

**NÖTRON ÜRETİMİNDE KULLANILACAK AĞIR
ELEMENTLERİN TESPİTİ**

Tahsin DAĞDELEN

Yüksek Lisans Tezi

Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İskender DEMİRKOL

2014

Her hakkı saklıdır

T.C.
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**NÖTRON ÜRETİMİNDE KULLANILACAK AĞIR
ELEMENTLERİN TESPİTİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tahsin DAĞDELEN

Enstitü Anabilim Dalı : FİZİK

Tez Danışmanı : Prof. Dr. İskender DEMİRKOL

Temmuz 2014

T.C.
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NÖTRON ÜRETİMİNDE KULLANILACAK AĞIR
ELEMENTLERİN TESPİTİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tahsin DAĞDELEN

Enstitü Anabilim Dalı : FİZİK

Bu tez 10.07.2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr.
İskender DEMİRKOL
Jüri Başkanı

Doç. Dr.
Nezir YILDIRIM
Üye

Yrd. Doç. Dr.
Mahmut TOPRAK
Üye

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Doç. Dr. İbrahim Y. ERDOĞAN
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Ankara ve Gazi Üniversitelerinden Fizik Araştırma Grubunun DPT desteği ile yürüttükleri Türk Hızlandırıcı Merkezi (THM) bünyesinde kullanıma açılan hızlandırıcı için yapılacak olan çalışmalara paralel bir çalışma ile gerekli veri tabanının güçlendirilmesine bir nebze de olsa katkıda bulunmak için yapmış olduğum bu tez çalışmalarım süresince her konuda bana yardımcı olan değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. İskender DEMİRKOL'a; çalışmalarımda ihtiyaç duyduğum zamanlarda yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşım Yrd. Doç. Dr. Kadir EJDERHA'ya; hayatımın her aşamasında yanımda olan ve desteklerini esirgemeyen sevgili eşim Döne DAĞDELEN ve dünyalar güzeli çocuklarım Mahmut Furkan ve Iğın'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tahsin DAĞDELEN

Bingöl 2014

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	6
3.1. Hızlandırıcı Kaynaklı Sistem (ADS)	6
3.1.1. Hızlandırıcıların Tarihçesi	6
3.1.2. Hızlandırıcıların Gelişimi	6
3.1.3. Türkiye deki Hızlandırıcılar ve Gelişimi	9
3.2. Hızlandırıcılar.....	10
3.2.1. Tandem Van de Graff, Elektrostatik Hızlandırıcıları.....	11
3.2.2. Lineer Hızlandırıcılar (Linac)	11
3.2.3. Siklotron (Cyclotron)	12
3.2.4. Sinkrotronlar	12
3.3. Spallasyon (Parçalanma)	12
3.3.1. Spallasyon Reaksiyonu	12
3.3.2. Spallasyon Hedef	13
3.3.3. Spallasyon Nötron Hedefi.....	15
3.4. Yöntem	15

3.5. Nükleer Modeller	16
3.5.1. Denge-Öncesi Modellere Giriş	17
3.5.2. Nükleer Reaksiyonlardaki Denge-Öncesi Modellerin Ortak Özellikleri	18
3.5.3. Full Exciton Model.....	18
3.5.4. Hibrid Model	19
3.5.5. Geometri Bağımlı Hibrid Model	20
3.5.6. Cascade Exciton Model	21
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	23
4.1. Hesaplama Yöntemi	23
4.2. CEM03 Bilgisayar Programı	23
4.3. ALICE/ASH Bilgisayar Programı	24
4.4. Reaksiyonlar	25
4.4.1. $p+_{66}\text{Dy}^{163}$ Reaksiyonu	25
4.4.2. $p+_{72}\text{Hf}^{177}$ Reaksiyonu	38
4.4.3. $p+_{73}\text{Ta}^{181}$ Reaksiyonu	50
4.4.4. $p+_{74}\text{W}^{183}$ Reaksiyonu	64
4.4.5. $p+_{82}\text{Pb}^{207}$ Reaksiyonu	79
4.4.6. $p+_{82}\text{Pb}^{208}$ Reaksiyonu	94
4.4.7. $p+_{90}\text{Th}^{232}$ Reaksiyonu	110
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	128
KAYNAKLAR.....	133
ÖZGEÇMİŞ.....	138

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ADS	: Hızlandırıcı Kaynaklı Sistem (Accelerator Driven System)
DC	: Doğru Akım
CERN	: Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi
TAC	: Turkish Accelerator Center
THM	: Türk Hızlandırıcı Merkezi
DPT	: Devlet Planlama Teşkilatı
TTR	: Türk Hızlandırıcı Merkezi'nin Teknik Tasarım Raporunu
HTE	: Hızlandırıcı Teknolojileri Enstitüsü
YUUP	: Yaygınlaştırılmış Ulusal ve Uluslararası Proje
PHT	: Proton Hızlandırıcı Tesisi
CEM	: Cascade Exciton Modeli
TeV	: Tera elektron Volt
GeV	: Giga elektron Volt
MeV	: Mega elektron Volt
eV	: Elektron Volt
RF	: Radyo Frekansı
E	: Enerji
P	: Momentum
ΔP	: Momentum değişimi
μA	: Mikro Amper
τ	: Torsiyon (bulunma)
σ	: Sigma (tesir kesiti)
ε	: Epsinon
e^-	: Elektron
e^+	: Pozitron
p	: Proton

n	: Nötron
σ_R	: Reaksiyon tesir kesiti
λ_C	: Yayılma hızı
Dy	: Disprosyum
Hf	: Hafniyum
Ta	: Tantal
W	: Tungsten
Pb	: Kurşun
Th	: Toryum
Li	: Lityum
He	: Helyum
Z	: Atom numarası
A	: Kütle numarası

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1.	Reaksiyon mekanizması	14
Şekil 4.1.	${}^{66}\text{Dy}^{163}$ elementinin 100 MeV enerjili protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötronların enerji spektrumu (mb/MeV).....	35
Şekil 4.2.	${}^{66}\text{Dy}^{163}$ elementinin 100 MeV enerjili protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan protonların enerji spektrumu (mb/MeV).....	35
Şekil 4.3.	${}^{72}\text{Hf}^{177}$ elementinin 100 MeV enerjili protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötronların enerji spektrumu (mb/MeV).....	47
Şekil 4.4.	${}^{72}\text{Hf}^{177}$ elementinin 100 MeV enerjili protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan protonların enerji spektrumu (mb/MeV).....	47
Şekil 4.5.	${}^{73}\text{Ta}^{181}$ elementinin 500 MeV enerjili protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötronların çift diferansiyel tesir kesitleri, deneysel değerler Filges vd (1984)'ten alınmıştır.....	58
Şekil 4.6.	${}^{73}\text{Ta}^{181}$ elementinin 100 MeV enerjili protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötronların enerji spektrumu (mb/MeV)	61
Şekil 4.7.	${}^{73}\text{Ta}^{181}$ elementinin 100 MeV enerjili protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan protonların enerji spektrumu (mb/MeV).....	61
Şekil 4.8.	${}^{73}\text{Ta}^{181}$ (p,5n) reaksiyonunda ortaya çıkan nötron verimi tesir kesiti (mb), deneysel değerler Zhuikov vd (2003)'ten alınmıştır	62
Şekil 4.9.	${}^{74}\text{W}^{183}$ elementinin 100 MeV enerjili protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötronların enerji spektrumu (mb/MeV).....	75
Şekil 4.10.	${}^{74}\text{W}^{183}$ elementinin 100 MeV enerjili protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan protonların enerji spektrumu (mb/MeV)	75
Şekil 4.11.	${}^{74}\text{W}^{183}$ elementinin 50 MeV enerjili protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötronların açısal dağılımı (mb/sr), deneysel değerler Kamitsubo vd (1967)' den alınmıştır	78

Şekil 4.12.	$^{207}_{82}\text{Pb}$ elementinin farklı enerjili protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötronların fisyon tesir kesiti, deneysel değerler Shigaev vd (1973)' den alınmıştır.....	80
Şekil 4.13.	$^{207}_{82}\text{Pb}$ elementinin 25 MeV enerjili protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötronların enerji spektrumu (mb/MeV), deneysel değerler Harder vd (1987)' den alınmıştır.....	91
Şekil 4.14.	$^{207}_{82}\text{Pb}$ elementinin 100 MeV enerjili protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan protonların enerji spektrumu (mb/MeV).....	91
Şekil 4.15.	$^{208}_{82}\text{Pb}$ elementinin farklı enerjili protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötronların fisyon tesir kesiti, deneysel değerler Vaishnane vd (2010)' dan alınmıştır	96
Şekil 4.16.	$^{208}_{82}\text{Pb}$ elementinin 100 MeV enerjili protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötronların enerji spektrumu (mb/MeV).....	107
Şekil 4.17.	$^{208}_{82}\text{Pb}$ elementinin 100 MeV enerjili protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötronların enerji spektrumu (mb/MeV).....	107
Şekil 4.18.	$^{232}_{90}\text{Th}$ elementinin 300 MeV enerjili protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötronların çift diferansiyel tesir kesitleri, deneysel değerler Iwamoto vd (2009)'den alınmıştır	120
Şekil 4.19.	$^{232}_{90}\text{Th}$ elementinin 100 MeV enerjili protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötronların enerji spektrumları (mb/MeV)...	123
Şekil 4.20.	$^{232}_{90}\text{Th}$ elementinin 100 MeV enerjili protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan protonların enerji spektrumları (mb/MeV)...	124

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 4.1.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{66}\text{Dy}^{163}$ bombardımanındaki elastik ve inelastik tesir kesiti (mb).....	25
Tablo 4.2.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{66}\text{Dy}^{163}$ bombardıman sonucunda (A) kütleyle bağlı izotop	26
Tablo 4.3.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{66}\text{Dy}^{163}$ bombardıman sonucunda (Z) yüke bağlı izotop üretimi	28
Tablo 4.4.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{66}\text{Dy}^{163}$ bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötron ve protonların sayıları	29
Tablo 4.5.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{66}\text{Dy}^{163}$ bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötron ve protonların verimi (mb).....	30
Tablo 4.6.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{66}\text{Dy}^{163}$ bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötron ve protonların ortalama kinetik enerjisi $\langle\text{TKE}\rangle$ (MeV)	30
Tablo 4.7.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{66}\text{Dy}^{163}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların çift diferansiyel tesir kesitleri (mb/MeV/sr); laboratuvar açısı = 25-35°	31
Tablo 4.8.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{66}\text{Dy}^{163}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların çift diferansiyel tesir kesitleri (mb/MeV/sr); laboratuvar açısı = 45-55°	32
Tablo 4.9.	ALICE/ASH ve CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{66}\text{Dy}^{163}$ bombardıman sonucunda enerjiye bağlı ortaya çıkan nötronların ve protonların enerji spektrumu (mb/MeV)	34
Tablo 4.10.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{66}\text{Dy}^{163}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan ikincil reaksiyon nötron verimi tesir kesiti (mb).....	36

Tablo 4.11.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{66}\text{Dy}^{163}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların açısal dağılımı (mb/sr)	36
Tablo 4.12.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{72}\text{Hf}^{177}$ bombardımanındaki elastik ve inelastik tesir kesiti (mb).....	38
Tablo 4.13.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{66}\text{Dy}^{163}$ bombardıman sonucunda (A) kütleyle bağlı izotop üretimi.....	39
Tablo 4.14.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{72}\text{Hf}^{177}$ bombardıman sonucunda (Z) yüke bağlı izotop üretimi.....	41
Tablo 4.15.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{72}\text{Hf}^{177}$ bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötron ve protonların sayıları.....	42
Tablo 4.16.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{72}\text{Hf}^{177}$ bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötron ve protonların verimi (mb).....	42
Tablo 4.17.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{72}\text{Hf}^{177}$ bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötron ve protonların ortalama kinetik enerjisi<TKE> (MeV).....	43
Tablo 4.18.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{72}\text{Hf}^{177}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların çift diferansiyel tesir kesitleri (mb/MeV/sr); laboratuvar açısı = 25-35°	43
Tablo 4.19.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{72}\text{Hf}^{177}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların çift diferansiyel tesir kesitleri (mb/MeV/sr); laboratuvar açısı = 45-55°	44
Tablo 4.20.	ALICE/ASH ve CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{72}\text{Hf}^{177}$ bombardıman sonucunda enerjiye bağlı ortaya çıkan nötronların ve protonların enerji spektrumu [mb/MeV].....	46
Tablo 4.21.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{72}\text{Hf}^{177}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan ikincil reaksiyon nötron verimi tesir kesiti (mb).....	48
Tablo 4.22.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{72}\text{Hf}^{177}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların açısal dağılımı (mb/sr).....	48
Tablo 4.23.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{13}\text{Ta}^{181}$ bombardımanındaki elastik ve inelastik tesir kesiti (mb).....	50

Tablo 4.24.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{73}\text{Ta}^{181}$ bombardıman sonucunda (A) kütleyle bağlı izotop üretimi.....	51
Tablo 4.25.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{73}\text{Ta}^{181}$ bombardıman sonucunda (Z) yüke bağlı izotop üretimi.....	53
Tablo 4.26.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{73}\text{Ta}^{181}$ bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötron ve protonların sayıları.....	54
Tablo 4.27.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{73}\text{Ta}^{181}$ bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötron ve protonların verimi (mb).....	55
Tablo 4.28.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{73}\text{Ta}^{181}$ bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötron ve protonların ortalama kinetik enerjisi $\langle\text{TKE}\rangle$ (MeV).....	55
Tablo 4.29.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{73}\text{Ta}^{181}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların çift diferansiyel kesitleri (mb/MeV/sr); laboratuvar açısı = 25-35° derece.....	56
Tablo 4.30.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{73}\text{Ta}^{181}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların çift diferansiyel tesir kesitleri (mb/MeV/sr);laboratuvar açısı = 45-55°.....	58
Tablo 4.31.	ALICE/ASH ve CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{73}\text{Ta}^{181}$ bombardıman sonucunda enerjiye bağlı ortaya çıkan nötronların ve protonların enerji spektrumu (mb/MeV).....	60
Tablo 4.32.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{73}\text{Ta}^{181}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan ikincil reaksiyon nötron verimi tesir kesiti (mb).....	62
Tablo 4.33.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{73}\text{Ta}^{181}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların açısal dağılımı (mb/sr).....	63
Tablo 4.34.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{74}\text{W}^{183}$ bombardımanındaki elastik ve inelastik tesir kesiti (mb).....	65
Tablo 4.35.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{74}\text{W}^{183}$ bombardıman sonucunda (A) kütleyle bağlı izotop üretimi.....	65
Tablo 4.36.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{74}\text{W}^{183}$ bombardıman sonucunda (Z) yüke bağlı izotop üretimi.....	68

Tablo 4.37.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{74}W^{183}$ bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötron ve protonların sayıları.....	69
Tablo 4.38.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{74}W^{183}$ bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötron ve protonların verimi (mb).....	70
Tablo 4.39.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{74}W^{183}$ bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötron ve protonların ortalama kinetik enerjisi $\langle TKE \rangle$ (MeV).....	70
Tablo 4.40.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{74}W^{183}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların çift diferansiyel tesir kesitleri (mb/MeV/sr); laboratuvar açısı = 25-35°.....	71
Tablo 4.41.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{74}W^{183}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların çift diferansiyel tesir kesitleri (mb/MeV/sr); laboratuvar açısı = 45-55°.....	72
Tablo 4.42.	ALICE/ASH ve CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{74}W^{183}$ bombardıman sonucunda enerjiye bağlı ortaya çıkan nötronların ve protonların enerji spektrumu (mb/MeV).....	74
Tablo 4.43.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{74}W^{183}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan ikincil reaksiyon nötron verimi tesir kesiti (mb).....	76
Tablo 4.44.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{74}W^{183}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların açısal dağılımı (mb/sr).....	76
Tablo 4.45.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}Pb^{207}$ bombardımanındaki elastik ve inelastik tesir kesiti (mb).....	79
Tablo 4.46.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}Pb^{207}$ bombardıman sonucunda (A) kütleyle bağlı izotop üretimi.....	80
Tablo 4.47.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}Pb^{207}$ bombardıman sonucunda (Z) yüke bağlı izotop üretimi.....	83
Tablo 4.48.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}Pb^{207}$ bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötron ve protonların sayıları.....	85
Tablo 4.49.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}Pb^{207}$ bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötron ve protonların verimi (mb).....	86

Tablo 4.50.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{207}$ bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötron ve protonların ortalama kinetik enerjisi $\langle\text{TKE}\rangle$ (MeV).....	86
Tablo 4.51.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{207}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların çift diferansiyel tesir kesitleri (mb/MeV/sr); laboratuvar açısı = $25-35^\circ$	87
Tablo 4.52.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{207}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların çift diferansiyel tesir kesitleri (mb/MeV/sr); laboratuvar açısı = $45-55^\circ$	88
Tablo 4.53.	ALICE/ASH ve CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{207}$ bombardıman sonucunda enerjiye bağlı ortaya çıkan nötronların ve protonların enerji spektrumu (mb/MeV).....	90
Tablo 4.54.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{207}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan ikincil reaksiyon nötron verimi tesir kesiti (mb).....	92
Tablo 4.55.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{207}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların açısız dağılımı (mb/sr).....	92
Tablo 4.56.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{208}$ bombardımanındaki elastik ve inelastik tesir kesiti (mb).....	95
Tablo 4.57.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{208}$ bombardıman sonucunda (A) kütleyle bağlı izotop üretimi.....	96
Tablo 4.58.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{208}$ bombardıman sonucunda (Z) yüke bağlı izotop üretimi.....	99
Tablo 4.59.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{208}$ bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötron ve protonların sayıları.....	101
Tablo 4.60.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{208}$ bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötron ve protonların verimi (mb).....	101
Tablo 4.61.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{208}$ bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötron ve protonların ortalama kinetik enerjisi $\langle\text{TKE}\rangle$ (MeV).....	102

Tablo 4.62.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{208}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların çift diferansiyel tesir kesitleri (mb/MeV/sr); laboratuvar açısı = 25-35°.....	102
Tablo 4.63.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{208}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların çift diferansiyel tesir kesitleri (mb/MeV/sr); laboratuvar açısı = 45-55°.....	104
Tablo 4.64.	ALICE/ASH ve CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{208}$ bombardımanı sonucunda enerjiye bağlı ortaya çıkan nötronların ve protonların enerji spektrumu (mb/MeV).....	105
Tablo 4.65.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{208}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan ikincil reaksiyon nötron verimi tesir kesiti (mb).....	108
Tablo 4.66.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{208}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların açısal dağılımı (mb/sr).....	108
Tablo 4.67.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{90}\text{Th}^{232}$ bombardımanındaki elastik ve inelastik tesir kesiti (mb).....	111
Tablo 4.68.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{90}\text{Th}^{232}$ bombardıman sonucunda (A) kütleyle bağlı izotop üretimi.....	111
Tablo 4.69.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{90}\text{Th}^{232}$ bombardıman sonucunda (Z) yüke bağlı izotop üretimi.....	115
Tablo 4.70.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{90}\text{Th}^{232}$ bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötron ve protonların sayıları.....	117
Tablo 4.71.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{90}\text{Th}^{232}$ bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötron ve protonların verimi (mb).....	118
Tablo 4.72.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{90}\text{Th}^{232}$ bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötron ve protonların ortalama kinetik enerjisi<TKE> (MeV).....	118
Tablo 4.73.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{90}\text{Th}^{232}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların çift diferansiyel tesir kesitleri (mb/MeV/sr); laboratuvar açısı = 25-35°.....	119

Tablo 4.74.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{90}\text{Th}^{232}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların çift diferansiyel tesir kesitleri (mb/MeV/sr); laboratuvar açısı = 45-55°.....	121
Tablo 4.75.	ALICE/ASH ve CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{90}\text{Th}^{232}$ bombardımanı sonucunda enerjiye bağlı ortaya çıkan nötronların ve protonların enerji spektrumu (mb/MeV).....	122
Tablo 4.76.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{90}\text{Th}^{232}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan ikincil reaksiyon nötron verimi tesir kesiti (mb).....	124
Tablo 4.77.	CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{90}\text{Th}^{232}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların açısal dağılımı (mb/sr).....	125

NÖTRON ÜRETİMİNDE KULLANILACAK AĞIR ELEMENTLERİN TESPİTİ

ÖZET

Bu çalışmada bazı ağır çekirdekler (${}_{66}\text{Dy}^{163}$, ${}_{72}\text{Hf}^{177}$, ${}_{73}\text{Ta}^{181}$, ${}_{74}\text{W}^{183}$, ${}_{82}\text{Pb}^{207}$, ${}_{82}\text{Pb}^{208}$ ve ${}_{90}\text{Th}^{232}$) hedef madde olarak kullanılarak üzerlerine 25-500 MeV kadar enerji aralıklarına sahip hızlandırılmış proton gönderilerek oluşan ürünlerin ve nötronların toplam reaksiyon tesir kesitleri, fisyon tesir kesitleri, eksiton fonksiyonları, oluşan ürün çekirdeklerin dağılımları, enerji ve açısal spektralleri, çift diferansiyel tesir kesitleri, ortalama çoğalmaları ve ortalama enerjileri ALICE/ASH ve CEM03 bilgisayar programları ile hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar literatürdeki deneysel veriler ile kıyaslanarak nötron üretiminde kullanılan ağır elementlerin tespiti yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Nötron üretimi, Hızlandırıcılar, Hızlı Proton, Ağır element, Radyasyon, Deforma çekirdek

DETECTION OF HEAVY ELEMENTS USED IN THE PRODUCTION OF NEUTRON

ABSTRACT

In this study some heavy nuclei (${}_{66}\text{Dy}^{163}$, ${}_{72}\text{Hf}^{177}$, ${}_{73}\text{Ta}^{181}$, ${}_{74}\text{W}^{183}$, ${}_{82}\text{Pb}^{207}$, ${}_{82}\text{Pb}^{208}$ ve ${}_{90}\text{Th}^{232}$) have been used as the target material. Accelerated protons with energy from 25 to 500 MeV have been sent on target material. The total reaction cross section, fission cross sections, excitons functions, the distribution of the formed product nuclei, energy and angular spectra, double-differential cross sections, the average increase of neutron, the average energy of the formed products and neutrons have been calculated with computer programs ALICE / ASH and CEM03. The obtained results were compared with experimental data in the literature. Detection of heavy elements used in the production of neutrons were made.

Keywords: Neutron production, Accelerators, High energy protons, Heavy elements, Radiation, Deforme nucleus

1. GİRİŞ

Nükleer reaksiyon çalışmalarından elde edilen deneysel sonuçlar temel çekirdek fiziğinin anlaşılabilirliği bakımından önemlidir. Nükleer reaksiyonların enerji bağımlılığı daha detaylı olarak bilinmediğinden çok sayıdaki enerjiler için tesir kesitlerinin ve spektral yayınlanma şeklinin incelenmesi gerekmektedir. Zaman kazanılması açısından yapılacakların en önemlisi, bu tesir kesitlerinin teorik olarak önceden hesaplanmasıdır. Ayrıca; hızlandırıcıdan gelen bir parçacık demeti (çoğu tasarımlarda proton) ağır elementlerin kalın bir hedefine çarptığı zaman hedef içinde atomik çekirdeğin spallasyonu ile çok miktarda nötronlar ve yüklü parçacıklar elde edilir. Yüksek enerjili bir parçacık, çekirdekle etkileştikten sonra, hedeften bazı nükleonların ya da hafif çekirdeklerin çıkmasına yol açar. Bu esasa dayanarak yüksek enerjili proton hedef çekirdeğe çarptırılır (intranuclear cascade). Hedef çekirdekten yüksek enerjili nükleonlar çıkarak çevresindeki çekirdeklerle etkileşir (internuclear cascade). Bu iki süreç içerisinde hedef çekirdeklerin belirli bir kısmı, ya parçalanma ya da buharlaşma sureti ile dışarı fazladan nükleonları atarlar ki bu nükleonların içerisinde üretilen nötronlar (20 MeV altı) fisyon yapılması için hedefi çevreleyen korda kullanılır. Dolayısıyla, bir hızlandırıcı kaynaklı sistemde (ADS) temel düşünce, proton başına çıkan nötronların sayısının maksimize edilmesidir. Nötron üretimi için kullanılan birçok nükleer reaksiyon vardır.

Nötronlarla oluşturulan reaksiyon tesir kesitleri fisyon ve füzyon enerji reaktörlerinin tasarımında önemli yer tutar. Bu tür reaksiyonların oluşturulması sırasında materyallerin yapısal dayanıklılığını etkileyecek değişimler oluşabilmektedir. Bu problemlerin öneminin anlaşılabilirliği ve sorunların giderilebilmesi için tesir kesitlerinin ve yayınlanma spektrumlarının deneysel olarak ölçülmesi ve önceden oluşabilecek durumların belirlenebilmesi için de teorik hesaplamaların yapılabilirliği gerekmektedir.

Bu çalışmada; periyodik sistemdeki ağır elementlerin hızlandırılmış protonla bombardımanı sonucunda yayınlanan parçacıkların spektrumları ve tesir kesitleri

incelenmiştir. Böylece, bu çalışma ülkemizde kullanıma açılan hızlandırıcı için yapılacak olan çalışmalara, nükleer reaksiyon modellerine dayanan tesir kesiti hesaplamalarına, radyoizotop üretim programları için gerekli veri tabanının güçlendirilmesine, üretim teknolojisinin geliştirilmesine ve yapılacak deneysel çalışmalara ışık tutması açısından önemli bir yere sahip olacaktır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Demirkol (2003), Gazi Üniversitesinde “Enerji Yükselteci Tasarımında Proton-Ağır Element Çarpışmasında Nötron Üretimi” konulu doktora tezi hazırlamıştır. Bu çalışmada teorik ve deneysel data karşılaştırması yapmıştır.

Demirkol (2003), Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisinde “Pb(1 GeV)+p Reaksiyonunda Üretilen Atık Çekirdeklerin İzotopik Üretim Tesir Kesitleri” konulu makalesinde teorik olarak hesaplamasını yapmış ve deneysel datalarda karşılaştırmasını yapmıştır.

Demirkol (2003), 15-17 Ekim tarihlerinde Erciyes Üniversitesinde düzenlenen, VIII. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojiler Kongresinde “Enerjisi 30 MeV’ den 1500 MeV’e Kadar Olan Hızlandırılmış Protonlarla Nükleer Spallasyon Reaksiyonlarda Bazı Ağır Hedeflerin Nötron Üretim Tesir Kesitleri” konulu bildiriye bulunmuştur. Teorik ve deneysel data karşılaştırmasını yapmıştır.

Demirkol (2005), 3-4 Haziran tarihlerinde Kayseri’de düzenlenen, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Enerji Yönetimi Sempozyumunda, “ $p+^{232}\text{Th}$ Çarpışmasında Spallation Nötron Üretimi ve Enerjileri” konulu bildiriye bulunmuştur. $p+^{232}\text{Th}$ çarpışması sonucunda ortaya çıkan nötron sayıları ve enerjilerini teorik olarak hesaplamasını yapmıştır.

Tel vd (2004), 07-09 Haziran tarihleri arasında düzenlenen, 2. Ulusal parçacık Hızlandırıcıları ve Uygulamaları Kongresinde, “Hızlı Nötron Kaynaklarıyla Komşu Deformalı ve Deformasız Hedef Çekirdeklerinde (n,2n) Reaksiyon Tesir Kesitlerinin Araştırılması” konulu bildiriye bulunmuştur. Bu çalışmada teorik hesaplamalar yapmıştır.

Tel vd (2005), “ ^{232}Th ve ^{238}U Çekirdeklerinin Nötron Bombardımanından Yayınlanan Nötronların Kinetik Enerji Dağılımı” konulu çalışmalarında teorik hesaplamalar yapmışlardır.

Tel vd (2005), 15-16 Eylül tarihlerinde düzenlene, IX. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojileri Kongresinde, “Nükleer modeller kullanarak (n,2n) reaksiyonu için yeni geliştirilmiş deneysel tesir kesiti formülleri” konulu bildiride bulunmuşlardır. Bu çalışmada (n,2n) reaksiyonunun tesir kesitinin hesaplamanda kullanılan deneysel tesir kesiti formülleri hakkında bilgi vermişlerdir.

Yavaş (2004), parçacık hızlandırıcılarıyla ilgili çalışmalar yapmış, 7-9 Haziran 2004 tarihinde Ankara’da düzenlenen II. Ulusal Parçacık Hızlandırıcıları ve Uygulama Kongresinde “Parçacık Hızlandırıcıları” konulu bildiri yayınlamıştır.

Sultansoy (2001), 25-26 Ekim 2001 tarihinde Ankara’da düzenlenen I. Ulusal Parçacık Hızlandırıcıları ve Uygulamaları Kongresinde “Parçacık Hızlandırıcıları: Dün, Bugün, Yarını” konulu bildiri yayınlamıştır.

TAEK (2007), dünyadaki hızlandırıcıların sayısı, teknik özellikleri ve gelişimi hakkında Kasım 2007 tarihinde bilgiler verilmiştir.

TAEK (2013), Ankara Üniversitesi ve DPT ile birlikte yürütülen THM hakkında Türkiye’deki hızlandırıcıların gelişimi, teknik özellikleri hakkında Ekim 2013 tarihinde TAEK internet sitesinde bilgiler verilmiştir.

Ertürk ve Boztosun (2004), 7-9 Haziran 2004 tarihinde Ankara’da düzenlenen II. Ulusal Parçacık Hızlandırıcı Kongresinde “Nükleer Fizik Araştırmalarında Kullanılacak Hızlandırıcılar ve Uygulama Alanları” konulu bildiri yayınlamışlardır.

Genç (2008), 2-5 Aralık 2008 tarihinde Ankara’da düzenlenen VI. YUUP Çalıştayında Spallasyon Reaksiyonlarını da içeren bir bildiri yayınlamıştır.

Karadeniz vd (2001), 25-26 Ekim 2001 tarihinde I. Ulusal Parçacık hızlandırıcıları ve uygulamaları ve Uygulamaları kongresinin de, “Hızlandırıcı Güdümlü Reaktörler / Enerji Yükseltici” ortak bildiri yayınlamışlardır.

Yıldırım (2009), bazı amfoter grubu hedef çekirdeklerin proton giriş reaksiyonlarında üretilen nötronların reaksiyon tesir kesitlerinin ve yayılma spektrumlarının teorik olarak hesaplamasını yapmış ve deneysel verilerle kıyaslamasını yaparak incelenmiştir.

Filges vd (1984), $_{73}\text{Ta}^{181}$ elementinin 500 MeV enerjili protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötronların çift diferansiyel tesir kesitinin deneysel olarak hesaplamasını yapmıştır.

Zhuikov vd (2003), $_{73}\text{Ta}^{181}$ elementinin (p,5n) reaksiyonunda ortaya çıkan nötron verim tesir kesitinin deneysel olarak hesaplamasını yapmıştır.

Kamitsubo vd (1967), $_{74}\text{W}^{183}$ elementinin 50 MeV enerjili protonlarla bombardımanı sonucu ortaya çıkan nötronların açılma dağılımını deneysel olarak hesaplamıştır.

Shigaev vd (1973), $_{82}\text{Pb}^{207}$ elementinin farklı enerjilere sahip protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötronların fisyon tesir kesiti deneysel olarak hesaplamalarını yapmıştır.

Harder vd (1987), $_{82}\text{Pb}^{207}$ elementinin 25 MeV enerjili protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötronların enerji spektrumlarının deneysel olarak hesaplamasını yapmıştır.

Vaishnane vd (2010), $_{82}\text{Pb}^{208}$ elementinin farklı enerjilere sahip protonlarla bombardımanı sonucu oluşan nötronların fisyon tesir kesitlerini deneysel olarak hesaplamasını yapmıştır.

Iwamoto vd (2009), $_{90}\text{Th}^{232}$ elementinin 300 MeV enerjiye sahip protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötronların enerji spektrumlarının deneysel olarak hesaplamasını yapmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Hızlandırıcı Kaynaklı Sistem (ADS)

Elektron (e^-), pozitron (e^+), proton (p), anti-proton gibi yüklü parçacık demetlerinin belirli bir amaç çerçevesinde belirlenen bir enerjiye ulaşmaya kadar hızlandırılmasını sağlayan aygıtlara hızlandırıcı denilmektedir. Bu yüklü parçacıkları yüksek enerjilere çıkarmak için hızlandırıcılar kullanılır. Gereksinim duyulan hızlandırılmış parçacığı doğal yollardan ya da laboratuvarlarda elde etmenin imkânı olmadığı zaman hızlandırıcılara gerek duyulmaktadır. Hızlandırılan bu parçacıklar vasıtasıyla başta Temel Parçacık Fiziği ve Nükleer Fizik olmak üzere araştırmalar yapılmaktadır (Yavaş 2004).

3.1.1. Hızlandırıcıların Tarihçesi

İlk parçacık hızlandırıcılarının 1930'larda kurulmasına rağmen, 1950'lere dek temel parçacıklarla ilgili önemli buluşlar kozmik ışın deneylerinde elde edilmiştir (örneğin müonun ve acayip parçacıkların bulunması). Bunun ana nedeni, o zamanki hızlandırıcılarda ulaşılabilen enerjilerin düşük olması idi. Bu enerjilerin yükseltilmesi gelişen teknolojinin yardımı ile her on yılda yaklaşık on katına çıkarılmıştır ve özellikle çarpıştırıcıların kurulması sonucunda hızlandırıcılar maddenin yapıtaşlarını, onların özelliklerini ve etkileşmelerini inceleyen en önemli aygıtlar durumuna gelmiştir (Sultansoy 2001).

3.1.2. Hızlandırıcıların Gelişimi

20. yüzyıl başlarında Rudherford deneyi ile ortaya konulan doğru ve yeni atom modeli sonrasında insanoğlunun maddenin temel yapısını çözümlene çerçevesindeki arayış ve gayretleri çerçevesinde özellikle yüksek enerji fiziği (parçacık fiziği) ve nükleer fizik konusunda yapacağı yeni deneylerde hızlandırılmış elektron ve proton demetlerinin

kullanılmasını gündeme getirmiştir. Katod ışınları tüpleri katod-anod arasında elektron akımı oluşturan ilk hızlandırıcılar olarak anılabilir. 1920 li yılların sonlarında Widereo ilk modern lineer elektron hızlandırıcısını (linac) tasarlamış ve hayata geçirmiştir. Cokcroft-Walton elektrostatik hızlandırıcısı da yine aynı dönemde gerçekleştirilmiştir. 1932 de Cokcroft-Walton proton hızlandırıcısı ile hızlandırılan protonlar Li çekirdekleri üzerine gönderilerek iki He çekirdeği ortaya çıkarılmıştır. Daha yüksek elektrostatik hızlandırma potansiyelleri ise Van de Graff jeneratörü ile elde edilmiştir. Bu hızlandırıcı ile enerji olarak MeV düzeyine ulaşılmıştır. (1 eV: bir elektronun 1 voltluk potansiyel farkını geçmesiyle kazanacağı enerjidir. 1 MeV=10⁶ eV) İndüksiyon doğrusal hızlandırıcıları ile yine bir kaç MeV enerjiye ulaşmak aynı tarihlerde söz konusu olmuştur. RF salınımlı (~MHz) elektromagnetik alanlar aracılığı ile uyarılan rezonans kavitelelerin (rezonans boşlukları) parçacık hızlandırılmasında kullanımı Widereo tarafından önerildikten sonra 30 sürüklenme tüpüne sahip böyle bir hızlandırıcı ile civa iyonları 1,26 MeV lik enerjiye hızlandırılmışlardır.

Yükselen enerjilerde tüplerin ve uzunluklarının artması dairesel hızlandırıcı fikrini ortaya koymuştur. Sabit yarıçap üzerinde indüksiyon yoluyla uyarılan elektrik alanın yine sabit yarıçaplı yörüngelerde parçacıkları hızlandırması ilkesine dayanan betatron, aynı RF kaviteden geçilerek her defasında daha büyük yarıçaplar çizerek hızlandırma yapan mikrotron, D şekilli karşılıklı iki magnet arasındaki boşlukta uygulanan RF hızlandırma geriliminden yararlanılarak spiral yörüngelerde hızlandırma yapan siklotron, dairesel bir yörünge boyunca her defasında RF kavitenin frekansının eş zamanlılık şartı ayarlanacak şekilde arttırılması ilkesine dayanan ve sabit yarıçaplı yörüngelerde dipol magnetler aracılığı ile tutulan ve kuadropol magnetler aracılığı ile fokuslamanın yapıldığı sinkrotron dairesel hızlandırıcılar olarak geliştirilmiştir.

1940'lı yılların sonlarından başlayarak gelişen teknoloji ile ortalama her yedi yılda bir hızlandırıcılarla ulaşılan enerjinin üst sınırı 10 kat arttırmış ve günümüzde TeV (10¹² eV) enerjilere ulaşılmıştır. Parçacık fiziğinin ve nükleer fiziğin vazgeçilmez deneysel aygıtları olan hızlandırıcılar günümüzde temel parçacıkların üretimi, ikincil demetlerin üretimi, sinkrotron ışınımı üretimi, serbest elektron lazerlerinin üretimi ve başta temel araştırmalar olmak üzere, endüstriyel ve teknolojik ürünlerin imalinde ve kalite kontrolünde kullanılması ile özellikle gelişmiş ülkelerde temel bilimlerin, mühendisliğin ve

teknolojinin gelişmesinde kilit rol oynayarak makro ekonominin bir parçası haline almıştır.

Bu çerçeveden bakarak, herbirinde yüzlerce doktoralı nükleer, parçacık ve hızlandırıcı fizikçisinin çalıştığı İsviçre-Fransa sınırındaki Avrupa Nükleer Araştırmalar Merkezi CERN'nün, Almanya'da Alman Elektron Sinkrotronu DESY'nin, Japonya'da Japon Yüksek Enerji Fiziği Laboratuvarı KEK'nin, Amerika'da Stanford Lineer Hızlandırıcısı SLAC'ın ve Fermi Ulusal Hızlandırıcı Laboratuvarı FNAL'in, Rusya'da BUDKER, JINR-Dubna ve IHEP-Protvino hızlandırıcı merkezlerinin kurulduğu dönemler ve sonrasında bu ülkelere bilgi birikimi, mühendislik ve teknoloji alanında kazandırdıkları incelenecek olursa hızlandırıcıların önemi kendiliğinden ortaya çıkacaktır.

Parçacık hızlandırıcılarının günümüzde başta parçacık fiziği ve nükleer fizik deneyleri olmak üzere malzeme fiziğinden, yüzey fiziğine, x-ışınlarından, nötron terapisine, proton terapısından iyon implantasyonuna, petrol ve gaz yataklarının aranmasından çevre atıklarına, gıdaların korunumundan izotop üretimine, nükleer atıkların temizlenmesinden toryuma dayalı nükleer santrallere, polimerizasyondan litografiye, anjiyografiden baca gazlarının temizlenmesine, mikrospektroskopiden güç mühendisliğine, sinkrotron ışınımından serbest elektron lazerlerine, ağır iyon füzyonlarından plazma ısıtılmasına kadar üçyüzün üzerinde kullanım alanı mevcuttur. Bugün çok pahalıya malolan radyoizotopları üretmek veya 15 yıl paslanmazlık garantisi bulunan bir metalik yüzeyi işlemek, hızlandırıcıya dayalı basit teknolojiler haline gelmiştir.

Sadece sinkrotron ışınımının Avrupada kullanımı ele alınırsa, çalışır durumda bulunan ve halka tipli elektron hızlandırıcılarına dayalı HASYLAB (Hamburg), BESSY(Berlin), ESRF (Granoble), ELETTRA (Trieste) vb. sinkrotron ışınımı laboratuvarlarında fiziksel, biyolojik, kimyasal ve jeolojik numuneler üzerinde yapılan ve genel anlamda spektroskopiye dayalı araştırmaların yıllık sayısının binlerce olması mikro teknolojilerin gelişim hızı konusunda bazı ipuçları vermektedir.

Bugün dünyada 4 kıtaya dağılmış onbeşbin (15000) civarında küçük büyük parçacık hızlandırıcısı mevcuttur. Daha önce bazılarının isimleri ve ülkeleri verilen ve daha çok parçacık fiziği, nükleer fizik deneyleri, sinkrotron ışınımı üretimi ve yeni teknoloji

geliştirme amacıyla kurulan büyük ölçekli olanların sayısı ise 115 civarındadır. Ziyaretçi araştırmacılar ile birlikte CERN de çalışan araştırmacı sayısı 4500, DESY’de çalışan araştırmacı sayısı ise 3000 civarındadır (TAEK 2007).

3.1.3. Türkiye deki Hızlandırıcılar ve Gelişimi

Türkiye ve Türk Dünyası parçacık hızlandırıcıları alanında çok geri kalmıştır ve gelişmiş ülkelerle oluşan açığı kapatmak zorundayız. Mevcut durumun nedenlerini belirlemek ne kadar önemli olsa da, atılması gereken adımları belirlemek bundan çok daha önemlidir (Sultansoy 2001).

Bu doğrultuda Ankara Üniversitesi Fizik ve Fizik Mühendisliği Bölümlerinde 1994’te başlatılan Hızlandırıcı Fiziği çalışmalarının bir sonucu olarak hazırlanan “Parçacık Hızlandırıcıları: Türkiye’de Neler Yapılmalı?” konulu proje Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) desteği ile 1997-2000 yılları arasında yürütülmüş ve tamamlanmıştır. Aynı zamanda bir Fizibilite çalışması niteliği taşıyan proje sonucunda “Türk Hızlandırıcı Merkezi (THM)” nin kurulması önerilmiş ve sonuç raporunda THM’de yer alması planlanan tesisler ve kurumsallaşma adına atılması gerekli adımlar tanımlanmıştır (TAEK 2013).

