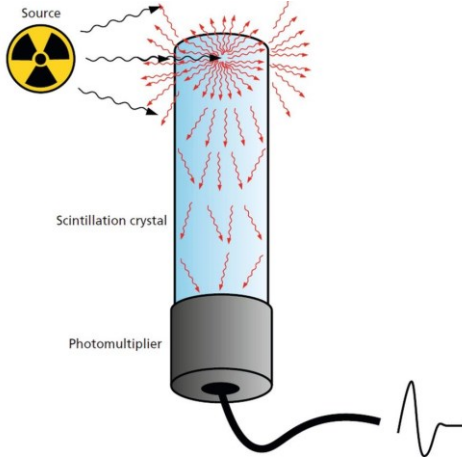


TÜRKİYE’de RADYASYON ALETLERİ YAPILIYOR VE DIŞARIYA DA SATILIYOR MU?

Uranyum aramalarından, uranyumun reaktörde kullanımına kadar neler yapılıyor?

Hazırlayan : Yüksel Atakan Dr. Radyasyon Fizikçis ybatakan4@gmail.com 07.06.2026
(YZ destekli bilgiler)



İlk incelediğimiz merkez, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi bünyesindeki Nükleer Radyasyon Dedektörleri Uygulama ve Araştırma Merkezi (NÜRDAM)'dir. Merkezin internet sitesinde bazı önemli bilgiler bulunuyor; ancak ilgili konuların bir bölümü kamuya açık değil.

1. Cihazlar %100 yerli mi?

NÜRDAM'ın tanıtımlarında "yerli üretim", "ilk yerli prototip" ve "çip formundaki NürFET dozimetreleri" ifadeleri kullanılıyor. **Ancak sitede kullanılan elektronik bileşenlerin, sensörlerin, yarı iletkenlerin veya özel malzemelerin tamamının Türkiye'de üretildiğine dair bir açıklama bulunmuyor.**

Radyasyon dedektörlerinde yaygın olarak kullanılan şu parçaların çoğu dünya genelinde sınırlı sayıda ülkede üretilmektedir:

- Silikon sensörler
- ASIC okuma çipleri
- Fotodedektörler (SiPM, PMT vb.)
- Yüksek saflıkta yarı iletken malzemeler
- Bazı özel elektronik bileşenler

Bu nedenle "Türkiye'de tasarlanmış ve monte edilmiş" olması ile "bütün parçaları yerli" olması farklı şeylerdir. Kamuya açık bilgilerden %100 yerli oldukları doğrulanamıyor.

2. CERN'e cihaz satıldı mı?

NÜRDAM'ın sitesinde "NÜRDAM Üniversitemizi CERN'e Güçlü Bağlarla Bağlıyor" ve "CERN iş birliği" ifadeleri yer alıyor. Ancak ilgili kaynaklarda CERN'e kaç adet cihaz satıldığı, hangi modelin satıldığı veya satış tutarı açıklanmamış.

CERN ile iş birliği yapılması mutlaka ticari satış anlamına gelmez. Şunlardan biri olabilir:

- Ortak araştırma projesi
- Dedektör geliştirme çalışması
- Test ve prototip üretimi
- CERN deneylerine parça katkısı
- Doğrudan ticari satış

Kamuya açık belgelerde hangisinin gerçekleştiği net belirtilmemiştir.

3. İhracat yapıyor mu?

Sitede ürünlerin satışa sunulduğu belirtiliyor; ancak hangi ülkelere ihraç edildiği, ihracat miktarı veya yıllık satış rakamları yayınlanmamış görünüyor.

4. Satış fiyatları nedir?

Ulaşılabilen kaynaklarda:

- NürFET dozimetrelerinin fiyat listesi yok.
- Gazlı alev dedektörlerinin fiyatı yok.
- CERN için geliştirilen dedektörlerin fiyatı yok.
- Ticari katalog veya teklif dosyası yok.

Bu tür bilimsel dedektörlerin fiyatları özelliklerine göre birkaç yüz avrodan on binlerce avroya kadar değişebilir; ancak NÜRDAM ürünleri için resmi fiyat açıklaması bulunamıyor.

