

# Nükleer Enerji Hammaddelerinin Aranması ve Arama Yöntemleri

*Jeoloji F, Müh, HÜSEYİN KAPLAN*

*Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Ankara*

Öz t Nükleer enerji hammaddesi olarak tabiiatta mevcut iki element uranyum ve toryumdur. Bunlardan uranyum, bilindiği gibi halen yaygın bir şekilde çeşitli reaktörlerde kullanılmaktadır. Toryum ise sırasını bekleyen bir nükleer yakıt hammaddesi durumundadır. Uzmanların kanısına göre, toryum çevrimi ile çalışan reaktörlerin, 1980 lerin ikinci yarısından itibaren, ekonomik olarak devreye girmesi beklenmektedir,

İkinci Dünya Harbinden sonra bazı ülkelerde gizli bir şekilde başlatılan ve sürdürülen uranyum aramaları giderek gelişmiştir. Modern uranyum arama yöntemleri bugün, Batı Bloku ülkelerinin bir çoğunda açıkça ve yoğun bir şekilde sürdürülmektedir. Ancak, aynı durum toryum aramaları için halen söz konusu değildir. Bilinen toryum yataklarının hemen hemen tü-

mü, uranyum veya ağır mineral aramaları sonunda tesbit edilmişlerdir,

Bilinen uranyum yatakları 'hakkındaki bilgiler, herhangi bir yeni arama programının temelini teşkil ederler. Bundan dolayı olumlu bir araştırma projesi, bilinen yatak tiplerinin temel tariflerini içermek zorundadır. Zira arazi çalışmalarının tekniği, ilgili uranyum yatağının jeolojik yapısı ve tipi ile değişmektedir.

Günümüzde uranyum arımları, sadece radyometrik usullerden yararlanılarak yapılan prospeksiyon çalışmaları olmaktan çoktan çıkmıştır. Modern uranyum aramaları bugün, uzman uranyumcu jeoloji mühendislerinden oluşan ekiplerce, İleri seviyede geliştirilmiş radyometrik cihaz ve metotların yanısıra, çeşitli jeofizik ekipmanı ve jeolojik teknolojinin yardımı ile yapılmaktadır.

## GİRİŞ

Orta çağ'da Saksonyalı madenciler tarafından varlığı farkedilen peşblend mineralinden, daha sonraları seramikçiler cam ve seramiklere parlak sarı yeşil bir renk vermek için kullanılan boya yapımında yararlanmışlardır,

Peşblend cevherleri üzerinde çalışan Avusturyalı kimyacı Martin Klaproth'un 1789 yılında uranyumu bulmasından ancak 107 sene sonrası 1896 da, uranyumdaki radyoaktivite Fransız bilim adamı Henry Becquerel tarafından keşfedilmiştir, 2 yıl sonrası ise 1898 de Curie'ler radyumu bulmuşlardır.

Radyumun keşfinden sonra, radyum elde etmek amacıyla uranyum cevherleri için küçükte olsa bir pazar doğmuştur. (1). İlk ihtiyaçlar Çekoslavakya Joahimsthal'daki peşblend içelikli damarlardan karşılanıyordu. 1911-1923 yılları arasında ilgi o sıralar dünyanın en büyük uranyum kaynağı durumunda olan Utah ve Kolorado'daki karnotit yataklarına kaydı. 1923-1936 arasında ise Belçika Kongosu'ndaki yüksek peşblend tenörlü Shlnkolobwe yatağı dünya pazarlarına hakim oluyordu. 1930 yılında Kanada'da Great Bear Lake Peşblend yatağı bulundu ve İstihsalini 1933-1940 arası sürdürdü.

1942 de A.B.D. nin fisyonu kontrol altına alarak atom bombası yapma kararı vermesi, uranyum cevherleri için o güne kadar görülmemiş bir ilgi doğurdu. Zira parçalanabilen bir izotoptu ve doğada çok daha bol bulunan U235 izotopu ise reaktördeki işlemlerden sonra parçalanabilir plütonyuma dönüşüyordu.

Bu arada Shlnkolobwe, Great Bear Lake ve Kolorado - Utah madenleri yeniden faaliyete geçirildi. Kontrolsüz fisyon yani atom bombası ile Japonya'nın Hiroşima şehrinin 1945 Ağustosunda yerle bir edilmesinden sonra, bütün dünyada çeşitli hükümetlerin desteği ile büyük çapta ve yoğun bir uranyum araması dönemi başladı.

1955'e kadar olan dönemde uranyum aramaları az sayıdaki ileri teknoloji ülkesinin yürüttüğü gizli çalışmalarla gelişmiş ve böylece bazı ülkelerde önemli bir uranyum madenciliği endüstrisi doğmuştur. Atom enerjisinin sulhçu amaçlarla kullanılması konusunda, 1955 ve 1958 yıllarında Cenevre'de toplanan uluslararası kon-

feranslar, çeşitli söylentiler yerine gerçek bilgilerin ortaya çıkmasını sağladı.

İkinci Dünya Harbinden sonra hızla gelişen teknolojinin gerektirdiği enerji talebinin çok büyük boyutlara varması ve her geçen yıl artan bu talebin geleneksel yollardan karşılanabilme güçlükleri nükleer enerjiye olan ilgiyi daha da artırmıştır. Özellikle 1973 petrol krizi sonucu nükleer gücün birim enerji maliyeti diğer kaynaklara göre, bilhassa büyük kapasiteli reaktörlerde çok daha ucuz hale gelmiş ve nükleer enerji santralleri büyük bir ekonomik üstünlük kazanmıştır. Günümüzde nükleer gücün enerji üretimindeki payı, bilhassa gelişmiş ülkelerde giderek artmaktadır. 1980'li yılların ortasında bu payın; A.B.D. de % 30, İtalya'da % 30, İspanya'da % 35, Belçika'da ise % 44 olacağı tahmin edilmektedir. (2). Gerek kalkınmış ve gerekse kalkınmakta olan çok sayıdaki ülke, petrol kaynakları olsun veya olmasın yarının bir numaralı enerji kaynağı olarak nükleer enerjiyi gördüklerinden uranyum aramalarına olağan dışı bir önem vermektedirler. Diğer taraftan bugün uranyum dünya piyasalarında serbestçe alınıp satılabilen bir metal olmaktan da çıkmıştır, Bütün bu nedenlerden dolayı, dünyada uranyum aramaları için yapılan yatırımlar günümüzde çok büyük boyutlara ulaşmıştır.

Nükleer enerji hammaddesi olarak tabiiatta mevcut iki elementten diğeri ise toryumdur. Ancak halihazırda toryum cevherleri büyük bir ekonomik öneme sahip değildirler. Toryum halen gaz fitilleri, elektrik ampülü filamentleri, özel optik camlar, dişçilikle ilgili macun ve pudraların yapımının yanısıra elektron tüplerinde ve kimyasal alanda katalizör olarak da kullanılmaktadır. Ancak bu alanlarda kullanılan toryum miktarı çok sınırlıdır, ve Özellikle monazit üretiminde bir yan ürün olarak monazitten elde edilmektedir.

Toryumun uranyum gibi tabii olarak parçalanabilen bir izotopu yoktur. Ancak Th<sup>232</sup> nin yavaşnötronlarla bombardımana tabi tutulması sonucu, toryum çekirdeğine birnötronun girmesiyle Th 232, U233 e dönüşmektedir. meydana gelen U 233 ,aynen U235 izotopu veya Pu239 ve Pu241

gibi parçalanabilir (fissile) bir izotoptur. U<sup>233</sup> ise parçalanması esnasında ısı vermesinin yanı sıra bir nötron vermektir. Toryum reaktörleri bu esa-

sa dayanarak toryum - uranyum içeren yakıt kullanılmaktadır. Başlangıçta  $U^{235}$  toryumu  $U^{233}$  da belirtilen nükleer olayla  $U^{233}$  meydana gelmesi için yakıt içinde bulunmakta ve zamanla üretilen  $U^{233}$  LP Böylece reaktör Toryum-Uranyum  $U^{233}$  yakıt çevrimi ile çalışmaktadır.

Toryum reaktörleri arasında bugün için en önemlileri yüksek sıcaklıklı gaz soğutmalı reaktörlerdir. HTGR şeklinde rumuzlandırılan bu reaktörlerde, zengin uranyum karbit (UC) ve toryum karbit (ThG) parçacıklarından oluşan yakıt elemanları kullanılmaktadır. Bu reaktörün prototipleri İngiltere, Almanya ve A.B.D. inde 1964 yılından bu tarafa denenmektedir. Halen bu reaktörün en büyük sorunu büyük çapta  $Th^{232}$  -  $U^{233}$  yakıt çevrimidir. Uzmanların kanlarına göre, yüksek sıcaklıklı gaz soğutmalı reaktörlerin halen kendini kabul ettirmiş durumdaki, uranyumla çalışan reaktörlerle rekabet edebilmeleri için, 1000 MW e gibi yüksek güçlerle kurulması gerekmektedir. Bu olanaklar ise yakıt çevrimi sorunu ile yakından ilgilidir. Bu sorunun hallinden sonrası, 1980'lerin ikinci yarısından itibaren, yakıt olarak toryum kullanan bu reaktörlerin ekonomik olarak devreye girmesi beklenmektedir.

Diğer taraftan Kanada'nın tabii uranyum ağır su moderator ve soğutmalı CANDU tipi reaktörlerinde ve A.B.D. nin zengin uranyum hafif su moderator ve soğutmalı LWR tipi reaktörlerinde  $Th^{232}$ - $U^{233}$  yakıt çevriminin yapılabilme imkânları da araştırılmaktadır. (3).  $Th^{232}$  -  $U^{233}$  yakıt çevrimi ile çalışan reaktörlerin devreye girmesi nükleer yakıt olarak dünya toryum rezervlerinin değerlendirilmesini sağlayacak ve herhangi bir madeni yalnız toryum için işletmeyi ekonomik hale getirebilecektir.

