

Nükleer Enerji Hammaddelerinin Aranması ve Arama Yöntemleri

Jeoloji F, Müh, HÜSEYİN KAPLAN

Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Ankara

Öz t Nükleer enerji hammaddesi olarak tabiatta 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, ileri seviyede geliştirilmiş radyometrik cihaz ve metotların yamsıra, çeşitli jeofizik ekipmanı ve jeoşlmlk 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 Çekoslovakya 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 U^{235} izotopu tabii olarak parçalanabilen bir izotoptu ve doğada çok daha bol bulunan U^{238} 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 ilgiliyi 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^{232} nin yavaş nötronlarla bombardımana tabi tutulması sonucu, toryum çekirdeğine bir nötronun girmesiyle Th^{233} , U^{233} 'e dönüşmektedir. Meydana gelen U^{233} , aynen U^{235} izotopu veya Pu^{239} ve Pu^{241} gibi parçalanabilir (fissile) bir izotoptur. U^{233} ise parçalanması esnasında ısı vermesinin yanısıra Th^{231} yi, U^{233} 'e çevirmek için gerekli ilâve nötron vermektedir. Toryum reaktörleri bu esa-

sa dayanarak toryum - uranyum içeren yakıt kullanılmaktadır. Başlangıçta U^{235} , toryumun yukarıda belirtilen nükleer olayla U^{233} meydana getirebilmesi için yakıt içinde bulunmakta ve zamanla üretilen U^{233} , LP'nin yerini almaktadır. Böylece reaktör Toryum-Uranyum 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 $Th^{232} \rightarrow U^{233}$ yakıt çevrimidir. Uzmanların kanılarına göre, yüksek sıcaklıklı gaz soğutmalı reaktörlerin halen kendini kabul ettirmiş durumdaki, uranyumla çalışan reaktörlerle rekabet edebilmeleri için, 1000 MWe 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 $Th^{232} \rightarrow U^{233}$ yakıt çevriminin yapılabilme imkânları da araştırılmaktadır. (3). $Th^{232} \rightarrow U^{233}$ yas yaku 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 kompleks uranü iyonu (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. Mağmatik kayalardaki uranyum ve toryum bulunabilirliği, magmanın kökenindeki uranyum ve toryum konsantrasyonlarının değişimi ve mağmatik kristalizasyon ile yakından ilgilidir. Arz kabuğundaki uranyum ve toryumun kaynağı asit karakterli mağmatik kayalardır. Mağmatik 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 alkan granit ve siyenitlerde genellikle yüksektir ve karbonatitlerle ilgili küçük alkan kayaç komplekslerinde ise oldukça boldur. Kasiteritli granitler We tipik olarak allanit, monzgnit veya torlt gibi toryum içeren tali minerallere sahiptirler. Toryum yataklarının ve toryumla birlikte nadir toprakları da içeren yatakların bu tür kayaçlarla yakın bir ilişkisi vardır.

Olavin gibi ultrabazik magmadan erken kristalize olan mineraller, hemen hemen hiç toryum veya uranyum içermeyizler.

