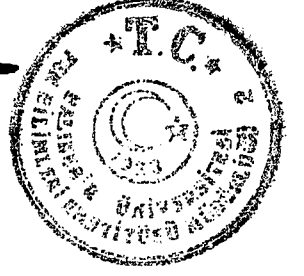


69001



TC
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK EĞİTİMİ ANABİLİM DALI


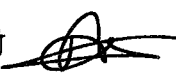

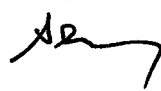
BİR İZOTOPİK NÖTRON KAYNAĞI İLE PATLAYICI TAYİNİ İÇİN
OLABİLİRLİK ÇALIŞMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

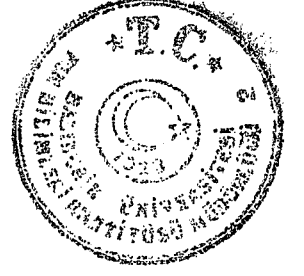
Hüseyin KÜÇÜKÖZER

Tez Danışmanları : Prof. Dr. M. Nizamettin ERDURAN
Yrd. Doç. Dr. Ömer GEMİCİ

Sınav Tarihi : 17 . 08 . 1998

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. M. Nizamettin ERDURAN (Danışman) - İÜ 
Prof. Mevlüt YILMAZ - BaÜ
Doç.Dr. Ahmet CENGİZ - UÜ 
Yrd. Doç. Dr. Ömer GEMİCİ (Danışman) - BaÜ 
Yrd.Doç.Dr. Asuman AYDIN - BaÜ 

Balıkesir, Ağustos - 1998



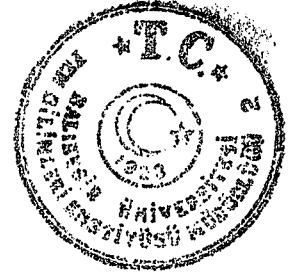
TC
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

BİR İZOTOPIK NÖTRON KAYNAĞI İLE PATLAYICI TAYİNİ İÇİN
OLABİLİRLİK ÇALIŞMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hüseyin KÜÇÜKÖZER

Balıkesir, Ağustos - 1998



ÖZ

**BİR İZOTOPIK NÖTRON KAYNAĞI İLE PATLAYICI TAYİNİ İÇİN
OLABİLİRLİK ÇALIŞMASI**

Hüseyin KÜÇÜKÖZER

Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Eğitimi Bölümü

**(Yüksek Lisans Tezi / Danışmanları: Prof. Dr. M. Nizamettin ERDURAN ve
Yrd. Doç. Dr. Ömer GEMİCİ)**

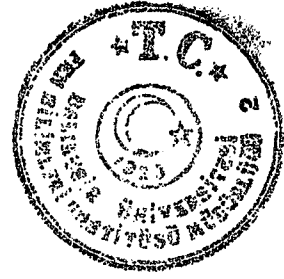
Balıkesir - Türkiye, 1998

Bu çalışmada, ^{241}Am -Be nötron kaynağı kullanarak patlayıcı tayininin olabirliği araştırılmıştır. Deneysel kısımlar Türkiye Atom Enerjisi Kurumu İstanbul Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi 'nde yapılmıştır.

Tepilen Proton Spektrumu Açma Yöntemi kullanılarak, nötron-enerji test spektrumu elde edilmiş olup, buradan 2.25 MeV ile 9.90 MeV arasında seçilen 11 nötron grubunun şiddeti hesaplanmıştır. Patlayıcı ve patlayıcıya atomik yapı olarak benzeyen değişik maddelerin kolime edilmiş nötron demetine tutulmasıyla, nötron enerjisi-nötron geçirim katsayısı ve kalınlık - nötron geçirim katsayısı değişim grafikleri elde edilmiştir.

Bu grafiklerden yararlanarak patlayıcıyı belirlemek bazı durumlarda olanaklı olmuştur. Olanaksız olan durumlarda ise, Tepilen Proton Spektrumu Açma Yöntemi'nin Tomografik Görüntüleme Yöntemi'yle beraber kullanılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

ANAHTAR SÖZCÜKLER: Tepilen Proton Spektrumu, Tepilen Proton Spektrumunu Açma, Nötron Geçirim Katsayısı, Patlayıcı Deteksiyonu,



ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE POSSIBILITY OF THE EXPLOSIVE DETERMINATION BY USING AN ISOTOPIC NEUTRON SOURCE

Hüseyin KÜÇÜKÖZER

Balıkesir University, Institute of Science, Department of Physics Education

**(M.Sc Thesis / Supervisor: Prof. Dr. M. Nizamettin ERDURAN and
Assist.Prof.Dr. Ömer GEMİCİ)**

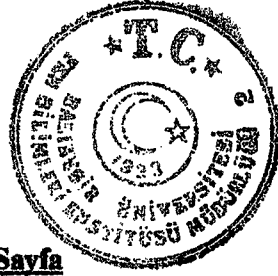
Balıkesir - Turkey, 1998

In this study, plausibility of determining hidden explosives by using $^{241}\text{Am-Be}$ neutron source is investigated. The experimental part of the project was carried out at Department of Physics Turkish Atomic Energy Authority Çekmece Nuclear Research and Training Center.

By using Proton Recoil Spectrum Unfolding method, neutron energy test spectrum is obtained. From that, the strength of 11 neutron group chosen between 2.25 MeV and 9.90 MeV, is calculated. By targeting explosive or having similar atomic structure materials into the collimated neutron flux, the variation of neutron energy and thickness versus neutron transmission coefficient are obtained and shown.

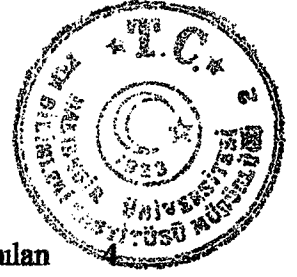
In some cases, identification of explosive materials is found to be possible by using these graphs. In other cases (identification of explosive materials is not possible), it is concluded that Proton Recoil Spectrum Unfolding method can be used together with tomographic reconstruction method.

KEY WORDS : Proton Recoil Spectrum, Proton Recoil Spectrum Unfolding, Neutron Transmission Coefficient, Explosive Detection.



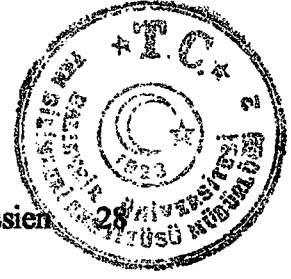
İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZ, ANAHTAR SÖZCÜKLER	ii
ABSTRACT, KEY WORDS	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİL LİSTESİ	v
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖNSÖZ	xii
1 GİRİŞ	1
2 DENEY DÜZENEGİ	3
2.1 Detektör	3
2.2 Önyükselteç (Preamplifikator)	5
2.3 Lineer Yükselteç (Amplifikator)	5
2.4 Zaman-Genlik Çeviricisi (TAC)	5
2.5 Çok Kanallı Analizör (MCA)	5
2.6 Sabit Oran Ayırıcısı (CFD)	5
2.7 Puls Şekli Ayırıcısı (PSD)	6
2.8 Nötron Kaynağı	9
2.9 NE-213 Sıvı Sintilatörün Enerji Kalibrasyonu	9
3 YÖNTEM	32
3.1 Tepilen Proton Spektrumu	32
3.2 Tepilen Proton Spektrumunu Açma (Unfolding)	33
3.2.1 Türev Alma Yöntemi	33
3.2.2 Matriks (Ferdor) Yöntemi	34
4 TESİR KESİTLERİ VE HER NÖTRON GRUBUNA AİT AKININ BULUNMASI	50
4.1 Tesir Kesitlerinin Bulunması	50
4.2 Her Nötron Grubuna Ait Akının Bulunması	66
5 BİR ORTAMIN NÖTRONLAR İÇİN GEÇİRİMİNİN BELİRLENMESİ	67
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	101
KAYNAKÇA	102

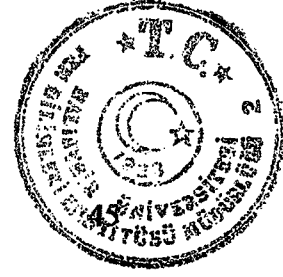


ŞEKİL LİSTESİ

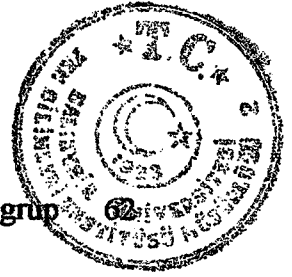
Şekil 2.1	Nötron enerji test spektrumunu elde etmek için kullanılan elektronik düzenek	
Şekil 2.2	M (Darbe biçimi (n/γ) ayırım gücü) 'nün enerjiye göre değişimi	7
Şekil 2.3	PSD 'nin enerji aralığına bağlı değişimi	8
Şekil 2.4	⁵⁴ Mn kaynağının puls yüksekliği spektrumu	11
Şekil 2.5	²² Na kaynağının puls yüksekliği spektrumu	12
Şekil 2.6	⁶⁰ Co kaynağının puls yüksekliği spektrumu	13
Şekil 2.7	⁶⁵ Zn kaynağının puls yüksekliği spektrumu	14
Şekil 2.8	²²⁸ Th kaynağının puls yüksekliği spektrumu	15
Şekil 2.9	¹³⁷ Cs kaynağının puls yüksekliği spektrumu	16
Şekil 2.10	¹⁵² Eu kaynağının puls yüksekliği spektrumu	17
Şekil 2.11	¹² C kaynağının puls yüksekliği spektrumu	18
Şekil 2.12	⁵⁴ Mn 'nin 0.835 MeV gammalara ait Compton sırtı ve Gaussien uyumu	20
Şekil 2.13	²² Na 'nın 1.275 MeV gammalara ait Compton sırtı ve Gaussien uyumu	21
Şekil 2.14	²² Na 'nın 0.511 MeV gammalara ait Compton sırtı ve Gaussien uyumu	22
Şekil 2.15	⁶⁰ Co 'nun 1.332 MeV gammalara ait Compton sırtı ve Gaussien uyumu	23
Şekil 2.16	⁶⁵ Zn 'nin 1.115 MeV gammalara ait Compton sırtı ve Gaussien uyumu	24
Şekil 2.17	²²⁸ Th 'nin 2.614 MeV gammalara ait Compton sırtı ve Gaussien uyumu	25
Şekil 2.18	¹³⁷ Cs 'nin 0.662 MeV gammalara ait Compton sırtı ve Gaussien uyumu	26
Şekil 2.19	¹⁵² Eu 'nun 1.408 MeV gammalara ait Compton sırtı ve Gaussien uyumu	27



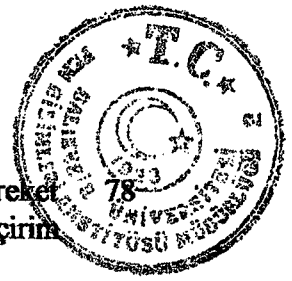
Şekil 2.20	$^{12}\text{C}^{\alpha}$ in 4.420 MeV gammalara ait Compton sırtı ve Gaussien uyumu	
Şekil 2.21	NE-213 sıvı sintilatörünün Çizelge 2-1 'deki kaynaklar kullanılarak elde edilen enerji kalibrasyonu	29
Şekil 2.22	NE-213 sıvı sintilasyon detektörünün gammalar için enerji ayırdedebilirliğinin (AL/L) görelî puls yüksekliğine (L) göre değişimi	30
Şekil 2.23	NE-213 sıvı sintilasyon detektörünün yanıt fonksiyonu	31
Şekil 3.1	2.25 MeV 'lik nötronlar için tepilen proton spektrumu	36
Şekil 3.2	2.25 MeV 'lik nötronlar için açılmış nötron spektrumu	36
Şekil 3.3	2.68 MeV 'lik nötronlar için tepilen proton spektrumu	37
Şekil 3.4	2.68 MeV 'lik nötronlar için açılmış nötron spektrumu	37
Şekil 3.5	3.20 MeV 'lik nötronlar için tepilen proton spektrumu	38
Şekil 3.6	3.20 MeV 'lik nötronlar için açılmış nötron spektrumu	38
Şekil 3.7	3.75 MeV 'lik nötronlar için tepilen proton spektrumu	39
Şekil 3.8	3.75 MeV 'lik nötronlar için açılmış nötron spektrumu	39
Şekil 3.9	4.67 MeV 'lik nötronlar için tepilen proton spektrumu	40
Şekil 3.10	4.67 MeV 'lik nötronlar için açılmış nötron spektrumu	40
Şekil 3.11	5.00 MeV 'lik nötronlar için tepilen proton spektrumu	41
Şekil 3.12	5.00 MeV 'lik nötronlar için açılmış nötron spektrumu	41
Şekil 3.13	5.81 MeV 'lik nötronlar için tepilen proton spektrumu	42
Şekil 3.14	5.81 MeV 'lik nötronlar için açılmış nötron spektrumu	42
Şekil 3.15	6.50 MeV 'lik nötronlar için tepilen proton spektrumu	43
Şekil 3.16	6.50 MeV 'lik nötronlar için açılmış nötron spektrumu	43
Şekil 3.17	7.70 MeV 'lik nötronlar için tepilen proton spektrumu	44
Şekil 3.18	7.70 MeV 'lik nötronlar için açılmış nötron spektrumu	44



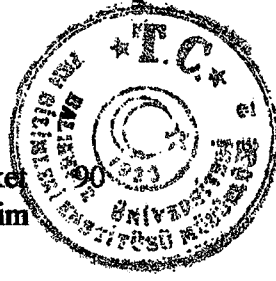
Şekil 3.19	8.00 MeV 'lik nötronlar için tepilen proton spektrumu	
Şekil 3.20	8.00 MeV 'lik nötronlar için açılmış nötron spektrumu	45
Şekil 3.21	9.90 MeV 'lik nötronlar için tepilen proton spektrumu	46
Şekil 3.22	9.90 MeV 'lik nötronlar için açılmış nötron spektrumu	46
Şekil 3.23	370 GBq Am-Be kaynağının nötron enerji test spektrumu	47
Şekil 3.24	Açma yapılmış 11 nötron enerjisinin ve 370 GBq 'lik Am-Be kaynağının beraber spektrumları	48
Şekil 3.25	Açma yapılmış 11 nötron enerjisinin, 370 GBq 'lik Am-Be kaynak spektrumuna fit edildiği spektrum	49
Şekil 4.1	Nötron enerjisine karşılık $\Gamma(E)$ 'nin değişimi	50
Şekil 4.2	Karbon (C) için nötron enerjisine karşılık mikroskobik tesir kesiti spektrumu	51
Şekil 4.3	Hidrojen (H) için nötron enerjisine karşılık mikroskobik tesir kesiti spektrumu	52
Şekil 4.4	Oksijen(O) için nötron enerjisine karşılık mikroskobik tesir kesiti spektrumu	53
Şekil 4.5	Azot(N) için nötron enerjisine karşılık mikroskobik tesir kesiti spektrumu	54
Şekil 4.6	Karbon(C) için 0.8-11.2 MeV 'e kadar 0.1 MeV aralıklarla nötron enerjisine karşılık mikroskobik tesir kesiti spektrumu	55
Şekil 4.7	Hidrojen (H) için 0.8-11.2 MeV 'e kadar 0.1 MeV aralıklarla nötron enerjisine karşılık mikroskobik tesir kesiti spektrumu	56
Şekil 4.8	Oksijen (O) için 0.8-11.2 MeV 'e kadar 0.1 MeV aralıklarla nötron enerjisine karşılık mikroskobik tesir kesiti spektrumu	57
Şekil 4.9	Azot(N) için 0.8-11.2 MeV 'e kadar 0.1 MeV aralıklarla nötron enerjisine karşılık mikroskobik tesir kesiti spektrumu	58
Şekil 4.10	Karbon için 11 nötron enerji grubuna karşılık mikroskobik grup tesir kesiti	60
Şekil 4.11	Hidrojen için 11 nötron enerji grubuna karşılık mikroskobik grup tesir kesiti	61



Şekil 4.12	Oksijen için 11 nötron enerji grubuna karşılık mikroskobik grup tesir kesiti	
Şekil 4.13	Azot için 11 nötron enerji grubuna karşılık mikroskobik grup tesir kesiti	63
Şekil 4.14	Benzetişim çalışmasında kullanılan deneysel düzenek	64
Şekil 5.1	Enerji - geçirim katsayısı değişim grafiği: Şekil 4.14'te 40 cm'lik bavul içerisinde yalnız ipek, 17 cm ipek 2 cm naylon 2 cm ipek 2 cm naylon ve 17 cm ipek, 17 cm ipek 2 cm naylon 2 cm RDX 2cm naylon ve 17 cm ipek varkenki durumu göstermektedir	69
Şekil 5.2	Enerji - geçirim katsayısı değişim grafiği: Şekil 4.14 'te 40 cm'lik bavul içerisinde, ipek+naylon+RDX, ipek+naylon+fruktos, ipek+naylon+melamin, ipek+naylon+su, ipek+naylon+polietilen varkenki durumu gösterilmektedir	70
Şekil 5.3	Bavul İçinde(40 cm) ipek varken, 11 enerji grubu için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği	71
Şekil 5.4	Bavul içinde sırasıyla, 17 cm ipek 2 cm naylon 2 cm ipek 2 cm naylon 17 cm ipek varken, 11 enerji grubu için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği	72
Şekil 5.5	Bavul içinde sırasıyla, 17 cm ipek 2 cm naylon 2 cm RDX 2 cm naylon 17 cm ipek varken, 11 enerji grubu için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği	73
Şekil 5.6	Bavul içinde sırasıyla, 17 cm ipek 2 cm naylon 2 cm fruktoz 2 cm naylon 17 cm ipek varken, 11 enerji grubu için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği	74
Şekil 5.7	Bavul içinde sırasıyla, 17 cm ipek 2 cm naylon 2 cm melamin 2 cm naylon 17 cm ipek varken, 11 enerji grubu için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği	75
Şekil 5.8	Bavul içinde sırasıyla, 17 cm ipek 2 cm naylon 2 cm polietilen 2 cm naylon 17 cm ipek varken, 11 enerji grubu için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği	76
Şekil 5.9	Bavul içinde sırasıyla, 17 cm ipek 2 cm naylon 2 cm su 2 cm naylon 17 cm ipek varken, 11 enerji grubu için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği	77

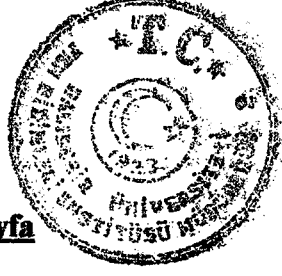


Şekil 5.10	Şekil 4.14 'te bavlul y doğrultusunda 1 'er cm hareket ettirildiğinde 2.25 MeV 'lik nötronlar için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği	
Şekil 5.11	Şekil 4.14 'te bavlul y doğrultusunda 1 'er cm hareket ettirildiğinde 2.68 MeV 'lik nötronlar için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği	79
Şekil 5.12	Şekil 4.14 'te bavlul y doğrultusunda 1 'er cm hareket ettirildiğinde 3.20 MeV 'lik nötronlar için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği	80
Şekil 5.13	Şekil 4.14 'te bavlul y doğrultusunda 1 'er cm hareket ettirildiğinde 3.75 MeV 'lik nötronlar için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği	81
Şekil 5.14	Şekil 4.14 'te bavlul y doğrultusunda 1 'er cm hareket ettirildiğinde 4.67 MeV 'lik nötronlar için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği	82
Şekil 5.15	Şekil 4.14 'te bavlul y doğrultusunda 1 'er cm hareket ettirildiğinde 5.00 MeV 'lik nötronlar için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği	83
Şekil 5.16	Şekil 4.14 'te bavlul y doğrultusunda 1 'er cm hareket ettirildiğinde 5.81 MeV 'lik nötronlar için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği	84
Şekil 5.17	Şekil 4.14 de bavlul y doğrultusunda 1 'er cm hareket ettirildiğinde 6.50 MeV 'lik nötronlar için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği	85
Şekil 5.18	Şekil 4.14 'te bavlul y doğrultusunda 1 'er cm hareket ettirildiğinde 7.70 MeV 'lik nötronlar için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği	86
Şekil 5.19	Şekil 4.14 'te bavlul y doğrultusunda 1 'er cm hareket ettirildiğinde 8.00 MeV 'lik nötronlar için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği	87
Şekil 5.20	Şekil 4.14 'te bavlul y doğrultusunda 1 'er cm hareket ettirildiğinde 9.90 MeV 'lik nötronlar için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği	88
Şekil 5.21	Şekil 4.14 'te bavlul y doğrultusunda 1 'er cm hareket ettirildiğinde 2.25 MeV 'lik nötronlar için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği	89



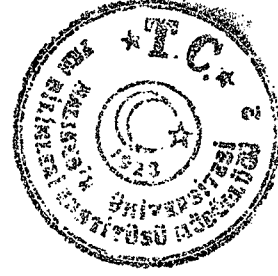
Şekil 5.22	Şekil 4.14 'te bavul y doğrultusunda 1 'er cm hareket ettirildiğinde 2.68 MeV 'lik nötronlar için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği	
Şekil 5.23	Şekil 4.14 'te bavul y doğrultusunda 1 'er cm hareket ettirildiğinde 3.20 MeV 'lik nötronlar için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği	91
Şekil 5.24	Şekil 4.14 'te bavul y doğrultusunda 1 'er cm hareket ettirildiğinde 3.75 MeV 'lik nötronlar için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği	92
Şekil 5.25	Şekil 4.14 'te bavul y doğrultusunda 1 'er cm hareket ettirildiğinde 4.67 MeV 'lik nötronlar için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği	93
Şekil 5.26	Şekil 4.14 'te bavul y doğrultusunda 1 'er cm hareket ettirildiğinde 5.00 MeV 'lik nötronlar için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği	94
Şekil 5.27	Şekil 4.14 'te bavul y doğrultusunda 1 'er cm hareket ettirildiğinde 5.81 MeV 'lik nötronlar için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği	95
Şekil 5.28	Şekil 4.14 'te bavul y doğrultusunda 1 'er cm hareket ettirildiğinde 6.50 MeV 'lik nötronlar için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği	96
Şekil 5.29	Şekil 4.14 'te bavul y doğrultusunda 1 'er cm hareket ettirildiğinde 7.70 MeV 'lik nötronlar için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği	97
Şekil 5.30	Şekil 4.14 'te bavul y doğrultusunda 1 'er cm hareket ettirildiğinde 8.00 MeV 'lik nötronlar için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği	98
Şekil 5.31	Şekil 4.14 'te bavul y doğrultusunda 1 'er cm hareket ettirildiğinde 9.90 MeV 'lik nötronlar için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği	99
Şekil 5.32	Enerji - Akı grafiği: En üstten sı rası yla 1. eğri 40 cm'lik bavulun içi boşken; 2. eğri yalnız ipek varken; 3. eğri sı rası yla, 17 cm ipek, 2 cm naylon, 2 cm ipek, 2 cm naylon ve 17 cm ipek varken, 4. eğri sı rası yla, 17 cm ipek, 2 cm naylon, 2 cm RDX, 2 cm naylon ve 17 cm ipek varkenki durumu göstermektedir	100

ÇİZELGE LİSTESİ



Sayfa

Çizelge 2.1	Kalibrasyon Kaynakları	10
Çizelge 2.2	Şekil 2.11-Şekil 2.19 'dan Elde Edilen Uyum Parametreleri	19
Çizelge 4.1	Şekil 4.14 'te bavul içerisine konulan değişik maddelerin yoğunluk ve atomik kütleleri	65



ÖNSÖZ

Bana çalışmalarım sırasında bilimsel çalışma ruhunu aşıl原因an, çok değerli biligileriyle yardımcı olan, yol gösteren ve sabırla bütün sorularımı dinleyip içtenlikle cevaplayan değerli tez hocam Prof.Dr. M.Nizamettin ERDURAN 'a saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

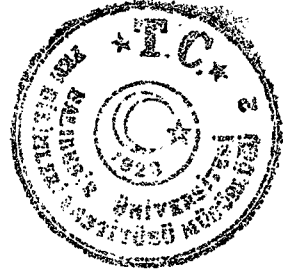
Zor günlerde umut veren, çalışmanın her aşamasında katkılarını esirgemeyen bir arkadaş ve dost gibi davranan değerli tez hocam Yrd.Doç.Dr.Ömer GEMİCİ 'ye içtenlikle teşekkür ediyorum.

Kahrımı çeken, beni her zaman sabırla dinleyen, bana değişik fikirler veren eşime; maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme teşekkür gönül borcumdur.

Ayrıca bu tez çalışması sırasında desteğini esirgemeyen, olanaklarını sunan ÇNAEM ve BAÜ Necatibey Eğitim Fakültesi Fizik Eğitimi Bölümü elemanlarına teşekkür ediyorum.

Balıkesir, 1998

Hüseyin KÜÇÜKÖZER

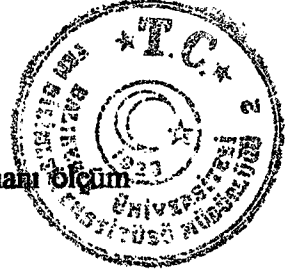


1 GİRİŞ

Keşfedildikleri 1932 yılından beri, nötronlar nükleer fiziğin üzerinde en fazla araştırma yapılan konularından biri olmuş, temel fizik çalışmalarıyla birlikte birçok uygulama alanında önemli bir araç olarak kullanılmışlardır. Nötronlara olan ilginin en temel nedeni, yüksüz olmaları nedeniyle atom çekirdeklerinin içine kolayca girebilmeleridir. Bu özellikleri dolayısıyla nötronlar sadece atom çekirdeğinin yapısı ile ilgili çalışmalarda değil, Plazma Fiziği, Yoğun Madde Fiziği, vb alanlarındaki temel ve uygulamalı çalışmalarda da vazgeçilmez bir araç olmuştur.

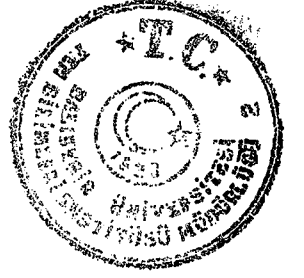
Son yıllarda özellikle hızlı nötronlar, çok değişik uygulama alanlarında kullanılmaya başlanmıştır. Bunlardan en son geliştirilene hızlı nötronlar kullanılarak yapılan patlayıcı ve uyuşturucu taylorleridir. Hızlı nötron kullanan teknikler, özellikle Hidrojen, Karbon, Oksijen ve Azot gibi hafif elementlerin miktarlarının belirlenmesinde istenilen sonuçları vermeye başlamışlardır. Kullanılmakta olan birçok tekniğin içinde Hızlı Nötron Geçirim Spektroskopisi (HNGS) ve Darbelenmiş Nötron Aktivasyon Analizi (DNAA) en çok ilgi çekenleridir [1].

HNGS, hafif elementlerin nötron tesir kesitlerindeki özel yapıyı kullanarak, bu elementlerin yoğunluklarını, ölçülen nötron geçirim oranlarını kullanarak belirlenmesine olanak sağlar. Bilindiği gibi, patlayıcılar, bir bavul veya kargo içinde bulunabilecek diğer bileşiklere göre azot ve oksijen içeriği bakımından zengin ve karbon içeriği olarak fakir bileşiklerdir. Geçirim spektrumu, nötronların detektörle kaynak arasındaki yol üzerinde bulunan malzemeyi oluşturan elementlerin toplam tesir kesitlerine bağlıdır ve bu bağımlılık söz konusu hafif elementlerin toplam tesir kesitlerinde görülen rezonanslar aracılığıyla bize çok önemli bilgileri sağlayabilir. Bu konuda ilk çalışma, büyük cisimler içerisindeki Hidrojen miktarlarının belirlenmesi Overley tarafından başlatılmıştır [2]. Overley'in çalışmasında darbelendirilmiş çok



enerjili beyaz nötronlar kullanılmış ve nötron enerjileri Nötron Uçuş Zamanı Ölçüm tekniği kullanılarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada ise HNGS 'ne dayalı patlayıcı belirleme yönteminin yeni bir uyarlaması olacak olan, bir izotopik nötron kaynağı ($^{241}\text{Am} - ^9\text{Be}$) ve Tepilen-Proton Spektrumu Açma Yöntemi ile bavuullarda patlayıcı belirlenmesi yapılabirliği Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi 'nde (ÇNAEM) bulunan deneysel düzeneklerin özellikleri göz önünde tutularak araştırılmıştır.



2 DENEY DÜZENEĞİ

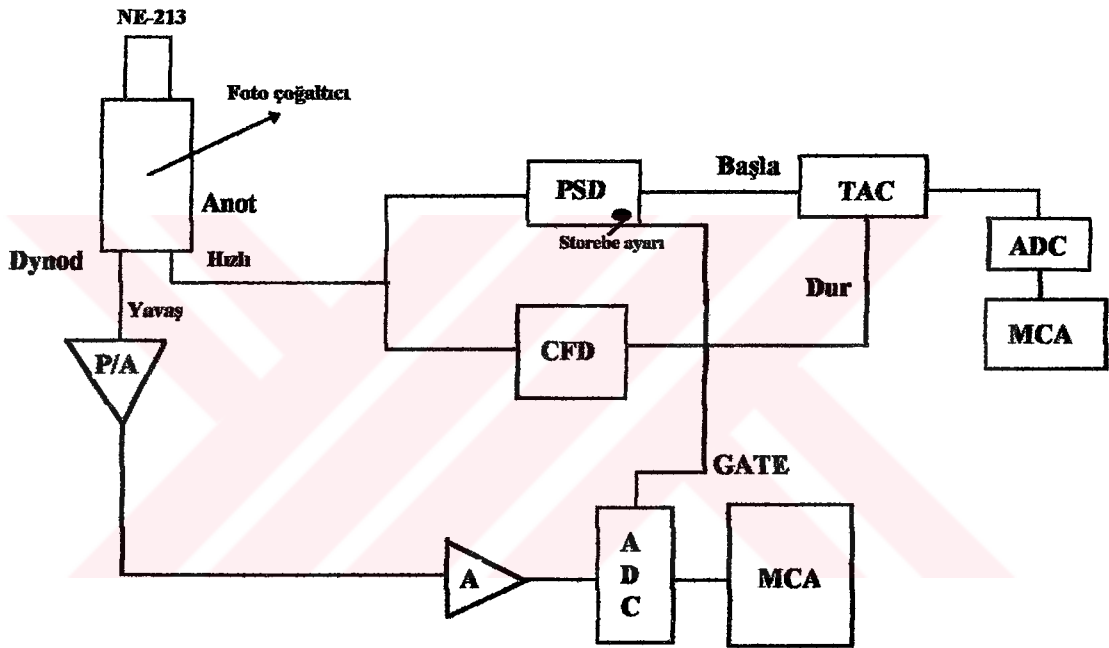
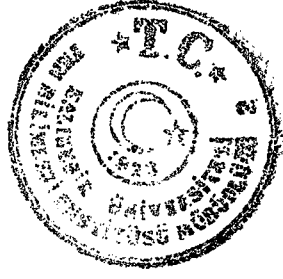
2.1 Detektör

Hızlı nötronların deteksiyonunda kullanılan yöntemler nötronların hafif çekirdeklerden esnek saçılması esasına dayanır. Etkileşmede nötronun kinetik enerjisinin bir kısmı hedef çekirdeğe aktarılır ve sonuçta tepilen çekirdekler oluşur. Hedefler daima hafif çekirdeklerden oluşur. Hidrojen, sintilasyon maddesinde en fazla bulunan çekirdektir. Etkileşmelerde eğer hedef çekirdek hidrojen ise “tepilen protonlar” olarak isimlendirilirler. Bu deteksiyonda kullanılan aletlere de “tepilen proton detektörleri” denir.

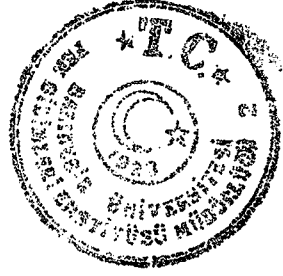
Etkileşmeden önce hedef çekirdekler durgun kabul edilir. Bu yüzden gelen nötron enerjisi etkileşmeden sonra oluşan ürünlerin kinetik enerji toplamına eşittir. Hidrojen ile tek bir saçılmada hidrojenin enerjisi 0’dan nötron enerjisine kadar değerler alabilir [3].

Bu çalışmada NE-213 sıvı sintilatörü kullanılmıştır. Sıvı sintilatörler organik sintilatörlerin uygun bir çözücünde çözülmesi ile üretilmiştir. NE-213 sıvı sintilatörü gamma ve nötron ayırımına olanak sağladığından tercih edilir [4].

Sıvı sintilatörümüzün yoğunluğu 0.784 g/cm^3 olup kırılma indisi 1.508 ’dir. Kaynama sıcaklığı $141 \text{ }^\circ\text{C}$ ’dir. Yayınlanan ışılının maksimum dalga boyu 425 nm ’dir. Sıvı içinde hidrojen atomunun karbon atomuna oranı ise 1.213 ’tür.



Şekil 2.1 Nötron enerji test spektrumunu elde etmek için kullanılan elektronik düzenek.



2.2 Önyükselteç (Preamplifikatör)

Sayacın, elektronik birimler ile empedans uygunluğunu ve sayaç pulsunun zayıflamamasını sağlayan bileşendir. Zayıflamayı önlemek için yükselteç ile sayaç kısa kablolarla bağlanmıştır.

2.3 Lineer yükselteç (Amplifikatör)

Ön yükselteçten gelen pulsların boyunu lineer olarak büyüten bileşendir. Amplifikatör kullanımında en önemli nokta doğrusallık sınırı içinde kalabilmektir.

2.4 Zaman-Genlik Çeviricisi (TAC)

Bir başlatma pulsu ile ikinci gelen puls arasındaki zamanı, yüksekliği bu zamanla orantılı puls biçimine dönüştüren çevrimdir. Belli bir başlama zamanına göre pulsların zamana bağlı dağılımların incelenmesinde kullanılır.

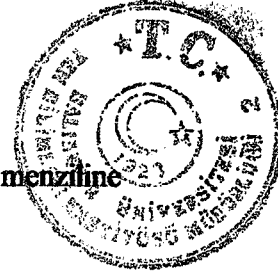
TAC, daha sonra anlatılacak olan Puls Şekli Ayırıcısı konusunda tekrar ele alınacaktır.

2.5 Çok Kanallı Analizör (MCA)

Deneyde elde edilen pulsları boylarına göre sıralayan çevrimdir. Bu çevrimin diyagramı, elektroniğin somuna bağlantılanarak nükleer parçacık enerji dağılımları elde edilir. Birden fazla sayıda tek kanallı analizörü içerir [5].

2.6 Sabit Oran Ayırıcısı (CFD)

Birçok uygulamada, radyasyonun detektöre varış anı hakkındaki bilgiyle özellikle ilgilenilir. Zamanlamanın yerine getirilmesindeki doğruluk, kullanılan detektör ve sinyal işlemede kullanılan elektroniğin tipinin her ikisine de bağlıdır. Bir



sistemin zamanlama karakteristikleri sinyal darbelerinin dinamik menziline (maksimum darbe yüksekliğinin minimum olana oranı) çok sıkı bağlıdır.

Zamanlama sistemlerinde ana amaç pulsları aynı çıkış zamanına getirmektir.

Bu iş için 4 farklı yöntem vardır. Bunlar:

- Sıfırı geçme zamanı;
- Sabit oran zamanlaması;
- ARC zamanlaması;
- Kenar etkili zamanlamadır [6].

Bu çalışmada, zamanlama sistemi için sabit oran ayırıcısı kullanıldı.

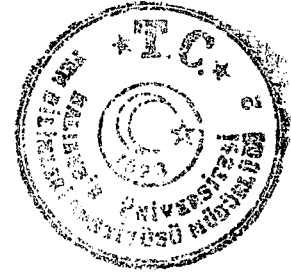
2.7 Puls Şekli Ayırıcısı (PSD)

Puls şekli ayırıcısı (PSD), aynı detektördeki farklı parçacıklar tarafından üretilen pulsları ayırtmak için kullanılır. PSD 'nin birçok uygulama alanı vardır. Bunlardan en yaygın biçimde kullanılanın görevi, organik sintilatörlerde gammalar ve nötronlar tarafından üretilen pulsları ayırtmaktır. Nötron-proton ve gamma-elektron etkileşimlerinin organik sintilatördeki sönüm zamanları farklıdır. Bu özellik PSD 'de temel olarak kullanılır.

PSD, sıfır geçiş noktası ile puls başlangıcındaki zaman aralığına dayanır. Puls genliğinden bağımsız ama puls şekline bağımlı olan zaman aralığı TAC ile bir pulsa dönüştürülür. TAC 'den elde edilen puls, sayma sistemine giriş için kullanılır.

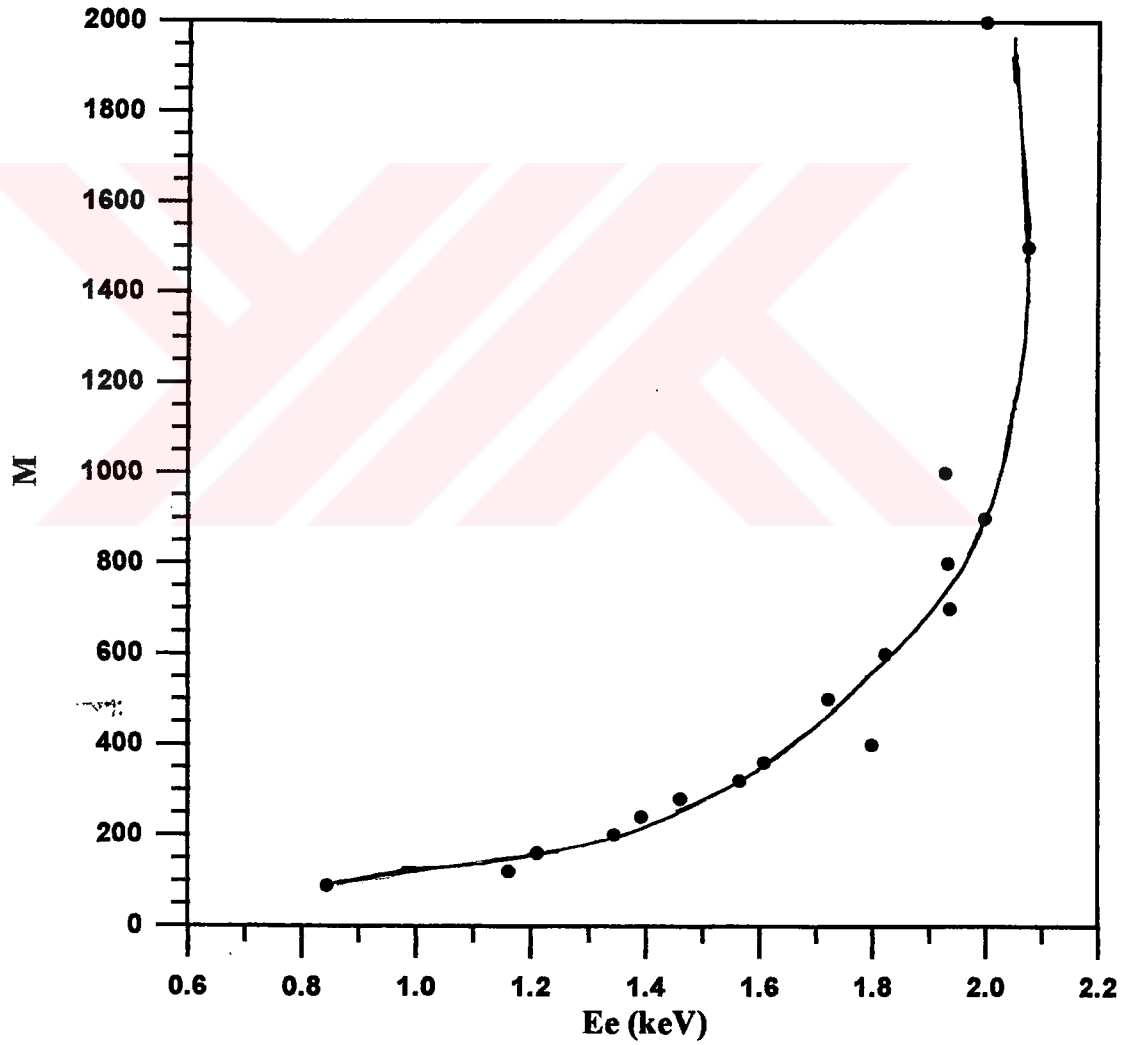
PSD elektron ünitesinde $n+\gamma$ ve n olmak üzere iki anahtar bulunmaktadır. Eğer çok kanallı analizöre sadece nötronların gelmesi isteniyorsa anahtarın n kısmına getirilmesi gerekir. Nötronların ve gammaların her ikisinin de analizöre gelmesi istenirse anahtarın $n+\gamma$ konumuna getirilmesi gerekir. Şekil 2.2 'de anahtar $n+\gamma$ konumunda ikenki durum gösterilmiştir.

PSD 'nin ne kadar etkili yapıldığının ölçütü M (Darbe biçimi (n/γ) ayırım gücü)' dir. M , Şekil 2.2 'de gösterilmiştir. M değerinin büyük olması $n-\gamma$ ayırımında istenilen bir durumdur. M değeri;

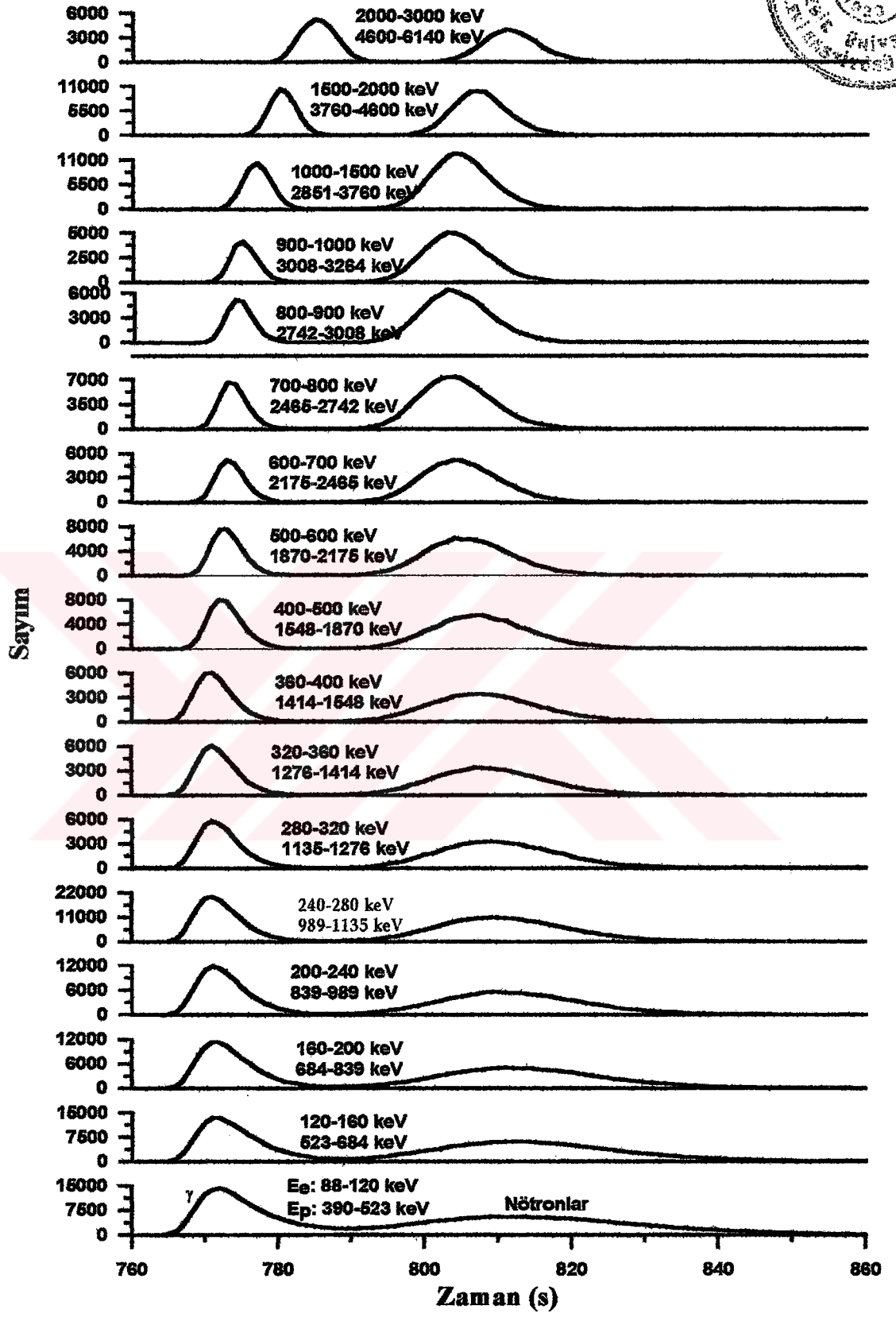
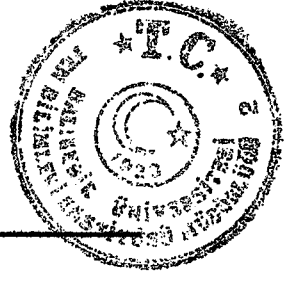


$$M = \frac{S}{\Gamma_{\gamma} + \Gamma_n} \quad (2.1)$$

eşitliği ile bulunur [7-8]. Burada S değeri, gamma ve nötron pikleri arasındaki uzaklık, Γ_{γ} ve Γ_n ise sırasıyla gamma ve nötronların yarı maksimum düzey genişliği (FWHM) dir.



Şekil 2.2 M (Darbe biçimi (n/γ) ayırım gücü) 'nin elektron enerjisine göre değişimi.





2.8 Nötron Kaynağı

α parçacığı uygun bir hedef madde ile etkileştiğinde küçük bir bağımsız nötron kaynağı üretilir. Enerjik α parçacıkları, ^{241}Am radyoizotopunun bozunmasından elde edilir. Hedef madde olarak berilyum seçildiğinde maksimum nötron verimi elde edilir.



reaksiyonundan 10 Ci 'lik bir ^{241}Am kaynağı olması durumunda saniyede yaklaşık 10^7 tane nötron elde edilir. Reaksiyon sonunda açığa çıkan enerji (Q), 5.71 MeV 'dir

Alfaların çoğu hedef içinde tamamen durdurulur ve yaklaşık 10^4 'te 1 berilyum çekirdeği ile tepkime olur [9].

2.9 NE-213 Sıvı Sintilatörün Enerji Kalibrasyonu

Organik sintilatörlerde, nötron-proton saçılmasında, tepilen protonun enerjisi ile elde edilen ışık çıkışı arasındaki bağıntı lineer değildir. Buna karşın gamma-elektron saçılmasında elektron enerjisi ile elde edilen ışık çıkışı arasındaki bağıntı $E_e \geq 100$ keV için oldukça lineerdir. Bu yüzden protonların ışık çıkışlarının proton enerjisi ile olan değişiminde, elektron ışık çıkışına bağlı olarak ölçülme yoluna gidilmiştir [10-11].

1 MeV 'lik gamma ışınının verdiği ışık çıkışının aymsını vermesi için 2 ya da 3 MeV 'lik bir nötrona gereksinim vardır [12].

Elektronlar için ışık çıkışı eğrisini tanımlayan kalibrasyon noktaları, ^{22}Na , ^{60}Co , ^{12}C , ^{54}Mn , ^{65}Zn , ^{228}Th , ^{137}Cs , ^{152}Eu gamma kaynakları ile elde edilen Compton enerji spektrumları ile tanımlanabilir. Detektöre E_γ enerjisi ile gelen γ fotonlarına ait



Compton elektronlarının maksimum enerjisi, E_c puls yükseklik dağılımındaki Compton kenarı ile doğrudan ilgilidir ve

$$E_c = \frac{2 E_\gamma^2}{m_0 c^2 + 2 E_\gamma} \quad (2.3)$$

ifadesiyle verilir. (2.2) eşitliğinde $m_0 c^2$ elektronun durgun kütle enerjisi, E_γ foton enerjisidir [13].