2002-2005 yılları arasında Ankara ve Gazi Üniversiteleri işbirliği ile yürütülen iki ayrı proje ile Türk Hızlandırıcı Merkezi’nde yer alması planlanan tesislerin ana parametrelerini ve araştırma potansiyellerini tanımlayan Genel Tasarım çalışmaları tamamlanmış ve raporlandırılmıştır (TAEK 2013).

Türk Hızlandırıcı Merkezi’nin Teknik Tasarım Raporunu (TTR) yazmayı, ülkemizin Ar-Ge amaçlı ilk parçacık hızlandırıcı tesisini (TARLA) ve ilk Hızlandırıcı Teknolojileri Enstitüsü’nü (HTE) kurmayı hedefleyen Yaygınlaştırılmış Ulusal ve Uluslararası Proje (YUUP) DPT desteği ile 2006 yılında yürürlüğe girmiştir. Ankara Üniversitesi koordinatörlüğünde proje ortağı 12 Üniversiteden (Ankara, Gazi, İstanbul, Boğaziçi, Doğuş, Uludağ, Dumlupınar, GYTE, Erciyes, Osmangazi, S. Demirel ve Niğde Üniversiteleri) ve araştırmacı desteği sağlayan 15 üniversiteden (ODTÜ, Bilkent, Hacettepe, Kırıkkale, Gaziosmanpaşa, Adıyaman, Çankırı Karatekin, Celal Bayar,

Aksaray, İnönü, Fatih, Ağrı İ. Çeçen, Bitlis ve Muş Alparslan Üniversiteleri) yaklaşık 168 araştırmacının katılımı ile sürdürülen proje çalışmalarının bu aşaması 2014 yılı sonunda tamamlanacaktır (TAEK 2013).

Türk Hızlandırıcı Merkezi'nin kurulmasının, ortaya konulacak öncelikler doğrultusunda ve Ulusal Araştırma Merkezi yapısı ile 2015-2025 yılları arasında tamamlanması öngörülmektedir (TAEK 2013).

Türkiye Atom Enerjisi Kurumu- Proton Hızlandırıcı Tesisi (TAEK-PHT); kanser, nörolojik hastalıklar, beyin fizyolojisi ve patolojisi ile koroner arter hastalığı gibi pek çok hastalıkta teşhise yönelik olarak kullanılan iyot-123, flor-18 (FDG), indiyum-111, galyum-67, talyum-201 ve bu radyoizotoplardan radyofarmasotiklerin üretilmesi, radyofarmasotiklerin kalite kontrolü ve hasta dozu olarak dağıtımı ve ayrıca nükleer alanda araştırma ve eğitim faaliyetlerinde bulunmak üzere kurulmaktadır (TAEK 2013).

Proton hızlandırıcısının teknik özellikleri ise; TAEK-PHT'deki siklotron tipi hızlandırıcı sistemi (CYCLONE-30) türünün en yeni teknolojik özelliklerine sahiptir. Hızlandırıcının sağlayacağı proton demeti enerjisi değişkendir ve en yüksek proton demeti enerjisi 30 MeV'dir. Hedef sistemleri üzerine yönlendirilecek toplam proton demet akımı da değişken olup, en yüksek akım değeri 1200 μ A'dir. Bu seviyedeki bir proton demeti akımı IBA tarafından tasarlanan bu özelliğe sahip dünyadaki ilk ticari hızlandırıcı olma özelliğindedir. Hızlandırıcı sistemi dört adet ışınlama odasına açılan dört ana demet hattı ile bağlantılı olup, bu demet hatlarından üçünde radyoizotop üretimi yapılacak, birinde ise araştırma faaliyetleri yürütülecektir (TAEK 2013).

3.2. Hızlandırıcılar

Nükleer fizik ve parçacık fiziği araştırmalarında kullanılan hızlandırıcılar genel olarak iki gruba ayrılırlar;

1-Hızlandırma işlemlerinde DC gerilim farkı kullananlar

2-Radyo Frekans salınımlı elektromanyetik alanlar kullananlar.

Yüksek gerilim hızlandırıcılarının başında Cockcroft-Walton ve Marx gelmektedir. Bu tip hızlandırıcılar geliştirilerek günümüzde yaygın olarak kullanılan Tandem Van de Graff hızlandırıcıları geliştirilmiştir.

3.2.1. Tandem Van de Graff, Elektrostatik Hızlandırıcıları

Bu tip hızlandırıcılarda yaklaşık olarak ~25 MeV'lik terminal voltajı düzgün bir iletken yüzey aracılığıyla ya da bir iyon kaynağıyla üretilir ve yüksek voltaj ucuna hareketli bir kayış aracılığı ile taşınır. Bu tip hızlandırıcılarda negatif iyonlar önce topraklama ucundan yüksek pozitif voltaj terminaline doğru hızlandırılır ve etkin voltajı mega volt mertebesine ulaştırır. Bu voltaja ulaşan demet vakum sistemi içerisindeki bir metalden geçerek elektronları çıkarıp pozitif iyonları da toprak potansiyeline doğru geri hızlandırılır. Bu yolla hızlandırıcı yüksek enerji üretir fakat bu enerji yeteri kadar yoğun değildir. Verimliliğin düşük olduğu bu tip hızlandırıcılarda elektrostatik demet akımı 10-20 μ A kadardır. Bu tip hızlandırıcıların belli limitlerde çalışma aralığının olması bir dezavantajdır. Negatif iyon kaynağının başlangıçta kullanılması ve pozitif iyon kaynaklarıyla karşılaştırıldığında daha az bulunuyor olması diğer bir dezavantajdır. Fakat tüm bunlara rağmen yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Ertürk ve Boztosun 2004).

3.2.2. Lineer Hızlandırıcılar (Linac)

Radyo frekansı kullanılarak çalışan lineer hızlandırıcılarda iyonların küçük potansiyel farkları kullanılarak tekrar hızlandırılması gerekliliği problemi yoktur. Lineer hızlandırıcılarda, lineer bir tüp içerisine belli sayıda elektrot yerleştirilmiş bir düzeneğe iyonlar enjekte edilir. Elektrotların her iki tarafına uygulanan alternatif voltaj uygun şekilde belli aralıklarla sıralanmış elektrotların fazları değiştirilerek hareketlenen iyonların hızlanmaları sağlanır. 1928 yılında R. Wideroe tarafından tasarlanan lineer hızlandırıcı ile 50 keV'lik pozitif iyonlar hızlandırılmış ve ikinci dünya savaşından sonra hem elektron hem de proton hızlandırmak için kullanılmıştır. Stanford Üniversitesi'nde bulunan 3 km uzunluğundaki lineer hızlandırıcı, en uzun lineer hızlandırıcı olup 50 GeV elektron veya pozitron hızlandırmaktadır (Ertürk ve Boztosun 2004).

3.2.3. Siklotron (Cyclotron)

İyonları MeV mertebesinde hızlandırabilen, en iyi bilenen ve en yaygın kullanılan hızlandırıcılardır. Lineer hızlandırıcılarda olduğu gibi bu hızlandırıcılarda da değişen fazlar yardımıyla iyonlar hızlandırılır. Bu hızlandırıcı tipinde lineer hızlandırıcıdan farklı olarak hızlandırılan parçacıkları kapalı bir yol etrafında bükebilmek için manyetik alan da kullanılır. 1932 yılında Lawarance ve Lewingston tarafından geliştirilen bu hızlandırıcı tipinde hızlandırılmak istenilen parçacık siklotronun merkezine enjekte edilerek ve dışa doğru spiral şekilde hızlandırılır (Ertürk ve Boztosun 2004).

3.2.4. Sinkrotronlar

19. yüzyıl sonlarında X-ışının keşfinden sonra hızlandırıcıların temel ve uygulamalı araştırma alanlarında ve aynı zamanda tıbbi alanlardaki uygulamaları çok artmıştır. Yüksek enerji ve nükleer fizikte temel araştırmalar için hızlandırıcılar kullanılır. Örneğin, Avrupa Nükleer Araştırma Merkezinde (CERN) birçok hızlandırıcı tipleri kullanılmaktadır. Tıp alanında teşhis ve tedavi amaçlı daha fazla sayıda hızlandırıcı bulunabilir. Kanseri teşhis ve tedavisi, nötron veya proton radyoterapisi ve yine teşhis ve tedavide kullanılan radyoizotopların üretimi için de hızlandırıcılar geliştirilmiş ve yaygınlaştırılmıştır. Ülkemizde 8 farklı merkezde farklı boyutlarda ve amaçlarda kullanılan hastane bünyesinde çalıştırılan hızlandırıcılar vardır (Ertürk ve Boztosun 2004).

3.3. Spallasyon (Parçalanma)

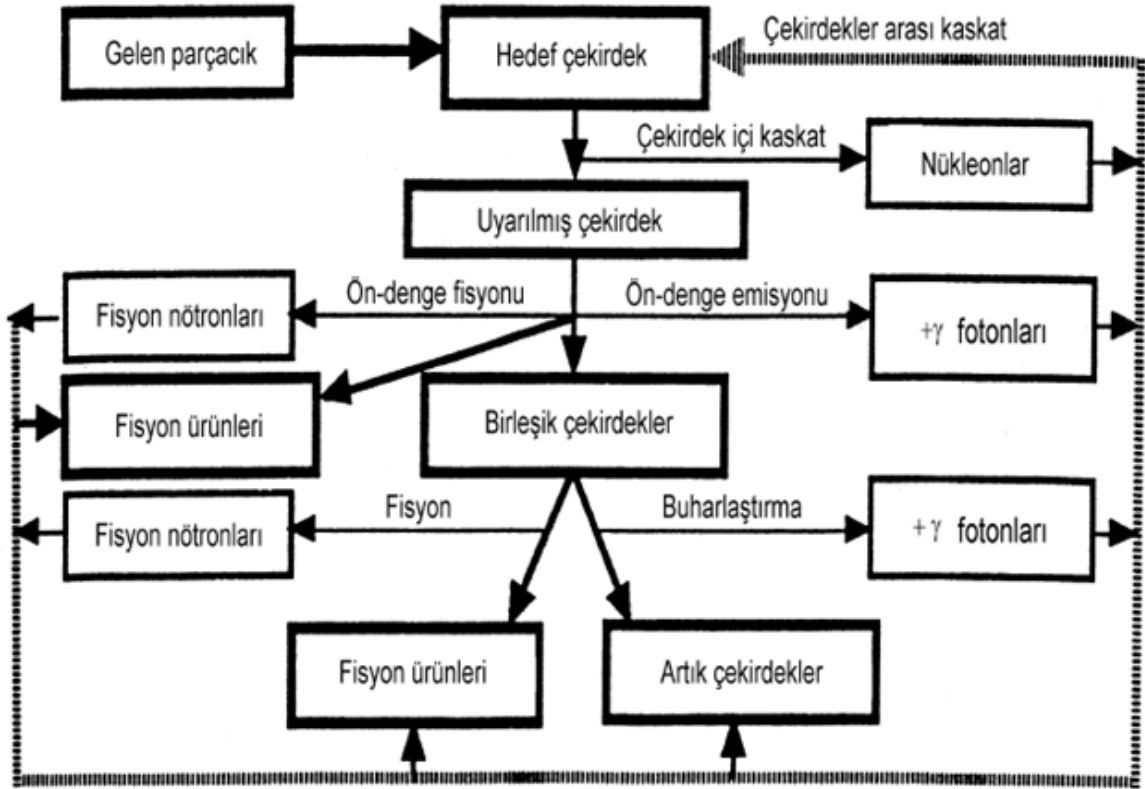
3.3.1. Spallasyon Reaksiyonu

Kritik-altı parçacık hızlandırıcı sürümlü sistemler (ADS) ile konvansiyonel bir reaktör arasındaki temel fark hızlandırıcılarda yüksek enerjili proton demeti ve nötron çoğaltıcı hedef bölgesinin olmasıdır. Yüksek enerjiye (genellikle >500 MeV) sahip yüksek yoğunlukta sürekli bir dalga olan proton demeti ağır metal olan hedefe gönderilir. Bu sırada gerçekleşen reaksiyona spallasyon reaksiyonu denir ve reaksiyon sonucu hedeften bazı nükleonlar ya da hafif çekirdekler çıkar. Hedef çekirdekten yüksek enerjili

nükleonlar çıkararak çevresindeki çekirdeklerle etkileşirler. Bu iki süreç içerisinde hedef çekirdeklerin belirli bir kısmı, ya parçalanma ya da buharlaşma suretiyle dışarı fazladan nükleonlar atarlar. Bu nükleonların içerisinde üretilen nötronlar (20 MeV altı) birincil (kaynak) nötronlardır ve fisyon yapması için hedefi çevreleyen kritik-altı korda kullanılır. ADS’de yüksek güce sahip spallasyon hedefinin amacı kritik-altı korun çevresinde fisyon sürecini sağlayacak birincil nötron akısını sağlamaktır. Proton başına spallasyon nötronlarının sayısı proton demetinin enerjisine ve hedef malzemesi çekirdeğinin kütesine bağlıdır. Hızlandırıcının gücünü ve dolayısıyla maliyetini belirlemesinden dolayı ADS’ler için nötron ekonomisi çok önemlidir. Birincil nötronlar minör aktinit ve/veya fisyon ürünleri içeren kritik-altı korda çoğaltılır. Bu spallasyon nötronları kararlı veya çok kısa ömürlü izotopları içeren nükleer atıklardaki yüksek seviyeli radyoaktif çekirdekleri dönüştürmek için kullanılır. Sonuç olarak, proton enerjisi ve hedef malzeme ile ilgili ADS çalışmalarında önemli olan proton başına açığa çıkan nötron sayısıdır (Genç 2008).

3.3.2. Spallasyon Hedef

Spallasyon nükleer tepkimesinde, hedef malzeme olarak Bizmut+Kurşun (Bi+Pb) karışımının sıvı metali veya genelde sıvı Pb kullanılır. Spallasyon, fisyonla kıyasla daha fazla nötronu üretmek için uygulanan bir tepkime biçimidir. Reaktördeki spallasyon Pb hedef, tipik olarak 60 cm uzunluğunda, 20-50 cm çapındadır. Hızlandırıcı Kaynaklı Sistem (ADS)’lerde proton demeti ile Pb hedef etkileştirilir (intranuclear cascade). Böyle bir kalın hedef içinde proton demeti durdurulurken “spallasyon” sürecinde üretilen yüksek enerjili nükleonların yakınında bulunan hedef nükleitlerle etkileşimi Şekil 3.1’de gösterilen tasarımlar şeklinde oluşmaktadır.



Şekil 3.1. Reaksiyon Mekanizması Şekli (Karadeniz vd 2001)

Bu nükleonlar arasındaki etkileşme kaskat (internuclear cascade) etkileşmesi olarak adlandırılır. Bu nükleonlar arası kaskatlar esnasında çok sayıda etkileşme mümkündür. Hızlandırıcıdan gelen GeV mertebesindeki enerjiye sahip bir proton, Pb spallasyon hedef ile etkileştiğinde belli sayıdaki nükleonlar, mesonlar ve diğer parçacıklar (${}^2\text{H}$, ${}^3\text{He}$, ...) çekirdeğin dışına çıkar. Hedefe çarpan protonların ortalama enerjisi hedef çekirdeğin fırlatılan bir nükleonun enerjisinden daha düşük olduğunda, nükleer kaskat son bulur. Ancak çok yüksek derecede uyarılmış olan hedef çekirdek (denge öncesi durum), yüksek enerjili fisyon (Hedef; Toryum, Uranyum'dan yapılmış ise) parçacık emisyonu ve gama emisyonu ile bozulur. Bütün bu bozulma modlarında, spallasyon, buharlaşma ve fisyon neden olacak nötron emisyonu daha baskındır.

Hızlandırıcı Kaynaklı Sistem (ADS) tasarımında proton başına nötron sayısı anahtar parametredir. Nötron verimi kullanılan hedef malzemeye bağlıdır (Pb, Bi, U, Th gibi). Örneğin yaygınca çalışılan Pb spallasyon hedef için 1 GeV'lik proton yaklaşık 15 nötron üretir. Çeşitli türdeki (spallasyon, fisyon, buharlaşma) tepkimelere bağlı olarak, oluşan nötron enerji spektrumu birkaç keV'den başlar. Yayınlanan nötronların %90'ı 15

MeV'in altındadır. Açısal dağılımları izotropiktir. Enerji dağılımı, ortalama nötron enerji değeri 2 MeV'in biraz altında ve Maxwell dağılımına uyar. Yani, nötron enerjileri, orta (intermediate) ve hızlı (fast) nötron karakteristiklerine sahiptir (Karadeniz vd 2001).

3.3.3. Spallasyon Nötron Hedefi

Spallasyon nötron hedefin (SNH) görevi yüksek enerjili mermi parçacıklar ile düşük enerjili nötronları oluşturmaktır. SNH tasarımı nötronik verim optimizasyonuna dayalıdır. Bundan dolayı, hedef malzemesinde aranan özellikler şöyledir (Genç 2008).

- Yüksek atom numarası
- Yüksek yoğunluk
- Yüksek/düşük erime noktası(katı/sıvı)
- Yüksek ısı iletim katsayısı
- Nötron absorpsiyonunda düşük rezonans
- Termal nötronlar için düşük absorpsiyon
- Yüksek kullanılabilirlik ve düşük maliyet

3.4. Yöntem

Hızlandırılmış parçacıklarla oluşturulan reaksiyonların tesir kesitleri özellikle nükleer fizikte ve tıp biliminde önemli yer tutar. Bu tür reaksiyonların oluşturulması sırasında oluşabilecek problemlerin giderilebilmesi için tesir kesitlerinin veya yayınlanma spektrumlarının deneysel olarak ölçülmesi ve önceden oluşabilecek durumların belirlenebilmesi için de teorik hesaplamaların yapılabilmesi gerekir. Örnek olarak, gönderilen parçacığa göre hangi enerji aralığında maksimum tesir kesiti olabileceğini, ya da gönderilen parçacığın enerjisinin hangi aralıkta olması gerektiğini görmek için bu hesaplamaların önemi ortaya çıkmaktadır. Diğer bir taraftan da, nükleer fiziğin sahip olduğu temel problemlerin aşılabilmesi için çeşitli modellerin nükleer reaksiyonlarda oynadığı rolü teorik olarak hesaplamak ve deneysel olarak gözlemek gereklidir.

Nükleer reaksiyonların daha detaylı olarak farklı enerjiler için tesir kesitlerinin ve spektral yayınlanma şeklinin incelenmesi önemlidir. Örneğin, reaktörlerde üretilen geçici

çekirdekler genellikle kısa yarı ömürlüdür. Dolayısıyla, bu çekirdeklerin tesir kesitlerinin ve yayınlanma spektrumlarının doğrudan ölçülmesi pek mümkün olamamaktadır. Bu sebeple, zaman kazanılması açısından yapılacakların en önemlisi bu tesir kesitlerinin teorik olarak önceden hesaplanmasıdır. Nükleer fizik biliminin uygulama alanları hayatımızda önemli yere sahip olması nedeniyle araştırmalar her geçen gün artmaktadır. Ülkemizin hızlandırıcılar alanındaki gelişmelerine katkıda bulunmak için teoriksel çalışmaların da Türk Hızlandırıcı Projesi (TAC) veri tapanına katkısı küçümsenemeyecek kadar önem arz etmektedir.

3.5. Nükleer Modeller

İstenen enerjili nötronlar, nükleer deneyler sonucu ile elde edilir. Gönderilen parçacıkla elde edilen nötronun enerjisi ve oluşma spektrumlarını bu deneylerden sonra söylemek mümkündür. Ancak deneyden önce ve sonra teorik hesaplarla oluşacak tesir kesitinin ve çıkacak olan parçacıkların spektrumlarının modellerin tutarlılığı göz önüne alınarak incelenmesi hem zaman kaybını engelleyecek hem de gereksiz masraftan kaçınılmasına yardımcı olacaktır. İşte bu teorik tesir kesiti ve spektrum değerleri de bazı nükleer paket modeller kullanılarak hesaplanabilir. Fakat bu hesaplanan değerlerin doğruluğu, daha önceden yapılmış deneyler ve bu deneylerin sonucunda elde edilen verileri ile karşılaştırılıp yorumlandıktan ve sahip oldukları hata payı hesabından sonra tartışılır. Hatta bu modeller ile daha deneyi yapılamamış yüksek mertebeli enerjilere sahip olan parçacıkların bombardıman sonrası oluşacak yeni izotopları ile parçacığın tesir kesiti ve spektrumlarının hesabının mümkün olması, modellerin kullanımını cazip hale getirmiştir. Bu çalışmada kullanılan paket programlar, yoğun bir matematik işlemine sahip olan, dinamiksel Liouville ve istatistiksel metot kullanılarak nümerik çözümlerin bulunduğu, matematiğin maksimum seviyede kullanıldığı denge ve denge-öncesi modelleri içerir. Buna ek olarak, uyarılmış bir nükleer sistemin hamiltonyeni olarak da ifade edilirler.

$$H=H_0+V \quad (3.1)$$

Burada; H_0 , kararlı bileşenlere aittir. Kuantum mekaniğin zamana bağımlı perturbe (etkileşim) teorisinin çözümü ile birinci mertebeden V bulunur ve buradan da durum

yoğunlukları hesabına geçilir. Bu sistemin çözülmesi de denge-öncesi modeller için alt yapıyı oluşturur (Yıldırım 2009).

3.5.1. Denge-Öncesi Modellere Giriş

Nükleer reaksiyonlar iki kategori altında incelenebilirler. Birincisini, direkt reaksiyonlar oluştururlar ve çok hızlı bir süreçte olur. Bu tür reaksiyonların oluşum süresi yaklaşık 10^{-22} saniyedir. Bu süre, hızlandırılmış bir parçacığın, hedef çekirdeği boyunca hiç etkileşmeden geçmesi olarak da adlandırılabilir. İkinci tür reaksiyonlar ise; bileşik çekirdek reaksiyonları olup, reaksiyon süresi ortalama olarak 10^{-16} saniyedir ve bu değer direkt reaksiyonlara göre oldukça uzundur. Bileşik çekirdek reaksiyonları istatistiksel metotlarla incelenirken, direkt reaksiyonlar ise mikroskobik anlamda incelenirler.

Nötronlarla oluşturulan reaksiyonlarla ilgili çalışmaların ilk yıllarında bileşik çekirdek reaksiyonları ve doğrudan etkileşmelerden başka, denge-öncesi mekanizmasının varlığı gözlenmiştir (Holub vd 1980). Denge-öncesi mekanizması, hedef çekirdeklerinin kütlelerine ve bileşik sistemin exciton enerjisine bağlı olarak birincil nötron, proton ve alfa parçacıklarının yayınlanmasında diğer reaksiyon türlerine göre daha önemli rol oynamaktadır (Millazzi-Colli ve Braga-Marcuzzan 1974). Deneyler, doğrudan ve bileşik çekirdek reaksiyonlarından başka üçüncü bir reaksiyonun varlığını göstermektedir. Buna denge-öncesi reaksiyon denir. Bu tür reaksiyonlarda parçacıklar, iki nükleer sistemin çarpışarak bir bileşik sistem oluşturmasıyla, bu sistemin tam bir termal veya istatistik dengeye ulaşması arasında geçen süre içerisinde yayınlanırlar. Bu, özellikle, yayınlanan parçacık spektrumunun yüksek enerji kısmında çok önemlidir.

Denge-öncesi reaksiyonları inceleyen başlıca modeller:

- 1- Full Exciton Modeli.
- 2- Hibrid Modeli
- 3- Geometri Bağımlı Hibrid Modeli
- 4- Cascade-Exciton Modeli

3.5.2. Nükleer Reaksiyonlardaki Denge-Öncesi Modellerin Ortak Özellikleri

Bu çalışmada, temel olarak 4 model kullanılmıştır. Bunlardan sadece Cascade Exciton modeli yüksek enerji mertebesine (GeV) kadar hesaplama yaparken, diğer 3 model ise, orta enerjili denge-öncesi reaksiyon hesaplamaları yapabilmektedir. Bu modeller bazı özellikler bakımından benzerdirler. Bütün modeller istatistiksel yöntemleri içerir. Hamiltoniyen hesaplamalarında perturbe teorisinden faydalanılır ve tüm hesaplamalar için matematik maksimum seviyede kullanılır. Diğer bir ortak özelliği ise, bu modellerin yardımı ile pratik olarak, yayınlanan parçacıkların toplam enerji spektrumlarının ve tesir kesitlerinin hesaplanabilmesidir. Bu da deney öncesi, araştırmacıların işini kolaylaştırır ve onlara deney hakkında fikir verir. Ayrıca; bu modellerin hepsinde istatistiksel yöntemler kullanılması ile beraber, hesaplamalarda çekirdeğin yapısı ve açısal momentum etkisi hesaba katılmamıştır (Kalbach 1975).

3.5.3. Full Exciton Model

Bu model, hedef çekirdek ile gelen parçacık arasındaki ilk etkileşmeden sonra sistemin uyarılacağını ve exciton sonucunda sisteme giren fazla enerji nedeniyle, sistemde karmaşıklık oluşacağını söyler. Fakat bu karmaşıklığın, bir dizi basamaktan geçtikten sonra dengeye tekrar ulaşılacağı varsayılır. Bu da, oluşan bu basamakların her birinde sistemin temel hale dönebilmesi için gerekli enerji yayılması anlamına gelmektedir. Bu yayılan enerjiler yüzünden deşikler ve parçacıklar uyarılabilir. Farklı karmaşıklıkta uyarılmış parçacık ve deşik, sayılarına göre sınıflandırılır. Bu modelde; çekirdek potansiyeli ise eşit aralıklarla yerleştirilmiş tek-parçacık durumuyla temsil edilmektedir. Gönderilen parçacık hedef çekirdeğe girdiği zaman $1p-0h$ (veya 1-exciton) durumunu, hedef çekirdeğe ait nükleonlardan birisiyle etkileşerek $2p-1h$ (veya 3-exciton) durumunu oluşturur.

Burada p ; parçacık sayısını, h ; deşik sayısını ifade eder. Daha sonraki etkileşmelerle birlikte de daha çok parçacık-deşik çiftinden oluşan durumları oluşturur. Ayrıca, Exciton Model'inde denge süreçleri vardır. Bu süreç içerisinde parçacık yayınlanma olasılığını da hesaplamak mümkündür. Bu hesaplama yöntemini ise, çiftlenimli Pauli Master denklemlerinin doğrudan nümerik çözümleri oluşturur. Bu modelin temel özelliği de

nükleer bir reaksiyonun zamana göre fonksiyonu olmasıdır. Bu bilgiler denklem 3.3'de tanımlanmıştır.

$$dP/dt = \lambda^+ (n-2) \quad (3.2)$$

$$P(n-2,t) + \lambda^- (n+2) P(n+2,t) - \{ \lambda^+ (n) + \lambda^- (n) W(n) \} P(n,t) \quad (3.3)$$

Denklem 3.3'de $P(n,t)$ n ($n = p+h$), exciton durumunda bulunma olasılığıdır. λ^+ , λ^- ve $n \rightarrow n-2$ geçiş hızları, parçacıkların $W(n)$ n exciton durumundan tüm enerjilerde yayınlanma hızıdır. Burada, ana denklem sistemi için başlangıç şartı; $P(p,h,0) = \delta(p,p_0) \delta(h,h_0)$ nükleonlarla oluşturulan reaksiyonlar için başlangıç parçacık sayısı $p_0=2$, başlangıç deşik sayısı $h_0=1$ 'dir. Tesir kesiti integrali ise, $d\sigma/d\varepsilon = \sigma_a \Sigma W_b(n,\varepsilon) \tau(n)$ bağıntısından hesaplanır. Burada σ_a reaksiyon tesir kesiti, $\tau(n)$ de n exciton durumunda ortalama ömrüdür ve ortalama ömür de $t=0$ dan $t=\infty$ arasındaki integrasyonundan $\tau(n) = \int P(n,t) dt$ bulunur. $W_b(n,\varepsilon)$, b parçacığının n . exciton basamağından ortalama yayınlanma hızıdır (Kaplan vd 2009).

3.5.4. Hibrid Model

Hibrid Model; Exciton Model'inde olduğu gibi tek parçacık durumlarını eşit aralıklı bir yerleşim olarak kabul eder. Çekirdek durumlarını, uyarılmış parçacık ve deşikleri içerecek şekilde sınıflandırır. Daha önce söylendiği gibi gelen nükleon, hedef çekirdekle $1p - 0h$ durumu oluşturur. Sonra $2p - 1h$ durumu oluşturmak için hedef nükleonla etkileşme yapar. Böylece, iki cisim etkileşmeleri, daha fazla parçacık-deşik çifti oluşumuna sebebiyet verirler. Bu model, her bir nükleer durum için uyarılmış parçacıkların exciton enerjilerinin dağılımını hesaplar. Her parçacık exciton enerjisi için, yeni parçacık-deşik oluşumuna bağlı olarak kısmi parçacık yayınlanma oranları hesaplanır. Bu hesaplamada ilk olarak $2p - 1h$ konfigurasyonu ile başlanırken, sıra ile bütün durumlar düşünülür. Parçacık yayınlanmasında tüm süreçler denge-öncesi spektrumuna katkıda bulunur. Bu süreç, denge sistemindeki en muhtemel exciton sayısına ulaşılan kadar devam eder. Daha sonra, reaksiyonun denge kısmı için standart bir bileşik çekirdek modeli hesabına devam edilir. Böylece, hedef çekirdek ve gönderilen

parçacığın etkileşimleri ile parçacık-deşik çifti oluşumuna neden olan bu modelde, bileşik öncesi bozunmadan bahsedilebilir. Bu bozunma da,

$$P_v(\varepsilon) = \sum_{\substack{n=n^0 \\ \Delta n=+2}}^n [{}_n\chi_v N_n(\varepsilon, U) / N_n(E)] g d\varepsilon \{ \lambda_c(\varepsilon) / \lambda_c(\varepsilon) + \lambda_+(\varepsilon) \} D_n \quad (3.4)$$

$$d\sigma(\varepsilon)/d\varepsilon = \sigma_R P_v(\varepsilon) \quad (3.5)$$

şeklinde gösterilir. $P_v(\varepsilon)d\varepsilon$; enerjisi ε ile $\varepsilon+d\varepsilon$ arasında olan ve sürekli bölgeye yayınlanan v tipi parçacıkların (nötron ve proton) sayısı, n ; denge konumundaki en muhtemel exciton sayısı, ${}_n\lambda_v$; bir n exciton durumundaki v türündeki parçacıkların sayısı, E ; bileşik sisteminin exciton enerjisi, $N(\varepsilon, U)$; bir exciton ε kanal enerjisiyle yayınlandığında kalan çekirdeğin $U=E-Bv-\varepsilon$ exciton enerjisinin diğer $n-1$ excitonları arasında paylaşılacak şekilde n excitonun uygun bir biçimde düzenlenme sayısı, $N_n(E)$; exciton enerjisinde n parçacık artı deşik ($n = p+h$) toplam birlesen sayısı, $\lambda_c(\varepsilon)$; bir parçacığın (ε) kanal enerjisiyle sürekli bölgeye yayınlanma hızı, $\lambda_+(\varepsilon)\varepsilon$; enerjili bir parçacığın sürekli bölgeye yayınlanmış olduğu zamanki çekirdek içi geçiş hızı, D_n ; bir n -exciton zincirinde başlangıç popülasyon kesiti, σ_R ; reaksiyon tesir kesiti, g ; tek-parçacık düzey yoğunluğunu ifade eder. Yukarıda 3.4 denklemindeki köşeli parantez içindeki nicelik, sürekli bölge enerjisi ε ile $\varepsilon+d\varepsilon$ arasında olan parçacık sayısını verir. İkinci parantez içindeki ifade ise, sürekli bölgeye geçiş hızınının toplam geçiş hızına oranı verir (Aydın vd 2008).

3.5.5. Geometri Bağımlı Hibrid Model

Denge-öncesi modellerden olan Geometri Bağımlı Hibrid Model, nükleer oluşumun içerisinde çekirdek-çekirdek saçılımının tanımı ile çalışan exciton denkleminin bir versiyonudur. Bu modelin matematiksel hesaplamaları Blann ve Vonach (1983) tarafından,

$$\frac{d\sigma_v(\varepsilon)}{d\varepsilon} = \sigma_R P_v(\varepsilon) \quad (3.6)$$

ve

$$P_v(\varepsilon)d\varepsilon = \sum_{\substack{n=n^0 \\ \Delta n=+2}}^n [\chi_v N_n(\varepsilon, U)/N_n(E)] g d\varepsilon [\lambda_c(\varepsilon)/\lambda_c(\varepsilon)+\lambda_+(\varepsilon)] D_n \quad (3.7)$$

olarak verilmiştir. Denklem 3.6 ve 3.7’de kullanılan, σ_R ; reaksiyon tesir kesiti, χ_v ; n exciton durumundaki v tipli parçacıkların (proton veya nötron) sayısı, $P_v(\varepsilon)d\varepsilon$; enerjisi ε ile $\varepsilon + d\varepsilon$ arasında sürekli bölgeye yayınlanan v tipli parçacıkların (proton veya nötron) sayısını gösterir. Ayrıca; $\lambda_+(\varepsilon)$ bir parçacığın (ε) kanal enerjisiyle sürekli bölgeye yayınlanma hızını gösterirken, $\lambda_c(\varepsilon)$ ise; ε enerjili bir parçacığın çekirdek içi geçiş hızı, D_n ; bir n-exciton zincirinde başlangıç popülasyon kesiti, σ_R ; reaksiyon tesir kesiti, g; tek-parçacık düzey yoğunluğunu göstermektedir. Böylece, Denklem 3.7’deki köşeli parantezdeki nicelik, enerjisi ε ile $\varepsilon + d\varepsilon$ arasında olan parçacık sayısını verirken; ikinci parantezdeki ifade ise, reaksiyon bölgesine parçacıkların geçiş hızının, toplam parçacık geçiş hızına oranıdır (Kaplan vd 2009). Ayrıca bu modelde, tesir kesitinden ziyade parçacık-deşik durum yoğunluğu önemlidir ve parçacık-çekirdek oluşumunun nükleer yüzeye bağımlılığı vardır. Bu yüzden, sürekli bölgedeki enerjilerde küçük de olsa bir farklılık oluşur. Buna ek olarak, soğrulan parçacığın açısız katkısı ve dışarı salınacak olan parçacığın az da olsa açısız değişimi yüzünden Hibrid Model’inden ayrıldığı gözlenmektedir.

3.5.6. Cascade Exciton Model

Çok yüksek enerjiye sahip olmayan parçacık ile hedef çekirdek arasında gerçekleşen reaksiyonların, denge-öncesi hesaplarını yapmak için kullanılan diğer bir hesaplama yöntemi de Cascade Exciton Modeli (CEM) dir. Hedefe gönderilen parçacık hedef çekirdeğin exciton işlemini gerçekleştirir. Daha sonra, oluşan bu nükleer sistem istatistiksel dengeye ulaşana kadar parçacık yayınlamaya başlar. Bu yayınlanma mekanizması; oluşmuş bileşik çekirdeğin bozunumlarına ve direkt etkileşmelere göre incelenir.

Denge ve denge-öncesi modellerin kullanılması; nükleer yapının anlaşılmasına ve parçacık yayınlanma mekanizmasının açıklanmasına olanak verir. Yüksek enerjilerde nükleer reaksiyonların birçok özellikleri, nükleer seviyelerde ardı ardına geçiş işlemi (Cascade) dikkate alınarak gayet iyi bir şekilde incelenebilir. Cascade Model, reaksiyonların üç aşamada meydana geldiğini kabul eder. İlk aşama, nükleer

seviyelerdeki geçiştir. İkinci aşama denge-öncesine, üçüncü aşama ise, denge (veya bileşik çekirdek) durumuna karşılık gelir. Genel olarak bu üç aşama deneysel olarak ölçülen değerlere katkıda bulunur. Buna göre parçacık spektrumu için;

$$\sigma(p)dp = \sigma_{in} \{N_{cas}(p) + N_{prq}(p) + N_{eq}(p)\} dp \quad (3.8)$$

yazılır. Bu denklemdeki inelastik saçılma tesir kesiti, ardı ardına geçiş model içinde hesaplanır. Fakat, optiksel model hesaplamalarından bağımsızdır; bu yüzden bu model hesaplamalarında bir normalize kat sayısına ve ek veriye gerek kalmaz.

Cascade Modeli, hızlı parçacıkların kinematik karakteristikleri hakkında bütün bilgileri içinde bulunduran reaksiyon geometrisini hesaba katar. Fakat, bu parçacıklar arasındaki etkileşimleri ihmal eder. Diğer taraftan; Exciton Modeli uyarılmış bir çekirdeği; hh, ph ve pp (yani “parçacık-deşik” serbestlik derecesi dahil edilmiştir) etkileşimleri hesaba katan yarı-parçacık gazı gibi düşünür. Cascade modeli aşamaları, gelen parçacığın kinetik enerjisi nükleonun bağlanma enerjisini aştığı durumda gerçekleşir. Geniş bir enerji bölgesinde yayılan parçacıkların nükleer reaksiyon özelliklerinin tanımını geliştirmek için bu iki modeli birleştirmek önemlidir. Ayrıca, Cascade Exciton Modeli için; hızlandırılan parçacıklar ve çekirdek iki farklı tür olarak düşünülür ve bu parçacıklar arasında da çarpışmalar ihmal edildiği için, hesaplamalarda verilen enerjiler arasında dalgalanma gözükür (Sarier vd 2009).

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Hesaplama Yöntemi

Bu çalışmada, ağır elementlere ait reaksiyon tesir kesiti ve yayınlanma spektrumu, denge ve denge öncesi nükleer reaksiyon modelleri kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda; denge öncesi etkileri incelemek için ise; Cascade Exciton, Hibrid ve Geometri Bağımlı Hibrid Model kullanılmıştır. Cascade Exciton Model için, CEM03 (Mashnik 1980) ve Hibrid ve Geometri Bağımlı Hibrid hesaplamaları için ise, ALICE/ASH bilgisayar program kodları kullanılmıştır.

${}_{66}\text{Dy}^{163}$, ${}_{72}\text{Hf}^{177}$, ${}_{73}\text{Ta}^{181}$, ${}_{74}\text{W}^{183}$, ${}_{82}\text{Pb}^{207}$, ${}_{82}\text{Pb}^{208}$ ve ${}_{90}\text{Th}^{232}$ Elementlerinin üzerine farklı enerjilere sahip hızlandırılmış protonlarla bombardıman edilmesi ile; CEM03 ile yapılan hesaplamada oluşacak nötronların ve protonların toplam reaksiyon tesir kesitleri, fisyon tesir kesitleri, eksiton fonksiyonları, oluşan ürün çekirdeklerin dağılımları, enerji ve açılal spektraları, çift diferansiyel tesir kesitleri, ortalama çoğalmaları ve ortalama enerjileri hesaplanmıştır. ALICE/ASH ile yapılan hesaplamada ise oluşacak nötronların ve protonların enerji spektraları hesaplanmıştır.

4.2. CEM03 Bilgisayar Programı

Kaskat Eksiton Model hesaplamaları CEM03 (Mashnik 1980) bilgisayar programı ile yapılır. Orta enerji bölgesindeki nükleon-çekirdek reaksiyonları, denge öncesi parçacık yayımlanmasının incelenmesi için uygundur. Bu programda Z atom numarası, N nötron sayısı, E parçacıkların toplam enerjisidir.

CEM03 programı, Kaskat-Eksiton Modeli çerçevesinde nükleer reaksiyonların Monte Carlo hesaplamaları için tasarlanmıştır. CEM03 programı, reaksiyon, esnek, fisyon ve toplam tesir kesitlerini, uyarılma fonksiyonlarını, çekirdek dağılımını, enerji ve açılal

spektrumunu, çift diferansiyel tesir kesitini, ortalama çoğalmalarını, ortalama enerji ve çıkan ürünler için üretim tesir kesitlerini hesaplamayı mümkün kılar. CEM03'e düzey yoğunluk parametresini hesaplamak için farklı modeller dahil edilmiştir. Bu program hesaplamalarda kaskad eksiton modelini kullanmaktadır. Kaskat-Eksiton Modeli (CEM) reaksiyonun üç safhada olduğunu düşünür (Demirkol 2003). Birinci aşama intranükleer kaskaddır. Bu safhada birincil parçacıklar soğurma öncesi birkaç kez saçılabilir veya çekirdekten kaçabilir. İkinci safha olan denge öncesinin başlangıç noktası, kaskad parçacıkların yayımlanması sonrasında geri kalan uyarılmış atık çekirdek reaksiyonlarının gerçekleştiği parçacık. Üçüncü safha ise denge (buharlaştırma) safhasıdır. Nükleer uyarmanın durulması denge öncesi bozunmanın eksiton modeline göre ele alınmaktadır (Demirkol 2003).