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 ligisini 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 intrüzyonların dış kısımlarında çeşitli yerlerde konsantre olma eğilimlerine yol açar. Toryum ve uranyumun değişken bir miktarı feldspat, kuvars gibi ana minerallerde ekseriyetle inklüzyon 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. Intrüzif 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 karbonatlılarda toryum çok boldur. Uranyum da 'kristalize olan magmada benzer yolu izler. Mamafi dikkate değer ayrılmaların olması ile azda olsa toryum içeren tabii peşblend ve uraninit meydana gelir. Bu ise U+4ün U⁺⁴ya oksidasyonu ile bir ara basamakta toryumdan ayrılması ve bilahere U⁺⁴e redüksiyonu 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 satıh 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 iyonu (UO₂⁺⁺) halindedir. Uranil iyonu, 4 değerli uranyumdan (uranus iyonu) bütünüyle değişik bir kimyasal türdür. Jeokimyasal bakımdan en önemli ayrıcalık da, uranil bileşiklerindeki sekonder minerallerin, 4 değerli uranyum içeren primer minerallerden daha çok eriyebilirliğe sahip olmasıdır. Bundan dolayı da 6 değerli uranyum bu minerallerden, uranil iyonları 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 uraninit veya peşblend halinde tekrar çökeller ve çeşitli tip sedimanter uranyum yataklarını meydana getirir. U⁺⁴ iyonunu eriyik halde tutabilmek için ise 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 disemine halde bulunan toryum, aiterasyon ve erozyon esnasında uranyumun aksine erimez ve satih veya yeraltı suları ile taşınmaz. Hernekadar toryum, PH değeri 3 ten aşağı olan solüsyonlarda hidrolize olursa da, Th^{+4} iyonunun yüksek iyonik potansiyeli dolayısıyla, solüsyona geçmiş haldeki toryum çabucak absorbe edilir veya hldrolizatlar halinde çökeler (1). Yeraltı suyunda çok az miktarda toryum, ancak koloidal ve organik anyon kompleksleri halinde taşınır. Toryumun mağmatik kayalardan çeşitli ortamlara taşınması, detritlik fazda olur. Mağmatik kayalardan aiterasyon sonucu açığa çıkan ve serbest kalan dayanıklı toryum minerallerinin (özellikle monazit) detritlik olarak taşınıp, uygun ortamlarda biriktirilmesi sonucu çeşitli plaser yatakları meydana gelir,

115 değişik mineralde uranyum bulunmakla birlikte bunlardan yaklaşık 80'inde uranyum esas bileşeni teşkil etmektedir. Ancak, bütün dünyada uranyum cevherlerinin büyük bir kısmını teşkil eden minerallerin sayısı çok az olup bellifaaşlıları şunlardır :

Uraninit	UO ₂
Peşblend	UO ₂ türü
KoTinit	U (Si, H ₄)O ₄
Brannerit	CU.Ca, Fe.Y.Thh Ti ₅ O ₄
Uranotorit	(Th.UJ 5iÜ4
Uranofan	Ca U ₂ O ₃ SiO ₂ .7 H ₂ O
Davidit	Karışım
Karnotit	Ka (UO ₂) ₂ (VQ ₄) ₂ .3H ₂ O
Tyuyamunit	Ca (UO ₂) ₂ (UQ ₄ h.nH ₂ O
Otunit	Ca (UQ ₂) ₂ (PQ ₄) ₂ .nH ₂ O
Torbernit	Cu

Toryum, 100 den fazla mineral içinde zirkonyum, hafniyum, uranyum ve nadir toprak metalleri ile birlikte bulunmaktadır. En Önemli toryum mineralleri ise şöyledir :

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

URANYUM VE TORYUM YATAKLARI!

Bilinen uranyum yatakları hakkındaki bilgiler, herhangi bir yeni arama programının temelini teşkil ederler. Bundan dolayı olumlu bir

araştırma prosesi, bilinen yatak tiplerinin temel tariflerini içermek zorundadır. Arama programları, bilinen uranyum yataklarının teorik ve ampirik modellerine göre düzenlenmek durumundadır. Zira arazi çalışmalarının tekniği, Hglli uranyum yatağının jeolojik yapısı ve tipi ile değişmektedir.

Uranyum arz kabuğunda istekle dolaşan çok hareketli bir elementtir ve jeolojik zamanlar boyunca değişik jeolojik proseslerle çeşitli boyut, tenor ve şekillerde çok sayıdaki jeolojik çevrede konsantre olmuştur. Bundan dolayı çeşitli yatakların jenezleri hakkındaki bilgilerimiz henüz tam anlamıyla mükemmel değildir. Ancak hernekadar herbir ayrı yatak bütün diğerlerinden ayrı karakterlerde ise de çoğu, çeşitli incelenebilir karakteristiklere dayanarak ve jenetik 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! kayaçlarda uranyum yataklar

1.1,1 — Uzan im! 1 (trend) yataklar: A.B.D. nin en büyük uranyum havzası olan New Mexico Grants uranyum bölgesinde bilinen büyük yatakların çoğu bu tiptir. Fluvial kumtaşı ve konglomeralar içinde oluşan bu yatakların çeşitli karakteristikleri şu şekildedir (5).

