

## Nükleer Enerjinin Riskleri ve Nükleer Santrallerde İş Sağlığı ve Güvenliği

### Risks of Nuclear Energy and Occupational Health and Safety in Nuclear Power Plants

Zeyneb KAHRAMAN , Keriman YÜRÜTEN ÖZDEMİR 

#### ÖZET

Nüfusun artışıyla birlikte enerji gereksinimi artmakta, ülkeler enerji ihtiyacını gidermek amacıyla nükleer enerjiyi tercih etmektedir. Özellikle küresel ısınmaya yol açmadığı ve yüksek oranda enerji ürettiği için nükleer santraller alternatif olarak görülmektedir. Bunun yanı sıra nükleer enerjinin çevre ve insan sağlığını tehdit edici boyutları da bulunmaktadır. Bu bağlamda nükleer santrallerde güvenlik kavramı çok önemlidir. Tasarım aşamasındaki güvenlik tedbirleri dışında santral çalışırken uygulanacak iş sağlığı ve güvenliği tedbirleri hem çevre hem de insan sağlığı açısından önem taşımaktadır. Nükleer tesislerde, gerekli önlemler alınmadığı takdirde çalışanlar iş sağlığı ve güvenliği anlamında tehlike ve risklere maruz kalmakta, kazalar sonucunda radyoaktif maddeler suya ve toprağa karışarak çevre kirliliğine neden olmaktadır. Ayrıca radyoaktif kirlenme ile insan sağlığı açısından büyük tehditler oluşmaktadır. Bu çalışmada, nükleer enerjinin riskleri, insan sağlığına etkileri ve meydana gelen nükleer kazalardan bahsedilmiştir. Makale, literatürde yer alan çalışmalar kapsamında hazırlanmış olup, nükleer tesislerdeki güvenlik uygulamaları ve beraberinde alınması gereken iş sağlığı ve güvenliği tedbirleri değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Nükleer enerji, güvenlik, iş sağlığı, radyasyon, risk

#### ABSTRACT

Due to the increasing energy requirement with the increase in population, countries prefer nuclear energy to meet their energy needs. Nuclear power plants are used as an alternative, especially since they do not cause global warming and produce high energy. Despite all its positive effects, nuclear energy also has dimensions that threaten the environment and human health. For this reason, the concept of safety in nuclear power plants is very important. Occupational health and safety measures are important for both the environment and human health when the power plant is operated without safety precautions during the design phase. If necessary precautions are not taken in nuclear facilities, employees are exposed to hazards and risks in terms of occupational health and safety, and as a result of accidents, radioactive materials mix with water and soil and cause environmental pollution. In addition, radioactive contamination poses great threats to human health. In this study, the risks of nuclear energy, its effects on human health and nuclear accidents are mentioned. The article was prepared within the scope of the studies in the literature, and the safety practices in nuclear facilities and the occupational health and safety measures that should be taken together were evaluated.

**Keywords:** Nuclear energy, safety, occupational health, radiation, risk

Zeyneb KAHRAMAN | zeynebkahraman@icloud.com  
Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu, Türkiye  
Kastamonu University, Institute of Science, Kastamonu, Turkey

Keriman YÜRÜTEN ÖZDEMİR | kozdemir@kastamonu.edu.tr  
Kastamonu Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Kastamonu, Türkiye  
Kastamonu University, Faculty of Fisheries, Kastamonu University, Turkey

Received/Geliş Tarihi : 21.03.2022  
Accepted/Kabul Tarihi: 28.04.2022

## I. GİRİŞ

Enerji, yaşam kalitesinin üst düzeye çıkarılmasında ve ihtiyaçların giderilmesinde vazgeçilmez bir unsurdur [1]. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde, büyüme ve gelişme açısından, enerji konusu en önemli faktör konumundadır [2]. Ayrıca sürdürülebilir ekonomi ve devletlerin kalkınmalarında büyük önem taşımaktadır [3].

Sanayileşme, kentleşme, teknolojik gelişmeler ve hızlı nüfus artışı nedeniyle, kaynaklar hızla tükenmekte ve enerji ihtiyacı artmaktadır [4]. Artan enerji gereksinimini gidermek amacıyla da petrol ve doğal gaz gibi fosil kaynaklı yakıt türleri sıklıkla kullanılmaktadır [5]. Dünyadaki enerji ihtiyacının, yaklaşık %80'i bu yakıtlardan sağlanmaktadır. Ancak fosil yakıtlar, özellikle iklim değişikliğinin en önemli nedeni olarak gösterilmektedir. Fosil yakıt kullanımı ile beraber, azot, karbondioksit, karbonmonoksit ve azot dioksit gibi sera gazları atmosfere salınmaktadır. Sera gazı salınımını artırması sonucunda da küresel ısınma, canlıların tümünü etkileyecek boyuta gelmiş, iklim değişikliği adı altında çevresel sorunlar ortaya çıkmıştır [6]. Bu da ülkeleri, çevre dostu olan ve dış olaylardan etkilenmeden enerji üretebilen nükleer santrallere yöneltmiştir [5]. Bununla beraber, fosil kaynakların ülkelere dağılımı dengesizdir ve birçok ülke ithalat yolu ile bu kaynaklara erişebilmektedir. Bu da ülkeleri dış kaynaklara bağımlı kılmaktadır [7]. Nükleer enerji, ülkelerin dışa olan bağımlılıklarını aşağıya çekmek ve enerji arz güvenliklerinin giderilmesi bakımından önemlidir [8]. Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı, nükleer teknolojinin enerji sektörü bakımından kaçınılmaz ve vazgeçilemeyecek bir kaynak niteliğinde olduğunu vurgulamaktadır [9].

Öte yandan nükleer enerji, bir takım riskleri barındırdığı için oldukça tartışılan bir konudur [6]. Nükleer santrallerde, gelişmiş güvenlik tedbirlerine karşın kaza riski bulunmaktadır [10]. Santralde meydana gelebilecek bir

kazada, çevre ve insan sağlığını etkileyen radyoaktif kirlenme meydana gelmektedir [11]. Ayrıca, meydana gelen bir nükleer kaza yalnızca bulunduğu ülkeyi değil, çevre ülkeleri de büyük ölçüde etkileyebilmektedir [8]. Bu anlamda özellikle 1986 yılındaki Çernobil Nükleer Santral kazasından sonra, nükleer santrallerde güvenlik konusu öncelikli konuma gelmiştir [12]. Nitekim kazaların önlenmesi için, uygulanacak güvenlik önlemlerinin yanı sıra, çalışanların çok iyi eğitim almış olmaları ve deneyimli olmaları gerekmektedir. Alınacak tüm tedbirlere rağmen, teknolojik ve teknik açıdan planlanması mümkün olmayan doğal afetler sonucu da kazalar olmaktadır. Bu tip kontrol edilemeyen kazalara yönelik, proaktif önlemler alınmalı, risk değerlendirilmesi çok iyi yapılmalı ve hiçbir aşama atlanmadan titizlikle yapılmalıdır [8].

