



# ÜLKEMİZDE KURULACAK NÜKLEER SANTRALLARIN RADYASYON GÜVENLİĞİYLE İLGİLİ ÖNERİLER



**Dr. Yüksel Atakan**  
Fizik Yüksek Mühendisi



# ÜLKEMİZDE KURULACAK NÜKLEER SANTRALLARIN RADYASYON GÜVENLİĞİYLE İLGİLİ ÖNERİLER

F M O Y. A t a k a n

**Dr. Yüksel Atakan**  
Fizik Yüksek Mühendisi

TMMOB FİZİK MÜHENDİSLERİ ODASI  
TEKNİK RAPOR  
ANKARA-2015

Fizik Mühendisleri Odası  
ISBN: 978-605-01-0672-5  
Ankara. 30.12.2014

#### **Fizik Mühendisleri Odası**

**Adres:** Mithatpaşa Caddesi Hürriyet Apartmanı 44/16 Kızılay – ANKARA  
**Tel:** 0 312 431 55 42  
**Fax:** 0 312 435 75 24  
**E-mail:** fmo @ fmo.org.tr

1.Baskı  
Kâzımkarabekir Cad. Kültür çarşısı no 7/ 4, 06070 İskitler / ANKARA  
Tel: 0312 341 99 30

#### **Kapak ve sayfa Tasarımı**

Ses reklamcılık ve matbaacılık.ltd.şti.

Kapak resmi, Akkuyu NGS'nı kuracak Rus Rosatom şirketinin  
internette yayımladığı resimlerden alınmıştır.

Ücretsizdir.

Her hakkı saklıdır. İzin almadan tümünün veya bir kısmının Elektronik, mekanik, ya da fotokopi yoluyla veya başka herhangi bir Yöntem ile basımı, yayını, çoğaltılması veya dağıtımı yapılamaz. Bu Teknik Rapor'un tanıtımı amacıyla yazar rapordan alıntıları, kaynak göstererek, yayımlayabilir.

# ÖNSÖZ

Ülkemizde nükleer teknolojinin elektrik enerjisi üretiminde kullanılmasına yönelik çalışmalar hızlı bir şekilde devam etmektedir. Yapılan ölkelerarası sözleşme ile Rus şirketi ROSATOM'a 4x1200 MW gücünde Mersin Akkuyu'da bir Nükleer Güç Santrali (NGS) kurulması izni verilmiş ve üretilen elektriğin belirlenen fiyatla bu şirketten satın alınması TBMM'den geçen yasayla garanti edilmiştir. Ayrıca Sinop'da benzer şekilde 1150 MWe'lik 4 reaktörlü (toplam 4600 MWe gücünde) bir santral yapımı için Japon MHI Mitsubishi Heavy Industries ve Fransız Areva ortaklığındaki şirketlerle bir anlaşmaya varılmıştır.

Fizik Mühendisleri Odası (FMO) olarak konuyla ilgili, değişik zamanlarda yapılan basın açıklamaları ve etkinlikleri ile konunun önemi ve yapılacak bu santrallerle ilgili öneriler, yetkili kurumlar ve kamuoyu ile paylaşılmıştır. NGS projelerinin önemini ve halkımızın bu projelerdeki duyarlılığını göz önüne alan Odamız, konunun uzmanlarının görüş ve önerilerinin alınarak bunların değerlendirilmesinin çok yararlı olacağını düşünerek, ayrıntılı bir yayın yapma kararı almıştır.

Almanya'da uzun yıllar nükleer güç santrali (NGS) projelerinde çalışmış ve ABD'deki NGS'lerinde bakım ve onarım çalışmalarında radyasyon dozlarının azaltılmasıyla ilgili olarak araştırmalar yapmış ve 80'li yılların ilk Akkuyu projesinde UAEA uzmanı olarak görev alıp katkıda bulunmuş olan Fizik Yüksek Mühendisi Dr. Yüksel ATAKAN'nın ülkemizde kurulması planlanan nükleer santrallerin radyasyon güvenliği ile ilgili, proje ve yapım aşamasında alınabilecek önlemleri özetleyen teknik raporunun, karar verici konumda olanlar, meslektaşlarımız ve kamuoyu ile paylaşılmasının yararlı olacağı değerlendirilmiş ve kendilerinden talep edilmiştir. Bu Teknik Rapor'da yazılanlarla ilgili görüş ve önerilerin Odamıza bildirilmesini rica ediyoruz.

Bu raporu, Sn. Dr. Yüksel ATAKAN son yıllarda çeşitli dergilerde ve sempozyumlarda yayımlanmış yazılarından alıntıları güncelleyerek ve kurulacak nükleer santrallerdeki **radyasyon güvenliğiyle** ilgili diğer önlemleri de göz önüne alarak hazırlamıştır.

Dr. Abdullah ZARARSIZ  
FMO XXIX. Dönem  
Yönetim Kurulu a.  
Başkan



# GİRİŞ

Bir nükleer güç santrali (NGS), „normal çalışma“ süresince elektrik üretirken ve bu arada olabileceği varsayılan en büyük bir kaza“ durumunda, santralin halka radyasyon etkisinin en az düzeyde kalması göz önünde bulundurularak santralin projesi ve yapımı gerçekleştirilmek zorundadır ki bu „Radyasyon Güvenliği“ koşulunun yerine getirilmesidir. Radyasyon güvenliğinin esas alındığı projelendirme ve yapı tasarımı, ülkemizde yapılacak NGS'ları için de öngörülmüş. Santralin normal çalışma ve olabilecek kaza durumlarında çevredeki doğal radyoaktivite ve radyasyon dozu düzeyini, artırarak halkı ne ölçüde etkileyebileceği ise aşağıdaki koşulların yerine getirilmesine bağlı olarak değişim gösterebilir. Bunlar:

-Santral projesinde öngörülen güvenli ve kaliteli teknik yapının tüm otomasyon sistemleriyle birlikte gerçekleştirme durumu,

- Personelin benzer santrallarda ve simülasyonlarda yetiştirilmesi, ilgili yönetmelik ve günlük iş kılavuzlarına aynen uyarak santral çalıştırması,

- Santraldan atık hava ve atık sular yoluyla salınan radyoaktif maddelerin, çevredeki insanlarda oluşturacağı radyasyon dozlarının, halk için belirlenen sınır değerlerin çok altında kalması olarak özetlenebilir.

Çevredeki radyoaktivite ve halkın etkilenebileceği radyasyon doz düzeyi, kaza durumlarında; kazanın cinsine, büyüklüğüne ve kazanın güvenlik sistemlerine etkisine göre değişebilir. Bu nedenle, bir NGS henüz proje ve yapım dönemlerinde, santralin güvenlik sistemleri, geliştirilmiş en yeni donanımı içerecek şekilde projelendirilebilir ve bu sistemler, uzmanlarca, ilgili uluslararası standartlara göre kalite kontrolleri yapılarak işletmeye açılabilirlerse, santralin, **nükleer ve radyasyon güvenliği**‘nin en üst düzeyde olması sağlanabilir. Böylelikle çevre ve halk, santral kaynaklı radyoaktivite artımından, doğal radyasyonun normal değişimiyle (salınımıyla) karşılaştırıldığında son derece az etkilenebilir. Bu amaçla, bir NGS‘ından atık hava ve sular yoluyla çevreye salınan radyoaktif maddeler, önceden arıtma ve filtrasyon gibi sistemlerin çalıştırılmasıyla azaltılıyor ki bu çeşit arıtma sistemleri tüm NGS‘da bulunuyor. **Ancak önemli olan bunların kalitesinin uluslararası standartlara göre ilgili bilirkişilerce onaylanarak santralin yapımının gerçekleştirilmesidir ki elinizdeki bu teknik raporun ana konusu da özetle budur.**

Radyoaktivite değerleri baca gazlarında, ender olarak, aşırı derecede arttığında ise, radyasyon monitorlarının ayarlandığı „ön alarm“ sınır değerinin tetiklenmesiyle bacadaki kapaklar otomatikman kapatılıp dışarıya hava akımı durduruluyor. Radyoaktivitesi bir miktar yüksek hava, ilgili arıtma sistemlerine geri gönderilerek tekrar temizleniyor, böylelikle çevrenin ve halkın radyoaktivite artımından etkilenmesi önleniyor. Almanya‘da 70‘li yıllardan bugüne kadar sürekli çalışan 20 kadar NGS‘ın çevrelerinde oluşturduğu radyasyon dozları, yukarıda açıklanan koşulların tam olarak yerine getirilmesi sonucu, doğal radyasyon dozlarıyla karşılaştırıldığında, çok düşük kalmıştır (Şekil 8- 10).

Bu teknik raporda, ülkemizde kurulacak NGS‘larının, ileride normal çalışma ve kaza durumlarında çevreye ulaşacak radyoaktivitenin en aza indirilebilmesi amacıyla, henüz proje ve yapımı dönemlerinde alınabilecek önlemler ayrıntılarıyla açıklanıyor ve önerilerde bulunuluyor.

Rapor; nükleer santrallardan radyoaktivitenin yayılmasıyla ilgili bilgileri, sınır değerlerini, radyoaktivite ölçüm sistemlerini, ilgili standartları ve nükleer santrallardaki önemli kazalardan elde edilen deneyimlerin sonuçlarını, ülkemizde kurulacak tüm NGS‘ları için geçerli olabilecek şekilde, Akkuyu NGS örneğiyle açıklamaya çalışıyor.

Bu raporda, ülkemizde henüz nükleer santrallar bulunmadığından, özellikle Almanya‘daki uygulama ve deneyimler örnek alınarak, aktarılıyor. Enerji Bakanlığı ve TAEK‘in internet sitelerindeki bilgilerle /1/ uluslararası ve diğer standartlar (IAEA, KTA) /2, 3 ve 7/ da raporda göz önüne alınıyor. Bu raporun eklerinde, kurulacak Akkuyu NGS‘ının teknik yapısı ve konuya yabancı olanlar için de radyasyon ve radyasyon dozuyla ilgili açıklayıcı bilgiler veriliyor, ilgili yayınlar yer alıyor. Yazı boyunca *italik harfler*, ilgili yayınlardan aynen aktarmalardır.

**Bölüm I konuya yabancı olanların, bu teknik rapordan yararlanabilmeleri için düşünülmüş olup, çıkarılan sonuçlar özetle baştaki bu bölümde veriliyor.**

Ayrıntılı ölçüm sonuçları ve değerlendirmelerin yer aldığı **Bölüm II ve Ek**'ler, bu konulara daha fazla ilgi duyanlarla NGS'leriyle ilgili çalışanlar için düşünülmüştür.

F M O Y. A t a k a n

# İÇİNDEKİLER

## Önsöz, Giriş

### Bölüm I

|                                                                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Ülkemizdeki Nükleer Santral Projeleri.....                                                                                                                              | 11 |
| 2. NGS'nin normal çalıştırılarak, personele, halka ve çevreye etkilerinin en aza indirilmesinin sağlanması amacıyla alınması zorunlu güvenlik önlemleri.....               | 14 |
| 3. Yüksek güvenlikte bir nükleer santralda bulunması gereken teknik özellikler ve Akkuyu nükleer santralının en üst güvenlikte olabilmesi için alınabilecek önlemler ..... | 15 |
| 4. Nükleer santrallardaki büyük kazalar ileride ülkemizde de olabilir mi?.....                                                                                             | 17 |
| 5. Büyük bir kaza durumu için önceden yapılması gerekenler.....                                                                                                            | 19 |
| 6. Özetle sonuçlar.....                                                                                                                                                    | 20 |

### Bölüm II

|                                                                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 7. Nükleer güç santrali çalışırken ortaya çıkan radyoaktif maddeler.....                                                                                 | 21 |
| 8. Nükleer santrallardan çevreye salınan radyoaktivitenin sınırlandırılması Almanya'daki Otomatik Ölçüm Sistemleri ve Çevre Halkı'nda Oluşan Dozlar..... | 23 |
| 9. Türkiye'de Planlanan Nükleer Santralin Ölçütleri ve Radyasyon Ölçüm Sistemleriyle ilgili Bazı Öneriler.....                                           | 31 |
| 10. Akkuyu NGS'nin insana ve çevreye etkilerini en aza indirebilmek için proje ve yapım sırasında hangi denetimler gereklidir?.....                      | 31 |
| 11. NGS çevresindeki radyoaktivite ve radyasyon artımının ölçümlerle belirlenmesi.....                                                                   | 34 |
| 12. Kullanılmış yakıt elemanları için bekletme havuzları.....                                                                                            | 35 |
| 13. Radyoaktif Atıklar.....                                                                                                                              | 36 |

### Ekler

|                                                                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ek 1: Akkuyu Nükleer Güç Santralının (NGS) Ana Teknik Yapısı.....                                                                      | 37 |
| Ek 2: Rus VVER Nükleer Santral Modellerinin Gelişimine Bir Bakış.....                                                                  | 38 |
| Ek 3: Rus Üçüncü Kuşak Nükleer Santrallarının Gelişimi ve Önemli Özellikleri.....                                                      | 39 |
| Ek 4: Enerji Bakanlığı web sayfasındaki açıklamalar.....                                                                               | 40 |
| Ek 5: Basınçlı reaktör kazanı (kabi) ve içindeki parçalarla ilgili KTA 3204 standardına göre yapılması gereken kalite kontrolleri..... | 41 |
| Ek 6: Radyoaktif madde, Radyoizotop, Radyonüklid, Radyasyon dozu kavram ve birimleri.....                                              | 43 |
| Ek 7 : Kaynaklar ve ilgili yayınlar.....                                                                                               | 46 |





# BÖLÜM I

## 1. ÜLKEMİZDEKİ NÜKLEER SANTRAL PROJELERİ

Bilindiği gibi ülkemizde 1981'den beri NGS yapımı için dört ayrı girişimde bulunulmuş, bunlardan bazıları proje aşamasında diğerleri ise ihale aşamasında kalarak, yüksek maliyet nedeniyle sonuçlanamamıştır.

En son olarak Yap-İşlet modeli ile Akkuyu'da yapılacak 4800 MW gücündeki NGS izni, TBMM'nin 2010'da onayladığı yasayla Rus ROSATOM'a verilmiştir.

İkinci NGS yapım izninin ise Japon MHI Mitsubishi Heavy Industries ve Fransız Areva şirketler ortaklığına verilmesi gündemdedir. Sinop NGS'yla ilgili ayrıntılı bir sözleşme henüz yapılmamıştır (Aralık 2014). Bunlarla ilgili ayrıntılar aşağıdaki çizelgede sunulmuştur.

|          | Reaktör Tipi         | MWe  | Yapımına başlama Tarihi | İşletmeye Açılışı (Plan) |
|----------|----------------------|------|-------------------------|--------------------------|
| Akkuyu 1 | VVER-1200            | 1200 | 2015                    | 2019? 2021?              |
| Akkuyu 2 | VVER-1200            | 1200 | 2017                    | 2021                     |
| Akkuyu 3 | VVER-1200            | 1200 | 2018                    | 2022                     |
| Akkuyu 4 | VVER-1200            | 1200 | 2019                    | 2023                     |
| Sinop 1  | Atmea1               | 1150 | 2017                    | 2023                     |
| Sinop 2  | Atmea1               | 1150 |                         | 2024                     |
| Sinop 3  | Atmea1               | 1150 |                         | ?                        |
| Sinop 4  | Atmea1               | 1150 |                         | ?                        |
| 3.NGS    | AP1000 or CAP1400 x4 |      |                         |                          |

(Kaynak: <http://www.world-nuclear.org>)



4 reaktörlü Akkuyu NGS maket resmi / Kırmızı beyazlı olanlar, kubbeli reaktör binalarının bacalarıdır / 1, 10/.



## A. AKKUYU NÜKLEER SANTRAL PROJESİ (Enerji Bakanlığı web sayfasından /1)

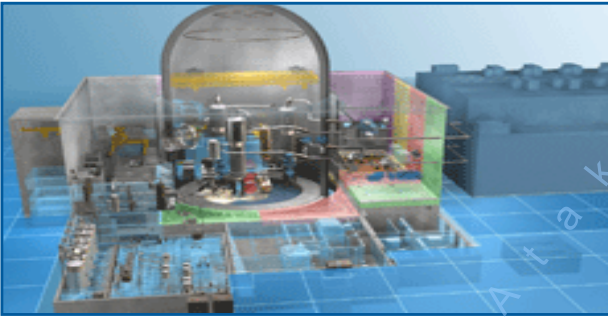
- 12 Mayıs 2010 tarihinde “Türkiye Cumhuriyeti Hükümeti ile Rusya Federasyonu Hükümeti Arasında Türkiye Cumhuriyeti’nde Akkuyu Sahası’nda Bir Nükleer Güç Santralinin (NGS) Te-sisine ve İşletimine Dair İşbirliğine İlişkin Anlaşma” imzalanmıştır.
- Anlaşmaya istinaden Mersin Akkuyu Sahası’nda 4800 MW toplam kurulu güce sahip VVER 1200 tipi 4 reaktör kurulacaktır.
- 13 Aralık 2010 tarihinde Akkuyu NGS Elektrik Üretim A.Ş. adı ile Proje Şirketi kurulmuş ve faaliyetlerine başlamıştır. Proje Şirketi % 100 Rus sermayeli ancak Türkiye Cumhuriyeti kanunlarına tabi bir anonim şirkettir.
- Akkuyu NGS Projesi, ülkemizde tek kalemde yapılan en büyük yatırımdır.
- Akkuyu Sahası 2011 yılında Proje Şirketi’ne tahsis edilmiştir.
- Proje Şirketi tarafından 26 Mayıs 2011 tarihinde tam kapsamlı mühendislik ve saha etüt çalışmaları başlatılmıştır. Proje Şirketi bugüne kadar sahada depremsellik, tsunami, meteo-roloji, jeoloji çalışmaları yapmıştır.
- Kasım 2011’de Proje Şirketi tarafından Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu’na (EPDK) elektrik üretim lisansı başvurusu yapılmıştır.
- Aralık 2011 tarihinde Proje Şirketi Çevre Etki Değerlendirmesi (ÇED) Başvurusunu yap-mıştır.
- Elektrik üretim lisansının alınmasını takip eden 1 ay içerisinde Türkiye Elektrik Taahhüt Ticaret A.Ş. ile Proje Şirketi arasında elektrik satınalma anlaşması (ESA) imzalanacaktır.
- Proje kapsamında Rusya’da 600 Türk öğrencinin eğitilmesi planlanmaktadır. 2011 ve 2012 yıllarında toplam 117 öğrenci Rusya’ya Mephi Üniversitesine gönderilmiştir ve eğitimleri sür-mektedir. 2013 yılında ise 100 öğrencinin daha Rusya’ya gönderilmesi planlanmaktadır.
- Öğrenciler 1 yıl Rusça, 4 yıl akademik eğitim, 3 yıla kadar Rusya’daki santrallerde stajın ardından Akkuyu Projesinde operatörlükten yöneticiliğe kadar farklı alanlarda çalışabileceklerdir.
- Proje Şirketi öğrencilere ayda 500 Dolar burs vermekte, yurt ve eğitim masraflarını karşı-lamaktadır.
- Mersin ve Büyükşehirli’de Halkı Bilgilendirme Merkezleri açılmıştır.
- Ayrıca NGS inşaatının en yoğun döneminde yaklaşık 12.000 kişi sahada çalışacaktır. Bu kişilerin büyük bir kısmı Türk vatandaşları olacaktır.
- Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı ile nükleer altyapının gözden geçirilmesi projesini baş-latılmıştır. Nükleer altyapı ile ilgili 19 başlık altında (nükleer mevzuat, atık yönetimi, nükleer güvenlik, çevre, insan kaynakları planlaması vb.) mevcut durumumuzun analiz edilecek ve geleceğe yönelik projeksiyon çalışmaları yapılacaktır.
- İlk ünitenin 2019 yılında elektrik üretmeye başlaması planlanmaktadır.
- Diğer ünitelerin ise birer yıl arayla devreye alınması planlanmaktadır.
- Akkuyu NGS’nin işletme dönemi 60 yıl olarak öngörülmektedir’.

## B. SİNOP NÜKLEER SANTRAL PROJESİ

3 Mayıs 2013 tarihinde Türkiye Cumhuriyeti Hükümeti ile Japonya Hükümeti arasında Siноп'ta NGS tesisine ve işletimine dair anlaşma imzalanmıştır /1/.

Medya'daki bilgilere göre: Sinop Nükleer Enerji Santrali'nde, yukarıdaki çizelgede ayrıntılarıyla verildiği gibi Japon MHI (Mitsubishi Heavy Industries ve Fransız Areva ortak girişimi ile geliştirilen üçüncü kuşak<sup>1</sup> Atmea üretimi Atmea-I tipi 1.150 MW'lık basınçlı sulu 4 reaktör kullanılacaktır (bkz. aşağıdaki şekil).

