

TÜRKİYE ATOM ENERJİSİ KURUMU
ÇEKMECE NÜKLEER ARAŞTIRMA VE EĞİTİM MERKEZİ

Ç.N.A.E.M. A.R- 270

14.6 MeV NÖTRONLARLA ÇOK-ELEMENTLİ MALZEME ANALİZİ (I)¹

**A.Ercan , N.Erduran , M.Bostan , E.Gültekin
G.Tarcan , M.Subaşı , A.Baykal**

FİZİK BÖLÜMÜ

Aralık 1989

P. K. 1, Hava Alanı, İstanbul



TÜRKİYE ATOM ENERJİSİ KURUMU
ÇEKMECE NÜKLEER ARAŞTIRMA VE EĞİTİM MERKEZİ

Ç.N.A.E.M. A.R- 270

14.6 MeV NÖTRONLARLA ÇOK-ELEMENTLİ MALZEME ANALİZİ (I)*

**A.Ercan , N.Erduran , M.Bostan , E.Gültekin
G.Tarcan , M.Subaşı , A.Baykal**

FİZİK BÖLÜMÜ

Aralık 1989

P. K. 1, Hava Alanı, İstanbul

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
1. GİRİŞ	1
2. AKTİVASYON MATRİS FORMALİZMİ....	1
3. NÖTRON TEPKİLEŞİM KESİTLERİNİN ÖLÇÜMÜ	3
4. AKTİVASYON MATRİS YÖNTEMİNİN BİR UYGULAMASI.....	3
5. KAYNAKLAR	4
TABLolar	5
ŞEKİLLER	6

14.6 MeV NÖTRONLARLA ÇOK-ELEMENTLİ MALZEME ANALİZİ (I)*

Ali ERCAN, Nizamettin ERDURAN, Melih BOSTAN, Ergun GÜLTEKİN,
Gökçe TARCAN, Metin SUBAŞI, Adnan BAYKAL
Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi
Fizik Bölümü PK. 1, 34831 Havaalanı-Istanbul

Özet

Nötron akısı düşük üreteçlerin ekonomik bir şekilde kullanılmasını sağlayan "Tek Işınlama-Tek Sayım" yöntemiyle, analizi istenen malzeme içindeki bir çok elementin aynı sipekturum içinde belirlenebilmesi, "Aktivasyon Matris Formalizmiyle" mümkündür. Bu çalışmada, özellikle reaktör nötronlarıyla belirlenmesi zor olan elementlerden, Tarım bilimlerinde önemi olan Na, Mg, Al, Si, P, K, gurubunun aktivasyon matris elementlerine gerekli (n,p) , (n,α) , $(n,2n)$ hızlı nötron tepkileşim kesitleri ölçülmüş ve bu tekniğin bir uygulaması olarak da yerel bir örneğin çok-element analizi gerçekleştirilmiştir.

Abstract

Economical use of a Neutron Generator with low neutron output can be achieved by employing "Single Irradiation-Single Counting" technique. Effective and accurate multi-element analysis utilizing this technique may only be possible by means of the "Activation Matrix Formalism". In this work, (n,p) , (n,α) , $(n,2n)$ neutron activation cross-sections needed to build the activation matrix for the elements Na,Mg,Al,Si,P,K were measured and applying the technique developed, a local sample was analyzed.

* Bu çalışma International Atomic Energy Agency tarafından TUR-5670 Araştırma Projesi çerçevesinde desteklenmektedir ve III. Ulusal Nükleer Bilimler Kongresinde (İstanbul 1989) bildiri olarak sunulmuştur.

1. GİRİŞ

Atom numaraları ardışık bir dizi elementin yer aldığı bir örnek hızlı nötronlarla ısınladığında, değişik tepkileşim kanallarının açık olması dolayısıyla, gama çizgilerinde girişimler gözlenir. Alınan sipekturumların değerlendirilmesi, diğer bir deyişle örnek içindeki element derişimlerinin güvenilir bir şekilde belirlenmesi, bu elementlerin nötron aktivasyon datasının daha önceden doğru ve duyarlı bir şekilde ölçülmüş olmasına bağlıdır. Hızlı nötron aktivasyonuyla malzeme analizinde, örnek ısınlama, bekleme ve sayım süreleri, genelde örnek içinde belirlenmesi istenilen elementin varlığını gösteren radyo-izotopun yarılanma ömrüne göre seçilmek istenir. Böylece gama girişimleri büyük ölçüde önlenerek, analizi kolay bir sipekturum elde edilmiş olur. Bu şekilde yapılan tekil analizlerin nötron üreten hedeflerin kullanımı açısından ekonomik olmadıkları açıktır. Buna karşın, "Tek ısınlama-Tek Sayım" yöntemiyle bir örnek içindeki bir çok elementin aynı sipekturum içinde belirlenmesi, nötron akısı düşük üreteçlerin daha verimli bir şekilde kullanılmasını sağladığı gibi uzun analiz sürelerini gerektirmez. Bu yöntemin uygulamada ne derece başarılı olduğunu göstermek amacıyla, özellikle tarım alanında önemi olan, Na,Mg,Al,Si,P,K elementlerinin hızlı nötron tepkileşim kesitlerinin ölçüldüğü bu çalışmada bir toprak örneğinin çok-element analizi gerçekleştirilmiştir.