Meydana gelen nükleer kazalara bakıldığında, çoğunun insan hatasından ve güvenlik eksikliklerinden kaynaklandığı, çevreyi ve insan sağlığını tehdit ettiği görülmektedir. Bu anlamda, yüksek risk taşıyan nükleer santrallerdeki iş sağlığı ve güvenliği uygulamaları önem taşımaktadır. Bu çalışma ile, nükleer santrallerdeki tehlike ve riskler göz önünde bulundurularak, alınması gereken güvenlik önlemleri ile iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarının değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Özellikle teknolojik gelişmeler ve dijital çağ ile birlikte artan enerji talebinin, yüksek oranda enerji üreten nükleer santraller ile karşılanmak istenmesi ve ülkemizde de işletmeye girmesi planlanan nükleer santraller (Sinop ve Mersin) göz önünde bulundurulduğunda çalışmanın önemi göze çarpmaktadır. Bu çalışma, ülkemizdeki nükleer santralde olası bir kazanın engellenmesi ve güvenli işletilmesi, farkındalığın artırılması ve yapılacak olan çalışmalara referans olması bakımından önemli görülmektedir.

## II. NÜKLEER ENERJİ

Teknolojik faaliyetlerle birlikte büyüme gösteren nükleer

leer enerji, 20. yüzyılın en önemli enerji üretim yollarından biridir [13]. Nükleer enerji kavramının tam olarak ortaya çıkması 1895'li yıllara dayanmaktadır [5]. 1896 yılında radyum, uranyum ve toryum gibi elementlerin kendiliğinden enerji açığa çıkarması sonucunda radyoaktivite keşfedilmiştir [14]. 1932 yılında Sir James Chadwick'in nötronu keşfiyle nükleer enerjiye giden yol açılmıştır. İkinci dünya savaşı ile birlikte, bu enerji bilimi hızla gelişme göstermeye başlamıştır [5]. Nükleer enerjiye yönelik ilk elektrik üretimi, 20 Aralık 1951'de ABD'de Experimental Breeder Reactor I isimli santralde gerçekleştirilmiştir [15]. Elektrik şebekesi için elektrik üreten ilk nükleer reaktör ise, 1954 yılında Sovyetler Birliği'nde üretime geçen Obninsk Nükleer Santrali'dir [10]. Bugün, dünya genelinde 30 ülkede nükleer santral bulunmakta [16], yaklaşık 450 reaktörden elde edilen enerji, dünyadaki elektrik arzının % 11'ine karşılık gelmektedir [17].

Ülkemizde, henüz elektrik üreten nükleer santral bulunmamasına karşın, uzun zamandır nükleer santral planları sürmektedir. Özellikle toplumsal ve ekonomik güvenlik bağlamında enerji gerekliliği göz önünde bulundurularak çalışmalar yapılmaktadır [16].

#### **A. Nükleer Enerji Kavramı**

Nükleer enerji, kelime anlamıyla çekirdek enerjisidir. Bu enerji, atom çekirdeklerinin parçalanması ya da birleşmesi ile meydana gelmektedir [5]. Günümüzde nükleer enerji, uranyum ve plütonyum gibi atomların parçalanması ile üretilmektedir [18].

Nükleer enerjinin en belirgin özelliği, az oranda birincil kaynak kullanarak sürekli şekilde, yüksek miktarda enerji üretmesidir [19]. Nükleer santrallerde enerji üretimi için kullanılan yakıtın, ucuz ve bol miktarda alınıp on yıl gibi uzun bir süre depolanabilmesi, dışa bağımlılığı azaltma imkânı sunmaktadır [5, 8]. Diğer taraftan, nükleer santral-

lerin kullanımı sonucunda atmosferi kirletecek herhangi bir gaz üretimi olmaz [8]. Nükleer santraller düşük bir miktarda karbondioksit salınımı yapar [20]. Bu sayede nükleer enerji, hava kirliliğini önleyerek küresel ısınmayı kontrol altına alma olanağı sağlar [21].

Nükleer santrallerde, güvenlik kriterlerine uyulduğunda ve gerekli önlemler alındığında, kaza riski çok azdır. Bu bakımdan nükleer santrallerin, insan sağlığı ve çevre açısından olumsuz bir etkisi de bulunmamaktadır [5, 22]. Bir nükleer santral, çevresinde yaşayanlara yıllık radyasyon dozu olarak doğal radyasyondan çok düşük bir doz yüklemektedir [15]. Nükleer enerji santrallerinden elde edilen veriler neticesinde; santralin yakın çevresinde yaşayan insanların alabileceği en yüksek doz miktarı yıllık olarak 0.05 mSv iken, ortalama olarak alınan doz ise 0.01 mSv'dir [5].

Ek olarak, nükleer enerjinin teknolojik gelişimi çok hızlıdır ve birçok kullanım alanı bulunmaktadır. Bunlardan en önemlisi ve başta geleni elektrik üretimidir. Bunun dışında nükleer enerji; tıpta, endüstride, tarımsal üretimde, gıda güvenliğinde, savunma sanayinde ve uzay araştırmalarında önemli ölçüde kullanılmaktadır [10, 14].

#### **B. Nükleer Enerjinin Riskleri, Çevre ve İnsan Sağlığına Etkileri**

Nükleer enerjinin ekonomik ve çevresel anlamda faydalı olduğu düşünülmeyle beraber, tehlike ve riskleri de barındırdığı bilinmektedir [23]. Radyoaktivite etkisinden dolayı nükleer santraller, üretim öncesinde, üretim sırasında ve üretim sonrasında radyoaktif atıklardan dolayı oldukça tehlikelidir [24].

Tedbirlerin yetersiz olması halinde, reaktör çekirdeğinin hasar görmesi ile radyoaktivite salımı en yüksek düzeyde olmaktadır. Olası bir kazanın etkisi, yakıtı kömür veya doğal gaz olan termik santrallerdeki bir kazanın etkisiyle karşılaştırılmayacak kadar büyük olabilmektedir. Bundan

dolayı nükleer santraller güvenlik sistemi üzerine inşa edilmek zorundadır. Özellikle, nükleer sızıntı durumu en çekilen risklerden biridir. Onarılması zor çevresel zararlar oluşmaktadır [8]. Nükleer santraller, yüksek miktarda enerjiyi ve radyoaktiviteyi büyük alanlara yayabilecek sıvı ve gaz taşıyıcıları içermektedir. Katı olan kimyasal maddeler geri dönüştürülürken, gaz ve sıvı olanları ekosisteme karışmaktadır. Bununla birlikte, nükleer santraller işletilirken reaktörler ısınmaktadır. Bu reaktörlerin ısınısını azaltmak için çok fazla suya gereksinim vardır. Kullanılan soğutma suları çevreye salınarak, çevre açısından olumsuz etkiler oluşturmakta ve doğa tahrip edilmektedir [5]. Ayrıca atıkların gömülmesi için gereken nakliye de büyük bir tehlike oluşturmaktadır [10].

Atmosfere yayılan radyoaktif gazlar, ışınlamayla ya da gıda zinciri yoluyla insanlara bulaşmakta ve insan sağlığını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Aynı zamanda, toprağın nükleer atıkları absorblaması ve toprakta yetişen maddelerin yenilmesi ya da bunlardan beslenen hayvanların et ve sütünün besin olarak alınması sonucunda insan vücudunda radyoaktif maddeler birikmektedir. Bu da çeşitli kemik hastalıkları ve kemik kanserine neden olmaktadır [25]. Bununla beraber, radyoaktif madde atıkları DNA yapısının değişmesine ve bozulmasına yol açarak hücrelerin ölümüne, genetik farklılıklara ve mutasyona yol açmaktadır [26].