Sonuç

Şu anda kamuya açık kaynaklardan kesin olarak söylenebilenler:

- ✓ NÜRDAM yerli radyasyon dedektörleri ve dozimetreler geliştiriyor.
- ✓ CERN ile çeşitli iş birlikleri yürütüyor.
- ✓ Bazı ürünlerini satışa sunduğunu duyuruyor.
- ✗ Cihazların %100 yerli parçalardan üretildiğine dair kanıt bulunmuyor.
- ✗ CERN'e kaç adet satıldığına dair veri bulamadım.
- ✗ İhracat miktarları açıklanmamış.
- ✗ Satış fiyatları kamuya açık değil.

TÜRKİYE'DE RADYASYON ALETLERİ YAPAN SATAN FİRMALARLA İLGİLİ BİLGİLER

Türkiye'de radyasyon ölçüm cihazları alanında faaliyet gösteren firmaları üç gruba ayırmak gerekir:

1. **Gerçek üreticiler (tasarım ve üretim yapanlar)**
2. **Yerli entegratörler (ithal bileşenlerle sistem kuranlar)**
3. **Distribütörler ve ithalatçılar**

1. Yerli üretim yapan firmalar

Aytan Technology

İstanbul merkezli firma kendisini radyasyon dedektörleri, dozimetreler ve gama spektrometreleri üreten bir Türk üreticisi olarak tanıtıyor. Ürünleri arasında:

- AT1121 ve AT1123 gama/X-ışını dozimetreleri
- AT6101DR saha gama spektrometresi
- Sintilasyon dedektörleri
- Çevresel radyasyon izleme sistemleri

bulunuyor. Firma ürünlerinin çevre, güvenlik, sağlık ve sanayi alanlarında kullanıldığını belirtiyor.

Tahmini fiyatlar

Bu sınıftaki cihazların uluslararası piyasadaki tipik fiyatları:

Cihaz

El tipi dozimetre

Profesyonel survey metre

Taşınabilir gama spektrometresi

Sabit çevresel izleme istasyonu

Firma kamuya açık fiyat yayınlamamaktadır.

NÜRDAM

Üniversite bünyesinde:

- NürFET dozimetreleri
- MOSFET tabanlı radyasyon sensörleri
- CERN projelerinde kullanılabilecek dedektör teknolojileri

geliştirilmektedir.

Ancak NÜRDAM daha çok Ar-Ge merkezidir; ticari üretim hacmi ve ihracat rakamları kamuya açık değildir.

NERO Industries

Savunma sanayine yönelik:

- Radyasyon ölçüm cihazları
- KBRN (Kimyasal, Biyolojik, Radyolojik, Nükleer) algılama sistemleri
- Araçlara entegre radyasyon algılama sistemleri

üretmektedir. Özellikle askeri araçlar ve sınır güvenliği uygulamalarına yönelik çözümler geliştirmektedir.

Bu sistemlerin fiyatları genellikle:

- 20.000 € ile
- birkaç yüz bin € arasında

değişmektedir.

2. Yerli sistem üreticileri

Picorad Medikal

Nükleer tıp alanında:

- Radyasyon ölçüm sistemleri
- Gama problemleri
- Kalibrasyon kaynakları
- Radyoaktif atık izleme sistemleri

sunmaktadır. Ancak ürünlerin önemli bölümü ithal teknolojiye dayanmaktadır.

MAdoors System

Araç ve konteynerler için:

- Gama ve nötron radyasyon portal sistemleri
- Gümrük ve limanlarda kullanılan radyasyon kapıları

üretmektedir.

Bu tip sistemlerin dünya piyasasında fiyatları:

- 50.000 €
- 500.000 €+

aralığında değişebilir.

3. Türkiye'de güçlü satıcı ve distribütörler

Epsilon Elektronik

Türkiye'de:

- ECOTEST
- Mirion
- Capintec
- IBA

gibi dünya markalarının temsilciliğini yapmaktadır.

Bunlar genellikle üretici değil, ithalatçı ve teknik servis sağlayıcıdır.

İhracat yapan Türk firmaları ?

Kesin olarak ihracat yaptığını duyuran firmalar arasında:

- [Aytan Technology](#)
- [NERO Industries](#)
- [MAdoors System](#)

öne çıkmaktadır. Özellikle savunma sanayine yönelik KBRN ve radyasyon tespit sistemlerinde ihracat faaliyetleri bulunmaktadır.

