

4

20.YILINDA

ÇERNOBİL

Çernobil Nükleer Santralının
Özellikleri ve Kazanın Oluşumu



**ÇERNOBİL NÜKLEER SANTRALİNİN ÖZELLİKLERİ
VE
KAZANIN OLUŞUMU**

Takım no : ISBN 975-8898-19-1
ISBN 975 8898 23-X

Çernobil Serisi No: 4
Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
2. Basım
Haziran 2007

Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'ndan izin alınmaksızın çoğaltılabılır.
Referans verilerek kullanılabilir.



TÜRKİYE ATOM ENERJİSİ KURUMU

Adres : Eskişehir Yolu 9. km 06530 Ankara/TÜRKİYE
Tel : +90 (312) 295 87 00 (pbx)
Fax : +90 (312) 287 87 61
Web : www.taek.gov.tr

BASKI

MİLENYUM FORM OFSET

İvedik Organize Sanayi Bölgesi, Ağaç İşleri Sitesi 21. Cadde No: 118 06190 Ostim / ANKARA
Tel : +90 (312) 395 19 39
Fax : +90 (312) 395 19 37
Web : www.milenyummatbaa.com

Önsöz

26 Nisan 1986 günü Ukrayna'da Kiev'e 130 km uzaklıkta yer alan Çernobil nükleer güç santralının 4'üncü ünitesinde meydana gelen kaza, tarihin en büyük nükleer kazasıdır. Yüksek radyasyon dozuna maruz kalan insanların bir kısmının hayatını kaybetmesi ile sonuçlanan bu ciddi kaza, kazadan etkilenen ülkelerde sağlık sorunlarının yanı sıra, kriz yönetimine ilişkin sorunları da gündeme getirmiştir. Bu kaza; sadece eski Sovyetler Birliği'nin değil, kazadan etkilenen pek çok ülkenin de kendi ülkeleri dışında meydana gelebilecek bir nükleer kazanın etkilerini azaltacak önlemleri almakta yetersiz kaldıklarını ortaya çıkarmıştır.

Kazadan sonraki 20 yıl boyunca, konu ile ilgili yetkin uluslararası kuruluşlar ve ülkeler tarafından yapılan çok sayıdaki bilimsel araştırma ve incelemelerin sonuçları halka ve uluslararası bilim çevrelerine aktarılmıştır. Ancak, aynı soruların halen soruluyor olması konunun yeterince anlaşılmadığını göstermektedir. Bunun en temel nedeni, radyasyonun insanlar tarafından doğrudan algılanamayışı ve radyasyonun insan sağlığı üzerindeki etkileri ile ilgili bilgilerin kapsamlı ve karmaşık olmasıdır. Bu durum, psikolojik, ekonomik ve sosyal yönden de önemli kayıplara neden olmuştur ve olmaya devam etmektedir. Ayrıca, kaza ile somut ilgisi ortaya konulmadan basında yer alan haberler, ülke yönetimlerine ve nükleer santrallere karşı öfkeli bir toplum yaratmıştır.

Kaza ile ilgili bugüne kadar yayınlanan raporların incelenmesinden görüleceği gibi kuzey yarım kürede yaşayan insanların çoğu Çernobil kazası nedeni ile çeşitli düzeylerde radyasyon dozuna maruz kalmıştır. Kazadan etkilenen değişik nüfus gruplarının aldıkları doz değerleri, kazadan sonraki 20 yıl boyunca yapılan ölçüm ve analizler sonucunda elde edilen veriler kullanılarak çeşitli matematiksel modeller yardımıyla yeniden değerlendirilmiştir.

Kazadan en çok etkilenenler eski Sovyetler Birliği'nde yaşayan insanlar olmuştur. Bugüne kadar yapılan bilimsel ve tıbbi gözlemler; eski Sovyetler Birliği'ndeki kirlenmiş alanlarda kaza sırasında radyasyona maruz kalan küçük çocuklar ve bebekler arasında tiroit kanseri vakalarında önemli bir artış olduğunu ancak lösemi ve diğer kanser türleri, doğum anomalileri, konjenital anomaliler ya da Çernobil kazasına bağlanabilecek radyasyonun sebep olduğu diğer hastalıklarda önemli bir artış olmadığını ortaya koymaktadır.

Ülkemiz, kazadan bir çok Avrupa ülkesi gibi belirli bir seviyede etkilenmiştir. Kaza sonrasında Türk toplumunun alacağı radyasyon dozunu, psikolojik ve sosyal problemleri, ülkenin ekonomik kayıplarını en aza indirmek üzere pek çok çalışma ve bu kapsamda yüz binlerce ölçüm yapılmıştır. Yapılan çalışmaların sonuçları çeşitli raporlarda yer almıştır.

Bu doküman serisi, kazadan 20 yıl sonra, Çernobil nükleer santral kazasının etkilerini en son bilimsel bulgular ışığında yeniden değerlendirmek amacıyla hazırlanmıştır.

Bu kapsamda; 1000 civarında klasörden oluşan 20 yıllık Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) Çernobil

arşivi taranmış, tüm veriler halkın bilgisine sunulmak üzere elektronik ortama aktarılmış, konu ile ilgili ulusal ve uluslararası yayın ve dokümanlar incelenmiş, doz hesapları en son bulgular ve hesap yöntemleri kullanılarak yeniden yapılmıştır. Bu çalışmaların yürütülmesinde, Sağlık Bakanlığı Kansere Savaş Dairesi Başkanlığı, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Maden Tetkik ve Araştırma Genel Müdürlüğü ve Türkiye İstatistik Kurumu'ndan destek alınmıştır.

Bu doküman serisinin "Çernobil Nükleer Santralının Özellikleri ve Kazanın Oluşumu" isimli 4. cildinde; kazanın meydana geldiği Çernobil nükleer güç santrali özellikleri tanıtılmakta, kazanın meydana gelişi, kazaya neden olan teknik olaylar, kaza sonrası Çernobil'de yapılan çalışmalar, yapılması planlanan çalışmalar ve nükleer güç santrallerinin tasarımı ve işletilmesinde nükleer güvenlik konusunda alınan dersler anlatılmaktadır. Bu seri, halen sürdürülen ve gelecekte yapılacak olan çalışmaları içeren yeni ciltlerle devam ettirilecektir.

Halkın ve ilgili çevrelerin sorularına cevap verebilmek ve bilim insanlarımızın bu alandaki çalışmalarına katkı sağlamak amacıyla hazırlanan "20. Yılında Çernobil" isimli bu doküman serisinin ülkemize ve bilim dünyasına yararlı olmasını diliyorum.

Çernobil kazasının ülkemiz üzerindeki etkilerini tespit etmek ve kaza sonrası gerekli önlemleri almak üzere geçmişten bugüne görev yapan tüm TAEK çalışanlarına ve bu doküman serisinin hazırlanmasında büyük bir özveri ile çalışan TAEK personeline teşekkürlerimi sunarım.

*Okay Çakıroğlu
TAEK Başkanı*

İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ	1
2. RBMK TİPİ REAKTÖRLER	3
2.1. Nötronik Özellikler	4
2.1.1 Termal Hidrolik Özellikler.....	7
2.1.2 Kontrol Çubuğu Sistemi	8
3. ÇERNOBİL KAZASI	9
3.1 Kazanın Gelişimi	9
3.2.Grafit Yangını	12
3.3.Kaynak Terimi.....	14
4. ÇERNOBİL'DE KAZA SONRASI ÇALIŞMALAR	18
4.1. Çernobil'de Bugüne Kadar Yapılan Çalışmalar	18
4.2. Çernobil'de Koruma Amacıyla Yapılacak Olan Çalışmalar	22
5. SONUÇ	23
6. KAYNAKLAR	24

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Çernobil Nükleer Santralı'nın bulunduğu yer	1
Şekil 2. Çernobil Nükleer Santralı	1
Şekil 3. RBMK tipi bir reaktörün genel görünümü	4
Şekil 4. RBMK tipi reaktörlerde grafit yavaşlatıcı bloğu ile su ve buhar borularının yerleşiminin genel görünümü	5
Şekil 5. RBMK yakıt demeti	6
Şekil 6. RBMK reaktörünün basit şeması	7
Şekil 7. Reaktör güç seviyesinin değişimi	10
Şekil 8. Çernobil reaktörünün kazadan sonraki görüntüleri	12
Şekil 9. Hasar görmüş Çernobil reaktörünün kesiti	13
Şekil 10. ^{131}I , ^{133}I , ^{132}Te ve ^{137}Cs 'nin Çernobil reaktöründen günlük salım miktarı	15
Şekil 11. Radyoaktif maddelerin atmosfere günlük salım hızı	17
Şekil 12. Çernobil lahiti	18
Şekil 13. Çernobil'in mevcut durumu	19
Şekil 14. Lahit içindeki durum	20
Şekil 15. Korunak alanında yeraltı suyu ve hava numunesinin alınması ile ilgili çalışmalar	21
Şekil 16. Coğrafi bilgi sistemi analiz görüntüsü	21
Şekil 17. Çernobil için planlanan yeni güvenli korunağın 3 boyutlu modeli	22

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1. Çernobil nükleer reaktörünün özellikleri	2
Tablo 2. RBMK reaktörlerinin dünyadaki durumu	3
Tablo 3. Çernobil kazasının işletme kayıt kronolojisi	11
Tablo 4. Çernobil kazası esnasında salınan bazı radyonüklitlerin envanter ve salım değerleri	14
Tablo 5. ^{131}I 'in kaza sırasında günlük tahmini salımı	16

I. GİRİŞ

Tarihin en büyük nükleer kazasının meydana geldiği Çernobil nükleer güç santrali Ukrayna'nın Kiev kentine 130 km mesafede bulunmaktadır. Santral, Beyaz Rusya'ya 20, Rusya'ya 150 km uzaklıktadır. Tesisin soğutma suyu, Dinyeper'in bir kolu olan Pripyat nehrinin yanında yaklaşık 22 km²'lik bir alana sahip yapay bir göletten sağlanmaktadır. Kazadan önce reaktöre yaklaşık olarak 3 km uzaklıktaki Pripyat kentinin nüfusu 49000 tesisten yaklaşık 15 km uzaklıkta bulunan eski Çernobil kentinin nüfusu 12000, tesisin 30 km'lik yarıçapı içinde yaşayan toplam nüfus ise 115000-135000 kişi civarındaydı. **Şekil 1**'de Çernobil nükleer güç santralının haritadaki yeri gösterilmektedir [1]. **Şekil 2**'de santralin dışarıdan bir görüntüsü yer almaktadır [2,3].



