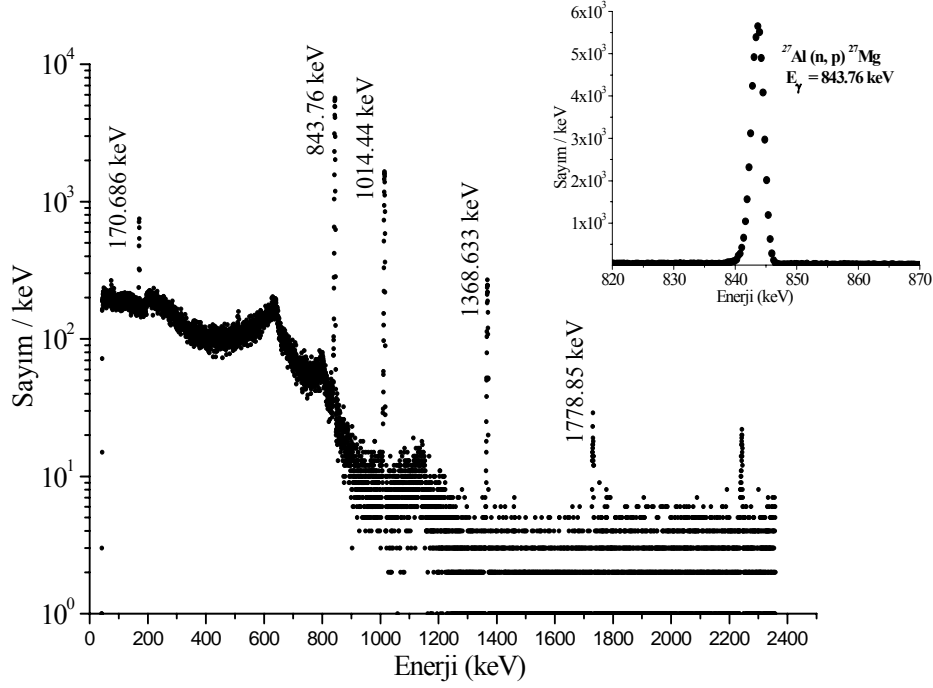


Şekil 6. Alfa parçacıklarının MCS spektrumu

Al_2O_3 örnek, alfa parçacıklarının sayımı biter bitmez ışınlama yerinden alınmış, $^{27}\text{Al}(n,p)^{27}\text{Mg}$ reaksiyonu ile üretilen ^{27}Mg çekirdeğinden bozulan 844 keV enerjili gamaların ölçülmesi için HPGe detektörü önüne getirilmiştir. Dedektör ile örnek arasındaki uzaklık 36.3 mm dir ve HPGe detektörün enerji kalibrasyonu da aynı uzaklıktan yapılmıştır. Ölçümler sonucunda çok kanallı analizörde görülen spektrumdan (Şekil 7) 844 keV enerjili gamalar için tüm enerji tepesi altındaki net alan belirlenerek nötron akısı hesaplanmıştır [1,13,14].

HPGe detektörünün verim tayini ve gerçek sayım deneylerinde kullanılan katı açılarının hesaplanmasında, daha önce ÇNAEM Fizik Bölümünde geliştirilen bir bilgisayar programından yararlanılmıştır [15]. Nötron aktivasyon yönteminin uygulanmasında gerekli ölü zaman düzeltmesi ve darbe yığılım (pile-up) düzeltmesi yapılmış [1]; ayrıca, ışınlama süresince akının değişmediği varsayılarak belirlenen nötron akısında, gerçekte rastgele değişimler olabileceğinden, ışınlama sırasında kullanılan nötron akı monitör sonuçları kullanılarak akı için düzeltme faktörü hesaplanarak ortalama nötron akısı belirlenmiştir [13].