4.3. ALICE/ASH Bilgisayar Programı

ALICE/ASH (Broeders vd 2006) programı ALICE91 (Blann 1991) programının biraz değiştirilmiş ve geliştirilmiş bir sürümüdür. ALICE/ASH programı maksimum 300 MeV'lik gelme enerjisine kadar; exciton fonksiyonu, oluşan ürünlerin enerji spektrumlarını, ikincil parçacıkların açısal dağılımı, tesir kesiti hesapları ve yayınlanma spektrumu için uygulanabilir. Başlangıç her bir çekirdekten yayınlanan parçacıkların tipi proton ve nötron için $M3=2$ olarak alınır. Proton girişli reaksiyonlar için hesaplamalardaki exciton sayısı denklem 4.1'deki gibi olur (Demirkol 2003).

$${}_3X_p = 2 \frac{\left(\frac{\sigma_{pn}}{\sigma_{pp}}\right)^{N+2Z}}{2 \left(\frac{\sigma_{pn}}{\sigma_{pp}}\right)^{N+2Z}} \quad \text{ve} \quad {}_3X_n = 2 \cdot {}_3X_p \quad (4.1)$$

4.4. Reaksiyonlar

4.4.1. $p+_{66}\text{Dy}^{163}$ Reaksiyonu

Disprosiyum-nikel karışımı dolgu, nükleer santrallerde soğutucu çubuk olarak kullanılır. Bu dolgu maddesi, uzun süreli nötron bombardımanında bile boyutlarında bir değişiklik olmaksızın nötronları soğurabilme özelliğine sahiptir. Vanadyum ve diğer nadir toprak elementleriyle birlikte, lazer yapımında kullanılır. Disprosiyum-kadmiyum alaşımları, kızılötesi ışık kaynağı olarak, kimyasal tepkimeler üzerindeki çalışmalarda kullanılır. Deforma çekirdek olan Disprosiyum elementinin Dy^{163} izotopunun bolluk oranı %24,9 dur.

CEM03 Programında farklı enerjilerde $p+_{66}\text{Dy}^{163}$ reaksiyonu sonucunda oluşan; elastik, inelastik ve fisyon tesir kesiti, (A) kütleyle bağlı izotop üretimi, (Z) yüke bağlı izotop üretimi, bombardıman sonucunda oluşan (T: Tüm üretim mekanizması, C: Kaskad, P: Denge öncesi, Sp: Spallation atık sonrası, E:Toplam buharlaşma) nötron ve protonların sayıları, oluşan nötron ve protonların verimi (mb), ortalama kinetik enerjisi <TKE> (MeV), çift diferansiyel tesir kesitleri (mb/MeV/sr), reaksiyon sonucunda enerjiye bağlı oluşan nötronların ve protonların enerji spektrumu (mb/MeV), oluşan ikincil reaksiyon nötron verimi tesir kesiti (mb) ve oluşan nötronların açısal dağılım tesir kesiti (mb/sr) hesaplamaları yapılmıştır. ALICE/ASH programı ile de reaksiyon sonucunda enerjiye bağlı oluşan nötronların ve protonların enerji spektrumu (mb/MeV) hesaplamaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablol 4.1-11'de verilmiştir. $p+_{66}\text{Dy}^{163}$ reaksiyonu ile ilgili deneysel data olmadığı için teorik-deneysel data karşılaştırması yapılamamıştır.

Tablo 4.1. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{66}\text{Dy}^{163}$ bombardımanındaki elastik ve inelastik tesir kesiti (mb)

Enerji (MeV)	100 MeV	200 MeV	300 MeV	400 MeV	500 MeV
İnelastik tesir kesiti (mb)	1607,64	1413,54	1363,21	1367,56	1388,26
Monte carlotesir inelastik kesiti (mb)	1359,45	1300,36	1293,4	1326,57	1355,75
Elastik tesir kesiti (mb)	982,2	967,09	945,02	890,13	854,28
Fisyon tesir kesiti (mb)	0,00406926	0,948025	4,68117	6,71698	8,24628

Tablo 4.2. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+{}_{66}\text{Dy}^{163}$ bombardıman sonucunda (A) kütleyle bağlı izotop üretimi

p = 100MeV			p = 200MeV			p = 300MeV			p = 500MeV		
A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)
163	52,04	0,11	163	26,36	0,12	163	19,21	0,13	163	12,42	0,13
162	151,10	0,12	162	99,67	0,10	162	86,05	0,09	162	71,09	0,08
161	151,30	0,20	161	83,07	0,17	161	68,51	0,15	161	53,30	0,13
160	191,40	0,28	160	95,13	0,23	160	78,04	0,20	160	57,46	0,18
159	210,70	0,37	159	92,59	0,31	159	70,42	0,31	159	51,62	0,27
158	243,10	0,44	158	97,59	0,40	158	74,27	0,40	158	52,28	0,36
157	213,00	0,51	157	94,98	0,49	157	70,42	0,48	157	50,35	0,45
156	197,10	0,59	156	107,00	0,57	156	78,43	0,58	156	53,43	0,55
155	133,90	0,69	155	99,54	0,65	155	74,72	0,69	155	52,60	0,66
154	44,11	0,76	154	104,40	0,72	154	79,15	0,78	154	54,21	0,75
153	10,72	1,01	153	97,73	0,81	153	71,13	0,88	153	51,35	0,84
152	7652	1169	152	101,20	0,89	152	75,62	0,97	152	54,95	0,95
151	1141	1155	151	85,66	0,96	151	66,39	1082	151	51,64	1074
150	0,21	1615	150	80,47	1064	150	71,05	1223	150	55,20	1218
149	0,10	1129	149	57,36	1165	149	62,05	1341	149	52,02	1333
			148	39,32	1295	148	59,41	1402	148	54,07	1513
			147	22,18	1421	147	49,88	1,55	147	48,09	1622
			146	15,59	1588	146	52,77	1686	146	56,28	1,79
			145	7464	1695	145	41,20	1864	145	50,63	1923
			144	3067	1772	144	34,91	1966	144	50,39	2055
			143	1286	1766	143	23,94	2086	143	42,86	2189
			142	0,74	2696	142	19,07	2323	142	44,72	2363
			141	0,17	2,44	141	11,79	2479	141	34,55	2517
			140	0,13	2667	140	8438	2571	140	33,25	2662
			139	0,01	0,93	139	5058	2739	139	30,83	2,90
			113	0,01	29,86	138	3517	2797	138	29,15	2926
			110	0,01	21,11	137	1,54	3019	137	22,59	3078
			109	0,01	40,25	136	1,20	3138	136	24,20	3269
			108	0,01	32,44	135	0,49	3352	135	17,17	3478
			106	0,01	23,83	134	0,19	3541	134	16,92	3517
			105	0,03	39,30	133	0,08	2277	133	10,93	3567
			102	0,01	36,14	132	0,05	3526	132	11,34	3809
			101	0,01	29,84	129	0,01	0,75	131	7635	3795
			98	0,01	24,38	123	0,01	19,57	130	6122	3829
			97	0,01	43,73	121	0,01	29,97	129	4317	4054
			95	0,01	31,57	120	0,01	26,35	128	3304	4487
			94	0,01	29,09	118	0,03	23,81	127	2152	4029
			93	0,08	43,33	117	0,01	27,65	126	1735	4861
			92	0,04	39,10	116	0,03	22,27	125	1083	4252
			91	0,03	36,80	110	0,01	22,51	124	0,86	3481
			90	0,01	47,75	109	0,04	29,09	123	0,24	5,51
			89	0,03	40,39	108	0,03	23,15	122	0,24	4794
			88	0,01	39,14	107	0,03	29,08	121	0,14	3986
			87	0,01	43,22	106	0,01	19,27	120	0,14	6294
			86	0,06	52,94	105	0,03	31,32	119	0,10	4652
			85	0,06	51,32	104	0,05	29,24	118	0,04	4656
			84	0,04	40,07	103	0,04	31,30	117	0,04	10,04
			82	0,03	40,27	102	0,04	31,68	116	0,03	8,53
			81	0,03	40,98	101	0,05	30,27	115	0,01	24,99
			80	0,06	43,80	100	0,07	28,88	114	0,03	31,85

Tablo 4.2. (Devam): CEM03 programında farklı enerjilerde $p+{}_{66}\text{Dy}^{163}$ bombardıman sonucunda (A) kütleyle bağlı izotop üretimi

p = 200MeV			p = 300MeV			p = 500MeV		
A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)
79	0,04	46,00	99	0,03	36,23	113	0,03	22,72
78	0,03	61,12	98	0,10	35,09	112	0,04	17,46
77	0,06	48,89	97	0,03	34,93	111	0,06	29,80
76	0,03	49,44	96	0,04	35,37	110	0,03	29,39
75	0,03	57,76	95	0,08	42,00	109	0,01	39,61
74	0,06	50,90	94	0,10	36,59	108	0,03	20,03
73	0,04	53,29	93	0,12	34,10	107	0,03	37,36
72	0,07	58,73	92	0,10	41,43	106	0,10	22,19
71	0,01	49,97	91	0,11	38,02	105	0,06	33,73
70	0,01	59,12	90	0,14	35,92	104	0,11	33,79
69	0,06	48,64	89	0,19	39,56	103	0,06	32,83
68	0,04	51,63	88	0,19	40,67	102	0,07	23,52
67	0,01	50,94	87	0,20	40,13	101	0,04	29,82
66	0,06	55,97	86	0,14	41,05	100	0,06	37,52
65	0,01	51,49	85	0,16	40,94	99	0,10	29,53
64	0,07	54,61	84	0,14	41,14	98	0,12	33,31
63	0,03	57,68	83	0,05	43,23	97	0,14	29,34
62	0,01	41,50	82	0,14	45,99	96	0,08	33,88
61	0,04	60,36	81	0,19	44,27	95	0,14	36,11
59	0,04	66,87	80	0,19	46,74	94	0,19	34,94
58	0,04	63,64	79	0,20	47,71	93	0,07	32,88
57	0,06	58,11	78	0,12	44,26	92	0,18	33,09
54	0,03	59,55	77	0,14	44,58	91	0,17	36,18
53	0,01	74,49	76	0,23	49,58	90	0,31	37,37
52	0,01	42,74	75	0,15	44,31	89	0,22	35,68
49	0,03	57,78	74	0,29	53,58	88	0,17	34,71
47	0,01	65,57	73	0,20	48,54	87	0,25	39,93
45	0,03	71,40	72	0,19	45,62	86	0,25	36,78
44	0,01	71,86	71	0,14	50,62	85	0,25	40,08
43	0,01	75,63	70	0,25	55,80	84	0,32	42,21
42	0,01	84,39	69	0,11	52,84	83	0,31	40,11
40	0,01	68,66	68	0,12	48,92	82	0,28	43,24
			67	0,19	46,96	81	0,31	43,23
			66	0,23	54,58	80	0,36	45,77
			65	0,15	51,56	79	0,31	46,05
			64	0,11	47,21	78	0,51	42,79
			63	0,22	58,11	77	0,31	44,98
			62	0,20	56,24	76	0,28	50,23
			61	0,11	51,24	75	0,35	46,02
			60	0,15	65,82	74	0,42	45,03
			59	0,18	61,56	73	0,35	47,47
			58	0,14	57,00	72	0,33	52,02
			57	0,19	62,91	71	0,25	46,73
			56	0,11	62,77	70	0,43	46,68
			55	0,16	61,62	69	0,22	49,00
			54	0,10	58,34	68	0,42	51,18
			53	0,14	62,92	67	0,22	50,17
			52	0,11	63,43	66	0,44	50,02
			51	0,10	66,12	65	0,35	56,67
			50	0,08	62,98	64	0,33	49,85
			49	0,04	67,48	63	0,29	54,84
			48	0,05	55,83	62	0,43	58,75
			47	0,03	70,72	61	0,25	51,11
			46	0,08	63,98	60	0,32	56,60
			45	0,05	71,81	59	0,31	56,67

Tablo 4.2. (Devam): CEM03 programında farklı enerjilerde $p+{}_{66}\text{Dy}^{163}$ bombardıman sonucunda (A) kütleyle bağlı izotop üretimi

p = 300MeV			p = 500MeV		
A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)
44	0,05	64,26	58	0,36	57,51
43	0,05	74,08	57	0,43	52,12
42	0,01	53,17	56	0,32	56,32
41	0,05	70,90	55	0,31	59,07
40	0,03	68,28	54	0,18	60,99
39	0,04	68,99	53	0,24	61,19
38	0,01	60,80	52	0,15	55,86
37	0,01	109,00	51	0,18	62,23
34	0,03	74,39	50	0,21	58,40
32	0,04	83,63	49	0,28	60,63
29	0,01	67,55	48	0,21	63,29
28	0,03	77,40	47	0,19	61,32
25	0,01	94,09	46	0,22	62,38

Tablo 4.3. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+{}_{66}\text{Dy}^{163}$ bombardıman sonucunda (Z) yüke bağlı izotop üretimi

p = 100MeV			p = 200MeV			p = 300MeV			p = 500MeV		
Z Yük	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	Z Yük	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	Z Yük	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	Z Yük	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)
67	6,672	0,08	67	208	0,52	67	147,6	0,55	67	95,44	0,55
66	59,66	0,11	66	635	0,51	66	496,4	0,56	66	346,7	0,55
65	30,14	0,22	65	357	0,67	65	322,7	0,75	65	257,9	0,74
64	5,016	0,40	64	161	1005	64	216,6	1336	64	211,2	1428
63	0,4	0,70	63	40	1221	63	93,65	1692	63	127,1	1,85
62	0,07	1,03	62	9414	1452	62	49,59	2102	62	109	2318
			61	1951	2111	61	23,34	2,42	61	94,25	2692
			60	0,13	1637	60	7,116	2844	60	97,5	3247
			48	0,03	26,77	59		3,14	59	11,29	3549
			47	0,03	26,85	58		3627	58	15,53	3814
			46	0,01	33,44	57	0,07	1847	57	6,761	4142
			45	0,01	40,25	54	0,01	29,97	56	4,234	4197
			44	0,04	37,04	52	0,05	23,38	55	0,81	4353
			42	0,06	36,19	51	0,03	21,74	54	0,31	4789
			41	0,08	38,87	50	0,01	28,70	53	0,22	6009
			40	0,04	42,91	48	0,05	23,47	52	0,04	6029
			39	0,08	41,32	47	0,05	30,09	51	0,08	19,58
			38	0,08	43,34	46	0,12	28,73	50	0,06	23,12
			37	0,07	47,72	45	0,16	31,10	49	0,04	27,29
			36	0,08	46,71	44	0,07	30,98	48	0,15	26,62
			35	0,10	48,02	43	0,15	36,69	47	0,06	29,61
			34	0,07	55,49	42	0,16	39,65	46	0,28	28,49
			33	0,06	44,87	41	0,14	37,28	45	0,18	34,19
			32	0,14	54,27	40	0,53	37,89	44	0,26	33,23
			31	0,07	54,95	39	0,30	40,97	43	0,18	28,86
			30	0,10	51,18	38	0,37	41,56	42	0,42	34,14
			29	0,06	57,89	37	0,29	42,33	41	0,21	34,95
			28	0,10	52,72	36	0,30	44,62	40	0,68	36,27

Tablo 4.3. (Devam): CEM03 programında farklı enerjilerde $p+{}_{66}\text{Dy}^{163}$ bombardıman sonucunda (Z) yükü bağlı izotop üretimi

p = 200MeV			p = 300MeV			p = 500MeV		
Z Yük	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	Z Yük	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	Z Yük	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)
27	0,08	57,96	35	0,55	47,11	39	0,49	38,34
26	0,08	62,92	34	0,48	47,07	38	0,71	40,59
25	0,03	65,65	33	0,34	50,34	37	0,58	40,99
24	0,06	57,32	32	0,60	50,58	36	0,93	44,73
23	0,01	60,14	31	0,19	52,59	35	0,82	45,89
21	0,04	66,02	30	0,57	50,47	34	0,60	46,25
20	0,04	67,16	29	0,26	52,32	33	0,82	47,15
19	0,01	71,86	28	0,37	55,83	32	0,86	47,45
18	0,01	84,39	27	0,37	58,65	31	0,61	50,41
17	0,01	68,66	26	0,37	61,98	30	0,97	51,56
			25	0,34	61,09	29	0,65	53,72
			24	0,26	64,22	28	0,89	54,72
			23	0,18	63,38	27	0,71	54,93
			22	0,11	59,26	26	0,72	57,59
			21	0,14	66,31	25	0,71	57,59
			20	0,14	64,62	24	0,43	60,20
			19	0,12	73,91	23	0,37	60,70
			18	0,08	67,30	22	0,51	58,70
			17	0,01	109	21	0,40	64,79
			16	0,01	64,44	20	0,31	67,22
			15	0,04	85,20	19	0,18	72,28
			14	0,01	79,61	18	0,14	71,03
			13	0,03	70,03	17	0,14	60,94
			12	0,03	88,19	16	0,12	69,53

Tablo 4.4. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+{}_{66}\text{Dy}^{163}$ bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötron ve protonların sayıları

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	T		C		P		Sp		Pf		F		E	
	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p
100	4,524	0,64	0,50	0,41	0,30	0,20	3,71	0,02					3,71	0,02
125	51,43	0,74	0,67	0,51	0,32	0,20	4,14	0,03					4,14	0,03
150	5,71	0,82	0,88	0,59	0,31	0,18	4,51	0,05	0,00	0	0,00	0	4,51	0,05
175	6,25	0,89	1,13	0,66	0,29	0,15	4,82	0,08	0,00	0	0,00	0,00	4,82	0,08
200	6,734	0,97	1,35	0,73	0,27	0,13	5,10	0,11	0,00	0,001	0,00	0,00	5,11	0,11
250	7,4688	1,161	1,577	0,821	0,300	0,147	5,567	0,192	0,001	0,002	0,022	0,006	5,590	0,193
300	8,1711	1,356	1,750	0,89	0,352	0,175	6,027	0,288	0,002	0,002	0,038	0,002	6,068	0,290
350	8,5171	1,330	1,720	0,772	0,379	0,194	6,362	0,360	0,003	0,003	0,052	0,003	6,417	0,363
400	9,0266	1,454	1,861	0,806	0,401	0,207	6,692	0,436	0,004	0,003	0,067	0,005	6,763	0,44
500	10,066	1,687	2,161	0,842	0,435	0,236	7,388	0,601	0,006	0,004	0,076	0,007	7,470	0,608

(T: Tüm üretim mekanizması, C: Kaskad, P: Denge öncesi, Sp: Spallation atık sonrası, F: Fiyon, E: Toplam buharlaşma)

Tablo 4.5. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+{}_{66}\text{Dy}^{163}$ bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötron ve protonların verimi (mb)

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	T		C		P		Sp		Pf		F		E	
	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p
100	7272 958	1038, 42	8067 27	6732 13	4969 36	3299 03	5969 294	3530 4					5969 294	3530 4
125	7918 709	1149 807	1038 003	7863 11	4969 78	309	6383 729	5448 6					6383 729	5448 6
150	8493 996	1225 022	1321 003	8781 58	4683 47	2674 59	6702 865	79,36	0,10	0,02	1678	0,03	6704 647	7940 5
175	9034 918	1296 423	1640 838	9614 95	4246 42	2190 64	6963 908	1156 76	0,12	0,06	5415	0,13	6969 438	1158 64
200	9515 146	1377 428	1909 882	1033 668	3816 85	1880 16	7213 868	1555 04	0,47	0,09	9245	0,16	7223 579	1557 44
250	1028 7254	1600, 07	2173 177	1131, 78	4142 83	2024 86	7668, 83	2646 88	1639	0,23	2932 4	0,88	7699 794	2658 04
300	1113 8897	1848 649	2385 713	1213 243	4808 18	2389 84	8217, 32	3936 27	3,79	0,31	5125 7	2481	8272 367	3964 21
350	1159 8956	1811 789	2342, 76	1051, 96	5161 27	2643 62	8664 241	4908 51	4726	0,41	7110 2	4208	8740 069	4954 68
400	1234 4,45	1989 721	2545 498	1103 281	5494 45	283,2 9	9151 917	5963 94	6,25	0,38	9133 9	6373	9249 506	603,1 5
500	1397 5404	2342, 11	3000 147	1169 556	6046 86	3276 02	1025 7429	8348 73	8371	0,49	1047 72	9593	1037 0572	8449 52

(T: Tüm üretim mekanizması, C: Kaskad, P: Denge öncesi, Sp: Spallation atık sonrası, F: Fisyon, E: Toplam buharlaşma)

Tablo 4.6. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+{}_{66}\text{Dy}^{163}$ bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötron ve protonların ortalama kinetik enerjisi <TKE> (MeV)

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	T		C		P		Sp		Pf		F		E	
	E_n	E_p	E_n	E_p	E_n	E_p	E_n	E_p	E_n	E_p	E_n	E_p	E_n	E_p
100	6,37	40,84	31,63	47,52	17,84	30,52	2	9,96					2	9,96
125	7,34	46,78	34,53	56,21	17,58	29,25	2,12	9,95					2,12	9,95
150	8,26	52,57	35,85	64,14	16,8	27,2	2,23	10,01	2,81	7,9	3,95	4,88	2,23	10
175	9,13	58,12	36,45	71,46	15,2	25,03	2,33	10,04	4,08	9,31	3,71	10,33	2,33	10,04
200	9,9	63,54	37,33	78,95	13,98	23,21	2,43	9,98	4,52	15,6	3,72	7,4	2,43	9,98
250	11,65	71,02	43,11	93,91	14,21	23,05	2,62	10,12	5,25	14,73	4,12	8,28	2,63	10,12
300	13,23	75,72	48,99	107,37	14,96	23,68	2,81	10,25	5,58	11,79	4,2	8,18	2,82	10,24
350	14,73	85,39	58,43	136,06	15,51	24,3	2,95	10,41	6,44	13,7	4,37	8,49	2,97	10,4
400	16,05	88,75	63,05	147,94	16,14	24,75	3,09	10,54	6,84	14,94	4,52	8,61	3,11	10,52
500	18,36	90,12	70,4	165,57	17,12	25,49	3,36	10,77	7,28	14,49	4,64	8,96	3,37	10,75

(T: Tüm üretim mekanizması, C: Kaskad, P: Denge öncesi, Sp: Spallation atık sonrası, F: Fisyon, E: Toplam buharlaşma)

Tablo 4.7. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+{}_{66}\text{Dy}^{163}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların çift diferansiyel tesir kesitleri (mb/MeV/sr); laboratuvar açısı = 25-35°

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	Çıkan nötron ve proton enerjisi	Tesir kesiti (mb/MeV/sr)	
	$T_{n,p}$ (MeV)	n	p
100 MeV	0,0-10	55,8	0,684
	10,0-20	4,765	3,103
	20,0-30	3,517	3,473
	30,0-40	2,727	3,658
	40,0-50	2,607	4,037
	50,0-60	2,237	4,586
	60,0-70	2,369	5,135
	70,0-80	2,149	4,28
	80,0-90	1,896	2,657
200 MeV	90,0-100	1,063	0,775
	0,0-10	70,31	1,229
	10,0-20	7,61	3,165
	20,0-30	4,174	2,284
	30,0-40	2,731	1,861
	40,0-50	1,975	1,476
	50,0-60	1,484	1,285
	60,0-70	1,378	1,226
	70,0-80	1,089	1,373
	80,0-90	1,058	1,363
	90,0-100	1,071	1,696
	100,0-110	1,038	1,941
	110,0-120	1,035	2,15
	120,0-130	1,138	2,571
	130,0-140	1,1	2,793
	140,0-150	1,213	2,78
	150,0-160	1,187	2,494
160,0-170	1,094	1,864	
170,0-180	0,746	1,193	
180,0-190	0,5679	0,6479	
190,0-200	0,2943	0,1962	

Tablo 4.7. (Devam): CEM03 programında farklı enerjilerde $p+{}_{66}\text{Dy}^{163}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların çift diferansiyel tesir kesitleri (mb/MeV/sr); laboratuvar açısı = 25-35°

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	Çıkan nötron ve proton enerjisi	Tesir kesiti (mb/MeV/sr)	
	$T_{n,p}$ (MeV)	n	p
300 MeV	0,0-10	79,51	2,106
	10,0-20	8,972	3,774
	20,0-30	4,448	2,009
	30,0-40	2,621	1,476
	40,0-50	2,041	1,197
	50,0-60	1,578	1,036
	60,0-70	1,414	0,9435
	70,0-80	1,083	0,9509
	80,0-90	1,021	0,8215
	90,0-100	0,8514	0,7742
	100,0-110	0,8389	0,8414
	110,0-120	0,7393	0,8738
	120,0-130	0,712	0,9036
	130,0-140	0,7244	0,8713
	140,0-150	0,7568	0,9858
	150,0-160	0,7518	1,138
	160,0-170	0,7568	1,344
	170,0-180	0,8812	1,571
	180,0-190	0,8414	1,67
	190,0-200	0,8489	1,989
200,0-210	0,9584	2,041	
210,0-220	0,9435	2,039	
220,0-230	1,016	1,872	
230,0-250	0,809	1,606	
240,0-250	0,7593	1,207	
250,0-260	0,5925	0,8987	
260,0-270	0,458	0,5253	
270,0-280	0,2788	0,3535	
280,0-290	0,2016	0,1892	
290,0-300	0,1394	0,03236	

Tablo 4.8. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+{}_{66}\text{Dy}^{163}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların çift diferansiyel tesir kesitleri (mb/MeV/sr); laboratuvar açısı = 45-55°

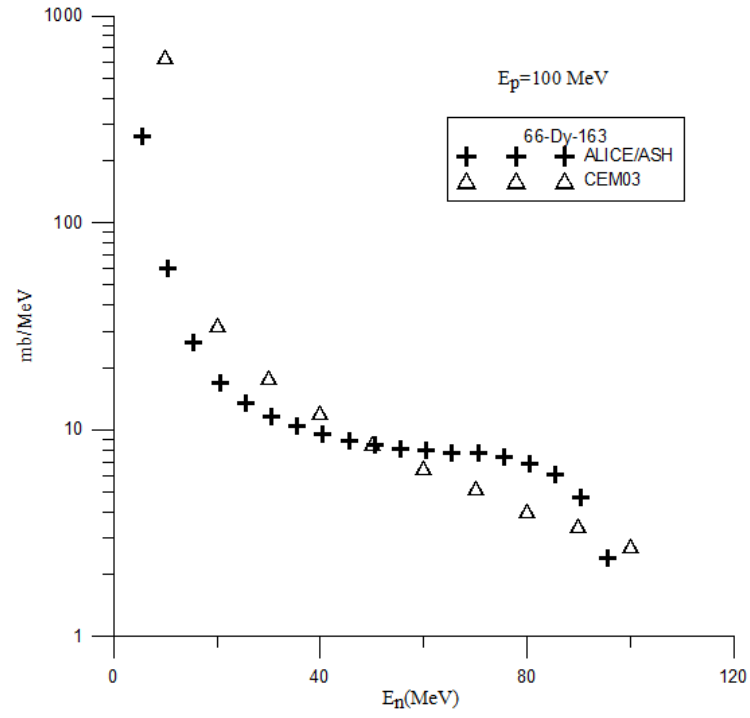
Proton (mermi) enerjisi (MeV)	Çıkan nötron ve proton enerjisi	Tesir kesiti (mb/MeV/sr)	
	$T_{n,p}$ (MeV)	n	p
100 MeV	0,0-10	54,65	0,8393
	10,0-20	4,453	3,635
	20,0-30	2,932	3,589
	30,0-40	2,267	3,05
	40,0-50	1,734	2,399
	50,0-60	1,336	1,765
	60,0-70	0,8929	1,073
	70,0-80	0,4771	0,5269
	80,0-90	0,2721	0,2625
	90,0-100	0,1245	0,05174

Tablo 4.8. (Devam): CEM03 programında farklı enerjilerde $p+{}_{66}\text{Dy}^{163}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların çift diferansiyel tesir kesitleri (mb/MeV/sr); laboratuvar açısı = 45-55°

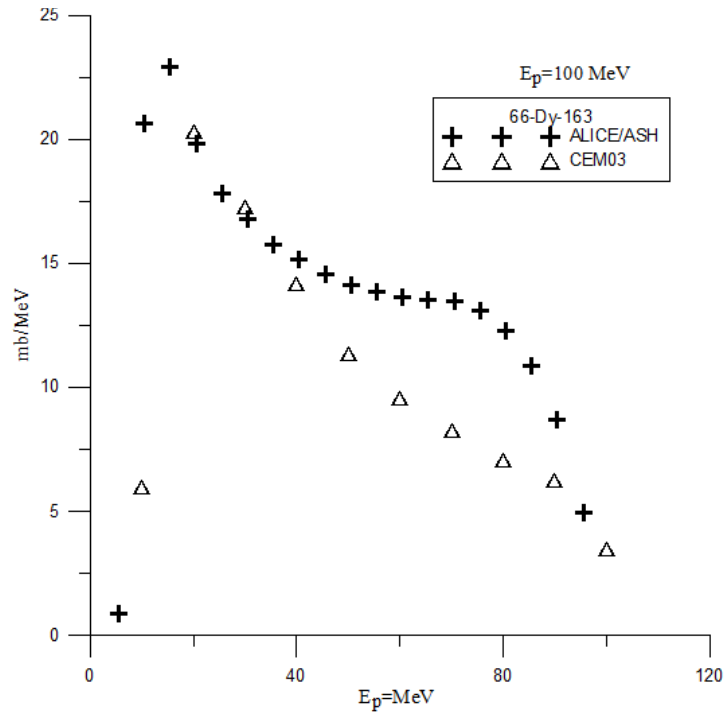
Proton (mermi) enerjisi (MeV)	Çıkan nötron ve proton enerjisi	Tesir kesiti (mb/MeV/sr)	
	$T_{n,p}$ (MeV)	n	p
200 MeV	0,0-10	69,15	1,338
	10,0-20	7,142	3,237
	20,0-30	3,907	2,414
	30,0-40	2,547	2,064
	40,0-50	1,863	1,951
	50,0-60	1,538	1,783
	60,0-70	1,228	1,724
	70,0-80	1,117	1,612
	80,0-90	0,9721	1,449
	90,0-100	0,8525	1,272
	100,0-110	0,6975	0,9418
	110,0-120	0,5543	0,7834
	120,0-130	0,4616	0,5324
	130,0-140	0,3605	0,3336
	140,0-150	0,2376	0,2359
	150,0-160	0,1314	0,1213
	160,0-170	0,07076	0,05897
	170,0-180	0,04044	0,02696
	180,0-190	0,01516	0,001685
190,0-200	0,005054	0,001685	
300 MeV	0,0-10	78,67	2,2
	10,0-20	8,35	3,729
	20,0-30	4,137	2,145
	30,0-40	2,679	1,661
	40,0-50	1,817	1,545
	50,0-60	1,586	1,386
	60,0-70	1,394	1,313
	70,0-80	1,106	1,347
	80,0-90	1,014	1,339
	90,0-100	0,9131	1,295
	100,0-110	0,9115	1,233
	110,0-120	0,7929	1,173
	120,0-130	0,7913	1,1
	130,0-140	0,6191	0,9684
	140,0-150	0,5996	0,8173
	150,0-160	0,5069	0,7133
	160,0-170	0,4501	0,5996
	170,0-180	0,3997	0,4517
	180,0-190	0,3038	0,3493
	190,0-200	0,2421	0,2551
	200,0-210	0,1982	0,1706
210,0-220	0,1332	0,1137	
220,0-230	0,08936	0,07312	
230,0-250	0,07312	0,04712	
240,0-250	0,03737	0,026	
250,0-260	0,039	0,01462	
260,0-270	0,01462	0,00325	
270,0-280	0,001625		
280,0-290	0,004874		

Tablo 4.9. ALICE/ASH ve CEM03 programları ile farklı enerjilerde $p+{}_{66}\text{Dy}^{163}$ bombardıman sonucunda enerjiye bağlı ortaya çıkan nötronların ve protonların enerji spektrumu (mb/MeV)

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	ALICE/ASH nötron ve protonların enerji spektrumu (mb/MeV)			CEM03 nötron ve protonların enerji spektrumu (mb/MeV)		
	Çıkan n ve p enerjisi (MeV)	n(mb/MeV)	p(mb/MeV)	Çıkan n ve p enerjisi (MeV)	n(mb/MeV)	p(mb/MeV)
100 MeV	5,5	260,4	0,8753	0,0-10	634,8	6
	15,5	26,3	22,94	10,0-20	31,98	20,3
	25,5	13,36	17,8	20,0-30	17,9	17,29
	35,5	10,36	15,78	30,0-40	12,06	14,17
	45,5	8899	14,58	40,0-50	8,556	11,35
	55,5	8,124	13,85	50,0-60	6,599	9,591
	65,5	7,781	13,55	60,0-70	5,21	8,292
	75,5	7,398	13,12	70,0-80	4,053	7,099
	85,5	6,046	10,89	80,0-90	3,431	6,249
95,5	2,388	4,96	90,0-100	2,743	3,501	
200 MeV	5,5	395,2	0,9558	0,0-10	794,1	14,12
	15,5	27,54	23,03	10,0-20	56,31	25,21
	25,5	7,338	10,07	20,0-30	26,69	15,13
	35,5	5,896	9,283	30,0-40	15,94	11,16
	45,5	5,402	9,111	40,0-50	10,83	8,716
	55,5	4,993	8,779	50,0-60	8,028	7,161
	65,5	4,639	8,394	60,0-70	6,181	6,085
	75,5	4,339	8,03	70,0-80	4,967	5,643
	85,5	4,089	7,705	80,0-90	4,143	5,07
	95,5	3,912	7,458	90,0-100	3,629	4,775
	105,5	3,786	7,276	100,0-110	3,011	4,333
	115,5	3,69	7,137	110,0-120	2,734	4,095
	125,5	3,622	7,04	120,0-130	2,52	3,887
	135,5	3,578	6,979	130,0-140	2,153	3,636
	145,5	3,554	6,949	140,0-150	1,954	3,624
	155,5	3,548	6,946	150,0-160	1,815	3,654
	165,5	3,555	6,963	160,0-170	1,766	3,438
175,5	3,4	6,709	170,0-180	1,62	3,339	
185,5	2,714	5,425	180,0-190	1,682	2,946	
195,5	0,9358	2,25	190,0-200	1,419	1,723	



Şekil 4.1. $^{66}\text{Dy}^{163}$ elementinin 100 MeV enerjili protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötronların enerji spektrumu (mb/MeV)



Şekil 4.2. $^{66}\text{Dy}^{163}$ Elementinin 100 MeV enerjili protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan protonların enerji spektrumu (mb/MeV)

Tablo 4.10. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+{}_{66}\text{Dy}^{163}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan ikincil reaksiyon nötron verimi tesir kesiti (mb)

Reaksiyon türü	Proton (mermi) enerjisi (MeV)					
	100 MeV	200 MeV	300 MeV	350 MeV	400 MeV	500 MeV
(n, n)	29,66	15,34	11,34	10,89	9,56	7,95
(n,2n)	30,72	16,2	12,06	10,57	9,98	8,12
(n,3n)	46,46	20,51	15,04	13,73	12,35	10,93
(n,4n)	48,66	17,36	12,21	11,1	10,27	8,48
(n,5n)	67,63	23,9	15,65	14,5	12,58	10,51
(n,6n)	59,76	18,02	13,45	11,92	10,26	8,32
(n,7n)	64,48	20,96	14,75	12,69	10,8	8,73
(n,8n)	59,76	19,78	12,54	12	9,38	7,89
(n,9n)	67,62	19,25	13,71	11,1	9,7	8,01
(n,10n)	16,11	13,2	9,95	8,39	7,25	6,14

Tablo 4.11. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+{}_{66}\text{Dy}^{163}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların açıl dağılımı (mb/sr)

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	Açı (derece) (sr)	n ve p'nun açığa bağlı tesir kesiti [mb/sr]	
		n(mb/sr)	p(mb/sr)
100 MeV	5	772,4	284,6
	15	803,7	365,3
	25	809,7	349,3
	35	765,8	283,8
	45	714,9	207,9
	55	668,3	139,7
	65	634,8	89,87
	75	591,9	56,56
	85	556,7	36,19
	95	535	26,08
	105	515,9	17,78
	115	496,8	14,92
	125	482,8	12,19
	135	473,4	9,964
	145	464,8	8,675
200 MeV	5	1022	350,5
	15	1072	409,6
	25	1044	387,8
	35	997,7	321,7
	45	951,7	250
	55	900,5	186,8
	65	846,5	132
	75	794,1	94,24
	85	743,6	66,42
	95	704,7	48,48
	105	665,9	35,82
	115	640,3	27,84
	125	616,1	24,34
	135	595,8	20,59
	145	580,8	18,18
155	573,1	17,93	
165	565,3	15,36	
175	563,2	16,88	

Tablo 4.11. (Devam): CEM03 programında farklı enerjilerde $p+{}_{66}\text{Dy}^{163}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların açısız dağılımı (mb/sr)

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	Açı (derece) (sr)	n ve p'nun açığa bağlı tesir kesiti [mb/sr]	
		n(mb/sr)	p(mb/sr)
300 MeV	5	1202	415,4
	15	1268	461,7
	25	1209	417,8
	35	1154	352,7
	45	1103	294,9
	55	1044	230,9
	65	986,5	180,6
	75	936,7	139,7
	85	882	106,5
	95	827,9	85,69
	105	790,7	72,21
	115	752,6	62,62
	125	722,6	54,21
	135	694,4	48,3
	145	682,5	46,98
400 MeV	5	1402	462
	15	1416	478,7
	25	1339	413,7
	35	1276	352,4
	45	1206	291,7
	55	1149	233,7
	65	1087	184,4
	75	1027	150,2
	85	968,2	119
	95	919,3	99,18
	105	874,3	87,62
	115	837,5	77,77
	125	806,1	71,4
	135	794	67,54
	145	767,4	66,03
500 MeV	5	1643	561,5
	15	1651	549,7
	25	1541	452,9
	35	1446	372
	45	1355	312,6
	55	1286	265,8
	65	1221	219,5
	75	1151	176,9
	85	1095	146,5
	95	1042	126,5
	105	999,4	113,5
	115	956,2	101,4
	125	916,3	96,25
	135	887,7	92,71
	145	867	88,26
155	843,7	85,93	
165	832,8	83,55	
175	819,5	84,21	

4.4.2. $p+_{72}\text{Hf}^{177}$ Reaksiyonu

Hafniyum (Hf); aşınmaya karşı olağanüstü derecede dayanıklı olan bu element, çok iyi nötron soğurabilme özelliği nedeniyle nükleer denizaltılardaki reaktör kontrol çubuklarında kullanılır. Vakum tüplerinde de gaz emici niteliğiyle bir "gaz avcısı" olarak kullanılır. Deforma çekirdek olan Hafniyum elementinin Hf^{177} izotopunun bolluk oranı %18,6 dır.

CEM03 Programında farklı enerjilerde $p+_{72}\text{Hf}^{177}$ reaksiyonu sonucunda oluşan; elastik, inelastik ve fisyon tesir kesiti, (A) kütleyle bağlı izotop üretimi, (Z) yüke bağlı izotop üretimi, bombardıman sonucunda oluşan (T: Tüm üretim mekanizması, C: Kaskad, P: Denge öncesi, Sp: Spallation atık sonrası, E: Toplam buharlaşma) nötron ve protonların sayıları, oluşan nötron ve protonların verimi (mb), ortalama kinetik enerjisi $\langle \text{TKE} \rangle$ (MeV), çift diferansiyel tesir kesitleri (mb/MeV/sr), reaksiyon sonucunda enerjiye bağlı oluşan nötronların ve protonların enerji spektrumu (mb/MeV), oluşan ikincil reaksiyon nötron verimi tesir kesiti (mb) ve oluşan nötronların açısal dağılım tesir kesiti [mb/sr] hesaplamaları yapılmıştır. ALICE/ASH programı ile de reaksiyon sonucunda enerjiye bağlı oluşan nötronların ve protonların enerji spektrumu (mb/MeV) hesaplamaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.12-22'de verilmiştir. $p+_{72}\text{Hf}^{177}$ reaksiyonu ile ilgili deneysel data olmadığı için teorik-deneysel data karşılaştırması yapılamamıştır.