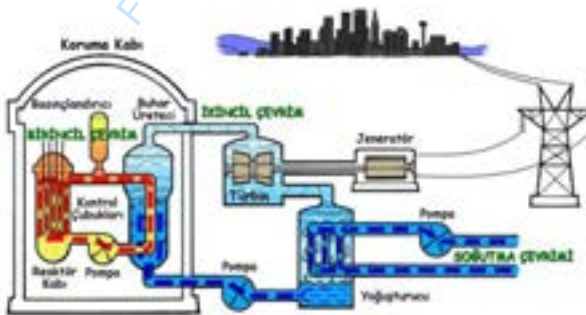
Sinop NGS'nin yapımına 2017'de başlanması ve 2023'de elektrik üretmesi planlanıyor. Henüz başka bir ülkede işletmeye açılmamış olan Atmea-I tipi basınçlı bir su reaktörü olan Finlandiya 'Olkiluoto 3-NGS'nin 2003'de başlanan yapımının, çeşitli sorunlar nedeniyle çok gecikerek 2016'da bitirilmesi umuluyor (2003 yılında projelendirilen ve 3 milyar Avro'ya yapılacağı planlanan Finlandiya'daki bu santralin 8,5 milyar Avro'ya çıkacağı bekleniyor /11/. Fransa'da yapımı süren Flamanville NGS'nin de aynı fiyata çıkacağı hesaplanıyor Bkz./8/).



(Sinop NGS'nin maket resimleri: [www.areva.de](http://www.areva.de))

Sinop NGS'nin teknik ayrıntıları henüz kesinleşmediğinden, bu raporda daha ayrıntılı bilgiler verilemiyor.

Aşağıdaki Şekil 1'de bir NGS'nin işleyişi ve Akkuyu için öngörülen yatay buhar üreteçli NGS'nin ana yapısı, reaktör binası ve koruyucu kılıflar görülüyor (Şekiller: Enerji Bakanlığı web sayfasından/1/)

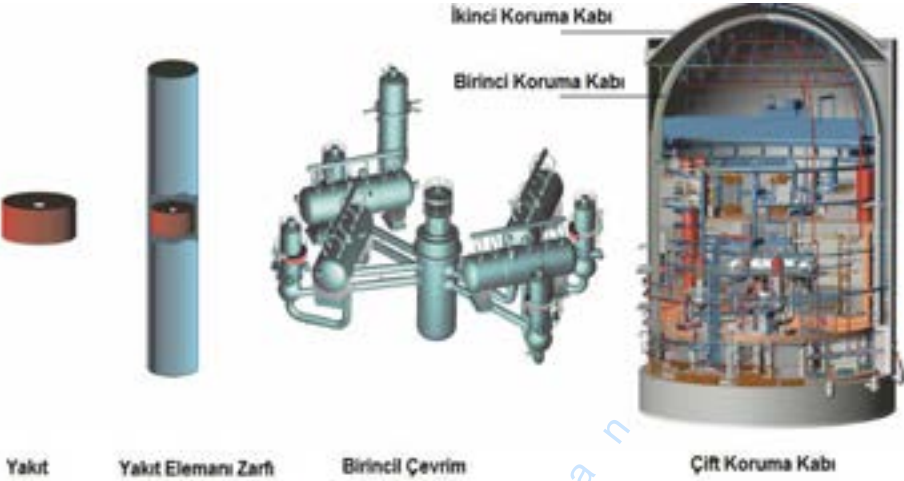


Şekil 1. Bir NGS'nin işleyişi. Reaktör kabındaki (kazanındaki) yakıt elemanları içinde bulunan uranyum-235'in bölünmesinden (filyon'undan) ortaya çıkan enerjiyle birincil devrede ısınan su, ikincil **devrede**, buhar üreteçlerindeki suyu buharlaştırıyor ve türbinleri çeviriyor; türbinler de jeneratörü (dinamo) çevirerek elektrik üretiyor.

<sup>1</sup> 'Üçüncü kuşak' bir NGS'nin daha önceki 'ikinci kuşak' NGS'nden en önemli farkı, geliştirilen teknolojik yapı ve daha modern otomasyon sistemlerinin yanı sıra, reaktör binasını çevreleyen beton ve çelik güvenlik kabuğunun (koruma kabı/containment) kalınlığının uçak çarpmasına karşı 2.kuşaktaki 1-1,5 m yerine 1,8 m çıkarılması ve en büyük bir kaza (GaU) durumunda da nükleer yakıt elemanlarının ergiyip basınçlı reaktör kazanını alttan delmesiyle yüksek sıcaklıktaki yakıt maddesinin, sonunda toprağa ve sulara ulaşmaması için, reaktör kazanını (kabının) altında bir 'yakıt maddesi tutma çanağı'nın bulunmasıdır.



Şekil 2'de bir NGS'ndaki yakıt, yakıt elemanı metal zarfı, birincil çevrim ve reaktörü çevreleyen çift koruma kaplı bina (containment) görülüyor.



Şekil 2. Bir NGS'nin yakıt, yakıt elemanları, birincil çevrim ve koruma kabı /1/

## 2. NÜKLEER GÜÇ SANTRALİ 'NORMAL ÇALIŞIRKEN' VE 'BÜYÜK BİR KAZA DURUMUNDA', PERSONELE, HALKA VE ÇEVREYE ETKİLERİNİN EN AZA İNDİRİLMESİNİN SAĞLANMASI AMACIYLA ALINMASI GEREKEN GÜVENLİK ÖNLEMLERİ

### NGS normal çalışırken:

- Nükleer güvenliğin (nuclear safety) sağlanması (kritikalite kontrolü ya da nükleer tepkimelerin tek bir nötronla sürmesinin sağlanması, bununla ilgili tüm teknik ve yönetsel önlemlerin alınması)
- Radyasyon güvenliğinin (radiation safety) sağlanması (santralin içine ve dışına salınan radyoaktivitenin sürekli kontrol altında tutularak sınırlandırılması – 'ön sınır değerlere' ulaşıldığında bacadaki kapakların otomatikman kapatılarak radyoaktif maddelerin bina dışına atılmasının önlenmesi<sup>2</sup>).

### NGS'nin bir kaza durumunda:

- Reaktörün otomatik ve güvenli olarak durdurulmasıyla ilgili tüm önlemlerin önceden projelendirilmesi, simülasyonda denenmesi ve işletme döneminde aynen uygulanması için testlerle kontrolü (Bunlar geliştirilmiş NGS'lerinde normal olarak yapılıyor)
- Çevreye yayılabilecek radyoaktivitenin en az indirilmesiyle ilgili tüm önlemlerin önceden planlanması ve kaza durumunda uygulanması
- Büyük bir kaza durumu için önceden 'ivedi (acil) kaza planlaması' yapılması ve komuta merkezinin, ilgili yönetmeliklerin hazırlanması, bu merkezde görev alacak personelin önceden eğitilerek hazır bulundurulması.

<sup>2</sup> 1300 MWe güçlü bir NGS'nin bacasından, santralin normal çalışması sırasında saatte 200.000 m<sup>3</sup> kadar hava atılıyor.

Bunların sağlanabilmesi için ise NGS'nda kullanılacak **güvenlik sistemlerinin** ve bu sistemlerdeki tüm aygıtların (reaktör kazanı, buhar üreteçleri, her türlü elektronik alet, su depoları, pompalar, filtreler, vanalar, borular ve dübeller gibi parçaların) ilgili uluslararası standartlara göre seçimi ve proje döneminden başlayarak, bunların uygunluğunun ilgili teknik raporlarla açıklanmasından, fabrikalarda yapımından, santrale yerleştirildikten sonraya kadar, santralin yapımının her döneminde ilgili bilirkişilerce kalite kontrollerinin yapılması ve uygunluklarının onaylanması gerekir. Ancak böylelikle, ilgili güvenlik sistemleriyle bunlardaki parçaların kalitelerinin sürekli kontrol edilip, gereğinde bunların yenilenmesiyle, ilerideki kazalara yol açılması önenebilecektir.

### 3. YÜKSEK GÜVENLİKTE BİR NÜKLEER SANTRALDA BULUNMASI GEREKEN TEKNİK ÖZELLİKLER VE AKKUYU NÜKLEER SANTRALININ EN ÜST GÜVENLİKTE OLABİLMESİ İÇİN ALINABİLECEK ÖNLEMLER

Bu bölümde, gerek 2011 Mart'ındaki Fukuşima NGS kazasından alınan derslerin ışığında gerekse Batı'daki üçüncü kuşak bir nükleer santralde bulunan güvenlikle ilgili teknik yapının Akkuyu'da kurulacak VVER- 1200 modeli Rus nükleer santralında ne ölçüde projelendirilip, gerçekleştirileceği ve 'Yüksek Güvenlikli Bir Nükleer Santral'da bulunması gereken Teknik Özellikler' inceleniyor. Akkuyu NGS'nin Ana Teknik Yapısı ve Rus VVER reaktörlerinin gelişimiyle, bunların olumlu ve olumsuz yanları Ek 1-3'de ayrıntılarıyla veriliyor.

Fukuşima kazasından edinilen bilgilerin ışığında gerekli yaptırımları da katarak, Batı'daki üçüncü kuşak bir nükleer santraldaki teknik yapının, Akkuyu santralında gerçekleşmesinin büyük ölçüde çok çeşitli uzmanlık dallarındaki denetimlere bağlı olacağı sonucu çıkarılıyor. Bu nedenle başka yazılarımızda da vurguladığımız gibi, güvenliği en yüksek düzeyde bir nükleer santralin yaptırılabilmesi, ancak nükleer santral yapımında görev almış deneyimli danışmanlık kurumlarının, santralin proje ve yapım süresince, sürekli devreye girebilmesi ve santralde kullanılacak her sistemin, malzeme, alet ve aygıtın ilgili uluslararası standartlara uygunluğunun bu uzmanlarca sıkı denetiminin yaptırılabilmesiyle (ve gerektiğinde ek yaptırımlarla) gerçekleşebilecektir.

11 Mart 2011 depremi ve Tsunami sonrası Fukuşima nükleer reaktörlerinde yaşanan zincirleme kazaların, patlamaların TV'lerde haftalarca görüntülenmesi, bunlarla ilgili yapılan açıklama ve yorumlar, NGS'ların güvenliğini tüm dünyada iyice sorguladı . Fukuşima kazası sonrası Almanya, nükleer santrallarının 8'ini hemen, geriye kalan 9'unu da 2023'e kadar devreden çıkarma kararı alırken, Türkiye, Arap Emirlikleri, Fransa, Rusya, Çin, Hindistan ve Finlandiya gibi bazı ülkeler ise bu kazaya rağmen NGS projelerini sürdürüyorlar ya da yapımı devam edenleri biran önce bitirip işletmeye açma planlarından vazgeçmiş değiller.

Japonya ise 70'li yıllardan kalma tüm NGS'larının teknik donanımını, Fukuşima kazasından elde edilen bilgilerin ışığında gözden geçirip, nükleer ve radyasyon güvenliğiyle ilgili sistemlerini yenilemeye başlamış bulunuyor. Örneğin: Fukuşima santrallarında alt katlarda su altında kalıp çalışmayan dizel elektrik jeneratörleri deneyiminden ders alınarak, Japonya'daki diğer tüm santrallarda bunlar üst katlara yerleştiriliyor. Fukuşima kazasından Japonya'da kapatılan NGS'ları 2013'den başlayarak teker teker işletmeye açılmaya başlanmış ve Japon hükümeti yeni bir NGS yapımı için Tepco şirketinden teklif istemiştir.

1970'li yılların eskimiş teknolojiyle kurulup çalıştırılan Fukuşima reaktörlerinde Mart 2011'deki kazalara yol açan nükleer ve radyasyon güvenliğiyle ilgili teknik donanım ve diğer eksiklikler, yeni nükleer santral yapımında göz önüne alınıp giderildiğinde, benzer büyük kazaların önleneyeceği açıktır. Ayrıca Batı'daki yüksek güvenlikli üçüncü kuşak bir nükleer santraldaki teknolojinin ve bu model bir santralin Finlandiya'da yapımı sırasında karşılaşılan bazı güçlüklerden alınacak derslerin, Akkuyu'daki nükleer santral projesine aktarılması da güvenli bir santralin kurulabilmesine büyük katkı sağlayacaktır (Bkz /5/).



## Yüksek Güvenlikli Bir Nükleer Santralin Teknik Özellikleri

Yeni bir nükleer santral projesinde Fukushima kazasından alınacak önemli derslerin başlıcaları şunlar olmuştur:

1. Santral depreme, beklenen deprem büyüklüğünün bir üst derecesinden dayanıklı olacak şekilde projelendirilip kurulmalı,
2. Hidrojen gazı oluşmasını önleyecek sistem projede bulunmalı, patlamalar ortaya çıkmamalı,
3. Santrala dışarıdan verilen elektrik kesildiğinde, ivedi dizel jeneratörleri sorunsuz çalışacak şekilde projelendirilmeli ve santralin en uygun yerlerinde konuşlandırılmalı,
4. Nükleer yakıt maddesinin ergimesi (erimesi) durumunda reaktör kazanı dıştan soğutularak çeliğin yapısı (sertliği) bozulmadan ergiyen yakıt, kazan içinde kalmalı,
5. Çok yüksek sıcaklıkta reaktör kazanının delinmesi durumunda, kazanın altında yakıt tutma çanağı bulunmalı.
6. Büyük bir kaza durumu için santralda ivedi 'teknik komuta merkezi' bulunmalı

Fukushima deneyimlerine Batı'daki üçüncü kuşak benzeri yüksek güvenlikli, modern bir nükleer santraldaki teknik donanımı da katarak, yüksek güvenlikli bir nükleer santralin başlıca teknik özellikleri sıralanırsa (Bunlar, denetleyici kurumlarca kontrol edilip tam olarak uygulandığında NGS'in güvenliği en üst duruma getirilebilecektir):

1. Santralin projesi, ilgili standartlara uygun olmalı. Örneğin: Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu'nun (UAEA / IAEA), Almanya'nın DIN ve KTA standartları uygulanmalı. Santrallar, beklenen en yüksek deprem büyüklüğünün bir üst derecesinden projelendirilmeli (örneğin 8 yerine 9). Santral, su baskını, fırtına gibi diğer doğal yıkımlara karşı da dayanıklı olacak şekilde planlanmalı. Gerek dizelle çalışan ivedi elektrik jeneratörleri gerekse ivedi soğutma suyu sistemlerinin boru ve kabloları da bu büyüklükte depreme dayanıklı olmalı. 3-4 adet dizelli sistemler binanın farklı ve yüksek katlarına yerleştirilmeli.
2. Nükleer santral, sürekli yenilenen en son uluslararası standartların öngördüğü en kaliteli malzemeleri, otomasyon ve güvenlik sistemlerini içerecek şekilde projelendirilmeli ve denetim altında, testler yapılarak kurulmalı.
3. Santrala elektrik getiren ağ (şebeke) baştan sona incelenmeli, mümkünse iki farklı elektrik santralından özel hatlar çekilmeli ve elektrik kesilmesini, voltaj değişimini önleyecek önlemler alınmalı.
4. Radyoaktif atıklar için uygun depo yerleriyle ilgili araştırmalar başlatılmalı (radyoaktivitesi az, orta ve yüksek düzeydekiler için ayrı depo yerleri planlanmalı)
5. Santral, uçak çarpması ve sabotaja karşı güvenlik önlemleriyle donatılmalı.
6. Santralda simülatör bulunmalı (Bir kontrol odasında, reaktör ve güvenlik sistemleri modelleri üzerinde, santralin güvenli çalışmasını ve olabilecek kazalarda kontrolünü sağlamak amacıyla, elektronik devreleri çalıştırarak, çeşitli senaryoları deneyerek deneyim kazanılmalı)
7. En büyük kaza durumunda, çok yüksek sıcaklıkta reaktörde sıvılaştıran nükleer yakıt için bir 'tutma çanağı' bulunmalı. Ayrıca reaktör kazanının aşırı sıcaklık nedeniyle ergimemesi / delinmemesi için kazan dıştan soğutulmalı
8. Santralin çevresinde işletme öncesi ve sonrası için radyasyon ve radyoaktivite ölçüm programı hazırlanmalı, bunun için alet ve personel öngörülmalı
9. Santralin yakınında bir meteoroloji kulesi tüm gerekli aletleriyle kurulmalı
10. İlgili tüm sigortalar, sadece santrali değil, yakın çevresini ve oralarda yaşayanları da kapsamalı
11. Santralin yapımı süresince yurtdışında benzer santrallarda ve simülatörlerde kaliteli personel yetiştirilmeli.



12. Baca gazlarındaki radyoaktif madde ve radyasyon ölçümleriyle ilgili tüm monitor ve örnek alma sistemlerinin duyarlı olanları seçilmeli ve bunlar santralın bacasına uygun şekilde yerleştirilmeli (Ayrıntılı asal gaz, aerosol ve iyot ölçümleri için bkz.Bölüm 7).
13. Büyük bir kazada ivedi 'teknik komuta merkezi' olarak çalışacak ve santralı tekrar kararlı normal durumuna getirecek bir büronun santralda bulunması (Böyle bir büro gerek ABD'deki gerekse Batı'daki nükleer santrallarda Three Mile Island Unite 2 santralında 1979'daki kazadan beri var).

Yukarıdakilerin bazıları Akkuyu ÇED raporunda genel hatlarıyla yer alıyor [10]. Bunlar ve diğerleri ilgili uzmanlarca incelenip eksikler giderilmeli ve bunların santralda en uygun şekilde gerçekleşmesi deneyimli uzmanların sıkı denetimiyle sağlanmalı.

Bir nükleer santral yapımına genellikle 1000'e yakın şirket katkıda bulunuyor. Kullanılan her malzemenin ilgili standartlara uyması gerekiyor. Vidadan, dübelden başlayarak su boruları, pompalar, vanalar, reaktör kazanı, buhar üreteçleri, havalandırma ve atık gaz sistemlerindeki yüzlerce malzemenin ve parçanın ayrıntılı tasarım ve uygunluk hesapları yapılıyor. Sonra tüm sistemlerin ayrıntılı projeleri hazırlanıyor, bunlarla ilgili teknik raporlar bilirdiştir, örneğin: Almanya'da Teknik Gözetim, Denetim ve Danışmanlık Kurumu (TÜV) tarafından denetleniyor. Yetkili devlet kurumunca onaylanıyor.

Projeler incelenip onaylandıktan sonra her malzemenin, her sistemin önce fabrikalarda yapımı, sonra santralda kurulum (montaj) sırasında yine bilirdiştir ve yetkililerce yerinde incelenmesi, onaylanması gerekiyor. İleride santral çalışırken reaktör soğutma suyuna geçecek kobalt-60 gibi radyoaktif maddeleri (korozyon ürünlerini) en aza indirmek ve personelin bakım ve onarım çalışmalarında aşırı radyasyon dozu almalarını önlemek amacıyla, reaktör kazanında ve ana soğutma sistemindeki pompa, boru ve vanaların yapıldığı paslanmaz çelik malzemelerin kaliteleri de standartlara uygun saflıkta olmalı.

#### 4. ÜLKEMİZDE KURULACAK NÜKLEER SANTRALLARDA İLERİDE BÜYÜK KAZALAR OLABİLİR Mİ?

Bu soruya yanıt vermeden önce, geçmişteki büyük NGS kazalarının kısaca gözden geçirilmesi yararlı olabilir:

Geçmişte dünyada üç büyük nükleer santral kazası olmuştur. İlki, 1979 yılında ABD'de Harrisburg kentinde Three Mile Island (TMI)'daki iki reaktörden birinde olmuş ve yakıt elemanlarının bir bölümü susuz kalarak radyoaktif maddeler, ergiyen yakıt elemanlarından sızmıştır. Reaktör binasını çevreleyen çelik ve beton silindir (reaktör güvenlik kabı) radyoaktif maddelerin bina dışına yayılmasını önlemiş, böylelikle bu kazanın çevre halkına ve çevreye bir radyasyon etkisi olmamıştır.

İkinci büyük kaza 1986 yılında Ukrayna'da Çernobil NGS'nda olmuş, santralda reaktör binasını çevreleyen güvenlik kabı olmadığından, kazada çatısı uçan reaktör binasından dışarı saçılan radyoaktif maddeler, hava akımlarıyla Türkiye dahil olmak üzere, uzaktaki bir çok ülkeye taşınarak, yağışlarla toprağa inmiştir. Radyoaktif maddeler, bitkiler ve hayvanlar yoluyla insan vücuduna, az ya da çok ulaşarak insanları etkilemiştir. Personel, kontrol çubuklarını sadece yukarı çekmekle kalmamış, aynı zamanda reaktöre su basan pompaları da durdurarak reaktörün aşırı ısınmasına, yüksek sıcaklık ve basınç altında reaktör kazanının patlamasına yol açmıştır. Bu büyük personel hatasıyla ortaya çıkan Çernobil kazası, batıdaki o zamanki teknikle yapılmış olan nükleer santrallarda dahi ortaya çıkmazdı, çünkü Çernobil tasarımı bir NGS, daha proje döneminde 'yapım için onay' alamadan geri çevrilirdi. Batı'daki NGS'ndaki otomatik sistemler, nötron akısını soğutan ve reaktörün kritik üstüne çıkmasını önleyen kontrol çubuklarını otomatikman kilitleyerek, personelin bunları yukarı çekmesini, engellerdi. Çernobil'de o zamanki Sovyetler Birliği yönetimi kazayı saklamış ve kaza ancak 2 gün sonra Finlandiya'daki radyasyon ölçüm aletlerinin yüksek değerler göstermesiyle ortaya çıkarılabilmisti ve bu nedenle Çernobil çevresinde yaşayanlar radyasyondan etkilenmişlerdi. Özellikle radyoaktif iyotun, çevrede yaşayan çocuklarda tiroit kanserine yol açtığı sonradan ortaya çıkmıştır /5/.