### C. Nükleer Atıklar

Radyoaktif atıklar, radyoaktif madde ihtiva eden ve öngörülebilir bir kullanımı söz konusu olmayan katı, sıvı ya da gaz maddelerdir. Nükleer santrallerin çevreye verdiği zararlardan biri de nükleer enerjinin üretim sürecinde ortaya çıkan, radyoaktif atık oluşmasıdır. Nükleer enerji santralleri düşük oranda atık üretmesine karşın, radyoaktif olduğu için atıkların belirli işlemlere göre bertaraf edilmesi

gerekmektedir [27]. Oluşan atıkların çeşitli depolama ve bertaraf şekilleri vardır. Doğru uygulama ile nükleer atıkların etkisi en az düzeye indirilebilmektedir [28].

Nükleer enerji santrallerinin faaliyette kaldıkları süre içerisinde oluşturduğu atık türleri, içerdikleri radyoaktivite düzeyine göre düşük, orta ve yüksek seviyeli olarak adlandırılmaktadır. *Düşük seviyeli atıklar (Low-level Waste/LLW)*; özel koruyucu gerektirmeyen, az düzeyde radyoaktivite bulaşmış kağıt ve elbise gibi maddelerdir. Nükleer reaktörlerde üretilen tüm atıkların %90'ı bu grupta iken, toplam radyoaktivitenin yalnızca %1'ini bu atıklar oluşturmaktadır. *Orta seviyeli atıklar (Intermediate-level Waste/ILW)*; yüksek düzeyde koruyucu gerektirmeyen, reçineler ve kimyasal atıklardır. Hacim olarak tüm radyoaktif atıkların %7'si ve toplam radyoaktivitenin %4'ünü oluşturmaktadır. *Yüksek seviyeli atıklar (High-level Waste/HLW)*; koruyucu kap ve soğutma gerektiren, reaktörde kullanılmış olan atıklardır. Tüm radyoaktif atıkların, hacim olarak yalnızca %3'ünü oluştururken, toplam radyoaktivitenin %95'ini bu atıklar oluşturmaktadır [29]. Büyük bir kısmı çok yüksek radyasyon ve ısı yaymakla birlikte, en çok tartışılan atık türüdür [30].

Radyoaktivitesini uzun yıllar boyunca tutan bu atıkların yönetimi çok önemlidir. Sürecin sağlıklı biçimde yönetilebilmesi herkesin yararına olmaktadır. Bu anlamda Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı tarafından, radyoaktif atık yönetimi için ilkeler belirlenmiştir. 1995'te yayımlanan ilkelerin başlıkları: Çevrenin Korunması, Gelecek Nesillerin Korunması, Ulusal Sınırların Ötesinin Korunması, Gelecek Nesiller Üzerindeki Yükler, Ulusal Yasal Çerçeve, Radyoaktif Atık Oluşumunun Kontrolü, Radyoaktif Atık Üretimi ve Yönetim Bağımlılıkları ve Tesis Güvenliği şeklindedir [16].

### D. Nükleer Kazalar

Kaza ve olayların derecesi Uluslararası Nükleer ve Radyolojik Olay Ölçeğine göre tanımlanmaktadır. Uluslararası Nükleer ve Radyolojik Olay Ölçeği; nükleer santrallerde oluşan bir kazanın düzeyini gösteren ölçektir [8]. Şekil 1’de Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı tarafından belirlenen olay ve kaza tanımları yer almaktadır.

Şekil 1: Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı tarafından belirlenen olay ve kaza piramidi [31].



Bu ölçeğe göre 4, 5, 6, 7 ile belirlenen kazalar çok az sıklıkla oluşan ve sonuçları oldukça önemli olan kazalardır. 3, 2, 1 ile belirtilenler ise olay olarak nitelendirilir ve daha az önem arz etmektedir [8].

Şuan dünyada daha verimli ve alternatif bir kaynak olan, nükleer güç santralleri kullanılmaktadır. Birçok ülke, elektrik enerjisini bu santrallerden karşılamaktadır [5]. 1957 yılından itibaren nükleer santraller işletilmekle birlikte, bu süreçte operatör hatasından kaynaklanan çok sayıda

Tablo 1: Dünyadaki en büyük nükleer santral kazaları [32].

Yıl	Kaza	Yer	Kazanın Nedeni	Kaza Skalası
1979	Three Mile Island	Amerika Birleşik Devletleri	İşletim arızası, operatör hatası, ekipman kaybı.	Seviye 5
1986	Çernobil Nükleer Kazası	Eski Sovyetler Birliği	Çalışanların güvenlik mevzuatına uygun olmayan şekilde santralde deney yapmaları ile reaktörde yükselen ani güç.	Seviye 7
2011	Fukushima Nükleer Kazası	Japonya	9,0 şiddetinde deprem sonrasında meydana gelen tsunami sonucu sahile vuran 15 metre yüksekliğinde dalgalar.	Seviye 5

kaza olmuştur [8]. Tablo 1’de, dünyada meydana gelen en büyük nükleer kazalar ve sebepleri verilmiştir.

Nükleer kazalar sonucunda çevreye yayılan radyoaktif maddelerle, hava, su, toprak ve binalar kirlenmiş, radyoaktif maddelerin uzun süreli etkisi nedeniyle, insanların bir bölümü evlerine ve yurtlarına dönemediğinden depresyona girmiş veya bu nedenle ölümler, intiharlar olmuştur [33].

### III. NÜKLEER GÜVENLİK VE İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ UYGULAMALARI

Nükleer güvenlik; nükleer tesislerde çalışan ve santral çevresinde yaşayan kişilerin, hem normal işletme şartlarında hem de kaza durumlarında kabul edilebilir seviyeden daha çok radyasyon dozuna maruz kalmalarını engelleyecek önlemler bütünüdür. Nükleer santrallerdeki kaza ihtimalinin azaltılması amacıyla, çalışmalar, santralin tasarım aşamasından itibaren başlamaktadır. Güvenlik marjları, kalite temini ve denetim uygulamalarıyla olası bir kazanın engellenmesi amaçlanmaktadır [34].

Bu kapsamda, nükleer santrallerdeki güvenlik önlemleri, “Derinliğine Savunma Stratejisi” çerçevesinde alınmaktadır. Bu stratejinin amacı; santrallerde meydana gelebilecek insan ve ekipman hatalarını ortadan kaldırmak, fiziksel bariyerlerin etkinliğinin devamını sağlamak ve fiziksel bariyerlerin işlevlerini yerine getirememesi halinde dahi halkın ve çevrenin zarar görmesini önlemektir. Bu strateji, beş ayrı seviyede uygulanmaktadır [35]:

1. **Normal işletme koşullarından sapmaların önlenmesi:** Nükleer santrallerin, değişimlere ve arızalara direnç gösterebilecek şekilde tasarlanmasıdır. Tasarımda, kanıtlanmış teknolojiler kullanılır ve insan hatalarını en az düzeye indirmek amacıyla, kontrol bilgisayarlarla yapılmaktadır.