Şekil 1. Çernobil nükleer santralının bulunduğu yer



Şekil 2. Çernobil nükleer santrali

1984 Nisan ayında işletmeye alınan Çernobil reaktörü 925 MWe(net) gücünde RBMK (yüksek güçlü, basınç tüplü reaktör anlamına gelen Rusça kelimelerin baş harfleri) tipinde bir reaktördür. **Tablo I**'de Çernobil reaktörünün teknik özellikleri verilmektedir **[4]**.

Tablo I. Çernobil nükleer reaktörünün özellikleri

Isıl gücü	3200 MWt
Elektrik gücü	1000 MWe
Yavaşlatıcı (Moderatör)	Grafit
Soğutucu	Hafif su
Yakıt	%2 zenginlikte UO ₂
Yakıt elemanı zarf malzemesi	Zirkonyum
Her bir yakıt demetindeki yakıt elemanı sayısı	18
Kalp içindeki yakıt demeti sayısı	1659
Her bir yakıt demetindeki uranyum miktarı	114.7 kg
Kalp çapı	12 m
Kalp yüksekliği	7 m
Kalp içindeki toplam uranyum miktarı	190.2 ton
Kontrol çubuğu sayısı	211
Yakıt değiştirme	Reaktör çalışırken

2. RBMK TİPİ REAKTÖRLER

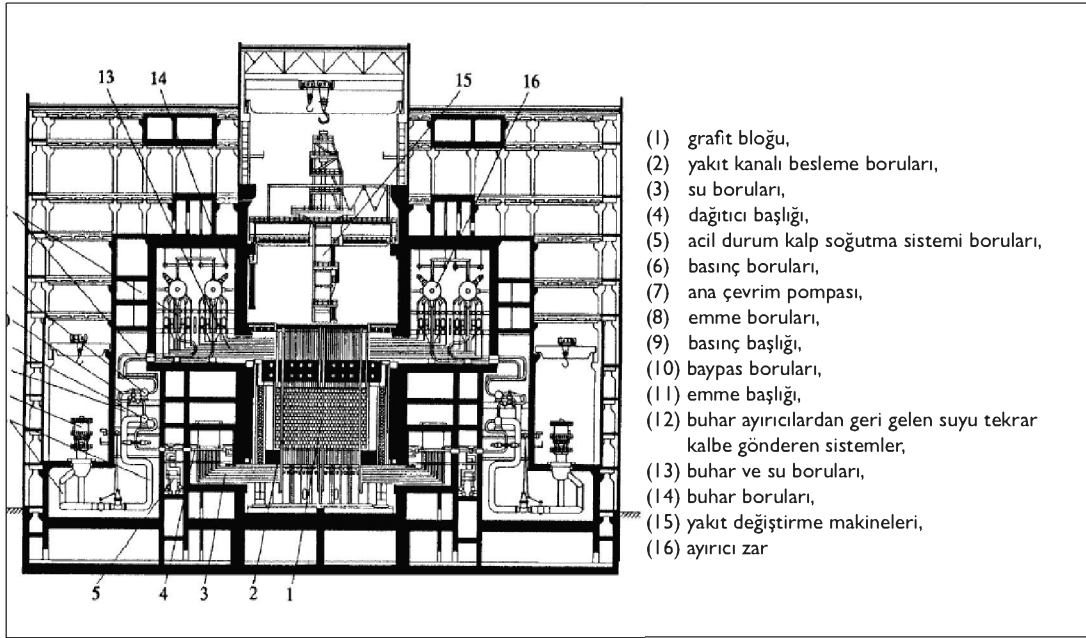
Dünyada işletmede bulunan RBMK tipi reaktör sayısı 16 olup toplam 11404 MWe kurulu güce sahiptir. 925 MWe gücünde 1 adet reaktör de inşa halindedir. Toplam 4933 MWe gücünde 7 adet reaktör ise kapatılmıştır. **Tablo 2**'de RBMK reaktörlerinin dünyadaki durumları verilmektedir [5]. RBMK tipi reaktörler batı ülkelerinde LWGR (Light Water Cooled Graphite Moderated Reactor – Hafif Su Soğutmalı Grafit Yavaşlatıcılı Reaktör) olarak adlandırılmaktadır.

Tablo 2 . RBMK reaktörlerinin dünyadaki durumu

Ülke	Reaktör Adı	Net Gücü (MWe)	İnşaata Başlama Tarihi	Şebekeye Bağlanma Tarihi	İşletmeye Alma Tarihi	Kapatılma Tarihi
İşletmedeki Reaktörler						
Litvanya	Ignalina-2	1185	1978	1987	1987	
Rusya	Bilibino-A	11	1970	1974	1974	
Rusya	Bilibino-B	11	1970	1974	1975	
Rusya	Bilibino-C	11	1970	1975	1976	
Rusya	Bilibino-D	11	1970	1976	1977	
Rusya	Kursk-1	925	1972	1976	1977	
Rusya	Kursk-2	925	1973	1979	1979	
Rusya	Kursk-3	925	1978	1983	1984	
Rusya	Kursk-4	925	1981	1985	1986	
Rusya	Leningrad-1	925	1970	1973	1974	
Rusya	Leningrad-2	925	1970	1975	1976	
Rusya	Leningrad-3	925	1973	1979	1980	
Rusya	Leningrad-4	925	1975	1981	1981	
Rusya	Smolensk-1	925	1975	1982	1983	
Rusya	Smolensk-2	925	1976	1985	1985	
Rusya	Smolensk-3	925	1984	1990	1990	
İnşa Halindeki Reaktörler						
Rusya	Kursk-5	925	1985			
Kapatılmış Reaktörler						
Litvanya	Ignalina-1	1185	1977	1983	1984	2004
Rusya	Beloyarsky-1	102	1958	1964	1964	1983
Rusya	Beloyarsky-2	146	1962	1967	1969	1990
Ukrayna	Chernobyl-1	725	1970	1977	1978	1996
Ukrayna	Chernobyl-2	925	1973	1978	1979	1991
Ukrayna	Chernobyl-3	925	1976	1981	1982	2000
Ukrayna	Chernobyl-4	925	1979	1983	1984	1986

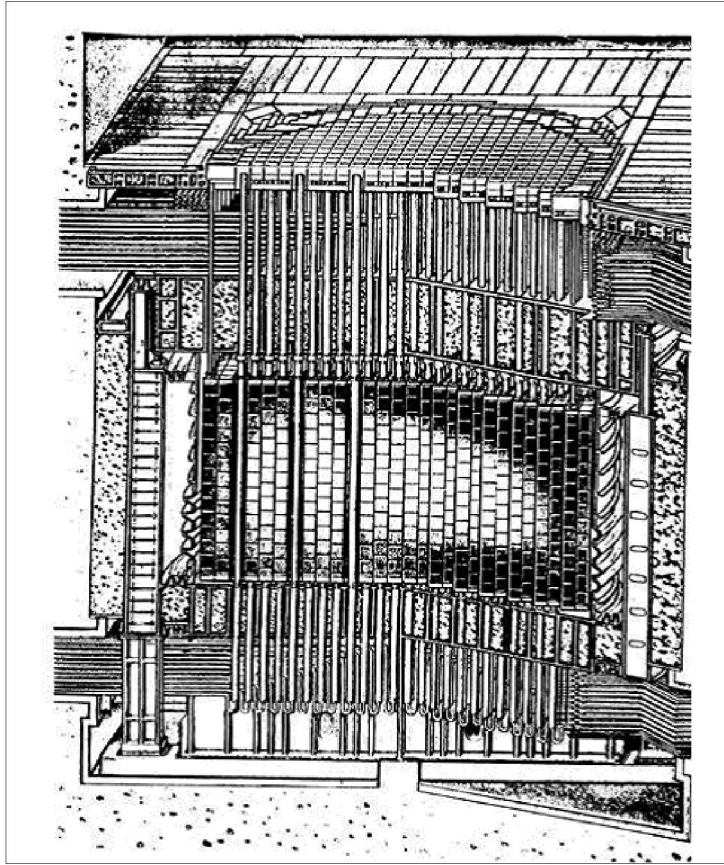
2.1. Nötronik Özellikler

RBMK'lar grafit yavaşlatıcı ve hafif su soğutmalı reaktörlerdir. Nükleer reaktörlerde çekirdek bölünmesi sonucu açığa çıkan hızlı nötronların zincirleme reaksiyonu devam ettirebilmeleri için yavaşlatılmaları gerekir. RBMK tasarımında nötronların yavaşlatılması için yavaşlatıcı olarak grafit kullanılmaktadır. Grafit kullanımının diğer avantajları nötron kaçaklarını azaltması, yapısal bütünlüğü sağlaması ve yüksek ısı kapasitesine sahip olmasıdır. Grafit yavaşlatıcı sayesinde hafif sulu reaktörlerde kullanılmayacak düzeyde düşük zenginlikte yakıt kullanılabilir. Grafit bloklar, reaktörün iç boşluğunda metal bir destek yapı üzerine oturtulmuştur. **Şekil 3**'te RBMK tipi reaktörlerin genel görünümü yer almaktadır [6].



