

# NÜKLEER ATIKLAR, MEYDANA GETİRDİĞİ ÇEVRE SORUNLARI VE BERTARAF EDİLMESİNDE AMERİKA ÖRNEĞİ

Hasan Üçpırtı<sup>(1)</sup>, Recep İleri<sup>(2)</sup>, Osman Çerezci<sup>(3)</sup>

*İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Esentepe Kampüsü, Adapazarı<sup>(1)</sup>  
Çevre Mühendisliği Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Esentepe Kampüsü, Adapazarı<sup>(2)</sup>  
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Esentepe Kampüsü, Adapazarı<sup>(3)</sup>*

**Özet** - Toplumlar, hızlı sanayileşme ve ilerlemenin doğal bir sonucu olarak aşırı ihtiyaç duyduğu enerjiyi elde etmenin yollarını araştırmış ve nükleer enerjiyi yaygın olarak çeşitli alanlarda (sivil ve askeri amaçlı) kullanmış ve kullanmaktadır. Canlılar ve çevre için büyük bir tehlike arz eden nükleer nitelikteki atıkların bir şekilde bertaraf (depolanma) edilmesi, dolayısıyla canlılardan uzak ortamlarda saklanması gerekmektedir. Günümüze değin yüzey ve sığ derinliklerde geçici olarak depolanan nükleer atıkların, sürekli ortamlarda (yeraltı açıklıklarında) saklanması mutlaka gerekmektedir. Konu ile ilgili olarak başta Amerika Birleşik Devletleri olmak üzere nükleer enerjiyi yıllardan beri kullanan diğer gelişmiş ülkelerde yoğun çalışma programları yürütülmektedir. Ülkemizin yakın bir gelecekte nükleer enerjiyi çeşitli amaçlara yönelik olarak üretmeyi ve kullanmayı planlaması nedeniyle, bu çalışmada; nükleer enerji, elde edilme sürecinde ortaya çıkan atıkların karakteristikleri, olası çevre etkilerinin azaltılması ve atıkların depolanmasında Amerika Birleşik Devletleri örneği verilerek, konuya ışık tutulmaya çalışılmış ve tartışılmıştır.

## 1. GİRİŞ

Nükleer çağ, 1945'li yıllarda atomların çekirdeğinden sebest hale geçen enerjinin korkunç tahrip edici gücünün belirlenmesi ile başlar. Günümüze değin nükleer enerji birçok alanda (sivil ve askeri) kullanılmıştır. Bilinen en iyi örneklerinden bir tanesi nükleer güç santrallerinde elektrik üretimi için kullanılmaktadır. Ayrıca; biyolojide, tıpta, sanayinin birçok alanında (gıda, tekstil, ilaç, boyama, radyografi vb.) uygulanabilirliği söz konusudur. Canlılar ve çevre için zararlı olan nükleer nitelikteki atıkların büyük bir kısmı nükleer reaktörlerde uranyumun yakıt olarak kullanımı sonucu oluşan atıklar oluşturmaktadır. Bunun yanı sıra, askeri nitelikteki zararlı atıklarında göz ardı edilmemesi gerekmektedir [1].

TEK ve DSİ verilerine göre; ülkemizde elektrik ihtiyacı 2000 yılında 151 milyar kilowattsaat, 2010 yılında ise 314.5 milyar kilowattsaat olacağı belirtilmektedir. Hidroelektrik enerjimizin ise ülkemizin bütün nehirlerine barajlar yapılırsa ve tam kapasite ile çalıştırılırsa da ancak 120 milyar kilowattsaat elektrik üretileceği belirtilmektedir. Bu nedenle ülkemizin gündemine alternatif kaynakların (nükleer, doğalgaz, güneş, rüzgâr, biyokütle vb.) tartışılması girmiş bulunmaktadır. Mersin Akkuyu'da 1200 Megawattlık (1 Megawatt=1 milyon kilowatt) bir reaktör kurulması ve ihalesi planlanmıştır [1].

Reaktörlerde nükleer atıklar çeşitli safhalarda meydana gelmektedir. Bunlardan ilki yakıt imali için , cevher arıtma işlemi esnasında uranyum % 0.2 oranından % 60.0 oranına çıkarılması ve sonraki yabancı maddelerden ayrıştırılması işlemleridir. Bu esnada % 0.5 kadar uranyum tesisin çeşitli bölgelerine bulaşmak suretiyle kaybolur. Buna Örnek olarak ta 35 ton zengin uranyum yakıtının oluşması esnasında yaklaşık olarak 160 kg. uranyum kayıp olur. Söz konusu olan, kayıp olan bu malzemenin aşırı derecede radioaktif olmasıdır. Yılda 1 Gigawatt (GW) elektrik üretimi için, söz konusu nükleer atık miktarı herbiri 200 litre kapasitesinde toplam 2300 varil olup; bunun 2000 varili işletme atıkları, 300 varili bakım atıkları ve nötron yutucu çubuklar oluşturabilmektedir [2].

## 2. NÜKLEER ATIKLAR

Enerji üreten bir nükleer reaktör, bunun yanı sıra radyoaktif nitelikteki yan ürünlerde ortaya çıkarmaktadır. Bunlardan bazıları fisyon ürünü uranyum parçalarıdır. Bazıları ise atom numarası 89-103 olan ağır radyoaktif elementler olan aktinidlerdir. Radyoaktif nitelikteki atıklar genel anlamda üç grupta toplanabilmektedir:

1. Hafif dereceli radyoaktif atıklar: Cevher atıkları, radyoaktif gaz ve sıvı atıklar.



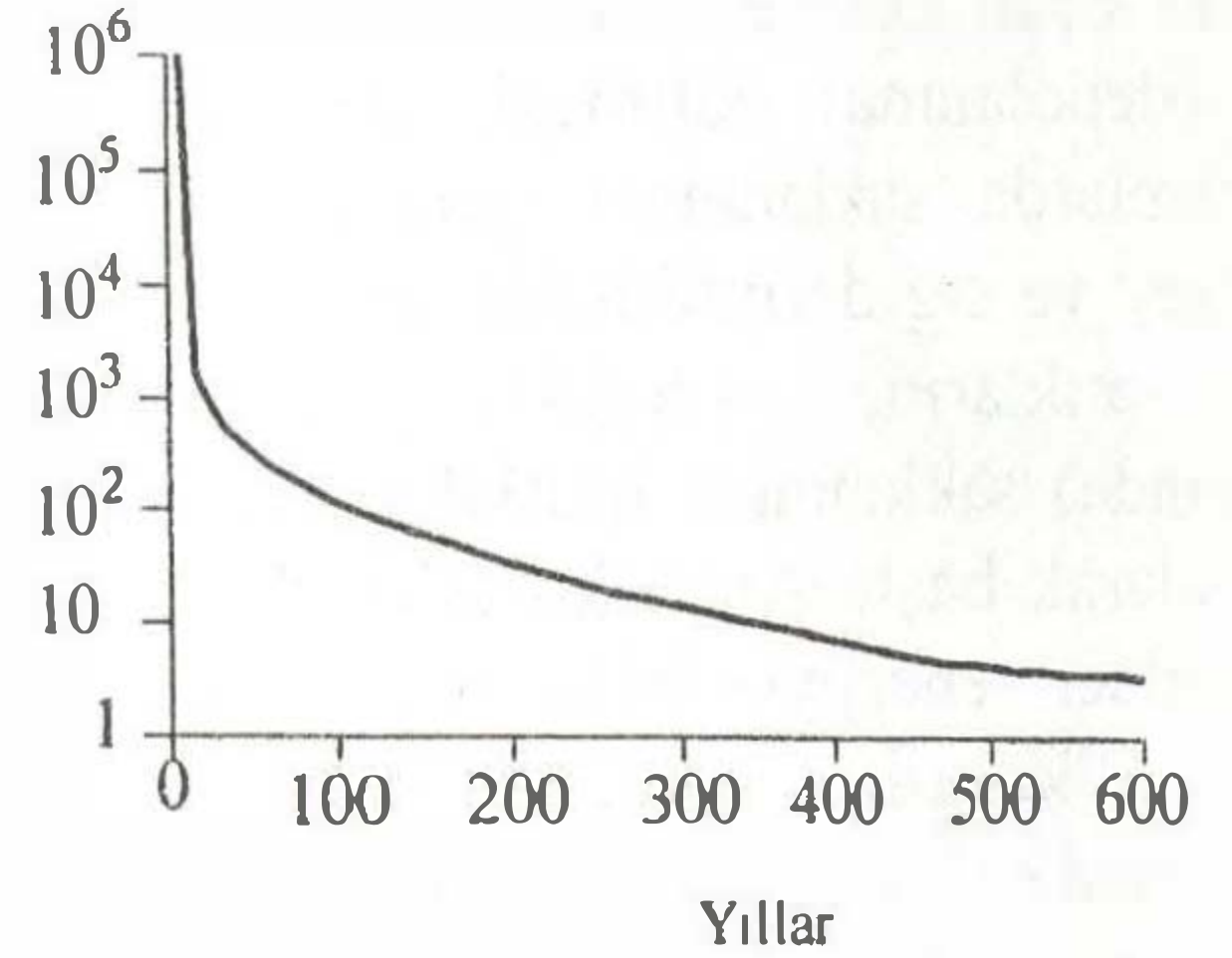
2. Orta dereceli radyoaktif atıklar: Bunlar dış etkenlere uzun süre dayanacak şekilde şartlandırılmış ve paketlemiş olarak doğaya bırakılması gereken atıklardır. Örneğin, Amerika Birleşik Devletlerinde bu şekilde depolanan orta şiddette radyoaktif atıkların hacmi 1979 başlarında 2.1 milyon metre küpü bulmaktaydı. Bunun 1.7 milyon metre küpü askeri ve 0.4 milyon metre küpü sivil programlardan oluşmaktaydı.
3. Yüksek dereceli radyoaktif atıklar: Nükleer sanayinin en büyük sorunu yüksek dereceli radyoaktif atıklardır. Reaktörden çıkan kullanılmış yakıt veya onun tekrar işlenmesinden oluşan fisyon ürünleri yüksek derecede radyoaktif atıkların başlıca bölümünü oluştururlar. Bunlar şimdiye kadar doğaya kesinlikle bırakılmadıkları belirtilmektedir. Hacimce mümkün olduğu kadar küçültülerek ve şartlandırılarak henüz verilmeyen kesin kararlar için bekletilmektedirler. Örneğin, A.B.D.'de el sürmeyip biriken bu yakıtlar 1979 yılı başına kadar 5000 tona varmıştı. Fakat aynı ülke bomba için plütonyum üretmek amacıyla askeri reaktörlerden çıkan yakıtları hep işleye gelmiştir. Bu işlemeden doğan askeri nitelikteki yüksek dereceli atıklar ise aynı tarihte 500000 tonu bulmuştu. İngiltere'nin askeri ve sivil programlarından biriken aşırı aktif fisyon ürünleri ise 1978 yılında 770 metre küp dolayında idi. Bu değer, sıvı atığın billurlaşma veya çökme derecesine kadar yoğunlaştırılmış en küçük hacmidir. Bunlar, 9 çelik tanka doldurulmuştur. Sızdırmaya karşı çift çidarlı yapılan paslanmaz çelik tanklar dıştan ayrıca kalın beton zırh ile çevrilmişlerdir.