Şekil 7. 14MeV nötronlarla ışınlanan Al_2O_3 örneğin gama spektrumu

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada ortak tanecik yöntemi kullanılarak, $^3\text{H}(d,n)^4\text{He}$ tepkileşiminden çıkan alfa parçacıklarının sayımı yapılarak aynı tepkileşimden çıkan 14,1 MeV nötronların sayısı bulunmuştur. Yapılan deneylerde alfa parçacıklarının sayımı ile aynı zamanda, hedef üzerinde döteron birikmesi sonucu oluşan proton ve triton parçacıklarının sayımı da gerçekleştirilmiştir. Böylece döteron birikmesiyle oluşan $^2\text{H}(d,n)^3\text{He}$ tepkileşimi sonucu ortaya çıkan nötronların sayıları da belirlenmiştir.

MCS yöntemi kullanılarak $^3\text{H}(d,n)^4\text{He}$ tepkileşiminden gelen alfa parçacıkları için doğrudan sayım yapılmıştır. Bu sayım için seçilen enerji aralığında bulunan ($^2\text{H}(d,p)^3\text{H}$ tepkileşiminden gelen) protonların alfa parçacıklarının sayısına katkısı ise tritonların sayısının bulunmasıyla belirlenmiştir. Böylece alfa parçacıklarının sayısında gerekli düzeltme yapılmıştır. Ortak tanecik sayma yöntemiyle 14,1 MeV enerjili nötronların sayısının bulunmasındaki belirsizlikler Çizelge 1 de verilmektedir. Çizelge 2 de ise bu yöntemle eş zamanlı olarak uygulanan nötron aktivasyon yöntemiyle nötron sayısının bulunmasındaki belirsizlikler verilmektedir. Bu belirsizlikler, daha önce sözü edilen düzeltmeler sırasında yapılan hatalar ve kullanılan nükleer verilerde verilen belirsizlikler gözönüne alınarak hesaplanmıştır.

Çizelge 1. Nötron sayısının ortak tanecik yöntemiyle bulunmasındaki belirsizlikler

$R(E_d, \Theta_a)$ 'nın belirlenmesinde;	belirsizlik (%)
• döteron huzmesinin moleküler yapıda olması nedeniyle	∓ 1
• trityum hedefte homojen olmayan trityum dağılımı nedeniyle	$\mp 0,5$
α detektörün katı açısı hesabında	∓ 2
α taneciklerinin sayımında	-
Toplam	$\mp 2,3$

Çizelge 2. Nötron sayısının nötron aktivasyon yöntemiyle bulunmasındaki belirsizlikler

844 keV enerjili gamalar için pik alanı, P(E), hesaplanmasında	belirsizlik (%)
	$\mp 0,47$
Al_2O_3 örnekte hedef çekirdek sayısının, (n), bulunmasında	$\mp 0,1$
Tepkileşim kesiti verisinde, (σ),	$\mp 4,7$
HPGe detektörün verimin belirlenmesinde (\mathcal{E})	∓ 2
Çekirdek Bozunum sabiti, (f), verisinde	$\mp 0,4$
Sayım katı açısının (Ω) belirlenmesinde	∓ 1
Zaman faktörünün, (z), belirlenmesinde	$\mp 0,1$
Toplam	$\mp 5,2$

Trityum hedeften çıkan 14,1 MeV nötronların sayısı ortak tanecik yöntemiyle % 2,3 belirsizlikle bulunmuştur. Bu da, nötron aktivasyon yöntemiyle karşılaştırıldığında, ortak tanecik yönteminin nötron sayısının belirlenmesinde daha duyarlı bir yöntem olduğunu göstermektedir. Ortak tanecik ve nötron aktivasyon yöntemiyle elde edilen tipik değerler (nötron/s) Çizelge 3 de verilmektedir. Sonuçlar karşılaştırıldığında aralarındaki farkın %2 den az olduğu görülmektedir. İki ayrı nötron verim ölçüm metodu arasındaki bu uyum, alfa parçacıkları sayım sistemimizin nötron verimini doğru ve duyarlı bir şekilde izlemeye olanak sağladığını göstermektedir. Ayrıca, döteryumun hedef üzerinde birikmesinin de nötron verimine fazla bir etkisi olmadığı anlaşılmaktadır.

