek için daha ileri önlemler için kirlenmiş alanı değerlendirmeyi planlamaktadır.

Japonya, Çin anakarasından gelen sarı kumun ardından yağmur mevsimine girmektedir. Günlük olarak, havadaki radyoaktif maddeler yağış nedeniyle yer yüzeyine düşer, aşağı doğru karasal γ -ışını flaşı hava doz hızında geçici bir artışa neden olur. Komşu ülkede gelecekte meydana gelebilecek olası felaketlere hazırlıklı olmak amacıyla birden fazla veya tüm lokasyonlarda radyasyon seviyelerindeki değişiklikleri kontrol etmek için sistematik analiz içeren yeni bir tespit yöntemi önerilmektedir [8].

NÜKLEER KAZA ACİL DURUM PLANLAMASI (NKADP)

NGS kuruluşlarınca hazırlanacak acil durum planlaması olası bir kazanın etkileri konusunda bilgiler içermelidir. Bu dokümanda yeni kurulacak NGS veya mevcut NGS ilgili olması muhtemel kazalar hakkında genel bilgiler, radyolojik risklerin kapsamı, insan, diğer canlılar ve çevrenin sağlığı ve radyasyonun türler üzerindeki etkisiyle tarımsal ürünler üzerindeki etkilerinden bahsedilmelidir. Örneğin, yüksek dozda radyasyona maruz kalmış tarım ve hayvancılık ürünleri (süt dahil) tüketilmemelidir^{††††}.

Radyonüklit ve diğer tehlikeli maddeleri içeren bir kaza durumunda halkın göstermesi gereken uygun davranış ve alınması gereken güvenlik tedbirleri hakkında zamanında bilgi verilmelidir. Kazanın olası etkilerinin doğasını anlamak için radyonüklitler veya ciddi saha dışı zarara sebep olabilecek diğer tehlikeli maddeler hakkında gerekli olabilecek diğer bilgiler mevcut olmalıdır. Örneğin, radyonüklitler veya ciddi saha dışı zarara sebep olabilecek diğer tehlikeli maddeler hakkında bilgi kartıdır. En önemlisi, tehlikeli tesislerde ilgili kararlara ve toplum acil durum hazırlık planlarının hazırlanmasına etkin bir şekilde halkın katkıda bulunabilmesi konusunda teşvikler sağlanmalıdır [3].