Radyoaktif atıkların yarı ömürleri hali uzundur. Yarı ömür, 1 nükleer elementin çekirdeğinin yarısının bozunması için geçen süredir. 10 yarım ömürden sonra radyoaktivite, ilk başta binde biridir. Önemli fisyon ürünleri stronsiyum 90 ve sezyum 137'nin yarı ömürleri 30 yıl kadardır. Plütonyum 239'un yarı ömrü 24000, neptunyum 237'nin ise 2.1 milyon yıldır. 1000 megawattlık ticari bir reaktör yılda yaklaşık 30 ton atık yakıt üretir. Yüksek radyoaktiviteye sahip olanlar, bu miktarın yalnızca küçük bir kısmını oluşturur[3].

Şekil 1'de reaktörden yakıtın ve ondan ayrılan atığın radyoaktivitesinin zamanla zayıflamasının eğrisi verilmiştir. Gerek radyasyon şiddeti ve gerekse ısı üretimi aynı eğriyi izler. Görüldüğü gibi eğri eğimleri çok farklı üç bölümden oluşmaktadır. İlk 10 yılı soğutma havuzunda el sürülmeden bekletilir. 10 senenin sonunda, yarı ömrü 1 yıldan kısa olan radyoizotopların hemen tamamı sönmüş olurlar. Bundan sonra istenirse yakıt

işlenebilir ve çıkan atıkların en şiddetli radyoaktiviteye sahip bölümü de usulüne uygun olarak depolanabilir. Grafik, ilk 200 yıla kadar uzanan 2. dönemde daha küçük bir eğimle azalmaktadır. Bu dönemde hakim radyoaktiviteler 30 yıl yarı ömürlü stronsiyum 90 ve sezyum 137 dir. Toplam radyoaktivitelerin % 75'i izotoptan gelir. Dolayısıyla eğri adeta bu ikisinin sönmüşünü izler. Adı geçen iki radyoizotopun bütünü ile sönmüşmeleri 500 yılı bulur. Fakat 300 yıldan sonra etkinliği uzun yarı ömürlü radyoizotoplara (ki onların çoğu uranyum ötesi aktinitlerdir) kaptırırlar. Üçüncü döneme karşılık olan eğrinin bu son bölgesi yatay bir hal alır. Her ne kadar nükleer reaktör atığı toprak altındaki uranyum cevherinin doğal radyoaktivitesinin düzeyine ancak 11000 yıl sonra inerse de ilk 500 yıldan sonra bu atıklar canlılar için hayati tehlike olmaktan çıkarlar. Bunun için 500 yıl boyunca radyoaktif atığın her türlü dış etkiden özenle saklanması gerekli ve yeterlidir[4].

Radyoaktivite şiddeti  
(Rasgele Birimlerde)



Şekil 1: Radyoaktivite ile Zaman Arasındaki İlişki.

### 3. NÜKLEER ENERJİ VE ÇEVRE

Dünyada 430 civarında olan nükleer santrallerin önemli bir kısmı Avrupa ülkeleri ve eski SSCB'de bulunmaktadır. Tablo 1'de; nükleer santral bulduran ülke adları, mevcut ve yapım devam eden santral sayıları ve enerji üretimine olan katkıları verilmiştir.

Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı'nın Nisan 1994 verilerine göre, dünya toplam elektrik enerjisi üretimi içinde nükleer santrallerin payı % 17 civarındadır. Dünyada 337718 megawattlık kurulu güce sahip 430 nükleer reaktör mevcuttur. Toplam gücü 44369 megawatta erişen 55 adet nükleer reaktör de inşaat halindedir.

Nükleer enerjiye karşı Yeşil Barış Örgütü (Green Peace)'nin başını çektiği bazı çevre kuruluşları bulunmakta ve bunlar ülkemizin nükleer enerjiye ihtiyacı olmadığını ifade etmektedirler. Bu örgütler nükleer enerjiye karşı çıkarken en çok verdikleri örnek Çernobil nükleer kazası olmaktadır. Nükleer santrallere karşı



çıkılma sebeplerinden biride bu santrallerin akıllarda nükleer silah çağrışımı yapması ve nükleer enerji sonucu oluşan radyoaktif nitelikteki atıklardır.

Radyoaktif atıklar organizmalarda kalıtım yolu ile geçerek değişiklikler meydana getirebilirler. Çevreye gelişigüzel ve kontrolsüz bırakıldıklarında ise canlılar için çok tehlikeli olabilmektedir. Çevre Koruma Ajansı (Environmental Protection Agency, EPA) 1981 yılı çalışmaları, ABD'deki kimyasal nitelikteki atıkların 250 milyon ton olduğu ve bunların içerisinde 111 nükleer enerji santral atıklarının payının beşbin de bir oranında olduğu belirtilmektedir[5].

Tablo 1. Dünyadaki Nükleer Santraller[1].

| Ülke Adı     | Nükleer Santral Sayısı | Yeni Santral İnşaatı | Enerji Üretimine Katkısı (%) |
|--------------|------------------------|----------------------|------------------------------|
| Rusya        | 29                     | 4                    | 13                           |
| Ukrayna      | 15                     | 6                    | 33                           |
| Fransa       | 57                     | 4                    | 78                           |
| İsveç        | 12                     | -                    | 42                           |
| Güney Kore   | 9                      | 7                    | 41                           |
| İspanya      | 9                      | -                    | 36                           |
| Belçika      | 7                      | -                    | 59                           |
| İsviçre      | 5                      | -                    | 38                           |
| Slovenya     | 1                      | -                    | 44                           |
| Finlandiya   | 4                      | -                    | 32                           |
| Bulgaristan  | 6                      | -                    | 37                           |
| Macaristan   | 4                      | -                    | 43                           |
| ABD          | 109                    | 2                    | 22                           |
| Japonya      | 48                     | 6                    | 31                           |
| İngiltere    | 35                     | 1                    | 27                           |
| Kanada       | 22                     | -                    | 18                           |
| Almanya      | 21                     | -                    | 30                           |
| Hollanda     | 2                      | -                    | 6                            |
| Litvanya     | 2                      | -                    | 88                           |
| Ermenistan   | 2                      | -                    | 74                           |
| İran         | -                      | 2                    | -                            |
| Romanya      | -                      | 5                    | -                            |
| Slovakya     | 4                      | 4                    | 48                           |
| Kazakistan   | 1                      | -                    | 1                            |
| Pakistan     | 1                      | 1                    | 2                            |
| Güney Afrika | 2                      | -                    | 5                            |
| Hindistan    | 9                      | 5                    | 2                            |
| Çek Cum.     | 4                      | 2                    | 29                           |
| Arjantin     | 2                      | 1                    | 14                           |
| Brazilya     | 1                      | 1                    | 2                            |
| Meksika,     | 1                      | 1                    | 3                            |
| Çin          | 2                      | 1                    | -                            |
| Küba         | -                      | 2                    | -                            |