Bütün bu nedenlerden dolayı uranyum için yapılan yoğun arama programları, toryum için halen söz konusu değildir ve bilinen toryum yataklarının hemen hemen tümü, uranyum veya ağır mineral aramaları sonucu tesbit edilmiştir.

## URANYUM VE TORYUM JEOKİMYASI

Aramalarla olan yakın ilişkisinden dolayı, her iki elementin de önemli jeokimyasal özelliklerini gözden geçirmek yararlı olacaktır.

Uranyum ve toryum arasındaki kuvvetli jeokimyasal ve kimyasal benzerlikler bu elementlerin dış elektronik yapılarıyla ilgilidir.

Toryumun tabiatta sadece +4 değerli olarak bulunmasına karşın uranyum hem U+4 (uranus iyonu) hemde  $U^{+6}$  halinde bulunabilir.. Toryum ve uranyum her [kişide dört değerli halde iken aynı dış elektron yapısına sahiptirler ve uranyumun iyonik yarı çapı toryumunkinden biraz daha küçüktür. Uranyumun toryuma göre yegâne kimyasal özelliği, toryumun tersine 6 değerli durumda bulunabilmesidir. 6 değerli uranyum kompleksuranyonut  $UO_2^{++}$  halindedir.

Dört değerli seryum, zirkonyum ve hafniyum iyonları, dört değerli toryum ve uranyumla belirgin kimyasal benzerliklere sahip olup, çeşitli minerallerde beraber bulunma eğilimindedirler ve izomorfik olarak yer değiştirebilirler.

Arz kabuğunda uranyum ve toryum ender rastlanan elementler değildirler. Arz kabuğu (klasik manada sial) ortalama olarak 3-4 ppm yani tonda 3-4 gr uranyum ve 12-15 ppm. toryum içermektedir. Magmatik kayalardaki uranyum ve toryum bulunabilirliği, magmanın kökenindeki uranyum ve toryum konsantrasyonlarının değişimi ve magmatik kristalizasyon ile yakından ilgilidir. Arz kabuğundaki uranyum ve toryumun kaynağı asit karakterli magmatik kayalardır. Magmatik kayalardaki uranyum ve toryum içeriği asit kayalardan bazik kayalara doğru gidildikçe azalmaktadır. Granit ve granit ailesinden kayalar asit karakterleri dolayısıyla uranyum taşıyıcısı durumundadırlar ve bazen 10-14 ppm. e kadar uranyum içerebilmektedirler. Ayrıca bu tür granitler primer kökenli damar tipi uranyum yatakları yönünden de zengin olabilmektedirler. Toryum içeriği alkalin granit ve siyenitlerde genellikle yüksektir ve karbonatitlerle ilgili küçük alkalin kayaç komplekslerinde ise oldukça boldur. Kasiteritli granitler We tipik olarak allanit, monzgnit veya torit gibi toryum içeren tali minerallere sahiptirler. Toryum yataklarının ve toryumla birlikte nadir toprakları da içeren yatakların bu tür kayaçlarla yakın bir ilişkisi vardır.

Olivin gibi ultrabazik magmadan erken kristalize olan mineraller, hemen hemen hiç toryum veya uranyum içermezler.

Bazik kayaçların piroksen, kalsit ve plajoklaz gibi ana minerallerinin ve apatitin kristalizasyonu esnasında az miktarda uranyum ve toryum, apatit'te kalsiyum ile izomorfik olarak yer değiştirerek tesbit edilebilir. Uranyum ve toryumun ortak jeokimyasal Özellikleri bu iki elementin ultrabazik ve bazik kayaçlarda çok bol görünen elementlere olan jeokimyasal İlgisini yasaklamaktadır. Plajoklaz serilerindeki kalsiyum kafes yapısının koordinasyon gerekleri, uranyum ve toryumun izomorfik olarak kalsiyumun yerini almasını engellemektedir. (1). Uranyum ve toryum sfende de kalsiyum ile izomorfik olarak yer değiştirebilmektedir.

Uranyum ve toryumun bazik magmadan kristalize olamamaları, bunların silisli magmalarda zenginleşmelerine sebep olur. Bundan dolayı daha çok silisli olan kayaçlar, oldukça çok miktarda uranyum ve toryum içerirler. Toryum ve Uranyumun artık çözümlerdeki bu birikimi, bunların asit İntrüzyonların dış kısımlarında çeşitli yerlerde konsantre olma eğilimlerine yol açar. Toryum ve uranyumun değişken bir miktar feldspat, kuvars gibi ana minerallerde ekseriyetle İnküzyon halinde sabitleştirilir veya parça sınırları ve kırıklar boyunca tesbit edilir. Plaj kumlarındaki kuvars analizleri, granitlerdeki toryum ve uranyumun % 5 nln kuvarsta tesbit edilmiş olarak bulunabildiğini göstermektedir. İnküzyon kayaçlardaki önemli toryum ve uranyum taşıyıcıları monazit zenotim ve allanit gibi tali minerallerdir. Magma kristalizasyonunun son safhasında toryum; monazit, zenotim ve allanit'te nadir toprakların, zirkonda zirkonyumun yerine geçerek konsantre olur. Alkalin granit ve siyenitlerin genç üyelerinde bilhassa mağmatik artık çözümlerden oluşan damarlarda ve pegmatitlerde, ayrıca karbonatitlerde toryum çok boldur. Uranyum da 'kristalize olan magmada benzer yolu izler. Mamafi dikkate değer ayrılmaların olması ile azda olsa toryum içeren tabii peşblend ve uranit meydana gelir. Bu ise  $U^{+4}$ ün  $U^{+4}$  ya oksidasyonu ile bir ara basamakta toryumdan ayrılması ve bilahere  $U^{+4e}$  re düksiyonu dolayısıyla olabilir (1). 4 değerli uranyum granitik magmadan primer mineraller halinde kristalleşir. Mağmatik kayaçların silis ve uranyum içerikleri arasında direkt bir bağlantı söz konusudur.

Volkanik kayaçlarda ise minerallerin hızlı kristalizasyonu, toryum ve uranyumun bir kısmının ana minerallerde tutulmasına sebep olur. Bir kısım toryum ve uranyum ise volkanik kayacın kristalize olmamış kısımlarında (cam) tesbit edilir.

Mağmatik kayaçlardaki ortalama Th/U oranı 3,5 tur. Bu oran ortalama toryum ve uranyum içerikleri oldukça farklı kayaçlarda bulunmuştur ve feldspat, kuvars gibi kayaç oluşturan ana minerallerde bulunan çok düşük konsantrasyonların tipik bir oranıdır. Tali minerallerde bu oran çok değişkendir.

4 değerli uranyum içeren mineraller suda erimezler, ancak nemli iklimlerde atmosferik etkenlerle kimyasal olarak, 6 değerli uranyum içeren sekonder minerallere dönüşürler. Bu dönüşme 4 değerli uranyumun 6 değerli uranyuma oksidasyonu sonucu olur. Yeraltı su tablasının üstündeki satih ve satha yakın kısımlarda, oksidasyon şartlarında uranyum 6 değerlidir.

Oksijenin en önemli etken olduğu sistemlerde 6 değerli uranyum 2 oksijen atomuyla beraber bulunur ve uranil İyonu ( $UO_2^{++}$ ) halindedir. Uranil İyonu, 4 değerli uranyumdan (uranus İyonu) bütünüyle değişik bir kimyasal türdür. Jeokimyasal bakımdan en önemli ayrıcalık da, uranil bileşiklerindeki halindeki sekonder minerallerin, 4 değerli uranyum içeren primer minerallerden daha çok eriyebilirliğe sahip olmasıdır. Bundan dolayı da 6 değerli uranyum bu minerallerden, uranil İyonları halinde nötre yakın PH lı sularda kolayca solüsyona geçer ve yeraltı sularıyla uzun mesafelere taşınır. Redükleyici ortamlara girildiğinde ise 6 değerli uranyum, 4 değerli uranyuma redüklenerek uranit veya peşblend halinde tekrar çökeli ve çeşitli tip sedimanter uranyum yataklarını meydana getirir.  $M^{+}$  İyonunu eriyik halde tutabilmek için

İse muhtemelen 4 ten aşağı bir PH gereklidir. Granitik kayaçlar ve silisli tüfler yüksek uranyum içerikleri dolayısıyla yeraltı suyuna geniş ölçüde uranyum sağlarlar. Kurak bölgelerdeki sular, nemli bölgelerdekinden daha yüksek uranyum içeriğine sahiptirler. Kıtasal sularda uranyum içeriği geniş limitler içinde değişir. Minerallasyonun söz konusu olduğu akiferlerde sudaki uranyum konsantrasyonu 460 ppb ye kadar çıkabilmektedir.