— Cevher adeseleleri mineralize uzanımlar boyunca gelişir. Bu mineralize uzanımlar birkaç km. genişlikte ve onlarca km. uzunluğunda olabilir, ; : !

— Cevher adeseleleri genellikle tabulerdır ve ana stratifikasyona paralelce bir şekilde yönelmişlerdir. Plan görünümü „olarak ise düzgün olmayan şekiller gösterirler.

— Tek tek cevher adeseleleri müşterek olarak, cevheri içeren kumtaşı veya konglomera gövdesinin uzun boyunca paralel olarak sıralanırlar ve tou paleodrenaj kalıbı cevher adeseleleri 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 siyah renkli ve genellikle karbonlu olan redüklenmiş kayalarda 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 kayalar çoğu jeolog tarafından altere olarak nitelendirilmektedir.

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

— Ana cevher minerali uraninit ve koflinit 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 çökelten ana derenin etkisiyle hareket etmiştir. Bu tür oluşumlarda, birbiri peşsıra gelen sıcak - kurak ve sıcak - nemli dönemlerden oluşan tropik bir iklimin etkisi, hem kumtaşlarının ana kayaktan 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 yüskek tenörlü (ortalama % 0,3-0,7 U_3O_8) adeselere kadar 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 alterasyonun kenarında yer alır ve bu alterasyon mineralize solüsyonlar tarafından oluşturulmuştur (6).

Altere olmamış kumlar genellikle gridir ve dissimine 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 kumlarının renklenmesine veya ağarmasına sebep olmuştur. Böylece altere olmuş kısmı çevreleyen altere olmamış kısımla, altere kısımları 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 istikametine takip ederler. Mineralizasyon sedimanların çökmesinden kısa bir süre sonrası meydana gelmiştir.

b — Tek fasiyesli roller : Bir diskondans altında yer alan ve yeknasak bir şekilde redüksiyon fasiyesine sahip kumtaşlarının içinde bulunurlar. Kesin bir şekilde epijenetik olup diskondans 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 koffmittir.

1.1.3 — 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 uzammlı 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 uzammlı 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.

1.1.4 — 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 Ömek 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 U₃O₈ ve % 0,05 ThO₂ dir. Burada toryum; monazit, brannerit ve uraninitin içindedir.

Witwatersrand'de uranyum; tabii altın, pirit, zirkon, kromit, iökksen 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 tukulit'e de rastlanır. Uranyum altının yan ürünü olarak elde edilmekle birlikte, sadece uranyum için işletilen kısımlarda mevcuttur.

1.2 Karbonatlı kayaçlarda uranyum yatakları

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

1.2.1 — 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.

1.2.2 — Erime hoşfukiandaki yataklar: Rusya —Özbekistan— Fergana «Tyuya—Muyun» da tyuyamunit ve diğer sekonder mineraller, paleozoik metamorfik kalkerleri İçindeki 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).

1,2,3 — Kölkret (caîcretö) «İpi yataklar ; 48 000 ton U₃O₈ den fazla uranyum oksit içeren uranyum yatakları Batı Avustralya'da Yeelirri'e-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'e-de karnotit kalkret içindeki çatlakları doldurur, boşlukların cidarlarını kabuksu bir yapı halinde kapatır. Karnotit içeren kalkretler dere kanallarındaki suyun alüvyona gömülüp kaybolduğu kısımlarda meydana gelir. Yeelirri'e-de İleri derecede alterasyonla ayrılmış granitler, karnotit çökmesi için gerekli uranyum ve potasyum için İdeal kaynak kayaç durumundadırlar.