Şekil 3. RBMK tipi bir reaktörün genel görünümü

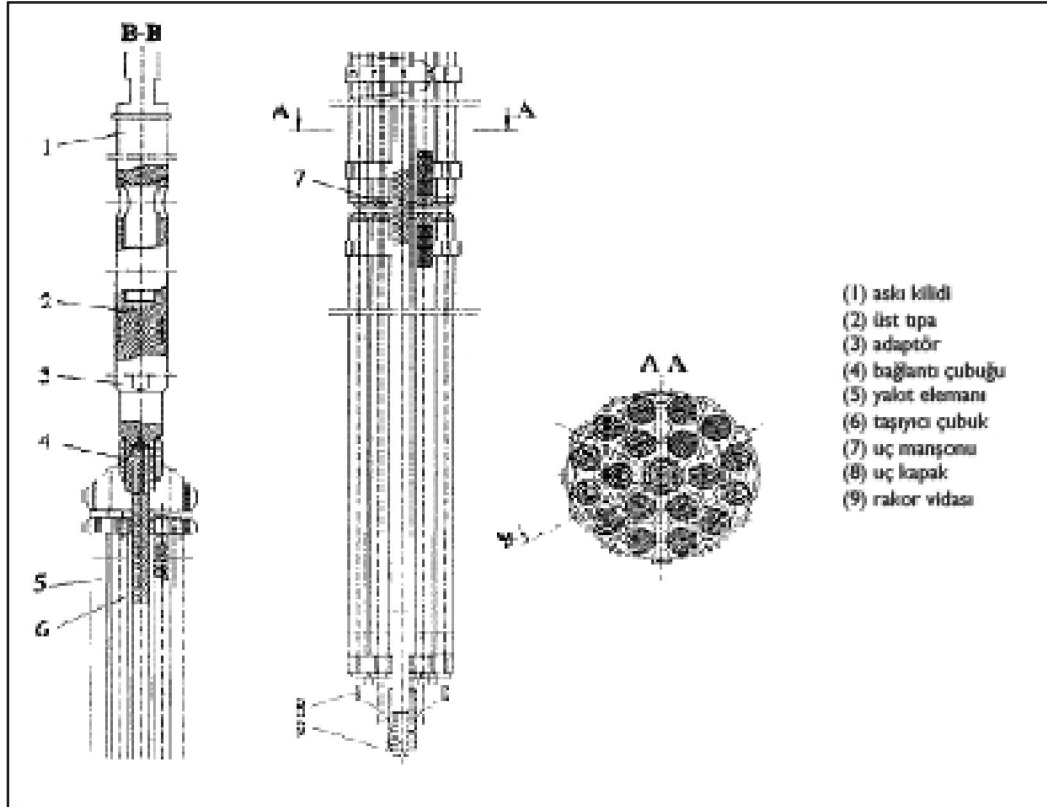
RBMK reaktöründe fisyon sonucu ortaya çıkan nötronları yavaşlatmak için kullanılan büyük grafit blok yapı yaklaşık 12.8 m çapında çelik bir kazan içinde bulunmaktadır. Yüksekliği yaklaşık 7 m olan reaktör kalbinde grafit bloklarının içinde 1659 adet yakıt kanalı ve 211 adet kontrol çubuğu kanalı bulunmaktadır. Bunlara ek olarak enstrümantasyon ve kontrol ekipmanı içinde kanallar bulunmaktadır. Her bir yakıt kanalını oluşturan basınç borusu içindeki soğutucunun akışı doğrudan kontrol edilebilmekte olup bu özellik yakıtın tesis çalışmakta iken değiştirilebilmesini sağlamaktadır.



Şekil 4. RBMK tipi reaktörlerde grafit yavaşlatıcı bloğu ile su ve buhar borularının yerleşiminin genel görünümü

Grafitten yakıt kanalında akan soğutucuya yapılan ısı transferini iyileştirmek ve grafitin oksitlenmesini önlemek için grafit bloklarla yakıt kanalları arasındaki boşluklarda 0.49-1.96 kPa basınçlı helyum-azot karışımı bir gaz bulunmaktadır. Yakıt kanalları etrafında ve grafit bloklar arasında dolaşan helyum-azot karışımının nem ve sıcaklığının ölçülmesiyle yakıt kanalında sızıntı olup olmadığı da izlenmektedir. Reaktörün soğutulması yavaşlatıcı grafit blok içinden dikey olarak geçen zirkonyum alaşımından yapılmış basınç tüplerinin içinden akan su ile sağlanmaktadır. Yakıt kanalları da basınç tüplerinin içerisinde yer almaktadır. Her bir yakıt kanalında üst üste yerleştirilmiş 2 adet yakıt demeti vardır. Her bir yakıt demeti 18 yakıt çubuğundan oluşmaktadır. Yakıt çubukları, düşük zenginlikte (%2) silindirik UO_2 peletlerinin (tabletlerinin) zirkonyum alaşımından yapılmış silindirik bir zarf tüp içerisine yerleştirilmesi ile imal edilmiştir.

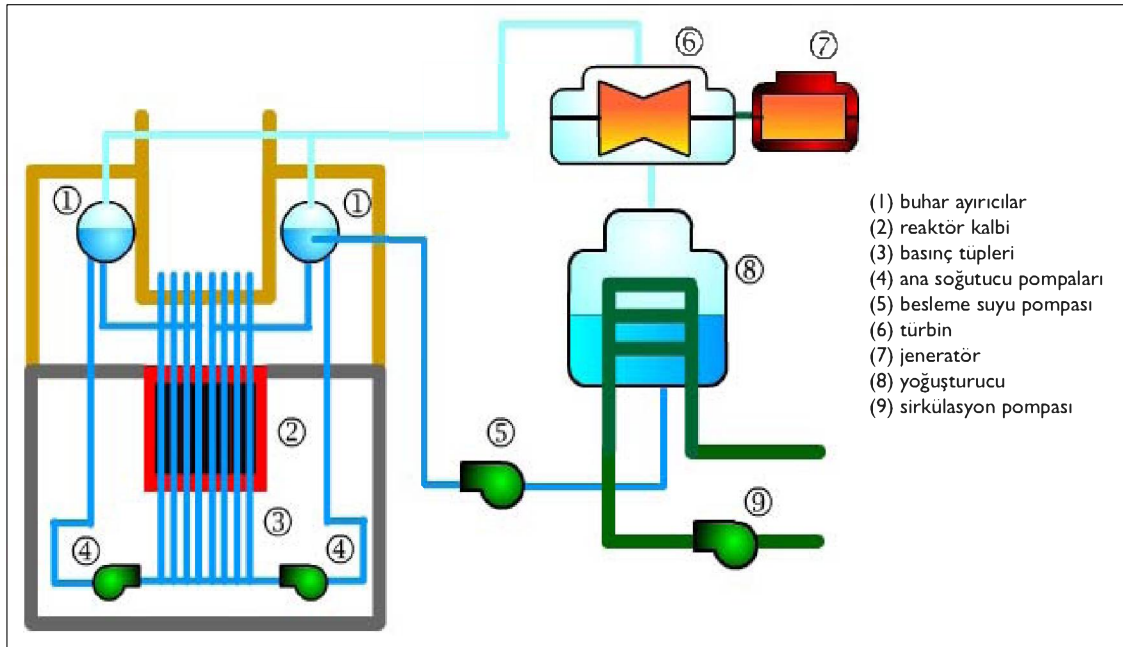
Zarfi oluşturan tüplerin çapı 1.36 cm ve uzunluğu 3.6 m olup %1 niyobyum içeren zirkonyum alaşımından yapılmıştır. Bu alaşım korozyona dayanıklı ve düşük nötron soğurma katsayısına sahiptir. Tüplerin içindeki seramik UO_2 'den yapılmış peletlerin her biri 11.5 mm çapında, 15 mm uzunluğundadır. Peletlerin ortasında sıcaklığı azaltmak ve oluşan gazların birikebileceği bir yer sağlamak için 2 mm çapında bir delik bulunmaktadır. Tüpler 0.5 MPa basınçlı helyum gazıyla doldurulmakta ve sızdırmaz şekilde kapatılıp iki yakıt demeti bir manşonla birbirine eklenmektedir. Şekil 5'te RBMK yakıt demeti gösterilmektedir [6].



Şekil 5. RBMK yakıt demeti

2.1.1. Termal Hidrolik Özellikler

Soğutma sistemi iki bağımsız döngüden oluşmaktadır. Her birinde 2 buhar ayırıcı ve 4 çevrim pompası bulunmaktadır. Normal işletmede 3 pompa çalışmakta olup 4'üncü pompa yedek tutulmaktadır. Soğutucu su, yakıt kanallarına kalbin altından girmekte ve aşağıdan yukarıya doğru pompalanmaktadır. Bu sırada yakıtlardan aldığı ısı ile su kaynamaya başlayarak kalp çıkışında 284 °C sıcaklığında ve 70 atm basınçta buhar üretilmektedir. Buharın kalp çıkışındaki kalitesi %23 civarındadır. Oluşan buhar reaktör kalbinden ayrıldıktan sonra reaktör kalbinin üzerinde yer alan ve buharın içerisinde kalan su damlacıklarını ayıran buhar ayırıcılardan geçmekte ve su damlacıklarından arındırılmış kuru buhar doğrudan türbine gönderilmektedir. Türbinin buhar gücü ile döndürülmesi sonucunda türbin şaftına bağlı jeneratörün dönmesiyle elektrik üretilmektedir. Buhar radyoaktif olmasına karşın buhar ayırıcının sağladığı gecikme sayesinde türbin bölgesi kaynar sulu reaktörlerde olduğu kadar radyoaktif değildir. **Şekil 6'**da reaktörün basit bir şeması yer almaktadır.



Şekil 6. RBMK reaktörünün basit şeması

RBMK tipi reaktörlerde boru bağlantılarının, buhar ayırıcıların ve çevrim pompalarının bulunduğu bölümler soğutma sisteminde olabilecek bir kırık olasılığı dikkate alınarak belirli bir basınç artışına göre tasarlanmış ve reaktör binasının tabanında, içinde su bulunan bir yoğuşturma havuzuna bağlanmıştır. Yerel boru kırılmalarında açığa çıkan buhar bu havuzda yoğuşturulmakta ve böylece basınç sınırlı tutulmaktadır. Ancak, bu tip reaktörlerde, soğutucu kaybı kazası sonucunda meydana gelebilecek radyoaktivite yayılımının önlenmesi için modern reaktörlerde bulunan basınca dayanıklı koruma kabı mevcut değildir.

2.1.2. Kontrol çubuğu sistemi

Santralin gücü toplam 211 adet kontrol çubuğu ile ayarlanmaktadır. Bunlar gücü belirli seviyede tutmaya ve oldukça geniş olan reaktör kalbindeki dengesiz güç dağılımını önlemeye yarayan otomatik kontrol çubukları, elle işletilen kontrol çubukları ve tehlike anında reaktörü durdurmaya yarayan güvenlik kontrol çubukları olmak üzere 3 grupta toplanmıştır. Çubukların hareket hızı 0.4 m/sn olduğundan reaktörün acil bir durumda kapatılması bir hayli yavaş olmaktadır.