Türkiye'nin teknolojik seviyesi nedir?

Türkiye bugün:

- ✓ Geiger sayacı üretebiliyor.
- ✓ Dozimetre ve survey metre geliştirebiliyor.
- ✓ Sintilasyon dedektörleri geliştirebiliyor.
- ✓ KBRN araç sistemleri üretebiliyor.

⚠ Ancak yüksek saflıklı germanyum (HPGe) dedektörleri, gelişmiş yarı iletken sensörler ve bazı özel ASIC çipler hâlâ büyük ölçüde ABD, Almanya, Fransa, Japonya ve Kanada kaynaklıdır.

Bu nedenle "tamamen yerli" radyasyon ölçüm cihazı sayısı sınırlıdır; çoğu sistem yerli mühendislikle tasarlanmakla birlikte bazı kritik sensör ve elektronik bileşenleri ithal etmektedir.

Türkiye'deki radyasyon ölçüm teknolojilerini teknik seviyelerine göre değerlendirirsek ilginç bir tablo ortaya çıkıyor.

1. Basit Geiger Sayaçları ve Dozimetreler

Bunlar:

- Nükleer santraller
- Hastaneler
- Hurda metal tesisleri
- Gümrükler
- Üniversiteler

tarafından kullanılır.

Örnek cihazlar:

- DKG-02U Arbiter
- AT1121
- AT1123

Bu cihazlar gama ve X ışınlarını ölçer.

Tahmini fiyatlar

Cihaz türü	Dünya piyasası
Geiger sayacı	300–2.000 €
Profesyonel dozimetre	1.000–5.000 €
Endüstriyel survey metre	3.000–15.000 €

2. Gama Spektrometreleri

Bunlar sadece radyasyonu ölçmez.

Aynı zamanda:

- Cs-137
- Co-60
- I-131
- U-235
- U-238

gibi izotopları tanıyabilir.

Örnek:

- AT1321
- AT6101DR

Bu cihazlar sınır güvenliği, nükleer kaçakçılık ve uranyum aramalarında kullanılır.

Cihaz

Basit NaI(Tl) spektrometre

Profesyonel saha spektrometresi

Cihaz

Askerî tip sistemler

3. Portal Monitörler

TIR, konteyner ve trenlerin geçerken tarandığı sistemlerdir.

Türkiye'de:

- Limanlar
- Gümrükler
- Hurda metal tesisleri

kullanıyor.

Aytan'ın ürün portföyünde portal monitör sistemleri bulunuyor.

Fiyatlar

Sistem

Tek şerit portal

Çift şerit portal

Liman tipi büyük sistem

4. Türkiye'nin En İleri Yerli Teknolojisi: NürFET

Bolu'daki NÜRDAM tarafından geliştirildi.

Özelliği:

- Çip boyutunda
- Uzay radyasyonuna dayanıklı
- Uydulara takılabiliyor

TÜBİTAK UZAY ile yapılan çalışmalarda kullanılan sensörlerin yabancı ürünlerin yaklaşık 1/40 maliyetine üretilbildiği açıklanmıştı.

Bu teknoloji Türkiye'nin gerçekten özgün geliştirdiği az sayıdaki radyasyon sensörlerinden biridir.

5. Türkiye'nin Henüz Üretemediği En Kritik Sistemler

Burada durum değişiyor.

Dünyanın en gelişmiş radyasyon dedektörleri:

HPGe Dedektörleri

Yüksek Saflıkta Germanyum Dedektörleri

Üreticiler:

- Mirion Technologies
- Canberra
- ORTEC

Bu cihazlarla:

- atom bombası kalıntıları,
- çok düşük seviyeli uranyum,
- plütonyum,

tespit edilebil

Sistem

Laboratuvar HPGe

Düşük fon laboratuvar sistemi

Nükleer adli analiz sistemi

Türkiye'de bu seviyede seri üretim yapan firma bilinmiyor.