Üçüncü büyük kaza 2011 yılında Japonya'da Fukuşima'da olmuş, büyük depremde elektrik hatları kopmuş ve Tsunami sonucu sular altında kalan dizel jeneratörleri de çalışmayınca, reaktörleri soğutması gereken su basılamamış, yakıt elemanlarının bir bölümü ergiyerek radyoaktif maddeler santral içine ve dışına ulaşmış ve 20 km'lik çevreye yayılmıştır. Çernobil'deki durumun aksine, Fukuşima'da çevre hemen boşaltılarak halkın, radyoaktif maddelerle bulaşan sular ve besinler yoluyla radyasyondan olumsuz etkilenmesi önlenmiştir. Sürekli yapılan ölçüm ve bilimsel değerlendirmeler Fukuşima'daki kazanın etkilerinin, santraldan 20 km'den daha uzakta yaşayanlarda çok az olduğunu kazadan sonraki 3. yılda göstermiştir (20 km'lik bölge içindeki halk boşaltıldığından, burada sadece kontrol altında çalışanlara /işçilere sınırlı bir radyasyon etkisi olmuştur).

Fukuşima NGS 1970/1971 yıllarının General Electric tasarım ve teknolojiyle yapılmıştır. Her ne kadar bu santrallarda zaman zaman yenilemeler yapılmış ise de, 40 yıl öncesinin proje tasarımında, ivedi soğutma su devrelerini çalıştıran dizelli elektrik jeneratörlerinin zemin altındaki konumları değiştirilmemiştir. Halbuki bunlar, üst katlara konuşlandırılırsa, suların altında kalmayacak ve çalışacaklardı. Böylelikle reaktörlere ve kullanılmış yakıt elemanları havuzuna su basılacak, nükleer yakıt elemanları erimeyecek (erimeyecek) ve kazalar ortaya çıkmayacaktı. Bilindiği gibi deprem sonucu otomatikman durdurulan santralların gerekli elektriği dışarıdan sağlayıp pompaların reaktörlere soğutma suyu basması gerekirken, Fukuşima çevresinde depremden kopan elektrik hatları nedeniyle, santrallara elektrik sağlanamayınca dizelle çalışan ivedi elektrik üreteçlerinin devreye girmesi gerekiyordu. Kazadan sonraki yıl, Japonya'daki tüm nükleer santrallardaki dizel jeneratörleri üst katlara yerleştirildi.

Tüm endüstri dallarında olduğu gibi nükleer santrallarda da, geçen yarım yüzyıllık uzun sürede çok çeşitli kazalar olmuştur. İlgili kazalar, önem durumlarına göre sınıflandırılarak yetkili kurumlara bildiriliyor. Örneğin: Almanya'daki nükleer santrallarda da son 40 yılda, denetleyici kurumlara bildirilmesi zorunlu olan bir dizi küçük kaza olmuş olmasına rağmen çeşitli bağımsız laboratuvarlarca yapılan ölçümlerde, gerek santrallarda gerekse çevrelerinde, radyoaktivite ve radyasyon doz düzeyinin ilgili sınır değerlerinin çok altında kaldığı saptanmış, kısacası çevre ve orada yaşayanlar bunlardan, doğal radyasyon düzeyiyle karşılaştırıldığında etkilenmemişlerdir denebilir (Almanya'daki ölçümlerle ilgili olarak Şekil 4 - 5'e bkz.).

Ülkemizde kurulacak nükleer santrallar, bugünkü geliştirilmiş teknolojiye göre yapılacağından Çernobil ve Fukuşima'da, yukarıda kısaca açıkladığımız kazaların benzerinin olması, normal olarak, beklenmemeli. Her konuda olduğu gibi nükleer santrallarda da kaza riski sıfır ya da yok denemiyor. Ancak alınacak önlemlerle risk sıfıra yaklaştırılabilir. **Deprem riski başta olmak üzere,** nükleer santral proje ve yapımında, ilgili uluslararası standartlara uyulması, yapım süresince santralin **nükleer ve radyasyon güvenliğiyle** ilgili tüm önemli sistem ve aygıtların kalite kontrollerinin deneyimli uzmanlarca yapılması, santral personelinin önceden çok iyi yetiştirilmesi sağlanabilirse, ülkemizdeki santralların da güvenliği en üst derecede olacağından büyük kaza olasılığı da son derece az olacaktır.

Deprem bölgesi olan Japonya'daki 55 adet NGS binaları bugüne kadar önemli bir hasar görmemiştir ve ülkemizdeki santralların da depreme aynı şekilde dayanıklı yapılması sağlandığında kaza riski çok azalacaktır. Bilindiği gibi Fukuşima'da santrallar deprem nedeniyle hasar görmemiş, deprem sonrası oluşan Tsunami sonucu binaların alt katlarını su basması ve dizel jeneratörlerin su altında kalması sonucu, reaktörlere ve yakıt elemanları bekletme havuzuna su basılamadığından kazalar ortaya çıkmıştır.

## 5. BÜYÜK BİR KAZA DURUMU İÇİN ÖNCE DEN YAPILMASI GEREKENLER

Yukarıdaki açıklamalar, bir nükleer santralin **normal çalışma** durumunda çevrenin ve halkın korunmasını kapsayan önlemlerdir. Bu önlemler tam olarak uygulandığında kazaların ortaya çıkma olasılığının da çok azalacağı açıktır.

Alınan tüm önlemlere rağmen, büyük bir kaza durumunda yapılacaklar ana hatlarıyla (personelin daha önce almış olması gereken eğitim ve kaza alıştırmaya hazırlıklarıyla):

1. Kaza komuta merkezi
  - Kazadan hemen sonra duruma el koyarak reaktörün soğutulmasının sürdürülmesini sağlamalı
  - Personelin ve çevrenin, halkın radyoaktif maddelerden olduğunca az etkilenmesini sağlayacak şekilde gerekenleri yapmalı (örneğin: baca kapaklarının ve atık su borusu ana vanasının kapatılarak radyoaktif maddelerin santral içinde kalması, bunların tekrar tekrar arıtma sistemlerinden geçirilmesi ya da depolarda bekletilmesi)
  - Santral içinde ve dışında kaos yaratılmasını önleyecek önlemleri almalı, yetkilileri anında bilgilendirmeli, uyarmalı
2. Radyoaktivitenin çok miktarda çevreyi etkileyebileceği olağanüstü bir durumda yetkili kurumca:
  - Halkın evlerinde kalması,
  - Daha sonra, radyoaktif maddelerle bulaşma durumuna göre, aşırı radyoaktivitedeki yerleşim yerlerinin boşaltılması
  - Radyoaktif iyotun çok yayıldığı bölgelerde, halka radyoaktif olmayan iyot tabletlerinin dağıtılarak bunların içilmesinin önerilmesi (tiroit bezinin radyoaktif olmayan iyotla doyurularak, radyoaktif iyotun vücuttan doğal yollarla atılması)
  - Çevredeki çeşitli besinlerde, hava ve sularda radyoaktivite ölçümleri yapılması, aşırı radyoaktif besinlerin halka ulaşmasının önlenmesi, gerekirse bazı bölgelerin kapatılması, halkın doğru olarak bilgilendirilmesi
  - Halkın almış olabileceği radyasyon dozlarının ve risk hesaplarının, ölçümlere dayanarak, yapılması ve açıklanması
3. NGS'ndeki komuta merkezinin görevini sürdürerek personeli ve halkı koruyucu önlemleri alması, durumu yetkili kuruma bildirmesi.



## 6. ÖZETLE SONUÇLAR

Ülkemizde 'yap işlet' modeliyle güvenliği en yüksek düzeyde bir nükleer santralin yaptırılabilmesi ancak

- Özellikle, Bölüm I.3'de açıklanan önlemlerin eksiksiz alınmasına,
- Nükleer santral yapımında görev almış deneyimli danışmanlık kurumlarının, santralin proje ve yapım süresince, sürekli devreye katılabilmesine ve uzman raporlarının dikkate alınmasına,
- Santralin nükleer ve radyasyon güvenliğiyle ilgili her sistemin, malzeme ve aygıtın ilgili uluslararası standartlara uygunluğunun, sürekli denetlenmesine, kalite kontrolleri yapılmasına (gerektiğinde ek yaptırımlarla / sistemlerin güçlendirilmesi ya da yenilenmesine),
- Radyoaktif atıkların depolanmasıyla ve yakıt elemanları bekletme havuzlarının şimdiden planlanmasıyla ilgili tüm ayrıntıların gelişen teknolojiye göre yapılmasına bağlı olacaktır (Ayrıntılar için bkz.: Bölüm II).

Bunların yerine getirileceği ve santrali kuracak şirketlere gerektiğinde ek yaptırımların kabul ettirilebileceği beklenir. Ancak böylelikle ilerideki kazalar önenebilecektir. Tüm bu önlemlere rağmen olabilecek kazalarda ortaya çıkacak radyoaktif madde miktarının en az düzeye indirilmesi ve böylelikle halkın radyasyondan korunması proje ve yapım süresince alınması gereken yukarıdaki önlemlerin yerine getirilmesiyle önceden sağlanabilecektir.

İlgili uluslararası standartlara göre, santralin güvenliğiyle doğrudan ilgili bir sistemde, kalite kontrolü yapılmadığında ya da ilgili yaptırımlar gerçekleşmediğinde ise ileride ortaya çıkabilecek kazaların büyüklüğü, bu zayıf sistemin nükleer santraldaki işlevine bağlı olarak az ya da çok olabilecektir ve çevre buna göre radyoaktiviteden az ya da çok etkilenebilecektir. Ülkemizde de, Almanya'daki gibi ilgili standartlar uygulandığında ve kalite kontrolleri yapıldığında ise, **NGS'nin normal çalışma durumunda**, yukarıdaki Almanya grafiklerinde (Şekil 2-6) verilen düşük radyoaktivite değerlerinin aşılmayacağı ve çevrenin korunacağı açıktır.

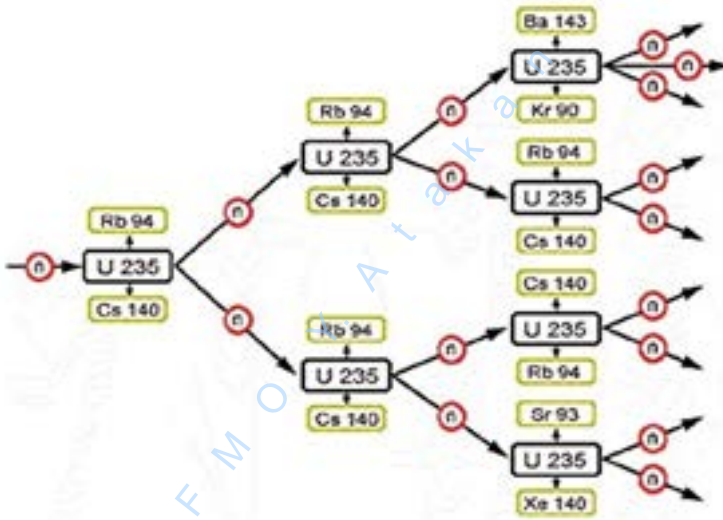
Büyük bir kaza durumunda ise çevreye yayılabilecek maksimum radyoaktivitenin etkileri, santral çevresindeki yerleşim durumu, nüfus yoğunluğu ve etkin rüzgar yönü gibi daha bir dizi etkenler göz önüne alınarak önceden hesaplanmalı ve buna göre ilerisi için ivedi önlem planı yapılmalıdır.

Not: Almanya'da bu çeşit hesaplarda, çevreye yayılabilecek maksimum radyoaktivite miktarı olarak: iyot 131 için  $3,1 \times 10^{17}$  Bq ve Cs 137 için  $2,9 \times 10^{16}$  Bq değerleri göz önüne alınıyor (Bu değerler Japonya'da Fukushima sonrası açıklanan değerlerin kabaca iki katıdır). Ülkemizde hangi değerlerin belirleneceği, ancak ileride santraller çalışmaya başlarken açıklanabilir.

# BÖLÜM II

## 7. NÜKLEER GÜÇ SANTRALLARI<sup>3</sup> NORMAL ÇALIŞIRKEN ORTAYA ÇIKAN RADYOAKTİF MADDELER /5/

Zenginleştirilmiş uranyum-235 izotopunun kullanıldığı reaktörlerde, yavaş nötronlarla bombardımanla bölünme (fisyon) sonucu olarak ortaya, biri daha ağır (sezyum -137, iyot-131 gibi) diğeri daha hafif (Rb 94, Br 87 gibi) bir dizi radyoizotoptan (**bölünme ürünleri**) girici iyonlaştırıcı ışınlar yayınlanıyor. Sayıları 200'e varan yüksek aktivitedeki 'bölünme ürünleri' 35 kadar elementin radyoizotopları (farklı nötron sayılı atom çekirdekleri) olarak ortaya çıkıyor. Bölünen U235 atom çekirdeğinden, bölünme başına 2-3 adet nötron ortaya çıkıyor ve bunlardan 1 adedinin başka bir U235 çekirdeğini bölecek şekilde zincirleme tepkimenin sürmesi sağlanarak NGS'da bu gerçekleştiriliyor.



Şekil 3. Uranyum atom çekirdeklerinin bölünme zinciri

Bir nükleer santralde, 'normal işletme' sırasında, ortaya çıkan çok çeşitli radyoaktif maddelerin (radyoizotopların) neredeyse tümü, yakıt elemanlarında, reaktörde ve bunları içine alan kalın çelik duvarlı silindirde ('Reaktör kabında') kalıyor (Bkz.Şekil 2). Reaktörü soğutan suya difüzyon ve sızıntıyla (ya da hava / gaz kaçaqlarıyla) çok az miktarda geçen radyoizotoplar, bu suyla, ana ve yardımcı sistemlerdeki pompa, boru, vana ve depolara dağılıyorlar ve bunların içinde bulunduğu yapıların iç yüzeylerine ve havasına sızabiliyorlar.

Doğal uranyumda U235 radyoizotopunun oranı az olduğundan (% 0,7), NGS'nda gerekli enerjinin elde edilebilmesi için %3,5'a kadar zenginleştirilmiş U235 kullanılıyor. Reaktörlerdeki uranyumun artı kalanı ise (%96,5) nötronlarla bölünmeyen U238'den oluşuyor. Reaktörde kullanıldıktan sonra, çok yüksek radyoaktivitesinin bozunmayla kendiliğinden azalması için uzun bir süre nükleer santraldaki 'dinlenme havuzlarında' bekletilen yakıt elemanları çubuklarındaki 'yanmış uranyum'da ise, kabaca % 95 U238, % 0,8 U235, % 0,9 Pu, %3,2 bölünme ürünleri ve % 0,1 kadar

<sup>3</sup> Bu raporda, 'Dil Demeği sözlüğüne göre doğru olan 'santralleri, 'santrali' (santrali, santralleri değil) kullanılmıştır bkz : <http://www.dildemeği.org.tr/TR,274/turkce-sozluk-ara-bul.html>



da reaktörde oluşan aktinidler (Çekirdeklerindeki proton sayıları 89 ile 109 arasında olan 'yapay elementler') bulunuyor. 200 kadar 'bölünme ürünleri'nin % 20'si ise asal gaz.

Öte yandan reaktörde atom çekirdeğinin bölünmesi (filyon) sırasında yayınlanan nötronların, yakınlardaki metal malzeme içinde çok az miktarda bulunan kobalt, nikel ve mangan gibi iz (eser) elementleri bombardıman etmesi sonucu bunların atom çekirdeklerinde tepkimelerle (aktivasyonla) başka radyoizotoplar ortaya çıkıyor. Ayrıca çelik boruların iç çeperlerinden zamanla aşınma sonucu soğutma suyuna karışan çok az miktardaki bu cins iz elementler, suyun reaktörde dolaşımı sırasında yine nötronların etkisiyle radyoizotoplara (radyoaktif maddelere) dönüşüyorlar. Aktivasyon ya da korozyon ürünleri denilen bu cins radyoizotoplara örnekler: kobalt-60, nikel-59 ve mangan-54. Reaktörün yakınındaki havada bulunan bazı elementlerden de yine nötron bombardımanıyla (aktivasyonla) argon- 41 gibi radyoizotoplar da oluşuyor.

Korozyon ürünleri de, bölünme ürünleri gibi, sızıntılarla çeşitli sistemlere ve santral içindeki havaya az da olsa bir miktar karışıyor. Bunlar da bölünme ürünleri gibi yoğun radyasyon kaynakları. Özellikle vana, armatür ve boru dirseklerinde biriken korozyon ürünleri içindeki radyoaktif maddelerin saldığı girici gama ışınlarından, buralarda bakım ve onarım çalışmaları yapan personelde oluşacak radyasyon dozlarının yüksek olması sonucu, santralin yıllık bakım ve onarım çalışmalarında, personelin çalışma sürelerinin kısaltılması, ek zırhlama yapılması ya da uzaktan kontrollü robotların kullanılması gerekebilir.

Reaktör kabını (kazanını), soğutma suyu ana pompalarını, buhar üreteçlerini güvenlik sistemleriyle birlikte içine alan beton ve çelik kılıflı 'Güvenlik Küresindeki'<sup>4</sup> havanın basıncı, normal hava basıncının biraz altında tutularak, hava akımı dışarıdan içeriye doğru yönlendiriliyor ve böylelikle herhangi bir sızıntının dışarıya ulaşması önleniyor.

U238 nötronlarla bombardıman edildiğinde bölünmüyor, ancak bundan bir miktar U239 oluşuyor. Beta salan U239 ise önce Np239'a sonra o da beta salarak Pu239'a dönüşüyor. Pu239 ise U235 gibi nötronların bombardımanıyla bölünebilir.

Reaktörlerdeki çok çeşitli teknik ve yönetimsel önlemlerle, çalışanların etkilenebileceği radyasyon dozları azaltılarak sınırlanıyor (zırhlama, reaktör çalışırken bazı yerlere girmeme, radyasyondan korunma yol ve yöntemlerine kesinlikle uyulması gibi). Reaktör binasındaki ve yardımcı binalardaki kullanılmış hava ve sistemlerdeki sular, önce ilgili aygıtlarla radyoaktif maddelerden büyük oranda arındırılarak, ancak ölçümler yapıldıktan sonra kontrollü bir şekilde izin verilen sınıır değerlerin çok altında kalınarak baca ve atık su borusundan çevreye salınıyor. **Böylece çevrede yaşayan halkın etkilenebileceği radyasyon dozu azaltılarak iyice düşürülüyor.** Almanya'da NGS'lerinden etkilenebilecek halk için uygulanan doz sınır değeri 1 mSievrt (1mSv) olup bunun aşılması için baca gazları yoluyla 0,3 mSv, atık sular yoluyla 0,3 mSv ve doğrudan/direkt ışınlanma yoluyla da 0,3 mSv tüm vücut için etkin doz sınır değerleri olarak belirlenmiştir. Tiroit dozu sınır değeri ise 0,9 mSv'tir (Doz birimleriyle ilgili açıklamalar için bkz. Ek 5).

## Sınır değeri nasıl belirleniyor?

Nükleer bir santraldan işletme sırasında çevreye yıl boyunca, arındırılarak, kontrollü ölçümler yapıldıktan sonra salınan baca gazları ve atık sular içindeki son derece az radyoaktif maddelerin, çevredeki toprak ve sulara ulaşan miktarları, santral çevresinde etkin rüzgar yönünde bir nokta seçilerek, ayrı ayrı önce hesaplanıyor. Sonra bu çok az miktardaki radyoaktif maddelerin topraktan ve havadan ne oranda, çevrede yetişen besinlere geçtiği, yenilip içilmesi ve havanın solunması yollarıyla, insan vücuduna ne oranda girdiği ve bunlardan insanda ne büyüklükte dozlar oluştuğu hesaplarla belirleniyor. Almanya'daki ilgili KTA standartlarına göre baca gazları (KTA 1503) ve atık su yolundan (KTA 1504) her biri için, santral çevresinde yaşadığı varsayılan bir kişinin vücudun-

<sup>4</sup> 'Güvenlik küresi, silindiri', Güvenlik Kabı, Kalkanı, Kılıfı, Binası da deniyor (Containment): Tüm reaktörü, soğutma sistemleri, ana pompaları ve buhar üreticileriyle ve diğer güvenlik sistemleriyle birlikte içine alan, örneğin 1,5 m beton ve 2 cm' kadar çelikten duvarlı, 50 m kadar çaplı, santraldaki ana yapı.

da oluşabilecek radyasyon dozunun 0,3 mSv'lik sınır değerinin altında kalınması gerekiyor<sup>5</sup>. Ya da başka bir deyimle: Santraldan çevreye verilecek atık hava ve sulardaki radyoaktivite derişimi ve toplam miktarı, yapılan ölçüm ve hesaplamalara göre öyle olmalıdır ki, çevredeki bir insanın santraldan etkilenebileceği yıllık doz değeri bu sınır değerinin altında kalsın.