RBMK reaktörlerinde nötronları yavaşlatmak için grafit kullanılmasına karşın soğutmak için su kullanımının olumsuz bir etkisi vardır. Su, her zincirleme reaksiyonda oluşan nötronların bir kısmını yutmaktadır. Yutma miktarı suyun yoğunluğu ile doğrudan ilişkilidir. Reaktör normal işletme koşullarında, yutulan nötronlara rağmen kritik halde kalmaktadır. Reaktör soğutucusunun ısınma ve özellikle kaynama nedeniyle yoğunluğunun azalması (“boşluk” oluşması) durumunda yutulan nötron miktarı daha az olacağından ortamdaki nötron sayısı gittikçe artacaktır. Soğutucuda oluşan boşluk miktarının reaktivite üzerindeki etkisi “boşluk reaktivite katsayısı” olarak ifade edilir. Boşluk reaktivite katsayısının pozitif olması durumunda soğutucu yoğunluğunun azalmasıyla reaktörün reaktivitesi, bunun sonucu olarak da gücü ve sıcaklığı artmaya başlar. RBMK’ların olumsuz yönü, pozitif olan boşluk reaktivite katsayısının gücün düşük olduğu durumlarda baskın oluşudur. Bir yakıt kanalında herhangi bir nedenle kaynamada artış olduğu zaman, bu katsayının etkisiyle, üretilen enerji de artmaktadır. Artan ısı üretimi nedeniyle kaynama daha da artmaktadır. Kendi kendini besleyerek süren bu kısır döngüyü kırmamanın tek yolu kontrol çubukları aracılığıyla reaktiviteyi ve dolayısıyla gücü azaltmaktır. Boşluk reaktivite katsayısının pozitif olması ihtimali bulunan modern tasarımlarda reaktörlerde ikincil bir kapatma sistemi kullanılmaktadır. Ancak, RBMK reaktörlerinde tehlikeli durumlarda reaktörü durdurmaya yarayan ikinci bir sistem bulunmamaktadır.

3. ÇERNOBİL KAZASI

3.1. Kazanın Gelişimi

Reaktörün 4'üncü ünitesinin 25 Nisan 1986 tarihinde rutin bakım için durdurulması sırasında, elektrik kesintisi durumunda, kalp soğutmasının sürdürülüp sürdürülemeyeceğini görmek üzere deney yapılmasına karar verilmiştir. Bu deneyin amacı, şebeke elektriğinin kesilmesi durumunda yavaşlayarak duracak olan türbinin, acil durum dizel jeneratörleri devreye girinceye kadar acil durum ekipmanı ile kalp soğutma pompalarına yeterli gücü sağlayıp sağlayamayacağını belirlemesidir.

Reaktörde böyle bir deneme daha önce de gerçekleştirilmiş, doyurucu bir sonuç alınmadığından deneyin tekrar edilmesine karar verilmiştir. Ancak, deneyi hazırlayanlar tarafından santralin nükleer olmayan kısmıyla ilgili olduğu düşünülen bu deney, deneyin yapılmasından sorumlu personel ile işletme ve güvenlikten sorumlu personel arasında tam bir bilgi alışverişi ve işbirliği sağlanmadan yürütülmüş, deney programında yeterli güvenlik önlemleri alınmamış ve işletme personeli deneyin nükleer güvenlik açısından etkisi ve potansiyel tehlikeleri konusunda uyarılmamıştır.

Deney programında, acil durumlarda kalbin soğutulmasını sağlayan acil durum kalp soğutma sisteminin devre dışı bırakılması planlanmıştır. Bu durumun kazaya bir etkisi bulunmamakla birlikte, deney boyunca bu sistemin devre dışı bırakılması güvenlik prosedürlerinin uygulanmadığını göstermektedir.

Reaktör durdurulmak üzere yarı güce düşürüldüğünde, sorumlu personel şebeke için güç ihtiyacı olduğu gerekçesiyle gücün daha fazla düşürülmesine karşı çıkmıştır. Deney, programına uygun olarak yürütülürken yaklaşık bir saat sonra yarı güçte (1600 MWt) çalışan reaktörün acil durum kalp soğutma sistemi devre dışı bırakılmıştır. 25 Nisan günü saat 23:00'te gücün daha da azaltılmasına izin verilmiştir.

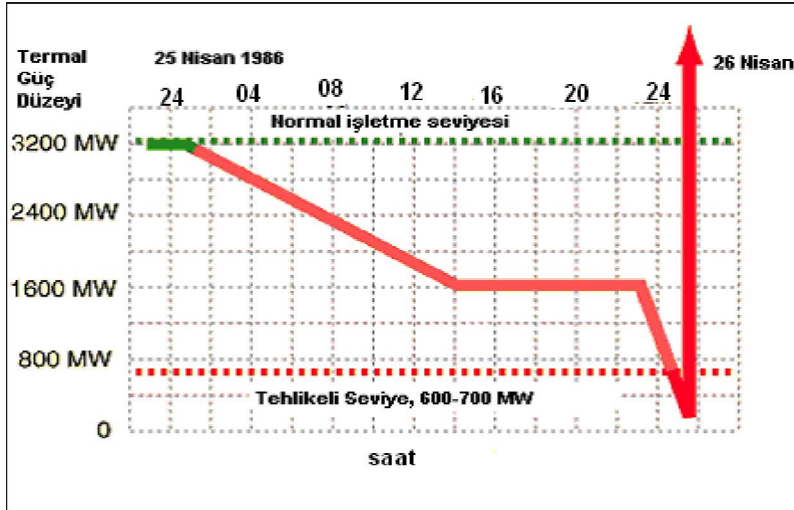
Bu deneyin gerçekleştirilmesi için reaktörün, durdurulmadan önce 1000 MWt gücünde sabit tutulması gerekirken, işletme hatasından dolayı güç, pozitif boşluk katsayısının baskın olduğu 30 MWt'a düşmüştür. Operatörler, gücü 700-1000 MWt seviyesine yükseltmek amacıyla, kontrol çubuklarını otomatik çalıştıran sistemi devre dışı bırakmışlardır. 26 Nisan saat 01:00 dolaylarında reaktör gücü ancak 200 MWt düzeyinde dengelenmiştir.

Normalde reaktörün kontrolünü sağlamak için 30 kontrol çubuğu gerekli olmasına rağmen bu deneyde 6-8 kontrol çubuğu kullanılmıştır. Kontrol çubuklarının çoğu, gücün düşürülmesi sonucu oluşan nötron yutucu ksenon birikimini telafi etmek amacıyla kalbin dışında tutulmuştur. Bu durum reaktörün yeterince hızlı şekilde kontrol edilmesi veya durdurulmasını engellemiştir. Saniyeler içerisinde artan güce karşılık neredeyse tamamı yukarıda olan kontrol çubuklarının kalbe girmesi ve reaktörü durdurması için geçecek sürenin en az 20 saniye olacağı dikkate alınmaksızın deneye devam edilmiştir. Ayrıca, kontrol çubuğu tüplerini dolduran suyun dışarı itilmesi yüzünden pozitif reaktivite daha da artmıştır.

Deney sırasında yedek pompaların devreye alınmasıyla soğutucu akışında artış ve bunu takiben buhar basıncında düşüş gerçekleşmiştir. Normal çalışmada buhar basıncı düştüğünde reaktörü durdurmak üzere kullanılan otomatik sistem bu deney nedeniyle devre dışı bırakılmıştır.

Operatörler, gücü korumak amacıyla geri kalan kontrol çubuklarının neredeyse tamamını dışarı çıkartmışlardır. Reaktör kararsız bir duruma gelmiş ve operatörler, gücü sabit tutmak amacıyla birkaç saniye aralıklarla düzenlemeler yapmak zorunda kalmışlardır. Buhar basıncını tekrar artırmak amacıyla besleme suyunun akışı azaltılmış, bu sırada, yavaşlayan türbin tarafından beslenen ana soğutucu pompalarından reaktöre giden soğutma suyu da azalmıştır. Soğutma suyunun azalması reaktörü daha kararsız bir duruma getirerek soğutma kanallarındaki buhar üretimini (pozitif boşluk katsayısı nedeniyle) arttırmış ve operatörler nominal gücün 100 katına kadar varan güç artışını önleyememişlerdir.

Çernobil kazası sırasında reaktör güç seviyesinin değişimi **Şekil 7**'de [7], kazanın gelişimi ise **Tablo 3**'te verilmiştir.



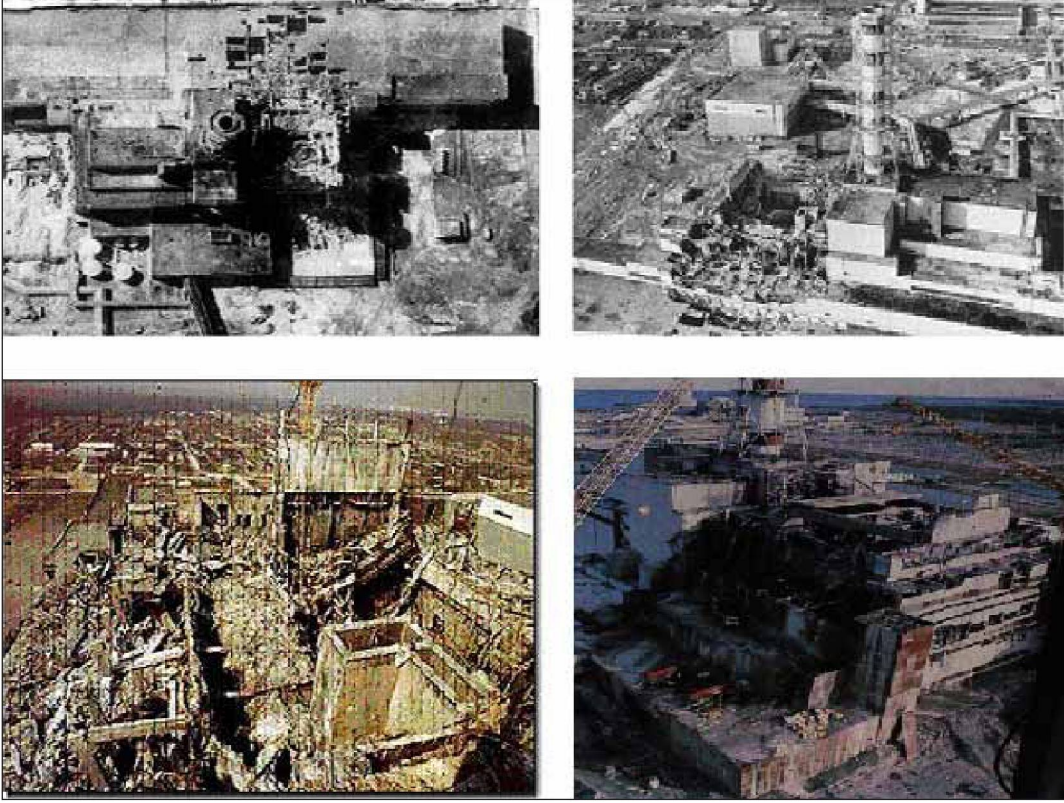
Şekil 7 - Reaktör güç seviyesinin değişimi

Isı üretimindeki büyük artış yüzünden kalpteki yakıt bütünlüğü bozulmuş, hasar gören yakıtlardan kopan parçacıklar su ile reaksiyona girerek bir buhar patlamasına sebep olmuş ve sonucunda kalp hasar görmüştür. İki ya da üç saniye sonra yakıt zarf elemanı olarak kullanılan zirkonyum elementi ile su buharının etkileşmesi sonucu ortaya çıkan hidrojen kaynaklı tahmin edilen bir patlama daha meydana gelmiştir [8].