2. AKTİVASYON MATRİS FORMALİZMİ.

Tek-enerjili nötronlarla ısınlanan bir örnek içindeki belli bir elementin belli bir izotopunun nötronlarla tepkileşimi sonunda yönsemez olarak yayılacak belli enerjideki gamaların ölü-zaman ve darbe yığılım düzeltmeleri yapılmış bir sipekturumda oluşturacakları Tüm Enerji Tepesindeki (TET) net sayım

$$P = C.m = G.C.h. (N/A) . \xi . \sigma . (1 - \exp(-\lambda . t_1) . \exp(-\lambda . t_b) . ((1 - \exp(-\lambda . t_s)) / \lambda) . f . \Omega . \epsilon \quad (1)$$

dır. Burada ;

G : Işınlanan örnek ağırlığı [g]

C : Örnek içindeki ilgili elementin derişimi

h : Tepkileşime giren izotopun element içindeki doğal bol-
luğu

A : Elementin atom ağırlığı [g/mol]

N : Avogadro sayısı [6.022×10^{23} /mol]

Φ : Işınlama süresince örnek üzerine düşen etkin nötron
akısı = Ortalama akı / Düzeltme faktörü [1] [n/s.cm²]

σ : Tepkileşim kesiti [cm²]

λ : Ürün çekirdeğin bozunum sabiti. [1/s]

t_i : Işınlama süresi

t_b : Bekleme süresi

t_s : Sayım süresi

f : Gama relatif şiddeti.

Ω : Sayım katıaçısı [2]

ϵ : Fotonlar için dedektör sisteminin TET verimidir.

Değişik tepkileşim kanallarının girişimleri sonunda sipektu-
rumdaki herhangi bir TET alanı (1) eşitliğinden

$$P_i = \sum_{j=1}^n m_{ij} C_j \quad (2)$$

şeklinde yazılabilir. Burada n kanal sayısı, C_j j-inci elemen-
tin derişimi, m_{ij} ise j-inci elementin i tepesine katkısını be-
lirleyen "Aktivasyon Matris Elementidir". Bu ifadeyle verilen
eşitlikler sistemini vektörel yazarak

$$\underline{P} = \underline{M} \cdot \underline{C} \quad (3)$$

şekline indirgeyebiliriz. Bu denklem sisteminin çözümü, M nin
tersi alınabilir bir matris olması halinde,

$$\underline{C} = \underline{M}^{-1} \cdot \underline{P} \quad (4)$$

dir. (1) eşitliğinden görüldüğü gibi m_{ij} matris elementinin
belirlenmesi için deneye özgü faktörlerin yanısıra tepkileşim
kesitlerinin de bilinmesi gerekir.

3. NÖTRON TEPKİLEŞİM KESİTLERİNİN ÖLÇÜMÜ.

Na, Mg, Al, Si, P ve K elementlerin tepkileşim kesitlerinin ölçümlerinde bu elementlerin 0.95-0.99 saflıktaki kimyasal bileşik-leri kullanılmıştır. 13 mm çapında 8 mm derinliğinde silindir şeklinde polietilen kutular içindeki örnekler, ışınlama yerine havalı bir taşıma sistemi ile gönderilmiş ve gözönüne alınan tepkileşim kanalı için en uygun ışınlama süresince (3-15 dakika), 14.6 (1) MeV lik nötronlarla [3] ışınlanmışlardır. Işınlama yerindeki nötron akısı, kalibrasyonu daha önceden yapılmış olan [1] bir BF₃ uzun-sayıcı ile izlenmiştir. Işınlama yerindeki ~ 10⁸ n/cm².s mertebesinde olan nötron akısının etkin değeri, Çok Kanallı Tarama (ÇKT) ünitesiyle BF₃' lü monitörden alınan sayımlarla düzeltilerek bulunmuştur. Gama ölçümleri, kurşun bir korunak içinde, TET-verimi daha önceden belirlenmiş [2] bir B2cc HPGe dedektörüyle yapılmıştır. Şekil 1. de bu dedektörün TET-verim eğrisi gösterilmektedir. Alınan gama sayımlarından (1) eşitliği aracılığıyla hesaplanan tepkileşim kesitleri Tablo 1. de verilmiştir. Bu tabloda aynı zamanda gama enerjileri ve girişim yapan tepkileşim kanalları da gösterilmektedir.