Nükleer enerji uzmanları, bu nerejiyi üretmenin ve kullanmanın gerçekten risk taşıdığını belirtip; fakat yüksek risk unsuru yüzünden o kadar çok sayıda ve gelişmiş güvenlik tedbirleri alınıyor, tehlikesi diğerlerinden daha aza inmekte olduğunu ifade etmektedirler. Tıpkı otomobil ve uçak kullanımını

örnek göstermektedirler. Yine ülkemizdeki konu ile ilgili bazı uzmanlar; nükleer teknoloji uzay teknolojisi kadar katı kurallara ve standartlara bağlı olduğunu ifade etmektedirler. Hatta Türkiye'de nükleer enerjinin günümüze kadar yaygın olarak üretilmemesinin sebebi olarak kömür ve petrol kartellerinin bir engellemesi olduğunu belirtmektedirler. Ülkemizde bilimsel çalışmalarda bulunmak amacıyla kurulmuş 3 adet nükleer araştırma reaktörü vardır. Aynı uzmanlar ülkemiz için en uygun nükleer enerji santralının, tabii uranyumlu veya plütonyumlu ve ağır su soğutmalı santraller olabileceğini belirtmektedirler. Bunun sebebi olarakta ülkemizde doğal uranyum ve plütonyumun mevcut olduğu, rahatlıkla nükleer yakıt çubukları halinde imal edilebileceği ve bu reaktörlerde kullanılabilir olacaktır.

Nükleer nitelikteki atıkların büyük bir kısmı askeri nitelikli atıklardan oluşur. Tablo 2'de nükleer silah sahibi ülkeler ve elde etmek için yoğun caba harcayan ülkelerin adları verilmektedir. Günümüzde nükleer enerjinin en tehlikeli şekli silah olarak kullanılmasıdır. Bugün mevcut nükleer silahların, halen dünyada yaşayanları üç defa öldürmeye yetecek kadar çok olması, bu silahların kullanılmasında aynı oranda zorlaştırmaktadır.

Tablo 2. Dünyadaki Nükleer Silahlar[2].

| Nükleer Silah Sahibi Ülkeler | Elde Etmek İçin Çalışan Ülkeler |
|------------------------------|---------------------------------|
| ABD                          | Brezilya                        |
| Rusya                        | Arjantin                        |
| Çin                          | Güney Afrika                    |
| İngiltere                    | Kuzey Kore                      |
| Fransa                       | Küba                            |
| Ukrayna                      | Pakistan                        |
| Belarus                      | İran                            |
| Kazakistan                   | Irak                            |
| İsrail                       | Libya                           |
| Hindistan                    | Suriye                          |

Bilindiği üzere bütün canlılar için son derece tehlikeli olabilme özelliğine sahip radyoaktif ve riskli atıkların çevreden izoleli ortamlarda usulüne uygun olarak saklanması, bu atıkların tehlikelerini minimuma indirebileceği düşünülmektedir.

#### 4. NÜKLEER DEPOLANMASINDA AMERİKA ÖRNEĞİ

##### 4.1. NÜKLEER ATIKLARI BERTARAF ETME PROJESİ (Waste Isolation Pilot Plant, WIPP)

Amerika Birleşik Devletleri Enerji Bakanlığı tarafından yürütülen ve kısaca WIPP olarak adlandırılan bu önemli projenin amacı Birleşik Devletlerin savunma programı sonucunda ortaya çıkan nükleer nitelikteki atıkların pratik olarak güvenilir bir ortamda uzun süreli olarak nasıl depolanabileceği sorusuna bir cevap bulmaktır.



Günümüze değin, bu tür tehlikeli atıkların depolanabilmesi için yüzeyde saklama ve/veya sığ derinliklere gömme gibi bir takım metodlar kullanılmıştır. Bu metodların güvenlik açısından bir sakıncası olmamasına karşın uzun süreli çözümler için bir care olması mümkün değildir. Konu ile ilgili olarak son 40 yıldır bilim adamları yoğun çalışmalar yapmakta olup, nükleer atıkların jeolojik bir ortamda depolanabilmesini araştırmaktadırlar. Uzun süredir devam eden bu araştırmalar sonunda Amerikan Kongresi 96-164 nolu toplumsal kanunu (Public-Law 96-164) geçirerek WIPP adlı projeyi bir araştırma ve geliştirme projesi olarak güncelleştirmiştir. WIPP bölgesi, Amerika'nın New Mexico eyaletinde olup Carlsbad'ın 41.5 km. doğusunda bulunmaktadır (Şekil 2)[6].