Patlamaların basıncıyla 1000 tonluk çelik ve betondan oluşan üst biyolojik zırh fırlayarak kalbin açığa çıkmasına sebep olmuştur. Patlamaların nedeni tam olarak tespit edilememiştir. Ancak, sonradan yapılan değerlendirmelere göre patlamaların şiddetinin 1 ton TNT patlamasına eşdeğer olduğu düşünülmektedir.

Tablo 3. Çernobil kazasının işletme kayıt kronolojisi

Tarih	Saat (Yerel saat)	Olay
25 Nisan 1986	01:06	Güç azaltımının başlaması
	03:47	Isıl gücün %50 seviye olan 1600 MW'a düşmesi
	13:05	Turbojeneratörlerden birinin şebekeden ayrılması
	14:00	Acil durum kalp soğutma sisteminin devreden çıkarılması
	23:10	Ünitenin güç azaltımına izin verilmesi
	00:05	Reaktör ısı gücünün 720 MW'a düşmesi
	00:28– 01:33	Reaktör ısı gücünün 500 MW'tan 30 MW'a ani düşüşü ve 4-5 dakika sonra tekrar artmaya başlaması
	00:34 – 01:18	Buhar ayırıcılardaki seviyenin 600 mm'ye düşmesi (acil durum koruma seviyesi 1100 mm)
	00:41 – 01:16	Diğer turbojeneratörün yüksüz çalışmadaki titreşim karakteristiklerini kontrol üzere şebekeden ayrılması
	00:43	Her iki turbojeneratörü de durduran acil durum koruma sisteminin devre dışı bırakılması
	26 Nisan 1986	01:03
01:03		Ana çevrim pompalarından birinin çalıştırılması
01:06		Besleme suyu debisinin buhar ayırıcılarındaki seviyeyi yeniden tutturmak amacıyla 1200-1400 ton/saat seviyesine çıkartılması
01:07		Diğer ana çevrim pompasının çalıştırılması
01:09		Toplam besleme suyu debisinin 56000 – 58000 ton/saat seviyesine düşmesi sonucunda reaktör soğutma suyu sıcaklığının sol pompa girişinde 280.8 °C'ye, sağ pompa girişinde 283.2 °C'ye yükselmesi
01:18		Tasarıma esas kaza sinyalinin alınması
01:23		Kontrol çubuklarının kalbe girebilmesi için acil durum koruma sistemini devreye alan düğmeye basılması
01:23		Hızlı güç artışı ve yüksek güç düzeyini işaret eden acil durum sinyalinin alınması
01:23		Soğutucu akışında %40'lık ani azalma, buhar ayırıcısında ani basınç ve seviye artışı, otomatik kontrolörlerin ölçüm hatası vermesi
01:23		Yakıt kanallarının hasar görmesi, basınç artışına ilişkin acil durum sinyalinin alınması
01:24		Şiddetli sarsıntıların hissedilmesi; reaktör kontrol ve koruma sistemlerinin devre dışı kalması



Şekil 8. Çernobil reaktörünün kazadan sonraki görüntüleri

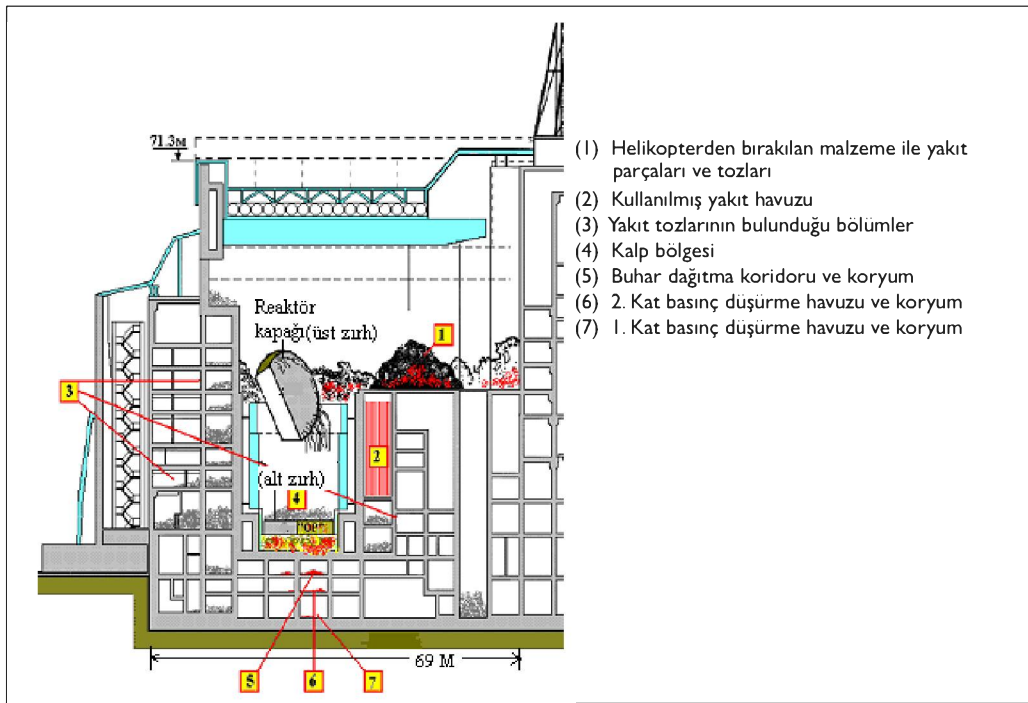
3.2. Grafit Yangını

Kazanın olduğu yıllarda grafit yangını konusunda bilgi ve deneyimin sınırlı olması nedeniyle yangınla mücadele yöntemi konusunda tereddütler oluşmuştur. Zira grafit yangınının söndürülmesinde izlenecek yöntemin, kalpte buhar üretimini daha da arttırarak radyonüklitlerin yayılmasını hızlandıracağı ve ayrıca koryumu (ergimiş reaktör kalbi) tekrar kritik duruma getirebileceğinden endişe edilmiştir.

Yangını ve radyoaktif salımı kontrol etmek için alınan ilk önlem, reaktörün hasar görmesi sonucu oluşmuş göçüğe nötron yutan malzemeler ile yangın kontrol malzemesinin boşaltılması olmuştur. Reaktör üzerine 40 ton bor bileşiği, 2400 ton kurşun, 1800 ton kum ve çakıl, 600 ton dolomit ile sodyum fosfat ve polimer sıvılardan oluşan toplam 5000 ton malzeme boşaltılmıştır. Bu malzemelerin 150 ton'u 27 Nisan'da, 300 ton'u 28 Nisan'da, 750 ton'u 29 Nisan'da, 1500 ton'u 30 Nisan'da, 1900 ton'u 1 Mayıs'ta ve 400 ton'u 2 Mayıs'ta boşaltılmıştır. Malzemeleri boşaltmak için yaklaşık 1800 helikopter uçuşu gerçekleştirilmiştir. İlk uçuşlar sırasında helikopterler malzemeyi boşaltmak için reaktörün üzerinde durmuştur. Fakat helikopter pilotlarının fazla doz alması sonucu malzemenin helikopter geçerken bırakılmasına karar verilmiştir. Bu uygulama sağlam yapıların hasar görmesine ve radyoaktif kirliliğin yayılmasına yol açmıştır. Zincirleme reaksiyonu önlemek için nötron yutucu

özelliğe sahip borkarbür; yangını karbondioksit ile boğmak için dolomit, radyasyonu soğurmak için kurşun ve parçacıkların dağılmasını engellemek için kum ve çakıl kullanılmıştır. Yükselen duman ve reaktördeki yıkıntıların görüşü engellemesine rağmen helikopterler tarafından taşınan malzemenin çoğu yangının gözlendiği reaktördeki göçüğün üzerine ulaşmıştır. Sekizinci günde koryum alt biyolojik zırhı aşarak tabana doğru akmaya başlamıştır. Koryumun tabana yayılması sonucunda yüzey alanı artmış, bu durum radyonüklitlerin salımını kolaylaştırmıştır. Basınç baskılama havuzunda kalan su ile koryumun teması sonucunda buhar üretilmesi ile radyoaktif aerosollerin üretimi artmıştır. Bu durum aktif periyodun son döneminde görülen ani radyonüklit salımını açıklayabileceği düşünülmektedir.

9 Mayıs'ta grafit yangını söndürülmüş ve reaktörün altında soğutma sistemi olan takviye beton katman oluşturma çalışmalarına başlanmıştır. Bu çalışma santralin 3'üncü ünitesinin altından bir tünel açılmasını da kapsamaktadır. Beton katmanın oluşturulmasını sağlayacak çalışma 15 gün sürmüş ve çalışmada yaklaşık 400 kişi görev almıştır. Bu katmanın oluşturulmasının amacı, gerektiğinde koryumu soğutmak ve radyoaktif malzemenin yer altı suyuna karışmasını engellemektir.