Türkiye'nin İhracat Potansiyeli

Şu anda ihracat yapabilen firmalar arasında:

- [Aytan Technology](#)
- [NERO Industries](#)

öne çıkıyor. Ancak kamuya açık kaynaklarda yıllık ihracat rakamları ve cihaz adetleri açıklanmamış durumda.

CERN Seviyesi Ne Durumda?

CERN'de kullanılan dedektörlerin çoğu:

- silikon piksel dedektörleri,
- strip dedektörler,
- gazlı dedektörler,
- yüksek hızlı okuma ASIC çipleri

içerir.

Türkiye bu projelere parça, sensör ve Ar-Ge katkıları verebiliyor; ancak bugün için CERN'in büyük deneylerinde kullanılan tüm dedektör sistemlerini baştan sona yerli olarak üretme kapasitesine sahip olduğu söylenemez.

Genel Değerlendirme

Teknik seviyeye göre sıralarsak:

1. ABD
2. Almanya
3. Fransa
4. Japonya
5. Kanada
6. Güney Kore
7. Çin
8. Türkiye

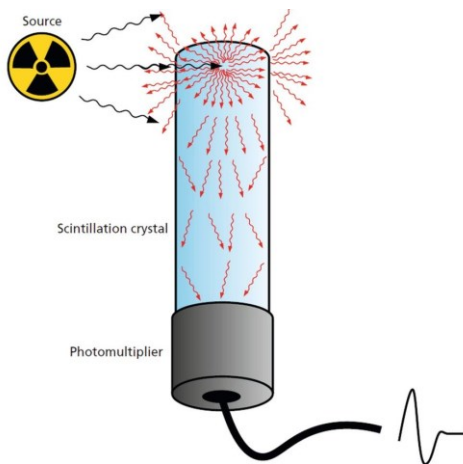
Türkiye;

- Geiger sayaçları,
- dozimetreler,
- portal monitörler,
- sintilasyon dedektörleri,
- bazı gama spektrometreleri,
- uzay radyasyon sensörleri

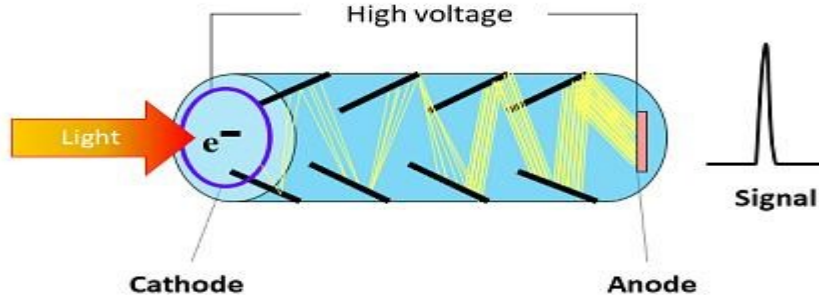
geliştirebilen bir ülke konumundadır. Ancak en gelişmiş HPGe dedektörler, kriyojenik sistemler ve ileri yarıiletken radyasyon sensörlerinde hâlâ dışa bağımlılık bulunmaktadır.

Radyasyon dedektörlerinde "yerlilik oranı" konusu, cihazın dış görünüşünden çok içindeki kritik bileşenlere bağlıdır. Türkiye'nin bugün geldiği seviyeyi anlamak için bir gama spektrometresinin veya radyasyon dedektörünün içini açıp bakmak gerekir.

Bir radyasyon dedektörünün içindeki ana parçalar



Photomultiplier Tube (PMT)



Temel olarak 5 ana

bölüm vardır:

1. Sensör (dedektör)
2. Ön yükselteç elektronığı
3. Sayısal işleme elektronığı
4. Yazılım
5. Mekanik gövde

Türkiye'nin en güçlü olduğu alanlar 3, 4 ve 5'tir.

En zor parça: Dedektör sensörü

Bir radyasyon cihazının değerinin çoğu sensörden gelir.

Geiger-Müller tüpleri

Basit Geiger sayaçlarında kullanılır.

- Rusya
- Ukrayna
- ABD
- Çin

üreticileri hâkimdir.

Türkiye'de seri Geiger tüp üretimi yaygın değildir.

Sintilasyon kristalleri

Gama spektrometrelerinde kullanılır.