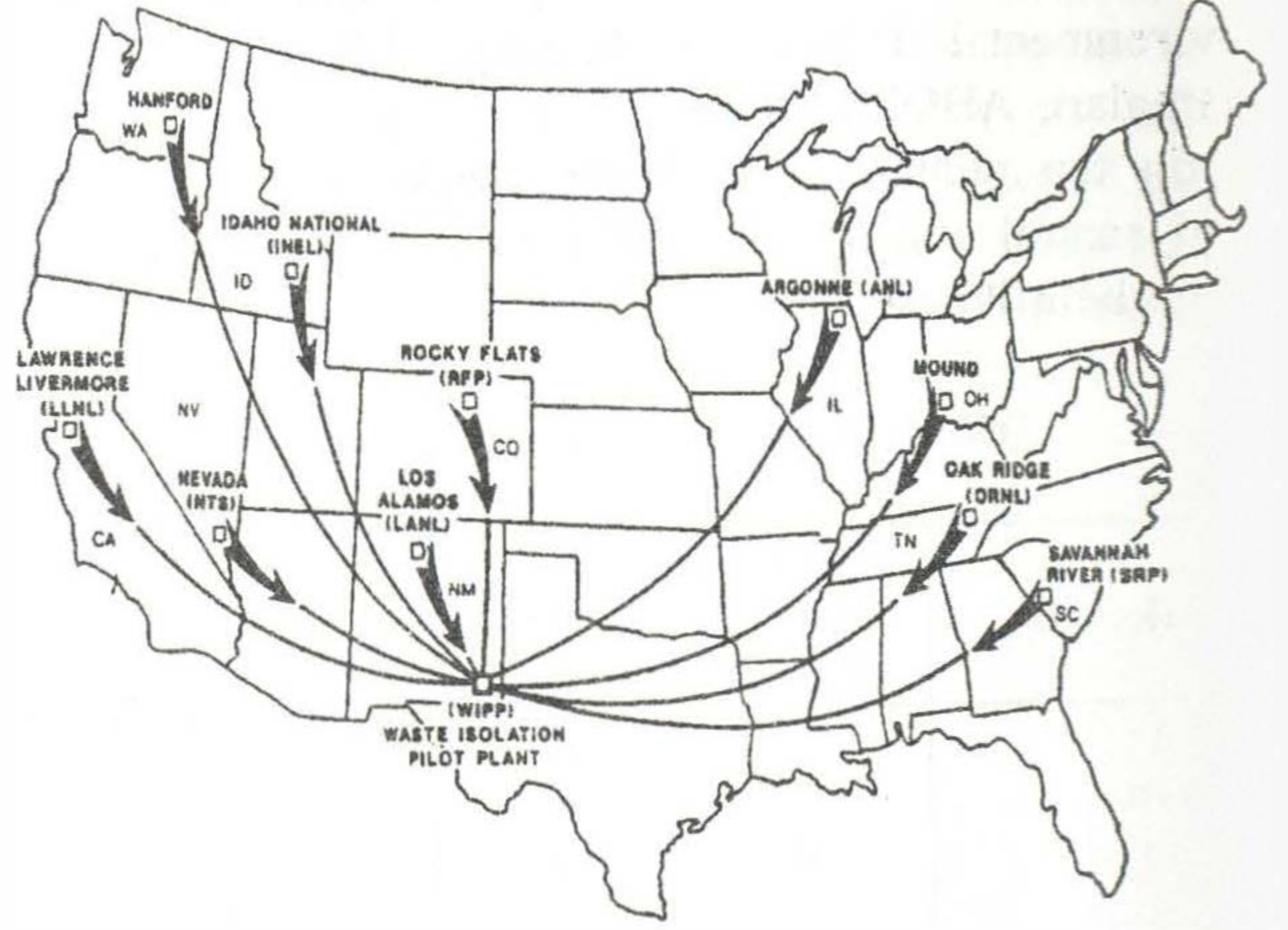


Şekil 2. Nükleer Atıkları Bertaraf Etme Projesi (WIPP) 'ni Gösteren Bulduru Haritası.

#### 4. 2. ATIK MERKEZLERİ

Birleşik Devletlerde Enerji Bakanlığına bağlı toplam 10 adet merkezde transuranik (TRU) diye adlandırılan, yarılanma ömrü uzun ve tehlikeli olan nükleer atıklar gerek üretilmekte gerekse de geçici olarak depolanmaktadır[6]. TRU diye adlandırılan nükleer atıklar genellikle savunma sanayine yönelik çalışmalar sonucu oluşmaktadır. Rock Flats Plant diye adlandırılan ve Colorado Eyaletindeki Golden şehrinin dışında bulunan merkez en önemli merkezlerden biridir (Şekil 3). TRU nitelikteki atıklar metal varillere konarak saklanmaktadır. Geçmişte bu atıklar Idaho Ulusal Mühendislik Laboratuvar'ına (Idaho National Engineering Laboratory, INEL) gönderilerek orada muhafaza edilmekteydi. Gönderilen nükleer atıkla dolu olan metal variller asfaltla kaplandıktan sonra toprakla

kapatılarak saklanmaktaydı. Böyle bir ortamda depolanan atıkların ileride oluşturulacak ve atıkların devamlı olarak kalacağı bir ortama kolayca taşınabileceği olasılığını sağlamaktadır. WIPP projesi hazır hale geldikten sonra tüm merkezlerde üretilen TRU nitelikteki atıklar oraya taşınabilecektir (Şekil 3)[6].



Şekil 3. Rock Flats ve Diğer Atık Merkezlerinin WIPP Depolama Alanı ile Olan İlişkisi.