Şekil 9. Hasar görmüş Çernobil reaktörünün kesiti

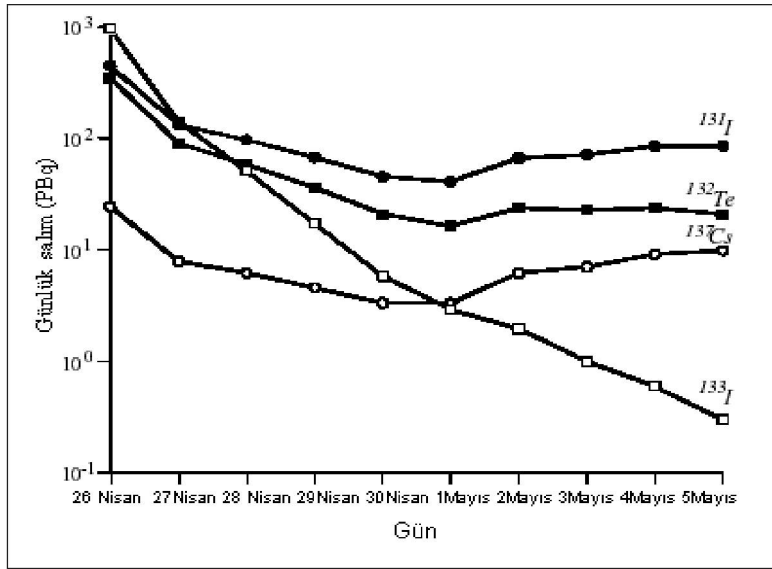
3.3. Kaynak Terimi

Kaynak terimi, nükleer tesisten bir kaza sonucu çevreye yayılan radyoaktif maddelerin oran ve miktarını tanımlayan bir ifadedir. Bir kaza durumunda ortaya çıkacak radyoaktif etkiyi belirleyen en önemli parametreler; nükleer tesisten çevreye salınan radyoaktivitenin miktarı, radyonüklitlerin kimyasal ve fiziksel formu ve zamana bağlı dağılımıdır. Çernobil kazası için kaynak teriminin belirlenmesine yönelik ilk hesaplamalar eski Sovyetler Birliği'nde etkilenen bölgelerde yapılan ölçümler sonucunda elde edilmiş veriler kullanılarak yapılmıştır. Ancak, Çernobil boyutunda bir kazada pek çok bilinmeyenden dolayı kaynak teriminin belirlenmesi için uzun yıllar boyunca bir çok hesap ve yaklaşımın değerlendirilmesi gerekmiştir. Bu nedenle, kazanın ilk yıllarında yapılan hesaplarla son dönemde tespit edilen değerler çok büyük farklılıklar gösterebilmektedir. Örneğin; UNSCEAR'ın 1988 raporunda ^{131}I için verilen 330 PBq'lık salım değeri, ilk kalp envanteri için bildirilen 1300 PBq'lık ^{131}I değeri kullanılarak ve bunun %25'inin salındığı kabul edilerek hesaplanmıştır. Oysa, son çalışmalarda 1300 PBq değerinin 10 günlük salım periyodu sonunda ulaşılan değer olduğu anlaşılmış ve kaza anında gerçek envanterin 3200 PBq olduğu hesaplanmıştır. Salım oranının ise yeni bulgular ışığında %50 olduğu kabul edildiğinde, ^{131}I salım değerinin 1988 raporundakinin yaklaşık 5 katı olduğu tahmin edilmektedir (**Tablo 4 [8]**).

Tablo 4. Çernobil kazası esnasında salınan bazı radyonüklitlerin envanter ve salım değerleri

26 Nisan 1986'daki Kalp Envanteri			Kaza Sırasında Toplam Salım	
Radyoisotop	Yarılanma Ömrü	Aktivite (PBq)	Envanter Yüzdesi	Aktivite (PBq)
^{135}Xe	5,3 g	e500	100	e500
^{131}I	8,0 g	1200	30,00	760
^{137}Cs	1,0 y	180	20,00	e30
^{134}Cs	30,0 y	280	20,00	e85
^{132}Te	73,0 z	2700	25,60	e150
^{90}Sr	52,0 y	2300	4,6	e115
^{89}Sr	28,0 y	200	4,6	e10
^{140}Ba	12,3 y	4800	4,6	e240
^{92}Zr	65,0 y	5600	3,5	195
^{93}Mo	67,0 z	4800	e3,5	e163
^{94}Ru	39,6 y	4800	e3,5	e163
^{95}Ru	1,0 y	2100	e3,5	e73
^{106}Cd	35,0 y	5600	3,5	195
^{107}Cd	285,0 y	2500	3,5	115
^{109}Ag	2,4 y	27000	3,5	95
^{133}F	35,0 y	1	3,5	0,026
^{133}F	14400 z	0,35	3,5	0,03
^{135}F	e580,0 y	1,2	3,5	0,012
^{137}F	13,2 y	170	3,5	6
^{137}Cm	16,0 y	25	3,5	0,9

Halkın maruz kaldığı radyasyonun temel sebebi olan ^{131}I ve ^{137}Cs , radyolojik açıdan en önemli radyonüklitlerdir. Başta ^{131}I ve ^{137}Cs olmak üzere çeşitli radyonüklitlerin çevreye salım miktarlarıyla ilgili veriler; 1986'dan beri yapılan ölçüm ve değerlendirmelerle belirlenmiştir. Çevreye salınan radyoaktivite miktarının belirlenmesinde koryum ve reaktör enkazında gerçekleştirilen analizlerden de yararlanılmıştır. Bu çalışmalarda, yakıtta bulunan ^{137}Cs 'nin %20 - %40'ının (85 ± 26 PBq), ^{131}I 'in ise ortalama %50 - %60'ının çevreye salındığı kabul edilmiştir. Kaza ve kazayı takip eden günlerde ^{131}I , ^{133}I , ^{132}Te ve ^{137}Cs 'nin Çernobil reaktöründen günlük salımı **Şekil 10**'da yer almaktadır [9].



Şekil 10. ^{131}I , ^{133}I , ^{132}Te ve ^{137}Cs 'nin Çernobil reaktöründen günlük salım miktarı

Kripton ve ksenon gibi asal gazların tamamı yakıttan dışarı çıkmıştır. ^{137}Cs ve ^{132}Te gibi bazı uçucu element ve bileşikler havada aerosollere bağlı olarak taşınmıştır. Daha büyük parçacıkların %80 - %90'ını oluşturan ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{140}La , ^{141}Ce , ^{144}Ce ve transuranyum elementleri gibi radyonüklitler ise uranyum matrisi içerisinde gömülü vaziyette yakıt parçacıkları içerisinde taşınmıştır. Çernobil kazasında grafit yangını nedeniyle geniş bir alana uzun süreli olarak yakıt malzemesi salınmıştır. Büyük yakıt parçacıkları daha dar bir alana, küçük parçacıklar ise geniş alana yayılmıştır.

Kısa ömürlü radyonüklitlerin 10 günlük toplam salımı ilk tahminlere ve sonradan yapılan değerlendirmelere göre; ^{131}I , ^{132}I , ^{133}I , ^{134}I , ^{135}I ve ^{132}Te için sırasıyla 1760, 1040, 910, 25, 250 ve 1040 PBq olduğu tahmin edilmektedir. ^{131}I için kaza sırasında günlük tahmini salım **Tablo 5**'te verilmektedir [9].

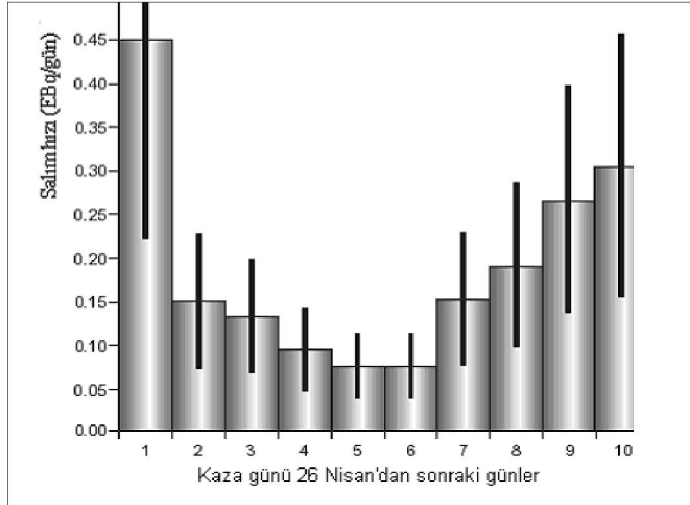
Radyoaktif maddelerin zamana bağlı olarak atmosfere salımı **Şekil 11**'de yer almaktadır [8]. Şekilde ilk günde görülen yüksek miktardaki salım, patlama sırasında yakıtın mekanik olarak hasar görmesi sonucu oluşmuştur. Salımın içeriği asal gazlar, iyot ve sezyum gibi uçucu radyonüklitlerden oluşmaktadır. İkinci büyük salım ise ulaşılan yüksek sıcaklıklarda kalbin ergimesi sonucunda kazayı takip eden 7'nci ve 10'uncu günler arasında gerçekleşmiştir.

Tablo 5. ¹³¹I'in kaza sırasında günlük tahmini salımı

Salım günü	Günlük salım (PBq)
26 Nisan	704
27 Nisan	204
28 Nisan	150
29 Nisan	102
30 Nisan	69
1 Mayıs	62
2 Mayıs	102
3 Mayıs	107
4 Mayıs	130
5 Mayıs	130
Toplam	1760

10'uncu günden sonraki keskin düşüşün sebebinin koryumun alttaki zırha doğru akarak hızlı bir şekilde soğuması olduğu düşünülmektedir.

Radyoaktif salım, kazadan sonra 9'uncu ve 10'uncu günler olan 5 ve 6 Mayıs tarihlerinde nispeten azalmıştır. Sonraki hafta ve kazadan sonraki 40 gün içerisinde özellikle 15 ve 16 Mayıs tarihlerinde düşük düzeyde salım devam etmiştir. Bu durum, reaktördeki yangının sürmesi ya da sıcak bölgelerin hala mevcut olması ile açıklanmaktadır.