Başlıca türler:

- NaI(Tl)
- CsI(Tl)
- LaBr₃
- BGO

Bu kristallerin üretimi yüksek saflık gerektirir.

Başlıca üreticiler:

- ABD
- Fransa
- Japonya
- Çin

Türkiye'de bu kristallerin büyük ölçekli ticari üretimi bilinmemektedir.

Dolayısıyla Türkiye'de üretilen birçok spektrometrede kristal ithal olabilir.

NÜRDAM'ın farklı olduğu nokta

NÜRDAM yalnızca cihaz montajı yapmıyor.

MOSFET tabanlı yarıiletken radyasyon sensörleri geliştiriyor. NürFET adı verilen sensörler temiz oda ortamında silisyum tabanlı olarak üretiliyor. Bu sensörler daha sonra dozimetre ve uzay radyasyon ölçüm sistemlerinde kullanılabiliyor. TÜBİTAK UZAY projelerinde de kullanımları planlanmış ve yer testlerinden başarıyla geçtiği açıklanmıştır.

Bu nedenle NÜRDAM, Türkiye'de gerçekten "sensör teknolojisi geliştiren" az sayıdaki merkezden biridir.

HPGe dedektörleri neden çok zor?





HPGe (High Purity Germanium) dedektörleri:

- uranyum analizinde,
- plütonyum tespitinde,
- nükleer adli çalışmalarda,
- çevresel radyasyon ölçümlerinde

altın standart kabul edilir.

Bu cihazlarda:

- %99,99999999 saflıkta germanyum,
- özel kristal büyütme,
- kriyojenik soğutma,
- ultra düşük gürültülü elektronikler

gerekir.

Bu nedenle dünyada yalnızca sınırlı sayıda firma üretebilmektedir.

Türkiye'de kamuya açık bilgilere göre ticari HPGe dedektör üretimi bulunmamaktadır.

Türkiye'nin en güçlü olduğu alanlar

1. Elektronik tasarım

Bugün ASELSAN, TÜBİTAK ve üniversitelerde:

- FPGA kartları,
- veri toplama sistemleri,
- sayısal sinyal işleme sistemleri,

tasarlanabiliyor.

2. Yazılım

Spektrum analizi yazılımları,
izotop tanıma algoritmaları,
alarm sistemleri

tamamen yerli geliştirilebiliyor.

3. Savunma uygulamaları

Kimyasal-Biyolojik-Radyolojik-Nükleer (KBRN) sistemlerinde Türkiye önemli ilerleme kaydetti.

Türkiye'nin önündeki en büyük engel

Aslında elektronik değil, malzeme teknolojisidir.

Özellikle:

- yüksek saflıkta germanyum,
- sintilasyon kristalleri,
- silikon wafer üretimi,
- özel ASIC çipleri

çok yüksek yatırım gerektirir.

Bu nedenle bugün Türkiye'de üretilen birçok cihazın:

- gövdesi yerli,
- yazılımı yerli,
- elektroniği büyük ölçüde yerli,

olsa da sensör kısmında dış kaynak kullanımı görülebilir.

Teknik değerlendirme

Türkiye'nin radyasyon teknolojisi seviyesini üç basamakta özetlenirse:

Başarılmış olanlar

- ✓ Geiger sayaçları
- ✓ Dozimetreler
- ✓ Taşınabilir radyasyon monitörleri

- ✓ Portal monitörler
- ✓ MOSFET tabanlı radyasyon sensörleri
- ✓ Uydu radyasyon sensörleri (NürFET)

Kısmen başarılmış olanlar

- ⚠ Gama spektrometreleri
- ⚠ Sintilasyon dedektörleri
- ⚠ Askerî KBRN sistemleri

Hâlâ dışa bağımlı olunan alanlar

- ✗ HPGe dedektörleri
- ✗ Gelişmiş parçacık fiziği dedektörleri
- ✗ CERN seviyesinde büyük ölçekli silikon piksel dedektör üretimi
- ✗ Özel radyasyona dayanıklı ASIC çipler

Buna rağmen, 20 yıl önce Türkiye neredeyse tamamen ithalatçı konumdayken bugün sensör geliştirebilen, uydu radyasyon ölçüm modülleri üretebilen ve bazı dedektör teknolojilerinde ihracat yapabilen bir noktaya gelmiştir. NÜRDAM'ın geliştirdiği NürFET teknolojisi bu açıdan dikkat çekici örneklerden biridir.