#### 4. 3. WIPP BÖLGESİNİN SEÇİMİ

WIPP bölgesi 1950 yıllarının ortalarında başlayan seçim sürecinden sonra belirlenmiştir. Milli Bilimler Akademisi (National Academy of Sciences) tarafından kaya tuzu yataklarının radyoaktif nitelikteki atıkların gömülmesinde uygun bir jeolojik birim olduğu tavsiye edilmiştir. Buna göre, kaya tuzu yatakları nükleer nitelikteki atıkların sürekli olarak depolanabileceği ortamlardan biri haline gelmiştir. Kaya tuzu yataklarının depolamada tercih edilmiş bir jeolojik birim olmasının nedeni olarak;

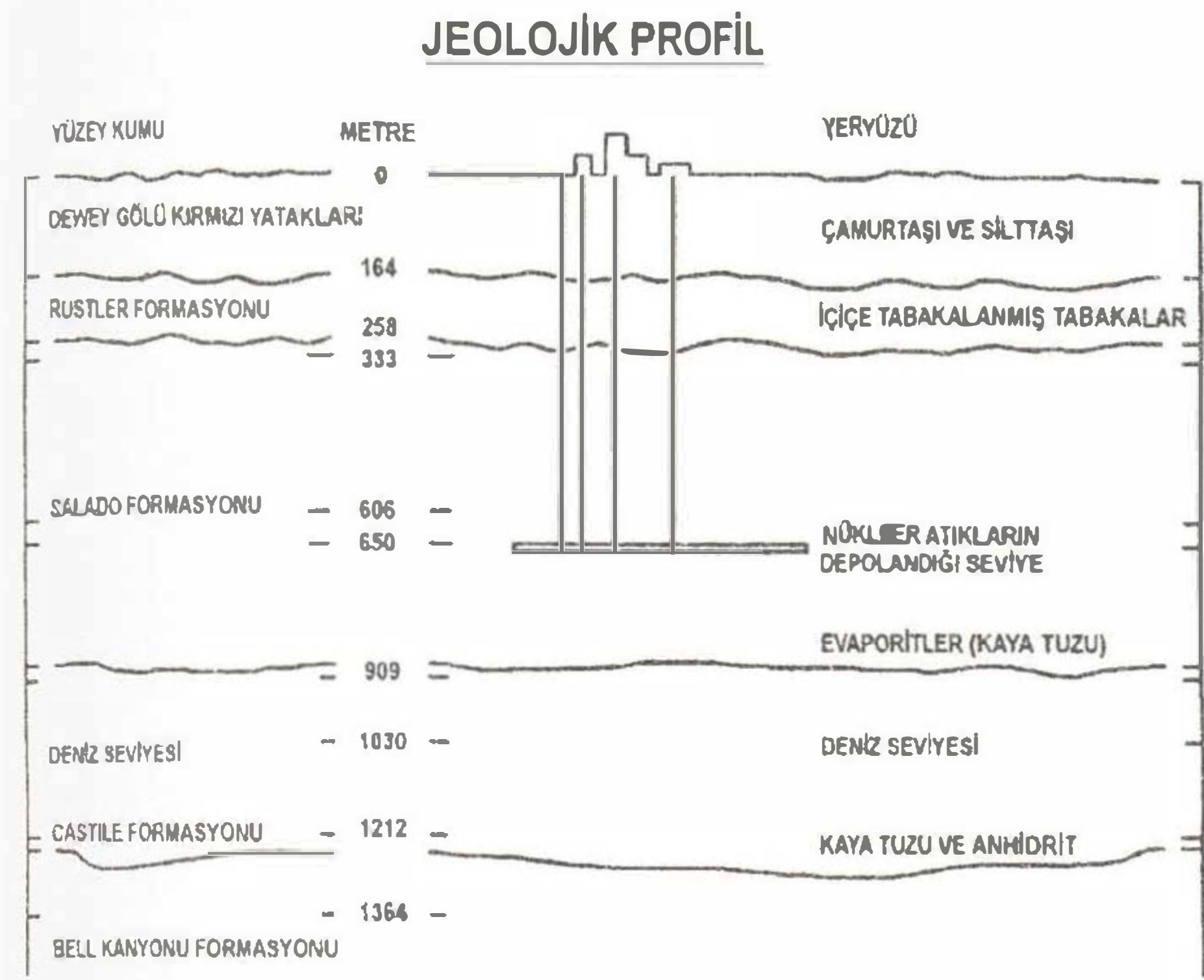
1. Kaya tuzu yataklarının jeolojik olarak duraylı olan bölgelerde bulunması veya deprem etkinliğinin az veya hiç olmaması,
2. Yeraltısuyu çevriminin olmaması,
3. Kolay kazılabilir olması,
4. Kaya tuzularının plastik bir özellikte ve oluşan çatlakları kapatma ve/veya iyileştirme (heal) özelliğine sahip olması gösterilmektedir.

Oak Bridge Milli Laboratuvarında ve Birleşik Devletler Jeoloji Hizmetlerinde (U. S. Geological Survey) yıllarca süren çalışmalar sonucunda, uygun bir bölgenin bulunabilmesi için, tüm Amerika Birleşik Devletlerini kapsayan bir araştırma 1970'li yılların başında başlatılmıştır.

New Mexico eyaletinin doğu kısmında geniş bir bölgede yer alan ve jeolojik olarak Permiyen zaman diliminde oluşan kaya tuzu yatakları, nükleer nitelikteki atıkların



gömülebileceği bir ortamda olması gereken niteliklere sahip bölgelerden biridir. Kaya tuzu yataklarının karakteristik özelliklerini belirlemek için yoğun çalışmalar yapılmaktadır. WIPP bölgesindeki kaya tuzu tabakaları yaklaşık olarak 1000 metre kalınlıkta olduğu belirlenmiştir (Şekil 4). 225 Milyon yaşında olduğu tahmin edilen kaya tuzu yataklarının jeolojik depolanma sürecinden sonra önemli ölçüde duraylı olduğu, depremlere maruz kalmadığı ve faylanmanın olmadığı bölgede yapılan incelemeler sonunda belirlenmiştir. Ayrıca bölgenin jeolojik yapısı itibarıyla deprem sonucu oluşabilecek faylanabilme özelliğinin bulunmadığı belirtilmektedir[6].



Şekil 4. Jeolojik En Kesit ve Atıkların Görüleceği Seviye[6].