2. **Sapmaların belirlenmesi ve olayların kazalara dönüşmesinin önlenmesi:** Olağandışı olayların gelişimini

önleyecek kapasitede “otomatik kontrol ve koruma sistemleri” ile, hataları, arızaları ve sapmaları haber veren ışıklı ve sesli uyarı sistemleri bulunmaktadır.

**3. Tasarım aşamasındaki kazaların güvenlik sistemleri ile önlenmesi:** Düşük olasılıklı kazaların etkilerini en aza indirmek ve sonuçlarını kabul edilebilir sınırların altında tutmak amacıyla, tasarım aşamasında özel mühendislik güvenlik sistemleri tasarlanmaktadır.

**4. Kazanın büyümesinin önlenmesi ve kaza koşullarının kontrol altında tutulması:** Aynı anda veya takip eden süreçte, kazaların veya arızaların olacağını içeren kaza senaryolarına ilişkin, sistemler/prosedürler hazırlanarak böyle bir durumun olma olasılığı en aza indirilmeye çalışılır.

Kazanın meydana gelmesi durumunda ise, güvenlik sistemleri ile, kazanın çevre ve insan sağlığına olumsuz sonuç vermesi önlenmektedir. Güvenlik sistemlerinin devre dışı kalması ihtimali göz önünde bulundurularak, yedek ya da aynı işlevi gören farklı sistemlerin devreye girmesi sağlanmaktadır. Bu sistemler birbirinden bağımsızdır ve çalışma prensipleri de birbirinden farklıdır.

**5. Kazaların sonuçlarının, saha içi ve saha dışı acil durum planları ve ağır kaza yönetimi kılavuzları ile hafifletilmesi:** Yüksek miktarda radyoaktif maddenin çevreye sızması halinde, tesis içinde ve tesis yakınındaki insanların en az düzeyde etkilenmesini sağlayacak “saha içi” ve “saha dışı” önlemler alınmakta, risklere karşı hazır olunmaktadır.

**Güvenlik bileşenleri;** çalışanların, halkın ve çevrenin alabileceği radyasyon miktarını sınırlandırmak üzere geliştirilmiş sistemlerdir [35]. **Koruyucu güvenlik sistemleri;** reaktörün soğutulmasını sağlayan, sistem ve teçhizatların arızalanmasını ya da bozulmasını önleyen sistemlerdir. **Erimiş yakıtı muhafaza etme düzeneği;** santralde gerçekleşen acil bir durum anında veya kaza anında, radyoaktif maddelerin

çevreye yayılmasını engellemektedir. Günümüz modern santrallerde, “erimiş yakıtı hapsedme düzeneği ile koruyucu kabuk” radyoaktivite yayılmasını engelleyen en önemli sistemlerdendir [36]. Koruma kabuğu: Kubbe şeklinde 30 m çap ve 40 m yükseklikte beton bir yapıdır. Kalınlığı 150 cm’dir. Mühendislik kriteri, üzerine düşecek bir uçağa karşı çökmeden ve betonda oluşacak kırılmaların iç kısımlara ulaşmayacak şekilde içindekileri korumasıdır. Koruma kabuğu ile radyoaktif kirlilik tutulabilmektedir [37]. **Kontrol sistemleri;** fonksiyonların yerine getirilmesi amacıyla kontrol sağlar ve güvenlik bileşenlerini harekete geçirir. Kontrol çubukları: Reaksiyonu kontrol altına alarak, sistem arızalansa bile bir bomba gibi patlamasını önler ve reaksiyonun azalarak sönmesini sağlar [38]. **Destekleme sistemleri;** güvenlik bileşenlerinin en iyi şekilde çalışmasını sağlamak üzere gerekli koşulları oluşturur [36].

Santraller, hem normal çalışma şartlarında hem de kaza halinde çevreye zarar vermeyecek şekilde tasarlanmalı, santral işletilirken meydana gelebilecek durumlar için gerekli tüm tedbirler alınmalı ve sistem bu hataları engelleyecek nitelikte olmalıdır [39]. Ayrıca, güvenlik sistemleri yapılandırılırken, yangın ve diğer dış kaynaklı doğa afetlerin yanı sıra arızalar da göz önünde bulundurulmalıdır [35].

#### A. İş Sağlığı ve Güvenliği Uygulamaları

6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununda mesleki maruziyetten kaçınmak ve korunmak için gereken tüm önlemlerin alınması gerektiği belirtilmiştir. Bu amaçla, nükleer radyasyonla çalışmalarda iş sağlığı ve güvenliğinin sağlanmasında; sistemli bir çalışma yoluyla risk değerlendirilmesi yapılarak, kontrol önlemleri ve koruyucu önlemler alınması gerekmektedir [40]. Nükleer santrallerde kazaların oluşmaması için risk değerlendirmesinin, bütün detaylar göz önünde bulundurularak titizlikle yapılması gerekmektedir. Özellikle, santraller tasarım ya da proje aşamasında

iken, risk değerlendirmesi yapılmalı ve tehlikeye sebebiyet verecek bütün ihtimaller çok iyi araştırılmalı, incelenmeli ve proaktif çalışmalar yapılmalıdır [8]. Risk analizleri ile riskler kabul edilebilir seviyeye indirilmelidir [41]. Acil durum planları hazırlanmalı ve müdahalelerin kimler tarafından yapılacağı, nasıl yapılacağı planlanmalı ve işlemler kayıt altına alınarak çalışanlar bilgilendirilmelidir. Yılda bir kez tatbikat yapılmalıdır [42]. Kazalar meydana geldiğinde ise, tekrar kaza oluşmaması için yeni metotlar geliştirilmeli ve aksaklıklar yeniden kontrol edilmelidir [8].

Çalışanların güvenliğinin sağlanması amacıyla; her işyerine özgün “radyasyondan korunma programı” yazılı olarak hazırlanmalı ve bu program uygulanmalıdır. Programın içeriğinde; doz sınırları, referans seviyeleri, zırlama durumları, kullanılacak olan koruyucu ekipmanlar, tehlike ve kaza durumunda yapılacaklar, personellerin sağlık denetimleri, kalite kontrolleri ve radyoaktif atıkların taşınması ve depolanması gibi konuları yer almalıdır. Radyoaktif atık yönetiminin güvenle işleyebilmesi adına, tüm radyoaktif maddeler kapalı şekilde tutulmalı ve bertaraf ile ilgili konularda ilgili kurumlarla koordinasyon sağlanarak işlemler kayıt altına alınmalıdır [41].

Radyasyonlu alanlarda çalışmalar yapılırken sınırlı saatlerde çalışılmalı ve bu alanlar uygun şekilde havalandırılmalıdır. Bu alanlar gerekli şekilde işaretlenmeli ve uygun uyarı işaretleri asılmalıdır. Alanlara yalnızca yetkili kişilerin girmesi sağlanmalıdır [42]. Güvenliğin sağlanması amacıyla temel güvenlik standartlarını uygulayabilecek yeterli eğitime ve deneyime sahip bir kişi belirlenmelidir [41]. Ayrıca, santralde çalışan personele, mevzuattaki aralıklarla eğitimler verilmeli ve gerektiğinde özel eğitimlerle desteklenmelidir [42]. Nitekim, nükleer santralde çalışacak kişilerin teknolojik gelişmelere uyum sağlayan, kendini geliştirmiş üst düzey personel olması ve santralde yeterli sayıda uzman personelin bulunması gerekmektedir [8].