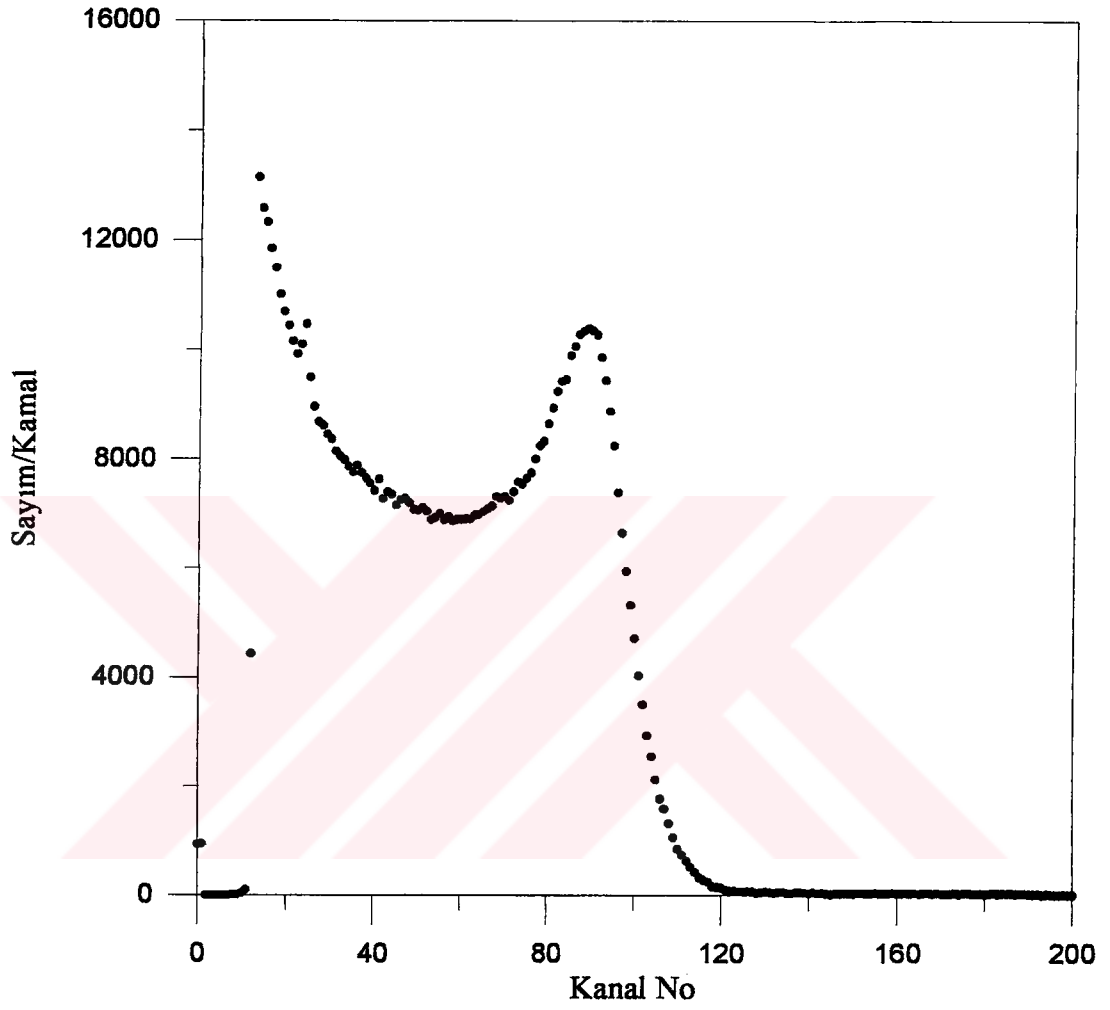
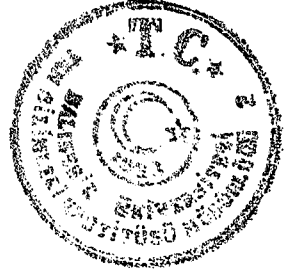
Çizelge 2.1 'de kalibrasyon için kullanılan kaynakların gamma enerjileri ve Compton enerjileri verilmiştir.

Çizelge 2.1 Kalibrasyon Kaynakları

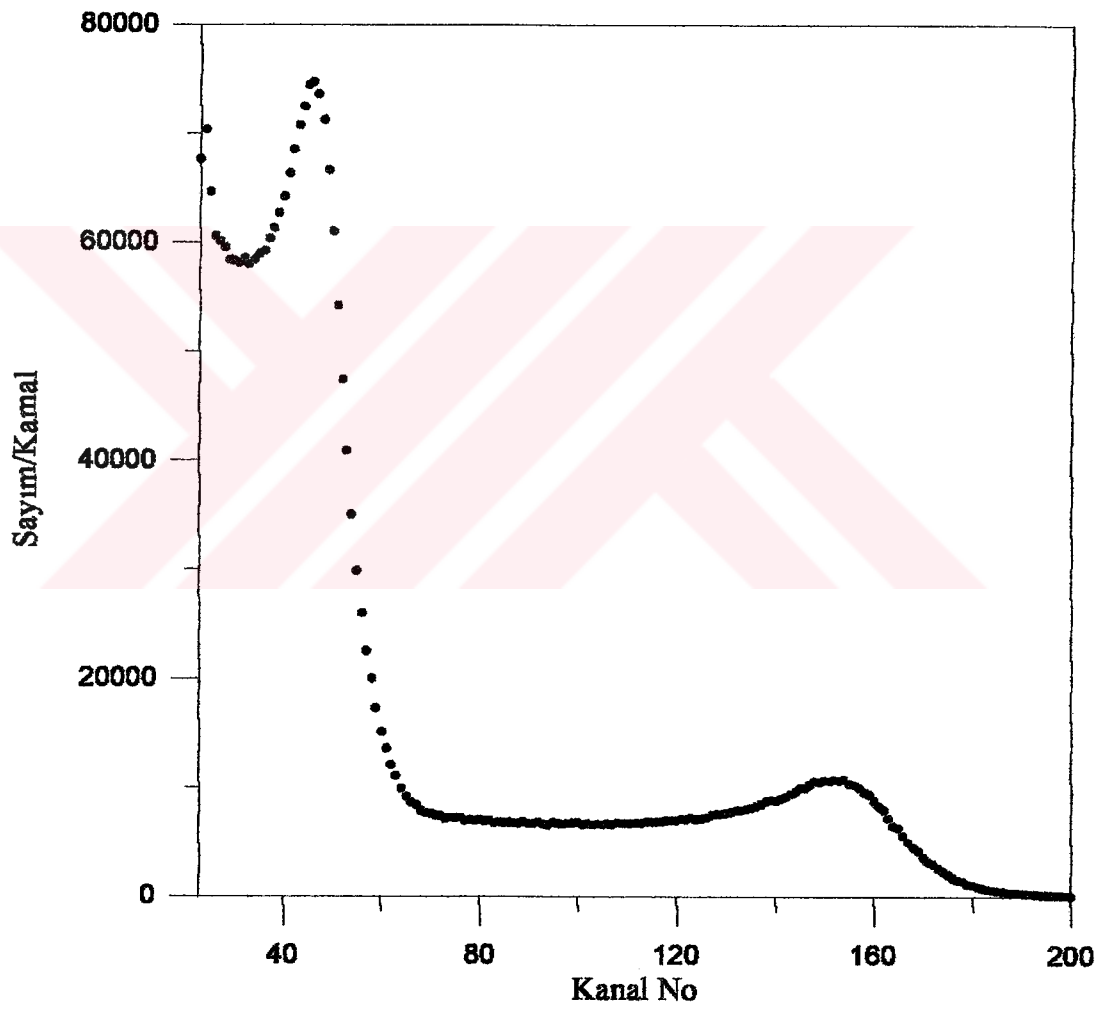
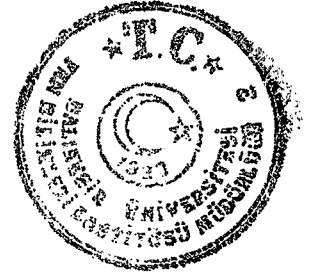
Kaynak	E_γ Enerjisi (MeV)	E_c Enerjisi (MeV)
^{22}Na	1.275	1.061
^{22}Na	0.511	0.341
^{60}Co	1.332	1.118
$^{12}\text{C}^+$	4.420	4.178
^{54}Mn	0.835	0.639
^{65}Zn	1.115	0.908
^{228}Th	2.614	2.382
^{137}Cs	0.662	0.477
^{152}Eu	1.408	1.192

+ Burada ^{12}C 'nin uyarılmış seviyesinden gelen E_γ enerjileri için kullanılmıştır.

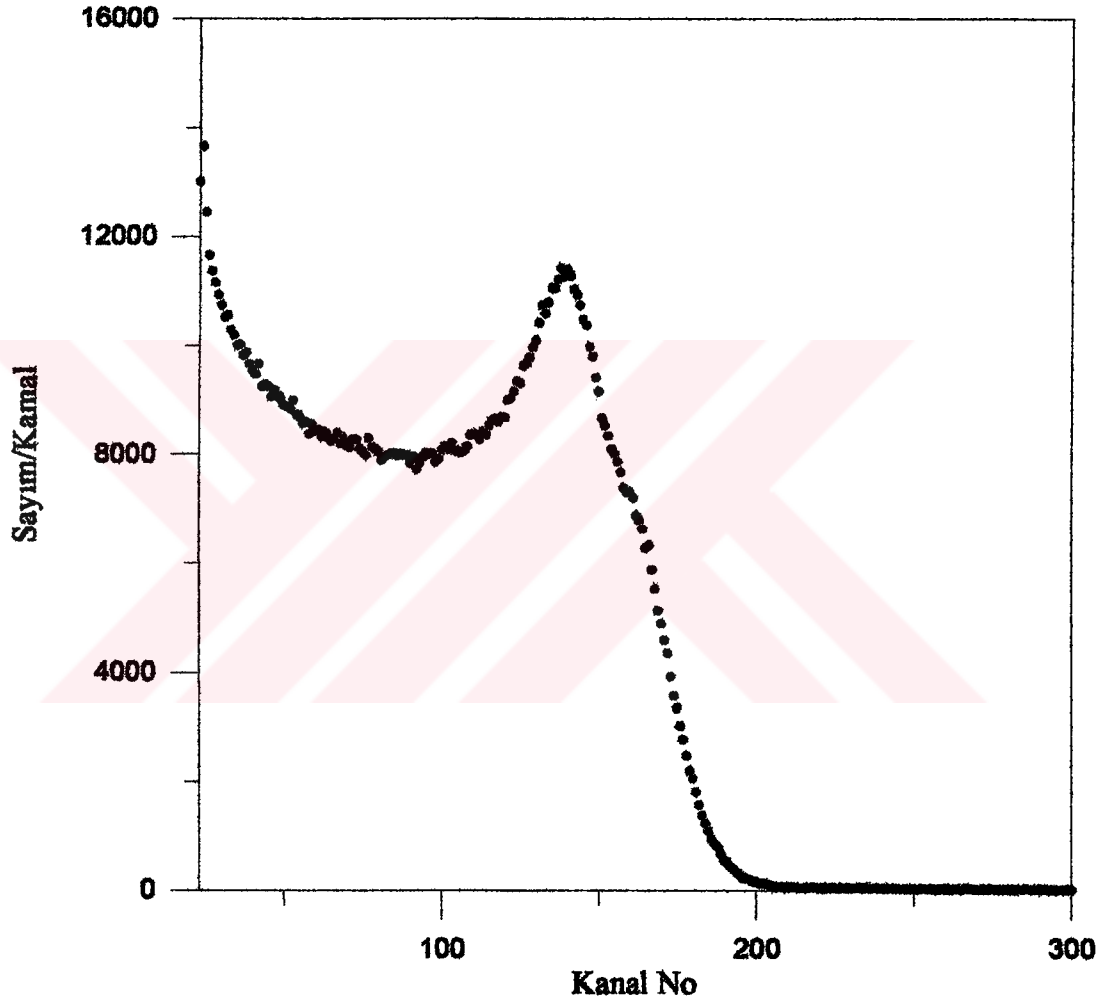
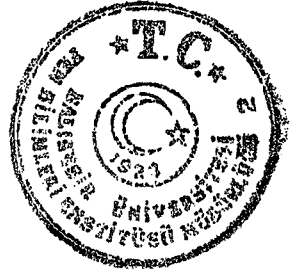
Şekil 2.3 'ten başlayıp Şekil 2.10 'a kadar olan spektrumlar Çizelge 2.1 'de verilen gamma kaynakları kullanılarak elde edilen gammalara ait puls yüksekliği spektrumlarını göstermektedir.



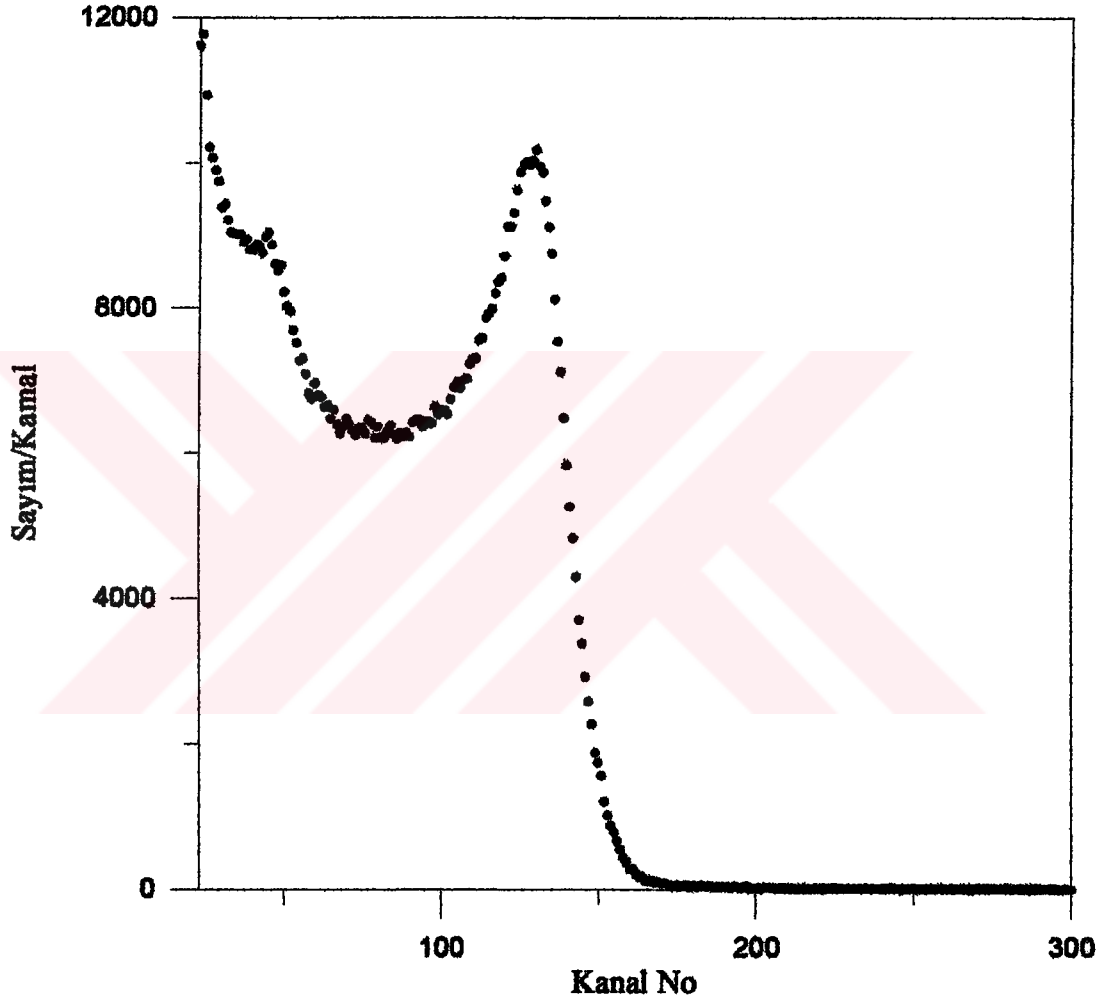
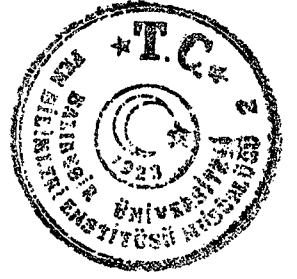
Şekil 2.4 ^{54}Mn kaynağının puls yüksekliği spektrumu.



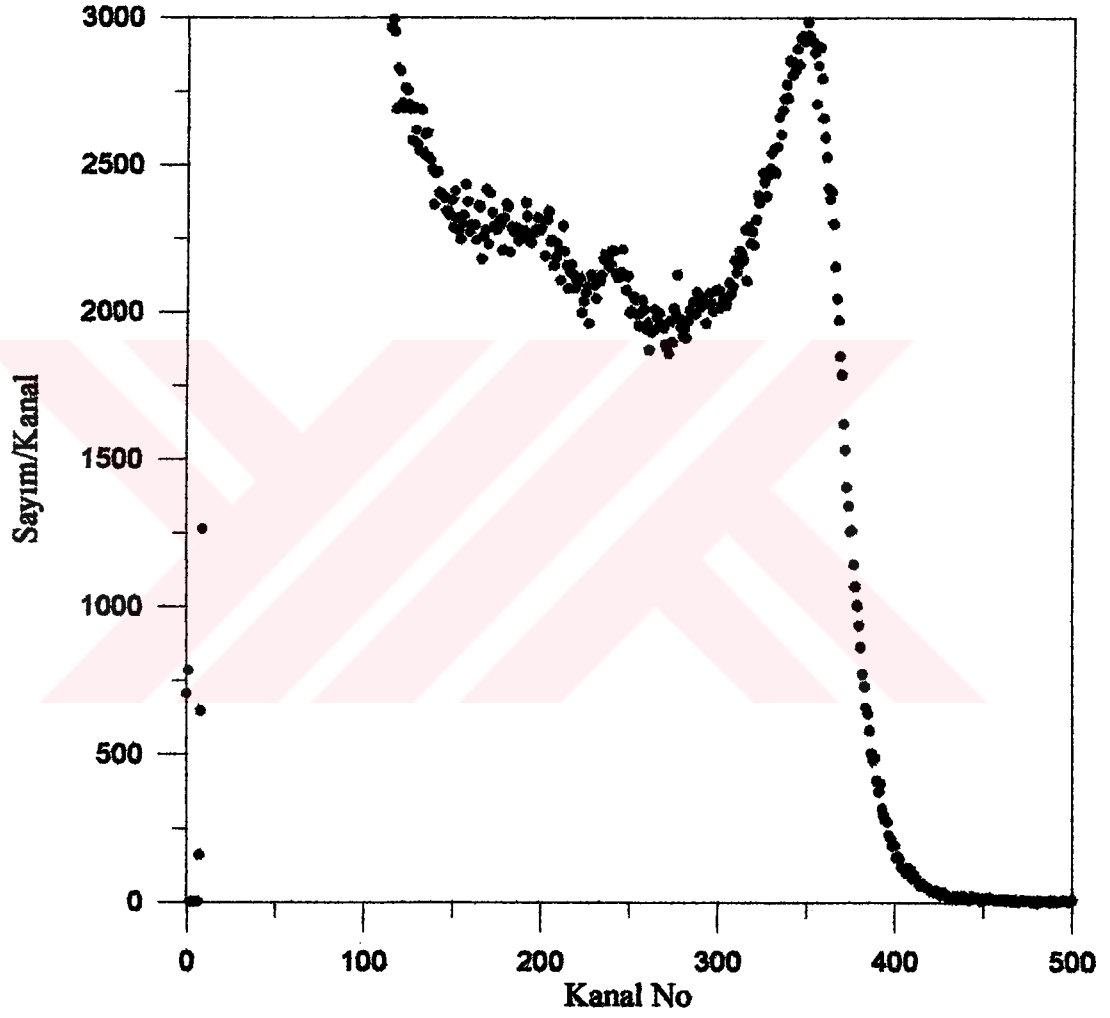
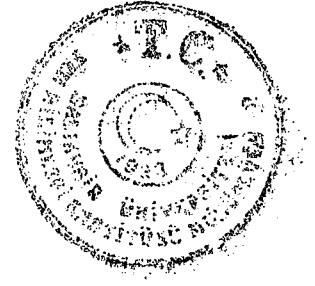
Şekil 2.5 ^{22}Na kaynağının puls yüksekliği spektrumu.



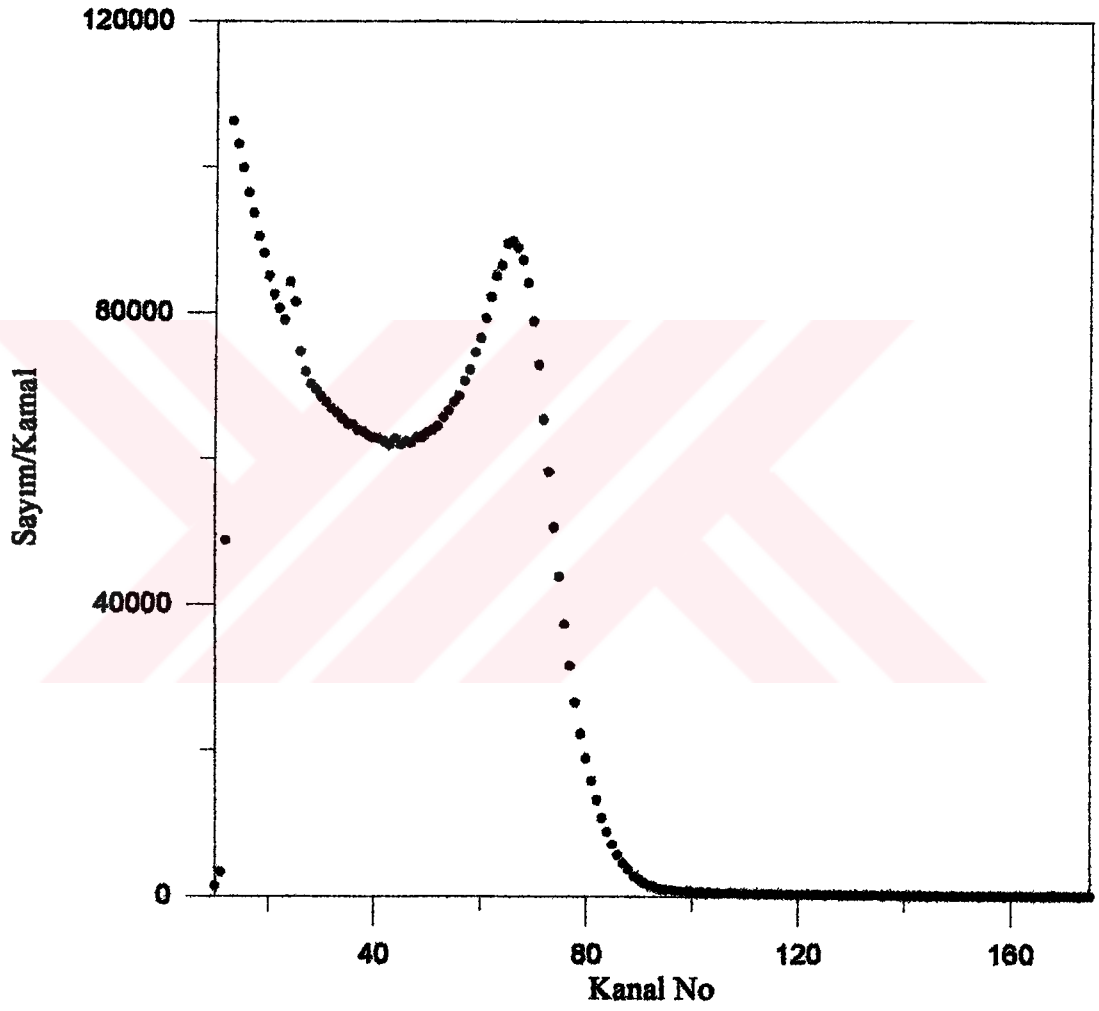
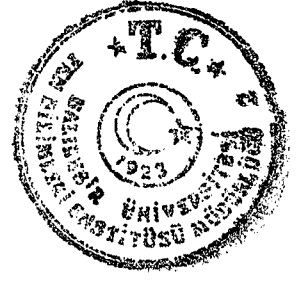
Şekil 2.6 ^{60}Co kaynağının puls yüksekliği spektrumu.



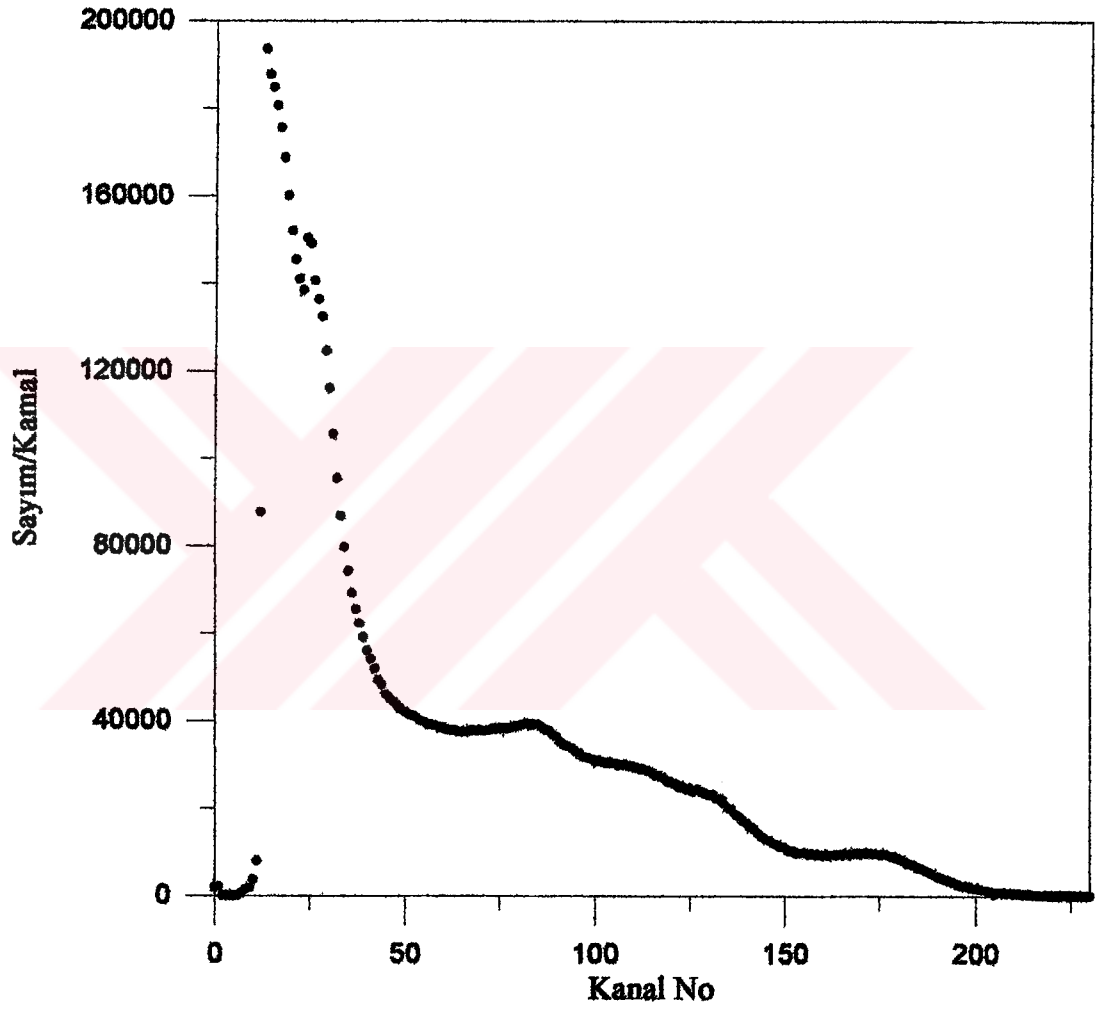
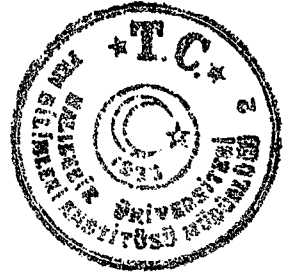
Şekil 2.7 ^{65}Zn kaynağının puls yüksekliği spektrumu.



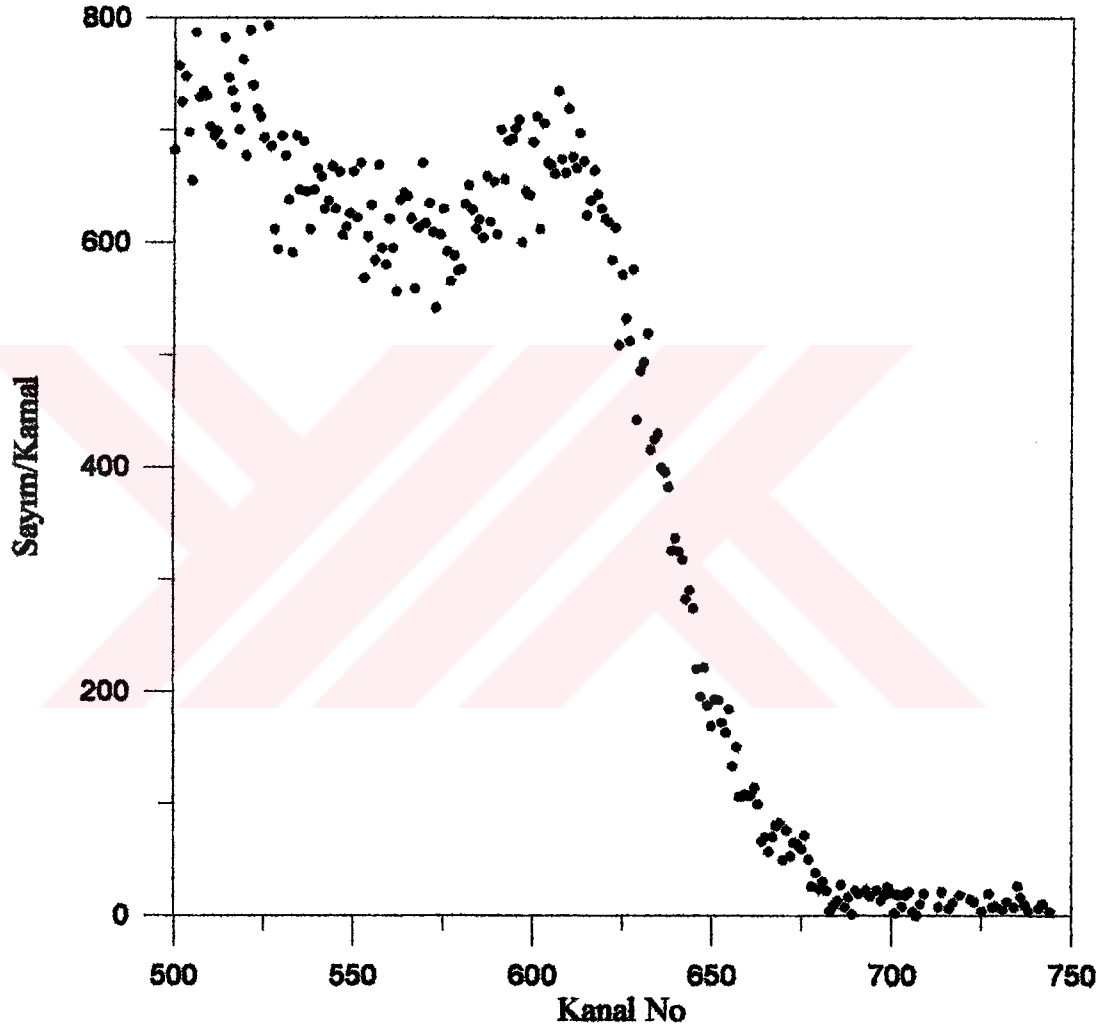
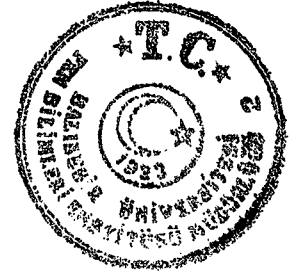
Şekil 2.8 ^{228}Th kaynağının puls yüksekliği spektrumu.



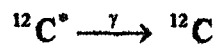
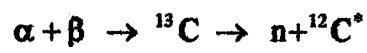
Şekil 2.9 ^{137}Cs kaynağının puls yüksekliği spektrumu.



Şekil 2.10 ^{152}Eu kaynağının puls yüksekliği spektrumu.



Şekil 2.11 ^{12}C kaynağının puls yüksekliği spektrumu.





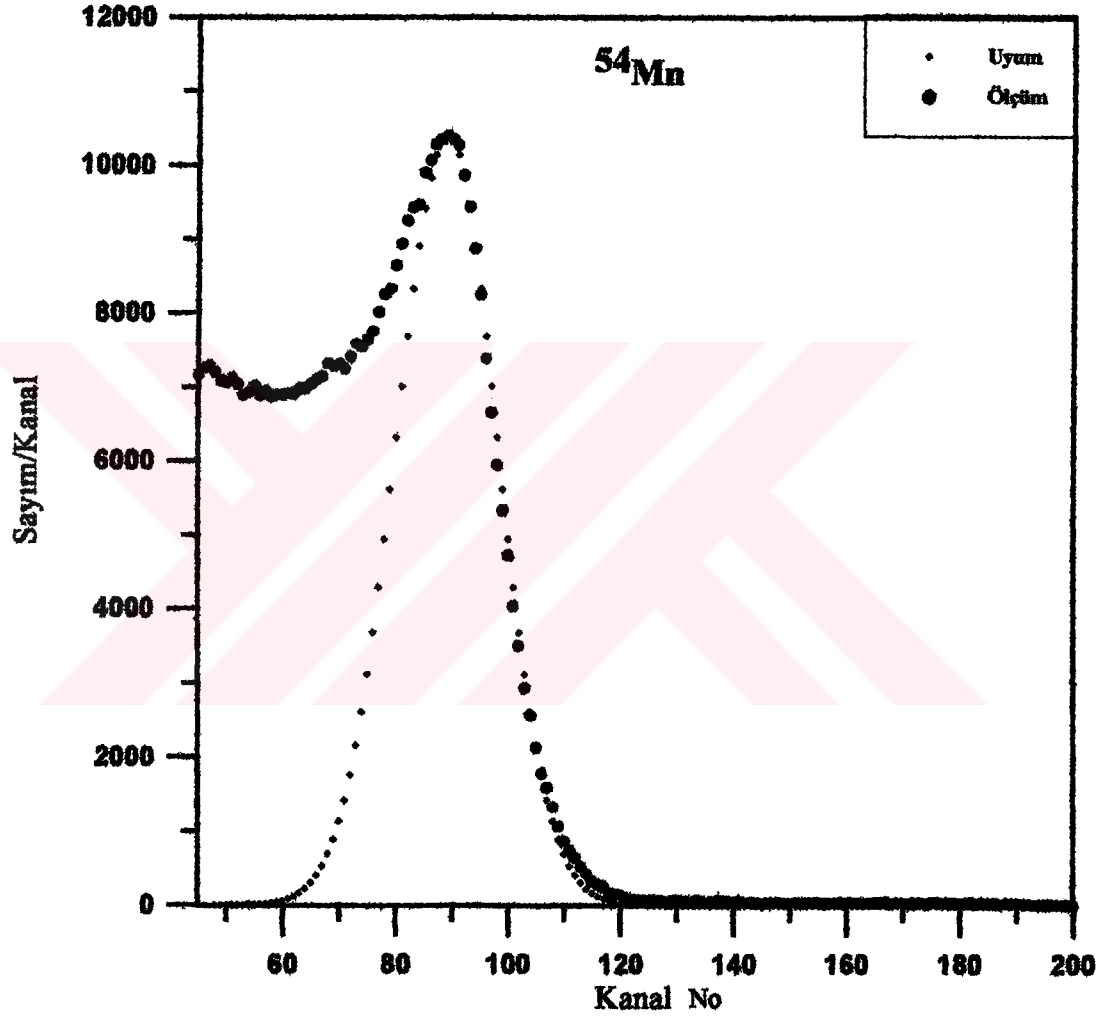
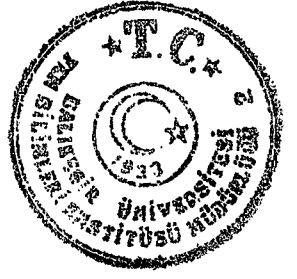
Eğer Detektörün ayırdedebilirliği kusursuz ise Compton dağılımının sırtı dikeydir. Puls yüksekliği spektrumunda Compton sırtının gerçek yeri E_c elektron enerjisi saptanıp elde edilebilir. Fakat, sistemin sonlu ayırdedebilirliği, elektronların NE-213 içindeki oldukça büyük menzilleri ve foton çoğaltıcısının istatistiksel davranışı, ölçülmüş puls yüksekliği dağılımından Compton sırtının Gaussien şeklinde olduğu ve Compton kenarının maksimum yüksekliğin 2/3 'üne karşılık gelen kanal numarası olduğu farz edilerek belirlenmiştir [14]. Şekil 2.11 'den Şekil 2.19 'a kadar olan şekiller elde edilen uyumları göstermektedir.

Şekil 2.12 'den Şekil 2.19 'a kadar olan spektrumlardan elde edilen uyum parametreleri Çizelge 2.2 'de gösterilmiştir.

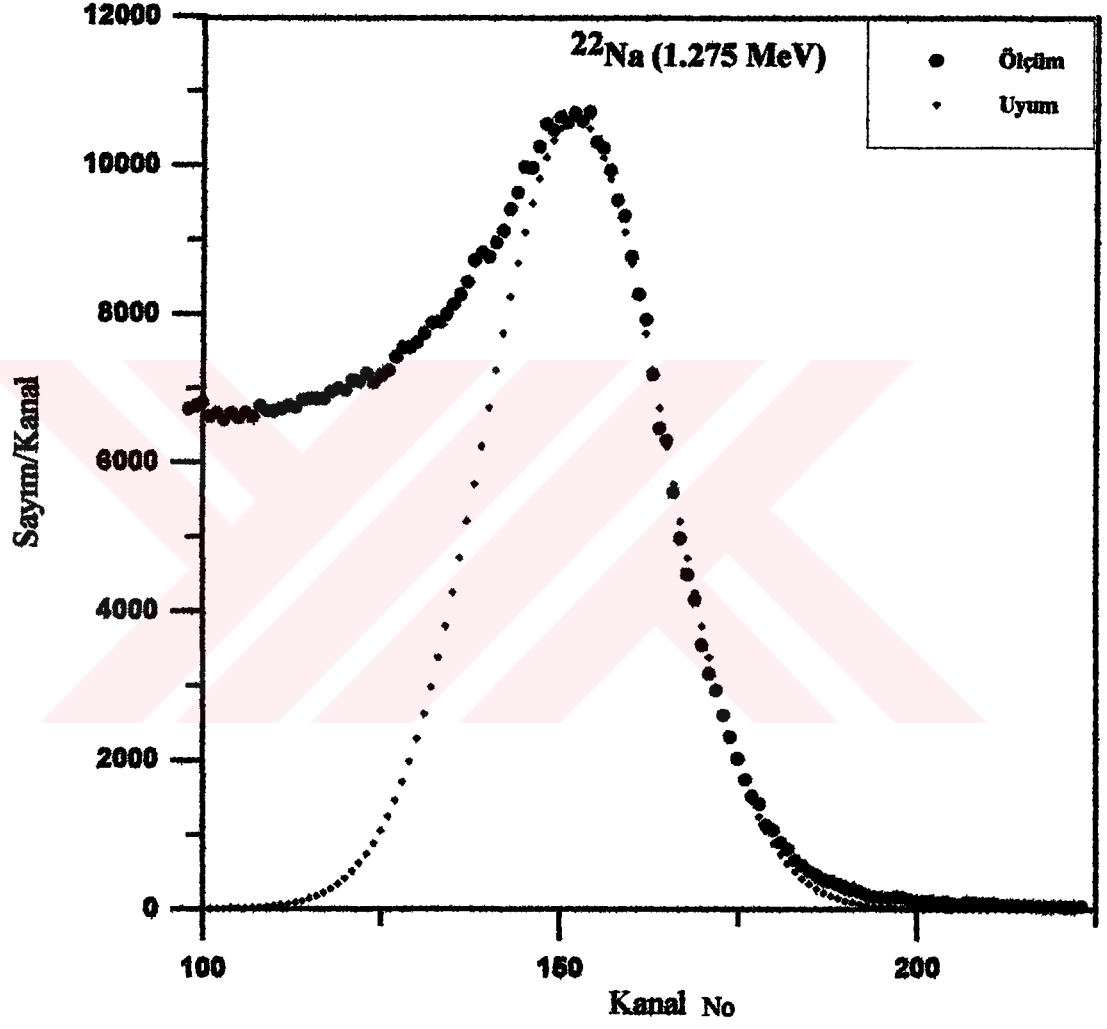
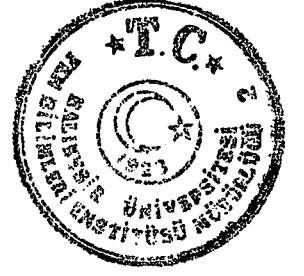
Çizelge 2.2 Şekil 2.11-Şekil 2.19 'dan Elde Edilen Uyum Parametreleri

E_c (MeV)	Compton Kanalı	L	ΔL	$\Delta L/L$
1.275	163.2	0.854	0.155	0.181
0.511	51.8	0.271	0.079	0.291
1.332	170.3	0.891	0.175	0.196
4.420	631	3.305	0.348	0.105
0.835	96.9	0.508	0.111	0.218
1.115	138.5	0.725	0.125	0.172
2.614	367	1.923	0.241	0.125
0.662	72.8	0.382	0.096	0.251
1.408	185.2	0.970	0.176	0.182

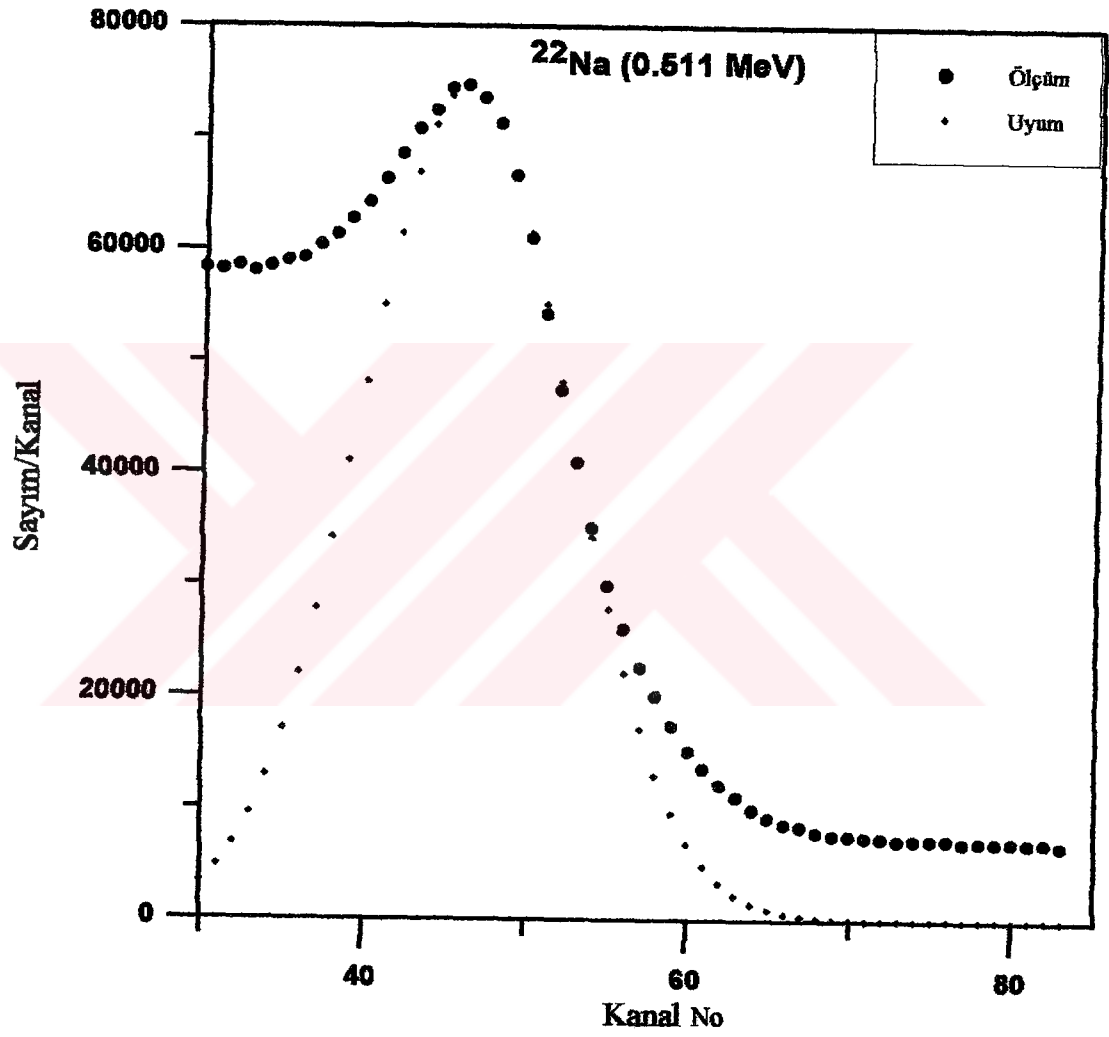
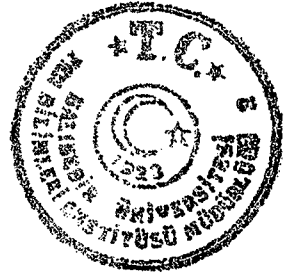
Çizelge 2.2 'de gösterilen bilgiler ile elde edilen enerji kalibrasyonu Şekil 2.20 ve NE-213 sıvı sintilasyon detektörünün gamma için enerji ayırdedebilirliğinin ($\Delta L/L$) göreli puls yüksekliğine (L) göre değişimi Şekil 2.22 'de gösterilmiştir.



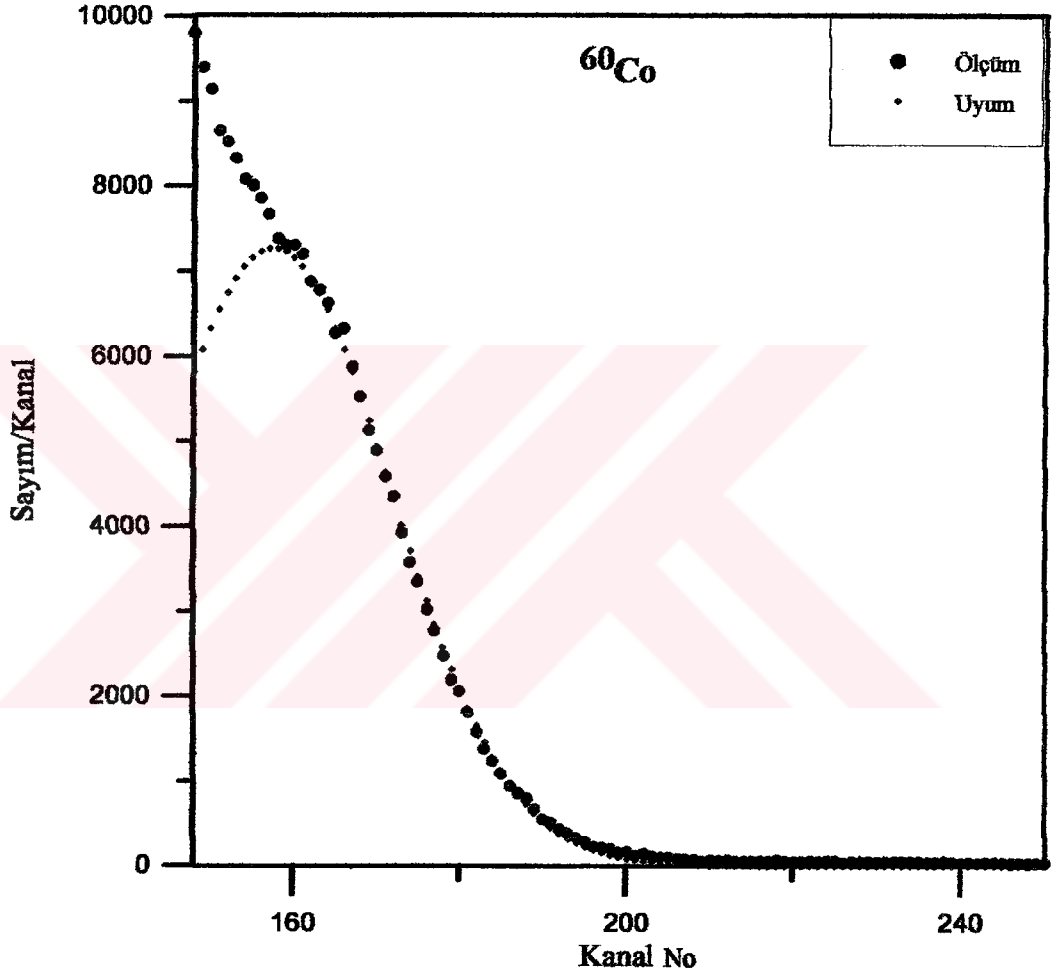
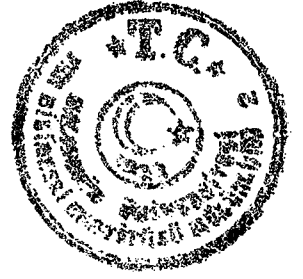
Şekil 2.12 ^{54}Mn 'nin 0.835 MeV gammalara ait Compton sırtı ve Gaussien uyumu.