1,3 — Linyitlerde, fosfatlı kayaçta da 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 tüfitlik kumtaşları örtmektedir, Kumtaşlarından yanan uranyumun linyitlerde tutulması sonucu, linyitler uranyumca epijenetik olarak zenginleşmişlerdir. Tenör 50-200 ppm arasında değişmektedir (7). Uranyum, linyitin organik teşkil edicileri ile birlikte bulunmaktadır. Linyitlerin tavamındaki 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, İdaho 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 U₃O₈ arasında değişmektedir. Bu denizel fosfatların doğu kısmında denizel olmayan okside formasyonlar yer almaktadır.

A.B.D. de güneybatı Wyoming'deki göl 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 Ordovislyen yaşlı denizel siyah şeyller 2,5-4 m. kalınlıkta uranyumlu yatay bir tabaka içerirler. Bu tabakadaki uranyum tenörü % 0,03 U₃O₈ olup tahmin edilen rezerv 1 milyon ton U₃O₈ 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, İki mineralli ve mikali karbonatlı kayaçlar da oldukça müsait yantaşlardır. Karbona ilâveten diğer redükleyciler pirit, markasit, ve çeşitli sülfürlerdir.

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

tardaki piritin yamsıra 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 kayaçları 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 uzammlı yataklarda olduğu gibi kritik bir rolü muhtemelen oynamış olabilir.

Rum Jungle-Alligator Rivers Province, Kuzey Avutrlaya : Bu bölge, toplam 450.000 ton U_3O_8 rezervli beş önemli yatağa sahiptir. Peşblend, karbonlu şeyller ve kloritlik slaytlardan oluşan Alt Proterozoik Golden Dyke Formasyonu'nu kateden kırık zonlarını doldurmaktadır. Damar boyutları çeşitli olup ortalama tenor bazan % 2 U_3O_8 in, üstüne çıkabilmektedir. Alt Proterozoik formasyonları, bir diskordansla Arkeen kristalin temelini örtmektedir. Kristalin temel kayaçlar 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 satırlularınca kazanılıp, uranyumca zengin bu suların kırık sistemlerinde aşağı doğru filtre olmaları esnasında redükleyici ortamlarda peşblend halinde çökeltmiştir (4).

Kuzey Saskatchewan Province, Kanada : Buradaki büyük ve yüksek tenörlü uranyum yatakları, Alt Proterozoik ve Arkeen yaşlı kayaçlar içindeki çatlak dolguları ile birlikte mineralize tektonik breşler ve damarlar halindedir. Uranyum yatakları; Beaverlodge, Cluff Lake, Rabbit Laka 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 jönezle 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 Yatağı'dır. Burada sekonder minerallerle birlikte uraninit ve betafit, intrüzlf slntektik alaskit içinde dissémine haldedir. Alaskit içindeki ortalama tenor % 0,035 U_3O_8 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_3O_8 civarındadır. Monazit de uranyum mineralleri ile birlikte bulunmaktadır ve U/Th oranı ortalama 10/1 dir.

Enteresan olmakla birlikte ekonomik olmayan diğer bir uranyumlu zuhur, Güney Grönland'daki llimaussağ nefelimli siyenit İntrüzyonudur. Küçük zonlar % 0,3 U_3O_8 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_2 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 İintrüzif Kayaçlar

Karbonatitlerde toryum içeriği genellikle yüksektir. Bazı karbonatit gövdeleri 50-300 ppm ThO₂ içermektedirler. Lokal konsantrasyonlarda tenor % 0,3 ThO₂ ye kadar çıkmaktadır. Karbonatitlerdeki toryum; bastnaesit, piroklor, monazit gibi nadir toprak minerallerindedir.