Arz kabuğunda mağmatik kayalarda dis-  
sémine halde bulunan toryum, aiterasyon ve  
erozyon esnasında uranyumun aksine erimez  
ve satih veya yeraltı suları ile taşınmaz. Her-  
nekadar toryum, PH değeri 3 ten aşağı olan so-  
lúsyonlarda hidrolize olursa da, Th<sup>+4</sup> iyonunun  
yüksek iyonik potansiyeli dolayısıyla, solúsyo-  
na geçmiş haldeki toryum çabucak absorbe edi-  
lir veya hidrolizatlar halinde çökeler (1). Yeraltı  
suyunda çok az miktarda toryum, ancak kolloi-  
dal ve organik anyon kompleksleri halinde taşı-  
nır. Toryumun mağmatik kayalardan çeşitli or-  
tamlara taşınması, detritik fazda olur. Mağma-  
tik kayalardan aiterasyon sonucu açığa çıkan  
ve serbest kalan dayanıklı toryum mineralleri-  
nin (özellikle monazit) detritik olarak taşınıp,  
uygun ortamlarda biriktirilmesi sonucu çeşitli  
plaser yatakları meydana gelir,

115 değişik mineralde uranyum bulunmak-  
la birlikte bunlardan yaklaşık 80'inde uranyum  
esas bileşeni teşkil etmektedir. Ancak, bütün  
dünyada uranyum cevherlerinin büyük bir kıs-  
mını teşkil eden minerallerin sayısı çok az olup  
belli başlıları şunlardır :

Uraninit	UO <sub>2</sub>
Peşblend	U <sub>2</sub> türü
KoTint	U (Si, H <sub>4</sub> )O <sub>4</sub>
Brannerit	U.Ca, Fe.Y.Th)3 Ti5O16
Uranotorit	(Th,U)siO4
Uranofan	Ca U <sub>2</sub> O <sub>3</sub> SiO8.7 H2O
Davidit	Karışım
Karnotit	K <sub>2</sub> (UO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> (VO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> .3H <sub>2</sub> O
Tyuyamunit	Ca(UO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> (UO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> .nH <sub>2</sub> O
Otunit	<small>OTunit Ca (UO<sub>2</sub>) (PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.nH<sub>2</sub>O</small>
Torbernit	Cu (UO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> .nH <sub>2</sub> O

Toryum, 100 den fazla mineral içinde zir-  
konyum, hafniyum, uranyum ve nadir toprak me-  
talleri ile birlikte bulunmaktadır. En Önemli tor-  
yum mineralleri ise şöyledir :

Monazit	(Ce, Y, La, Th) (PO <sub>4</sub> )
Torit	Tt SiO <sub>4</sub>
Toriyanit	ThO <sub>2</sub>
Pilbarit	ThO <sub>2</sub> , UO <sub>3</sub> , PbO, 2SiO <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O

#### URANYUM VE TORYUM YATAKLAR

Bilinen uranyum yatakları hakkındaki bilgi-  
ler, herhangi bir yeni arama programının teme-  
lini teşkil ederler. Bundan dolayı olumlu bir

araştırma prosesi, bilinen yatak tiplerinin te-  
mel tariflerini içermek zorundadır. Arama prog-  
ramları, bilinen uranyum yataklarının teorik ve  
ampirik modellerine göre düzenlenmek duru-  
mundadır. Zira arazi çalışmalarının tekniği, H-  
glli uranyum yatağının jeolojik yapısı ve tipi  
ile değişmektedir.

Uranyum arz kabuğunda İstekle dolaşan çok  
hareketli bir elementtir ve jeolojik zamanlar bo-  
yunca değişik jeolojik proseslerle çeşitli boyut,  
tenor ve şekillerde çok sayıdaki jeolojik çev-  
rede konsantre olmuştur. Bundan dolayı çeşitli  
yatakların jönezleri hakkındaki bilgilerimiz he-  
nüz tam anlamıyla mükemmel değildir. Ancak  
hernekadar herbir ayrı yatak bütün diğerlerin-  
den ayrı karakterlerde ise de çoğu, çeşitli in-  
celenebilir karakteristiklere dayanarak ve jene-  
tik fikirlerle tasnif edilebilirler, Herhangi basit  
bir sınıflama yapmak olanaksızdır. Bu konuda  
çeşitli sınıflamalar olmakla birlikte, Bailey ve  
Childers'in mineralizasyonun ana kontroluna  
bağlı olarak yaptıkları bir sınıflamayı küçük bir  
ilâve ile ele alacağız,

#### URANYUM YATAKLARI (4)

##### 1. Tabaka Kontrollü Uranyum yatakları

1.1 — Kurması, konglomera tip! kayaçlar-  
da uranyum yataklar

1.1.1 — Uzan im! 1 (trend) yataklar: A.B.D.  
nin en büyük uranyum havzası olan New Me-  
xico Grants uranyum bölgesinde bilinen büyük  
yatakların çoğu bu tiptir. Fluvial kumtaşı ve  
konglomeralar içinde oluşan bu yatakların çe-  
şitli karakteristikleri şu şekildedir (5).

— Cevher adeseleleri mineralize uzanımlar  
boyunca gelişir. Bu mineralize uzanımlar bir-  
kaç km. genişlikte ve onlarca km. uzunluğunda  
olabilir,

— Cevher adeseleleri genellikle tabulerdir  
ve ana stratifikasyona paralelce bir şekilde yön-  
lenmişlerdir. Plan görünümü olarak ise düzgün  
olmayan şekiller gösterirler.

— Tek tek cevher adeseleleri müşterek ola-  
rak, cevheri içeren kumtaşı veya konglomera  
gövdesinin uzun boyunca paralel olarak sırala-  
nırlar ve tou paleodrenaj kalıbı cevher adese-  
leleri uzanımını kontrol eder. Ancak birbirleriyle  
irtibatlı kanalların oluşturduğu kumlası gövde-

lerinde mineralizasyon uzanımı paleodrenajı çaprazlayıp geçebilir ve bazı ayrı hakim kontroller telkin edebilir.

— Uranyum mineralizasyonu, griden siyaha renkli ve genellikle karbonlu olan redüklenmiş kayaçlarda yer alır. Karbonlu materyelin çoğu amorf olup ince halde disseminedir, ya da kum tanelerinin etrafını kaplar ve kısmen de tanelerin arasındaki boşlukları doldurur. Cevheri içeren redüklenmiş kayaçlar çoğu jeolog tarafından altere olarak nitelendirilmektedir.

— Yatakların içinde buldukları formasyonlar hem okside hem de redüklenmiş olmak üzere 2 fasiyeslidirler. Aynı kumtaşı okside kısımda kırmızımsı renkli, redüklenmiş kısımda ise karbonlu ve gri renklidir.

— Ana cevher minerali uraniñt ve kofflinit olup karbonlu materyel ve pirit refakatindedir.

Kolorado platosundaki bu uzanımlı yatakların jönezl hakkında çok çeşitli teoriler ortaya atılmıştır. Ancak, çok büyük bir olasılıkla 6 değerli uranyum oksitleyici yeraltı suyu tarafından taşınıp, redüksiyon ortamında olan kumtaşları içinde uygun ortamlarda konsantre edilmiştir. Yine büyük bir olasılıkla mineralizasyon ana kayacın çökmesinden hemen sonra meydana gelmiştir. Çoğu hallerde uranyumlu yeraltı suyu yatağı içeren kum ve çakıl birimlerini çökeltten ana derenin etkisiyle hareket etmiştir. Bu tür oluşumlarda, birbiri peşisıra gelen sıcak - kurak ve sıcak - nemli dönemlerden oluşan tropik bir iklimin etkisi, hem kumtaşlarının ana kayaçtan itibaren oluşumunda, hem de solüsyonların uranyum yönünden zenginleşmesinde muhakkak çok büyüktür.

Grants'deki Ambrosia Lake cevher trendi 2,5 km. genişlikte 6 km. uzunluktadır. Uzanım eski paleodrenaj sistemini takip eder. Çeşitli kumtaşı seviyelerini içeren Morrison formasyonunun West-water canyon üyesi 80 m. kadar kalınlıktadır. Buradaki uzanımlı yataklar ince küçük cevher adeselerinden 9 m. kalınlık 240 m. genişlik ve 2 km. uzunluktaki yüksek tenörlü (ortalama % 0,3-0,7 U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>) adeselere cevher adeselerini içerir. Dünyanın en büyük kumtaşı tipi cevher adeseleri buradadır.

1.1,2 — Roll tipi yataklar: A.B.D. nde Kolorado platosunda yer alan roll tipi yataklar

bundan önce bahsedilen uzanımlı yataklara göre 2. derecede Önem taşımakla birlikte (8) Wyoming Baseni'nde ve Güney Texas'ta en önemli cevher yataklarıdır.

Roll tipi uranyum yatakları iki geçirimsiz tabaka arasındaki kumtaşları içindeki altérasyonun kenarında yer alır ve bu alterasyon mineralize solüsyonlar tarafından oluşturulmuştur (6).

Altere olmamış kumlar genellikle gridir ve dissémine halde karbonlu materyel ve pirit içerirler. Altere kum ise okside olmuş haldedir ve çoğunlukla karbonlu materyel yok olup gitmiştir. Piritin limonit ve hematite oksidasyonu ise altere kısımda kumtaşının renklenmesine veya ağarmasına sebep olmuştur. Böylece altere olmuş kısmı çevreleyen altere olmamış kısımla, altere kum arasında çarpıcı bir renk kontrastı doğmuştur,

Alterasyon kompleksleri veya dilleri boyut olarak kumtaşı gövdesi içinde değişir. Kumtaşı içindeki alterasyon dilleri birkaç km. uzunluğunda ve birkaç yüz metre genişliğinde olabilir. Bunu içeren kompleks ise onlarca km. uzunluğunda ve birkaç km. genişliğinde olabilmektedir.