Radyasyonla yapılacak çalışmalarda, işe alınacak kişilerin bu işlerde çalışmaya uygunluğunun değerlendirilmesi amacıyla işe başlamadan önce ve çalışırken, her yıl en az bir defa olmak üzere sağlık kontrolleri yaptırılmalıdır [42]. Çalışma süresince ayrıca, güvenliğin sağlanması için doz ölçümleri yapılmalıdır. Maruz kalınan doz seviyeleri, dozimetre adı verilen cihazlarla yapılmaktadır. Dozimetreler, alan ve personel monitörizasyonu şeklinde ölçüm yapmaktadır [43]. Kişinin maruz kaldığı yüksek dozların belirlenmesi ve kabul edilebilir seviyede tutulması amacıyla yapılan personel monitörizasyonu, vücuttaki dozun ölçümüyle gerçekleştirilmektedir. Alan monitörizasyonu ise, radyasyonla yapılan çalışmalarda, radyasyon düzeyini tespit etmek ve gerekli tedbirleri almak amacıyla, belirlenmiş alanlara sabitlenmiş dozimetreler ile ölçüm gerçekleştirilmesidir [44].

Nükleer radyasyonla çalışmalar yapılırken, gereksiz yere ışınlama yapmaktan kaçınılmalı ve çalışmalar kısa süre içinde yapılmalıdır. Çünkü, radyasyon kaynağının olduğu yerde uzun süre kalındığında alınan doz da artmaktadır. Bununla beraber, radyasyon kaynağından uzaklaştıkça alınan doz azalmakta ve radyasyon çevreye yayılarak yok olmaktadır. Ayrıca, radyasyon yayan kaynak ile kişi arasında yeterli kalınlıkta ve uygun soğurucu madde yerleştirme, yani zırlama yapılarak radyasyondan korunulmalıdır [45]. Kullanılacak maddeler özellikle, radyasyonu emen veya azaltan türden olmalıdır. Örneğin, beton ve toprak gibi malzemeler kullanılabilir [5].

Bununla birlikte, radyasyonun insan vücuduna ağız, deri veya solunum yoluyla girmesini önlemek amacıyla, radyasyonun olduğu işyerlerinde, çalışanların ihtiyaçlarına göre çeşitli kişisel koruyucu donanımlar temin edilmeli ve çalışanların bu ekipmanları, talimatlara uygun ve eksiksiz olarak kullandığı kontrol edilmelidir. Ayrıca, iş sağlığı ve güvenliği ve kişisel koruyucular ile ilgili talimatlar oluşturu-

arak çalışanlara tebliğ edilmelidir [5, 42].

Tüm bu önlemlere ek olarak, çalışanlar kendi davranışlarına dikkat ederek tehlikelerden kendilerini korumalıdır [5].

#### IV. NÜKLEER ENERJİ VE TÜRKİYE

Ülkemizde, herhangi bir ülke ile yapılan anlaşma sonucu kurulacak nükleer santrallerin denetlenmesi ve güvenle işletilmesi, ülkemiz adına Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yapılmaktadır [46].

Ülkemizin, nükleer enerji, iyonlaştırıcı radyasyon ve hızlandırıcı teknolojilerden barışçıl şekilde yararlanmasını sağlamak adına, 28 Mart 2020 tarih ve 57 sayılı kararname ile Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığına bağlı, Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu (TENMAK) açılmıştır [47, 48]. TENMAK bünyesinde; Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK), Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü ve Nadir Toprak Elementleri Araştırma Enstitüsü'nü barındırmaktadır. Kurumun hedefi, Türkiye'nin rekabet gücünü yükseltmek ve bunu sürekli olarak sürdürmektir. Bu anlamda, kendi faaliyet alanına uygun olarak yeni ürün üretmek, var olanı geliştirmek ve ülkemizi lider yapmak kurumun hedeflerindedir. TENMAK ayrıca kamu ve özel kişilerle iş birliği yürütmekte, bilimsel araştırmalar yapmakta ve teşvik çalışmaları yürütmektedir [48].

Bununla birlikte, TAEK tarafından gerçekleştirilen düzenleyici ve denetleyici faaliyetler, üst düzey atılımlar sonucunda, uluslararası gereklilikler de dikkate alınarak Nükleer Düzenleme Kurumu (NDK) bünyesinde yeniden düzenlenmiştir [49]. Bu kapsamda, 8 Mart 2022 tarih ve 95 sayılı Nükleer Düzenleme Kurumunun Teşkilat ve Görevleri Hakkında Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi ile, nükleer enerji ve radyasyona ilişkin faaliyetlerin yürütülmesi sırasında çalışanların, halkın, çevrenin ve gelecek nesillerin

korunmasına ilişkin olarak NDK kurulmuştur [50].

NDK, radyasyon faaliyetlerini değerlendirme, yetkilendirme ve denetleme görevlerini yürütmektedir. Bu kapsamda, nükleer güvenlik, nükleer tesis, radyasyon tesisi ve radyoaktif atık tesislerinin kurulması, işletilmesi ve kapatılmasına ilişkin tüm faaliyetler ile birlikte, nükleer maddelerin kullanılması, radyasyon kaynaklarının taşınması/depolanması ve radyasyon acil durum yönetimi faaliyetleri NDK tarafından düzenlenmektedir [50].

##### A. Türkiye'deki Nükleer Santral Çalışmaları

Türkiye'de enerjiye olan dışa bağımlılığı azaltmak amacıyla nükleer enerji alternatif olarak görülmektedir. Ülkemizde, bugüne kadar ki süreçte dört kez nükleer santral kurma girişiminde bulunulmuş ancak başarısız olunmuştur. Bu anlamda enerji gereksinimi karşılamak amacıyla, Akkuyu Nükleer Güç Santrali yapılmaktadır. Bu santral ile Türkiye'nin enerji ihtiyacının %5'i karşılanacaktır [3]. Türkiye'deki ilk nükleer santral olan, Mersin-Akkuyu santrali 2013 yılında Rusya tarafından 20 milyar dolara inşa edilmek üzere planlanmıştır. Santralin ömrünün 60 yıl olacağı ifade edilmekte [51] ve yılda 35 milyar kW elektrik enerjisi üreteceği tasarlanmaktadır. 2018 yılında santralin ilk ünitesinin çalışmalarına başlanmıştır. Santralin tamamlanmasının ise 2023 yılında olacağı belirtilmektedir [52]. Planlanan santralde birtakım güvenlik endişeleri vardır. Özellikle radyoaktif atık konusunun çözümlenmemesi, santralin temeli yapılırken yaşanan problemler ve ülkemizin iklim koşullarına göre inşaata başlanmaması bu endişe verici durumlardandır [53]. Santralin yapımında ülkemizin bazı konulara dikkat etmesi gerekmektedir. Bu anlamda teknolojik ve bilimsel olarak, santralin yapımı esnasında hiçbir aşamanın gizli kalmaması ve bütün ayrıntıların bilinmesi gerekmektedir [3]. Şekil 2'de Akkuyu Santrali'nin inşa sahası görülmektedir.