Tablo 4.12. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{72}\text{Hf}^{177}$ bombardımanındaki elastik ve inelastik tesir kesiti (mb)

Enerji (MeV)	100 MeV	200 MeV	300 MeV	400 MeV	500 MeV
İnelastik tesir kesiti (mb)	1687,73	1491,62	1436,69	1438,95	1459,17
Monte carlo inelastik tesir kesiti (mb)	1424,61	1371,8	1369,79	1391,16	1424,45
Elastik tesir kesiti (mb)	1008,93	983,44	950,72	915,47	872,56
Fisyon tesir kesiti (mb)	0,219447	2,1671	1,40508	1,3716	1,4154

Tablo 4.13. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+{}_{72}\text{Hf}^{177}$ bombardıman sonucunda (A) kütleyle bağlı izotop üretimi

p = 100 MeV			p = 200 MeV			p = 300 MeV			p = 500 MeV		
A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)
176	151,9	0,1123	176	99,66	0,09289	176	88,2	0,08578	176	71,83	0,0754
175	154,7	0,1951	175	84,41	0,1654	175	67,78	0,1504	175	49,76	0,1375
174	189,9	0,2581	174	96,1	0,2091	174	79,64	0,1841	174	58,25	0,1612
173	237	0,349	173	99,15	0,2993	173	77,08	0,2926	173	55,94	0,2548
172	245,6	0,4067	172	95,81	0,3706	172	70,41	0,3661	172	50,21	0,3329
171	239,4	0,4772	171	101,5	0,4499	171	76,83	0,4601	171	52,33	0,4121
170	208	0,5505	170	112,6	0,5327	170	82,22	0,5552	170	56,16	0,5093
169	139,7	0,6478	169	106,7	0,6137	169	78,16	0,6415	169	52,92	0,5782
168	39,64	0,7498	168	116	0,6906	168	84,92	0,7419	168	57,36	0,7018
167	16,84	1,033	167	111,4	0,7688	167	78,89	0,8136	167	56,03	0,803
166	11,66	1,124	166	110,3	0,8354	166	82,14	0,9171	166	59,24	0,9223
165	0,8607	1,037	165	91,93	0,9398	165	73,16	1,039	165	55,65	1,024
164	0,1857	1,556	164	84,35	1,005	164	75,94	1,134	164	58,7	1,139
163	0,1013	1,419	163	59,17	1,101	163	65,21	1,271	163	54,72	1,275
105	0,01688	51,69	162	41,51	1,268	162	64,39	1,36	162	57,65	1,444
104	0,01688	49,43	161	22,88	1,391	161	55,5	1,475	161	52,25	1,512
103	0,01688	55,02	160	14,75	1,489	160	52,61	1,596	160	56,95	1,687
99	0,05063	52,75	159	6,861	1,748	159	39,61	1,722	159	46,36	1,745
98	0,01688	46,23	158	3,446	1,928	158	37,28	1,857	158	53,89	1,929
96	0,01688	45,75	157	1,387	1,967	157	24,81	1,97	157	41,79	2,066
95	0,06751	50,13	156	0,8502	2,039	156	23,17	2,081	156	47,35	2,171
94	0,01688	64,25	155	0,179	2,541	155	13,05	2,231	155	36,04	2,263
91	0,03375	56,25	154	0,0447	1,373	154	10,8	2,392	154	39,57	2,463
89	0,01688	45,39	153	0,0298	4,042	153	6,192	2,588	153	31,5	2,585
88	0,01688	62,63	115	0,0149	51,6	152	3,908	2,612	152	32,17	2,718
87	0,01688	64,99	113	0,0149	37,01	151	2,026	2,547	151	25,08	2,747
84	0,03375	60,33	111	0,0149	40,28	150	1,365	2,936	150	25,2	3,002
82	0,01688	58,88	110	0,0447	28,96	149	0,6465	3,086	149	19,44	3,202
79	0,03375	61,26	109	0,0149	42,71	148	0,3161	2,534	148	20,49	3,199
77	0,01688	67,29	108	0,0149	49,56	147	0,1868	2,843	147	14,58	3,234
75	0,03375	71,25	106	0,0298	39,65	146	0,0574	2,826	146	14,64	3,506
74	0,03375	57,55	105	0,0149	39,41	145	0,0574	4,855	145	10,01	3,506
73	0,03375	67,07	104	0,0298	51,31	144	0,0143	2,125	144	8,39	3,809
72	0,01688	66,94	103	0,0149	44,21	142	0,0143	4,394	143	6,45	3,752
70	0,03375	57,77	102	0,0298	48,39	118	0,0143	48,46	142	4,859	4,141
69	0,01688	69,48	101	0,0298	51,07	114	0,0143	35,42	141	3,093	4,167
66	0,03375	70,67	100	0,0596	48,39	112	0,0143	36,54	140	2,612	4,178
			99	0,0745	48,38	108	0,0143	46,05	139	1,839	4,596
			98	0,0149	44,75	107	0,0143	20,68	138	1,532	4,43
			97	0,0745	49,37	105	0,0574	44,06	137	0,9776	4,173
			96	0,0596	48,14	104	0,0287	36,78	136	0,8755	5,203
			95	0,0596	44,24	103	0,0143	50,23	135	0,4378	4,56
			94	0,0745	47,35	102	0,0431	41,06	134	0,3064	4,859
			93	0,0596	54,08	100	0,0431	34,7	133	0,1459	6,164
			92	0,0895	52,48	98	0,0287	34,49	132	0,1459	6,583
			91	0,0596	45,86	97	0,0431	37,47	131	0,0145	2,912
			90	0,0895	55,81	96	0,0143	44,48	130	0,0437	3,591
			89	0,1044	51,97	95	0,0574	43,29	129	0,0145	5,626
			88	0,1342	51,8	94	0,0431	41,11	117	0,0291	34,58
			87	0,1342	52,91	93	0,0718	47,24	114	0,0437	29,5

Tablo 4.13. (Devam): CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{72}\text{Hf}^{177}$ bombardıman sonucunda (A) kütleyle bağlı izotop üretimi

p = 200 MeV			p = 300 MeV			p = 500 MeV		
A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)
85	0,0298	57,12	91	0,0431	36,69	109	0,0145	23,68
84	0,0895	54,35	90	0,0718	46,07	108	0,0437	27,52
83	0,179	62,63	89	0,0431	48,21	107	0,0145	33,57
82	0,1492	55,36	88	0,0718	54,41	106	0,0145	34,96
81	0,1492	58,55	87	0,0431	51,58	105	0,0145	42,92
80	0,0298	71,88	86	0,0718	48,86	104	0,0291	36,59
79	0,1342	57,86	85	0,0862	52,96	103	0,0291	25,02
78	0,1193	68,41	84	0,0574	54,64	102	0,0437	46,17
77	0,0895	55,26	83	0,0718	49,87	98	0,0291	47,84
76	0,0895	71,32	82	0,0287	63,58	97	0,0437	31,09
75	0,1342	67,72	81	0,1293	55,85	96	0,0291	39,65
74	0,1044	64,38	80	0,0862	60,31	93	0,0437	43,17
73	0,0745	61,03	79	0,0574	58,65	92	0,0145	46,65
72	0,1193	66,78	78	0,0862	65,79	91	0,0437	35,5
71	0,0745	68,47	77	0,0862	63,3	90	0,0437	43,31
70	0,0895	67,6	76	0,1149	59,21	89	0,0437	44,6
69	0,0895	67,61	75	0,0574	55,95	88	0,0145	33,87
68	0,0298	59,02	74	0,0287	55,65	87	0,0875	51,67
67	0,0895	71,49	73	0,0287	55,1	86	0,1021	43,26
66	0,0149	73,14	72	0,0574	62,66	85	0,0875	39,42
65	0,0149	52,58	71	0,0718	61,05	84	0,0145	30,25
64	0,0149	78,39	70	0,0574	60,39	83	0,0583	51,58
63	0,0298	69,38	69	0,0143	58,85	82	0,0437	45,33
62	0,0298	58,5	68	0,0718	65,77	81	0,1021	38,63
61	0,0596	64,19	67	0,0287	64,75	80	0,0729	44,22
60	0,0596	75,83	66	0,0431	60,56	79	0,0583	37,62
58	0,0298	67,63	65	0,0431	54,06	78	0,0291	46,19
57	0,0149	86,18	64	0,0431	79,87	77	0,0291	54,18
56	0,0298	78,47	63	0,0143	92,68	76	0,0437	55,1
55	0,0298	76,19	62	0,0718	63,58	75	0,0729	45,11
53	0,0298	78,66	61	0,0431	66,67	74	0,0729	51,62
52	0,0149	71,57	60	0,0143	73,15	73	0,0583	60,93
			59	0,0287	72,56	72	0,0729	57,52
			58	0,0431	74,91	71	0,0437	48,29
			57	0,0718	67,47	70	0,0583	64,51
			56	0,0143	87,01	69	0,0583	59,4
			55	0,0431	68,72	68	0,1313	52,77
			54	0,0143	73,84	67	0,0291	56,1
			53	0,0143	50,31	66	0,0437	69,2
			52	0,0287	88,65	65	0,0291	55,05
			48	0,0143	71,01	64	0,1459	58,92
			46	0,0143	73,39	63	0,0437	53,17

Tablo 4.14. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+{}_{72}\text{Hf}^{177}$ bombardıman sonucunda (Z) yüke bağlı izotop üretimi

p = 100 MeV			p = 200 MeV			p = 300 MeV			p = 500 MeV		
Z Yük	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	Z Yük	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	Z Yük	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	Z Yük	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)
73	492,2	0,4129	73	208	0,47	73	143,1	0,5146	73	92,79	0,5021
72	910,7	0,3485	72	633,9	0,4633	72	490,8	0,5017	72	337,8	0,4874
71	257,6	0,4785	71	415,8	0,6719	71	389,9	0,7899	71	304,4	0,8004
70	25,67	0,7709	70	176	0,9514	70	243,1	1,281	70	240,6	1,408
69	1,215	0,9381	69	42,3	1,138	69	85,47	1,564	69	115,6	1,682
68	0,05063	0,9665	68	11,74	1,507	68	59,95	1,958	68	147	2,208
45	0,01688	51,69	67	1,536	1,634	67	14,21	2,246	67	60	2,512
44	0,03375	52,22	66	0,2088	1,804	66	5,847	2,499	66	67,78	2,93
43	0,03375	48,09	65	0,04475	3,262	65	1,279	3,072	65	29,37	3,136
42	0,03375	54,14	50	0,01492	37,01	64	0,3304	2,967	64	31,75	3,409
41	0,05063	53,04	48	0,04475	41,53	63	0,05747	1,274	63	13,66	3,813
40	0,01688	45,75	47	0,02983	37,72	62	0,02873	7,242	62	8,609	4,166
39	0,06751	54,53	46	0,07458	40,26	52	0,01437	48,46	61	4,436	4,26
37	0,05063	57,67	45	0,07458	51,01	51	0,01437	35,42	60	2,422	4,96
36	0,03375	62,63	44	0,1044	47,88	48	0,0431	31,98	59	0,07296	2,969
34	0,06751	62,89	43	0,0895	44,06	47	0,02873	43,52	58	0,08755	7,265
33	0,01688	59,35	42	0,1939	48,03	46	0,07183	43,19	57	0,01459	2,912
32	0,06751	64,59	41	0,1342	45,17	45	0,02873	35,88	56	0,01459	12,43
31	0,03375	66,75	40	0,2088	51,09	44	0,1006	37,02	52	0,02918	34,58
30	0,03375	57,77	39	0,2088	57,02	43	0,01437	36,36	50	0,05837	28,05
29	0,03375	70,03	38	0,2983	53,67	42	0,158	44,21	49	0,01459	22,67
28	0,01688	70,77	37	0,2088	57,97	41	0,07183	41,02	48	0,05837	28,25
			36	0,3729	56,82	40	0,1724	46,91	47	0,02918	34,27
			35	0,2088	63,36	39	0,1006	44,63	46	0,01459	42,74
			34	0,2685	67,85	38	0,1868	53,55	45	0,07296	40,76
			33	0,2685	62,67	37	0,1293	52,52	44	0,07296	34,9
			32	0,2088	63,26	36	0,2442	58,16	43	0,01459	49,13
			31	0,1193	72,51	35	0,1149	60,33	42	0,1167	40,78
			30	0,1342	66,64	34	0,2155	61,33	41	0,01459	42,78
			29	0,1044	67,48	33	0,1149	57,14	40	0,1167	40,71
			28	0,0895	63,75	32	0,1006	60,82	39	0,05837	44,27
			27	0,0895	69,67	31	0,1149	64,7	38	0,1605	47,1
			26	0,07458	79,53	30	0,1437	60,53	37	0,1605	42,98
			25	0,04475	72,95	29	0,07183	70,71	36	0,1459	39,32
			24	0,02983	73,02	28	0,1006	71,23	35	0,1021	43,9
			23	0,02983	79,25	27	0,05747	67,16	34	0,1021	51,11
						26	0,1437	74,24	33	0,2189	55,54
						25	0,05747	61,02	32	0,08755	55,72
						24	0,02873	62,07	31	0,1605	53,55
						22	0,02873	88,65	30	0,1459	57,18
						21	0,01437	71,01	29	0,1167	57,43
						20	0,01437	73,39	28	0,2043	58,3

Tablo 4.15. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{72}\text{Hf}^{177}$ bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötron ve protonların sayıları

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	T		C		P		Sp		Pf		F		E	
	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p
100	4,534 8	0,662 6	0,482	0,407 5	0,319 3	0,221 9	3,732 2	0,033 3	0		0,001 3	0	3,733 5	0,033 3
125	5,139 6	0,766 5	0,656	0,495	0,339 3	0,221	4,138 8	0,050 5	0,000 5	0	0,005	0	4,144 3	0,050 5
150	5,696 1	0,850 3	0,880 5	0,580 3	0,328 6	0,197 5	4,473 5	0,072 2	0,001 4	0,000 1	0,012	0,000 2	4,487	0,072 4
175	6,237 6	0,920 8	1,132 8	0,652 8	0,307 7	0,170 8	4,781 1	0,096 9	0,001 5	0	0,014 5	0,000 2	4,797 1	0,097 2
200	6,721 8	0,991 8	1,357	0,714 6	0,286 7	0,152 3	5,064 2	0,124 6	0,001 4	0	0,012 6	0,000 3	5,078 1	0,125
250	7,545 3	1,160 2	1,591 1	0,807 3	0,314 3	0,166	5,627 2	0,186 4	0,001 3	0,000 1	0,011 4	0,000 4	5,639 9	0,186 9
300	8,239 7	1,346 9	1,753 2	0,884 5	0,375 3	0,201	6,099 1	0,260 8	0,001 1	0,000 1	0,011	0,000 4	6,111 2	0,261 3
350	8,647 2	1,319 2	1,73	0,766 5	0,394 4	0,215 1	6,510 1	0,336 9	0,001 2	0,000 2	0,011 5	0,000 6	6,522 9	0,337 6
400	9,228 1	1,451	1,889 7	0,793 4	0,420 5	0,230 8	6,902 3	0,425 7	0,001	0,000 3	0,014 5	0,000 7	6,917 8	0,426 8
500	10,29 55	1,731 2	2,183 2	0,831 6	0,462 6	0,266 7	7,634 1	0,631 9	0,001 5	0,000 4	0,014	0,000 7	7,649 7	0,633

(T: Tüm üretim mekanizması, C: Kaskad, P: Denge öncesi, Sp: Spallation atık sonrası, F: Fiyon, E: Toplam buharlaşma)

Tablo 4.16. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{72}\text{Hf}^{177}$ bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötron ve protonların verimi (mb)

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	T		C		P		Sp		Pf		F		E	
	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p
100	7653, 52	1118 ,36	813,5 22	687,7 3	538,9 2	374,4 41	6298, 88	56,15 1	0,068		2,127	0,03 4	6301, 07	56,18 5
125	8329, 77	1242 ,31	1063, 11	802,2 22	549,8 77	358,1 78	6707, 85	81,84 6	0,827	0,03 2	8,104	0,03 2	6716, 78	81,91 1
150	8919, 66	1331 ,51	1378, 86	908,7 37	514,5 16	309,3 33	7005, 19	113,0 44	2,255	0,07 8	18,83 8	0,31 3	7026, 28	113,4 36
175	9502, 41	1402 ,73	1725, 65	994,5 17	468,7 86	260,2	7283, 6	147,6 5	2,239	0,03	22,13 5	0,33 5	7307, 97	148,0 15
200	1002 6,4	1479 ,39	2024, 14	1065, 87	427,6 47	227,0 99	7553, 87	185,9	2,014	0,04 5	18,72	0,47 7	7574, 6	186,4 23
250	1096 2,1	1685 ,53	2311, 63	1172, 91	456,6 39	241,1 12	8175, 42	270,7 49	1,845	0,14 5	16,54 8	0,61	8193, 82	271,5 05
300	1183 7,9	1935 ,05	2518, 78	1270, 78	539,2 33	288,8 18	8762, 44	374,7 03	1,609	0,18 7	15,81 8	0,56	8779, 87	375,4 5
350	1240 0,2	1891 ,72	2480, 84	1099, 1	565,5 02	308,4 41	9335, 54	483,0 46	1,778	0,24 4	16,52	0,88 9	9353, 83	484,1 79
400	1327 8,7	2087 ,93	2719, 2	1141, 68	605,1 21	332,1 24	9932, 03	612,6 04	1,497	0,46	20,85	1,06 5	9954, 38	614,1 29
500	1502 3	2526 ,12	3185, 69	1213, 37	675,0 42	389,1 17	1113 9,5	922,0 36	2,247	0,52 5	20,45 8	1,06 5	1116 2,2	923,6 26

(T: Tüm üretim mekanizması, C: Kaskad, P: Denge öncesi, Sp: Spallation atık sonrası, F: Fiyon, E: Toplam buharlaşma)

Tablo 4.17. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+{}_{72}\text{Hf}^{177}$ bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötron ve protonların ortalama kinetik enerjisi <TKE> (MeV)

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	T		C		P		Sp		Pf		F		E	
	E_n	E_p	E_n	E_p	E_n	E_p	E_n	E_p	E_n	E_p	E_n	E_p	E_n	E_p
100	6,2	40,02	31,37	47,5	17,82	30,77	1,95	10,08	3,11		2,74	9,03	1,95	10,08
125	7,22	45,44	34,33	56,08	17,61	29,66	2,08	10,2	3,85	11,95	3,26	4,84	2,08	10,2
150	8,18	51,09	35,55	64,14	16,57	27,75	2,19	10,25	4,43	11,56	3,27	8,23	2,19	10,24
175	8,98	56,62	35,66	71,63	15,1	25,6	2,28	10,35	4,19	10,84	3,54	8,24	2,29	10,35
200	9,78	61,84	36,58	78,94	14,05	23,77	2,37	10,44	4,49	12,48	3,58	8,11	2,38	10,44
250	11,43	69,75	42,27	92,97	14,26	23,47	2,56	10,55	4,72	11,98	3,81	9,85	2,57	10,55
300	12,94	75,78	48,11	106,6	14,98	24,08	2,72	10,72	5,12	14,53	4,1	8,37	2,73	10,72
350	14,27	85,51	56,99	135,4	15,54	24,88	2,86	10,77	6,12	10,86	4,15	8,95	2,87	10,77
400	15,57	87,32	61,41	146,5	16,32	25,19	2,99	10,85	6,38	12,86	4,49	9,17	3	10,85
500	17,73	86,96	68,59	164,3	17,13	26,01	3,25	11,01	6,76	13,39	4,39	8,41	3,25	11,01

(T: Tüm üretim mekanizması, C: Kaskad, P: Denge öncesi, Sp: Spallation atk sonrası, F: Fisyon, E: Toplam buharlaşma)

Tablo 4.18. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+{}_{72}\text{Hf}^{177}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların çift diferansiyel tesir kesitleri (mb/MeV/sr); laboratuvar açısı = 25-35°

Proton (mermi) Enerjisi (MeV)	Çıkan nötron ve proton enerjisi		Tesir kesiti (mb/MeV/sr)	
	$T_{n,p}$ (MeV)		n	p
100 MeV	0,0-10		59,1	0,6969
	10,0-20		5,15	2,502
	20,0-30		3,714	1,865
	30,0-40		2,872	1,174
	40,0-50		2,592	0,7904
	50,0-60		2,361	0,3903
	60,0-70		2,259	0,1607
	70,0-80		2,271	0,05576
	80,0-90		1,948	0,0164
	90,0-100		1,005	0,00328
200 MeV	0,0-10		74,18	1,201
	10,0-20		8,251	3,129
	20,0-30		4,448	2,073
	30,0-40		2,917	1,557
	40,0-50		1,98	1,099
	50,0-60		1,58	0,8479
	60,0-70		1,378	0,6652
	70,0-80		1,245	0,4609
	80,0-90		1,024	0,2884
	90,0-100		1,032	0,2159
	100,0-110		1,081	0,1232
	110,0-120		1,109	0,07971
	120,0-130		1,177	0,06087
	130,0-140		1,174	0,01884
	140,0-150		1,179	0,008696
	150,0-160		1,182	0,007247
	160,0-170		1,07	
170,0-180		0,8172		
180,0-190		0,5448		
190,0-200		0,2424		

Tablo 4.18. (Devam): CEM03 programında farklı enerjilerde $p+{}_{72}\text{Hf}^{177}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların çift diferansiyel tesir kesitleri (mb/MeV/sr); laboratuvar açısı = 25-35°

Proton (mermi) Enerjisi (MeV)	Çıkan nötron ve proton enerjisi	Tesir kesiti (mb/MeV/sr)	
	$T_{n,p}$ (MeV)	n	p
300 MeV	0,0-10	85,72	1,945
	10,0-20	9,274	3,822
	20,0-30	4,756	2,287
	30,0-40	2,857	1,751
	40,0-50	2,112	1,301
	50,0-60	1,606	1,153
	60,0-70	1,354	0,9465
	70,0-80	1,188	0,7189
	80,0-90	1,099	0,5374
	90,0-100	0,9497	0,4635
	100,0-110	0,9025	0,4272
	110,0-120	0,7739	0,2806
	120,0-130	0,8789	0,1982
	130,0-140	0,8238	0,1563
	140,0-150	0,8212	0,08655
	150,0-160	0,7661	0,07399
	160,0-170	0,8658	0,07259
	170,0-180	0,829	0,03909
	180,0-190	0,8684	0,02094
	190,0-200	0,8946	0,01675
200,0-210	0,9497	0,00698	
210,0-220	1,013	0,008376	
220,0-230	0,9681	0,002792	
230,0-250	0,8631	0,001396	
240,0-250	0,808		
250,0-260	0,7293		
260,0-270	0,404		
270,0-280	0,2938		
280,0-290	0,1732		
290,0-300	0,09182		

Tablo 4.19. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+{}_{72}\text{Hf}^{177}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların çift diferansiyel tesir kesitleri (mb/MeV/sr) laboratuvar açısı = 45-55°

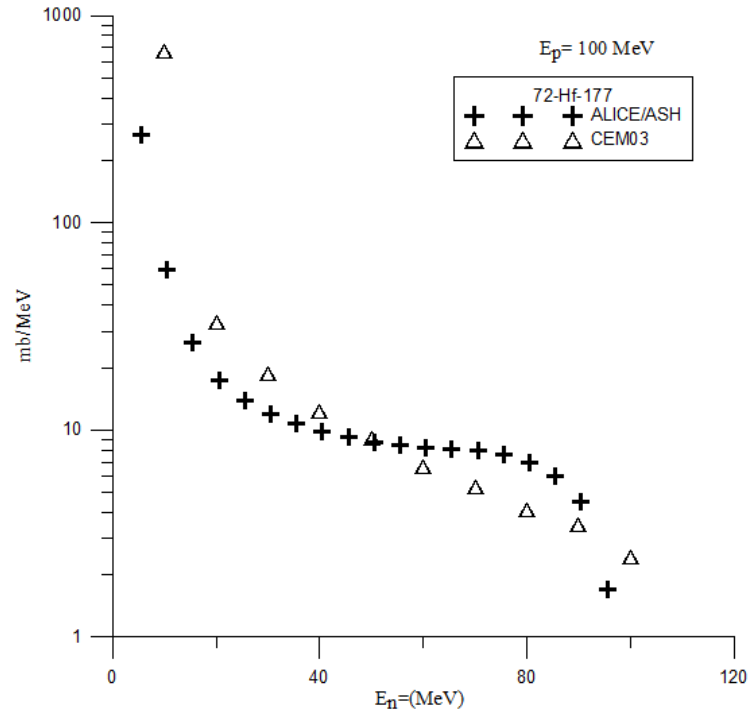
Proton (mermi) Enerjisi (MeV)	Çıkan nötron ve proton enerjisi	Tesir kesiti (mb/MeV/sr)	
	$T_{n,p}$ (MeV)	n	p
100 MeV	0,0-10	57,81	0,8409
	10,0-20	4,745	3,701
	20,0-30	3,192	3,824
	30,0-40	2,382	3,343
	40,0-50	1,796	2,73
	50,0-60	1,271	1,738
	60,0-70	0,8972	1,038
	70,0-80	0,517	0,5431
	80,0-90	0,2655	0,2273
	90,0-100	0,09656	0,05834

Tablo 4.19. (Devam): CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{72}\text{Hf}^{177}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların çift diferansiyel tesir kesitleri (mb/MeV/sr) laboratuvar açısı = $45-55^\circ$

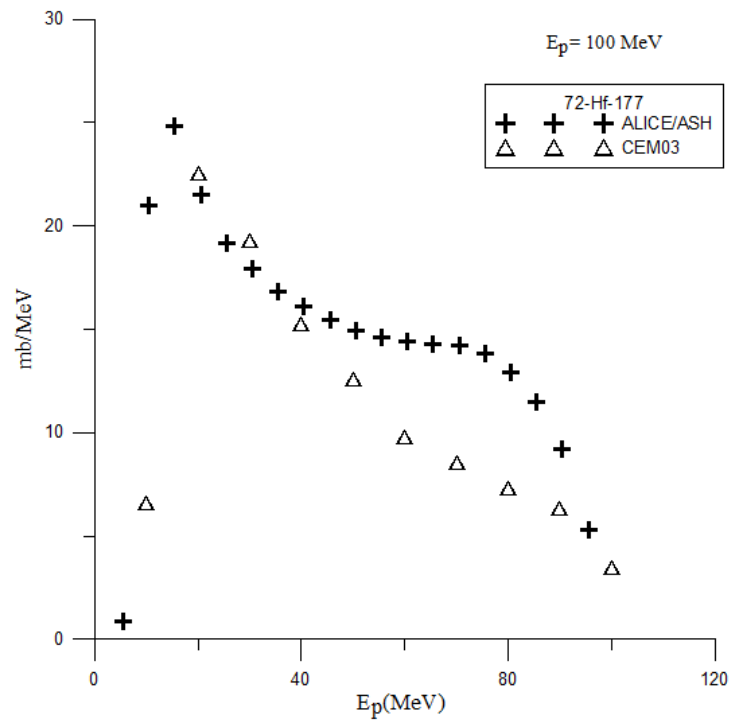
Proton (mermi) Enerjisi (MeV)	Çıkan nötron ve proton enerjisi	Tesir kesiti (mb/MeV/sr)	
	$T_{n,p}$ (MeV)	n	p
200 MeV	0,0-10	72,7	1,221
	10,0-20	7,632	3,591
	20,0-30	4,096	2,72
	30,0-40	2,629	2,356
	40,0-50	1,918	1,979
	50,0-60	1,492	1,963
	60,0-70	1,351	1,773
	70,0-80	1,264	1,646
	80,0-90	1,001	1,47
	90,0-100	0,8445	1,316
	100,0-110	0,6471	0,9458
	110,0-120	0,5565	0,7431
	120,0-130	0,4427	0,624
	130,0-140	0,3645	0,4036
	140,0-150	0,2667	0,224
	150,0-160	0,1582	0,1227
	160,0-170	0,1084	0,048
	170,0-180	0,04622	0,02489
	180,0-190	0,02311	0,007111
	190,0-200	0,007111	0,001778
300 MeV	0,0-10	82,94	1,974
	10,0-20	9,062	4,238
	20,0-30	4,247	2,438
	30,0-40	2,767	1,872
	40,0-50	2,01	1,555
	50,0-60	1,565	1,462
	60,0-70	1,365	1,317
	70,0-80	1,194	1,461
	80,0-90	1,127	1,437
	90,0-100	0,9298	1,425
	100,0-110	0,8596	1,361
	110,0-120	0,8065	1,3
	120,0-130	0,8202	1,171
	130,0-140	0,7021	1,029
	140,0-150	0,5925	0,9795
	150,0-160	0,5548	0,7569
	160,0-170	0,4281	0,5668
	170,0-180	0,3391	0,512
	180,0-190	0,2997	0,3202
	190,0-200	0,2791	0,2466
200,0-210	0,1712	0,1764	
210,0-220	0,1421	0,125	
220,0-230	0,1147	0,07706	
230,0-250	0,05137	0,03425	
240,0-250	0,04281	0,01541	
250,0-260	0,03254	0,01199	
260,0-270	0,01712	0,005137	
270,0-280	0,003425	0,001712	
280,0-290	0,005137		

Tablo 4.20. ALICE/ASH ve CEM03 programları ile farklı enerjilerde $p+_{72}\text{Hf}^{177}$ bombardıman sonucunda enerjiye bağlı ortaya çıkan nötronların ve protonların enerji spektrumu (mb/MeV)

Proton (mermi) enerjisi MeV	ALICE/ASH nötron ve protonların enerji spektrumu (mb/MeV)			CEM03 nötron ve protonların enerji spektrumu (mb/MeV)		
	Çıkan n ve p enerjisi MeV	n(mb/MeV)	p(mb/MeV)	Çıkan n ve p enerjisi MeV	n(mb/MeV)	p(mb/MeV)
100 MeV	5,5	267,4	0,8428	0,0-10	670	6,582
	15,5	26,42	24,83	10,0-20	33,06	22,58
	25,5	13,82	19,17	20,0-30	18,8	19,31
	35,5	10,75	16,85	30,0-40	12,32	15,28
	45,5	9,228	15,45	40,0-50	9,136	12,61
	55,5	8,44	14,64	50,0-60	6,665	9,797
	65,5	8,107	14,31	60,0-70	5,293	8,548
	75,5	7,614	13,83	70,0-80	4,093	7,34
	85,5	6,03	11,49	80,0-90	3,489	6,321
95,5	1,707	5,29	90,0-100	2,451	3,475	
200 MeV	5,5	417,8	0,7046	0,0-10	836,2	14,02
	15,5	27,24	26,3	10,0-20	60,59	29,72
	25,5	7,588	10,99	20,0-30	28,46	17,07
	35,5	6,197	9,932	30,0-40	16,68	12,31
	45,5	5,678	9,731	40,0-50	11,45	9,017
	55,5	5,245	9,38	50,0-60	8,371	7,485
	65,5	4,871	8,969	60,0-70	6,463	6,676
	75,5	4,554	8,568	70,0-80	5,321	5,953
	85,5	4,292	8,214	80,0-90	4,308	5,103
	95,5	4,107	7,943	90,0-100	3,723	4,978
	105,5	3,976	7,742	100,0-110	3,022	4,491
	115,5	3,877	7,589	110,0-120	2,792	4,29
	125,5	3,807	7,481	120,0-130	2,495	4,026
	135,5	3,763	7,414	130,0-140	2,211	3,835
	145,5	3,741	7,381	140,0-150	1,999	3,647
	155,5	3,737	7,377	150,0-160	1,893	3,574
	165,5	3,746	7,395	160,0-170	1,902	3,371
175,5	3,527	7,121	170,0-180	1,689	3,396	
185,5	2,73	5,756	180,0-190	1,729	3,162	
195,5	0,587	2,428	190,0-200	1,345	1,815	



Şekil 4.3. $^{72}\text{Hf}^{177}$ elementinin 100MeV enerjili protonlarla bombardımanı sonucu ortaya çıkan nötronların enerji spektrumu (mb/MeV)



Şekil 4.4. $^{72}\text{Hf}^{177}$ elementinin 100 MeV enerjili protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan protonların enerji spektrumu (mb/MeV)

Tablo 4.21. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{72}\text{Hf}^{177}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan ikincil reaksiyon nötron verimi tesir kesiti (mb)

Reaksiyon türü	Proton (mermi) enerjisi (MeV)				
	100 MeV	200 MeV	300 MeV	400 MeV	500 MeV
(n,n)	29,67	16,71	11,01	9,47	7,86
(n,2n)	28,79	14,92	11,23	9,54	7,89
(n,3n)	49,03	22,36	16,02	13,11	10,71
(n,4n)	47,63	18,5	12,6	10,22	8,14
(n,5n)	73,48	24,4	17,9	13,09	11,38
(n,6n)	60,83	19,09	12,48	9,68	8,94
(n,7n)	73,6	23,34	16,39	12,84	9,41
(n,8n)	56,54	18,27	12,77	10,03	7,47
(n,9n)	64,42	18,41	12,46	9,34	7,41
(n,10n)	8,47	12,38	7,9	5,73	4,98

Tablo 4.22. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{72}\text{Hf}^{177}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların açıl dağılımı (mb/sr)

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	Açı (derece) (sr)	n ve p'nun açığa bağlı tesir kesiti (mb/sr)	
		n(mb/sr)	p(mb/sr)
100 MeV	5	794,6	292,1
	15	844,6	380
	25	842,9	368,6
	35	808,1	297,5
	45	758,2	221,6
	55	702,9	147,6
	65	660,6	94,01
	75	621,6	61,64
	85	587,3	42,29
	95	563,1	30,77
	105	536,9	21,98
	115	528,8	18,33
	125	513,5	15,46
	135	495,4	13,58
	145	490,1	12,63
	155	486,7	11,08
165	490,1	10,66	
175	471	10,61	
200 MeV	5	1090	367,5
	15	1129	432,1
	25	1104	405,1
	35	1054	337,9
	45	1005	266,4
	55	945,3	200,5
	65	893,6	143,1
	75	834,4	99,54
	85	790,6	72,53
	95	735,7	53
	105	699,2	41,81
	115	669,6	32,22
	125	648,3	28,26
	135	630,7	24,96
	145	618,4	21,94
	155	603	19,98
165	594,9	20,31	
175	593,3	19,06	

Tablo 4.22. (Devam): CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{72}\text{Hf}^{177}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların açısız dağılımı (mb/sr)

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	Açı (derece) (sr)	n ve p'nun açığa bağlı tesir kesiti (mb/sr)	
		n(mb/sr)	p(mb/sr)
300 MeV	5	1280	442,2
	15	1329	481,6
	25	1291	433,5
	35	1227	375
	45	1173	306,9
	55	1106	246,1
	65	1044	189,6
	75	988,3	144,3
	85	937	111,5
	95	882	91,33
	105	838	73,28
	115	797,4	63,67
	125	770,9	56,62
	135	748,4	50,61
	145	731,5	49,06
155	706,7	44,7	
165	705,7	45,87	
175	704,4	44,7	
400 MeV	5	1489	459
	15	1526	491,1
	25	1434	429,6
	35	1347	366,4
	45	1287	305,2
	55	1230	244,5
	65	1173	199,2
	75	1106	157,5
	85	1046	127,1
	95	996,3	105,1
	105	946,9	93,12
	115	907,8	81,56
	125	875,7	76,41
	135	846,8	71,11
	145	817,3	69,15
155	805,6	67,8	
165	801,3	65,64	
175	778	63,31	
500 MeV	5	1731	584,7
	15	1771	573,4
	25	1649	479,2
	35	1539	393,6
	45	1464	333,8
	55	1383	286,7
	65	1316	234,7
	75	1238	191,5
	85	1177	162,4
	95	1119	141,6
	105	1069	124,3
	115	1022	114,6
	125	990,5	104,7
	135	965,3	99,82
	145	936,4	98,56
155	906,5	93,6	
165	904,8	91,11	
175	883,9	86,22	

4.4.3. $p+_{73}\text{Ta}^{181}$ Reaksiyonu

Tantal (Ta): Elektrolitik kapasitörlerin, vakum fırınlarının, kimyasal işlemlerde kullanılan aletlerin, nükleer reaktörlerin, hava taşıtlarının ve füze parçalarının yapımında kullanılır. Vücut sıvılarının tamamına karşı dirençli olması nedeniyle, ameliyat gereçlerinin yapımında da tantal elementinden yararlanır. Tantal oksitten elde edilen yüksek kırılma indisine sahip özel camlar, kamera merceklerinin yapımında kullanılır. Los Alamos'ta çalışan bilim insanları tarafından yapılan ve erime noktası 3738°C olan tantal karbid grafit alaşımı, yapılan en sert maddelerden biri olarak kabul ediliyor. Deforma çekirdek olan Tantal'ın izotobu olan Ta^{181} bolluk oranı %99,98 dir.

CEM03 Programında farklı enerjilerde $p+_{73}\text{Ta}^{181}$ reaksiyonu sonucunda oluşan; elastik, inelastik ve fisyon tesir kesiti, (A) kütleyle bağlı izotop üretimi, (Z) yüke bağlı izotop üretimi, bombardıman sonucunda oluşan (T: Tüm üretim mekanizması, C: Kaskad, P: Denge öncesi, Sp: Spallation atık sonrası, E:Toplam buharlaşma) nötron ve protonların sayıları, oluşan nötron ve protonların verimi (mb), ortalama kinetik enerjisi <TKE> (MeV), çift diferansiyel tesir kesitleri (mb/MeV/sr), reaksiyon sonucunda enerjiye bağlı oluşan nötronların ve protonların enerji spektrumu (mb/MeV), oluşan ikincil reaksiyon nötron verimi tesir kesiti (mb) ve oluşan nötronların açısal dağılım tesir kesiti (mb/sr) hesaplamaları yapılmıştır. ALICE/ASH programı ile de reaksiyon sonucunda enerjiye bağlı oluşan nötronların ve protonların enerji spektrumu (mb/MeV) hesaplamaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.23-33'de verilmiştir. Şekil 4.5'de ve Şekil 4.8'de teorik-deneysel data karşılaştırması yapılmıştır.