Roll tipi yataklar genetik mana taşıyan 2 gruba ayrılırlar,

a — İki fasiyesli roller : Hem oksidasyon hem de redüksiyon fasiyesleri içeren kumtaşlarında yer alırlar. Bunlarda mineralize solüsyonlar alterasyon komplekslerini şekillendirirler ve cevheri içeren kumtaşlarının sedimantasyonuna sebep olan ana dere akışı istikametini takip ederler. Mineralizasyon sedimanların çökmesinden kısa bir süre sonrası meydana gelmiştir.

b — Tek fasiyesli roller : Bir diskondansın altında yer alan ve yeknasak bir şekilde redüksiyon fasiyesine sahip kumtaşlarının içinde bulunurlar. Kesin bir şekilde epijenetik olup diskordans ile kontrol edilirler. "

Roll tipi cevher yatakları genellikle düşey kesitte yarım ay şeklindedirler. Kesin konkav kenar alterasyon tarafından bakar. Yüksek tenörlü cevher altere kumtaşı kantağının çok yakınında bulunur. Düşük tenörlü mineralizasyon roll cephesinden yüzlerce feet uzağa uzanabilir.

Büyük cevher yatakları 30 m. kadar genişlikte, roll cephesi boyunca 2 km. kadar uzunlukta ve 10 m, kadar kalınlıkta olabilir. Bununla birlikte işletilebilir çoğu cevher yatağı 5 m. den daha az genişlikte, 3 m, den daha ince ve uzunluk olarak birkaç yüz metredir.

Roll tipi yataklarda genel olarak rastlanan cevher mineralleri karnotit, tyuyamunit, uraninit ve koffniittir.

1.13 — Kümelenme (stack) yatakları -, Kümelenme yatakları terimi yaygın bir şekilde A.B.D.-New Mexico - Grants bölgesinde Westwater Canyon kumtaşlarındaki uzanımlı yataklar ile birlikte bulunan, düzgün olmayan şekilli cevher yatakları için kullanılmıştır. Bu yataklar, yeniden düzenlenmiş (redistributed) cevherler veya fay sonrası (postfault) cevherleri şeklinde de isimlendirilirler. Zira yatağın düzensiz şekli uzanımlı cevher adeselerinden sonra meydana gelen faylar veya kırıklarla kontrol edilmektedir. Bunların kalınlıkları genellikle ilgili uzanımlı cevher kalınlıklarından daha büyüktür, ve plan görünümünde dağılımları ise düzensizdir.

Kırmızı renkli kumtaşları kümelenme yatakları ile yakın bir ilişki halindedir. Bundan dolayı, oksitleyici yeraltı suyunun uzanımlı yatakların çevresini istilası sonucu yataklardaki uranyumu solüsyona alarak, trend boyunca ve fayların çevresinde yeniden, redükleyici ortamlarda çökeltmesi söz konusudur. Bu bakımdan kümelenme yatakları, roll tipi yataklara benzerlik göstermektedir.

1.14 — Prekambriyen ağır mineral yatakları ; Bu yataklar çeşitli yazarlar tarafından «konglomera tipi yataklar», «Prekambriyen konglomera yatakları» veya «kuvars çakıllı konglomera yatakları» şeklinde de isimlendirilmişlerdir.

Kuvars çakıllı konglomeralar, Prekambriyen denizinin başlangıçta var olan kıtayı istila ettikleri dönemde gayet geniş sahalarda depolanmışlardır. Uraninit bazı toryum mineralleri ve altınla birlikte diğer ağır mineraller, yeterli oksijenin bulunmadığı bir ortamda sahil veya sığ deniz plaserlerinde konsantre olmuşlardır. Bir miktar uranyumun muhtemelen solüsyona geçerek taşınmasına rağmen, kuvars çakıllı konglomeralar içerdikleri detritik pirit ve uraninit

taneleri ile karakterdedirler. Bundan dolayı da Prekambriyen ağır mineral uranyum yatakları olarak isimlendirilmişlerdir (4). Bu yataklar uranyumun plaser konsantrasyonlarını temsil etmektedirler. En önemli 2 Örnek Kanada-Ontario-Blind River'da ve Güney Afrika Witwatersrand'dedir.

Blind River'da uraninit ve pirit taneleri monazit, brannerit gibi diğer ağır minerallerle birlikte bulunur. Ağır mineral konsantrasyonlarının bazılarında karbon mevcuttur. Bir miktar uranyum lokal olarak çözünmüş ve karbonlu materyelle peşblend olarak tekrar çökelmiş şekilde belirir. Tenor ortalamaları % 0,1 U3Os ve % 0,05 ThO2 dir. Burada toryum; monazit, brannerit ve uraninitin içindedir.

Witwatersrand'de uranyum; tabii altın, pirit, zirkon, kromit, lökoksen ve diğer ağır minerallerle birlikte bulunur. Uranyum mineralleri kumlu ve çakıllı eski yamaçlar boyunca sığ örgülü nehir kanallarında, çok ince detritik taneler halinde altın, pirit ve çeşitli ağır minerallerle birlikte taşınmış ve konsantre olmuşlardır. Uranyum minerali olarak uraninitin yanı sıra tukolit'e de rastlanır. Uranyum altının yan ürünü olarak elde edilmekle birlikte, sadece uranyum için işletilen kısımlarda mevcuttur.

12 Karbonatlı kayaçlarda uranyum yatakları

ikalkerden uranyum İstihali relatif olarak düşük olmakla birlikte çeşitli örnekler şu şekildedir :

1.21 — Resifal kölkerlerdeki yataklar; A.B.D. —New Mexico— Grants bölgesinde Jura yaşlı Todilto kalkerleri uranyum cevher yatakları içermektedir. Cevher gövdeleri resif cepheleri boyunca yer almaktadır, En önemli primer mineral peşblend olmakla birlikte karnotit, tyuyamunit Vb; gibi sekonder mineraller de hayli yaygındır. Jönez hakkında kesin görüşler olmamakla beraber, resifal kalkerlerle birlikte senjenetik bir oluşumun üzerinde durulmaktadır.

1.22 — Erime boşluklarındaki yataklar: Rusya —Özbekistan— Fergana «Tyuya—Muyun» da tyuyamunit ve diğer sekonder mineraller, paleozoik metamorfik kalkerleri içindeki Karstik orijinli mağaralar ve erime boşlukları cidarında, kalınlıkları 1,5 m. ye kadar çıkabilen

kabuksu yapılar meydana getirmektedir, İşletilen uranyum bu kabuksu yapılardan alınmaktadır (1).

1,23 — Kalkret (calcrete) tipi yataklar; 46 000 ton U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> den fazla uranyum oksit içeren uranyum yatakları Batı Avustralya'da Yeelirri'de kalkretler içinde yer almaktadır. Kaliş (caliche) olarak da isimlendirilen kalkret bir tür kalkerdir. Yağışlı iklimlerle münavebe halindeki kurak iklimlere sahip kıraç bölgelerde, ana drenaj yolları üzerinde sığ yeraltı suları tarafından meydana getirilir. Kuru periyotlarda evaporasyon sonucu tuz konsantrasyonları meydana gelir. Yağışlı periyotlarda ise eriyebilir tuzlar eritilip taşınır. Bu işlemlerin çokça tekrarı halinde meydana gelen son ürün kalkrettir. Kalkret çok ince kristallidir ve poröz kalsiyum karbonatın çakıl, kum vs. yi çimentolaması sonucu bazan breşe benzer.

Kalkretler poröz ve çok geçirgen akiferlerdir. Yeelirri'de karnott kalkret içindeki çatlakları doldurur, boşlukların cidarlarını kabuksu bir yapı halinde kapatır. Karnott içeren kalkretler dere kanallarındaki suyun alüvyona gömülüp kaybolduğu kısımlarda meydana gelir. Yeelirri'de ileri derecede alterasyonla ayrılmış granitler, karnott çökmesi için gerekli uranyum ve potasyum için ideal kaynak kayaç durumundadırlar.

1,3 — Linyitlerde, fosfatlı kayaçlarda ve siyah şeyllerde uranyum yataktan

1.3.1 — Uranyumlu linyitler : A.B.D. nde Montana, Güney ve Kuzey Dakota'daki güneybatı Williston Baseni'ndeki 'Fort Union - Hell Creek linyit yataklarının hemen üzerini bir rejyonel diskordanstan sonra gelen geçirgen tüfitik kumtaşları örtmektedir, Kumtaşlarından yıkanan uranyumun linyitlerde tutulması sonucu, linyitler uranyumca epljenetik olarak zenginleşmişlerdir. Tenor 50-200 ppm arasında değişmektedir (7). Uranyum, linyitin organik teşkil edicileri ile birlikte bulunmaktadır. Linyitlerin tavanındaki tabakaların geçirgenliği ile uranyum tenörü arasında yakın bir ilişki vardır. Üzerinde kumtaşı olan linyitler uranyumca zengin, kil veya şist olan linyitlerse fakirdir.

Â.B.D.—Wyoming'de Great Divide Baseni'ndeki Wasatch—Green River linyit yataklarının

da, geniş dağılım gösteren senjenetik uranyum zenginleşmesi varsa da tenörler hayli düşüktür.

1,3,2ı—Uranyumlu fosfatlar: AB.D, ide Utah, Idaho ve Wyoming'teki Permien yaşlı denizel Phosphoria formasyonu, geniş bir şekilde dağılım gösteren 1,5-3 m. kalınlığındaki fosfatlı tabakalarda uranyum içermektedir. Tenörler % 0,007 - 0,07 U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> arasında değişmektedir. Bu denizel fosfatların doğu kısmında denizel olmayan okside formasyonlar yer almaktadır.

A.B.D. de güneybatı Wyoming'deki gölsel Green River formasyonundaki fostatik kumtaşları ve silttaşları bazı kısımlarda dissimine uranyum içermektedir. Bütün bu zuhurlar düşük tenörlü olup okside fasiyesli eşdeğeri olan redüksiyon fasiyesinde yer almaktadır.