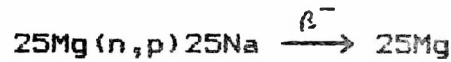
4. AKTİVASYON MATRİS YÖNTEMİNİN BİR UYGULAMASI

ÇNAEM çevresinden alınan 1.46 g ağırlığında bir toprak örneği 15 dakika süreyle 7×10^7 n/s.cm² lik bir nötron akısıyla ışınlanmış, 21.6 s bekletildikten sonra 4710 s süreyle gama sayımı alınmıştır. Sayım süresince sistemin ölü-zamanı ~ % 1 civarında kalmıştır. Şekil 2. de, alınan gama sipekturunda ilgili gama tepelerinin bulunduğu bölgeler gösterilmektedir. Gama enerjileri ve "Aktivasyon Matris Elementleri" Tablo 2. de gösterilmiştir. (4) eşitliğinin çözümünden bulunan element derişimleri şunlardır:

Element	Derişim (mg/g)
Na	10 (2)
Mg	12 (1)
Al	71 (7)
Si	300 (30)
P	34 (3)

Derişimleri çok düşük olan elementlerin bile yeterli duyarlılıkla belirlendikleri görölmektedir.

Sekil 2. deki sipekturum incelendiğinde:



tepkileşimi sonucu beklenen 975 keV gama çizgisi sipekturumda görölmemektedir. Bu durumda Mg belirlenmesi sadece 1369 keV gama çizgisinden çıkarılabilir ki, o da ancak Mg yakınındaki diğer elementlerin derişimlerinin bilinmesiyle, diğer bir deyimle, grup elementleri için Aktivasyon Matris Formalizminin uygulanmasıyla mümkün olmuştur.

Gerekli kimyasal maddelerin sağlanmasında yardımcı olan Dr.Y. Erkol'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR :

- [1] M. Subaşı, N. Erduran, G. Tarcan, Y. Özbir, A. Baykal, E. Gültekin ve A. Ercan ÇNAEM-AR-249 (1988)
- [2] A. Ercan, M. Bostan, E. Gültekin ve N. Erduran, II. Balkan Aktivasyon Analizi ve Nükleer Analitik Teknikler (Bled-Yugoslavya, 4-6 Ekim 1989) kongresinde bildiri olarak sunulmuştur.
- [3] N. Erduran, M. Subaşı, M. Bostan, S. Dökmen, H. Atasoy, C.Özbaylı ve A. Ercan ÇNAEM-AR-252 (1988)

Tablo 1: Toprakta bulunan esas elementlerin hızlı nötronlarla ısınlaması halinde çıkan gamalar, bu gamalarda girişim yapan tepkileşim kanalları ve aynı kanallara ait tepkileşim kesitleri (mbarn).

E keV	ELEMENTLER				
	P	Si	Al	Mg	Na
1273	-	$^{29}\text{Si}(n,p)$ 135(4)	-	-	-
1779	$^{31}\text{P}(n,\alpha)$ 140(11)	$^{28}\text{Si}(n,p)$ 230(23)	$^{27}\text{Al}(n,\gamma)$ 0.43(8)	-	-
844	-	$^{30}\text{Si}(n,\alpha)$ 62(6)	$^{27}\text{Al}(n,p)$ 66(3)	-	-
1369	-	-	$^{27}\text{Al}(n,\alpha)$ 111(5)	$^{24}\text{Mg}(n,p)$ 170(17)	-
440	-	-	-	$^{26}\text{Mg}(n,\alpha)$ 56(5)	$^{23}\text{Na}(n,p)$ 41(8)