Uranyum aramasında kullanılan başlıca cihazlar

Uranyum aramalarında kullanılan radyasyon cihazları, sıradan Geiger sayaçlarından çok daha gelişmiş sistemlerdir. MTA'nın geçmişte yürüttüğü uranyum aramalarında hem havadan gama spektrometrisi hem de yerden radyometrik ölçümler yapılmıştır. Örneğin MTA'nın Orta Anadolu uranyum arama projesinde Cessna 402B uçağına monte edilmiş 256 kanallı ve 33,5 litre kristal hacimli gama spektrometre kullanılmıştır.

1. El tipi radyometreler



Jeologların sahada taşıdığı cihazlardır.

Ölçtükleri:

- Toplam gama radyasyonu
- Doz hızı
- Anormal radyasyon bölgeleri

Tipik algılama mesafesi birkaç metreyi geçmez.

Kullanım amacı:

- Kayalık yüzeyleri taramak
- Eski maden galerilerini incelemek
- Sondaj noktalarını seçmek

Yaklaşık fiyatları:

- 2.000–15.000 € aralığı

2. Taşınabilir gama spektrometreleri

Bunlar uranyum aramalarının en önemli saha cihazlarıdır.

Örneğin AT1321 tipi cihazlar sadece radyasyon seviyesini ölçmez, aynı zamanda radyonüklid tanımlaması yapabilir. GPS ile ölçüm noktalarını kaydedebilir ve spektrum analizi gerçekleştirebilir.

Bu cihazlarla:

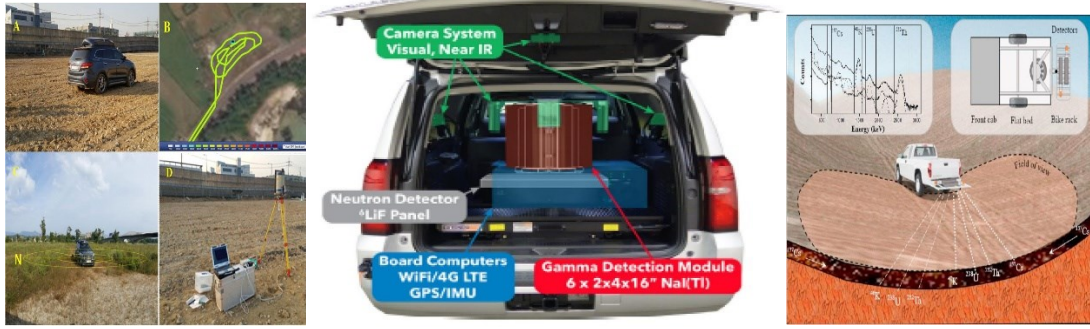
- Potasyum (K)
- Uranyum (U)
- Toryum (Th)

ayrıştırılabilir.

Fiyat aralığı:

- 15.000–80.000 €

3. Araç üstü sistemler



Arazi araçlarına monte edilir.

Avantajları:

- Günde yüzlerce kilometre tarama
- GPS ile haritalama
- Sürekli veri toplama

Maden şirketleri büyük alanları önce bu sistemlerle tarar.

Fiyat:

- 50.000–250.000 €+

4. Havadan gama spektrometrisi

Bu yöntem Türkiye'de MTA tarafından uzun yıllardır kullanılmaktadır. Uçak veya helikopter üzerine yerleştirilen büyük hacimli NaI(Tl) kristalleriyle yüzeyden gelen doğal gama ışınları ölçülür. Potasyum, uranyum ve toryum dağılım haritaları oluşturulur.

Bu sistemlerde:

- Çok büyük kristal hacimleri
- GPS
- Ataletsel navigasyon
- Veri işleme merkezleri

kullanılır.

Modern bir havadan gama spektrometri sistemi:

- 500.000 €
- birkaç milyon €

arasında maliyete ulaşabilir.

Uranyum bulununca ne yapılır?

Sadece yüksek radyasyon görmek yeterli değildir.