Örneğin: 2004 yılında Almanya'daki 20 kadar Nükleer Santralin her birinin baca gazları yoluyla, (izin verilen radyoaktivite sınır değerleri altında kalınarak) çevresine saldığı çeşitli radyoizotopların o yörede yaşayanların vücutlarında oluşturabileceği doz, ortalama olarak 0,005 mSv olarak hesaplanmıştır. Bu doz değeri, yukarıdaki sınır değerinin % 2'sinden de küçüktür. Çevredeki akarsulara verilen aktiviteleri çok düşük düzeydeki radyoaktif maddeler yoluyla 2004 yılında o yörede yaşayan halk için hesaplanan doz değeri ise : 0,0007 mSv olup, bu da sınır değerinin 0,003' den de küçüktür.

## 8. NÜKLEER SANTRALLARDAN ÇEVREYE SALINAN RADİYOAKTİVİTENİN SINIRLANMASI

### Almanya'daki Otomatik Ölçüm Sistemleri ve Çevre Halkı'nda Oluşan Dozlar

Türkiye'de kurulacak nükleer santrallardan ileride çevreye salınacak radyoaktivitenin sınırlandırılması ve halkta oluşabilecek dozların en aza indirilebilmesi için aşağıda açıklanan Almanya'daki yol, yöntem ve alet sistemleri örnek olabilir.

Almanya'daki 1300 MW'lık (basıncılı su) bir nükleer santral örneğiyle, santraldaki havalandırma ve gaz sistemlerinden bacaya bağlanan ana kanallarındakiyle, santral bacasındaki radyoaktivite ölçüm sistemleri aşağıda ayrıntılarıyla veriliyor. Bunlardan başka, atık suyla ilgili ölçümler ve önlemler de ana hatlarıyla açıklanıyor. Öte yandan Almanya'da son 30-40 yıldır çalışan ve bu süre boyunca yeni tekniklerle sürekli geliştirilen yüksek düzeydeki güvenlik sistemleri ve aygıtlarıyla, alınan çeşitli önlemler sonucu hiçbir önemli kaza geçirmemiş 20 kadar nükleer santralin, çevreye saldıkları radyoaktivite miktarları 2006 yılı örneğiyle veriliyor. Bunlardan, en kötümser varsayımlara göre seçilen yakın çevredeki yerlerde yaşadığı düşünülen kişilerin vücutlarında oluşabilecek 'radyasyon dozları', sınır değerlerle karşılaştırılarak her bir nükleer santral için Şekil 4 ve 5'de 'üst değerler olarak' gösteriliyor.

### Santral dışına ulaşacak radyoaktivitenin sınırlandırılması

Nükleer santral içindeki çeşitli sistem devrelerinde ve binaların havasındaki radyoizotoplar, bir dizi aktif karbon filtreleriyle, arındırma ve yıkama teknikleriyle tutulup santralin yardımcı binalarındaki ilgili sistemlerin içinde depolanıyor. Ayrıca bir dizi 'U-borulu geciktirme sistemiyle', özellikle kısa yarılanma süreli asal gazların bu sistemde bir süre bekletildikten sonra kendiliğinden radyoaktivitelerini yitirmeleri sağlanıyor. Atık hava, santralin yüksek bacasından (100-150 m) havaya, atık sular da atık su deposu borusundan yakındaki ırmağa, ancak içindeki radyoaktif madde düzeyi arındırma sistemleriyle iyice düşürüldükten sonra, radyoaktivite ölçüm sistemleriyle sürekli kontrol edilerek salınıyor. Üst sınır değerlere ulaşılmadan önce olabilecek radyoaktivite artışları monitörlerin ön alarm uyarılarıyla belirlendiğinde, santral dışına verilen hava ya da su otomatikman kesiliyor. Bunlar santral içindeki arıtma ya da bekletme sistemlerinden tekrar geçirildikten, ancak radyoaktiviteleri düşürüldükten sonra dışarıya kontrollü olarak veriliyor.

<sup>5</sup> Almanya'da NGS radyasyonundan etkilenebilecek çevrede yaşayan bir kişi için 'tüm vücut etkin doz sınır değeri' 1 mSv olup, bunun 1/3'ü atık hava, 1/3'ü atık su ve 1/3'ü de doğrudan (direkt) ışınlama olarak belirlenmiştir ki, buradan, her birinin katkısının yaklaşık olarak 0,3 mSv olduğu görülmüyor (Radyasyon doz birimi Sievert (Sv, mSv) için bkz.Ek 6).



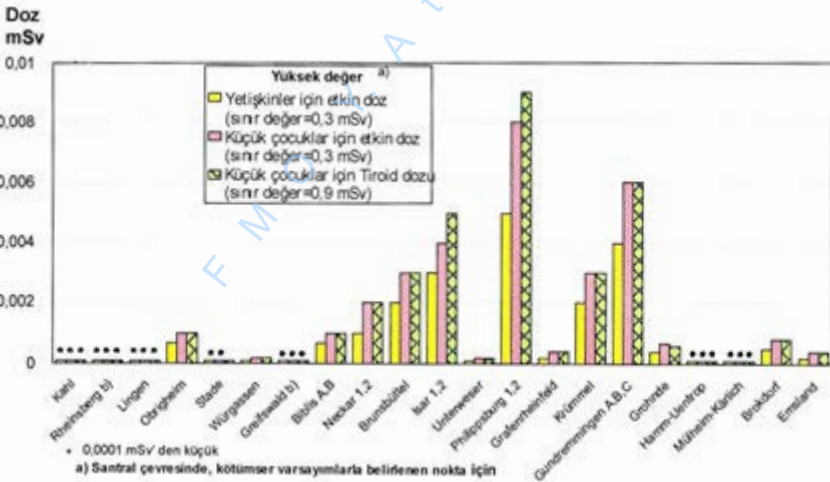
## Nükleer Santraldan Çevreye Hangi Radyoizotoplar Salınıyor?

Nükleer santralin normal işletilmesi sırasında santraldaki sistemlerde ortaya çıkan radyoaktif maddelerin son derece az bir bölümü bacadan havaya ve atık su borusundan da yakındaki ırmağa salındığı yukarıda açıklanmıştı (Akkuyu NGS'nda bunlar ileride denize kıydan 30-40 metre uzağa salınacak).

### Baca yoluyla çevreye salınan radyoaktif maddeler:

1. Radyoaktif asal gazlar, özellikle Kr 85 ve Xe 133; trityum(H 3), karbon-14 (C14)
2. Radyoaktif aerosollar (havadaki çok küçük taneciklere tutunan örneğin: Co60, Mn54)
3. Radyoaktif iyot (I 131)

Santralin yüksek bacasından kontrollü olarak salınan 'atık hava'daki bu çeşit radyoizotoplar çevredeki havaya karışıp, hava akımlarıyla seyreliyor. Bunların toprağa ne miktarda dağılıp serpi-lecekleri; bacadan atılan miktara, bacanın yüksekliğine, santraldan uzaklığa, hava koşullarına ve serpentinin kuru ya da yaş olma durumuna göre değişebiliyor. Toprakta en çok biriken miktar, etkin rüzgar yönünde santraldan 1-2 km uzaklıkta olup radyoizotopların insanda oluşturabilecekleri radyasyon dozunun da buralarda en çok olacağı hesaplanıyor. Ancak en kötümser varsayımlarla seçilen ve genellikle kimsenin yaşamadığı buralardaki radyasyon dozunun bile, ilgili yönetmeliğe göre izin verilen sınır değer (0,3 mSv) altında kalması gerekiyor. Almanya'da 1970'lerden bu yana yapılan ölçümlere ve değerlendirmelere göre sınır değerlerin çok altında kaldığı yukarıda belir-tilmişti (Bkz. Şekil 4 ve 5).

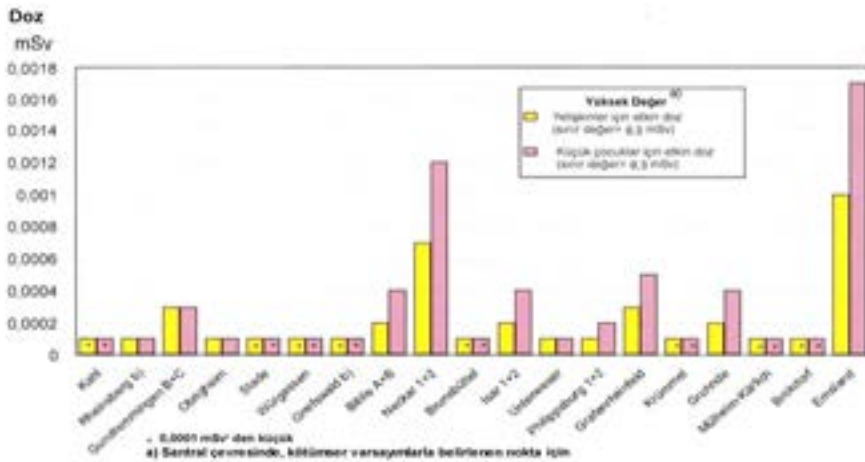


Şekil 4. NGS'nın bacasından Almanya'da 2006 yılında atık havayla çevreye salınan radyoaktif maddelerin insanda oluşturabileceği radyasyon dozları (mSv) /4/

### Atık su borusu (kanalı) yoluyla çevreye salınan radyoaktif maddeler:

Sudaki trityum (H 3) ile başka radyoizotoplar örneğin: Co 60, Mn 54, Zn 65, Cs 137 ve Sr 90 sant-ral yakınındaki ırmağa salınıyor. Ancak buna, atık su depolama yerinde sudan örnek alınıp ölçüm yapıldıktan sonra radyoaktivitesi sınır değerlerin altındaysa izin veriliyor.

İrmaklara, oldukça arıtılmış sularla salınan radyoizotopların cins ve miktarları, reaktörün cin-sine, gücüne ve yıl boyunca işletilme tarzı ve süresine bağlı olarak değişiyor. Benzer ölçümlerin ileride ülkemizdeki NGS'nda da yapılacağı normaldir.



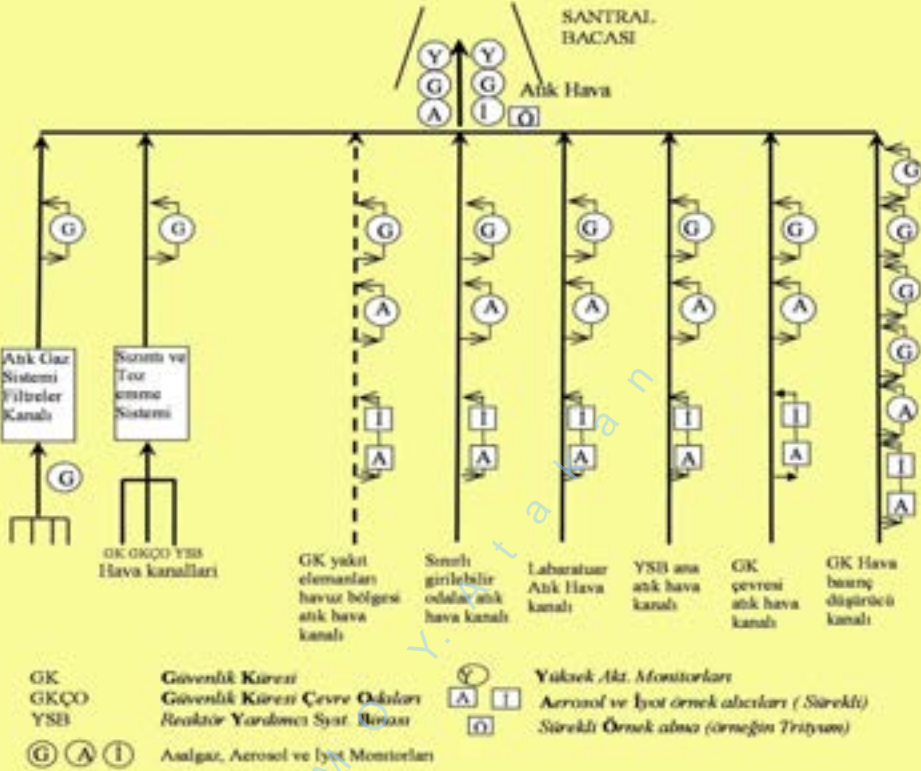




Çizelge 1 : Basınçlı sulu 1360 MW<sub>e</sub> ,lık bir santraldan 1 yıl boyunca çevreye salınan radyoizotopların izin verilen sınır değerleriyle, gerçekte salınan miktarları (örnek)

| RADYOİZOTOP GRUBU                      | SINIR DEĞER (Bq/Yıl) | ÇEVREYE SALINAN GERÇEK MİKTAR (Bq/Yıl)                                                                                     | SINIR DEĞERİN YÜZDESİ OLARAK SALINAN MİKTAR |
|----------------------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Bacadan ,atık havayla' salınan miktar: |                      |                                                                                                                            |                                             |
| Radyoaktif gazlar (I-131 dışında)      | $1.10^{15}$          | $1,09.10^{12}$<br>Örneğin:<br>Xe 133: $1,62.10^{11}$<br>Ar 41: $1,07.10^{11}$<br>Kr 85m: $4,5.10^9$<br>Xe 133m: $3,2.10^9$ | 0,10                                        |
| Radyoaktif Aerosollar (I-131 dışında)  | $1.10^{10}$          | $4,75.10^4$<br>Örneğin:<br>Co 58: $1,33.10^4$<br>Co 60: $3,42.10^4$                                                        | 0,0005                                      |
| İyot-131                               | $6.10^9$             | ölçüm sınırı altında                                                                                                       | ölçüm sınırı altında                        |
| Atık sularla' salınan miktar:          |                      |                                                                                                                            |                                             |
| Trityum                                | $3,5.10^{13}$        | $1,34.10^{13}$                                                                                                             | 38,286                                      |
| Başka Radyoizotoplar                   | $5,55.10^{10}$       | ölçüm sınırı altında                                                                                                       | ölçüm sınırı altında                        |

### 1300 MWe'lık bir nükleer santralin atık hava ve gaz kanallarıyla bacasındaki radyoaktivite ölçüm ve alarm sistemleriyle çevrenin korunması (basitleştirilmiş) /6/



Şekil 6. Bir reaktörün hava kanallarındaki radyoaktivite ölçüm ve alarm sistemleri

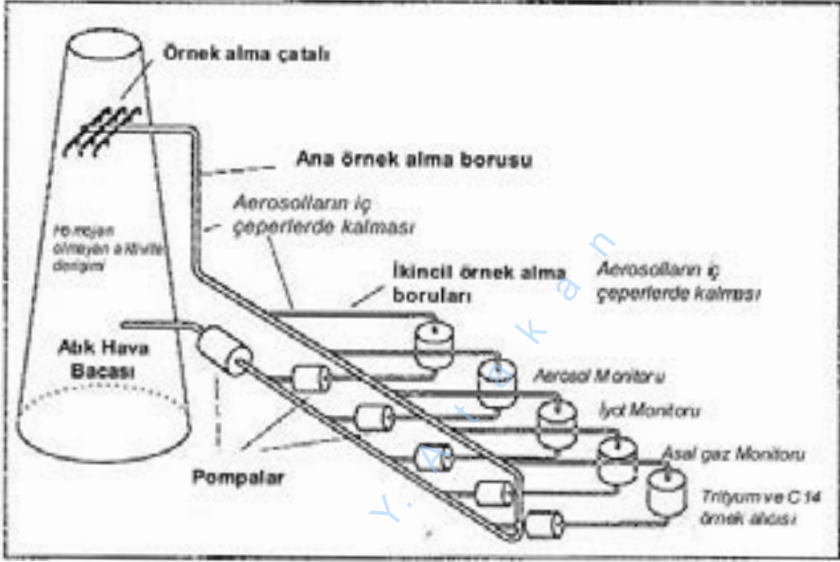
### Santral Bacasından Salınan Atık Havadaki Radyoaktivite Ölçümleri

Santralin bacasından salınan havadaki radyoaktivite, iki adet asal gaz monitörüyle, birer adet de aerosol ve iyot monitörleriyle sürekli kontrol ediliyor (Bkz.Şekil 6, bacadaki monitörler). Bunlardan başka, kaza durumları için planlanmış, aşırı ölçüde yüksek düzeydeki radyoaktiviteyi ölçüp uyarı veren iki monitör de bacada bulunuyor. Radyoaktivite bu monitörlerin önceden ayarlanmış uygun (saatlik, günlük ve haftalık gibi) 'alarm değerlerine' ulaştığında bacadan çevreye salınma otomatikman kesiliyor.

Bacadaki bu ölçüm sistemlerinin işlevleri, santral bacasından çevreye yıl boyunca salınan radyoizotop miktarlarının toplamını hesaplamak olmayıp, atık havadaki radyoaktif maddelerin anlık değişimlerini ve artımlarını 'ön alarmlarla' izleyerek gerekli önlemleri zamanında almak ve böylece kısa süre için de olsa çevreye bir miktar fazla radyoaktivite salınmasını önlemek. Yıl boyunca bacadan çevreye radyoizotopların cinslerine göre, toplam ne miktarda radyoaktivite salındığı (bilançosu) ise, Şekil 7'de gösterilen bacadaki 'sürekli örnek alıcıdan' sağlanan örneklerin laboratuvarında analizleriyle, ilgili radyoizotopların ayrıntılı ölçümleriyle ve ayrıca bacadan her saatte salınan hava hacmiyle ( $m^3/h$ ) birlikte değerlendirilip hesaplanıyor.

Bacaya yerleştirilen çatal şeklindeki emme borulu incelikli bir düzenekle ve boru devreleriyle ('by-pass sistemiyle') atık hava, monitorlara ve örnek alma noktalarına pompayla sürekli iletiliyor (Buna isokinetik örnek alma deniyor ki bu, bacadan atılan gazlardaki radyoaktivitenin gerçeğe yakın bir örneğini yansıtıyor). Radyoizotopların bir miktarı boruların ve ölçüm aletlerinin iç çeperlerinde kaldığından ölçüm sonuçları 'boru katsayısı' denilen en çok 3'le çarpılıp borulardaki ve aletlerdeki kayıplar hesaba katılıyor.

Şekil 7'de modern bir nükleer santralin baca gazlarındaki radyoaktif maddelerin ölçümü ve örnek almak için bacaya yerleştirilen çatal düzeneğe görülüyor.



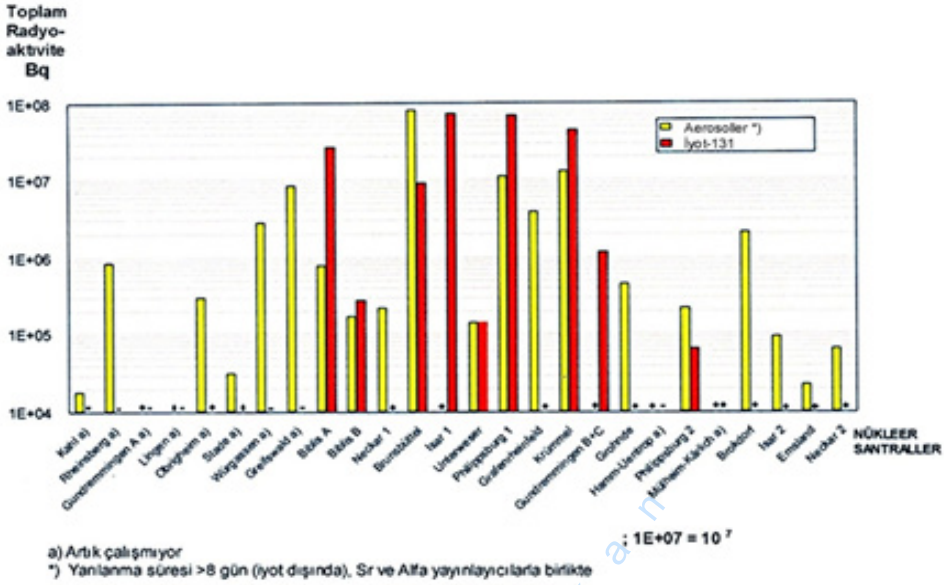
Şekil 7. Nükleer santralin baca gazlarındaki radyoaktif maddelerin ölçümü ve örnek almak için bacaya yerleştirilen çatal düzeneğe /5/

### Santraldan Yakınındaki İmağa Salınan Atık Sulardaki Ölçümler

Daha önce, radyoizotoplardan büyük ölçüde arındırılmış atık sular, büyük su depolarında toplanıyor, çevredeki sulara verilmeden önce toplam radyoaktivite miktarı ve her bir radyoizotopun radyoaktivitesi ölçümlerle belirleniyor. Buna 'karar verme ölçümü' deniyor. Atık sular çevredeki sulara salınırken radyoaktivite aletleriyle ayrıca sürekli olarak ölçülüp, kontrol edildikleri gibi belirli zaman aralıklarıyla da laboratuvarda radyoizotopları ölçmek için örnekler de alınıyor. Örneklerin laboratuvarda ölçülen radyoaktiviteleriyle, santral yakınındaki imâğa salınan su miktarları yıl boyunca göz önüne alınarak imâğa hangi radyoizotoptan toplam ne miktar verildiği hesaplanıyor.