†††† Bireylerin yaralanma ve maruz kalma derecelerine göre önceliklendirilmesi ve değerlendirilmesinin esas olduğu bu tür olayların ardından acil durum yönetiminin ilk adımları sırasında, fiziksel dozimetri genellikle mevcut veya güvenilir olmadığından, radyasyona maruz kalmanın zamanında değerlendirilmesini sağlamak için biyodozimetri kullanılabilir. Ayrıca, çok sayıda 'endişeli iyi' bireyin belirlenmesi ve güvence altına alınması, sağlık hizmetleri altyapısının bunalmasını önlemek için büyük önem taşımaktadır. Büyük ölçekli bir radyolojik olayın ardından, hastaların radyasyona maruz kalma derecesine göre hızlı bir şekilde tıbbi ve radyolojik triyajının yapılması gerekecektir. Taranması gerekebilecek kişi sayısı tek bir laboratuvarın veya hatta bazı laboratuvarların kapasitesini kolayca aşabilir. Ağ oluşturma, dünyanın çeşitli bölgelerinde radyolojik bir kazadan sonra mantıklı ve önemli bir acil müdahale stratejisi olarak kabul edilmiştir. Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) halihazırda mevcut olan Radyasyon Acil Tıbbi Hazırlık ve Yardım Ağı (REMPAN) buna iyi bir örnektir. IR'nin biyolojik etkilerinin incelenmesiyle ilgili kritik faktörlerden biri olan ve vücutta yaygın olarak dağılan doz tahmini bir kaza senaryosunda çok önemlidir. Biyodozimetrik çalışmaların çoğunda, kullanılabilirliklerinin yanı sıra IR'ye karşı çok hassas oldukları bilinen insan lenfositleri kullanılmaktadır. IR'ye maruz kalan insanların biyodozimetri yoluyla izlenmesi, büyük ölçüde kararsız kromozomal sapmalar, özellikle dikentrik kromozomlar (altın standart test olarak kabul edilir), kararlı kromozomal sapmalar gibi sitogenetik göstergelerin değerlendirilmesine dayanmaktadır, yani resiprokal translokasyonlar (floresan in situ hibridizasyon (FISH)/kromozom boyama kullanılarak) ve mikronükleus (MN), prematüre kromozom kondensasyonu (PCC) veya radyasyona bağlı çift sarmal kırıkları için c-H2AX testi gibi diğer sitogenetik biyobelirteçler. c-H2AX testi haricinde, tüm bu teknikler çok zaman alıcıdır. Bireylere verilen dozlar, elektron paramanyetik rezonans (EPR) ve termal veya optik olarak uyarılmış lüminesans (TSL, OSL) ölçümleri kullanılarak dozimetrik analizlerden de tahmin edilebilir. Maruz kalan kişi sayısı çok yüksek olduğunda ve/veya zamanında müdahale gerektiğinde tek bir laboratuvarın kapasitesi yetersiz kalabilir. Bunlar dışı gibi biyolojik materyallere (biyo-fiziksel tahlil) veya cep telefonu bileşenleri gibi birey tarafından taşınan inorganik materyallere (fiziksel tahlil) uygulanabilir. Bu tür testler, biyodozimetrik testlerden elde edilen tüm vücut doz tahminlerini tamamlamak için spesifik doz tahminlerine yönelim sağlar (Gil et al, p. 137).

Olası bir NGS kazasında kazanın merkez noktasında yarıçapı 30km olan bir dairesel alan çizilerek bu alan içinde kalan tüm bireyler derhal tahliye edilmelidir. Tahliyede herhangi bir gecikme olursa ve kaza riski üst seviyede ise halkın sağlığını korumak için sağlık kuruluşlarınca halka kararlı iyot tabletleri dağıtılmalıdır. Bu tabletler insanlarda oluşabilecek tiroit kaynaklı rahatsızlıklar için koruyucu ilaç görevi görmektedir.

Önceden veya salımdan hemen sonra alınması şartıyla, kararlı iyot dağıtımı, radyoaktif iyot solunumunun zararlı sonuçlarından koruyucu etkili bir yöntemdir. Kararlı iyotun, tiroit bezini baskılayıcı radyoyodin alınımından önce ya da hemen sonra alınması yüzde 90'nın üzerinde daha etkilidir. Radyoyodin maruziyet sonrası kullanılırsa, etkisi hızlıca azalacaktır. Tiroit baskılayıcı sadece tiroiti korur, reaktör kazalarından kaynaklanan erken ölümlerin büyük çoğunluğu tüm vücudun maruz kaldığı dozdanır. Dolayısıyla, tiroit baskılayıcıları için kararlı iyot dağıtımının, tahliye ve sığınma çalışmalarını geciktirmemesine özen gösterilmelidir ^[3].

Planlanan yeni veya mevcut nükleer güç santralleriyle ilgili olası kazalar hakkında genel bilgiler sağlanmalıdır. Bu bilgiler radyolojik risklerin doğasını ve kapsamını ve insan sağlığına veya çevreye, mülkiyete dahil olası etkileri içermelidir.

TEPCO Fukushima Daiichi Nükleer Santralindeki durum karşısında, Japonya 11 Mart 2011 tarihinde nükleer acil durum ilan etmiş ve nükleer felaketin daha da büyümesini önlemek için acil durum operasyonları başlatılmıştır ^[9].