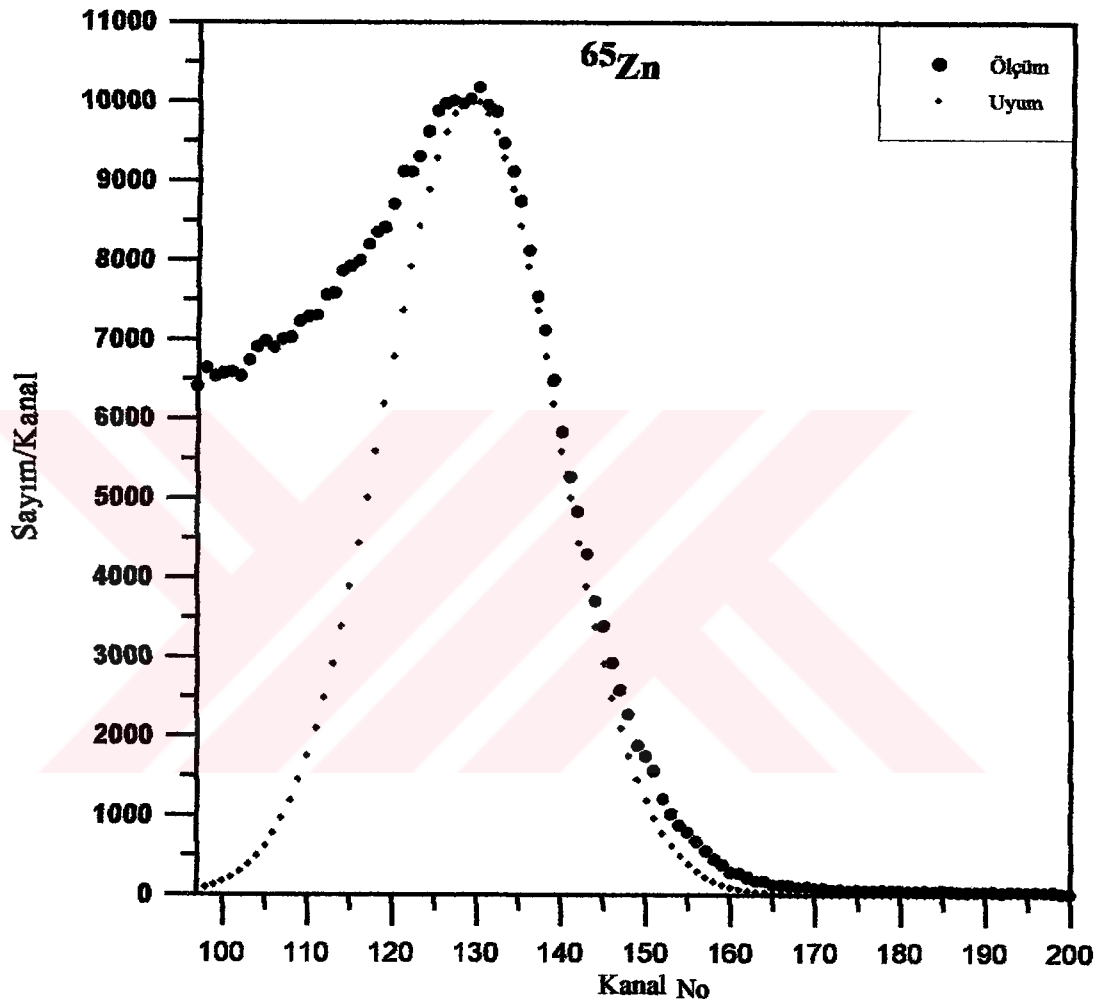
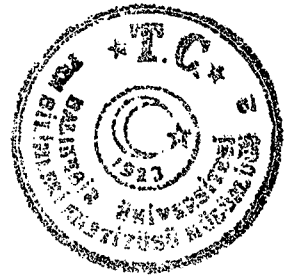
Şekil 2.13 ^{22}Na 'nın 1.275 MeV gammalara ait Compton sırtı ve Gaussien uyumu.



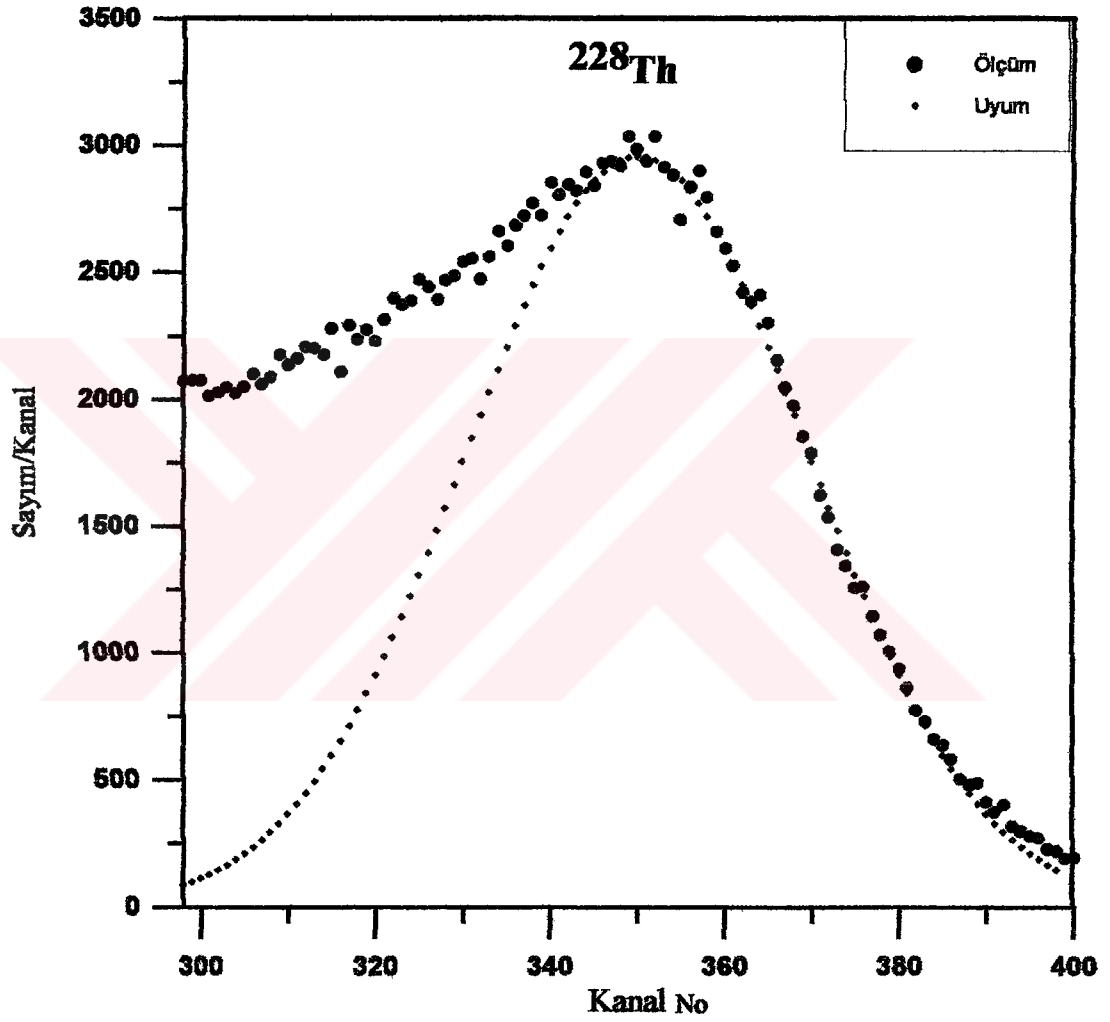
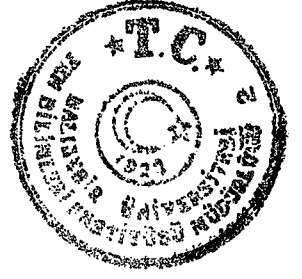
Şekil 2.14 ^{22}Na 'nın 0.511 MeV gammalara ait Compton sırtı ve Gaussien uyumu.



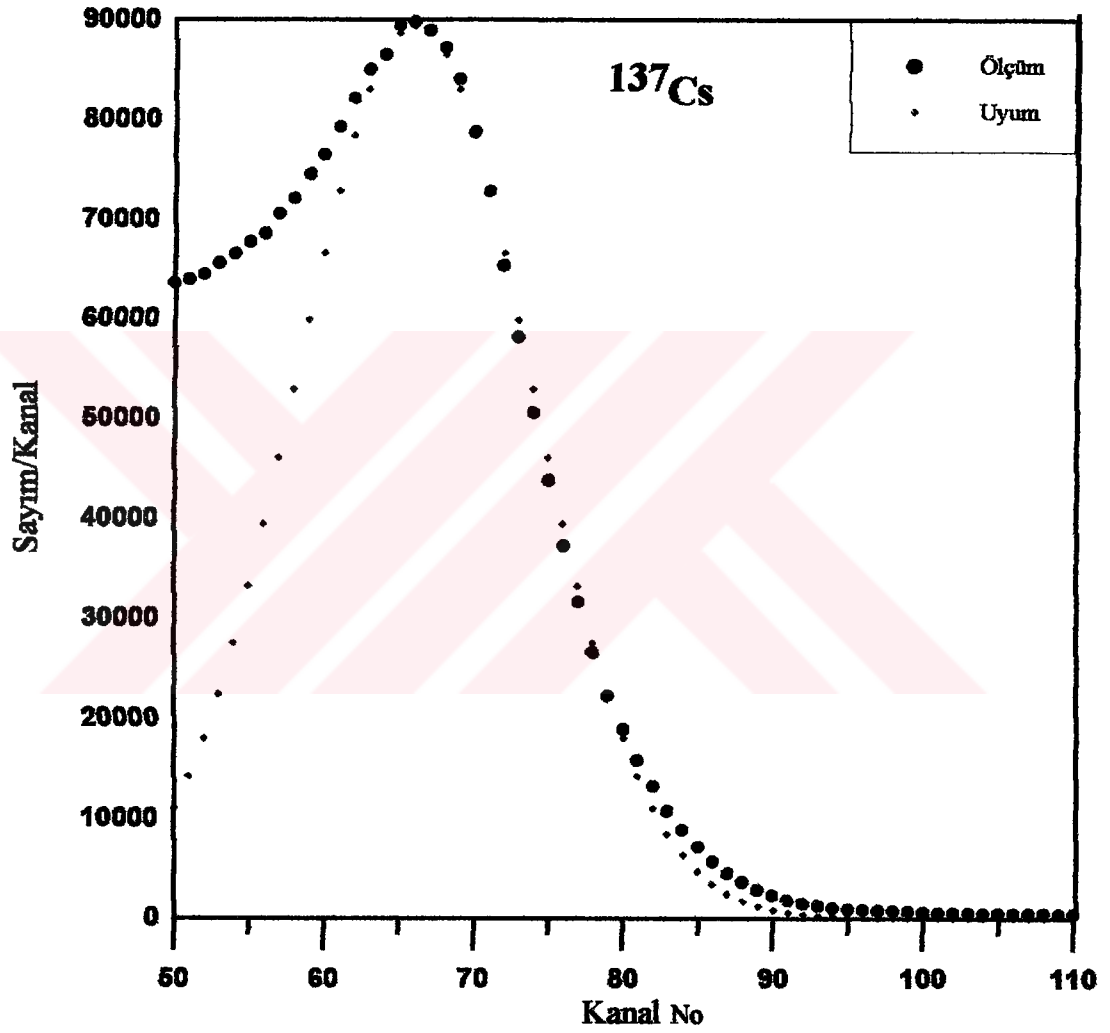
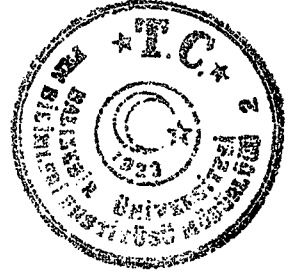
Şekil 2.15 ^{60}Co 'nun 1.332 MeV gammalara ait Compton sırtı ve Gaussien uyumu.



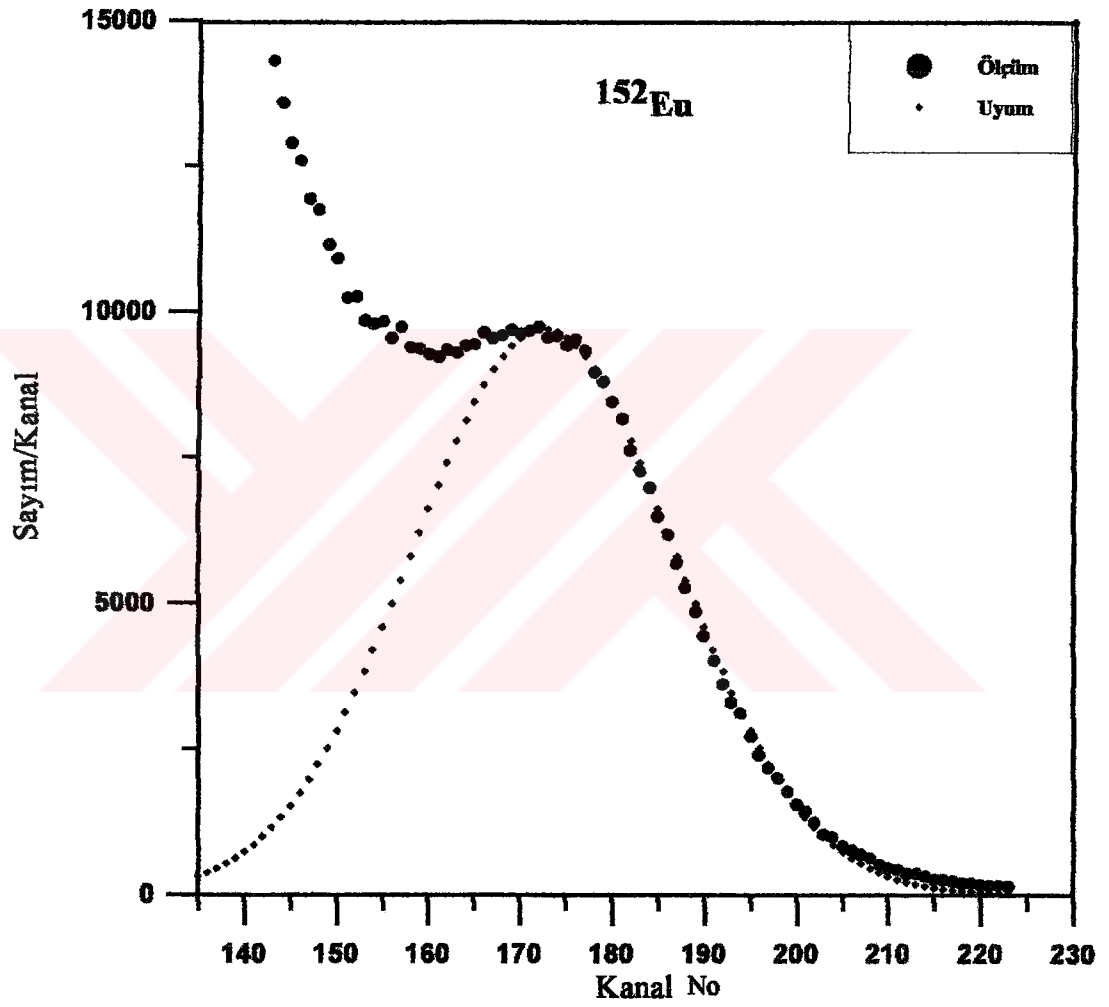
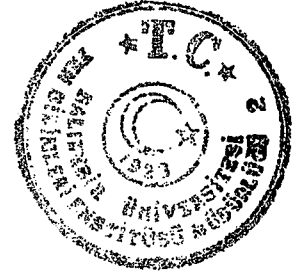
Şekil 2.16 ^{65}Zn 'nin 1.115 MeV gammalara ait Compton sırtı ve Gaussien uyumu.



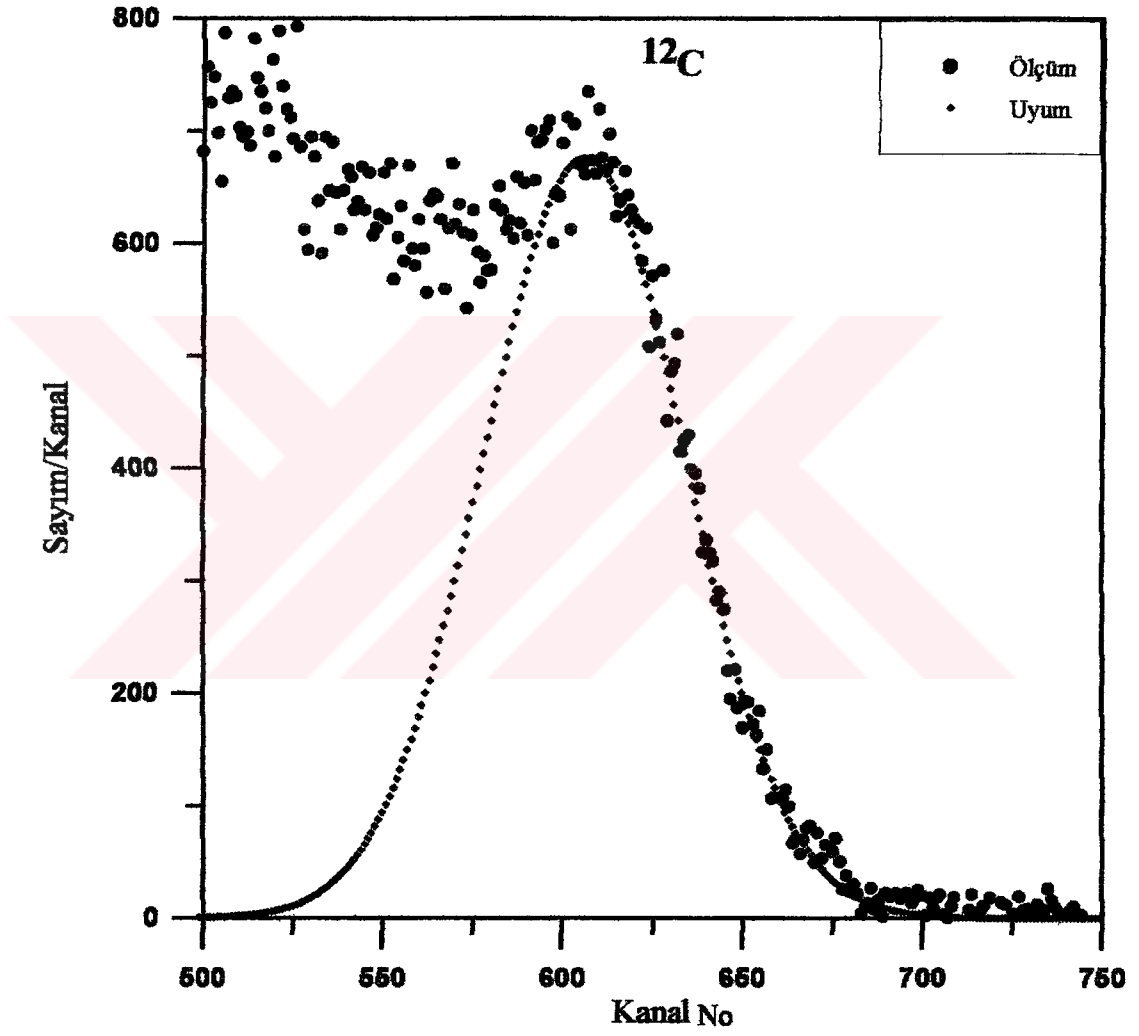
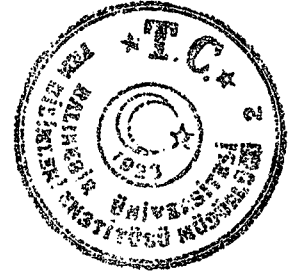
Şekil 2.17 ^{228}Th 'nin 2.614 MeV gammalara ait Compton sırtı ve Gaussien uyumu.



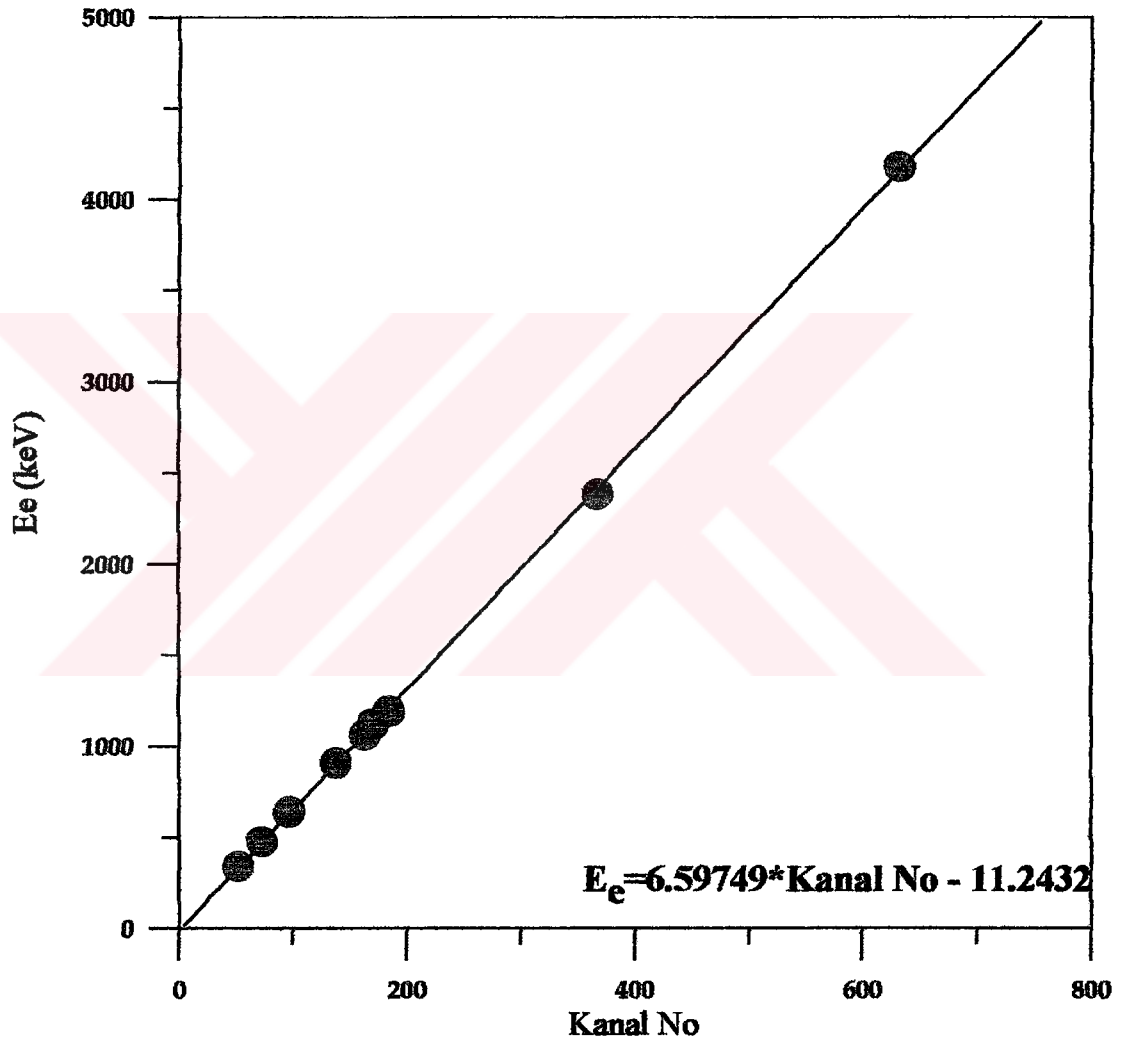
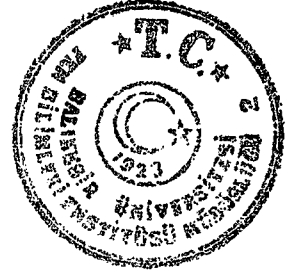
Şekil 2.18 ^{137}Cs 'nin 0.662 MeV gammalara ait Compton sırtı ve Gaussien uyumu.



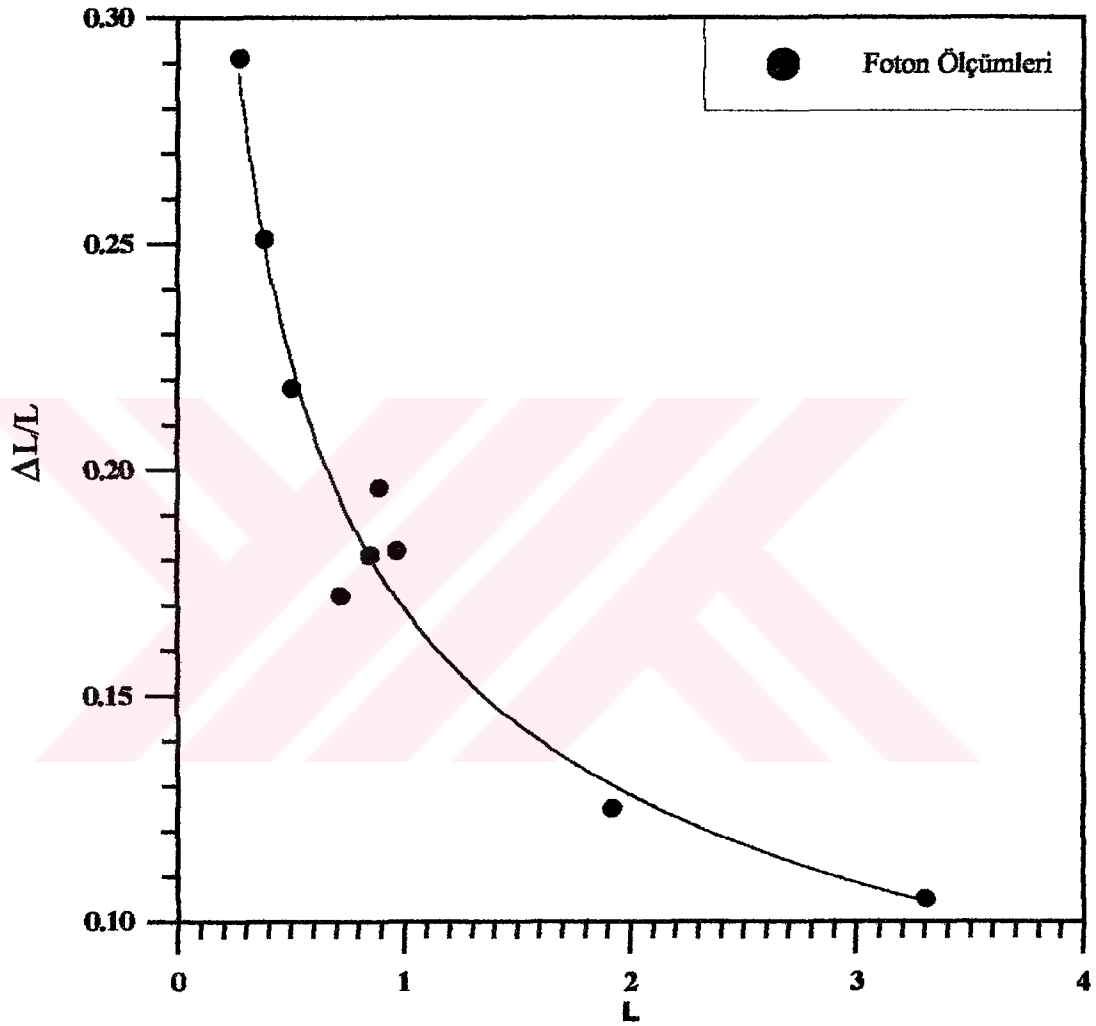
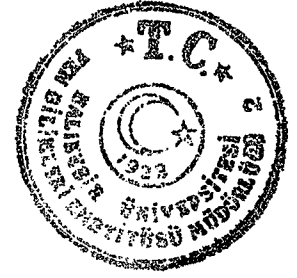
Şekil 2.19 ^{152}Eu 'nun 1.408 MeV gammalara ait Compton sırtı ve Gaussien uyumu.



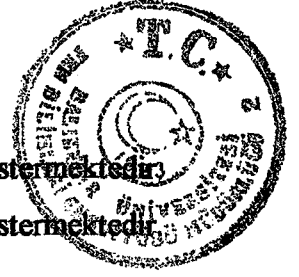
Şekil 2.20 ^{12}C 'ın 4.420 MeV gammalara ait Compton sırtı ve Gaussien uyumu.



Şekil 2.21 NE-213 sıvı sintilatörünün Çizelge 2-1 'deki kaynaklar kullanılarak elde edilen enerji kalibrasyonu.



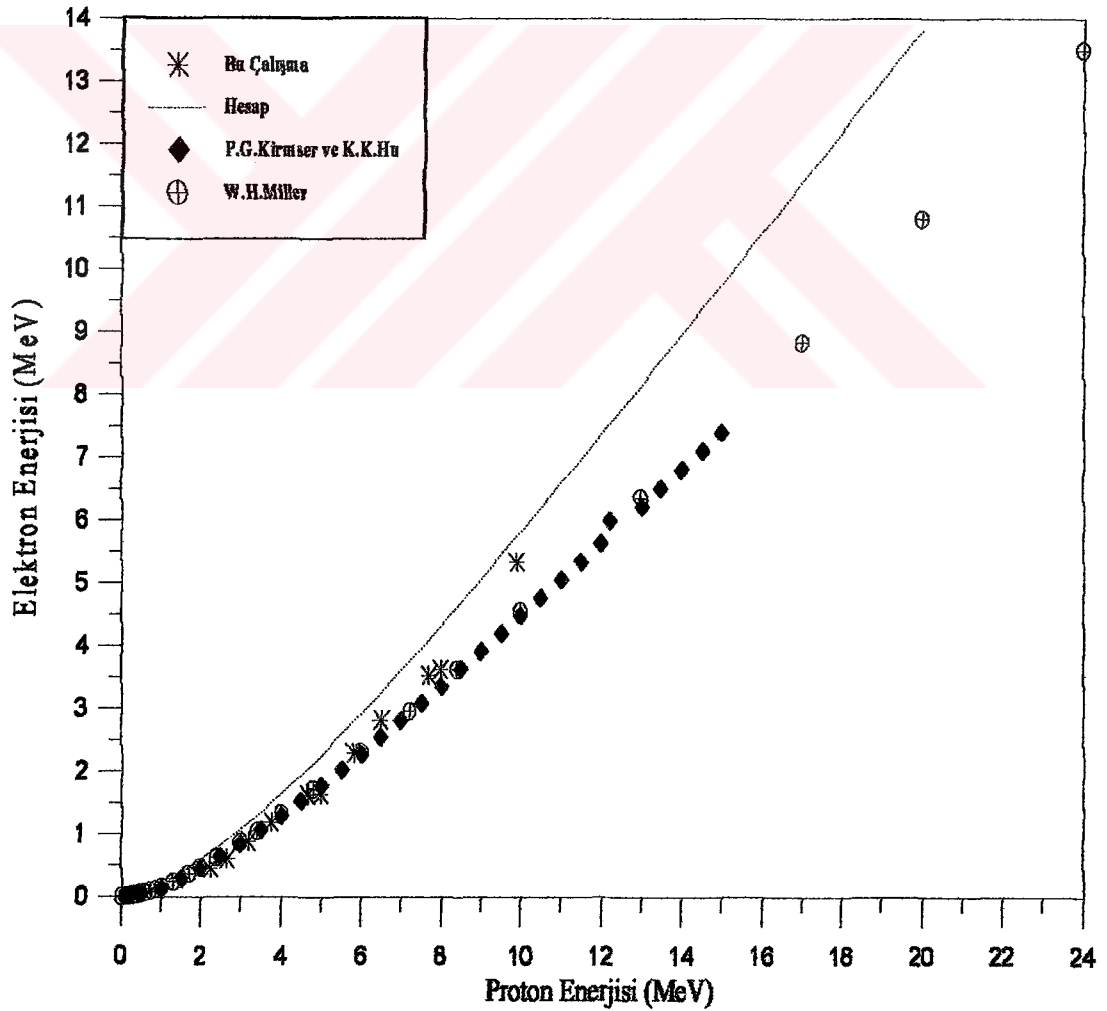
Şekil 2.22 NE-213 sıvı sintilasyon detektörünün gammalar için enerji ayırdedebilirliğinin ($\Delta L/L$) görelî puls yüksekliğine (L) göre değişimi.



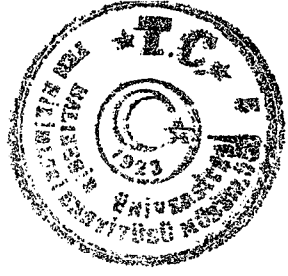
Şekil 2.23, NE-213 sıvı sintilatörün yanıt fonksiyonunu göstermektedir. Şekildeki kesikli çizgiler hesaplama ile bulunan yanıt fonksiyonunu göstermektedir. Hesaplama işleminde,

$$T_e = a_1 T_p - a_2 (1 - \exp(a_3 T_p^{a_4})) \quad (2.4)$$

ifadesi kullanılarak değerler bulunmuştur. Burada T_e , elektron enerjisi, T_p , proton enerjisi, NE-213 sintilasyon detektörü için katsayıların değerleri sırasıyla, $a_1 = 0.83$, $a_2 = 2.82$, $a_3 = 0.25$ ve $a_4 = 0.93$ alınmıştır [15].



Şekil 2.23 NE-213 sıvı sintilasyon detektörünün yanıt fonksiyonu.



3 YÖNTEM

3.1 Tepilen Proton Spektrumu

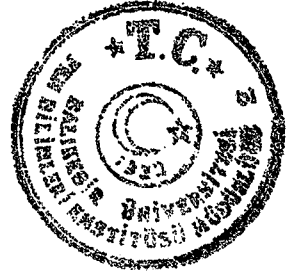
Sintilasyon maddesi içine giren nötronlar hidrojen ile etkileşim tesir kesitleri büyük olduğundan daha çok hidrojen ile etkileşirler. Bu etkileşme sonunda açığa çıkan ışığın elektronik düzeneden geçtikten sonra verdiği spektruma “tepilen proton spektrumu” denir. Tepilen proton spektrumu büyük bir yaklaşıklıkla dikdörtgensel dağılım gösterir. Bu spektrumdan yararlanarak nötron enerji spektrumu elde edilebilir. Dikdörtgensel dağılımın enerjiye göre türevi maksimum hariç her yerde sıfırdır ve tepilen proton spektrumun türevi nötron enerjisinin bulunduğu yerde dar bir tepe oluşturur.

Organik sintilatörlerde basit dikdörtgensel dağılımı bozan etkenler:

- Enerji ile orantılı olmayan ışık çıkışı;
- Sınır etkisi;
- Hidrojen tarafından çoklu saçılma;
- Karbon tarafından çoklu saçılma;
- Detektörün ayırdedebilirliği olarak sıralanabilir [16].

Bu çalışmada, 370 GBq 'lık ^{241}Am -Be nötron kaynağından elde edilen açma spektrumdan, tepe olan bölgelerde 11 tane belirgin nötron enerjisi seçildi. Bu enerjiler 2.25, 2.68, 3.20, 3.75, 4.67, 5.00, 5.81, 6.50, 7.70, 8.00, 9.90 MeV 'dir (bkz. Şekil 3.23).

Referans [17] 'den yararlanılarak yapılan bir bilgisayar programı yardımıyla tespit edilen her nötron enerjisi için program çalıştırıldığında tepilen proton spektrumları elde edildi.



3.2 Tepilen Proton Spektrumunu Açma (Unfolding)

Çok kanallı analizörde elde edilen tepilen proton spektrumunun verilerini kullanarak gelen hızlı nötronların enerjiye karşılık akı spektrumları elde edilebilir. Bu iş için bilinen iki açma yöntemi vardır. Bunlar;

- Türev alma,
- Matriks (Ferdor) Yöntemidir.

3.2.1 Türev Alma Yöntemi

Tepilen proton verilerinin diferansiyel açması, gelen hızlı nötron spektrumu ve detekte edilen tepilen proton dağılımı arasında aşağıdaki gibi bir eşitlik vardır:

$$\Phi(E) = -\frac{E}{\epsilon(E)} \frac{dM(E)}{dE} \quad (3.1)$$

Burada;

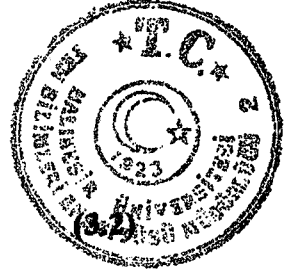
$M(E)$, ölçülen tepilen proton dağılımı;

$\Phi(E)$, gelen hızlı nötron spektrumu;

$\epsilon(E)$, detektör sisteminin verimidir.

Açma işlemi (3.1) eşitliğinin çözümü ile elde edilir.

Bu yöntem Eşitlik 3.1 'de verilen diferansiyeli sayısal olarak gerçekleştirmek için en küçük kareler yönteminin çeşitli formları kullanılarak tamamlanır. Elde edilen $\Phi(E)$ çözümünün düzeltilmesi, farklı sayıda noktalar kullanılarak yapılmıştır. Son günlerde, bu yöntemin açma sonuçlarını çarpıttığı ve kaydırıldığı ileri sürülmektedir. Johnson [18], açma sonucuna doğrudan düzeltme uygulamayı önermiştir. Bu yaklaşımın kullanılmasıyla, Eşitlik 3.1 'den aşağıdaki ifade elde edilmiştir.



$$\Phi(E) = \sum_{i=1}^{n_0} \left[\frac{E_{i+1}}{\varepsilon(E_{i+1})} G(E, E_{i+1}) - \frac{E_i}{\varepsilon(E_i)} G(E, E_i) \right] M_i$$

Burada:

E_i , i . kanaldaki düşük enerji bandı veya giren enerji paketi,

$\varepsilon(E_i)$, E_i enerjisindeki detektörün verimi (proton kaybını ve anizotropik saçılma için düzeltmeleri de içerir);

M_i , i . kanaldaki sayım sayısı veya giren enerji paketi;

$G(E, E_i)$, detektörün ayırdedebilirliğini temsil eden normalize edilmiş düzeltme fonksiyonu, bir gaussian olarak ele alınır.

n_0 , toplam giriş kanallarının sayısıdır [19].

Bu çalışmada türev alma yöntemine dayalı MATXUF bilgisayar kodu kullanılmıştır [19]. Tepilen proton spektrumunu bu programa veri olarak girerek, açılmış nötron enerji spektrumu elde edilmiştir.

Şekil 3.1 'den Şekil 3.22 'ye kadar, 2.25 MeV 'den başlayıp 9.90 MeV 'e kadar nötron enerjileri için tepilen proton spektrumlarını ve açılmış nötron spektrumlarını göstermektedir.

3.2.2 Matriks (Ferdor) Yöntemi

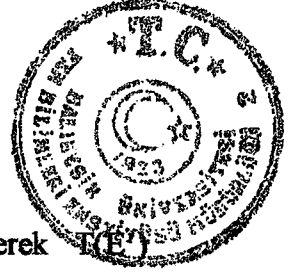
Tepilen proton spektrumunu açma, lineer bir integral eşitliği biçiminde gösterilebilir.

$$M(E) = \int_0^{\infty} R(E, E') T(E') dE' \quad (3.3)$$

Burada:

$T(E')$, nötron enerji spektrumu;

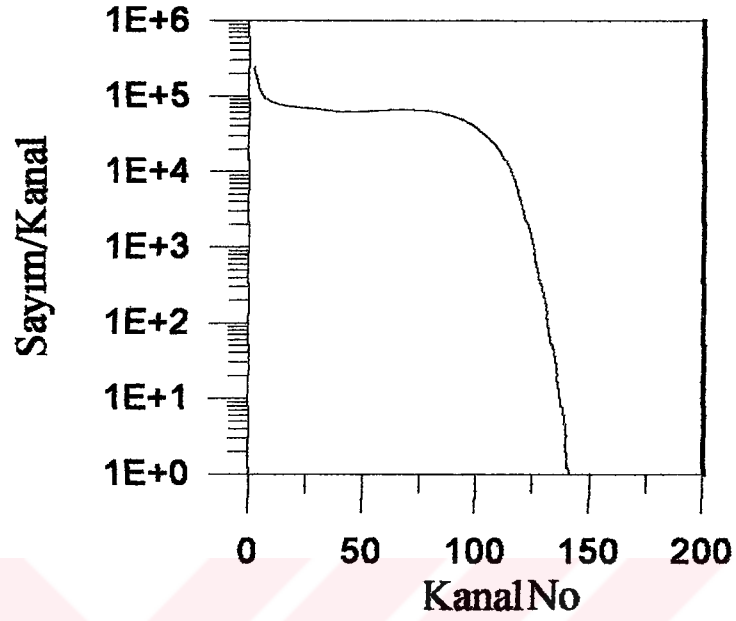
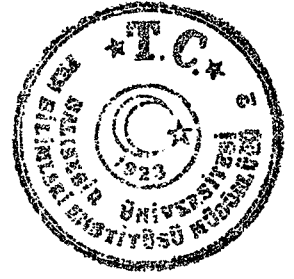
$M(E)$, ölçülen spektrum;



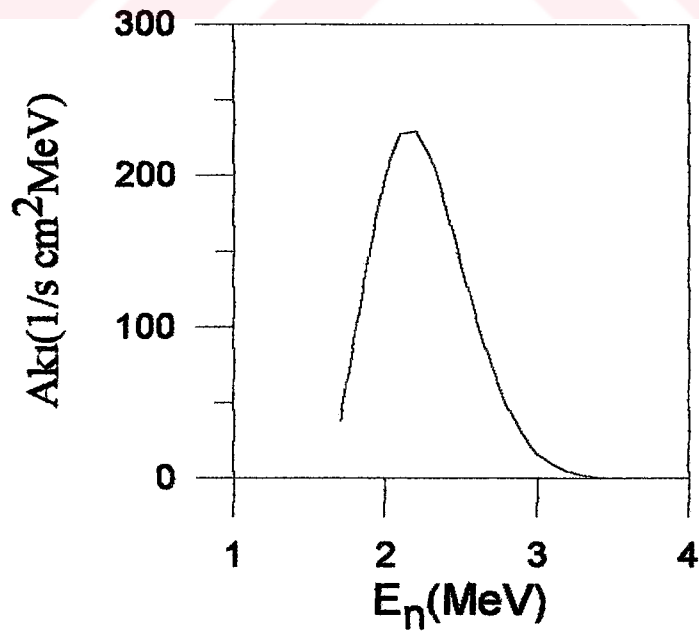
$R(E, E')$, spektroskopi sisteminin cevap fonksiyonudur.

Eşitlik 3.3 'te verilen integral açma, matriks açmaya çevrilerek $T(E')$ bulunabilir.

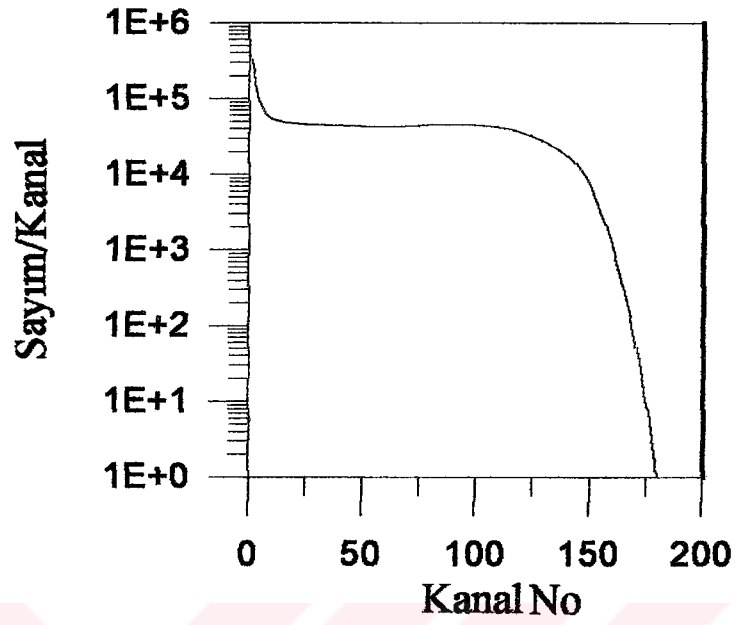
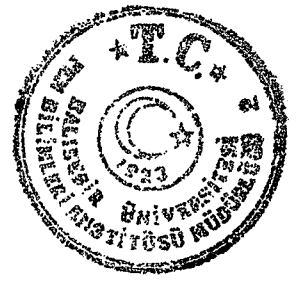
Gerçek açma için, cevap matriksinde ve ölçülen spektrumda her zaman hatalar olacaktır. Bu tip istatistiksel hatalar, çözüm vektörü $T(E')$ 'de çok büyük sapmalara sebep olabilir. Ayrıca en küçük kareler yöntemi uygulanırken bilgisayarın yuvarlama fonksiyonu ciddi bir problem oluşturur. Bu yüzden bu çalışmada türev alma yöntemi kullanılması daha uygun görülmüştür [20-21].



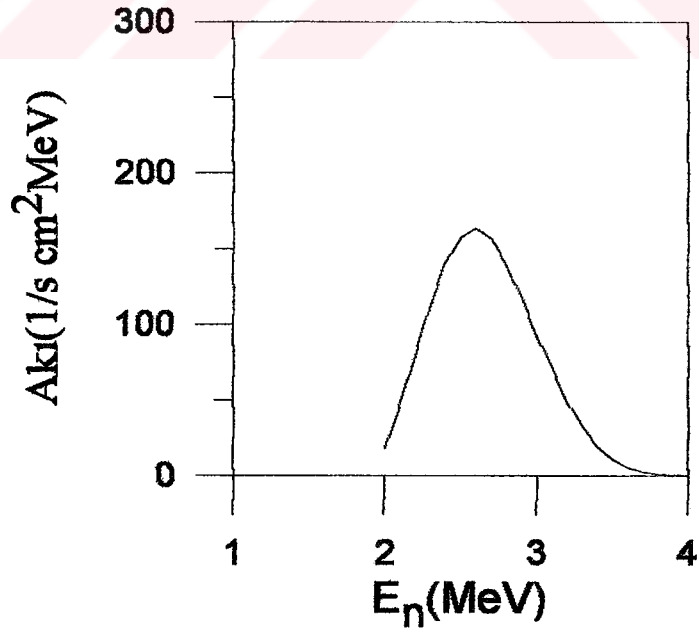
Şekil 3.1 2.25 MeV 'lik nötronlar için tepilen proton spektrumu.



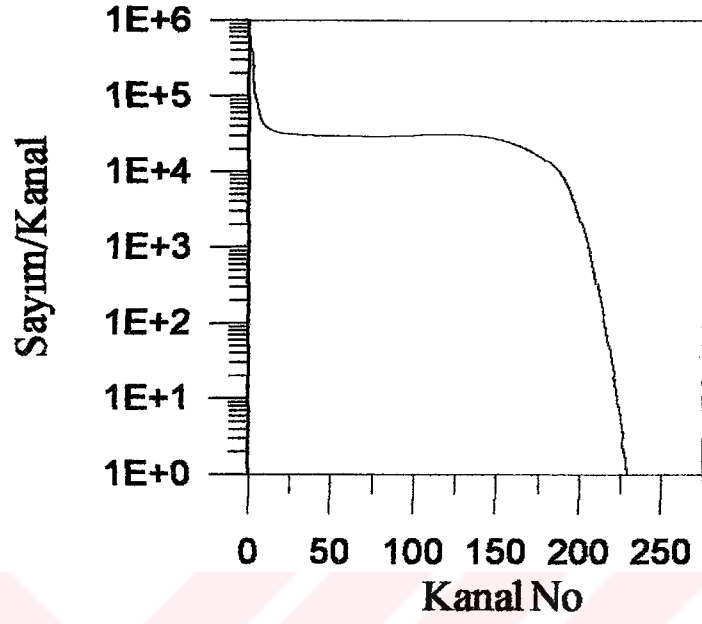
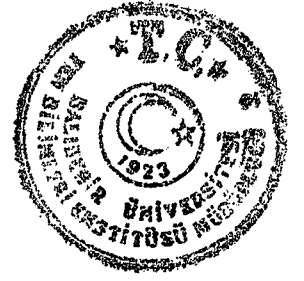
Şekil 3.2 2.25 MeV 'lik nötronlar için açılmış nötron spektrumu.



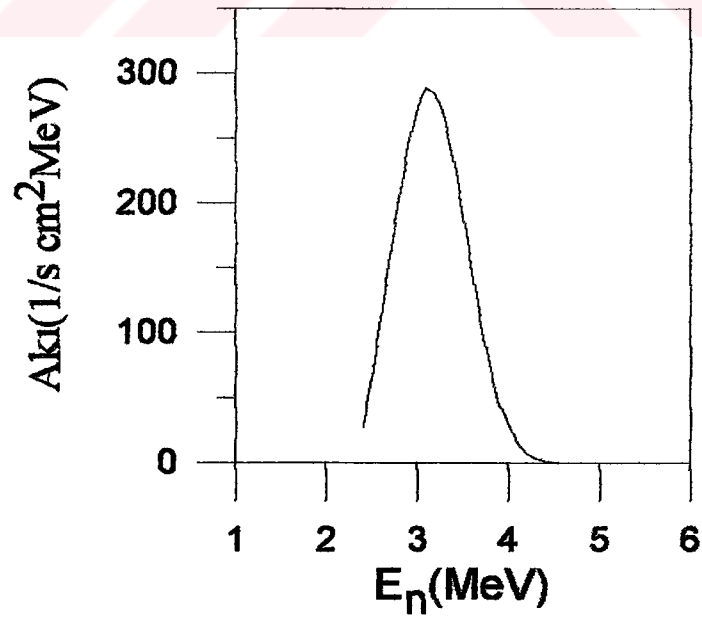
Şekil 3.3 2.68 MeV 'lik nötronlar için tepilen proton spektrumu.