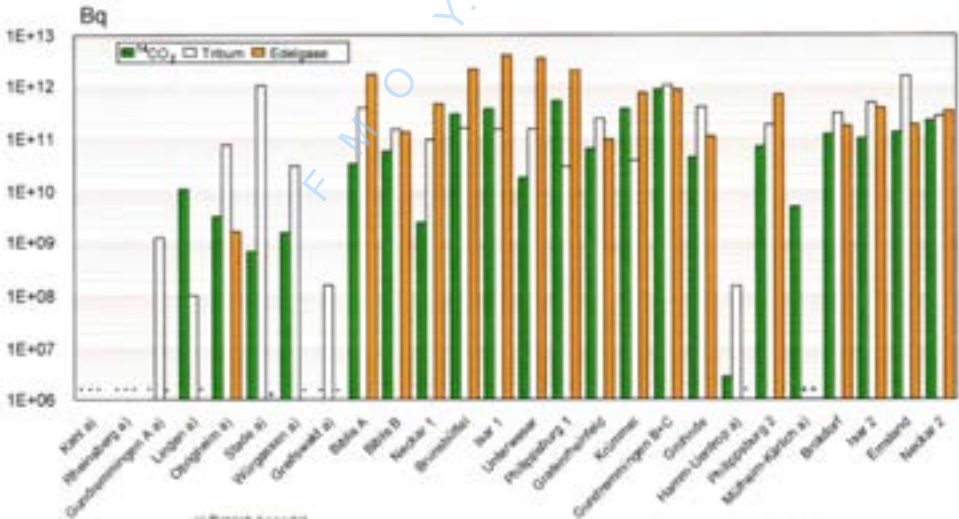
### Almanya'daki Nükleer Santrallardan Çevreye Salınan Yıllık Radyoaktivite Miktarları

Şekil 8'de Almanya'daki tüm nükleer santrallardan 2006 yılında santralların bacalarından atık hava yoluyla çevreye salınan radyoaktivite miktarları (Bq/yıl) radyoizotopların cinslerine göre gösteriliyor. Santralların tümünde havadaki taneciklere tutunan radyoizotoplardan kaynaklanan aerosol radyoaktivitesi ve İyot 131 radyoaktivitesi  $10^8$  Bq'den daha az. Nükleer santrallardan salınan bu radyoaktivitelerdeki farklılıklar, santralların güçleri, işletilme süreleri ve bacalarından salınan miktarlardaki farklılıklar nedeniyle oluyor. Örneğin: santrallardan biri 2006'da 10 ay çalışırken diğeri 8 ay çalışmış, birinin bacasından saatte 200.000 m<sup>3</sup> hava salınırken, diğinden saatte 150.000 m<sup>3</sup> hava salınabiliyor.



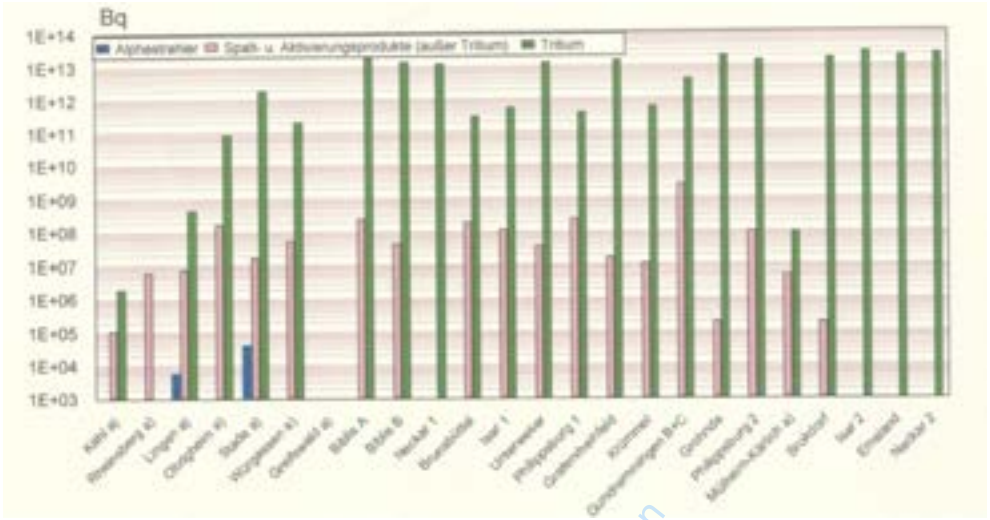
Şekil 8. Almanya'daki Nükleer Santrallarda Baca Gazlarıyla 2006'da Salınan Aerosol ve İyot 131 miktarları /4/

Aşağıdaki Şekil 9 'da aynı santralların bacalarından 2006'da salınan <sup>14</sup>CO<sub>2</sub>, trityum ve asal gaz değerleri yer alıyor. Tüm değerler 5 x 10<sup>12</sup> Bq'in altında.



Şekil 9: Almanya'daki Nükleer Santrallarda Baca Gazlarıyla 2006'da Salınan <sup>14</sup>CO<sub>2</sub>, trityum ve asal gaz miktarları /4/

Şekil 10'da aynı santralların atık suları ile yakınlarındaki ırmaklara 2006'da salınan radyoaktif maddelerden alfa yayanların, bölünme ve korozyon ürünlerinin ve trityumun radyoaktiviteleri gösteriliyor. Tüm değerlerin 5 x 10<sup>13</sup> Bq'in altında kaldığı görülüyor.



Şekil.10 Irmağa salınan atık sularındaki (borudaki) radyoaktivite düzeyleri

## Baca gazlarındaki ve atık sularındaki radyoaktivite ölçümlerinin amaçları ve sonuçları

Nükleer Santral Baca Gazları Radyoaktivite Ölçüm Sistemlerinin İşlevleri özetle:

- Sürekli olarak bacadan salınan atık havadaki radyoaktivite düzeyini kontrol etmek
- Saatlik, günlük sınır değerlere ulaşıldığında alarmlarla radyoaktivitedeki ani yükselişi görebilmek
- Bacadan salınan radyoaktivite akışını, debisini izlemek (Bq/saat)
- Alarm değerlerine ulaşıldığında ilgili yönetmeliğin öngördüğü önlemlere hemen başlamak

**Amaç:** İlgili yasa, yönetmelik ve standartlara göre bacadan çevreye salınan radyoaktif madde miktarını en düşük düzeye indirmek ( KTA 1503.1 Standardına göre)

Nükleer Santral Atık Su Depo ve Borularındaki Radyoaktivite Ölçüm Sistemleri'nin işlevleri de yukarıdakilere benzer olup Almanya'da bununla ilgili olarak KTA 1504 standardı kullanılıyor.

2006'da Almanya'daki 20 kadar nükleer santraldan son 30-40 yıldır edinilen deneyimlere göre Şekil 6'dakine benzer çok sayıda radyoaktivite ölçüm sistemlerinin kullanımı ve bunların ön alarmları yardımıyla çevreye çok az miktarda radyoaktivitenin 'kontrollü olarak' salındığı görülmüştür. Salınan radyoaktif maddelerden çevredeki halkta oluşan radyasyon dozlarının, doğal radyasyon dozunun çok altında kaldığı ve böylelikle çevredeki halkın korunduğu da Şekil 4 ve 5'deki doz değerlerinin düşüklüğünden görülmüştür.

Ayrıca yukarıda açıklandığı gibi radyasyon dozları, sınır değer olan 0,3 mSv'in sadece % 1 - % 3'ü kadar olup, Almanya'da 2006'dan daha önceki yıllarda da bu çok düşük doz değerlerinde pek önemli bir değişim gözlenmiyor.

## NGS'nin çevresinde yapılması zorunlu ölçüm ve değerlendirmeler

Radyoaktif maddelerin nükleer santral içi boru ve kanallarındaki, çıkış yerlerindeki (santral bacasında ve atık su kanalındaki) yukarıda açıklanan ölçüm ve kontroller, **nükleer santral çevresindeki çeşitli ortamlarda (hava, su, toprak ve yiyeceklerde) yapılan radyoaktivite ölçüm ve değerlendirmeleriyle ayrıca desteklenip, denetleniyor.** Bugüne kadar Almanya'da elde edilen ölçüm sonuçları, nükleer santralların çevrelerindeki çeşitli ortamlarda belirgin bir radyoaktivite artışı olduğunu doğrulamaktan uzaktır.

## 9. TÜRKİYE'DE PLANLANAN NÜKLEER SANTRALLARIN ÖLÇÜTLERİ VE RADYASYON ÖLÇÜM SİSTEMLERİYLE İLGİLİ BAZI ÖNERİLER /5/

Yapımı planlanan Türkiye'nin ilk nükleer santrali için TAEK'in internet sayfasında Nükleer Santral kurup işletecek şirketlerin karşılaması gereken 'Ölçütlerde', Nükleer Güvenlik için şöyle yazıyor (2006): 'Nükleer güç santrali güncel ve kanıtlanmış teknolojik yenilikleri kapsamalıdır. Başta Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) normları olmak üzere uluslararası normlara uygun olmalıdır. Santralin "ciddi kaza" sınıfına giren kazalara karşı da radyolojik sonuçları hafifletecek önlemleri alacak şekilde tasarlanmış olması değerlendirmede dikkate alınacaktır'.

Öngörülen bu 'Genel Ölçütler' çerçevesinde, radyoaktivite ölçüm ve alarm sistemlerinde, bunların teknik özelliklerinde, kalitelerinde ve adetlerinde büyük farklılıklar<sup>6</sup> olduğundan, Almanya'da bu konuda son 40 yıldır kazanılan deneyimlerin ve KTA normlarının (özellikle KTA 1503.1 ve KTA 1504) göz önüne alınması yararlı olacağından, önerilir.

Bu ayrıntılı ölçütlere göre nükleer santral yapımını üstlenecek şirketlerin teknik raporlarındaki ölçüm sistemleriyle ilgili bölümleri TAEK'in zaten inceleyip değerlendireceği ve ileride de denetleneceği beklenir. Ancak özellikle bacadan salınan havadaki kısa ve uzun yarılanma süreli, düşük derişimli aerosollarla, **doğal radon ve toronun ayırt edilmesini sağlayabilecek ölçüde duyarlı**, uygun alet sistemlerinin seçilmesinin yanı sıra, incelikli ölçüm ve değerlendirme yöntemlerinin de iyi bilinmesi gerekir. Ayrıca ölçümler için gerekli havayı monitörlere ileten bacadaki 'atık hava by-pass sistemi' başlı başına bir uzmanlık dalı (Bkz. Şek.7). Bu nedenlerle, nükleer santraldaki radyoaktivite ölçüm sistemleriyle ilgili değerlendirme ve denetimleri yapabilmeleri amacıyla bilgi ve deneyimlerini artırabilmeleri için benzer nükleer santrallarda, bu çeşit alet ve örnek alma sistemlerini yapan şirketlerde uzman eleman yetiştirilmesi gerekecektir

## 10. AKKUYU NGS'NİN İNSANA VE ÇEVREYE ETKİLERİNİ EN AZA İNDİREBİLMEK İÇİN PROJE VE YAPIM ŞİRASINDA HANGİ DENETİMLER GEREKLİDİR?

Akkuyu NGS'nin çevreye etkisi konusunda Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın 24.10.2014 günü internet sitesinde, ÇED raporunun uygunluğunun kabul edildiği açıklanmıştır /9, 10/.

Öte yandan Akkuyu nükleer santralında, nükleer ve radyasyon güvenliğinin, ilgili uluslararası standartlara bağlı kalınarak santralin yapımı süresince bu konularda deneyimli kurumlardan, danışmanlık hizmeti alınarak gerçekleştirilmesi, bu konularda Türkiye'de yeterli uzmanın olmadığından, zorunludur. TAEK'in ilk planda Akkuyu NGS inşaatında danışmanlık için uzman aradığı internet sayfasında açıklanmıştır. Ancak bu olumlu gelişmeye rağmen danışmanlığın, yapılacak inşaatın teknik ayrıntılarını **hangi standartlara göre karşılaştırarak yapacağı** açıklanmamıştır.

Gerek inşaat için gerekse ileride tüm güvenlik sistemlerinin, bunların parçalarının uluslararası standartlara uygunluğunun ve yapılması gereken kalite kontrollerinin yerine getirilebilmesi için danışmanlıkların, ilgili standartlar sıralanarak ayrıntılı görev tanımlarının yapılması gereklidir. Denetleyici kurum, ancak böylelikle, danışmanların hangi standarta göre kalite kontrollerini yaptığını ve ne sonuç aldığı değerlendirilebilecektir.

TAEK'in, 13.07.2013 günü internet sitesinde yayımladığı 'AKKUYU NÜKLEER SANTRALİNİN LİSANSLANMASINDA ESAS ALINACAK MEVZUAT, KILAVUZ VE STANDARTLAR LİSTESİ'nde çok çeşitli konularda birkaç yüz adet kılavuz ve standart bulunuyor (Bu listede Almanya NGS'leri için uygulanan KTA standartları yer almıyor). Ancak bu çok sayıda kılavuz ve standartlardan hangilerinin, hangi sistem için Akkuyu NGS'nin hangi döneminde (proje, yapım, işletme öncesi deneme ve işletme dönemlerinde) geçerli olacağı belirtilmiyor ya da sistemlere göre geçerli olacak şekilde standartlar gruplandırılmıyor. Örneğin: reaktör kazanı için Almanya'da, 160 sayfalık KTA 3204 nolu standart geçerlidir ve bunun sayfa sayfa incelenerek ilgili maddelerdeki yaptırımların

<sup>6</sup> Yazarın gerek Almanya'daki ve gerekse ABD'deki nükleer santrallardaki deneyimlerine göre, Almanya'daki radyoaktivite ölçüm sistemleri ABD'dekilerden daha çoktur ve Almanya'dakilerin duyarlılığı çok daha fazladır.





yerine getirilmesi zorunludur. Ancak böylelikle reaktör kazanının kalitesi ve uygunluğu belirlenebiliyor (Bkz. Ek 5'deki şekil ve çizelge).

Akkuyu NGS'nda da örneğin: reaktör kazanı için hangi standartların geçerli olacağı listede yer almalı ve kalite kontrolleri reaktör kazanının her parçası için o standartlara göre yapılmalıdır. Sadece reaktör kazanı için uyulması gereken uluslararası standartlardan bazıları aşağıda kaynaklarıyla birlikte örnek olarak verilirken, nükleer ve radyasyon güvenliğiyle ilgili sistem ve parçaları için de standartların belirlenmesi, en üst kalitede bir NGS yapımını sağlayabilmek için zorunludur (Örneğin: reaktör kabı/containment, reaktöre su basan ana pompalar, buhar üreteçleri, armatürler /vanalar, elektrik ve elektronik sistemlerden dübellere kadar uyulması gereken uluslararası standartların gruplandırılması gerekir (Bu konularla ilgili aşağıda verilen özel denetim örneklerine bkz).

Reaktör kazanı için geçerli olan bazı uluslararası standartlar:

- (1). Guidelines for Application of the Master Curve Approach to Reactor Pressure Vessel Integrity in Nuclear Power Plants Technical Reports Series 429 Subject Classification: 0702-Nuclear power operations STI/DOC/010/429 (ISBN:92-0-112104-0) 105 pp.; 41 figures; 2005
- (2). IAEA coordinated research projects on irradiated reactor pressure vessel...  
[www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P1362\\_CD/htm/pdf/Session3/...](http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P1362_CD/htm/pdf/Session3/...)
- (3). <http://www.intouch-quality.com/blog/reactor-vessel-inspection-quality-control-standards/>
- (4). /Nondestructive Examination Standard for PWR Vessel Internals  
[www.ndt.net/article/jrc-nde2010/papers/94.pdf](http://www.ndt.net/article/jrc-nde2010/papers/94.pdf)  
Nondestructive Examination Standard for PWR Vessel Internals ... management of pressurized water reactor vessel internals and license ... the EVT-1 and VT-1 ...
- (5). ASTM<sup>7</sup> E1005 - 10 Standard Test Method for Application and Analysis of ...  
[www.astm.org/Standards/E1005.htm](http://www.astm.org/Standards/E1005.htm) and ASTM E1005 - 10 Standard Test Method for Application and Analysis of Radiometric Monitors for Reactor Vessel Surveillance, E 706(IIIA)
- (6). Standard Master Matrix for Light-Water Reactor Pressure Vessel ...  
[www.astm.org/Standards/E706.htm](http://www.astm.org/Standards/E706.htm) E706-02 Standard Master Matrix for Light-Water Reactor Pressure Vessel Surveillance Standards, E706(0) (Withdrawn 2011)

Öte yandan bir standardın koşullarının ilgili sistemde tam olarak yerine getirilmediği bir durumda (örneğin: bilirikşilerin kalite kontrolleriyle standarta uyumsuzluğun belirlenmesi durumunda) ne yapılacağına da önceden bilinmesi gerekir. Örneğin; ilgili sistemdeki uyumsuzluğun / bozukluğun düzeltilmesi ya da sistemin, parçanın standarta uyacak şekilde yenilenmesi gibi. **Bu gibi önlemlerin ise, maliyeti arttırması ve santralin yapım süresini uzatması nedenleriyle sant-ralı yapan şirketin ve hatta santralin biran önce elektrik üretmesini bekleyen yetkililerin ilerde kabul etmeyeceği düşünülmeli ve gerekli yol ve yöntemler önceden geliştirilmelidir.**

Yukarıdaki nedenlerle uluslararası standartlara göre güvenliği en yüksek modern bir nükleer santralin yapımının daha proje döneminde denetimi için, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'nun (TAEK) Akkuyu'da yapımı planlanan nükleer santralla ilgili olarak 1984'teki Siemens KWU teklifinde uyguladığı bir yöntemi bugün Rus santrali için de izlemesi yararlı olabilir. TAEK bünyesinde nükleer santrallardaki karmaşık teknik sistemlerin yüzlerce alet, aygıt ve malzemenin standartlara uygunluğunu değerlendirebilecek yeterli deneyime sahip kadro bulunmadığından 1984'te Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu'na başvurarak KWU şirketinin (20 kadar kalın klasörlü) teklifindeki ayrıntılı teknik açıklamaların, Almanya'daki Nükleer Standartlara (KTA) uyup uymadığını ve varsa bu standartlardan sapmaların belirlenmesini istemişti. Bizim de 'radyasyondan korunma kurulunda' katıldığımız bu toplantılar 16-25 Temmuz 1984'te Viyana'da yapıldı.

<sup>7</sup> ASTM: the American Society for Testing and Materials (ASTM).

Öngörülen KWU nükleer santral projesinin teknik özelliklerini inceleyen uzmanlık kurulları şunlardı:

1. Radyasyondan korunma
2. Mekanik mühendislik
3. Genel mühendislik
4. Kaza analizi.

Almanya'daki Reaktör Güvenlik Kurumu'nun (GRS) standartlara (KTA, DIN) uyuma ilişkin olarak KWU'nun yapmayı öngördüğü santralin teknik yapısı, güvenlik sistemleri, arıza ve kaza durumunda devreye girecek otomatik sistemler bu toplantılarda enine boyuna tartışıldı ve standartlardan bazı sapmalar olduğu belirlendi. 25 kadar uzmanın katkısıyla hazırlanan IAEA (= UAEA) teknik raporu TAEK'e iletili.

Proje dönemindeki böyle bir incelemenin ardından, bu konularda danışmanlık hizmeti veren TÜV gibi kurumlar devreye katılarak sistemlerin, malzeme, alet ve aygıtların sürekli denetiminin yapılmasının, güvenliği yüksek bir santralin yapılarak ilerideki kazaların önlenmesindeki payının büyük olacağı açıktır.

## **Bu amaçla yapılabilecek denetimler iki gruba ayrılabilir:**

### **1. Genel Denetim**

Projenin teknik detaylarının ilgili standart ve yönetmeliklere uygunluğunun denetimi, bunlar, ancak uygunsa onayı (1984'deki KWU projesinde olduğu gibi ilgili dallardaki UAEA uzmanlarının yapabileceği bir denetim).