Şekil 2: Akkuyu nükleer santrali inşaat sahası [54].



İkinci santral ise Sinop İnceburun-Yalancıgerne bölümüne kurulacak olan nükleer santraldir. Bu santral için 2013 yılında Japonya ile anlaşma yapılmıştır. Japonya ile Türkiye arasında imzalanan anlaşmada, 2019 yılında maliyetlerin artması, sürecin istenilen şekilde işlememesinden dolayı Japonya Hükümeti projeden geri çekildiğini duyurmuştur [46]. Bu duyurudan sonra Japonya ile nükleer santral ortaklığının sonlandırıldığı açıklanmıştır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından, bu proje için başka bir tedarikçi ile anlaşma yapılabileceği belirtilmiştir [55]. Bu doğrultuda, Sinop Nükleer Santrali Projesi'ni, Elektrik Üretim Anonim Şirketi (EÜAŞ) tarafından kurulmuş olan EUAS International ICC şirketi üstlenmiştir. Sahada, kazı çalışmalarının 2021 yılında başlaması planlanırken, ilk reaktörün 2031 yılında devreye alınacağı ve her bir reaktörün kullanım ömrünün işletmeye alınmasından itibaren 60 yıl olacağı belirtilmiştir [56]. Santralde, radyoaktif atıkların

Şekil 3: Planlanan Sinop nükleer santral sahası [57].



nihai ve ara depolanması için Sinop alanının kullanılacak olması ve ülkemizin bu konuda deneyimli olmaması çok büyük risk teşkil etmektedir [46]. Yapılması planlanan Sinop nükleer sahası Şekil 3'te verilmiştir.

Nükleer güç santrali, ülkeler açısından birçok sorumluluğu barındırmaktadır. Bu sorumluluk, ülkelerin vatandaşlarına karşı yapması gereken bir borçtur. Santrallerin bulunduğu ülkelerde, santralin sebep olduğu risklerden dolayı hem ülkenin vatandaşının ve diğer insanların hem de çevrenin korunması amacıyla olası bir nükleer kaza anında ya da kazanın ardından sorumluluk alınması gerekmektedir. Bu sorumluluk özellikle, nükleer santrallerin güvenli bir şekilde işletilmesi, atık yönetimi ve çevre ve insan sağlığına yönelik birçok konuyu içermektedir. Belli başlı yasal düzenlemeler ile gereken çerçeve çizilmelidir [46].

Diğer taraftan, yalnızca ülkelerin değil toplumun da nükleer enerjiye ilişkin kabul düzeyi, politikaların sürdürülebilirliği açısından etkili bir faktör konumundadır [58]. Bu bakımdan, nükleer enerjinin geleceği için, ekonomik kaygıların yanı sıra halkın nükleer santrallere yönelik tutum ve davranışları da büyük önem taşımaktadır. Birçok ülke, halkın olumsuz tutumu nedeniyle nükleer enerjiyi, enerji politikalarından çıkarmıştır. Bu da nükleer enerjinin geleceğinin, büyük ölçüde halkın nükleer enerjiyi kabulüyle ilişkilendirildiğini göstermektedir [59].

## V. SONUÇ

Nükleer santraller tehlike ve risk boyutunda değerlendirildiğinde, oldukça tehdit edici bir faktördür. Nükleer santraldeki olası bir kazanın etkisi çok büyük olmakta, birçok sistem ve bileşen bundan etkilenmektedir. Özellikle, dünyada meydana gelen nükleer santral kazalarına bakıldığında, felaket niteliğinde olaylar yaşanmıştır. Kazalar kendi sınırlarını aşarak birçok ülkeyi etkilemiştir. Radyoaktif kirlenmeler meydana gelmiş, çevresel tehditler yaşanmıştır.

İnsanlar çeşitli hastalıklara yakalanmış ve anomalili doğumlar gerçekleşmiştir. Radyoaktif kirlilik sebebiyle insanlar evlerinden uzak kalmıştır. Bu gibi sorunlara yol açan nükleer santrallerde güvenlik boyutunun hayati önem taşıdığı çok net anlaşılmaktadır.

Santrallerde özellikle tasarım aşamasında, kaza anında oluşabilecek olumsuzluklara karşı, mühendislik önlemleri planlanmalı ve çağın şartlarına uygun olarak güvenlik önlemleri tasarlanmalıdır. İş sağlığı ve güvenliği anlamında ise, yapılacak risk değerlendirmesi büyük önem taşımaktadır. Risk değerlendirmesinde, muhtemel tehlike ve riskler belirlenerek olası kazaların önüne geçilmelidir. Bu anlamda risk değerlendirmesinin tecrübeli kişilerce yapılması gerekmektedir. Fukushima kazasında olduğu gibi deprem ve tsunami gibi doğal afetler de kazalara sebep olabilmektedir. Bu nedenle, tüm faktörler ve olasılıklar değerlendirilmeli ve acil durumlara karşı, acil durum planları hazırlanarak olay anında hareket tarzları benimsenmelidir. Ayrıca tesiste çalışacak olan personelin mutlaka yeterli eğitim ve deneyime sahip, güvenlik kültürünü benimsemiş olması gerekmektedir. Çernobil kazasına bakıldığında, kazanın operatör hatasından kaynaklandığı, santralde koruyucu kabuk olmadığı için ciddi boyutlarda hasar yarattığı ve çeşitli ülkelere radyoaktif yayılmaların olduğu görülmektedir. Bu da, tasarım aşamasındaki güvenlik sistemlerinin ve iş sağlığı ve güvenliği eğitimlerinin önemini açıkça ortaya koymaktadır. Ayrıca, çalışanların işe alımlarında eğitimin yanı sıra, uygulanacak sağlık kontrolleri ve çalışanlar için kullanılacak kişisel koruyucu ekipmanlar, çalışanların sağlığı adına önem taşımaktadır. Bu nedenle, çalışma alanlarında gerekli uyarı levhaları, kişisel koruyucu donanımlar ve doz ölçümleriyle radyasyondan korunma sağlanmalıdır.

Bununla birlikte, nükleer bir kaza, ekonomik anlamda birçok sorunu da beraberinde getirmektedir. Özellikle, kazalar sonucunda yapılan harcamalar, ülkelere ek maliyet-

ler oluşturmaktadır. Bu nedenle, nükleer santrallerde uygulanacak iş sağlığı ve güvenliği önlemleri, hem çevre ve insan sağlığı hem de ekonomik nedenlerden dolayı önem arz etmektedir. İş sağlığı ve güvenliğinin temelinde yatan “önlemek ödemekten daha ucuz ve insanidir” prensibinde, alınacak tedbirlerin önemi belirtilmektedir. İş sağlığı ve güvenliği uygulamaları ile sağlıklı ve güvenli bir çalışma ortamı oluşacak, doğamız ve insanımız zarar görmeden enerji üretimi sağlanmış olacaktır. Tüm bunlar göz önünde bulundurulduğunda, Ülkemizde işletmeye girecek olan Akkuyu Nükleer Güç Santrali için belirtilen tüm tehlike ve riskler dikkate alınmalı ve gerekli tüm planlamalar yapılmalıdır.

