

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KISA YARI ÖMÜRLÜ ÇEKİRDEKLERİN
YARILANMA SÜRELERİNİN
BELİRLENMESİ**

Adnan ELMALI

**F.B.E Fizik Anabilim Dalında
Hazırlanan**

DOKTORA TEZİ

106366

Tez Savunma Tarihi : 11 Haziran 2001
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Metin SUBAŞI (YTÜ)
Jüri Üyeleri : Prof. Dr. R.Ahmet BAYÜLKEN (İTÜ)
: Prof. Dr. M.Nizamettin ERDURAN (İÜ)

Mehmet Subaşı
R. Ahmet Bayülken
M. Nizamettin Erduran
**T.C. YÜKSEK ÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANİSYON MERKEZİ**

İSTANBUL, 2001

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ.....	x
ÖZET.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. TEMEL BİLGİLER.....	3
2.1 Radyasyon Nedir.....	3
2.2 Radyoaktivite ve Radyoaktif Bozunum.....	3
2.2.1 Radyoaktif bozunma yasası.....	4
2.2.2 Yarılanma süresi (Yarı Ömür).....	5
2.3 Beta (β) Bozunumu Takip Eden Gama (γ) Radyasyonu	6
2.4 İzomerik Durumlar (İzomerler).....	8
2.5 Nötron Tepkileşimleri Sonucu β^- -aktif Çekirdeklerin Elde Edilmesi.....	9
2.6 Deneysel Ölçümlerde Belirsizlikler (Hatalar).....	12
2.6.1 Elektronik donanımdan kaynaklanan belirsizlikler	13
2.6.1.1 Aletlerin ölü zamanından kaynaklanan belirsizlikler	13
2.6.1.2 Aletlerde darbe yığılımından (pile up) kaynaklanan belirsizlikler	13
2.6.1.3 Rasgele eş zamanlı (coincidence summing) sayımlarından kaynaklanan belirsizlikler	14
2.6.2 Bileşik Belirsizlikler (Standart hatalar)	14
2.6.3 Sayım değerlerindeki standart hatalar	15
2.7 En Küçük Kareler Yöntemi ile Radyoaktif Bozunumun Uyum Denkleminin Katsayılarının Belirlenmesi	16
3. DENEY DÜZENEGİ.....	18
3.1 Işınlama Sistemi.....	18
3.1.1 Alçak enerjili iyon hızlandırıcısı Sames T-400'ün tanıtımı.....	18
3.1.2 Nötron kaynağı.....	19
3.2 Pnömatik Transfer Sistemi.....	20
3.2.1 Örnek Transfer Sistemi	22

4.	DENEYSEL ÇALIŞMA.....	23
4.1	HPGe Dedektörünün Enerji Kalibrasyonunun Yapılması.....	23
4.2	HPGe Dedektörünün Gama Işınları için Verim Kalibrasyonunun Yapılması	24
4.3	Tek Kanallı Analizörün (SCA) LLE Kalibrasyonu.....	26
4.4	Çok Kanallı Analizörün Çoklu-Ölçekleme (Multiscaling Mode) Şeklinde Kullanılması	28
4.5	Ölü Zaman ve Darbe Yığılımı Düzeltmelerinde Pulser'in Kullanımı	28
4.6	Yarılanma Süresi Ölçümleri	29
4.6.1	Ms (Multiscaling) yöntemi ile yarılanma süresi ölçümleri	31
4.6.2	Gama enerji tepesini ayırma yöntemi (GETAY) ile yarılanma süresi ölçümleri	33
4.7	Data Transfer Süresinin Ölçüm Değerlerine ve Yarılanma Süresine Etkisi...	39
5.	DENEY SONUÇLARI	43
5.1	^{91m} Mo Çekirdeğinin Yarılanma Süresi	46
5.2	^{75m} Ge Çekirdeğinin Yarılanma Süresi	52
5.3	²³ Ne Çekirdeğinin Yarılanma Süresi	58
5.4	¹⁹ O Çekirdeğinin Yarılanma Süresi	64
5.5	^{46m} Sc Çekirdeğinin Yarılanma Süresi	70
5.6	²⁰ F Çekirdeğinin Yarılanma Süresi	76
5.7	¹⁶ N Çekirdeğinin Yarılanma Süresi	82
5.8	^{68g} Cu Çekirdeğinin Yarılanma Süresi	88
6.	TARTIŞMA ve SONUÇLAR	98
	KAYNAKLAR.....	105
	EKLER	108
Ek 1	En küçük kareler yöntemi	108
Ek 2	Yarılanma süresi ölçümleri için yazılmış kontrol programı	113
Ek 3	Işınlama sırasında nötron akısının deney şartları ve deneysel veriler ile Hesaplayan program	120
Ek 4	En küçük kareler ve χ^2 Yöntemi ile uyum parametrelerinin Belirlenmesi	124
	ÖZGEÇMİŞ.....	128

SİMGE LİSTESİ

A	Aktivite
f	Gama şiddeti (bolluğu)
f_g	Temel seviye geçişi için gama şiddeti
f_m	İzomer seviye geçişi için gama şiddeti
h	İzotopik bolluk
N_A	Avogadro sayısı
N_0	T=0 anındaki sayım değeri
N_g	Temel seviye için sayım değeri
N_m	İzomer seviye için sayım değeri
$P(E_\gamma)$	E_γ enerjili tüm enerji tepesi altındaki alan
R	Reaksiyon hızı
S	Standart sapma
t_i	Işınlama süresi
t_b	Bekleme süresi
t_s	Sayma süresi
$T_{1/2}$	Yarılma süresi (yarı ömür)
Z_g	Temel seviye bozunumu için zaman sabiti
Z_m	İzomer seviye bozunumu için zaman sabiti
β^-	Negatif beta bozunumu
β^+	Pozitif beta bozunumu
e^-	Negatif elektron
e^+	pozitif elektron
ϵ	Dedektör verimi
Δt	Sayım değerinin bilgisayara kaydedilmesi için geçen süre
Ω	Katı açısı
λ	Bozunma sabiti
λ_g	Temel seviye için bozunma sabiti
λ_m	İzomer seviye için bozunma sabiti
ϕ	Nötron akısı
$\bar{\nu}$	Anti nötrino
ν	Nötrino
Q	Reaksiyon enerjisi
σ	Tesir Kesiti (tepkileşim kesiti)
σ_g	Temel seviye için tesir Kesiti (tepkileşim kesiti)
σ_m	İzomer seviye için tesir Kesiti (tepkileşim kesiti)
χ^2	Chi square

KISALTMA LİSTESİ

ADC	Analog to Digital Converter
BNL	Brookhaven National Data Laboratory
CPU	Central Prossesing Unit
ÇNAEM	Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi
FWHM	Full Width at Half Maximum
GETAY	Gama Enerji Tepesi Ayrırma Yöntemi
HPGe	High Purity Germanium
HV	High Voltage
JAERI	Japan Atomic Energy Research Institute
LLE	Low Level Energy
MCA	Multi Channel Analyser
MCB	Multi Channel Scaler
MS	Multi Scaling
SCA	Single Channel Analyser
TAC	Time to Amplitude Converter
TET	Tüm Enerji Tepesi

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 ^{75m}Ge radyoizotopunun yıllara göre ölçülmüş yarılanma süreleri (Değerler JAERI 97-005 konferans raporundan alınmıştır).	2
Şekil 2.1 Beta bozunumu sonucu gama yayınına iki örnek.	7
Şekil 2.2 İzomerik durumların oluşumu.	8
Şekil 3.1 Hızlandırıcı salonu ve ölçüm odasının şematik gösterimi.	21
Şekil 3.2 Sames T-400 Nötron jeneratörü ve hızlandırıcı salonu	22
Şekil 4.1 HPGe Dedektörünün Enerji Kalibrasyonu.	24
Şekil 4.2 HPGe dedektörünün TET Verimi.	25
Şekil 4.3 SCA'nın kalibrasyonu için kurulan deney düzeneği (P/A : Preamplifier Model 2001, Amp :Spectroscopy Amp. Model 2020, ADC : Model 8075 , MCA : Model 85, SCA : Model 2035A, HV : Model 3105).	27
Şekil 4.4 SCA'nın kalibrasyon eğrisi : $LLE = 0.00341493.E(\gamma) + 0.00060274$...	27
Şekil 4.5 Kısa yarı ömür ölçümü için kurulan deneysel düzenek (P/A : Preamplifier Model 2001, Amp :Spectroscopy Amp. Model 2020, ADC : Model 8075, MCA : Model 85, SCA : Model 2035A , HV : Model 3105 , MCS : Model 8082).	31
Şekil 4.6 ^{27}Al örneğinin ışınlaması sonucu alınan gama spektrumu	32
Şekil 4.7 (a) MCS yöntemi ile elde edilen bozunum grafiği. (b) Bozunum eğrisine yarı-logaritmik ölçekte yapılan lineer uyumlama.	32
Şekil 4.8 Işınlama süresi ve nötron akısına bağlı olarak birinci ölçümde oluşması mümkün sayım değerleri.	34
Şekil 4.9 Komşu gama tepesinden dolayı meydana gelen compton bölgesinin ilgilenilen gama tepesine etkisi	35
Şekil 4.10 Yarı ömür ölçümleri için spektrumların alınmasında kullanılan Turbo Basic dili ile yazılmış kontrol programı.	36
Şekil 4.11 Sayım işlemlerinde geçen sürelerin kaydedildiği dosyanın içeriği.	37
Şekil 4.12 Yarı ömür ölçümü için kullanılan elektronik düzenek.	37
Şekil 4.13 (a) Gama enerji tepesi ayırma yöntemi ile elde edilen bozunum grafiği. (b) Bozunum eğrisine yarı-logaritmik ölçekte yapılan lineer uyumlama.	39
Şekil 4.14 Sayma süresi ve data transfer süresi (t :sayım yapılan süre, Δt : bilgilerin bilgisayar ortamına aktarılması için geçen süre).	40
Şekil 5.1 Sames T-400 hızlandırıcısında örnek ışınlama geometrisi.	44
Şekil 5.2 HPGe dedektörü ve örnek sayım geometrisi	44
Şekil 5.3 $^{92}\text{Mo}(n,2n)^{91m}\text{Mo}$ tepkileşimi sonucu izomerik geçişten meydana gelen 652.9 KeV gama ışınları.	46
Şekil 5.4 $^{92}\text{Mo}(n,2n)^{91m}\text{Mo}$ tepkileşimi sonucu elde edilen gama spektrumu	47
Şekil 5.5a Deney 1 : ^{91m}Mo izotopunun yarılanma süresi ölçümlerinin grafiksel gösterimi (uyum parametreleri: $N_0=4614$, $\lambda=0.010576$, uyumun ortalama standart hatası $\sigma = 40.66$)	49
Şekil 5.5b Deney 2 : ^{91m}Mo izotopunun yarılanma süresi ölçümlerinin grafiksel gösterimi (uyum parametreleri: $N_0 = 2760$, $\lambda = 0.010609$, uyumun ortalama standart hatası $\sigma = 56.16$)	50
Şekil 5.5c Deney 3 : ^{91m}Mo izotopunun yarılanma süresi ölçümlerinin grafiksel gösterimi (uyum parametreleri: $N_0 = 4532$, $\lambda = 0.0106137$, uyumun ortalama standart hatası $\sigma = 41.07$)	51
Şekil 5.6 $^{76}\text{Ge}(n,2n)^{75m}\text{Ge}$ tepkileşimi sonucu izomerik geçişten meydana gelen 139.68 KeV gama ışınları	52

Şekil 5.7	$^{76}\text{Ge}(n,2n)^{75\text{m}}\text{Ge}$ tepkileşimi sonucu elde edilen gama spektrumu	53
Şekil 5.8a	Deney 1 : $^{75\text{m}}\text{Ge}$ izotopunun yarılanma süresi ölçümlerinin grafik gösterimi. Uyum parametreleri: $N_0=23412$, $\lambda=0.014532$, uyumun ortalama standart hatası $\sigma = 133.22$	55
Şekil 5.8b	Deney 3 : $^{75\text{m}}\text{Ge}$ izotopunun yarılanma süresi ölçümlerinin grafik gösterimi. Uyum parametreleri : $N_0=84976$, $\lambda=0.0145181$, uyumun ortalama standart hatası $\sigma = 569.93$	56
Şekil 5.8c	Deney 3 : $^{75\text{m}}\text{Ge}$ izotopunun yarılanma süresi ölçümlerinin grafik gösterimi Uyum parametreleri : $N_0=72277$, $\lambda=0.0145197$, uyumun ortalama standart hatası $\sigma = 563.51$	57
Şekil 5.9	$^{23}\text{Na}(n,p)^{23}\text{Ne}$ tepkileşimi sonucu oluşan gama ışınları	58
Şekil 5.10	$^{23}\text{Na}(n,p)^{23}\text{Ne}$ tepkileşimi sonucu elde edilen gama spektrumu	59
Şekil 5.11a	Deney 1 : ^{23}Ne izotopunun yarılanma süresi ölçümlerinin grafik gösterimi. Uyum parametreleri : $N_0=9606$, $\lambda=0.0186285$, uyumun ortalama standart hatası $\sigma = 106.05$	61
Şekil 5.11b	Deney 2 : ^{23}Ne izotopunun yarılanma süresi ölçümlerinin grafik gösterimi. Uyum parametreleri : $N_0=8980$, $\lambda=0.0186235$, uyumun ortalama standart hatası $\sigma = 73.94$	62
Şekil 5.11c	Deney 3 : ^{23}Ne izotopunun yarılanma süresi ölçümlerinin grafik gösterimi. Uyum parametreleri : $N_0=9288$, $\lambda=0.0186275$, uyumun ortalama standart hatası $\sigma = 148.42$	63
Şekil 5.12	$^{19}\text{F}(n,p)^{19}\text{O}$ tepkileşimi sonucu meydana gelen gama ışınları	64
Şekil 5.13	$^{19}\text{F}(n,p)^{19}\text{O}$ tepkileşimi sonucu elde edilen gama spektrumu	65
Şekil 5.14a	Deney 1 : ^{19}O izotopunun yarılanma süresi ölçümlerinin grafik gösterimi. Uyum parametreleri : $N_0=75240$, $\lambda=0.0257482$, uyumun ortalama standart hatası $\sigma = 1331$	67
Şekil 5.14b	Deney 2 : ^{19}O izotopunun yarılanma süresi ölçümlerinin grafik gösterimi. Uyum parametreleri : $N_0=87560$, $\lambda=0.0257254$, uyumun ortalama standart hatası $\sigma = 964.82$	68
Şekil 5.14c	Deney 3 : ^{19}O izotopunun yarılanma süresi ölçümlerinin grafik gösterimi. Uyum parametreleri : $N_0=88625$, $\lambda=0.0256974$, uyumun ortalama standart hatası $\sigma = 1549$	69
Şekil 5.15	$^{46}\text{Ti}(n,p)^{46\text{m}}\text{Sc}$ tepkileşimi sonucu izomerik geçişinden meydana gelen 142.53 KeV gama ışınları.	70
Şekil 5.16	$^{46}\text{Ti}(n,p)^{46\text{m}}\text{Sc}$ tepkileşimi sonucu elde edilen gama spektrumu	71
Şekil 5.17a	Deney 1 : $^{46\text{m}}\text{Sc}$ izotopunun yarılanma süresi ölçümlerinin grafik gösterimi. Uyum parametreleri : $N_0=2430$, $\lambda=0.0370036$, uyumun ortalama standart hatası $\sigma = 76.5$	73
Şekil 5.17b	Deney 2 : $^{46\text{m}}\text{Sc}$ izotopunun yarılanma süresi ölçümlerinin grafik gösterimi. Uyum parametreleri : $N_0=3076$, $\lambda=0.0370481$, uyumun ortalama standart hatası $\sigma = 28.31$	74
Şekil 5.17c	Deney 3 : $^{46\text{m}}\text{Sc}$ izotopunun yarılanma süresi ölçümlerinin grafik gösterimi. Uyum parametreleri : $N_0=2310$, $\lambda=0.0370776$, uyumun ortalama standart hatası $\sigma = 43.20$	75
Şekil 5.18	$^{23}\text{Na}(n,\alpha)^{20}\text{F}$ tepkileşimi sonucu meydana gelen gama ışınları	76
Şekil 5.19	$^{23}\text{Na}(n,\alpha)^{20}\text{F}$ tepkileşimi sonucu elde edilen gama spektrumu	77
Şekil 5.20a	Deney 1 : ^{20}F izotopunun yarılanma süresi ölçümlerinin grafik gösterimi. Uyum parametreleri : $N_0=5860$, $\lambda=0.0623769$, uyumun ortalama standart hatası $\sigma = 72.19$	79

Şekil 5.20b	Deney 2 : ^{20}F izotopunun yarılanma süresi ölçümlerinin grafik gösterimi. Uyum parametreleri : $N_0=6554$, $\lambda=0.0621137$, uyumun ortalama standart hatası $\sigma = 82.16$	80
Şekil 5.20c	Deney 3 : ^{20}F izotopunun yarılanma süresi ölçümlerinin grafik gösterimi. Uyum parametreleri : $N_0=5944$, $\lambda=0.0624498$, uyumun ortalama standart hatası $\sigma = 79.95$	81
Şekil 5.21	$^{19}\text{F} (n,\alpha)^{16}\text{N}$ tepkileşimi sonucu oluşan gama ışınları	82
Şekil 5.22	$^{19}\text{F} (n,\alpha)^{16}\text{N}$ tepkileşimi sonucu elde edilen gama spektrumu.	83
Şekil 5.23a	Deney 1 : ^{16}N izotopunun yarılanma süresi ölçümlerinin grafik gösterimi. Uyum parametreleri : $N_0=1150$, $\lambda=0.0971502$, uyumun ortalama standart hatası $\sigma = 28.71$	85
Şekil 5.23b	Deney 2 : ^{16}N izotopunun yarılanma süresi ölçümlerinin grafik gösterimi. Uyum parametreleri : $N_0=1014$, $\lambda=0.0971037$, uyumun ortalama standart hatası $\sigma = 27.41$	86
Şekil 5.23c	Deney 3 : ^{16}N izotopunun yarılanma süresi ölçümlerinin grafik gösterimi. Uyum parametreleri : $N_0=812$, $\lambda=0.0971195$, uyumun ortalama standart hatası $\sigma = 16.92$	87
Şekil 5.24	$^{68}\text{Zn} (n,p)^{68g}\text{Cu}$ ve $^{68}\text{Zn} (n,p)^{68m}\text{Cu}$ tepkileşimleri sonucu oluşan gama ışınları ($f_\gamma > \% 2$ olanlar gösterilmiştir)	89
Şekil 5.25	$^{68}\text{Zn} (n,p)^{68g}\text{Cu}$ ve $^{68}\text{Zn} (n,p)^{68m}\text{Cu}$ tepkileşimleri sonucu elde edilen gama spektrumu	89
Şekil 5.26a	Deney 2: ^{68g}Cu izotopunun yarılanma süresi ölçümlerinin grafiksel gösterimi. Uyum parametreleri : $N_0=1965$, $\lambda=0.02222357$, uyumun ortalama standart hatası $\sigma = 39.83$	95
Şekil 5.26b	Deney 2 : ^{68g}Cu izotopunun yarılanma süresi ölçümlerinin grafiksel gösterimi. Uyum parametreleri : $N_0=1837$, $\lambda=0.02226213$, uyumun ortalama standart hatası $\sigma = 57.21$	96
Şekil 5.26c	Deney 2 : ^{68g}Cu izotopunun yarılanma süresi ölçümlerinin grafiksel gösterimi. Uyum parametreleri : $N_0=1360$, $\lambda=0.02236433$, uyumun ortalama standart hatası $\sigma = 46.95$	97
Şekil 6.1	^{16}N çekirdeğinin yıllara göre yarılanma süresinin değişimi	102
Şekil 6.2	^{20}F çekirdeğinin yıllara göre yarılanma süresinin değişimi.	103
Şekil 6.3	^{19}O çekirdeğinin yıllara göre yarılanma süresinin değişimi	104

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Döteron – Tritiyum tepkileşimi özellikleri (Csikai, 1987)	20
Çizelge 4.1 Enerji kalibrasyonu için kullanılan standart gama kaynakları	23
Çizelge 5.1 Deneysel çalışmalarda radyoaktif çekirdek üretmek için kullanılan malzemeler	43
Çizelge 5.2 $^{92}\text{Mo}(n,2n)^{91\text{m}}\text{Mo}$ için ıslınlama ve ölçüm işlemleri ile ilgili bilgiler	48
Çizelge 5.3 $^{91\text{m}}\text{Mo}$ çekirdeğinin yarılanma süresi	48
Çizelge 5.4 $^{76}\text{Ge}(n,2n)^{75\text{m}}\text{Ge}$ için ıslınlama ve ölçüm işlemleri ile ilgili bilgiler	54
Çizelge 5.5 $^{75\text{m}}\text{Ge}$ çekirdeğinin yarılanma süresi	54
Çizelge 5.6 $^{23}\text{Na}(n,p)^{23}\text{Ne}$ tepkileşimi için ıslınlama ve ölçüm işlemleri ile ilgili bilgiler	60
Çizelge 5.7 ^{23}Ne çekirdeğinin yarılanma süresi	60
Çizelge 5.8 $^{19}\text{F}(n,p)^{19}\text{O}$ tepkileşimi için ıslınlama ve ölçüm işlemleri ile ilgili bilgiler	66
Çizelge 5.9 ^{19}O çekirdeğinin yarılanma süresi	66
Çizelge 5.10 $^{46}\text{Ti}(n,p)^{46\text{m}}\text{Sc}$ tepkileşimi için ıslınlama ve ölçüm işlemleri ile ilgili Bilgiler	72
Çizelge 5.11 $^{46\text{m}}\text{Sc}$ çekirdeğinin yarılanma süresi	72
Çizelge 5.12 $^{23}\text{Na}(n,\alpha)^{20}\text{F}$ tepkileşimi için ıslınlama ve ölçüm işlemleri ile ilgili bilgiler	78
Çizelge 5.13 ^{20}F çekirdeğinin yarılanma süresi	78
Çizelge 5.14 $^{19}\text{F}(n,\alpha)^{16}\text{N}$ tepkileşimi için ıslınlama ve ölçüm işlemleri ile ilgili bilgiler	84
Çizelge 5.15 ^{16}N çekirdeğinin yarılanma süresi	84
Çizelge 5.16 $^{68}\text{Zn}(n,p)^{68\text{g}}\text{Cu}$ ve $^{68}\text{Zn}(n,p)^{68\text{m}}\text{Cu}$ tepkileşimlerine ait nükleer veriler	88
Çizelge 5.17 $^{68}\text{Zn}(n,p)^{68\text{g}}\text{Cu}$ ve $^{68}\text{Zn}(n,p)^{68\text{m}}\text{Cu}$ tepkileşimleri için ıslınlama ve ölçüm işlemleri ile ilgili bilgiler	93
Çizelge 5.18 ^{68}Cu çekirdeğinin yarılanma süresi	94
Çizelge 6.1 Bu çalışmada yarılanma süreleri ölçülen çekirdekler	101

ÖNSÖZ

“ Kısa Yarı Ömürlü Çekirdeklerin Yarılanma Sürelerinin Belirlenmesi “ adlı bu Doktora tezim , Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi Fizik Bölümü’nde gerçekleştirilmiştir. Doktora çalışmam süresince bana yol gösteren, sahip olduğu deneyimlerini benimle paylaşan tez danışmanım, Y.T.Ü. Fizik Bölümü Öğretim üyesi Sayın Prof. Dr. Metin SUBAŞI ’ ya içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamın son zamanlarına kadar araştırma görevlisi bulunduğum Y.T.Ü. Fen Edebiyat Fakültesinde, Dekanımız Sayın Prof. Dr. Durul ÖREN ve Fizik Bölüm Başkanımız Sayın Prof. Dr. Emel ÇINGİ ’ya tez çalışmamı yürütebilmem için sağladıkları destek ve olanaklar için içtenlikle teşekkür ederim.

Gerek Yüksek Lisans çalışmamda ve gerek Doktora çalışmamda daima akıl danıştığım , bilimsel konularda bilgisini ve yardımlarını benden esirgemeyen İ.Ü. Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Prof. Dr. Nizamettin ERDURAN’a içten teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Çalışmamı yürüttüğüm ve her konuda bilgilerini ve tecrübelerini bana aktaran ve destek olan Ç.N.A.E.M Fizik Bölümü çalışanları,

Dr. A. İskender REYHANCAN

Gökçe TARCAN

Yıldıray ÖZBİR

Cüneyt Özbaylı

Dr. Hamit ATASOY

Dr. Adnan BAYKAL ve

Aclan AKBULUT’a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Son olarak benden manevi desteğini esirgemeyen ve zor günlerimde bana daima moral kaynağı olan sevgili eşim Fikriye ELMALI’ ya gönülden teşekkürlerimi sunarım.

Adnan ELMALI

Haziran -2001

ÖZET

Bu çalışmada $^{19}\text{F}(\text{n},\text{p})^{19}\text{O}$ (26.94 sn.) , $^{76}\text{Ge}(\text{n},2\text{n})^{75\text{m}}\text{Ge}$ (47.73 sn.), $^{23}\text{Na}(\text{n},\text{p})^{23}\text{Ne}$ (37.24 sn.), $^{23}\text{Na}(\text{n},\alpha)^{20}\text{F}$ (11.12 sn.), $^{68}\text{Zn}(\text{n},\text{p})^{68\text{g}}\text{Cu}$ (31.11 sn.) , $^{46}\text{Ti}(\text{n},\text{p})^{46\text{m}}\text{Sc}$ (18.70 sn.) , $^{19}\text{F}(\text{n},\alpha)^{16}\text{N}$ (7.13 sn.) ve $^{92}\text{Mo}(\text{n},2\text{n})^{91\text{m}}\text{Mo}$ (65.40 sn.) tepkileşimleri sonucu oluşan radyoaktif çekirdeklerin yarılanma süreleri belirlenmiştir.

Yarılanma süresi ölçümleri Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi, Fizik bölümünde bulunan Sames T-400 nötron jeneratörü ile gerçekleştirilmiştir. Hızlı nötronlar (~ 14 MeV), bir trityum hedefin 300 KeV enerjili döteronlarla bombardımanı sonucu $\text{T}(\text{d},\text{n})\text{He}$ tepkileşiminden elde edilmiştir.

Nötronlarla bombardıman edilen örnekler hızlı transfer sistemi ile ışınlama odasından sayım odasına, gama ölçümlerinin yapıldığı iyi zırhlanmış bir HPGe dedektörünün önüne getirilmiştir. Örneğin transfer süresi yaklaşık 0.5 sn. dir. Alınan ölçümlerden rasgele eş zamanlı sayımlar, darbe yığılması (puls pile up), ölü zaman ve temel seviye radyasyonu düzeltmeleri yapılmıştır.

Çalışmamızda $^{19}\text{F}(\text{n},\text{p})^{19}\text{O}$ tepkileşiminde ^{19}O için yarılanma süresi, ölçüm sistemimizin test edilmesi için kullanılmış ve son yıllarda JAERI'de yapılmış ölçüm ile kıyaslanarak sistemimizin doğruluğu ve yeterli duyarlılığa sahip olup olmadığı kontrol edilmiştir.

ABSTRACT

In this work $^{19}\text{F}(\text{n,p})^{19}\text{O}$ (26.94 sec.) , $^{76}\text{Ge}(\text{n},2\text{n})^{75\text{m}}\text{Ge}$ (47.73 sec.), $^{23}\text{Na}(\text{n,p})^{23}\text{Ne}$ (37.24 sec.), $^{23}\text{Na}(\text{n},\alpha)^{20}\text{F}$ (11.12 sec.), $^{68}\text{Zn}(\text{n,p})^{68\text{g}}\text{Cu}$ (31.11 sec.) , $^{46}\text{Ti}(\text{n,p})^{46\text{m}}\text{Sc}$ (18.70 sec.) , $^{19}\text{F}(\text{n},\alpha)^{16}\text{N}$ (7.13 sec.) and $^{92}\text{Mo}(\text{n},2\text{n})^{91\text{m}}\text{Mo}$ (65.40 sec.) half lifes were determined.

The half life measurements were performed utilizing the Sames T-400 neutron generator at the Physics Department of Çekmece Nuclear Research and Training Center, İstanbul. Fast neutrons (~ 14 MeV) were produced via $\text{T}(\text{d,n})\text{He}$ reaction in a TiT target which was bombarded by 300 KeV deuterons.

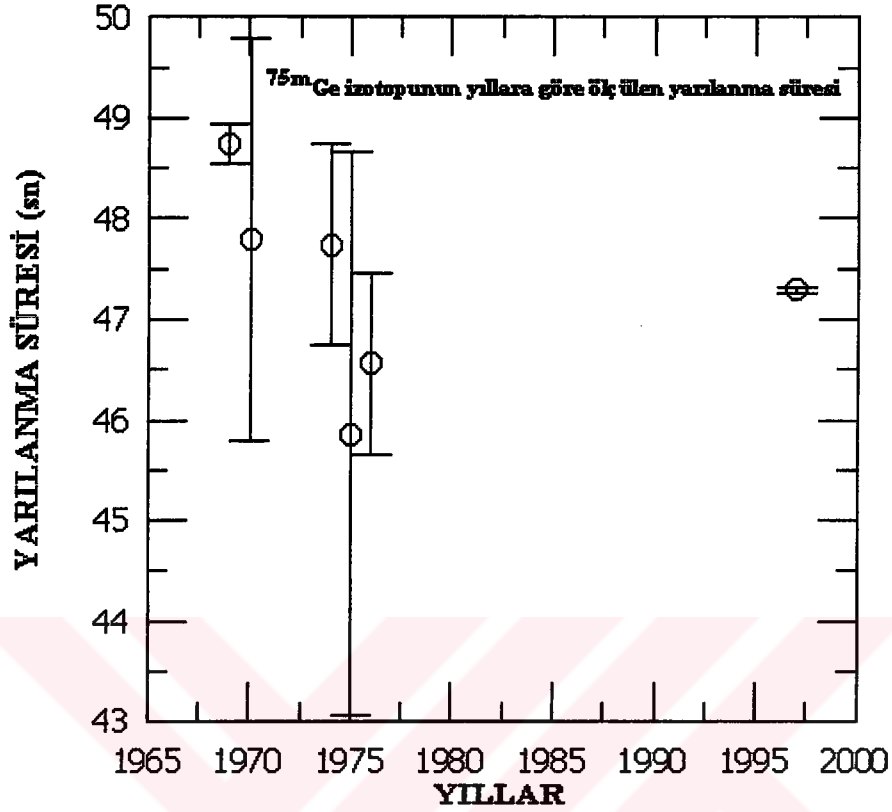
The samples bombarded with 14 MeV neutrons were transferred with a fast sample transport system from neutron source to the HPGe detector where the gamma measurements are performed. The time elapsed during the transport of the sample between the two stations were about 0.5 sec. In the experimental data, corrections were made for coincidence summing, puls pile up, dead time and background elimination.

In order to test the accuracy and the sensitivity of the half-life measurement system used in this work, the ^{19}O half life from the $^{19}\text{F}(\text{n,p})^{19}\text{O}$ reaction were measured first and compared with the data given in a recently published JEARI report..

1. GİRİŞ

Bir radyoaktif çekirdeğin yarılanma süresi, radyoaktivite ile ilgili en temel sabitlerden birisidir. Pek çok uygulamada karşımıza çıkan yarılanma süresi, özellikle, bir radyoaktif kaynağın belirli bir andaki aktivitesinin hesaplanmasında çok önemli bir rol oynamaktadır. Bu hesaplamalarda radyoaktif çekirdeğin yarı ömrü üzerindeki küçük bir belirsizlik bazen sonuçlar üzerinde hatırı sayılır hata oranlarına sebep olabilmektedir. Son zamanlarda, füzyon reaktörlerinin yapımı ve zırhlanmasında kullanılacak malzemelerin seçimi ile ilgili çalışmalarda bu hesaplamalar, gerek reaktör işletim gerekse bakım-onarım çalışmaları bakımından daha da önem kazanmıştır (Filatenkov vd.,1997).

Bu konu ile ilgili literatürlere bakıldığında zaman 1950 ile 1980 yılları arasında yapılmış çalışmalarda radyoaktif çekirdeklerin yarılanma sürelerinin, o dönemlerde kullanılmakta olan GM sayıcıları (Geiger Müller), iyonizasyon odaları, orantılı sayıcılar ve sintilasyon sayıcıları kullanılarak belirlendiği görülmektedir (Wille vd.,1953). Dolayısıyla, günümüzde bir çok radyoaktif çekirdek için belirlenmiş yarılanma süreleri bu tür dedektör sistemleri ile elde edilmiş değerlerdir. Oysa, günümüz teknolojisinin sağladığı yeni olanaklar ile geliştirilen ve yeniden üretilen radyasyon dedektörleri sayım hızları ve enerji ayırma güçleri bakımından, o zamanki dedektörlere nazaran çok fazla üstünlüklere sahiptir (Tsoulfanidis ,1983). Geliştirilen yeni dedektörlerin (HPGe dedektörleri, sıvı ve plastik sintilasyon dedektörleri vs. gibi) yanı sıra, ölçme yöntemlerinde ve veri toplama-değerlendirme sistemlerinde yapılan iyileştirmeler, nükleer veri dosyalarının yeniden oluşturulması için yeni ölçümlerin yapılmasını zorunlu kılmıştır. Yapılan yeni ölçümler, kısa yarı ömürlü çekirdeklerin yarılanma sürelerinde % 2 ila % 4 oranında iyileştirmelere ve belirsizliklerin azalmasına sebep olmuştur. Son zamanlarda bu konuda yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar konferanslarda dile getirilmekte ve sonuçlar yayınlanmaktadır. JAERI (97-005) konferans raporunda sunulan bazı çalışmalar radyoaktif çekirdeklerin yarılanma sürelerinin teknolojinin gelişmesine paralel olarak yıllara göre daha hassas ölçüldüğünü açıkça ortaya koymaktadır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 ^{75m}Ge radyoizotopunun yıllara göre ölçülmüş yarılanma süreleri (Değerler JAERI 97-005 konferans raporundan alınmıştır).

Bu konudaki çalışmalara katkıda bulunmak ve yeni ölçümleri yapılmamış kısa yarı ömürlü bazı çekirdeklerin yarılanma sürelerini ölçmek için bu çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmamızda kısa yarı ömür ölçmemize olanak sağlayacak enerji ayırma gücü ve sayım hızı yüksek HPGe dedektörü (High Purity Germanium Detector) kullanılmıştır. Yarılanma süresi ölçümleri için, ölü zaman ve compton bölgesi düzeltmesine daha fazla olanak sağlayan ve “Gama Enerji Tepesi Ayırma Yöntemi , GETAY” adını verdiğimiz yeni bir yöntem geliştirilmiştir.

2. TEMEL BİLGİLER

2.1 Radyasyon Nedir

Enerjinin bir yerden başka bir yere taşınması olayına ışıınım yani “Radyasyon” adı verilir. Radyasyonu atomik ve nükleer süreçte dört ana grup altında toplamak mümkündür.

- | | | |
|-----------------------------|---|---------------------------|
| - Hızlı elektronlar | } | Yüklü parçacık radyasyonu |
| - Ağır yüklü parçacıklar | | |
| - Elektromagnetik radyasyon | } | Yüksüz radyasyon |
| - Nötronlar | | |

Hızlı elektronlar, nükleer bozunum sırasında yayınlanan pozitif veya negatif β parçacıkları ve her tür nükleer ve atomik süreçte oluşan yüksek enerjili elektronlardır. Ağır yüklü parçacıklar ise protonlar (p), alfa parçacıkları(α), fisyon ürünleri ve diğer nükleer reaksiyon ürünleri arasında bulunan büyük kütleli ve enerjili iyonlardır. Elektromagnetik radyasyon, atomların elektron kabuğunun yeniden düzenlenmesi sırasında oluşan X-ışınları ve çekirdek içi geçişlerden meydana gelen gama (γ) ışınlarıdır. Son olarak nötron gurubu, bir çok nükleer süreçte meydana gelen hızlı ve yavaş nötronlardır.

2.2 Radyoaktivite ve Radyoaktif Bozunum

Eğer bir maddeyi meydana getiren atomların çekirdekleri dışarıdan hiç bir etki olmaksızın, kendiliğinden bir bozunuma uğruyorlar veya bir takım ışınlar yayınlayarak niteliklerini değiştiriyorlar, bir başka çekirdeğe dönüşüyorlarsa bu madde “ radyoaktiftir “ denir.

Bazı kararsız izotopların çekirdeklerinin dışarıdan hiç bir müdahale olmaksızın başka izotopa veya aynı izotopun başka bir haline dönüşmesi ve bu arada karakteristik bir ışın yayınlamasına “Radyoaktiflik” ve meydana gelen olaya da “ Radyoaktif Bozunum” adı verilir. Eğer bu ışını yayınlayan izotop, yani radyoaktif izotop, tabiatta mevcut ise veya

tabiatta mevcut diğer radyoaktif izotopların bozunumundan meydana geliyorsa bu radyoaktifliğe “doğal radyoaktivite” denir.

Bir radyoaktif izotop insan eliyle, yapay olarak meydana getirilen çekirdek reaksiyonları sonucunda ortaya çıkıyorsa bu durumda “yapay radyoaktiflik” ten bahsedilir.

Bütün radyoaktif çekirdeklerin meydana getirdikleri radyasyon zamanla azalır. Fakat tabiatta bulunan radyoaktif maddelerin çoğunda bu azalış o kadar yavaş olur ki doğrudan fark edilmesi olası değildir. Bu azalış ancak bazı dolaylı yollarla ortaya konulabilir. Bunun yanı sıra bazı tabii radyoaktif maddelerin radyoaktifliğinin azalışı doğrudan doğruya ölçüm yolu ile izlenebilir. Yapılan deneysel çalışmalar bütün radyoaktif maddelerin aktivitesindeki bu azalışın aynı temel yasaya bağlı olduğunu göstermiştir.

2.2.1 Radyoaktif bozunma yasası

Bir radyoaktif çekirdeğin birim zamandaki bozunma olasılığına radyoaktif bozunma sabiti adı verilir ve nükleer terminolojide λ sembolü ile gösterilir. Radyoaktif bozunma sabitinin bazı özellikleri şu şekilde sıralanabilir.

- Aynı tür çekirdek için değişmez,
- Çekirdek sayısından bağımsızdır.

Kütlesi m ve bozunma sabiti λ olan belli bir radyoaktif izotop göz önüne alındığında, m kütlesindeki atom sayısı,

$$N = \frac{mN_A}{A} \quad (2.1)$$

dır. Burada $N_A=6.023 \cdot 10^{23}$ (Avogadro sayısı) ve A ise izotopun atomik ağırlığıdır. Bozunma sonucunda bu atom sayısı azalır ve birim zamandaki azalma, birim zamandaki bozunma sayısına eşit olur. Matematik olarak ifade edilirse,

$$-\frac{dN(t)}{dt} = \lambda N(t) \quad (2.2)$$

olur. (2.2) eşitliğinin çözümü ise,

$$N(t) = N(0).e^{-\lambda t} \quad (2.3)$$

şeklinde dir. Bu ifade de $N(0)$ $t=0$ anındaki atom sayısı , $N(t)$ t anında bozunmadan kalan atom sayısını göstermektedir.

2.2.2 Yarılanma Süresi (Yarı Ömür)

Eşitlik (2.3) deki ifade bütün radyoaktif maddelerin tabi olduğu radyoaktif bozunma yasasının matematik görünüşüdür. Bozunma sabiti λ , değişik radyoaktif maddeler için farklı değerlerdedir. Bununla beraber radyoaktif maddeler genellikle bozunma sabiti yerine “Yarılanma süresi” adı verilen ve bozunma sabitine bağlı olan başka bir büyüklük ile ifade edilmektedir.

Radyoaktif bir maddenin yarılanma süresi başlangıçta mevcut olan çekirdeklerin yarısının bozunması için geçen süredir ve $T_{1/2}$ şeklinde gösterilir. Bozunma yasasında (Eşitlik 2.3) $N(t)$ yerine $N(0)/2$ yazılır ve t zamanı da tanıma göre $T_{1/2}$ ile gösterilirse,

$$\frac{N(T)}{N(0)} = \frac{1}{2} = e^{-\lambda T_{1/2}} \quad (2.4)$$

elde edilir. Bu eşitliğin iki tarafındaki terimlerin e-tabanına göre logaritması alınır ve eşitlik $T_{1/2}$ ye göre düzenlenirse yarılanma süresi;

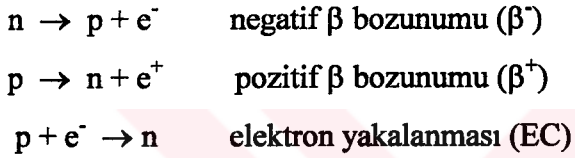
$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda} \quad (2.5)$$

olarak belirlenir.

Çalışmamızda amaçlanan yarılanma süresi ölçümleri, radyoaktif çekirdeklerin çeşitli bozunum süreçlerinde yayınlanan gama ışınlarının ölçümüne dayanmaktadır. Bu süreçler temel olarak aşağıdaki paragraflarda verilmiştir.

2.3 Beta (β) Bozunumu Takip Eden Gama (γ) Radyasyonu

Çekirdeklerin negatif veya pozitif elektron yayınlamaları veya atom elektronlarından birini yakalaması beta (β) bozunumu olarak isimlendirilir. Temelde β bozunma reaksiyonu, bir protonun nötrona veya bir nötronun bir protona dönüşmesidir. Yani, temel β bozunumu süreçleri aşağıdaki gibi gösterilebilir.



Bunlardan β^- bozunması ,

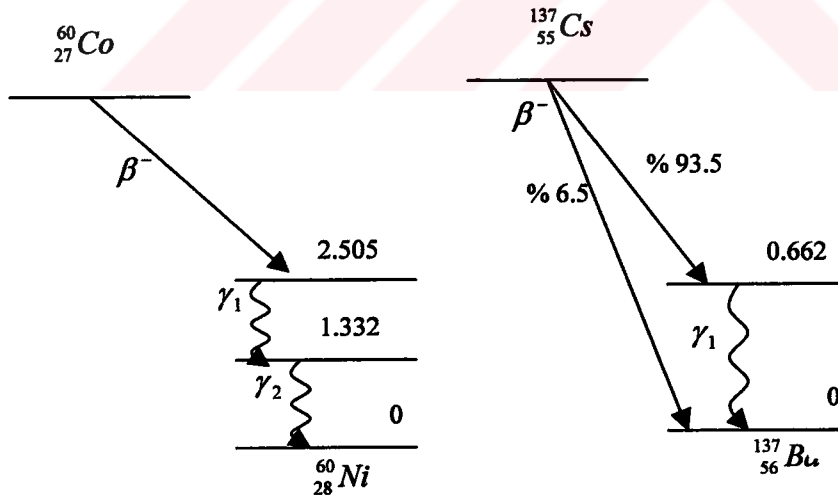


şeklinde oluşur. Burada X bozunan, Y bozunma sonucu oluşan çekirdek, $\bar{\nu}$ ise anti nötrino'dur. Nötrino ve anti nötrinoların madde ile etkileşme olasılıkları oldukça küçük olması nedeniyle pratik uygulamalarda algılanmaları olası değildir. β yayınımlı sırasında geri tepen Y çekirdeğinin enerjisi iyonizasyon eşik seviyesinden çok küçük olduğundan dedektör tarafından algılanamamaktadır. Bu sebeple β bozunumunda tek belirgin iyonize radyasyon hızlı elektronlar, veya β^- parçacıklarıdır.

Kararlı malzemelerin nötronlar ile bombardıman edilmesi (ışınlanması) ile oluşan radyoaktif çekirdekler çoğunlukla β aktiftirler. Bu sebeple reaktörde veya nötron jeneratörlerinde yarılanma süreleri binlerce yıl ile saniyeler mertebesinde olan β yayınlayıcı radyoaktif çekirdeklerin elde edilmesi mümkündür. Bozunumların çoğunda ürün çekirdek uyarılmış durumda kalır ve kararlı duruma geçmek için γ -ışını yayımlar. Bu

nedenle, bilinen bir çok beta kaynakları, β parçacığının yanı sıra, gama ışınları da yayınlarlar. Gama (γ) radyasyonu, uyarılmış durumdaki bir çekirdeğin bulunduğu nükleer seviyeden daha düşük bir nükleer seviyeye geçişi sırasında meydana gelir. Laboratuarlarda gama radyasyonu kalibrasyon kaynağı olarak kullanılan kaynakların uyarılmış nükleer seviyeleri, ana çekirdeğin bozunması sırasında oluşurlar. Yeni geçiş, enerjisi başlangıç ile son nükleer durum seviyeleri arasındaki farka eşit olan bir gama ışını fotonunun yayınlanması suretiyle olur. Bu sebeple meydana gelen gama ışınları β bozunumunun yarılanma sürelerine bağlı olmaktadır. Şekil 2.1 'de bu tür gama radyasyon kaynaklarından iki tanesi örnek olarak gösterilmektedir.

Nükleer seviyelerin enerjileri çok iyi belirlenmiş olması sebebiyle, seviyeler arası geçişlerde yayınlanan gama ışınlarının enerjileri de çok iyi tanımlanabilir. Herhangi bir geçişte yayınlanan gama ışını tek enerjili kabul edilebilir ve foton enerji dağılımının genişliği, her tür dedektörün enerji çözünürlüğü (ayırma gücü) ile karşılaştırıldığında, çoğu zaman ihmal edilebilir.

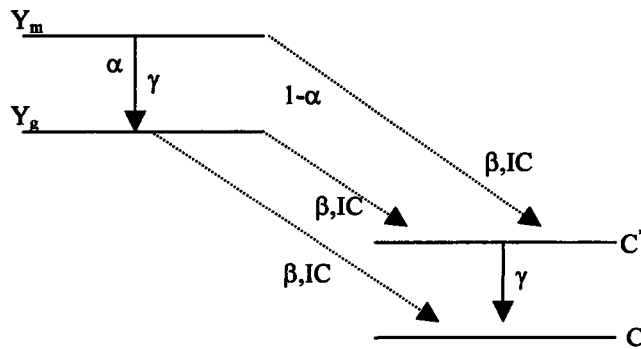


Şekil 2.1 Beta bozunumu sonucu gama yayınımına iki örnek.

2.4 İzomerik Durumlar (İzomerler)

Atom numarası 5'den büyük ve uyarılmış bağ durumları olan çekirdeklerde gama yayını gözlendir. Bu gama yayını, genellikle, ürün çekirdeğin uyarılmış durumlarını meydana getiren α ve β bozunumlarını takiben ortaya çıkar. Uyarılmış bir seviyede gama yayını için yarı ömür genellikle 10^{-9} sn den daha kısadır. Fakat, bazen, gama yayını için yarı ömür saat veya gün mertebesinde bulunabilir. Bu tür geçişlere izomerik geçişler, ve uzun süreli uyarılmış durumlara da izomerik durumlar veya izomerler (bazen de meta-stabil durumlar) adı verilir.