### **2. Ayrıntılı Özel Denetim**

Santralin güvenli çalışmasıyla ilgili her bir sistem, aygıt ve malzemenin yapısından montajına ve yerinde denenmesine kadar ilgili standartlara ve yönetmeliklere uygunluğunun ancak ilgili dallardaki deneyimli bilirkişilerce denetimi, bunlar, ancak uygunsa onayı (Bu çeşit ayrıntılı deneyimleri örneğin Almanyadaki TÜV gibi kurumların uzmanları yapabilir).

### **Ayrıntılı Özel Denetime bir örnek:**

#### *Basınçlı reaktör kazan malzemesinin denetimi:*

Reaktör kazan malzemesinde iz (eser) elementler çok az olmalı ve kazan malzemesi, sürekli nötron akısı altında, uzun sürede ince yapısını bozmamalı. Reaktör kazanının ve her parçasının ilgili bir dizi standarda uygunluğunun bilirkişilerce denetlenmesi zorunludur (Örneğin: Ek 5: Basınçlı Reaktör kazanıyla ilgili KTA 3204 standardına göre yapılması zorunlu olan kalite kontrolleri).



Basınçlı reaktör kazanı (Kabi)





## Ayrıntılı özel denetime başka bir örnek: Dübeller

Santralin güvenli çalışmasıyla ilgili boruları, depoları (su tankı gibi) ve bazı aygıtları duvarlara tutturun dübeller (25 cm kadar uzunluğunda) depreme dayanıklı olmalı ve yüzeye tam dik yerleştirilmeli (monte edilmeli) yoksa öngörülen depremde bunlar hasar göreceğinden ilgili tüm sistemler hasar görebilir, çalışmayabilirler.

Almanya'daki Biblis NGS'nda, biraz çarpık monte edildiği sonradan belirlenen 15.000 dübel'in sökölüp yenileriyle değiştirilmesi 1,5 yıl sürdü ve santralin durdurulmasıyla birlikte bu iş 1 milyar avro'ya mal oldu. **Sadece 1 tek dübelin montajında 6-7 montör ve uzman, ilgili yönetmeliklerin yaptırımlarını denetliyor. Rastgele seçilen bazı dübellerin denetimine izin verilmiyor, tümünün tek tek denetimi gerekiyor. Dübellerin uygunluğu, hem atom enerji yasasına hem de yapı güvenliği yasa ve yönetmeliklerine göre ilgili standartlar gözönüne alınarak farklı uzmanlarca denetleniyor.**

Öte yandan, dünyanın herhangi bir nükleer santral proje şirketinde ya da bunları denetleyen kurumlarda çalışmış deneyimli uzmanlar ya da deneyimli danışmanlık kurumları Türkiye'de bulunmadığından, nükleer santralin proje ve yapım süresince her bir sistemi ve bunlarda kullanılacak malzemenin, alet ve aygıtların, uluslararası standartlara uygunluğunun denetimini ve ayrıntılı kalite kontrolünü yapacak Almanya'daki TÜV gibi danışmanlık kurumlarından yararlanılması, güvenli bir nükleer santralin kurulması için gerekir. Örnek olarak, çevreye salınan baca gazlarındaki çeşitli radyoaktif maddeleri sürekli ölçecek aletlerin kalite ve duyarlılıkları düşük ise (ya da bu aletlerin yeterli duyarlılıkta olmayan kalitesi düşük olanları, seçilmişlerse ve hatta alarm sinyalleri zaman zaman aksiyorsa) çevreye, bu çeşitli aletlerin (monitorların) gösteremediği ve çevre radyoaktivite kontrollerinde da hemen ölçülemeyen radyoaktif maddeler azar azar salınacak ve ancak yıllar sonra, çevredeki toprak ve yiyeceklerde biriken radyoaktif maddelerin ölçülebilmesi yoluyla, halkın sonradan, belki de iş işten geçtikten sonra, fazla radyasyon dozu aldığı belirlenebilecektir (Bkz.Bölüm 7).

## 11. NGS ÇEVRESİNDEKİ RADYOAKTİVİTE VE RADYASYON ARTIMININ ÖLÇÜMLERLE BELİRLENMESİ

Bir nükleer santraldan çevreye yayılabilecek radyoaktif maddelerin miktarını sürekli olarak ölçen, kontrol eden, sınırlayan alet sistemlerinin santralda bulunmasının yanı sıra, santral çevresinde de çeşitli ortamlarda sürekli ölçümlerin yapılması gereklidir. Santral işletmeye açılmadan 2 yıl kadar önce ve sonrasında da çevredeki toprakta, çeşitli besin maddelerinde, hava ve suda çok çeşitli radyoaktif maddelerin derişimleri belirlenmeli, ayrıca doz hızları ölçümleri yapılmalıdır. Ancak böylelikle ileride santral çalışırken bunlarda olabilecek artımlar belirlenebilir.

Ayrıntılı ölçüm programlarıyla ilgili standartlar IAEA yayınlarından bulunabilir. Etkin rüzgar yönünde sürekli doz hızı ölçümlerini ve havadan sürekli örnek alma aygıtlarını da içeren kullu-belerin kurulması ve belirli aralıklarla alınan örneklerin laboratuvarda radyoaktivite analizlerinin yapılması gerekir. Planlanan Akkuyu NGS çevresinde (IAEA – Y.Atakan teknik raporuyla) 1982 /1983 yıllarında, ANAEM çeşitli ortamlarda radyoaktivite ölçümleri yapmıştır. Daha sonraları NGS projesi sürdürölmediğinden, bu ölçüm programı da durdurulmuştur. NGS programı gündeme alınmasından sonra 2005 -2010 yılları arasında hem Akkuyu hem de Sinop bölgesi için ayrıntılı (hava, içme suyu, deniz suyu, kuyu suyu, toprak, bitki, sebze ve meyvelerde) radyoaktivite ölçümleri yapılarak doğal radyoaktivite düzeyi belirlenmiş. TAEK'in yaptığı tüm bu ölçümler haricinde, Rus firması ÇED kapsamında özel bir kuruluşa bu ölçümleri tekrar yaptırmıştır/TAEK WEB ve ÇED Raporu/.

## 12. RADYOAKTİF ATIKLAR

Radyoaktif atıkların önce santral alanında sonra da geçici ve kalıcı yerlerde depolanması için uzun süreli bilimsel araştırmalar ve incelemeler gerekiyor. Almanya'da bu konuda son 40 yıldır yoğun çalışmalar yapılmışken ve bu çalışmalar bugün de sürerken, ülkemizde bu konuda henüz bir çalışmaya rastlanmıyor. Her ne kadar Akkuyu'da kullanılacak nükleer yakıt elemanlarının Rusya'ya taşınacağı anlaşmada yer alıyorsa da diğer atıkların depo yerleri konusunda herhangi bir açıklama yapılmış değil. Radyoaktif atıkların depolandıkları yerlerin çevreyi ve sonunda insanı etkileyebilecekleri açık olduğundan, bu konuda ilgili bilimcilerden oluşacak kurullarca bir an önce çalışmalara başlanması önerilir.

Radyoaktif atıklar, radyoaktivitelerine, taşıdıkları radyoizotopların cinslerine, fiziksel durumlarına ve ısı yaymalarına göre sınıflara ayrılarak ilgili teknik kurallar ve yönetmelikler çerçevesinde işleme sokuluyorlar. Radyoaktif atıklar çoğunlukla uluslararası standartlara göre 'Zayıf', 'Orta' ve 'Yüksek' Radyoaktifiteli Atıklar olarak sınıflandırılıyor. **Zayıf ve Orta Radyoaktifiteli Atıklar** kısa yarılanma süreli maddelerden oluşuyorlar. **Orta radyoaktifiteli olanlar** için ek zırhlamalı atık varilleri gerekiyor, bunlar nükleer santrallardan, nükleer tıp ve araştırma merkezleriyle endüstriden gelen makine parçaları gibi çok çeşitli atıklardan oluşuyor. **Yüksek radyoaktifiteli atıklara** örnek olarak, nükleer yakıt elemanları arındırma tesislerinden gelen maddeler ve camlaştırılmış nükleer bölünme (fisyon) ürünleri sayılabilir.

Atıkların konduğu varillerdeki toplam radyoaktivite, atıklardaki radyoizotopların cinsine göre sınırlandırılıyor, variller güvenli bir şekilde kapatılıyor, işaretleniyor ve belirli depolara güvenlik önlemleri alınarak yollanıyor.

1300 MW'lık (kaynamalı sulu) bir NGS'nda bir işletme yılında ortaya çıkan radyoaktif atıkların miktarı yaklaşık olarak 210 m<sup>3</sup> (%86) Zayıf, 32 m<sup>3</sup> (%13) Orta ve 2 m<sup>3</sup> (%1) Yüksek radyoaktiviteli olabiliyor.

Radyoaktif atıklar daha çok katı maddelerden ve az miktarda da sıvılardan oluşuyor. Sıvı radyoaktif maddeler depolanmadan ya da yeraltında saklanmadan önce kimyasal olarak kararlı duruma getirilerek katı maddeye dönüştürülüyor. Radyoaktif gaz atıklar ise çok az ortaya çıkmakta ve bunlar gaz halinde değil, fiziksel ve kimyasal olarak başka maddelerle kaynaştırılarak depolanıyorlar.

Nükleer santrallarda ortaya çıkan radyoaktif atıklar içinde uranyum-235'in nötronların bombardımanıyla bölünmesi sonucu oluşan Cs 137, I 131 gibi daha bir dizi 'bölünme ürünleri' ortaya çıkıyor. Ayrıca çelik reaktör kazanı, pompa ve boru sistemlerindeki aşınmadan kaynaklanan, önceden radyoaktif olmayan, metal parçacıklarının soğutma suyuna karışıp reaktördeki yakıt elemanlarının yakınından geçerken, bunların nötronların bombardımanı sonucunda Co60 gibi daha başka 'korozyon ürünleri' de oluşuyor. Ayrıca U238'den nötronların etkisiyle bir miktar oluşan Pu239 (ki bu da U-235 gibi bölünebiliyor) ile reaktördeki yakıt maddesi kullanıldıktan sonra, yakıt elemanları içinde arta kalan U235, Pu239 ve Pu241 ve Pu239'a dönüşmeyen U238 'atık maddeler' gibi göz önüne alınıyorlar. Nükleer yakıt elemanları çubukları içindeki bu gibi maddeler, yakıt elemanları reaktördeki soğutma ve dinlendirme havuzlarında aylarca bekletildikten, ısı ve radyoaktiviteleri epey azaldıktan sonra, ileride özel tesislerde arındırılıyor ve arta kalan madde ve malzemeler ilgili uygun yeraltı depolarında saklanıyor. Reaktörde kullanılmış yakıt elemanlarının, ilgili tesislerde işlenmesi sırasında ortaya çıkan yüksek radyoaktivitedeki 'bölünme ürünleri çözeltileri' cam ya da seramik içinde kaynaştırılıyor. Böylece bunların korozyona uğramaları ve suda çözünmeleri önlenmiş oluyor.

Başka cins radyoaktif atıkların, durumlarına göre ilgili tesislerde kontrollü yakma ve sıkıştırma gibi uygun yöntemlerle, hacimleri iyice küçültülerek ve kimyasal olarak kararlı duruma getirilip suda çözünmeyen çimento ya da bitüm / asfalt gibi maddelerle kaynaştırılarak bunlar, önce reaktör alanındaki 'Geçici Depolarda' sonra da ilgili yeraltı 'Sürekli Saklama Depolarında' saklanıyor.



Bazı atıklardaki radyoaktivite binlerce yıl sürdüğünden bunların konacağı 'yeraltı sürekli depolama yerleri'nin seçimi büyük önem taşıyor. Böyle yerlerin, hidrolojik ve biyolojik sistemle ilişkili olmaması, jeolojik yapının buna uygun olması, deprem bölgelerinden uzakta olması gibi özellikler, radyoaktif maddeli atıkların ileride çevreyi etkilememeleri için zorunlu. Özellikle yeraltı tuz yataklarından arta kalan galerilerle, granit ya da tüf taşı içindeki yeraltı boşlukları gibi daha bir çok jeolojik yapının, uygun sürekli depo yerleri olup olamayacağı konusunda son 30-40 yıldır bilimsel ve teknik çalışmalar yapılmakta (Örneğin: Kuzey Almanya'daki Asse ve Gorleben'da 1979 dan beri bu konuda çalışmalar sürüyor).

### 13. KULLANILMIŞ YAKIT ELEMANLARI İÇİN BEKLETME HAVUZLARI

Akkuyu'dan Rusya'ya taşınması öngörülen yakıt elemanlarının önce santral binasındaki bir havuzda bir kaç yıl bekletilmesi ve ancak radyoaktivitesi epey azaldıktan sonra özel zırlı varillerde güvenlik önlemleri altında taşınması gerekir. Taşınma güzergahının önceden belirlenmesi ve yol boyunca bir kazanın olmaması için planlama yapılarak önlemler alınması zorunludur. Ayrıca bekletme havuzlarına su basan pompaların sürekli çalışması ve Fukushima'daki gibi yakıt elemanlarının havuzda susuz kalmaması için önlemler alınmalıdır. Yoksa, yakıt elemanları, içlerindeki radyoaktif maddelerden salınan radyasyonlarla ısınıp eriyecek ve havaya ulaşan radyoaktif maddeler çevreye ulaşacaktır.

Akkuyu NGS'nin plütonyumlu ve yüksek radyoaktiviteli **kullanılmış yakıt elemanlarının Rusya'ya nasıl ve hangi güzergahtan taşınacağı** ayrıntılarıyla planlanmalı ve yol boyunca olabilecek kazaları öngören çalışmalar yapılarak önceden önlemler alınmalıdır.

## EKLER

### Ek 1: Akkuyu Nükleer Güç Santralının (NGS) Ana Teknik Yapısı /10/, /12/, /5/

**Akkuyu NGS Elektrik Üretim A.Ş. Projesinin Çevre Değerlendirme (ÇED) raporunda ana teknik yapı (bazı koyu harfli eklemelerimizle), kısaca şöyle yer alıyor (alıntılar italik):**

Akkuyu Nükleer Güç Santralının yapımında üçüncü nesil VVER tipi (basıncılı su ile soğutulan su moderatörlü güç reaktörü) hafif su reaktörünün kullanılması planlanmaktadır. Bu tür reaktörlerde hafif su, hem nötron moderatörü hem de soğutucu olarak kullanılır.

NGS'nin temel tasarımı (çift devreli bir VVER yani bir Su-Su-Enerji Reaktörü), Şekil 1'de tipik bir şematik gösterim olarak sunulmuştur. Buna göre, yakıt reaktörün kalbinde bulunmaktadır. Su, yakıt elemanları arasındaki aralıklarda yukarı doğru hareket ederek, fisyon (uranyumun atom çekirdeğinin bölünmesi) sonucu açığa çıkan ısıyı buradan uzaklaştırmaktadır. Isıyı çekmekte kullanılan bu su, "soğutucu" (İngilizcesi ile "coolant") olarak adlandırılmaktadır.

VVER reaktörü, dünyanın en güvenli reaktörlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Rusya Federasyonu, Ukrayna, Çek Cumhuriyeti, Slovakya, Macaristan, Ermenistan, Hindistan, Finlandiya ve Çin gibi ülkelerde kullanılan (ya da yapımı süren) VVER tipi reaktörler, bu endüstrinin tarihi boyunca 50'den fazla nükleer güç santralında kullanılmıştır.

Proje, "Nükleer Güç Santrali Güvenlik Konsepti" uygulanacaktır. Buna göre, Akkuyu NGS Projesi'nde güvenliğin sağlanması, çevreye salım yolu üzerinde olabilecek radyasyonun ve radyoaktif maddelerin derinliğine savunma bariyerleri ile güvenceye alınması ve bu bariyerlerin, yerel nüfusun korunmasına yönelik olarak alınacak tedbirlerde olduğu gibi teknik ve idari önlemlerle desteklenmesi ve etkinliklerini arttıracak sistemler geliştirilmesi ile mümkün olmaktadır.

Akkuyu NGS ana ekipmanı aşağıdaki unsurlardan oluşmaktadır:

- Reaktör kabı (reaktör kazanı); ömrü 60 yıl olan, ısı kapasitesi 3.200 MW olan dört adet VVER-1200 su reaktörü yer alacaktır. Nükleer yakıt olarak uranyum dioksit kullanılmaktadır.
- Borik asit ihtiva eden ve kimyasal bakımdan demineralize olan su, reaktör için hem soğutma hem de moderatör işlevi görür. Suyun değişimi işletme süresince değişir.
- Dört yatay tip PGV-1000 MKP buhar üretici inşa edilecektir (her buhar üretici 6,9 MPa basınçla üretim kapasitesi olan 1600+112 t/h kuru doygun buhar üretir)
- GCNA-1391 tipi dört ana dolaşım pompa seti kullanılacaktır.
- K-1200-6,8/50 tipi bir türbin-üreteç seti kullanılacaktır.

Reaktör, buhar üreteçleri ve diğer birincil/ana ekipmanlar, iki kademeli betonarme koruma kabı (kalın beton duvarlı reaktör binasını çevreleyen containment) içinde yer almaktadır. Çift koruma kabı aşağıdakileri içermektedir:

Kaza Kontrol (lokalleştirme) Bölgesi ortamında, acil durum parametrelerine dayanıklı olacak şekilde tasarlanmış ve ön gerilmeli betonarme ile yapılmış iç koruma kabı;

Dışarıdan gelebilecek doğal ve insan kaynaklı etkilere karşı koruma sağlamak amacıyla ve acil durumlarda iç koruma kabından sızabilecek radyasyonu (radyoaktif maddeleri) tutmak ve iki koruma kabı arasındaki alanı sınırlandırmak amacıyla ön gerilmeli olmayan betonarmeden yapılmış bir dış koruma kabı (Yukarıdaki şekillere bkz.).

NGS elektrik sistemleri ise aşağıdakileri içermektedir:

- Enerji üretimi ve şebekeye dağıtım sistemleri;



- Yardımcı güç kaynağı sistemleri.

Elektrik üretim ve dağıtım sistemi; 1.200 MW, 24 kV üreteç, 24 kV üreteç kesici, 24 KV akım kablolarını bağlayan ünite transformatörleri, esnek konnektörler ve 380 kV yüksek gerilim şalt birimlerini içermektedir. Bunun yanı sıra, SF6 izolasyonlu ana şalter / kontrol şalteri, 154 kV bağlantı ototransformatörleri, 154 kV ve 380 kV bağlantı şaltlarını kapsamaktadır.

Nükleer Güç Santralı yardımcı güç kaynağı sistemleri; işletim, hazırda bekleme ("standby") ve acil durum güç kaynakları ile gerilimi 10 kV ve 0,4 kV AC ve 220 V, 110 DC olan dağıtım sistemini içermektedir.

Yardımcı güç kaynağı kaynakları iç ve dış olarak ayrılmaktadır. Yardımcı güç kaynağının dış kaynağı enterkonnekte şebekedir. Normal çalışmada, yardımcı güç kaynağının iç kaynağı türbin üreteci, acil durumlarda ise yardımcı güç kaynağı dizel üreteçler ve akümülatör bataryalarıdır.

Tesisin soğutma düzeni, ısı aktarım biriminde bir kez dolaşan deniz suyunun soğutulmasına dayanan "tek geçişli sistem" olup, Akkuyu NGS'nin kullanma ve soğutma suyu denizden sağlanacaktır. Güvenlik sistemleri ile ilgili nihai ısı kuyusu da yine deniz olacaktır.

Nükleer Güç Santralı güvenlik sistemleri; koruma, lokalleştirme, destek ve kontrol sistemlerini içerir. NGS ayrıca "tasarıma esas kaza" ve "tasarım ötesi kaza" yönetim sistemlerine de sahiptir.

NGS'nin güvenliği, iyonlaştırıcı radyasyon ve radyoaktif maddelerin çevreye çıkış yolu üzerinde kurulu fiziksel bariyer sisteminin uygulanmasını temel alan "derinliğine savunma kavramının", bu bariyerlerin korunması ve etkili kılınması için gereken teknik ve idari tedbirler sisteminin, personel, nüfus ve çevre koruma tedbirleri sisteminin kesintisiz olarak tatbik edilmesiyle sağlanmaktadır', (alıntının sonu).

## Ek 2: Rus VVER Nükleer Santral Modellerinin Gelişimine Bir Bakış /5/

Akkuyu projesinde VVER-1200 (AES-2006) modeli nükleer santral yer alıyor. Bu model daha önceki VVER- 1000 modelinin Finlandiya'da yapımı bitmek üzere olan üçüncü kuşak nükleer santralindeki teknik özelliklerin projeye alınmasıyla geliştirilmiştir. VVER- 1200 (AES-2006) modeli nükleer santrallerin yapımı Rusya'da sürmektedir.