**YAZAR KATKILARI:** Z.K. çalışmanın kavramsal ve tasarım süreçlerinin belirlenmesi, yönetimi ve makale taslağının oluşturulması, K.Y.Ö. fiktörel içeriğin incelenmesi ile son onay kısımlarında katkı sağlamışlardır.

**ÇIKAR ÇATIŞMASI:** Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını, makalede araştırma ve yayın etiğine uyulduğunu beyan eder.

**FİNANSAL DESTEK:** Bu çalışmada herhangi bir kişi, kurum veya kuruluştan finansal destek alınmamıştır.

**ETİK KOMİTE ONAYI:** Çalışma İnsan örneği veya deneysel çalışma içermediğinden etik kurulu oluru gerekmemiştir.

## KAYNAKÇA

- [1] S. Erdoğan, *Arz Güvenliği Bakışı ile Türkiye’de Enerji Politikaları*, Ankara: Orion Kitabevi, 2016.
- [2] M.K. Güngör ve M.A. Buldurur, “Türkiye’de Enerji Potansiyelinin Doğru Kullanımı: Nükleer Enerji Yatırım Projelerinin Değerlendirilmesi,” *İdealkent Dergisi*, cilt 8, no. 21, ss. 292-314, 2017.
- [3] M. Özalp, “Türkiye’de Nükleer Enerji Kurulumunun Enerjide Dışa Bağımlılık ve Arz Güvenliğine Etkisi,” *Cumhuriyet Üniversitesi İİBF Dergisi*, cilt 18, no: 2, ss. 175-188, 2017.
- [4] E. Koç ve M.C. Şenel, “Dünyada ve Türkiye’de

- Enerji Durumu Genel Değerlendirme,” *Mühendis ve Makina Dergisi*, cilt 54, no. 639, ss. 32-44, 2013.
- [5] A. Ataş, “Nükleer Santrallerde Meydana Gelen Atıklar ve Zararları ile İlgili Bilgi Düzeyi Ölçülmesi,” Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2020.
- [6] E. Akyüz, “Türkiye’de Nükleer Enerjinin İklim Değişikliği ile Mücadelede Fırsatları ve Riskleri,” Uluslararası Küresel İklim Değişikliği Kongresi, 1-9, 2021.
- [7] D.S. Toprak, “Kömür ile ilgili bilgi ve belgeler,” <https://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2f1%2fDocuments%2fSayfalar%2fK%3%b6m%3%bcr+Nedir-.pdf> (erişim tarihi 21.09.2021), 2019.
- [8] A. Yıldız ve E. Köse, “Nükleer Santrallerde İş Kazaları,” *EJONS International Journal on Mathematic, Engineering and Natural Sciences*, Cilt 4, No. 13, ss. 93-111, 2020.
- [9] Anonim, “Nükleer güç santralleri,” <https://nukleer.enerji.gov.tr/trTR/Sayfalar/DunyadaNukleerGuc-Santralleri> (erişim tarihi: 01.10.2021), 2019.
- [10] K. Temurçin ve A. Aliğaçoğlu, “Nükleer Enerji ve Tartışmalar Işığında Türkiye’de Nükleer Enerji Gerçeği,” *Coğrafi Bilimler Dergisi*, Cilt 1, No. 2, ss. 25-39, 2003.
- [11] S. Gandhi ve J. Kang, “Nuclear Safety and Nuclear Security Synergy,” *Annals of Nuclear Energy*, Cilt 60, ss. 357-361, 2013.
- [12] G. Petrangeli, *Nuclear Safety*, Oxford: Elsevier, 2006.
- [13] M. A. Çetiner ve S. Sunal, “Dünyada Nükleer Enerji Kullanımı ve Yeni Yaklaşımlar,” *21. Yüzyıl*, Temmuz/Ağustos/Eylül, 193-204, 2008.
- [14] T. Belen, “Enerji Arz Güvenliği Risk Endeksi Oluşturulması İçin Bir Model Önerisi ve Nükleer Santrallerin Risk Üzerindeki Etkisinin Ölçülmesi,” Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, 2015.
- [15] G. Ördek ve M. Yıldırım, “Enerjide Son Seçim: Nükleer Enerji,” *Gaziantep Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, Cilt 6, No. 1, ss. 32- 44, 2007.
- [16] World Nuclear Association, <https://www.worldnuclear.org> (erişim tarihi 01.10.2021).
- [17] Enerji Tabii Kaynaklar Bakanlığı, “Nükleer enerji, Nisan 2019 tarihinde enerji,” <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Nukleer-Enerji> (erişim tarihi 21.09.2021).
- [18] G. Tuncer, ve M.F. Eskibalci, “Türkiye Enerji Hammaddeleri Potansiyelinin Değerlendirilebilirliği,” *İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yerbilimleri Dergisi*, Cilt 16, No. 1, ss. 81-92, 2003.
- [19] H. Doğanay ve O. Coşkun, *Enerji Kaynakları*, Ankara: Pegem Akademi, 2017.
- [20] N. Apergis, J.E. Payne, K. Menyah ve Y. Wolde-Rufael, “On the Causal Dynamics Between Emissions, Nuclear Energy, Renewable Energy, and Economic Growth,” *Ecological Economics*, Cilt 69, No. 11, ss. 2255-2260, 2010.
- [21] K. Menyah ve Y. Wolde-Rufael, “CO2 Emissions, Nuclear Energy, Renewable Energy and Economic Growth in the US,” *Energy Policy*, Cilt 38, No. 6, ss. 2911-2915, 2010.
- [22] A. Gülsoy, “Nükleer Santrale Yönelik Halkın Tutum ve Davranışları: Sinop ve Akkuyu Nükleer Santralleri Örneği,” Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Gümüşhane, 2018.
- [23] Ü.T. Gürsan, “Fen Öğretmen Adaylarının Belirsizliğe Tahammülsüzlükleri, Nükleer Santraller ile İlgili Risk ve Fayda Belirsizlik Algıları ve Nükleer Santrallerden Elektrik Üzerimi Konusunda Öğretim Öz Yeterlilikleri,” Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 2020.
- [24] A.B. Uşaklı, “Nükleer Radyasyon ve Etkileri,” *Türk Silahlı Kuvvetleri Dergisi*, Cilt 379, ss. 118- 126, 2004.
- [25] T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, “Nükleer santraller,” <https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/editordosya/N%C3%83%C5%93KLEER%20SANTRALLER.pdf> (erişim tarihi 17.04.2022), 2014.
- [26] N. Yeyin, “Radyasyonun Biyolojik Etkileri,” *Nucl Med Semin*, Cilt 1, No. 3, ss. 139-143, 2015.
- [27] Canadian Nuclear Safety Commission (CNSC), “Radioactive waste,” <http://www.nuclearsafety.gc.ca/eng/waste/index.cfm> (erişim tarihi 21.09.2021), 2018.
- [28] M. Bulucu, Nükleer Atıklar Nasıl Yönetiliyor, *Trend Analizi*, 2018.
- [29] World Nuclear Association, “Radioactive waste management,” <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-wastes/radioactive-waste-management.aspx> (erişim tarihi 17.04.2022), 2022.
- [30] Devlet Planlama Teşkilatı, “Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Elektrik Enerjisi Özel İhtisas Komisyonu Raporu,” DPT: 2569 - ÖİK: 585, Ankara, 2001.
- [31] International Atomic Energy Agency, “Nükleer kaza-