Bir X ana çekirdeğin nötronlarla bombardımanı sonucu bir Y ürün çekirdeğin oluşma olasılığı iki durum göz önüne alınarak incelenebilir. Y ürün çekirdeğinin oluşumu ya Y_g temel (g:ground) durumu ile yada Y_m (m: izomer) izomerik durumu ile oluşabilir. Oluşan Y_m izomerik durum, radyoaktif bozunma sabiti λ_m ile, kararsız durumun temel duruma doğru bozunmasının dallanma oranı α 'yı izleyerek Y_g temel duruma ve buradan λ_g radyoaktif bozunma sabiti ile γ yayını ile son çekirdek olan C' ye bozunabilir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 İzomerik durumların oluşumu.

2.5 Nötron Tepkileşimleri Sonucu β^- - aktif Çekirdeklerin Elde Edilmesi

Beta Bozunumu yapacak çekirdek laboratuarda bir elementin hızlı nötronlarla etkileşmesi sonucunda oluşturulabilir. Nötron yüksüz olduğundan atomun yörünge elektronları veya çekirdek aralarında coulomb kuvvetleri oluşmaz. Bu sebeple nötronların madde ile etkileşmeleri çekirdeğe girmeleri veya çekirdek kuvvetleri etkisinde kalmaları ile mümkündür. Bunun olabilmesi için de çekirdeğe yeteri kadar yaklaşmaları ön koşuldur.

Bir nötronun bir ${}^A_Z X$ çekirdeği ile etkileşmesi şu şekilde gösterilebilir;



${}^{A+1}_Z Y^*$, uyarılmış bir durumda bulunan bileşik çekirdeği göstermektedir. Bileşik çekirdek kısa bir zaman uyarılmış seviyede kalır, 10^{-12} - 10^{-20} sn . Tekrar bir nötronun yayınlanması olayı, bir saçılma olayı olarak adlandırılır. Saçılma, çekirdek uyarılmış veya temel seviyede kalması durumuna göre in-elastik veya elastiktir. Her iki durumda da nötronun enerjisi azalır. Fakat bu azalma in-elastik saçılma için daha büyüktür.

Uyarılmış seviyede bulunan her hangi bir çekirdek için enerji bakımından çeşitli tipte çekirdek bozunumu mümkündür. Değişik tepkileşimler için olasılık, uyarılma enerjisinin büyüklüğüne, bileşik ve ürün çekirdeğin enerji seviyelerinin durumuna bağlıdır. Sonuç olarak her bir absorbsiyon olayı için olasılık, nötronun enerjisine ve absorblayıcının bileşimine bağlıdır. Olasılık aynı bir elementin çeşitli izotopları için bile büyük ölçüde değişir, çünkü her bir çekirdek tipinin nükleer özellikleri farklıdır.

Nötronun madde ile etkileşmesi altı başlık altında toplanabilir. Bunlar;

- a) Nötronun elastik çarpışması (n,n)
- b) Nötronun elastik olmayan çarpışması (n,n'), (n,n γ) veya (n,2n)

- c) Nötronun çekirdek tarafından tutulması (n,γ)
- d) Fisyon tepkileşimleri (n,f)
- e) Yüksek enerjili nötronlarla meydana gelen tepkileşimler ($E_n > 100 \text{ MeV}$)
- f) Yüklü parçacık yayınlanması: (n,p), (n,d), (n,t), (n,α), ($n,\alpha p$) tepkileşimleri

Yüklü taneciklerin çekirdekten kurtulabilmeleri için önce coulomb potansiyeli engelini aşmaları gerektiğinden (f) de verilen tepkileşimler en çok hafif çekirdekler ve hızlı nötronlar için mümkündür. Bunlardan (nötron , yüklü tanecik) şeklinde gösterilen tepkileşimler çalışmamız açısından önemlidir. Çünkü, böyle bir tepkileşimde , bir yüklü tanecik (proton, döteron, alfa vs.) yayınlanması yanı sıra , çoğu kez β -bozunumu yapan aktif bir çekirdek de elde edilir.

Çalışmamızda kullandığımız Sames T-400 nötron jeneratörü ile örnek malzemelerin nötronlarla ışınlaması sonucu β -bozunumu yapan radyoaktif çekirdekler elde edilmekte ve bu bozunumu takip eden gama bozunumu ile radyoaktif çekirdeğin yarılanma süresi belirlenmektedir.

Elde edilen radyoaktif çekirdeklerin aktivitesi aşağıdaki paragrafta anlatıldığı şekilde belirlenebilir.

Bir nötronla ışınlama sisteminde kütlesi m olan bir malzeme, sabit bir nötron akısı ϕ ile ışınlığında, birim zamanda, malzemenin birim yüzeyinde meydana gelen tepkileşim sayısı,

$$R = \phi \sigma n \quad (2.8)$$

ile tanımlanır (ϕ : nötron akısı, σ : malzemenin nötronla tepkileşim olasılığı (tepkileşim kesiti), n : malzemedeki atom sayısı).

Işınlamanın meydana getirdiği tepkileşim neticesinde oluşan kararsız ürün çekirdeklerin herhangi bir t zamanındaki sayıları $N(t)$ ve bozunma sabiti λ ise, ürün çekirdeklerin sayısının birim zamanda hızı;

$$\frac{dN(t)}{dt} = R - \lambda N(t) \quad (2.9)$$

ile ifade edilir (R : tepkileşim hızı). Burada ışınlama süresince R 'nin sabit kaldığı kabul edilmektedir. Bu durumda herhangi bir t anında malzemedeki radyoaktif ürün çekirdek sayısı,

$$N(t) = \frac{R}{\lambda}(1 - e^{-\lambda t}) \quad (2.10)$$

dır. Malzemenin ışınlama bitiminden sayım işlemine kadar geçen süre t_b (bekleme süresi) ve sayım süresi t_s boyunca radyoaktif çekirdek sayısında azalma meydana geleceği için, bu azalma faktörleri de göz önüne alınır ve R yerine Eşitlik (2.8) deki değeri Eşitlik (2.10) da yerine konulursa,

$$N = \frac{n\sigma\phi}{\lambda} \left[(1 - e^{-\lambda t}) e^{-\lambda t_b} (1 - e^{-\lambda t_s}) \right] \quad (2.11)$$

ile ifade edilen bozunmadan kalan ürün çekirdek sayısı N bulunur.

Sayım sisteminden elde edilen gama ışını spektrumunda E_γ enerjili tüm enerji tepesi (TET) alanı $P(E_\gamma)$, ilgili gama ışının toplam bozunma oranı f , dedektörün E_γ enerjili gama ışınları için sistemin mutlak TET verimi ε ve ışınlanan malzemenin hacmi içinde gamaların soğurulmasını da içeren sayım katı açısı Ω Denklem (2.11)'e ilave edilerek $P(E_\gamma)$,

$$P(E_\gamma) = \frac{n\sigma\phi\varepsilon f\Omega}{\lambda} \left[(1 - e^{-\lambda t}) e^{-\lambda t_b} (1 - e^{-\lambda t_s}) \right] \quad (2.12)$$

olarak bulunur. Burada malzemedeki çekirdek sayısı n ' nin açık ifadesi,

$$n = \frac{mN_A h}{A} \quad (2.13)$$

yerine yazılırsa (m : hedef çekirdek kütlesi, A : hedef çekirdeğin atom ağırlığı, N_A Avogadro sayısı ve h : hedef çekirdeklerin göreceli izotopik bolluğu) ve denklem A' ya göre düzenlenirse, ışınlama sonunda elde edilen radyoaktif malzemenin aktivitesi,

$$A = \frac{mhN_A \sigma \phi \epsilon f \Omega}{\lambda P(E_\gamma)} \left[(1 - e^{-\lambda t}) e^{-\lambda_b t} (1 - e^{-\lambda_s t}) \right] \quad (2.14)$$

olarak bulunur.

2.6 Deneysel Ölçümlerde Belirsizlikler (Hatalar)

Her tür deneysel çalışmalarda, sonuçlar üzerinde daima bir belirsizlik veya hata vardır. Bu nedenle deneysel çalışmalarda sayım sisteminin özelliklerine ve diğer çevre koşullarına bağlı katkıların hesaba alınması gerekir. Ölçümlerin alınması esnasında ve değerlendirilmesinde yapılacak hataların nereden ve nasıl meydana geldiğinin belirlenmesi ve gerekli düzeltmelerin yapılması neticelerin geçerliliği açısından bir zorunluluktur. Ölçüm değerlerindeki hatalar deneysel düzeneklerde kullanılan aletlerden (aletlerin iyi ayar edilmemesi gibi), kimi zaman da ölçümlerin tabiatından (Radyoaktif bozunum, proton – proton çarpışması vs. gibi olasılığa dayalı olaylardan) meydana gelebilir. Bu sebeple ölçüm sonucu elde edilmiş değerlerde bu tür hataların ve katkıların belirlenmesi bulunacak sonuçların geçerliliğini artıracaktır (Bevington, 1969).

2.6.1 Elektronik donanımdan kaynaklanan belirsizlikler

2.6.1.1 Aletlerin ölü zamanından kaynaklanan belirsizlikler

Deneysel çalışmalarda, veri toplama-değerlendirme işlemlerinde kullanılan elektronik donanımın ard arda gelen sinyalleri ayırabilmesi ve işleyebilmesi için belirli bir minimum zaman aralığına ihtiyacı vardır. Bu minimum zaman aralığına ölü zaman (dead time) adı verilir. Bu zaman aralığı içinde gelen diğer sinyaller alet tarafından algılanamaz. Çünkü aletin bir sonraki sinyali değerlendirebilmesi için mevcut sinyalin işleminin bitmesi gerekir. Radyoaktif çekirdeklerle yapılan deneysel çalışmalarda yukarıda bahsedilen nedenden dolayı sayım kayıpları meydana gelmektedir. Özellikle yüksek sayım hızları (yüksek aktivite) ile yapılan deneysel çalışmalarda ölü zaman oldukça büyümektedir. Buna bağlı olarak sayım sisteminin gerçek sayım süresi (true time) ile sistemin aktif olarak sayım yapabildiği (sinyalleri değerlendirdiği) sayım süresi (life time) farklı olmaktadır. Bu iki sayım süresi karşılaştırıldığında, aktif sayım süresinin gerçek sayım süresinden daha kısa olduğu görülmektedir. Bu nedenle meydana gelen sayım kayıplarını telafi etmek için gerçek sayım süresinin aktif sayım süresine oranlanması ve elde edilen oransal değer ile ölü zaman düzeltilmesinin yapılması gerekir. Genellikle bu tür düzeltmeler çok kanallı analizörde elektronik olarak verilen gerçek zaman (truetime) ve aktif zaman (life time) değerleri kullanılarak gerekli ölü zaman düzeltilmesi yapılır. Ancak, radyoaktif bir çekirdeğin yarılanma süresi ölçümlerinde olduğu gibi, ölü zamanın sabit olmadığı ve zamana bağlı olarak hızla değiştiği durumlarda, yukarıda bahsedildiği gibi ölü zaman düzeltilmesi yapmak mümkün değildir. Böyle durumlarda ölü zaman düzeltmeleri için “kaynak yöntemi” veya “pulser yöntemi” adı verilen yöntemler kullanılır. Nükleer elektronikte ölü zamana en fazla sebep olan aletlerin başında içinde analog-dijital çevirici bulunan (çok kanallı analizör gibi) aletler gelir.

2.6.1.2 Aletlerde darbe yığılımından (pile-up) kaynaklanan belirsizlikler

Yüksek aktiviteli çekirdeklerle yapılan deneysel çalışmalarda olduğu gibi, dedektöre eş zamanlı gelen sinyaller birbirleriyle girişim yaparak, amplifikatör çıkışında, deforme

olmuş ve gaussien dağılımdan uzak (gelen elektrik sinyallerden farklı genlik ve genişlikte) bir elektriksel sinyalin sayımının yapılmasına neden olur. Meydana gelen bu olaya darbe yığılması (pile-up) adı verilir. Ölü zaman olayında olduğu gibi, bu olay da sayım kayıplarına neden olmaktadır. Deneysel çalışmalar sırasında darbe yığılımından kaynaklanan sayım kayıplarını gidermenin bir yolu elektronik bir devre kullanılarak bu darbe yığılmasına engel olmaktır. Ancak, bu tür elektronik devreler de sayım sisteminde ölü zamana ilave katkı yapacaktır. Bu nedenle, sayım hızının düşük ve ölü zamanın sabit olduğu deneylerde bu tür elektronik devrelerin kullanılması daha sağlıklı neticeler vermektedir..

2.6.1.3 Rasgele eş zamanlı (coincidence summing) sayımlardan kaynaklanan belirsizlikler

Deneysel çalışmalarda sayım kayıplarına neden olan diğer bir olay da radyoaktif çekirdeğin iki yada daha fazla gama ışınını kaskat olarak yayınlaması durumunda meydana gelir (Şekil 2.1 de ^{60}Co bozunumu). Dedektörün ayırma gücünden daha kısa sürede ve kaskat olarak gelen gama ışınlarının meydana getireceği elektriksel sinyaller, dedektör içinde toplanarak gelen sinyallerin genliğinden yüksek tek bir elektriksel sinyalin oluşmasına ve dolayısıyla sayım kayıplarına neden olmaktadır. Bu olaya rasgele eş zamanlı (coincidence summing” sayımlar adı verilir.

2.6.2 Birleşik Belirsizlikler (Standart Hatalar)

Herhangi bir fonksiyonun değerindeki belirsizlik, fonksiyonun değişkenlerinin standart hatalarının diferansiyel kombinasyonu ile hesaplanır.

$F(x_1, x_2, \dots, x_m)$ bağımsız değişkenlerin fonksiyonu ve $x_1, x_2, \dots, x_m$ bağımsız değişkenler, $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_m$ bu bağımsız değişkenlerin standart hatalarını ifade etsin. Bu durumda $x_1, x_2, \dots, x_m$ bağımsız değişkenleri ile hesaplanan $F(x_1, x_2, \dots, x_m)$ fonksiyonunun standart hatası,

$$\sigma_f = \sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial F}{\partial x_i} \right)^2 \cdot \sigma_i^2 \quad (2.15)$$

ile hesaplanır (Ercan, 1995).

2.6.3 Sayım değerlerindeki standart hatalar

Radyoaktif bozunum poisson dağılımına uyan tamamıyla tesadüfi doğal bir süreçtir. Poisson dağılımına uyan bir ölçülmüş sayım değeri “m” nin standart hatası $\sqrt{m}$ olarak ifade edilir. Fakat gerçek m değeri asla bilinemez ve sonlu sayıda ölçüm ile bulunması mümkün değildir. Ancak, hesaplamalarda bir ortalama değeri “ $\bar{m}$ ” ve onun etrafında diğer verilerin dağılımı göz önüne alınır.

Bir ölçüm sisteminde elde edilen sayım değeri üzerinde background, ölü zaman vb. düzeltmeler yapıldığı zaman, bu düzeltmelerin standart hataları da sayım değerinin standart hatasına katkıda bulunur. Bu durumda sayım değerinin standart hatası artık $\sqrt{m}$ olmayacaktır.

Yukarıda bahsedilen durum göz önüne alınarak background ve ölü zaman düzeltmesi yapılmış bir sayım değerinin standart hatası aşağıda gösterilen semboller ile tanımlanmıştır.

N : Bir t süresi sonunda elde edilen sayım değeri,

B : N sayım değeri üzerindeki background katkısı (veya compton bölgesi katkısı),

D : Ölü zaman düzeltmesi sonucu sayım değerine ilave edilecek sayım değeri,

R : Yukarıda bahsedilen düzeltmelerin yapılması sonucu elde edilen net sayım değeri.

t sayım süresi sonunda elde edilecek net sayım değeri N, B ve D bağımsız değişkenler olması şartı ile ,

$$R = N - B + D \quad (2.16)$$

dir. Net sayım değerinin standart hatası,

$$\sigma_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial N} \right)^2 \sigma_N^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial b} \right)^2 \sigma_B^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial D} \right)^2 \sigma_D^2 \right]^{1/2} \quad (2.17)$$

olur. Buradan Eşitlik (2.16)' dan,

$$\left(\frac{\partial R}{\partial N} \right)^2 = 1, \quad \left(\frac{\partial R}{\partial B} \right)^2 = 1 \quad \left(\frac{\partial R}{\partial D} \right)^2 = 1 \quad \text{ve} \quad (2.18)$$

$$\sigma_N^2 = (\sqrt{N})^2 \quad \sigma_B^2 = (\sqrt{B})^2 \quad \sigma_D^2 = (\sqrt{D})^2 \quad (2.19)$$

olmak üzere net sayım değeri üzerindeki standart hata,

$$\sigma_R = (N + B + D)^{1/2} \quad (2.20)$$

olarak bulunur.

2.7 En Küçük Kareler Yöntemi ile Radyoaktif Bozunumun Uyum Denkleminin Katsayılarının Belirlenmesi

Doğrusal olmayan, yani değişkenlerin doğrusal değişmediği fonksiyonlarda en küçük kareler yöntemi ile (Ek-1) uyumlama yapmak mümkün değildir . Bu durumda ilgili fonksiyonun doğrusal şekle dönüştürülmesi gereklidir.

Radyoaktif bozunumu temsil eden ve doğrusal olmayan,

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (2.21)$$

denklemini doğrusal şekle dönüştürmek için en basit yol her iki yanın logaritmasının alınmasıdır.

$$\ln N = \ln N_0 - \lambda t \quad (2.22)$$

Eşitlik (2.22) de $\ln N = y$, $\ln N_0 = a$ ve $x = -\lambda$ olarak tanımlanırsa,

$$y = a + xt \quad (2.23)$$

olarak doğrusal uyum denklemi elde edilir. En küçük kareler yönteminin bu yeni a ve x katsayılarının χ^2 değerini minimize etmesi beklenir. Burada χ^2 ,

$$\chi^2 = \sum_i \left\{ \frac{1}{\sigma_i^2} [y_i - a - xt_i]^2 \right\} \quad (2.24)$$

olarak verilir.

Veriler üzerindeki belirsizliklerin küçük olması durumunda Eşitlik (2.23)' e yapılacak uyumun da iyi olmasını sağlayacaktır. Bu durumda a ve x katsayıları üzerindeki belirsizlikleri mümkün en küçük değere düşürmek için optimizasyon yöntemleri ile mümkün en küçük χ^2 değeri bulunmaya çalışılır. Bu işlem için bir bilgisayar programı kullanmak zorunlu bir hal almaktadır (Ek-4).

3. DENEY DÜZENİ

3.1 Işınlama Sistemi

3.1.1 Alçak enerjili iyon hızlandırıcısı Sames T-400'ün tanıtımı

Sames T-400 İyon hızlandırıcısı Çekmece Nükleer Araştırma Eğitim Merkezi, Fizik Bölümündeki araştırma laboratuvarında bulunmaktadır. Hızlandırıcı 18m×10m×6m boyutlarında bir salonda çalışmaktadır ve ölçüm ve veri analiz laboratuvarı ile aralarında 120 cm kalınlığında, baritli betondan imal edilmiş bir duvar vardır. Salonun ölçüm ve veri analiz laboratuvarına bağlantısı geçiş kanalları ile sağlanmıştır (Şekil 3.1).

Hızlandırıcı üç ana ünitelerden oluşmaktadır:

1. Ana hızlandırma ünitesi
2. Yüksek gerilim ünitesi
3. Kontrol ünitesi

Ana hızlandırma ünitesi vakum sistemi, iyon kaynağı, hızlandırma kolonu, elektrosatik kuadropol mercekle, diyafram, elektron tuzağı, döteron huzme kesici, hedef ve uzaktan kumanda imkanını sağlayan çeşitli servomotorlardan oluşmaktadır. Vakum sisteminin meydana getirdiği en iyi vakum değeri $8 \cdot 10^{-7}$ torr dur.

Yüksek Gerilim Ünitesi, Hızlandırıcının en büyük ve en önemli ikinci ünitesidir. Yüksek gerilim hermetik ünitesi, çeşitli besleme katlarını, eksitasyon, regülasyon ve koruma devrelerini içeren kabini, yüksek gerilim kapasitesi ve damping dirençlerinden meydana gelmiştir. Maksimum 400 kV gerilim üretir ve sürekli çalışmada 2 mA, darbeleri çalışmada 3 mA değerinde akım üretir.

Kontrol Ünitesi ise, hızlandırıcının çalışması esnasında uzaktan her türlü kontrol imkanı veren, sistemin çeşitli yerlerinden bilgi aktarmak üzere bir takım göstergeler de içeren önemli bir kısımdır. Yüksek gerilim üreticinin ve iyon kaynağının çalıştırılmasını, yüksek gerilim değerini, iyon kaynağına gaz girişini, uygulanan yüksek frekans gücünü, fokalizasyon ve eksitasyon gerilimlerinin kontrolünü sağlar. Ayrıca yüksek gerilimin şiddetini ve geçen akım miktarını, sekonder vakum seviyesini, hedef ve diyafram akım şiddetlerini bildiren göstergeleri, ayrıca iyon kaynağı, yüksek gerilim ve vakumla ilgili çeşitli korumaları içerir.

Alçak enerjili iyon hızlandırıcısı Sames T-400 (Şekil 3.2) ile ilgili ayrıntılı bilgiler Ç.N.A.E.M. A.R-262 (Tarcan, G. vd.,1989) araştırma raporunda verilmiştir.

3.1.2 Nötron Kaynağı

Bu çalışma ÇNAEM Fizik Bölümünde bulunan ve bir önceki paragraflarda kısaca tanımlanan Sames T-400 alçak enerjili iyon hızlandırıcısı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Alçak enerjili iyon hızlandırıcılarında hızlı nötronlar genellikle, döteronların döteryum hedefi veya trityum hedefi bombardımanı sonucu oluşurlar.



Burada enerjisi 14.6 MeV civarındaki nötronların neden olduğu tepkileşimler inceleneceği için (3.2) eşitliği bizim için önem taşımaktadır. Sames T-400 hızlandırıcısının hedef malzemesi, kalınlığı 1 mm, çapı 49 mm olan bakır bir disk üzerine kaplanmış 1.09 mg/cm^2 kalınlığında titanyum tabakadan oluşmaktadır. Bu tabakaya 0.78 Ci/cm^2 aktivitesi olan trityum emdirilmiştir. ^3He , T nötron kaynak tepkileşimlerinin bazı özellikleri Çizelge 3.1'de verilmektedir.

Çizelge 3.1 Döteron – Trityum tepkileşimi özellikleri (Csikai, 1987)

Tepkileşim	Q Değeri (MeV)	Parçalanma Tepkileşimi	Parçalanma Tep.Eşik Enj	Nötron Enj Aralığı (MeV)
$^3\text{H}(\text{d},\text{n})^4\text{He}$	+17,59	T(d,np)T	3,71	11,75 - 20,5

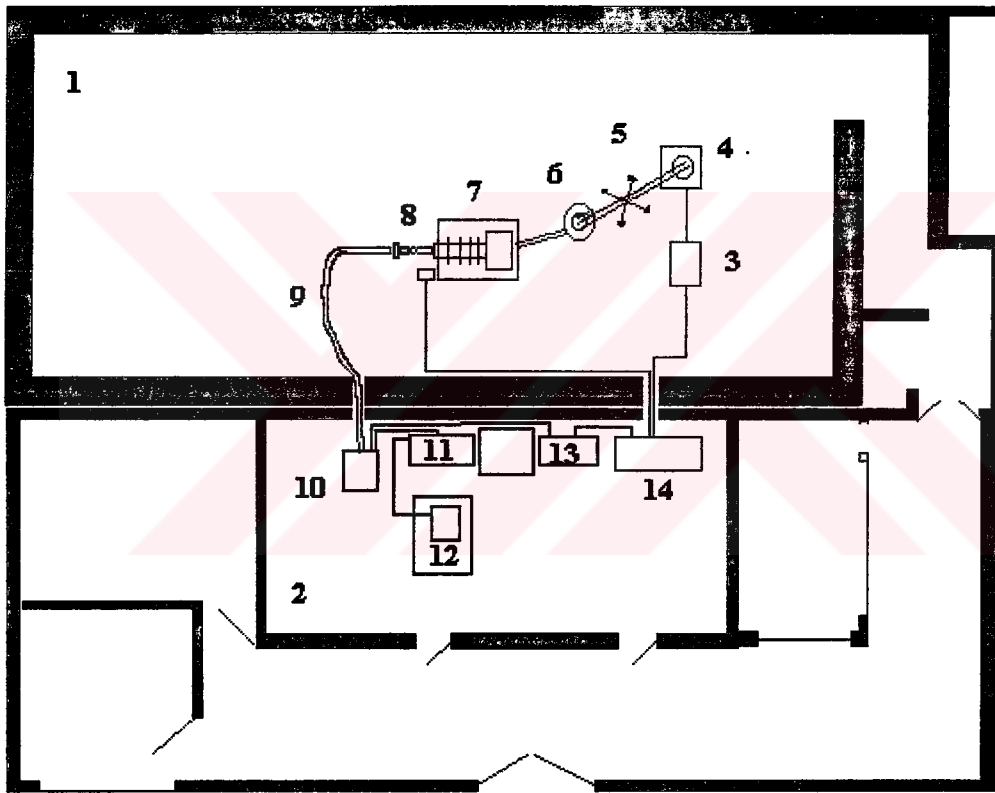
Gelen döteron ile hedef olan hafif çekirdek arasındaki coulomb engeli küçük olduğu için iyi bir nötron verimi elde etmek için döteronların yüksek enerjilere hızlandırılmasına gerek yoktur. Bu reaksiyon (Denklem 3.2) nötron üreteçlerinde yaygın olarak kullanılır ve döteryum iyonları 100-300 kV luk bir potansiyelde hızlandırılırlar. Gelen parçacığın enerjisi, reaksiyon Q değeriyle kıyaslayınca daha küçük olduğu için tüm nötronlar yaklaşık aynı enerjide üretilirler. D-T reaksiyonu için bu değer 14 MeV civarındadır. 1 mA lik bir döteron demeti kalın bir trityum hedefte saniyede 10^{11} nötron oluşturur (Knoll, 1979).

Nötron üretmek için bizim düzeneğimizde kullanılan analiz edilmemiş döteron demeti (% 73 d^{++} Atomik, % 27 d^+ Moleküler) 250 kV terminal voltajı altında hızlandırılmış ve ortalama 500 μA hedef akımı uygulanmıştır. $^3\text{H}(\text{d},\text{n})^4\text{He}$ reaksiyonu sonucu döteron demetine göre 0° ışınlama açısı ile enerjisi ~ 14.6 MeV olan nötronlar üretildi. Bu nötronların akı yoğunluğu yaklaşık 10^7 nötron/ cm^2sn mertebesinde dir.

3.2 Örnek Transfer Sistemi

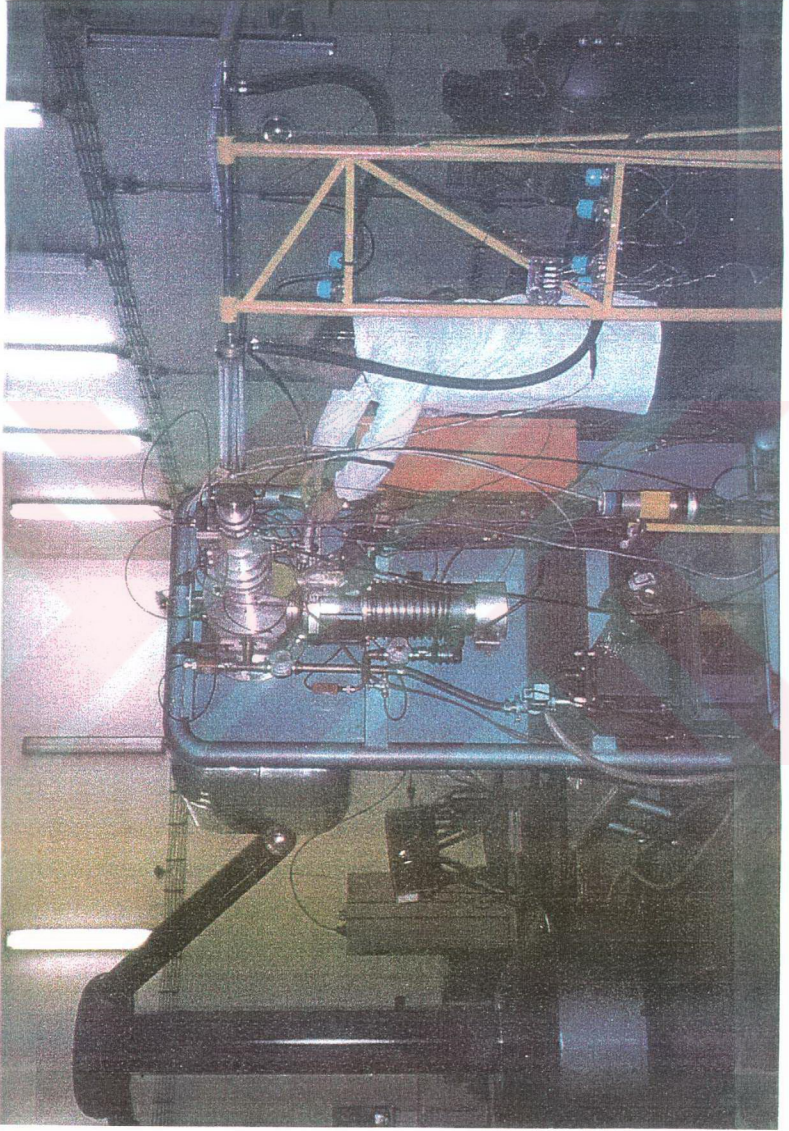
Malzemenin ışınlanması sonucu oluşan kısa yarı ömürlü çekirdeklerin yarılanma süresi ölçümlerinin yapılması için, örneğin ışınlamanın hemen arkasından sayımın yapılacağı yere gönderilmesi gerekmektedir. Bu amaçla özel bir örnek taşıma ve sayım sistemi yapılmıştır. Bu sistemde örnek, hızlandırıcı salonundaki ışınlama noktasından, ölçme laboratuvarındaki sayım noktasına ~ 0.5 saniyede taşınmaktadır. Bu mesafe yaklaşık 10 m dir. Polietilen malzemeden yapılmış 18 mm yüksekliğinde ve 25 mm çapında silindirik şeklindeki örnek taşıyıcı özel bir plastik hortum içinde, basınçlı havanın itmesiyle

hızlandırılmakta, hava yastığı oluşturarak sağlanan frenleme ile ışınlama ve sayım bölgelerine herhangi bir tahribata uğramadan ulaştırılmaktadır. Bütün bu mekanik işlemler bu sistem için hazırlanmış bir kişisel bilgisayar programı kullanılarak, otomatik olarak yapılmaktadır. Örnek transfer sistemi ile ilgili ayrıntılı bilgiler Ç.N.A.E.M. T.R.-999 (Özber, Y. vd., 1998) de verilmiştir.



- | | |
|---------------------------|---|
| 1 Hızlandırıcı Salonu | 8 Hedef |
| 2 Ölçüm Odası | 9 Transfer sistemi |
| 3 Besleme Kabini | 10 HPGe Dedektörü (zırh içinde) |
| 4 Hermetik Y.G. Ünitesi | 11 Elektronik Modüller (Amplifikatör
Pulser, MS vs.) |
| 5 Damping Dirençleri | 12 IBM Computer (Ortec 919 bağı) |
| 6 Y.G. Kapasitesi | 13 IBM Computer (Transfer sistemi için) |
| 7 Ana Hızlandırma Ünitesi | 14 Uzaktan Kontrol Ünitesi (Sames T-400) |

Şekil 3.1 Hızlandırıcı salonu ve ölçüm odasının şematik gösterimi.



Şekil 3.2 Sames T-400 Nötron jenetarörü ve hızlandırıcı salonu

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

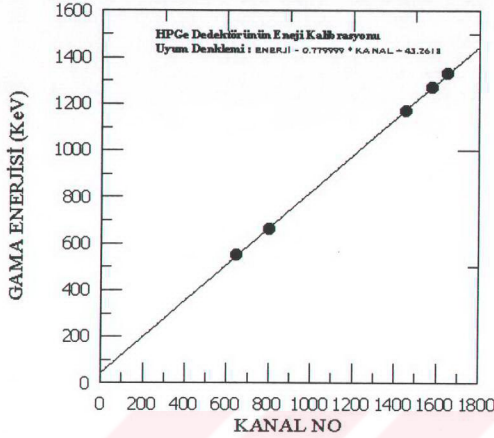
4.1 HPGe Dedektörünün Enerji Kalibrasyonunun Yapılması

Bu çalışmada enerji ayırma gücü ve sayım hızı yüksek HPGe dedektörü kullanılmıştır. Dedektörün pencere kalınlığı (alüminyum) 0.5 mm, kristalinin çapı 49.5 mm, aktif yüzeyi 19.4 cm² dir. Çalışma gerilimi +3500 Volt, enerji ayırma gücü (FWHM) 122 KeV'de 1.3 KeV ve 1333 KeV'de 1.9 KeV'dir. Ölü zaman ve darbe yığılması (pile up) düzeltilmesi isteğe bağlı olarak elektronik devrelerle yapılabilir.

HPGe dedektörünün enerji kalibrasyonu kolayca temin edilebilen ²²Na, ¹³⁷Cs, ⁶⁰Co, ⁵⁴Mn, ²²⁸Th vs. gibi standart gama kaynakları ile elde edilen E_γ spektrumları ile tanımlanabilir. Çalışmamızda kullanılan Canberra Model 85 çok kanallı analizörü (MCA) ile Ortec Model 919 Spectrum Master çok kanallı analizörün enerji kalibrasyonu Çizelge-4.1'de verilen standart gama kaynakları kullanılarak yapılmıştır (Şekil 4.1). Kaynaklar, dedektörün önündeki hızlı transfer sisteminin sayım başlığına yerleştirilmiştir. Bu konum yarılanma süreleri ölçülecek örneklerin sayımlarının yapıldığı konumdur (Şekil 5.2).

Çizelge 4.1 Enerji kalibrasyonu için kullanılan standart gama kaynakları.

Kaynak	E _γ (KeV)	% Şiddet	Aktivitesi	Yarı ömrü	Üretim Tarihi
Co-57	122.06	85.5	480.6 kBq	271.77 gün	01.02.1995
Cs-137	661.66	85.21	332 kBq	30 yıl	01.02.1995
Mn-54	834.826	99.975	470.3 kBq	312.2 gün	01.02.1995
Co-60	1173.237	99.9	380.4 kBq	5.271 yıl	01.02.1995
Co-60	1332.501	99.9821	380.4 kBq	5.271 yıl	01.02.1995



Şekil 4.1 HPGe Dedektörünün Enerji Kalibrasyonu.

4.2 HPGe Dedektörünün Gama ışınları için Verim Kalibrasyonunun Yapılması

Noktasal gama kaynağından izotropik olarak yayılan gamalar ile dedektörün kristal yüzeyine gelenlerin oranına dedektörün katı açısı adı verilmektedir (Ω). Sayım katı açısı, kaynaktan dedektörün etkin yüzeyini gören katı açının tüm ışıma yüzeyi 4π 'ye oranıdır ve

$$\Omega_0 = \frac{1}{2} \left[1 - \left(1 + \frac{R_D^2}{(d_e + d_k)^2} \right)^{-1/2} \right] \quad (4.1)$$

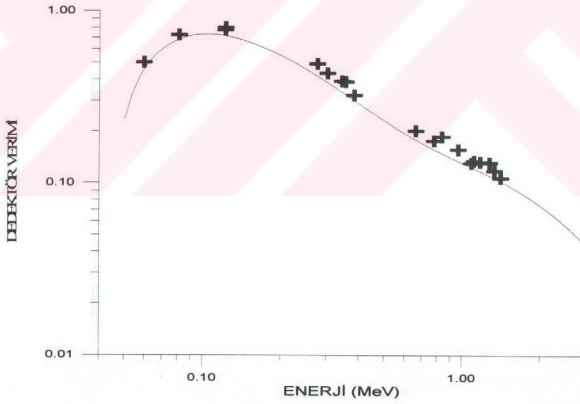
ifade edilir (Bostan vd.,1988). Burada d_e ; gama ışınının sinyal üretmek üzere dedektör kristali ile etkileştiği noktanın dedektör yüzeyinden uzaklığı (etkin derinlik), d_k ; dedektör alüminyum yüzeyi ile örnek arasındaki mesafe ve R_D ; dedektörün yarıçapıdır. Bu sayım geometrisi altında ölü zaman düzeltmesi yapılmış ve darbe yığılması engellenmiş

(elektronik olarak) sayım sisteminde, aktivitesi bilinen noktasal bir kaynak ile yapılan E_γ enerjisindeki TET (tüm enerji tepesi) ölçümleri ile elde edilen verim;

$$\varepsilon(E_\gamma) = \frac{P(E_\gamma)}{A f \Omega_0 t} \quad (4.2)$$

dir. Bu ifadede : $P(E_\gamma)$: Gama spektrumunda E_γ enerjili TET altındaki net sayım, A : Nokta kaynak aktivitesi, f : Görelî gama şiddeti, Ω_0 : Sayım katı açısı ve t : Sayım süresidir.

Çalışmamızda kullandığımız HPGe dedektörünün 80 KeV -1600 KeV arasında gama ışınlarına karşı verimi Şekil 4.2'de verilmektedir (Durusoy, 2000).



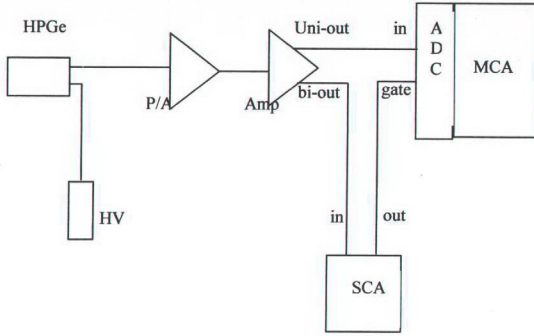
Şekil 4.2 HPGe dedektörünün TET Verimi.

4.3 Tek Kanallı Analizörün (SCA) LLE Kalibrasyonu

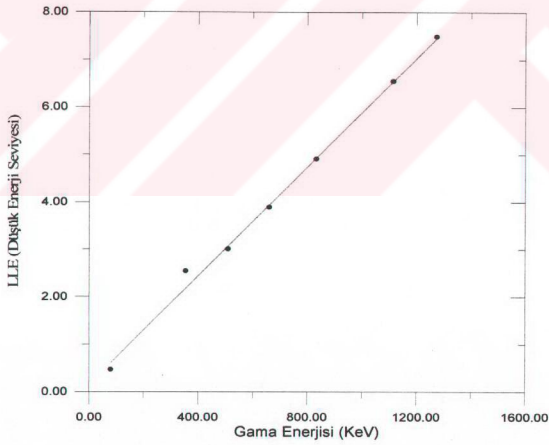
Kısa yarı ömürlü bir radyoaktif çekirdeğin yarılanma süresinin belirlenmesi ile ilgili ölçümlerde yeterli sayım istatistiğinin sağlanması için en az dört yarı ömür takip edilmeli ve her bir yarı ömür içinde en az 3 ölçüm (gama spektrumu) alınması gerekmektedir. Alınan spektrumların her defasında bilgisayar ortamında saklanabilmesi için geçecek sürenin çekirdeğin yarılanma süresi yanında oldukça kısa olması gereklidir. Ölçüm sistemimizde 8192 kanallı kapsayan bir spektrumun bilgisayar ortamına transferi ve saklanması işlemi yaklaşık 1 ila 2.5 sn. sürmektedir. Kısa yarılanma süresine sahip çekirdeklerde (5-10 sn) bu sürenin yaratacağı sorunu gidermek için Tek Kanallı Analizör (Single Channel Analyser) kullanılarak bir ölçüm sistemi kurulmuştur. Tek kanallı analizör ile ilgilenilen gama tepesi çerçevelenmiş ve sadece bu çerçeve aralığına gelen sayımlar alınmıştır. Böylece, alınan sayım değerlerini kaydetmek için geçecek süreden kurtulmak için bir Çok Kanallı Tarayıcı (Multi Channel Scanner) ile, her bir ölçüm aralığı bir kanala denk düşecek şekilde, çerçeve içine gelen sayımlar alınmıştır. Bu sayede, bir sayımın bitip diğerinin başlaması için arada geçen sürenin μ sn mertebesine olması sağlanmıştır.

Ölçüm işlemlerinin sağlıklı ve hatasız yürütülebilmesi için SCA'nın kalibrasyon işlemi Şekil 4.3 'deki deneysel düzenek kurularak yapılmıştır. Standart gama kaynakları kullanarak her gama enerjisine denk gelen Alt-Enerji-Seviyesi (Low Level Energy) ve pencere aralığı (ΔE) belirlenmiştir. Gama tepesini çerçeveleme işleminde meydana gelebilecek hataları belirlemek ve gerekli düzeltmeleri gerçekleştirebilmek için tüm sayım işlemi boyunca örneğe ait gama spektrumu da aynı anda alınmıştır.

Standart gama kaynakları kullanılarak yapılan kalibrasyon işlemi sonucu gama tepeleri için pencere aralığı, $\Delta E = 0.2$ olarak belirlenmiştir. Farklı enerjilerde gama kaynakları kullanarak elde edilen LLE - $E(\gamma)$ kalibrasyon eğrisi Şekil 4.4 'de gösterilmiştir. Kalibrasyon eğrisine yapılan uyumlama sonucu elde edilen uyum denklemi ile çalışılacak gama enerjisine göre SCA 'nın LLE ayarları yapılmıştır. Bu şekilde SCA'nın sadece LLE+ ΔE aralığına (belirlenen çerçeveye) gelen darbeleri sayması sağlanmıştır.



Şekil 4.3 SCA'nın kalibrasyonu için kurulan deney düzeneği (P/A : Preamplifier Model 2001, Amp : Spectroscopy Amp. Model 2020, ADC : Model 8075, MCA : Model 85, SCA : Model 2035A, HV : Model 3105).



Şekil 4.4 SCA'nın kalibrasyon eğrisi : $LLE = 0.00341493.E(\gamma) + 0.00060274$ ($\Delta E=0.2$).

4.4 Çok Kanallı Analizörün Çoklu-Ölçekleme (Multiscaling mode, MS) Şeklinde Kullanılması

Çok kanallı analizörlerin darbe yüksekliği analizlerinden farklı olarak Çoklu-ölçekleme (MS) adı verilen değişik bir kullanımı daha vardır. MS modunda analizörün her bir hafıza adresi bağımsız bir sayıcı olarak çalışır. Bu durumda analizöre gelen tüm darbeler genliğinden bağımsız olarak sayılırlar. Analizörün çalışmaya başlamasından itibaren belli bir sürede gelen tüm darbeler analizörün birinci kanalında sayılırlar. Kullanıcı tarafından belirlenmiş bir bekleme süresi (dwell time) sonunda analizör bir sonraki kanala geçer ve gelen darbeler yine bu süre boyunca yeni kanalda toplanırlar. Bu olay analizörün hafızasındaki tüm adresler dolana kadar tekrarlanabilir. Bekleme süresi kullanıcının isteğine bağlı olarak 1 mikro saniye ile birkaç dakika arasında belirlenebilir. Kullanıcının bu süreyi belirleyebilmesi için çok kanallı analizörün (MCA) Analog-Dijital Çeviricisine (Analog-to-Digital Converter , ADC) bir Çok-Kanallı-Tarayıcı (Multi-Channel-Scaler, MCS) ilave edilmelidir . Sadece ilgilenilen gama enerji tepelerinin MCS tarafından sayılması isteniyor ise bu durumda sisteme, Bölüm 4.3 'de bahsedildiği gibi, bir Tek-Kanallı Analizör (Single_Channel Analyser , SCA) ilave edilmelidir (Şekil 4.5).

4.5 Ölü Zaman ve Darbe Yığılması Düzeltmelerinde Pulser' in Kullanımı

Bölüm 2.6.1 'de anlatılan ölü zaman ve darbe yığılması düzeltmelerinde ,özellikle sayım hızının ve ölü zamanın sabit olmadığı durumlarda, elektronik sinyal üreticileri "Pulse Generator" kullanılmaktadır.

Bu yöntemde, radyoaktif çekirdekten yayınlanan gama ışınlarının dedektör içine girmesi sonucu oluşan ve dedektörün ön yükselticisine gelen sinyallerle birlikte, sinyal üretici (Pulser) ile ayarlanılan birim zamanda belirli bir sayıda ve gama ışınlarının meydana getirdiği sinyal genliklerine uygun bir sinyalin, yine aynı ön yükselticinin "Test" girişine verilmektedir . Bu şekilde HPGe dedektöründen gelen gama ışınlarına ait sinyaller ile pulserden gelen sinyallerin aynı elektronik prosedürden geçmesi sağlanmaktadır. Pulserin birim zamanda verdiği sinyal sayısı bilindiğinden, sayım süresi sonucu, pulser'den çıkan

sinyaller ile sayım sistemi tarafında sayılan sinyaller karşılaştırılarak (pulser'den gönderilenlerin sistem tarafından sayılanlara oranından) elektronik donanımdan kaynaklanan ölü zaman ve darbe yığılını kayıpları belirlenerek gerekli düzeltmeler yapılmaktadır. Bu yöntemle benzer bir diğer yöntem kaynak yöntemidir . Bu yöntemde yarılanma süresi oldukça uzun olan ve aktivitesi bilinen standart bir kaynak, ölçülecek radyoaktif çekirdeklerle birlikte dedektör önüne getirilmekte ve birlikte sayılmaktadır. Yine Pulser yönteminde olduğu gibi standart kaynaktan elde edilen sayım değerleri ile gerekli düzeltmeler yapılmaktadır (Tsoulfanidis, 1983).

4.6 Yarılanma Süresi Ölçümleri

Radyoaktif çekirdeklerin yarılanma süreleri 10^{-20} sn ile 10^{15} yıl arasında değişen oldukça geniş bir zaman aralığına sahiptir. Bu sebeple, yarılanma süreleri ölçüm teknikleri de buna bağlı olarak çeşitlilik göstermektedir. Aşağıdaki paragraflarda yarılanma süresine bağlı olarak kullanılan tekniklerin özellikleri kısaca anlatılmaktadır.

Yarılanma süresi dakika ile saat mertebesinde olan çekirdeklerde, Bölüm 2.2.1 ve Bölüm 2.2.2' deki matematik tanımlamalar kullanılarak bu tür çekirdeklerin yarılanma süreleri belirlenebilir. Belirli bir zaman aralıkları ile ölçüm yapmamıza olanak sağlayacak basit bir sayım sistemi ile (dedektör+zamanlayıcı+elektronik sayıcı) elde edilecek sayım değerlerinden yarı-logaritmik ölçekte bozuma çizgisi elde edilerek, çizginin eğiminden yarılanma süresi belirlenebilir.