Tablo 4.23. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{73}\text{Ta}^{181}$ bombardımanındaki elastik ve inelastik tesir kesiti (mb)

Enerji (MeV)	100 MeV	200 MeV	300 MeV	400 MeV	500 MeV
İnelastik tesir kesiti (mb)	1715,34	1517,74	1461,22	1462,75	1482,76
Monte carlo inelastik tesir kesiti (mb)	1447,46	1390,12	1383,74	1409,55	1445,98
Elastik tesir kesiti (mb)	1010,69	993,77	967,91	924,38	876,08
Fisyon tesir kesiti (mb)	0,394528	3,23278	1,51967	1,37498	1,27518

Tablo 4.24. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{73}\text{Ta}^{181}$ bombardıman sonucunda (A) kütleyle bağlı izotop üretimi

p = 100 MeV			p = 200 MeV			p = 300 MeV			p = 500 MeV		
A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)
181	53,64	0,08866	181	27,11	0,1048	181	19,43	0,1137	181	12,44	0,1144
180	140,5	0,1157	180	91,52	0,098	180	79,77	0,08936	180	64,44	0,08151
179	157	0,1784	179	94,43	0,1431	179	77,4	0,1311	179	60,97	0,1126
178	183,9	0,252	178	94,92	0,2043	178	76,45	0,1861	178	55,75	0,1692
177	216	0,3227	177	92,19	0,2884	177	70,58	0,2773	177	52,15	0,2467
176	238,3	0,3923	176	91,94	0,3696	176	68,91	0,3572	176	49,08	0,3229
175	256,3	0,4531	175	105,5	0,4332	175	78,34	0,4338	175	54,03	0,3928
174	206,6	0,5322	174	103,9	0,5165	174	76	0,5443	174	50,74	0,4854
173	176,5	0,6199	173	114,2	0,5763	173	83,86	0,615	173	56,97	0,5641
172	64,63	0,6661	172	110,1	0,6559	172	78,45	0,7123	172	54,11	0,6612
171	10,86	0,9041	171	112,8	0,7242	171	79,93	0,7909	171	55,74	0,7632
170	9,331	1,023	170	114,4	0,7889	170	83,61	0,8905	170	58,2	0,8998
169	1,029	0,9816	169	98,08	0,8869	169	74,74	0,984	169	56,42	0,9905
168	0,1544	1,572	168	88,26	0,9741	168	76,19	1,096	168	57,77	1,104
167	0,06861	0,7127	167	65,54	1,058	167	70,15	1,206	167	58,11	1,232
114	0,01715	42,83	166	48,14	1,195	166	69,55	1,31	166	58,51	1,362
107	0,03431	42,35	165	27,91	1,36	165	55,96	1,442	165	53,68	1,476
106	0,01715	52,52	164	17,82	1,496	164	54,93	1,533	164	56,2	1,594
104	0,01715	57,97	163	9,425	1,613	163	43,5	1,679	163	50,09	1,742
103	0,01715	50,74	162	4,007	1,639	162	40,46	1,825	162	51,36	1,843
102	0,03431	56,12	161	1,336	1,698	161	29,4	1,865	161	45,48	1,973
98	0,01715	63,42	160	0,6982	2,216	160	25,63	2,029	160	47,76	2,126
97	0,01715	52,85	159	0,3035	1,701	159	15,04	2,17	159	39,09	2,203
96	0,03431	52,59	158	0,0455	2,768	158	13,76	2,227	158	42,97	2,365
95	0,01715	55,49	157	0,0151	0,707	157	6,707	2,292	157	32,09	2,501
93	0,01715	50,15	156	0,0151	3,138	156	5,07	2,527	156	35,36	2,627
92	0,01715	55,43	133	0,0151	17,42	155	2,63	2,704	155	25,13	2,75
91	0,01715	62,55	129	0,0151	16,78	154	1,68	2,785	154	27,59	2,867
88	0,05146	61,64	125	0,0151	26,31	153	0,7744	2,828	153	22,2	2,971
87	0,05146	56,36	124	0,0151	38,37	152	0,453	3,743	152	21,2	3,116
86	0,1029	54,95	123	0,0303	33,55	151	0,0876	2,723	151	15,18	3,168
85	0,01715	56,65	119	0,0151	26,23	150	0,1461	3,746	150	15,06	3,251
84	0,03431	61,08	118	0,0151	42,58	149	0,0730	3,412	149	10,36	3,367
81	0,01715	66,03	115	0,0151	31,11	148	0,0292	2	148	9,519	3,673
80	0,01715	52,39	114	0,0758	35,33	127	0,0292	23,67	147	6,643	3,976
78	0,08577	69,35	113	0,0151	32,13	113	0,0146	35,06	146	5,516	3,999
73	0,03431	72,52	111	0,0455	42,28	112	0,0292	27,13	145	4,27	4,064
72	0,03431	81,1	110	0,0151	47,53	110	0,0584	35,91	144	3,129	4,15
69	0,01715	74,28	109	0,0758	34,87	109	0,0146	23,35	143	1,868	4,483
68	0,01715	79,18	108	0,0607	47,38	108	0,0146	43,64	142	1,512	4,226
67	0,01715	66,77	107	0,0607	50,44	106	0,0292	44,08	141	0,949	4,15
62	0,01715	95,19	106	0,0303	49,49	104	0,0146	39,6	140	0,8748	4,369
			105	0,0303	46,63	102	0,0730	41,95	139	0,3262	4,553
			104	0,0303	53,73	101	0,0438	38,11	138	0,2966	6,51
			103	0,0303	46,89	100	0,0292	42,89	137	0,1334	4,579
			102	0,0607	45,11	98	0,0730	46,92	136	0,1928	5,579
			101	0,1062	47,44	97	0,0292	46,57	135	0,0148	3,67
			100	0,0758	48,7	96	0,0438	49,43	134	0,0148	3,44
			99	0,0455	56,47	95	0,0438	51,16	120	0,0148	10,06
			98	0,1062	50,54	94	0,0292	27,78	116	0,0148	36,5
			97	0,1062	47,94	93	0,0876	52,72	115	0,0296	23,01
			96	0,1366	54,3	92	0,0876	45,88	109	0,0296	24,55
			95	0,1518	53,76	91	0,0292	53,44	105	0,0296	40,54
			94	0,167	56,05	90	0,1461	49,73	102	0,0296	47,49

Tablo 4.24. (Devam): CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{73}\text{Ta}^{181}$ bombardıman sonucunda (A) kütleyle bağlı izotop üretimi

p = 200 MeV			p = 300 MeV			p = 500 MeV		
A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)
93	0,1214	51,68	89	0,0292	57,56	101	0,0148	37,37
92	0,1062	55,82	88	0,0876	55,2	100	0,0148	23,81
91	0,1518	52,5	87	0,0876	52,97	99	0,0148	40,5
90	0,2125	52,73	86	0,1169	56,4	98	0,0444	23,97
89	0,1062	58,63	85	0,0584	53,23	97	0,0148	38,81
88	0,1821	53,64	84	0,0292	37,8	96	0,0741	37,64
87	0,1518	61,64	83	0,0730	59,87	94	0,0148	45,31
86	0,2884	55,34	82	0,0584	53,34	93	0,0889	47,1
85	0,2277	59,44	81	0,0730	55,73	92	0,0296	24,84
84	0,2125	56,96	80	0,1607	57,09	91	0,0296	46,52
83	0,1973	58,88	79	0,0438	55,6	90	0,0593	48,64
82	0,2428	61,23	78	0,0584	62,4	89	0,0148	30,1
81	0,1973	60,88	77	0,0584	53,46	88	0,0741	43,22
80	0,1062	60,23	76	0,0730	57,16	87	0,0444	48,27
79	0,2125	61,2	75	0,0730	66,47	86	0,0148	37,88
78	0,1366	59,86	74	0,1023	69,8	85	0,0444	47,16
77	0,167	67,55	73	0,0730	67,54	84	0,0296	49,55
76	0,1366	65,99	72	0,0876	69,51	83	0,1038	55,2
75	0,1366	62,62	71	0,0292	82,23	82	0,0593	39,32
74	0,2277	63,93	70	0,1315	62,6	81	0,0741	49,27
73	0,0455	68,22	69	0,0584	64,29	80	0,0741	62,06
72	0,1214	70,22	68	0,0292	65,2	79	0,0741	62,62
71	0,0607	76,36	67	0,0438	75,63	78	0,1038	49,04
70	0,167	65,2	66	0,0438	69,61	77	0,0296	55,41
69	0,1214	62,67	65	0,0292	63,53	76	0,0296	54,86
68	0,0910	65,81	63	0,0146	43,32	75	0,0741	55,35
67	0,0758	72,76	62	0,0292	67,93	74	0,0741	55,67
66	0,0455	71,97	61	0,0584	60,84	73	0,0741	52,27
65	0,0455	60,61	60	0,0438	68,49	72	0,0296	36,24
64	0,0607	75,59	59	0,0146	71,97	71	0,0296	86,47
63	0,0607	67,6	58	0,0146	73,9	70	0,0593	61,93
62	0,0303	77,84	57	0,0292	63,24	69	0,1186	49,86
61	0,0455	91,42	56	0,0438	73,9	68	0,0296	43,83
60	0,0910	78,01	55	0,0292	83,08	67	0,0296	57,23
59	0,0303	86,45	54	0,0146	96,08	66	0,0296	41,5
58	0,0151	81,49	53	0,0146	79,59	65	0,0741	61,04
57	0,0455	74,75	52	0,0292	59,42	64	0,0444	67,27
55	0,0758	80,68	51	0,0146	70,76	63	0,0148	60,58
53	0,0151	74,15	49	0,0146	84,84	62	0,0593	56,01
52	0,0151	81,65	48	0,0146	70,63	61	0,0444	65,48
51	0,0151	78,1	40	0,0146	107,9	59	0,0296	61,71

Tablo 4.25. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{73}\text{Ta}^{181}$ bombardıman sonucunda (Z) yüke bağlı izotop üretimi

p = 100 MeV			p = 200 MeV			p = 300 MeV			p = 500 MeV		
A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)
74	571,1	0,4243	74	260,8	0,5187	74	180,7	0,5753	74	115,9	0,5672
73	882,6	0,335	73	614,6	0,4466	73	480,7	0,4901	73	330,6	0,4797
72	239	0,4325	72	411,3	0,6475	72	391,1	0,7944	72	313,8	0,8137
71	21,18	0,722	71	171,8	0,9456	71	235,1	1,274	71	231,6	1,384
70	1,115	1,105	70	46,75	1,137	70	117	1,65	70	186,4	1,896
47	0,01715	42,83	69	7,452	1,445	69	32,34	1,94	69	84,77	2,129
45	0,06861	47,39	68	1,472	1,568	68	16,53	2,258	68	104,3	2,654
44	0,03431	54,35	67	0,1366	1,847	67	3,507	2,602	67	37,68	2,874
42	0,03431	61,66	66	0,01518	2,515	66	1,111	2,633	66	37,88	3,221
41	0,05146	52,68	58	0,01518	17,42	65	0,2192	4,913	65	14,86	3,633
40	0,03431	55,46	55	0,01518	16,78	64	0,07306	2,927	64	12,84	3,963
39	0,01715	50,15	54	0,01518	38,37	56	0,01461	18,83	63	5,101	4,127
38	0,06861	57,7	53	0,04553	31,14	53	0,01461	28,5	62	2,728	4,436
37	0,1201	57,18	52	0,03035	34,4	50	0,01461	35,06	61	1,186	4,369
36	0,08577	58,8	49	0,1062	38,15	49	0,01461	29,41	60	0,3707	4,979
35	0,01715	52,39	48	0,07589	34,87	48	0,08767	30,63	53	0,01483	10,06
34	0,03431	65,88	47	0,1214	43,03	47	0,01461	44,93	51	0,01483	36,5
33	0,05146	69,93	46	0,07589	49,54	46	0,04384	42,85	50	0,01483	12,37
32	0,03431	70,11	45	0,07589	47,86	45	0,07306	45,23	49	0,01483	33,64
30	0,03431	81,1	44	0,2732	48,86	44	0,07306	37,93	48	0,01483	21,65
29	0,06861	74,08	43	0,1214	55,04	43	0,05845	47,01	47	0,01483	46,45
27	0,01715	95,19	42	0,2732	50,92	42	0,08767	47,03	46	0,04448	35,11
2	57,5	31,68	41	0,3035	51,32	41	0,1169	42	45	0,04448	29,89
1	1314	38,49	40	0,3946	54,39	40	0,2338	51,79	44	0,05931	38,13
0	8185	6,091	39	0,2732	56,39	39	0,1753	49,71	43	0,02966	33,81
25	11270	9,133	38	0,5464	56,29	38	0,19	53,57	42	0,1334	42,4
92	0,01715	55,43	37	0,5009	56,48	37	0,2046	58,46	41	0,04448	44,05
91	0,01715	62,55	36	0,5616	60,01	36	0,1753	53,69	40	0,1186	33,23
88	0,05146	61,64	35	0,3491	63,4	35	0,1607	57,83	39	0,1038	52,68
87	0,05146	56,36	34	0,3643	60,53	34	0,1461	58,61	38	0,1483	50,72
86	0,1029	54,95	33	0,3946	65,33	33	0,2192	67,6	37	0,07414	45,33
85	0,01715	56,65	32	0,3187	67,74	32	0,2046	67,96	36	0,1631	51,31
84	0,03431	61,08	31	0,2125	67,95	31	0,1461	65,56	35	0,1631	54,09
81	0,01715	66,03	30	0,258	62,68	30	0,1169	68,52	34	0,1186	53,92
80	0,01715	52,39	29	0,167	72,53	29	0,05845	58,87	33	0,08897	52,08
78	0,08577	69,35	28	0,07589	76,98	28	0,02922	60,2	32	0,1483	63,95
73	0,03431	72,52	27	0,1214	76,67	27	0,07306	72,72	31	0,1483	52,68
72	0,03431	81,1	26	0,07589	86,21	26	0,05845	61,65	30	0,1186	49,47
69	0,01715	74,28	25	0,1062	75,57	25	0,07306	70,54	29	0,1483	59,87
68	0,01715	79,18	24	0,07589	79,53	24	0,07306	78,91	28	0,07414	60,09
67	0,01715	66,77	22	0,01518	78,1	23	0,02922	66,16	27	0,07414	56,94
62	0,01715	95,19	21	0,03035	90,67	22	0,02922	77,73	26	0,02966	75,22
			20	0,04553	92,12	17	0,02922	103,7	25	0,1038	62,3

Tablo 4.26. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{73}\text{Ta}^{181}$ bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötron ve protonların sayıları

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	T		C		P		Sp		Pf		F		E	
	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p
100	4,771 6	0,629 7	0,476 5	0,391 4	0,3 393	0,213 7	3,954 2	0,024 6	0,000 1		0,001 6	0	3,955 9	0,024 6
125	5,376 4	0,727 3	0,649 2	0,475 2	0,3 56	0,213 4	4,364 1	0,038 6	0,000 5	0	0,006 5	0	4,371 2	0,038 7
150	5,947	0,811	0,871	0,562	0,3 52	0,194	4,711	0,055	0,001	0	0,012	0	4,724	0,055
175	6,491	0,876 9	1,125 2	0,63	0,3 247	0,171 3	5,020 2	0,075 3	0,002 3	0	0,018 6	0,000 3	5,041 1	0,075 6
200	6,983	0,941 2	1,352 2	0,690 9	0,3 074	0,149 7	5,299	0,100 2	0,002 5	0,000 1	0,021 9	0,000 4	5,323 4	0,100 7
250	7,805 9	1,099 3	1,600 2	0,782 9	0,3 4	0,162 5	5,849 5	0,153 4	0,002	0,000 1	0,014 2	0,000 4	5,865 7	0,153 9
300	8,562	1,277	1,766	0,857	0,3 99	0,197	6,383	0,222	0,002	0,001	0,012	0,001	6,397	0,223
350	8,988	1,249	1,758	0,753	0,4 26	0,214	6,787	0,281	0,002	0,001	0,015	0,001	6,804	0,282
400	9,549	1,355 7	1,900 2	0,778 4	0,4 505	0,232 1	7,184 4	0,344 3	0,001 6	0,000 2	0,012 3	0,000 7	7,198 3	0,345 2
500	10,71 59	1,605 2	2,219 8	0,812 8	0,4 853	0,263 2	7,986 6	0,528 2	0,001 5	0,000 4	0,012 7	0,000 6	8,000 8	0,529 2

(T: Tüm üretim mekanizması, C: Kaskad, P: Denge öncesi, Sp: Spallation atık sonrası, F: Fisyon, E: Toplam buharlaşma)

Tablo 4.27. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+{}_{73}\text{Ta}^{181}$ bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötron ve protonların verimi (mb)

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	T		C		P		Sp		Pf		F		E	
	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p
100	8184,94	1080,166	817,273	671,435	581,963	366,585	6782,722	42,129	0,223		2,762	0,017	6785,706	42,146
125	8861,511	1198,764	1069,954	783,21	586,823	351,784	7193,114	63,688	0,841	0,033	10,779	0,049	7204,734	63,77
150	9474,008	1292,177	1389	895,33	560,246	309,451	7504,097	87,236	1,641	0,08	19,021	0,08	7524,759	87,395
175	1006,138	1359,24	1744,05	976,563	503,348	265,477	7781,551	116,75	3,55	0,062	28,877	0,388	7813,978	117,199
200	1059,8,3	1428,54	2052,254	1048,59	466,492	227,16	8042,552	152,001	3,734	0,121	33,269	0,668	8079,554	152,791
250	1153,7,38	1624,74	2365,213	1157,184	502,518	240,122	8645,789	226,716	2,941	0,163	20,914	0,562	8669,645	227,44
300	1251,1,49	1866,139	2580,836	1252,806	583,275	288,167	9327,07	324,128	2,236	0,234	18,075	0,804	9347,38	325,165
350	1310,5,84	1820,713	2563,725	1097,283	620,999	312,089	9896,678	410,204	2,639	0,175	21,798	0,962	9921,115	411,341
400	1396,7,78	1982,99	2779,545	1138,633	658,954	339,446	1050,8,95	503,639	2,297	0,322	18,036	0,951	1052,9,28	504,912
500	1587,4,28	2380,101	3291,451	1205,234	719,57	390,248	1184,2,29	783,21	2,209	0,549	18,757	0,86	1186,3,26	784,619

(T: Tüm üretim mekanizması, C: Kaskad, P: Denge öncesi, Sp: Spallation atık sonrası, F: Fisyon, E: Toplam buharlaşma)

Tablo 4.28. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+{}_{73}\text{Ta}^{181}$ bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötron ve protonların ortalama kinetik enerjisi <TKE> (MeV)

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	T		C		P		Sp		Pf		F		E	
	E_n	E_p	E_n	E_p	E_n	E_p	E_n	E_p	E_n	E_p	E_n	E_p	E_n	E_p
100	6,09	40,55	31,78	47,68	17,89	30,97	1,99	10,4	3,85		2,77	11,03	1,99	10,4
125	7,11	46,55	34,91	56,87	17,9	30,12	2,11	10,48	3,74	8,91	3,05	6,35	2,11	10,48
150	8,02	52,19	35,98	64,54	16,68	28,24	2,21	10,49	4,15	14,24	3,33	8,04	2,21	10,49
175	8,87	57,89	36,35	72,31	15,44	25,77	2,31	10,53	3,91	10,62	3,47	8,73	2,32	10,53
200	9,68	63,3	37,28	79,51	14,29	24	2,4	10,53	4,64	10,65	3,58	8,48	2,4	10,53
250	11,29	72,04	42,6	94,06	14,32	24,01	2,57	10,71	4,42	12,87	3,94	7,69	2,57	10,71
300	12,71	77,83	48,27	107,52	15,01	24,35	2,74	10,84	5,42	12,65	4,07	9,13	2,75	10,84
350	13,99	88,35	56,58	135,37	15,81	25,02	2,86	10,98	5,79	12,44	4,06	8,87	2,87	10,98
400	15,2	92,66	61,2	148,81	16,32	25,72	2,99	11,05	6,67	14	4,17	8,36	2,99	11,05
500	17,32	91,9	68,03	165,69	17,17	26,28	3,25	11,18	5,86	15,52	4,41	10,07	3,26	11,18

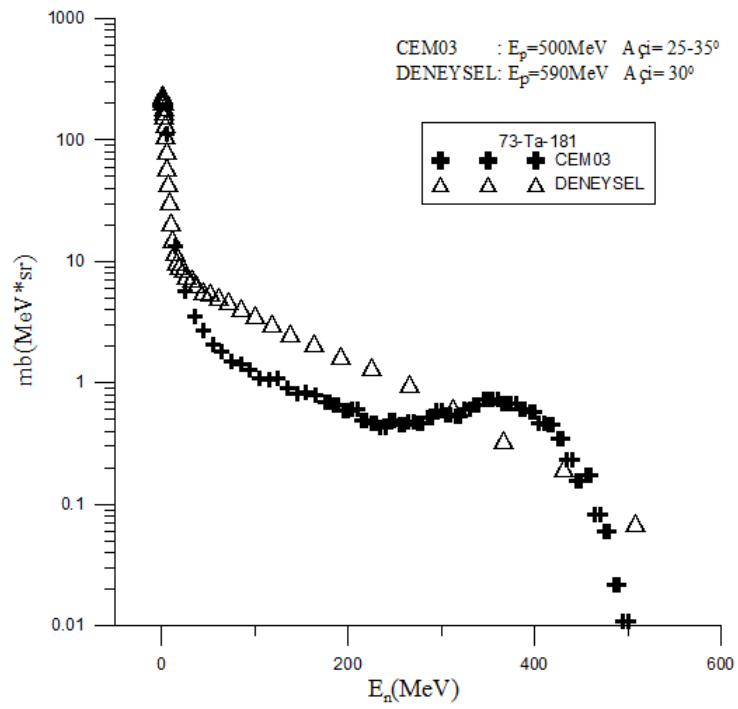
(T: Tüm üretim mekanizması, C: Kaskad, P: Denge öncesi, Sp: Spallation atık sonrası, F: Fisyon, E: Toplam buharlaşma)

Tablo 4.29. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{73}\text{Ta}^{181}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların çift diferansiyel tesir kesitleri (mb / MeV / sr); laboratuvar açısı = 25-35°

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	Çıkan nötron ve proton enerjisi $T_{n,p}$ (MeV)	Tesir kesiti (mb/MeV/sr)	
		n	p
100 MeV	0,0-10	61,92	0,6954
	10,0-20	5,488	3,286
	20,0-30	3,803	3,608
	30,0-40	2,879	3,897
	40,0-50	2,562	4,479
	50,0-60	2,415	4,849
	60,0-70	2,371	5,134
	70,0-80	2,252	4,388
	80,0-90	1,823	2,625
	90,0-100	1,103	0,6891
200 MeV	0,0-10	78,68	1,031
	10,0-20	8,442	3,403
	20,0-30	4,421	2,705
	30,0-40	2,946	1,959
	40,0-50	2,223	1,668
	50,0-60	1,555	1,441
	60,0-70	1,244	1,38
	70,0-80	1,244	1,433
	80,0-90	1,086	1,505
	90,0-100	1,139	1,619
	100,0-110	1,167	1,929
	110,0-120	1,167	2,295
	120,0-130	1,17	2,663
	130,0-140	1,28	2,86
	140,0-150	1,278	2,888
	150,0-160	1,247	2,508
	160,0-170	1,114	1,763
	170,0-180	0,9202	1,139
180,0-190	0,5599	0,5682	
190,0-200	0,3215	0,23	

Tablo 4.29. (Devam): CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{73}\text{Ta}^{181}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların çift diferansiyel tesir kesitleri (mb / MeV / sr); laboratuvar açısı = 25-35°

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	Çıkan nötron ve proton enerjisi	Tesir kesiti (mb/MeV/sr)	
	$T_{n,p}$ (MeV)	n	p
300 MeV	0,0-10	89,77	1,58
	10,0-20	9,838	3,853
	20,0-30	4,827	2,188
	30,0-40	2,935	1,718
	40,0-50	2,119	1,35
	50,0-60	1,766	1,121
	60,0-70	1,262	0,9366
	70,0-80	1,243	0,8699
	80,0-90	1,057	0,9606
	90,0-100	0,9873	0,8725
	100,0-110	0,8672	0,8699
	110,0-120	0,8245	0,8325
	120,0-130	0,7311	0,9499
	130,0-140	0,7605	0,9739
	140,0-150	0,7498	1,171
	150,0-160	0,7525	1,131
	160,0-170	0,7471	1,31
	170,0-180	0,8245	1,662
	180,0-190	0,8699	1,83
	190,0-200	0,9046	1,889
200,0-210	1,001	2,143	
210,0-220	1,014	2,105	
220,0-230	1,073	1,809	
230,0-250	0,8912	1,601	
240,0-250	0,8432	1,299	
250,0-260	0,7311	1,049	
260,0-270	0,5123	0,579	
270,0-280	0,4136	0,3602	
280,0-290	0,2455	0,1521	
290,0-300	0,1201	0,0507	



Şekil 4.5. $^{73}\text{Ta}^{181}$ elementinin 500 MeV enerjili protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötronların çift diferansiyel tesir kesitleri, deneysel değerler Filges vd (1984)'ten alınmıştır.

Tablo 4.30. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+^{73}\text{Ta}^{181}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların çift diferansiyel tesir kesitleri (mb/MeV/sr); laboratuvar açısı = 45-55°

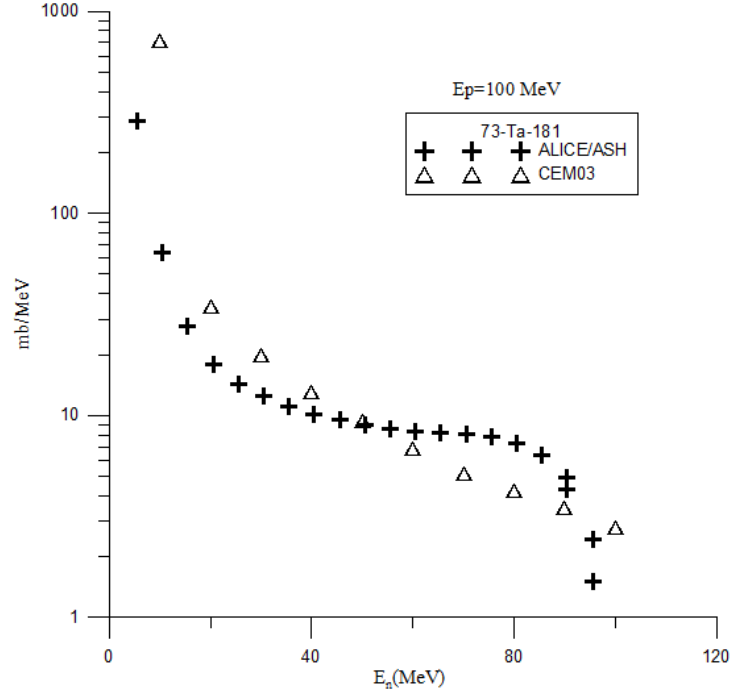
Proton (mermi) enerjisi (MeV)	Çıkan nötron ve proton enerjisi $T_{n,p}$ (MeV)	Tesir kesiti (mb/MeV/sr)	
		n	p
100 MeV	0,0-10	62,04	0,8014
	10,0-20	4,876	3,647
	20,0-30	3,265	3,703
	30,0-40	2,478	3,259
	40,0-50	2,006	2,609
	50,0-60	1,409	1,773
	60,0-70	0,8505	1,059
	70,0-80	0,5173	0,5929
	80,0-90	0,2699	0,229
	90,0-100	0,1247	0,06134

Tablo 4.30. (Devam): CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{73}\text{Ta}^{181}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların çift diferansiyel tesir kesitleri (mb/MeV/sr); laboratuvar açısı = 45-55°

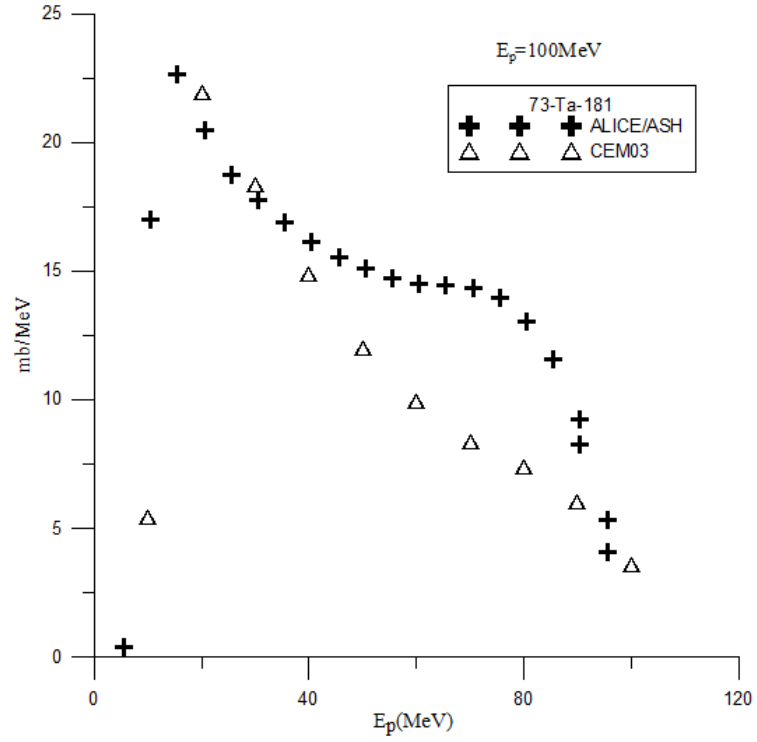
Proton (mermi) enerjisi (MeV)	Çıkan nötron ve proton enerjisi	Tesir kesiti (mb/MeV/sr)	
	$T_{n,p}$ (MeV)	n	p
200 MeV	0,0-10	76,31	1,089
	10,0-20	7,686	3,47
	20,0-30	4,2	2,663
	30,0-40	2,788	2,18
	40,0-50	2,037	2,082
	50,0-60	1,639	2,026
	60,0-70	1,467	1,887
	70,0-80	1,196	1,737
	80,0-90	1,044	1,668
	90,0-100	0,919	1,297
	100,0-110	0,7543	0,9877
	110,0-120	0,6078	0,767
	120,0-130	0,4848	0,5337
	130,0-140	0,2985	0,3383
	140,0-150	0,2695	0,1863
	150,0-160	0,1483	0,1085
	160,0-170	0,09769	0,03799
	170,0-180	0,05246	0,01447
	180,0-190	0,02352	0,001809
190,0-200	0,01266		
300 MeV	0,0-10	88,23	1,536
	10,0-20	8,959	4,102
	20,0-30	4,361	2,45
	30,0-40	2,891	1,872
	40,0-50	2,024	1,594
	50,0-60	1,686	1,428
	60,0-70	1,39	1,395
	70,0-80	1,219	1,459
	80,0-90	1,108	1,446
	90,0-100	1,031	1,352
	100,0-110	0,9022	1,358
	110,0-120	0,7506	1,252
	120,0-130	0,8255	1,155
	130,0-140	0,667	1,028
	140,0-150	0,6479	0,8935
	150,0-160	0,5329	0,7472
	160,0-170	0,5068	0,5747
	170,0-180	0,4041	0,4911
	180,0-190	0,357	0,3727
	190,0-200	0,2543	0,2682
	200,0-210	0,1985	0,1637
210,0-220	0,1602	0,101	
220,0-230	0,1132	0,07315	
230,0-250	0,07663	0,03309	
240,0-250	0,04528	0,01742	
250,0-260	0,03309	0,005225	
260,0-270	0,01045	0,003483	
270,0-280	0,01045		

Tablo 4.31. ALICE/ASH ve CEM03 programları ile farklı enerjilerde $p+_{73}\text{Ta}^{181}$ bombardıman sonucunda enerjiye bağlı ortaya çıkan nötronların ve protonların enerji spektrumu (mb/MeV)

Proton (mermi) enerjisi MeV	ALICE/ASH nötron ve protonların enerji spektrumu (mb/MeV)			CEM03 nötron ve protonların enerji spektrumu (mb/MeV)		
	Çıkan n ve p enerjisi (MeV)	n(mb/MeV)	p(mb/MeV)	Çıkan n ve p enerjisi (MeV)	n(mb/MeV)	p(mb/MeV)
100 MeV	5,5	249,5	1,108	0,0-10	719,2	5,439
	15,5	25,66	25	10,0-20	34,74	21,94
	25,5	13,21	18,29	20,0-30	19,72	18,35
	35,5	10,31	15,98	30,0-40	13,01	14,89
	45,5	8,864	14,68	40,0-50	9,318	12,03
	55,5	8,109	13,92	50,0-60	6,808	9,932
	65,5	7,786	13,62	60,0-70	5,179	8,354
	75,5	7,307	13,09	70,0-80	4,215	7,426
	85,5	5,768	10,67	80,0-90	3,486	6,033
200 MeV	95,5	1,511	4,072	90,0-100	2,796	3,616
	5,5	386,4	1,186	0,0-10	887,3	11,64
	15,5	26,23	25,5	10,0-20	62,43	27,86
	25,5	7,147	10,24	20,0-30	29,44	17,04
	35,5	5,849	9,353	30,0-40	17,48	11,86
	45,5	5,376	9,16	40,0-50	11,86	9,097
	55,5	4,971	8,812	50,0-60	8,624	7,438
	65,5	4,618	8,416	60,0-70	6,807	6,564
	75,5	4,317	8,044	70,0-80	5,415	5,719
	85,5	4,069	7,714	80,0-90	4,558	5,412
	95,5	3,892	7,465	90,0-100	3,744	4,811
	105,5	3,767	7,282	100,0-110	3,301	4,482
	115,5	3,673	7,143	110,0-120	2,938	4,209
	125,5	3,606	7,047	120,0-130	2,583	4,04
	135,5	3,564	6,987	130,0-140	2,327	3,837
	145,5	3,542	6,959	140,0-150	2,213	3,718
	155,5	3,537	6,957	150,0-160	1,969	3,523
165,5	3,546	6,976	160,0-170	1,865	3,36	
175,5	3,336	6,654	170,0-180	1,833	3,444	
185,5	2,573	5,26	180,0-190	1,767	2,994	
195,5	0,4794	1,74	190,0-200	1,419	1,806	



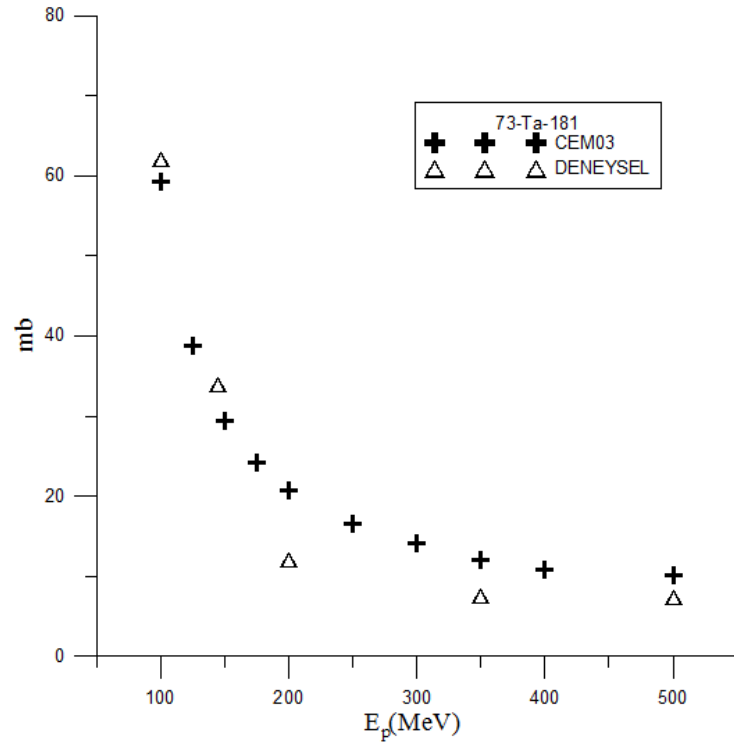
Şekil 4.6. $^{73}\text{Ta}^{181}$ elementinin 100 MeV enerjili protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötronların enerji spektrumu (mb/MeV)



Şekil 4.7. $^{73}\text{Ta}^{181}$ elementinin 100 MeV enerjili protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan protonların enerji spektrumu (mb/MeV)

Tablo 4.32. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+{}_{73}\text{Ta}^{181}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan ikincil reaksiyon nötron verimi tesir kesiti (mb)

Reaksiyon türü	Proton (mermi) enerjisi (MeV)				
	100 MeV	200 MeV	300 MeV	400 MeV	500 MeV
(n,n)	24,77	12,37	9,7	7,09	7
(n,2n)	40,28	22,45	16,56	13,35	11,7
(n,3n)	38,41	18,84	13,5	10,84	9,03
(n,4n)	54,5	23,43	14,89	12,4	9,95
(n,5n)	59,33	20,82	14,19	10,8	10,08
(n,6n)	85,78	26,59	18,19	13,4	11,91
(n,7n)	69,81	20,85	14,29	11,57	9,15
(n,8n)	80,6	26,18	17,71	13,31	10,07
(n,9n)	79,9	20,76	13,47	10,12	8,24
(n,10n)	37,93	22,86	14,73	10,71	7,92



Şekil 4.8. ${}_{73}\text{Ta}^{181}$ (p,5n) reaksiyonunda ortaya çıkan nötron verim tesir kesiti (mb), deneysel değerler Zhuikov vd (2003)'ten alınmıştır

Tablo 4.33. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{73}\text{Ta}^{181}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların açısal dağılımı (mb/sr)

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	Açı (derece) (sr)	n ve p'nun açıya bağlı tesir kesiti (mb/sr)	
		n(mb/sr)	p(mb/sr)
100 MeV	5	861,1	306,9
	15	897,9	372
	25	897,6	368,2
	35	840,4	295,4
	45	795,8	215,3
	55	752,1	143,2
	65	709,1	91,76
	75	668	58,03
	85	628,9	38,14
	95	601,7	27,03
	105	583,1	19,7
	115	563,6	15,62
	125	554,8	12,83
	135	537,6	10,74
	145	531,1	10,92
200 MeV	155	522,1	8,746
	165	512,2	9,077
	175	520,4	10,6
	5	1157	360,9
	15	1195	426,2
	25	1155	396,8
	35	1099	334,2
	45	1045	266
	55	997,2	195,8
	65	939,7	135,8
	75	880,7	95,76
	85	839,1	69,37
	95	781,8	47,7
	105	748,3	37,09
	115	718,2	29,33
125	683,4	24,28	
135	675,4	21,87	
145	653,7	18,58	
155	642,8	18,13	
165	632,3	18,95	
175	617,9	17,01	
300 MeV	5	1343	430,8
	15	1399	470,6
	25	1345	428,3
	35	1281	361,4
	45	1219	306,5
	55	1166	237,9
	65	1113	182
	75	1049	138,2
	85	984,4	107,2
	95	936,4	83,84
	105	894,1	70,75
	115	848,8	59,63
	125	817,1	52,49
	135	801,8	48,34
	145	770,3	43,26
155	758,4	42,02	
165	747	38,97	
175	742,7	41,94	

Tablo 4.33. (Devam): CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{73}\text{Ta}^{181}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların açısal dağılımı (mb/sr)

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	Açı (derece) (sr)	n ve p'nun açıya bağlı tesir kesiti (mb/sr)	
		n(mb/sr)	p(mb/sr)
400 MeV	5	1553	448,4
	15	1572	498,2
	25	1505	433,2
	35	1410	359,1
	45	1361	295
	55	1291	239,6
	65	1230	187
	75	1160	146,6
	85	1097	116
	95	1044	95,29
	105	996,5	82,71
	115	951,9	74,92
	125	932,1	67,78
	135	897,2	63,1
	145	877,5	60,47
155	857,7	59,35	
165	834,6	56,61	
175	830,6	53,48	
500 MeV	5	1821	578,3
	15	1844	567,5
	25	1720	463,9
	35	1612	380,4
	45	1534	320,9
	55	1459	272,6
	65	1390	225,2
	75	1316	180,6
	85	1250	148,4
	95	1181	127,7
	105	1136	112,9
	115	1091	101,8
	125	1047	94,85
	135	1016	89,93
	145	1000	87,5
155	962,6	84,35	
165	962,1	85,52	
175	955,8	81,55	

4.4.4. $p+_{74}\text{W}^{183}$ Reaksiyonu

Tungsten (W): Tungsten ve alaşımları, elektrik ampullerindeki ince tellerin, elektron ve televizyon tüplerinin, elektrikli fırınlarda sarımların ve ısıtıcı elemanların yapımında kullanılır. X-ışını hedeflerinde, hava taşıtlarında ve metal buharlaştırma işlemleri gibi yüksek sıcaklık gerektiren uygulamalarda da kullanılır. Tungsten tozunun, elektronik endüstrisinde geniş bir kullanımı vardır. Tungsten karbid, metal işçiliğinde, madencilikte ve petrol endüstrisinde önem taşıyan bir bileşiktir. Tungstenin kalsiyum ve magnezyum

tuzları floresan aydınlatmalarda, diğer bazı bileşikleri de boyalarda kullanılır. Deforma Çekirdek olan Tungsten elementinin W^{183} izotopunun bolluk oranı %14,3 tür.

CEM03 Programında farklı enerjilerde. $p+ {}_{74}W^{183}$ reaksiyonu sonucunda oluşan; elastik, inelastik ve fisyon tesir kesiti, (A) kütleyle bağlı izotop üretimi, (Z) yüke bağlı izotop üretimi, bombardıman sonucunda oluşan (T: Tüm üretim mekanizması, C: Kaskad, P: Denge öncesi, Sp: Spallation atık sonrası, E:Toplam buharlaşma) nötron ve protonların sayıları, oluşan nötron ve protonların verimi (mb), ortalama kinetik enerjisi <TKE> (MeV), çift diferansiyel tesir kesitleri (mb/MeV/sr), reaksiyon sonucunda enerjiye bağlı oluşan nötronların ve protonların enerji spektrumu (mb/MeV), oluşan ikincil reaksiyon nötron verimi tesir kesiti (mb) ve oluşan nötronların açısız dağılım tesir kesiti [mb/sr] hesaplamaları yapılmıştır. ALICE/ASH programı ile de reaksiyon sonucunda enerjiye bağlı oluşan nötronların ve protonların enerji spektrumu (mb/MeV) hesaplamaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.34-44'de verilmiştir. Şekil 4.11'de de teorik-deneysel data karşılaştırması yapılmıştır.