**Şekil 11.** Radyoaktif maddelerin atmosfere günlük salım hızı

Reaktöre yakın kirlenmiş alanlardaki (<100 km) radyonüklit dağılımı yakıttaki radyonüklit içeriğini yansıtmakta ve uzak bölgelerdekinden (>100 km-2000 km) farklılık göstermektedir. Yakın noktalardaki büyük parçacıklar yakıt (U, Pu), dayanıklı elementler (Zr, Mo, Ce ve Np) ile ara elementlerden (Ru, Ba, Sr) meydana gelmektedir. Yoğuşma ile ortaya çıkan uçucu elementler (I, Te ve Cs) çok uzak bölgelere kadar yaygın olarak dağılmıştır. Buhar formunda olup metalik forma geçen rutenyum gibi parçacıklar ile küçük yakıt parçacıkları "sıcak parçacıklar" olarak adlandırılmaktadır ve kaza yerinden çok uzaklarda bile tespit edilmiştir. Sıcak parçacık başına tipik aktivite oranı yakıt parçalarında 0.1-1 kBq, rutenyum parçacıklarında 0.5-10 kBq'dir.

4. ÇERNOBİL'DE KAZA SONRASI ÇALIŞMALAR

4.1. Çernobil' de Bugüne Kadar Yapılan Çalışmalar

Sovyetler Birliği Hükümet Komisyonu, 1986 yılı Haziran ayında, Çernobil nükleer güç tesisinin 4'üncü ünitesinin uzun süreli korunmasına yönelik bir yönetmelik çıkarmıştır. Onbinlerce işçi tarafından 206 gün içinde yaklaşık 400000 m³ beton ve 7000 ton metal malzeme kullanılarak "lahit" adı verilen bir koruma binası inşa edilmiştir (**Şekil 12 [10]**).

Lahitin içinde yaklaşık 7×10^{17} Bq aktiviteye sahip ışınlanmış nükleer yakıt bulunmaktadır. Kazadan edilmektedir. Lahit oluşturulurken tesis etrafında radyasyondan arındırma çalışmaları da yapılmıştır. Lahitin başlıca potansiyel tehlikesinin aşınmadan dolayı meydana gelebilecek üst yapılarının çökmesi ve bunun sonucunda radyoaktif tozun salınması olduğu düşünülmektedir.



Şekil 12. Çernobil lahiti

Şekil 13'te Çernobil reaktörünün mevcut durumu gösterilmektedir. Bazı bölgelerdeki yüksek radyasyon seviyesi nedeniyle şu an için lahitin ve içinde bulunan radyoaktif malzemelerin durumunun tam anlamıyla izlenmesi mümkün değildir. İzleme için yüksek radyasyon seviyesinde çalışabilecek yeni ekipmanların yerleştirilmesi gerekmektedir. Bina içinde bulunan radyoaktif toz ve suyun lahit binasının kısmen veya tamamen çökmesi sonucu dışarıya salınması tehlikesinin bulunduğu düşünülmektedir. Bu nedenle lahit üzerine yeni güvenli bir korunağın inşa edilmesi planlanmaktadır.

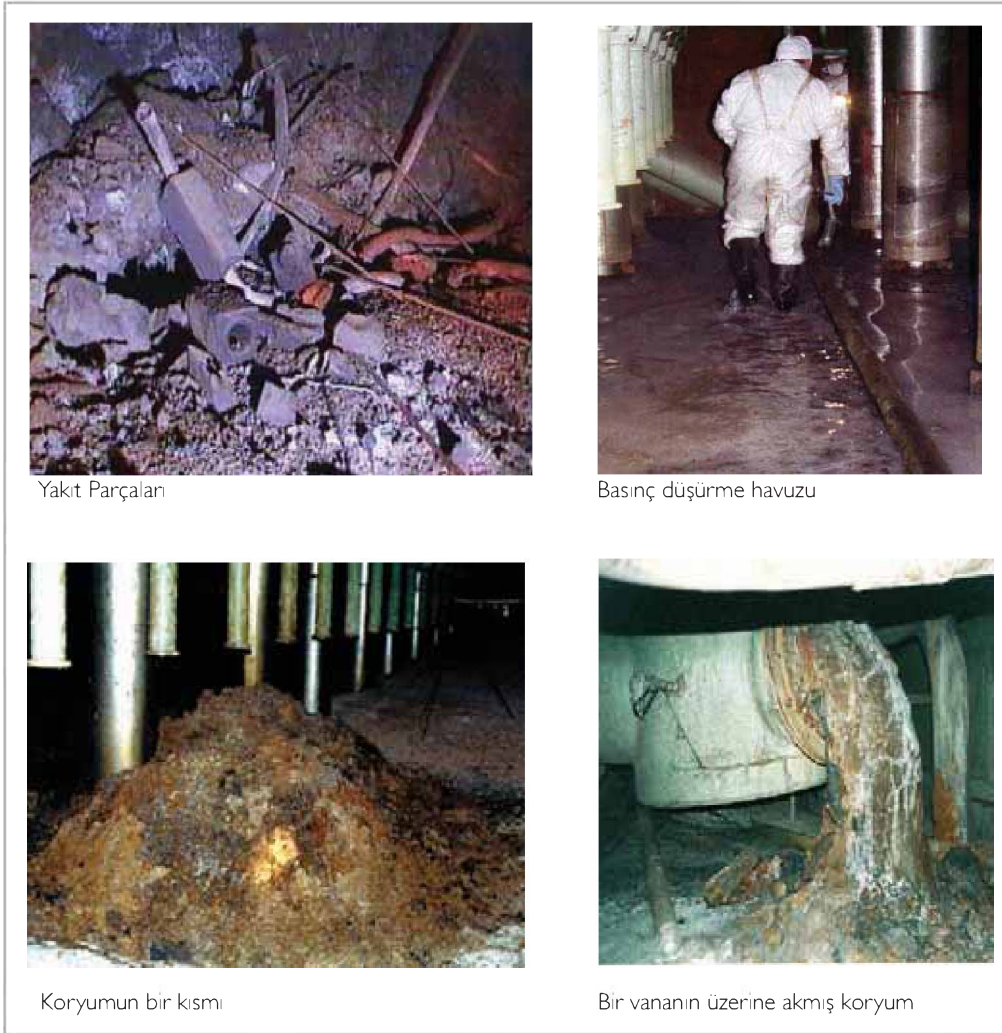


Şekil 13. Çernobil'in mevcut durumu

Yeni güvenli korunağın inşa edilmesi için “Korunak Uygulama Planı (Shelter Implementation Plan)” kapsamında, Almanya ve Fransa tarafından finanse edilen çok uluslu “Sarcophagus” projesi 1998 yılında başlamıştır [10]. Bu proje süresi üç yıl olarak planlanmış ve toplam 2 milyon avro bütçe ayrılmıştır. Bu proje kapsamında yapılan çalışmalar:

1. Bina: Bina Yapı İşleri Devlet Araştırma Enstitüsü (NIISK) tarafından reaktörde yer alan toplam 956 odanın kaza öncesi ve sonrası geometrik boyutları, kullanılan malzemeler gibi özellikleri belirlenerek, yeni proje için temel oluşturacak teknik bilgiler bir veri tabanında toplanmıştır.
2. Sistem ve ekipmanlar: Çernobil nükleer güç santralına yeni korunağı kurmak amacıyla kurulan “Chernobyl Nuclear Power Plant, Object “Shelter” – CNPPOS” ile NIISK'in birlikte yürüttükleri çalışmayla kaza öncesi ve sonrası lahit içindeki 1600 sistem ve ekipmanı tanımlayan; elektrik, su, drenaj, havalandırma, ölçme ve izleme sistemleri için veri tabanı oluşturulmuştur.
3. Radyolojik durum: Lahit içindeki radyolojik durumun belirlenmesi, Rusya Araştırma Enstitüsü (RRCKI) ve CNPPOS tarafından yapılmış ve 956 oda ile ilgili veri tabanı oluşturulmuştur.
4. Yakıt bulunduran malzeme ve radyoaktif atık: Atom Enerjisi Güvenliği Enstitüsü (IBRAE), Radyum Enstitüsü (RICSP), Disiplinlerarası Bilimsel ve Teknik “Korunak” Merkezi (ISTC) ve Rusya Araştırma Enstitüsü (RRCKI) yaptıkları ortak çalışmada, lahit içinde kalan yakıtın tanımlanmasıyla

ilgili (örneğin kullanılmış yakıt elemanlarının parçaları, koryum, sudaki U ve Pu çözünmesi, çekirdek kompozisyonu, fiziksel ve kimyasal özellikler) verileri baz alarak potansiyel radyolojik gelişmeleri araştırmışlardır. Yakıtle ilgili yaklaşık 96 bilgi seti oluşturulmuştur. Yakıt parçaları, grafit ve koryum ile suda çözülmüş yakıtın durumu **Şekil 14**'te gösterilmiştir [11].



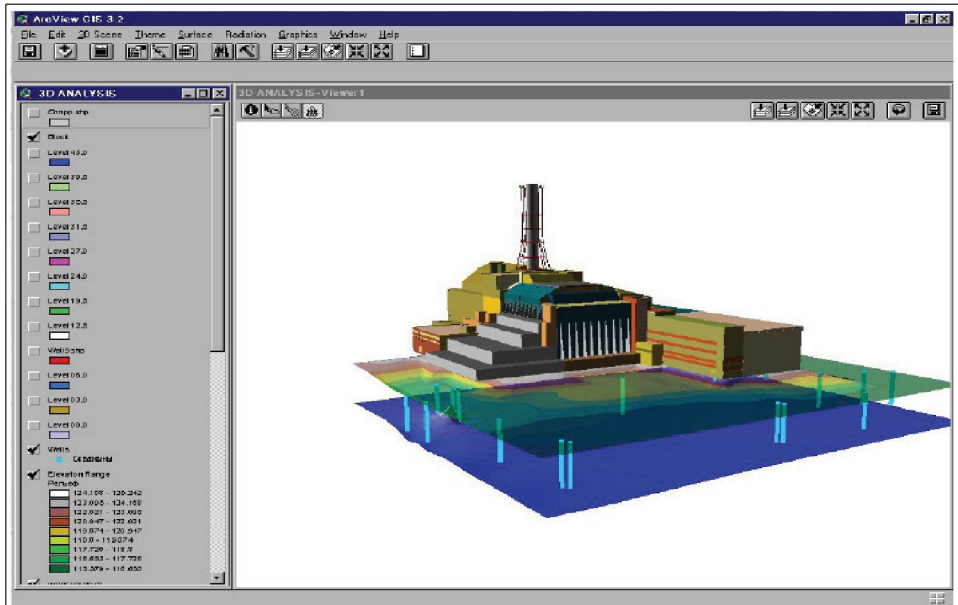
Şekil 14. Lahit içindeki durum

5. Çevre etkisi: Kazanın çevreye etkilerinin belirlenmesi amacıyla, yeryüzü ve yeraltı sularındaki kirlenme ile havada ve topraktaki kirlenmenin belirlenmesine yönelik çalışmalar Disiplinlerarası Bilimsel ve Teknik “Korunak” Merkezi (ISTC) tarafından yapılmıştır (**Şekil 15 [12]**).