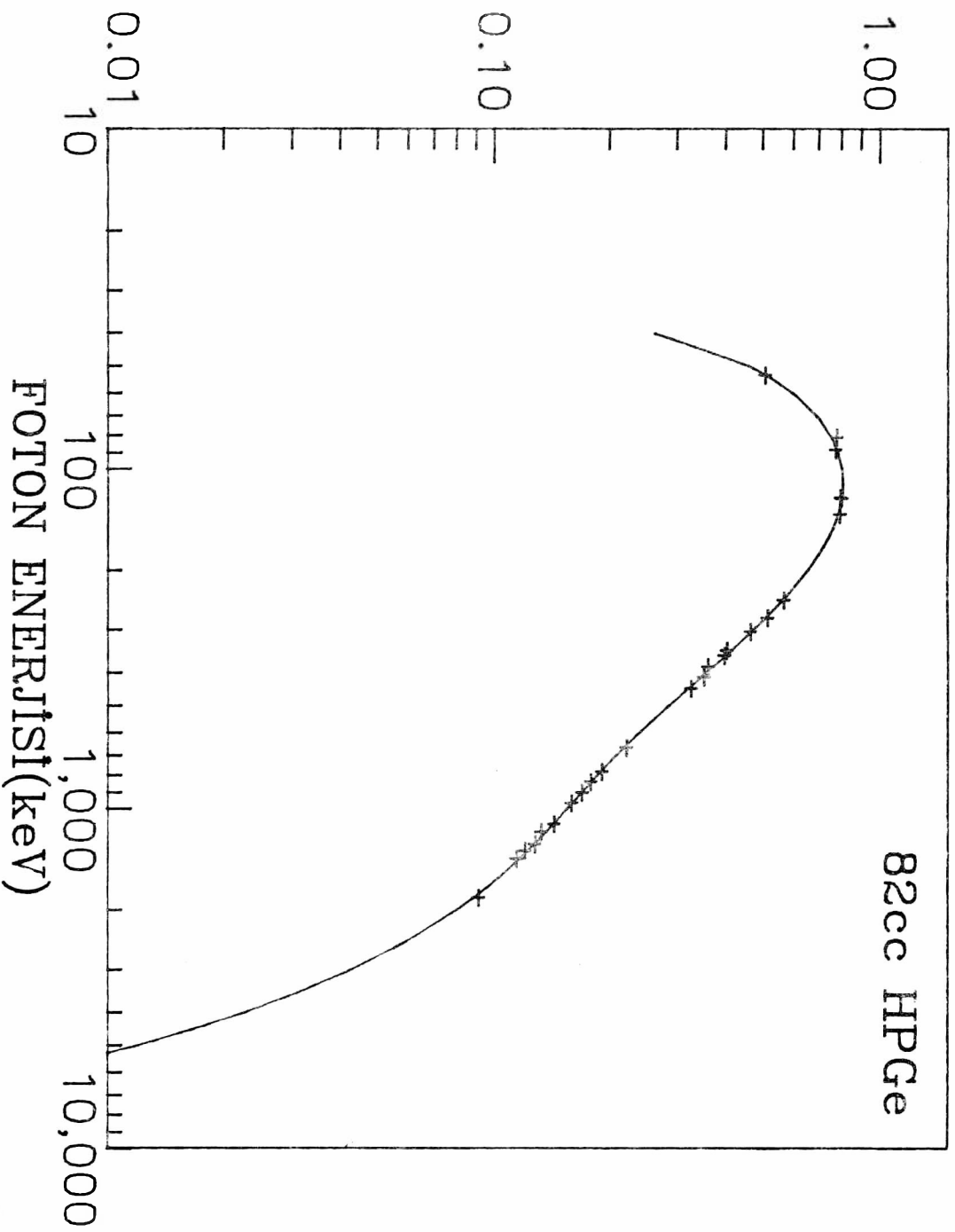
Tablo 2: Na,Mg,Al,Si,P Elementler gurubu için indirgenmiş 14.6 MeV Nötron Aktivasyon Matris Elementleri