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

A.B.D. —Georgia'daki Elberton granitinde 6 — 58 ppm ThO₂ mevcuttur.

2 — Toryum Damarları

Toryum içeren 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 kristalle kalınlardan oluşan az metamorfik yantaşları kesen tektonik kırık ve ezik zonlarında yer almaktadır. Toryum içeren 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 yamsıra, mineralojik determinasyonla tayin edilen çok az miktarda rutil, galenit, sfalerit, kalkopirit, lökoksen, anatas ve apatit de yer yer mevcuttur. Ortalama tenor % 0.21 ThO₂ dir. Cevher yatağının ancak bir kısmı sondajlarla tetkik edilmesine rağmen, bu kısımda tesbit edilen rezerv 380.000 ton ThOs ve 4.000.000 ton 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 zonlardadır (11). En önemli toryum minerali torit olup monazit 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 yamsıra limonit ve hematite de sık sık rastlanılmaktadır. Damarların ThO₂ 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 zonlarda 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 çökeltilir.

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. Halen 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 YÖNTİMLİRİ

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 mineralerin 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 görüntü 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 yamsıra, 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 aşına olmalıdır. En önemlisi ise, başarılı bir araştırmacı, bilinen bu yatakların bazı karakteristiklerinden, kendine özgü yeni görüşlerle yararlanabilmelidir.

Minimum bir uranyum yöresi, yarıçapı 100 km. ilk bir alan içinde bulunan fizihil 2.000 ton veya daha fazla U_3O_8 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. nin 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 satıh göstergesi değildir ve sadece yataklanma için uygun bir ortamın var olduğunu gösteren iyi bir klavuzdur. Zira, beklenen yatak satıhta anomali ve mostra veremeyecek şekilde tamamen gömülü olabilir. Uranyum yatağını içeren kumtaşı yataya çok yakın konumludur (5 ile 8 derece) ve uranyumlu solüsyonlar gömülü cevher konsantrasyon zonuna kumtaşı içinden ve onu yıkayarak gelmişlerdir. Solüsyonların bu hareketi esnasında birçok kere uranyumun oksidasyonu - solüsyona geçmesi/taşınması/İndirgenmesi - çökmesi işlemleri tekrarlanmıştır. Böylece akifer ana kayada cevher mineralizasyonu için bir klavuz olabilecek 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 ardalanmış 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 tüf orijinli
- 4 — Uranyumun taşınması
 - a — Kumlasının relatif geçirgenliği
 - b — Uygun akifer şartları
- 5 — Kumlasında uranyumun çökmesi
 - a — pirit ve altere ürünlerin bulunuşu
 - k — Organik materyelin bulunuşu
- 1 — Emprenyasyon
- 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 etüdlere şekillenmiştir. Zira, radyometrik anomaliler yanıtıcı anomaliler olmadığı takdirde, mineralizasyonun direkt işareti durumu durumdur. Tesbit edilen radyometrik anomalinin kaynağının saptanıp, hem derinliğine hem de sathdaki mostra boyunca olan uzanımının ortaya çıkarılmasına yönelik etüdlere (gerektirir. Yapılacak etüdlere tektonikle ilgili çalışmaların çok büyük bir ağırlığı vardır. Fay ve kırık zonları, tektonik ezik zonları ve ayrıca intrüzif kontaktlar gibi jeolojik yapılar, uygun litolojik ortamlarda en elverişli cevherleşme yerleri durumundadır.

Diğer tip yataklarla ilgili arama çalışmaları da yine doğrudan etüdlere 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 etüdlere 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 km² den büyük bir sahada uygun potansiyel alanları seçmek için, literatür taramasının devamı halindeki ön çalışmaların birlikte, rejyonel anlamda; havadan radyometrik etüdüler, tanıma jeolojisi ve jeokimyasal etüdüler yapılır. Jeokimyasal etüdülerde; ağır mineral, göl ve dere sedimanı numunelerinin yanı sıra çeşitli su numuneleri km² ye 0,1 -1 numune düşecek şekilde alınır. Elde edilecek sonuçlara göre, önemli olmayan sahalara elenir (4).