Yarılanma süreleri aylar ile yıllar arasında olan çekirdeklerde, sayım sürelerinin çok uzun olacağı ve yeterli sayıda ölçüm yapmak için geçecek sürenin de yarılanma süresi mertebesinde olacağı için, yukarıda anlatılan yöntemi kullanarak hem sağlıklı bir sonuç bulmak , hem de, pratik olarak o kadar uzun süre ölçüm yapmak mümkün değildir. Bu gibi durumlarda özgül (spesifik) aktivite yöntemini kullanmak daha iyi sonuçlar vermektedir. Özgül aktivite, radyoaktif çekirdeğin birim kütlesi başına aktivitesidir. Yarılanma süresi belirlenecek radyoaktif çekirdeğin , belirli bir t süresi içinde bozunan çekirdek sayısı ölçülürse, birim zamanda bozunan çekirdek sayısı, yani A aktivitesi

hesaplanabilir. Radyoaktif çekirdek miktarı (N), kütle spektrometresi veya kimyasal analiz yöntemleri ile belirlenerek, Aktivitenin temel tanımı olan $A = \lambda \cdot N$ ifadesinden, bozunma sabiti hesaplanarak yarılanma süresi belirlenebilir.

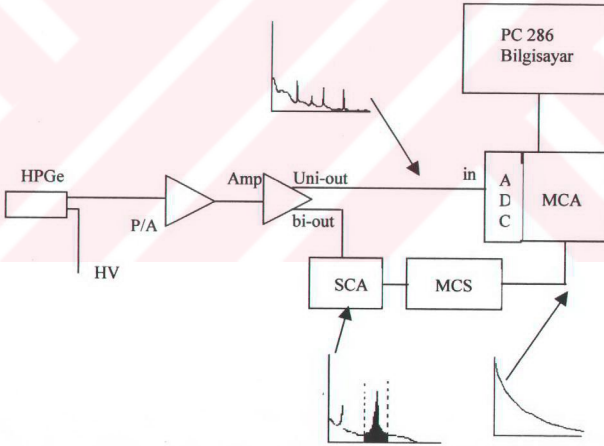
Yarılanma süreleri 1 dakikanın altında olan radyoaktif çekirdekler için ilk olarak anlatılan yöntem ile yarılanma süresi belirlemek hem zordur , hem de büyük hatalara neden olabilir. Çekirdeğin yarılanma süresinden daha kısa sürelerde sayım alınması gerekeceğinden deneyi yapan kişinin sayımları başlatma – bitirme - sayıcıdan değeri yazma - aleti sıfırlama ve tekrar sayımı başlatma işlemleri için harcayacağı zaman bu tür ölçümleri yapmasını olanaksız kılacaktır. Analog sinyalleri bir yerde depolamak mümkün olmadığından yukarıda bahsedilen yöntemler yetersiz kalacaktır. Bu gibi durumlarda çoklu – ölçekleme (Multiscaling) adı verilen bir çok kanallı analizörden (MCA) yararlanılır. Bu durumda MCA analog sinyaller yerine dijital sinyaller ile çalışır ve sinyalleri bir yerde toplama ve depolama olanağı sağlar. Sayımların yapılacağı sayım aralığı (dwell time) ayarlanarak, MCA bu süre boyunca gelen sinyalleri sayar ve sayım süresi sonunda 1. kanal yerleştirir ve 2.kanala geçerek bir sonraki sayım süresi içinde gelen sinyalleri sayar. Bu işlem istenildiği kadar tekrar ettirilerek MCA de istenilen kanal uzunluğunda bir bozunum eğrisinin oluşması sağlanır. Elde edilen bozunum eğrisinin yarı-logaritmik ölçekte çizilmiş grafiğinden eğim bulunarak yarılanma süresi belirlenir. Ancak bu yöntemde de bir alt sınır vardır. Dedektörlerin 10^5 sayım/sn üstündeki sayım hızlarına cevap vermemesi nedeniyle, bu yöntem ile 10^{-3} saniye ve altındaki sayım sürelerinde yeterli sayımın toplanmasını mümkün kılmamaktadır (Krane, 1988).

Yarılanma sürelerinin mikro-saniye ile nano-saniye arasında olması durumunda çakışma (coincidence) yöntemleri kullanılmaktadır. Bir zaman-genlik çevirici (TAC) kullanılarak, bir nükleer durum oluşumuna sebep olan radyasyon algılanarak TAC için “başla” komutu olarak verilerek zamanlayıcı saat çalıştırılmakta, bozunumdan meydana gelen radyasyon algılanarak da yine TAC için “dur” komutu olarak verilmektedir. Bu şekilde “başla” ile “dur” arasındaki zaman aralıkları ölçülerek , aynı bozunum eğrisinde olduğu gibi bir eğri elde edilmekte, ve bu eğri kullanılarak diğerlerinde olduğu gibi yarılanma süresi belirlenmektedir (Knoll, 1979).

4.6.1 MS (Multiscaling) yöntemi ile yarılanma süresi ölçümleri

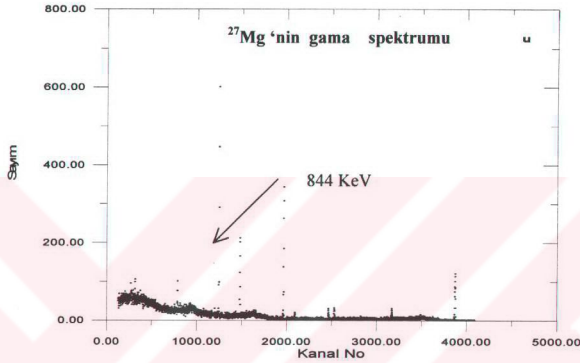
Yarı ömür ölçümlerinde temel yöntem haline gelen MS yöntemini kendi laboratuvar şartlarımız ve elektronik donanımızla test etmek üzere Bölüm 4.4' de bahsettiğimiz, Şekil 4.5'de verilen elektronik düzenek kurulmuştur.

Deneyisel düzeneğin test ölçümleri için 20 gr. disk şeklinde bir ^{27}Al örnek, 3-5 MeV aralığında nötron enerjisine ve $\sim 10^3$ mertebesinde nötron akısına sahip bir Pu/Be nötron kaynağı ile 24 saat ışınlanmıştır. Işınlama sonucu oluşan ^{27}Mg izotopunun 834 KeV enerjili gama ışınları için (Şekil 4.6) SCA ayarlamaları yapılarak belirlenmiş çerçeve aralığına gelen sayım değerleri kanal başına 1.5 dk aralıklarla (dwell time) toplanarak MCA 'de 30 kanal süren bir bozunum spektrumu elde edilmiştir (Şekil 4.7a) .

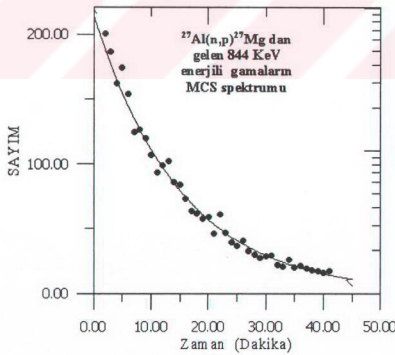


Şekil 4.5 Kısa yarı ömür ölçümü için kurulan deneyel düzenek (P/A : Preamplifier Model 2001, Amp :Spectroscopy Amp. Model 2020, ADC : Model 8075, MCA: Model 85, SCA : Model 2035A, HV : Model 3105 , MCS : Model 8082).

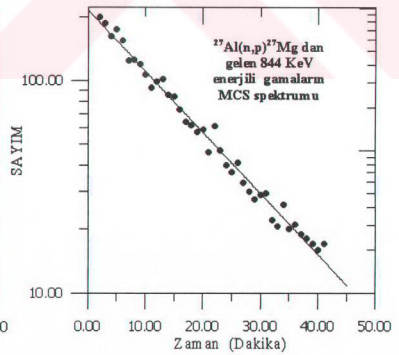
$^{27}\text{Al}(n,p)^{27}\text{Mg}$ tepkileşiminden gelen 844 KeV enerjili gamaların MCS yöntemi ile elde edilen bozunum eğrisine (Şekil 4.7a) uyumlama (fit) yapılarak elde edilen çizgisel uyum eğrisinden (Şekil 4.7b) eğim hesaplanarak λ bozunma sabiti ve dolayısıyla da yarılanma süresi $T_{1/2} = 9.43 \pm 0.08$ dakika olarak bulunmuştur. Literatür değeri 9.46 dak. ile bulduğumuz yarı ömür arasındaki fark %0.3 dür.



Şekil 4.6 ^{27}Al örneğinin ışınlanması sonucu alınan gama spektrumu .



(a)



(b)

Şekil 4.7 (a) MCS yöntemi ile elde edilen bozunum grafiği. (b) Bozunum eğrisine yarı-logaritmik ölçekte yapılan lineer uyumlama.

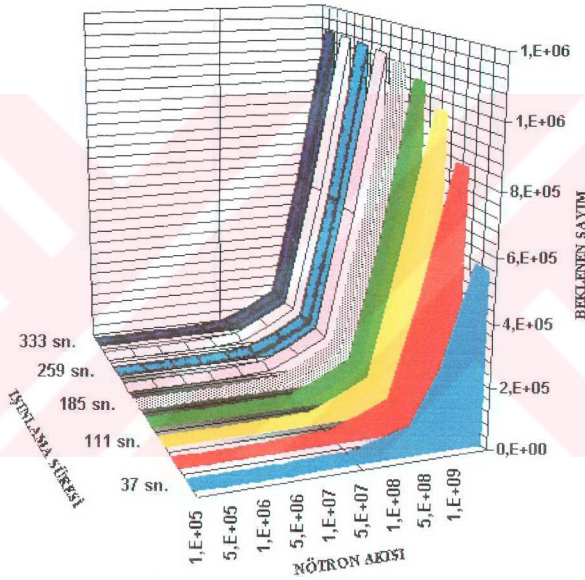
^{27}Mg radyoizotopun MCS spektrumunda da görüldüğü gibi (Şekil 4.7a), ölçüm noktaları ekspanansiyel azalım esnasında dalgalı bir seyir izlemektedir. Ölçüm esnasında sayım hızının düşük olması ve gama tepesinin compton bölgesinde oluşması (Şekil 4.6) gibi olaylar, sayım değerlerinde istenmeyen katkılara sebep olmaktadır. MCS yöntemi ile bu ve bunun harici katkıların ne olduğunu tam olarak belirlemek mümkün olmamaktadır. MCS yöntemi kullanılarak yapılmış yarı ömür ölçümleri incelendiği zaman, bu tür katkıların, sayım değerleri çok yüksek tutularak (yüksek nötron akısıyla çalışılarak) çoğu zaman ihmal edilebilir kabul edildiği (dikkate alınmadığı) veya matematik olarak belirlenmeye çalışıldığı görülmektedir (JAERI,1992-027). Bazı çalışmalarda, ilgili tüm enerji tepesinin tümü yerine, tepenin maksimum noktası göz önüne alınarak sağ ve sol yanından belli bir aralığı çerçeveleyerek sayımların alındığı görülmektedir (Malmskog vd.,1962). Tüm bu olaylara rağmen MCS yönteminin en büyük avantajı veri transfer süresinin çok kısa olmasıdır. Bu sebeple, yarı ömür ölçümlerinin MCS yöntemi ile yapılmasında bu avantajdan yararlanılmaya çalışılmaktadır.

4.6.2 Gama enerji tepesini ayırma yöntemi (GETAY) ile yarılanma süresinin belirlenmesi

MCS yöntemi ile yaptığımız test ölçümlerinden elde ettiğimiz sonuçlar, kullandığımız donanım ve çalışma şartlarımız göz önüne alınarak, diğer çalışmalar ile karşılaştırılmış ve aşağıda belirtilen farklılıklar ve neticeler bulunmuştur.

Bu konudaki çalışmalar $10^{11} - 10^{13}$ nötron / cm^2 sn. mertebesindeki nötron akılarında, genellikle reaktör havuzlarında ışınlanan örneklerle yapılmıştır. Çalışmamızda Sames T-400 nötron jeneratörü ile elde ettiğimiz nötron akısı hedefin hemen arkasında (0.5 mm) $\sim 10^7$ mertebesinde dir. Bu farklılık düşük sayım değerlerinde ölçüm yapmamıza neden olmaktadır (Şekil 4.8). Işınlanacak örnek miktarı üzerindeki kısıtlamalar ve çalışılan örneklerin tesir kesitlerinin (14 MeV enerjili nötronlar için) büyük çoğunluğunun 100 mbarn'ın altında olması çalışmalarımızda compton bölgesi katkısını daha da ön plana

çıkarmaktadır. MCS yönteminde, ilgili gama enerjisi tepesinde , ölü zaman ve darbe yığılımı (puls pile up) düzeltmeleri için kullanılan pulser tepe alanında gerekli ilave düzeltmeleri yapmak mümkün olmamaktadır. Her ne kadar pulser spektrumda en son kanallara gelecek şekilde ayar edilse de, sayım esnasında elektronik nedenlerden dolayı meydana gelebilecek kanal kaymasının veya background (temel seviye) katkısının olup olmadığını belirleme olanağı yoktur.

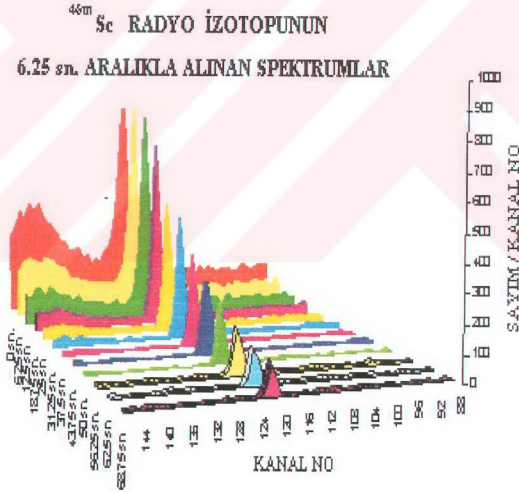


Şekil 4.8 Işınlama süresi ve nötron akısına bağlı olarak birinci ölçümde oluşması mümkün sayım değerleri.

Yukarıda söz edilen nedenlerden dolayı, karşılaştığımız sorunları gidermek üzere “Gama enerji tepesini ayırma yöntemi” adını verdiğimiz yöntem geliştirilmiştir.

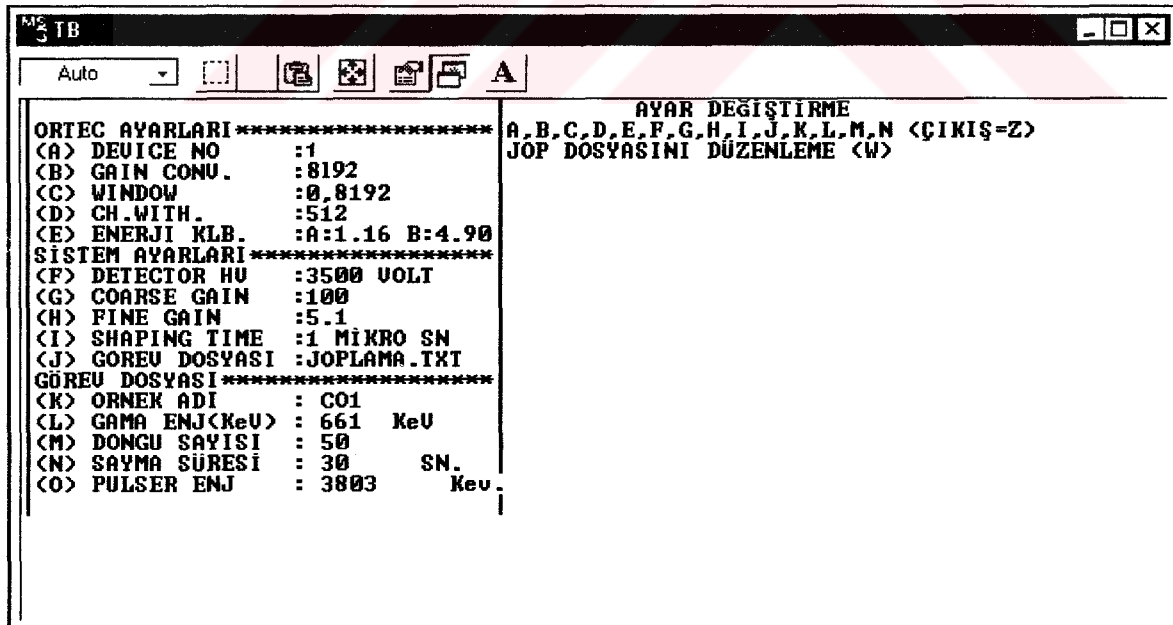
Yöntemimiz, MCS yöntemi ve çok kanallı analizör ile spektrum alma yönteminin bir çeşit ortak kullanımıdır. Bu yöntem sayesinde, ilgilenilen gama ışınının tüm enerji tepesinin sağ ve solundan belirli kanal mesafesi bırakılmakta, tüm spektrumdan sadece bu bölgenin spektrumunun bilgisayar ortamına kaydedilmesini sağlanmaktadır. Bu şekilde daha önce belirttiğimiz birkaç saniye mertebesindeki kaydetme ve tekrar sayıma başlama süresi, çalışılan örneğe bağlı olarak, 0.29 – 0.32 saniyeye düşmektedir.

MCS yönteminden farklı olarak, elde edilen gama enerji tepesi ve pulser tepesi spektrumlarından background, ölü zaman ve darbe yığılını düzeltmeleri, kanal kaymaları, komşu gama tepesinin compton katkısı gibi gerekli düzeltmeler yapılabilmektedir. Ayrıca alınan spektrumlar bize ölçümlerin sağlıklı olup olmadığı hakkında da bilgi vermektedir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9 Komşu gama tepesinden dolayı meydana gelen compton bölgesinin ilgilenilen gama tepesine etkisi .

Spektrum alma işlemlerin sağlıklı ve en hassas bir şekilde yürütülebilmesi için Ortec Model 919 Multi Channel Buffer (MCB) nin kullanıcıya sağladığı bilgisayar programı yazarak komut verme olanağından yararlanılmış ve Turbo Basic dilinde bir kontrol programı yazılmıştır (EK 2). Program, enerji- kanal kalibrasyon denklemi ile istenilen gama enerjisinin yerini belirlemekte ve amplifikatör kazanç ayarı 8192 kanal için gama enerji tepesinin sağ ve sol yanında 30 kanal pay kalacak şekilde, MCB den bu kanal aralıklarına düşen adreslerdeki değerleri okumaktadır. Bu işlem eş zamanlı olarak pulser içinde yapılmaktadır. Program çalıştırıldığı zaman amplifikatör kazanç ayarını, spektrum sayısını, sayma süresini, spektrum ismini, ilgili gama enerji değerini, pulserin ayar edildiği enerji değerini, enerji – kanal kalibrasyon denkleminin a ve b katsayılarını veri olarak istemektedir. Alınan spektrumlara isim ve numara vererek otomatik kaydetmektedir (Şekil 4.10). Bu işlemler esnasında sayıma başlama, bitiş ve transfer süreleri örneğin ismi ile başlayan bir veri dosyasına ölçüm işlemleri sonunda yazmaktadır (Şekil 4.11). Bahsedilen sürelerin belirlenmesi işleminde bilgisayarın merkezi işlem biriminin (Central Processing Unit,CPU) clock darbelerini kullanılarak oluşturduğu sayıcı kullanılmaktadır. Her 100 clock darbesi 1 saniyeye denk gelmekte ve bilgisayarın açılması ile sayıcı çalışmaya başlamaktadır .

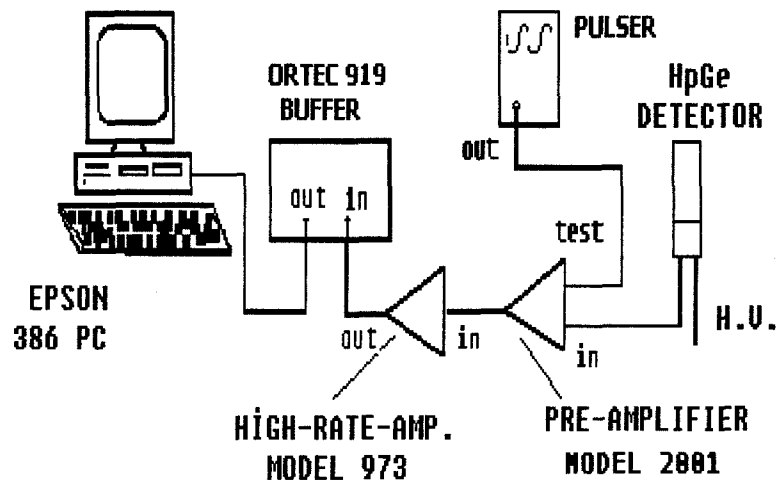


Şekil 4.10 Yarı ömür ölçümleri için spektrumların alınmasında kullanılan Turbo Basic dili ile yazılmış kontrol programı.

<u>ÖRNEK ADI</u>	<u>DENEY NO</u>	<u>SPEKTRUM NO</u>	<u>İŞLEM</u>	<u>SAYIM BAŞLAMA</u>	<u>SAYIM BİTİŞ</u>	<u>GEÇEN SÜRE</u>
ZNN301OK	39679.66015625			39687.5703125	SÜRE= 7.91015625	
ZNN302OK	39687.8984375			39695.80859375	SÜRE= 7.91015625	
ZNN303OK	39696.13671875			39704.046875	SÜRE= 7.91015625	
ZNN304OK	39704.375			39712.28515625	SÜRE= 7.91015625	
ZNN305OK	39712.61328125			39720.5234375	SÜRE= 7.91015625	
ZNN306OK	39720.8515625			39728.76171875	SÜRE= 7.91015625	
ZNN307OK	39729.09375			39737	SÜRE= 7.90625	
ZNN308OK	39737.33203125			39745.2421875	SÜRE= 7.91015625	
ZNN309OK	39745.5703125			39753.48046875	SÜRE= 7.91015625	
ZNN310OK	39753.80859375			39761.71875	SÜRE= 7.91015625	
ZNN311OK	39762.046875			39769.95703125	SÜRE= 7.91015625	
ZNN312OK	39770.28515625			39778.1953125	SÜRE= 7.91015625	
ZNN313OK	39778.5234375			39786.43359375	SÜRE= 7.91015625	
ZNN314OK	39786.765625			39794.671875	SÜRE= 7.90625	

Şekil 4.11 Sayım işlemlerinde geçen sürelerin kaydedildiği dosyanın içeriği.

Örneklerin yarılanma sürelerini belirlemek üzere Şekil 4.12’de gösterilen elektronik düzenek kurulmuştur.

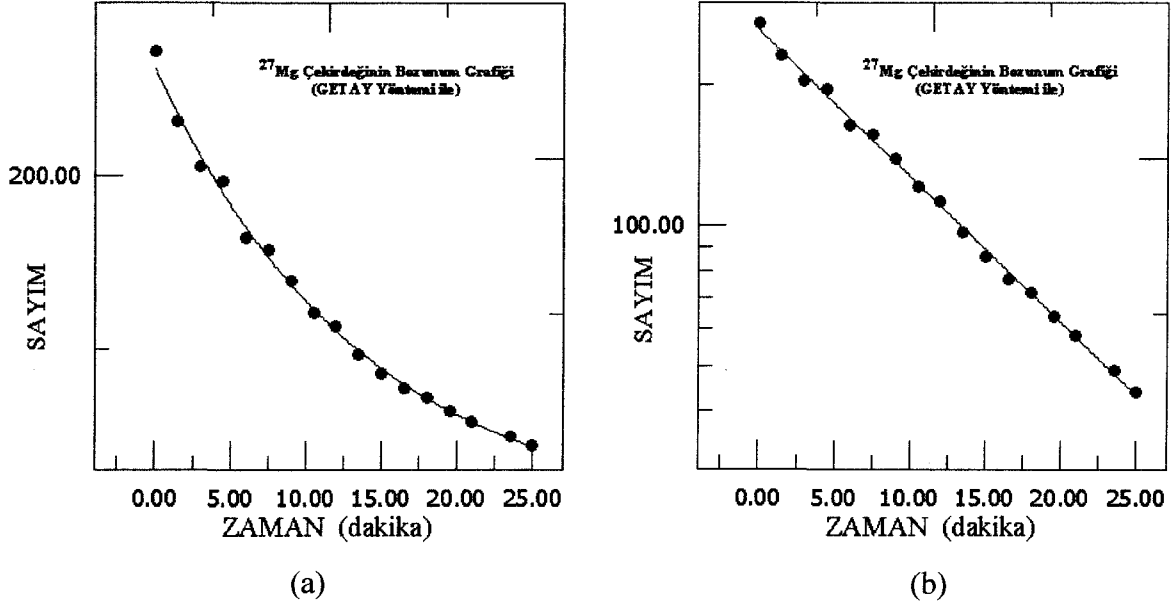


Şekil 4.12 Yarı ömür ölçümü için kullanılan elektronik düzenek.

HpGe (82 cc) dedektörünün ön yükselticisinin (Canberra model 2001) “Test” girişine ölü zaman ve darbe yığılını düzeltmeleri için Pulser çıkışı (Canberra Model 1407) bağlanmıştır. Ön yükselticinin çıkışı da yüksek hızlı yükseltici (High Rate Amplifier Ortec Model 973) girişine bağlanmıştır. Bu şekilde HPGe dedektöründen gelen gamalara ait darbeler ile pulserden gelen darbelerin aynı elektronik prosedürden geçmesi sağlanmıştır. Yüksek hızlı yükselticinin uni-polar çıkışı bir çok kanallı tarayıcının (MCB, Ortec Model 919) girişine bağlanmıştır. MCB’nin çıkışı veri iletimi sağlayan bir kablo ile bilgisayar içine yerleştirilmiş bir interface kartına bağlanarak spektrumların alınması sağlanmıştır.

Deneysel düzeneğin test ölçümleri daha önceki test ölçümü için kullanılan 20 gr. disk şeklinde bir ^{27}Al örneği 3-5 MeV aralığında nötron enerjisine ve $\sim 10^3$ mertebesinde nötron akısına sahip bir Pu/Be nötron kaynağı ile ışınlanmıştır. ^{27}Mg den gelen 844 KeV enerjili gamalar için sayım işlemi tekrar edilmiş ve aşağıdaki neticeler alınmıştır.

$^{27}\text{Al}(n,p)^{27}\text{Mg}$ tepkileşiminden gelen 844 KeV enerjili gamaların GETAY yöntemi ile ölçüm sonuçlarından yarılanma süresi, bozunum eğrisinden (Şekil 4.13a) uyum denklemi çıkarılarak (Şekil 4.13b), $T_{1/2}(^{27}\text{Mg}) = 9.45 \pm 0.03$ dakika olarak bulunmuştur. Literatür değeri 9.46 dk ile bulduğumuz yarı ömür arasındaki fark %0.106 dır. GETAY yöntemi ile MS yöntemine nazaran yarılanma süresi literatür değere daha yakın çıkmakta ve ayrıca üzerindeki belirsizlik de azalmaktadır. GETAY yönteminde gerek yarı ömür değerinin ve gerekse belirsizliğin daha iyi bulunmasının nedeni, uyum denkleminin bozunum eğrisini daha iyi temsil etmesinden ileri gelmektedir. Zira tüm enerji tepesi altındaki alanların üzerindeki hatalar bu yöntem ile daha iyi ayıklanmıştır.



Şekil 4.13 (a) Gama enerji tepesi ayırma yöntemi ile elde edilen bozunum grafiği. (b) Bozunum eğrisine yarı-logaritmik ölçeğe yapılan lineer uyumlama.

4.7 Data Transfer Süresinin Ölçüm Değerlerine ve Yarılanma Süresine Etkisi

Belirli bir t zaman aralıkları ile elde edilen sayım değerlerinin (kanal başına sayım) Ortec 919' un hafızasından bilgisayar ortamına aktarılması esnasında 0.29-0.32 saniye aralığında bir süre geçmektedir. Data transfer süresi adını verdiğimiz bu zaman aralığının bozunum eğrisinde ve dolayısıyla ölçülecek yarı ömür değeri üzerindeki etkilerinin ne oldukları ve varsa etkilerinin asgari düzeye çekilmesi için izlenen matematiksel yöntem aşağıda açıklanmaktadır.

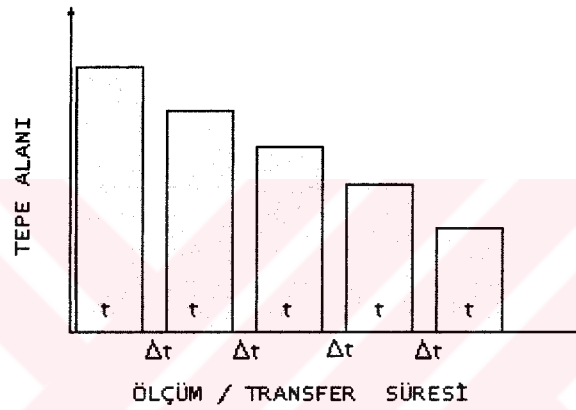
Belirli bir t_i ışınlama süresi sonunda aktiftenmiş çekirdek sayısı N_0 olması durumunda, bir t_s sayma süresi sonunda bozunan çekirdek sayısı,

$$N = N_0 \cdot (1 - e^{-\lambda_s}) \quad (4.3)$$

olacaktır. Bozunan çekirdek sayısının bilgisayar ortamına kaydedilmesi için Δt süresi harcadığı kabul edilirse, her t_s süresini takip eden Δt süresi boyunca bozunan çekirdek sayısı ölçülemeyecektir (Şekil 4.14). Δt süresi boyunca sayım işlemi devam etseydi, bu durumda bozunan çekirdek sayısı,

$$N' = N_0 \cdot (1 - e^{-\lambda(t_s + \Delta t)}) \quad (4.4)$$

olacak ve sayma süresi de $t_s + \Delta t$ olacaktır.



Şekil 4.14 Sayma süresi ve data transfer süresi (t :sayım yapılan süre, Δt : bilgilerin bilgisayar ortamına aktarılması için geçen süre).

Bu şekilde transfer süresi olmayan $t' = t_s + \Delta t$ süresi sonunda bozunan çekirdek sayısı ölçülmüş olacaktır. Bu sebeple Δt transfer süresinin her bir ölçüm işlemi için meydana getireceği sayım fark ΔN ,

$$\Delta N = N' - N \quad (4.5)$$

ve buradan N' ve N yerine yazılarak,

$$\Delta N = N_0 \cdot e^{-\lambda t_s} (1 - e^{-\lambda \Delta t}) \quad (4.6)$$

olacaktır.

Transfer süresinin, doğrunun eğimini de temsil eden λ bozunma sabitine etkisini incelemek üzere aşağıdaki tanımlamalar yapılmıştır.

- N_0 : t = 0 anındaki sayım değeri,
 $N_0 \cdot e^{-\lambda t_1}$: t_1 sayım süresi sonundaki sayım değeri,
 $N_0 \cdot e^{-\lambda t_1} \cdot (1 - e^{-\lambda \Delta t})$: t_1 sayım süresini takip eden Δt sonundaki sayım değeri,
 N_1 : $t_1 + \Delta t$ süresi sonundaki sayım değeri,
 $N_0 \cdot e^{-\lambda t_2}$: t_2 sayım süresi sonundaki sayım değeri,
 $N_0 \cdot e^{-\lambda t_2} \cdot (1 - e^{-\lambda \Delta t})$: t_2 sayım süresini takip eden Δt sonundaki sayım değeri,
 N_2 : $t_2 + \Delta t$ süresi sonundaki sayım değeri.

Bu durumda N_1 ve N_2 sırasıyla,

$$N_1 = N_0 \cdot e^{-\lambda t_1} + N_0 \cdot e^{-\lambda t_1} (1 - e^{-\lambda \Delta t}) \quad (4.7)$$

$$N_2 = N_0 \cdot e^{-\lambda t_2} + N_0 \cdot e^{-\lambda t_2} (1 - e^{-\lambda \Delta t}) \quad (4.8)$$

bu iki ifade birbirine oranlanırsa,

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{N_0 \cdot e^{-\lambda t_1} \left[1 + (1 - e^{-\lambda \Delta t}) \right]}{N_0 \cdot e^{-\lambda t_2} \left[1 + (1 - e^{-\lambda \Delta t}) \right]} \quad (4.9)$$

pay ve paydadaki ortak terimler birbirini götürceğinden,

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{e^{-\lambda t_1}}{e^{-\lambda t_2}} \quad (4.10)$$

ve iki yanım logaritması alınıp λ tek bırakılırsa,

$$\lambda = \frac{\ln \frac{N_1}{N_2}}{t_2 - t_1} \quad (4.11)$$

olarak bulunur.

Sonuç olarak, tüm sayım işlemi boyunca, Δt süresinin aynı olması durumunda, yarılanma süresinin belirlenmesinde transfer süresinin bir etkisi yoktur.

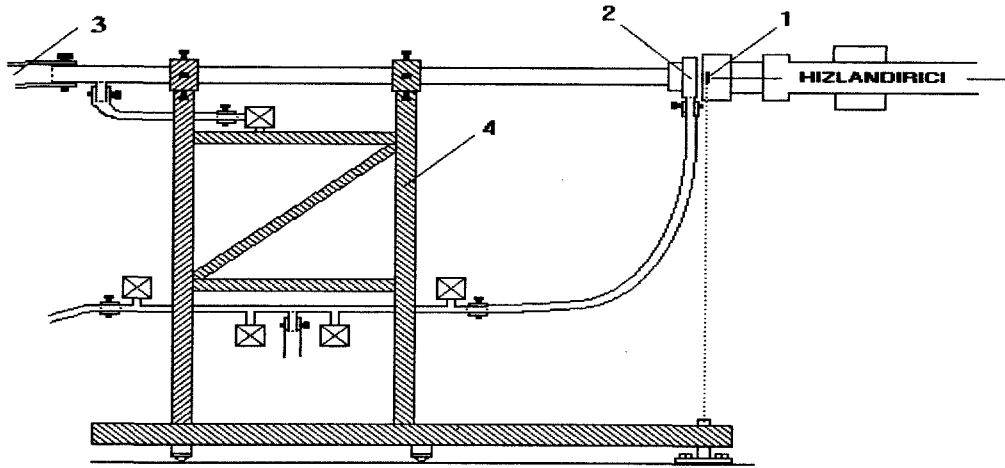
Örnek olarak, t_s süresi sonunda 400 sayım alındığı kabul edilirse $\sqrt{N}/N = 0.05$ (transfer süresi ihmal ediliyor) iken, 0.32 saniye transfer süresi düzeltilmesi yapılmış durumda $\Delta N = 6$ için $\sqrt{N'}/N = 0.049$ olacaktır. Sayım süresinin ve sayım değerlerinin küçük olması durumunda bu fark biraz daha büyük olurken, sayım süresi ve değerlerinin büyük olması durumunda da etkisi ihmal edilebilir hale gelmektedir .

5. DENEY SONUÇLARI

Çalışmada kullanılan toz halindeki örnekler bir kalıp içinde preslenerek tablet haline getirilmiş ve boyutlarına uygun polietilen kapsüller içine sıkıca yerleştirilerek hazırlanmıştır. Bu şekilde hazırlanan Örnekler onlara ait bilgiler Çizelge 5.1’de verilmektedir. Hazırlanan örnekler, deneysel çalışma sırasında, pnömatik transfer sistemi vasıtasıyla TiT- hedefin hemen arkasında (0.5 mm) 0° ışınlama konumuna getirilmiş (Şekil 5.1), 250 kV terminal voltajında hızlandırılarak elde edilen ~ 14 MeV nötronlarla ışınlanmıştır. Işınlama sonrası yine pnömatik transfer sistemi ile ~ 0.6 saniyelik bir sürede HPGe dedektörünün önüne, ölçme konumuna (Şekil 5.2) getirilmiş ve sayım işlemi başlatılmıştır. Ölü zaman ve darbe yığılması düzeltmelerinde kullanılan Pulser 50 darbe/sn (50 Hz) olarak ayarlanmıştır

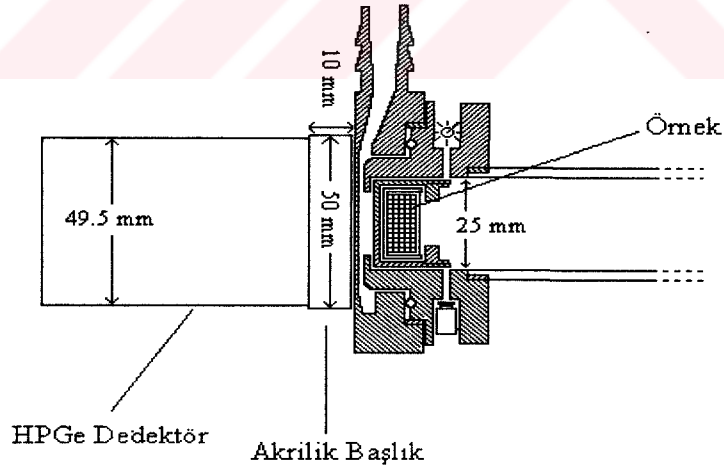
Çizelge 5.1 Deneysel çalışmalarda radyoaktif çekirdek üretmek için kullanılan malzemeler.

Malzeme	%Saflığı	Miktarı (gr)	Presleme Basıncı (kg/cm ²)	Tablet Boyutu Çap(mm) x kalınlık(mm)	Tablet Yoğunluğu (gr/cm ³)
Mo₂O₃ (Molibden Oksit)	99.9	6.038	5	24 x 18	0.7418
Ge (Germanyum)	99.999	2.258	20	13 x 8.5	2.0014
NaF (Sodyum Flörür)	99.98	2.619	20	13 x 8.5	2.3213
C₂F₄ (Teflon)	99.99	3.9411	-----	13 x 8.5	3.4932
TiO₂ (Titan Oksit)	99.9	1.830	10	13 x 8.5	1.6220
Zn (Çinko)	99.9	15.519	10	24 x 18	1.906



- 1- Nötron kaynağı (hedef)
- 2- Işınlama başlığı
- 3- Örnek taşıma hortumu
- 4- Tespit ayağı

Şekil 5.1 Sames T-400 hızlandırıcısında örnek ışınlama geometrisi.



Şekil 5.2 HPGe dedektörü ve örnek sayım geometrisi

Deneysel çalışmalar sırasında , her sayım süresi sonunda, MCB (Multi Channel Buffer) hafızasında toplanan çalışılan örnek ile ilgili veriler (gama+pulser verileri) Ek -2 de verilen kontrol programı kullanılarak, bilgisayar hafızasına aktarılmıştır. Hemen arkasından yine bu program tarafından MCB'nin hafızası silinerek bir sonraki sayım işlemine başlaması sağlanmıştır. Bu işlem program tarafından her deney için aralıksız 22 kez tekrar ettirilmiştir. İşlem sonrası bilgisayar hafızasında toplanan gama ve pulser' e ait spektrumlar (veriler) program tarafından isim ve numara verilerek (örneğin Çinko örneği ile çalışmada, gama verileri için Zn01,Zn02,.....,pulser verileri için Znp01,Znp02,.... gibi) bilgisayarın sabit diskine aktarılmıştır.

Her bir deney sonunda ilk olarak alınan spektrum ve o spektruma ait veriler ile Bölüm 2.5' de verilen eşitlik (2.12) kullanılarak ışınlama sırasındaki nötron akısı $\sim 1.6\%$ belirsizlikle hesaplanmıştır. Işınlama nötron akısı hesaplamaları Ek -3 de verilen program kullanılarak yapılmıştır. Bu şekilde ışınlama sırasındaki nötron akısı hakkında bilgi sahibi olunması sağlanmıştır.

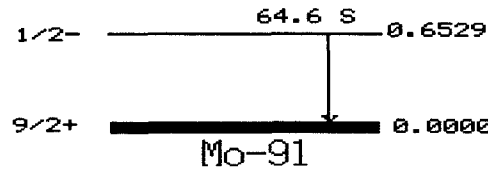
Her bir deneyde elde edilen gama ve pulser spektrumlarından tüm enerji tepesi ve pulser tepesi alanları belirlenmiştir. Pulser tepesi alanı kullanılarak, sayım sisteminin ölü zamanı ve darbe yığılması katkıları belirlenmiş ve tüm enerji tepesinde, compton bölgesi katkısı, ölü zaman ve darbe yığılması düzeltmeleri yapılarak net sayımlar bulunmuştur. Elde edilen sayım değerleri üzerindeki belirsizlikler Bölüm 2.6.3' de anlatıldığı gibi hesaplanmıştır.

Elde edilen sayım değerlerinden Ek-1 de anlatılan En Küçük Kareler yöntemi kullanılarak uyum fonksiyonunun parametreleri belirlenmiştir. Uyum parametreleri Bölüm 2.7' de bahsedilen χ^2 -Testi ile optimize edilmiştir. Parametrelerin optimizasyon işlemi için yazılan program Ek-4 de verilmektedir. Optimizasyon işlemi , uyum fonksiyonunda bulunan iki parametrenin (N_0 ve λ), en küçük kareler yöntemi ile bulunan değerlerinin - %10 altı ile %10 üstü bir aralıkta, yaklaşık %0.0001 adım sayısı ile, sayım-uyum değerlerini minimum yapan (minimum χ^2 değeri) parametre değerleri bulunacak şekilde yapılmıştır. Bu şekilde elde edilen yeni uyum parametrelerinden yarılanma süreleri hesaplanmıştır.

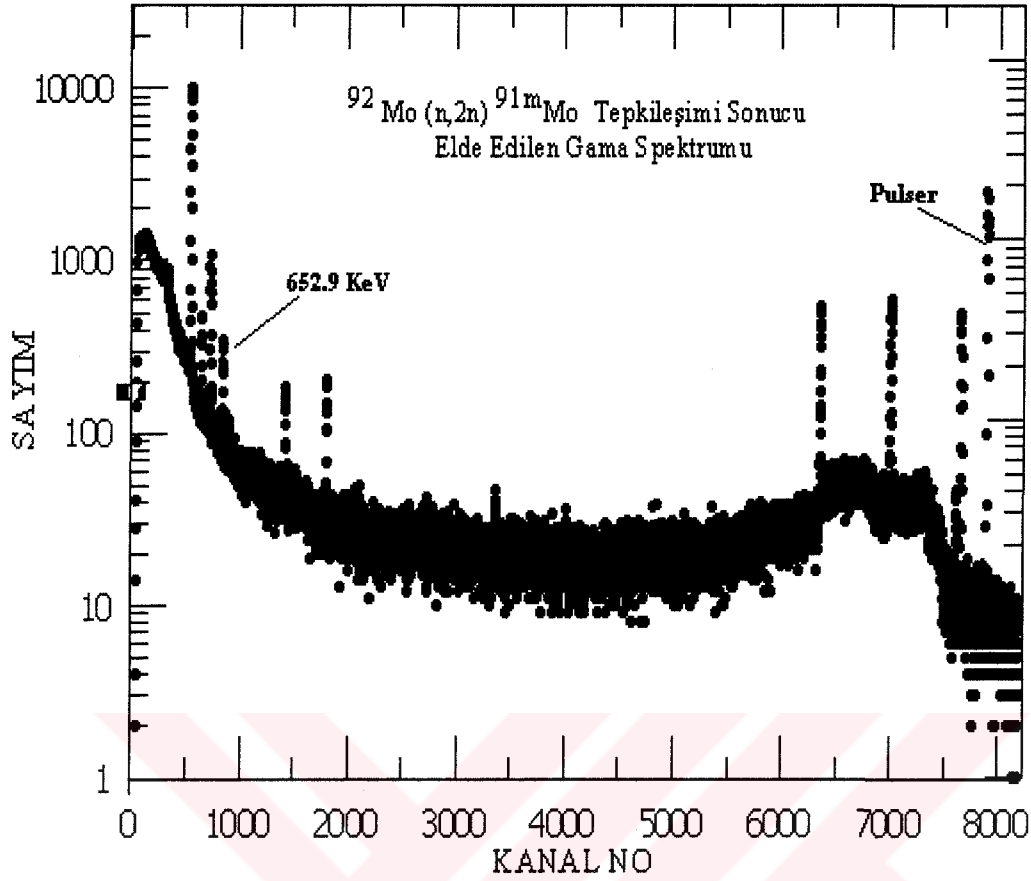
5.1 ^{91m}Mo Çekirdeğinin Yarılanma Süresi

$^{92}\text{Mo}(n,2n)^{91m}\text{Mo}$ tepkileşimi için kullanılan Mo_2O_3 (Çizelge 5.1) malzemesi içindeki ^{92}Mo 'nin izotopik bolluğu %9.55, tepkileşiminin Q-değeri 14 MeV nötronlar için 12.83 MeV ve tepkileşim tesir kesiti σ (14 MeV) = 151 mbarn dır. Örnek 300 sn ışılandıktan hemen sonra pnömatik transfer sistemi ile 0.56 sn 'de HPGe dedektörünün önüne getirilmiş ve ölçüm işlemi başlatılmıştır. HPGe (82 cc) dedektörünün 652.9 KeV gama ışınları için TET verimi ϵ_{eff} (652.9) = 0.222 dir. Ölçüm sırasında örnek merkezi – dedektör kristal arasındaki mesafe 22.5 mm ve sayım katı açısı Ω = 2.051 dir.

^{91m}Mo çekirdeğinin yarılanma süresinin belirlenmesi için, izomerik geçişten meydana gelen %48.2 bollukta 652.9 KeV'lik gama ışınlarına ait (Şekil 5.3) tüm enerji tepesi (Şekil 5.4) kullanılarak, sayım süresi 21.5 sn ($\sim T_{1/2} / 3$) olan toplam 22 adet gama spektrumu ard arda alınmıştır. Ölü zaman ve darbe yığılını düzeltmeleri için pulser tepesi 7834 nolu kanalda oluşacak şekilde pulser kazanç ayarı yapılmıştır. Sayım İşlem sonrası bilgisayar hafızasında toplanan gama ve pulser'e ait spektrumlar, Kontrol programı tarafından isimlendirilerek (dosya adı verilerek) bilgisayarın sabit diskine aktarılmıştır. Spektrumların MCB hafızasında bilgisayar hafızasına transfer süresi, kontrol programının oluşturduğu işlem dosyasından 0.285 ± 0.002 saniye olarak bulunmuştur.



Şekil 5.3 $^{92}\text{Mo}(n,2n)^{91m}\text{Mo}$ tepkileşimi sonucu izomerik geçişten meydana gelen 652.9 KeV gama ışınları.



Şekil 5.4 $^{92}\text{Mo}(n,2n)^{91\text{m}}\text{Mo}$ tepkileşimi sonucu elde edilen gama spektrumu.

Yapılan üç deney (Çizelge 5.2) sonunda bulunan yarılanma süreleri Çizelge 5.3’de verilmektedir. Belirlediğimiz yarılanma sürelerinin ağırlıklı ortalaması alınarak ortalama yarılanma süresi bulunmuştur. Bulunan değer, önceki çalışmalar ve nükleer veri kaynaklarındaki değerler ile karşılaştırmak amacıyla ayrı sütünlarda gösterilmiştir.