Acil durum doz limitlerinin artırılması konusundaki görüşme 14 Mart 2011 tarihinde öğleden sonra yapılmıştır. MHLW^{****} doz limitlerinin artırılmasını talep etmiştir. MHLW, radyasyona maruz kalma sebepli sağlık etkilerini temel alarak değişiklikleri değerlendirmiştir. Yönetmelikler 1998 yılında yapılan değişikliklerde acil durum doz limitleri olarak maruziyet doz limitlerinin 100 mSv'de tutulmasını öngörmüştür. Çünkü Uluslararası Radyolojik Koruma Komisyonu (ICRP^{*****}) tavsiyelerinin Japon mevzuatına dahil edilmesini değerlendiren Radyasyon Konseyi, Haziran 1998 tarihli raporunda *mevcut acil durum maruziyet doz limiti olan 100 mSv'nin değişmesine gerek olmadığını* belirtmiştir. ICRP, 1990 tavsiyesinde ciddi kazalar durumunda, acil kurtarma operasyonları sırasında radyasyona maruz kalmanın hayat kurtarma operasyonları dışında 500 mSv'yi geçmemesi gerektiği belirtilmiştir. MHLW'nin, acil durum sınırı olarak 500mSv kullanan ICRP 1990 tavsiyesine atıfta bulunarak acil durum maruziyet doz sınırını yükseltmekten başka seçeneği yoktur. Nükleer acil durum beyanı kapsamında, MHLW etkilenen santraldeki nükleer felaketin genişlemesini önlemek için yeterli acil durum müdahale eylemlerine ihtiyaç olduğunu kabul etmiştir ^[9].

Ancak MHLW, bilinen etkilere dayanarak ve acil durum çalışanlarında akut radyasyon sendromlarından kaçınmak için 1990 ICRP tavsiyesinde belirtilen 500 mSv'lik sınırı aşan 250 mSv'lik dozu acil durum doz sınırı olarak kullanmaya karar vermiştir. Lenfosit hücrelerinde kromozomal bozukluklara neden olan minimum doz 250 mSv'lik radyasyon maruziyetidir. Ancak bu etki klinik semptomların başlamamasıyla net olarak tanımlanamaz. Klinik bir semptom olarak geçici lökopeniye neden olan 500 mSv radyasyona maruz kalma seviyesidir. Sonuç olarak enfeksiyona karşı direnci azaltabilir ^[9].

Yapılan çalışmalarda reaktörlerin stabilizasyonundan önce, yeni gelenler için acil durum doz limitleri 250 mSv'den 100 mSv'ye düşürülecektir. Reaktörlerin stabilize edilmesinin ardından, acil doz sınırının geçici olarak 250 mSv'ye yükseltilmesini öngören muafiyet yönetmeliği yürürlükten kaldırılacaktır. Her iki durumda da acil durum çalışmalarının uygulanmasının aksatılmamasına gereken özen gösterilecektir.

Acil durum doz sınırlarının standart olarak belirlenmesiyle ilgili olarak, dış maruziyetler göz önünde bulundurulduğunda, 250 mSv'lik doz sınırı, dört nükleer reaktörü içeren büyük ölçekli nükleer kazaya cevap olarak gerekli acil durum operasyonlarının uygulanması için yeterlidir. Altı işçi 250 mSv'den daha fazla doza maruz kalmıştır. Ancak bu vakalarda maruziyet, kişisel koruyucu solunum cihazının uygunsuz kullanımından kaynaklanan dahili yollarla gerçekleşmiştir.

**** MHLW; Ministry of Health, Labour and Welfare. Japonya Hükümeti Sağlık, Çalışma ve Refah Bakanlığı'nın İngilizce kısa adıdır.

***** ICRP; International Commission on Radiological Protection. Uluslararası radyolojik koruma komisyonu; Görevi insanları, hayvanları ve çevreyi iyonlaştırıcı radyasyonun zararlı etkilerinden korumak olan bağımsız uluslararası STK'dır.

Mevcut kazada, 174 işçi 100 mSv'den fazla radyasyona maruz kalmıştır ve en yüksek maruziyet 680 mSv olarak ölçülmüştür. Japon hükümetinin, önümüzdeki yıllarında yüksek düzeyde maruz kalan bireyler için uygun radyasyon kontrol yöntemlerini belirlemesi gerekmektedir ^[9].