1.3.3 — Uranyumlu denizel siyah şeyller:

Orta isveç'in güneyinde Kambriyen ve Ordovisiyen yaşlı denizel siyah şeyller 2,5-4 m. kalınlıkta uranyumlu yatay bir tabaka içerirler. Bu tabakadaki uranyum tenörü % 0,03 U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> olup tahmin edilen rezerv 1 milyon ton U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> civarındadır,

2 — Struktur Veya Tektonik Kontrollü Uranyum Yataklar (Damar tipi ve benzer yataklar)

Dünya uranyum rezervlerinin % 20 civarındaki bir kısmını oluşturan Damar tipi uranyum yataklarının en büyük özelliği yüksek tenörlere karşı dar bir dağılım göstermeleridir. Bu tip yataklar iyi taşlaşmış sedimenter ve metamorfik kayaçların içindeki çatlak dolgularından, dolgu çimentolu tektonik breşlerden ve yantaşın kısmi replasmanından oluşmaktadır. Bu yatakların bir çoğunda ana kontrol strüktürel olmakla birlikte, kısmen de litoloji ile kontrol edilmişlerdir.

Hakim litolojik kontrol, düşük oksidasyon potansiyelli yantaş olarak gözükmektedir. Karbonlu siyah şeyller, slaytlar, fillitler ve şistler genel yantaşlardır, iki mineralli ve mikali karbonatlı kayaçlar da oldukça müsait yantaşlardır. Karbona ilâveten diğer redükleyiciler pirit, markasit, ve çeşitli sülfürlerdir.

Çoğu yataklarda peşblend, oksidasyon zonuunun altında görülen en önemli cevher mineralidir. Ayrıca uraninit de mevcuttur. Az mik-



tardaki piritin yanısıra kuvars ve kalsite gang olarak rastlanılmaktadır. Hematit ise hayli yaygındır.

En büyük ve en önemli yataklar Kuzey Avustralya ve Kanada-Kuzey Saskatchewan'da bulunmaktadır. Bu büyük ve yüksek tenörlü uranyum yatakları, rejyonel diskordansların altındaki Alt Proterozoik sedimanter ve metamorfik kayalar içinde yer alırlar. Bu eski erozyon satırlarının, uzun zaman süreçlerinde bir-biri peşisıra gelen sıcak-kurak ve sıcak-nemli iklimlerde atmosferik etkilere maruz kaldıkları bir gerçektir. Bu tür bir tropik iklim, bu yatakların oluşumunda roll tipi ve uzanımlı yataklarda olduğu gibi kritik bir rolü muhtemelen oynamış olabilir.

Rum Jungle-Alligator Rivers Province, Kuzey Avustralya : Bu bölge, toplam 450.000 ton U3O8 rezervli beş önemli yatağa sahiptir. Peşblend, karbonlu şeyller ve kloritlik slaytlardan oluşan Alt Proterozoik Golden Dyke Formasyonu'nu kateden kırk zonlarını doldurmaktadır. Damar boyutları çeşitli olup ortalama tenor bazan % 2 U3O8 in, üstüne çıkabilmektedir. Alt Proterozoik formasyonları, bir diskordansla Arkeen kristalin temelini örtmektedir. Kristalin temel kayalar 2-30 ppm uranyum içermektedir.

Bu yatakların oluşumu hakkında iki ayrı görüş vardır. Bunlardan birincisine göre, Alt Proterozoik yaşlı karbonlu sedimanter tabakalardaki senjenetik uranyum, daha sonra tektonizma refakatindeki bir mağmatik faaliyetle solüsyona alınarak harekete getirilmiş ve düşük basınç şartlarında açık çatlak zonları ve tektonik breşlerin arasında tekrar konsantre edilmiştir. İkincisine göre ise uranyum, Arkeen yaşlı granitik sahalardan alterasyon ve erozyon sonucu satırlarınca kazanılıp, uranyumca zengin bu suların kırk sistemlerinde aşağı doğru filtre olmaları esnasında redükleyici ortamlarda peşblend halinde çökeltiştir (4).

Kuzey Saskatchewan Province, Kanada : Buradaki büyük ve yüksek tenörlü uranyum yatakları, Alt Proterozoik ve Arkeen yaşlı kayalar içindeki çatlak dolguları ile birlikte mineralize tektonik breşler ve damarlar halindedir. Uranyum yatakları; Beaverlodge, Cluff Lake, Rabbit Lake ve Key Lake olarak isimlendirilen

dört ayrı bölgede yer almaktadır. Bu yataklarda peşblend, bazan da peşblend ve uranit ana cevher mineralidir. Cluff Lake'de altın tellüridlerine, tabii altına, kobalt ve nikel de rastlanılmaktadır.

Hernekadar superjen bir orijin hakim gibi görülmekte ise de böyle bir jonezle uyuşmayan veriler de mevcuttur. Yantaşın karbon içermemesinin haricinde bu yatakların diğer karakteristikleri, Kuzey Avustralya'daki yataklara büyük bir benzerlik göstermektedir (4J);

### 3 — İntrüzlf Kontrollü Yataklar

İntrüzlf kontrollü en önemli uranyum cevher yatağı. Güney Batı Afrika'daki Rössing Yatağıdır. Burada sekonder minerallerle birlikte uraninli ve betafit, intrüzlf siltektik alaskit içinde dissémine haldedir. Alaskit içindeki ortalama tenor % 0,035 U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> dir. Yantaş çok kıvrımlı ve faylı Üst Prekam'briyen migmatit, gnays, şist ve mermerlerinden oluşmaktadır. Primer uranyum mineralleri sadece İntrüzlf alaskit içinde bulunmaktadır ve rezerv 140.000 ton U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> civarındadır. Monazit de uranyum mineralleri ile birlikte bulunmaktadır ve U/Th oranı ortalama 10/1 dir.

Enteresan olmakla birlikte ekonomik olmayan diğer bir uranyumlu zehir, Güney Grönland'daki llimaussağ nefelinli siyenit İntrüzynudur. Küçük zonlar % 0,3 U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>e kadar uranyum içerebilmekle birlikte ortalama tenor 400 ppm den azdır. Uranyum ısıya dayanıklı mineraller içinde olup elde edilmesi zordur.

### TORYUM YATAKLARI

Çeşitli alanlarda kullanılan toryum miktarının fazla olmaması ve yıllık 700 ton ThO<sub>2</sub> civarında olan dünya üretiminin tamamen monazitten yan ürün olarak elde edilmesi nedeniyle, halen sırf toryum için işlenen yatak yoktur. Toryumun nükleer enerji hammaddesi olarak kullanılmaya başlaması durumunda doğacak talep, çeşitli yatakların ekonomik olabilirliğini belirleyecektir. Bundan dolayı çeşitli toryum konsantrasyonları hakkında uranyum kadar detaylı bilgiler mevcut değildir ve bütün toryum konsantrasyonları bugün için potansiyel kaynak du-

rumundadırlar. Arz kabuğundaki başlıca toryum konsantrasyonlarını 3 genel grupta toplamak mümkündür.

### 1 — Toryumlu İntrüzif Kayaçlar

Karbonatitlerde toryum içeriği genellikle yüksektir. Bazı karbonatit gövdeleri 50-300 ppm  $\text{ThO}_2$  içermektedirler. Lokal konsantrasyonlarda tenor % 0,3  $\text{ThO}_2$  ye kadar çıkmaktadır. Karbonatitlerdeki toryum; 'bastnaesit, piroklor, monazit gibi nadir toprak minerallerindedir.

Sovyet Rusya-Kola Peninsula'dakî nefelinli siyenitler ve Norveç - Langesund bölgesindeki siyenitler relatif olarak yüksek toryum içeriğine sahiptirler.

A.B.D. —Georgia'daki Elberton granitinde 6 — 58 ppm  $\text{ThO}_2$  mevcuttur.

### 2 — Toryum Damarları

Toryum İçeren damarlar, dünyanın çeşitli ülkelerinde olduğu gibi ülkemizde de en önemli potansiyel toryum kaynağı durumundadırlar.

Eskişehir-Sivrihisar-Kızılcaören Köyü yakınındaki damarlar fillit, fillitik kumtaşı, siltaşı, mikrokonglomera ve yan kristallize kalkerlerden oluşan az metamorfik yantaşları kapsayan tektonik kırık ve ezik zonlarında yer almaktadır. Toryum İçeren ana cevher minerali bastnaesit ve az miktarda da brockit olup gang kalsit, flüorit, barit, kuvars, psilomelan, pirit, hematit ve limonittir (8). Damar dolgularında makro görünümde izlenen az miktardaki flogopit, biotit ve muskovitin yanısıra, mineralojik determinasyonla tayin edilen çok az miktarda rutil, galenit, sfalerit, kalkopirit, lökoksen, anatas ve apatit de yer yer mevcuttur. Ortalama tenor % 0.21  $\text{ThO}_2$  dir. Cevher yatağının ancak bir kısmı sondajlarla tetkik edilmesine rağmen, bu kısımda tesbit edilen rezerv 380.000 ton  $\text{ThO}_2$  ve 4.000.000 ton  $\text{Ce+La+Nd+Y}$  dur (9). Cevher yatağını oluşturan solüsyonların yakın çevredeki granit ve granosiyenit masifleri ile ilgili hidrotermal solüsyonlar olabileceği görüşüne karşın, cevherleşmenin karbonatitlerle ilgili olabileceği de ileri sürülmektedir (10),

A.B.D. nde toryum içeren damarlar 13 muhtelif sahada bulunmaktadır. Damarlar kırık ve ezik zonlarındadır (11). En önemli toryum minerali torit olup monazite de rastlanılmaktadır.