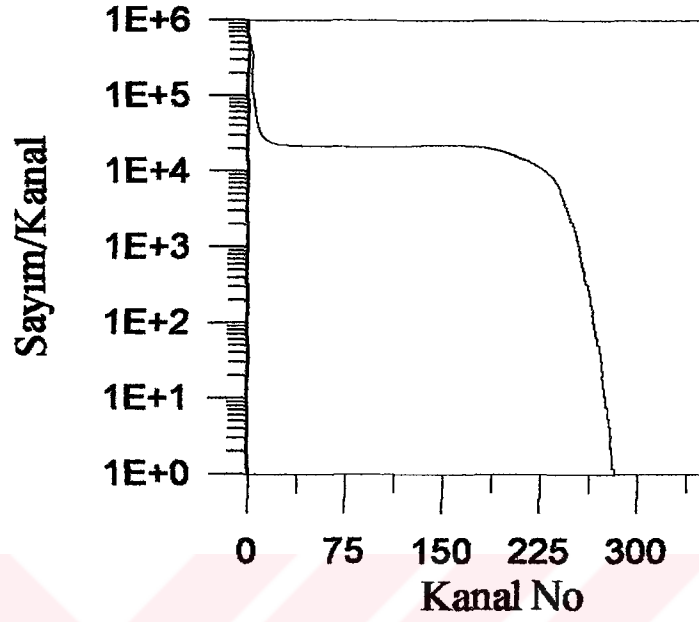
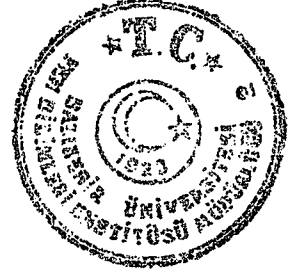
Şekil 3.4 2.68 MeV 'lik nötronlar için açılmış nötron spektrumu.



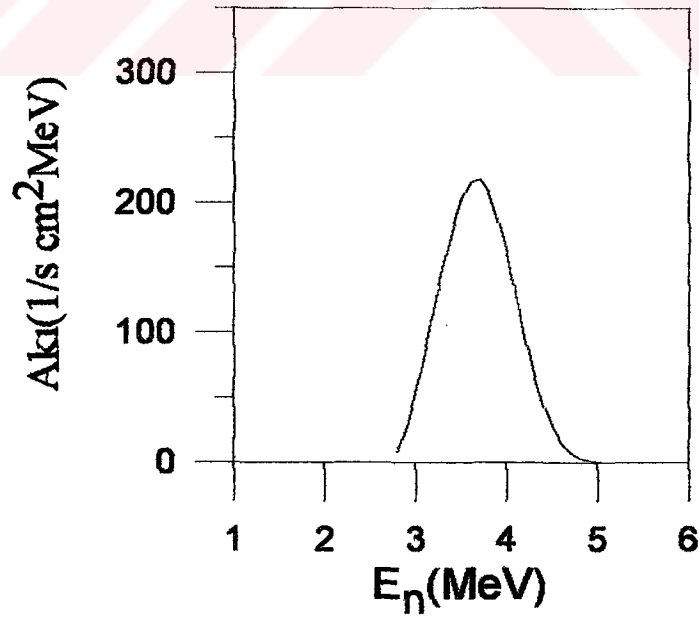
Şekil 3.5 3.20 MeV 'lik nötronlar için tepilen proton spektrumu.



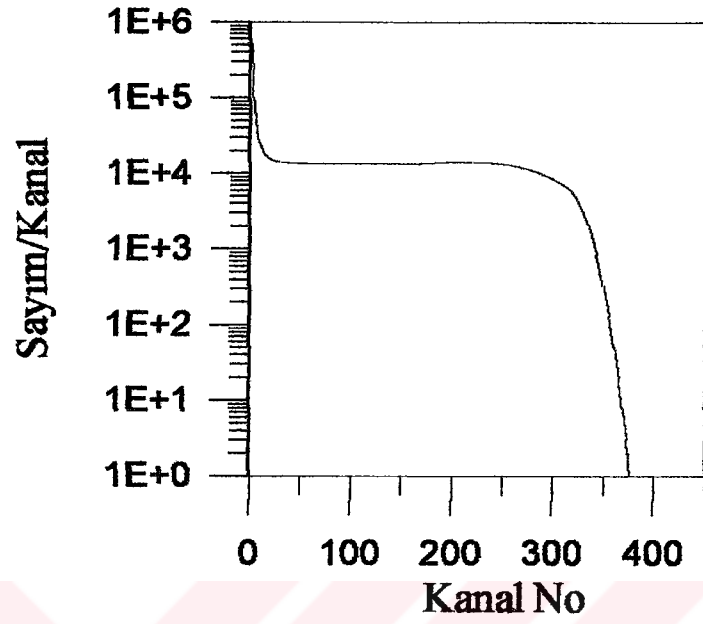
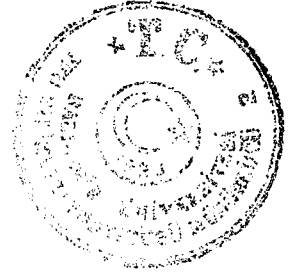
Şekil 3.6 3.20 MeV 'lik nötronlar için açılmış nötron spektrumu



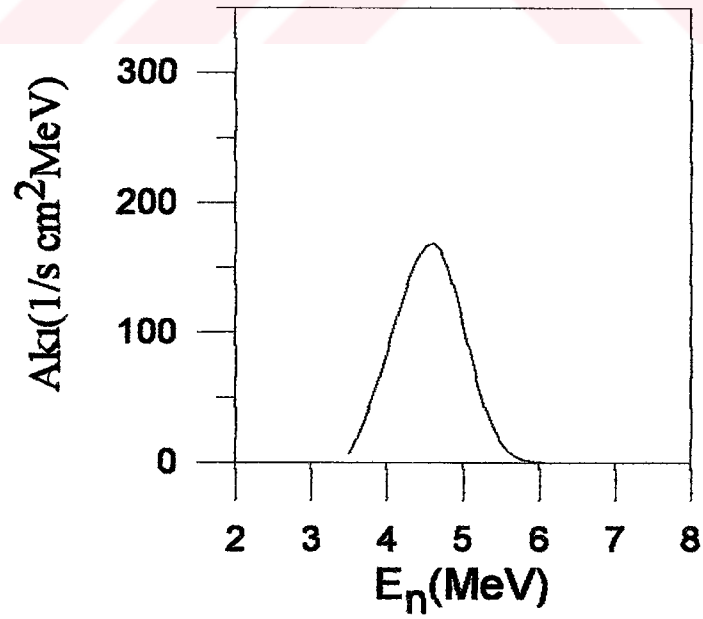
Şekil 3.7 3.75 MeV 'lik nötronlar için tepilen proton spektrumu.



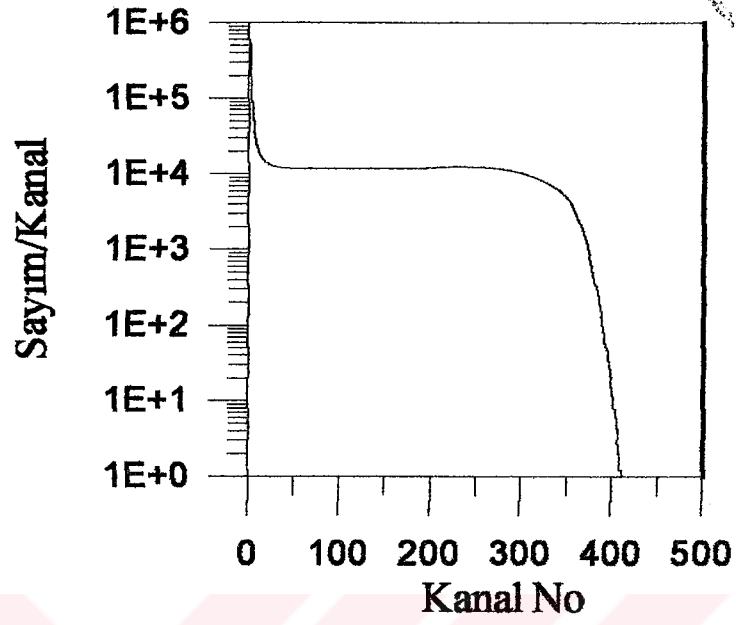
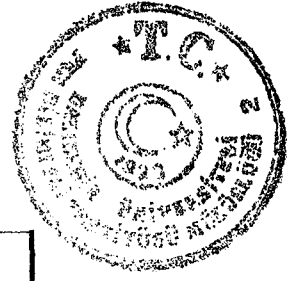
Şekil 3.8 3.75 MeV 'lik nötronlar için açılmış nötron spektrumu.



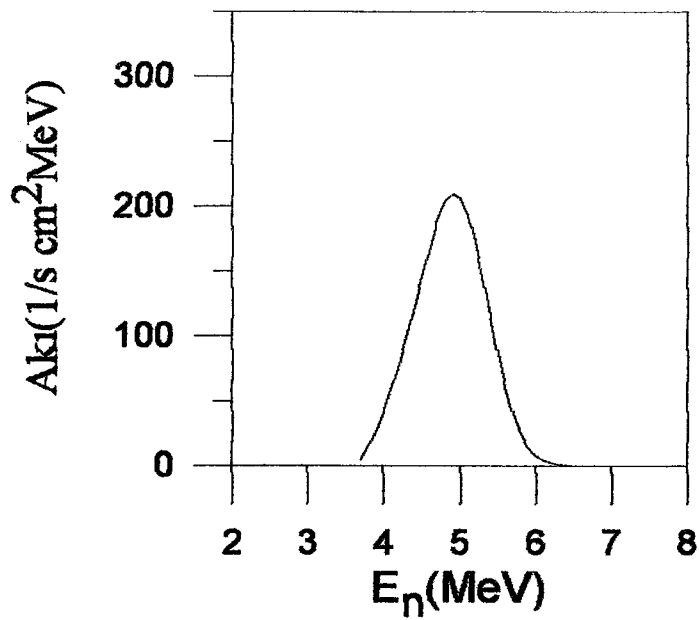
Şekil 3.9 4.67 MeV 'lik nötronlar için tepilen proton spektrumu.



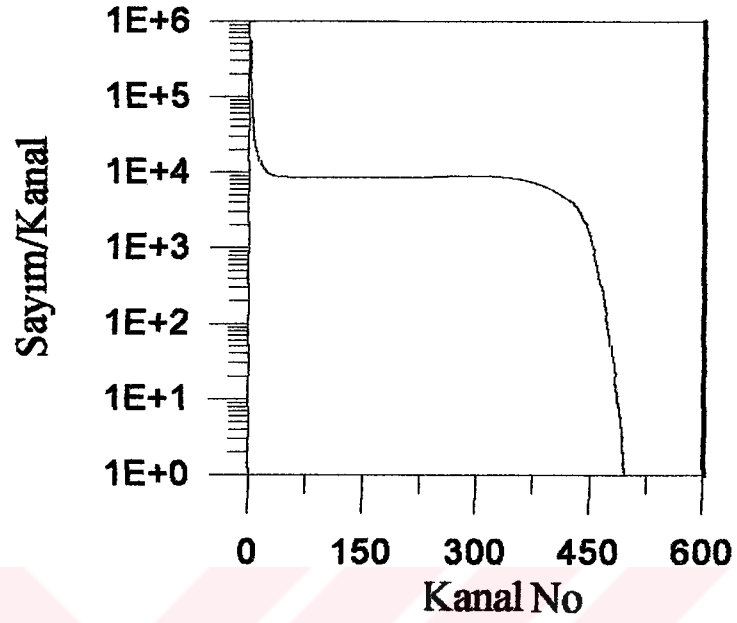
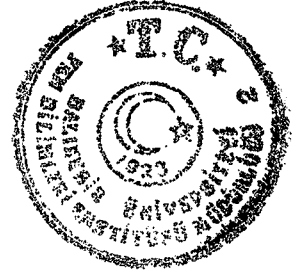
Şekil 3.10 4.67 MeV 'lik nötronlar için açılmış nötron spektrumu.



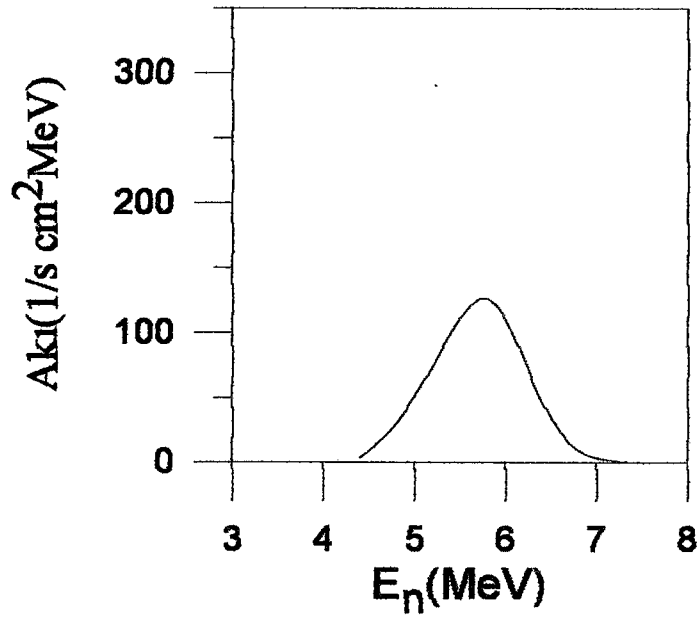
Şekil 3.11 5.00 MeV 'lik nötronlar için tepilen proton spektrumu.



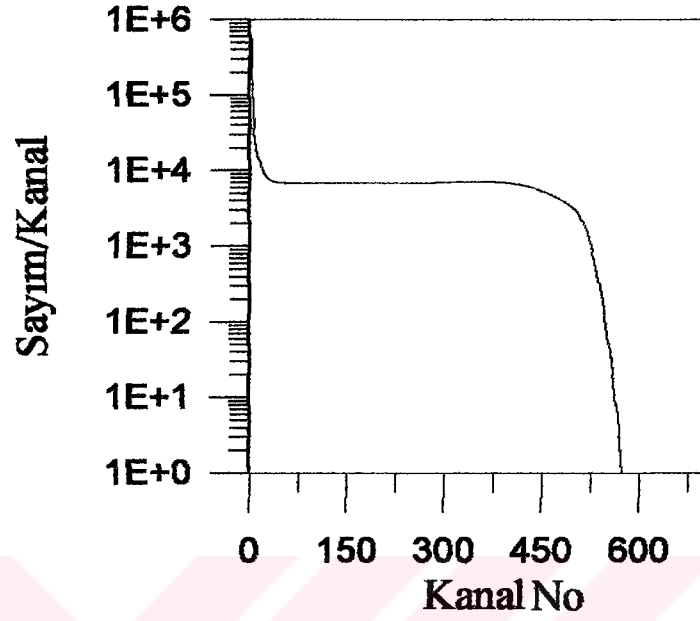
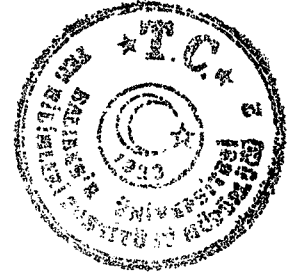
Şekil 3.12 5.00 MeV 'lik nötronlar için açılmış nötron spektrumu.



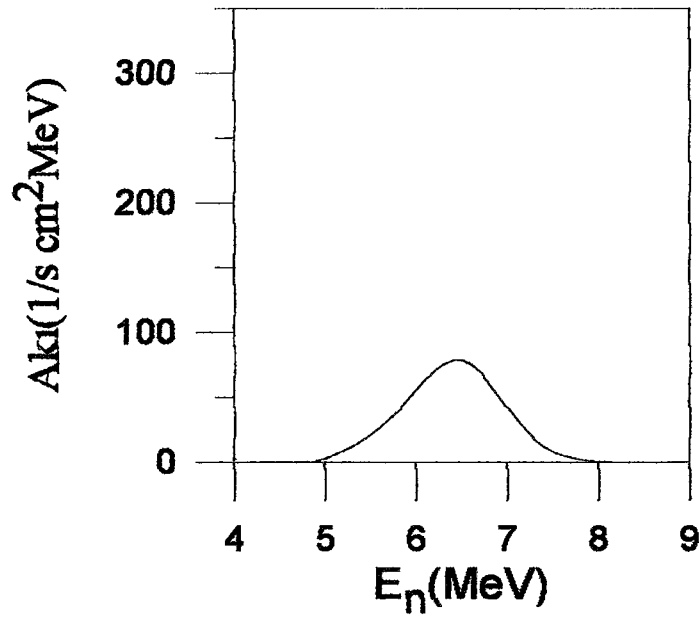
Şekil 3.13 5.81 MeV 'lik nötronlar için tepilen proton spektrumu.



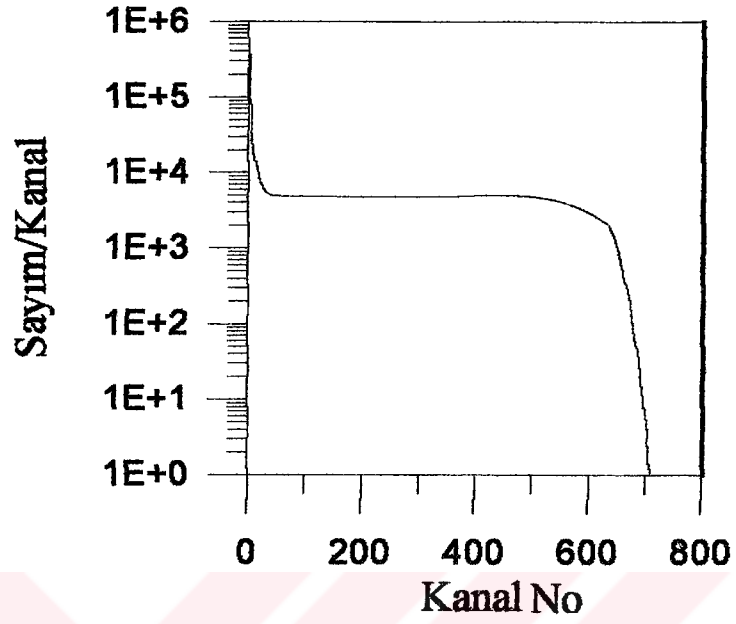
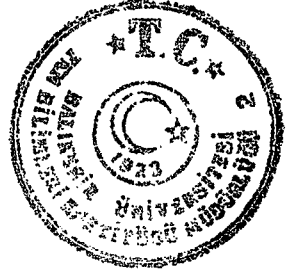
Şekil 3.14 5.81 MeV 'lik nötronlar için açılmış nötron spektrumu.



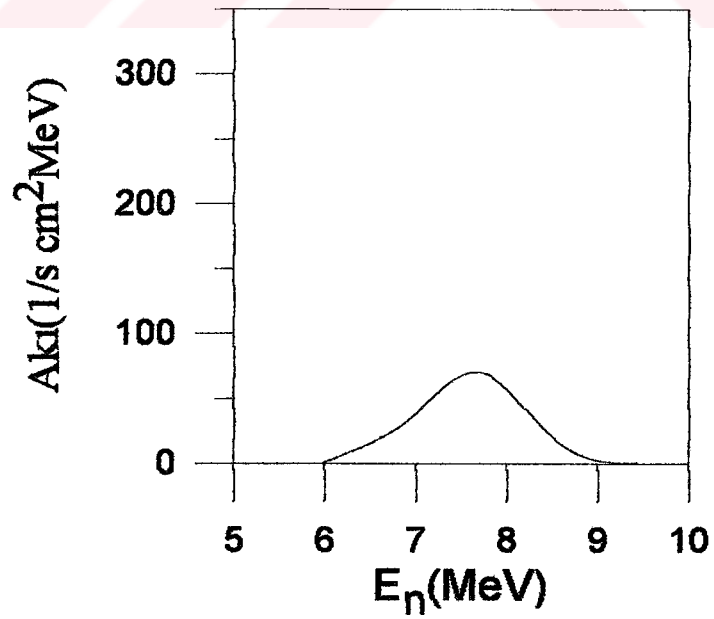
Şekil 3.15 6.50 MeV 'lik nötronlar için tepilen proton spektrumu.



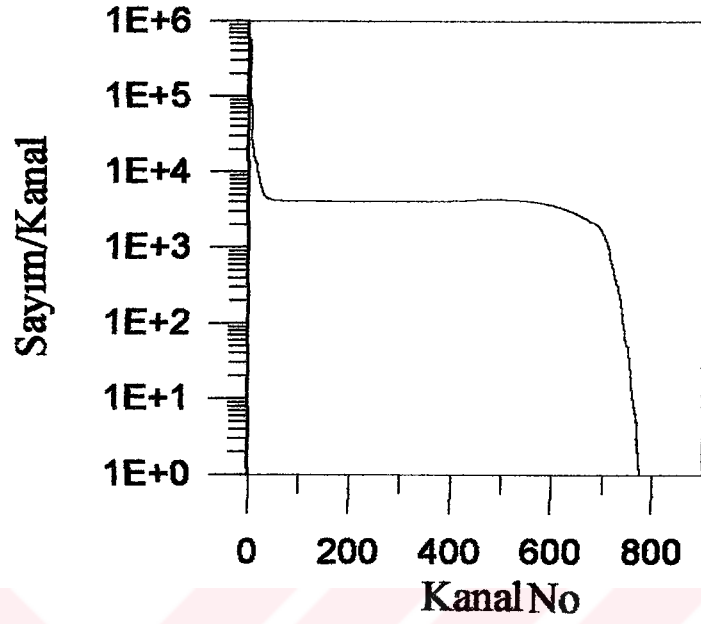
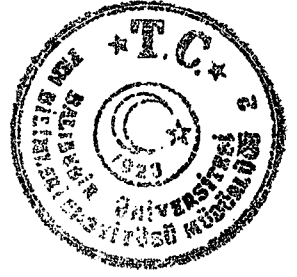
Şekil 3.16 6.50 MeV 'lik nötronlar için açılmış nötron spektrumu.



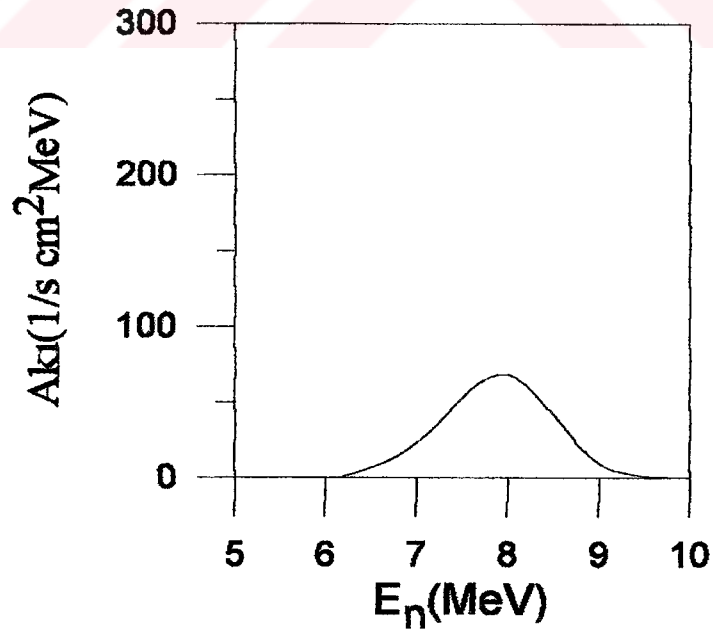
Şekil 3.17 7.70 MeV 'lik nötronlar için tepilen proton spektrumu.



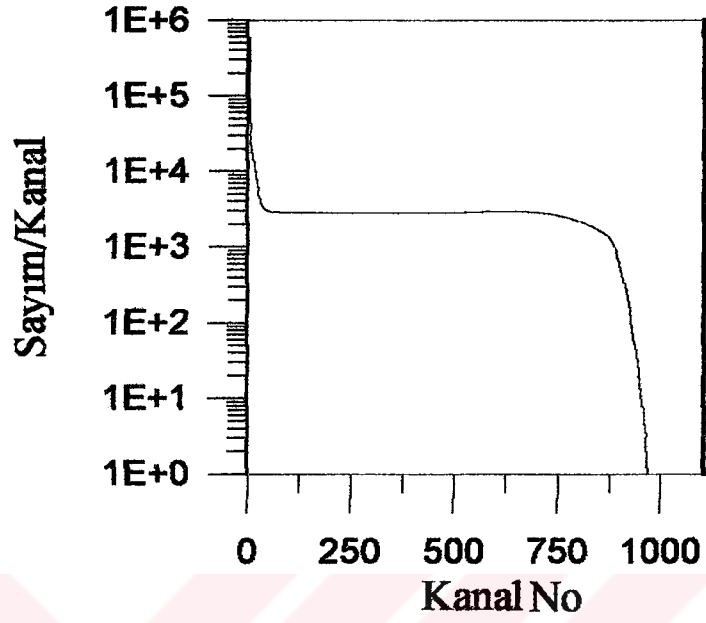
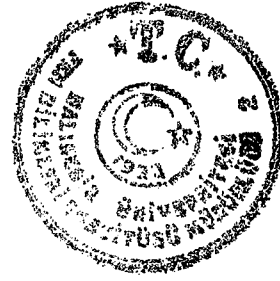
Şekil 3.18 7.70 MeV 'lik nötronlar için açılmış nötron spektrumu.



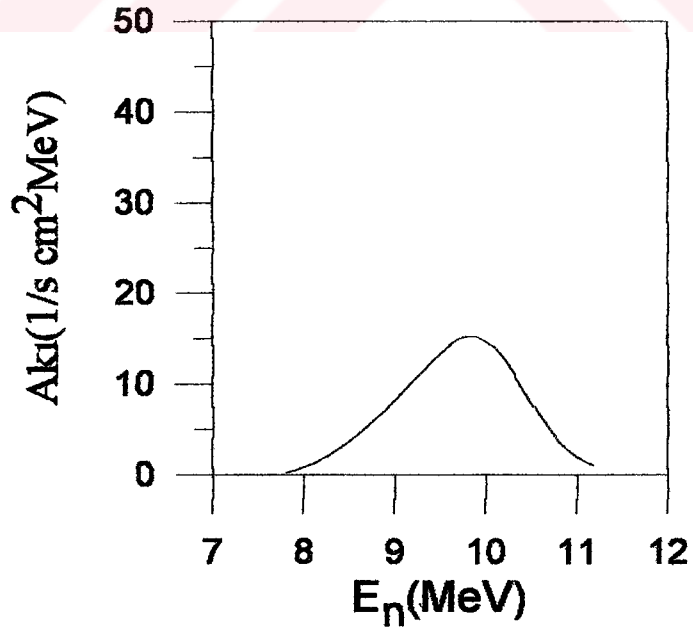
Şekil 3.19 8.00 MeV 'lik nötronlar için tepilen proton spektrumu.



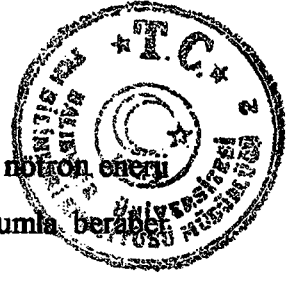
Şekil 3.20 8.00 MeV 'lik nötronlar için açılmış nötron spektrumu.



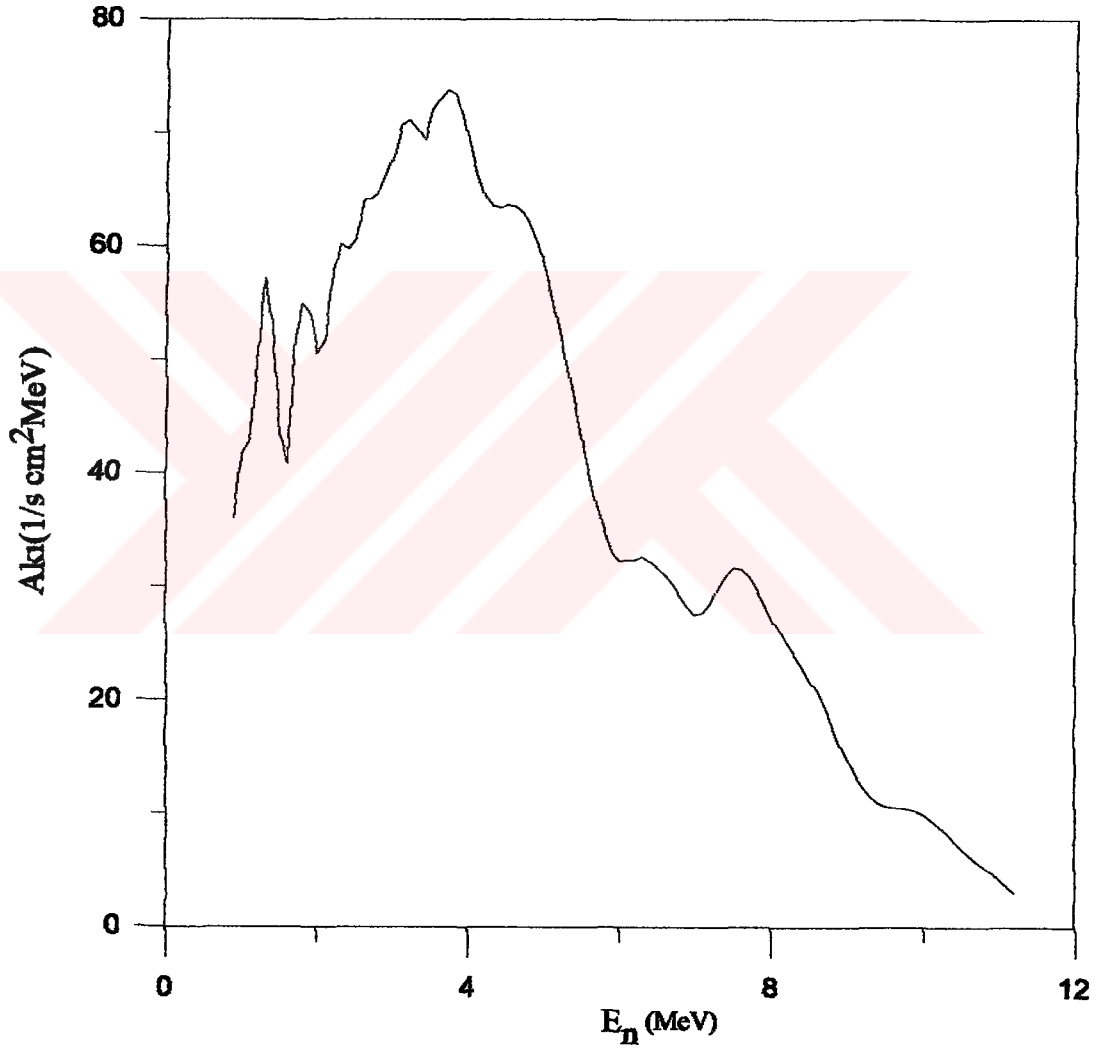
Şekil 3.21 9.90 MeV 'lik nötronlar için tepilen proton spektrumu.



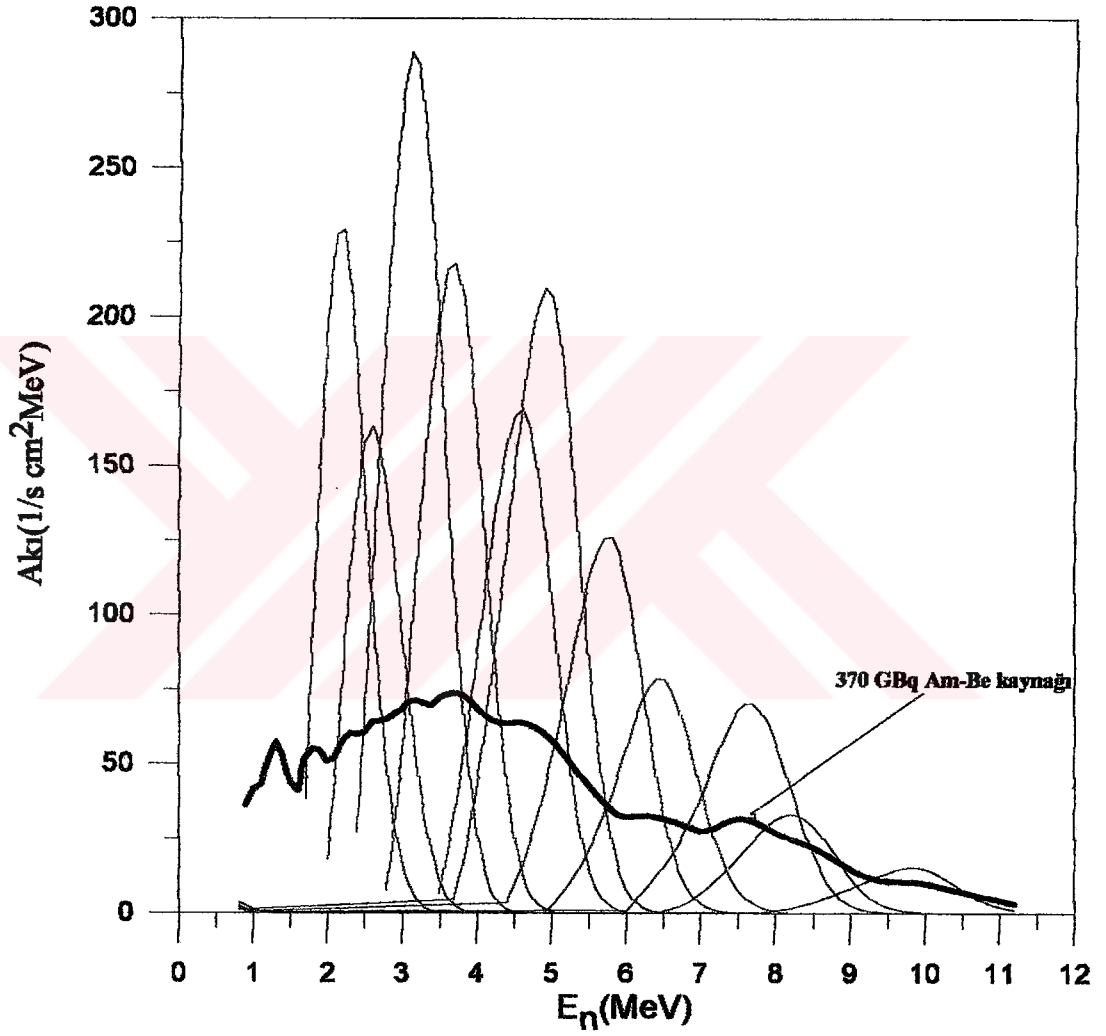
Şekil 3.22 9.90 MeV 'lik nötronlar için açılmış nötron spektrumu.



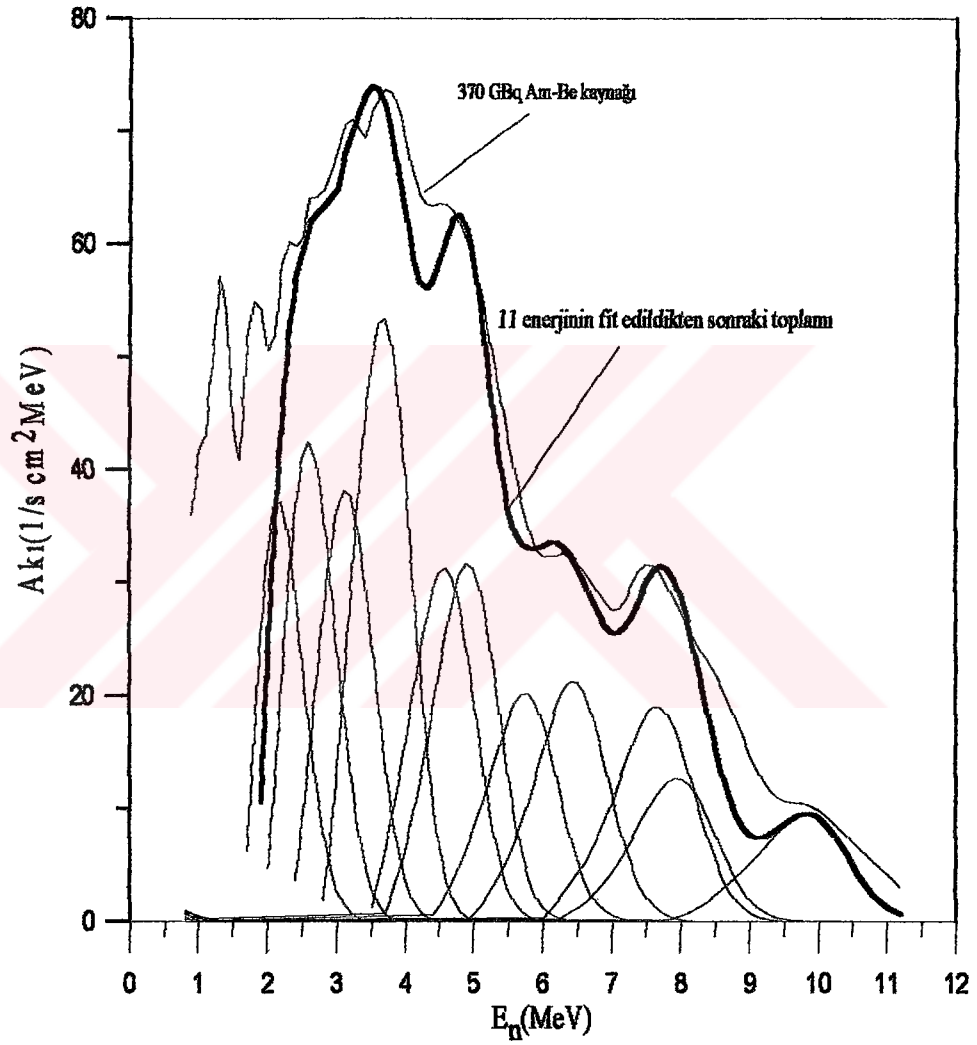
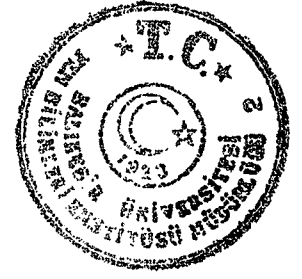
Şekil 3.23 'te nötron enerji test spektrumu, Şekil 3.24 'te ise 11 nötron enerji grubu için elde edilmiş açma spektrumlarının Şekil 3.23 'teki spektrumla beraber gösterimi, Şekil 3.25 'te ise fit edilmiş spektrum gösterilmiştir.



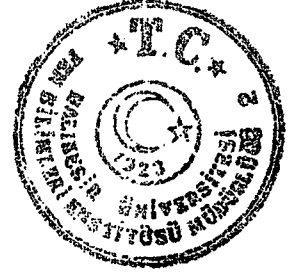
Şekil 3.23 370 GBq Am-Be kaynağının nötron enerji test spektrumu.



Şekil 3.24 Açma yapılmış 11 nötron enerjisinin ve 370 GBq 'lik Am-Be kaynağının beraber spektrumları.



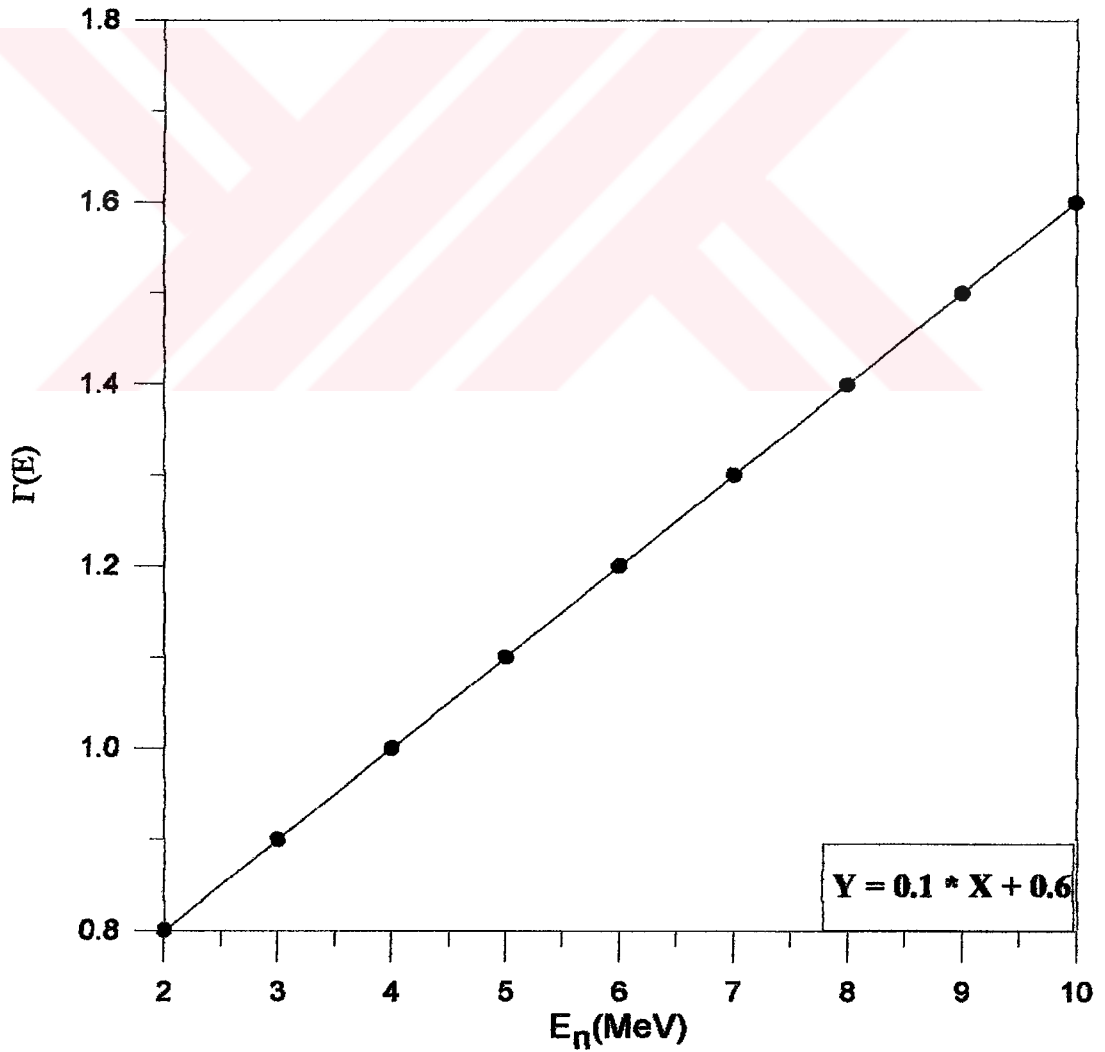
Şekil 3.25 Açma yapılmış 11 nötron enerjisinin, 370 GBq 'lik Am-Be kaynak spektrumuna fit edildiği spektrum.



4 TESİR KESİTLERİNİN VE HER NÖTRON GRUBUNA AİT AKININ BULUNMASI

4.1 Tesir Kesitlerinin Bulunması

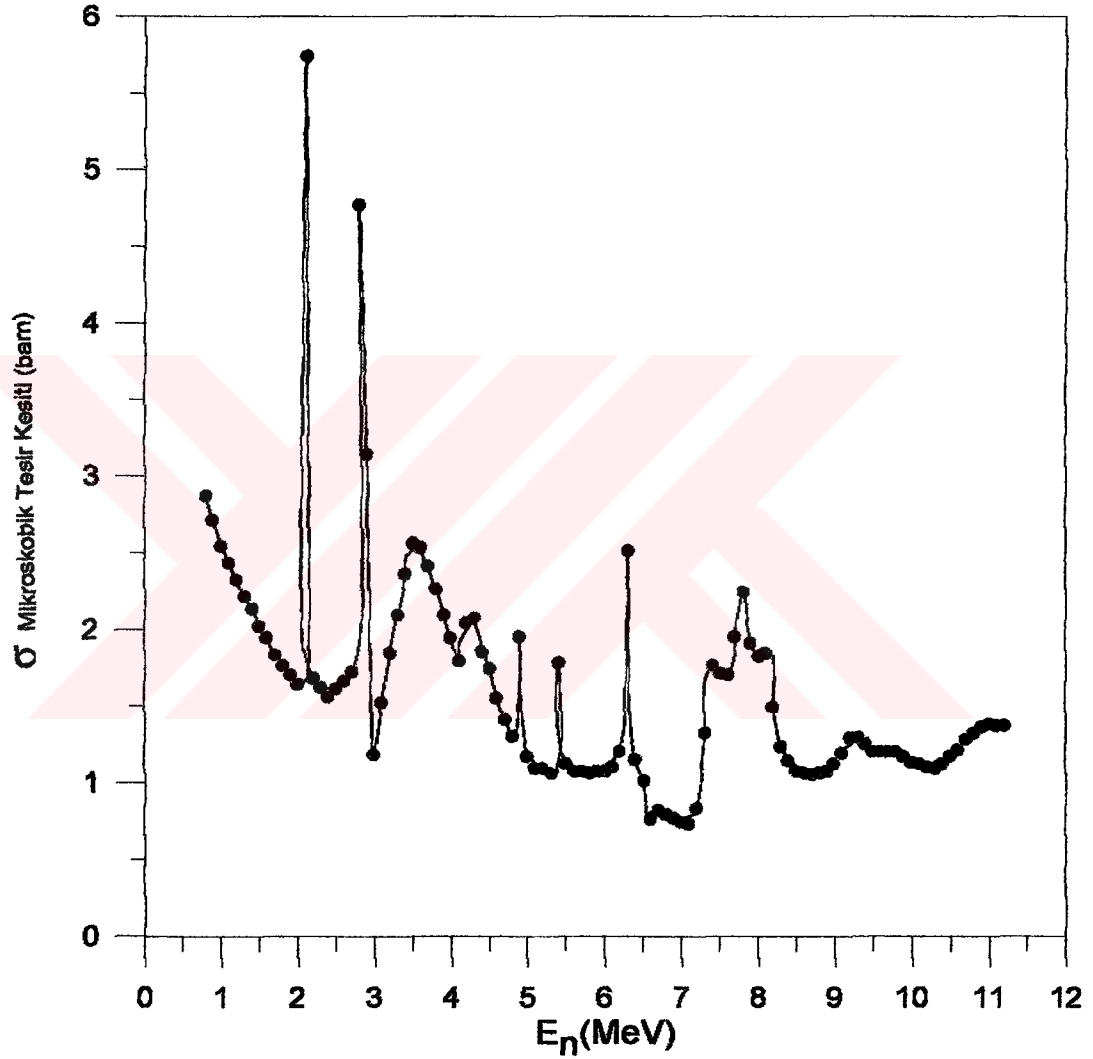
11 nötron enerjisi için elde edilen açılmış nötron spektrumlarından yarı maksimum düzey genişliği Γ (FWHM), bulunarak Şekil 4.1 elde edilmiştir.