2011 yılında Japonya’da meydana gelen Fukuşima NGS kazası, Çernobil NGS kazasından sonra dünyanın gördüğü en büyük ikinci nükleer felaket olarak tarihe geçmiştir. Böylece ikinci bir nükleer kaza sonrası nükleer enerji konusundaki iyimser düşünceler değişmiş ve bu konunun savunucusu olan ülkeler dahi nükleer enerji kullanımına tereddütle yaklaşmaya başlamışlardır. Bazı ülkeler nükleer enerji santrallerini kapatma kararı almıştır.

Ülkeler doğaları gereği kısa vadeli planlar yapmamalıdır. Almanya nükleer santralleri devreden çıkarıp doğalgazda dışa bağımlı enerji talebiyle bunu gerçekleştirmeye çalışsa da 2022 yılının Ocak ayında patlak veren Rusya-Ukrayna Savaşı sebebiyle Rusya’nın kısıtlamaları sonucu birçok Avrupa ülkesinde enerji tüketiminde bir kriz ortamı oluşmuş, bundan en çok etkilenen ülkelerin başında da Almanya gelmiştir.

Fukuşima NGS kazası sonrasında sayısız araştırma yayınlanmıştır. Fakat dünyanın birçok ülkesinde Türkiye de dahil olmak üzere nükleer santraller yapılmaktadır. Türkiye’nin ilk nükleer santrali olan Akkuyu Nükleer Santrali inşa faaliyetleri devam etmektedir. Bu tür tesislerin daha kuruluş aşamasında planlanması gereken Endüstriyel Acil Durum Yönetimi yol haritası olması gereklidir.

Türkiye’de nükleer tesislerin kurulumu lisansa tabidir. Verilen bu lisansta kapsamlı acil durum planı zorunluluğu mutlaka olmalıdır.

Nükleer Tesislere Lisans Verilmesine İlişkin Tüzük uyarınca, nükleer tesis kurmak ve işletmek için Türkiye Atom Enerjisi Kurumu’ndan lisans almak zorunludur (Nükleer LT. m. 6). Bu tüzük hükümlerine göre lisans verilecek olan nükleer tesisler, lisans aşamasında ve işletme süresince tesislerin güvenlik standart ve mevzuatına uygun olarak yapılması ve lisans koşullarına uyulmasını sağlamak bakımından Türkiye Atom Enerjisi Kurumu’nun denetimine tabidir ^[10].

SONUÇ

21. yy dünyasının -tasarrufa taviz vermeyen- aşırı enerji ihtiyacı nükleer enerjiyi masum ve yeşil enerji gösterme eğilimdedir. Halbuki yenilenebilir enerji kaynakları açısından zengin olan ülkemizde nükleer enerjinin gerçek bir ihtiyaç olup olmadığı tartışılmaktadır.

Nükleer enerji yoğun teknoloji kullanılarak üretilen bir enerji olduğundan sistemin soğutulması için aşırı su ihtiyacı hasıl olmaktadır. Nükleer enerji santrallerinde soğutma ünitesinde kullanılan tonlarca su, sıcak su olarak doğaya geri verilmektedir.

Herhangi bir nükleer kaza sonrası yarı çapı 30 km olan bir alan derhal tahliye edilmekte ve buraya bir insan ömrünün yetmeyeceği bir sürede tekrar ayak basılmamaktadır.

Çernobil Nükleer Santrali kazasında da görüldüğü gibi canlı türlerinin DNA yapısında soydan soya kalıtsal olarak aktarılan genetik değişiklikler meydana çıkmaktadır. Örnek olarak; doğumda ampütasyon vakalarıdır.