Tablo 4.34. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+{}_{74}W^{183}$ bombardımanındaki elastik ve inelastik tesir kesiti (mb)

Enerji (MeV)	100 MeV	200 MeV	300 MeV	400 MeV	500 MeV
İnelastik tesir kesiti (mb)	1725,31	1527,81	1470,73	1471,97	1491,9
Monte carlo inelastik tesir kesiti (mb)	1458,31	1399,99	1398,23	1425,66	1461,62
Elastik tesir kesiti (mb)	1010,33	995,59	961,45	915,42	868,29
Fisyon tesir kesiti (mb)	1,12145	3,85009	5,77998	8,33136	9,16028

Tablo 4.35. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+{}_{74}W^{183}$ bombardıman sonucunda (A) kütleyle bağlı izotop üretimi

p = 100 MeV			p = 200 MeV			p = 300 MeV			p = 500 MeV		
A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)
183	53,93	0,0963	183	28,31	0,1134	183	19,59	0,124	183	12,73	0,1283
182	154,8	0,1082	182	100,7	0,0881	182	89,02	0,0828	182	72,86	0,0718
181	148,7	0,1908	181	79,54	0,1653	181	64,33	0,1477	181	46,79	0,1362
180	202	0,254	180	102,4	0,1951	180	82,04	0,1767	180	63,97	0,1566
179	223,9	0,3262	179	95,26	0,2883	179	72,52	0,2766	179	53,44	0,2372
178	241,8	0,394	178	94,62	0,3604	178	69,27	0,3514	178	49,08	0,3193
177	248,9	0,46	177	102,9	0,4343	177	73,62	0,4376	177	52,2	0,3972

Tablo 4.35. (Devam): CEM03 programında farklı enerjilerde $p+{}_{74}\text{W}^{183}$ bombardıman sonucunda (A) kütleyle bağlı izotop üretimi

p = 100 MeV			p = 200 MeV			p = 300 MeV			p = 500 MeV		
A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)
176	216,5	0,5183	176	110,1	0,5137	176	80,15	0,5328	176	53,86	0,4936
175	160	0,6102	175	113,2	0,5755	175	81,14	0,6141	175	55,42	0,5919
174	50,33	0,6832	174	115,2	0,6621	174	82,14	0,7003	174	55,47	0,6565
173	12,99	0,9303	173	115,9	0,7309	173	81,7	0,7902	173	54,62	0,7928
172	8,558	1,002	172	109,2	0,8074	172	79,05	0,8728	172	57,21	0,8737
171	1,225	0,8828	171	97	0,8929	171	76,68	0,9647	171	57,21	0,9817
170	0,3623	1,497	170	89,48	0,965	170	78,9	1,082	170	58,78	1,089
169	0,2415	1,365	169	64,99	1,056	169	69,49	1,207	169	53,74	1,217
119	0,01725	33,21	168	45,62	1,198	168	68,07	1,326	168	56,68	1,374
118	0,01725	40,67	167	26,37	1,338	167	58,14	1,435	167	55,62	1,469
115	0,01725	44,03	166	17,31	1,478	166	55,06	1,538	166	55,9	1,6
113	0,01725	48,63	165	8,709	1,62	165	43,97	1,671	165	49,62	1,72
112	0,01725	49,74	164	4,324	1,667	164	38,97	1,82	164	51,72	1,862
111	0,03451	47,94	163	1,772	2,059	163	28,41	1,944	163	46,47	1,994
110	0,01725	40,05	162	0,8403	1,944	162	25,27	2,033	162	47,17	2,09
109	0,03451	50,25	161	0,1986	2,165	161	15,93	2,238	161	41,09	2,272
108	0,01725	59,52	160	0,06111	2,23	160	13,12	2,22	160	41,04	2,371
107	0,01725	38,56	159	0,04583	1,448	159	7,339	2,429	159	32,69	2,487
106	0,03451	50,27	127	0,01528	41	158	5,045	2,35	158	35,85	2,546
105	0,03451	44	120	0,01528	45,23	157	2,515	2,58	157	26,79	2,785
101	0,01725	57,18	117	0,01528	46,35	156	1,765	2,753	156	28,67	2,862
100	0,05176	44,38	116	0,04583	39,37	155	0,8089	2,671	155	19,72	3,003
99	0,08627	54,03	115	0,01528	44,98	154	0,4853	3,282	154	20,25	3,283
98	0,05176	54,38	114	0,04583	41,06	153	0,1324	3,03	153	15,49	3,318
97	0,08627	54,09	113	0,01528	44,12	152	0,1912	2,989	152	14,68	3,384
96	0,03451	50,79	112	0,03056	37,2	151	0,04412	5,227	151	10,22	3,599
95	0,08627	54,24	111	0,04583	43,75	150	0,01471	4,164	150	9,593	3,697
94	0,06901	56,41	110	0,1069	42,27	138	0,01471	26,75	149	6,908	3,569
93	0,08627	53,41	109	0,01528	42,53	125	0,01471	29,35	148	6,176	3,747
92	0,06901	62,66	108	0,03056	48,93	121	0,02941	30,78	147	3,834	3,898
91	0,06901	64,65	107	0,06111	41,67	119	0,01471	23,63	146	3,357	4,049
90	0,03451	63,74	106	0,07639	43,71	118	0,05883	40,12	145	2,089	4,794
89	0,01725	66,97	105	0,04583	47,93	117	0,02941	33,65	144	1,566	4,44
88	0,08627	57,45	104	0,09167	49,4	116	0,01471	39,33	143	0,8205	4,238
87	0,1035	62,56	103	0,1375	44,56	115	0,01471	32,94	142	0,6117	4,619
86	0,03451	61,31	102	0,1375	48,99	114	0,05883	36,73	141	0,1939	5,264
85	0,05176	67,54	101	0,09167	50,19	113	0,02941	33,89	140	0,3133	5,715
84	0,05176	67,23	100	0,1375	51,96	112	0,02941	54,67	139	0,1044	5,126
83	0,06901	63,74	99	0,09167	46,12	111	0,02941	39,44	138	0,05968	3,934
82	0,08627	65,67	98	0,1986	50,83	110	0,04412	39,22	137	0,01492	4,379
81	0,1035	64,56	97	0,1986	49,76	109	0,1324	42,71	136	0,01492	10,8
80	0,08627	75,58	96	0,1681	54,87	108	0,05883	38,31	135	0,01492	4,065
79	0,08627	70,59	95	0,07639	53,94	107	0,02941	39,25	128	0,01492	21,63
78	0,03451	62,07	94	0,1528	55,8	106	0,04412	38,67	124	0,01492	32,27
77	0,05176	67,59	93	0,1069	56,49	105	0,1177	42,63	122	0,02984	17,02
76	0,03451	60,24	92	0,1375	53,65	104	0,07354	51,35	121	0,02984	43,64
75	0,03451	79,15	91	0,2139	54,83	103	0,1324	46,12	120	0,01492	24,47
74	0,03451	64,82	90	0,2139	54,94	102	0,1324	45,92	119	0,05968	25,48
72	0,03451	82,34	89	0,1375	55	101	0,1177	42,48	118	0,02984	30,99
70	0,01725	70,36	88	0,275	61,02	100	0,1912	47,25	117	0,01492	22,84
69	0,01725	75,29	87	0,2597	55,88	99	0,1324	48,36	116	0,02984	28,06
68	0,01725	80,15	86	0,3361	59,73	98	0,1324	50,65	115	0,04476	22,18
67	0,05176	74,21	85	0,2292	60,58	97	0,2353	52,99	114	0,04476	28,9
65	0,01725	70,35	84	0,1986	62,13	96	0,1324	50,79	113	0,02984	20,79

Tablo 4.35. (Devam): CEM03 programında farklı enerjilerde $p+{}_{74}\text{W}^{183}$ bombardıman sonucunda (A) kütleyle bağlı izotop üretimi

p = 100 MeV			p = 200 MeV			p = 300 MeV			p = 500 MeV		
A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)
64	0,05176	73,79	83	0,1375	66,07	95	0,2059	48,51	112	0,02984	38,89
63	0,01725	87,34	82	0,2445	59,95	94	0,1765	50,85	111	0,05968	45,12
			80	0,2597	63,41	92	0,2647	51,78	109	0,08951	29,42
			79	0,1528	66,87	91	0,2353	54,69	108	0,05968	38,32
			78	0,2903	68,67	90	0,353	52,63	107	0,0746	38,56
			77	0,2139	64,85	89	0,353	57,61	106	0,0746	34,87
			76	0,1833	70,16	88	0,2941	58,64	105	0,1939	34,75
			75	0,1375	68,47	87	0,3383	58,13	104	0,179	43,31
			74	0,09167	66,61	86	0,353	54,91	103	0,1044	42,99
			73	0,1681	68,41	85	0,3089	56,55	102	0,1194	38,15
			72	0,1069	75,13	84	0,3677	57,07	101	0,1343	45,48
			71	0,1681	76,26	83	0,25	57,91	100	0,1939	44,36
			70	0,1069	77,75	82	0,2206	57,22	99	0,1343	38,98
			69	0,09167	65,51	81	0,353	57,83	98	0,2089	42,15
			68	0,1222	76,84	80	0,5442	62,78	97	0,2387	41,04
			67	0,1222	68,76	79	0,2206	60,46	96	0,2238	45,21
			66	0,09167	61,94	78	0,4118	61,58	95	0,3133	47,87
			65	0,09167	78,54	77	0,2794	66,32	94	0,2089	45,88
			64	0,01528	66,8	76	0,2941	63,1	93	0,2238	49,82
			63	0,06111	80,56	75	0,2206	63,43	92	0,3133	45,36
			62	0,07639	84,64	74	0,3677	69,01	91	0,2536	45,72
			61	0,07639	77,1	73	0,2353	63,98	90	0,4923	48,9
			60	0,06111	72,41	72	0,1618	59,77	89	0,3879	41,81
			59	0,07639	73,17	71	0,1471	65,58	88	0,4625	49,5
			58	0,04583	72,74	70	0,3089	68,73	87	0,4028	50,84
			57	0,03056	88,84	69	0,1324	66,48	86	0,4028	49,94
			56	0,06111	76,34	68	0,1912	65,35	85	0,4327	56,44
			55	0,01528	99,01	67	0,2059	70,2	84	0,3879	51,69
			54	0,01528	78,04	66	0,1912	66,57	83	0,5222	57,66
			51	0,01528	78,48	65	0,1618	68,12	82	0,3431	51,42
			46	0,01528	93,06	64	0,103	64,76	81	0,4476	56,11
						63	0,1177	66,25	80	0,3879	55,61
						62	0,1471	75,63	79	0,5669	58,99
						61	0,103	75,81	78	0,2984	58,2
						60	0,04412	76,73	77	0,4476	56,64
						59	0,08824	76,33	76	0,5371	62,82
						58	0,04412	78,74	75	0,5072	55,46
						57	0,08824	69,18	74	0,4177	58,99
						56	0,07354	83,96	73	0,4327	60,61
						55	0,02941	70,56	72	0,4476	57,97
						54	0,05883	78,73	71	0,2387	61,34
						53	0,05883	67,85	70	0,4177	62,47
						52	0,01471	66,67	69	0,373	59,45
						51	0,04412	80,29	68	0,3581	65,26
						50	0,05883	84,94	67	0,4774	60,49
						49	0,01471	77,37	66	0,4923	65,36
						47	0,01471	78,02	65	0,3282	63,91
						46	0,01471	60,96	64	0,2685	61,98
						45	0,02941	72,25	63	0,2387	64,61
						42	0,02941	87,42	62	0,1939	73,2
						31	0,01471	103,3	61	0,2835	65,12

Tablo 4.36. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{74}W^{183}$ bombardıman sonucunda (Z) yüke bağlı izotop üretimi

p = 100 MeV			p = 200 MeV			p = 300 MeV			p = 500 MeV		
Z Yük	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	Z Yük	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	Z Yük	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	Z Yük	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)
75	522,3	0,4063	76	0,2445	1,249	75	155,3	0,5081	75	95,82	0,4955
74	948,3	0,3412	75	219,4	0,461	74	528,2	0,5267	74	363,1	0,518
73	231,9	0,4292	74	684,1	0,4752	73	355,5	0,7397	73	281	0,7544
72	20,17	0,7075	73	385,4	0,6383	72	219,8	1,237	72	210	1,31
71	1,518	1,083	72	167,5	0,9205	71	130,6	1,621	71	183,6	1,758
70	0,01725	2,743	71	55,61	1,136	70	55,74	1,971	70	149,8	2,253
49	0,05176	40,84	70	10,47	1,361	69	11,6	2,132	69	58,54	2,543
48	0,01725	44,03	69	1,085	2,061	68	5,559	2,433	68	71,37	2,977
47	0,06901	46,42	68	0,1528	1,409	67	0,956	2,752	67	23,8	3,332
46	0,03451	50,25	67	0,01528	0,9274	66	0,2647	3,566	66	24,68	3,496
45	0,05176	48,43	53	0,01528	41	65	0,02941	2,845	65	8,713	3,802
44	0,05176	43,09	52	0,01528	33,3	60	0,01471	26,75	64	6,878	4,199
43	0,03451	46,51	51	0,03056	45,79	54	0,01471	29,35	63	2,417	4,524
42	0,1898	52,71	50	0,03056	48,03	53	0,02941	27,87	62	1,029	4,955
41	0,1208	54,22	49	0,1069	38,74	52	0,04412	35,88	61	0,2387	5,393
40	0,1898	58,29	48	0,09167	39,72	51	0,04412	35,86	60	0,08951	3,226
39	0,138	58,76	47	0,1375	44,48	50	0,08824	43,21	59	0,01492	8,225
38	0,1725	58,06	46	0,1375	46,76	49	0,07354	34,51	57	0,01492	21,63
37	0,1725	64	45	0,2903	47,41	48	0,2353	41,31	55	0,01492	50,32
36	0,138	65,58	44	0,2903	49,33	47	0,08824	41,68	54	0,02984	22,72
35	0,1898	66,35	43	0,3056	48,32	46	0,1912	43,27	53	0,05968	25,7
34	0,1208	72,38	42	0,3208	53,09	45	0,2794	47,4	52	0,1194	25,85
33	0,1725	71,65	41	0,4125	54,78	44	0,4118	46,8	51	0,02984	24,18
32	0,05176	59,35	40	0,4736	54,61	43	0,3971	51,65	50	0,05968	25,07
31	0,03451	71,24	39	0,4125	56,58	42	0,5148	49,48	49	0,1194	34,53
30	0,06901	73,88	38	0,6417	59,63	41	0,2941	49,36	48	0,2536	33,59
29	0,03451	73,23	37	0,3972	61,14	40	0,8824	54,53	47	0,2536	41,69
28	0,06901	76,04	36	0,4889	61,52	39	0,5883	55,48	46	0,2984	41,51
27	0,01725	87,34	35	0,5042	65,44	38	0,8383	57,41	45	0,3581	38,43
26	0,05176	78,27	34	0,4583	65,27	37	0,706	58,02	44	0,5669	42,01
			33	0,4583	67,66	36	0,8971	60,01	43	0,3282	47,43
			32	0,3361	69,16	35	0,7207	59,86	42	0,5968	45,18
			31	0,2903	75,67	34	0,7942	65,18	41	0,5222	48,6
			30	0,2445	73	33	0,5295	65,92	40	1,074	46,86
			29	0,1986	70,75	32	0,4706	64,73	39	0,8355	49,56
			28	0,1986	79,28	31	0,4265	68,15	38	1,104	52,34
			27	0,1681	74,36	30	0,4559	65,59	37	0,7907	53,7
			26	0,07639	79,61	29	0,353	67,05	36	1,253	56,57
			25	0,09167	73,87	28	0,3677	71,59	35	1,044	56,87
			24	0,01528	89,89	27	0,1765	77,61	34	0,9101	61,6
			23	0,01528	99,01	26	0,1471	77,39	33	1,044	58
			22	0,03056	78,26	25	0,1324	68,83	32	0,9697	59,56
			21	0,01528	93,06	24	0,1324	78,43	31	0,6117	62,39
						23	0,103	80,13	30	1,238	63,95
						22	0,01471	67,58	29	0,552	65,95
						21	0,02941	77,91	28	0,6714	64,63
						20	0,04412	75,62	27	0,4476	69,32
						18	0,01471	75,63	26	0,4625	69,96
						13	0,01471	103,3	25	0,4177	70,5

Tablo 4.37. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{74}W^{183}$ bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötron ve protonların sayıları

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	T		C		P		Sp		Pf		F		E	
	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p
100	4,659	0,656 6	0,492 8	0,399 8	0,327 3	0,220 5	3,833 9	0,036 3	0,000 5		0,004 5	0	3,838 9	0,03 64
125	5,301 1	0,748 8	0,668 2	0,479 7	0,348 4	0,215	4,273	0,054	0,001 3		0,010 2	0	4,284 5	0,05 41
150	5,903 6	0,831 3	0,892 2	0,561 3	0,341 5	0,196 8	4,649 1	0,072 9	0,002 5	0,000 1	0,018 4	0,0 002	4,669 9	0,07 31
175	6,444	0,898 5	1,146 6	0,632 8	0,316 7	0,169 4	4,957 2	0,095 9	0,002 8	0,000 2	0,020 7	0,0 002	4,980 7	0,09 63
200	6,909	0,966 9	1,367 3	0,697 1	0,300 2	0,150 3	5,213 3	0,118 8	0,003 6	0,000 2	0,024 6	0,0 006	5,241 5	0,11 96
250	7,723 5	1,132 3	1,611 1	0,789 9	0,332 5	0,164	5,743 1	0,177 5	0,004 4	0,000 3	0,032 5	0,0 007	5,78	0,17 85
300	8,490 3	1,299 5	1,796 7	0,854 3	0,394 9	0,197	6,247 1	0,246	0,006 3	0,000 5	0,045 3	0,0 018	6,298 7	0,24 83
350	8,878 7	1,278 5	1,757 1	0,751 1	0,415 3	0,217 3	6,634 4	0,306 5	0,008 7	0,000 8	0,063 2	0,0 028	6,706 3	0,31 02
400	9,450 8	1,393 5	1,911 1	0,779 1	0,437 9	0,236 3	7,019 6	0,372 7	0,009 7	0,001 2	0,072 5	0,0 042	7,101 8	0,37 81
500	10,58 5	1,635	2,219	0,816	0,481	0,267	7,788	0,544	0,010	0,001	0,085	0,0 05	7,884	0,55

(T: Tüm üretim mekanizması, C: Kaskad, P: Denge öncesi, Sp: Spallation atık sonrası, F: Fisyon, E: Toplam buharlaşma)

Tablo 4.38. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{74}W^{183}$ bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötron ve protonların verimi (mb)

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	T		C		P		Sp		Pf		F		E	
	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p
100	8038,142	1132,857	850,165	689,745	564,66	380,397	6614,639	62,698	0,897		7,781	0,017	6623,317	62,715
125	8792,015	1241,846	1108,285	795,622	577,893	356,581	7086,814	89,576	2,156		16,867	0,066	7105,837	89,643
150	9465,666	1332,894	1430,572	900,034	547,502	315,591	7454,162	116,805	3,96	0,176	29,47	0,289	7487,593	117,27
175	10054,318	1401,903	1788,943	987,277	494,153	264,372	7734,509	149,677	4,416	0,234	32,298	0,343	7771,222	150,254
200	10555,612	1477,259	2088,951	1065,055	458,589	229,554	7964,972	181,504	5,546	0,275	37,554	0,871	8008,072	182,65
250	11491,113	1684,687	2396,944	1175,143	494,666	244,03	8544,543	264,041	6,606	0,476	48,354	0,997	8599,503	265,514
300	12486,956	1911,233	2642,453	1256,433	580,763	289,69	9187,806	361,786	9,324	0,677	66,61	2,647	9263,74	365,11
350	13028,79	1876,156	2578,435	1102,194	609,435	318,841	9735,413	449,809	12,781	1,203	92,726	4,109	9840,92	455,121
400	13911,23	2051,177	2813,01	1146,739	644,635	347,856	10332,603	548,633	14,234	1,766	106,747	6,182	10453,585	556,582
500	15792,256	2440,589	3310,861	1218,154	718,501	398,98	11619,165	811,968	16,038	2,641	127,692	8,847	11762,895	823,456

(T: Tüm üretim mekanizması, C: Kaskad, P: Denge öncesi, Sp: Spallation atık sonrası, F: Filyon, E: Toplam buharlaşma)

Tablo 4.39. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{74}W^{183}$ bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötron ve protonların ortalama kinetik enerjisi <TKE> (MeV)

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	T		C		P		Sp		Pf		F		E	
	E_n	E_p	E_n	E_p	E_n	E_p	E_n	E_p	E_n	E_p	E_n	E_p	E_n	E_p
100	6,17	39,88	31,24	47,63	17,73	30,72	1,96	10,28	3,16		2,9	6,63	1,97	10,28
125	7,15	45,71	34,12	56,69	17,67	30,07	2,09	10,44	3,8		3,17	5,19	2,09	10,43
150	8,02	50,95	35,12	64,26	16,65	28	2,21	10,55	4,14	11,54	3,31	6,42	2,21	10,55
175	8,86	56,62	35,59	71,89	15,14	25,79	2,29	10,6	3,81	11,56	3,53	8,18	2,3	10,6
200	9,68	62,27	36,68	79,35	14,07	24,11	2,38	10,65	4,48	11,44	3,45	7,46	2,39	10,63
250	11,27	70,57	41,89	93,8	14,36	23,77	2,55	10,79	4,92	12,3	3,73	8,96	2,56	10,78
300	12,83	76,04	47,77	106,8	15,03	24,44	2,72	10,9	5,4	12,46	3,97	8,81	2,73	10,88
350	14,03	86,76	56,3	135,9	15,62	24,98	2,85	11,01	5,71	13,43	4,19	8,98	2,86	11
400	15,29	90,23	60,77	148,3	16,28	25,39	2,97	11,1	5,84	13,4	4,33	8,84	2,99	11,08
500	17,39	90,57	67,73	165,3	17,27	26,13	3,21	11,24	6,44	13,45	4,63	8,98	3,23	11,23

(T: Tüm üretim mekanizması, C: Kaskad, P: Denge öncesi, Sp: Spallation atık sonrası, F: Filyon, E: Toplam buharlaşma)

Tablo 4.40. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+{}_{74}\text{W}^{183}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların çift diferansiyel tesir kesitleri (mb/MeV/sr); laboratuvar açısı = 25-35°

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	Çıkan nötron ve proton enerjisi $T_{n,p}$ (MeV)	Tesir kesiti (mb/MeV/sr)	
		n	p
100 MeV	0,0-10	61,47	0,69
	10,0-20	5,331	3,554
	20,0-30	3,617	3,642
	30,0-40	2,839	3,929
	40,0-50	2,691	4,278
	50,0-60	2,426	4,842
	60,0-70	2,52	5,079
	70,0-80	2,221	4,458
	80,0-90	1,871	2,643
	90,0-100	1,055	0,7939
200 MeV	0,0-10	77,9	1,032
	10,0-20	8,579	3,752
	20,0-30	4,405	2,65
	30,0-40	3,058	2,095
	40,0-50	2,165	1,585
	50,0-60	1,66	1,473
	60,0-70	1,428	1,387
	70,0-80	1,278	1,42
	80,0-90	1,127	1,473
	90,0-100	1,155	1,671
	100,0-110	1,124	2,067
	110,0-120	1,177	2,307
	120,0-130	1,205	2,678
	130,0-140	1,331	2,851
	140,0-150	1,322	2,935
	150,0-160	1,25	2,447
	160,0-170	1,052	1,805
	170,0-180	0,8007	1,242
180,0-190	0,5161	0,7086	
190,0-200	0,3236	0,212	

Tablo 4.40. (Devam): CEM03 programında farklı enerjilerde $p+{}_{74}\text{W}^{183}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların çift diferansiyel tesir kesitleri (mb/MeV/sr); laboratuvar açısı = 25-35°

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	Çıkan nötron ve proton enerjisi	Tesir kesiti (mb/MeV/sr)	
	$T_{n,p}$ (MeV)	n	p
300 MeV	0,0-10	89,37	1,748
	10,0-20	10,3	4,222
	20,0-30	4,883	2,143
	30,0-40	3,153	1,598
	40,0-50	2,132	1,348
	50,0-60	1,662	1,187
	60,0-70	1,501	0,9346
	70,0-80	1,241	0,8433
	80,0-90	1,061	0,8594
	90,0-100	0,897	0,889
	100,0-110	0,8755	0,803
	110,0-120	0,7762	0,7869
	120,0-130	0,7815	0,9507
	130,0-140	0,8299	0,897
	140,0-150	0,8299	1,16
	150,0-160	0,8084	1,3
	160,0-170	0,8299	1,456
	170,0-180	0,8809	1,542
	180,0-190	0,8863	1,789
	190,0-200	0,9937	1,99
200,0-210	0,9937	2,119	
210,0-220	0,9481	2,063	
220,0-230	0,9695	1,842	
230,0-250	0,9857	1,601	
240,0-250	0,9105	1,311	
250,0-260	0,6768	0,8406	
260,0-270	0,5533	0,5801	
270,0-280	0,3438	0,3921	
280,0-290	0,2283	0,1799	
290,0-300	0,1182	0,06446	

Tablo 4.41. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+{}_{74}\text{W}^{183}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların çift diferansiyel tesir kesitleri (mb/MeV/sr); laboratuvar açısı = 45-55°

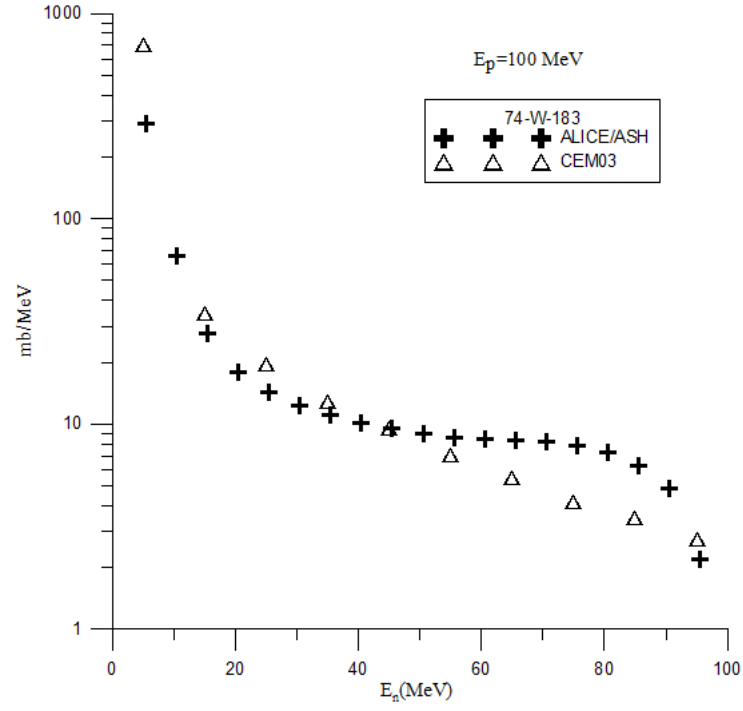
Proton (mermi) enerjisi (MeV)	Çıkan nötron ve proton enerjisi	Tesir kesiti (mb/MeV/sr)	
	$T_{n,p}$ (MeV)	n	p
100 MeV	0,0-10	61,18	0,9048
	10,0-20	4,849	3,866
	20,0-30	3,344	3,782
	30,0-40	2,316	3,239
	40,0-50	1,939	2,807
	50,0-60	1,32	1,818
	60,0-70	0,9028	1,131
	70,0-80	0,5614	0,584
	80,0-90	0,2858	0,2241
	90,0-100	0,09665	0,05758

Tablo 4.41. (Devam): CEM03 programında farklı enerjilerde $p+{}_{74}\text{W}^{183}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların çift diferansiyel tesir kesitleri (mb/MeV/sr); laboratuvar açısı = 45-55°

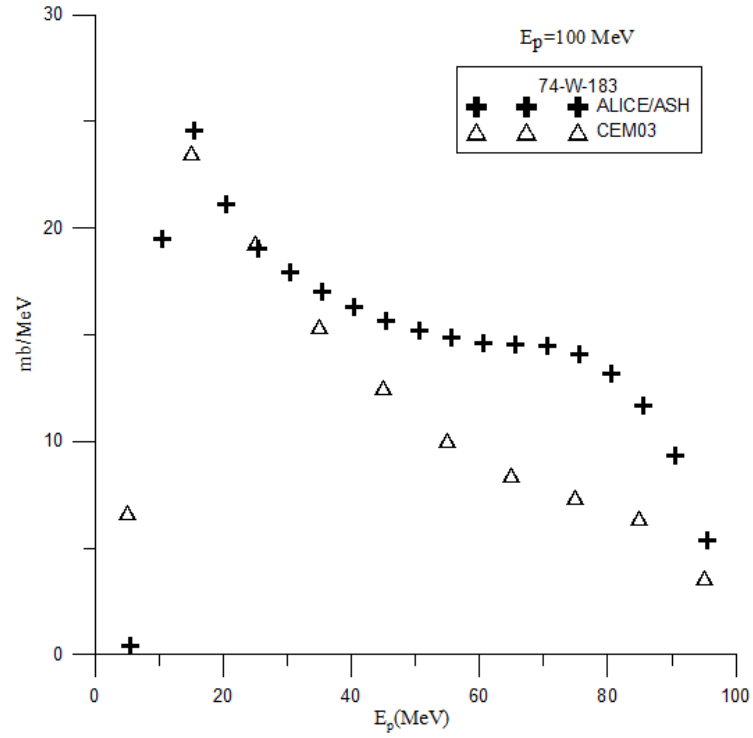
Proton (mermi) enerjisi (MeV)	Çıkan nötron ve proton enerjisi	Tesir kesiti (mb/MeV/sr)	
	$T_{n,p}$ (MeV)	n	p
200 MeV	0,0-10	76,27	1,227
	10,0-20	7,794	3,587
	20,0-30	4,263	2,673
	30,0-40	2,732	2,267
	40,0-50	2,158	2,05
	50,0-60	1,548	1,828
	60,0-70	1,448	1,91
	70,0-80	1,269	1,648
	80,0-90	1,062	1,561
	90,0-100	0,8686	1,258
	100,0-110	0,7685	1,018
	110,0-120	0,5791	0,7284
	120,0-130	0,5008	0,5864
	130,0-140	0,3496	0,346
	140,0-150	0,2495	0,2294
	150,0-160	0,1584	0,1184
	160,0-170	0,1129	0,06191
	170,0-180	0,04735	0,01821
	180,0-190	0,03278	0,005463
190,0-200	0,009105	0,001821	
300 MeV	0,0-10	88,17	1,611
	10,0-20	9,385	4,19
	20,0-30	4,486	2,34
	30,0-40	2,987	1,844
	40,0-50	2,109	1,467
	50,0-60	1,727	1,513
	60,0-70	1,472	1,448
	70,0-80	1,208	1,401
	80,0-90	1,189	1,467
	90,0-100	0,9957	1,387
	100,0-110	0,9256	1,381
	110,0-120	0,8835	1,292
	120,0-130	0,8362	1,146
	130,0-140	0,7187	0,9799
	140,0-150	0,6293	0,8747
	150,0-160	0,4943	0,8327
	160,0-170	0,4838	0,5539
	170,0-180	0,4067	0,4715
	180,0-190	0,3296	0,3874
	190,0-200	0,2717	0,2524
	200,0-210	0,2244	0,1578
210,0-220	0,156	0,128	
220,0-230	0,1455	0,05785	
230,0-250	0,07713	0,04207	
240,0-250	0,0596	0,02629	
250,0-260	0,02805	0,01578	
260,0-270	0,005259	0,005259	
270,0-280	0,007012	0,001753	
280,0-290	0,003506		
290,0-300	0,003506		

Tablo 4.42. ALICE/ASH ve CEM03 programları ile farklı enerjilerde $p+_{74}W^{183}$ bombardıman sonucunda enerjiye bağlı ortaya çıkan nötronların ve protonların enerji spektrumu (mb/MeV)

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	ALICE/ASH nötron ve protonların enerji spektrumu (mb/MeV)			CEM03 nötron ve protonların enerji spektrumu (mb/MeV)		
	Çıkan n ve p enerjisi (MeV)	n(mb/MeV)	p(mb/MeV)	Çıkan n ve p enerjisi (MeV)	n(mb/MeV)	p(mb/MeV)
100 MeV	5,5	289,3	0,4427	0,0-10	704,7	6,641
	15,5	27,66	24,56	10,0-20	34,47	23,52
	25,5	14,3	19,04	20,0-30	19,46	19,27
	35,5	11,11	17,03	30,0-40	12,79	15,4
	45,5	9,487	15,67	40,0-50	9,544	12,54
	55,5	8,643	14,86	50,0-60	7,019	10,04
	65,5	8,278	14,55	60,0-70	5,464	8,452
	75,5	7,813	14,06	70,0-80	4,167	7,381
	85,5	6,283	11,66	80,0-90	3,466	6,437
95,5	2,201	5,387	90,0-100	2,752	3,601	
200 MeV	5,5	449,4	0,4104	0,0-10	882,3	12,85
	15,5	27,42	24,15	10,0-20	63,09	30,03
	25,5	7,677	10,7	20,0-30	29,66	17,13
	35,5	6,393	10,08	30,0-40	17,5	12,14
	45,5	5,857	9,914	40,0-50	11,93	9,285
	55,5	5,404	9,568	50,0-60	8,496	7,667
	65,5	5,013	9,159	60,0-70	6,837	6,748
	75,5	4,682	8,752	70,0-80	5,616	5,757
	85,5	4,408	8,389	80,0-90	4,458	5,386
	95,5	4,215	8,111	90,0-100	3,867	4,777
	105,5	4,077	7,903	100,0-110	3,289	4,709
	115,5	3,973	7,746	110,0-120	2,834	4,24
	125,5	3,899	7,635	120,0-130	2,642	4,041
	135,5	3,852	7,566	130,0-140	2,312	3,813
	145,5	3,828	7,532	140,0-150	2,163	3,69
	155,5	3,823	7,528	150,0-160	1,939	3,645
165,5	3,832	7,546	160,0-170	1,836	3,496	
175,5	3,636	7,262	170,0-180	1,707	3,409	
185,5	2,863	5,877	180,0-190	1,636	3,072	
195,5	0,8496	2,494	190,0-200	1,502	1,844	



Şekil 4.9. $^{74}\text{W}^{183}$ elementinin 100MeV enerjili protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötronların enerji spektrumu (mb/MeV)



Şekil 4.10. $^{74}\text{W}^{183}$ elementinin 100 MeV enerjili protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan protonların enerji spektrumu (mb/MeV)

Tablo 4.43. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{74}W^{183}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan ikincil reaksiyon nötron verimi tesir kesiti (mb)

Reaksiyon türü	Proton (mermi) enerjisi (MeV)				
	100 MeV	200 MeV	300 MeV	400 MeV	500 MeV
(n,n)	31,23	16,82	12,13	10,27	8,13
(n,2n)	32,04	16,21	12,31	9,91	8,62
(n,3n)	46,43	21,97	14,78	13,06	10,5
(n,4n)	51,29	18,65	13,37	10,16	9,5
(n,5n)	73,12	23,73	17,72	12,67	10,95
(n,6n)	61,13	20,12	13,13	9,88	8,37
(n,7n)	77,62	24,72	17,3	12,11	9,43
(n,8n)	59,32	18,35	13,85	9,21	7,67
(n,9n)	73,53	20,52	14,28	9,11	7,97
(n,10n)	17,48	13,92	10,02	6,93	5,31

Tablo 4.44. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{74}W^{183}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların açısız dağılımı (mb/sr)

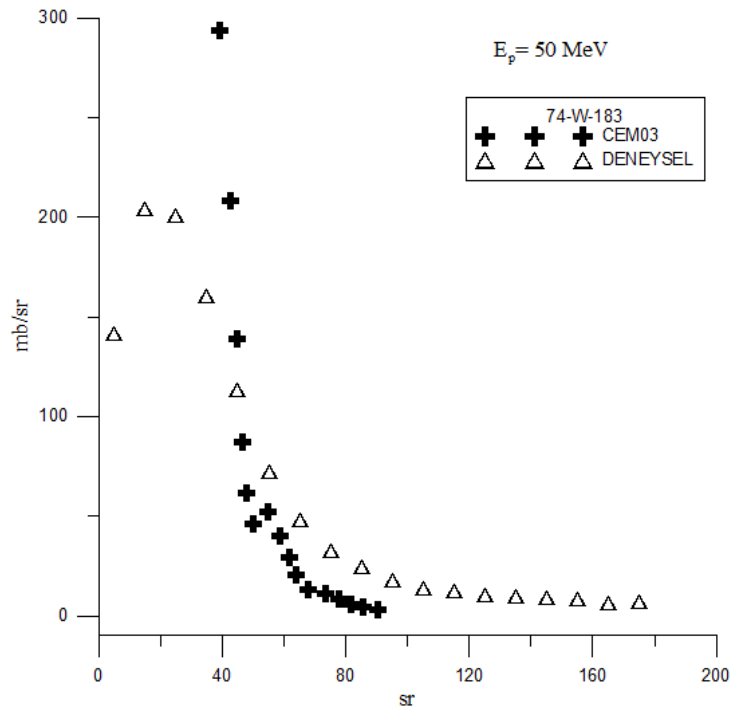
Proton (mermi) enerjisi (MeV)	Açı (derece) (sr)	n ve p'nun açığa bağlı tesir kesiti (mb/sr)	
		n(mb/sr)	p(mb/sr)
50 MeV	5	584,7	141,4
	15	608,4	204,2
	25	634,1	201,1
	35	608,9	160,7
	45	582	113,5
	55	551,7	72,47
	65	523,3	48,02
	75	499,5	32,4
	85	481,7	24,77
	95	469,7	18,17
	105	449,9	13,76
	115	440,9	12,58
	125	436,9	10,15
	135	431	9,602
	145	420,2	9,177
	100 MeV	5	822,9
15		880,4	386,3
25		879,8	371,8
35		844,6	303,8
45		788,9	221,6
55		739,7	149,8
65		695,8	94,83
75		655,5	63,2
85		621	41,67
95		594,6	31,39
105		569,7	23,7
115		545,9	18,67
125		533,7	14,96
135		528,4	13,17
145		520,6	12,52
155		511,9	11,29
165	507,1	11,69	
175	490,9	9,579	

Tablo 4.44. (Devam): CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{74}W^{183}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların açısal dağılımı (mb/sr)

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	Açı (derece) (sr)	n ve p'nun açığa bağlı tesir kesiti (mb/sr)	
		n(mb/sr)	p(mb/sr)
200 MeV	5	1138	373,6
	15	1195	430,6
	25	1154	403,2
	35	1106	342,4
	45	1046	269,3
	55	993,1	195,7
	65	933,7	141,4
	75	881,6	102,5
	85	831,7	73,01
	95	777,8	52,06
	105	741,7	40,97
	115	709,9	31,2
	125	686,6	27,5
	135	662	23,3
	145	651,3	22,64
300 MeV	5	1357	432,8
	15	1387	469,3
	25	1352	432,2
	35	1287	361,8
	45	1230	303,6
	55	1165	242,1
	65	1110	191,6
	75	1036	143,2
	85	987,8	110,3
	95	931,1	88,68
	105	892,6	73,71
	115	846,4	63,4
	125	816,3	56,69
	135	788,7	50,57
	145	769,1	47,99
400 MeV	5	1532	462,6
	15	1569	492,9
	25	1495	432,7
	35	1424	366,9
	45	1346	303,6
	55	1290	245,9
	65	1222	192,9
	75	1158	153,4
	85	1098	124,4
	95	1045	100,1
	105	991,6	87,7
	115	945,9	81,18
	125	915,8	72,58
	135	887,2	65,86
	145	868,2	63,27
155	852,8	64,27	
165	847,3	61,22	
175	840,1	61,22	

Tablo 4.44. (Devam): CEM03 programında farklı enerjilerde $p+{}_{74}\text{W}^{183}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların açısıl dağılımı (mb/sr)

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	Açı (derece) (sr)	n ve p'nun açığa bağlı tesir kesiti (mb/sr)	
		n(mb/sr)	p(mb/sr)
500 MeV	5	1837	563,4
	15	1840	562,8
	25	1717	471,6
	35	1617	388,4
	45	1527	326,4
	55	1455	279,8
	65	1384	228,4
	75	1300	187,6
	85	1238	152,6
	95	1181	132,2
	105	1120	117
	115	1088	106,4
	125	1035	99,36
	135	1009	97,78
	145	988,1	89,18
	155	975,8	92,8
165	958,6	84	
175	940,1	86,74	



Şekil 4.11. ${}_{74}\text{W}^{183}$ elementinin 50 MeV enerjili protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötronların açısıl dağılımı (mb/sr), deneysel değerler Kamitsubo vd (1967)' den alınmıştır.

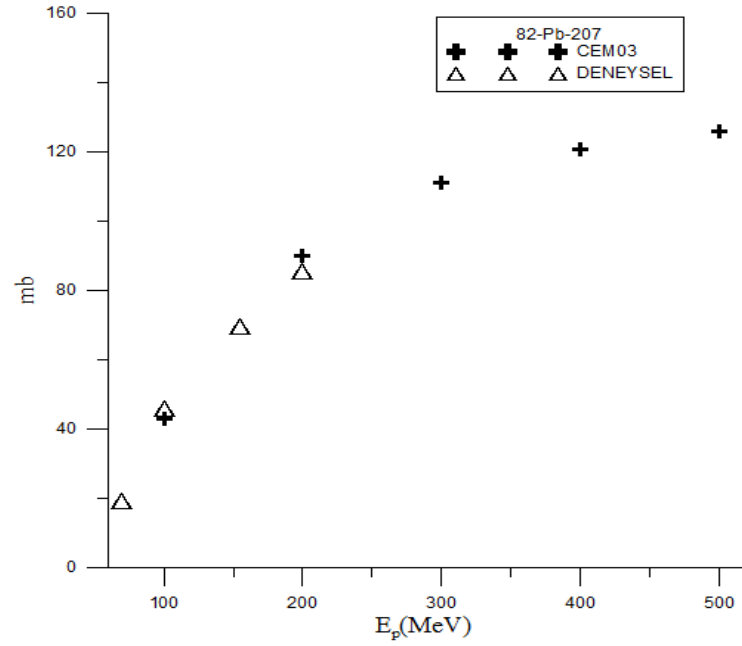
4.4.5. $p+_{82}\text{Pb}^{207}$ Reaksiyonu

Kurşun (Pb): Ses titreşimlerini emici özelliği çok güçlü olan kurşun, ses yalıtımında kullanılır. X-ışını ekipmanlarında ve nükleer santrallerde radyasyon kalkanı olarak işlev görür. Kurşun oksit, akromatik merceklerde kullanılan ve kırılma indisi yüksek olan kristal camların üretiminde kullanılır. Kurşun Deforma olmayan Çekirdek yapısına sahiptir. Kurşun elementinin Pb^{207} izotopunun bolluk oranı %22,1 dir.

CEM03 Programında farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{207}$ reaksiyonu sonucunda oluşan; elastik, inelastik ve fisyon tesir kesiti, (A) kütleyle bağlı izotop üretimi, (Z) yüke bağlı izotop üretimi, bombardıman sonucunda oluşan (T: Tüm üretim mekanizması, C: Kaskad, P: Denge öncesi, Sp: Spallation atık sonrası, E:Toplam buharlaşma) nötron ve protonların sayıları, oluşan nötron ve protonların verimi (mb), ortalama kinetik enerjisi <TKE> (MeV), çift diferansiyel tesir kesitleri (mb/MeV/sr), reaksiyon sonucunda enerjiye bağlı oluşan nötronların ve protonların enerji spektrumu (mb/MeV), oluşan ikincil reaksiyon nötron verimi tesir kesiti (mb) ve oluşan nötronların açısal dağılım tesir kesiti [mb/sr] hesaplamaları yapılmıştır. ALICE/ASH programı ile de reaksiyon sonucunda enerjiye bağlı oluşan nötronların ve protonların enerji spektrumu (mb/MeV) hesaplamaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.45-55'de verilmiştir. Şekil 4.12'de ve Şekil 4.13'de teorik-deneysel data karşılaştırması yapılmıştır.

Tablo 4.45. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{207}$ bombardımanındaki elastik ve inelastik tesir kesiti (mb)

Enerji (MeV)	100 MeV	200 MeV	300 MeV	400 MeV	500 MeV
İnelastik tesir kesiti (mb)	1869,35	1668,54	1603,29	1600,24	1618,71
Monte carlo inelastik tesir kesiti (mb)	1583,42	1518,1	1515,22	1533	1577,71
Elastik tesir kesiti (mb)	1024,98	1026,04	990,83	896,63	958,93
Fisyon tesir kesiti (mb)	43,0698	89,8843	111,076	120,914	125,854
Deneysel fisyon tesir kesiti (mb)	45,8	85,5			



Şekil 4.12. ${}_{82}\text{Pb}^{207}$ elementinin farklı enerjili protonlarla bombardımanı sonucunda oluşan reaksiyon tesir kesiti, deneysel değerler Shigaev vd (1973)' den alınmıştır.