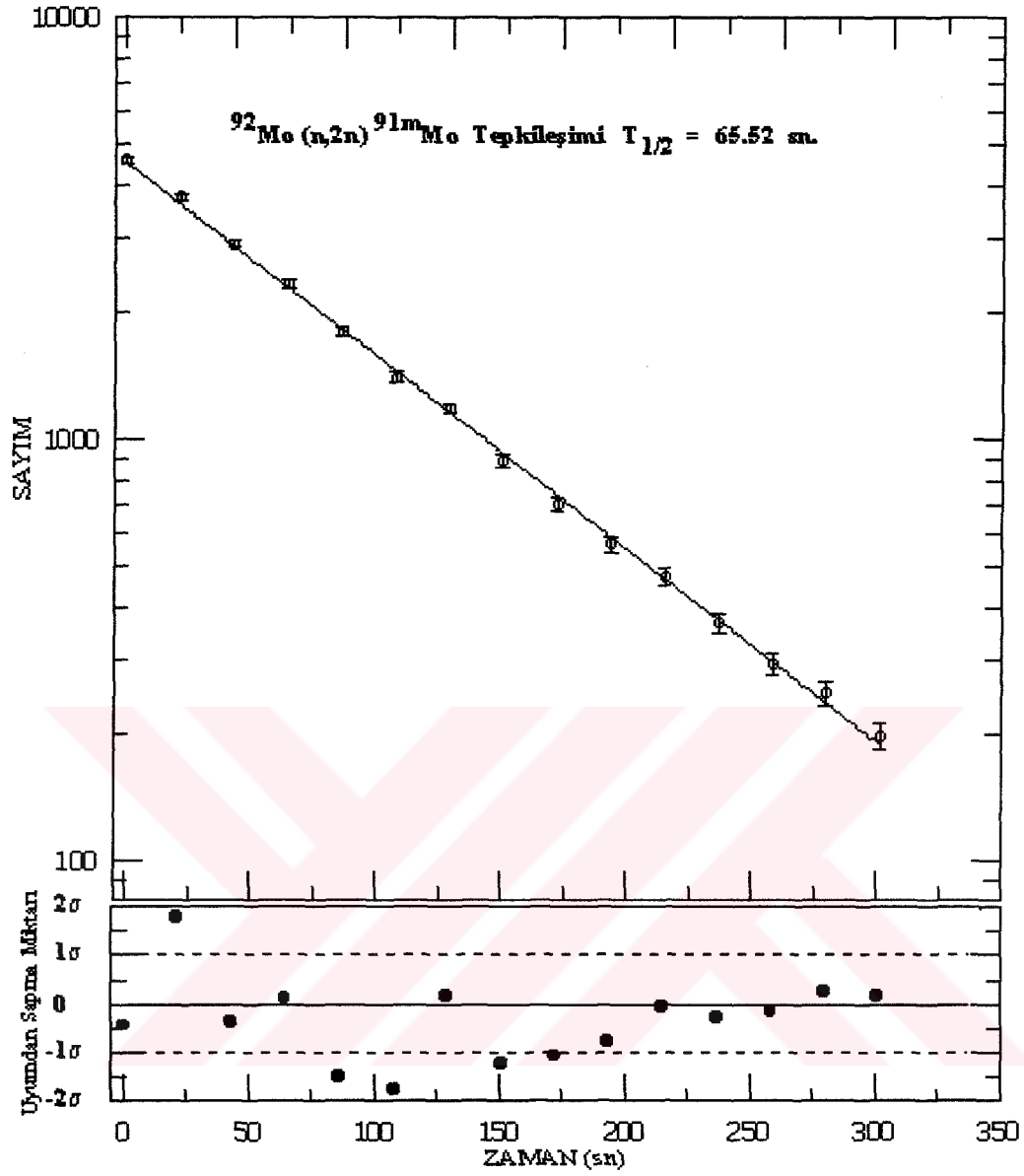
Şekil 5.5-a,b,c ‘de yarılanma sürelerinin belirlendiği bozunum eğrileri , eğriler üzerine yapılan uyumlamalar ve uyumdan sapma miktarları gösterilmektedir.

Çizelge 5.2 $^{92}\text{Mo}(n,2n)^{91\text{m}}\text{Mo}$ için ışınlama ve ölçüm işlemleri ile ilgili bilgiler.

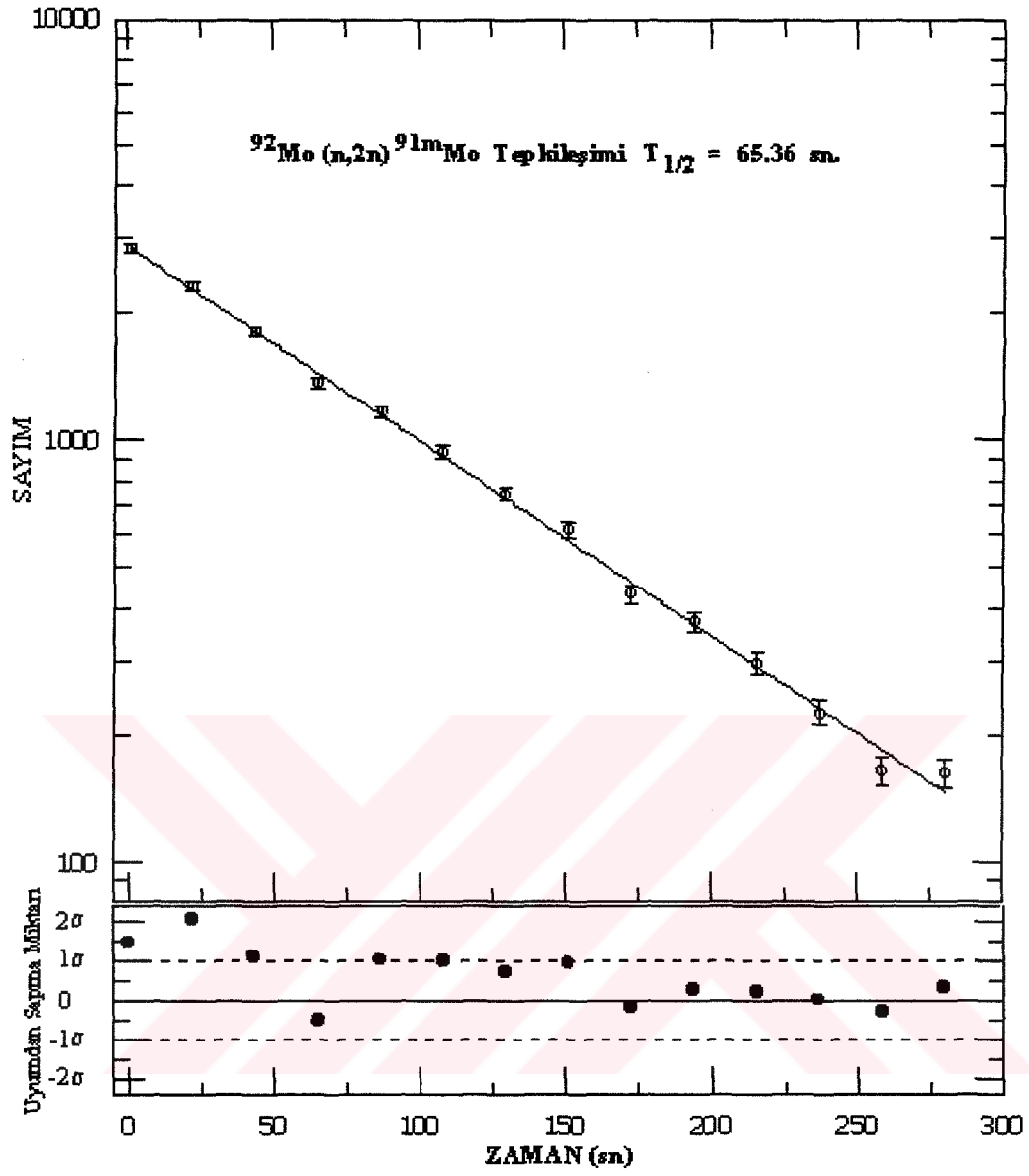
	Deney 1	Deney 2	Deney 3
Nötron akısı ($\text{n/cm}^2 \text{ sn.}$)	$2.102 \cdot 10^7$	$1.978 \cdot 10^7$	$2.151 \cdot 10^7$
Işınlama süresi (sn.)	300	300	300
Sayma süresi (sn.)	21.5	21.5	21.5
Alınan spektrum sayısı	22	22	22
Pulser ayarı (darbe/sn.)	50	50	50

Çizelge 5.3 $^{91\text{m}}\text{Mo}$ çekirdeğinin yarılanma süresi.

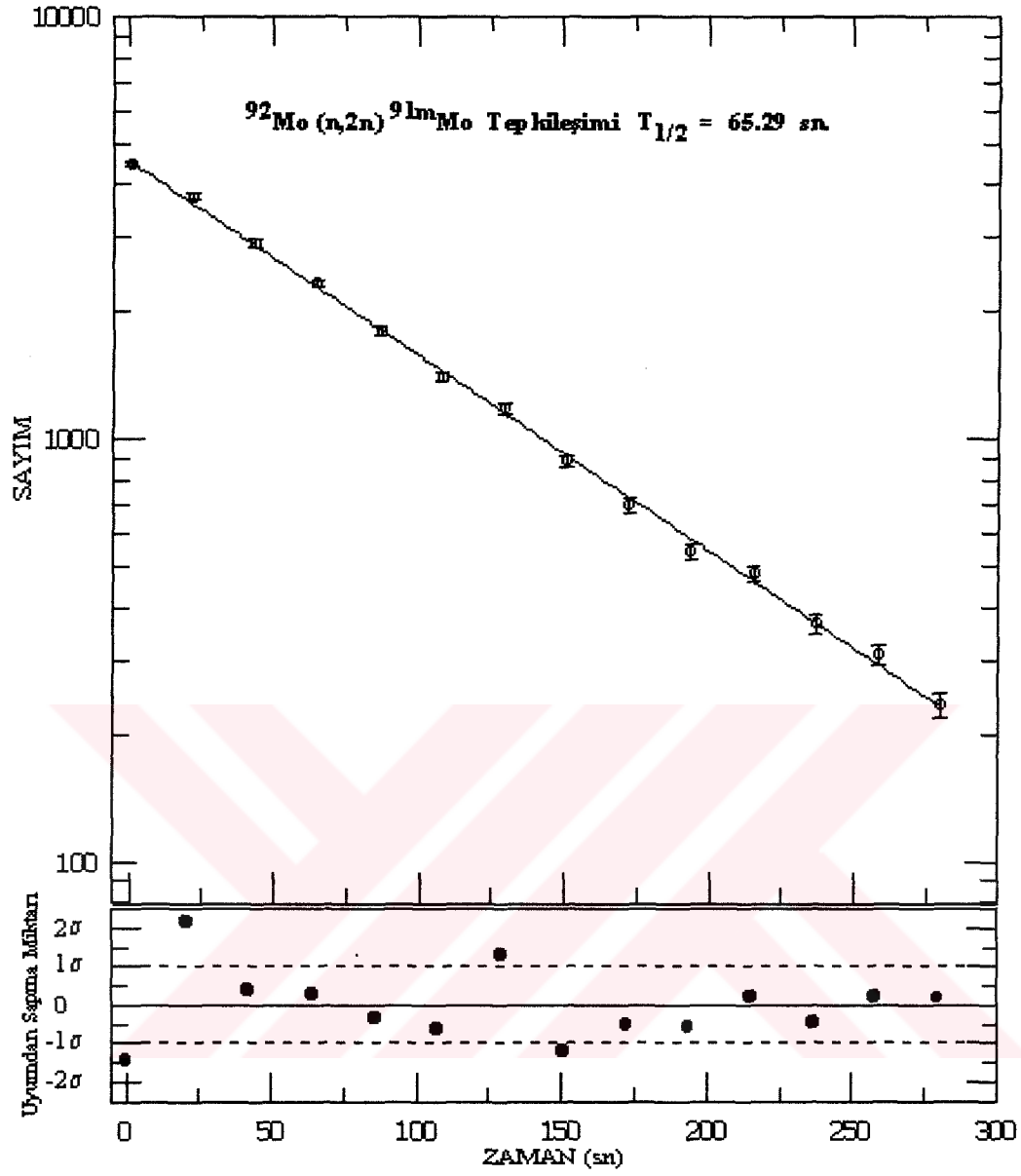
Deney No	Yarılanma Süresi	Referanslar
1	$65.52 \pm 0.50 \text{ sn}$	$62.2 \pm 0.1 \text{ sn}$ (JAERI,1996) $65.2 \pm 0.8 \text{ sn}$ (Browne,1986)
2	$65.36 \pm 0.66 \text{ sn}$	$65.22 \pm 0.7 \text{ sn}$ (Firestone,1996) $64.6 \pm 0.7 \text{ sn}$ (Tuli,2000)
3	$65.29 \pm 0.52 \text{ sn}$	
Ağırlıklı Ortalama :	$65.40 \pm 0.32 \text{ sn.}$	



Şekil 5.5a Deney 1 : ^{91m}Mo izotopunun yarılanma süresi ölçümlerinin grafiksel gösterimi (uyum parametreleri: $N_0=4614$, $\lambda=0.010576$, uyumun ortalama standart hatası $\sigma = 40.66$).



Şekil 5.5b Deney 2 : ^{91m}Mo izotopunun yarılanma süresi ölçümlerinin grafiksel gösterimi (uyum parametreleri: $N_0=2760$, $\lambda=0.010609$, uyumun ortalama standart hatası $\sigma = 56.16$).

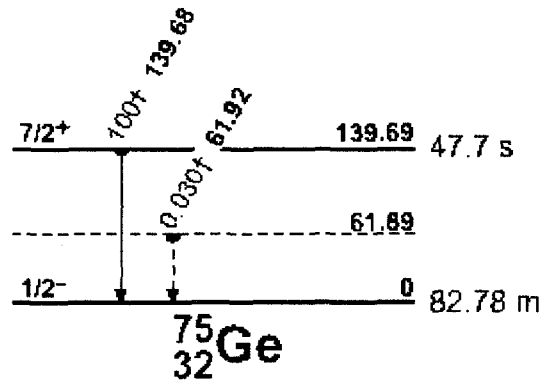


Şekil 5.5c Deney 3 : ^{91m}Mo izotopunun yarılanma süresi ölçümlerinin grafiksel gösterimi (uyum parametreleri: $N_0=4532$, $\lambda=0.0106137$, uyumun ortalama standart hatası $\sigma=41.07$).

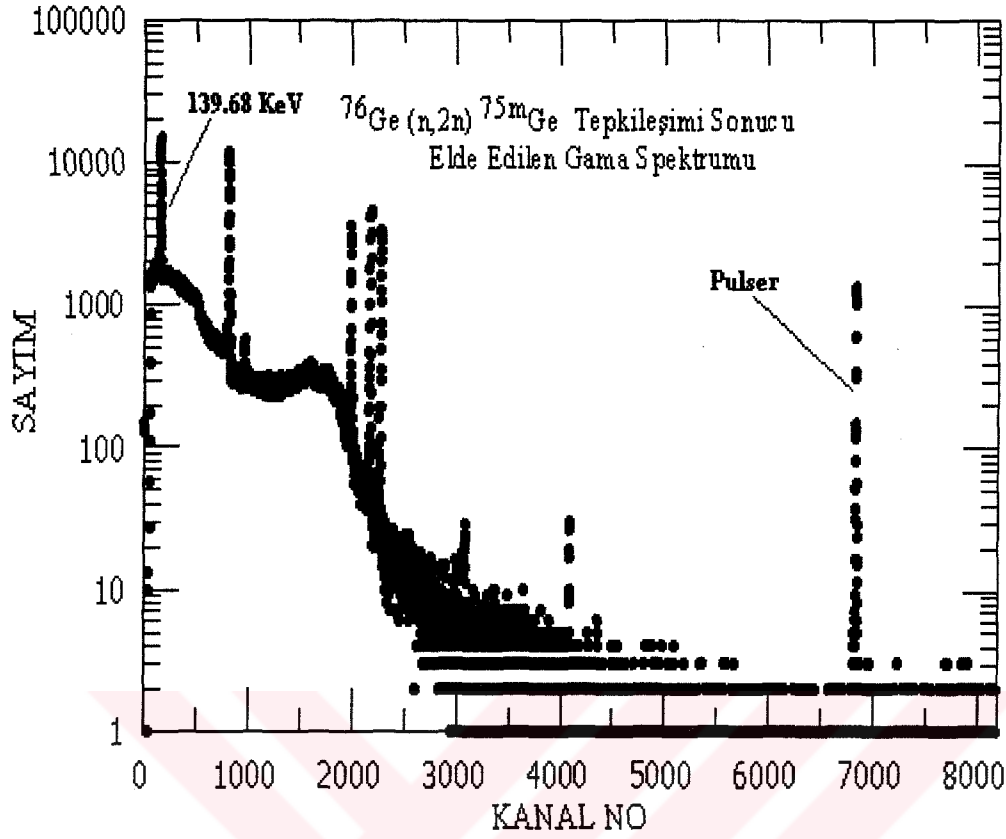
5.2 ^{75m}Ge Çekirdeğinin Yarılanma Süresi

$^{76}\text{Ge}(n,2n)^{75m}\text{Ge}$ tepkileşimi için kullanılan Ge (Çizelge 5.1) malzemesi içindeki ^{76}Ge 'nin izotopik bolluğu %7.8, tepkileşiminin Q-değeri 14 MeV nötronlar için 9.567 MeV ve tepkileşim tesir kesiti σ (14 MeV) = 970 mbarn dır. Örnek 240 sn ısılandıktan hemen sonra pnömatik transfer sistemi ile 0.52 sn 'de HPGe dedektörünün önüne getirilmiş ve ölçüm işlemi başlatılmıştır. HPGe (82 cc) dedektörünün 139.68 KeV gama ışınları için TET verimi ϵ_{eff} (139.68) = 0.793 dür. Ölçüm sırasında örnek merkezi – dedektör kristal arasındaki mesafe 18.5 mm ve sayım katı açısı Ω = 2.546 dir.

^{75m}Ge çekirdeğinin yarılanma süresinin belirlenmesi için, izomerik geçişten meydana gelen %38.8 bollukta 139.68 KeV'lik gama ışınlarına ait (Şekil 5.6) tüm enerji tepesi (Şekil 5.7) kullanılarak, sayım süresi 15.7 sn ($\sim T_{1/2} / 3$) olan toplam 22 adet gama spektrumu ard arda alınmıştır. Ölü zaman ve darbe yığılını düzeltmeleri için pulser tepesi 6854 nolu kanalda oluşacak şekilde pulser kazanç ayarı yapılmıştır. Sayım İşlem sonrası bilgisayar hafızasında toplanan gama ve pulser'e ait spektrumlar, Kontrol programı tarafından isimlendirilerek (dosya adı verilerek) bilgisayarın sabit diskine aktarılmıştır. Spektrumların Ortec 919 hafızasında bilgisayar hafızasına transfer süresi, kontrol programının oluşturduğu işlem dosyasından 0.312 ± 0.004 saniye olarak bulunmuştur.



Şekil 5.6 $^{76}\text{Ge}(n,2n)^{75m}\text{Ge}$ tepkileşimi sonucu izomerik geçişten meydana gelen 139.68 KeV gama ışınları.



Şekil 5.7 $^{76}\text{Ge}(n,2n)^{75\text{m}}\text{Ge}$ tepkileşimi sonucu elde edilen gama spektrumu.

Yapılan üç deney sonunda (Çizelge 5.4) bulunan yarılanma süreleri Çizelge 5.5 de verilmektedir. Belirlediğimiz yarılanma sürelerinin ağırlıklı ortalaması alınarak ortalama yarılanma süresi bulunmuştur. Bulunan değer, önceki çalışmalar ve nükleer veri kaynaklarındaki değerler ile karşılaştırmak amacıyla ayrı sütunlar halinde verilmiştir.

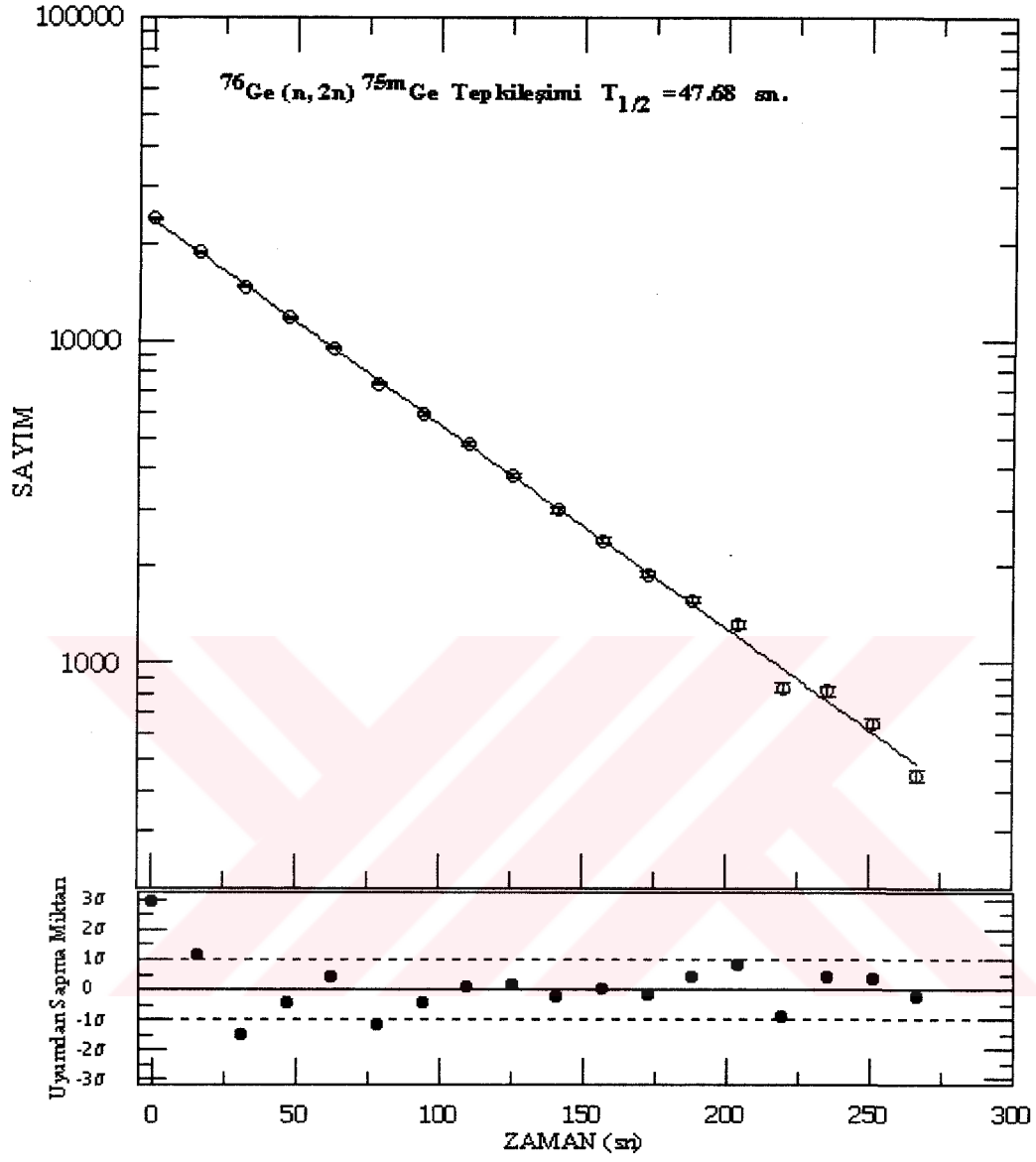
Şekil 5.8-a,b,c 'de yarılanma sürelerinin belirlendiği bozunum eğrileri , eğriler üzerine yapılan uyumlamalar ve uyumdan sapma miktarları gösterilmektedir.

Çizelge 5.4 $^{76}\text{Ge}(n,2n)^{75\text{m}}\text{Ge}$ için ışınlama ve ölçüm işlemleri ile ilgili bilgiler.

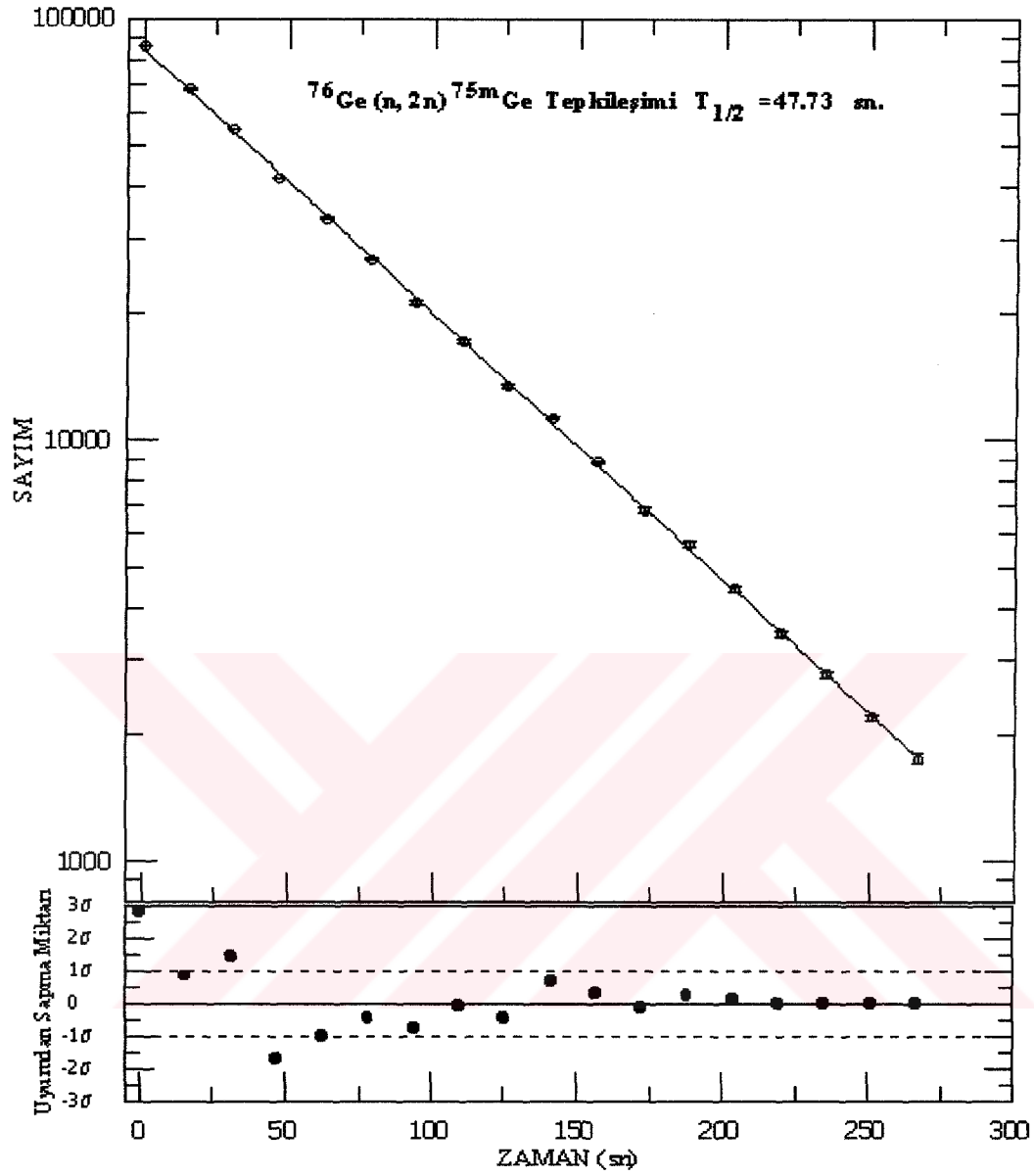
	Deney 1	Deney 2	Deney 3
Nötron akısı ($\text{n}/\text{cm}^2 \text{ sn.}$)	$1.879 \cdot 10^7$	$2.216 \cdot 10^7$	$2.182 \cdot 10^7$
İşinlama süresi (sn.)	240	240	240
Sayma süresi (sn.)	15.7	15.7	15.7
Alınan spektrum sayısı	22	22	22
Pulser ayarı (darbe/sn.)	50	50	50

Çizelge 5.5 $^{75\text{m}}\text{Ge}$ çekirdeğinin yarılanma süresi.

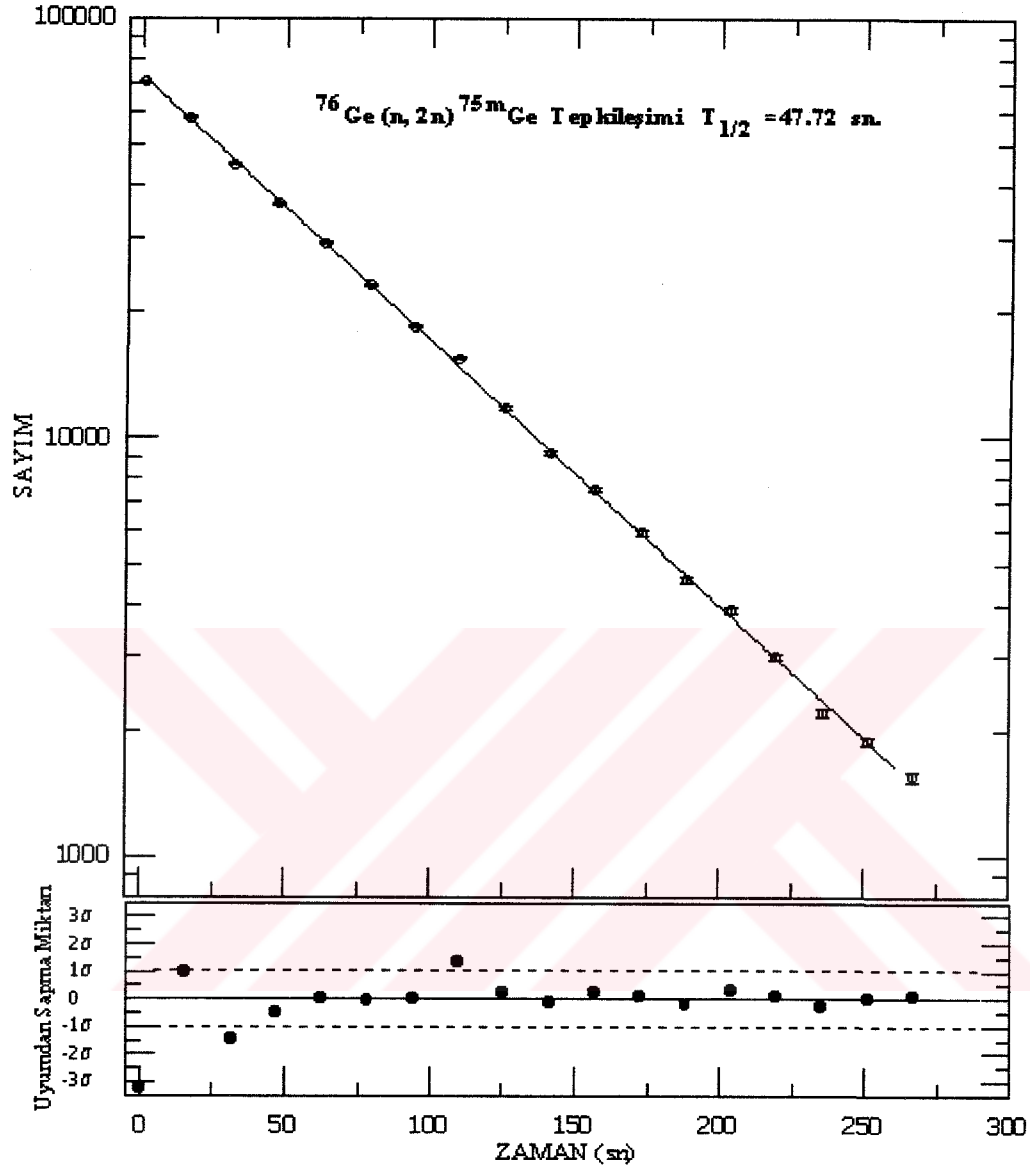
Deney No	Yarılanma Süresi	Referanslar
1	$47.68 \pm 0.08 \text{ sn}$	$47.7 \pm 0.50 \text{ sn}$ (Tuli,2000) $47.7 \pm 0.50 \text{ sn}$ (Firestone,1996)
2	$47.73 \pm 0.03 \text{ sn}$	$47.29 \pm 0.12 \text{ sn}$ (JAERI,1997) $47.7 \pm 0.7 \text{ sn}$ (Browne,1986)
3	$47.73 \pm 0.02 \text{ sn}$	
Ağırlıklı Ortalama :	$47.73 \pm 0.02 \text{ sn.}$	



Şekil 5.8a Deney 1 : ^{75m}Ge izotopunun yarılanma süresi ölçümlerinin grafik gösterimi. Uyum parametreleri: $N_0=23412$, $\lambda=0.014532$, uyumun ortalama standart hatası $\sigma = 133.22$.



Şekil 5.8b Deney 3 : ^{75m}Ge izotopunun yarılanma süresi ölçümlerinin grafik gösterimi. Uyum parametreleri : $N_0=84976$, $\lambda=0.0145181$, uyumun ortalama standart hatası $\sigma = 569.93$.

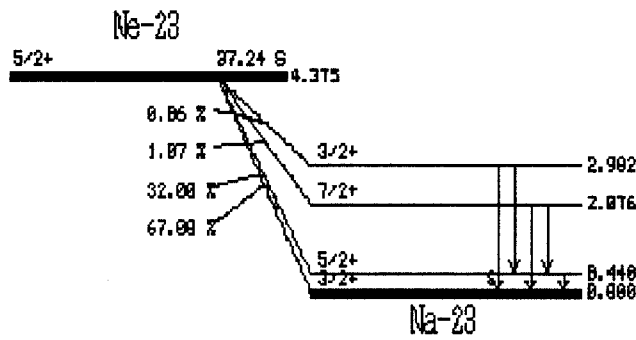


Şekil 5.8c Deney 3 : ^{75m}Ge izotopunun yarılanma süresi ölçümlerinin grafik gösterimi
 Uyum parametreleri : $N_0=72277$, $\lambda=0.0145197$, uyumun ortalama standart hatası $\sigma = 563.51$

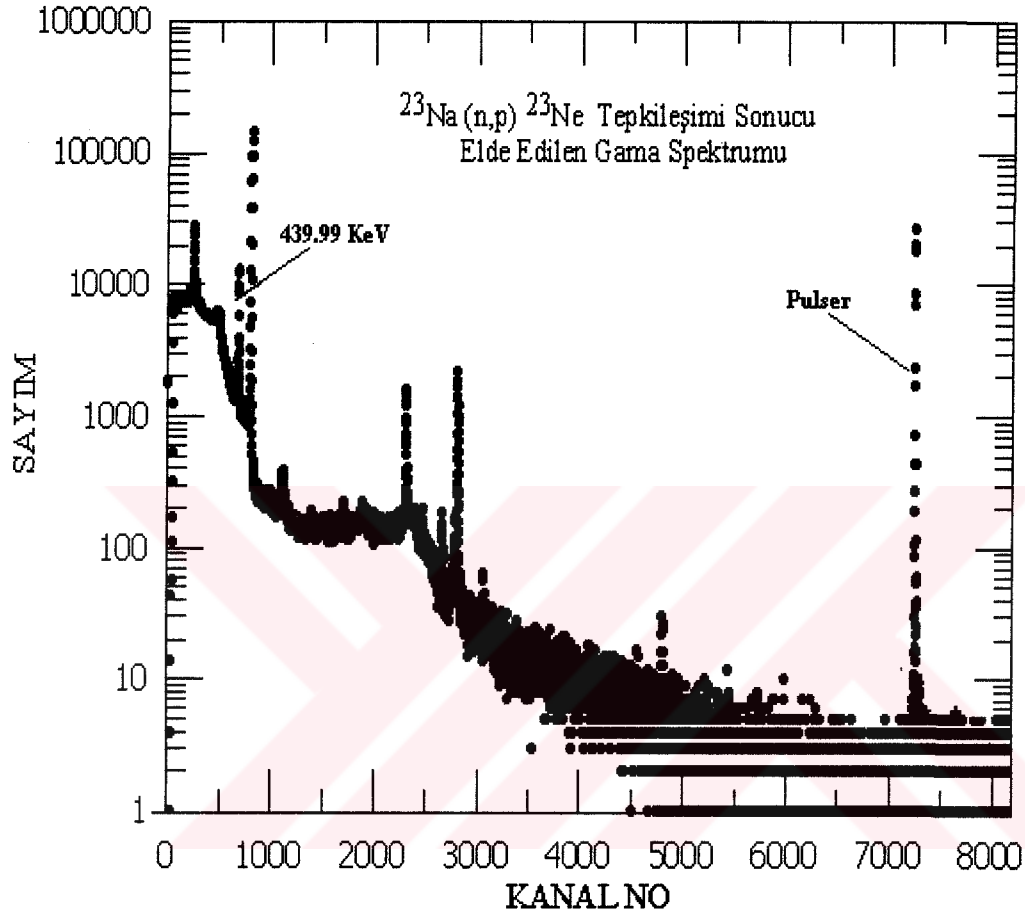
5.3 ^{23}Ne Çekirdeğinin Yarılanma Süresi

$^{23}\text{Na}(n,p)^{23}\text{Ne}$ tepkileşimi için kullanılan NaF (Çizelge 5.1) malzemesi içindeki ^{23}Na 'nin izotopik bolluğu %100, tepkileşiminin Q-değeri 14 MeV nötronlar için 3.754 MeV ve tepkileşim tesir kesiti σ (14 MeV) = 34 mbarn dır. Örnek 240 sn ışılandıktan hemen sonra pnömatik transfer sistemi ile 0.61 sn 'de HPGe dedektörünün önüne getirilmiş ve ölçüm işlemi başlatılmıştır. HPGe (82 cc) dedektörünün 439.99 KeV gama ışınları için TET verimi ϵ_{eff} (439.99) = 0.324 dür. Ölçüm sırasında örnek merkezi – dedektör kristal arasındaki mesafe 18.5 mm ve sayım katı açısı $\Omega = 2.546$ dir.

^{23}Ne izotopunun yarılanma süresinin belirlenmesi için, ^{23}Ne 'nin bozunumunda meydana gelen %32.9. bollukta 439.99 KeV'lik gama ışınlarına ait (Şekil 5.9) tüm enerji tepesi (Şekil 5.10) kullanılarak, sayım süresi 12.5 sn ($\sim T_{1/2} / 3$) olan toplam 22 adet gama spektrumu ard arda alınmıştır. Ölü zaman ve darbe yığılması düzeltmeleri için pulser tepesi 7196 nolu kanalda oluşacak şekilde pulser kazanç ayarı yapılmıştır. Sayım İşlem sonrası bilgisayar hafızasında toplanan gama ve pulser'e ait spektrumlar, Kontrol programı tarafından isimlendirilerek (dosya adı verilerek) bilgisayarın sabit diskine aktarılmıştır. Spektrumların Ortec 919 hafızasında bilgisayar hafızasına transfer süresi, kontrol programının oluşturduğu işlem dosyasından $0.0.297 \pm 0.001$ saniye olarak bulunmuştur.



Şekil 5.9 $^{23}\text{Na}(n,p)^{23}\text{Ne}$ tepkileşimi sonucu oluşan gama ışınları.



Şekil 5.10 $^{23}\text{Na}(n,p)^{23}\text{Ne}$ tepkileşimi sonucu elde edilen gama spektrumu.

Yapılan üç deney sonunda (Çizelge 5.6) bulunan yarılanma süreleri Çizelge 5.7’ de verilmektedir. Belirlediğimiz yarılanma sürelerinin ağırlıklı ortalaması alınarak ortalama yarılanma süresi bulunmuştur. Bulunan değer, önceki çalışmalar ve nükleer veri kaynaklarındaki değerler ile karşılaştırmak amacıyla ayrı sütunlar halinde verilmiştir.

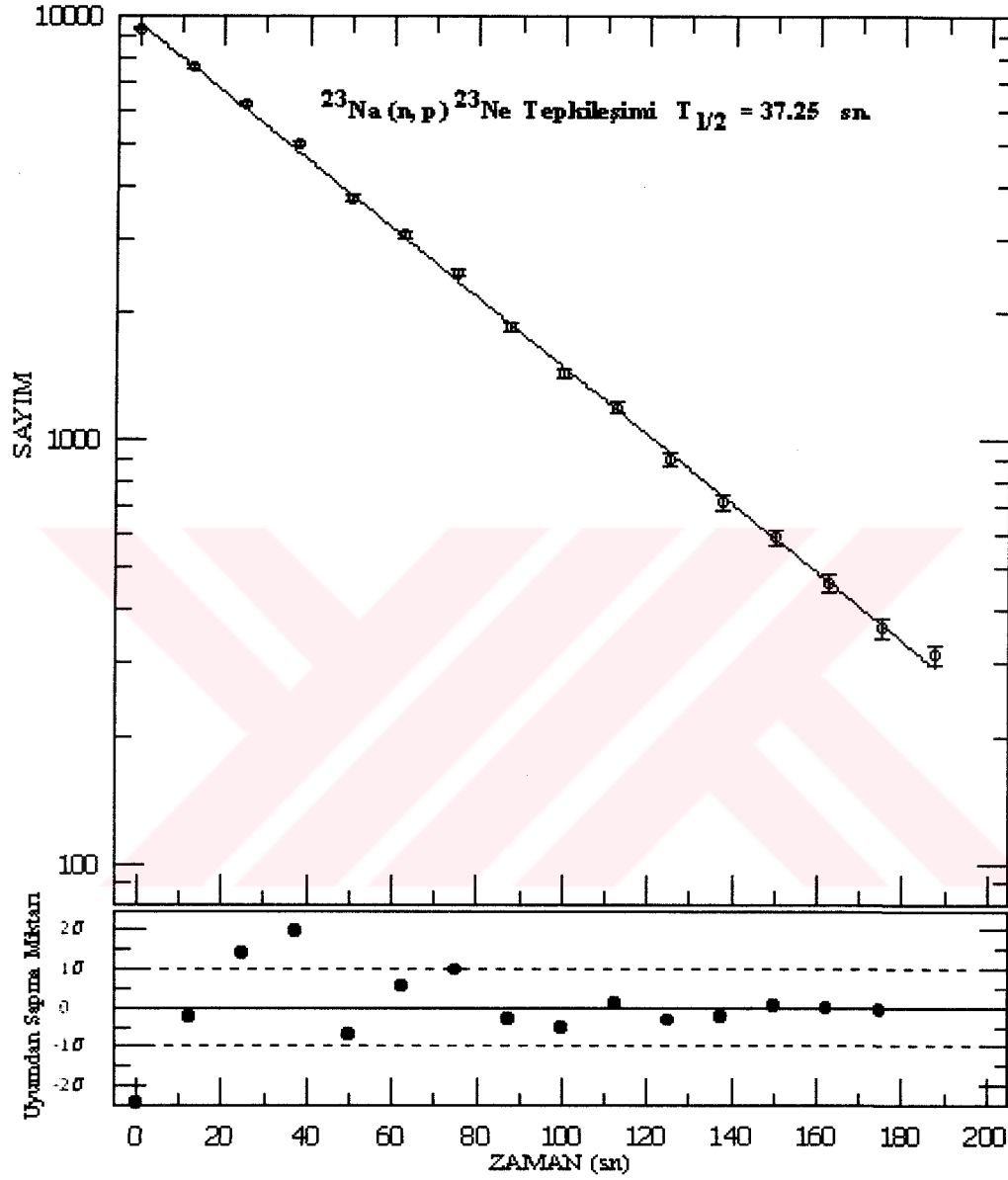
Şekil 5.11-a,b,c ‘de yarılanma sürelerinin belirlendiği bozunum eğrileri , eğriler üzerine yapılan uyumlamalar ve uyumdan sapma miktarları gösterilmektedir.

Çizelge 5.6 $^{23}\text{Na}(n,p)^{23}\text{Ne}$ tepkileşimi için ışınlama ve ölçüm işlemleri ile ilgili bilgiler.

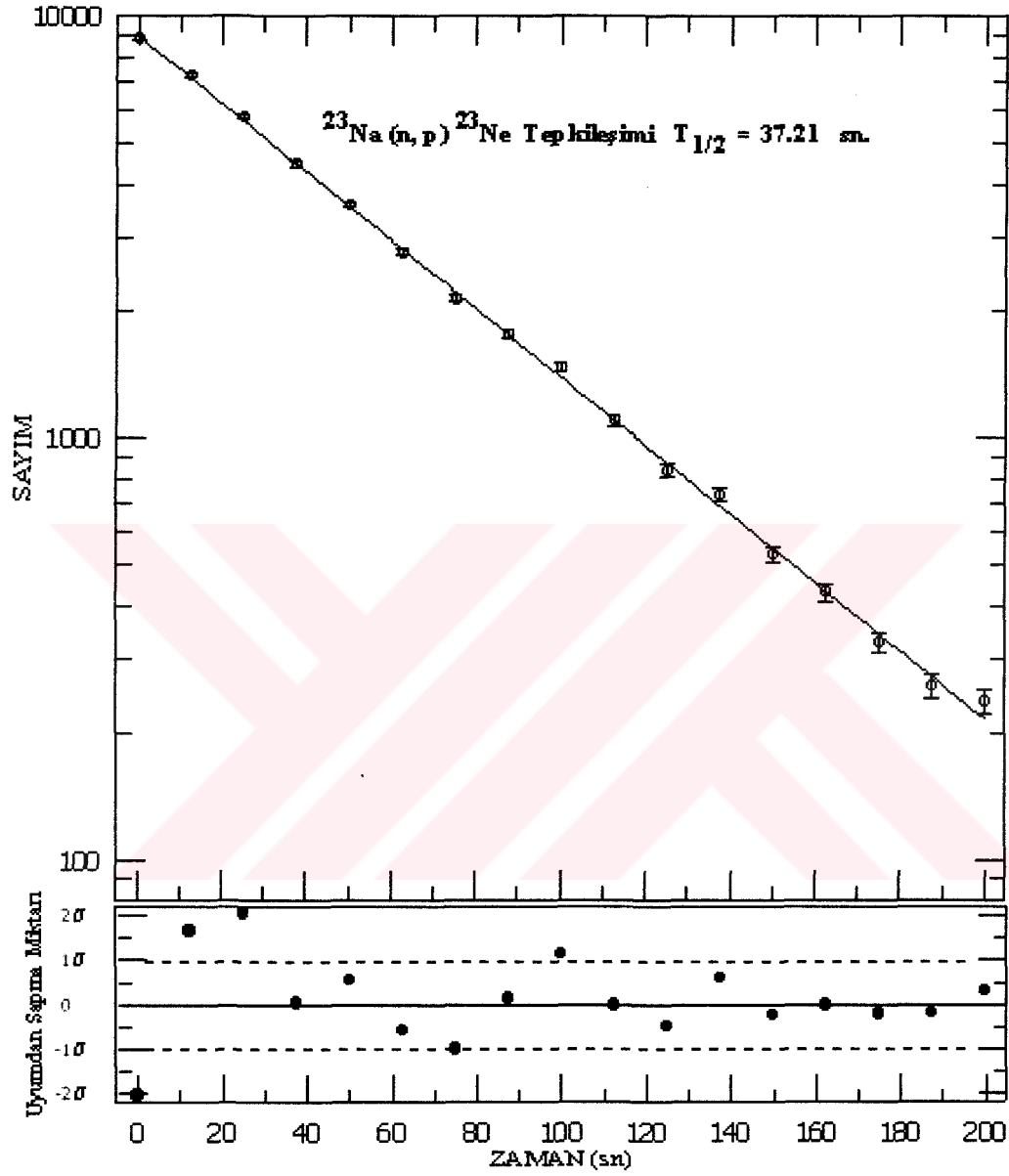
	Deney 1	Deney 2	Deney 3
Nötron akısı ($\text{n}/\text{cm}^2 \text{ sn.}$)	$2.230.10^7$	$2.100.10^7$	$2.212.10^7$
Işınlama süresi (sn.)	240	240	240
Sayma süresi (sn.)	12.5	12.5	12.5
Alınan spektrum sayısı	22	22	22
Pulser ayarı (darbe/sn.)	50	50	50

Çizelge 5.7 ^{23}Ne çekirdeğinin yarılanma süresi.