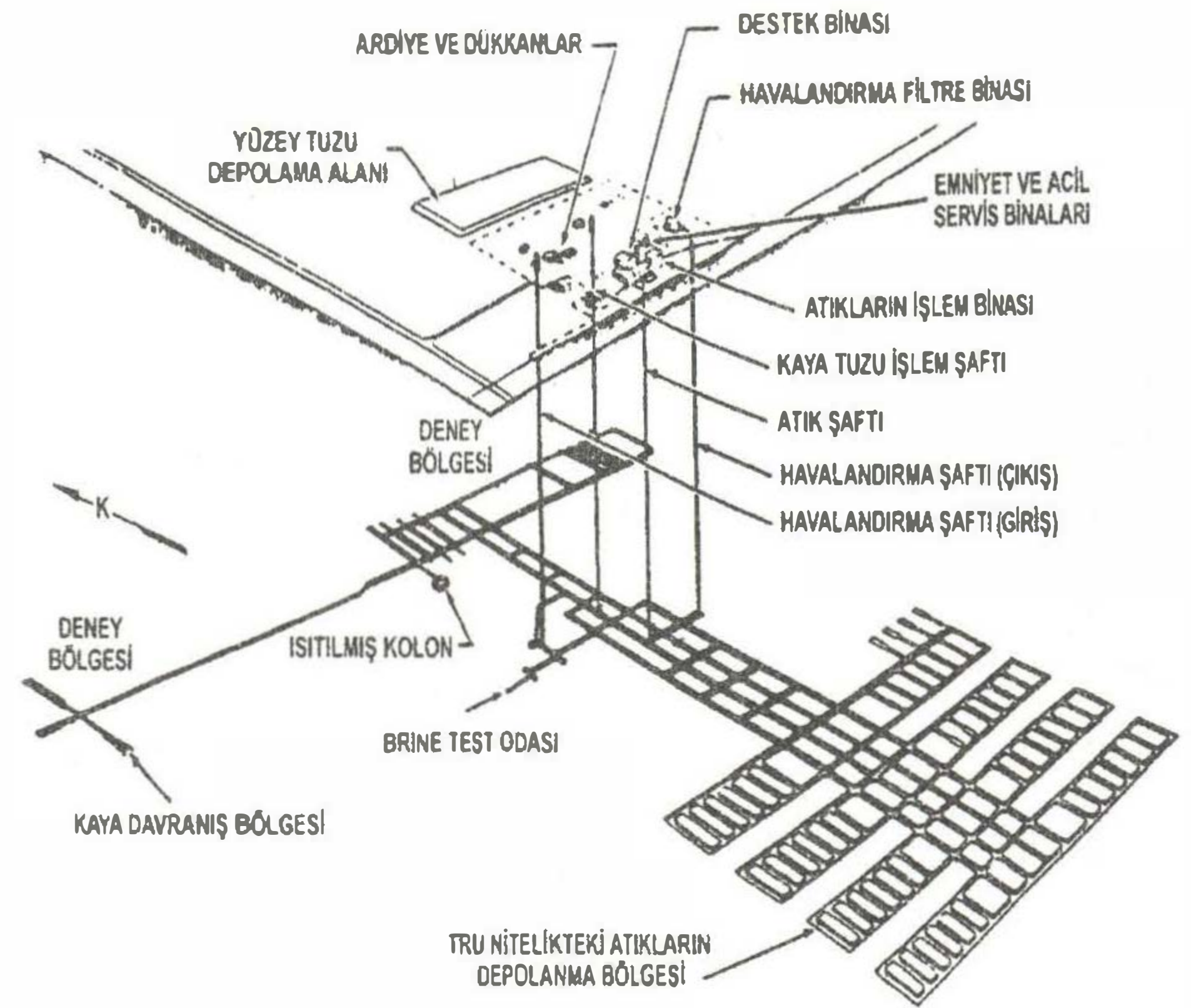
#### 4. 4. WIPP VE HİZMET BİNALARININ YAPIMI

WIPP; yüzeydeki hizmet binalarından, dört adet şafttan, yeraltında yatay olarak açılan atık depolama odalarından, depolama bölgelerinden ve tünellerden oluşmaktadır (Şekil 5). Gerek WIPP'in işlerliği gereksede araştırmalar için yüzeyde yapılan hizmet binalarına, personele ve makinaya ihtiyaç vardır. Şaftlar, TRU nitelikteki atıkların sürekli olarak kalacakları ortamlara nakledilmesi için kullanıldığı gibi çalışanları, makineleri ve yeraltında yapılan kazılardaki hafriyatın, temiz ve kirli havanın taşınmasında da kullanılmaktadır. Yeraltı açıklığının güney ucunun son kısmında radyoaktif atık bölgesi ve kuzey ucunda da radyoaktif olmayan deney bölgesi bulunmaktadır. Her iki bölgede WIPP için hayli önem taşımaktadır[6].

#### 4.5. WIPP'TEKİ GÜVENLİK VE KALİTE KONTROLÜ

WIPP bölgesinde öncelikli olarak çalışanların ve toplumun güvenliği ve korunması büyük önem taşımaktadır. İnşaat ve işletim aşamalarında yoğun olarak nükleer ve endüstriyel güvenlik programı göz önüne

alınmıştır. Bu program, yüzey ve yeraltı çalışanları için yoğun bir güvenlik eğitimini içermektedir. WIPP çalışanlarını ve bölge insanını hortum, sel baskını ve yangın gibi felaketlere karşı koyacak eğitilmiş WIPP güvenlik personeli oluşturulmuştur. Yüzey binalarında ve yeraltı açıklıklarındaki herhangi bir yangına karşı WIPP yangın söndürme kamyonları gerekli söndürme aletleri ile donatılmıştır. Ayrıca, gerekli hallerde kullanılmak üzere tam teçhizata sahip bir ambulans hazır halde bekletilmektedir.