Tablo 4.46. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+{}_{82}\text{Pb}^{207}$ bombardıman sonucunda (A) kütleyle bağlı izotop üretimi

p = 100 MeV			p = 200 MeV			p = 300 MeV			p = 500 MeV		
A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)
207	60,06	0,08674	207	30,4	0,09888	207	20,83	0,1079	207	13,78	0,1031
206	167,7	0,1049	206	108,1	0,08463	206	92,97	0,07789	206	74,78	0,06794
205	169	0,1834	205	85,28	0,1541	205	67,13	0,1444	205	48,16	0,1272
204	228,6	0,2377	204	109,5	0,1858	204	90,68	0,1705	204	67,56	0,1497
203	250,2	0,3085	203	99,11	0,268	203	76,72	0,2554	203	54,39	0,2204
202	286,9	0,3663	202	106,8	0,3413	202	77,31	0,3269	202	53,56	0,2973
201	258,8	0,4255	201	109,2	0,4045	201	76,25	0,4071	201	50,58	0,3754
200	214	0,4803	200	118,4	0,4744	200	83,64	0,4784	200	55,26	0,4542
199	141,9	0,555	199	114,1	0,5282	199	80,55	0,5586	199	52,12	0,5303
198	36,25	0,5975	198	123,9	0,6034	198	87,57	0,6488	198	58,13	0,6163
197	7,907	0,8505	197	114,9	0,6472	197	81,16	0,7006	197	56,85	0,6975
196	4,524	0,9383	196	116,2	0,7251	196	83,63	0,7832	196	57,17	0,8019
195	0,2991	0,7207	195	97,58	0,7651	195	75,55	0,8608	195	54,31	0,871
194	0,0747	1,713	194	86,43	0,8776	194	78,69	0,9655	194	58,63	0,9706
149	0,0186	40,15	193	60,17	0,9399	193	68,11	1,057	193	53,35	1,071
141	0,0186	50,16	192	42,85	1,043	192	64,9	1,164	192	54,39	1,187
136	0,0747	43,41	191	25,76	1,155	191	56,28	1,246	191	52,27	1,299
135	0,0186	42,79	190	15,08	1,226	190	53	1,358	190	51,47	1,407
134	0,0560	52,33	189	7,759	1,405	189	38,66	1,474	189	47,69	1,482
133	0,0747	52,58	188	3,854	1,486	188	36,38	1,567	188	47,98	1,624

Tablo 4.46. (Devam): CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{207}$ bombardıman sonucunda (A) kütleyle bağlı izotop üretimi

p = 100 MeV			p = 200 MeV			p = 300 MeV			p = 500 MeV		
A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)
132	0,07477	49,34	187	1,618	1,703	187	25,49	1,7	187	39,24	1,73
131	0,05608	53,77	186	1,151	1,751	186	23,14	1,825	186	40,58	1,829
130	0,1682	49,71	185	0,3003	1,485	185	14,25	1,994	185	33,62	1,951
129	0,1122	48,94	184	0,0667	1,883	184	12,57	2,049	184	37,12	2,062
128	0,1309	52,9	183	0,0166	0,7538	183	9,556	2,17	183	33,47	2,212
127	0,3178	53,13	148	0,0166	22,02	182	7,455	2,267	182	35,45	2,34
126	0,2991	55,2	145	0,0166	41,39	181	4,281	2,421	181	30,27	2,378
125	0,3552	55,5	144	0,0166	25,03	180	2,822	2,445	180	29,95	2,507
124	0,3552	54,94	143	0,0166	31,28	179	1,251	2,999	179	25,28	2,567
123	0,3926	54,33	141	0,0500	44,74	178	0,8978	2,744	178	23,84	2,667
122	0,486	54,89	140	0,0500	49	177	0,2726	3,008	177	18,5	2,89
121	0,8225	54,89	139	0,0333	43,39	176	0,1443	2,465	176	17,76	2,975
120	0,6169	56,93	138	0,0667	40,5	175	0,0320	2,476	175	13,27	3,188
119	0,5795	59,08	137	0,0333	48,77	174	0,0160	2,157	174	12,25	3,245
118	0,6917	57,8	136	0,0500	36,73	173	0,0320	2,598	173	8,935	3,125
117	0,9534	59,69	135	0,0667	47,95	161	0,0160	29,39	172	8,385	3,56
116	1,14	59,98	134	0,0667	41,08	147	0,0160	26,73	171	5,957	3,561
115	1,009	60,98	133	0,1669	43,9	146	0,0160	36,12	170	4,986	3,346
114	1,477	60,53	132	0,0667	43,54	145	0,0160	27,27	169	3,577	3,93
113	1,458	60,24	131	0,1001	48,88	144	0,0160	29,25	168	2,752	3,978
112	1,271	61,41	130	0,3003	48,65	143	0,0160	36,16	167	1,651	4,1
111	1,738	64,16	129	0,3003	49,27	142	0,0160	39,31	166	1,505	4,167
110	1,888	63,28	128	0,3671	49,06	141	0,0801	28,43	165	0,777	4,028
109	2,262	64,03	127	0,267	48,68	140	0,0320	38,03	164	0,7122	4,483
108	2,206	64,73	126	0,3838	52,9	139	0,0641	39,52	163	0,2266	5,875
107	2,337	65,24	125	0,6007	52,98	138	0,0641	39,16	162	0,1619	4,116
106	2,262	67,36	124	0,5006	51,59	137	0,0481	31,47	161	0,0971	3,787
105	2,879	67,15	123	0,8009	52,48	136	0,1283	39,53	160	0,0647	3,717
104	2,542	66,43	122	0,7842	53,08	135	0,0801	40,17	159	0,0323	3,578
103	2,935	68,41	121	0,9177	53,68	134	0,1443	43,67	158	0,0161	30,83
102	3,047	68	120	0,8343	55,42	133	0,0641	48,59	151	0,0161	29,08
101	2,58	70,05	119	1,118	55,94	132	0,3207	43,38	149	0,0161	25,78
100	2,954	70,33	118	1,502	53,87	131	0,1764	48,53	147	0,0323	34,4
99	2,916	71	117	1,418	57,25	130	0,2084	44,3	146	0,0161	49,12
98	3,122	70,97	116	1,785	58,3	129	0,2245	45,29	143	0,0323	31,54
97	3,084	71,5	115	1,919	58,28	128	0,2726	47,14	142	0,0647	35,35
96	2,729	74,56	114	2,369	58,99	127	0,3527	51,46	141	0,0485	42,87
95	2,561	74,08	113	2,603	58,4	126	0,3688	49,4	140	0,0971	42,24
94	2,954	74,91	112	2,603	59,25	125	0,5932	47,97	139	0,0485	37,48
93	2,318	75,26	111	3,12	60,95	124	0,6573	49,23	138	0,0647	44,02
92	2,299	74,22	110	3,17	61,51	123	0,6573	52,05	137	0,1133	43,43
91	2,019	75,03	109	3,337	60,41	122	0,994	53,09	136	0,0809	42,09
90	2,187	76,75	108	3,871	62,55	121	0,962	51,42	135	0,0323	54,06
89	2,038	76,99	107	3,971	63,94	120	1,17	55,24	134	0,0647	45,75
88	1,925	79,68	106	4,588	63,21	119	1,138	52,15	133	0,2104	41,29
87	1,477	78,61	105	4,722	64,39	118	1,395	54,5	132	0,0971	47,07
86	1,776	79,87	104	4,989	65,56	117	1,363	55,92	131	0,1457	39,7

Tablo 4.46. (Devam): CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{207}$ bombardıman sonucunda (A) kütleyle bağlı izotop üretimi

p = 100 MeV			p = 200 MeV			p = 300 MeV			p = 500 MeV		
A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)
85	1,421	80,97	103	4,488	65,8	116	1,828	54,14	130	0,1619	47,15
84	1,365	82,99	102	5,89	67,08	115	2,036	56,21	129	0,4047	44,5
83	0,8973	82,59	101	5,49	67,12	114	2,661	57,43	128	0,2104	40,77
82	0,9347	84,8	100	5,523	67,69	113	2,453	58,41	127	0,4532	44,45
81	0,673	85,51	99	5,156	68,76	112	2,645	57,62	126	0,518	44
80	0,7104	84,79	98	5,49	69,46	111	3,383	58,78	125	0,5342	49,66
79	0,7104	85,41	97	5,423	70,18	110	3,688	58,89	124	0,5504	49,44
78	0,5234	89,85	96	5,756	70,68	109	3,976	60,3	123	0,6313	50,23
77	0,5608	87,65	95	5,756	70,59	108	4,393	60,85	122	0,8579	49,44
76	0,5795	87,57	94	5,573	72,29	107	4,281	61,94	121	0,9227	51,91
75	0,3178	86,81	93	5,189	72,85	106	4,65	62,18	120	1,052	50,29
74	0,2804	90,26	92	4,922	73,78	105	5,131	62,74	119	1,392	52,44
73	0,2617	87	91	5,206	74,67	104	5,756	63,8	118	1,619	51,75
72	0,2056	92,37	90	4,922	75,12	103	5,355	63,61	117	1,683	52,53
71	0,1495	96,94	89	4,839	75,6	102	6,157	64,44	116	1,878	53,68
70	0,1495	93,69	88	5,339	76,36	101	5,724	64,61	115	2,121	54,58
69	0,05608	96,83	87	4,221	76,53	100	7,071	65,41	114	2,218	54,36
68	0,05608	92,09	86	4,605	77,78	99	6,125	67,14	113	2,347	55,7
67	0,09347	92,27	85	3,671	79,07	98	5,644	67,88	112	2,995	55,84
66	0,03739	90,75	84	3,404	79,04	97	6,381	68,09	111	2,493	56,24
65	0,03739	100,5	83	2,803	79,85	96	6,718	68,44	110	3,707	57,65
63	0,01869	92,39	82	2,736	80,74	95	6,237	70,47	109	3,707	58,73
60	0,01869	97,61	81	2,736	82,77	94	6,686	69,97	108	3,658	59,08
54	0,01869	111,8	80	2,503	82,04	93	6,173	70,27	107	3,966	60,22
			79	1,952	81,82	92	6,397	71,25	106	4,549	60,07
			78	1,852	84,76	91	6,044	72,24	105	4,613	60,24
			77	1,335	83,69	90	6,798	72,97	104	5,876	62,06
			76	1,402	84	89	6,461	73,17	103	5,876	62,35
			75	1,118	86,14	88	6,67	74,29	102	5,52	62,2
			74	1,018	86,82	87	6,461	75,9	101	5,746	63,34
			73	0,9844	88,36	86	6,173	75,68	100	7,236	64,18
			72	0,7175	86,21	85	5,323	75,69	99	6,005	64,33
			71	0,6007	87,6	84	4,858	77,39	98	6,167	65,8
			70	0,5172	91,05	83	4,088	78,39	97	6,442	66,33
			69	0,5172	89,38	82	4,136	79,28	96	7,203	65,85
			68	0,3838	91,65	81	3,96	79,79	95	7,236	67,36
			67	0,2336	90,02	80	3,126	79,67	94	7,041	67,31
			66	0,3504	91,61	79	2,87	81,52	93	6,75	68,24
			65	0,2336	95,23	78	3,239	83,33	92	7,883	69,4
			64	0,1835	91,3	77	2,213	82,86	91	7,122	69,59
			63	0,1502	95,12	76	2,261	83,23	90	8,158	70,34
			62	0,0667	97,73	75	2,052	84,98	89	7,543	70,97
			61	0,1335	92,22	74	1,683	84,39	88	6,831	72,77
			60	0,0834	96,29	73	1,507	84,52	87	6,896	72,85
			59	0,0834	96,15	72	1,523	84,79	86	7,236	73,15
			58	0,0500	106	71	0,8818	86,7	85	6,038	74,63
			57	0,0834	105,5	70	1,01	86,55	84	5,908	74,24

Tablo 4.46. (Devam): CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{207}$ bombardıman sonucunda (A) kütleyle bağlı izotop üretimi

p = 200 MeV			p = 300 MeV			p = 500 MeV		
A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)
56	0,0500	100,1	69	0,8016	89,28	83	5,002	75,8
54	0,0166	95,21	68	0,8337	86,85	82	5,374	75,14
53	0,0333	110,3	67	0,6093	89,27	81	4,597	77,23
43	0,0166	97,35	66	0,481	87,85	80	4,225	76,39
			65	0,4489	88,75	79	4,565	77,6
			64	0,4169	89,15	78	3,48	78,16
			63	0,2565	91,4	77	3,221	79,42
			62	0,2726	89,52	76	3,48	78,26
			61	0,0962	101,2	75	2,768	79,71
			60	0,2245	92,7	74	2,622	81,96
			59	0,2565	93,03	73	2,153	80,82
			58	0,1764	92,58	72	2,558	82,01
			57	0,0962	98	71	1,797	80,78
			56	0,0481	103,2	70	1,845	83,43
			55	0,0801	99,94	69	1,603	85,4
			54	0,0962	101,7	68	1,489	85,31
			53	0,0641	100,8	67	1,246	84,65
			52	0,1122	101	66	1,311	83,33
			51	0,0320	102,8	65	0,8255	86,61
			50	0,0320	106,1	64	0,9388	88,11
			49	0,0320	108,5	63	0,6799	88,36
			48	0,0320	95,98	62	0,4694	83,66
			47	0,0320	104,8	61	0,5665	85,49
			46	0,0320	99,77	60	0,696	89,74
			44	0,0160	80,93	59	0,3237	87,85
			42	0,0160	104,3	58	0,3561	84,85

Tablo 4.47. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{207}$ bombardıman sonucunda (Z) yüke bağlı izotop üretimi

p = 100 MeV			p = 200 MeV			p = 300 MeV			p = 500 MeV		
Z Yük	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	Z Yük	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	Z Yük	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	Z Yük	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)
83	589,9	0,3683	83	253,4	0,4309	83	169,4	0,4677	83	104,4	0,4584
82	1018	0,3102	82	771,7	0,4459	82	595,4	0,4993	82	402,8	0,5061
81	206	0,3622	81	373,7	0,5629	81	365,1	0,6787	81	289	0,6853
80	12,23	0,5886	80	142,8	0,8431	80	219,9	1,147	80	227,9	1,244
79	0,2991	0,7102	79	26,71	1,005	79	57,46	1,396	79	76,19	1,449
78	0,01869	0,4312	78	9,144	1,304	78	64,36	1,865	78	177,7	2,054
61	0,01869	40,15	77	0,9177	1,704	77	13,79	2,234	77	82,85	2,382
58	0,01869	50,16	62	0,01669	22,02	76	4,217	2,394	76	71,17	2,769
56	0,1122	42,64	60	0,01669	51,86	75	0,6093	2,177	75	26,11	3,137
55	0,09347	53,5	59	0,06674	37,86	74	0,08016	5,149	74	19,88	3,331
54	0,2056	49,86	58	0,1335	42,53	73	0,01603	4,598	73	7,899	3,942

Tablo 4.47. (Devam): CEM03 programında farklı enerjilerde p+₈₂Pb²⁰⁷ bombardıman sonucunda (Z) yükü bağlı izotop üretimi

p = 100 MeV			p = 200 MeV			p = 300 MeV			p = 500 MeV		
Z Yük	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	Z Yük	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	Z Yük	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	Z Yük	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)
53	0,3365	52,39	57	0,1835	42,78	65	0,01603	29,39	72	3,496	4,23
52	0,8038	52,69	56	0,2503	45,81	64	0,01603	26,73	71	1,263	4,242
51	1,327	55,88	55	0,3504	47,69	61	0,03207	26,83	70	0,4047	4,298
50	1,589	55,89	54	0,5339	48,35	60	0,1283	32,7	69	0,06475	3,235
49	1,982	58,34	53	1,068	50,41	59	0,1122	35,11	68	0,03237	6,837
48	2,411	59,85	52	1,652	51,43	58	0,1764	37,89	66	0,01619	30,83
47	3,514	60,82	51	2,353	53,68	57	0,3527	43,38	64	0,04856	31,53
46	4,58	62,75	50	3,287	55,52	56	0,4329	44,88	63	0,01619	29,08
45	5,141	64,94	49	4,255	57,47	55	0,4489	45,29	62	0,08094	37,22
44	6,113	65,71	48	6,09	59,17	54	0,5612	47,56	61	0,04856	39,48
43	7,197	67,97	47	7,458	60,04	53	1,555	49,36	60	0,1457	41,2
42	7,477	70,13	46	8,827	61,92	52	1,844	49,2	59	0,1295	41,41
41	7,347	71,3	45	11,3	63,75	51	2,886	53,38	58	0,2752	40,63
40	7,309	73,15	44	11,86	65,3	50	3,96	55,05	57	0,3237	42,04
39	6,169	74,92	43	12,45	67,27	49	4,794	56,42	56	0,4532	41,96
38	5,066	75,83	42	14,25	68,5	48	7,984	57,1	55	0,6151	43,37
37	4,804	78,29	41	13,42	70,73	47	8,193	59,63	54	0,8417	47,11
36	3,514	81,66	40	14,27	72,53	46	11,32	60,92	53	2,25	48,5
35	2,449	81,93	39	11,96	74,27	45	12,51	62,65	52	2,606	49,49
34	1,982	85,26	38	11,7	75,89	44	14,89	64,13	51	3,367	50,86
33	1,608	86,58	37	9,778	77,36	43	14,29	66,48	50	4,306	53,17
32	1,383	86,98	36	8,376	78,99	42	16,37	67,52	49	5,131	55,42
31	0,7477	89,26	35	6,758	80,84	41	14,46	69,51	48	8,336	56,09
30	0,3739	94,43	34	5,323	83,13	40	16,79	70,97	47	8,417	58,83
29	0,2243	90,23	33	3,788	84,13	39	15,01	72,39	46	10,62	58,85
28	0,09347	96,2	32	2,703	87,14	38	15,1	74,97	45	14	61,82
27	0,09347	96,83	31	2,036	87,56	37	12,59	76,52	44	15,52	63,01
26	0,01869	96,74	30	1,301	89,79	36	11,17	78,07	43	13,68	65
25	0,01869	97,61	29	0,5673	90,86	35	9,107	79,77	42	17,63	65,7
22	0,01869	111,8	28	0,6007	92,21	34	7,006	82,43	41	14,96	68,35
			27	0,3003	91,92	33	5,579	82,56	40	20,85	69,09
			26	0,1835	95,52	32	4,169	85,22	39	15,02	71,62
			25	0,2002	103,7	31	2,421	86,27	38	17	72,93
			24	0,08343	105,5	30	2,004	88,36	37	14,15	74,11
			23	0,01669	91,49	29	1,315	89,24	36	13,21	75,89
						28	0,8016	90,85	35	9,971	77,48
						27	0,5451	90,18	34	8,353	79,02
						26	0,4489	93,83	33	7,737	79,51
						25	0,2726	100,2	32	5,989	82,49
						24	0,1603	99,35	31	3,61	84,79
						23	0,1443	104,8	30	3,95	83,69
						22	0,0962	98,09	29	2,299	87,93
						21	0,03207	110	28	1,522	88,24
						20	0,03207	98,85	27	1,246	85,94
						19	0,01603	80,93	26	0,8903	87,41
						17	0,01603	104,3	25	0,6313	89,5

Tablo 4.48. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{207}$ bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötron ve protonların sayıları

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	T		C		P		Sp		Pf		F		E	
	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p
100	4,678 6	0,656 3	0,479 4	0,377 9	0,36 72	0,254 9	3,638 3	0,023 4	0,038	0,000 1	0,155 8	0,000 1	3,83 2	0,023 5
125	5,431 8	0,738 7	0,662 9	0,453 6	0,39 96	0,252 1	4,053 2	0,032 3	0,072 9	0,000 3	0,243 2	0,000 3	4,36 93	0,032 9
150	6,104	0,804 5	0,894 5	0,531	0,39 5	0,228 8	4,411 1	0,043 1	0,097 7	0,000 9	0,305 7	0,000 7	4,81 45	0,044 7
175	6,754 8	0,854	1,156 5	0,601 1	0,37 69	0,196 2	4,725	0,053 9	0,120 7	0,001 7	0,375 8	0,001 2	5,22 14	0,056 7
200	7,302 5	0,903 6	1,395 4	0,659 9	0,35 34	0,171 3	4,973 6	0,067 6	0,147 2	0,002 9	0,432 9	0,001 9	5,55 37	0,072 4
250	8,205 1	1,039 9	1,656 5	0,747 6	0,38 19	0,181 5	5,462 8	0,102 8	0,183 2	0,004 3	0,520 7	0,003 7	6,16 67	0,110 8
300	9,019 3	1,187 5	1,843 1	0,813	0,43 58	0,208 2	5,875 9	0,152 7	0,226 2	0,006 8	0,638 3	0,006 9	6,74 04	0,166 4
350	9,517 2	1,153 1	1,838 9	0,705 8	0,46 54	0,229 1	6,277	0,199 6	0,238 9	0,008 5	0,697	0,01	7,21 29	0,218 2
400	10,16 88	1,257 3	1,997 2	0,734 2	0,49 9	0,244 5	6,656 6	0,254 5	0,258 4	0,009 9	0,757 6	0,014 3	7,67 26	0,278 7
500	11,46 42	1,458 6	2,323	0,766 1	0,54 47	0,280 5	7,491 1	0,376 6	0,269 6	0,013 3	0,835 7	0,022	8,59 65	0,411 9

(T: Tüm üretim mekanizması, C: Kaskad, P: Denge öncesi, Sp: Spallation atık sonrası, F: Fisyon, E: Toplam buharlaşma)

Tablo 4.49. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{207}$ bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötron ve protonların verimi (mb)

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	T		C		P		Sp		Pf		F		E	
	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p
100	8746,009	1226,928	896,222	706,408	686,462	476,516	6801,176	43,724	70,942	0,15	291,207	0,131	7163,325	44,004
125	9800,256	1332,692	1195,986	818,407	721,041	454,918	7312,948	58,258	131,564	0,505	438,716	0,541	7883,228	59,305
150	10671,483	1406,493	1563,751	928,338	690,624	400,025	7711,92	75,351	170,772	1,626	534,415	1,154	8417,107	78,131
175	11505,418	1454,561	1969,892	1023,781	641,902	334,135	8047,972	91,739	205,621	2,879	640,012	2,027	8893,606	96,645
200	12184,524	1507,644	2328,216	1101,07	589,679	285,771	8298,708	112,86	245,543	4,805	722,378	3,137	9266,628	120,802
250	13325,183	1688,806	2690,121	1214,109	620,257	294,725	8871,567	166,997	297,567	7,016	845,67	5,96	10014,804	179,973
300	14460,585	1903,957	2955,075	1303,444	698,699	333,725	9420,814	244,887	362,616	10,918	1023,381	10,983	10806,812	266,788
350	15202,613	1841,974	2937,459	1127,481	743,406	365,992	10026,821	318,902	381,535	13,562	1113,392	16,038	11521,747	348,501
400	16272,47	2012,033	3195,957	1174,898	798,537	391,227	10652,113	407,294	413,487	15,81	1212,376	22,803	12277,976	445,908
500	18557,16	2361,062	3760,239	1240,14	881,774	454,112	12125,909	609,67	436,419	21,513	1352,818	35,628	13915,147	666,81

(T: Tüm üretim mekanizması, C: Kaskad, P: Denge öncesi, Sp: Spallation atık sonrası, F: Fisyon, E: Toplam buharlaşma)

Tablo 4.50. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{207}$ bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötron ve protonların ortalama kinetik enerjisi <TKE> (MeV)

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	T		C		P		Sp		Pf		F		E	
	E_n	E_p	E_n	E_p	E_n	E_p	E_n	E_p	E_n	E_p	E_n	E_p	E_n	E_p
100	6,38	40,15	30,89	47,94	17,61	31,3	2,2	10,96	3,37	11,07	2,65	8,16	2,23	10,95
125	7,27	45,87	33,47	56,97	17,52	30,43	2,31	11,08	3,61	11,58	2,74	7,55	2,35	11,05
150	8,08	51,61	34,64	64,96	16,6	28,56	2,39	11,19	3,83	11,99	2,85	8,12	2,45	11,16
175	8,76	57,59	34,73	72,19	15,29	26,27	2,47	11,26	3,93	12,44	2,95	7,9	2,54	11,22
200	9,5	63,79	35,73	79,75	14,18	24,55	2,53	11,22	4,01	12,4	3,01	8,1	2,61	11,19
250	10,96	73,23	40,68	94,26	14,42	24,41	2,67	11,34	4,29	12,71	3,17	8,29	2,76	11,29
300	12,33	79,83	46,13	107,86	15,07	25,08	2,8	11,47	4,47	12,56	3,31	8,59	2,91	11,4
350	13,46	91,05	53,81	136,92	15,84	25,49	2,91	11,59	4,66	13,09	3,44	8,67	3,02	11,51
400	14,6	94,55	58,28	148,86	16,27	26,03	3,01	11,66	4,76	13,28	3,54	8,87	3,12	11,57
500	16,42	96,14	64,64	166,77	17,21	27,08	3,24	11,92	5,02	13,24	3,75	8,98	3,34	11,81

(T: Tüm üretim mekanizması, C: Kaskad, P: Denge öncesi, Sp: Spallation atık sonrası, F: Fisyon, E: Toplam buharlaşma)

Tablo 4.51. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{207}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların çift diferansiyel tesir kesitleri (mb/MeV/sr); laboratuvar açısı = 25-35°

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	Çıkan nötron ve proton enerjisi $T_{n,p}$ (MeV)	Tesir kesiti (mb/MeV/sr)	
		n	p
100 MeV	0,0-10	66,72	0,4165
	10,0-20	6,503	3,827
	20,0-30	4,199	4,342
	30,0-40	3,39	4,458
	40,0-50	2,775	4,769
	50,0-60	2,465	5,254
	60,0-70	2,417	5,073
	70,0-80	2,434	4,779
	80,0-90	1,912	2,857
	90,0-100	0,9899	0,8295
200 MeV	0,0-10	90,29	0,7831
	10,0-20	10,16	3,668
	20,0-30	5,475	3,09
	30,0-40	3,221	2,273
	40,0-50	2,502	1,843
	50,0-60	1,761	1,432
	60,0-70	1,478	1,383
	70,0-80	1,383	1,362
	80,0-90	1,271	1,499
	90,0-100	1,188	1,74
	100,0-110	1,252	2,051
	110,0-120	1,365	2,422
	120,0-130	1,328	2,815
	130,0-140	1,453	3,117
	140,0-150	1,368	2,965
	150,0-160	1,271	2,55
	160,0-170	1,042	1,901
	170,0-180	0,8684	1,213
180,0-190	0,6002	0,5941	
190,0-200	0,2498	0,1828	

Tablo 4.51. (Devam): CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{207}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların çift diferansiyel tesir kesitleri (mb/MeV/sr); laboratuvar açısı = 25-35°

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	Çıkan nötron ve proton enerjisi	Tesir kesiti (mb/MeV/sr)	
	$T_{n,p}$ (MeV)	n	p
300 MeV	0,0-10	104,6	1,039
	10,0-20	11,61	4,207
	20,0-30	5,539	2,614
	30,0-40	3,639	1,839
	40,0-50	2,342	1,484
	50,0-60	1,912	1,13
	60,0-70	1,558	1,121
	70,0-80	1,438	0,8666
	80,0-90	1,244	0,9632
	90,0-100	1,098	0,8461
	100,0-110	1,022	0,8988
	110,0-120	0,9164	0,9896
	120,0-130	0,8286	1,034
	130,0-140	0,7817	0,9662
	140,0-150	0,893	1,154
	150,0-160	0,9954	1,212
	160,0-170	0,8813	1,525
	170,0-180	0,9193	1,701
	180,0-190	0,9164	1,824
	190,0-200	0,9662	2,169
200,0-210	1,054	2,228	
210,0-220	1,048	2,295	
220,0-230	1,113	2,087	
230,0-250	1,051	1,707	
240,0-250	0,9457	1,367	
250,0-260	0,688	0,9925	
260,0-270	0,4948	0,6148	
270,0-280	0,3777	0,4626	
280,0-290	0,2284	0,1903	
290,0-300	0,1054	0,06734	

Tablo. 4.52. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{207}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların çift diferansiyel tesir kesitleri [mb/MeV/sr]; laboratuvar açısı = 45-55°

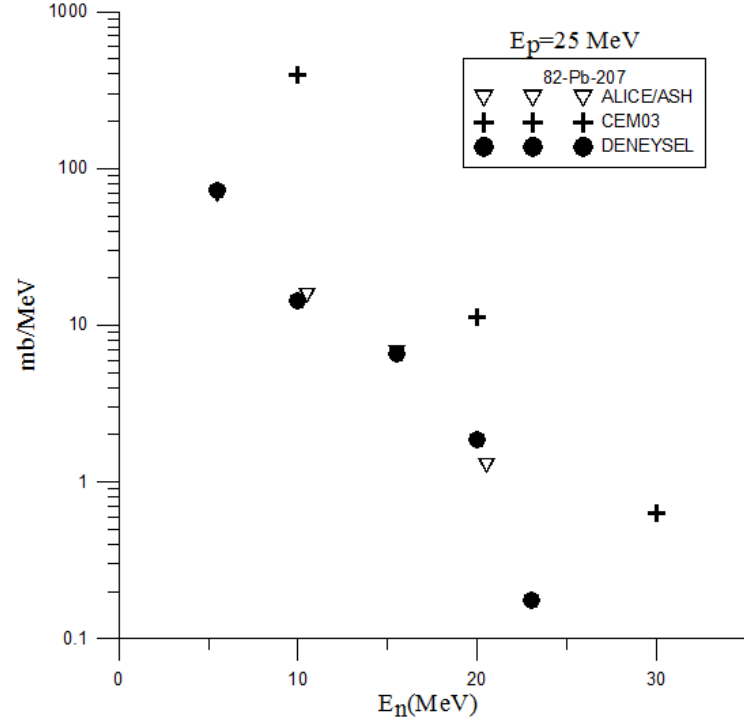
Proton (mermi) enerjisi (MeV)	Çıkan nötron ve proton enerjisi	Tesir kesiti (mb/MeV/sr)	
	$T_{n,p}$ (MeV)	n	p
100 MeV	0,0-10	65,11	0,606
	10,0-20	5,675	4,187
	20,0-30	3,701	4,271
	30,0-40	2,631	3,859
	40,0-50	2,063	2,888
	50,0-60	1,497	1,889
	60,0-70	0,9603	1,163
	70,0-80	0,5882	0,6239
	80,0-90	0,3186	0,2406
	90,0-100	0,156	0,07798

Tablo. 4.52. (Devam): CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{207}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların çift diferansiyel tesir kesitleri [mb/MeV/sr]; laboratuvar açısı = $45-55^\circ$

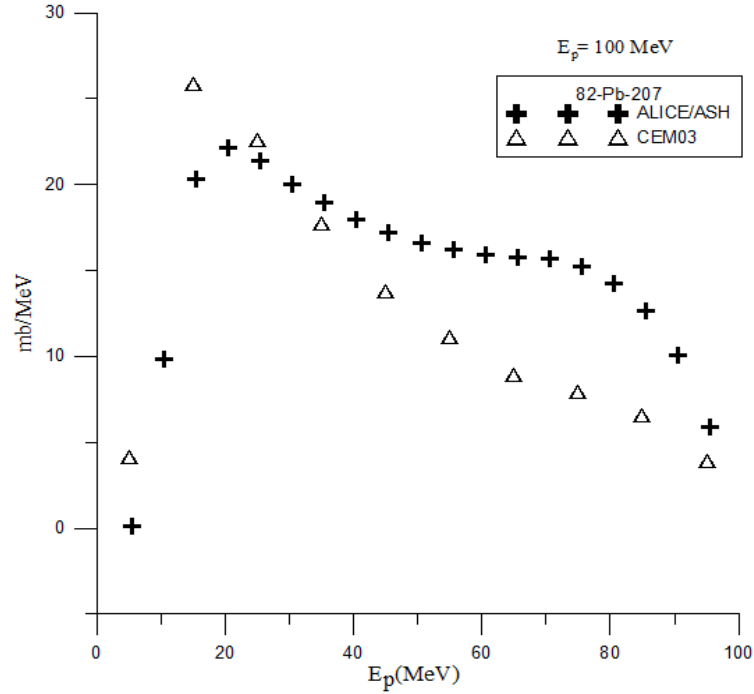
Proton (mermi) enerjisi (MeV)	Çıkan nötron ve proton enerjisi		Tesir kesiti (mb/MeV/sr)	
	$T_{n,p}$ (MeV)		n	p
200 MeV	0,0-10		88,27	0,7478
	10,0-20		9,262	3,846
	20,0-30		4,719	3,12
	30,0-40		3,11	2,611
	40,0-50		2,277	2,148
	50,0-60		1,857	2,005
	60,0-70		1,537	1,895
	70,0-80		1,324	1,907
	80,0-90		1,149	1,625
	90,0-100		0,9864	1,332
	100,0-110		0,8373	1,078
	110,0-120		0,6245	0,8333
	120,0-130		0,5191	0,537
	130,0-140		0,3301	0,4256
	140,0-150		0,2685	0,2526
	150,0-160		0,183	0,1273
	160,0-170		0,1173	0,05171
	170,0-180		0,04574	0,03381
	180,0-190		0,02386	0,001989
	190,0-200		0,005966	
300 MeV	0,0-10		101,2	1,036
	10,0-20		10,86	4,225
	20,0-30		5,079	2,58
	30,0-40		3,293	1,955
	40,0-50		2,245	1,705
	50,0-60		1,821	1,575
	60,0-70		1,515	1,494
	70,0-80		1,445	1,399
	80,0-90		1,147	1,498
	90,0-100		1,137	1,491
	100,0-110		1,028	1,416
	110,0-120		0,9211	1,384
	120,0-130		0,8714	1,246
	130,0-140		0,7625	0,9861
	140,0-150		0,6536	0,9421
	150,0-160		0,5962	0,73
	160,0-170		0,5561	0,6077
	170,0-180		0,4281	0,4376
	180,0-190		0,3574	0,3268
	190,0-200		0,3038	0,2866
200,0-210		0,2561	0,1968	
210,0-220		0,1815	0,1299	
220,0-230		0,1185	0,09364	
230,0-250		0,08026	0,03249	
240,0-250		0,05542	0,03631	
250,0-260		0,01338	0,0172	
260,0-270		0,005733	0,005733	
270,0-280		0,009555	0,007644	

Tablo 4.53. ALICE/ASH ve CEM03 programları ile farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{207}$ bombardıman sonucunda enerjiye bağlı ortaya çıkan nötronların ve protonların enerji spektrumu (mb/MeV)

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	ALICE/ASH nötron ve protonların enerji spektrumu (mb/MeV)			CEM03 nötron ve protonların enerji spektrumu (mb/MeV)		
	Çıkan n ve p enerjisi (MeV)	n(mb/MeV)	p(mb/MeV)	Çıkan n ve p enerjisi (MeV)	n(mb/MeV)	p(mb/MeV)
25 MeV	5,5	68,03	0,04151	0,0-10	0,09711	1,266
	10,5	15,65	5,381	10,0-20	0,00274	13,5
	15,5	6,646	9,057	20,0-30	0,000154	2,636
	20,5	1,285	5,325			
100 MeV	5,5	303,8	0,1315	0,0-10	762,7	4,15
	15,5	22,99	20,31	10,0-20	40,78	25,9
	25,5	14,96	21,37	20,0-30	22,4	22,62
	35,5	11,75	18,95	30,0-40	14,7	17,76
	45,5	10,08	17,19	40,0-50	10,22	13,82
	55,5	9,242	16,19	50,0-60	7,459	11,13
	65,5	8,902	15,8	60,0-70	5,733	8,945
	75,5	8,218	15,24	70,0-80	4,559	7,926
	85,5	6,303	12,63	80,0-90	3,651	6,546
95,5	0,8523	5,876	90,0-100	2,35	3,888	
200 MeV	5,5	458,4	0,1005	0,0-10	1020	7,695
	15,5	17,67	13,97	10,0-20	75,6	30,84
	25,5	7,775	11,03	20,0-30	34,11	19,59
	35,5	6,873	11,13	30,0-40	19,91	13,67
	45,5	6,311	10,93	40,0-50	13,26	10,06
	55,5	5,827	10,53	50,0-60	9,768	8,019
	65,5	5,409	10,06	60,0-70	7,428	6,741
	75,5	5,056	9,608	70,0-80	5,898	6,164
	85,5	4,764	9,199	80,0-90	4,979	5,665
	95,5	4,559	8,877	90,0-100	4,29	5,014
	105,5	4,416	8,635	100,0-110	3,622	4,67
	115,5	4,309	8,451	110,0-120	3,275	4,442
	125,5	4,234	8,322	120,0-130	2,755	4,221
	135,5	4,189	8,24	130,0-140	2,508	4,118
	145,5	4,168	8,2	140,0-150	2,254	3,929
	155,5	4,167	8,193	150,0-160	2,056	3,662
165,5	4,176	8,213	160,0-170	1,917	3,612	
175,5	3,855	7,891	170,0-180	1,809	3,514	
185,5	2,879	6,368	180,0-190	1,879	3,229	
195,5	0,1573	2,746	190,0-200	1,175	1,905	



Şekil 4.13. $^{82}\text{Pb}^{207}$ elementinin 25 MeV enerjili protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötronların enerji spektrumu (mb/MeV), deneysel değerler Harder vd (1987)'den alınmıştır



Şekil 4.14. $^{82}\text{Pb}^{207}$ elementinin 100 MeV enerjili protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan protonların enerji spektrumu (mb/MeV)

Tablo 4.54. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{207}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan ikincil reaksiyon nötron verimi tesir kesiti (mb)

Reaksiyon türü	Proton (mermi) enerjisi (MeV)				
	100 MeV	200 MeV	300 MeV	400 MeV	500 MeV
(n,n)	31,95	82,49	94,03	89,24	23,72
(n,2n)	25,42	53,78	66,49	56,38	39,95
(n,3n)	21,38	37,96	47,05	43,18	32,8
(n,4n)	18,99	30,52	32,94	34,1	26,44
(n,5n)	16,7	26,3	28,35	27	21,99
(n,6n)	14,23	21,05	22,18	19,13	15,54
(n,7n)	11,98	17,57	17,54	16,29	13,16
(n,8n)	11,23	15,14	15,08	14,31	11,42
(n,9n)	9,86	14,13	13,19	11,39	8,99
(n,10n)	8,66	11,48	10,33	8,26	6,81

Tablo 4.55. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{207}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların açışal dağılımı (mb/sr)

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	Açı (derece) (sr)	n ve p'nun açığa bağlı tesir kesiti (mb/sr)	
		n(mb/sr)	p(mb/sr)
100 MeV	5	899,3	218,7
	15	958	287,4
	25	962,7	282,3
	35	911,2	232,7
	45	853	163,1
	55	807	96,68
	65	754,1	53,97
	75	713,2	29,07
	85	668,2	14,79
	95	643,6	6,751
	105	621	3,516
	115	597,1	1,488
	125	588,7	0,6876
	135	576,6	0,4345
	145	568,3	0,08927
	155	558	0,1212
165	558,8	0	
175	563,6	0,3917	

Tablo 4.55. (Devam): CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{207}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların açısal dağılımı (mb/sr)

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	Açı (derece) (sr)	n ve p'nun açığa bağlı tesir kesiti (mb/sr)	
		n(mb/sr)	p(mb/sr)
200 MeV	5	1308	323,7
	15	1350	376,4
	25	1315	357,7
	35	1264	290,9
	45	1196	227,9
	55	1145	161,4
	65	1081	108,8
	75	1013	68,56
	85	955,6	42,97
	95	904,2	26,56
	105	858,6	16,31
	115	819,8	9,901
	125	794,9	5,821
	135	774,6	3,9
	145	765,5	1,567
300 MeV	155	757,1	1,514
	165	738	0,9418
	175	754,8	1,224
	5	1500	368,8
	15	1590	421,1
	25	1537	382,8
	35	1477	317,4
	45	1404	257,6
	55	1345	191,3
	65	1278	136,1
	75	1208	89,29
	85	1148	61,19
	95	1089	40,03
	105	1029	24,88
	115	987,4	15,51
125	957	10,15	
135	930,6	6,728	
145	903,3	4,824	
155	874,3	2,771	
165	857,7	2,319	
175	874,6	1,176	

Tablo 4.55. (Devam): CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{207}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların açısal dağılımı (mb/sr)

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	Açı (derece) (sr)	n ve p'nun açığa bağlı tesir kesiti (mb/sr)	
		n(mb/sr)	p(mb/sr)
400 MeV	5	1762	381,9
	15	1790	410,7
	25	1729	357,9
	35	1633	286,9
	45	1578	224,8
	55	1503	168,5
	65	1421	119,9
	75	1348	79,49
	85	1286	50,25
	95	1221	32,59
	105	1169	21,13
	115	1123	14,25
	125	1082	10,17
	135	1052	6,53
	145	1021	5,477
	155	1020	4,183
165	996,4	2,879	
175	994,1	5,197	
500 MeV	5	2106	478,7
	15	2121	460,3
	25	1980	369,6
	35	1864	275,7
	45	1788	219,8
	55	1703	172,1
	65	1613	128,2
	75	1540	84,48
	85	1462	55,58
	95	1392	37,55
	105	1326	25,48
	115	1282	18,64
	125	1224	13,28
	135	1203	10,14
	145	1178	8,761
	155	1154	7,589
165	1139	7,138	
175	1148	6,613	

4.4.6. $p+_{82}\text{Pb}^{208}$ Reaksiyonu

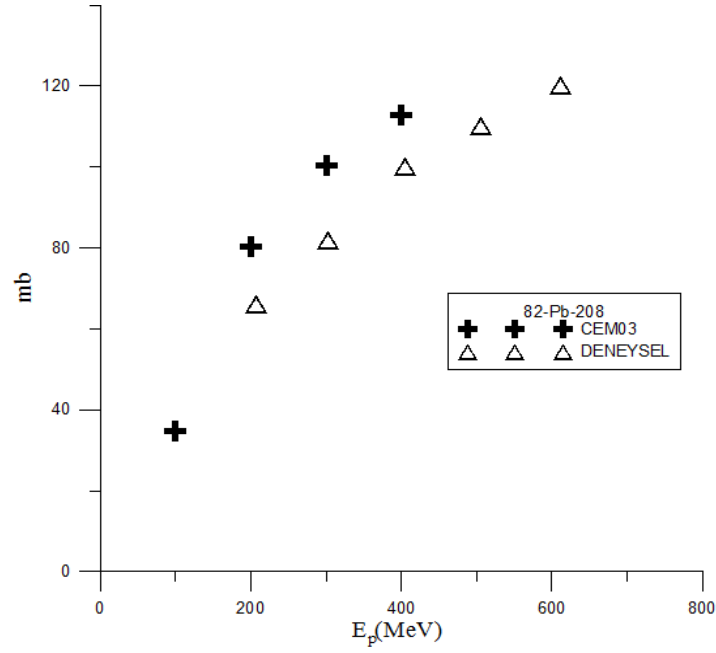
Kurşun (Pb): Ses titreşimlerini emici özelliği çok güçlü olan kurşun, ses yalıtımında kullanılır. X-ışını ekipmanlarında ve nükleer santrallerde radyasyon kalkını olarak işlev görür. Kurşun oksit, akromatik merceklerde kullanılan ve kırılma indisi yüksek olan

kristal camların üretiminde kullanılır. Kurşun deforma olmayan çekirdek yapısına sahiptir. Kurşun elementinin Pb^{208} izotopunun bolluk oranı %52,3 dir.