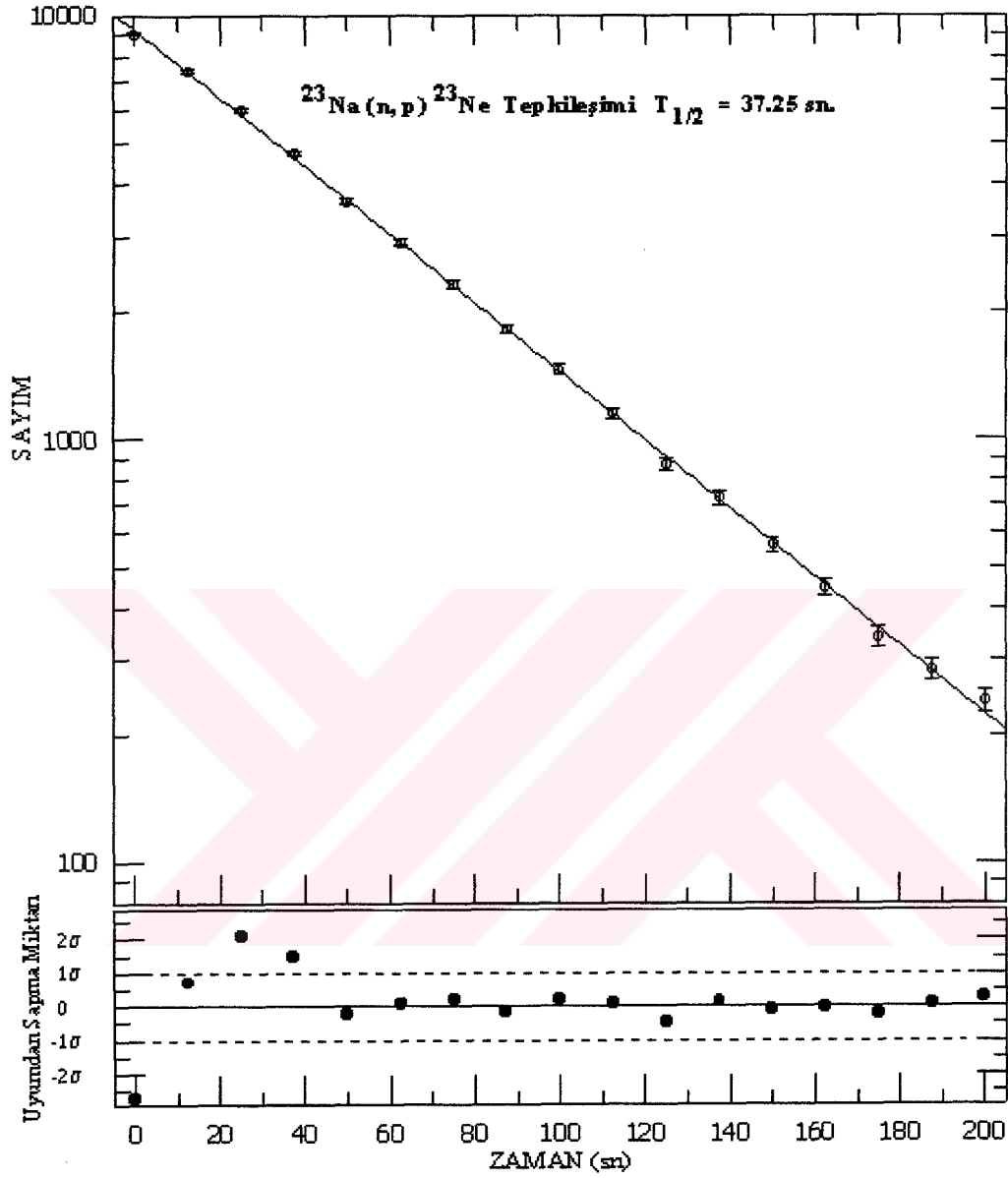
Deney No	Yarılanma Süresi	Referanslar
1	$37.25 \pm 0.09 \text{ sn}$	$37.24 \pm 0.12 \text{ sn.}$ (JAERI,1997) $37.24 \pm 0.12 \text{ sn.}$ (Tuli,2000)
2	$37.21 \pm 0.09 \text{ sn}$	
3	$37.25 \pm 0.10 \text{ sn}$	
Ağırlıklı Ortalama	: $37.24 \pm 0.05 \text{ sn.}$	



Şekil 5.11a Deney 1 : ^{23}Ne izotopunun yarılanma süresi ölçümlerinin grafik gösterimi. Uyum parametreleri : $N_0=9606$, $\lambda=0.0186285$, uyumun ortalama standart hatası $\sigma = 106.05$



Şekil 5.11b Deney 2 : ^{23}Ne izotopunun yarılanma süresi ölçümlerinin grafik gösterimi. Uyum parametreleri : $N_0=8980$, $\lambda=0.0186235$, uyumun ortalama standart hatası $\sigma = 73.94$

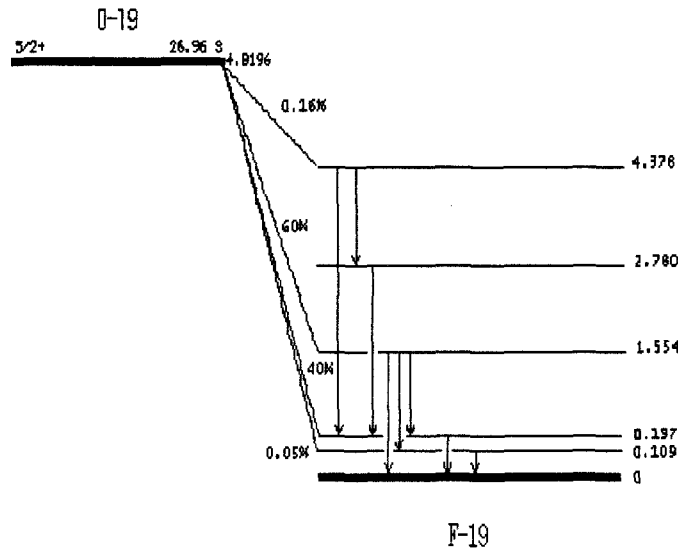


Şekil 5.11c Deney 3 : ^{23}Ne izotopunun yarılanma süresi ölçümlerinin grafik gösterimi
 Uyum parametreleri : $N_0=9288$, $\lambda=0.0186275$, uyumun ortalama standart hatası $\sigma = 148.42$

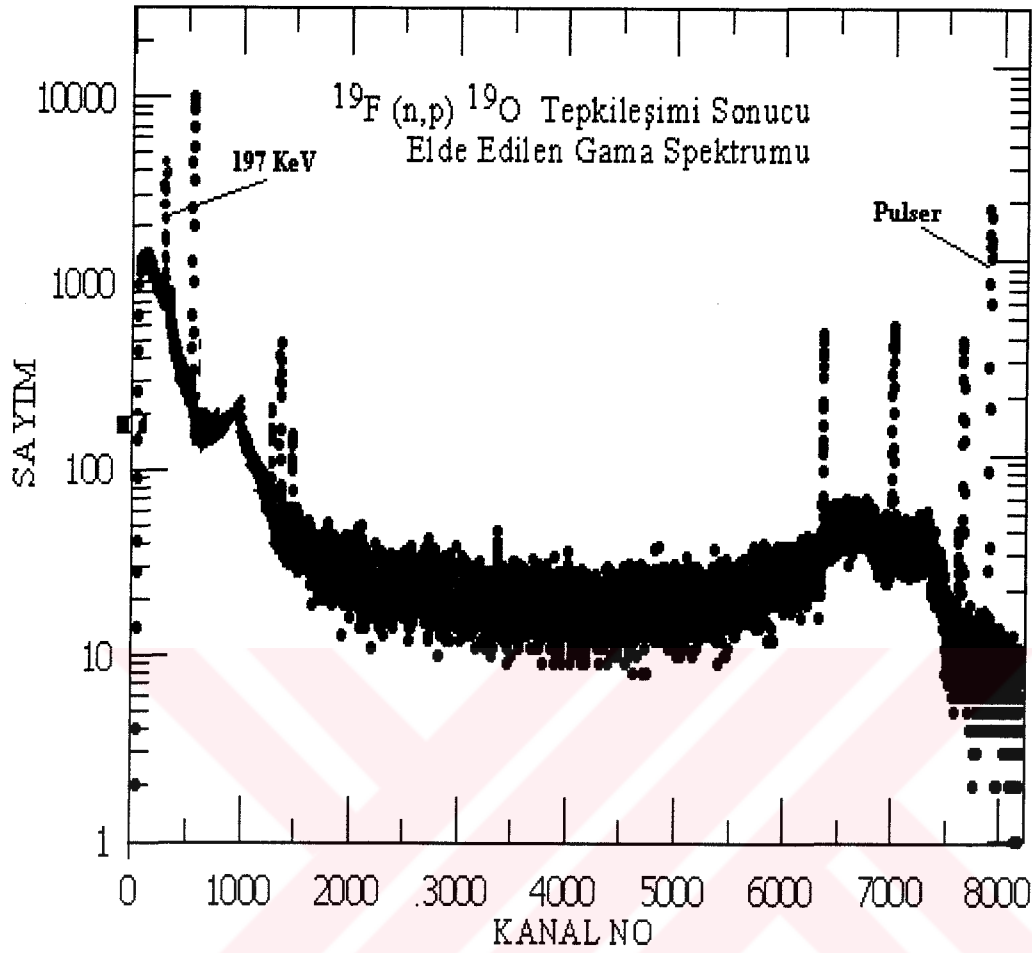
5.4 ^{19}O Çekirdeğinin Yarılanma Süresi

$^{19}\text{F}(\text{n},\text{p})^{19}\text{O}$ tepkileşimi için kullanılan C_2F_4 (Çizelge 5.1) malzemesi içindeki ^{19}F 'nin izotopik bolluğu %100, tepkileşiminin Q-değeri 14 MeV nötronlar için 4.25 MeV ve tepkileşim tesir kesiti σ (14 MeV) = 19 mbarn dır. Örnek 180 sn ışılandıktan hemen sonra pnömatik transfer sistemi ile 0.57 sn 'de HPGe dedektörünün önüne getirilmiş ve ölçüm işlemi başlatılmıştır. HPGe (82 cc) dedektörünün 197.99 KeV gama ışınları için TET verimi ϵ_{eff} (197) = 0.663 dür. Ölçüm sırasında örnek merkezi – dedektör kristal arasındaki mesafe 18.5 mm ve sayım katı açısı $\Omega = 2.546$ dir.

^{19}O çekirdeğinin yarılanma süresinin belirlenmesi için, ^{19}O 'nin bozunumunda meydana gelen %95.9. bollukta 197 KeV'lik gama ışınlarına ait (Şekil 5.12) tüm enerji tepesi (Şekil 5.13) kullanılarak, sayım süresi 9 sn ($\sim T_{1/2} / 3$) olan toplam 22 adet gama spektrumu ard arda alınmıştır. Ölü zaman ve darbe yığılması düzeltmeleri için pulser tepesi 7851 nolu kanalda oluşacak şekilde pulser kazanç ayarı yapılmıştır. Sayım İşlem sonrası bilgisayar hafızasında toplanan gama ve pulser'e ait spektrumlar, Kontrol programı tarafından isimlendirilerek (dosya adı verilerek) bilgisayarın sabit diskine aktarılmıştır. Spektrumların Ortec 919 hafızasında bilgisayar hafızasına transfer süresi, kontrol programının oluşturduğu işlem dosyasından 0.0277 ± 0.003 saniye olarak bulunmuştur.



Şekil 5.12 $^{19}\text{F}(\text{n},\text{p})^{19}\text{O}$ tepkileşimi sonucu meydana gelen gama ışınları.



Şekil 5.13 $^{19}\text{F}(\text{n,p})^{19}\text{O}$ tepkileşimi sonucu elde edilen gama spektrumu.

Yapılan üç deney sonunda (Çizelge 5.8) bulunan yarılanma süreleri Çizelge 5.9 de verilmektedir. Belirlediğimiz yarılanma sürelerinin ağırlıklı ortalaması alınarak ortalama yarılanma süresi bulunmuştur. Bulunan değer, önceki çalışmalar ve nükleer veri kaynaklarındaki değerler ile karşılaştırmak amacıyla ayrı sütunlar halinde verilmiştir.

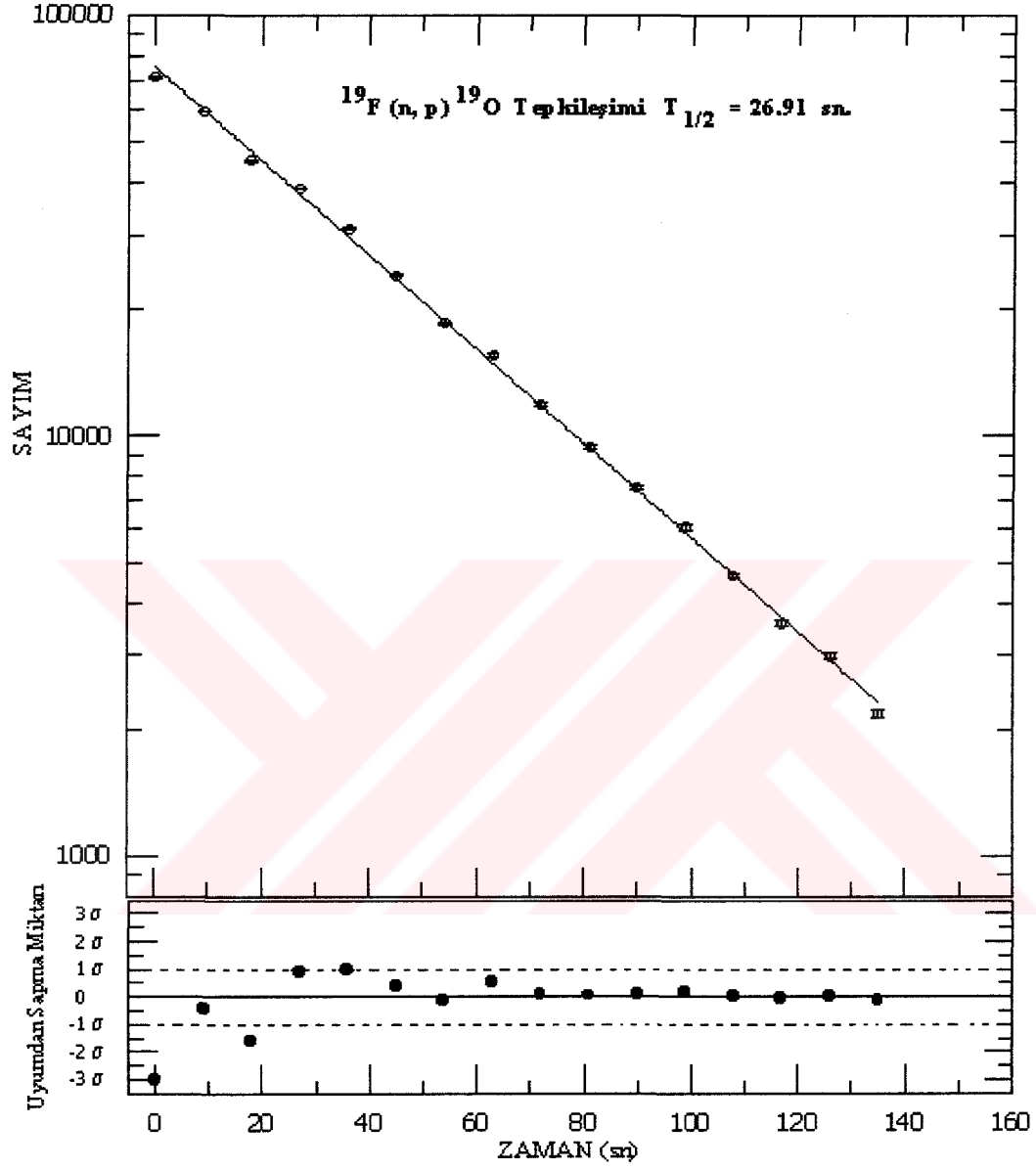
Şekil 5.14-a,b,c 'de yarılanma sürelerinin belirlendiği bozunum eğrileri , eğriler üzerine yapılan uyumlamalar ve uyumdan sapma miktarları gösterilmektedir.

Çizelge 5.8 $^{19}\text{F}(\text{n,p})^{19}\text{O}$ tepkileşimi için ışınlama ve ölçüm işlemleri ile ilgili bilgiler.

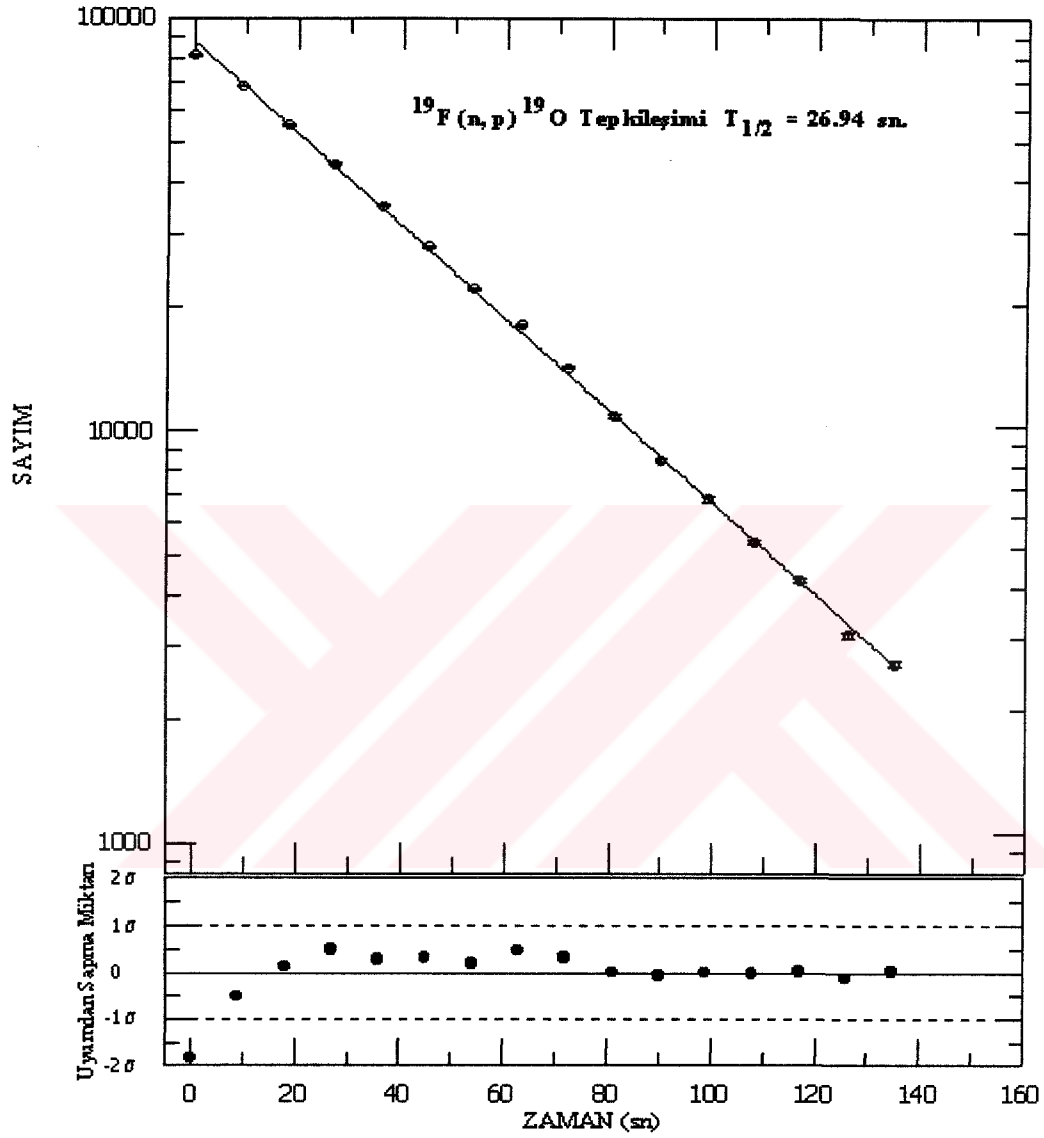
	Deney 1	Deney 2	Deney 3
Nötron akısı ($\text{n/cm}^2 \text{ sn.}$)	$1.890 \cdot 10^7$	$2.171 \cdot 10^7$	$2.105 \cdot 10^7$
Işınlama süresi (sn.)	180	180	180
Sayma süresi (sn.)	9	9	9
Alınan spektrum sayısı	22	22	22
Pulser ayarı (darbe/sn.)	50	50	50

Çizelge 5.9 ^{19}O çekirdeğinin yarılanma süresi.

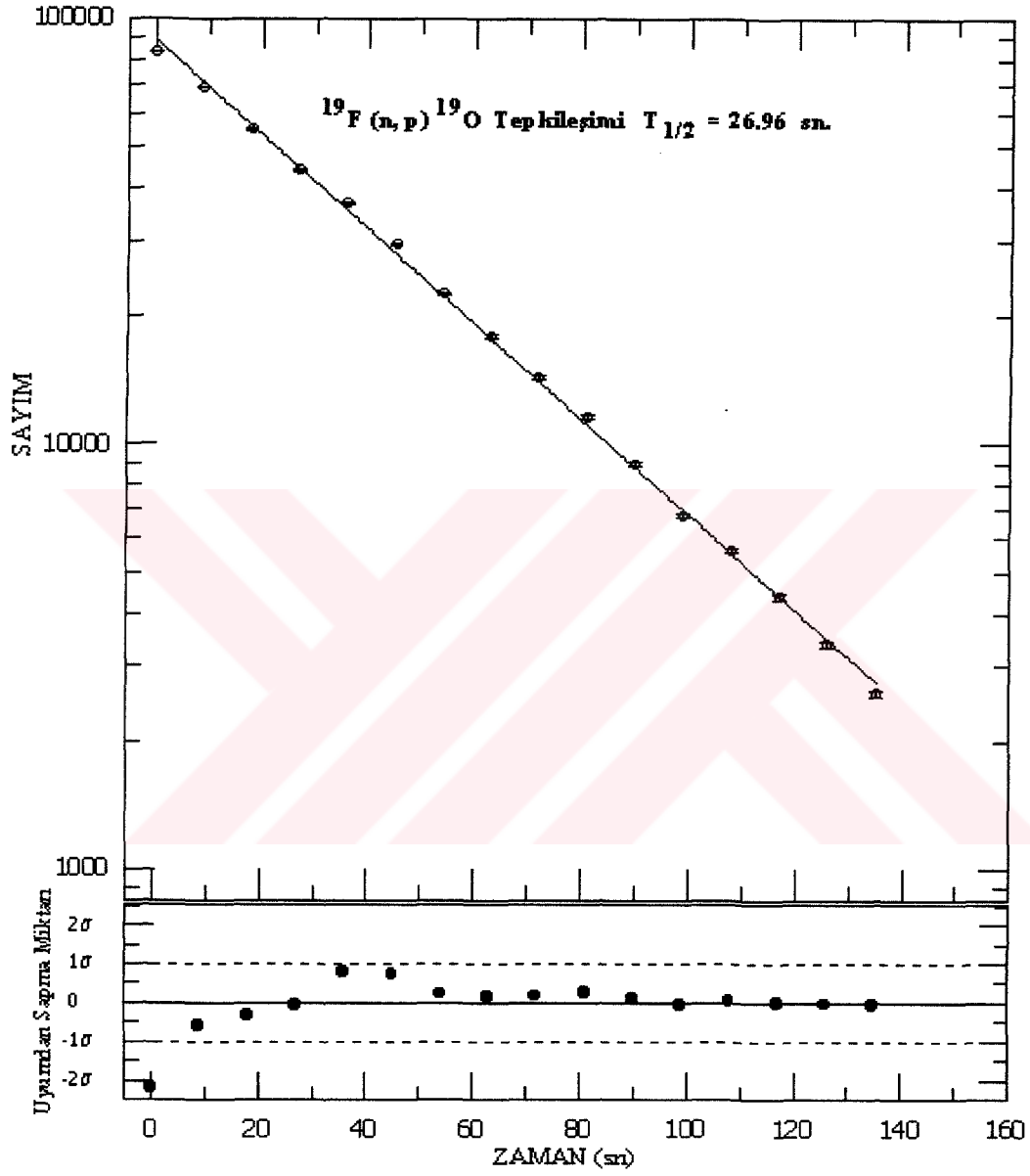
Deney No	Yarılanma Süresi	Referanslar
1	$26.91 \pm 0.026 \text{ sn}$	$26.464 \pm 0.009 \text{ sn}$ (JAERI,1995) $26.76 \pm 0.08 \text{ sn}$ (Browne,1986)
2	$26.94 \pm 0.019 \text{ sn}$	$26.91 \pm 0.08 \text{ sn}$ (Tuli,2000)
3	$26.96 \pm 0.024 \text{ sn}$	
Ağırlıklı Ortalama : $26.94 \pm 0.01 \text{ sn.}$		



Şekil 5.14a Deney 1 : ^{19}O izotopunun yarılanma süresi ölçümlerinin grafik gösterimi. Uyum parametreleri : $N_0=75240$, $\lambda=0.0257482$, uyumun ortalama standart hatası $\sigma = 1331$.



Şekil 5.14b Deney 2 : ^{19}O izotopunun yarılanma süresi ölçümlerinin grafik gösterimi. Uyum parametreleri : $N_0=87560$, $\lambda=0.0257254$, uyumun ortalama standart hatası $\sigma = 964.82$

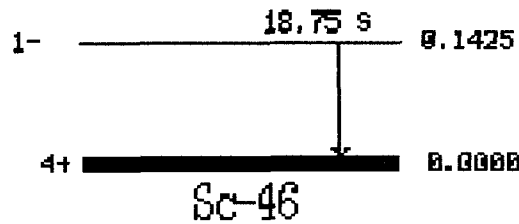


Şekil 5.14c Deney 3 : ^{19}O izotopunun yarılanma süresi ölçümlerinin grafik gösterimi. Uyum parametreleri : $N_0=88625$, $\lambda=0.0256974$, uyumun ortalama standart hatası $\sigma = 1549$.

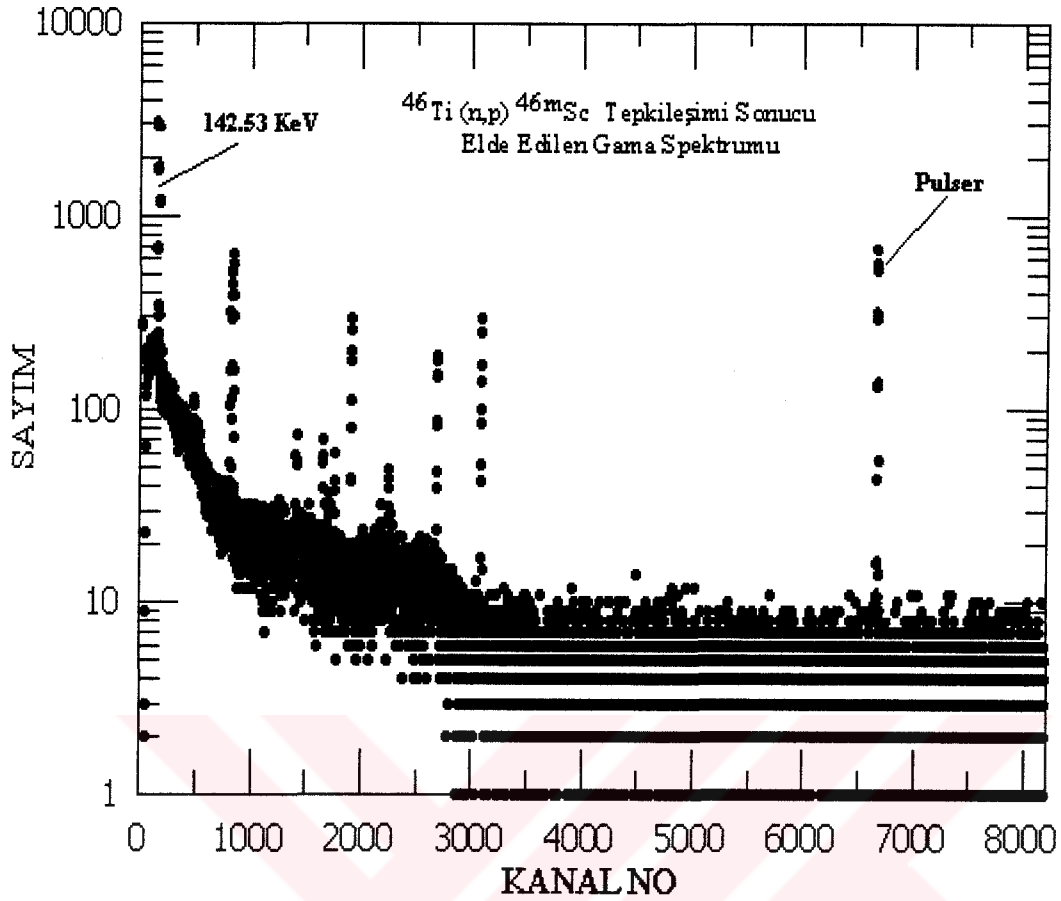
5.5 ^{46m}Sc Çekirdeğinin Yarılanma Süresi

$^{46}\text{Ti}(n,p)^{46m}\text{Sc}$ tepkileşimi için kullanılan TiO_2 (Çizelge 5.1) malzemesi içindeki ^{46}Ti 'nin izotopik bolluğu %8.25, tepkileşiminin Q-değeri 14 MeV nötronlar için 13.49 MeV ve tepkileşim tesir kesiti σ (14 MeV) = 48 mbarn dır. Örnek 180 sn ışılandıktan hemen sonra pnömatik transfer sistemi ile 0.52 sn 'de HPGe dedektörünün önüne getirilmiş ve ölçüm işlemi başlatılmıştır. HPGe (82 cc) dedektörünün 142.53 KeV gama ışınları için TET verimi $\epsilon_{\text{eff}}(142.53) = 0.777$ dir. Ölçüm sırasında örnek merkezi – dedektör kristal arasındaki mesafe 18.5 mm ve sayım katı açısı $\Omega = 2.546$ dir.

^{46m}Sc çekirdeğinin yarılanma süresinin belirlenmesi için, ^{46m}Sc 'nin izomerik geçişten meydana gelen %62. bollukta 142.53 KeV'lik gama ışınlarına ait (Şekil 5.15) tüm enerji tepesi (Şekil 5.16) kullanılarak, sayım süresi 6.3 sn ($\sim T_{1/2} / 3$) olan toplam 22 adet gama spektrumu ard arda alınmıştır. Ölü zaman ve darbe yığılması düzeltmeleri için pulser tepesi 6706 nolu kanalda oluşacak şekilde pulser kazanç ayarı yapılmıştır. Sayım işlem sonrası bilgisayar hafızasında toplanan gama ve pulser'e ait spektrumlar, Kontrol programı tarafından isimlendirilerek (dosya adı verilerek) bilgisayarın sabit diskine aktarılmıştır. Spektrumların Ortec 919 hafızasında bilgisayar hafızasına transfer süresi, kontrol programının oluşturduğu işlem dosyasından 0.301 ± 0.006 olarak bulunmuştur.



Şekil 5.15 $^{46}\text{Ti}(n,p)^{46m}\text{Sc}$ tepkileşimi sonucu izomerik geçişinden meydana gelen 142.53 KeV gama ışınları.



Şekil 5.16 $^{46}\text{Ti}(n,p)^{46\text{m}}\text{Sc}$ tepkilesimi sonucu elde edilen gama spektrumu.

Yapılan üç deney sonunda (Çizelge 5.10) bulunan yarılanma süreleri Çizelge 5.11 'de verilmektedir. Belirlediğimiz yarılanma sürelerinin ağırlıklı ortalaması alınarak ortalama yarılanma süresi bulunmuştur. Bulunan değer, önceki çalışmalar ve nükleer veri kaynaklarındaki değerler ile karşılaştırmak amacıyla ayrı sütunlar halinde verilmiştir.

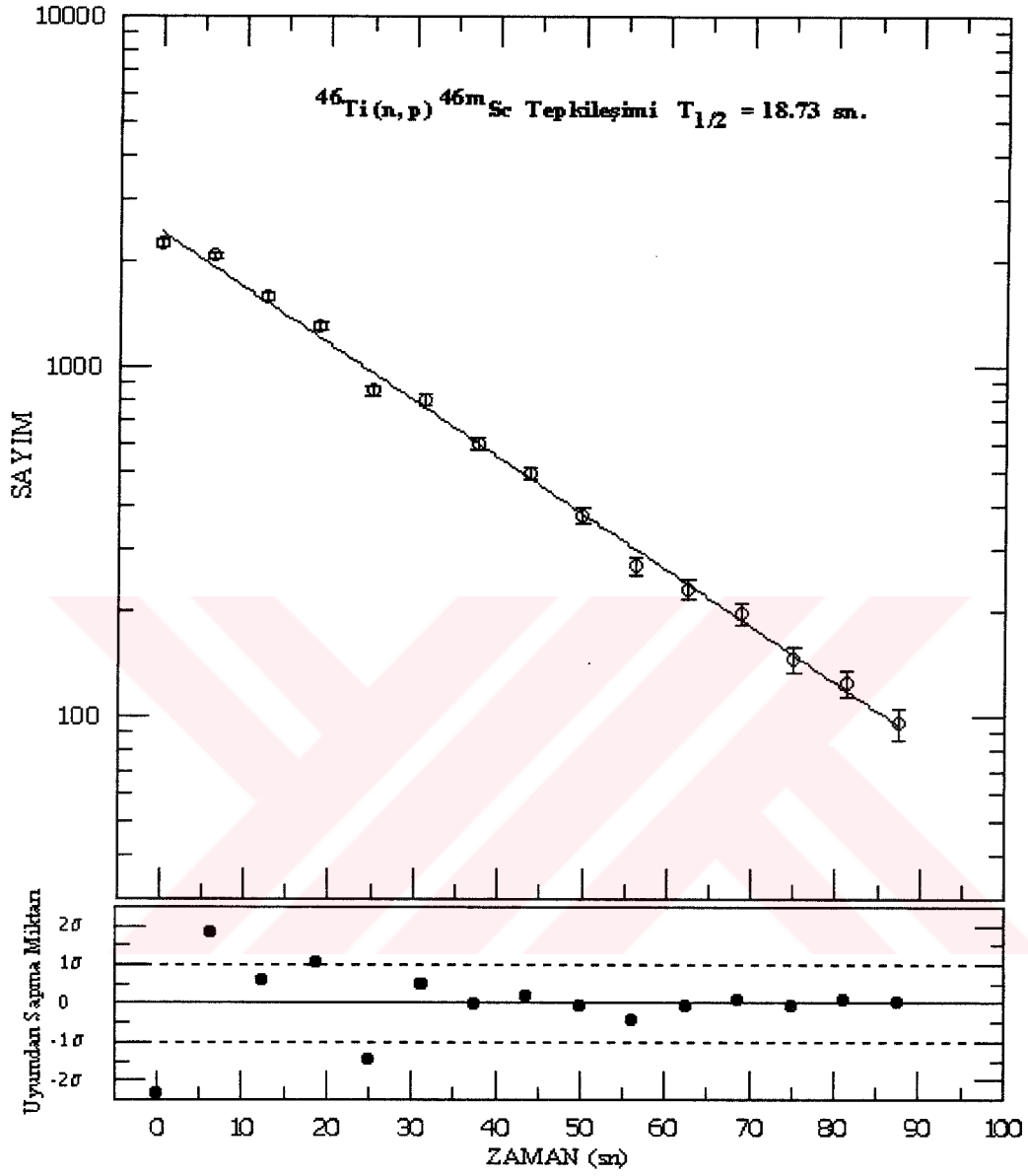
Şekil 5.17-a,b,c 'de yarılanma sürelerinin belirlendiği bozunum eğrileri , eğriler üzerine yapılan uyumlamalar ve uyumdan sapma miktarları gösterilmektedir.

Çizelge 5.10 $^{46}\text{Ti}(n,p)^{46\text{m}}\text{Sc}$ tepkileşimi için ışınlama ve ölçüm işlemleri ile ilgili bilgiler.

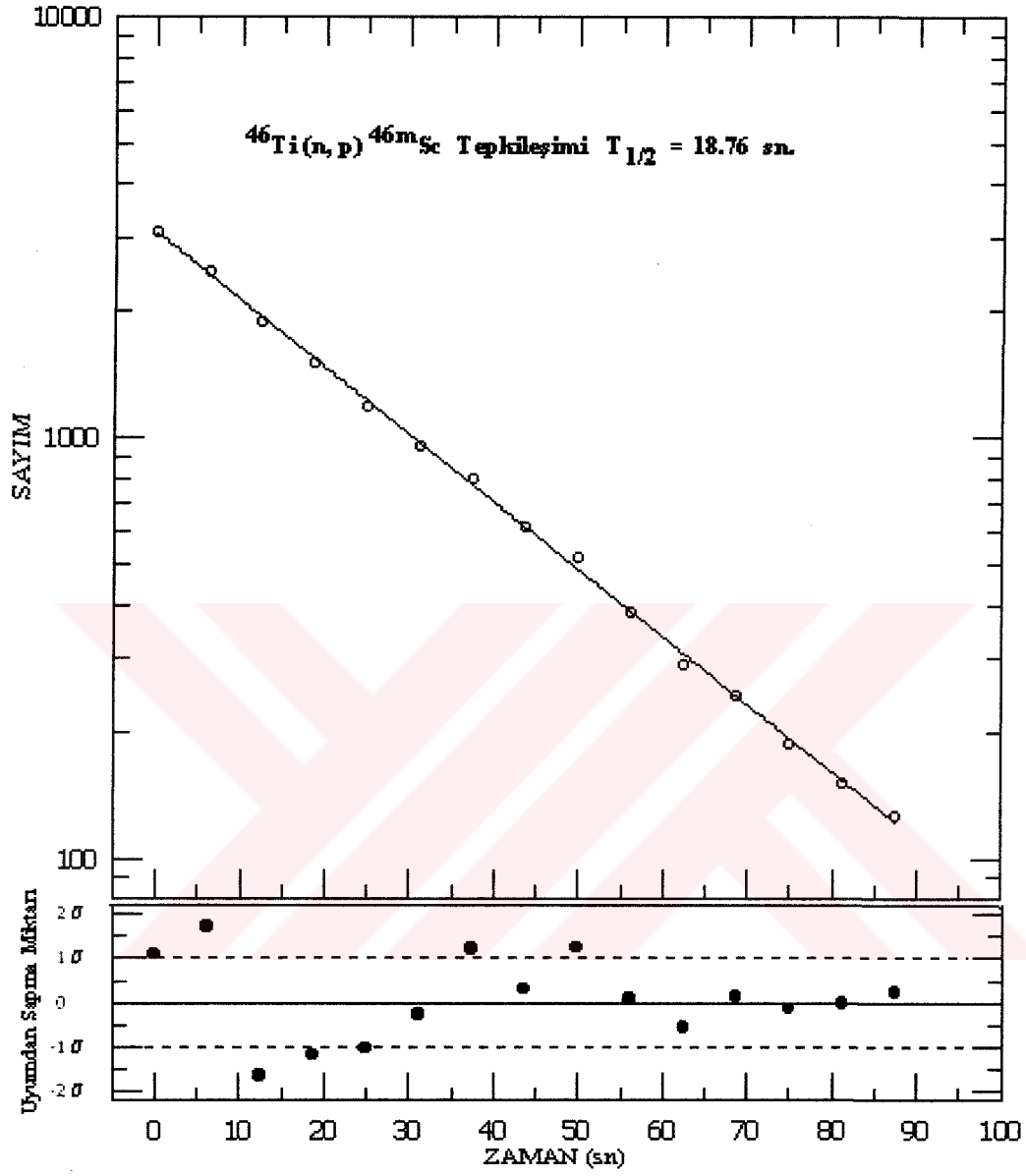
	Deney 1	Deney 2	Deney 3
Nötron akısı ($\text{n/cm}^2 \text{ sn.}$)	$2.135 \cdot 10^7$	$2.301 \cdot 10^7$	$2.237 \cdot 10^7$
İşinlama süresi (sn.)	180	180	180
Sayma süresi (sn.)	6.3	6.3	6.3
Alınan spektrum sayısı	22	22	22
Pulser ayarı (darbe/sn.)	50	50	50

Çizelge 5.11 $^{46\text{m}}\text{Sc}$ çekirdeğinin yarılanma süresi

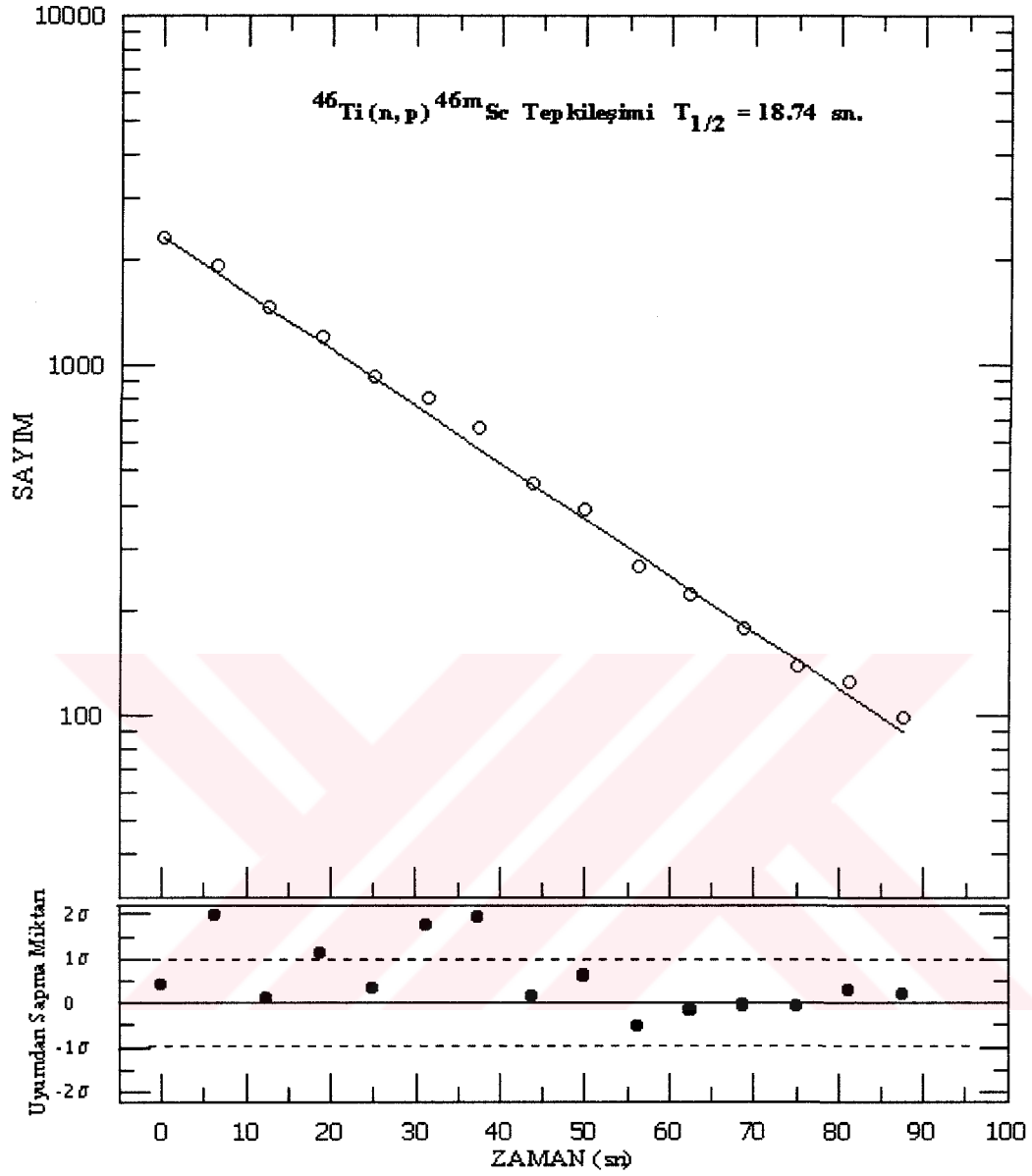
Deney No	Yarılanma Süresi	Referanslar
1	$18.73 \pm 0.10 \text{ sn}$	$18.70 \pm 0.05 \text{ sn}$ (Browne,1986) $18.75 \pm 0.04 \text{ sn}$ (Tuli,2000)
2	$18.76 \pm 0.09 \text{ sn}$	
3	$18.70 \pm 0.09 \text{ sn}$	
Ağırlıklı Ortalama :		$18.70 \pm 0.03 \text{ sn}$



Şekil 5.17a Deney 1 : ^{46m}Sc izotopunun yarılanma süresi ölçümlerinin grafik gösterimi. Uyum parametreleri : $N_0=2430$, $\lambda=0.0370036$, uyumun ortalama standart hatası $\sigma = 76.5$.