Nükleer bir kaza sonrası meslek hastalığı oluşturabilecek bir etken madde Stronsiyum-90 elementi olup kimyasal olarak kalsiyum elementi gibi davranış gösterdiğinden vücuda girdiğinde kemiklerde birikme eğilimde olan radyoizotoptur. Bu nedenle yüksek düzeyde radyasyona maruz kalmış bireyler periyodik olarak muayene edilmeli ve kemik yapıları izlenerek sürekli kontrol altında tutulmalıdır.

7381 Sayılı Nükleer Düzenleme Kanunu ^[11], İş Sağlığı ve Güvenliği ile İş Kazası ve Meslek Hastalıkları konusunda herhangi bir bilgi içermemektedir. Bu bağlamda kanun metninde “işçi sağlığı”, “iş güvenliği”, “iş kazası” ve “meslek hastalığı” gibi kavramlardan hiç bahsedilmemiştir. Fakat “Güvenlik” kavramı içinde daha genel geçer bir ifade olarak değerlendirilmiştir. Bu kanun kapsamında detaylı hazırlanması gereken iki bölüm bulunmaktadır. Birincisi nükleer tehlikeler ve riskler konusunda hazırlanacak olan İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, ikincisi nükleer kazalar özelinde hazırlanacak olan İş Kazası ve Meslek Hastalıkları Bölümüdür.

KAYNAKLAR

[1] 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu.

[2] 5510 Sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu m.14 ve devamı.

[3] Poyarkov, V, 2018, Nükleer tehlikeler hakkında temel bilgiler: Çernobil ve Fukuşima’dan alınan dersler, Ankara: AFAD Yayını.

- [4] Caldicott, H, 2017, The Medical Implications of Fukushima for Medical Students, *Angelaki Journal of the Theoretical Humanities*, Vol. 22(3), 27-32.
- [5] Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik.
- [6] Oh, N., Okada, A. & Comfort, L.K, 2014, Building Collaborative Emergency Management Systems in Northeast Asia: A Comparative Analysis of the Roles of International Agencies, *Journal of Comparative Policy Analysis: Research and Practice*, 16(1), 94-111.
- [7] Gil, O. M., Vaz, P., Romm, H., De Angelis, C., Antunes, A. C., Barquinero, J. F., Beinke, C., Bortolin, E., Burbidge, C. I., Cucu, A., Monaca, S. D., Domene, M. M., Fattibene, P., Gregoire, E., Hadjidekova, V., Kulka, U., Lindholm, C., Meschini, R., M'Kacher, R., Moquet, J., Oestreicher, U., Palitti, F., Pantelias, G., Pastor, A. M., Popescu, I. A., Quattrini, M. C., Ricoul, M., Rothkamm, K., Sabatier, L., Sebestiã, N., Sommer, S., Terzoudi, G., Testa, A., Trompier, F. & Vral, A., 2017, Capabilities of the RENEB network for research and large scale radiological and nuclear emergency situations, *International Journal of Radiation Biology*, 93(1).
- [8] Turbat, B., Yoshida, K., Abd El-Hameed, A., Ruban, Y., Pareniuk, O., Nizam, Q. M. R., Nagashima, K., Benton, E. & Yasuda, N., 2022, Verification of historical radiation monitoring data at residential areas for nuclear emergency occurred in a neighboring country, *Journal of Nuclear Science and Technology*, 59(2).
- [9] Yasui. S., 2015, 250 mSv: Temporary Increase in the Emergency Exposure Dose Limit in Response to the TEPCO Fukushima Daiichi NPP Accident and Its Decision Making Process, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 12(4).
- [10] Eser, D., 2016, İş Sağlığı ve Güvenliğinde İşçi ve İşveren Dışındaki Aktörlerin Rolü, Bursa: Ekin Basım Yayın Dağıtım.
- [11] 7381 Sayılı Nükleer Düzenleme Kanunu
- [12] KBRN Terimleri Sözlüğü, 2021, Ankara: AFAD Yayını.
- [13] The Fukushima Daiichi Accident Report by General Director, 2015, Vienna: International Atomic Energy Agency (IAEA) Publishing.