Şekil 15. Korunak alanında yeraltı suyu ve hava numunesinin alınması ile ilgili çalışmalar

6. Veri tabanı oluşturulması ve veri entegrasyonu: Bu çalışmada, optik seyir sistemi yardımıyla gerekli bilginin elde edilebileceği özel bir tekniğin geliştirilerek; grafik, çizim, fotoğraf, orijinal ya da animasyon videolar gibi yardımcı verilerin de bağlantısının olduğu, korunak alanına çevresel etkilerin tanımlandığı konuyla ilgili farklı teknik konuları da kapsayan bir veri tabanı oluşturulmuştur. Coğrafi bilgi sistemi analizinin 3 boyutlu görüntüsü **Şekil 16**'da verilmiştir [13].

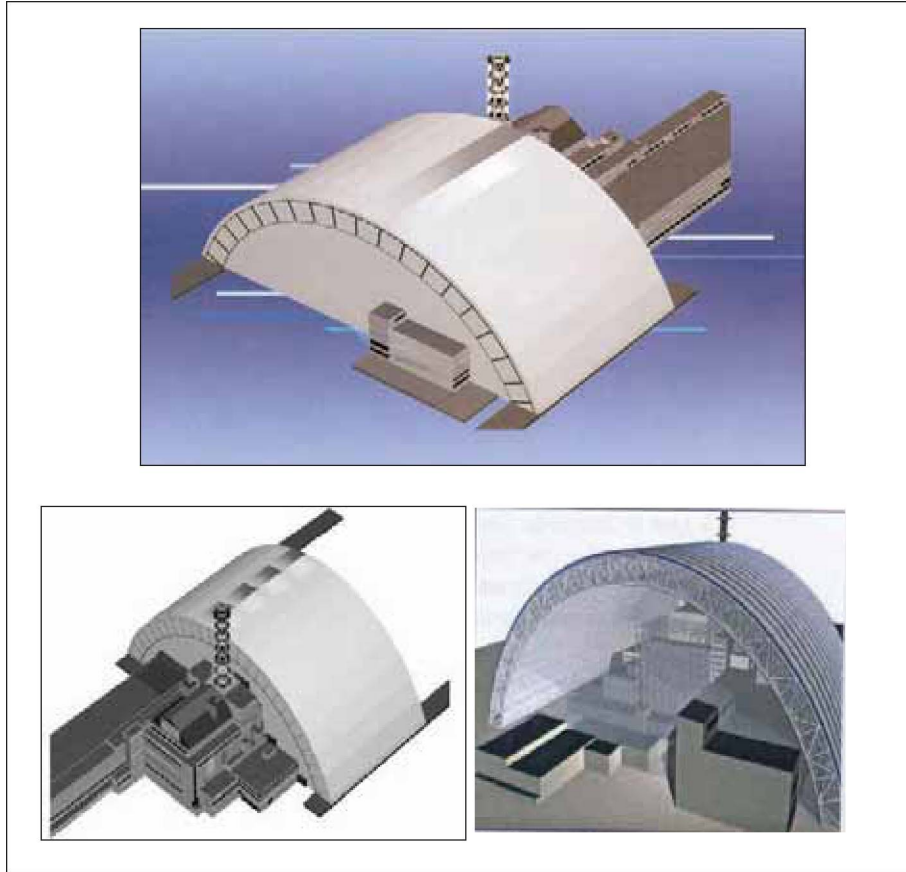


Şekil 16. Coğrafi bilgi sistemi analiz görüntüsü

Teknik veri kalite kontrolü, iç denetimlerle ve bağımsız uzmanlar takımı Atomaudit (Kiev) tarafından yapılan denetimlerle sağlanmıştır. Veri tabanının oluşturulması ve veri entegrasyonu kontrolü bağımsız Alman uzman kuruluşu GRS danışmanlığında yapılmıştır.

4.2. Çernobil'de Koruma Amacıyla Yapılacak Olan Çalışmalar

Korunak Uygulama Planının amacı çalışanları, halkı ve çevreyi potansiyel radyasyon tehlikelerinden korumak için öncelikle yeterince güvenli olmayan eski lahit binasının üzerine bir korunak binası inşa edilmesi daha sonra da kazada tahrip olan Çernobil reaktörünün ve lahitin güvenli bir şekilde sökülerek bertaraf edilmesinin sağlanmasıdır. Ayrıca, içeride kalan radyoaktif maddelerin durumunun daha iyi şekilde izlenmesi ve bunların kötü amaçlarla kullanımının engellenmesi amaçlanmaktadır. Çernobil için planlanan yeni korunak binası **Şekil 17**'de gösterilmiştir [10, 14].



Şekil 17. Çernobil için planlanan yeni güvenli korunağın 3 boyutlu modeli

5. SONUÇ

Çernobil kazasının temel nedeni güvenlik kültürü eksikliğidir. Sorumlular deney planlanırken ve uygulanırken işletme prosedürlerine uymamış, reaktörün tasarım özellikleri de kazanın boyutlarının büyümesine neden olmuştur.

Güvenlik kültürü; güvenlikle ilgili konularda kurum, kuruluş ve bireylerin güvenliğe öncelik tanıyan yapı, özellik ve tutumlarının bütünüdür. Nükleer güvenlikle ilgili sorumluluk taşıyan tüm kurum ve kuruluşlar; insan hatalarını önlemek, yapılanmalarının nükleer güvenliğe olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak, nükleer güvenliğe olumlu katkı sağlayacak yapılanmalara imkan vermek ve personeline faaliyetlerinin her aşamasında tesis güvenliğine katkıda bulunacak davranışlar kazandırmak için bir güvenlik kültürü oluşturmalıdır. İlgili bütün kurum ve kuruluşlar, politika ve örgütsel yapılarını oluştururken nükleer güvenlik ile ilgili konulara öncelik vermelidir. Sorumlulukların sınırları ve iletişim yolları açık ve net bir şekilde ortaya konulmalıdır. Güvenlikle ilgili etkinliklerde kalite temini ve denetim sağlanmalıdır. Yeterli sayıda ve uygun niteliklere sahip personel istihdam edilerek, bu personelin güvenlik kültürünü benimsemesi ve özümsemesi sağlanmalıdır.

Çernobil reaktörünün, güvenlik kültürü eksikliği ile birleşerek tarihin en büyük kazasına yol açmasına sebep olan bazı önemli tasarım özellikleri bulunmaktadır. Bunlardan ilki, özellikle düşük güçlerde çalışırken, reaktör soğutucusunun buharlaşmasının artmasıyla birlikte reaktör gücünün yükselmeye başlaması ve bu durumun bir kısır döngüye yol açmasıdır. Bu durumun önüne geçilebilmesi için ikinci bir kapatma sisteminin bulunması gerekmekte idi. Ancak, böyle bir sistem Çernobil reaktöründe bulunmamaktaydı. Reaktörün tek kapatma sistemi olan kontrol çubuğu sistemi ise böylesi bir kazayla başa çıkabilecek şekilde tasarlanmamıştı. Kazanın boyutlarının bu kadar büyümesine yol açan asıl eksiklik ise batı tipi reaktörlerde bulunan ve bu tip bir kazada radyoaktif maddelerin çevreye salımını engelleyen koruma kabı binasının bulunmamasıdır. Eğer bu yapı bulunmuş olsaydı böylesi bir kaza sonucunda bile sadece reaktör kaybedilecek tüm dünyada milyarlarca dolar tutan acil durum önlemlerine gerek kalmayacaktı.

Sonuç olarak; Çernobil kazasından nükleer endüstrinin aldığı en önemli ders nükleer reaktörlerin tasarımından işletmesine kadar tüm safhalarda güvenlik kültürünün ne kadar önemli olduğudur. Batı tipi reaktörlerde, benzeri bir kaza mümkün değildir. Batı tipi reaktörlerde, radyoaktif maddelerin reaktör dışına çıkmasına sebep olabilecek herhangi bir kaza meydana gelse bile bu maddelerin çevreye yayılmasına engel olacak önlemler alınmıştır. Bu nedenle, Çernobil kazası sonrasında bu tip reaktörlerde herhangi bir tasarım değişikliğine gerek duyulmamıştır.

6. KAYNAKLAR

- 1 http://www.world-nuclear.org/info/chernobyl/ukr_map.gif
- 2 <http://www.centerforsafeenergy.com/graphics/chernobyl.jpg>
- 3 "The Chernobyl Accident : Updating of INSAG", Safety Series No: 75 INSAG 7, 1992
- 4 www.cs.ntu.edu.au/homapages/mitroy/sid_101/cherboyl/rbmkshrt.html
- 5 Nuclear Power Reactors in the World, IAEA, 2004, Viyana
- 6 Ignalina RBMK-1500: A Source Book; K.Almenas, A.Kaliatka, E Uspuras; Ignalina Safety Analysis Group Lithuanian Energy Institute; 1998; Litvanya
- 7 www.globalsecurity.org/wmd/world/russia/images
- 8 CHERNOBYL Assessment of Radiological and Health Impacts 2002 Update of Chernoby: Ten Years On; OECD/NEA; 2002; Fransa
- 9 UNSCEAR 2000 Report, Annex J, 2000
- 10 The Sarcophagus Project Of The French-German Initiative For Chernobyl. G.Pretzch (GRS), V.Lhomme (IRSN), A. Seleznev (CC), Kiev 2004.
- 11 International Workshop on "The French-German Initiative: Results and their Implication for the Man and Environment", Nuclear Fuel and Radioactive Waste and Radiological Situation in the Object "Shelter". A.Borovay, S. Gavrillov, V.Senetrov, Kiev 2004.
- 12 Environmental Impact, Radiation Fields and Contamination on the Industrial Site: S. Bogotav, A. Klyuchnikov, Kiev 2004
- 13 Data Base Configuration and Data Integration, Y.Seradinin, N.Grechuh, D.Datsko, V.Kozlitin, A.Mazur, V.Firsikov, D.Khomko, 2004 Kiev
- 14 The Chernobyl Forum, IAEA, 2005