Birkaç damarda ise brockit ve allanit görülmektedir. Mountain Pass (Kaliforniya) hariç diğer damarlarda nadir toprak mineralleri genellikle nadirdir. Kuvars, damarlar dâhi en yaygın gang olup mikroklin refakatindedir. Diğer gang mineralleri kalsit, muskovit, biotit, klorit, barit, apatit ve flüorittir. Pirit ve rutilin yanısıra limonit ve hematite de sık sık rastlanılmaktadır. Damarların  $\text{ThO}_2$  içeriği % 0.001-21 arasında değişmektedir. Toryum damarlarının, alkalın kayaçları şekillendiren magmanın volatil geç fazlarında oluştuğuna inanılmaktadır. Düşük viskoziteli sıvıların ana kırık hatları boyunca hareketleri esnasında, genellikle ufak boyutlu kırık ve ezik zonlarında düşük sıcaklıkta oluşan damar olguları meydana gelmiştir,

### 3 — Plasterler ve Rezidüel Konsantrasyonlar

Alkalın granit, siyenit vb. gibi intrüzif kayaçlardaki toryum içeriği, büyük ölçüde tali minerallerde toplanır. Bu minerallerden monazit, zirkon, zenofim çok dayanıklıdır. Ana kayacın atmosferik etkilerle alterasyonu ve dezintegrasyonu sonucu, bu mineraller serbest kalarak detritik taneler haline geçerler. Dayanaksız ve hafif kısımların taşınıp gitmesi ile ağır mineraller yönünden yerinde bir zenginleşme meydana gelir. Böylece rezidüel konsantrasyonlar oluşur.

Açığa çıkan ağır mineraller yavaş yavaş yamaç aşağı dereye doğru hareket ederler ve nehirlerle taşınırlar. Alüvyal plaserler, ağır ve büyük parçalar geride bırakılırken, nehir gradyanının hafif ve ufak tanelerin taşınmasına uygun olduğu yerlerde şekillenir. Denize kadar ulaşan monazit ve diğer ağır minerallerin büyük bir kısmı ise sahil kenarında nehir ağızlarında çökeltir.

Dalga işlemleri ile ise sahil plaserleri meydana gelir. Toryum için ana plaser minerali monazittir. Bu yataklarda monazit, küçük yuvarlak yarı şeffaf taneler halindedir ve ilmenit, kasiterit, garnet, zirkon, altınla birlikte bulunur. Hemen plaserlerden birçoğu ilmenit, kasiterit, altın veya zirkon için işletilmekte olup, monazit genellikle yan ürün durumundadır.

Plaser yatakları dünyanın çeşitli yörelerinde yaygındır. Bunların en önemlileri Avustralya, Malezya, Hindistan, Brezilya ve Tayland'da bulunmaktadır.

## ARAMA STRATEJİSİ VE YÖNTEMLERİ

Yukarıda çok kısa da olsa açıklamaya çalıştığımız çeşitli yatak tiplerinde, uranyum aramalarının sadece gamametre veya sintilometre gibi cihazları elde taşıyarak yapılamayacağı açıktır. Günümüzde uranyum aramaları, yalnız radyometrik usullerden yararlanılarak yapılan prospeksiyon çalışmaları olmaktan çoktan çıkmış ve uranyum arama teknolojisi çok ileri bir seviyeye ulaşmıştır. Modern uranyum aramaları bugün, uzman uranyumcu jeoloji mühendislerinden oluşan ekiplerce, ileri düzeyde geliştirilmiş radyometrik cihaz ve metotların yanısıra, çeşitli jeofizik ekipmanı ve jeokimyasal teknolojinin yardımı ile yapılmaktadır.

Gerek havadan gerek oto ile yerden ve gerekse yaya yapılan radyometrik prospeksiyon çalışmaları, radyoaktif mineral aramalarının başlangıcında çok faydalıdır. Bugün bilinen yatakların büyük bir kısmının bulunmasında etkin bir rol oynamışlardır. Çalışmaları, radyoaktif minerallerin bozunması sırasında oluşan ürünlerin dedeksyonu prensibine dayanan klasik gamametre ve sintilometrelerle birlikte, yeni geliştirilmiş, toplam gama ışını ölçen spektrometreler radyometrik prospeksiyonda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Spektrometreler, tesbit edilen radyasyonun uranyumdan mı, toryumdan mı, yoksa potasyumun radyoaktif izotopu potasyum 40 dan mı ileri geldiğini tesbit etmektedirler. Özellikle havadan yapılan radyometrik etüdlere ve sondaj deliklerinde çeşitli seviyelerdeki U, Th, K konsantrasyonunun dağılımının saptanmasında kullanılmaktadır. Sondaj deliklerindeki ölçümlerde, sadece gama ışınlarını ölçen gamametre ve sintilometrelerden de yararlanılmaktadır.

Belirli kalınlıktaki bir toprak tabakası gama ışınlarını durdurabilmektedir. Bundan dolayı, örtülü yatakların aranmasında, toprak içindeki radonu ölçebilmek için çeşitli sistemler geliştirilmiştir. Bunlar, gerek toprakta gerekse suda radon ölçümleri için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Yavaşlatılmış nötronların sayımı ile direkt olarak uranyum ölçümüne özellikle sondajlarda olanak sağlayan sistemler üzerinde çalışmalar halen sürdürülmektedir.

Havadan ve yerden yapılan radyometrik etüdlere yanısıra jeokimya, radyoaktif minerallerin aranmasına yönelik çeşitli safhalarda; kaynak, kuyu, nehir, göl suları numunelerinin ve dere sedimanıyla birlikte toprak numunelerinin alınıp analize tabi tutulması ve sonuçların değerlendirilmesi şeklinde yaygın bir tarzda kullanılmaktadır. Bitki şekillerinin incelenmesi ve yaprak analizleri, başlangıçta bazı sahalarda olumlu bilgiler verebilmektedir.

Direkt olarak uranyum bulmaya yönelik olmayan, fakat uranyumun bulunabileceği ortamları gösterebilen endirekt jeofizik metotlardan self potansiyel ve rezistivite ölçümleri, kumtaşı tipi uranyum yataklarının aranması amacıyla yönelik sondajlarda loğlamada birinci derecede önem taşımaktadır. Kumtaşı tipi uranyum aramalarında sondajlarda yapılacak loğlama için, gerek self potansiyel ve rezistivite gerekse toplam gamayı aynı anda ölçerek loğlara kaydeden sistemler geliştirilmiştir. Bu tür sistemlerle sondajlardan alınan kompozit loğlar, söz konusu tip uranyum yataklarının aranmasında çok büyük bir önem taşımaktadırlar.

Hava fotoğraflarından, sahil jeoloji haritalarının yapımında ve bitki örtüsünün tayininde yararlanılmaktadır. Ayrıca renkli hava fotoğraflarından, uranyum içeren formasyonların oksidasyon veya redüksiyon fasiyeslerinin tayininde yararlanmak mümkündür.

Yeni geliştirilen ve yer sathından yansıtılan enerjinin, satellitler ile ölçülüp fotoğrafik görüntüler haline dönüştürülmesi esasına dayanan rimot-sensing çalışmalarından, ümitvar kumtaşı mostralarının altere olan ve olmayan kısımlarını ayırmakta ve bazı şartlarda ana yapıların ortaya çıkarılmasında, çok iyi sonuç alınmamakla birlikte faydalanmak mümkündür (4).

Uranyum, çok hareketli bir element olması nedeniyle çeşitli kayalardan yıkanıp solüsyona geçerek, yeraltı suları ile taşınıp redükleyici özellikleri olan çok sayıdaki jeolojik ortamda tekrar konsantre olur. Bundan dolayı uranyum yatakları arz kabuğunda çok geniş bir dağılım gösterirler. Ancak, herşeye rağmen bu dağılım rastgele değildir ve jeolojik olarak kontrollüdür. Bu kontrol ise çeşitli jeolojik özelliklerle sağlanır. Mineralizasyon olayının ve onu kontrol

eden faktörlerin iyi anlaşılması başarının temel şartıdır. Bundan dolayı da jeolojinin uranyum aramalarındaki rolü çok büyüktür. Radyoaktif mineral aramalarında kullanılan teknik cihazlar ve metotlar, diğer mineral aramalarında kullanılanlara göre çok daha fazladır. Ancak jeolojik bilgi ve yetenek eksik olduğu sürece, aramalarda kullanılan cihazlar ne kadar hassas ve pahalı olursa olsun, uranyum bulmak için tek başlarına hiçbir zaman yeterli olamazlar. Bu nedenle uzman uranyumcu jeoloji mühendislerine büyük gereksinim duyulmaktadır. Öte yandan, uranyum aramalarında uzmanlaşma ise kolaylıkla ve kısa sürede kazanılabilecek bir özellik değildir. Yeni bir arama projesini yönlendiren uranyum jeologu, çalışılacak sahanın tümü için genel jeolojik bilgisinin yanısıra, uranyum jeolojisinde çok iyi bir genel bekranda sahip olmalıdır. Ayrıca bu jeoloji mühendisi, araştırma şahasında benzer alanlarda, daha öncesi bulunmuş önemli uranyum yataklarının kontrolleri ve genel görünüşleri ile de aşina olmalıdır. En önemlisi ise, başarılı bir araştırmacı, bilinen bu yatakların bazı karakteristiklerinden, kendine özgü yeni görüşlerle yararlanabilmelidir.