Bu yeni model henüz hiçbir ülkede işletmeye geçmediğinden uzun yıllar işletilen daha önceki modellerle ilgili gelişmelerin ve deneyimlerin burada kısaca gözden geçirilmesi yararlı olacaktır.

Daha önceki VVER- 1000 tasarımı, bazı uluslararası uygulamaların gereğini de içerecek şekilde yeni Sovyet nükleer standartlarının gereksinimlerini yerine getirmek amacıyla 1975 ile 1985 yılları arasında VVER-440 modellerinin geliştirilmesiyle ortaya çıkmıştır.

VVER-440/V213 modelinin Batı'daki Nükleer Santrallarda uygulanan uluslararası standartlara göre olumlu ve olumsuz özellikleriyle ilgili değerlendirmeler aşağıda bulunmaktadır.

### VVER-440/V213 modeli nükleer santrallerinin olumlu özellikleri

Batı'daki nükleer santrallerindeki benzeri, çelik donanımlı betonu önceden sıkıştırılmış (ön gerilmeli), geniş hacimli yapı (containment). Bu modeldeki güvenlikle ilgili gelişmeleri kapsayan iyi bir tasarım (Eski Sovyetlerdeki standartlar, daha önceki santrallarda sürekli kullanılan devre elemanlarından elde edilen deneyimlere dayanıyor). Dört soğutma devresinin ve yatay buhar üreteçlerinin kullanılması, Sovyet tasarımcılarınca gelişme olarak nitelendiriliyor.

Nükleer yakıt elemanları gruplarındaki düzenlemeyle soğutma suyunun daha iyi akışı sağlanıyor ve böylelikle kontrol çubuklarının etkinliği artıyor. Seçilen uygun malzeme, yüksek kapasiteli ana soğutma suyu arındırma sistemi ve su kimyası kontrolü sonucu reaktör çalışanlarının aldıkları

radyasyon dozlarının, Batı'daki bir çok nükleer santral dozlarından daha düşük olduğu açıklanan doz değerlerinden görülmüyor.

### **VVER-440/V213 modeli nükleer santrallarının olumsuz özellikleri**

Santralin alet ve kontrol sistemleri standartların altında. İvedi elektrik sistemiyle reaktör koruma sistemlerinin kablolanma şekli ayrı kontrol gerekliliği yönünden Batı'daki standartlara uymuyor. Bunların arasındaki bağlantılar kontrol sisteminde hataya neden olarak güvenlik sisteminin çalışmasını önleyebilir.

Yangından korunma sistemleri daha önceki VVER modellerindekinden pek farklı olmayıp batı Standartlarına uymuyor.

Kalite kontrol, tasarım (design) ve yapım (construction) batı standartlarının altında.

Kontrol odası personelinin (operatörler) korunması eski VVER modellerindeki gibi olup batı standartlarına uymuyor.

### **VVER-1000s Modeli**

Batı'daki nükleer santrallarda bulunmasına karşın, VVER-1000s'de ivedi durumda 'teknik komuta merkezi' olarak çalışacak ve santrali tekrar kararlı normal duruma getirecek bir büro bulunmuyor. Böyle bir büro gerek ABD'deki gerekse Batı'daki nükleer santrallarda Three Mile Island Unite 2 santralında 1979'daki kazadan beri var.

VVER-1000 modeli santrallarındaki çalışma ve ivedi durum yönetmelikleri batıdaki nükleer santrallarındakilerle karşılaştırılamayacak kadar zayıf.

Daha yüksek güç yoğunluklarına karşın, birincil ve ikincil devrelerin hacimlerinin daha küçük olması reaktörün daha az kararlı çalışmasıyla sonuçlanabilir.

### **Ek 3: Rus Üçüncü Kuşak Nükleer Santrallarının Gelişimi ve Önemli Özellikleri /5/**

#### **VVER-1200/491 (AES-2006)**

Rusya, 2007-2015 arası gitgide artan enerji açığını kapatabilmek ve süresini doldurmakta olan eski nükleer santralları devreden çıkarabilmek için 28 adet yeni nükleer santral yapımını planlamış ve bu çalışmadan kurulacak yeni santrallar için VVER-1200/491 (AES-2006) modeli ortaya çıkmıştır. Akkuyu projesinde yer alan bu model nükleer santralların yapımı Rusya'da Nowoworonesch'de (Nowoworonesch II) ve ayrıca Leningrad'da sürüyor (Her birinde 2 ünite). Nowoworonesch'de 2008 ve 2009' da başlanan santralların ilkinin 2012'de diğerinin 2013 yıllarında işletmeye açılacağı planlandı. VVER 1000'nin geliştirilmesiyle oluşan bu model, Batı'daki (Areva şirketinin projelendirdiği) üçüncü kuşak santrallarda bulunan pasif güvenlik sistemlerini, uçak çarpmasına karşı korunmayı ve reaktör yakıt maddesinin erimesi durumunda yakıt maddesini tutacak bir 'yakıt maddesi tutma çanağını' da içeriyor. Çin ve Hindistan'da (Tianwan ve Kudankulam) ikişer adet VVER 1000'nin yapımı sürerken VVER-1200/491'in yaptırılması da düşünülmüyor .

Rus şirketinin, Türkiye'nin (Akkuyu) yanı sıra Finlandiya ve Çek Cumhuriyeti'nde de VVER-1200/491 (AES-2006) modeli santrallar kurmak için teklifleri de var.

VVER-1000/320 ve VVER-1200/491 (AES-2006) modelinde nükleer yakıt maddesinin eriyeceği (ergiyeceği) bir kazada bile yakıt maddesi ve yakıt elemanları çubuklarının malzemesinin erimesi sonucu oluşan karışımın 'corium gazının' ortaya çıkmayacağı bunları yapan şirket tarafından açıklanıyor. Ayrıca basınçlı reaktör kazanı (reactor pressure vessel) dışardan soğutulmuş kazanın çelik malzemesinin bozulmaması (erimemesi) ve böylece eriyen yakıt maddesinin kazanın içinde kalması sağlanacak. Buna rağmen yakıt maddesi erimesiyle ilgili teknolojik çalışmalar ve senar-



yolar henüz temel araştırmalar düzeyinde olduğundan yakıt maddesi erimesinin kontrol altında tutulmasıyla ilgili bir garanti bulunmuyor.

Santralı kuran şirketin açıklamalarına göre VVER-1000 modeli santral çevresinde yaşayan bir kişinin yılda alacağı radyasyon dozu 0,5 mSv'den daha az.

## Sonuç

Akkuyu'da kurulacak VVER-1200 modeli Rus yapımı nükleer santralin, Batı'daki üçüncü kuşak bir santraldaki ana teknik yapıyı içereceği öngörülüyor. Fukushima kazasından edinilen bilgilerin ışığında gerekli yaptırımları da katarak, Batı'daki üçüncü kuşak bir nükleer santraldaki teknik yapının Akkuyu santralinde gerçekleşmesi, ancak ilgili uluslararası satandartlara göre kalite kontrollerinin yapılmasına bağlı olacağı yukarıda da belirtilmişti.

## Ek 4: Enerji bakanlığı web sayfasındaki açıklamalar, (web sayfalarından alıntılar italik)/1/

### *Nükleer Güç Santrallerinde Çıkan Nükleer Atık Miktarı Ne Kadardır?*

Dünya üzerindeki tüm nükleer santrallerin şu ana kadar (yaklaşık 40 yıllık atık) biriken toplam nükleer atık(kullanılmış yakıt) yaklaşık olarak 260.000 ton olup, bu atık 5 metre yüksekliğinde yan yana konulduğunda, 4 futbol sahasını dolduracak hacimdedir[52]. Sadece ABD'de şu ana kadar ortaya çıkan atık 5 m yüksekliğinde depolandığında ise bir futbol sahasını kaplayacak hacimdedir[53]. Tipik bir 1000 MW'lık nükleer santralden yılda yaklaşık 30 ton nükleer atık çıkmaktadır[54]. Tüm dünya üzerindeki santrallerden yıllık olarak çıkan nükleer atık miktarı yaklaşık 12.000 ton'dur'.

### *Nükleer Güç Santralleri Çevreyi Nasıl Etkilemektedir?*

(Enerji bakanlığı web sayfasındaki açıklamalar):

Santralin inşası, işletimi, sökümü ve atık yönetimi ile ilgili tüm faaliyetler ülkemizdeki çevre dâhil tüm mevzuatın gerektirdiği izin ve denetime tabii olacaktır. Söz konusu izin ve denetimler;

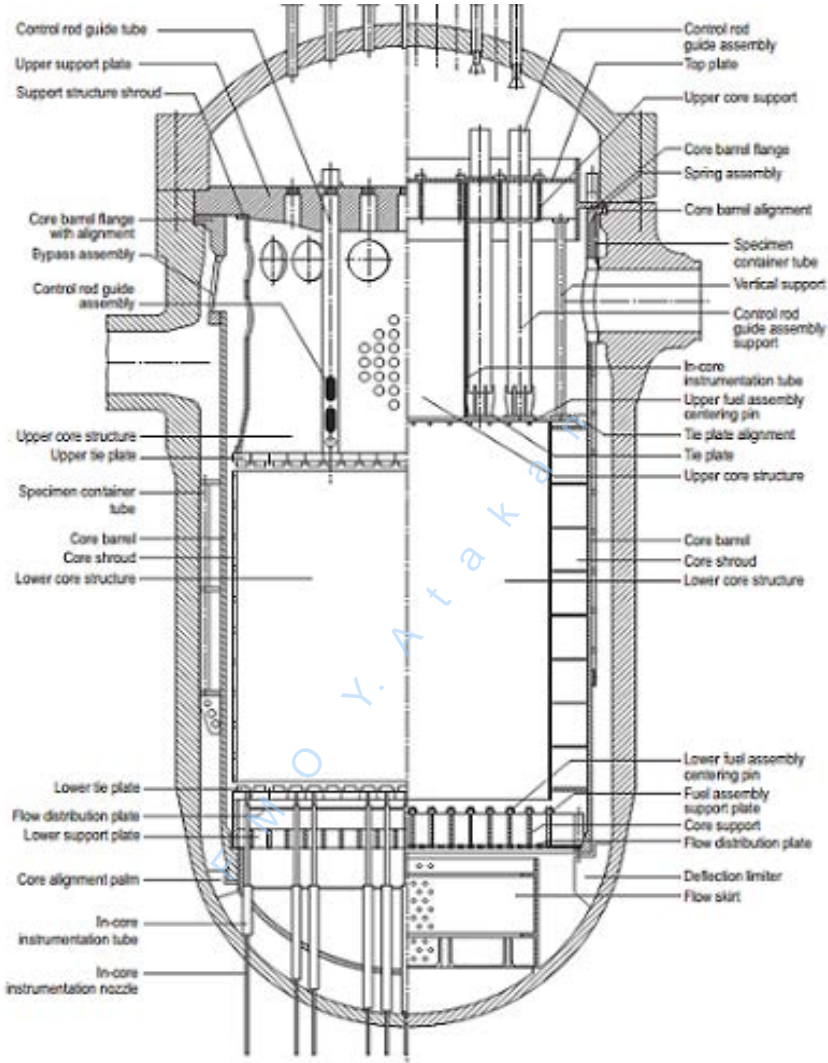
- TAEK tarafından verilecek izin ve lisanslar,
- TAEK tarafından yapılacak denetimler,
- EPDK'dan elektrik üretim lisansı alınması sırasında Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'ndan radyolojik ve radyolojik olmayan tüm çevresel etkileri de değerlendiren Çevresel Etki Değerlendirme (ÇED) için olumlu kararın alınmasını da kapsamaktadır.

Söz konusu izinlerin alınamaması ya da denetimlerde olumsuz sonuçların çıkması halinde santralin inşasına ve faaliyetlerin sürdürülmesine izin verilmeyecektir. Normal işletme koşullarında ve olabilecek kaza durumlarında nükleer santrallerin çevreye olan radyolojik etkilerinin TAEK tarafından belirlenen limitlerin altında olacağının gösterilmesi, gerçekleştirilecek düzenleme ve denetleme çalışmalarında kullanılacak kabul kriterlerinden birisidir. Ayrıca nükleer santrallerin işletilmesi sırasında oluşacak çevresel salımlar TAEK'in gözetimi ve denetimi altında olacaktır. Nükleer santrallerin radyolojik olmayan etkileri ise ilgili diğer kuruluşların denetimine ve düzenlemesine tabi olacaktır.

Santralin soğutma suyu sistemi, deniz ve karada ekolojik sisteme olabilecek muhtemel etkileri incelenerek ekolojik dengeyi değiştirmeyecek ve deniz suyu sıcaklığını Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın ilgili mevzuatında belirtilen limitleri geçmeyecek şekilde tasarlanacaktır. Deniz suyu, nükleer santrallerde reaktörü soğutmak için değil türbinden çıkan buharı yoğunlaştırmak için kullanılmakta ve hiçbir şekilde reaktörden gelen suya karışmamaktadır. Isınarak tekrar denize verilen suyun sıcaklığı 2872 sayılı Çevre Kanunu ve ilgili mevzuata uygun olacaktır. Bu durumda, deşarjin yapıldığı deniz suyunun "o bölgede yaşayan balık ve diğer deniz canlılarını yok edebilecek seviyede" olması söz konusu değildir'.



**Ek 5: Basıncılı reaktör kazanı (kabı) ve içindeki parçalarla ilgili KTA 3204 standardına göre yapılması gereken kalite kontrolleri (Aşağıdaki şekil 11 ve çizelge )**



Şekil 11: Reaktör kabı/kazanıyla ilgili KTA 3204 standardından. Kazanın dış ve iç yapısındaki tüm parçaların bu standarda göre ayrıntılı kalite kontrolleri aşağıdaki çizelgede bulunuyor.





KTA 3204 standardına göre yapılması gereken ayrıntılı kalite kontrolleri ( KTA 3204 nolu standarttaki kalite kontrolleriyle ilgili ayrıntıların aynen yansıtılabilmesi için bunlar yukarıdaki şekilde bağlantılı olarak İngilizce olarak aynen bırakılmıştır)

#### 4 Design approval

The design approval documents for Reactor Pressure Vessel internals shall be submitted with the mark of approval in due

time prior to the beginning of the individual manufacturing step according to Table 4-1.

| no. | Design approval documents                                                                                                                                                    | Quality classes              |   |   |         |   |                 |                 |   |   |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|---|---|---------|---|-----------------|-----------------|---|---|
|     |                                                                                                                                                                              | AS-RE 1                      |   |   | AS-RE 2 |   |                 | AS-RE 3         |   |   |
|     |                                                                                                                                                                              | design approval performed by |   |   |         |   |                 |                 |   |   |
|     | H                                                                                                                                                                            | A                            | S | H | A       | S | H               | A               | S |   |
| 1   | Manufacture of the product form in acc. with Section 7                                                                                                                       | no design approval required  |   |   |         |   |                 |                 |   |   |
| 2   | Manufacture of the part                                                                                                                                                      | —                            | X | X | —       | X | X               | —               | X | X |
|     | a) Assembly drawing, sub-unit drawings                                                                                                                                       | X                            | X | X | X       | X | —               | —               | — | — |
|     | b) Test and inspection sequence plan with table of contents                                                                                                                  | X                            | X | X | X       | X | —               | X               | X | — |
|     | c) Materials list                                                                                                                                                            | X                            | X | X | X       | X | X <sup>2)</sup> | X <sup>2)</sup> | — | — |
|     | d) Welding procedure sheet / brazing procedure sheet <sup>1)</sup>                                                                                                           | X                            | X | X | X       | X | —               | —               | — | — |
|     | e) Heat treatment plan                                                                                                                                                       | X                            | X | X | X       | X | —               | —               | — | — |
|     | f) Weld location plan                                                                                                                                                        | X                            | — | — | X       | — | —               | —               | — | — |
|     | g) Test instructions for non-destructive testing                                                                                                                             | X                            | X | X | X       | X | —               | X               | X | — |
|     | h) Dimensional check plan acc. to Table 8-7 no. 4                                                                                                                            | X                            | X | X | X       | X | —               | —               | — | — |
|     | i) Final drawing / detail drawing                                                                                                                                            | X                            | X | — | X       | X | —               | X               | X | — |
|     | j) Cleaning plan                                                                                                                                                             | X                            | X | — | X       | X | —               | —               | — | — |
|     | k) Demonstration of free movement of control rods, tolerance considerations                                                                                                  | —                            | X | X | —       | X | X               | —               | X | X |
|     | l) Cleaning and coating instruction                                                                                                                                          | —                            | — | — | —       | — | —               | X               | X | — |
| 3   | Installation of the sub-unit/part                                                                                                                                            | —                            | X | X | —       | X | X               | X               | X | — |
|     | a) Stress analysis                                                                                                                                                           | X                            | X | X | X       | X | X               | X               | X | X |
|     | b) Dimensional check plan acc. to Table 8-7 no. 4.3 and 4.4                                                                                                                  | —                            | — | — | —       | — | —               | X               | X | X |
|     | c) Test schedule for functional tests acc. to Table 8-7 no. 5                                                                                                                | —                            | — | — | —       | — | —               | —               | — | — |
| 4   | Commissioning of reactor coolant pressure boundary<br>All documents required at this point of time according to Section 9 (operational monitoring and in-service inspection) | X                            | X | X | X       | X | X               | —               | — | — |
| 5   | Nuclear commissioning of the plant<br>The remaining documents regarding stress analysis according to Section 6 on the basis of loads measured during trial operation         | X                            | X | X | X       | X | X               | —               | — | — |

<sup>1)</sup> For design approval purposes, the written statement of the authorized inspector on procedure qualifications to section 8.6 shall accompany the welding or brazing procedure qualification test report.

<sup>2)</sup> For welded joints in load path only

A: Plant vendor    H: Manufacturer    S: Authorized inspector

<sup>1)</sup> For design approval purposes, the written statement of the authorized inspector on procedure qualifications to section 8.6 shall accompany the welding or brazing procedure qualification test report.

<sup>2)</sup> For welded joints in load path only

A: Plant vendor H: Manufacturer S: Authorized inspector

Table 4-1: Requirements and documents regarding design approval

#### 5 Documentation

##### 5.1 General requirements

(1) All documents as per paragraph 5.2 shall be part of the documentation and shall be established step by step at the intervals mentioned.

(2) In the case of changes the documentation shall be updated.

(3) Changed documents subsequently design-approved anew in accordance with section 4 shall be identified with a revision mark. Repair plans shall be marked accordingly.

(4) In the case of deviations the reviewed application for tolerating the respective deviation and the document describing the deviation shall become part of the documentation with the same registration number.

(5) The interrelationship between the various technical documents of the documentation is shown schematically in Figure 5-1.

(6) Forms shall be used for each individual document, in which case the contents shall be considered to be binding, and the layout of the form is only a recommendation (see sample forms 5-1 to 5-6).

(7) Each collection of individual documents as shown in Figure 5-1 shall be reviewed for completeness and latest state of documentation.

Note:

Details on the type and period of filing are laid down in KTA 1404.

##### 5.2 Documents to be included in the documentation

###### 5.2.1 Parts inside the reactor pressure vessel

For parts inside the reactor pressure vessel the documents of Table 5-1 shall be included in the documentation.

###### 5.2.2 Parts outside the Reactor Pressure Vessel

For parts inside the reactor pressure vessel the documents of Table 5-1 shall be included in the documentation.

## Ek 6: Radyoaktif madde, Radyoizotop, Radyonüklid, Radyasyon dozu kavram ve birimleri /5/

### Aktivite, Radyoaktivite ve birimi Becquerel

Radyoaktif bir maddenin yayınladığı ışınlar yoluyla gösterdiği etkinliğe radyoaktivite, radyoaktiflik, ışın etkinlik ya da bazen kısaca aktivite deniyor. Radyoaktivite ölçüsü, radyoaktif bir maddenin atom çekirdeğindeki zaman birimindeki parçalanma bozunma sayısı olup birimi Becquerel (Bq)<sup>8</sup>

**1 Bq = 1 adet çekirdek parçalanması / 1 saniye**

Eski birim : 1 Curie: Saniyede  $3,7 \cdot 10^{10}$  adet çekirdek bozunması

Bir elementin atom çekirdeklerinde aynı sayıda proton ve farklı sayıda nötron bulunduğu, bu çeşit atomlar o elementin izotopları adını alıyorlar.