$$m \times 10^4 / G. \bar{\sigma} \text{ (**)}$$

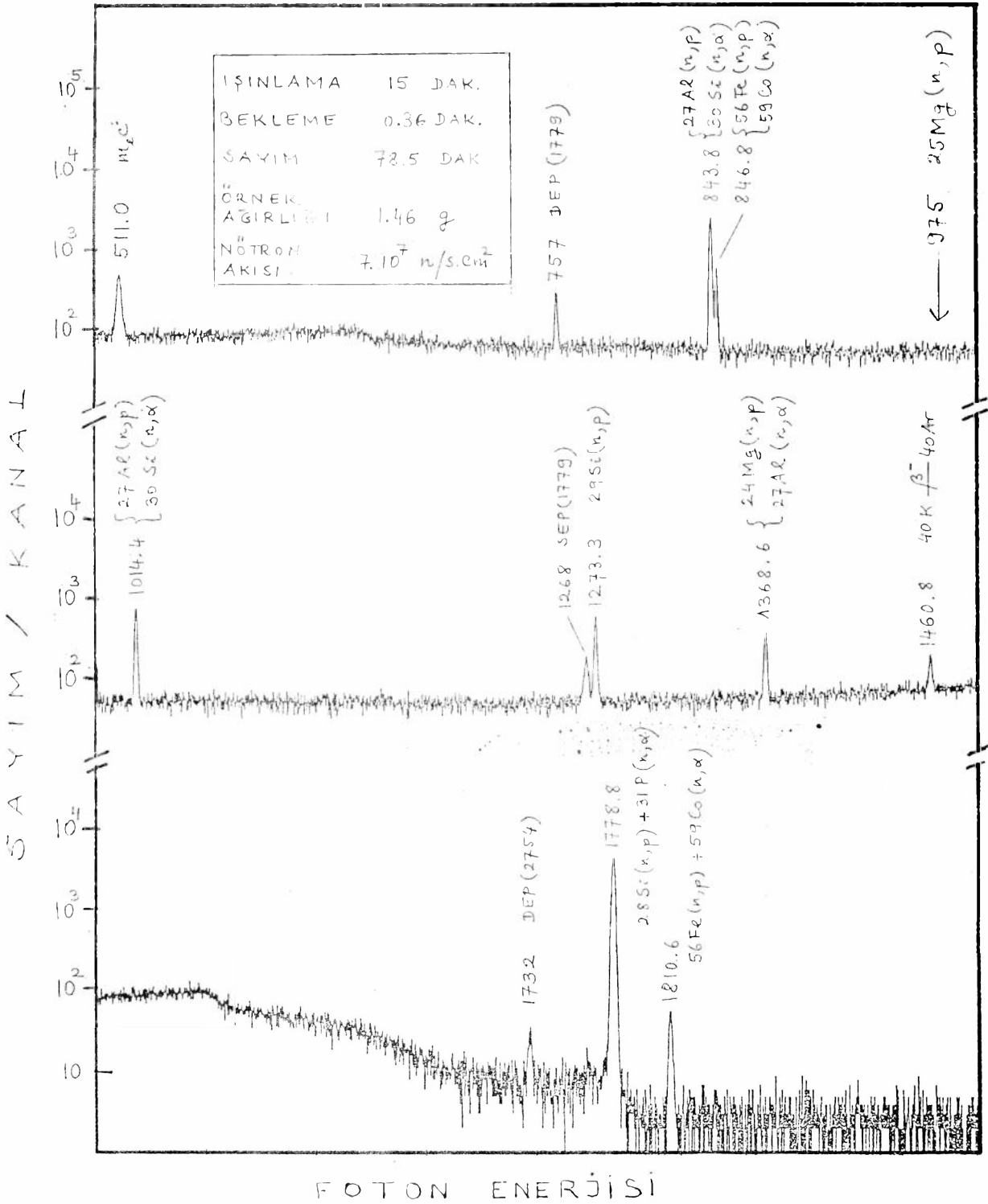
E keV	P	Si	Al	Mg	Na
1273:	0	7.300	0	0	0
1779:	46.013	76.691	0.16226	0	0
844:	0	3.1743	113.46	0	0
1369:	0	0	16.916	22.719	0
440:	0	0	0	0.6653	4.396

(*) Bu Matris 900 s. ısınlama, 21.6 s. bekleme ve 4710 s. sayım için geçerlidir.

VERİM



Sekil 1.: HPGe kristal hacmi 82cc olan dedektörün ölçülen verim değerlerine (+) yapılan 6 parametrelili uyum eğrisi. Deney ve uyum arasındaki ortalama uyumsuzluk %2 den daha küçüktür.



Sekil 2.: 14.6 MeV nötronlarla ısıtılmış bir toprak örneğinden alınan gama sipekturumu. Tepe enerjileri (keV) ve hangi tepkileşim kanallarından gelebilecekleri belirtilmiştir. Sipekturumda görülmeyen 440 keV çizgisine ait tepenin alanı compton back-groundu altında kaybolmadan önce ilk 180 sn sayım sonunda alınmıştır.