Minimum bir uranyum yöresi, yarıçapı 100 km.'lik bir alan içinde bulunan fizihil 2.000 ton veya daha fazla  $U_3O_8$ 'e sahip bir saha olarak tanımlanmaktadır (12). Ancak son yayınlarda bu alt limit 1.000 ton  $U_3O_8$  olarak ele alınmaktadır (13). Bir uranyum arama projesinin başlatılması ile rezervlerin işletilerek tükenmesi arasındaki zaman aralığı 15-25 sene arasında değişmektedir. Üretime geçebilmek için gerekli süre, bu zaman aralığının 1/3'ü veya 1/2'si olabilir (12). Personelin tecrübesiz olması halinde arama dönemi sonsuza kadar sürebilir, Arama süresinin uzaması; yatakların derin kısımlarda bulunması, kör yatak tipi olması veya şimdiye kadar benzerine rastlanmamış bir yatak tipi olması nedenleriyle de olabilir. Ancak, arama ekonomik olarak yönlendirilmiş bir faaliyettir ve son üretim maliyeti en çok araştırma masrafları ile etkilenmektedir. Bu nedenle, hammadde arama programları, aşırı arama masraflarından kaçınmak için çok dikkatle hazırlanmalıdır.

Bugün için ekonomik olan tenor ve derinlikteki dünya uranyum rezervleri; Prekambriyen yaşlı kuvars çakıllı konglomeralar, kumtaşı tipi yataklar ve damar tipi yataklar arasında kabaca bölünmüş durumdadır. (12). Bu yataklar çe-

şitli ülkelerde muhtelif yapısal havzalarda görülmektedir. Nitekim, Prekambriyen kuvars çakıllı konglomera cevherleri Güney Afrika da tek bir yapısal havzada, Kanada'da 200 mil kareden küçük bir sahada görülmektedir. Kumtaşı tipi yataklar da benzer bir durum gösterirler. A.B.D, nln sahip olduğu rezervlerin % 91'i (ki bu rakam dünya kumtaşı tipi yatak rezervinin 2/3 üne eşittir) Grants - New Mexico ve merkezi Wyoming'de bulunmaktadır (6). Damar ve diğer tip yataklar da değişik ülkelerdeki yapısal havzalarda bulunmaktadır.

Yapısal havzalarda bulunan uranyum cevher yatakları genellikle kümelenme göstererek gruplar halinde bulunma eğilimindedir. Cevherin hakim kontrollerinin çözülmesi ile, çeşitli nedenlerle örtülü kalmış kısımlara veya yataklara ulaşabilmek mümkündür. Bu durum özellikle kumtaşı tipi yataklarda çok belirgindir.

Uranyum aramalarında yapısal havzaların rolü, özellikle yatak tipi yönünden çok önemlidir. Zira arama faaliyetinin çeşitli safhalarında geliştirilecek modeller ve takip edilecek yöntemler yatak tipine göre değişmektedir. Bir başka deyişle, aramalarda uygulanacak yaklaşım ve yöntemleri yatak tipi tayin etmektedir.

Kumtaşı tipi sedimanter uranyum yataklarının aranmasında ilk çalışmalar genellikle, uranyum çökmesine uygun bir ortamın tesbitine yöneltilmekte ve cevher yatakları sözkonusu uygun ortamda araştırılmaktadır. Bu tip yataklarda radyometrik anomali mutlaka bir uranyum yatağının satlı göstergesi değildir ve sadece yataklarına için uygun bir ortamın var olduğunu gösteren iyi bir klavuzdur. Zira, beklenen yatak satıhta anomali ve mostra vermeyecek şekilde tamamen gömülü olabilir. Uranyum yatağını içeren kumtaşı yataya çok yakın konumdadır (5 ile 8 derece) ve uranyumlu solüsyonlar gömülü cevher konsantrasyon zonuna kumtaşı içinden ve onu yıkayarak gelmişlerdir. Solüsyonların bu hareketi esnasında birçok ke-re uranyumun oksidasyonu - solüsyona geçmesi/taşınması/İndirgenmesi - çökmesi işlemleri tekrarlanmıştır. Böylece akifer ana kayac-ta cevher mineralizasyonu için bir klavuz olabileceği oldukça yaygın bir alterasyon zonu meydana gelmiştir. Bundan dolayı sedimanter arazideki çalışmalarda, akifer ana kayacın tesbiti ilk etapdaki en önemli hedef durumundadır. Bu-

nun için de kumtaşı tipi uranyum aramalarında ilk etapta sondaj, uranyum yataklarını içerebilecek akifer kumtaşlarının tesbiti amacıyla, uygun olabilecek ortamlarda istikşaf mahiyetinde yapılır. Diğer tip maden aramalarının aksine bu safhada yapılan sondaj, direkt olarak maden yatağının gelişmesini ve rezervini tesbite yönelik değildir.

Kumtaşı tipi yatak oluşumu ile ilgili olarak aramalar esnasında dikkat edilmesi gereken jeolojik ve jeneîk kontrolleri içeren bir model şu şekildedir (13):

- 1 — Yapısal temelle ilgili şartlar
  - a — Relatif olarak sabit eski yapısal bir temel
  - b — Kumtaşı çökmesi Öncesi erozyon (diskordans)
  - c — Basen veya graben yapısı
- 2 — Kumtaşı çökmesi ile ilgili şartlar
  - a — Kıtasal veya kıta yamacı - denizel sedimanter çevre
  - b — Kumtaşı için Tersiyer, Kretase, Jura, Trias, Karbonifer, Devoniyen veya Proterozoik yaş
  - c — Kuvarsik, volkanik veya arkozik kumtaşları ile ardalanması çamurtaşları
  - d — Çok düşük eğimli tabakalar ve basen yapısı
  - e — Alüvyon yelpazesi tepesinden ve eteğinden uzak orta kısım fasiyesi
- 3 — Uranyum için kaynak kayaç
  - a — Granit orijinli
  - b — Asit volkanik tuf orijinli
- 4 — Uranyumun taşınması
  - a — Kumlasının relatif geçirgenliği
  - b — Uygun akifer şartları
- 5 — Kumlasında uranyumun çökmesi
  - a — pirit ve altere ürünlerin bulunuşu
  - k — Organik materyelln bulunuşu
  - 1 — Empanyasyon
  - 2 — Bitki parçaları
  - c — Kumtaşının alterasyonu
    - 1 — Redüklenmiş kısım
    - 2 — Oksitlenmiş kısım

d — Anormal vanadyum, bakır, molibden ve selenyum konsantrasyonu

8 — Uranyum çökmesi sonrası değişiklikler

a — Açık süperjen prosesler

b — Cevherleşme sonrası faylanma

7 — Uranyum yatağının korunması

a — Halihazır kurak iklim olumlu, nemli iklim ise olumsuz

b — ileri derecede yıkanmış mostra

c — Kalın örtü tabakaları

Damar tipi yataklarla ilgili arama çalışmaları ise daha ziyade doğrudan etüdler şeklindedir. Zira, radyometrik anomali yanıltıcı anomali olmadığı taktirde, mineralizasyonun direkt işaretçisi durumundadır. Tesbit edilen radyometrik anomalinin kaynağının saptanıp, hem derinliğine hem de satıhtaki mostra boyunca olan uzanımının ortaya çıkarılmasına yönelik etüdler (gerektirir. Yapılacak etüdlere tektonikle ilgili çalışmaların çok büyük bir ağırlığı vardır. Fay ve kırık zonları, tektonik ezik zonları ve ayrıca intrüzif kontaktlar gibi jeolojik strukturier, uygun litolojik ortamlarda en elverişli cevherleşme yerleri durumundadır.

Diğer tip yataklarla ilgili arama çalışmaları da yine doğrudan etüdler halindedir ve radyometrik anomalinin özellikle çalışmaların başlangıcında büyük önemi vardır. Bütün toryum yatakları için de aynı durum söz konusudur.

Her tip uranyum yatağı ile ilgili aramalar da, radyometrik ve jeokimyasal etüdlere yanı sıra, mineralizasyonun etkin kontrollerine göre fotojeolojik ve jeolojik etüdlerle birlikte sondaj, çeşitli safhalarda kombine bir şekilde kullanılmaktadır.

Aramalarla ilgili safhalar ise şu şekilde sıralanabilir :

1 — Planlama safhası

Bu safhada, uranyum açısından jeolojik imkânlarla sahip olabilecek sahalara; bölgesel jeoloji, tektonik, jeomorfoloji, stratigrafinin yanı sıra litoloji, sedimanların kökeni ve diğer faktörlerin etüdü ile saptanmaya çalışılır.

## 2 — ön elem© safhası

10.000 km<sup>2</sup> büyük bir sahada uygun potansiyel alanları seçmek için, literatür taramasının devamı halindeki ön çalışmaların birlikte, rejyonel anlamda; havadan radyometrik etüdler, tanıma jeolojisi ve jeokimyasal etüdler yapılır. Jeokimyasal etüdlere; ağır mineral, göl ve dere sedimanı numunelerinin yanı sıra çeşitli su numuneleri km<sup>2</sup> ye 0,1 -1 numune düşecek şekilde alınır. Elde edilecek sonuçlara göre, önemli olmayan sahalardan elenir (4).