Çekirdeklerindeki nötron fazlalığı sonucu izotopların çoğu 'kararsız' olduklarından radyasyon (ışın) salıp bozunarak başka izotoplara dönüştüklerinden bu çeşit maddelere 'radyoaktif madde' (örneğin: radyum, uranyum), ve bunların belirli örnekleri de 'radyoizotop' ya da 'radyonüklid' (örneğin: Ra 226, U 235) adını alıyorlar. 110 kadar elementin toplam 2.500 kadar izotopu olup bunlardan 250 kadarı 'kararlı', diğerleri kararsız olan radyoizotoplardan oluşuyor (Kararlı izotop: Radyoaktivite özelliği göstermeyen ya da ışın salmayan atom çekirdeğidir)

### Radyasyon dozu = maddede soğurulan enerji

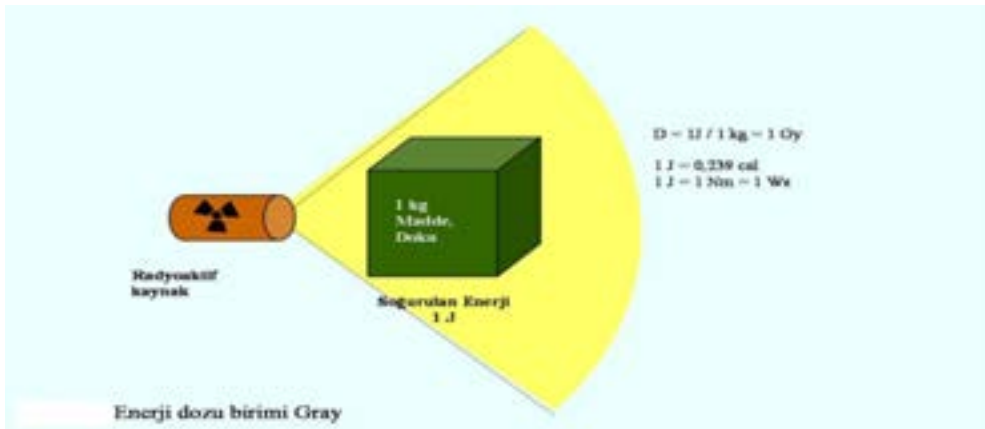
Eski birim: rad => **r**adiation **a**bsorbed **d**ose (radyasyon soğurma dozu): 1 rad = 0,01 Gray

### Enerji Dozu :Birimi => Gray (Gy)

Radyasyonun, herhangi bir maddeye aktardığı enerjiyi gösteren, soğurma dozu olup birimi **Gray**<sup>9</sup>.

1 Gray herhangi bir maddenin kilogramı başına 1 Joule enerji soğurumuna eşdeğer :

**1 Gy = 1 J/kg madde** (örneğin: vücut dokusu). Bkz.Şek.



<sup>8</sup> Nobel ödüllü Fransız fizikçi Becquerel, Antoine Henri (1852-1908)'nin adından.

<sup>9</sup> İngiliz fizikçi ve radyolog Louis Harold Gray (1905 – 1965)'in adından



1 Joule'luk bir enerji pratikte çok küçük. Alışılmış 1 kaloninin dörtte biri bile değil. Örneğin: 100 gram'lık bir çikolata paketini yerden 1 metre yukarı kaldırdığımızda yaptığımız iş nedeniyle vücudun yaktığı enerji 1 Joule'e denk geliyor. Buna eşdeğer enerji, iyonlaştırıcı ışınlarla vücuda aktarıldığında ise hücrelerin içindeki molekül ve atomlarda oluşan iyon çiftleri, hücrelerin çalışma düzenlerini etkileyip vücutta hasar ortaya çıkarabildiklerinden önemli olmakta ve bu nedenle bu değerler çok altındaki (binde bir kaçı) radyasyon dozları, insan vücudu için üst sınır değerler olarak ülkelerin radyasyondan korunma yönetmeliklerinde yer alıyorlar.

### **Eşdeğer Doz : Birimi => Sievert (Sv)**

Eşdeğer doz, iyonlaştırıcı ışınların biyolojik etkinliğinin bir ölçüsü. Vücutta aynı '**enerji dozunu**' oluşturan  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  gibi iyonlaştırıcı ışınlar vücuttaki doku ve hücrelerde farklı bozunmalara (hasarlara) yol açıyorlar. Örneğin: kütleleri büyük alfalar deriyi geçerken enerjilerinin büyük bir bölümünü ya da tümünü derinin dış yüzeyindeki hücrelere aktararak bunlarda bozunma oluşturabiliyorlar. Bu nedenle alfaların hücrelerde oluşturduğu 'iyonizasyon yoğunluğu' çok büyük olduğundan 'sık ya da yoğun iyonlaştırıcılar' olarak da adlandırılıyorlar. **Aynı enerji dozunu (Gy)** oluşturan betalar ise, kütlelerinin çok daha küçük olmaları sonucu, daha derinlerdeki hücrelere kadar girebildiklerinden, enerji soğurumu, yolları boyunca birçok hücrede oluyor. Betalara, bu nedenle 'seyrek iyonlaştırıcılar' deniyor. Böylece hücre başına düşen enerji soğurumu (ya da iyonizasyon yoğunluğu) azalıyor ve bunun sonucu olarak ilgili hücreler daha az bozunmaya uğruyor. Buradan alfaların '**biyolojik etkinliğinin**', betalara oranla çok daha büyük olduğu görülüyor. Bu biyolojik etkinliği göz önüne alan '**Kalite Katsayıları**', iyonlaştırıcı ışınların cinslerine göre Uluslararası Radyasyon Güvenlik Kurulu'nca (ICRP) belirleniyor :

#### **Beta ve Gama'lar için : 1**

#### **Alfa'lar için 20 (alfalar, beta ve gamalara oranla, vücutta 20 kat daha etkin)**

#### **Yüksek enerjili proton ve nötronlar için (enerjilerine göre) : 5 ile 20 arası**

Bunun sonucu olarak 'Biyolojik Etkinliği' de hesaba katan **Eşdeğer Doz (H)** kavramı ortaya çıkmıştır ki bu da Gray (Gy) cinsinden 'Enerji Dozunun', 'Kalite katsayısı'yla çarpımından başka birşey değildir :  **$H (Sv) = Enerji Dozu (Gy) \cdot Kalite katsayısı (q)$** .

Kalite katsayısının birimsiz olmasına rağmen, 'Enerji Dozuyla' 'Eşdeğer Dozu' ayırmak için, Eşdeğer doz<sup>10</sup> (H) birimi olarak Gray yerine **Sievert**<sup>11</sup> seçilmiştir.

#### **Etkin Doz**

#### **Birimi => Sievert(Sv)**

Vücutun çeşitli organ ve dokularının radyasyona duyarlılığı farklı olduğundan, bunları karşılaştırmak ve vücutun tümünün etkilendiği dozu belirleyebilmek için 'Etkin Doz' kavramı türetilmiştir. Etkin doz, bir organ ya da doku için 'Eşdeğer Dozun', o dokunun radyasyona duyarlılığını göz önüne alan 'Ağırlık Katsayısıyla' çarpımından oluşmakta ve birimi Eşdeğer Doz birimiyle aynı: **Sievert**. '**Etkin Doz**' ile, '**her bir organ ve dokunun**' ya da '**tüm vücutun**' **ışınlanması durumunda ortaya çıkabilecek 'rastgele hasar riski'** göz önüne alınmış oluyor. Böylece **ağırlık katsayıları, ışınlanan ilgili organların ya da dokuların tüm vücuttaki rastgele hasar riskine olan katkılarını gösteriyor.**

<sup>10</sup> İngiliz fizikçi ve radyolog Louis Harold Gray (1905 – 1965)'in adından

<sup>11</sup> H : İngilizce Hazard (hasar, bozunma) sözcüğünden. Aslında İngilizce 'Hazard', arapça 'hasar' sözcüğünden türemel

## Uluslararası Radyasyon Güvenlik Kurulunca (ICRP 90-Raporuna göre) belirlenen Doz Ağırlık Katsayıları:

|                  |      |
|------------------|------|
| Üreme organları  | 0,20 |
| Göğüs            | 0,12 |
| Kemik iliği      | 0,12 |
| Akciğerler       | 0,12 |
| Kemik yüzeyi     | 0,01 |
| Tiroit bezi      | 0,05 |
| Arta kalan vücut | 0,30 |

Tiroit bezi için olan 0,05'lik ağırlık katsayısının anlamı, örneğin: 1 Sv'lik bir tiroit dozunun tiroit-teki kanser oluşturma olasılığı (riski) ile, 0,05 Sv'lik Tüm Vücut Dozunun vücutta başlatabileceği kanser riskinin kabaca aynı olduğudur ( $1 \text{ Sv} \times 0,05 = 0,05 \text{ Sv}$ ).

Vücuttaki her bir organ ve doku için ilgili ağırlık katsayısının eşdeğer dozla çarpılıp toplanmasıyla tüm vücut 'Etkin Dozu' bulunuyor. Tüm vücudun homojen olarak ışınlanması ya da organ ve dokuların ayrı ayrı ışınlanması sonucunda eğer aynı 'etkin doz' elde edilmiş ise, aynı hasar riski var demektir.

### Topluluk Dozu (Kollektif Doz)

Bir topluluğun tümünün ışınlanmasında, kişi başına alınan dozun o topluluktaki insan sayısı ile çarpımı sonucu hesaplanan doz. Topluluk Dozu radyasyon risk hesapları için önemlidir. **Örneğin: Çernobil radyoaktivitesinin etkisiyle, Türkiye'de belirli bir yöredeki 10.000 kişinin her birinin vücudunda yaşam boyu 10 mSv'lik etkin bir doz oluşmuş ise, bu topluluk için:  $10 \text{ mSv} \times 10.000 \text{ kişi} = 100.000 \text{ kişi} \cdot \text{mSv}$  ya da  $100 \text{ kişi} \cdot \text{Sv}$ 'lik bir topluluk dozu oluşmuş demektir.**

Birkaç Sievert birimlik dozlar hücreler için büyük dozlar olduğundan, daha çok görülen düşük dozlar için **mSv** ve  **$\mu\text{Sv}$  birimleri** kullanılıyor:

$$1 \text{ mSv} = 10^{-3} \text{ Sv} ; \quad 1 \mu\text{Sv} = 10^{-6} \text{ Sv}.$$

Eski birim 1 rem (rad equivalent man) = 0,01 Sievert ;  $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$

### Doğal radyasyonun insan vücudunda oluşturduğu yıllık ortalama dozların kaynakları:

| Doğal Radyasyon Kaynağı | Ortalama yıllık etkin doz (mSv) | Değişim aralığı (mSv) |
|-------------------------|---------------------------------|-----------------------|
| DIŞTAN IŞINLANMA        |                                 |                       |
| Kozmik ışınlar          | 0,4                             | 0,3 – 1,0             |
| Yerel gama ışınları     | 0,5                             | 0,3 – 0,6             |
| İÇTEN IŞINLANMA         |                                 |                       |
| Solum (çokçası Radon)   | 1,2                             | 0,2 – 10              |
| Sindirim                | 0,3                             | 0,2 – 0,8             |
| TOPLAM                  | 2,4                             | 1 - 10                |

**Çizelge :Doğal radyasyon kaynaklarının vücutta oluşturduğu “Dünya Ortalama Yıllık Etkin Radyasyon Dozları”** (UNSCEAR 2000 yılı Bilimsel Raporundan)<sup>12</sup> Çizelgedeki değerler dünya ortalamaları olup, bölgelere göre değişim aralıkları, görüldüğü gibi büyüktür.

<sup>12</sup> UNSCEAR : Birleşmiş Milletlerin atomik radyasyonun etkilerini inceleyen bilimsel alt kurulu



## Ek 7 : Kaynaklar ve ilgili yayınlar

- /1/ Enerji Bakanlığı (<http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Nukleer-Enerji>) ve TAEK ([www.taek.gov.tr](http://www.taek.gov.tr)) sayfalarındaki açıklamalar
- /2/ IAEA Safety Guide No.WS-G-2.3 Regulatory control of radioactive discharges to the envir. 2000
- /3/ IAEA Safety G.Radiation Protection Aspects of Design for Nuclear Power Plants No. NS-G-1.13, 2005
- /4/ Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung 2006, Bundesministerium Umwelt und reaktorsicherheit
- /5 / Radyasyon ve Sağlığımız? Nobel Yayınları, 2014, Y.Atakan, <http://nobelyayin.com/detay.asp?u=4025>
- /6/ Stack Gas Radioactivity Monitoring in a Nuclear Power Plant in FRG,Nuclear Safety ,USA, Vol.29, No.2, p.167, April-June 1988, Atakan,Y.
- /7/ KTA-Standards (KTA 1503 ve 1504, 1301, 3204)
- /8/ [https://de.wikipedia.org/wiki/Areva\\_EPR#cite\\_note-wien-30](https://de.wikipedia.org/wiki/Areva_EPR#cite_note-wien-30)
- /9/ <http://www.csb.gov.tr/gm/ced/index.php?Sayfa=duyurudetay&Id=25666>
- /10/ Akkuyu Nükleer Güç Santrali (NGS) Projesi, Çevresel Etki Değerlendirme Dosyası (ÇED Raporu) Worley Parsons ve Dokay Şirketleri, Ankara, 2011
- /11/ Finlandiya'daki 3.kuşak Atmea NGS ile ilgili STUK Raporu: Regulatory and Modernization Experiences on Finnish NPP IQC-area To be presented at IAEA 23rd TWG-NPPIC Meeting on 24-26 May 2011 in Vienna
- /12/ Akkuyu Nükleer Santralının yapımıyla ilgili 29.06.2010 tarihli kanun tasarısı (TBMM'nin onay tarihi: 21.07.2010 ) - Rusya ile yapılan anlaşma

## İlgili yayınlar

- Fukuşima Nükleer Reaktörlerinde Son Durum Çevreye Yayılan Radyoaktivite ve Personel Radyasyon Dozları, Atakan,Y., TÜBİTAK Bilim Teknik Dergisi, Aralık 2011 (Bkz.Bölüm 7 ilk yazımız).
- Nükleer Santrallardan Çevreye Salınan Radyoaktivitenin Sınırlanması, Atakan,Y., Tübitak Bilim Teknik Dergisi, Mayıs 2008
- Prof. H. Böck. "WWER/ VVER (Soviet Soviet designed designed Pressurized Pressurized Water Water Reactors Reactors)". *Vienna University of Technology*. Austria Atomintstitute. Retrieved 28 September 2011.
- Nikolay Fil (26–28 July 2011). "Status and perspectives of VVER Status and perspectives of VVER nuclear power plants nuclear power plants". *OKB Gidropress*. IAEA. Retrieved 28 September 2011.
- <http://www.skoda-js.cz/file/edee/cs/aktuality/v.ermolaev-vver-experience.pdf>
- [http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TCS-21\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TCS-21_web.pdf)
- Emmissionsüberwachung bei KKW, BfS-Almanya
- Güneş, rüzgar, kömür ve nükleerden enerji üretiminde gerçek sorunlar, Y. Atakan, Bilim ve Gelecek, Ekim 2014

### Fizik Y.Müh.,Dr.Yüksel Atakan'ın çalışma yaşamından bir bölüm:



Bu raporu hazırlayan Yüksel Atakan, Türkiye'nin ilk radyasyon fizikçilerinden olup, 25 yıl Almanya'da nükleer santral projelerinde çalışmış, bu arada ABD'de Babcock Wilcock nükleer santrallerindeki radyasyon ölçüm ve doz azaltma çalışmalarına çeşitli dönemlerde katılmış, 80'li yıllarda Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı'nın (UAEA/IAEA) kısa süreli uzmanı olarak Akkuyu NGS projesinde, santral çevresinde işletme öncesi yapılması gereken radyoaktivite ölçümlerini planlayarak UAEA/TAEK'ya ayrıntılı bir teknik rapor sunmuştur. Ayrıca planlanan Akkuyu NGS için Siemens KWU proje teklifinin incelenmesinde Viyana'daki toplantılarda radyasyon güvenliğiyle ilgili olarak, projede öngörülen önlemleri, uluslararası bir çalışma grubu içinde TAEK için değerlendirmiştir. Kendisinin yurtiçi ve dışında nükleer santrallerdeki radyasyon güvenliğiyle ilgili bir dizi yayını ve kitapları bulunuyor/5/. e-posta: ybatakan@gmail.com

F M O Y. A t a k a n



NOT

Y. A. Izrael





NOT

F M O Y. A l a k a n



NOT

FM O Y. A l a k a n

"Yüksel Atakan'ın Fizik Müh.Odası (FMO) için hazırladığı bu ilginç ve yararlı teknik rapor, kurulacak nükleer santrallerin radyasyon güvenliğiyle ilgili 'püf noktaları' gözler önüne seriyor. Özellikle rapor, uluslararası standartlara göre yapılması gereken kalite kontrollerinin önemini vurguluyor ve ilgili bilirkişilerin devreye katılmasını öneriyor. Ancak bilirkişinin, örneğin 'reaktör kazanının uluslararası standarda tam uymadığını' belgelemesi durumunda ne olacak? Rus şirketi, milyonlarca Avro'luk kazanı yenileyecek mi? Yenilese bile, gecikme sonucu santral zamanında elektrik üretemeyeceği için, o günkü hükümet bunu kabul edecek mi?' sorusu ve uyarısı raporda yer almasına rağmen, yanıtı bilinmiyor. Umarım denetleyici kurum olan TAEEK bu önlem ve önerileri göz önüne alarak olabilecek engelleri aşabilir ve radyasyon güvenliği en üst düzeyde NGS'lerin kurulmasını bu raporda ayrıntılarıyla açıkladığı yol ve yöntemlerle gerçekleştirebilir". Bu raporu hazırlayan Y.Atakan'ı büyük emeği ve yayımladığı için de FMO'ni kutluyorum.

Prof. Dr. R. Ömür Akyüz Boğaziçi Üniv. Fizik Bölümü emekli öğretim üyesi

Elinizdeki bu teknik rapor, nükleer santrallerin radyasyon güvenliğiyle ilgili önemli temel bilgilerin yanında güncel konularda da aydınlatıcı veriler ve öneriler içermektedir. Nükleer konularda "bilgi sahibi olmadan fikir sahibi olanlar"ın özellikle okuması gereken bu çalışmayı gerçekleştiren Dr.Yüksel Atakan'ı, çalışmayı öneren ve destekleyen Fizik Mühendisleri Odası Yönetimi'ni kutlanım. Nükleer santraller konularında, hem kamuoyunu hem de Almanya deneyimleriyle ülkemizdeki yetkili kurumları bilgilendirebilecek, bu çeşit eserlerin hazırlanması ve desteklenmesinin önemi büyüktür."

Dr. Necmi DAYDAY , NUTEK Enerji Danışmanlık, Sanayi ve Ticaret A. Ş. Başkanı,Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı eski uzmanı

Fizik Y.Müh. Dr. Yüksel Atakan, nükleer güç santralleri projelerinde (NGS) radyasyon güvenliğinin sağlanması konusunda Almanya'da uzun yıllar çalışmış bir uzman olarak bizlere bilgi birikimini aktardığı Türkçe bir kaynak yayın kazandırmış. Radyasyon güvenliği ve halkımızın radyasyondan korunması yönünde nükleer güç santrallerinde yerine getirilmesi gereken mühendislik önlemler, standartlar yalın bir dille aktarılmış. Ülkemizde henüz yeni kurulmaya başlanan NGS'lerle ilgili olarak toplum sağlığı açısından olmazsa olmazları bu yayında bulabiliyoruz.

Prof. Dr. Haluk Utku, Nükleer Mühendis Hacettepe Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü

Fizik Müh.Odasını bu teknik raporu, uzun proje deneyimi Dr.Yüksel Atakan'a hazırlattığı ve bunu yayımlayarak kamu oyunu aydınlattığı için de kutluyorum. Türkiye'de, Almanya'da ve ABD'de çeşitli nükleer santral projelerinde uzun yıllar çalışmış ve bu uzmanlık dalındaki tekniklerin iç yüzünü yakından bilen Dr.Y. Atakan, nükleer santrallerin güvenlik sorunlarını bilim dergilerinde yazdığı yazılarla da tanınıyor. Nükleer santrallerle ilgili kendi uzun deneyimlerine yeni gelişmeleri de katarak, bunları emeklilik döneminde yoğun çalışmalarla, Almanya'dan Türkiye'ye sürekli aktarması ve bu konuda çalışanları bilgilendirmesi ayrıca övgüye değer. Bu bakımdan, bu teknik raporun içeriğinin, nükleer santrallerden sorumlu yetkililerce değerlendirilmesi ve bu raporda vurgulanan önlem ve önerilerin dikkate alınması, kurulacak nükleer santrallerimizdeki radyasyon güvenliğinin daha da yüksek düzeyde sağlanmasına katkı sağlayacaktır.

Prof. Dr. Mehmet Emin Özel Çanakkale 18 Mart Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü eski Müdürü

Türkiye'de nükleer santral projelerinde Yüksel Atakan gibi uzun yıllar çalışmış ve 'nükleer santrallerin perde arkasını' bilen uzmanlar olduğunu sanmadığımdan, kendisinin Almanya'da bir Consultant Bürosu gibi çalışarak hazırladığı bu detaylı çalışmasının hem kamuoyuna hem de lisanslama kurumuna ışık tutacağına inanıyorum. Bu sebeple, Yüksel Atakan'ı bu raporla ilgili yoğun çalışması nedeniyle, Fizik Müh.Odasını da bu yayını hazırlattığı ve ilgililere dağıtımı için tebrik ediyorum.

Y.Müh.Mehmet Yenil, Almanya