3 — Tanıma safhası

Ön elemelerle 1.000-10.000 km² ye kadar indirilmiş ilginç olabilecek potansiyel sahalarda; fotojeolojik enterpretasyon, jeolojik haritalama, radyometrik ve jeokimyasal etüdüler sürdürülür. Bu safhada yapılan radyometrik etüdüler; havadan detay, yerden otoprospeksiyon ve yaya genel prospeksiyon şeklindedir,

Yerden radyometrik etüdülerde: yol ağları ve ulaşım olanakları bulunan kısımlar, otoproya yerleştirilen 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 lonlarına, damarlara, kontaklara dik profiller seçilmelidir (15). Bu tür bir yaya genel prospeksiyonda, itinerer aralıklarına bakılmadan, uranyum mineralizasyonu için ilginç olabilecek her türlü yer ve renklenme, mostralara açıkta görüldüğü kısımlarda tetkik edilir.

Jeokimyasal etüdülerde ise, km² ye 2-10 numune düşecek şekilde dere sedimanı, su ve toprak numuneleri alınır.

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

Bu safhada, diğer tip yatakların aramalarının aksine, kumtaşı tipi yataklar için, diğer etüdülerin ışığı altında, uranyum yataklarını içerebilecek kumtaşı akifer seviyelerini tesbit edebilmek amacıyla, S-10 km² ye bir sondaj düşecek şekilde geniş aralıklı istikşaf sondajları da yapılır (14). !

4 — Takip safhası

Önceki çalışmalarla büyüklüğü 5-50 km² ye düşürülen bir sahada, tesbit edilmiş anlam ifade eden anomaliler üzerinde; detay jeolojik haritalama ve prospeksiyon, yerden detay radyometrik prospeksiyon ve detay jeokimyasal etüdüler şeklinde çalışmalar sürdürülür. Jeokimyasal etüdüler daha ziyade toprak, toprak gazı (radon etüdü) ve kayaç numuneleri üzerindedir (C14).

Kumtaşı tipi uranyum yatakları için, uygun olabilecek yerlerde yaklaşık 1 km² ye bir sondaj düşecek şekilde sistematik arama sondajları yapılır. Sondajlardan alınan kompozit loğlar arasında korelasyonlar yapılarak, yeraltı jeolojisini ve cevherleşme olanaklarını yansıtan kesitler ve haritalar hazırlanıp, hedef sahalara tesbit edilir.

Diğer tip yataklarda ise; yerden detay radyometrik prospeksiyon, yarma, kuyu yapımı gibi hafriyat faaliyeti ile birlikte mineralojik ve petrografik etüdüler 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 ölçüler 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 etüdülerin 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 olabilmektedir. 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, İçerisinde uranyum mineralizasyonu saptanan masiflerin çevresindeki, Neojen veya benzeri çökellerde 1980 sonrası başlanmıştır. Yüzeyle 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 gölsel (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 Bati 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 U₃O₈ 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 ThO₂ rezervi saptanmıştır (8). Halen ülkemizde toryum aramalarına yönelik bir çalışma yapılmamaktadır.

Yayına verildiği tarih : 20.IX.1978

DEĞİNİLEN BELGELER

- CJ Fairbridge, R. W., 1972 , The Encyclopedia of Geochemistry and Environmental Sciences, New York.
- m Çetintürk, !.. 1978. M.T.Â. Rad. Min. ve Kömür Dairesi Enerji Serisi Konferansları «Uranyum», Ankara,
- [3] Miami International Conference on Alternative Energy Sources, 1977, Florida
- (4) Bailey, R. V.—Chidlers, 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 Jönezleri 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 Fakılı (Turquie) et sa formation «Formation of Uranium Ore Deposits», Vienna,