Örneğin:

- Granitler
- Bazı volkanik kayalar
- Toryum içeren bölgeler

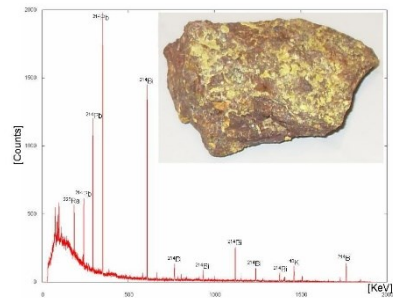
de yüksek radyasyon verebilir.

Bu nedenle süreç şöyledir:

1. Havadan tarama
2. Araçlı tarama
3. El tipi spektrometre ölçümleri
4. Numune alma
5. Laboratuvar analizi
6. Sondaj

En güvenilir analiz yöntemi

Bir yataкта gerçekten ekonomik uranyum olup olmadığını belirlemek için genellikle laboratuvar tipi HPGe dedektörleri kullanılır.



Bu sistemler:

- U-235
- U-238
- Ra-226
- Th-232

gibi izotopları çok duyarlı biçimde ayırabilir. Nükleer adli analizlerde ve uranyum karakterizasyonunda da yaygın olarak kullanılır.

Türkiye'nin durumu

Türkiye bugün:

- ✓ El tipi radyasyon ölçerleri kullanabiliyor ve bazılarını üretebiliyor.
- ✓ Araç üstü radyometrik sistemler kurabiliyor.
- ✓ Uranyum aramalarında gama spektrometrisi uygulayabiliyor.
- ✓ Havadan radyometrik haritalama yapabiliyor.

Ancak:

- ✗ Büyük hacimli sintilasyon kristalleri,
- ✗ HPGe dedektör kristalleri,
- ✗ En gelişmiş radyasyon sensörlerinin bir kısmı,

halen büyük ölçüde yurtdışından gelmektedir.

Buna rağmen uranyum arama teknolojisi açısından Türkiye, maden aramacılığı yapan orta-üst düzey ülkeler arasında sayılabilir ve özellikle MTA'nın son yıllardaki çalışmalarıyla yeni uranyum kaynaklarının belirlenmesine yönelik kapasitesi önemli ölçüde gelişmiştir.

Somali veya Türkiye'de bir uranyum yatağının keşfinden başlayıp nükleer yakıt dönüşmesine kadar geçen tüm teknik süreci (cevher → sarı pasta → zenginleştirme → yakıt çubuğu) ayrıntıları:

Uranyumun bir madenden çıkarılmasından bir nükleer santralde elektrik üretmesine kadar geçen süreç, aslında çok uzun ve yüksek teknoloji gerektiren bir sanayi zinciridir. Buna **nükleer yakıt çevrimi (nuclear fuel cycle)** denir.

1. Cevher (Uranium Ore)

Örneğin bir yatakta:

- 1 ton kaya içinde
- %0,1 uranyum

olsun.

Bu durumda 1 ton kayada yaklaşık 1 kg uranyum bulunur.

Önce cevher çıkarılır, kırılır ve kimyasal işlemlerden geçirilir.

2. Sarı Pasta (Yellowcake)

Cevher işlendikten sonra geriye çoğunlukla U_3O_8 bileşiği kalır.



Buna "yellowcake" (sarı pasta) denir.

Bu aşamada ürün artık taş veya kaya değil, uranyum konsantresidir. Dünyada uranyum ticaretinin önemli kısmı bu formda yapılır.

3. Dönüştürme (Conversion)

Sarı pasta doğrudan reaktöre konulamaz.

Önce kimyasal olarak:



(uranyum hekzaflorür) gazına dönüştürülür.

Çünkü izotop ayırma işlemi gaz halinde yapılır.

4. Zenginleştirme (Enrichment)

Doğal uranyumun bileşimi yaklaşık olarak:

- %99,3 U-238
- %0,7 U-235

şeklindedir.

Çoğu elektrik üretim reaktörü ise yaklaşık %3–5 U-235 içeren yakıt ister.

Bu nedenle binlerce santrifüj kullanılarak U-235 oranı yükseltilir.

Örneğin:

- Doğal uranyum: %0,7 U-235
- Reaktör yakıtı: %4,5 U-235

Neden kritik aşama budur?