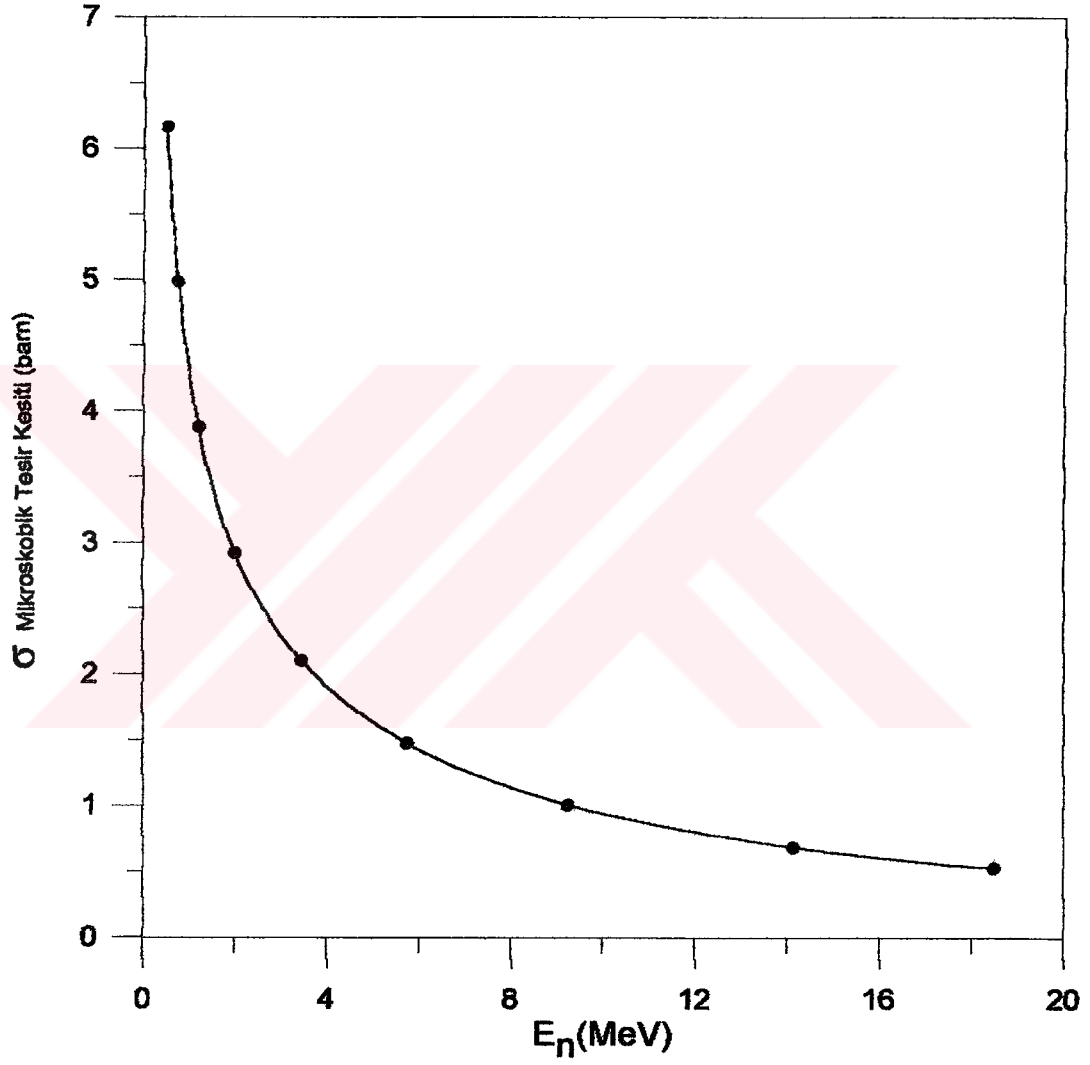
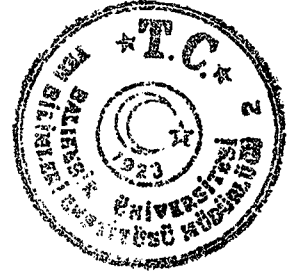
Şekil 4.1 Nötron enerjisine karşılık $\Gamma(E)$ 'nin değişimi.



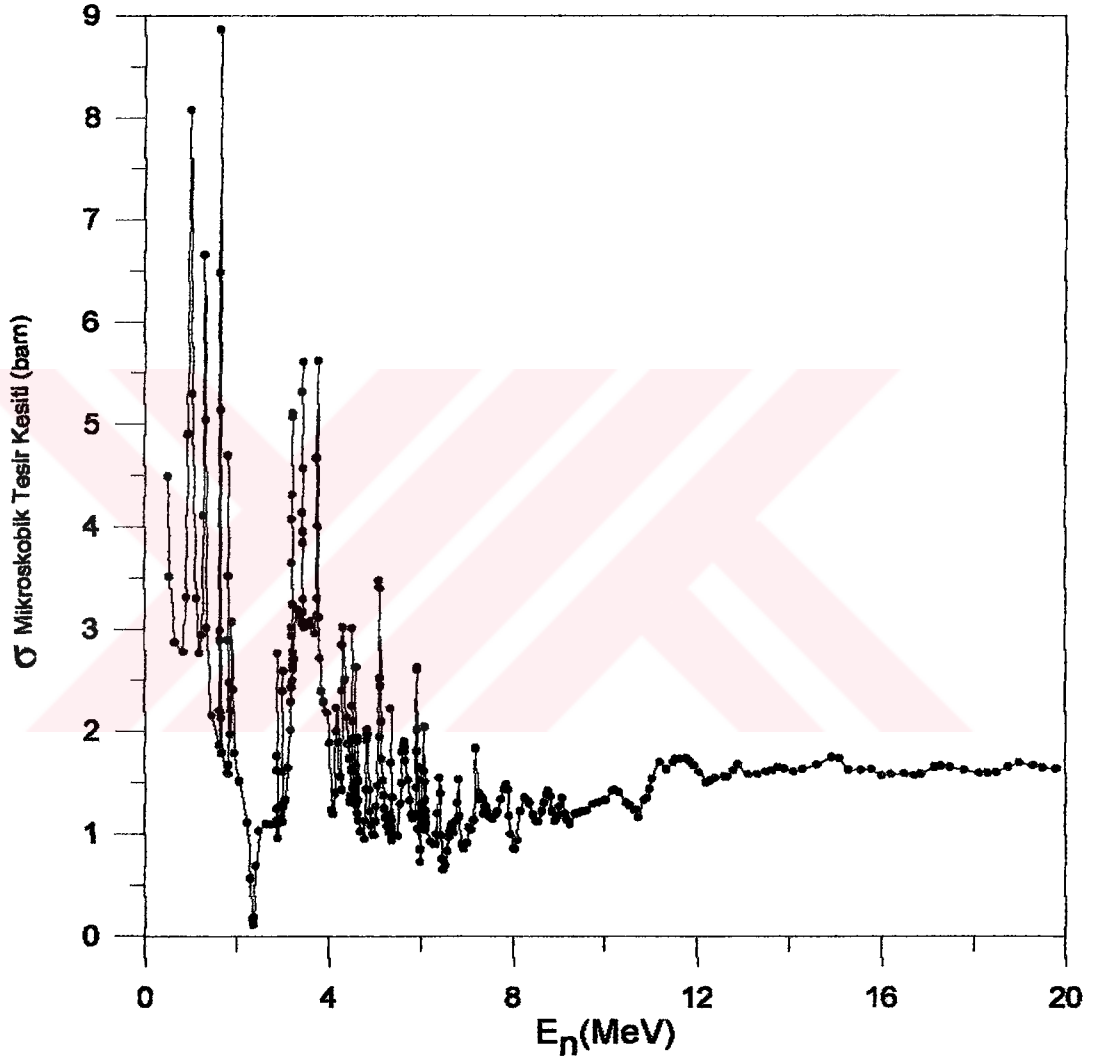
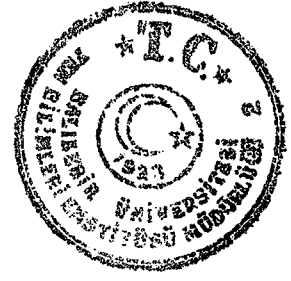
Referans [22] 'den, C,H,O,N için elde edilmiş, enerjiye karşılık mikroskobik
tesir kesiti (σ^m) grafiği Şekil 4-2, 3, 4, 5 'te gösterilmiştir.



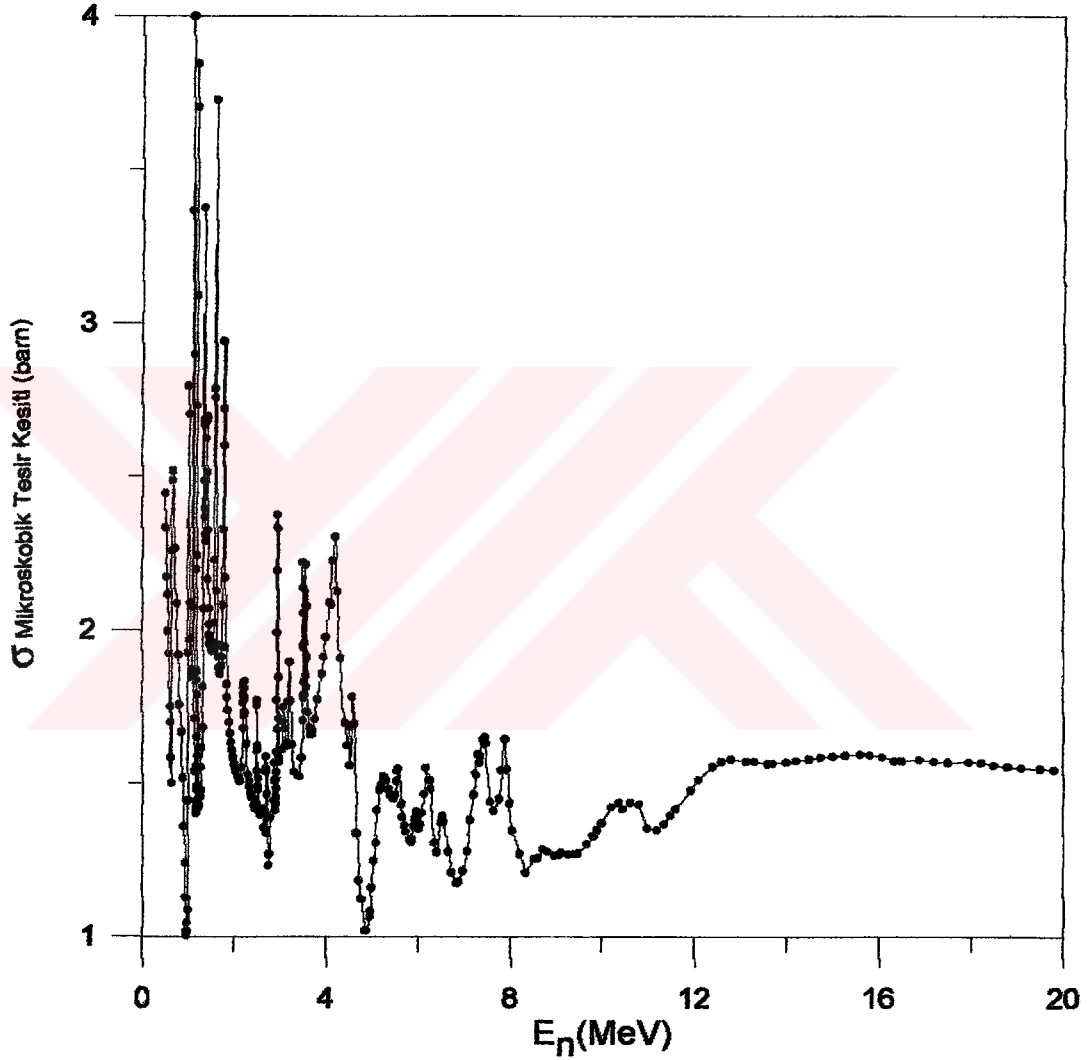
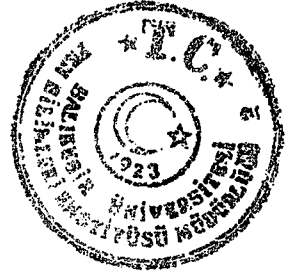
Şekil 4. 2 Karbon (C) için nötron enerjisine karşılık mikroskobik tesir kesiti spektrumu.



Şekil 4. 3 Hidrojen (H) için nötron enerjisine karşılık mikroskobik tesir kesiti spektrumu.

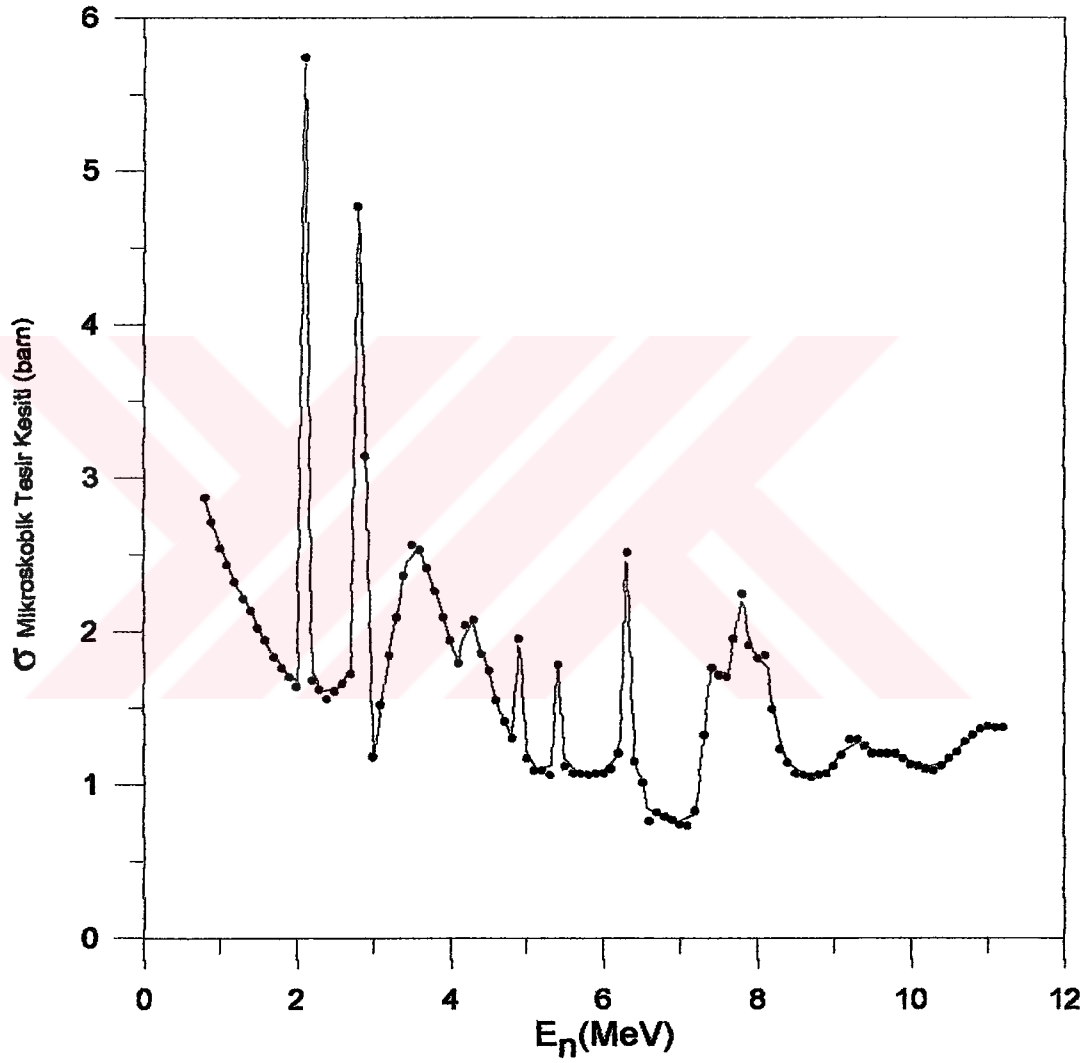
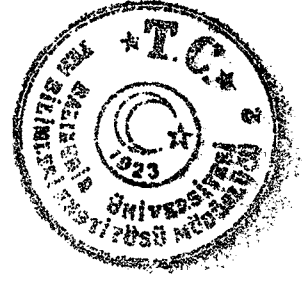


Şekil 4. 4 Oksijen (O) için nötron enerjisine karşılık mikroskobik tesir kesiti spektrumu.

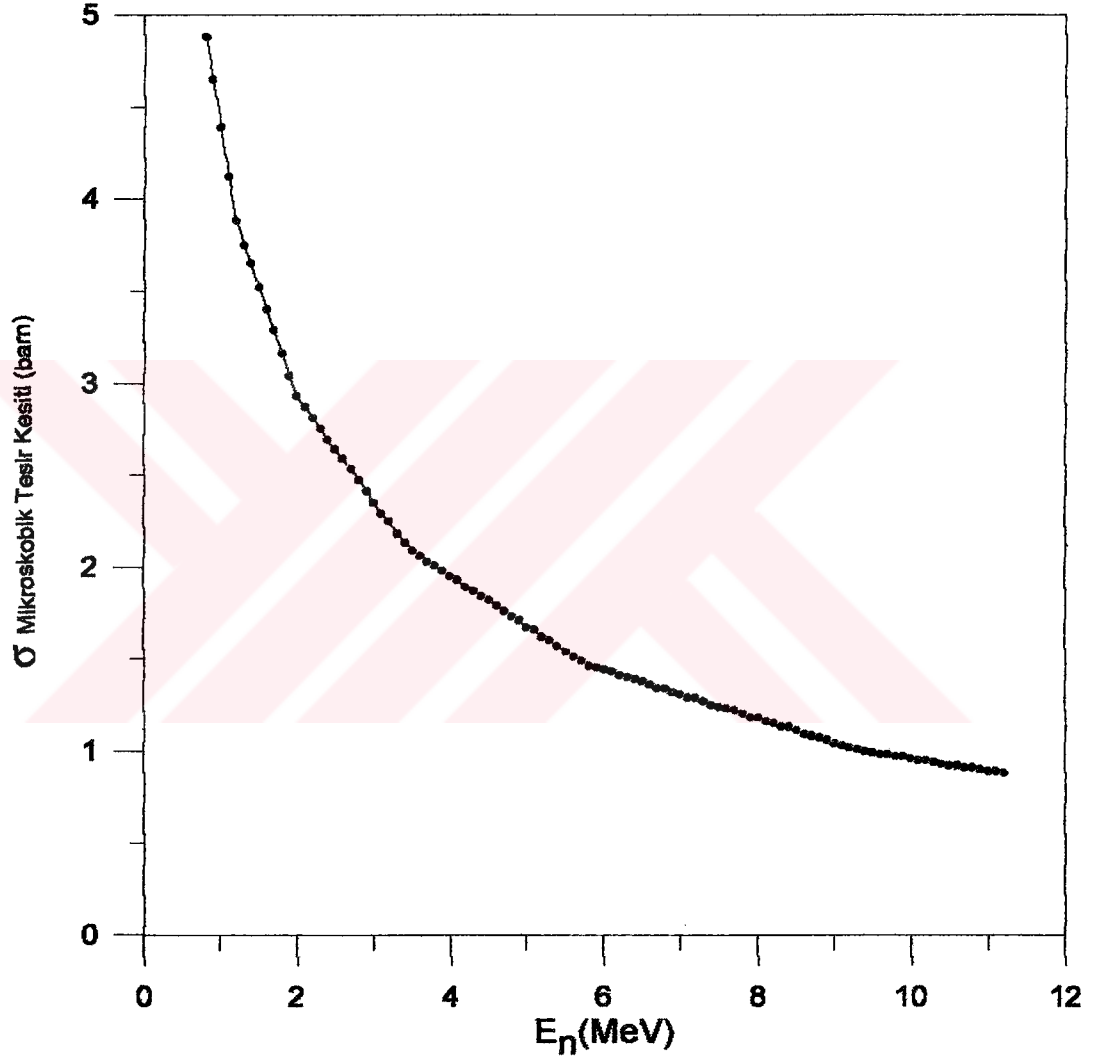
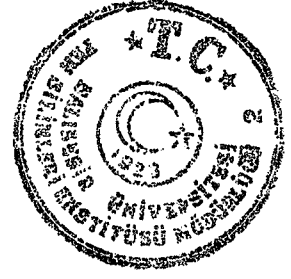


Şekil 4.5 Azot (N) için nötron enerjisine karşılık mikroskobik tesir kesiti spektrumu.

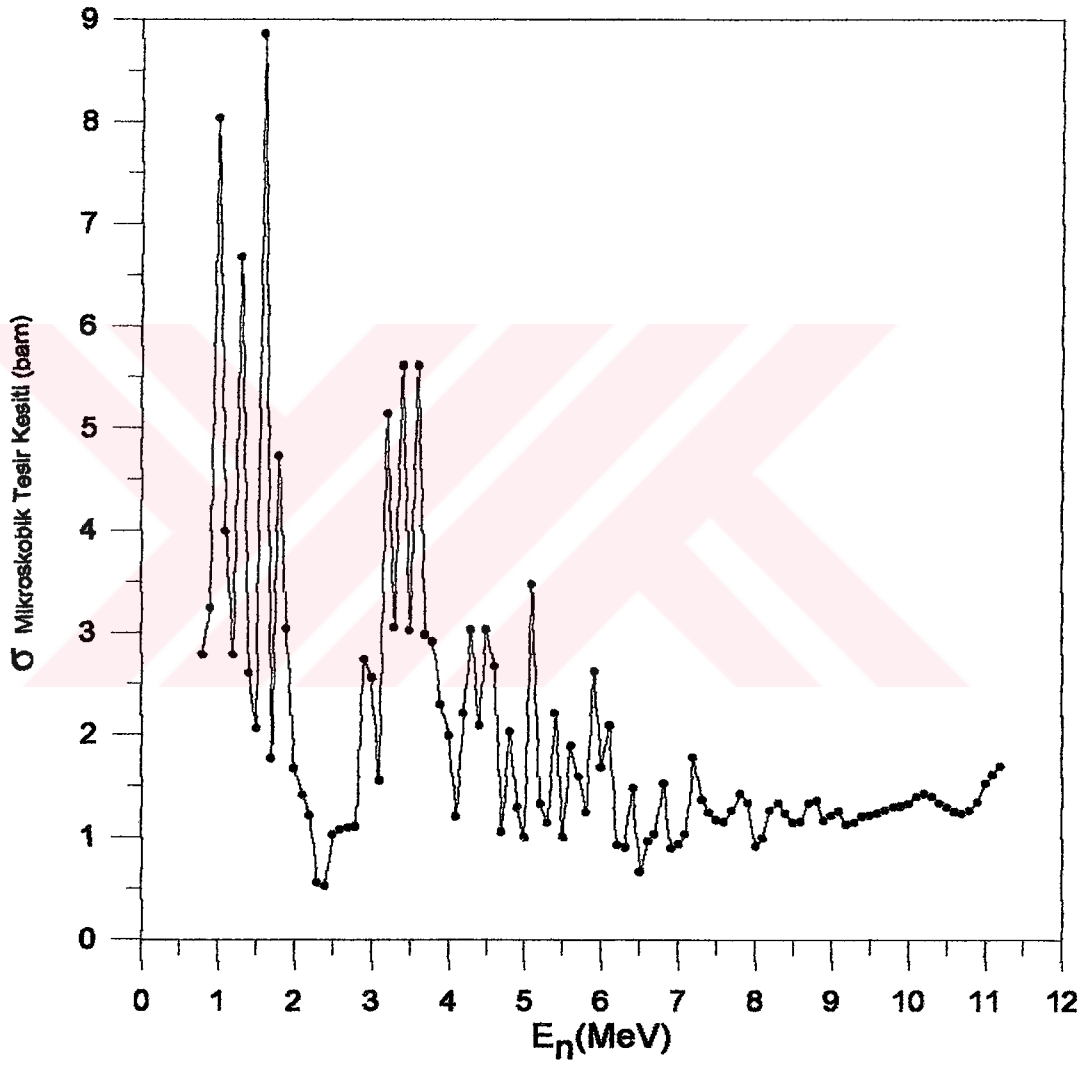
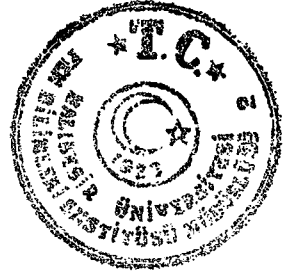
Bilgisayar yardımıyla, Şekil 4.2, 3, 4, 5 'te, 0.80 MeV 'den 11.20 MeV 'e kadar 0.10 MeV aralıklarla enerjiye karşılık mikroskobik tesir kesiti değerleri bulunarak, Şekil 4.6, 7, 8, 9 'da gösterilmiştir.



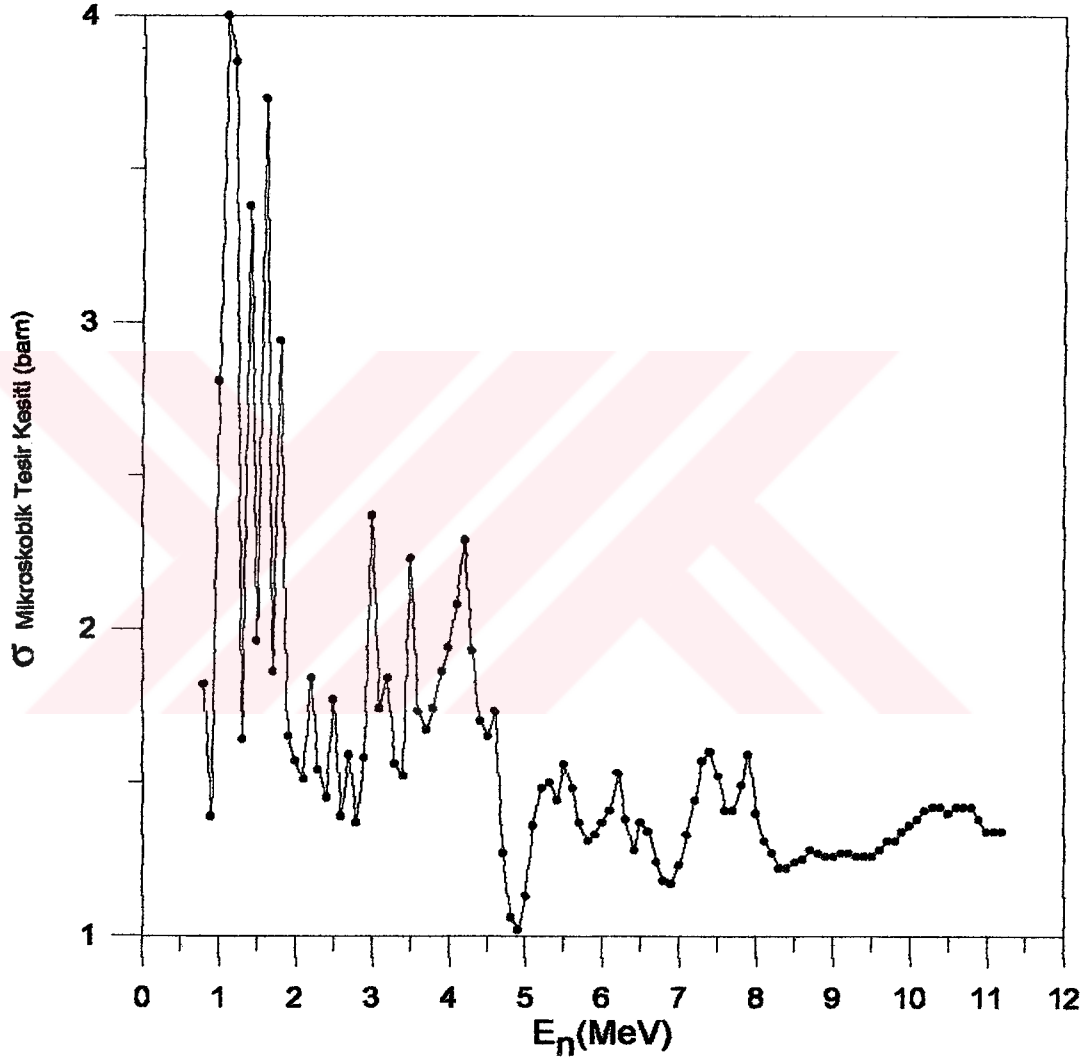
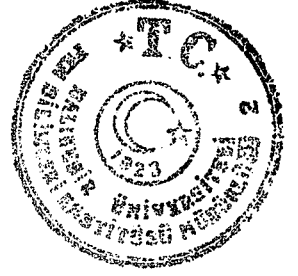
Şekil 4. 6 Karbon (C) için 0.80-11.20 MeV 'e kadar 0.10 MeV aralıklarla nötron enerjisine karşılık mikroskobik tesir kesiti spektrumu.



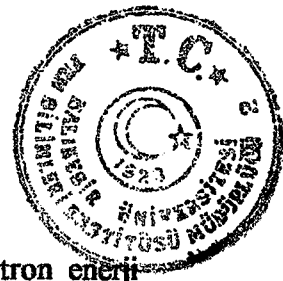
Şekil 4. 7 Hidrojen (H) için 0.80-11.20 MeV 'e kadar 0.10 MeV aralıklarla nötron enerjisine karşılık mikroskobik tesir kesiti spektrumu.



Şekil 4. 8 Oksijen (O) için 0.80-11.20 MeV 'e kadar 0.10 MeV aralıklarla nötron enerjisine karşılık mikroskopik tesir kesiti spektrumu.



Şekil 4. 9 Azot(N) için 0.80-11.20 MeV 'e kadar 0.10 MeV aralıklarla nötron enerjisine karşılık mikroskobik tesir kesiti spektrumu.



Γ , detektör sisteminin enerji ayırdedebilirliği (FWHM) ile σ (nötron enerji genişlemesi) arasında

$$\sigma = \frac{\Gamma}{2.355} \quad (4.1)$$

eşitliği vardır. Bu eşitlik kullanılarak 11 enerji grubu için de σ ' lar bulunabilir.

Bu çalışmada Gaussien fonksiyonu için

$$G(E_k, E_j) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma(E_k)} \exp\left(-\frac{(E_k - E_j)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (4.2)$$

MATUXF bilgisayar kodunda kullanılan form kabul edilmiştir. Burada

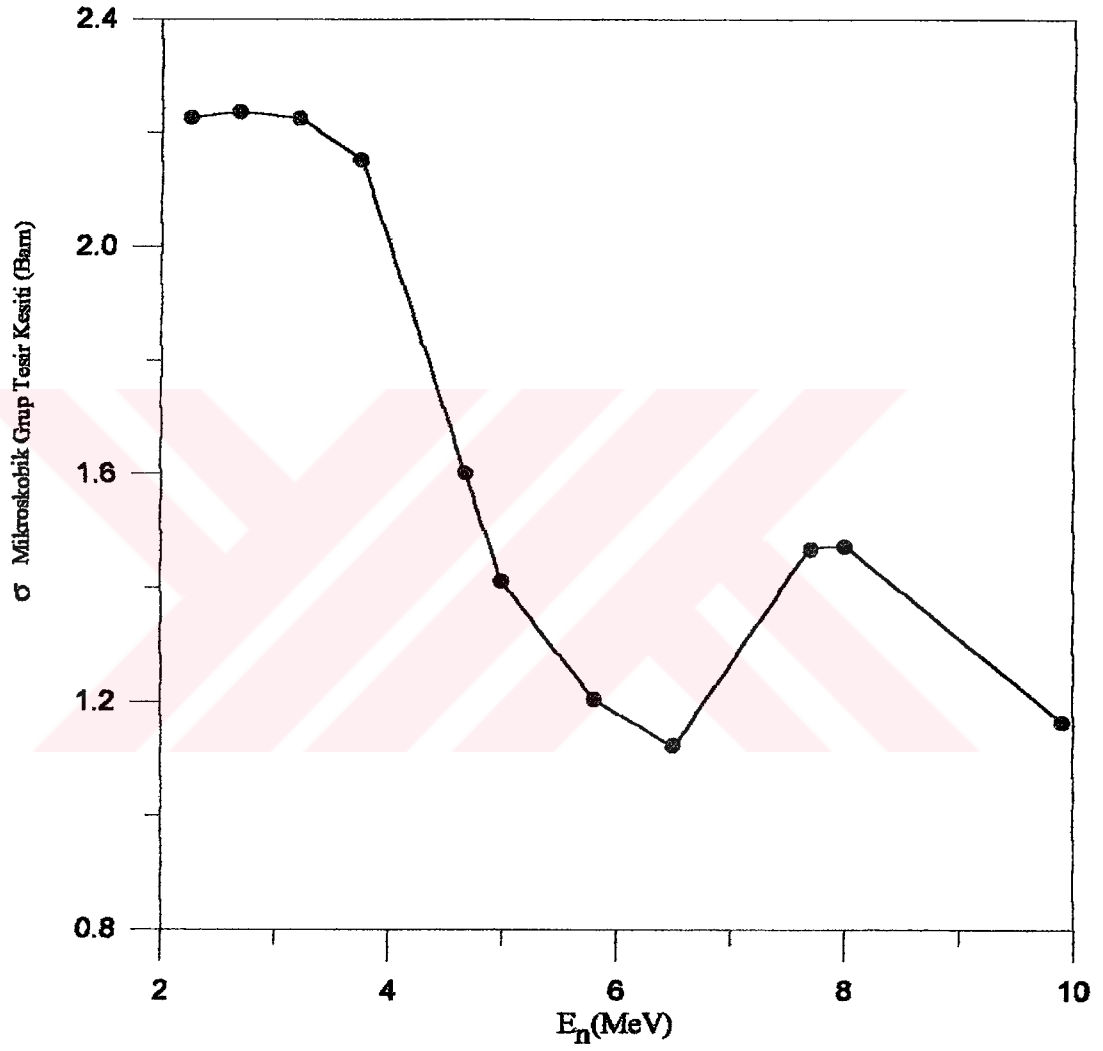
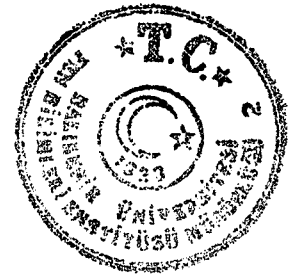
$$k=2.25, 2.68, 3.20, 3.75, 4.67, 5.00, 5.81, 6.50, 7.70, 8.00, 9.90 \text{ MeV}$$
$$j=0.80, \dots, 11.20 \text{ MeV } \Delta E=0.10 \text{ MeV 'dir.}$$

Eşitlik 4.2 'den yararlanarak her bir nötron grubu için 0.80-11.20 MeV 'e kadar 0.10 MeV aralıklarla $G(E_k, E_j)$ hesaplanabilir.

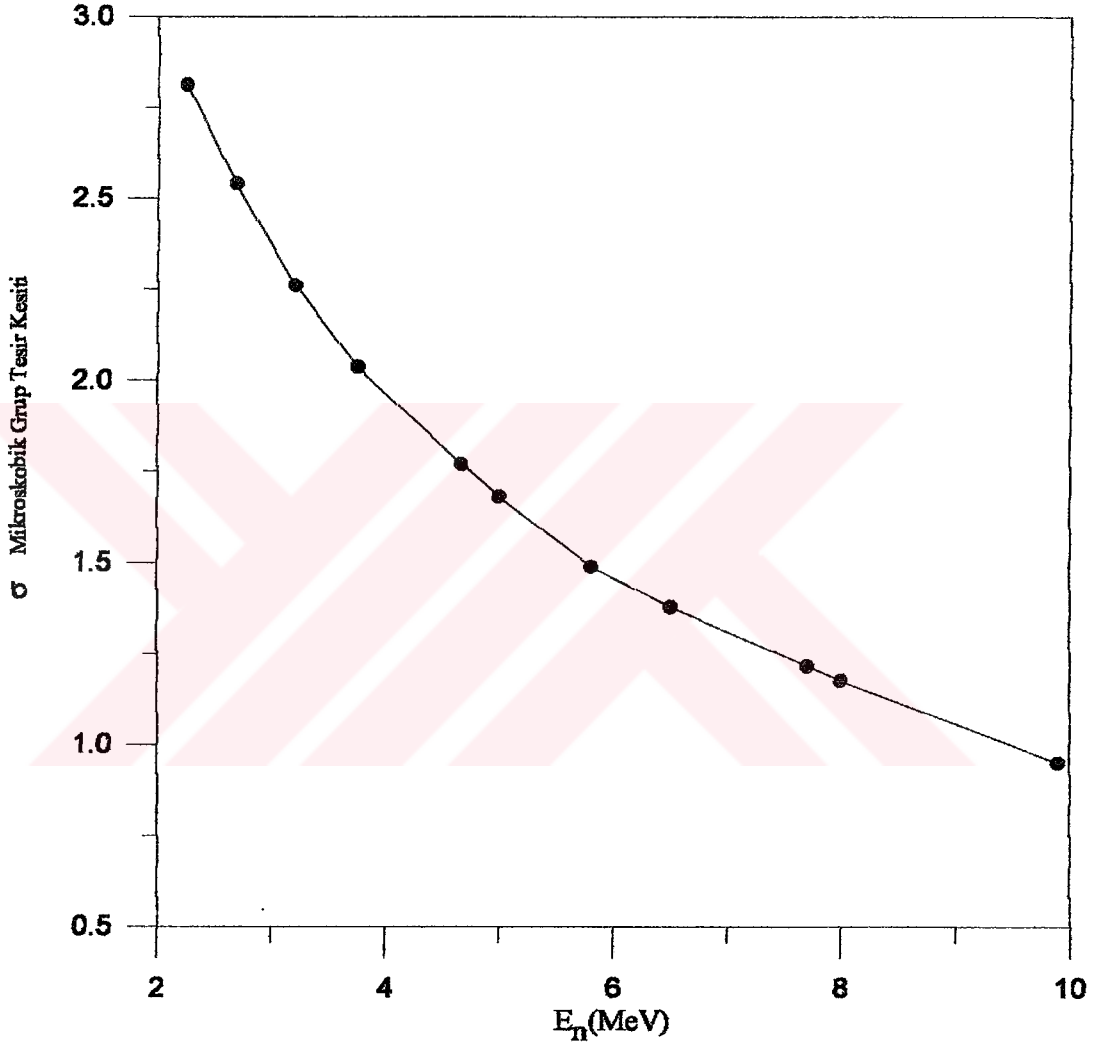
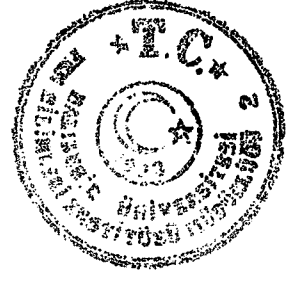
Mikroskobik grup tesir kesiti σ_k^g ;

$$\sigma_k^g = \sum_{j=1}^{105} G(E_k, E_j) \sigma^m(E_j) \Delta E \quad (4.3)$$

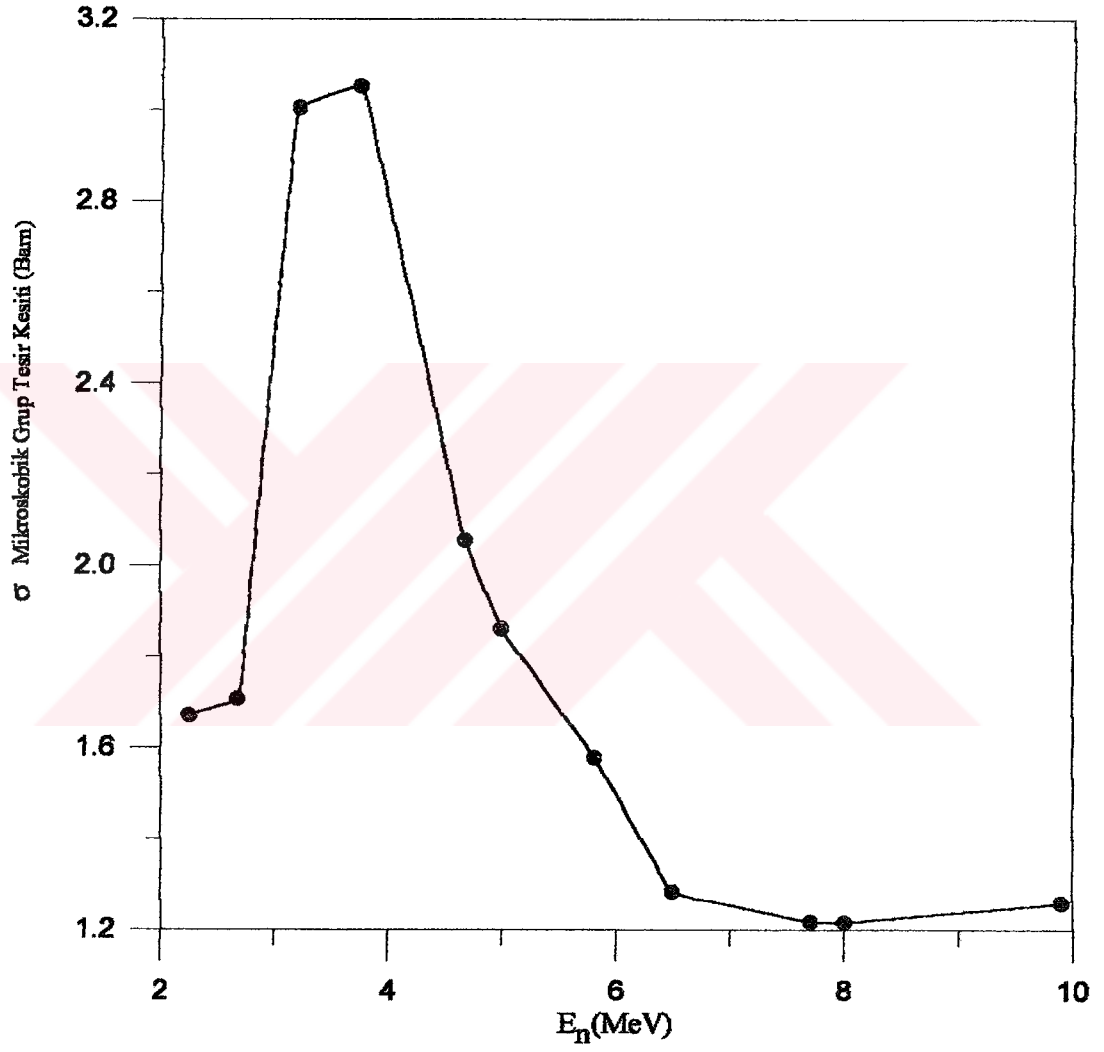
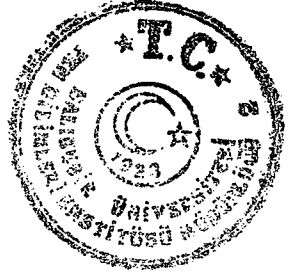
bağıntısıyla verilmiş ve Şekil 4.10, 11, 12, 13 'te sırasıyla C, H, O, N için mikroskobik grup tesir kesitine karşılık enerji grafikleri gösterilmiştir.



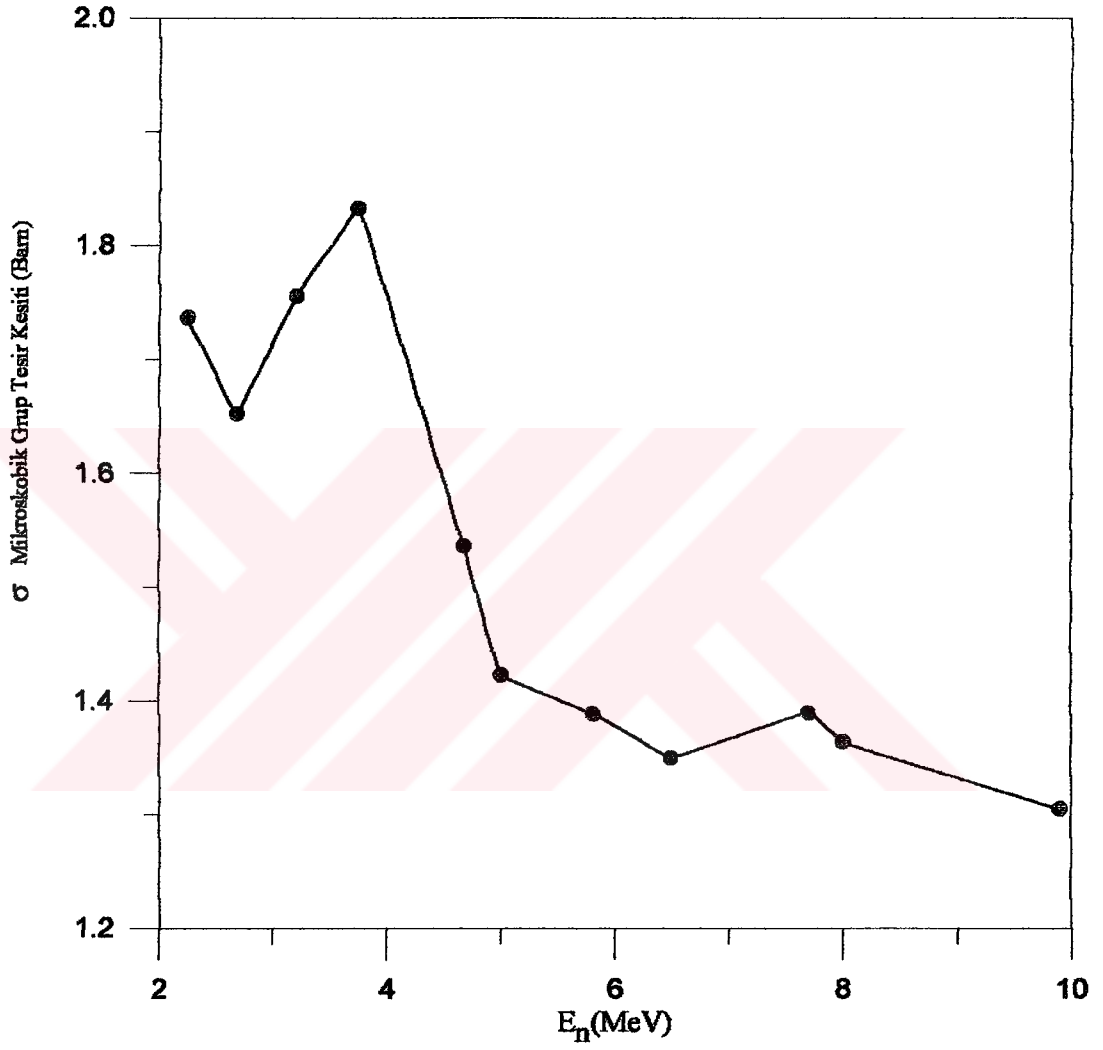
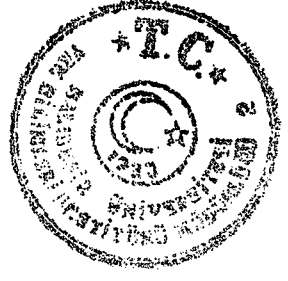
Şekil 4.10 Karbon için 11 nötron enerji grubuna karşılık mikroskopik grup tesir kesiti.



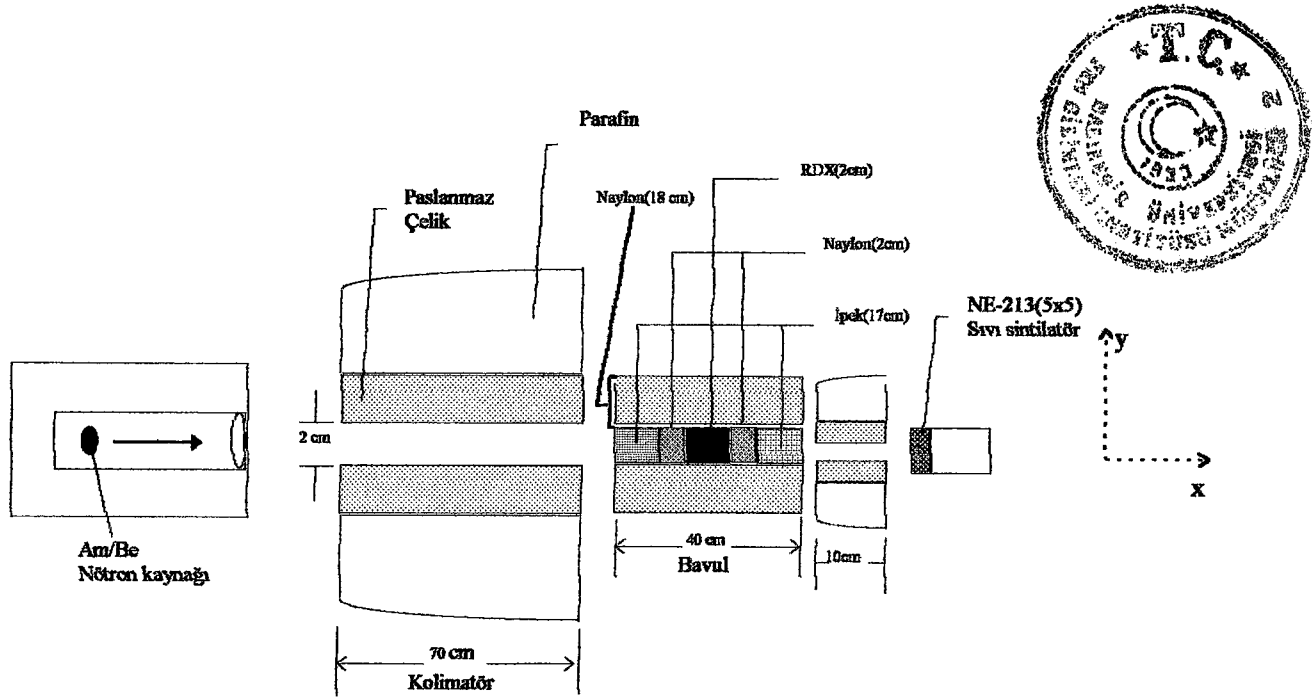
Şekil 4.11 Hidrojen için 11 nötron enerji grubuna karşılık mikroskobik grup tesir kesiti.



Şekil 4.12 Oksijen için 11 nötron enerji grubuna karşılık mikroskobik grup tesir kesiti.



Şekil 4.13 Azot için 11 nötron enerji grubuna karşılık mikroskobik grup tesir kesiti.



Şekil 4.14 Benzetişim çalışmasında kullanılan deneysel düzenek.

Şekil 4.14 'deki deneysel düzeneğe benzetişim yapılarak, gelen nötronlardan kaç tanesinin bavul içerisindeki maddelerle etkileşmeden detektöre ulaşmalarını kesrini

$$N(t) = N_0 e^{-\Sigma t} \quad (4.4)$$

eşitliğinden yararlanarak bulabiliriz. Burada:

- $N(t)$, t kalınlığındaki madde ile etkileşmeden geçen nötronların sayısı;**
- N_0 , kaynaktan çıkan nötron sayısı (her enerji için farklı değer alır);**
- Σ , makroskobik tesir kesiti;**
- t , kalınlıktır.**

Makroskobik tesir kesiti Σ ,

$$\Sigma = \sum_j N_j \sigma_j^m \quad (4.5)$$

eşitliği ile verilir. Burada,

j , elementin türü (H, C, O, N);



N_j , j elementi için atom sayısıdır.