- lar,” <https://www.iaea.org> (erişim tarihi 02.10.2021).
- [32] Fizik Mühendisleri Odası, “Nükleer kazalar,” [www.fmo.org.tr](http://www.fmo.org.tr) (erişim tarihi 01.10.2021).
- [33] Y. Atakan, *Nükleer Reaktör Kazasından 10 Yıl Sonra Fukushima’da Durum ve Alınabilecek Dersler*, Ankara: TMMOB Fizik Mühendisleri Odası, 2021.
- [34] TENMAK, “Nükleer güvenlik,” [https://nuken.tenmak.gov.tr/ogrenci/bolum3\\_02.html](https://nuken.tenmak.gov.tr/ogrenci/bolum3_02.html) (erişim tarihi 01.10.2021).
- [35] Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, “Nükleer santrallerde güvenlik felsefesi ve güvenlik sistemleri,” <http://kurumsalarsiv.tenmak.gov.tr/handle/20.500.12878/647> (erişim tarihi 21.09.2021), 2018.
- [36] Anonim, “Nükleer santral güvenlik sistemleri,” <http://www.akkunpp.com/nukleer-santralgulenlik-sistemleri> (erişim tarihi 04.10.2021).
- [37] A. Tabarak ve Y. Khuatbyek, “Nükleer santraller,” <https://docplayer.biz.tr/10582793-Nukleer-enerji-santralleri.html> (erişim tarihi 20.09.2021).
- [38] A.Y. Özemre, A. Bayülken ve Ş. Gencay, *50 Soruda Türkiye’nin Nükleer Enerji Sorunu*, İkinci Baskı. İstanbul: Kaknüs Yayınları, 2000.
- [39] L.E. Sarıcı, “Nükleer santral nasıl çalışır,” <https://www.osti.gov/etdweb/servlets/purl/607610> (erişim tarihi 01.10.2021), 2004.
- [40] E. Keleş, “Nükleer Radyasyonla Çalışmaların İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi ve Nükleer Tıp Merkezi Risk Analizi,” Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Medeniyet Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul, 2021.
- [41] M. Ertuğrul, “İş Yerlerinde Elektromanyetik ve Radyasyona Maruziyet,” *İş Hijyeni* içinde, Z. Özkurt, Ed., Erzurum: Açıköğretim Fakültesi Yayını, 2019.
- [42] Çalışma ve Sosyal Güvenlik Eğitim ve Araştırma Merkezi, “Sağlık Sektöründe Tehlike ve Riskler,” Çalışma ve Sosyal Güvenlik Eğitim ve Araştırma Merkezi’nin Kurumsal Kapasitesinin Güçlendirilmesi Teknik Destek Projesi, Ankara, hazırlayanlar H. Akarsu ve M. Güzel, 2016.
- [43] S. Dönmez, “Radyasyon Tespiti ve Ölçümü,” *Nükleer Tıp Seminerleri*; Cilt 3, ss. 172-177, 2017.
- [44] Resmi Gazete, “Radyasyon Güvenliği Yönetmeliği,” <https://www.mevzuat.gov.tr/File/GeneratePdf?mevzuatNo=5272&mevzuatTur=Kuru mVeKuru lusYonetmeliği&mevzuatTertip=5> (erişim tarihi 20.09.2021).
- [45] Milli Eğitim Bakanlığı, *Radyoloji-Radyasyonun Zararlı Etkileri*, Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara, 2011.
- [46] Z. Pekmezci, “Nükleer Enerji Santrallerine Yönelik Yerel Halkın Bakışı: Sinop İli Örneği,” Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Samsun, 2020.
- [47] Resmi Gazete, “Bazı Cumhurbaşkanlığı Kararnamelerinde Değişiklik Yapılmasına Dair Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi,” <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2020/03/20200328-1.pdf> (erişim tarihi 01.10.2021).
- [48] TENMAK, <https://www.tenmak.gov.tr/haberlerslide/2598-biz-kimiz.html> (erişim tarihi 02.10.2021).
- [49] Nükleer Düzenleme Kurumu, “2020 yılı Faaliyet Raporu,” <https://webim.ndk.gov.tr/file/88c4b4a1-7994-403e-8bec-21a2a21b03c1> (erişim tarihi 17.04.2022).
- [50] Resmi Gazete, “Nükleer Düzenleme Kurumunun Teşkilat ve Görevleri Hakkında Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi,” <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2022/03/20220308-2.pdf> (erişim tarihi 17.04.2022).
- [51] Anonim, “Rusya inşaata 2013 yılında başlayacak”, [www.ekoavryasya.net](http://www.ekoavryasya.net) (erişim tarihi 20.09.2021).
- [52] Nükleer Akademi, “Akkuyu projesi,” <http://nukleerakademi.org/nukleersantralprojeleri/akkuyuprojesi> (erişim tarihi 01.10.2021).
- [53] A. Ataş, “A’dan Z’ye Akkuyu Nükleer Santrali İnşaatındaki ihmaller zinciri: Apartman inşaatı bile daha ciddi yürütülür,” <https://www.birgun.net/haber/a-dan-z-ye-akkuyunukleersantrali-insaatindaki-ihmaller-zinciri-apartman-insaatibile-dahaciddi-yurutulur262456> (erişim tarihi 20.09.2021).
- [54] L. Öcal, “Nükleer Enerji Politikalarının Yerel Düzeyde Taşınmaz Değerleri Üzerine Etkileri: Nükleer Santrallerin Akkuyu ve Sinop Bölgelerindeki Etkileri Üzerine Bir İnceleme,” Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Ankara, 2020.
- [55] Enerji Tabii Kaynaklar Bakanlığı, “Haberler: Sinop’ta nükleer santrali başka tedarikçi ile yapabiliriz,” <https://www.enerji.gov.tr/trTR/BakanlikHaberleri/Sinopta-nukleer-santralibaska-tedarikciile-yapabiliriz> (erişim tarihi 01.10.2021).
- [56] F. Bozdağ, D. Kale, A. Soysal ve G. Yapıcı, “Sinop Nükleer Güç Santrali Projesi Son Şekli Verilen ÇED Raporu’nun İnsan ve Çevre Sağlığı Açısından Değerlendirilmesi,” A. Soysal ve G. Yapıcı, Ed., ISBN 978-605-9665-71-1, Ankara: Türk Tabipleri Birliği Yayınları, 2022.
- [57] Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği, <http://www.tmmob.org.tr>

[www.tmmob.org.tr/icerik/emosinop-nukleer-santralprojesi-disariya-kaynak-aktarim-aracidir](http://www.tmmob.org.tr/icerik/emosinop-nukleer-santralprojesi-disariya-kaynak-aktarim-aracidir)  
(erişim tarihi 21.09.2021).

- [58] B.G. Göktepe, “Fukushima Sonrası Dünya Enerji Politikaları ve Nükleer Güç,” Türkiye 12. Enerji Kongresi, Ankara-Türkiye, 14-16 Kasım 2012.
- [59] H. Palabıyık, H. Yavaş ve M. Aydın, *Nükleer Enerji ve Sosyal Kabul*, Birinci Baskı, Ankara: Uşak Yayınları, 2010.