Şekil 5. WIPP Binalarının ve Yeraltı Yapılarının Genel Görünümü[6].

Herhangi bir tehlike anında TRU nitelikteki atıkların en kısa sürede WIPP bölgesine taşınarak depolanması için WIPP mühendisleri ayrı bir eğitime tabi tutulmuşlar ve hazır hale getirilmişlerdir. TRU atıklarının WIPP bölgesine taşınması sırasında gerek normal gerekse de acil durumlarda karşılaşılabilecek (kaza vb.) durumlar ayrıca araştırılmıştır. Buna göre, TRU atıklarının taşıma sürecinde herhangi bir radyasyon yayılım olasılığının son derece düşük olacağı belirtilmiştir[6].

#### 4. 6. WIPP BÖLGESİNDEKİ ÇEVRE ÇALIŞMALARI

WIPP bölgesindeki tüm etkinliklerin esas odak noktası; çevreyi, çalışanları ve bölge insanını her türlü tehlikeden uzak tutmaktır. Bölgedeki inşaat çalışmaları esnasında ve sonrasında çevreye ve toplum sağlığına herhangi bir zarar verilmeyeceği teminat altına alınmıştır. WIPP ve çevresindeki hava ve su kalitesi, toprak durumu, bitki örtüsü ve vahşi hayat şartları sürekli olarak kontrol altında olup gerekli analizler yapılmaktadır. WIPP bölgesindeki çevre ile ilgili izleme programı; bölgede hali hazırda mevcut olan radyasyon düzeyi temel alınarak, radyoaktif atıkların bölgeye nakledilmesi sonrası radyoaktif seviyedeki değişiklikler dikkatle takip edilebilecek şekilde planlanmıştır. Bölgede yapılan diğer önemli bir



çalışmada, bölgede var olan bitki örtüsünün korunması şeklindedir. Dolayısıyla, yeraltı açıklıklarında yapılan kazım sonucu meydana gelen hafriyatın yüzeyde mümkün olan en küçük alanda depolanması gerekmektedir. Yapılan araştırmalara göre bölge bitki örtüsünü korumaya yönelik olarak başlatılan programın başarı ile uygulandığı gözlenmiştir. Bölge içinde çeşitli noktalarda kurulan gözlem istasyonlarına yerleştirilen aletler yardımıyla son derece sağlıklı bir veri tabanı oluşturulmuştur[6].

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Gelişmekte olan ülkelerde, gerek hızlı sanayileşmenin ve gerekse de yaşam şartlarının iyileşmesinin bir sonucu olarak enerjiye olan talep artmaktadır. Dolayısıyla, gelişmekte olan ülkelerin sağlıklı bir şekilde büyümesi ve gelişmiş ülkelerin seviyesine ulaşabilmesi, oluşan bu talebe gerektiği anda ve oranda cevap verilmesi büyük önem taşımaktadır. Ülkeler, sahip olduğu mevcut doğal kaynaklarını (akarsu, kömür, güneş, rüzgar, biyokütle, doğalgaz, vb.) kullanılarak enerjiye olan bu talebi karşılamaları mümkün olabilmektedir. Fakat bazen mevcut doğal kaynakların yetersizliği ve/veya optimum bir şekilde değerlendirilememesi sonucunda dünyada olduğu gibi ülkemizde de alternatif enerji kaynaklarının araştırılması ve kullanılması güncelliğini korumaktadır. Bu alternatif enerji kaynaklarından bir tanesinde nükleer enerjidir.

Nükleer nitelikteki atıklar, nükleer enerjinin çeşitli maksatlı kullanımları sonucu oluşmaktadır. Bu atıkların bertaraf edilmesi ile ilgili bir takım görüş ve teoriler bulunmaktadır. Bunlardan bazıları; atıkların roketlerle güneşin yörüngesine gönderilmesi, kutuplardaki buz kabuğu altına gömülmesi, okyanusun tabanında açılan deliklerle magmaya gönderilmesi, camlaştırılarak gömülmesi, kaya tuzuna, kil tabakalarına, çatlak içermeyen granit ve bazalt kütlelerinden oluşan jeolojik ortamlara gömülmesidir. Günümüze değin yapılan çalışmalar sonucunda, atıkların uygun jeolojik bir ortamda depolanması en kabul gören bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Atıkların gömüleceği yerin seçiminde; ortamın tektonik hareketler açısından duraylı olması ve yeraltısularının bulunmaması iki çok önemli kriterdir. Dolayısıyla, nükleer enerji kullanan ve/veya kullanmayı planlayan ülkelerin, oluşmuş ve/veya oluşacak atıkların bertarafında söz konusu kriterleri mutlak surette dikkate almaları gerekmektedir.

Bu çalışmada; nükleer nitelikteki enerji, atıkların karakteristikleri, olası çevre etkilerinin azaltılması ve atıkların depolanmasında Birleşik Devletler örneği verilmiş olup konu tartışılmıştır.

## KAYNAKLAR

- [1] S. S. Şeker ve O. Çerezci, "Çevremizdeki radyasyon ve korunma yöntemleri", Boğaziçi Üniversitesi Yayını, 1997.
- [2] Atom, "Nuclear security", Journal of United Kingdom Atomic Energy Authority, No:282, 122, April, 1980.
- [3] IAEA, "Spent fuel management and disposal", INFCE Report of Working Group 7, 25-29, February, 1980.
- [4] L. Sagan, "Radiation and human health", Manager of the Biomedical Studies Programme in the Environmental Assessment, Dept. of US Electrical Power Research Institute, Atom 279, January, 1980.
- [5] I. Ercan, "Çevre ve radyasyon", Standard, 34, 128-130, 1995.
- [6] United States Department of Energy, "Waste isolation pilot plant-WIPP", Brochure, New Mexico.