Atom sayısı j,

$$N_j = \frac{\rho N_A}{A_{\text{bileşik}}} \alpha_j \quad (4.6)$$

eşitliği ile verilir. Burada,

ρ , bileşiğin yoğunluğu;

N_A , Avagadro sayısı;

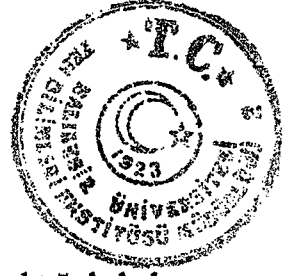
α_j , bileşiğin 1 molündeki j atomunun sayısı;

$A_{\text{bileşik}}$, bileşiğin atomik kütesidir.

Çizelge 4.1 Şekil 4.14 'te bavul içerisine konulan değişik maddelerin yoğunluk ve atomik kütleleri.

Madde	ρ (g/cm ³)	$A_{\text{bileşik}}$
İpek (C ₃ H ₁₁ N ₃ O ₆)	0.30	185
Naylon (C ₆ H ₁₁ NO)	1.10	113
RDX (C ₃ H ₆ N ₆ O ₆)	1.83	222
Fruktoz (C ₆ H ₁₂ O ₆)	0.88	180
Melamin (C ₃ H ₆ N ₆)	1.11	126
Polietilen (CH ₂)	0.93	14
Su (H ₂ O)	1.00	18

Çizelge 4.1 'deki ρ [23-24] değerleri kullanılarak her bir bileşik için makroskobik tesir kesiti (Σ) değerleri bulunabilir.



4.2 Her Nötron Grubuna Ait Akımın Bulunması

^{241}Am -Be nötron kaynağından saniyede yaklaşık 10^7 tane nötron çıktığı kabul edilirse, katı açı (Ω) içindeki nötron sayısı,

$$N_0 = \frac{10^7}{4\pi} \Omega \quad (4.7)$$

eşitliği ile verilebilir. Burada

$$\Omega, \frac{\text{Kolim atör alanı}}{(\text{Kaynak - detektör arası uzaklık})^2} \text{ 'dir.}$$

Şekil 3.25 'te verilen gaussian forma sahip her nötron grubunun alanı,

$$A_k = \sqrt{2\pi} \sigma H \quad (4.8)$$

eşitliği ile hesaplanabilir. Burada:

H, Gaussian formdaki nötron tepesinin yüksekliğidir.

σ , nötron enerji genişlemesidir. Her enerji grubu için bulunmuştur.

Her nötron grubu için gelen nötron sayısı N_0 değeri,

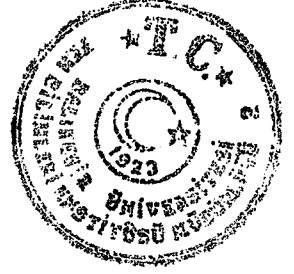
$$N_0 = \frac{10^7 \Omega}{4\pi} \frac{A_k}{A_{\text{toplam}}} \quad (4.9)$$

eşitliği ile verilir. Burada:

A_k , her nötron enerjisinin alanı

A_{toplam} , toplam alan

$k = 2.25, 2.68, 3.20, 3.75, 4.67, 5.00, 5.81, 6.50, 7.70, 8.00, 9.90$ 'dır.



5 BİR ORTAMIN NÖTRONLAR İÇİN GEÇİRİMİNİN BELİRLENMESİ

Nötronlar yüksüz olduklarından, madde içine girdiklerinde elektriksel kuvvetlere maruz kalmazlar. Bu yüzden maddenin çekirdekleri ile kolaylıkla etkileşebilirler. Belli sayıda gelen nötronların yolu üzerine herhangi bir madde konulduğunda, nötronların bir kısmı madde ile etkileşirken bir kısmı da etkileşmeden madde içinden geçebilir. “Nötron geçirim katsayısı” (A), maddenin nötron akısını zayıflatması olarak tanımlanabilir.

A, nötron geçirim katsayısı,

$$A = \ln\left(\frac{N_0}{N}\right) = \Sigma t \quad (5.1)$$

eşitliğinden elde edilir [25].

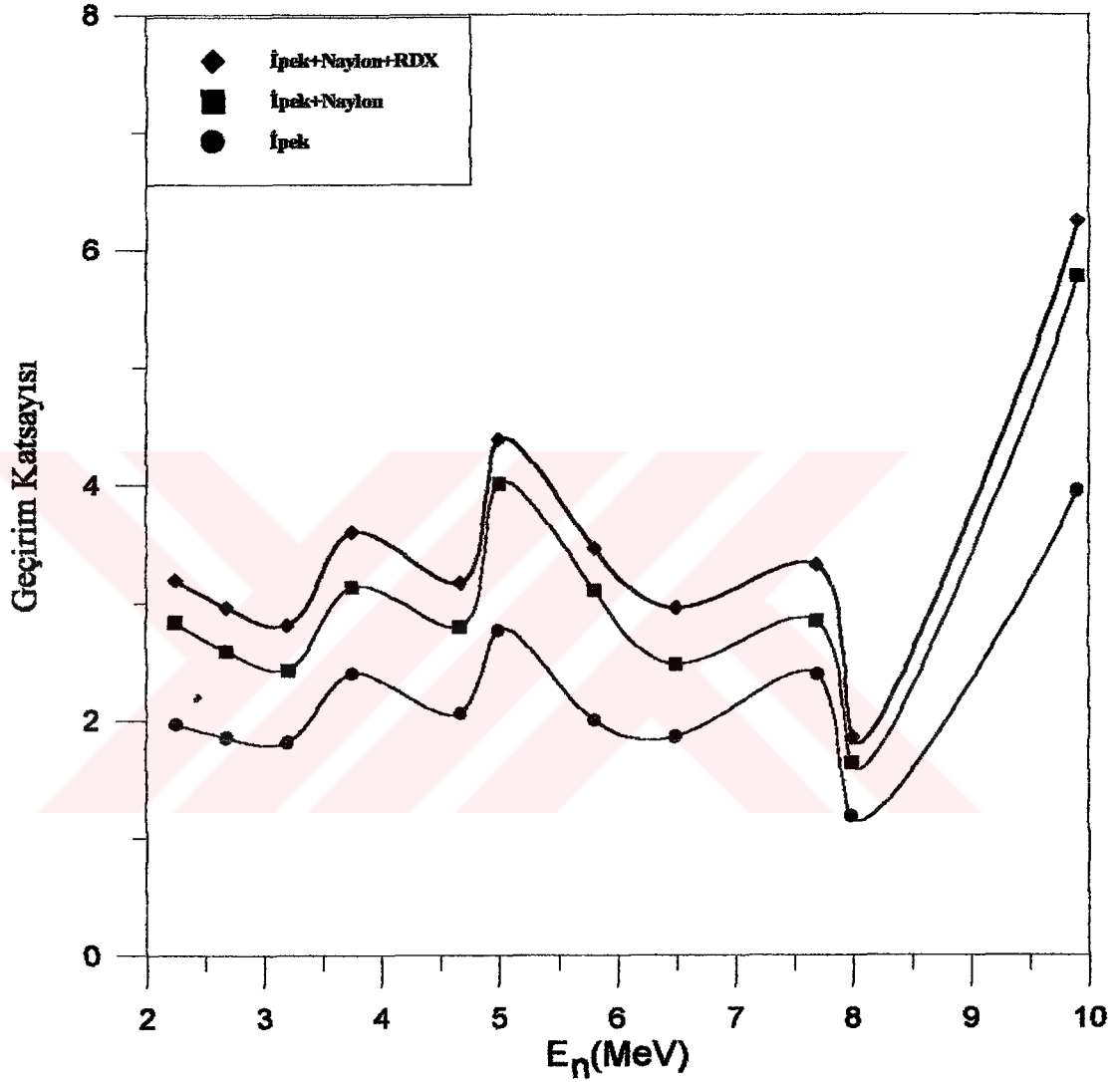
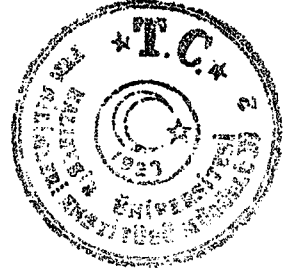
Şekil 4.14 'te verilen düzenek ile bir bavul içinde bulunabilecek maddeler göz önüne alınarak ve bu maddeler arasında patlayıcı olarak RDX bulunması benzetişim yoluyla incelenmiştir.

Şekil 4.14 'te bavul içerisinde yalnız ipek ($C_3H_{11}N_3O_6$), yalnız ipek ve naylon ($C_6H_{11}NO$), yalnız ipek, naylon ve RDX ($C_3H_6N_6O_6$) varken her enerji grubu için A katsayısının değeri bulunarak, enerjiye karşılık A Şekil 5.1 'de gösterilmiştir. Şekil 5.2 'de ise RDX 'in olduğu yerde sırasıyla fruktoz ($C_6H_{12}O_6$), melamin ($C_3H_6N_6$), su (H_2O), ve polietilen (CH_2) konulduğunda bulunan geçirim katsayılarının enerjiye göre grafiği gösterilmiştir. Kalınlığa göre (1 'er cm aralıklarla) A 'nın, Şekil 5.3 'te yalnız ipek, Şekil 5.3 'te yalnız ipek ve naylon, Şekil 5.4 'te yalnız ipek, naylon ve RDX varkenki grafikleri gösterilmiştir. Şekil 5.6 'dan Şekil 5.9 'a kadar ise RDX yerinde

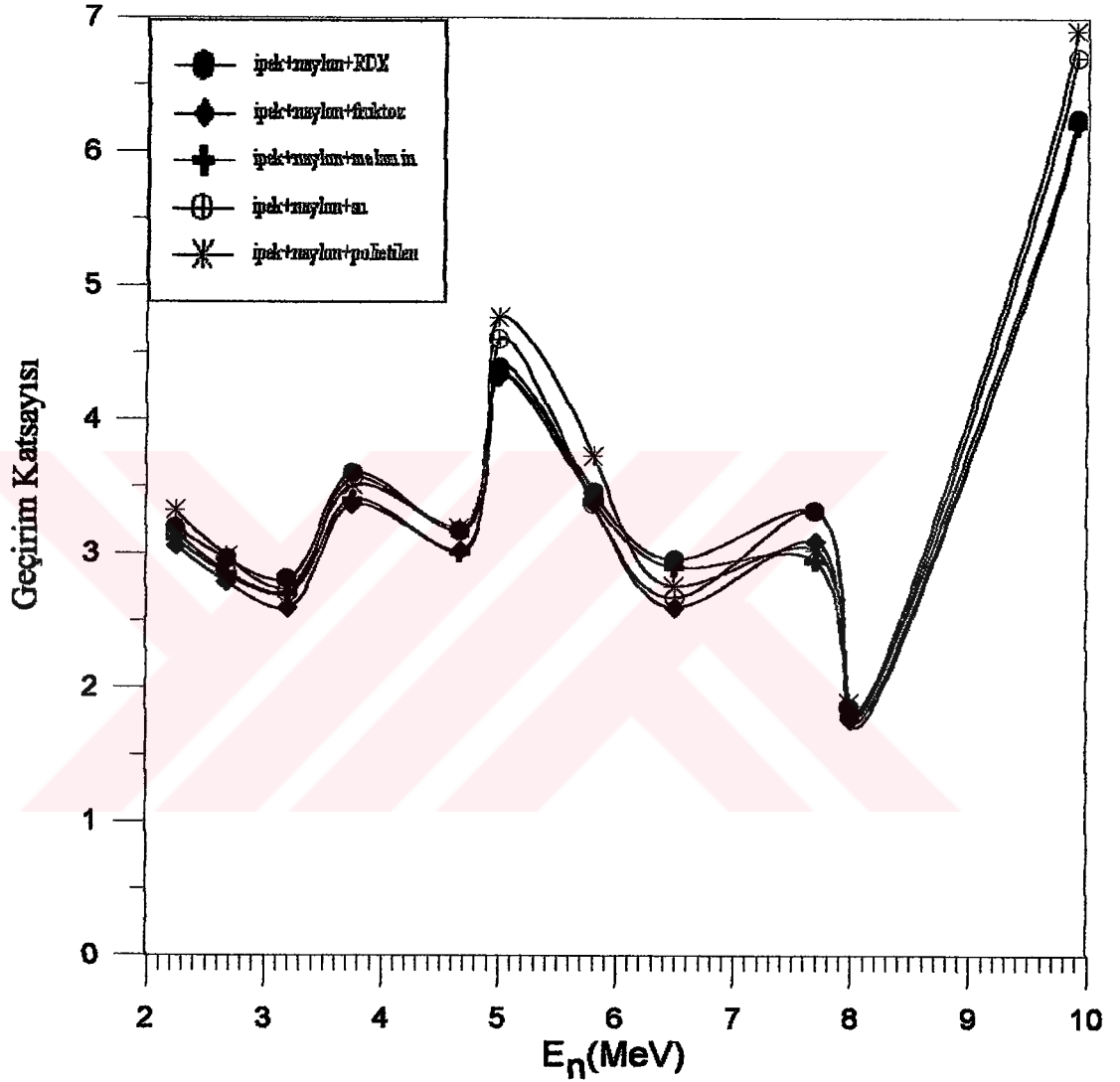
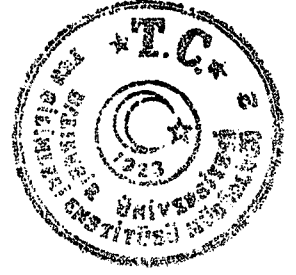


sırasıyla fruktoz, melamin, polietilen ve su varken kalınlığa göre geçirim katsayısı grafikleri gösterilmiştir. Şekil 5.10 'dan Şekil 5.31 'e kadar, bavulun y doğrultusunda 1'er cm aralıklarla hareket ettirilmesiyle elde edilen geçirim katsayılarının kalınlığa göre grafikleri gösterilmiştir. Bavul boş, yalnız ipek, yalnız ipek ve naylon, yalnız ipek, naylon ve RDX varken enerjiye karşılık akı grafiği Şekil 5.32 'de gösterilmiştir.

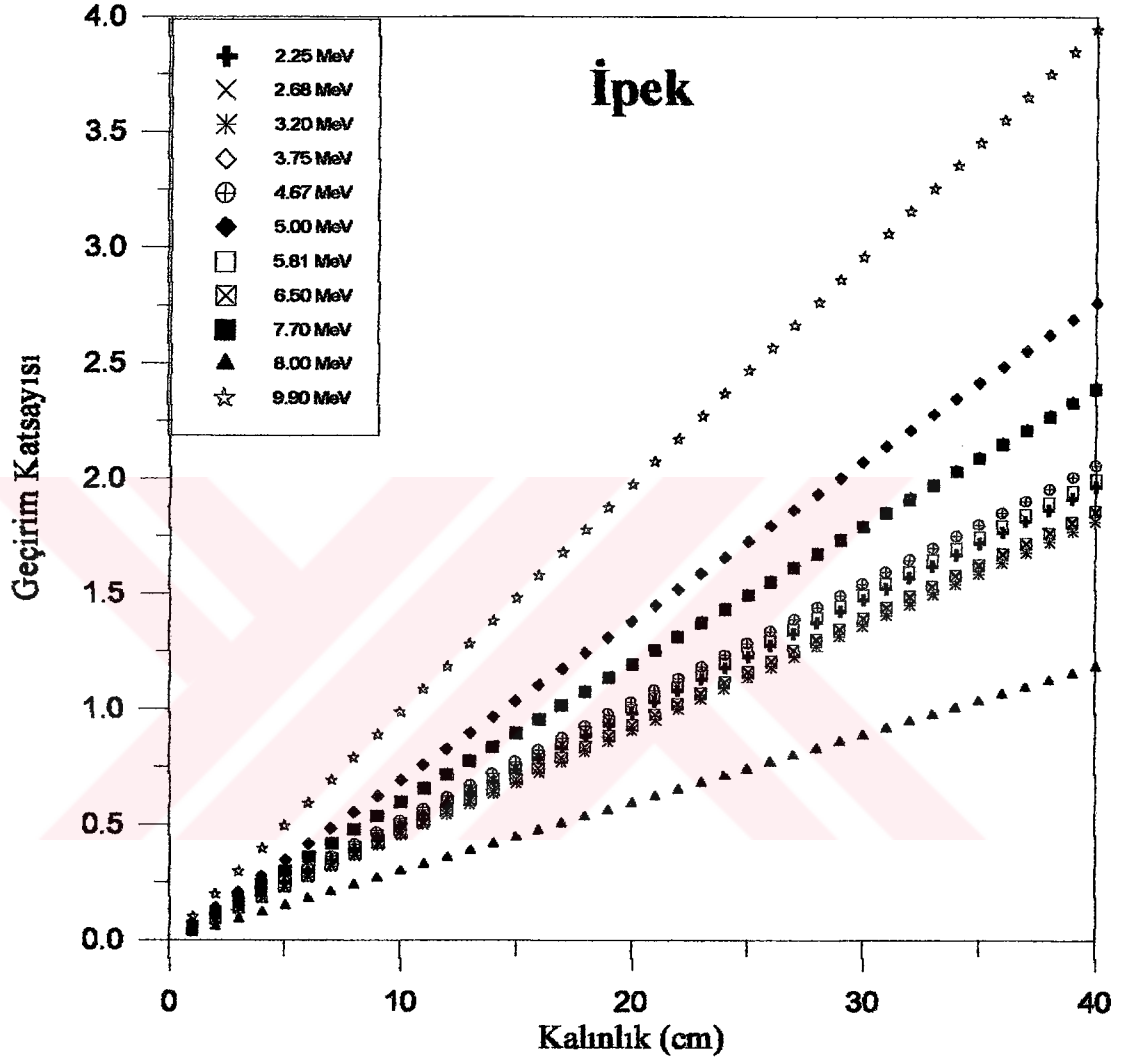
Şekil 5.1 'de görüleceği gibi, RDX 'in belirlenmesi için geçirim katsayısının açıkça farklı olduğu bölgeler göz önüne alınmalıdır. Bu bölgeler 2.50 MeV-4.50 MeV arası ve 5.50 MeV-7.50 MeV arası olarak alınabilir. Şekil 5.2 'de ise bir bavul içinde bulunabilecek ve RDX 'in belirlenmesinde olumsuz etkisi olabilecek diğer malzemelerde nötron geçirimlerinin enerjiyle değişimi verilmiştir.



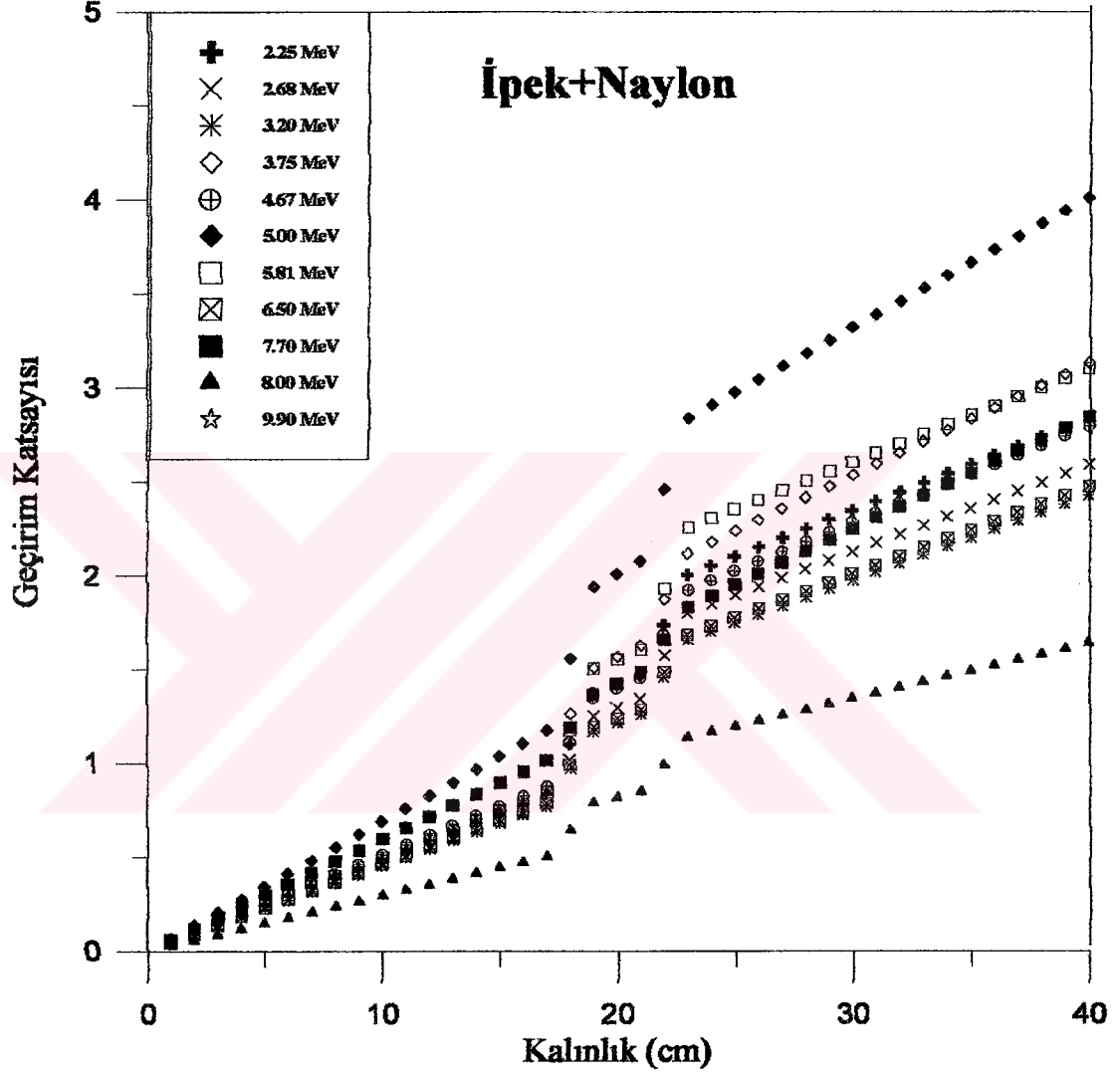
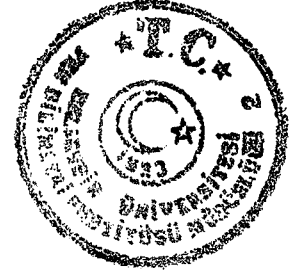
Şekil 5.1 Enerji - geçirim katsayısı değişim grafiği: Şekil 4.14'te 40 cm 'lık baval içerisinde yalnız ipek, 17 cm ipek 2 cm naylon 2 cm ipek 2 cm naylon ve 17 cm ipek, 17 cm ipek 2 cm naylon 2 cm RDX 2cm naylon ve 17 cm ipek varkenki durumu göstermektedir.



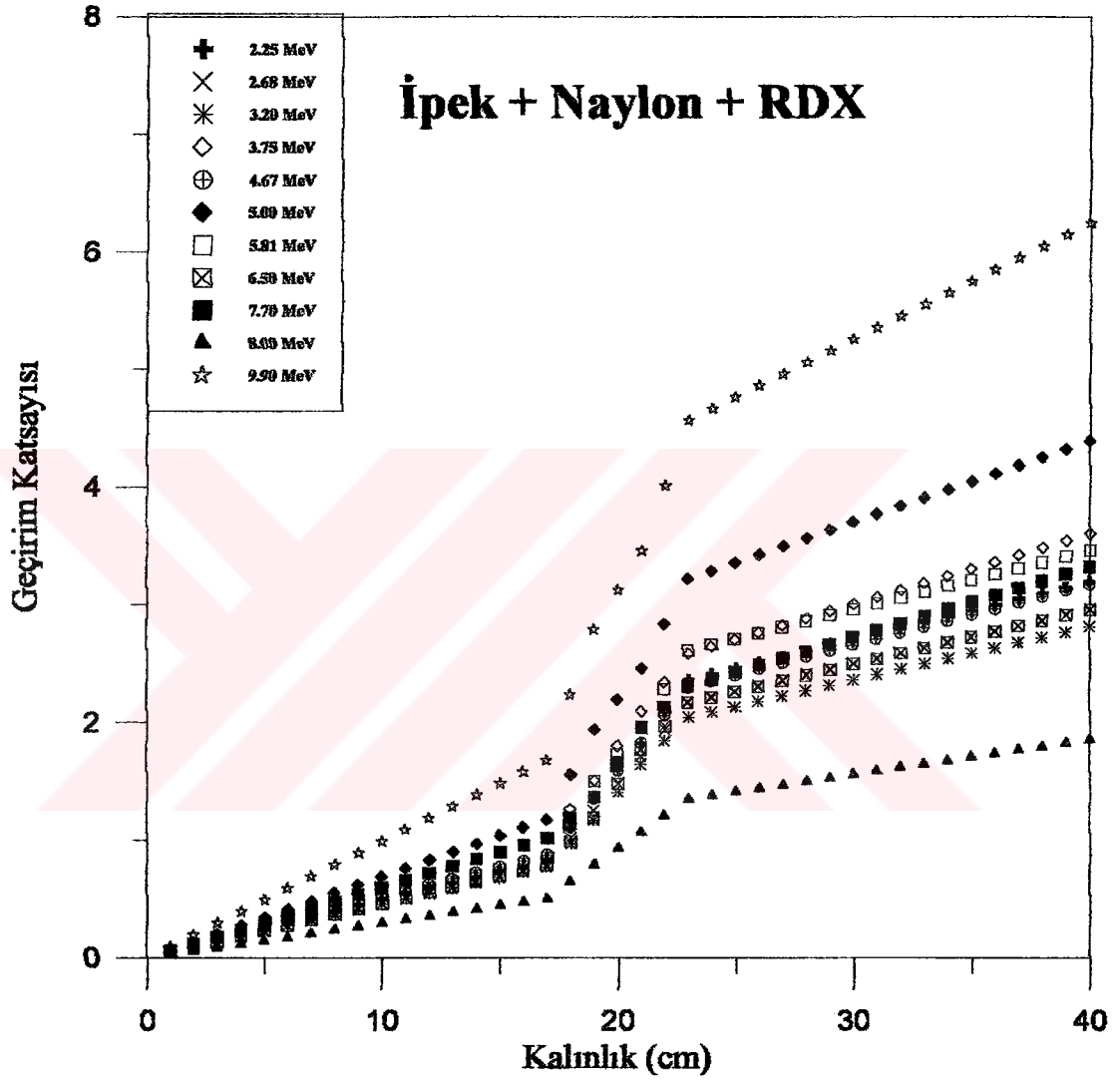
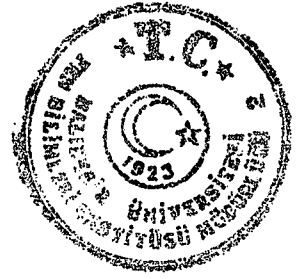
Şekil 5.2 Enerji - geçirim katsayısı değişim grafiği: Şekil 4.14 'te 40 cm'lik bavul içerisinde, ipek+naylon+rdx, ipek+naylon+fruktoz, ipek+naylon+melamin, ipek+naylon+su, ipek+naylon+polietilen varkenki durumu gösterilmektedir.



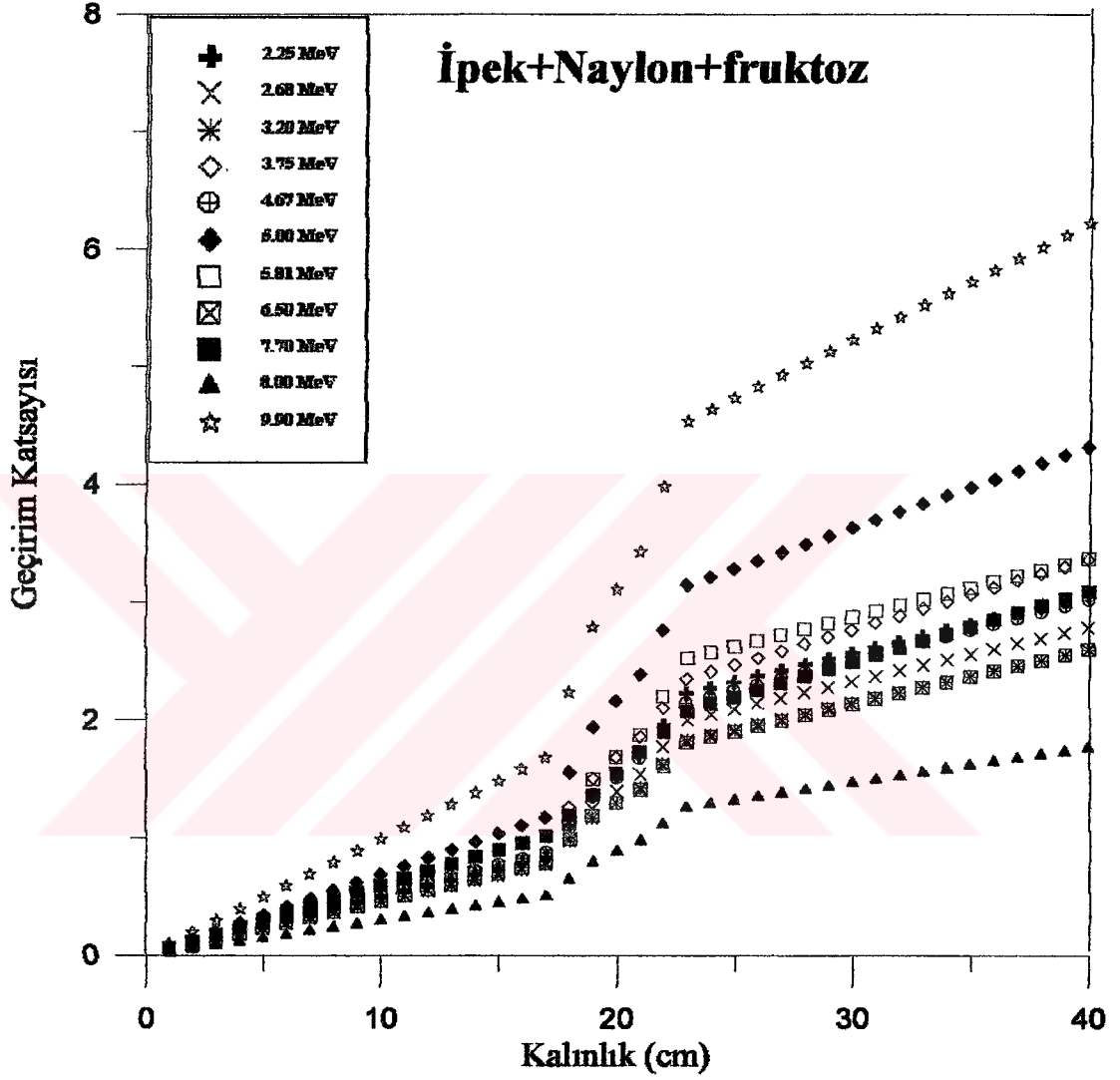
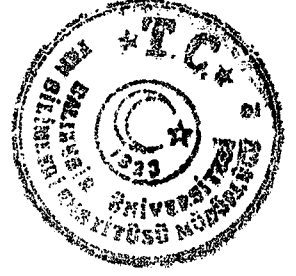
Şekil 5.3 Bavul içinde (40 cm) ipek varken, 11 enerji grubu için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği.



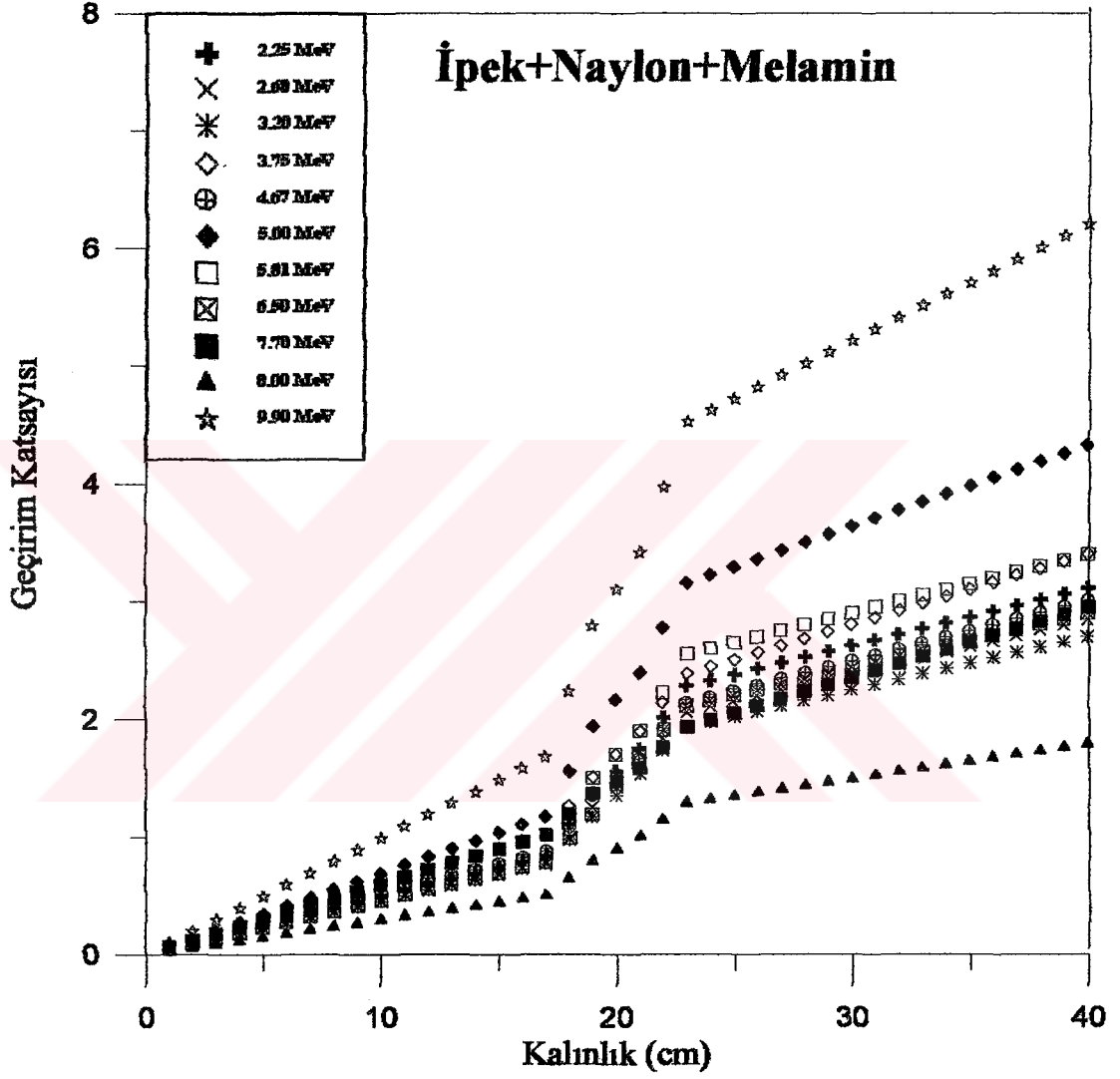
Şekil 5.4 Bavul içinde sırasıyla, 17 cm ipek 2 cm naylon 2 cm ipek 2 cm naylon 17 cm ipek varken, 11 enerji grubu için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği.



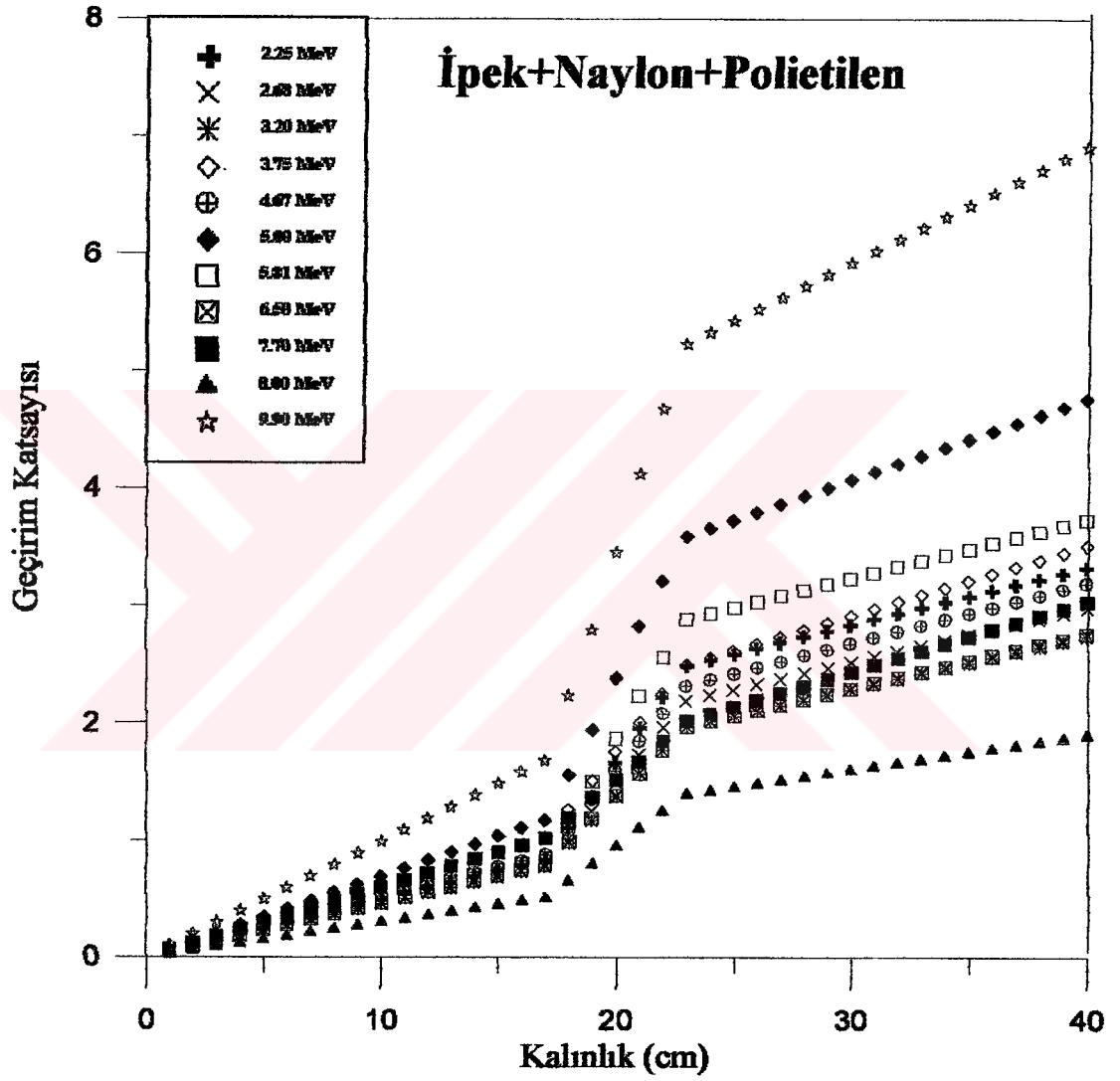
Şekil 5.5 Bavul içinde sırasıyla, 17 cm ipek 2 cm naylon 2 cm RDX 2 cm naylon 17 cm ipek varken, 11 enerji grubu için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği.



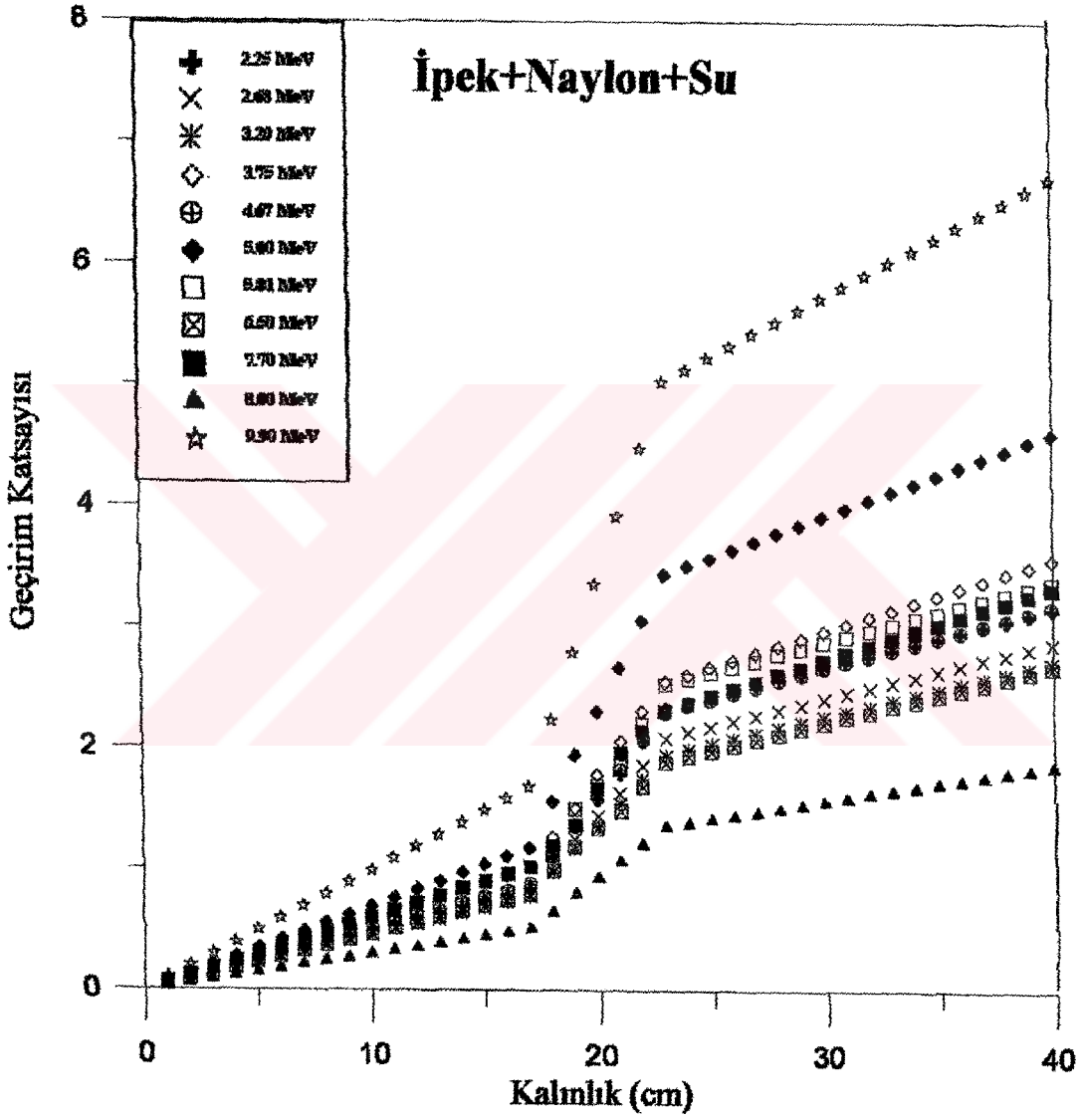
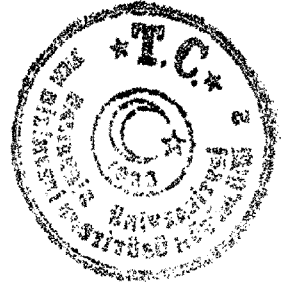
Şekil 5.6 Bavul içinde sırasıyla, 17 cm ipek 2 cm naylon 2 cm fruktoz 2 cm naylon 17 cm ipek varken, 11 enerji grubu için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği.



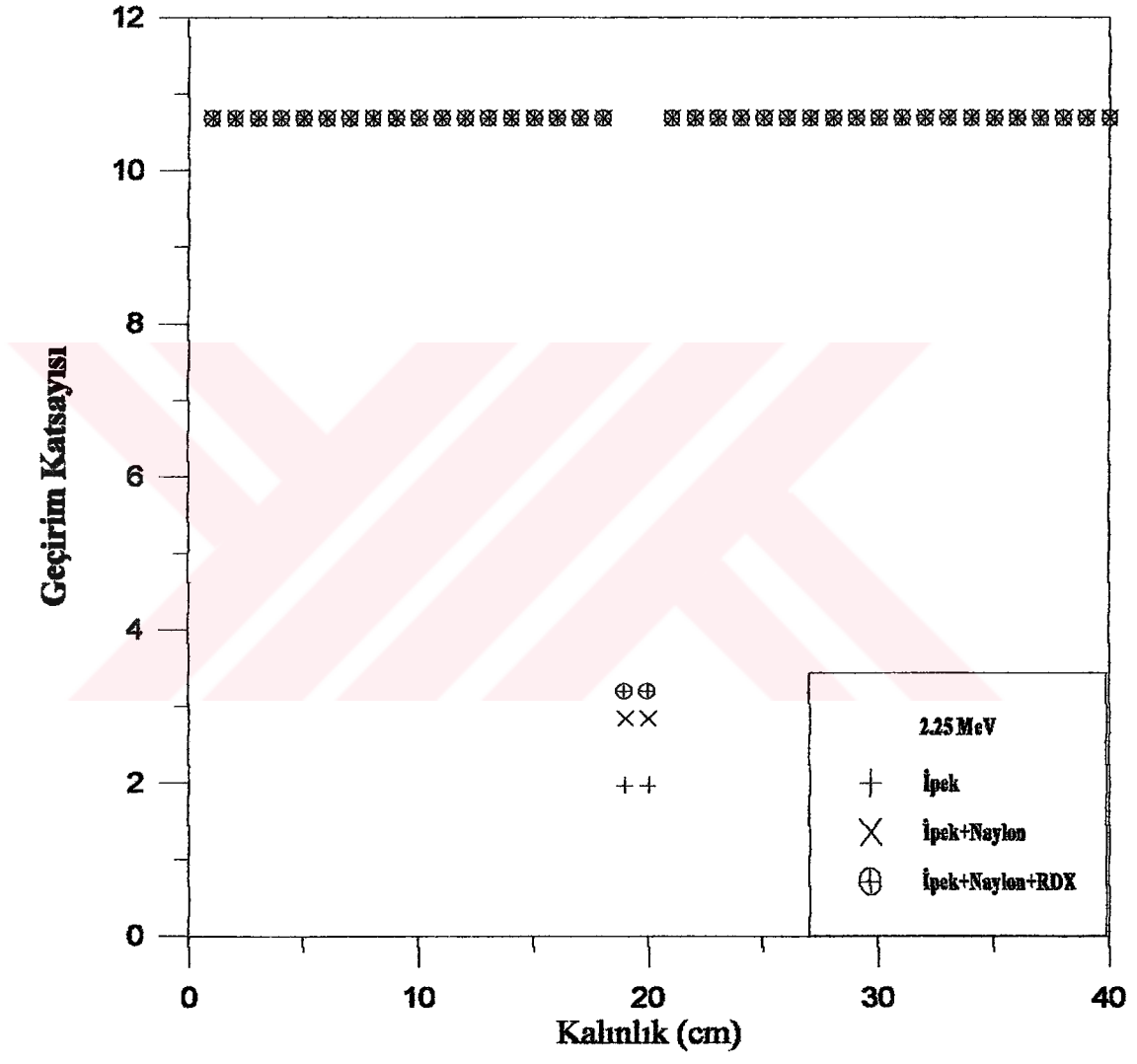
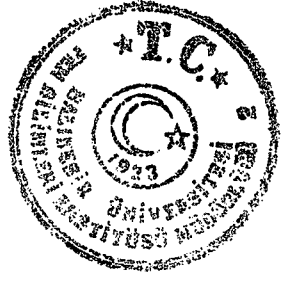
Şekil 5.7 Bavul içinde sırasıyla, 17 cm ipek 2 cm naylon 2 cm melamin 2 cm naylon 17 cm ipek varken, 11 enerji grubu için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği.