Şekil 5.17b Deney 2 : ^{46m}Sc izotopunun yarılanma süresi ölçümlerinin grafik gösterimi.
Uyum parametreleri : $N_0=3076$, $\lambda=0.0370481$, uyumun ortalama standart hatası $\sigma = 28.31$

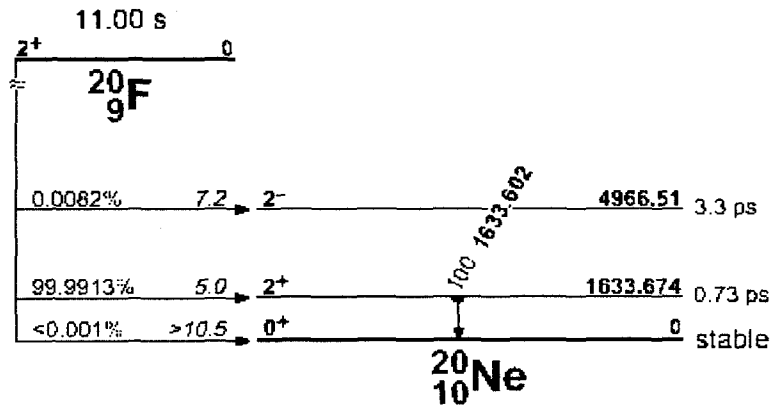


Şekil 5.17c Deney 3 : ^{46m}Sc izotopunun yarılanma süresi ölçümlerinin grafik gösterimi. Uyum parametreleri : $N_0=2310$, $\lambda=0.0370776$, uyumun ortalama standart hatası $\sigma = 43.20$

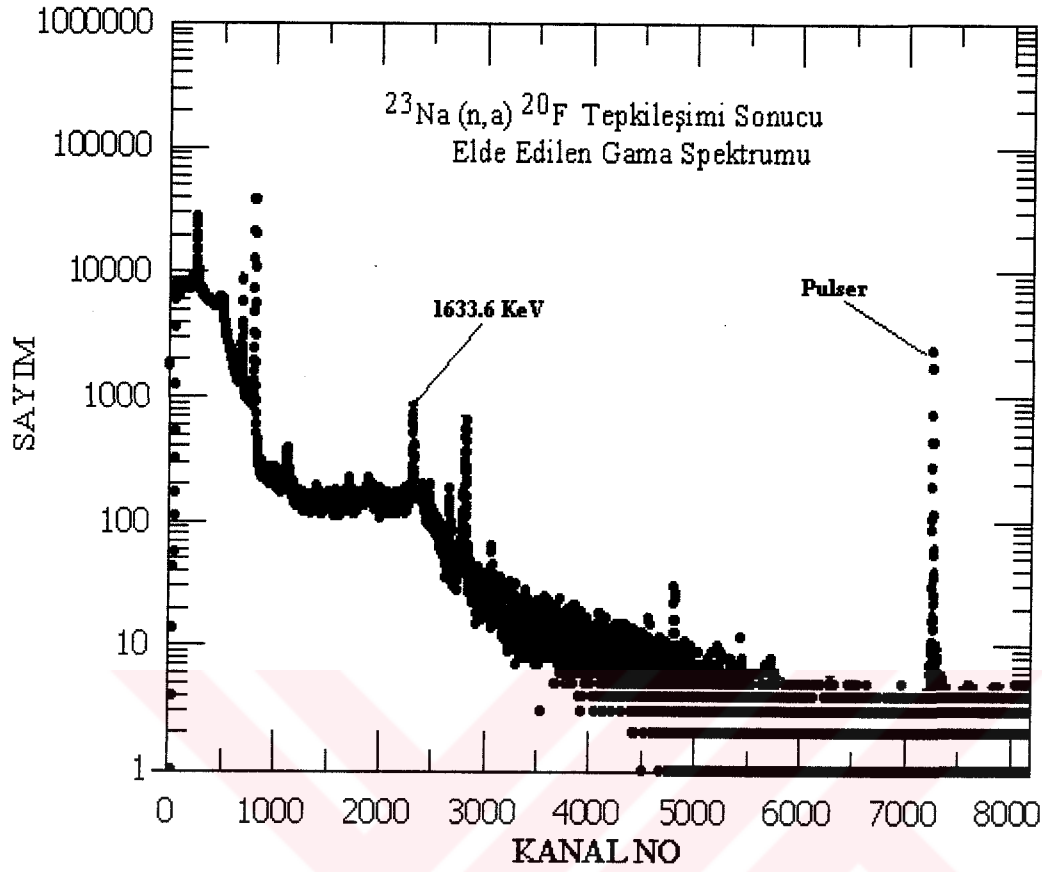
5.6 ^{20}F Çekirdeğinin Yarılanma Süresi

$^{23}\text{Na}(n,\alpha)^{20}\text{F}$ tepkileşimi için kullanılan NaF (Çizelge 5.1) malzemesi içindeki ^{23}Na 'nın izotopik bolluğu %100, tepkileşiminin Q-değeri 14 MeV nötronlar için 4.036 MeV ve tepkileşim tesir kesiti σ (14 MeV) = 150 mbarn dır. Örnek 120 sn ışılandıktan hemen sonra pnömatik transfer sistemi ile 0.63 sn 'de HPGe dedektörünün önüne getirilmiş ve ölçüm işlemi başlatılmıştır. HPGe (82 cc) dedektörünün 1633.6 KeV gama ışınları için TET verimi ϵ_{eff} (142.53) = 0.101 dir. Ölçüm sırasında örnek merkezi – dedektör kristal arasındaki mesafe 18.5 mm ve sayım katı açısı Ω = 2.546 dir.

^{20}F çekirdeğinin yarılanma süresinin belirlenmesi için, ^{20}F 'nin bozunumundan meydana gelen % 67 bollukta 1633.653 KeV'lik gama ışınlarına ait (Şekil 5.18) tüm enerji tepesi (Şekil 5.19) kullanılarak, sayım süresi 4 sn ($\sim T_{1/2} / 3$) olan toplam 22 adet gama spektrumu ard arda alınmıştır. Ölü zaman ve darbe yığılması düzeltmeleri için pulser tepesi 7348 nolu kanalda oluşacak şekilde pulser kazanç ayarı yapılmıştır. Sayım İşlem sonrası bilgisayar hafızasında toplanan gama ve pulser'e ait spektrumlar, Kontrol programı tarafından isimlendirilerek (dosya adı verilerek) bilgisayarın sabit diskine aktarılmıştır. Spektrumların Ortec 919 hafızasında bilgisayar hafızasına transfer süresi, kontrol programının oluşturduğu işlem dosyasından 0.346 ± 0.009 saniye olarak bulunmuştur.



Şekil 5.18 $^{23}\text{Na}(n,\alpha)^{20}\text{F}$ tepkileşimi sonucu meydana gelen gama ışınları.



Şekil 5.19 $^{23}\text{Na} (n, \alpha) ^{20}\text{F}$ tepkileşimi sonucu elde edilen gama spektrumu.

Yapılan üç deney sonunda (Çizelge 5.12) bulunan yarılanma süreleri Çizelge 5.13’ de verilmektedir. Belirlediğimiz yarılanma sürelerinin ağırlıklı ortalaması alınarak ortalama yarılanma süresi bulunmuştur. Bulunan değer, önceki çalışmalar ile birlikte tabloda verilmiştir.

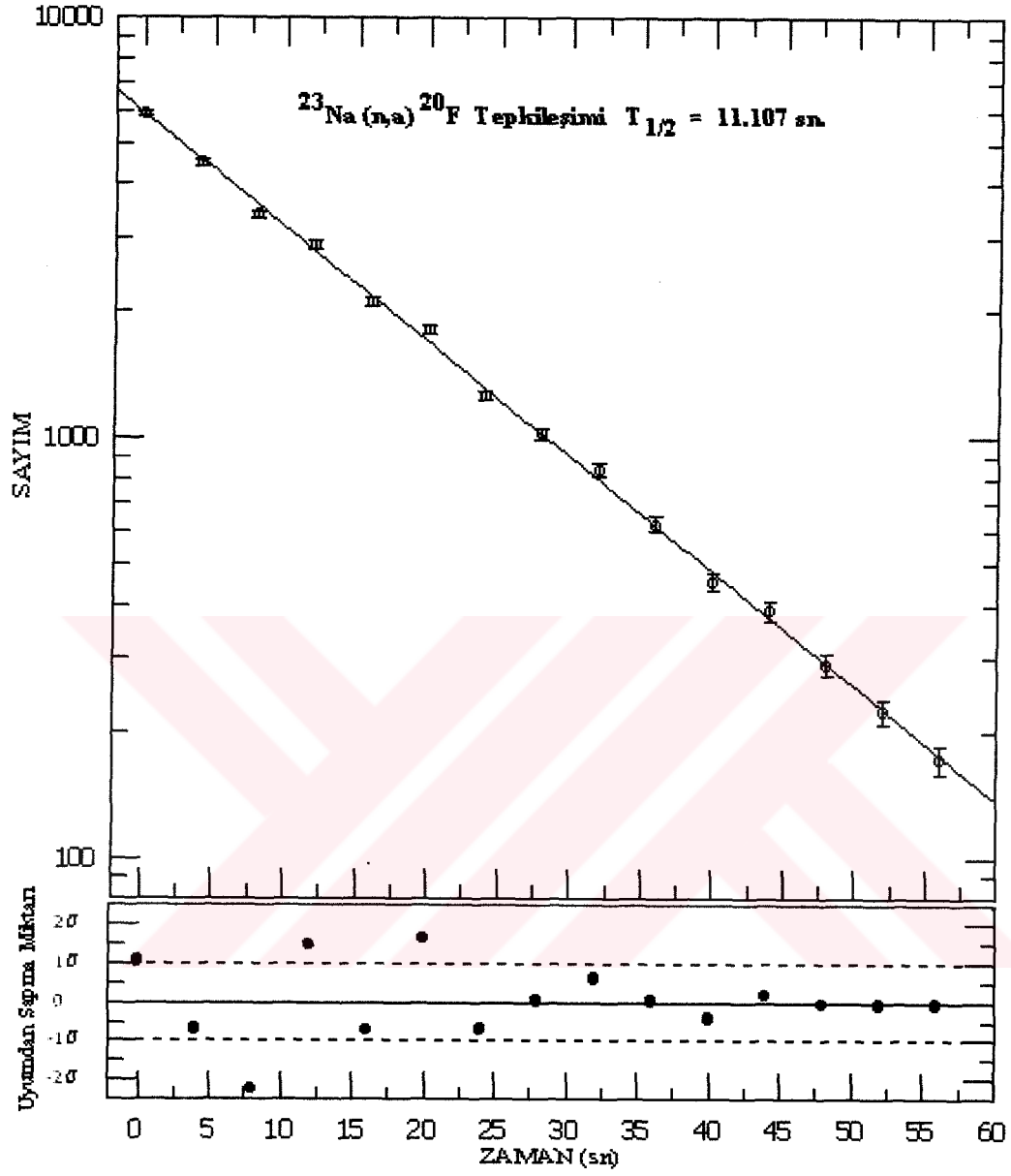
Şekil 5.20-a,b,c ‘de yarılanma sürelerinin belirlendiği bozunum eğrileri , eğriler üzerine yapılan uyumlamalar ve uyumdan sapma miktarları gösterilmektedir.

Çizelge 5.12 $^{23}\text{Na} (n,\alpha)^{20}\text{F}$ tepkileşimi için ışınlama ve ölçüm işlemleri ile ilgili bilgiler.

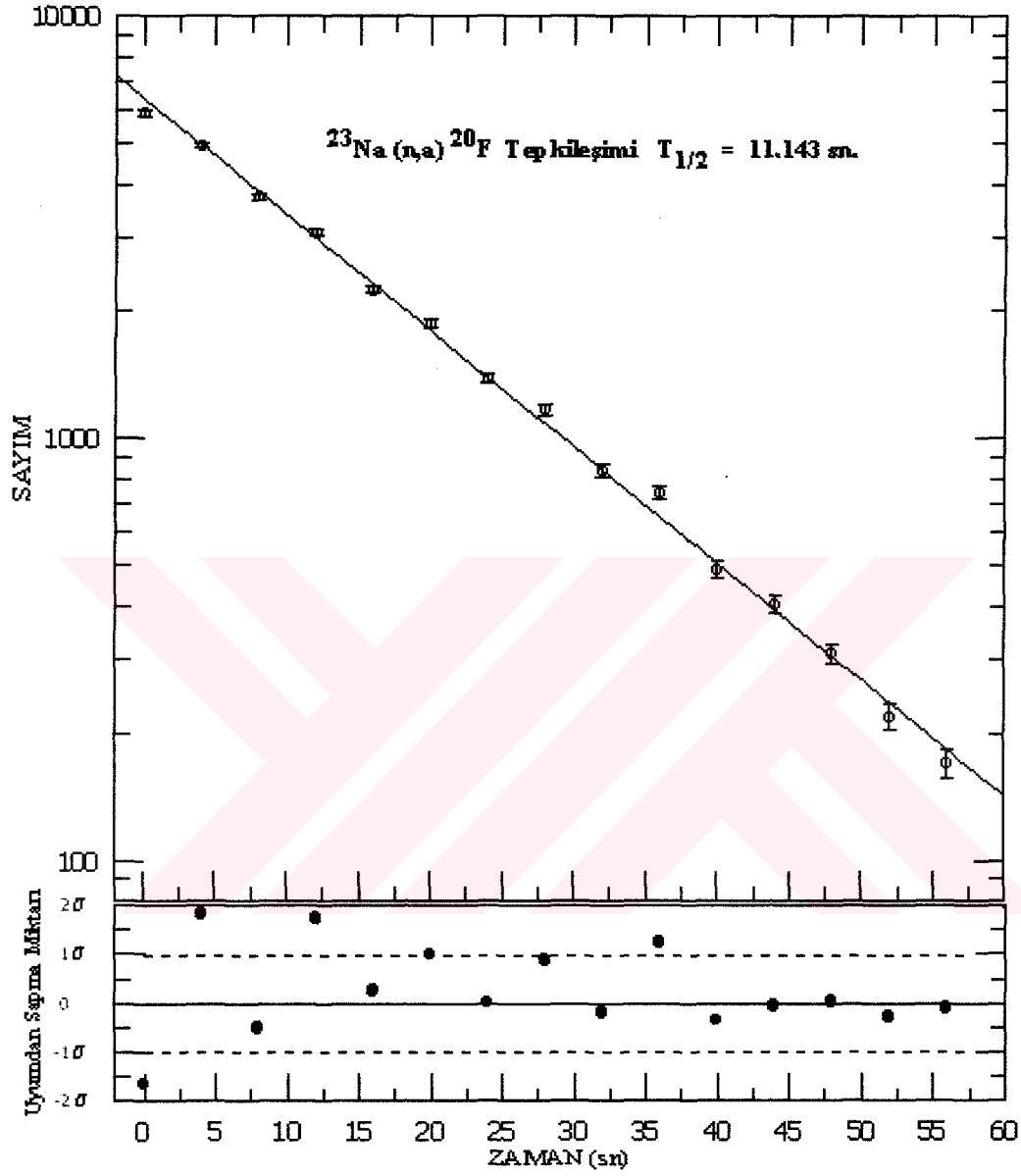
	Deney 1	Deney 2	Deney 3
Nötron akısı ($\text{n/cm}^2 \text{ sn.}$)	$2.191 \cdot 10^7$	$2.175 \cdot 10^7$	$2.101 \cdot 10^7$
Işınlama süresi (sn.)	120	120	120
Sayma süresi (sn.)	4	4	4
Alınan spektrum sayısı	22	22	22
Pulser ayarı (darbe/sn.)	50	50	50

Çizelge 5.13 ^{20}F çekirdeğinin yarılanma süresi.

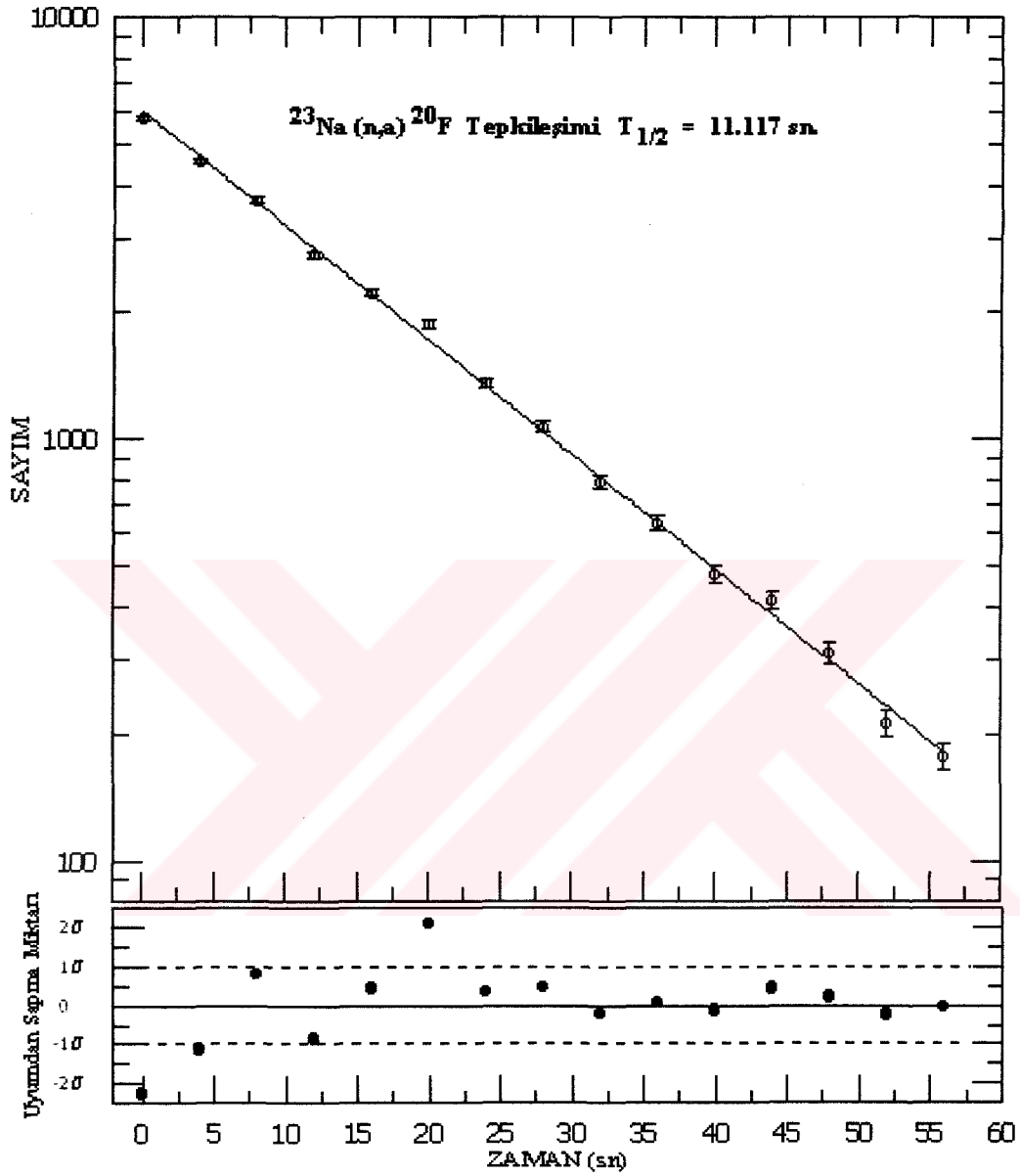
Deney No	Yarılanma Süresi	Referanslar
1	$11.107 \pm 0.059 \text{ sn}$	$11.01 \pm 0.04 \text{ sn. (JAERI,1995)}$
2	$11.143 \pm 0.055 \text{ sn}$	$11.163 \pm 0.008 \text{ sn. (Tuli,2000)}$
3	$11.117 \pm 0.042 \text{ sn}$	
Ağırlık Ortalama :		$11.122 \pm 0.032 \text{ sn.}$



Şekil 5.20a Deney 1 : ^{20}F izotopunun yarılanma süresi ölçümlerinin grafik gösterimi.
 Uyum parametreleri : $N_0=5860$, $\lambda=0.0623769$, uyumun ortalama standart hatası $\sigma = 72.19$



Şekil 5.20b Deney 2 : ^{20}F izotopunun yarılanma süresi ölçümlerinin grafik gösterimi. Uyum parametreleri : $N_0=6554$, $\lambda=0.0621137$, uyumun ortalama standart hatası $\sigma = 82.16$

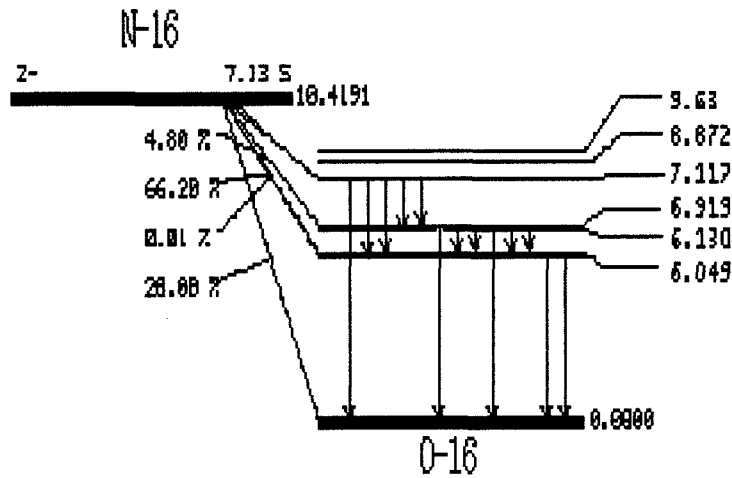


Şekil 5.20c Deney 3 : ^{20}F izotopunun yarılanma süresi ölçümlerinin grafik gösterimi
 Uyum parametreleri : $N_0=5944$, $\lambda=0.0624498$, uyumun ortalama standart hatası $\sigma = 79.95$

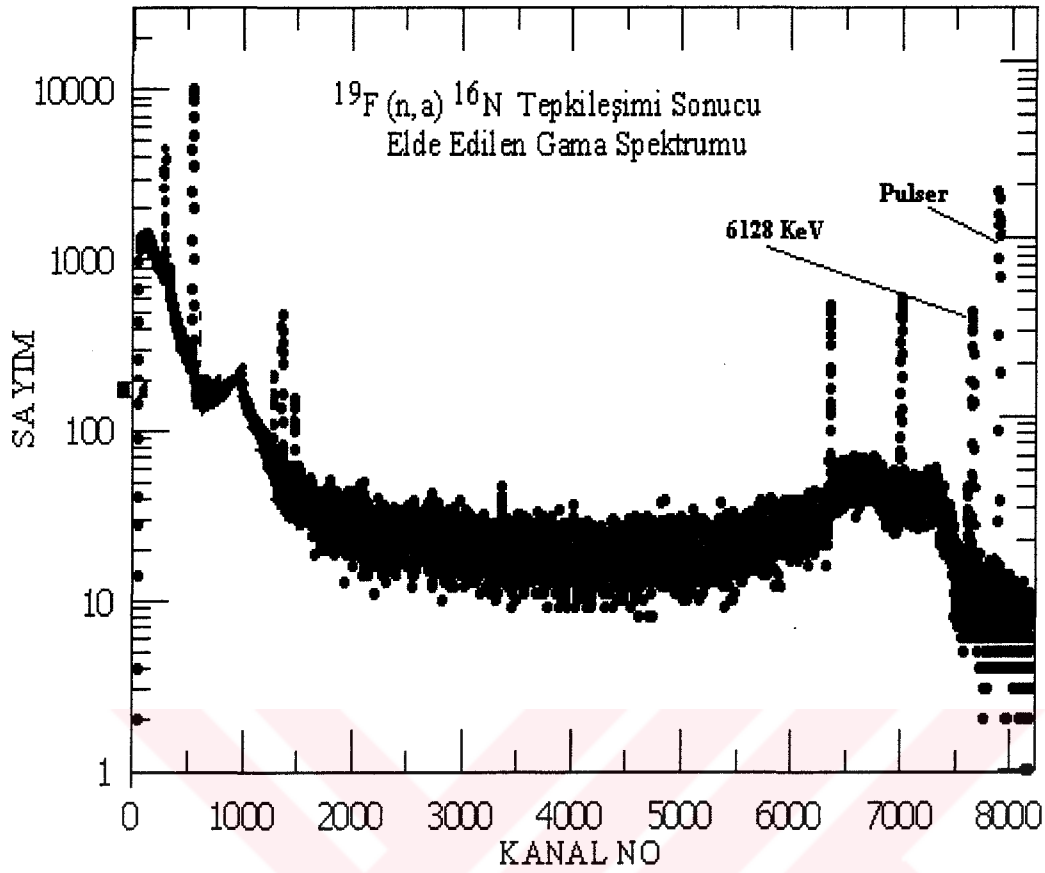
5.7 ^{16}N Çekirdeğinin Yarılanma Süresi.

$^{19}\text{F}(n,\alpha)^{16}\text{N}$ tepkileşimi için kullanılan C_2F_4 (Çizelge 5.1) malzemesi içindeki ^{19}F 'nin izotopik bolluğu %100, tepkileşiminin Q-değeri 14 MeV nötronlar için 1.603 MeV ve tepkileşim tesir kesiti σ (14 MeV) = 150 mbarn dır. Örnek 120 sn ışılandıktan hemen sonra pnömatik transfer sistemi ile 0.54 sn 'de HPGe dedektörünün önüne getirilmiş ve ölçüm işlemi başlatılmıştır. HPGe (82 cc) dedektörünün 6128 KeV gama ışınları için TET verimi ϵ_{eff} (142.53) = 0.005 dir. Ölçüm sırasında örnek merkezi – dedektör kristal arasındaki mesafe 18.5 mm ve sayım katı açısı $\Omega = 2.546$ dir.

^{16}N çekirdeğinin yarılanma süresinin belirlenmesi için, ^{16}N 'nin bozunumundan meydana gelen % 67 bollukta 6128 KeV'lik gama ışınlarına ait (Şekil 5.21) tüm enerji tepesi (Şekil 5.22) kullanılarak, sayım süresi 2.4 sn ($\sim T_{1/2} / 3$) olan toplam 22 adet gama spektrumu ard arda alınmıştır. Ölü zaman ve darbe yığılması düzeltmeleri için pulser tepesi 7851 nolu kanalda oluşacak şekilde pulser kazanç ayarı yapılmıştır. Sayım İşlem sonrası bilgisayar hafızasında toplanan gama ve pulser'e ait spektrumlar, Kontrol programı tarafından isimlendirilerek (dosya adı verilerek) bilgisayarın sabit diskine aktarılmıştır. Spektrumların Ortec 919 hafızasında bilgisayar hafızasına transfer süresi, kontrol programının oluşturduğu işlem dosyasından 0.298 ± 0.004 saniye olarak bulunmuştur.



Şekil 5.21 $^{19}\text{F}(n,\alpha)^{16}\text{N}$ tepkileşimi sonucu oluşan gama ışınları.



Şekil 5.22 $^{19}\text{F} (n,\alpha)^{16}\text{N}$ tepkileşimi sonucu elde edilen gama spektrumu.

Yapılan üç deney sonunda (Çizelge 5.14) bulunan yarılanma süreleri Çizelge 5.15’ de verilmektedir. Belirlediğimiz yarılanma sürelerinin ağırlıklı ortalaması alınarak ortalama yarılanma süresi bulunmuştur. Bulunan değer, önceki çalışmalar ve nükleer veri kaynaklarındaki değerlerle oldukça iyi bir uyum içinde olduğu görülmüştür. Bunun sebebi olarak çalışılan gama enerjisinin büyük olması nedeniyle tüm enerji tepesinin altında compton bölgesi bulunmaması, gerek MCS ile yapılmış çalışmalarla bulunan değerlerle bizim yöntemimiz ile bulunan değerlerin çok uyumlu olmasını sağlamaktadır. Bunun da, sayım değerleri üzerindeki hataların GETAY yöntemi ile MCS yönteminden daha iyi belirlendiğini gösterdiğini düşünmekteyiz.

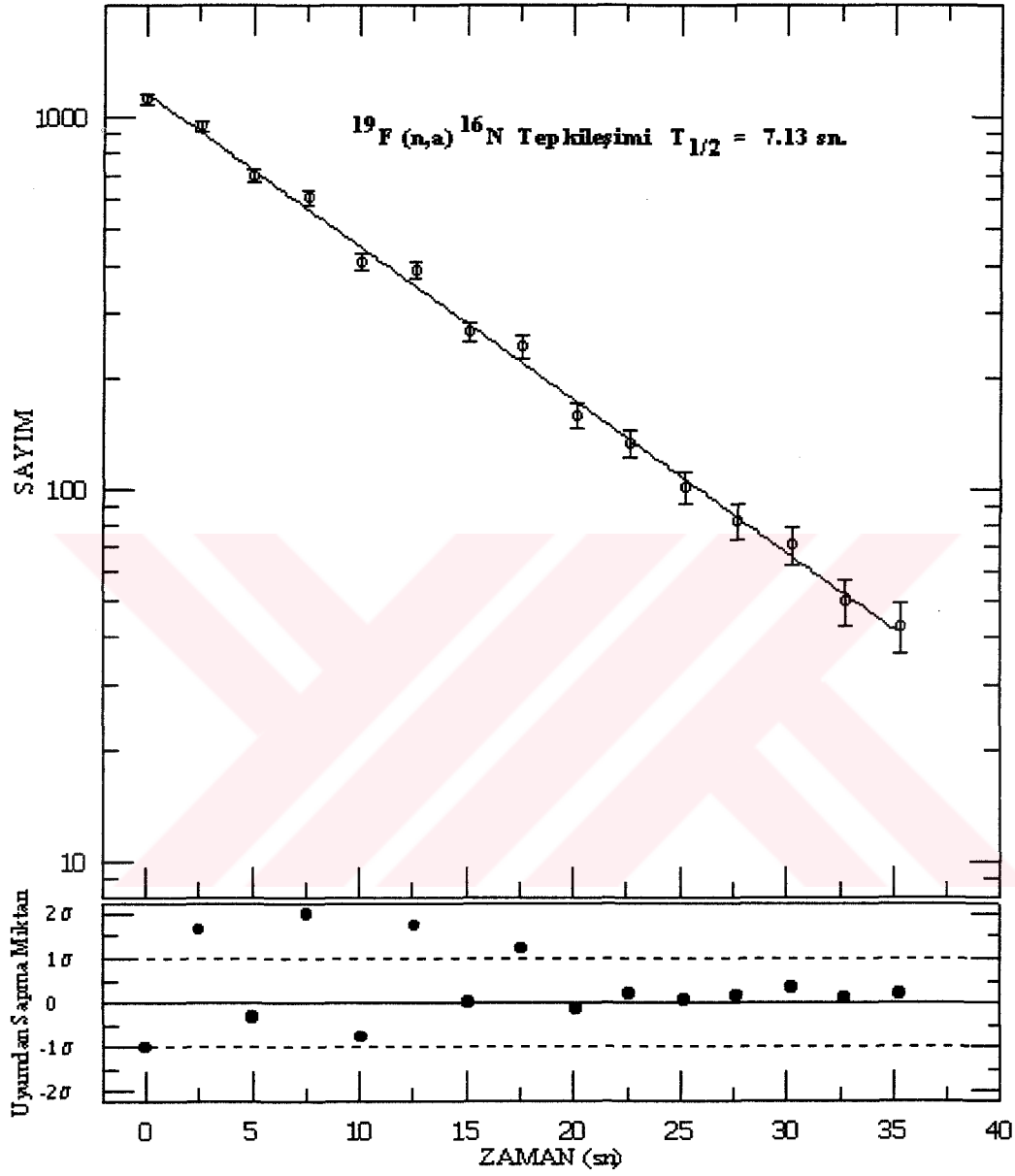
Şekil 5.23-a,b,c ‘de yarılanma sürelerinin belirlendiği bozunum eğrileri , eğriler üzerine yapılan uyumlamalar ve uyumdan sapma miktarları gösterilmektedir.

Çizelge 5.14 $^{19}\text{F} (n,\alpha)^{16}\text{N}$ tepkileşimi için ışınlama ve ölçüm işlemleri ile ilgili bilgiler.

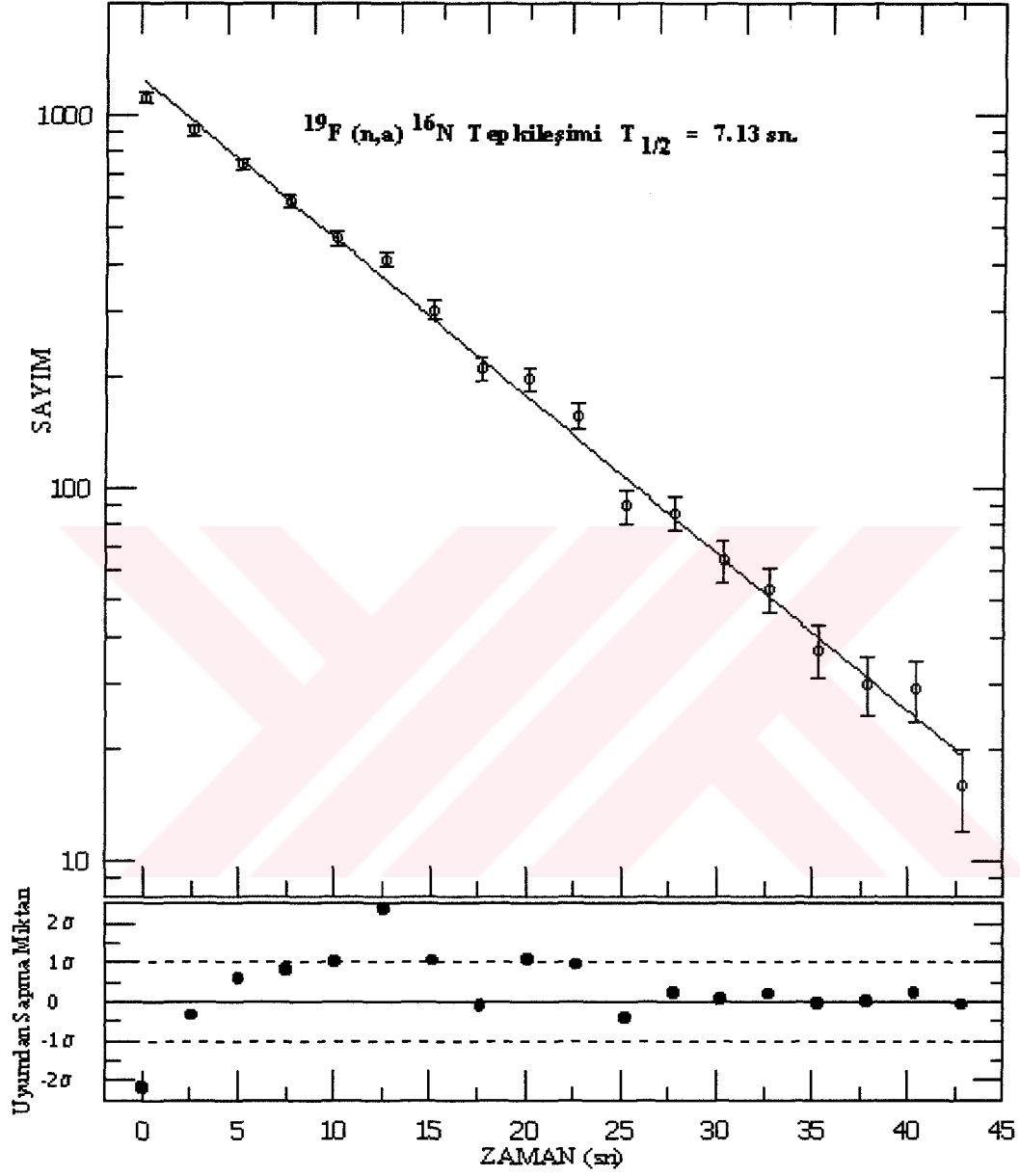
	Deney 1	Deney 2	Deney 3
Nötron akısı ($\text{n/cm}^2 \text{ sn.}$)	$2.119 \cdot 10^7$	$1.980 \cdot 10^7$	$1.975 \cdot 10^7$
İşinlama süresi (sn.)	120	120	120
Sayma süresi (sn.)	2.5	2.5	2.5
Alınan spektrum sayısı	22	22	22
Pulser ayarı (darbe/sn.)	50	50	50

Çizelge 5.15 ^{16}N çekirdeğinin yarılanma süresi

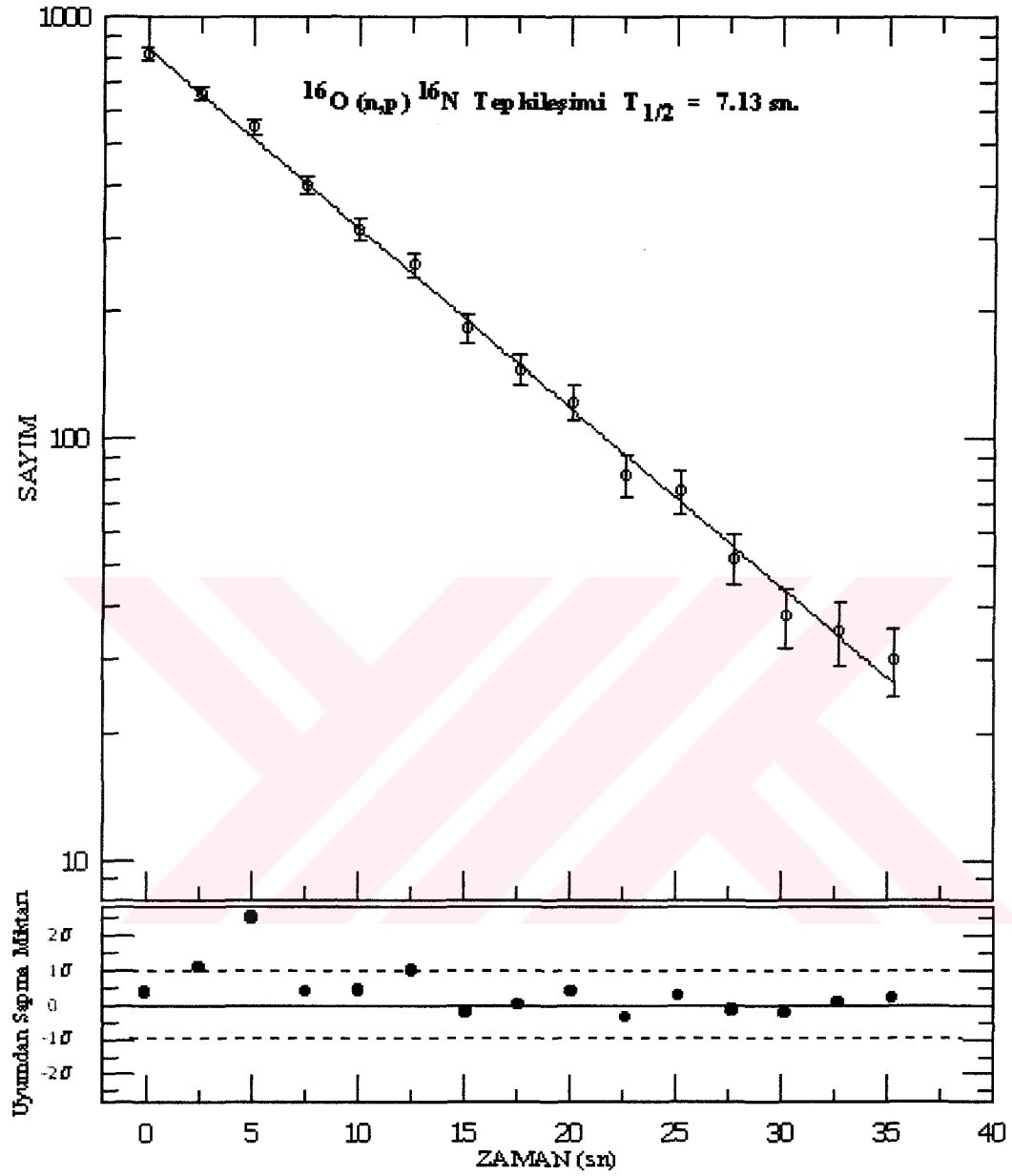
Deney No	Yarılanma Süresi	Referanslar
1	$7.133 \pm 0.035 \text{ sn}$	$7.13 \pm 0.03 \text{ sn.}$ (JAERI,1995)
2	$7.136 \pm 0.024 \text{ sn}$	$7.13 \pm 0.02 \text{ sn.}$ (Tuli,2000)
3	$7.135 \pm 0.051 \text{ sn}$	
Ağırlıklı Ortalama :		$7.13 \pm 0.02 \text{ sn.}$



Şekil 5.23a Deney 1 : ^{16}N izotopunun yarılanma süresi ölçümlerinin grafik gösterimi. Uyum parametreleri : $N_0=1150$, $\lambda=0.0971502$, uyumun ortalama standart hatası $\sigma = 28.71$



Şekil 5.23b Deney 2 : ^{16}N izotopunun yarılanma süresi ölçümlerinin grafik gösterimi. Uyum parametreleri : $N_0=1014$, $\lambda=0.0971037$, uyumun ortalama standart hatası $\sigma = 27.41$



Şekil 5.23c Deney 3 : ^{16}N izotopunun yarılanma süresi ölçümlerinin grafik gösterimi. Uyum parametreleri : $N_0=812$, $\lambda=0.0971195$, uyumun ortalama standart hatası $\sigma = 16.92$

5.8 ^{68}gCu Çekirdeğinin Yarılanma süresi

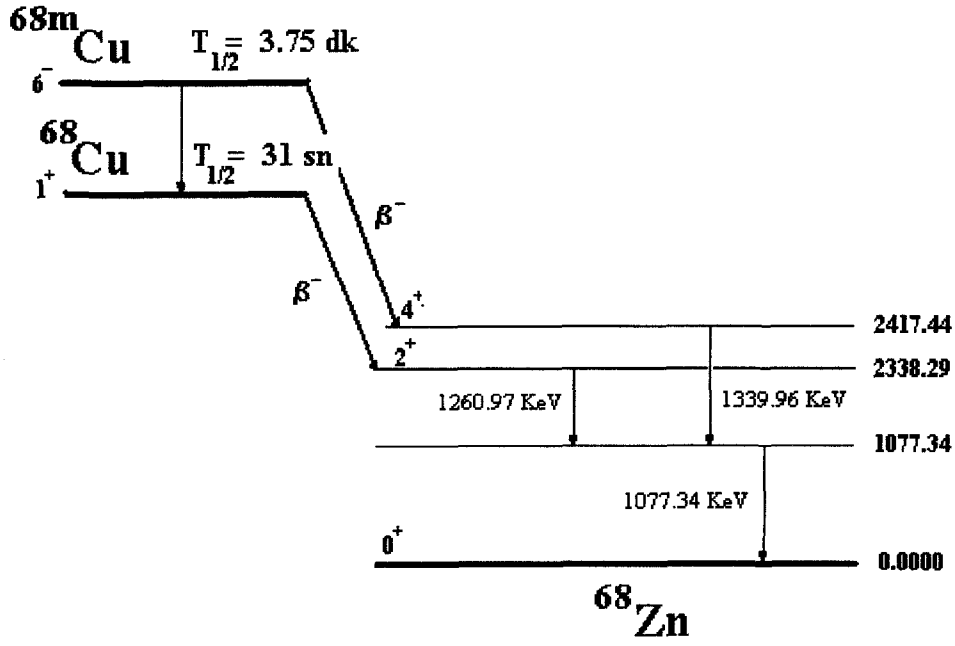
$^{68}\text{Zn}(n,p)^{68}\text{gCu}$ tepkileşimi için kullanılan Zn (Çizelge 5.1) örneği içindeki ^{68}Zn 'nin izotopik bolluğu % 18.8 dir. Örneğin hızlı nötronlarla ışınlanması sonucu $^{68}\text{Zn}(n,p)^{68}\text{gCu}$ ve $^{68}\text{Zn}(n,p)^{68}\text{mCu}$ tepkileşimleri meydana gelmiştir. Bu tepkileşimlere ait nükleer veriler Çizelge 5.16 de verilmektedir.

Çizelge 5.16 $^{68}\text{Zn}(n,p)^{68}\text{gCu}$ ve $^{68}\text{Zn}(n,p)^{68}\text{mCu}$ tepkileşimlerine ait nükleer veriler.

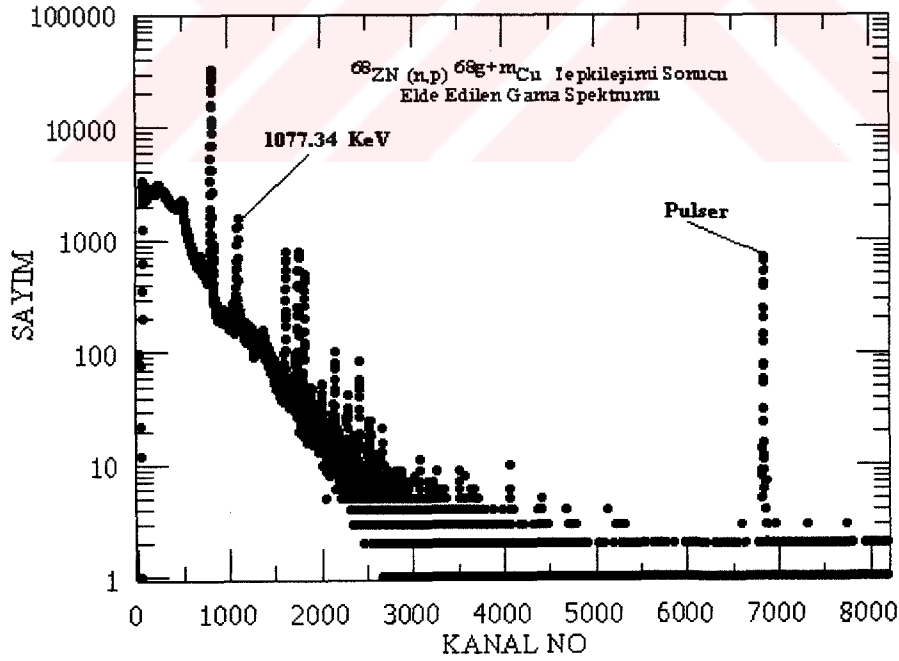
Tepkileşim	h (%)	E_γ (KeV)	f_γ (%)	σ (mbarn)	$T_{1/2}$
$^{68}\text{Zn}(n,p)^{68}\text{gCu}$	18.8	1077.34	63.7	16.5	31 sn
$^{68}\text{Zn}(n,p)^{68}\text{mCu}$	18.8	1077.34	12.9	8.9	3.75 dk

Zn örneği 240 sn ışılandıktan hemen sonra pnömatik transfer sistemi ile 0.67 sn 'de HPGe dedektörünün önüne getirilmiş ve ölçüm işlemi başlatılmıştır.

^{68}gCu çekirdeğinin yarılanma süresinin belirlenmesi için, ^{68}gCu bozunumundan meydana gelen % 63.7 bollukta 1077.34 KeV'lik gama ışınlarına ait (Şekil 5.24) tüm enerji tepesi (Şekil 5.25), amplifikatör çevrim kazancı 8192 kanala ayarlanarak, kanal genişliği 60 ve sayım süresi 7.9 sn ($\sim T_{1/2} / 4$) olan toplam 22 adet gama spektrumu ard arda alınmıştır. Ölü zaman ve darbe yığılması düzeltmeleri için pulser tepesi 7851 nolu kanalda oluşacak şekilde pulser kazanç ayarı yapılmıştır. Sayım işlemi sonunda bilgisayar hafızasında toplanan gama ve pulser'e ait spektrumlar, kontrol programı program tarafından isimlendirilerek (dosya adı verilerek) bilgisayarın sabit diskine aktarılmıştır. Spektrumların Ortec 919 hafızasında bilgisayar hafızasına transfer süresi, kontrol programının oluşturduğu işlem dosyasından 0.381 ± 0.005 olarak bulunmuştur.



Şekil 5.24 ^{68}Zn (n,p) ^{68g}Cu ve ^{68}Zn (n,p) ^{68m}Cu tepkileşimleri sonucu oluşan gama ışınları ($f_\gamma > \% 2$ olanlar gösterilmiştir).



Şekil 5.25 ^{68}Zn (n,p) ^{68g}Cu ve ^{68}Zn (n,p) ^{68m}Cu tepkileşimleri sonucu elde edilen gama spektrumu.