Çizelge 3. Ortak tanecik sayma ve nötron aktivasyon yöntemleriyle elde edilen sonuçların karşılaştırılması

Hedef	Döteron enerjisi (MeV)	14,1 MeV nötronların sayısı (n/s)		Sonuçlar arasındaki fark
		Ortak tanecik sayma yöntemine göre	Nötron aktivasyon yöntemine göre	
$T_i T$	0,150	$8,174 \cdot 10^8$	$8,001 \cdot 10^8$	%2

REFERENCES / KAYNAKLAR

- [1] Knoll, G., “Radiation Detection and Measurements”, John Willey and Sons, 3rd ed. New York, 1999.
- [2] Benveniste, J. and Zenger, J., “Information on the Neutrons Produced in the $^3\text{H} (d,n) ^4\text{He}$ Reaction” UCRL-4266, 1954.
- [3] Benveniste, J., Mitchell, A.C., Schrader, C.D. and Zenger, J.H., “The Problem of Measuring The Absolute Yield of 14-MeV Neutrons By Means of An Alpha Counter”, Nuclear Instruments and Methods 7, 306-314, North-Holland Publishing Company, 1960.
- [4] Petö, G. C., “ Prospects of Imaging by Associated Particle Timing with D+D and D+T Neutrons” *Appl. Radiat. Isot.* 49, 5/6, 553-554, 1998.
- [5] Carasco, C., Perot, B., Mariani, A., et. al., “Material Characterization in Cemented Radioactive Waste with the Associated Particle Technique”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, Article in Press.
- [6] Carasco, C., Perot, B., Bernard, S., et. al., “In-Field Tests of the EURITRACK Tagged Neutron Inspection System”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 588, 397- 405, 2008
- [7] Sudac, D., Blagus, S., Valkovic, V., “Inspections for Contraband in a Shipping Container Using Fast Neutrons and the Associated Alpha Particle Technique: Proof of Principle”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 241, 798-803, 2005.
- [8] Hausladen, P.A., Neal, J.S., Mihalczo, J.T., “An alpha particle detector for a portable neutron generator for the Nuclear Materials Identification System (NMIS)” , Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B : Beam Interactions with Materials and Atoms, 241, 1-4, 835-838, 2005.
- [9] Subasi, M. “Absolute neutron yield determination of an accelerator neutron source by using associated particle method”. Ç.N.A.E.M. A.R-247, 1988.
- [10] Ruby, I. and Crawford, R. B., “Anisotropy Factors for the Determination of Total Neutron Yield from the $\text{D}(d,n)\text{He}^3$ and $\text{T}(d, n)\text{He}^3$ Reactions” Nuclear Instruments and Methods 24 , 413 -417, North-Holland Publishing Company, 1963.
- [11] Amersham Laboratories, “Certificate of Calibration Of Alpha Emitting Radioactive Reference Source”, Alpha reference sources test report-AMR43, Amersham International pic., UK
- [12] EG&G ORTEC, “Quality Assurance Data Sheet UltraTM Alpha Dedector”, Tennessee, USA, 1993.
- [13] Subaşı, M., Erduran, N., Tarcan, G., Özbir, Y., Baykal, A., Gültekin, E. ve Ercan, A., “Alçak Enerjili Bir İyon Hızlandırıcısında Mutlak Nötron Akısının Aktivasyon Yöntemiyle Belirlenmesi”, Ç.N.A.E.M. A.R.-249, 1996.
- [14] Debertin, K., and Helmer, R.G., “Gamma – and X – Ray spectrometry with Semiconductor detectors”, Elsevier Science Publishers B.V, New York, 1988.
- [15] Bostan, M., Erduran, N. ve Ercan, A., “Silindir şeklindeki Örneklerin Gama Aktivitelerinin Belirlenmesinde Öz Soğurma ve Katı Açılı Etkenlerinin İncelenmesi”, Ç.N.A.E.M. A.R-250, 1988.