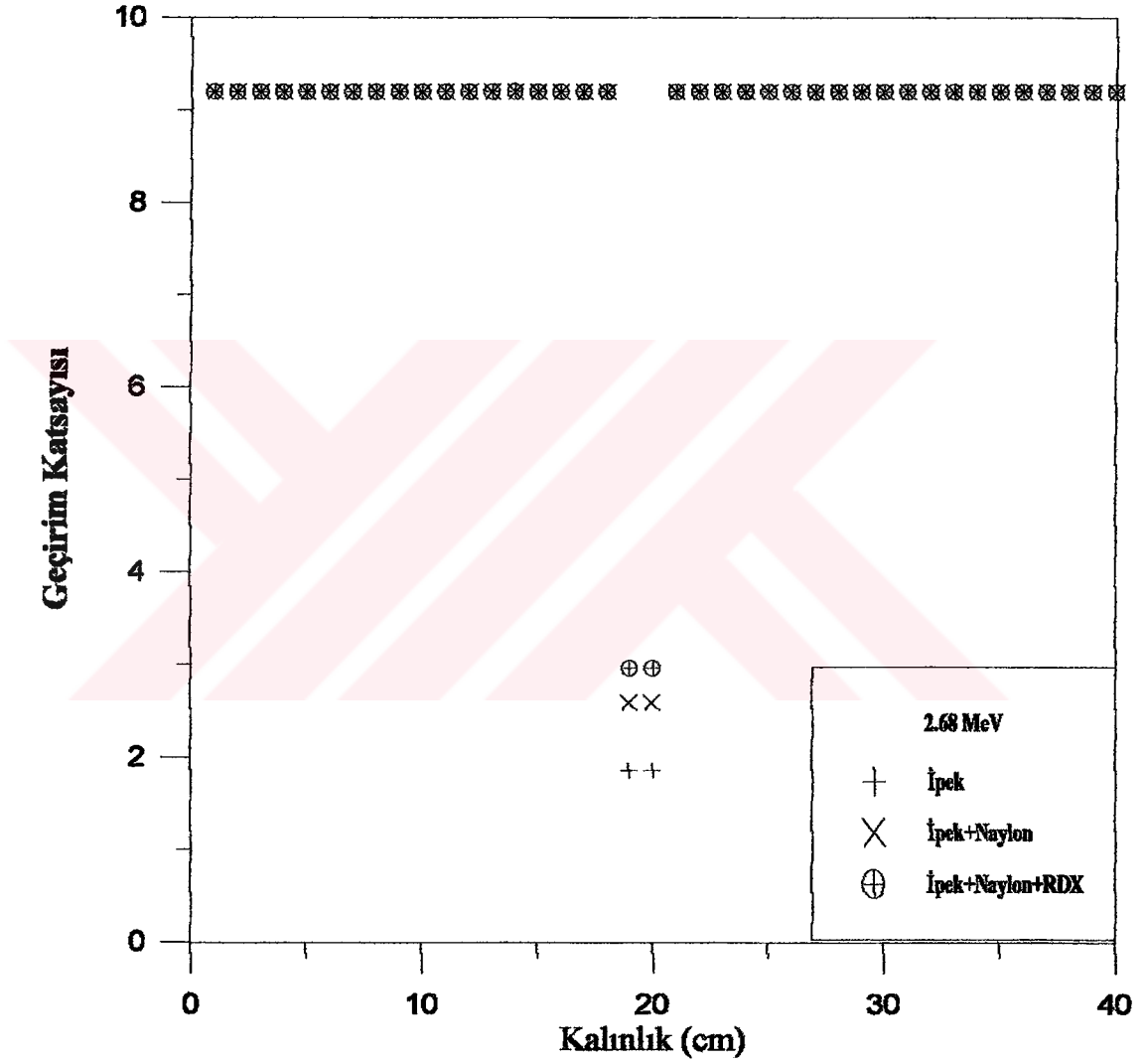
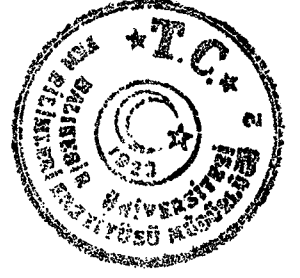
Şekil 5.8 Bavul içinde sırasıyla, 17 cm ipek 2 cm naylon 2 cm polietilen 2 cm naylon 17 cm ipek varken, 11 enerji grubu için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği.



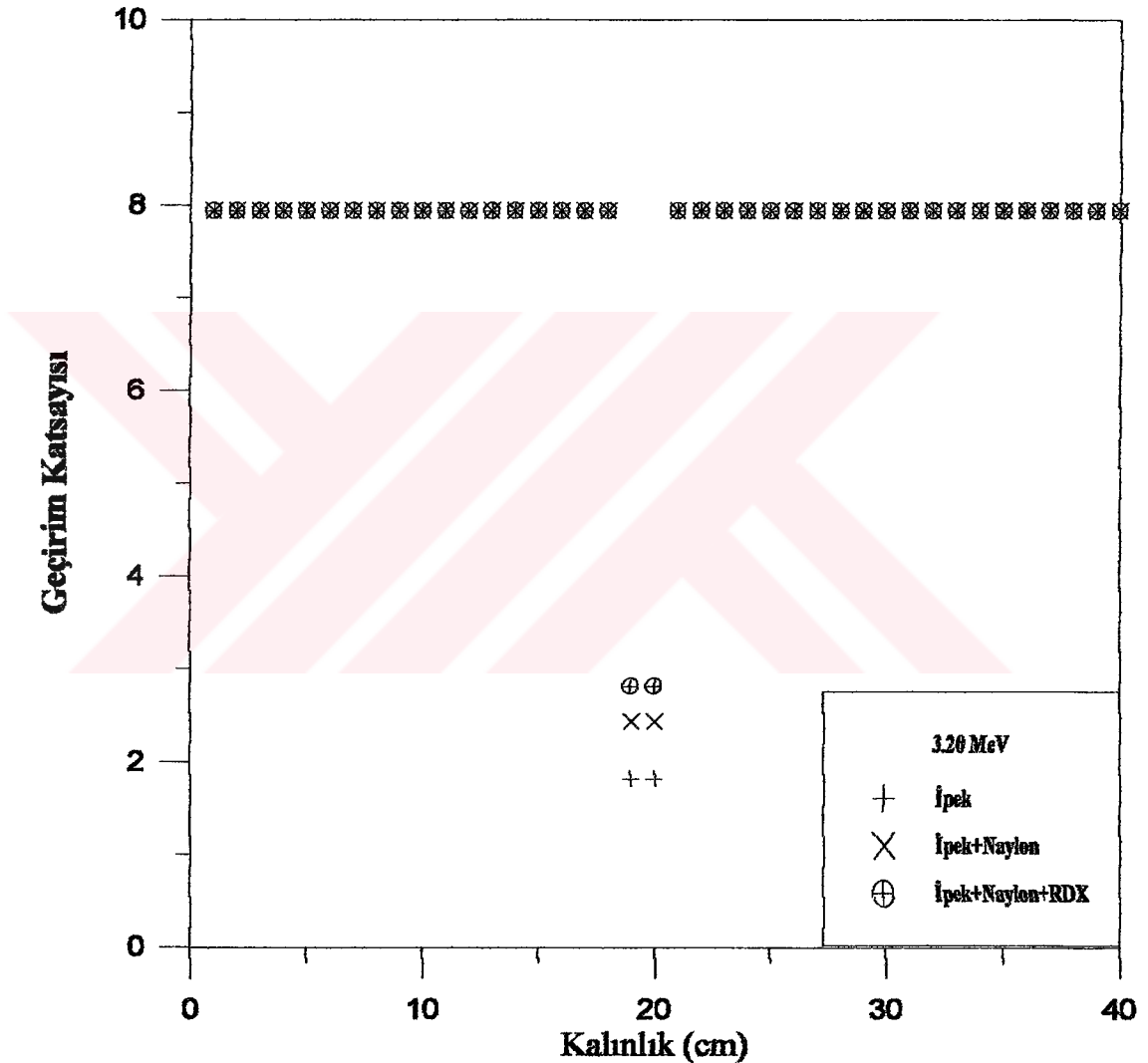
Şekil 5.9 Bavul içinde sırasıyla, 17 cm ipek 2 cm naylon 2 cm su 2 cm naylon 17 cm ipek varken, 11 enerji grubu için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği.



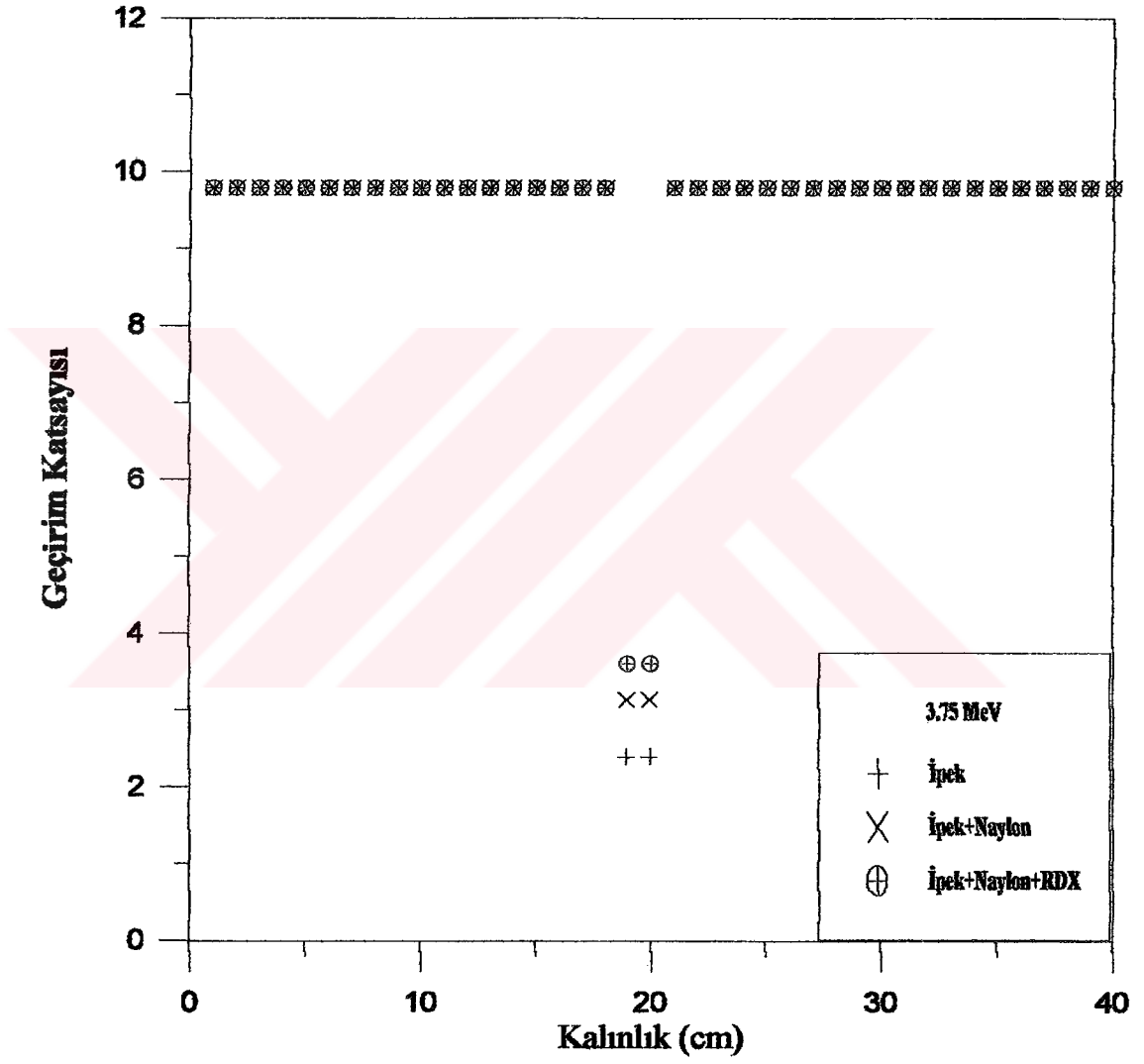
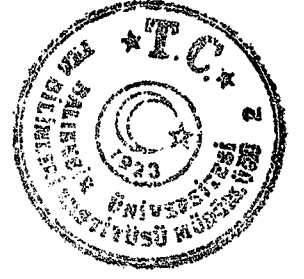
Şekil 5.10 Şekil 4.14 'te bavul y doğrultusunda 1 'er cm hareket ettirildiğinde 2.25 MeV 'lik nötronlar için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği.



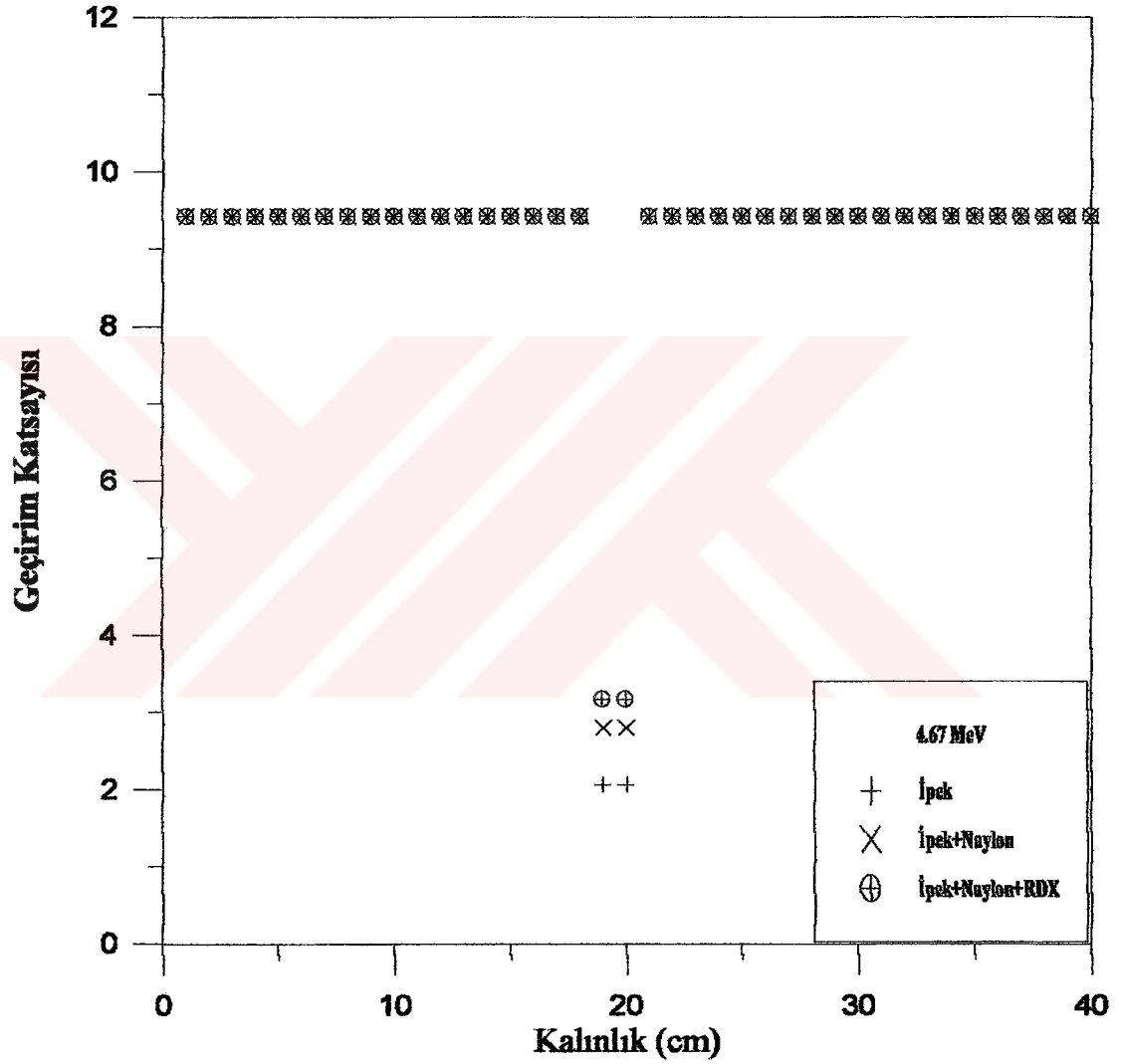
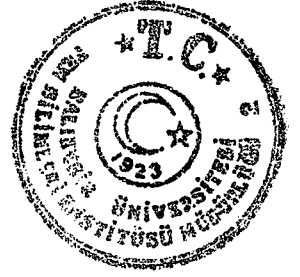
Şekil 5.11 Şekil 4.14 'te bavul y doğrultusunda 1 'er cm hareket ettirildiğinde 2.68 MeV 'lik nötronlar için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği.



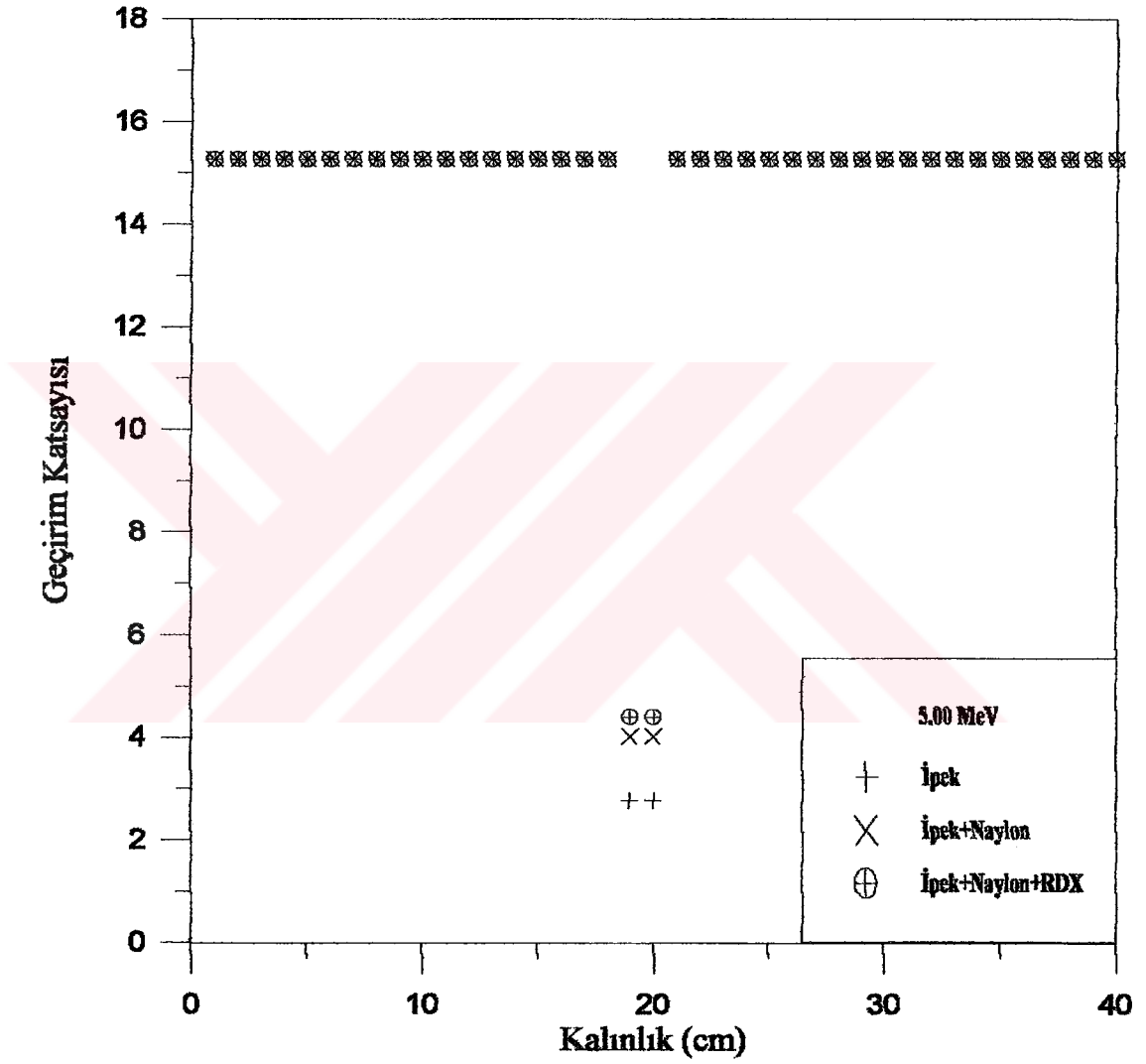
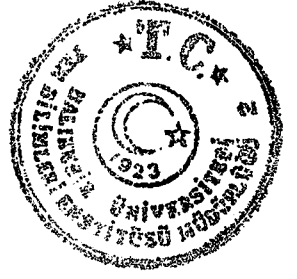
Şekil 5.12 Şekil 4.14 'te bavul y doğrultusunda 1 er cm hareket ettirildiğinde 3.20 MeV 'lik nötronlar için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği.



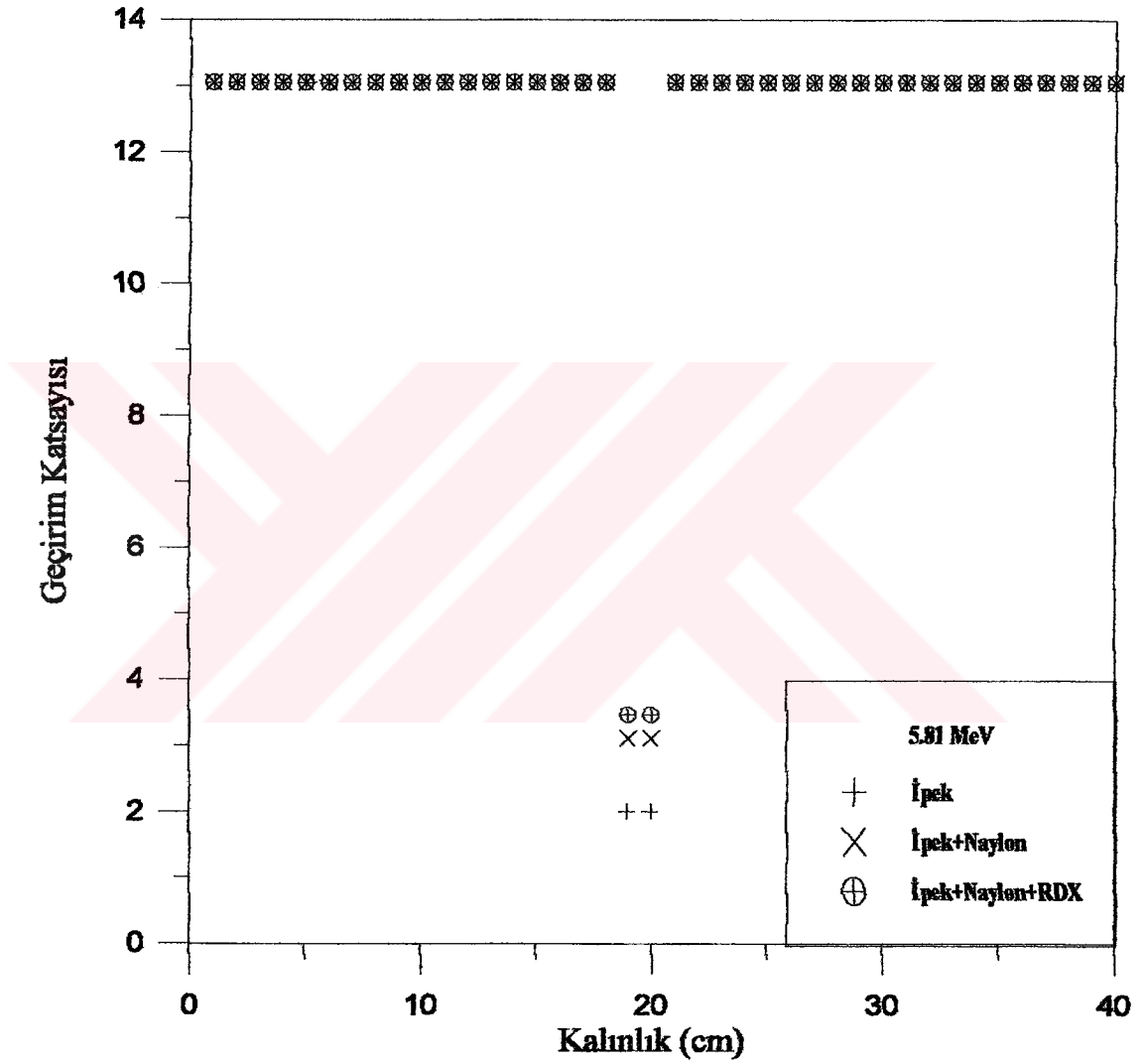
Şekil 5.13 Şekil 4.14 'te bavul y doğrultusunda 1 er cm hareket ettirildiğinde 3.75 MeV 'lik nötronlar için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği.



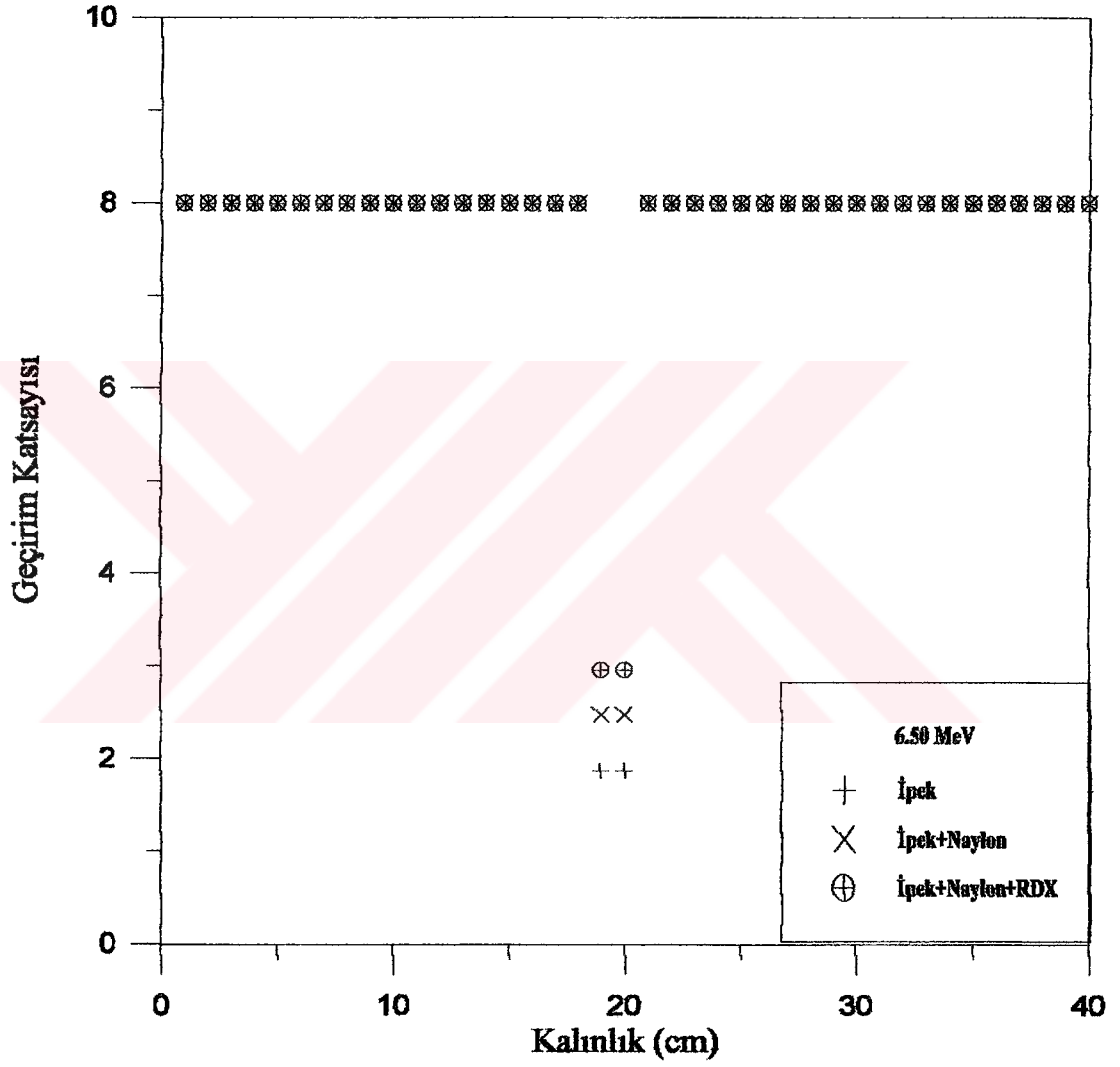
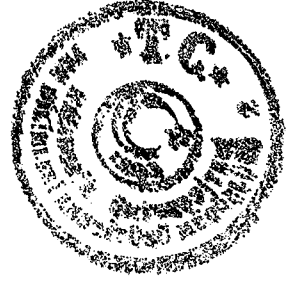
Şekil 5.14 Şekil 4.14 'te bavul y doğrultusunda 1 er cm hareket ettirildiğinde 4.67 MeV 'lik nötronlar için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği.



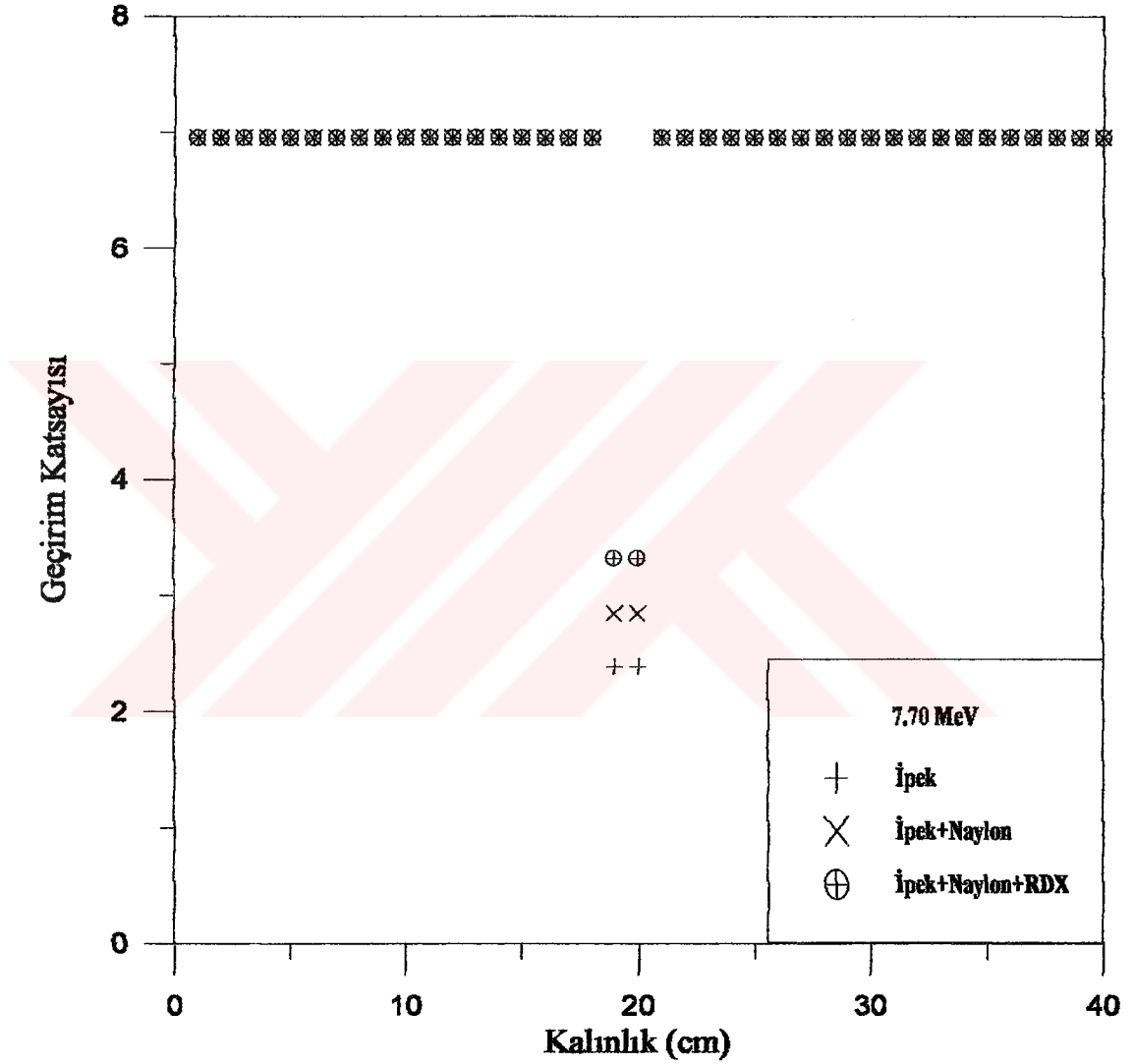
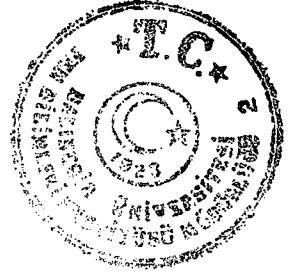
Şekil 5.15 Şekil 4.14 'te baval y doğrultusunda 1 er cm hareket ettirildiğinde 5.00 MeV 'lik nötronlar için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği.



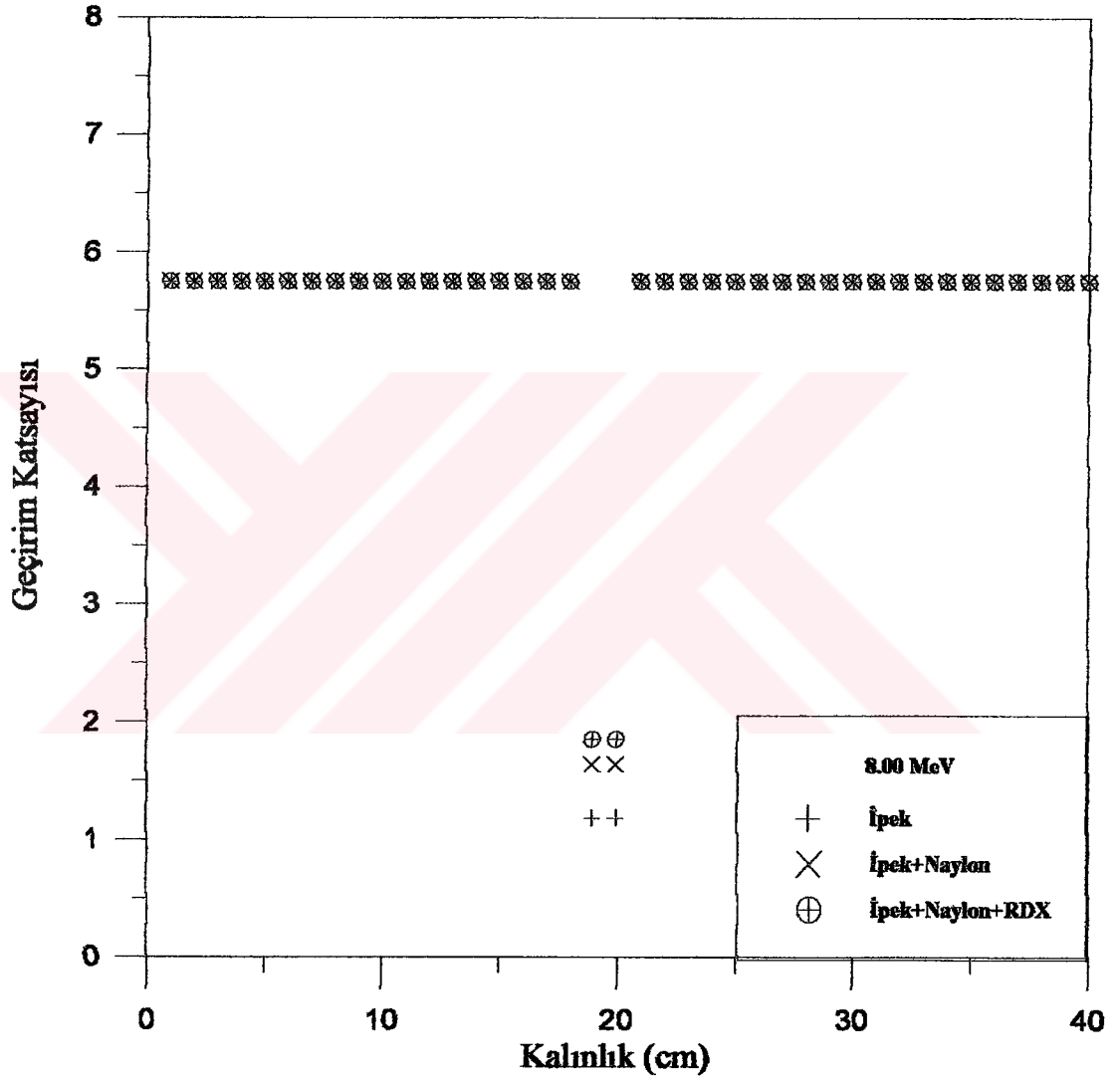
Şekil 5.16 Şekil 4.14 'te bavul y doğrultusunda 1 er cm hareket ettirildiğinde 5.81 MeV 'lik nötronlar için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği.



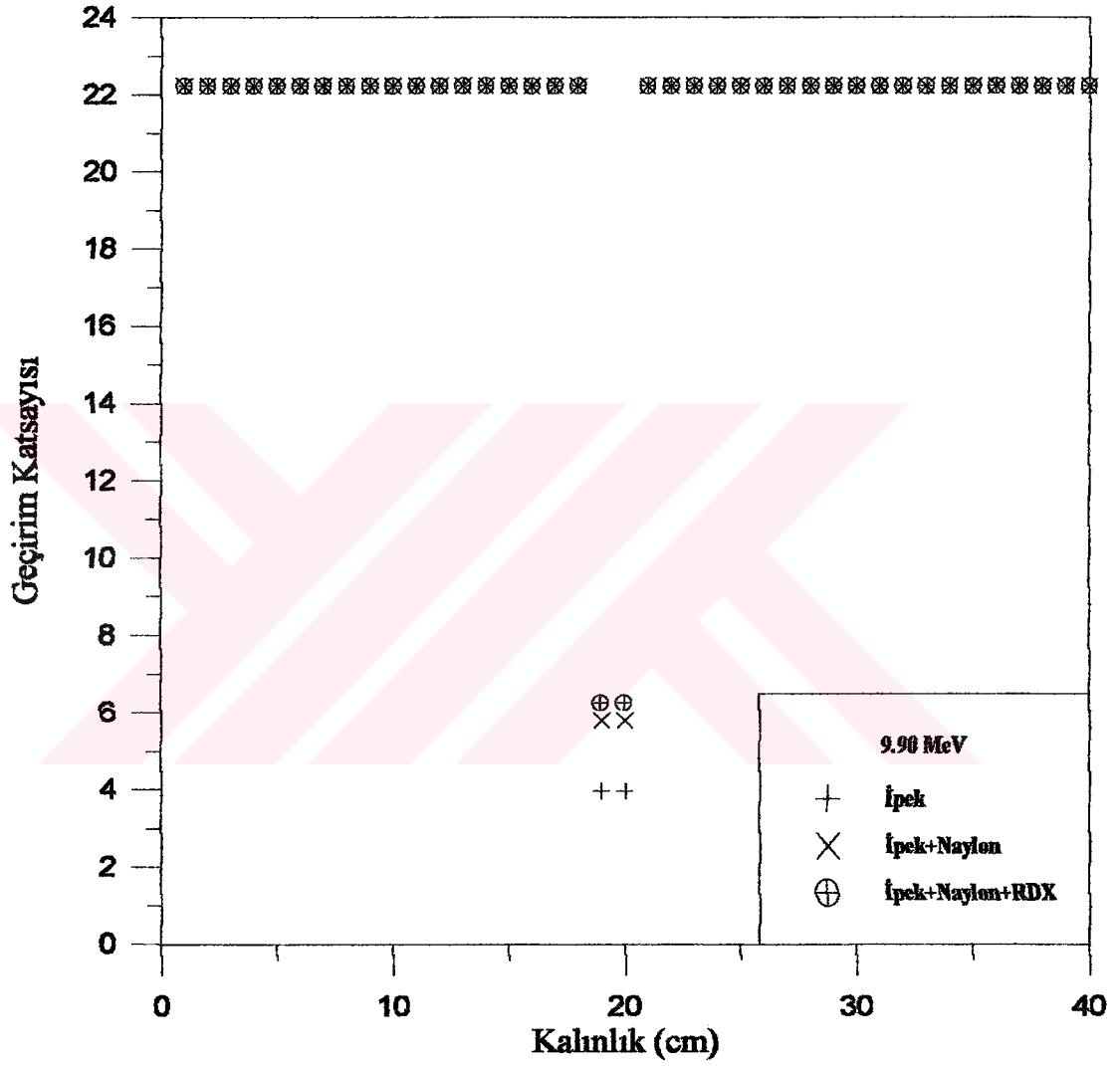
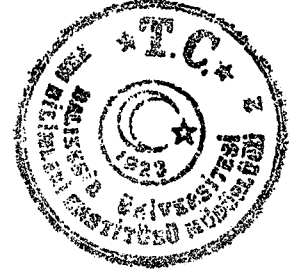
Şekil 5.17 Şekil 4.14 de bavul y doğrultusunda 1 er cm hareket ettirildiğinde 6.50 MeV 'lik nötronlar için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği.



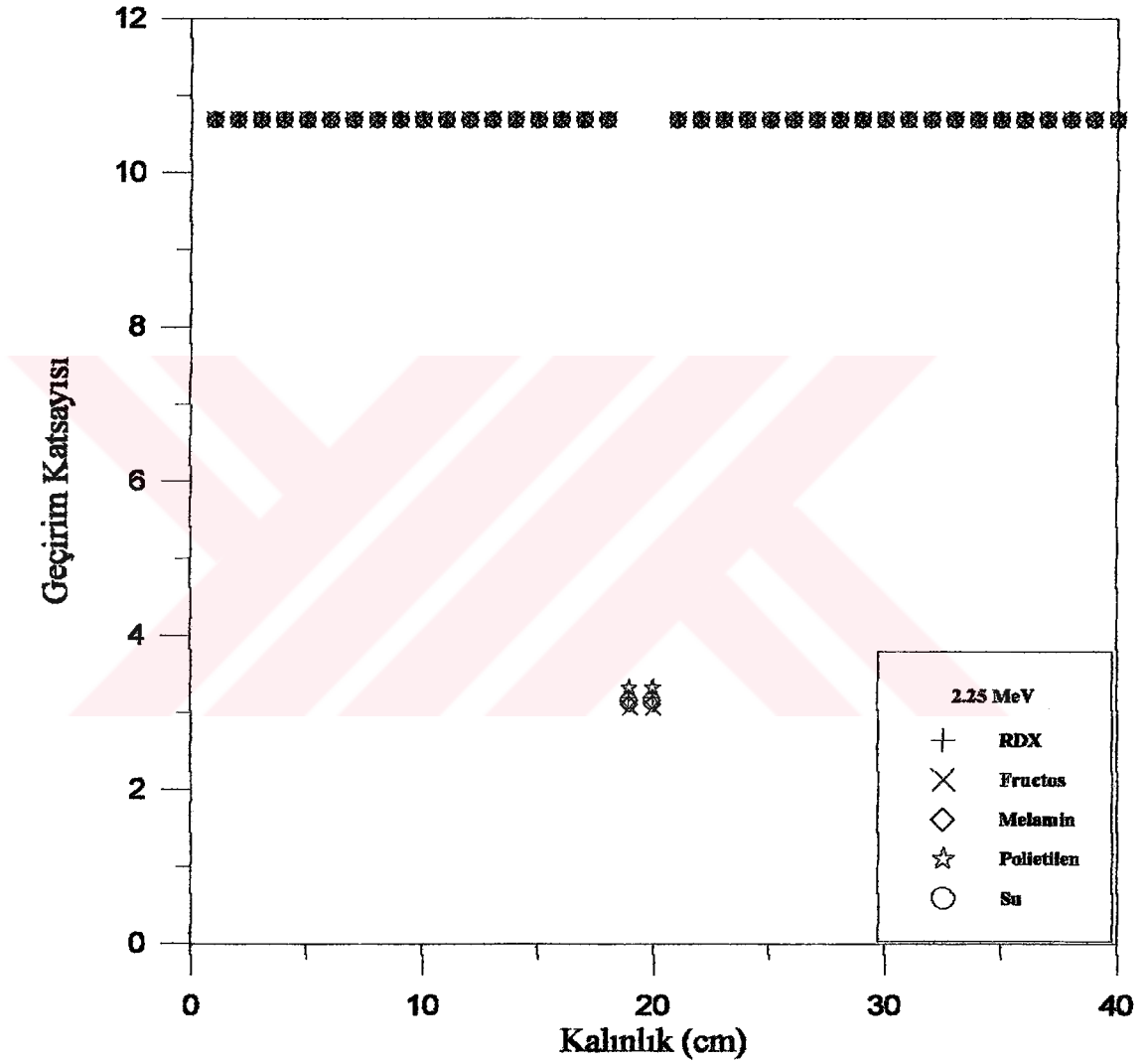
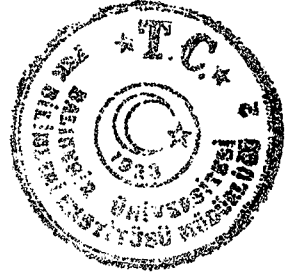
Şekil 5.18 Şekil 4.14 'te bavul y doğrultusunda 1 er cm hareket ettirildiğinde 7.70 MeV 'lik nötronlar için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği.



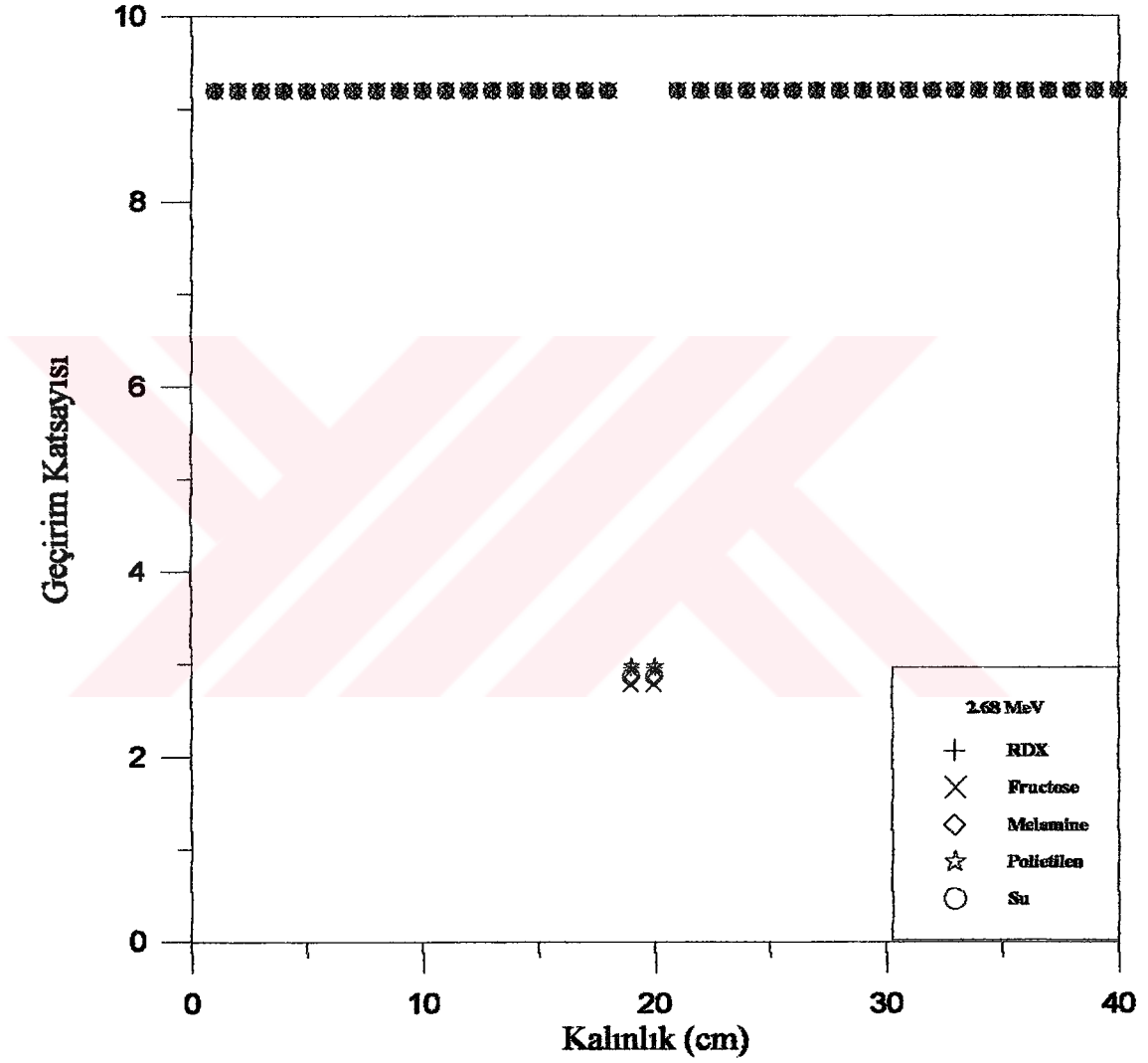
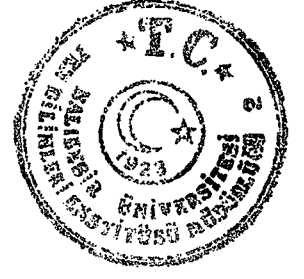
Şekil 5.19 Şekil 4.14 'te bavlul y doğrultusunda 1 er cm hareket ettirildiğinde 8.00 MeV 'lik nötronlar için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği.