Şekil 5.24’de verilen bozunum şemasında görüldüğü gibi, ^{68m}Cu izomer seviyesin 3.75 dk ‘lık bozunma süresi ile ^{68}Zn in temel seviyesine bozunurken, aynı anda ^{68g}Cu in temel seviyesinden de gama bozunumu olmaktadır. Ölçümlerde elde edilen 1077.34 KeV’ lik gama ışınlarına ait tüm enerji tepesi bu iki bozunumun toplamı olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, ^{68g}Cu izotopunun yarılanma süresini belirleyebilmek için, ^{68m}Cu izotopunun tüm enerji tepesine olan katkısının çıkarılması gerekmektedir. ^{68m}Cu izotopunun katkısını belirlemek üzere aşağıda anlatılan yol izlenmiştir.

Bölüm 2.5’ de eşitlik (2.12) ile verilen tüm enerji tepesi altındaki alan ifadesi, ^{68m}Cu ve ^{68g}Cu izotopları için aşağıdaki tanımlamalar kullanılarak belirlenmiştir.

- N : 1077.34 KeV ‘lik gamalara ait toplam TET alanı,
 N_g : ^{68g}Cu izotopunun bozunumundan gelen 1077 KeV ‘lik gamalara ait TET alanı,
 N_m : ^{68m}Cu izotopunun bozunumundan gelen 1077 KeV ‘lik gamalara ait TET alanı,
 λ_g ve λ_m : sırasıyla, : ^{68g}Cu ve ^{68m}Cu için bozunma sabiti,
 σ_g ve σ_m : sırasıyla, : ^{68g}Cu ve ^{68m}Cu için tepkileşim tesir kesiti,
 f_g ve f_m : sırasıyla, : ^{68g}Cu ve ^{68m}Cu için gama bolluğu (şiddeti),
 $\varepsilon(1077.34)$: HPGe (82 cc) dedektörünün 1077.34 KeV gamalara için TET verimi,
 Ω : Ölçüm sistemine, örnek merkezi – dedektör kristali arasındaki sayım katı açısı,
 t_i , t_b , t_s : sırasıyla, ışınlama , bekleme ve sayım süreleri,
 ϕ : Işınlama sırasındaki nötron akısı,
 n : Çinko örneğindeki ^{68}Zn atom sayısı,

olmak üzere,

$$N_g = \frac{n\sigma_g\phi\varepsilon(1077)f_g\Omega}{\lambda_g} \left[\left(1 - e^{-\lambda_g t_i}\right) \cdot e^{-\lambda_g t_b} \cdot \left(1 - e^{-\lambda_g t_s}\right) \right] \quad (5.1)$$

ve,

$$N_m = \frac{n\sigma_m\phi\varepsilon(1077)f_m\Omega}{\lambda_m} \left[\left(1 - e^{-\lambda_m t_i}\right) \cdot e^{-\lambda_m t_b} \cdot \left(1 - e^{-\lambda_m t_s}\right) \right] \quad (5.2)$$

olur. Yukarıdaki denklemleri kısaltmak üzere Z_g ve Z_m zaman faktörleri tanımlanırsa;

$$Z_g = \frac{1}{\lambda_g} \left[\left(1 - e^{-\lambda_g t_i} \right) \cdot e^{-\lambda_g t_b} \cdot \left(1 - e^{-\lambda_g t_s} \right) \right] \quad (5.3)$$

ve,

$$Z_m = \frac{1}{\lambda_m} \left[\left(1 - e^{-\lambda_m t_i} \right) \cdot e^{-\lambda_m t_b} \cdot \left(1 - e^{-\lambda_m t_s} \right) \right] \quad (5.4)$$

değerleri yukarıdaki denklemlerde yerine yazılarak,

$$N_g = n \sigma_g \phi \varepsilon(1077) f_g \Omega Z_g \quad (5.5)$$

ve,

$$N_m = n \sigma_m \phi \varepsilon(1077) f_m \Omega Z_m \quad (5.6)$$

olur. Her iki TET alanı ^{68}Zn örneğinin ışınlanması sonucu oluşmakta, aynı sayım sisteminde ve aynı gama enerjisi için ölçümleri alınmaktadır. Bu sebeple, n , ϕ , Ω ve $\varepsilon(1077.34)$ her iki TET alanı için aynı değeri almaktadır. Bu durum göz önüne alınarak, Bulunan iki TET alanı birbirine oranlanırsa;

$$\frac{N_g}{N_m} = \frac{f_g \sigma_g Z_g}{f_m \sigma_m Z_m} \quad (5.7)$$

olur. Bu ifade de f_g , f_m , σ_g ve σ_m sabit birer değer durumunda olduklarından;

$$\frac{f_g \sigma_g}{f_m \sigma_m} = C \quad C: \text{sabit} \quad (5.8)$$

olarak tanımlanarak eşitlik (5.7) yeniden yazılırsa,

$$\frac{N_g}{N_m} = \frac{Z_g}{Z_m} C$$

olur. Bu ifade N_m ye göre düzenlenirse,

$$N_m = N_g \frac{Z_m}{Z_g \cdot C} \quad (5.9)$$

olur. TET altındaki toplam alan N ;

$$N = N_g + N_m \quad (5.10)$$

olduğu bilindiğine göre , bu ifade de (5.9) eşitliğindeki N_m yerine yazılır ve N_g 'ye göre düzenlenirse,

$$N_g = \frac{N}{\left(1 + \frac{Z_m}{Z_g \cdot C}\right)} \quad (5.11)$$

olarak, ^{68g}Cu çekirdeğine ait TET alanı bulunur.

Eşitlik (5.11) deki Z_g ve Z_m zaman faktörleri; t_s sayım süresine, λ_g ve λ_m bozunma sabitlerine ve t_b bekleme süresine bağlı olarak, ard arda yapılacak sayımlarda farklı değerler alacaklardır. Bu olay ^{68g}Cu ve ^{68m}Cu çekirdeklerinin toplam TET alanındaki katkılarını belirleyecektir.

Yukarıda ayrıntılı olarak anlatılan işlem ile ^{68g}Cu çekirdeğinin TET alanı, her bir ölçüm işlemi için, ^{68m}Cu çekirdeğinin toplam TET alanına olan katkısı ayıklanarak bulunmuştur.

Ölçüm işlemlerinde kullanılan HPGe (82 cc) dedektörünün 1077.34 KeV gama ışınları için TET verimi $\epsilon_{\text{eff}}(1077.34) = 0.147$ dir. Ölçüm sırasında örnek merkezi – dedektör kristal arasındaki mesafe 22.5 mm ve sayım katı açısı $\Omega = 2.051$ dir. Deney üç kez tekrar edilmiştir (Çizelge 5.17).

Çizelge 5.17 ^{68}Zn (n,p) ^{68g}Cu ve ^{68}Zn (n,p) ^{68m}Cu tepkileşimleri için ışınlama ve ölçüm işlemleri ile ilgili bilgiler.

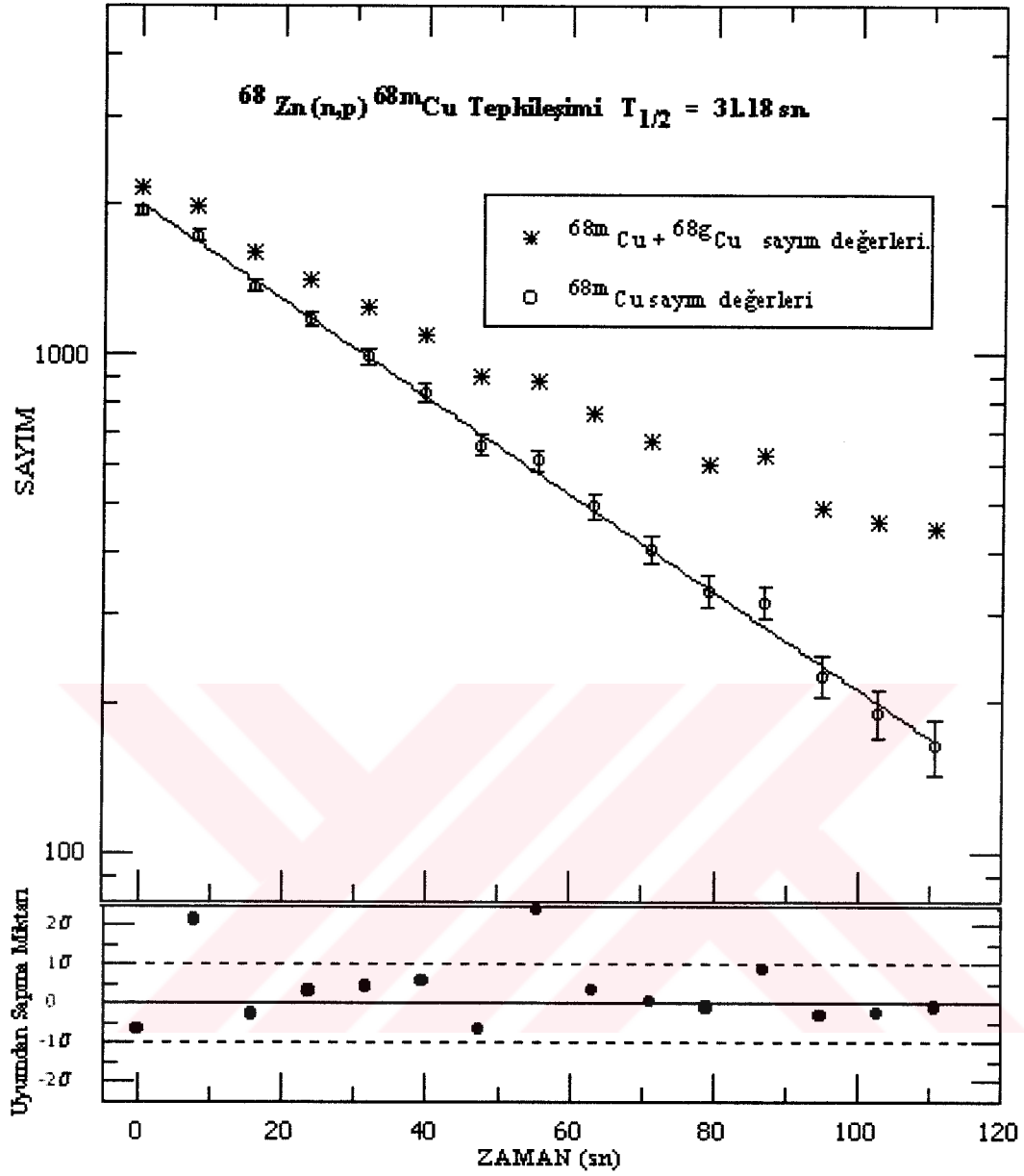
	Deney 1	Deney 2	Deney 3
Nötron akısı (n/cm ² sn.)	2.182 10 ⁷	2.115 10 ⁷	1.975 10 ⁷
İşınlama süresi (sn.)	240	240	240
Sayma süresi (sn.)	7.9	7.9	7.9
Alınan spektrum sayısı	22	22	22
Pulser ayarı (darbe/sn.)	50	50	50

Yapılan üç deney sonunda bulunan yarılanma süreleri Çizelge 5.18 da verilmektedir. Belirlediğimiz yarılanma sürelerinin ağırlıklı ortalaması alınarak ortalama yarılanma süresi bulunmuştur. Bulunan değer, önceki çalışmalar ve nükleer veri kaynaklarındaki değerle ile karşılaştırmak amacıyla ayı sütunlar halinde verilmiştir.

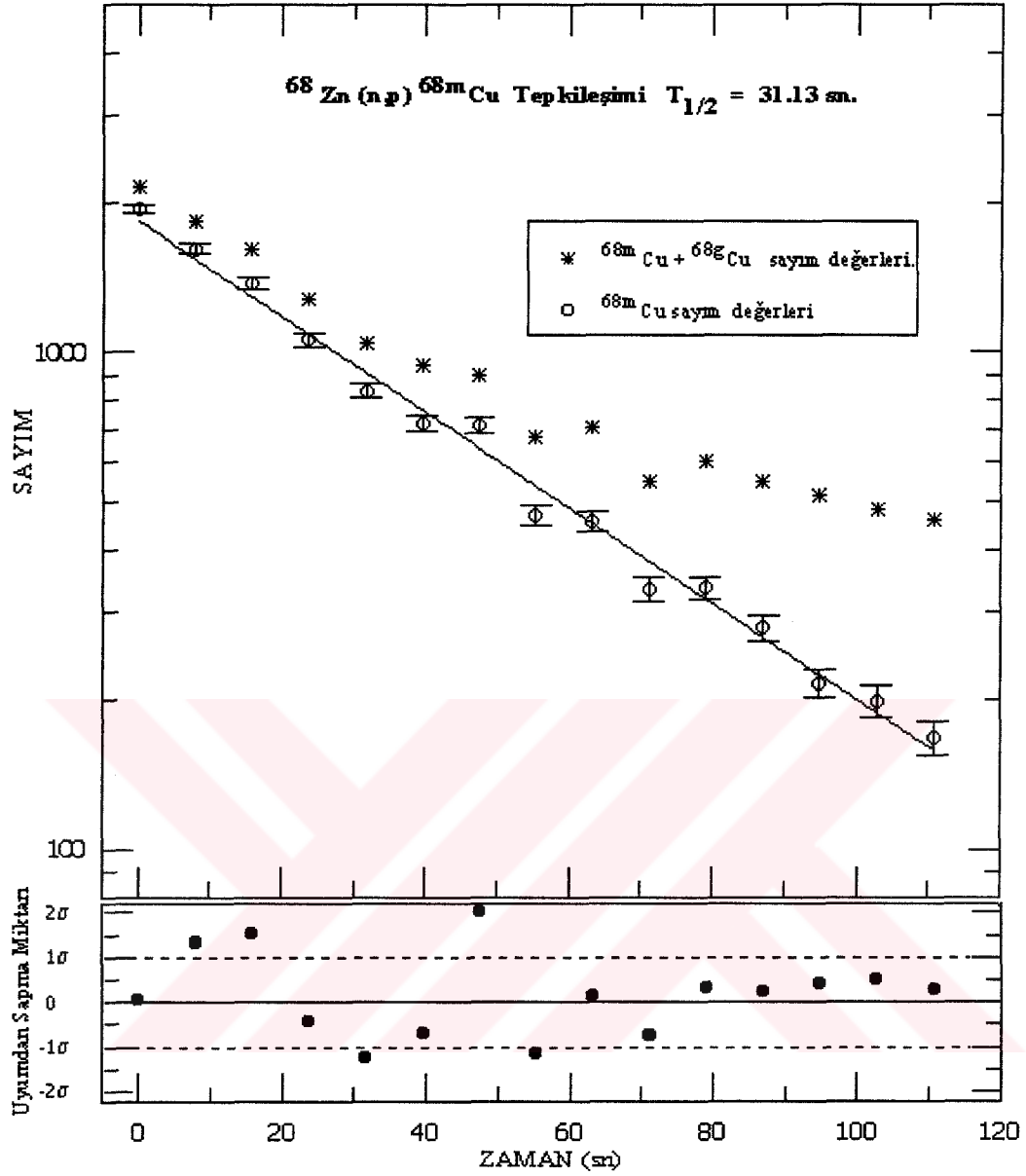
Şekil 5.26-a,b,c ‘de ^{68m}Cu katkısı ayıklanmamış (* : $^{68m}\text{Cu} + ^{68g}\text{Cu}$) ve ^{68m}Cu katkısı ayıklanmış (o) bozunum eğrileri verilmektedir. Bu eğrilerden anlaşılacağı gibi, bu tür bir ayıklanmanın yapılmaması durumunda yarılanma süresinin yanlış bulunacağı ($T_{1/2} \sim 119$ sn) görülmektedir.

Çizelge 5.18 ^{68}Cu çekirdeğinin yarılanma süresi.

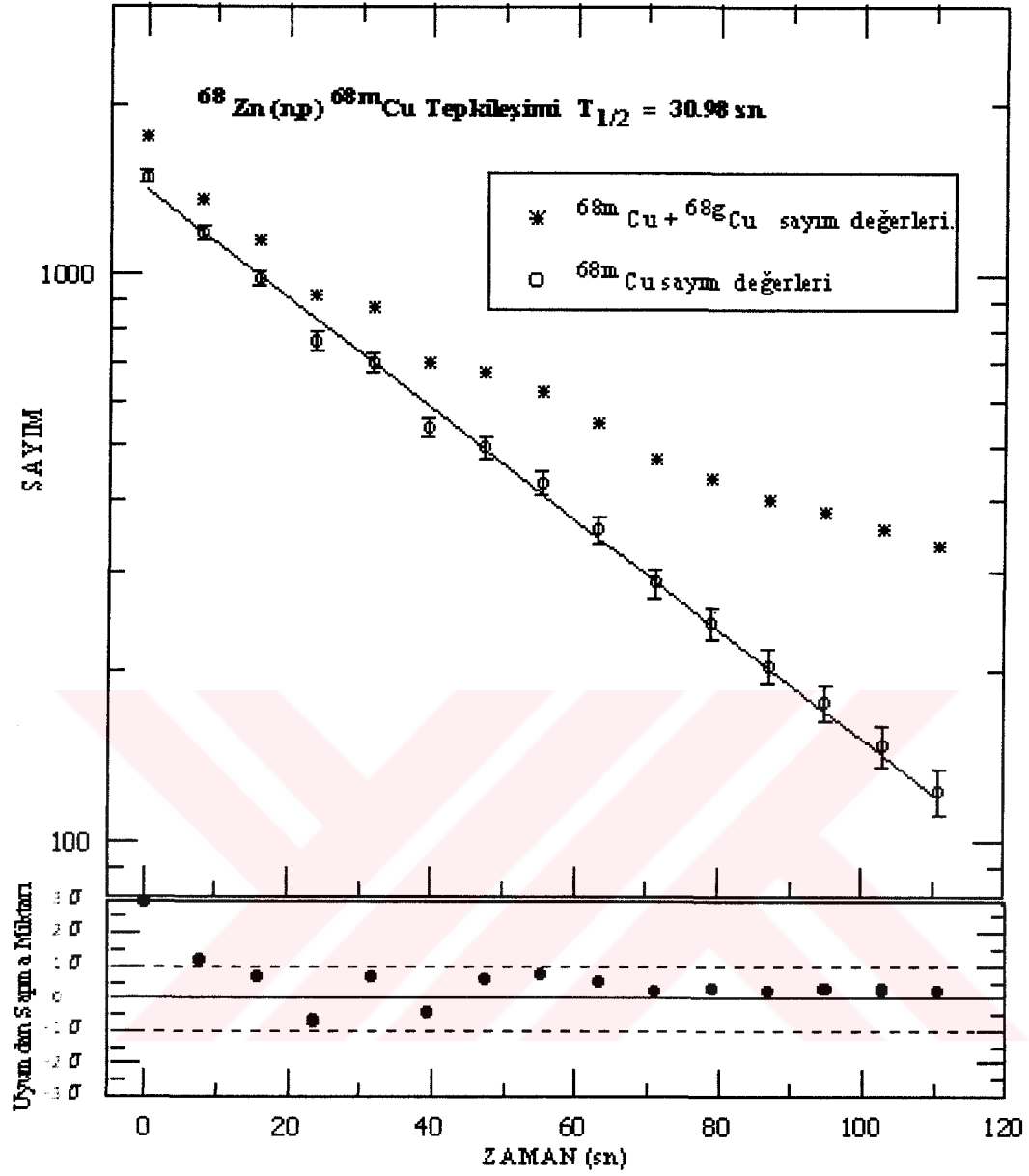
Deney No	Yarılanma Süresi	Referanslar
1	31.183 ± 0.090 sn	31 ± 1 sn (Browne,1986)
2	31.129 ± 0.097 sn	31.1 ± 0.15 sn (Tuli,2000)
3	30.986 ± 0.110 sn	
Ağırlıklı Ortalama :		31.11 ± 0.05 sn.



Şekil 5.26a Deney 2 : $^{68\text{g}}\text{Cu}$ izotopunun yarılanma süresi ölçümlerinin grafiksel gösterimi. Uyum parametreleri : $N_0=1965$, $\lambda=0.02222357$, uyumun ortalama standart hatası $\sigma = 39.83$



Şekil 5.26b Deney 2 : $^{68\text{g}}\text{Cu}$ izotopunun yarılanma süresi ölçümlerinin grafiksel gösterimi. Uyum parametreleri : $N_0=1837$, $\lambda=0.02226213$, uyumun ortalama standart hatası $\sigma = 57.21$



Şekil 5.26c Deney 2 : $^{68\text{g}}\text{Cu}$ izotopunun yarılanma süresi ölçümlerinin grafiksel Gösterimi. Uyum parametreleri : $N_0=1360$, $\lambda=0.02236433$, uyumun ortalama standart hatası $\sigma = 46.95$

6. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Radyoaktif çekirdeklerin yarılanma sürelerinin belirlenmesi ile ilgili literatürler incelendiğinde, bu çalışmaların 1935 yılından günümüze kadar oldukça ilerlemiş olduğu görülmektedir. 1935 - 1960 yılları arasındaki deneysel çalışmalarda kullanılan dedektörlerin GM sayıcıları, iyonizasyon odaları, orantılı sayıcılar ve sintilasyon sayıcıları olduğu görülmektedir. Bu dedektörler ile elde edilen sonuçlar günümüz değerleri ile büyük farklılıklar göstermektedir (Şekil 6. 1-2-3). 1950'li yıllarında kullanılmaya başlanan NaI (TI) dedektörleri ile daha önceki çalışmalarda elde edilen yarılanma süreleri üzerinde büyük iyileştirmeler sağlanmıştır (Elliot,1959). Günümüzde, sayım sistemlerinde NaI (TI) dedektörlerinden daha iyi enerji ayırma gücüne ve daha düşük ölü zamana sahip HPGe dedektörlerinin kullanılmaya başlanması ile radyoaktif izotopların yarılanma süreleri daha doğru ve hassas olarak ölçülebilmektedir. Bu sebeple, teknolojinin gelişimine paralel olarak dedektör ve sayım sistemleri geliştikçe sonuçların daha da iyileşeceği anlaşılmaktadır.

Yukarıda anlatılan tüm bu gelişmelere nazaran, radyoaktif çekirdeklerin yarılanma sürelerinin belirlenmesinde kullanılan elektronik yöntemde önemli bir değişiklik olmadığı görülmektedir. Literatürler incelendiğinde, ölçümlerde Bölüm 4.6.1 ' de anlattığımız MCS yönteminin kullanıldığı görülmektedir. Değişiklik sadece zamanın teknolojisine uygun elektronik aletlerin (zamanlayıcı devreler, sayıcı devreleri , tek kanallı analizörler, pulserler) kullanılmasındadır.

MCS yönteminin sahip olduğu avantajların yanında bazı dezavantajları da vardır. Avantajları, radyoaktif bozunum takip sırasında alınan sayım değerleri arasında zaman kaybı (transfer süresi) oldukça düşüktür. Bu özellik, yarılanma süreleri ~ 3 saniyenin altındaki izotoplarda büyük avantaj sağlamaktadır. MCS yöntemini avantajlı kılan diğer bir husus, ışınlamaların reaktör havuzlarında veya yüksek nötron akısına sahip ($\sim 10^{11}$ nötron/cm² sn) nötron jeneratörlerinde yapılmasıdır. Bu sayede, elde edilen yüksek sayım değerleri yanında, diğer katkıların (compton bölgesi katkısı , pile up katkısı ve rastgele sayım katkısı vs gibi) küçük kalması sağlanmaktadır. Oysa düşük sayım değerlerinde (bu çalışmada olduğu gibi düşük nötron akısı ile yapılan çalışmalarda) bu tür katkıların daha

da önem kazandığı görülmüştür. MCS yönteminin dezavantajları arasında en önemli olanı, sayım değerlerinin, ilgilenilen gama ışınlarına ait TET spektrumlarından değil, tek kanallı analizör (SCA) ile belirlenen çerçeve aralığına gelen darbelerin sayılması ile elde edilmektedir. Bu şekilde elde edilen sayım değerlerinin doğruluğu tam olarak bilinmemekte ve gerekli düzeltmeler yeterince yapılamamaktadır. Literatürlerde, sayım sisteminden kaynaklanan ölü zaman ve darbe yığılması düzeltmelerinde Pulser ve Kaynak yönteminin, bazen her ikisinin aynı anda kullanıldığı görülmektedir. Ancak, sayım değerlerinin düzeltmelerinde kullanılan pulser veya kaynak verilerinin de MCS yöntemi ile alındığı göz önüne alınırsa, bu verilerde de yapılması gereken düzeltmelerin yapılmadığı (yapılamadığı) görülmektedir. Literatürlerde göze çarpan diğer bir husus da, sayımların alınması esnasında TET altındaki compton bölgesinin sabit kabul edilerek işlem yapılmasıdır (JAERI, 97-005). Oysa, Bölüm 4.6.2' de Şekil 4.9 ile verdiğimiz $^{46}\text{Ti}(n,p)^{46\text{m}}\text{Sc}$ tepkileşiminde, $^{46\text{m}}\text{Sc}$ izotopunun bozunumu sırasında TET altındaki compton bölgesinin hızla azaldığı, sabit kalmadığı görülmektedir.

Çalışmamızda, MCS ve Gama Spektroskopi yöntemlerinin özellikleri birleştirilerek geliştirilen GETAY (Gama Enerji Tepesini Ayırma Yöntemi) adını verdiğimiz yöntem kullanılmıştır. Bu yöntem ile, ilgilenilen enerjideki gama ışınlarına ait tüm enerji tepesi (TET) 60 kanal genişliğinde spektrumlar olarak kaydedilmekte ve TET altındaki alan bu spektrumlardan bulunmaktadır. Ard arda alınan spektrumlardan TET altındaki compton bölgesi takip edilerek, gerekli background düzeltmesi de yapılmaktadır. Ayrıca, gama spektrumları ile aynı anda alınan pulser spektrumları kullanılarak ölü zaman ve darbe yığılımından kaynaklanan sayım kayıpları da TET alanına ilave edilmektedir. Bu Şekilde MCS yönteminde sayım değerlerinde oluşabilecek hatalar GETAY yöntemi kullanılarak daha iyi elimine edilmiştir. Yöntemimizin MCS yöntemine göre bir çok avantajı yanında tek dezavantajı, elde edilen spektrumların bilgisayar hafızasına transfer sırasında geçen süre nedeniyle, 4 saniyenin altında yarılanma süresine sahip izotoplar için istenilen hassasiyette çalışmamasıdır. Bunun nedeni, sayım sistemimizde kullanılan elektronik aletlerin hızlı veri işleme özelliğine sahip olmamasıdır. Ancak, CNAEM Fizik bölümüne yeni alınan CAMAC sisteminin çalıştırılmaya başlanması ile bu sorunun da çözüleceğini beklemekteyiz.

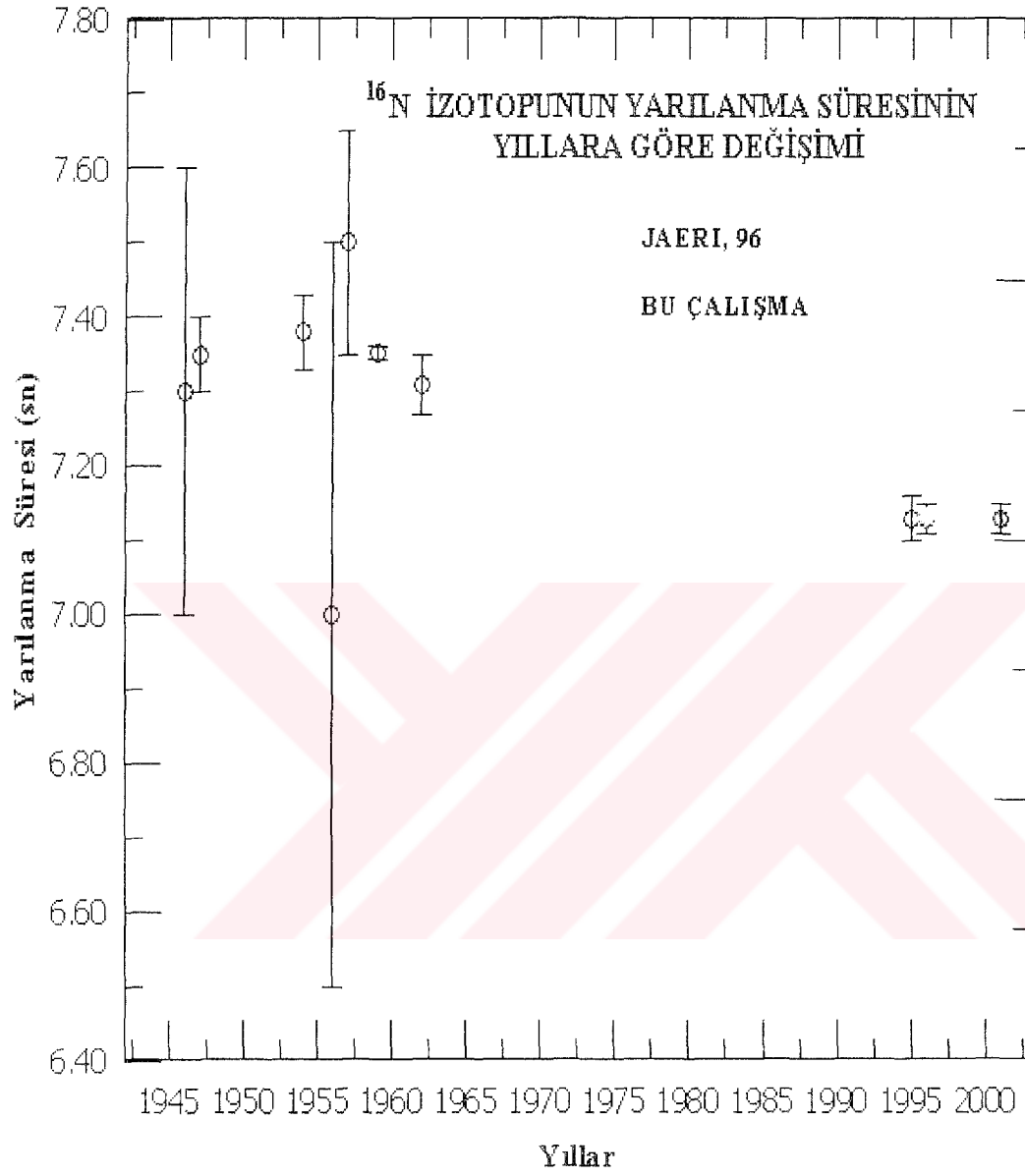
Kullandığımız bu yöntem ile belirlediğimiz ^{91m}Mo , ^{75m}Ge , ^{68}Cu , ^{46m}Sc , ^{23}Ne , ^{20}F , ^{19}O ve ^{16}N izotoplarına ait yarılanma süreleri Çizelge 6.1 de verilmektedir. Belirlediğimiz yarılanma süreleri diğer çalışmalar ve literatür değerler ile karşılaştırıldığında değerlerin son zamanlarda bulunan değerler ile uyum içinde olduğu görülmektedir. 1990 yılında beri bu konudaki çalışmalarını yoğunlaştıran ve her yıl periyodik olarak ölçümler yapan JAERI (Japon Atom Enerjisi Enstitüsü) ile de değerlerimizin uyum içindedir. Sadece ^{91m}Mo ve ^{19}O izotoplarının yarılanma sürelerinde JAERI sonuçları ile iyi bir uyum görülmemiştir. Bu ayrılık, çalışmamızda uygulanan düzeltmeler nedeniyle bu yarılanma süreleri için bir iyileştirme olarak kabul edilebilir. Ancak, bu çalışmada belirlenen yarılanma süreleri arasında ^{68g}Cu izotopu için bulunan değeri de farklı değerlendirmek yerinde olur. Çünkü, tezde ayrıntılı olarak açıklandığı üzere (sayfa 88-98), ^{68m}Cu izomer durumunun ^{68g}Cu izotopunun 1077.34 KeV gama geçişine katkısı, literatürden alınan λ_g ve λ_m bozunma sabitleri kullanılarak ayıklanmıştır(Denklem 5.7) . Her ne kadar, λ_g / λ_m oran şeklinde hesaplamalara girdiği için sonuca yansıyacak hata küçük olacaksa da, elde edilen yarılanma süresi, bağımsız bir ölçüm sonucu olarak değerlendirilmeyebilir.

BNL tarafından hazırlanan Nuclear Wallet Card 2000 'de verilen yarılanma süreleri incelendiği zaman, bu verilerin bir çoğunun hala 1986 ve daha önceki yıllara ait olduğu görülmekte ve son zamanlardaki çalışmalarda belirlenen değerler ile farklılıklar görülmektedir (özellikle değerler üzerindeki belirsizliklerde). Bu konudaki çalışmaların 1980 yılından sonra giderek azalması sonucu, literatür değerlerinin günümüzde ölçülen değerleri yansıtmamasına neden olmuştur. Birçok çalışma ve hesaplamalarda (Aktivite ,tesir kesiti vs. gibi) büyük bir öneme sahip olan yarılanma süresinin, bu değerler ile yapılması, bulunacak değerlerdeki hataların büyümesine neden olmaktadır (kısa yarı ömürlü çekirdeklerin tesir kesiti hesapları , reaktör malzemesi hesaplamaları vs. gibi).

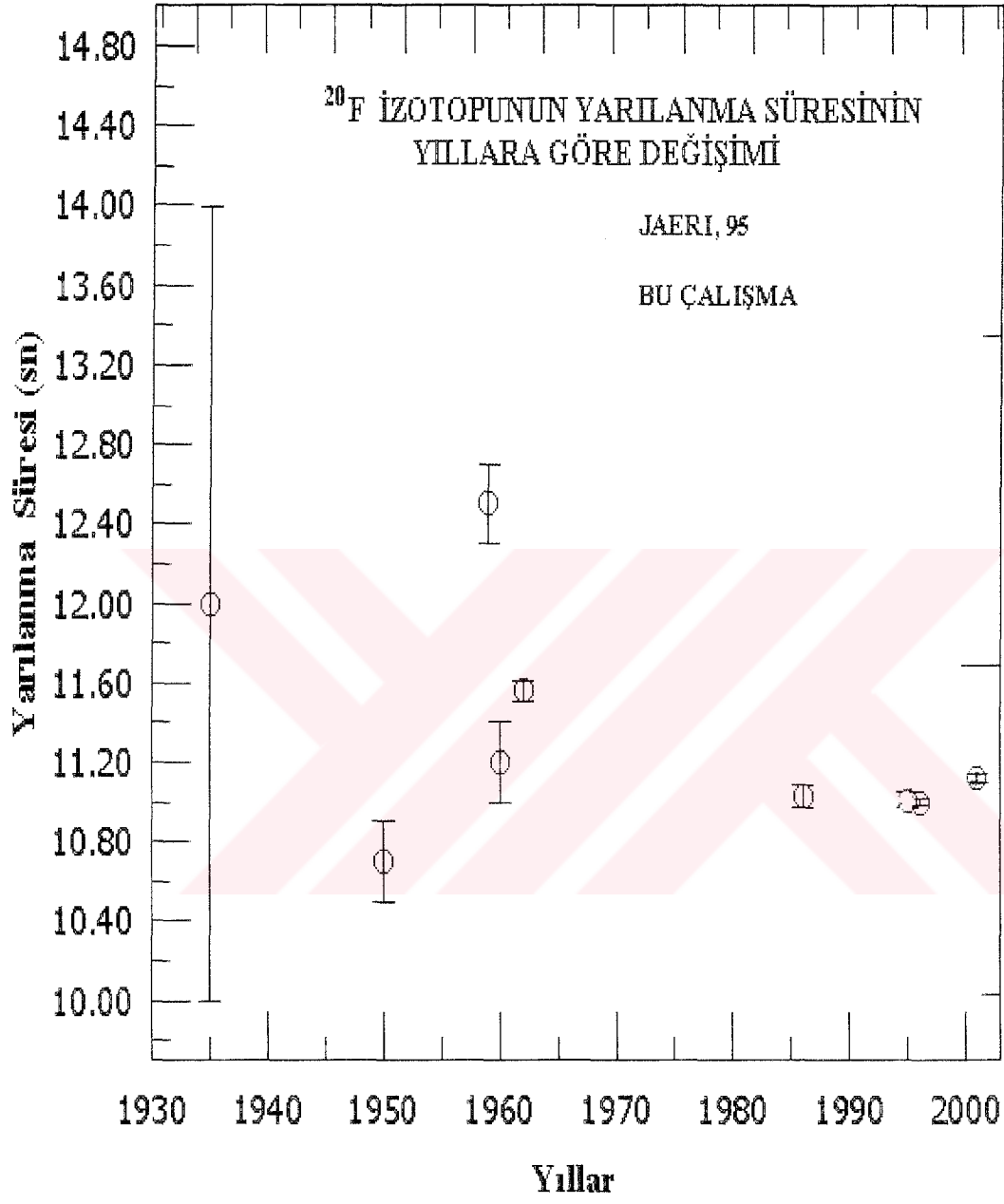
Sonuç olarak, bu tez çalışmasında, özellikle gelecekteki füzyon reaktörleri tasarımı ve yapımında kullanılma olasılıkları yüksek malzemelerden (Mo, Cu, Teflon (F), Oksijen.....) , reaktörün (D-T) çalışması ve sonrasında oluşacak radyoaktivitenin hesaplanmasında gerekli yarılanma süreleri, eski literatür değerlerine kıyasla, daha doğru ve duyarlı bir şekilde ölçülmüştür.

Çizelge 6.1 Bu çalışmada yarılanma süreleri ölçülen çekirdekler.

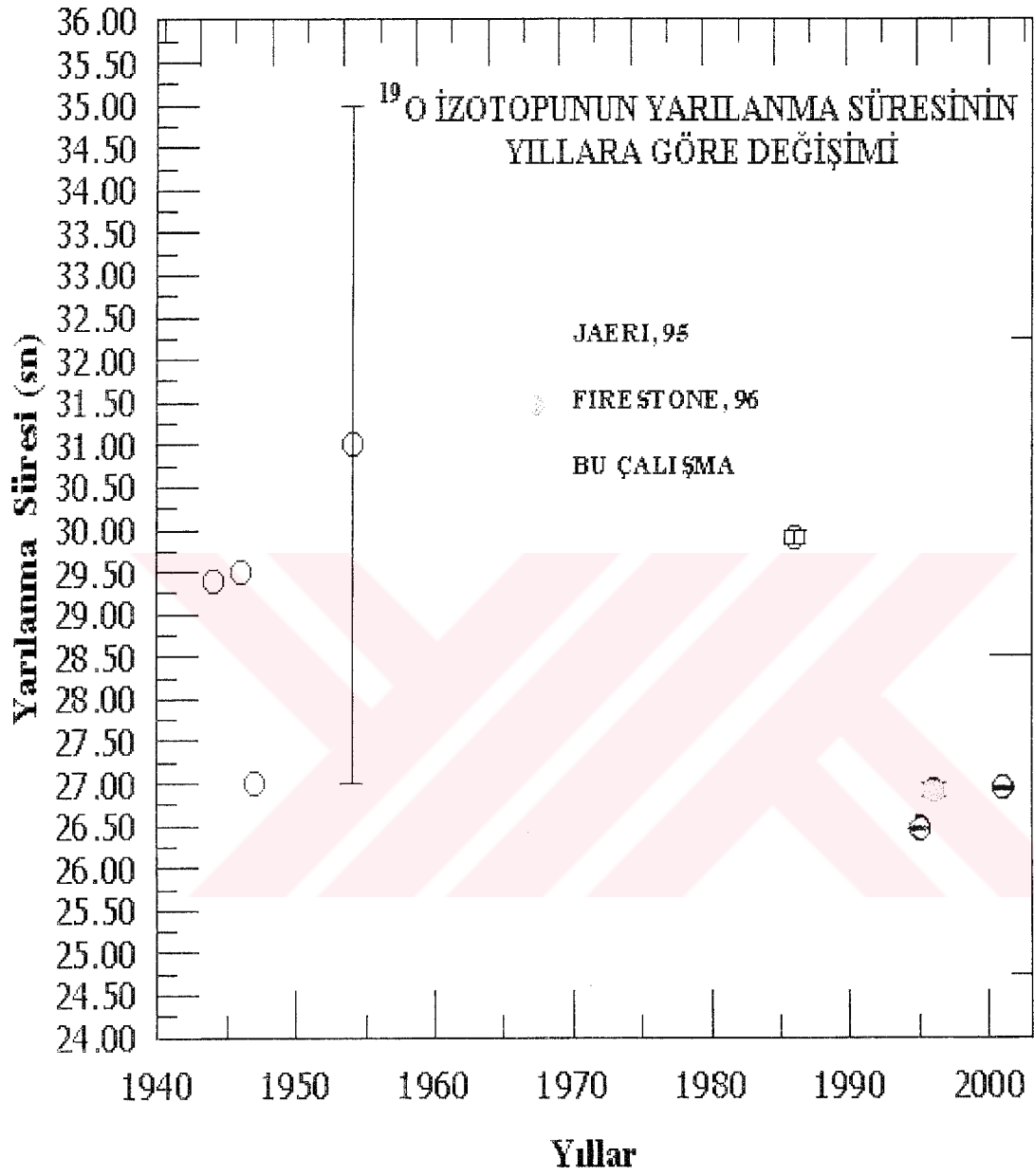
İZOTOP	TEPKİLEŞİM	E_{γ} (KeV)	DENEY SAYISI	YARILANMA SÜRESİ (sn)	REF. (Tuli,2000)
^{91m}Mo	$^{92}\text{Mo}(n,2n)$	652.9	3	65.40 ± 0.32	64.6 ± 0.32
^{75m}Ge	$^{76}\text{Ge}(n,2n)$	139.68	3	47.73 ± 0.02	47.7 ± 0.5
^{68g}Cu	$^{68}\text{Zn}(n,p)$	1077.7	3	31.11 ± 0.05	31.1 ± 0.15
^{23}Ne	$^{23}\text{Na}(n,p)$	439.99	3	37.24 ± 0.05	37.24 ± 0.12
^{19}O	$^{19}\text{F}(n,p)$	197	3	26.94 ± 0.01	26.91 ± 0.08
^{46m}Sc	$^{46}\text{Ti}(n,p)$	142.53	3	18.70 ± 0.03	18.75 ± 0.04
^{20}F	$^{23}\text{Na}(n, \alpha)$	1633.6	3	11.122 ± 0.032	11.163 ± 0.008
^{16}N	$^{19}\text{F}(n, \alpha)$	6128	3	7.13 ± 0.02	7.13 ± 0.02



Şekil 6.1 ^{16}N çekirdeğinin yıllara göre yarılama süresinin değişimi.



Şekil 6.2 ^{20}F çekirdeğinin yıllara göre yarılama süresinin değişimi.



Şekil 6.3 ^{19}O çekirdeğinin yıllara göre yarılama süresinin değişimi.

KAYNAKLAR

Bevington, P.R., (1969) , “Data Reduction and Error Analylsis for the Physical Sciences”, McGraw-Hill Book Company, New York .

Bostan,M., Erduran, N. ve Ercan,A.,(1988), “Silindir Şeklindeki Örneklerin Gama-Aktivitelerinin Belirlenmesinde Öz Soğurma ve Katı Açılı Etkenlerinin İncelenmesi”, Ç.N.A.E.M. AR-250.

Bödy,Z. ve Csikai, J., (1987), “ Data for 14 MeV Neutron Activation Analysis”, Handbook of Nuclear Activation Data, Vol 273, Brookhaven National Data Laboratory,USA.

Brownw, E. ve Firestone,R.B.,(1986), “Table of Radyoactive İsoptes”, V.S. Shirley Ed., John Wiley and Sons Ltd., London.

Canberra Inc., Analog to Digital Converter, Model 8075, Operator’s Manual, Canberra Industries, USA.

Canberra Inc., Coaxial Ge Detector System, GC 2019, Instruction Manual, Canberra Industries, USA.

Canberra Inc., High Voltage Power Supply, Model 3105, Operator’s Manual, Canberra Industries, USA.

Canberra Inc., Multi Channel Analyser, Series 85 MCA, Operator’s Manual, Canberra Industries, USA.

Canberra Inc., Multi Channel Scanning, Model 8082, Operator’s Manual, Canberra Industries, USA.

Canberra Inc., Single Channel Analyser, Model 2035A, İstruction Manual, Canberra Industries, USA.

Canberra Inc., Spectroscopy Amplifier, Model 2020, Operator’s Manual, Canberra Industries, USA.

Canberra Inc., Spectroscopy Preamplifier, Model 2001, Operator’s Manual, Canberra Industries, USA.

Çetiner, M.A., Demirel. H., Demirbaş, A., Yücel, H. ve Çelenk, İ., (1997), “ Automation of Pneumatic System by Controlling a Microcomputer Equipped with a Custom Add on Board for Neutron Activation Analysis”, Applied Radiation İsoptes 48(3):397-402.

Debertin, K. ve Schötzip, U., (1979), “ Coincidence Summing Corrections in Ge(Li)-Spectrometry at Low Sourse to detector Distances”, Nuclear Instruments and Methods, (158) 471-477.

Durusoy,A.Ş.,(2000),” Çok Kısa-Ömürlü çekirdeklerin oluşumuna neden olan 14 MeV Nötron Tepkileşimlerinin İncelenmesi”, Doktora Tezi.

Elliot, J.O. ve Young, F.C., (1959), “Half Lives of ^{16}N , ^{27}Mg , ^{28}Al , ^{37}S and $^{104\text{m}2}\text{Rh}$ ”, Nuclear Science and Engineering, 5. 55 – 56.

Ercan. A., Erduran,N.,Gültekin, E. ve Bostan, M., (1990), “ Gama Dedektör Veriminin Belirlenmesi ve Yakın Sayım Geometrisinde Büyük Hacimli Örneklerin Aktivitelerinin Ölçülmesi”, ÇNAEM A.R.-281.

Ercan, A., (1995), “Nükleer Ölçümlerde İstatistik Uygulamalar”, TAEK –TR –95 –2.

Erduran, M.N., Subaşı, M. ve Akkuş, B.,(1996), “ Measurement of $^3\text{H}(\text{d},\text{n})^4\text{He}$ Neutron Spectrum by Means of Time-of-Flight Technique for Fast Neutron Generator”, Application of Accelerator in Research and Industry Conference, Denton, Texas- USA.

Filatenkov, A.A., Chuvaev, S.V., Jakovlev, V.A., Malyshev, A.V. ve Vasilyev, S.K., (1997), “Systematic Measurement of Cross Sections at Neutron Energies of 13,4-14,9 MeV”, Conference Proceeding, Vol 59, “Nuclear Data for Science and Technology”

Firestone, R.B., (1996), “Table of Isotopes”, V.S. Shirley Ed., Lawrence Berkeley National Lab., University of California.

Givens, W.W., Mills, W.R. ve Caldwell, R.L., (1970), “ Cyclic Activation Analysis”, Nuclear Instruments and Methods, 80:95-103.