## 3 — Tanıma safhası

Ön elemelerle 1.000-10.000 km<sup>2</sup> ye kadar indirilmiş ilginç olabilecek potansiyel sahalardan; fotojeolojik enterpretasyon, jeolojik haritalama, radyometrik ve jeokimyasal etüdler sürdürülür. Bu safhada yapılan radyometrik etüdler; havadan detay, yerden otoprospeksiyon ve yaya genel prospeksiyon şeklindedir,

Yerden radyometrik etüdlere: yol ağları ve ulaşım olanakları bulunan kısımlar, otoprospeksiyonla hassas sintilometrelerle taranır. Ulaşım olanaklarından yoksun kısımlar ise, tesbit edilecek geniş aralıklı itinererlerle gözden geçirilir. Sedimanter sahalarda itinerer hatları, tabakalara dik olarak seçilir. Derinlik kayaçları halinde ise; çatlak ve kırık zonlarına, damarlara, kontaktlara dik profiller seçilmelidir (15). Bu tür bir yaya genel prospeksiyonda, itinerer aralıklarına bakılmadan, uranyum mineralizasyonu için ilginç olabilecek her türlü yer ve renklenme, mostralardan açıkta görüldüğü kısımlarda tetkik edilir.

Jeokimyasal etüdlere ise, km<sup>2</sup> ye 2-10 numune düşecek şekilde dere sedimanı, su ve toprak numuneleri alınır.

Sonuçların değerlendirilmesi ile, mana ifade etmeyecek anomali ve sahalardan elimine edilir.

Bu safhada, diğer tip yatak aramalarının aksine, kumtaşı tipi yataklar için, diğer etüdlerin ışığı altında, uranyum yataklarını içerebilecek kumtaşı akifer seviyelerini tesbit edebilmek amacıyla, S-10 km<sup>2</sup> ye bir sondaj düşecek şekilde geniş aralıklı istikşaf sondajları da yapılır (14).

## 4 — Takip safhası

Önceki çalışmalarla büyüklüğü 5-50 km ye düşürülen bir sahada, tesbit edilmiş anlam ifade eden anomaliler üzerinde; detay jeolojik haritalama ve prospeksiyon, yerden detay radyometrik prospeksiyon ve detay jeokimyasal etüdler şeklinde çalışmalar sürdürülür. Jeokimyasal etüdler daha ziyade toprak, toprak gazı (radon etüdü) ve kayaç numuneleri üzerindedir (C14).

Kumtaşı tipi uranyum yatakları için, uygun olabilecek yerlerde yaklaşık 1 km<sup>2</sup> ye bir sondaj düşecek şekilde sistematik arama sondajları yapılır. Sondajlardan alınan kompozit loglar arasında korelasyonlar yapılarak, yeraltı jeolojisini ve cevherleşme olanaklarını yansıtan kesitler ve haritalar hazırlanıp, hedef sahalardan tesbit edilir.

Diğer tip yataklarda ise; yerden detay radyometrik prospeksiyon, yarma, kuyu yapımı gibi hafriyat faaliyeti ile birlikte mineralojik ve petrografik etüdler yoğunluk kazanır. Tesbit edilmiş radyometrik anomaliler üzerinde ve çevresinde yapılan detay radyometrik prospeksiyonda, itinerer aralıkları 10-75 m. ye kadar düşürülür. Bulunan anomalilerin uzanımı, uzanımına dik istikamette sintilometrelerle zikzaklar yapmak veyahutta uygun ve çok sık aralıklarla (2,5-10 m.) tesbit edilecek grid ağı üzerindeki noktalarda, gamametre ile noktasal ölçümler alma şeklindeki sistematik prospeksiyonla tesbit edilir. Hafriyat çalışmalarının arkasından uygun kısımlarda, yatak tipine göre yönlendirilen istikşaf sondajlarına geçilir.

## 5 — Gelişine safhası

Bu safhadaki çalışmalar, hemen her tip yatak için tamamen ekonomiye yönelik olup, cevher yatağını her yönü ile ortaya koyma amacını taşır. Detay haritalama, mineralojik ve petrografik etüdlerin yanı sıra özellikle, yatak tipine göre sistemi seçilen yoğun değerlendirme sondajları bu safhanın karakteristiğidir. Elde edilen verilerin değerlendirilmesi ile, ekonomik olmayan zuhurlar elimine edilir ve cevher yatakları tüm özellikleri ile ortaya çıkarılır.

Arama faaliyeti süresince, her tip yatağın yanı sıra özellikle kumtaşı tipi yataklarda gözden uzak tutulmaması gereken en önemli hu-

sus, bir safhadan diğere geçerken yeterli neden ve verilere sahip olabilmektir. Her safha sonunda yapılacak gerçekçi bir değerlendirme, önemsiz sahaların elimine edilmesini sağlayacağından, boşa yapılabilecek büyük masrafları önleyebilecektir..

## TÜRKİYEDEKİ DURUM

Ülkemizde uranyum aramaları 1956-1957 yıllarında başlamıştır, ilk yıllarda aramalar; Menderes, Istanca, Bitlis masifleri metamorf I ki erinde ve Kırşehir, Şebinkarahisar, vb. gibi yerlerdeki granitlerde damar tipi yataklara yönelik olarak yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucu çok sayıda radyoaktif anomali bulunmasına karşın, herhangi bir uranyum yatağı tesbit edilememiştir. Bulunan anomaliler çoğunlukla, sekonder uranyum minerallerinden otunlt ve torbemit içeren ve satıhtaki bozuşma zonu içinde yer alan kılcal çatlak ve şistozite yüzeylerindedir. Birkaç metre derine inildiğinde ise, ayrışmamış kayacın başlamasıyla mineralizasyon da bitmektedir. Söz konusu mineralizasyon tamamen süperjen kökenlidir.

Sedmanter tip uranyum yataklarının aranmasına, içerisinde uranyum mineralizasyonu saptanan masiflerin çevresindeki, Neojen veya benzeri çökellerde 1980 sonrası başlamıştır. Yüzeyde tesbit edilen radyoaktif anomalilerin değerlendirilmesiyle, mostra veren yataklar bu-

İlunmasma yönelik bu çalışmalar esnasında, düşük tenörlü ve küçük çeşitli cevher adeseleri saptanmıştır. Bu adeseler flüviyal (2) ve göl-sel (16) sedimanlarda yer almakta olup, daha ziyade sekonder uranyum mineralizasyonu içermektedirler. 1970 lerin başından itibaren, satıhta mostra vermeyen yatakların üzerine eğilinmeye başlanmıştır. Özellikle, 1974 de Batı Anadolu'da uygulanmaya başlayan Birleşmiş Milletler Projesi bu amaca yönelik olmuş ve yeraltı su tablasının altında korunmuş halde uraninit içeren ilk kumtaşı tipi cevher yatağı, Köprübaşı'nda tesbit edilmiştir.

Halihazırda ülkenin çeşitli kısımlarında sürdürülen arama programları, tamamen kumtaşı tipi yataklar bulmaya yöneliktir, Ayrıca ikincil uranyum kaynakları olarak niteleyebileceğimiz çok düşük uranyum içerikli Karadeniz dip sedimanları ve göl suları üzerinde de durulmaktadır.

Bugüne kadar ülkenin çeşitli kısımlarında tesbit edilen uranyum rezervleri 4.000 ton U8O3 den biraz fazladır (2). Bir yapısal havza olarak kendini gösteren tek yöre ise, Salihli-Köprübaşı basenidir.

Geçmiş yıllardaki toryum aramaları esnasında, Eskişehir - Sivrihisar - Kızılcaören yöresinde 380.000 ton ThO<sub>2</sub> rezervi saptanmıştır (8). Halen ülkemizde toryum aramalarına yönelik bir çalışma yapılmamaktadır.

Yayına verildiği tarih : 20.IX.1978

## DEĞİNİLEN BELGELER

- C1J Fairbridge, R. W., 1972 , The Encyclopedia of Geochemistry and Environmental Sciences, New York.
- Çetintürk, 1978. M.T.A. Rad. Min. ve Kömür Dairesi Enerji Serisi Konferansian «Uranyum», Ankara,
- [3] Miami International Conference on Alternative Energy Sources, 1977, Florida
- (4) Bailey, R. V. —Chiiders, M. O., 1877, Applied Mineral Exploration with Special Reference to URANIUM, Colorado.

- (5) Kelley, V. C, 1975, Geology and Technology of the Grants Uranium Region, New Mexico.
- (6) Adler, H. H., 1974, Concepts of Uranium-Ort Formation in Reducing Environments In Sandstones and Other Sediments «Formation of Uranium Ore Deposits», Vienna.
- (7) Jurain, G., 1964, l'uranium, Paris.
- (8-9) Kaplan, H., 1977, Eskişehir - Sivrihisar - Kızılcaören Köyü Yakın Güneyi Nadir toprak Elementleri ve Toryum Kompleks Cevher Yatağı, Jeoloji Mühendisliği - Sayı 2, Ankara.

- (10) Arda, O., 1976, Eskişehir • Sivrihisar - Kızılcaören bölgesinde ortaya çıkan toryum, niobium ve nadir toprak elementleri içeren karbonatik oluşumlar ve Jönezlefi hakkında düşünceler, (yayınlanmamış tektir) M.T.Â, Ankara,
- (11) Staate, M. H., 1974, Thorium Veins in the United States Economie Geology, Vol 69n.
- (12) King, j, W. 1977, Türkiye'de uygulanmakta olan modern uranyum arama yöntemleri T.M.M.O.B. Maden Odası - Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 5. Kongresi» Ankara.
- (13) Finch, W. I., 1977, Plans to develop genetic-geologic models for the assessment of the Nation's undiscovered uranium resources «•LLSG3» Washington, D. 0.
- (14) Tauohld, M., 1977, Uranium Exploration in Southwestern Anatolia - Geochemical Aspect, (yayınlanmamış rapor), M.T.A., Ankara.
- (15) Kitaisky, Y. D., 1963, Prospecting for Minerals, Mir Publishers, Moscow.
- (16) Kaplan, H, - Uz, S. - Çetintürk, I., 1974, Le glte d'uranlum de Faklı (Turquie) et sa formation «Formation of Uranium Ore Deposits», Vienna,