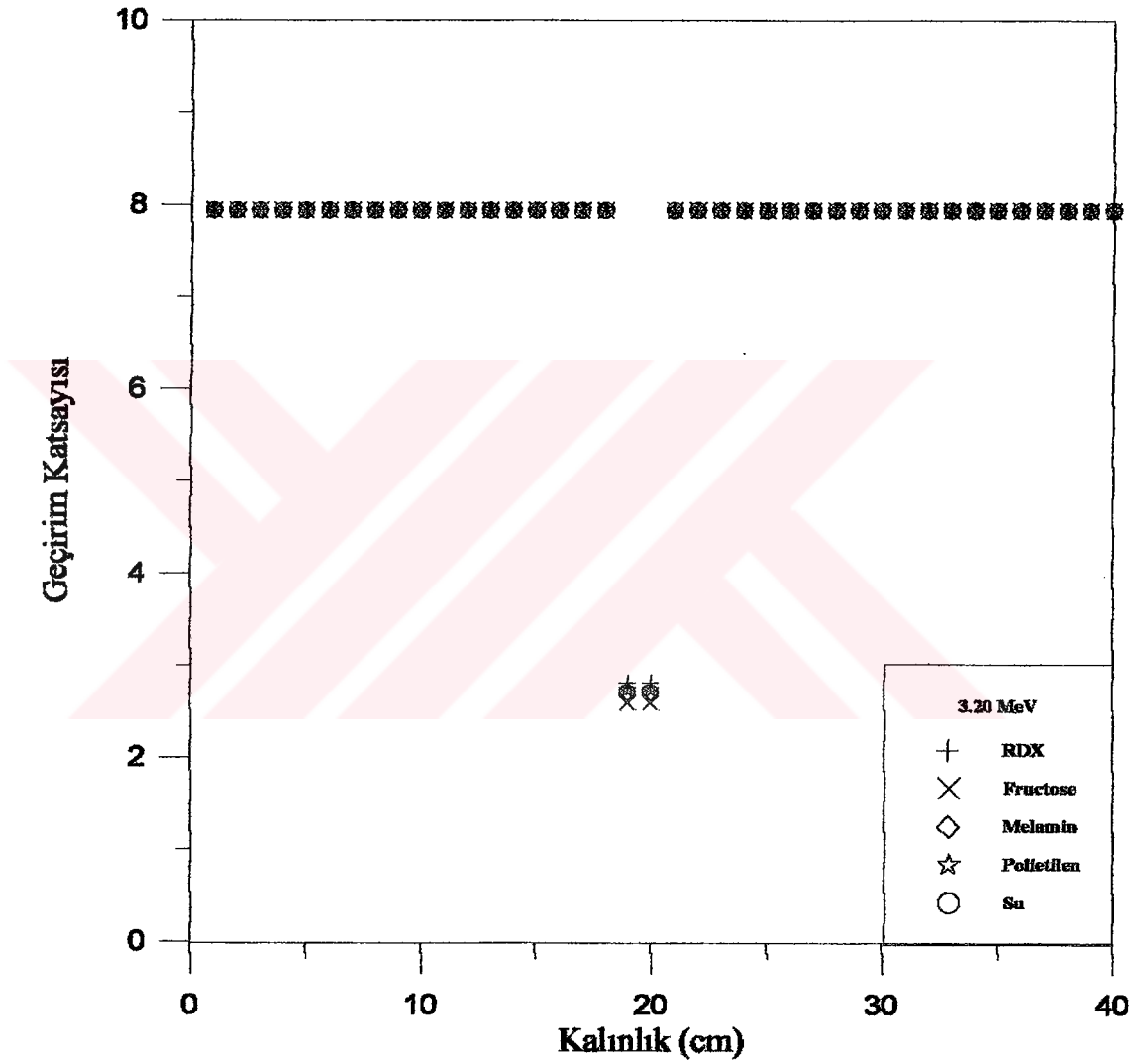
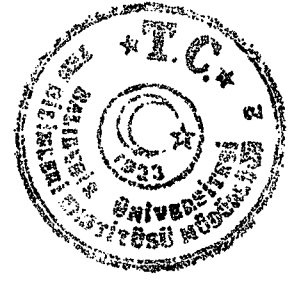
Şekil 5.20 Şekil 4.14 'te bavul y doğrultusunda 1 er cm hareket ettirildiğinde 9.90 MeV 'lik nötronlar için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği.



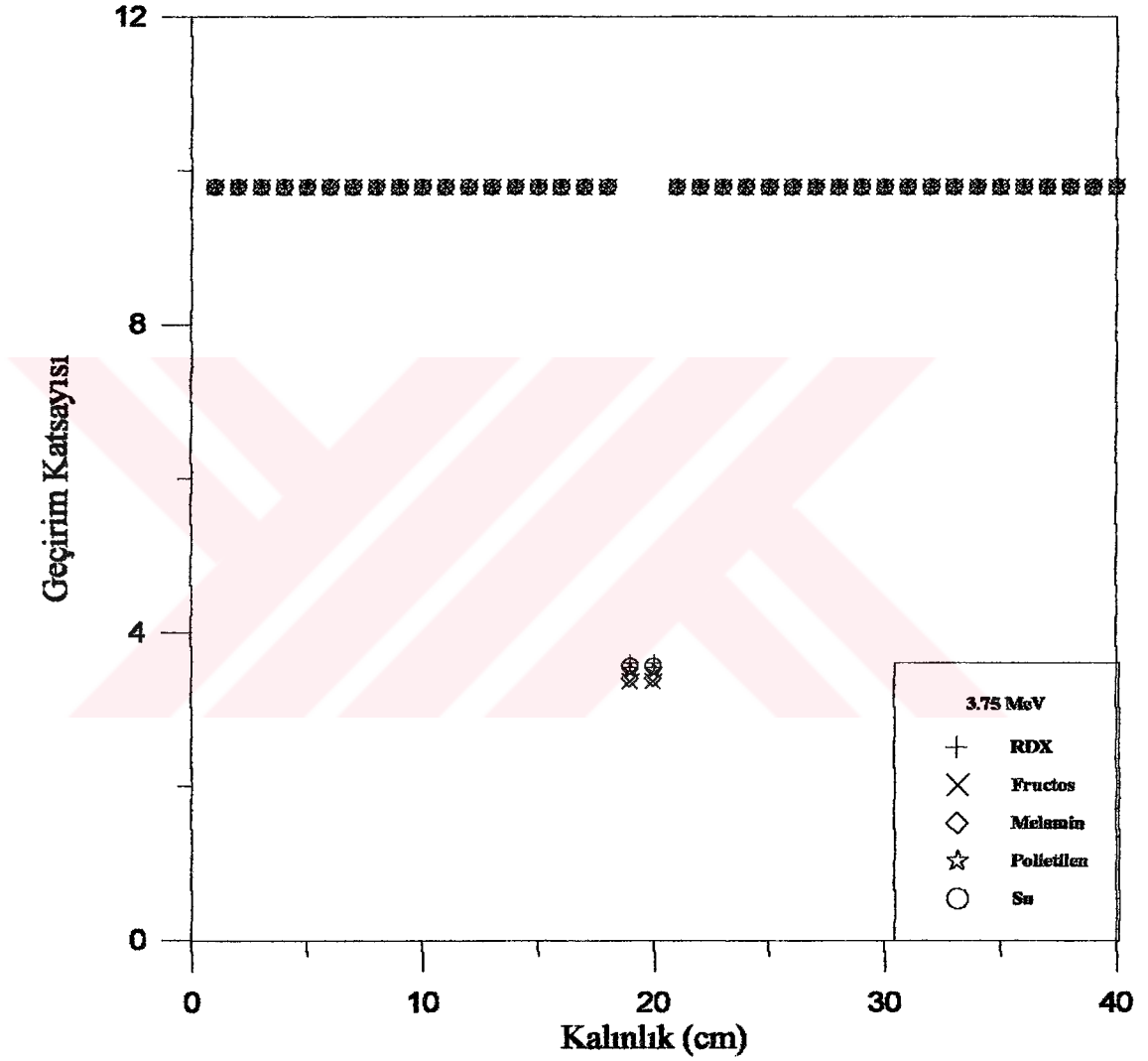
Şekil 5.21 Şekil 4.14 'te bavul y doğrultusunda 1 'er cm hareket ettirildiğinde 2.25 MeV 'lik nötronlar için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği.



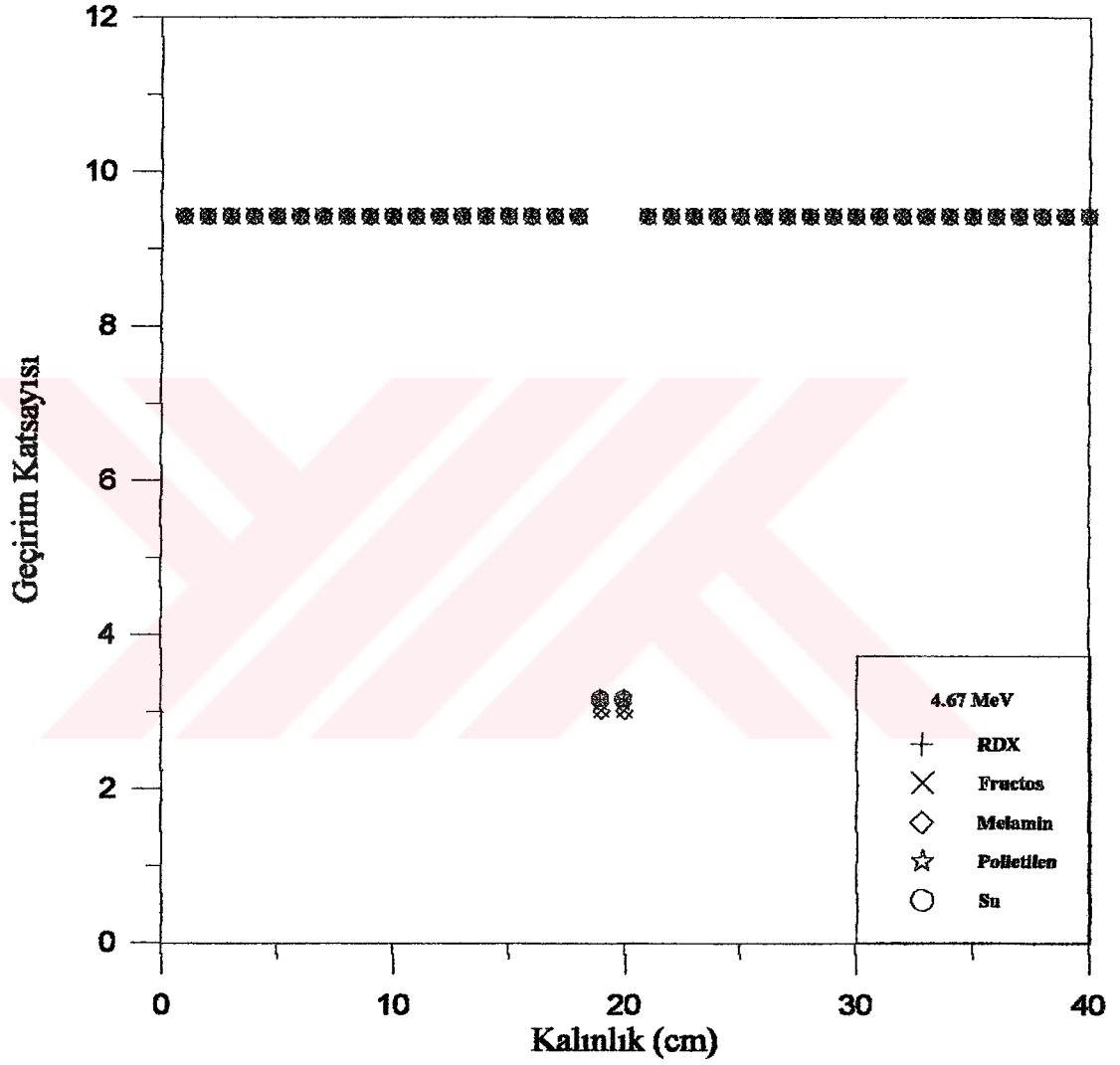
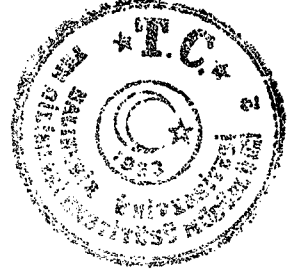
Şekil 5.22 Şekil 4.14 'te bavul y doğrultusunda 1 'er cm hareket ettirildiğinde 2.68 MeV 'lik nötronlar için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği.



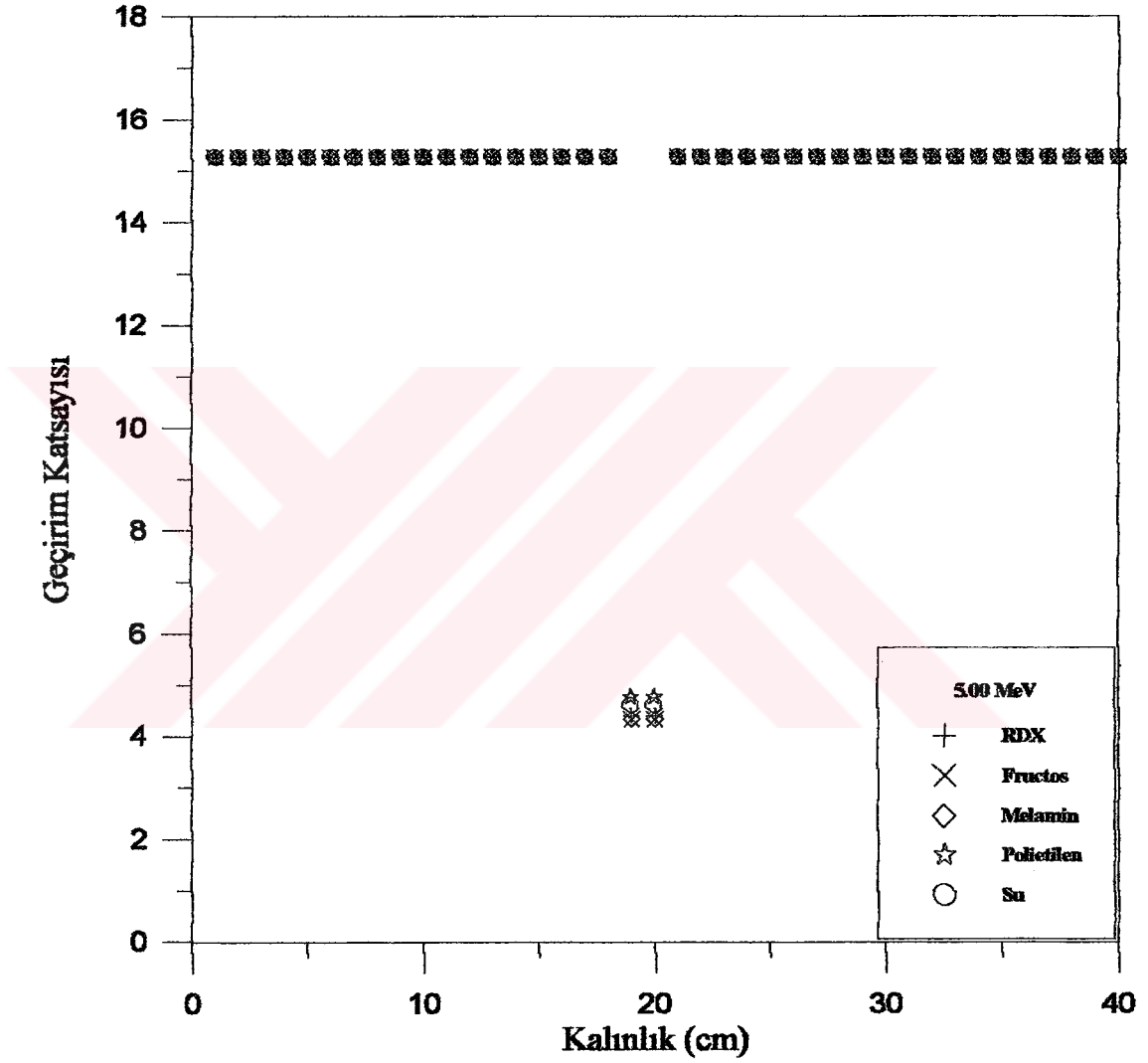
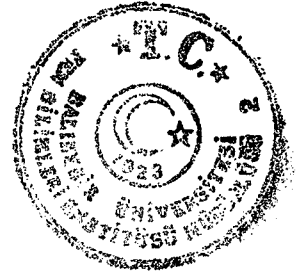
Şekil 5.23 Şekil 4.14 'te bavul y doğrultusunda 1 'er cm hareket ettirildiğinde 3.20 MeV 'lik nötronlar için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği.



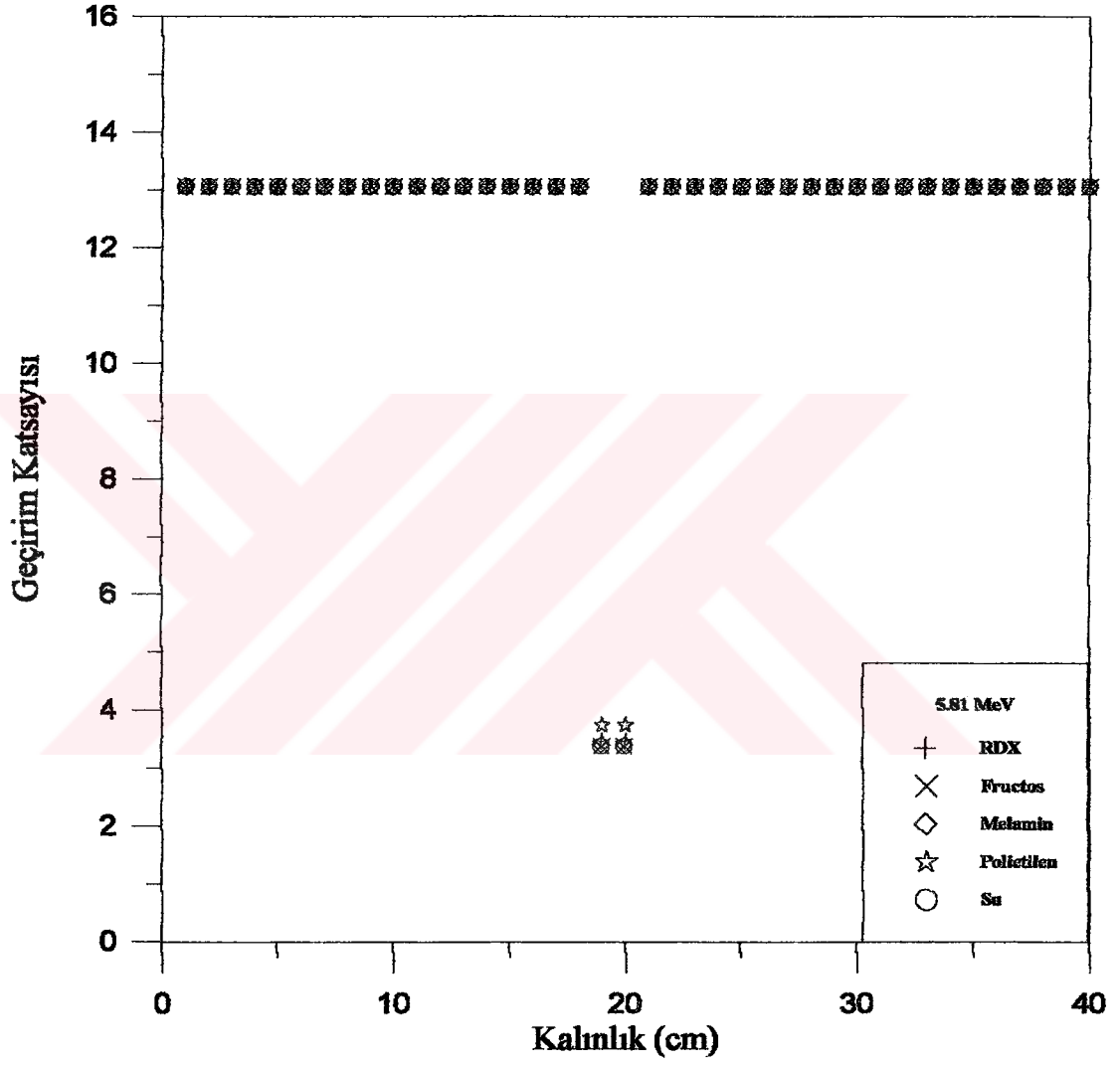
Şekil 5.24 Şekil 4.14 'te bavul y doğrultusunda 1 'er cm hareket ettirildiğinde 3.75 MeV 'lik nötronlar için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği.



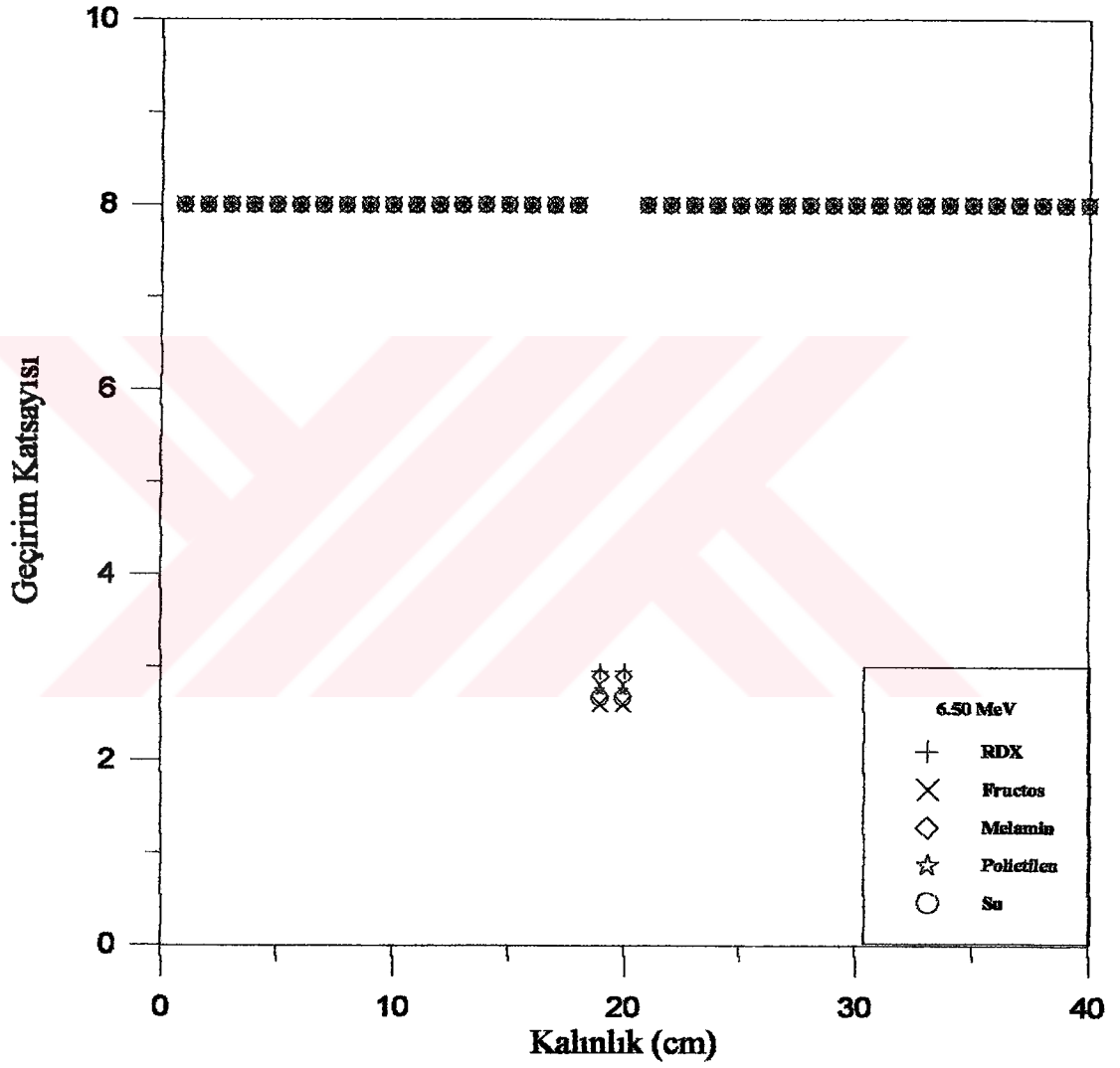
Şekil 5.25 Şekil 4.14 'te bavul y doğrultusunda 1 'er cm hareket ettirildiğinde 4.67 MeV 'lik nötronlar için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği.



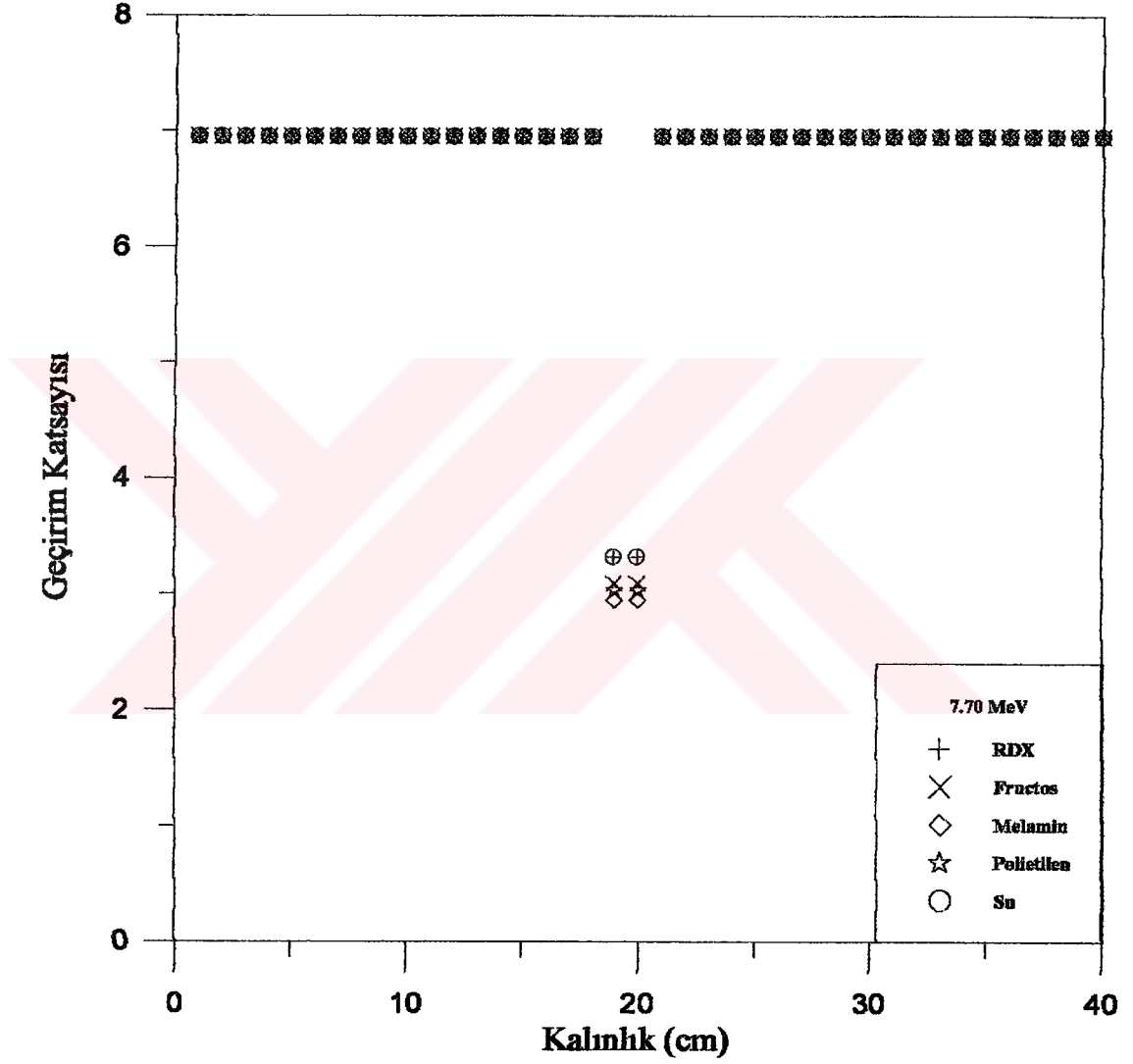
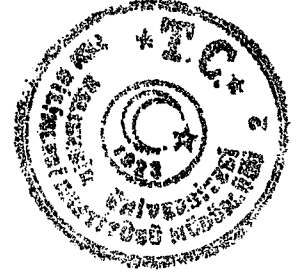
Şekil 5.26 Şekil 4.14 'te bavul y doğrultusunda 1 'er cm hareket ettirildiğinde 5.00 MeV 'lik nötronlar için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği.



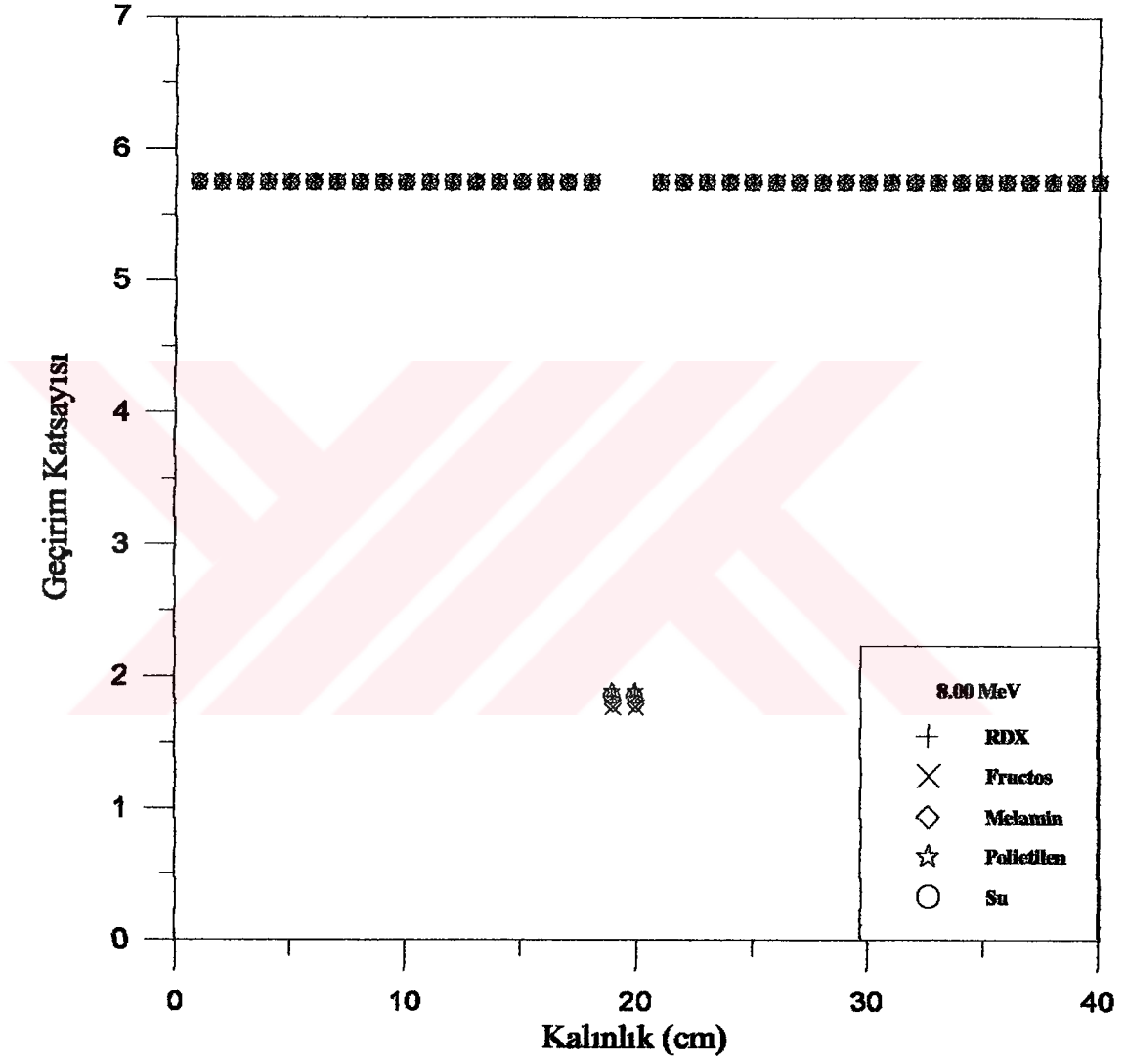
Şekil 5.27 Şekil 4.14 'te bavul y doğrultusunda 1 'er cm hareket ettirildiğinde 5.81 MeV 'lik nötronlar için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği.



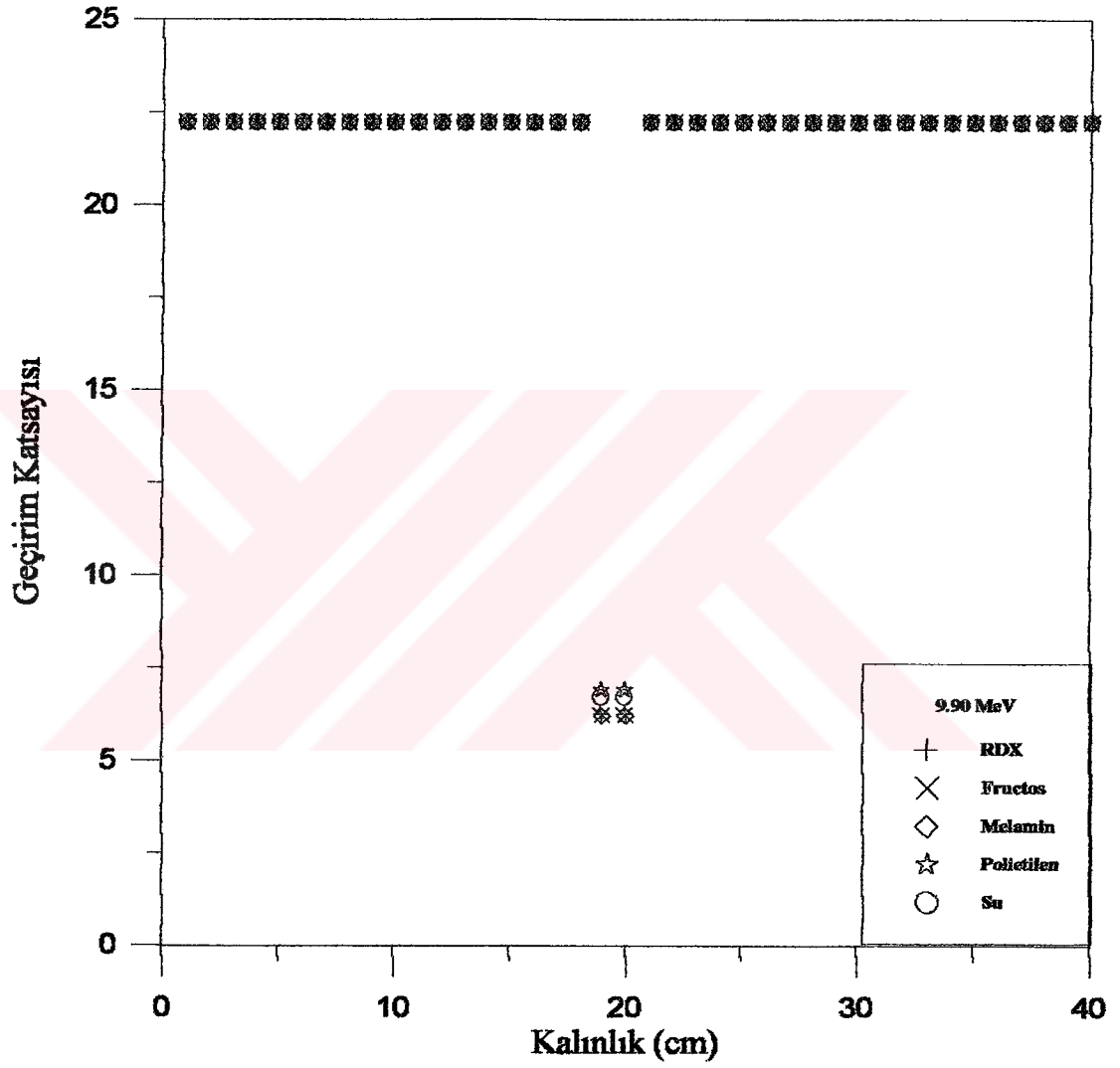
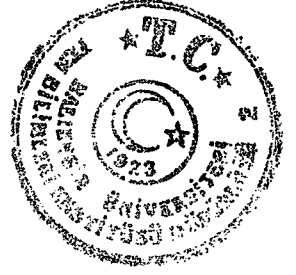
Şekil 5.28 Şekil 4.14 'te havul y doğrultusunda 1 'er cm hareket ettirildiğinde 6.50 MeV 'lik nötronlar için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği.



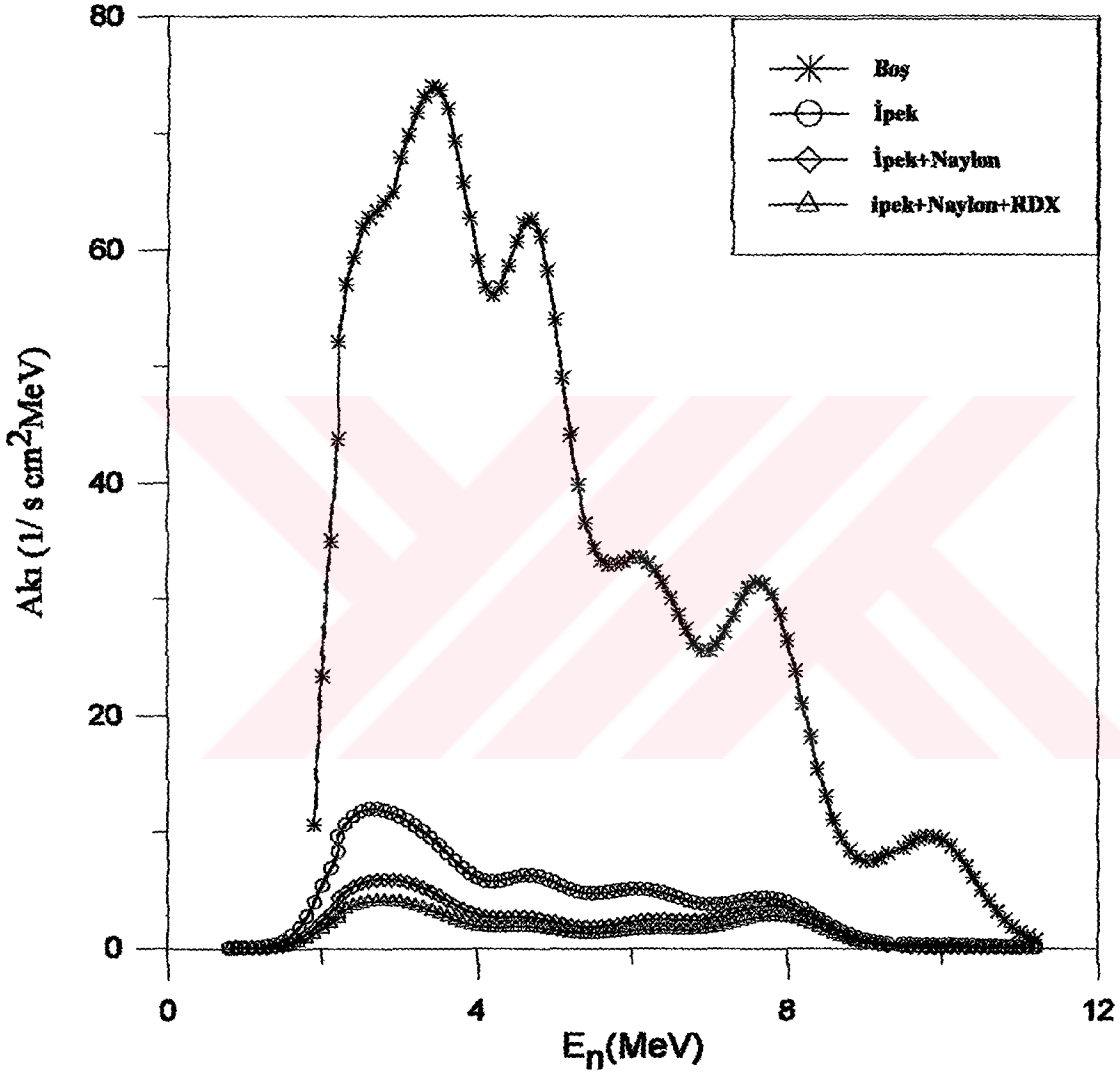
Şekil 5.29 Şekil 4.14 'te bavul y doğrultusunda 1 'er cm hareket ettirildiğinde 7.70 MeV 'lik nötronlar için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği.



Şekil 5.30 Şekil 4.14 'te bavul y doğrultusunda 1 'er cm hareket ettirildiğinde 8.00 MeV 'lik nötronlar için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği.



Şekil 5.31 Şekil 4.14 'te bavul y doğrultusunda 1 'er cm hareket ettirildiğinde 9.90 MeV 'lik nötronlar için kalınlık - geçirim katsayısı değişim grafiği.



Şekil 5.32 Enerji - Akı grafiği: En üstten sırasıyla 1. eğri 40 cm'lik bavulun içi boşken; 2. eğri yalnız ipek varken; 3. eğri sırasıyla, 17 cm ipek, 2 cm naylon, 2 cm ipek, 2 cm naylon ve 17 cm ipek varken, 4. eğri sırasıyla, 17 cm ipek, 2 cm naylon, 2 cm RDX, 2 cm naylon ve 17 cm ipek varkenki durumu göstermektedir.

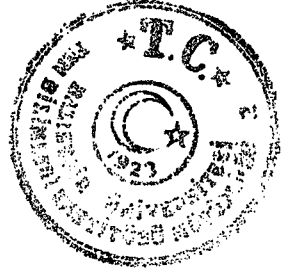


6 SONUÇ VE ÖNERİLER

Literatürde patlayıcı ve uyuşturucu belirlenmesi konusunda yapılan çalışmalar incelendiğinde, genelde darbeli nötron kaynakları veya eş parçacık tekniğine dayalı uçuş zamanı ölçümlerinin kullanıldığı görülmektedir [26-28]. Bu çalışmada ise değişik bir yaklaşımla, nötron enerji spektrumlarını ölçmek için tepilen-proton spektrumunu açma tekniğinin kullanılması düşünülmüştür. Bu teknik tek bir detektöre ihtiyaç duymakta ve bu çalışmada görüleceği gibi izotopik bir nötron kaynağı kullanılması durumunda bile istenilen sonuçların sağlanacağını göstermektedir. Doğal olarak Tepilen Proton Spektrumunu Açma Tekniği, Uçuş Zamanı Tekniğine göre enerji ayırdedebilirliği daha kötü olan fakat çok daha az maliyetle gerçekleştirilebilmesi nedeniyle tercih edilebilecek bir tekniktir.

Gerçek durumların (bavul içinde patlayıcı olması) benzetişiminde görüldüğü gibi bavul içinde, yalnız ipek, ipek ve naylon, ipek, naylon ve RDX olduğu durumda nötron enerjisi-nötron geçirim katsayısı (Şekil 5.1) ve kalınlık-nötron geçirim katsayısı (Şekil 5.3-5.5 ve Şekil 5.10-5.20) değişim grafiklerine bakarak patlayıcıyı tayin etmek olanaklıdır. Bavul içinde melamin, polietilen, su, fruktoz gibi malzemeler olduğunda (Şekil 5.2, Şekil 5.6-5.8 ve Şekil 5.21-5.31) patlayıcıyı tayin etmek oldukça zorlaşmaktadır. Bu gibi durumlarda, tomografik görüntüleme yönteminden yararlanarak elementlerin yoğunluklarının ölçülmesi yoluna gidilmelidir. Ancak bu durumda patlayıcıyı tayin etmek mümkün olabilmektedir.

Aslında Tepilen Proton Spektrumunu Açma Tekniğinin Tomografik Görüntüleme düzenekleriyle kullanılması durumunda çok daha iyi sonuç verebileceği nötron geçirimlerinin enerjiye göre değişimi grafiklerinden anlaşılmaktadır. Bu çalışmanın amacı olan patlayıcı belirlemesi ileride yapılması düşünülen ve bu çalışmada geliştirilen yöntemin Tomografik Görüntüleme ile birlikte kullanıldığında çok iyi sonuçlar vereceğini göstermektedir.

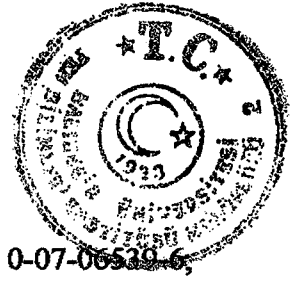


KAYNAKÇA

- [1] T.J.Yule, B.J.Micklich, C.L.Fink and D.L.Smith, 4 th Int. Conf. on Applications of Nuclear Technicues, Crete, Greece (June 1994)
- [2] J.G.Overlay, Int.J.Radiat.Isot, 36 (1985); Nucl.Inst. and Meth. B 24/25 (1987) 1058
- [3] Knoll, G.F., Radiation Detection and Measurement, 1. baskı,ISBN 0-471-4954-x (1979)570.
- [4] Knoll, G.F., Radiation Detection and Measurement, ISBN 0-471-81504-7, (1989) 219.
- [5] Dinçer, S., Özmutlu, C., Sayaçlar ve Sayma Tekniği, ANAM
- [6] Knoll, G.F., Radiation Detection and Measurement, ISBN 0-471-81504-7, (1989) 628.
- [7] Knoll, G.F., Radiation Detection and Measurement, ISBN 0-471-81504-7, (1989) 646
- [8] Nicholas, T., Measurement and Detection of Radiation, ISBN 0-07-06539-6, (1981) 314.
- [9] Knoll, G.F., Radiation Detection and Measurement, 1. baskı,ISBN 0-471-4954-x (1979) 27.



- [10] DIETZE, G., Energy Calibration of NE-213 Scintillation Counters By γ -Rays, IEEF Transactions on Nuclear Science, Vol. Ns-26, (1979).
- [11] DIETZE,G. VE KLEIN,H. , Gamma Caligation of NE-213 Scintillation Counters, Nucl.Instr. and Mrth. 193, (1982) 549
- [12] Knoll, G.F., Radiation Detection and Measurement, ISBN 0-471-81504-7, (1989) 544.
- [13] Nicholas, T., Measurement and Detection of Radiation, ISBN 0-07-06539-6, (1981) 355.
- [14] KOX, H.K. VE MILLER, T.G., A Technique for Determining Bias Setting for Organic Scintillator, Nucl. Instr. and Meth. 101, (1972) 519.
- [15] Nakoyama, K., Pessoa, E.F. ve Douglas, R.A., A Modified Version of the Monte Carlo Code for Calculation Neutron Efficiencies, Nucl. Inst. and Meth., 190, (1981) 555.
- [16] Knoll, G.F., Radiation Detection and Measurement, ISBN 0-471-81504-7, (1989) 538.
- [17] P.G.Kirmser and K.K.Hu, A Continuos Functional Representation of the Response Surface for a NE-213 Neutron Spektrometer, NIM 164, (1979) 169.
- [18] R.H.Johnson, ornc-rsic-40, (1976)
- [19] W.H.Miller, Matxuf: ON-LINE, Real Time Derivative Method for Neutron Spectrum Unfolding, Lear Insruments and Methods 153, (1978) 535.



- [20] Johnson,E.F., and Yule,T.J., Nucl. Sci. Eng. 46: 236, (1971)
- [21] Nicholas, T., Measurement and Detection of Radiation, ISBN 0-07-06539-6,
(1981) 443.
- [22] R.Kinsey, Ed. , ENDF/B-V, Evaluated Neutron Data File, “ ENDF-201,
Broohaven National Laboratory, (1979)
- [23] C.L.Fink, B.J.Micklich, J.J Yule, P.Humm, L.Sagalovsky, M.M.Martin,
“Evaluation of Neutron Techniques for Illicit Substance Detection, ”
Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 99, (1995) 748.
- [24] J.C. Overlay, “ Element-Sensitive Computed Tomography with Fast Neutron,
“Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 24/25, (1987)
1058.
- [25] T.G. Miller, P.K.Van Stagen, B.C.Gibson, “Contraband Identification in Sealed
Containers “, Tensor Technology, Inc Madison, AL 35758 USA and
R.A.Krauss, Department of Transportation, FAA Tecnical Center Atlantic
CAY, NJ 08405 USA
- [26] C.L.Fink, B.j.Micklich, T.J.Yule, P.Humm,L.Sagalovsky, M.M.Martin, “
Evaluation of Neutron Techniques for Illicit Substance Detection, Nuclear
Instruments Methods in Physics Resarch B 99, (1985) 748
- [27] T.J.Yule, B.J.Micklich, T.J.Yule and L.Sagalovsky “ Fast Neutron
Transmission Spectroscopy for Illicit Substance Detection “, SPIE Vol.
2867 . 0277-786x/97 . 239
- [28] T.G.Miller, P.K.Van Staagen, B.C.Gibson and R.A.Krauss, “ Contraband
Identification in Sealed Containers Using Neutron Transmission “, SPIE
Vol. 2867 . 0277-786x/97 . 215