Hirose,T., Yamamoto, H., Lida,T., Takahashi, A., Kasugai, Y., Ikeda,Y. and Kawade, K.,(1997), “ Systematic Measurement of Beta-decay Half-Lives of Short-Lived Isotopes”,JAERI-Conf, 97-005.

Itoh,s., Yasuda,M., Yamamoto, H., Lida, T., Takahashi, A. and Kawade, K., (1995), “Measurement of Beta-decay Half-lives of Short-lived Nuclei by Using High-rate Spectroscopy Amplifier”, JAERI Conf., 95-008.

Ila, P., Jagam, P. ve Muecke, G.K., (1979), “ Cyclic Activation with Flux Corrections”, Nuclear Instruments and Methods, 159:145-151.

Kawade, K., Yamamoto, H., Tanaka, A., Hosoya, A., Katoh,T., Lida, T., Takahashi,A.,(1992), “ Measurement of Beta-Decay Half-Lives of Short-Lived Nuclei, JAERI-M,92-027.

Knoll, G., (1979), Radiation Detection and Measurements, John Willey and Sons, New York.

Krane, K., (1988),”Introductory in Nuclear Physics”, J.V. and Sons.

Malmkog, S. ve Konijn, J., “Half Live Measurement of ^6He , ^{16}N , ^{19}O , ^{20}F , ^{28}Al , $^{77\text{m}}\text{Se}$ and ^{110}Ag ”, (1962), Nuclear Physics 38 196-210.

Meggitt, G.C., (1976), “Cyclic Activation Flux Manitor”, Nuclear Instruments and Methods, (134)257-259.

Nieuwendijk, B.J.T., Woittiez, J.R.W, Das, H.A., (1983), “ Correction For Residual Dead-Time Losses in INAA Based on Short-Lived Radyonuclides”, Journal of Radyoanalytical and Nuclear Chemistry, Articles, (89/2) 465-472.

Özbir, Y., Gültekin, E., Erduran, N., Subaşı, M. ve Tarcan, G., (1998), “ Bir Nötron Üretici için Döngülü Çalışan Hızlı Örnek Taşıma Sistemi Geliştirilmesi ve Yapımı”, ÇNAEM T.R.-999.

Reyhancan, A.İ., Erduran, M.N. ve Subaşı, M., (1996), “Foil Aktivasyon Yöntemi ile Sames T-400 Nötron Üreticinin ve TR-2 Reaktörünün Nötron Akı Spektrumunun Belirlenmesi”, VII. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknoloji Kongresi, 3-6 Eylül 1996, İTÜ, Nükleer Enerji Enstitüsü, İstanbul.

Subaşı, M., (1988), “Absolute Neutron Yield Determination of an Accelerator Neutron Source by Using The Associated Particle Method”, ÇNAEM A.R.-247.

Subaşı, M., Erduran, N., Tarcan, G., Özbir, Y., Baykal, A., Gültekin, E. ve Ercan, A., (1996), “ Alçak Enerjili Bir İyon Hızlandırıcısında Mutlak Nötron Akısının Aktivasyon Yöntemi ile Belirlenmesi”, ÇNAEM A.R.-249.

Tarcan, G., Gültekin, E., Özbir, Y., Baykal, A., Subaşı, M., Atasoy, H. ve İpekçi, E., (1989), “ Hızlı Nötron Işınlama Ünitesi Sames T-400 Tanıtımı ve Karakteristiklerin Tayini”, ÇNAEM A.R.-262.

Tsoufanidis, N., (1983), Measurement and Detection of Radiation, McGraw-Hill Company, New York, USA.

Tuli, J.K., (2000), “ Nuclear Wallet Card ,6th ed. 2000” , Naitonal Nuclear Data Center Department of Energy Science and Technology, Brookhaven Naitional Laboratory.

Ward, R.C., Gomes, I.C. ve Smith, D.L., (1994), “ A Survey Selected Neutron Activation Reactions with Short Lived Products of Importance to Fusion Reactor Technology”, INDC (USA)-106.

Wille, R.G. ve Fink, R.N., (1960), Phys. Rev. 118 242.

Yoshida, T., (1983), “Theoretical Calculation of Decay Data of Short-Lived Nuclides for JNDC FP Decay Data File”, JAERI-M, 83-127.

EK 1

En Küçük Kareler Yöntemi

Ölçülen değişkenler arasında, genelde bir kuramsal ilişki olması beklenilir. Bu ilişkinin analitik ifadesinin katsayılarını belirleme işlemine “uyumlama” (fitting) adı verilir.

Deneysel bir çalışmada ölçülen (x_i, y_i) çiftleri için mümkün eğriler arasında $y_i - f(x_i, a_i)$ değerini minimum yapan eğriye “ uyum eğrisi” adı verilir. (x_i, y_i) çiftleri için y_i değerlerinin σ_i ($i=1, \dots, n$) hata ile ölçüldüğü bir deney göz önüne alalım. Bu ölçüm değerleri için aradığımız uyum fonksiyonu $f(x, a_1, a_2, \dots, a_m)$ ve $a_1, a_2, \dots, a_m$ belirlenecek katsayılar olsun. En küçük kareler yöntemi ile en iyi a_j değerlerini belirlemek için,

$$S = \sum_{i=1}^n \left[\frac{y_i - f(x_i; a_j)}{\sigma_i} \right]^2 \quad (1.1)$$

toplamını minimum yapan x_i ve a_j değerleri belirlenmelidir. Böylece ölçüm noktalarını en iyi temsil eden uyum fonksiyonunun parametre değerleri bulunabilir. Zira ölçüm noktaları ile uyum fonksiyonu bire bir örtüştüğü zaman $y_i - f(x_i, a_j) = 0$ değerini alacaktır. Bu şekilde ölçüm noktalarını en iyi temsil eden uyum fonksiyonunun parametrelerinin belirleme işlemine X^2 - Minimizasyonu (Chi-square minimization) denilmektedir. Bununla beraber bu işlem tamamıyla geneldir ve asıl dağılım hakkında bilgi gerekli değildir. a_j değerlerini belirlemek için denklem sistemlerinin çözülmesi gerekir. Denklem sistemi ve çözümü işlemi aşağıda anlatıldığı gibi yapılabilir.

$$\frac{\partial S}{\partial a_j} = 0 \quad (1.2)$$

ifadesi $f(x)$ fonksiyonuna bağlıdır ve bir analitik çözüm verir veya vermez. Genel olarak S değerini minimize etmek için bilgisayar kullanarak nümerik çözümleme yapılır. En iyi a_j değerleri bulunduğundan sonra katsayıların hataları hesaplanmalıdır. Bu işlem için kovaryans veya hata matrisi (error matrix) V_{ij} bulunmalıdır.

$$\left(V^{-1} \right)_{ij} = \frac{1}{2} \frac{\partial^2 S}{\partial a_i \partial a_j} \quad (1.3)$$

$$\left(V \right)_{ij} = \begin{pmatrix} \sigma_1^2 & \text{cov}(1,2) & \text{cov}(1,3) & \dots \\ \cdot & \sigma_2^2 & \text{cov}(2,3) & \dots \\ \cdot & \cdot & \sigma_3^2 & \dots \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots \end{pmatrix} \quad (1.4)$$

V_{ij} matrisinin diagonal elemanları a_i değerlerinin varyanslarını ve diagonal olmayan elemanlar ise a_i ile a_j arasındaki kovaryansları göstermektedir.

a_j katsayıları bakımından doğrusal olan fonksiyonlarda, a_j değerlerinin sonucu veya ürünü olan terimler yoktur ve analitik olarak çözülebilirler. Bu durumdaki a_j değişkenlerine bağımsız değişkenler denir.

Yukarıdaki tanımlamalara uyan doğrusal denklem

$$y = f(x) = ax + b \quad (1.5)$$

şeklinde tanımlansın. S ifadesini yeniden düzenleyerek,

$$S = \sum_{i=1}^n \left[\frac{y_i - ax_i - b}{\sigma_i} \right]^2 \quad (1.6)$$

olarak ifade edebiliriz. Belirlenmek istenen a ve b katsayılarına göre kısmi türevler alınırsa, S ifadesinden,

$$\frac{\partial S}{\partial a} = -2 \sum \frac{(y - ax_i - b)x_i}{\sigma_i^2} = 0 \quad (1.7)$$

$$\frac{\partial S}{\partial b} = -2 \sum \frac{(y - ax_i - b)}{\sigma_i^2} = 0 \quad (1.8)$$

olarak tanımlanır. Notasyonu basitleştirmek için,

$$\begin{aligned} A &= \sum \frac{x_i}{\sigma_i^2} & B &= \sum \frac{1}{\sigma_i^2} \\ C &= \sum \frac{y_i}{\sigma_i^2} & D &= \sum \frac{x_i^2}{\sigma_i^2} \end{aligned} \quad (1.9)$$

$$E = \sum \frac{x_i \cdot y_i}{\sigma_i^2} \quad F = \sum \frac{y_i^2}{\sigma_i^2}$$

kısaltmalar yapılarak Denklem (1.7) ve Denklem (1.8)

$$2(-E + aD + bA) = 0 \quad (1.9)$$

$$2(-C + aA + bB) = 0 \quad (1.10)$$

şeklinde ifade edilebilir ve buradan sonuç olarak a ve b katsayıları ,

$$a = \frac{EB - CA}{DB - A^2} \quad (1.12)$$

$$b = \frac{DC - EA}{DB - A^2} \quad (1.13)$$

olarak bulunur. Bu katsayıların hatalarını belirlemek için ters hata matrisi (Inverse Error Matrix) oluşturularak,

$$V^{-1} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{pmatrix} \quad (1.13)$$

$$A_{11} = \frac{1}{2} \frac{\partial^2 S}{\partial a^2}, \quad A_{22} = \frac{1}{2} \frac{\partial^2 S}{\partial b^2}, \quad A_{12} = A_{21} = \frac{1}{2} \frac{\partial^2 S}{\partial a \partial b} \quad (1.13)$$

V^{-1} in tersi alınarak,

$$V^{-1} = \frac{1}{A_{11}A_{22} - A_{12}^2} \begin{pmatrix} A_{22} & -A_{12} \\ -A_{12} & A_{11} \end{pmatrix} \quad (1.14)$$

ve buradan a ve b katsayılarının hataları

$$\sigma^2(a) = \frac{A_{22}}{A_{11}A_{22} - A_{12}^2} = \frac{B}{BD - A^2} \quad (1.15)$$

$$\sigma^2(b) = \frac{A_{11}}{A_{11}A_{22} - A_{12}^2} = \frac{D}{BD - A^2} \quad (1.16)$$

$$\text{cov}(a, b) = \frac{-A_{12}}{A_{11}A_{22} - A_{12}^2} = \frac{-A}{BD - A^2} \quad (1.17)$$

olarak belirlenir. Son işlem olarak uyumun kalitesi hakkında bilgi sahibi olmak için X^2 (Chi-square) ile uyumun kalitesi kontrol edilmelidir.



EK 2

YARILANMA SÜRESİ ÖLÇÜMLERİ İÇİN YAZILMIŞ KONTROL PROGRAMI

```

REM *** BU PROGRAM ORTEC MODEL 919 İÇİN YAZILMIŞTIR ***
OPEN "KONTROL.DAT" FOR OUTPUT AS #5
5 COLOR 0,1: cls
DIM SPEK(50,100):DIM PULS(50,50):DIM SKANAL(50,100)
DIM PKANAL(50,50)
REM ***** MENU EKRANI *****
FOR X=1 TO 20
LOCATE X,34: ? CHR$(179):
LOCATE X,1: ? CHR$(179):
NEXT X
LOCATE 2,2: ?"ORTEC AYARLARI"; "*****"
LOCATE 8,2: ?"SİSTEM AYARLARI"; "*****"
LOCATE 14,2: ?"GÖREV DOSYASI" ; "*****"
LOCATE 19,2: ?"*****"
COLOR 0
LOCATE 3,2: ?"(A) DEVICE NO   : "
LOCATE 4,2: ?"(B) GAIN CONV.  : "
LOCATE 5,2: ?"(C) WINDOW     : "
LOCATE 6,2: ?"(D) CH. WITH.   : "
LOCATE 7,2: ?"(E) ENERJİ KLB. : "
LOCATE 9,2: ?"(F) DETECTOR HV : "
LOCATE 10,2: ?"(G) COARSE GAIN : "
LOCATE 11,2: ?"(H) FINE GAIN   : "
LOCATE 12,2: ?"(I) SHAPING TIME : "
LOCATE 13,2: ?"(J) GOREV DOSYASI : "
LOCATE 15,2: ?"(K) ORNEK ADI   : "
LOCATE 16,2: ?"(L) GAMA ENJ(KeV) : "
LOCATE 17,2: ?"(M) DONGU SAYISI : "
LOCATE 18,2: ?"(N) SAYMA SÜRESİ : "
LOCATE 19,2: ?"(O) PULSER ENJ   : "
REM *****SETUP DOSYASI DOSYA ÇAĞIRMA*****
OPEN "SETUP.TXT" FOR INPUT AS #1
INPUT #1,DVN$,GC$,ST$,GEN$,CHW$,KA,KB,DHV$,
      COG$,FIN$,SHT$,JOB$,ORN$,KEV,DONS,SAYS,PULE
CLOSE #1

REM ***** *VERİLERİN YERLEŞTİRİLMESİ* *****

COLOR 0
LOCATE 3,21 : ? DVN$

```

```

LOCATE 4,21:? GC$
LOCATE 5,21 :? ST$,"";GEN$
LOCATE 6,21 :? CHW$
LOCATE 7,21 :? USING"A:### B:###";KA;KB
LOCATE 9,21 :? DHV$;" VOLT"
LOCATE 10,21:? COG$
LOCATE 11,21:? FIN$
LOCATE 12,21:? SHT$;" M*KRO SN"
LOCATE 13,21:? JOB$
LOCATE 15,22:? ORN$
LOCATE 16,21:? KEV$;" KeV"
LOCATE 17,21:? DONS
LOCATE 18,21:? SAYS;"  SN."
LOCATE 19,21:? PULE;"  Kev."

```

```

REM *****

```

```

50 LOCATE 1,40:? "  AYAR DEĞİŞTİRME"
   LOCATE 2,35:PRINT"A,B,C,D,E,F,G,H,I,J,K,L,M,N (ÇIKIŞ=Z)"
   LOCATE 3,35:PRINT "JOP DOSYASINI DÜZENLEME (W)":AYAR$=INPUT$(1)
   IF AYAR$="A"THEN GOTO 100
   IF AYAR$="B"THEN GOTO 200
   IF AYAR$="C"THEN GOTO 300
   IF AYAR$="D"THEN GOTO 400
   IF AYAR$="E"THEN GOTO 500
   IF AYAR$="F"THEN GOTO 600
   IF AYAR$="G"THEN GOTO 700
   IF AYAR$="H"THEN GOTO 800
   IF AYAR$="I"THEN GOTO 900
   IF AYAR$="J"THEN GOTO 1000
   IF AYAR$="K"THEN GOTO 1100
   IF AYAR$="L"THEN GOTO 1200
   IF AYAR$="M"THEN GOTO 1300
   IF AYAR$="N"THEN GOTO 1400
   IF AYAR$="O"THEN GOTO 1410
   IF AYAR$="Z"THEN GOTO 1500
   IF AYAR$="W"THEN GOTO 1450
   GOTO 50
100 LOCATE 3,21:INPUT DVN$:LOCATE 3,21:? "  "
    LOCATE 3,21:PRINT DVN$:GOTO 50
200 LOCATE 4,21:INPUT GC$:LOCATE 4,21:? "  "
    LOCATE 4,21:PRINT GC$:GOTO 50
300 LOCATE 4,35:INPUT "KANAL BAŞLAMA  :";ST$
    LOCATE 5,35:INPUT "KANAL GENİŞLİĞİ :";GEN$
    LOCATE 5,21:? "  ":LOCATE 5,21:PRINT ST$,"";GEN$
    LOCATE 4,35:PRINT "  "
    LOCATE 5,35:PRINT "  ":GOTO 50
400 LOCATE 6,21:INPUT CHW$:LOCATE 6,21:? "  "

```

```

LOCATE 6,21:PRINT CHW$:GOTO 50
500 LOCATE 4,35:PRINT "KANAL=ENERJI*(A)+(B)"
    LOCATE 5,35:INPUT "{A} KATSAYISI  ":"KA
    LOCATE 6,35:INPUT "{B} KATSAYISI  ":"KB
    LOCATE 7,21:?"      ":LOCATE 7,21:PRINT USING"A:### B:###";KA;KB
    LOCATE 4,35:PRINT "
    LOCATE 5,35:PRINT "
    LOCATE 6,35:PRINT "      ":GOTO 50
600 LOCATE 9,21:INPUT DHV$:LOCATE 9,21:?"      "
    LOCATE 9,21:PRINT DHV$;" VOLT":GOTO 50
700 LOCATE 10,21:INPUT COG$:LOCATE 10,21:?"      "
    LOCATE 10,21:PRINT COG$:GOTO 50
800 LOCATE 11,21:INPUT FIN$:LOCATE 11,21:?"      "
    LOCATE 11,21:PRINT FIN$:GOTO 50
900 LOCATE 12,21:INPUT SHT$:LOCATE 12,21:?"      "
    LOCATE 12,21:PRINT SHT$;" MIKRO SN.":GOTO 50
1000 LOCATE 13,21:INPUT JOB$:LOCATE 13,21:?"      "
    LOCATE 13,21:PRINT JOB$:GOTO 50
1100 LOCATE 15,21:INPUT ORN$:LOCATE 15,21:?"      "
    LOCATE 15,21:PRINT ORN$:GOTO 50
1200 LOCATE 16,21:INPUT KEV$:LOCATE 16,21:?"      "
    LOCATE 16,21:PRINT KEV$;" KeV":GOTO 50
1300 LOCATE 17,21:INPUT DONS$:LOCATE 17,21:?"      "
    LOCATE 17,21:PRINT DONS$:GOTO 50
1400 LOCATE 18,21:INPUT SAYS$:LOCATE 18,21:?"      "
    LOCATE 18,21:PRINT SAYS$;" SN.":GOTO 50
1410 LOCATE 19,21:INPUT PULE$:LOCATE 19,21:?"      "
    LOCATE 19,21:PRINT PULE$;" SN.":GOTO 50
1450 SHELL "EDIT ":GOTO 50
1500 OPEN "SETUP.TXT" FOR OUTPUT AS #1
    WRITE #1,DVN$,GC$,ST$,GEN$,CHW$,KA,KB,DHV$,
        COG$,FIN$,SHT$,JOB$,ORN$,KEV,DONS,SAYS,PULE
    CLOSE #1

```

1505 REM ***** ANA PROGRAM HAZIRLIKLARI *****

```

REM ***** OTOMATİK DONGU İSİMLENDİRME *****
DIM ORN$(DONS)
FOR XX=48 TO 56
FOR XY=48 TO 57
IF XX=48 AND XY=48 THEN XY=49
KONTROL1=KONTROL1+1: IF KONTROL1>DONS THEN GOTO 1600
ISS=CHR$(XX)+CHR$(XY)
ORN$(KONTROL1)=ISS
PRINT ORN$
NEXT XY:NEXT XX
A$=INPUT$(1)
REM *****

```

600 REM ***** TANIMLAMALAR*****

```

REM ***** ENERJİ KALİBRASYONU
CLS
REM ***** PULSER İÇİN *****
KANAL=(PULE-KB)/KA
REM ARALIK=VAL(GEN$): PRINT "ARALIK=";ARALIK:STOP
ARALIK=30
PBAS=INT(KANAL-(ARALIK/2)): REM PEEK'İN SOL TARAFI
PBIT=INT(KANAL+(ARALIK/2)): REM PEEK'İN SAĞ TARAFI
REM ***** PEEK İÇİN *****
KANAL=(KEV-KB)/KA
REM ARALIK=VAL(GEN$): PRINT "ARALIK=";ARALIK:STOP
ARALIK=60
KBAS=INT(KANAL-(ARALIK/2)): REM PEEK'İN SOL TARAFI
KBIT=INT(KANAL+(ARALIK/2)): REM PEEK'İN SAĞ TARAFI

```

REM ***** ORTEC 919 AYARLAMALARI

```

FLAGUP =&HFF
FLAGDOWN=0
SENDFLAG=0
RECVFLAG=&H3E0
SENDBOX =&H20
RECVBOX =&H400
SENDLEN =&H1C
RECVLEN =&H3FC
MCB=1
LOCATE 1,1 :PRINT "PEEK KANAL NO =";KANAL;"BASLAMA,B~T~□=";"{
";KBAS; " }";"{" ";KBIT;" }"

```

REM *****

REM ***** KOMUT GİRME RUTİNİ *****
 REM ***** AYARLARIN İCRASI ****

```

ISLEM$="SET_DEVICE "+DVN$:CMD$=ISLEM$:GOSUB 9000
PRINT "SET DEVICE OK"
ISLEM$="SET_GAIN_CONVERSION "+GC$:CMD$=ISLEM$:GOSUB 9000
PRINT "SET GAIN CONVERS~ON OK"
ISLEM$="SET_WINDOW "+ST$+","+"GEN$":CMD$=ISLEM$:GOSUB 9000
PRINT "SET WINDOW OK"
ISLEM$="SET_WITDH "+CHW$:CMD$=ISLEM$:GOSUB 9000
PRINT " SET WITDH OK"

```

```

REM ***** JOB DOSYASININ İCRASI
FOR DONO=1 TO DONS
  REM CMD$="SHOW_LIVE":GOSUB 9000
  CMD$="CLEAR":GOSUB 9000

```

```

CMD$="START":GOSUB 9000
  REM ****ZAMAN KONTROL ****
    SAYBAS=(TIMER):SAYBS=TIMER
    SAYBIT=SAYBAS+SAYS
2650 C=(TIMER):SAYBT=TIMER
    REM LOCATE 10,30:PRINT SAYBAS,SAYBIT,C
    IF C>=SAYBIT THEN GOTO 2700
    GOTO 2650
2700 REM ***** ALINAN SAYIMIN KAYDEDİLMESİ *****
  REM CMD$="STOP":GOSUB 9000
  REM CMD$="SHOW_TRUE":GOSUB 9000

  REM OPEN ORN$+ORN$(DONO) FOR OUTPUT AS #3
  REM OPEN "KONTROL.DAT" FOR OUTPUT AS #4
  REM C=(TIMER):SAYBT=TIMER
    OUT &H292,0
    DEF SEG=&HD000
  LL=0:FOR U=KBAS TO KBIT:LL=LL+1
    BILGI!=PEEK(4*U+2)+256*(PEEK(4*U+3) AND &H7F)
    BILGI!=BILGI!*65536!+PEEK(4*U)+256*PEEK(4*U+1)
    SPEK(DONO,LL)=ABS(BILGI!):SKANAL(DONO,LL)=U
  NEXT U
  LL=0:FOR U=PBAS TO PBIT:LL=LL+1
    BILGI!=PEEK(4*U+2)+256*(PEEK(4*U+3) AND &H7F)
    BILGI!=BILGI!*65536!+PEEK(4*U)+256*PEEK(4*U+1)
    REM PRINT #3,U,ABS(BILGI!)
    PULS(DONO,LL)=ABS(BILGI!):PKANAL(DONO,LL)=U
  NEXT U
  PRINT ORN$,ORN$(DONO),"OK";SAYBS;SAYBT;"S$RE=";SAYBT-
  SAYBS;RESP$
  PRINT #5,ORN$,ORN$(DONO),"OK";SAYBS;SAYBT;"S$RE=";SAYBT-
  SAYBS;RESP$
NEXT DONO
CLOSE #4
CMD$="STOP"
LOCATE 10,30:PRINT SAYBAS,SAYBIT,C
GOSUB 9000
FOR DONO=1 TO DONS
  OPEN ORN$+ORN$(DONO) FOR OUTPUT AS #3
  FOR KNL=1 TO 60
    PRINT #3,SKANAL(DONO,KNL),SPEK(DONO,KNL)
  NEXT KNL
  CLOSE #3
  OPEN ORN$+"P"+ORN$(DONO) FOR OUTPUT AS #4
  FOR KNL=1 TO 30
    PRINT #4,PKANAL(DONO,KNL),PULS(DONO,KNL)
  NEXT KNL
  CLOSE #4

```

NEXT DONO

BEEP:PRINT " PROGRAM SONLANDIRILDI..."

```
3000 CMD$="STOP":GOSUB 9000
      CLOSE #5
      END
```

REM **** ALT RUTİNLER ****

9000 REM **** KONUTU ~□LEME G™NDER

GOSUB 10000

IF COMERR<-1 THEN PRINT

10000 REM ***** KOMUTLARIN İCRA VE KONTROL RUTİNİ *****

DEF SEG=&HD000

COMERR=-1

OUT &H292,(MCB-1) OR 8

POKE &H800,&HAA

IF PEEK(&H800)<>&HAA THEN RETURN

POKE SENDLEN,0

POKE SENDLEN+2,0

POKE SENDFLAG,FLAGUP

LOP=0

POKE RECVFLAG,FLAGDOWN

WHILE ((PEEK(SENDFLAG)=FLAGUP) AND (LOP<1000))

POKE RECVFLAG,FLAGDOWN

LOP=LOP+1

WEND

IF LOP=1000 THEN :RETURN

FOR CNTR=0 TO LEN(CMD\$)-1

POKE SENDBOX+2*CNTR,ASC(MID\$(CMD\$,CNTR+1,1))

NEXT CNTR

POKE SENDLEN,LEN(CMD\$) MOD 256

POKE SENDLEN+2,LEN(CMD\$) \256

POKE SENDFLAG,FLAGUP

GOSUB 20000: REM MCB YANITINI AL VE D™N.

IF RSP\$="ERR" THEN RETURN

IF LEFT\$(RSP\$,1)="#" THEN RESP\$=""

PERRSP\$=RSP\$:COMERR=0:RETURN

RESP\$=RSP\$

GOSUB 20000

IF RSP\$="ERR" THEN RETURN

PERRSP\$=RSP\$

COMERR=0

RETURN

20000 DEF SEG=&HD000

LOP=0


```

WHILE((PEEK(RECVFLAG)=FLAGDOWN) AND (LOP<1000))
LOP=LOP+1
WEND
IF LOP=1000 THEN RETURN
NUMCHARS=PEEK(RECVLEN)+256*PEEK(RECVLEN+2)
RSP$=""
FOR CNTR=0 TO NUMCHARS-1
RSP$=RSP$+CHR$(PEEK(RECVBOX+2*CNTR))
NEXT CNTR
POKE RECVFLAG,FLAGDOWN
RETURN
END
  REM *****
  PRINT " PROGRAM SONLANDIRILDI..."
  END
  REM ***** İŞLEM HATALI YÜRÜTÜLÜRSE SAYIMI DURDUR *****
25000 BEEP:BEEP:PRINT " PROGRAMDA HATA VAR"
  END

```



EK 3

**İŞINLAMA SIRASINDAKİ NÖTRON AKISININ DENEY ŞARTLARI VE
DENEYSEL VERİLER İLE HESAPLAYAN PROGRAM**

4000 REM ***** ÖRNEK İŞINLAMA SİMÜLASYONU *****

4005 COLOR 0,3: cls

REM ***** MENU EKRANI *****

Locate 2,1: ?"ÖRNEK İŞINLAMA SİMÜLASYONU"; "*****"

LOCATE 19,2:?"*****"

COLOR 3

LOCATE 5,2: ?"(A) NÖTRON ENJ :"

LOCATE 6,2: ?"(B) TESİR KESETİ SİGMA(MBARN) :"

LOCATE 7,2: ?"(C) f(E gama) :"

LOCATE 8,2: ?"(D) SAYIM KATI AÇISI :"

LOCATE 9,2: ?"(E) ÖRNEK ATOM NO :"

LOCATE 10,2:?"(F) ÖRNEK AĞIRLIĞI (N=>den) :"

LOCATE 11,2:?"(G) ÖRNEĞİN % SAFLIĞI (N=>den):"

LOCATE 12,2:?"(H) İŞINLAMA SÜRESİ :"

LOCATE 13,2:?"(I) BEKLEME SÜRESİ :"

LOCATE 14,2:?"(J) SAYMA SÜRESİ :"

LOCATE 15,2:?"(K) YARI ÖMRÜ (SEC) :"

LOCATE 16,2:?"(L) NÖTRON AKISI :"

LOCATE 17,2:?"(M) eff(E gama) :"

LOCATE 21,2:?"(N) ÖRNEK AĞIRLIĞI HESAPLAMALARI "

REM *****SETUP DOSYASI DOSYA ÇAĞIRMA*****

OPEN "SIMIN.TXT" FOR INPUT AS #1

IF EOF(1) THEN GOTO 4050

INPUT #1,NENJ,SIGMA,FGAMA,KATI,ATOMNO,AGIR,OBOL

,TI,TB,TS,YARI,NAK,EFFG,BMIK:CLOSE #1

REM ***** VERİLERİN YERLEŞTİRİLMESİ *****

COLOR 9

LOCATE 5,35 :? NENJ

LOCATE 6,35: ? SIGMA

LOCATE 7,35 :? FGAMA

LOCATE 8,35 :? KATI

LOCATE 9,35 :? ATOMNO

LOCATE 10,35 :? AGIR;"/":BMIK;"GRAM"

LOCATE 11,35: ? OBOL

```

LOCATE 12,35:? TI
LOCATE 13,35:? TB
LOCATE 14,35:? TS
LOCATE 15,35:? YARI
LOCATE 16,35:? NAK,"N/SEC"
LOCATE 17,35:? EFFG
  REM ***** *****
4050 LOCATE 1,40:? "  AYAR DEĞİŞTİRME"
  LOCATE 2,38:PRINT"A,B,C,D,E,(F),(G),H,I,J,K,L,M,N (HESAPLA=Z)"
  AYAR$=INPUT$(1)
  IF AYAR$="A"THEN GOTO 4100
  IF AYAR$="B"THEN GOTO 4110
  IF AYAR$="C"THEN GOTO 4120
  IF AYAR$="D"THEN GOTO 4130
  IF AYAR$="E"THEN GOTO 4140
  REM IF AYAR$="F"THEN GOTO 4150
  REM IF AYAR$="G"THEN GOTO 4160
  IF AYAR$="H"THEN GOTO 4170
  IF AYAR$="I"THEN GOTO 4180
  IF AYAR$="J"THEN GOTO 4190
  IF AYAR$="K"THEN GOTO 4200
  IF AYAR$="L"THEN GOTO 4210
  IF AYAR$="M"THEN GOTO 4220
  IF AYAR$="N"THEN GOTO 4500
  IF AYAR$="Z"THEN GOTO 4230
  REM IF AYAR$="W"THEN GOTO 4240
  GOTO 4050
4100 LOCATE 5,35:INPUT NENJ:LOCATE 5,35:? "
  LOCATE 5,35:PRINT NENJ:GOTO 4050
4110 LOCATE 6,35:INPUT SIGMA:LOCATE 6,35:? "
  LOCATE 6,35:PRINT SIGMA:GOTO 4050
4120 LOCATE 7,35:INPUT FGAMA:LOCATE 7,35:? "
  LOCATE 7,35:PRINT FGAMA:GOTO 4050
4130 LOCATE 8,35:INPUT KATI:LOCATE 8,35:? "
  LOCATE 8,35:PRINT KATI:GOTO 4050
4140 LOCATE 9,35:INPUT ATOMNO:LOCATE 9,35:? "
  LOCATE 9,35:PRINT ATOMNO:GOTO 4050
4150 LOCATE 10,35:INPUT AGIR:LOCATE 10,35:? "
  LOCATE 10,35:PRINT AGIR,"GRAM":GOTO 4050
4160 LOCATE 11,35:INPUT OBOL:LOCATE 11,35:? "
  LOCATE 11,35:PRINT OBOL:GOTO 4050
4170 LOCATE 12,35:INPUT TI:LOCATE 12,35:? "
  LOCATE 12,35:PRINT TI:GOTO 4050
4180 LOCATE 13,35:INPUT TB:LOCATE 13,35:? "
  LOCATE 13,35:PRINT TB:GOTO 4050
4190 LOCATE 14,35:INPUT TS:LOCATE 14,35:? "
  LOCATE 14,35:PRINT TS:GOTO 4050
4200 LOCATE 15,35:INPUT YARI:LOCATE 15,35:? "

```

```

LOCATE 15,35:PRINT YARI:GOTO 4050
4210 LOCATE 16,35:INPUT NAK:LOCATE 16,35:?"      "
      LOCATE 16,35:PRINT NAK,"N/SEC":GOTO 4050
4220 LOCATE 17,35:INPUT EFFG:LOCATE 17,35:?"      "
      LOCATE 17,35:PRINT EFFG:GOTO 4050
1450 SHELL "EDIT ":GOTO 4050
4230 OPEN "SIMIN.TXT" FOR OUTPUT AS #1
      WRITE #1,NENJ,SIGMA,FGAMA,KATI,ATOMNO,AGIR,OBOL,TI,TB,TS
          ,YARI,NAK,EFFG,BMIK:CLOSE #1
      LAMDA=0.693/YARI
      Z=((1-EXP(-LAMDA*TI))*EXP(-LAMDA*TB)*(1-EXP(-LAMDA*TS)))/LAMDA
      ATSAY=6.022E+23/ATOMNO
      ALAN=NAK*AGIR*ATSAY*Z*EFFG*KATI*(FGAMA/100)*SIGMA*1E-27
      X=LOG(ALAN/10)/LOG(2)
      LOCATE 3,2
      PRINT "ALAN=";INT(ALAN),"SH:";INT(ALAN/TS);"cps"
          ,"YRO:";INT(X),"SPEK:";INT(X*YARI/TS),"HATA:";"%"
          ;INT(100*SQR(ALAN)/ALAN)
      A$=INPUT$(1)
      GOTO 4005
4500 REM ***** ÖRNEK AĞIRLIĞI HESAPLAMA *****
      CLS
4505 INPUT " ÖRNEK VEYA BİLEŞİKDEKİ ATOM ÇEŞİDİ SAYISI (MAX:4):",CES
      IF CES=1 THEN GOTO 4510
      IF CES=2 THEN GOTO 4520
      IF CES=3 THEN GOTO 4530
      IF CES=4 THEN GOTO 4540
      IF CES<>1 OR CES<>1 OR CES<>2 OR CES<>3 OR CES<>4 THEN GOTO 4505
      REM *****
4510 INPUT "ÖRNEĞİN ATOM AĞIRLIĞI :",OBMIK
      INPUT "ÖRNEK SAFLIĞI (%)   :",OBOL
      INPUT "ÖRNEK AĞIRLIĞI     :",BMIK
      AGIR=BMIK*OBOL/100
      PRINT "MİKTAR=";AGIR,"GRAM"
      PRINT "ATOM SAYISI=",AGIR*6.022E+23/OBBIK
      ATOMNO=OBBIK
      OPEN "SIMIN.TXT" FOR OUTPUT AS #1
      WRITE #1,NENJ,SIGMA,FGAMA,KATI,ATOMNO,AGIR,
          OBOL,TI,TB,TS,YARI,NAK,EFFG,BMIK:CLOSE #1
      A$=INPUT$(1)
      GOTO 4005

4520 INPUT "BİLEŞİKTEKİ 1.ATOMUN AĞIRLIĞI,ATOM SAYISI
      (İSTENİLENİN )=",O1,S1
      INPUT "BİLEŞİKTEKİ 2.ATOMUN AĞIRLIĞI,ATOM SAYISI =",O2,S2
      INPUT "BİLEŞİĞİN % SAFLIĞI   =",OBOL
      INPUT "BİLEŞİĞİN MİKTARI (GR) =",BBIK
      MAG=(O1*S1)+(O2*S2)

```

```

PRINT "MOLEKÜL AĞIRLIĞI=";MAG
AGIR=BMIK*(O1*S1)*100/(MAG*OBOL)
PRINT "MİKTAR=";AGIR,"GRAM    = G*h"
PRINT "ATOM SAYISI=";AGIR*6.022E+23/O1
ATOMNO=O1
OPEN "SIMIN.TXT" FOR OUTPUT AS #1
WRITE #1,NENJ,SIGMA,FGAMA,KATI,ATOMNO,AGIR
      ,OBOL,TI,TB,TS,YARI,NAK,EFFG,BMIK:CLOSE #1
A$=INPUT$(1)
GOTO 4005
4530 INPUT "BİLEŞİKTEKİ 1.ATOMUN AĞIRLIĞI,ATOM SAYISI
      (İSTENİLENİN )=";O1,S1
INPUT "BİLEŞİKTEKİ 2.ATOMUN AĞIRLIĞI,ATOM SAYISI =" ;O2,S2
INPUT "BİLEŞİKTEKİ 2.ATOMUN AĞIRLIĞI,ATOM SAYISI =" ;O3,S3
INPUT "BİLEŞİĞİN % SAFLIĞI =" ;OBOL
INPUT "BİLEŞİĞİN MİKTARI (GR) =" ;BMIK
MAG=(O1*S1)+(O2*S2)+(O3*S3)
PRINT "MOLEKÜL AĞIRLIĞI=";MAG
AGIR=BMIK*(O1*S1)*100/(MAG*OBOL)
PRINT "MİKTAR=";AGIR,"GRAM    = G*h"
PRINT "ATOM SAYISI=";AGIR*6.022E+23/O1
ATOMNO=O1
OPEN "SIMIN.TXT" FOR OUTPUT AS #1
WRITE #1,NENJ,SIGMA,FGAMA,KATI,ATOMNO,AGIR
      ,OBOL,TI,TB,TS,YARI,NAK,EFFG,BMIK:CLOSE #1
A$=INPUT$(1)
GOTO 4005
4540 INPUT "BİLEŞİKTEKİ 1.ATOMUN AĞIRLIĞI,ATOM SAYISI
      (İSTENİLENİN )=";O1,S1
INPUT "BİLEŞİKTEKİ 2.ATOMUN AĞIRLIĞI,ATOM SAYISI =" ;O2,S2
INPUT "BİLEŞİKTEKİ 3.ATOMUN AĞIRLIĞI,ATOM SAYISI =" ;O3,S3
INPUT "BİLEŞİKTEKİ 4.ATOMUN AĞIRLIĞI,ATOM SAYISI =" ;O4,S4
INPUT "BİLEŞİĞİN % SAFLIĞI =" ;OBOL
INPUT "BİLEŞİĞİN MİKTARI (GR) =" ;BMIK
MAG=(O1*S1)+(O2*S2)+(O3*S3)+(O4*S4)
PRINT "MOLEKÜL AĞIRLIĞI=";MAG
AGIR=BMIK*(O1*S1)*100/(MAG*OBOL)
PRINT "MİKTAR=";AGIR,"GRAM    = G*h"
ATOMNO=O1
PRINT "ATOM SAYISI=";AGIR*6.022E+23/O1
OPEN "SIMIN.TXT" FOR OUTPUT AS #1
WRITE #1,NENJ,SIGMA,FGAMA,KATI,ATOMNO,AGIR
      ,OBOL,TI,TB,TS,YARI,NAK,EFFG,BMIK:CLOSE #1
A$=INPUT$(1)
GOTO 4005
4590 CLS
PRINT " BİR HATA OLUŞTU YENİDEN DENEYİN": GOTO 4005

```

EK 4

EN KÜÇÜK KARELER X^2 YÖNTEMİ İLE UYUM PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

```

REM *****  LEAST SQUARE FİT YÖNTEMİ İLE          *****
REM ***** Y=A*EXP(-BX) DENKLEMİNİN,A VE B KATSAYILARI VE ***
REM ***** STANDART SAPMALARININ BELİRLENMESİ          *****
REM *****  CHI-SQUARE FİT YÖNTEMİ İLE          *****
REM *****  UYUM DENKLEMİNİN OPTİMİZE EDİLMESİ          *****
REM *****  VE EĞRİYİ EN İYİ TEMSİL EDEN          *****
REM *****  A VE B KATSAYILARININ BULUNMASI          *****
REM ***** Y=A*EXP(-BX) DENKLEMİ, LN(Y)=LN(A)-BX DOĞRU *****
REM ***** DENKLEMİNE DÖNÜŞTÜREREK LEAST SQUARE FİT YÖNTEMİ
REM *****  KULLANILMIŞTIR          *****
5 CLS
DIM X(50):DIM Y(50):DIM SIGMA(50):DIM YFI(50):DIM YFIO(50)
DIM SIGMAFI(50)

REM *****VERİLERİN DOSYADAN OKUNMASI
INPUT "DOSYA ISMI=";AD$
ADI$=AD$+".TXT"
OPEN ADI$ FOR INPUT AS #1
OPEN ADI$+"FIT.DAT" FOR OUTPUT AS #2
INPUT "VERİ SAYISI=";VERI
PAR=2: REM *****PARAMETRE SAYISI
SER=(VERI-1)-PAR:REM *****SERBESTLİK DERECE
FOR I=1 TO VERI
INPUT #1,X,Y,S
REM IF EOF(1) THEN GOTO 1000
X(I)=X:Y(I)=Y:SIGMA(I)=S
PRINT X(I),Y(I),SIGMA(I)
NEXT I
A$=INPUT$(1)
10 REM ***** İŞLEMLER

SUM=0:SUMX=0:SUMY=0:SUMX2=0:SUMXY=0:SUMY2=0
FOR I=1 TO VERI
WEIGHT=Y(I)*Y(I)/(SIGMA(I)*SIGMA(I))
rem ****
REM WEIGHT=1/(SIGMA(I)*SIGMA(I))
rem ****

```

```

SUMX=SUMX+X(I)
SUMC=SUMC+WEIGHT
SUMY=SUMY+LOG(Y(I))
SUMWX=SUMWX+(WEIGHT*X(I))
SUMWX2=SUMWX2+(WEIGHT*X(I)*X(I))
SUMWXY=SUMWXY+(WEIGHT*X(I)*LOG(Y(I)))
SUMWY=SUMWY+(WEIGHT*LOG(Y(I)))
NEXT I
REM ***** KATSAYILAR VE STANDART SAPMALAR *****

DELTA=(SUMWX2*SUMC)-(SUMWX*SUMWX)
PRINT "DELTA=";DELTA
AA=((SUMWX2*SUMWY)-(SUMWX*SUMWXY))/DELTA
A=EXP(AA)
PRINT "AA=";AA,"A=";A
BB=((SUMC*SUMWXY)-(SUMWX*SUMWY))/DELTA
T=-0.693/BB
rem T=-1/BB

PRINT"BB=";BB,"T=";T
VARNCE=1
SIGMAA=SQR(SUMWX2/DELTA)
SIGMABB=SQR(SUMC/DELTA)
SIGMAB=(T*T*SIGMABB)
rem SIGMAB=(SIGMABB)

REM RR=(SUM*SUMXY-SUMX*SUMY)/(SQR(DELTA*(SUM*SUMY2-
SUMY*SUMY)))
PRINT "SIGMA A=";SIGMAA
PRINT "SIGMA B=";SIGMAB
PRINT "R=";RR
1000 REM END
1010 FOR X=1 TO VERI
  YFI(X)=A*EXP(BB*X(X))
  X2=X2+(1/SER)*((Y(X)-YFI(X))^2/SIGMA(X)^2)
  PRINT YFI(X);
NEXT X
PRINT "X2=";X2

REM ***** OPTİMİZASYON *****

1020 IF KONT=1 THEN GOTO 2000
INPUT "A KATSAYISI İÇİN BASLANA,BİTİS,STEP
      ARALIĞI=";ABAS,ABIT,ASTEP
INPUT "B KATSAYISI İÇİN BASLAMA,BİTİŞ,STEP
      ARALIĞI=";BBAS,BBIT,BSTEP

```

```

LOCATE 2,2
  FOR OA=ABAS TO ABIT STEP+ASTEP
  FOR OB=BBAS TO BBIT STEP+BSTEP
  X2O=0
  FOR X=1 TO VERI
    YFIO(X)=OA*EXP(OB*X(X))
    SIGMAFI(X)=SQR(YFIO(X))
    PRINT YFIO(X),SIGMAFI(X)
    X2O=X2O+(1/SER)*((Y(X)-YFIO(X))^2/SIGMAFI(X)^2)
  NEXT X

  LOCATE 2,3:PRINT "X2 YEN~=";X2O,"X2 eski=";X2

  IF X2O<X2 THEN GOSUB 3000

2000    NEXT OB
        NEXT OA
        PRINT "BITTI":BEEP
        REM *****
        CLS
        SUM=0:SUMX=0:SUMY=0:SUMX2=0:SUMXY=0:SUMY2=0
        FOR I=1 TO VERI

          WEIGHT=YFI(I)*YFI(I)/(SIGMAFI(I)*SIGMAFI(I))
          rem ****
          REM WEIGHT=1/(SIGMAFI(I)*SIGMAFI(I))
          rem ****

          SUMX=SUMX+X(I)
          SUMC=SUMC+WEIGHT
          SUMY=SUMY+LOG(YFI(I))
          SUMWX=SUMWX+(WEIGHT*X(I))
          SUMWX2=SUMWX2+(WEIGHT*X(I)*X(I))
          SUMWXY=SUMWXY+(WEIGHT*X(I)*LOG(YFI(I)))
          SUMWY=SUMWY+(WEIGHT*LOG(YFI(I)))
        NEXT I
        REM ***** YENİ KATSAYILAR VE STANDART SAPMALAR *****

        DELTA=(SUMWX2*SUMC)-(SUMWX*SUMWX)
        PRINT "DELTA=";DELTA
        AA=((SUMWX2*SUMWY)-(SUMWX*SUMWXY))/DELTA
        A=EXP(AA)
        PRINT "AA=";AA,"A=";A
        BB=((SUMC*SUMWXY)-(SUMWX*SUMWY))/DELTA
        T=-0.693/BB
        rem T=-1/BB

        PRINT"BB=";BB,"T=";T

```



```

VARNCE=1
SIGMAA=SQR(SUMWX2/DELTA)
SIGMABB=SQR(SUMC/DELTA)
SIGMAB=(T*T*SIGMABB)
rem SIGMAB=(SIGMABB)

PRINT "SIGMA A=";SIGMAA
PRINT "SIGMA B=";SIGMAB
PRINT "R=";RR
PRINT #2, "SON-~LK:A,B,CH~=";OA;A,OB;BB,X2O,SIGMAA,SIGMAB
END
3000 CLS:
PRINT "A,B=";OA,OB,A,BB
PRINT #2, "A,B SON-~LK,CH~=";OA;A,OB;BB,X2O,SIGMAA,SIGMAB
X2=X2O
REM FOR X=1 TO VERI
REM Y(X)=YFIO(X)
REM SIGMA(X)=SIGMAFI(X)
REM NEXT X
REM A$=INPUT$(1)
RETURN

```

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi	17.04.1965	
Doğum Yeri	İstanbul	
Ortaöğretim	1972-1981	Almanya
Lise	1981-1984	Yeşilköy 50.Yıl Lisesi
Lisans	1985-1990	İ.Ü. Fen Edebiyat Fak. Fizik Bölümü.
Yüksek Lisans	1992-1995	İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enst. Fizik Anabilim Dalı.
Doktora	1995-2001	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enst. Fizik Anabilim Dalı.
Çalıştığı Kurum	1995-2000	Y.T.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, Araş. Gör.
	2000-Devam ediyor	Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi, Fizik Bölümü.