Çünkü aynı teknoloji daha ileri götürülürse:

- %20 zenginleştirilmiş uranyum
- %60 zenginleştirilmiş uranyum
- %90+ zenginleştirilmiş uranyum

elde edilebilir. Bunun da atom bombasında kullanılma olasılığı vardır.

Bu nedenle zenginleştirme tesisleri uluslararası denetime tabidir.

5. Yakıt Peletleri

Zenginleştirilmiş uranyum daha sonra tekrar oksit haline çevrilir:



Bu toz:

- preslenir,
- fırınlanır,
- seramik peletlere dönüştürülür.

Bir pelet yaklaşık bir parmak ucu büyüklüğündedir.

6. Yakıt Çubukları

Peletler yaklaşık 4 metre uzunluğundaki zirkonyum alaşımlı tüplere doldurulur.

Bu tüplere:

Yakıt çubuğu (fuel rod)

denir.

Yüzlerce yakıt çubuğu bir araya getirilerek:

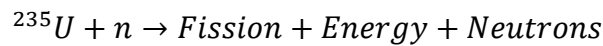
Yakıt demeti (fuel assembly)

oluşturulur.

7. Reaktörde Elektrik Üretimi

Yakıt demetleri reaktör çekirdeğine yerleştirilir.

U-235 atomları nötronlarla parçalanır:



Bunun sonucunda:

- ısı enerjisi,
- yeni nötronlar,
- fisyon ürünleri

oluşur.

Isı enerjisi suyu buhara çevirir.

Buhar türbini döndürür.

Türbin jeneratörü döndürür ve elektrik üretilir.

8. Kullanılmış Yakıt

Yaklaşık 3–6 yıl sonra yakıtın verimi düşer.

Reaktörden çıkarılır.

Buna:

Kullanılmış yakıt (spent fuel)

denir.

Bu yakıt hâlâ yüksek derecede radyoaktiftir.

İlk yıllarda su havuzlarında soğutulur.

9. Yeniden İşleme (Bazı Ülkelerde)

Bazı ülkeler kullanılmış yakıttan:

- kalan uranyumu,
- oluşan plütonyumu

geri kazanır.

Bunlar yeniden yakıt üretiminde kullanılabilir.

Somali Örneğiyle Basit Hesap

Daha önceki konu olan 10.800 ton cevher örneğinde:

Sonuç tamamen cevher tenörüne bağlıdır.

Örneğin:

- %0,1 uranyum içeriyorsa $\approx 10,8$ ton uranyum
- %1 uranyum içeriyorsa ≈ 108 ton uranyum
- %5 uranyum içeriyorsa ≈ 540 ton uranyum

elde edilir.

Bu nedenle "10.800 ton uranyum cevheri" demek tek başına yeterli değildir; en önemli bilgi uranyum yüzdesidir.

Türkiye bu zincirin hangi aşamalarında var?

Türkiye bugün:

- ✅ Uranyum arayabiliyor.
- ✅ Cevher analizleri yapabiliyor.
- ✅ Radyasyon ölçüm cihazları geliştirebiliyor.
- ✅ Yakıt teknolojileri üzerinde araştırma yapabiliyor.

Ancak kamuya açık bilgilere göre:

- ❌ Ticari ölçekte uranyum zenginleştirme tesisi yok.
- ❌ Ticari nükleer yakıt üretim tesisi yok.
- ❌ Büyük ölçekli yakıt çubuğu fabrikası yok.

Bu nedenle Türkiye'nin bir uranyum yatağı bulması ile o uranyumdan yerli nükleer yakıt üretmesi arasında hâlâ çok büyük bir teknolojik ve endüstriyel mesafe bulunmaktadır.

.....

Kaynaklar/YZ/

World Nuclear Association – Nuclear Fuel Cycle Overview
U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC) – Stages of the Nuclear Fuel Cycle
U.S. Department of Energy (DOE) – Nuclear Fuel Cycle
MTA yayınları ve radyometrik haritalama raporları
TÜBİTAK Bilim Genç – Yerli radyasyon sensörleri
NÜRDAM proje ve tanıtım dokümanları
Aytan Technology ürün bilgileri
NERO Industries KBRN sistemleri dokümanları