CEM03 Programında farklı enerjilerde. $p+_{82}Pb^{208}$ reaksiyonu sonucunda oluşan; elastik, inelastik ve fisyon tesir kesiti, (A) kütleye bağlı izotop üretimi, (Z) yüke bağlı izotop üretimi, bombardıman sonucunda oluşan (T: Tüm üretim mekanizması, C: Kaskad, P: Denge öncesi, Sp: Spallation atık sonrası, E:Toplam buharlaşma) nötron ve protonların sayıları, oluşan nötron ve protonların verimi (mb), ortalama kinetik enerjisi <TKE> (MeV), çift diferansiyel tesir kesitleri (mb/MeV/sr), reaksiyon sonucunda enerjiye bağlı oluşan nötronların ve protonların enerji spektrumu (mb/MeV), oluşan ikincil reaksiyon nötron verimi tesir kesiti (mb) ve oluşan nötronların açısız dağılım tesir kesiti (mb/sr) hesaplamaları yapılmıştır. ALICE/ASH programı ile de reaksiyon sonucunda enerjiye bağlı oluşan nötronların ve protonların enerji spektrumu (mb/MeV) hesaplamaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.56-66'da verilmiştir. Şekil 4.15'de teorik-deneysel data karşılaştırması yapılmıştır.

Tablo 4.56. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}Pb^{208}$ bombardımanındaki elastik ve inelastik tesir kesiti (mb)

Enerji (MeV)	100 MeV	200 MeV	300 MeV	400 MeV	500 MeV
İnelastik tesir kesiti (mb)	1877,53	1676,1	1610,37	1607,08	1625,45
Monte carlo inelastik tesir kesiti (mb)	1578,19	1524,18	1518,69	1543,34	1584,95
Elastik tesir kesiti (mb)	1045,84	1026,11	995,26	951,7	894,63
Fisyon tesir kesiti	34,7155	80,3691	100,31	112,913	102,954
Deneysel fisyon tesir kesiti	66	82	100	110	120



Şekil 4.15. ${}_{82}\text{Pb}^{208}$ elementinin farklı enerjili protonlarla bombardımanı sonucunda oluşan reaksiyon tesir kesiti, deneysel değerler Vaishnane vd (2010)'dan alınmıştır

Tablo 4.57. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+{}_{82}\text{Pb}^{208}$ bombardıman sonucunda (A) kütleyle bağlı izotop üretimi

p = 100 MeV			p = 200 MeV			p = 300 MeV			p = 500 MeV		
A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)
208	59,87	0,0776	208	29,78	0,08654	208	20,95	0,09629	208	13,64	0,0935
207	160,4	0,1052	207	101	0,08657	207	85,78	0,0818	207	70,32	0,06888
206	178,9	0,1734	206	92,52	0,1436	206	75,67	0,1304	206	54,58	0,1128
205	210,8	0,2387	205	105,1	0,1874	205	84,21	0,1681	205	64,66	0,1443
204	260,7	0,3083	204	100,9	0,2716	204	75,45	0,25	204	56,87	0,2256
203	277,4	0,3648	203	102,4	0,3374	203	75,49	0,3429	203	52,1	0,2939
202	272	0,4208	202	113,6	0,3922	202	81,1	0,4122	202	54,94	0,3708
201	212,7	0,4814	201	111,1	0,4613	201	79,73	0,4822	201	52,6	0,4515
200	152,7	0,5602	200	122,4	0,5268	200	85,85	0,556	200	55,15	0,5228
199	45,3	0,5963	199	116,6	0,5849	199	84,11	0,6408	199	53,02	0,6103
198	7,172	0,79	198	126,6	0,6555	198	87,81	0,7082	198	59,12	0,6894
197	4,469	0,9909	197	110,2	0,7216	197	78,78	0,7994	197	55,41	0,7865
196	0,3755	0,9866	196	109,4	0,7591	196	84,54	0,8556	196	59,07	0,8804
195	0,01878	0,4157	195	85,72	0,8363	195	77,93	0,9626	195	56,5	0,9623
143	0,03755	36,83	194	68,35	0,9216	194	74,98	1,026	194	58,65	1,058
140	0,03755	38,65	193	43,36	1,035	193	64,16	1,138	193	55,44	1,179
138	0,01878	39,82	192	26,6	1,103	192	61,07	1,257	192	54,26	1,283
137	0,01878	55,45	191	14,7	1,261	191	50,47	1,342	191	49,75	1,405
136	0,01878	40,04	190	8,917	1,434	190	44,37	1,459	190	49,64	1,509
134	0,05633	45,35	189	3,654	1,548	189	33,33	1,559	189	44,28	1,593
133	0,03755	48,14	188	1,626	1,649	188	29,18	1,639	188	43,27	1,701

Tablo 4.57. (Devam): CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{208}$ bombardıman sonucunda (A) kütleyle bağlı izotop üretimi

p = 100 MeV			p = 200 MeV			p = 300 MeV			p = 500 MeV		
A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)
132	0,1314	50,25	187	0,8045	1,707	187	20,15	1,835	187	39,73	1,855
131	0,09388	53,19	186	0,2849	2,146	186	16,81	1,901	186	40,13	1,914
130	0,0751	47,7	185	0,1173	1,021	185	11,39	1,965	185	33,01	2,013
129	0,1314	53,42	184	0,03352	3,07	184	9,549	2,112	184	35,6	2,179
128	0,1878	51,84	157	0,01676	42,47	183	7,086	2,131	183	31,55	2,236
127	0,2065	48,69	143	0,01676	36,93	182	4,847	2,369	182	33,16	2,426
126	0,2441	52,81	141	0,01676	45,42	181	2,641	2,647	181	28,75	2,534
125	0,3004	54,83	139	0,01676	37,58	180	1,626	2,653	180	26,82	2,567
124	0,2253	52,61	138	0,03352	37,76	179	0,5797	3,192	179	22,61	2,717
123	0,4318	57,4	137	0,03352	45,76	178	0,2416	2,781	178	21,08	2,745
122	0,4694	56,64	136	0,06704	45,44	177	0,1449	2,02	177	15,31	2,93
121	0,4131	55,01	135	0,06704	48,8	176	0,0161	0,2743	176	14,95	3,123
120	0,4506	57,35	134	0,1006	49,6	174	0,03221	5,409	175	11,51	3,237
119	0,5633	57,87	133	0,1173	43,63	154	0,0161	22,65	174	10,58	3,28
118	0,751	60,38	132	0,1844	48,65	150	0,0161	34,87	173	7,038	3,37
117	0,8637	58,08	131	0,1676	48,18	149	0,0161	32,67	172	5,575	3,258
116	0,9388	60,2	130	0,2179	44,36	148	0,06441	28,66	171	4,324	3,81
115	0,7135	60,76	129	0,2514	51,76	147	0,0161	31,71	170	3,641	3,575
114	1,277	61,59	128	0,1676	50,55	143	0,0161	42	169	2,243	3,803
113	1,352	61,54	127	0,3855	50,5	141	0,03221	31,67	168	1,707	3,915
112	1,389	62,41	126	0,2514	51,75	140	0,03221	50,32	167	0,894	3,83
111	1,483	62,85	125	0,5196	52,05	139	0,0161	39,26	166	0,8127	4,351
110	1,652	64,08	124	0,5196	52,23	138	0,06441	39,84	165	0,4876	5,348
109	1,558	64,02	123	0,6202	52,58	137	0,08052	42,73	164	0,2438	4,831
108	1,652	65,18	122	0,704	55,4	136	0,09662	41,92	163	0,08127	3,506
107	1,878	66,52	121	0,8716	53,95	135	0,09662	40,17	162	0,09753	3,551
106	2,46	66,68	120	1,173	56	134	0,1127	40,56	161	0,04876	4,377
105	2,159	66,71	119	1,257	54,85	133	0,1449	47,73	160	0,06502	8,618
104	2,309	67,04	118	1,341	57,56	132	0,1127	44,97	159	0,03251	6,047
103	2,197	68,48	117	1,224	56,13	131	0,09662	46,38	153	0,01625	6,616
102	2,347	69,01	116	1,777	57,41	130	0,1771	45,45	150	0,01625	16,87
101	2,103	70,16	115	1,86	58,5	129	0,1932	48,18	146	0,04876	33,11
100	2,478	69,12	114	1,978	58,43	128	0,2577	49,74	145	0,01625	27,04
99	2,291	71,13	113	2,279	59,32	127	0,4509	47,72	144	0,03251	23,89
98	2,028	70,89	112	2,212	59,86	126	0,2738	51,66	143	0,03251	36,01
97	2,366	72,03	111	2,665	61,68	125	0,5958	49,97	142	0,01625	21,82
96	2,14	72,48	110	3,168	60,88	124	0,6119	49,01	140	0,01625	40,6
95	2,253	74,2	109	3,051	62,51	123	0,6603	50,86	139	0,08127	38,83
94	2,328	73,62	108	3,486	63,09	122	0,6764	51,63	138	0,03251	35,77
93	2,159	74,64	107	3,855	63,92	121	0,8052	51,57	137	0,01625	29,43
92	1,878	76,84	106	3,637	63,78	120	0,9179	52,84	136	0,09753	42,25
91	1,521	76,76	105	4,039	64,64	119	1,433	55,12	135	0,1138	35,13
90	1,615	76,57	104	4,777	65,61	118	1,594	54,41	134	0,1138	44,57
89	1,54	76,81	103	4,358	65,89	117	1,417	54,46	133	0,1463	40,91
88	1,371	78,75	102	4,794	66,55	116	1,836	54,92	132	0,1625	47,86
87	1,558	79,57	101	4,844	67,4	115	1,691	55,39	131	0,1625	46,68
86	1,239	80,72	100	5,347	68,08	114	2,48	57,57	130	0,2276	42,49

Tablo 4.57. (Devam): CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{208}$ bombardıman sonucunda (A) kütleyle bağlı izotop üretimi

p = 100 MeV			p = 200 MeV			p = 300 MeV			p = 500 MeV		
A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)
85	0,9012	79,91	99	4,861	68,89	113	2,802	57,74	129	0,3413	44,96
84	0,9763	81,34	98	5,397	69,52	112	2,947	57,99	128	0,3576	45,97
83	0,9012	83,09	97	5,498	69,68	111	2,85	58,22	127	0,2113	52,7
82	0,7322	83,43	96	5,095	71,94	110	2,866	58,36	126	0,4064	50,47
81	0,5069	84,42	95	4,877	71,65	109	3,543	59,81	125	0,6339	46,09
80	0,5069	83,39	94	5,146	71,86	108	3,897	60,48	124	0,5689	48,03
79	0,5257	87,58	93	5,028	73,83	107	3,833	61,36	123	0,829	48,52
78	0,5257	85,85	92	4,408	73,07	106	4,171	63,03	122	0,6827	49,4
77	0,3943	91,1	91	4,274	74,25	105	4,606	62,76	121	1,008	52,72
76	0,2441	86,99	90	4,14	74,53	104	5,04	63,4	120	1,154	50,92
75	0,169	88,3	89	4,056	76,16	103	5,073	65,63	119	1,17	50,54
74	0,1878	90	88	4,023	76,37	102	5,491	65,26	118	1,398	52,63
73	0,169	92,32	87	3,889	77,56	101	6,039	65,56	117	1,593	54,26
72	0,1314	91,62	86	3,838	76,85	100	5,363	65,72	116	1,821	52,11
71	0,1502	93,43	85	3,402	79,11	99	5,894	67,04	115	1,886	55,42
70	0,05633	89,96	84	2,699	79,02	98	5,878	68,62	114	1,999	54,88
69	0,1314	96,06	83	3,134	79,44	97	5,669	67,53	113	2,698	55,49
68	0,09388	92,06	82	2,564	80,94	96	6,119	69,07	112	2,617	54,36
66	0,01878	108,8	81	2,145	81,89	95	6,071	69,86	111	2,601	56,1
65	0,01878	87,55	80	1,911	83,42	94	5,878	69,43	110	3,202	56,64
63	0,03755	95,71	79	1,626	84,35	93	5,169	71,01	109	3,576	58,1
61	0,01878	87,81	78	1,609	85,64	92	5,91	71,91	108	4,08	59,57
59	0,01878	96,34	77	1,291	83,46	91	6,023	72,26	107	4,177	58,42
58	0,01878	105,6	76	1,391	84,2	90	5,991	72,61	106	4,242	59,85
			75	0,9051	87,28	89	6,2	74,19	105	4,876	61,42
			74	0,8213	85,05	88	5,862	75,2	104	5,136	61,03
			73	0,6369	86,96	87	4,734	75,41	103	5,413	61,46
			72	0,5364	86,85	86	5,411	76,44	102	5,949	62,19
			71	0,5364	89,84	85	4,831	76,91	101	6,047	62,88
			70	0,4023	88,2	84	4,348	76,95	100	6,079	64,03
			69	0,4358	90,03	83	3,511	79,26	99	6,079	65,28
			68	0,2347	88,09	82	3,559	79,29	98	6,453	65,88
			67	0,2514	94,68	81	3,462	78,65	97	6,258	65,85
			66	0,2011	92,48	80	2,754	79,84	96	6,242	66,63
			65	0,2011	87,95	79	2,689	79,88	95	6,632	66,1
			64	0,1508	95,98	78	2,126	81,46	94	6,616	69,06
			63	0,1508	89,23	77	2,303	82,59	93	6,193	68,33
			62	0,1676	92,95	76	2,093	82,78	92	7,623	68,96
			61	0,05028	94	75	1,659	82,07	91	6,908	69,74
			60	0,1173	94,43	74	1,707	83,92	90	7,672	69,77
			59	0,05028	88,54	73	1,111	85,61	89	6,583	69,5
			58	0,03352	97,94	72	1,288	86,26	88	7,428	71,79
			57	0,06704	97,26	71	0,6764	83,8	87	6,356	72,86
			42	0,01676	113,1	70	1,079	86,04	86	6,697	73,27
						69	0,7086	87,93	85	5,396	73,87
						68	0,773	89,73	84	5,819	74,79
						67	0,6441	87,2	83	5,201	75,14

Tablo 4.57. (Devam): CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{208}$ bombardıman sonucunda (A) kütleyle bağlı izotop üretimi

p = 300 MeV			p = 500 MeV		
A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)
66	0,5153	92,62	82	5,136	76,56
65	0,2899	87,2	81	4,194	76,91
64	0,3865	89,6	80	4,34	76,17
63	0,306	93,99	79	3,901	78,62
62	0,2255	91,29	78	3,771	79,55
61	0,1288	95,78	77	2,942	80,89
60	0,1449	90,92	76	3,04	81,07
59	0,1449	94,88	75	2,942	80,27
58	0,1449	94,76	74	2,649	79,8
57	0,08052	94,3	73	2,357	81,26
56	0,06441	102,8	72	2,032	82,32
55	0,04831	97,76	71	1,723	82,97
54	0,0161	73,59	70	1,593	84,67
53	0,08052	86,74	69	1,463	85,35
52	0,09662	97,79	68	1,479	84,31
51	0,03221	98,64	67	1,187	83,87
50	0,03221	109,1	66	1,089	84,67
49	0,04831	111,8	65	0,8777	86,82
48	0,0161	94,6	64	0,8452	84,45
47	0,0161	93,48	63	0,5364	88,43
43	0,0161	113,5	62	0,5689	90,62
42	0,0161	99	61	0,6664	85,74
39	0,0161	108	60	0,3901	87,04

Tablo 4.58. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{208}$ bombardıman sonucunda (Z) yüke bağlı izotop üretimi

p = 100 MeV			p = 200 MeV			p = 300 MeV			p = 500 MeV		
Z Yük	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	Z Yük	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	Z Yük	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	Z Yük	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)
83	617,1	0,3736	83	270,9	0,4428	83	178,9	0,4905	83	109,9	0,4738
82	1021	0,3099	82	787,3	0,4511	82	618,9	0,5238	82	419	0,5256
81	194,2	0,3652	81	376,8	0,564	81	376,7	0,7043	81	305,7	0,726
80	10,76	0,6039	80	129,4	0,8403	80	211,9	1,168	80	227,6	1,281
79	0,2065	0,8129	79	23,03	1,019	79	54,67	1,404	79	81,24	1,493
78	0,01878	0,4568	78	7,308	1,358	78	53,4	1,872	78	173,3	2,121
58	0,05633	36,64	77	0,5699	1,46	77	10,47	2,235	77	76,69	2,432
57	0,05633	45,43	76	0,03352	1,81	76	2,609	2,458	76	61,49	2,858
56	0,01878	40,04	75	0,01676	3,42	75	0,4026	2,146	75	23,31	3,079
55	0,0751	48,84	65	0,01676	42,47	74	0,08052	4,44	74	15,96	3,392
54	0,2065	50,49	59	0,01676	36,93	66	0,0161	22,65	73	5,299	3,798

Tablo 4.58. (Devam): CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{208}$ bombardıman sonucunda (Z) yüke bağlı izotop üretimi

p = 100 MeV			p = 200 MeV			p = 300 MeV			p = 500 MeV		
Z Yük	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	Z Yük	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	Z Yük	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	Z Yük	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)
53	0,3192	50,81	58	0,06704	38,69	64	0,0161	34,87	72	2,487	4,023
52	0,5257	51,35	57	0,1341	46,55	63	0,0161	19,45	71	0,8127	4,374
51	0,8449	54,85	56	0,2347	47,37	62	0,06441	29,79	70	0,2276	5,444
50	1,051	56,27	55	0,3855	45,96	61	0,04831	36,75	69	0,01625	3,667
49	1,652	57,55	54	0,4861	49,8	60	0,04831	46,05	68	0,04876	5,964
48	2,591	59,57	53	0,9386	49,64	58	0,161	38,59	66	0,01625	6,616
47	2,61	60,83	52	1,408	53,36	57	0,2899	42,01	64	0,03251	21,95
46	3,718	63,58	51	1,944	54,52	56	0,3704	45,36	63	0,03251	28,72
45	4,506	64,72	50	3,101	55,36	55	0,4831	48,24	62	0,04876	30,43
44	4,994	65,89	49	4,056	57,67	54	0,6119	48,96	61	0,03251	30,17
43	5,37	67,54	48	5,464	58,84	53	1,353	49,73	60	0,1463	29,19
42	6,064	68,86	47	6,185	60,16	52	1,836	49,75	59	0,08127	37,13
41	5,952	72,01	46	8,129	62,12	51	2,641	52,96	58	0,1951	44,76
40	5,351	72,37	45	8,934	63,81	50	3,736	54,39	57	0,2763	46,73
39	5,144	74,59	44	11,08	65,62	49	4,493	55,92	56	0,5364	42,64
38	4,318	75,33	43	11,48	67,28	48	7,214	57,11	55	0,4876	45,15
37	3,699	79,36	42	12,89	68,28	47	7,247	59,06	54	0,829	47,3
36	2,854	79,68	41	12,77	70,81	46	9,485	60,79	53	1,918	46,91
35	2,516	81,48	40	12,89	72,1	45	11,34	62,56	52	2,162	50,18
34	1,727	83,84	39	11,31	73,99	44	13,25	64,77	51	3,218	50,6
33	1,089	84,18	38	9,738	75,66	43	13,62	66,59	50	4,568	52,23
32	0,8637	90,04	37	9,118	77,26	42	14,85	67,93	49	4,925	54,93
31	0,5257	90,88	36	7,056	79,47	41	13,7	69,22	48	8,582	55,93
30	0,3004	90,63	35	5,85	80,71	40	15,52	70,9	47	7,233	57,73
29	0,2253	95,54	34	4,71	82,94	39	13,72	72,74	46	11,15	59,27
28	0,0751	94,88	33	3,654	84,61	38	13,21	74,98	45	12,95	61,35
27	0,01878	108,8	32	2,397	85,34	37	11,03	76,72	44	14,76	62,52
26	0,05633	92,99	31	1,609	88,5	36	9,598	78,47	43	13,08	65,31
25	0,05633	96,57	30	0,8548	90,4	35	7,794	79,07	42	16,61	65,89
			29	0,7207	91,85	34	5,974	81,14	41	15,1	68
			28	0,4693	91,59	33	5,33	82,57	40	18,84	68,76
			27	0,352	92,63	32	3,8	83,74	39	14,34	70,85
			26	0,1676	88,15	31	2,351	85,24	38	16,66	72,56
			25	0,08381	98,06	30	1,868	89,2	37	13,61	74,17
			23	0,01676	105,4	29	1,143	90,92	36	12,43	75,83
			18	0,01676	113,1	28	0,8535	88,82	35	10,63	77,89
						27	0,5636	91,34	34	7,493	80,06
						26	0,3382	94,87	33	7,282	80,66
						25	0,1932	96,62	32	5,754	81,36
						24	0,1771	95,33	31	3,413	85,53
						23	0,04831	91,7	30	3,478	84,41
						22	0,08052	95,92	29	2,016	85,27
						21	0,08052	107	28	1,934	88,67
						19	0,0161	113,5	27	1,089	88,76
						18	0,0161	99	26	0,8777	90,7
						17	0,0161	108	25	0,4389	90,15

Tablo 4.59. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{208}$ bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötron ve protonların sayıları

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	T		C		P		Sp		Pf		F		E	
	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p
100	4,739	0,640	0,477	0,370	0,382	0,252	3,723	0,018	0,030	0	0,126	0	3,879	0,018
125	5,503	0,727	0,660	0,453	0,409	0,246	4,165	0,027	0,059	0,000	0,208	0,000	4,433	0,027
150	6,197	0,793	0,891	0,532	0,407	0,223	4,532	0,036	0,087	0,000	0,277	0,000	4,897	0,037
175	6,865	0,834	1,163	0,597	0,384	0,188	4,852	0,047	0,116	0,001	0,348	0,001	5,317	0,049
200	7,425	0,886	1,408	0,657	0,363	0,165	5,119	0,059	0,136	0,002	0,398	0,001	5,654	0,062
250	8,316	1,017	1,667	0,743	0,390	0,178	5,588	0,088	0,182	0,003	0,487	0,003	6,259	0,095
300	9,182	1,158	1,855	0,812	0,449	0,203	6,071	0,132	0,222	0,006	0,584	0,005	6,877	0,143
350	9,660	1,114	1,847	0,702	0,474	0,223	6,435	0,173	0,241	0,007	0,661	0,008	7,338	0,188
400	10,34	1,211	2,016	0,731	0,506	0,239	6,839	0,220	0,256	0,008	0,72	0,011	7,816	0,241
500	11,65	1,408	2,338	0,767	0,559	0,273	7,667	0,336	0,269	0,011	0,819	0,019	8,756	0,367

(T: Tüm üretim mekanizması, C: Kaskad, P: Denge öncesi, Sp: Spallation atık sonrası, F: Fisyon, E: Toplam buharlaşma)

Tablo 4.60. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{208}$ bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötron ve protonların verimi (mb)

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	T		C		P		Sp		Pf		F		E	
	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p
100	8898,462	1202,687	896,97	694,966	717,929	473,794	6989,975	33,795	56,889	0,075	236,7	0,056	7283,564	33,927
125	9973,508	1318,903	1196,285	821,379	742,146	447,288	7549,26	49,421	108,03	0,435	377,787	0,381	8035,078	50,236
150	10883,084	1393,224	1565,539	935,864	716,307	392,294	7960,164	63,187	154,315	1,177	486,758	0,702	8601,237	65,066
175	11747,427	1428,577	1991,278	1021,407	657,474	322,731	8302,9	81,068	199,265	2,036	596,511	1,335	9098,675	84,439
200	12446,634	1485,161	2360,673	1102,741	608,408	277,244	8580,889	99,192	228,537	3,503	668,128	2,481	9477,553	105,175
250	13566,556	1660,559	2719,481	1213,144	636,645	291,61	9116,485	144,337	298,413	6,264	795,533	5,204	10210,43	155,805
300	14787,452	1865,856	2988,171	1307,83	723,733	327,469	9776,462	212,537	358,501	8,857	940,585	9,163	11075,548	230,557
350	15498,722	1787,738	2964,199	1126,679	761,36	358,148	10325,139	278,573	386,993	11,343	1061,031	12,995	11773,163	302,911
400	16617,266	1946,302	3241,335	1174,888	814,339	384,221	10991,652	354,859	412,891	14,255	1157,049	18,08	12561,592	387,194
500	18943,021	2289,249	3801,078	1247,661	908,56	443,877	12462,636	546,427	438,058	19,001	1332,689	32,281	14233,383	597,71

(T: Tüm üretim mekanizması, C: Kaskad, P: Denge öncesi, Sp: Spallation atık sonrası, F: Fisyon, E: Toplam buharlaşma)

Tablo 4.61. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{208}$ bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötron ve protonların ortalama kinetik enerjisi <TKE> (MeV)

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	T		C		P		Sp		Pf		F		E	
	E_n	E_p	E_n	E_p	E_n	E_p	E_n	E_p	E_n	E_p	E_n	E_p	E_n	E_p
100	6,37	40,4	30,99	48,12	17,49	31,19	2,23	10,98	3,33	11,76	2,62	8,31	2,25	10,98
125	7,23	46,12	33,49	56,85	17,48	30,33	2,34	11,12	3,65	12,24	2,77	8,59	2,37	11,11
150	7,97	52,16	34,25	64,9	16,54	28,56	2,43	11,19	3,9	11,56	2,89	8,61	2,48	11,17
175	8,73	58,18	34,73	72,09	15,3	26,41	2,5	11,27	3,97	12,09	2,94	8,05	2,56	11,24
200	9,42	64,18	35,46	79,16	14,1	24,66	2,57	11,36	4,1	11,99	3,01	7,99	2,64	11,3
250	10,91	74,22	40,62	94,26	14,37	24,43	2,7	11,41	4,31	12,84	3,16	8,5	2,78	11,37
300	12,21	80,99	45,91	107,2	15,16	25,06	2,83	11,56	4,47	12,78	3,31	9,07	2,92	11,51
350	13,38	93,48	53,88	137,0	15,75	25,72	2,93	11,64	4,7	13,11	3,44	8,79	3,03	11,57
400	14,49	97,32	57,99	148,8	16,29	26,09	3,04	11,75	4,81	13,17	3,55	9,02	3,14	11,67
500	16,27	99,12	64,4	166,6	17,16	26,9	3,25	11,93	5,06	13,54	3,77	9,05	3,36	11,83

(T: Tüm üretim mekanizması, C: Kaskad, P: Denge öncesi, Sp: Spallation atk sonrası, F: Fisyon, E: Toplam buharlaşma)

Tablo 4.62. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{208}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların çift diferansiyel tesir kesitleri (mb/MeV/sr); laboratuvar açısı = 25-35°

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	Çıkan nötron ve proton enerjisi		Tesir kesiti (mb/MeV/sr)	
	$T_{n,p}$ (MeV)		n	p
100 MeV	0,0-10		67,16	0,4046
	10,0-20		6,425	3,713
	20,0-30		4,666	4,011
	30,0-40		3,257	4,69
	40,0-50		2,839	4,659
	50,0-60		2,757	5,119
	60,0-70		2,739	5,331
	70,0-80		2,328	4,721
	80,0-90		1,975	2,88
	90,0-100		0,8366	0,8469
200 MeV	0,0-10		93,17	0,5448
	10,0-20		10,45	3,866
	20,0-30		5,515	3,039
	30,0-40		3,483	2,354
	40,0-50		2,513	1,852
	50,0-60		2,097	1,536
	60,0-70		1,53	1,362
	70,0-80		1,42	1,423
	80,0-90		1,387	1,463
	90,0-100		1,215	1,671
	100,0-110		1,249	1,965
	110,0-120		1,249	2,491
	120,0-130		1,362	2,745
130,0-140		1,368	2,889	

Tablo 4.62. (Devam): CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{208}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların çift diferansiyel tesir kesitleri (mb/MeV/sr); laboratuvar açısı = 25-35°

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	Çıkan nötron ve proton enerjisi	Tesir kesiti (mb/MeV/sr)	
	$T_{n,p}$ (MeV)	n	p
200 MeV	130,0-140	1,368	2,889
	140,0-150	1,426	2,862
	150,0-160	1,331	2,479
	160,0-170	1,077	1,732
	170,0-180	0,7591	1,341
	180,0-190	0,6091	0,6825
	190,0-200	0,2418	0,1898
	130,0-140	1,368	2,889
	140,0-150	1,426	2,862
	150,0-160	1,331	2,479
	160,0-170	1,077	1,732
	170,0-180	0,7591	1,341
180,0-190	0,6091	0,6825	
300 MeV	0,0-10	106,4	0,8646
	10,0-20	11,72	4,07
	20,0-30	5,64	2,697
	30,0-40	3,511	1,903
	40,0-50	2,426	1,388
	50,0-60	1,788	1,123
	60,0-70	1,429	0,9998
	70,0-80	1,403	0,9528
	80,0-90	1,232	0,9116
	90,0-100	1,165	0,7734
	100,0-110	0,9763	0,8058
	110,0-120	0,8969	0,8028
	120,0-130	0,8028	0,8999
	130,0-140	0,841	1,032
	140,0-150	0,8646	1,135
	150,0-160	0,8116	1,226
	160,0-170	0,9234	1,497
	170,0-180	0,944	1,703
	180,0-190	0,9969	1,976
	190,0-200	0,9734	2,126
	200,0-210	0,9675	2,167
	210,0-220	1,097	2,126
	220,0-230	1,103	2,07
	230,0-250	1,029	1,7
240,0-250	0,8293	1,397	
250,0-260	0,6381	0,9204	
260,0-270	0,4735	0,5852	
270,0-280	0,3676	0,3235	
280,0-290	0,2558	0,1764	
290,0-300	0,05881	0,05881	

Tablo 4.63. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{208}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların çift diferansiyel tesir kesitleri (mb/MeV/sr); laboratuvar açısı = 45-55°

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	Çıkan nötron ve proton enerjisi	Tesir kesiti (mb/MeV/sr)	
	$T_{n,p}$ (MeV)	n	p
100 MeV	0,0-10	66,32	0,5483
	10,0-20	5,89	3,871
	20,0-30	3,889	4,319
	30,0-40	2,829	3,822
	40,0-50	2,104	2,869
	50,0-60	1,506	1,942
	60,0-70	0,9712	1,17
	70,0-80	0,6266	0,5102
	80,0-90	0,2797	0,2417
	90,0-100	0,08728	0,06042
200 MeV	0,0-10	90,01	0,6633
	10,0-20	9,503	3,728
	20,0-30	4,916	3,047
	30,0-40	3,176	2,497
	40,0-50	2,291	2,196
	50,0-60	1,75	2,108
	60,0-70	1,468	1,782
	70,0-80	1,35	1,928
	80,0-90	1,163	1,634
	90,0-100	1,005	1,38
	100,0-110	0,863	1,045
	110,0-120	0,7212	0,853
	120,0-130	0,5094	0,5893
	130,0-140	0,3956	0,4255
	140,0-150	0,3116	0,2178
	150,0-160	0,1818	0,1498
	160,0-170	0,1119	0,03995
	170,0-180	0,06593	0,03196
	180,0-190	0,01398	0,003995
190,0-200	0,005993		

Tablo 4.63. (Devam): CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{208}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların çift diferansiyel tesir kesitleri (mb/MeV/sr); laboratuvar açısı = $45-55^\circ$

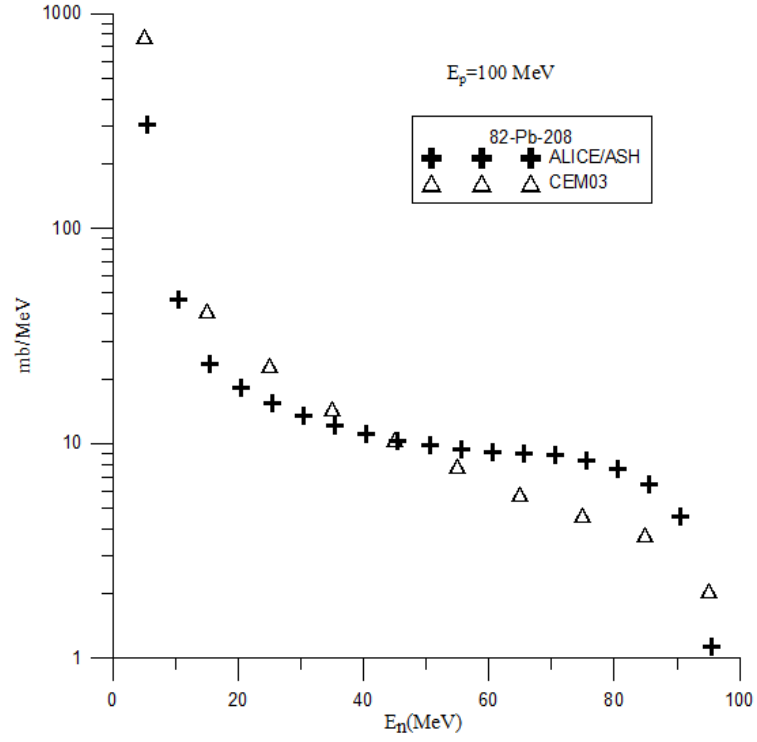
Proton (mermi) enerjisi (MeV)	Çıkan nötron ve proton enerjisi	Tesir kesiti (mb/MeV/sr)	
	$T_{n,p}$ (MeV)	n	p
300 MeV	0,0-10	103,8	0,9559
	10,0-20	11,42	3,891
	20,0-30	5,186	2,512
	30,0-40	3,392	2,006
	40,0-50	2,465	1,706
	50,0-60	1,848	1,493
	60,0-70	1,591	1,488
	70,0-80	1,37	1,443
	80,0-90	1,236	1,411
	90,0-100	1,152	1,507
	100,0-110	1,035	1,457
	110,0-120	0,906	1,298
	120,0-130	0,9136	1,198
	130,0-140	0,7351	1,123
	140,0-150	0,7255	0,9712
	150,0-160	0,5317	0,7697
	160,0-170	0,4607	0,6008
	170,0-180	0,4434	0,4971
	180,0-190	0,3724	0,3608
	190,0-200	0,261	0,263
200,0-210	0,2207	0,1881	
210,0-220	0,1574	0,1171	
220,0-230	0,1171	0,08061	
230,0-250	0,09405	0,06334	
240,0-250	0,03647	0,01344	
250,0-260	0,03647	0,005758	
260,0-270	0,001919		
270,0-280	0,01344		
280,0-290	0,005758		

Tablo 4.64. ALICE/ASH ve CEM03 programları ile farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{208}$ bombardıman sonucunda enerjiye bağlı ortaya çıkan nötronların ve protonların enerji spektrumu (mb/MeV)

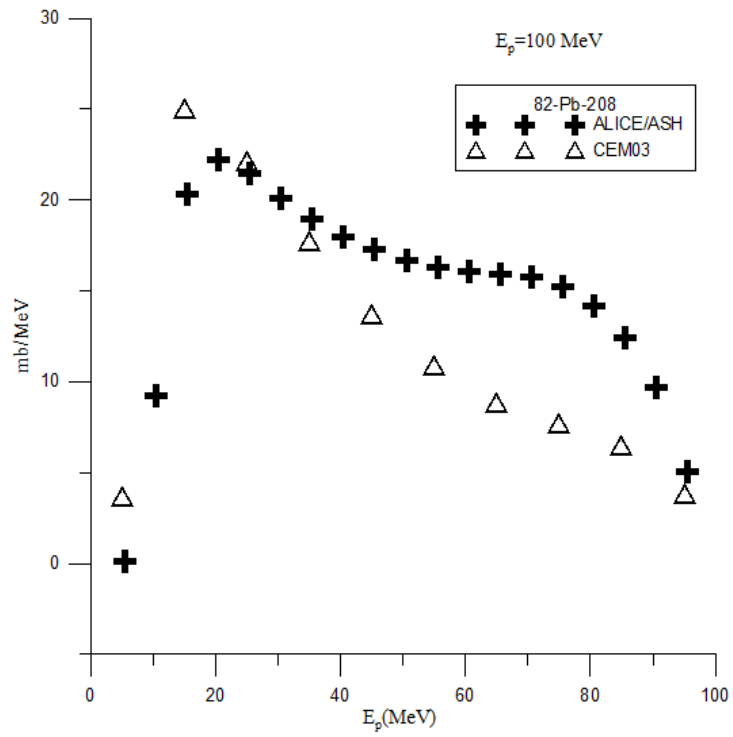
Proton (mermi) enerjisi (MeV)	ALICE/ASH nötron ve protonların enerji spektrumu (mb/MeV)			CEM03 nötron ve protonların enerji spektrumu [mb/MeV]		
	Çıkan n ve p enerjisi (MeV)	n(mb/MeV)	p(mb/MeV)	Çıkan n ve p enerjisi (MeV)	n(mb/MeV)	p(mb/MeV)
100 MeV	5,5	304,8	0,08496	0,0-10	776	3,676
	15,5	23,54	20,29	10,0-20	41,65	25,06
	25,5	15,41	21,43	20,0-30	23,03	22,18
	35,5	12,08	18,99	30,0-40	14,57	17,77
	45,5	10,32	17,25	40,0-50	10,48	13,72
	55,5	9,414	16,27	50,0-60	7,829	10,87
	65,5	9,041	15,91	60,0-70	5,839	8,886
	75,5	8,365	15,24	70,0-80	4,634	7,754
	85,5	6,462	12,42	80,0-90	3,785	6,523
	95,5	1,136	5,024	90,0-100	2,067	3,834

Tablo 4.64. (Devam): ALICE/ASH ve CEM03 programları ile farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{208}$ bombardıman sonucunda enerjiye bağlı ortaya çıkan nötronların ve protonların enerji spektrumu (mb/MeV)

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	ALICE/ASH nötron ve protonların enerji spektrumu (mb/MeV)			CEM03 nötron ve protonların enerji spektrumu [mb/MeV]		
	Çıkan n ve p enerjisi (MeV)	n(mb/MeV)	p(mb/MeV)	Çıkan n ve p enerjisi (MeV)	n(mb/MeV)	p(mb/MeV)
200 MeV	5,5	475,8	0,07711	0,0-10	1043	6,678
	15,5	17,8	13,02	10,0-20	77,38	29,81
	25,5	7,865	11,05	20,0-30	34,8	19,92
	35,5	6,993	11,18	30,0-40	20,39	13,55
	45,5	6,426	10,98	40,0-50	13,49	10,11
	55,5	5,929	10,57	50,0-60	9,668	8,106
	65,5	5,497	10,1	60,0-70	7,303	6,771
	75,5	5,131	9,645	70,0-80	6,059	6,108
	85,5	4,829	9,235	80,0-90	5,045	5,478
	95,5	4,616	8,913	90,0-100	4,153	5,124
	105,5	4,466	8,671	100,0-110	3,686	4,589
	115,5	4,354	8,489	110,0-120	3,223	4,554
	125,5	4,276	8,362	120,0-130	2,675	4,167
	135,5	4,228	8,282	130,0-140	2,501	3,977
	145,5	4,205	8,244	140,0-150	2,387	3,875
	155,5	4,202	8,24	150,0-160	2,147	3,696
	165,5	4,212	8,262	160,0-170	1,912	3,431
175,5	3,905	7,862	170,0-180	1,824	3,567	
185,5	2,945	6,228	180,0-190	1,872	3,144	
195,5	0	2,259	190,0-200	1,101	1,864	



Şekil 4.16. $^{82}\text{Pb}^{208}$ elementinin 100 MeV enerjili protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötronların enerji spektrumu (mb/MeV)



Şekil 4.17. $^{82}\text{Pb}^{208}$ elementinin 100 MeV enerjili protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötronların enerji spektrumu (mb/MeV)

Tablo 4.65. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{208}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan ikincil reaksiyon nötron verimi tesir kesiti (mb)

Reaksiyon türü	Proton (mermi) enerjisi (MeV)				
	100 MeV	200 MeV	300 MeV	400 MeV	500 MeV
(n,n)	24,26	12,39	9,29	7,76	6,84
(n,2n)	43,45	22,68	16,83	13,9	11,41
(n,3n)	45,91	20,08	14,45	11,49	9,2
(n,4n)	68,29	26,58	17,09	13,21	11,38
(n,5n)	74,69	22,76	14,54	11,14	10,34
(n,6n)	94,12	27,81	18,04	13,6	10,99
(n,7n)	80,71	24,35	15,31	12	9,22
(n,8n)	93,82	28,53	18,36	12,58	9,79
(n,9n)	84,53	23,53	14,56	10,22	7,33
(n,10n)	35,2	26,72	16,14	11,1	8,24

Tablo 4.66. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{208}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların açılal dağılımı (mb/sr)

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	Açı (derece) (sr)	n ve p'nun açığa bağlı tesir kesiti (mb/sr)	
		n(mb/sr)	p(mb/sr)
100 MeV	5	921,1	336,3
	15	979,1	405,9
	25	974,3	394,8
	35	924,7	320,6
	45	870,7	235,3
	55	816,4	154,3
	65	766,7	106,5
	75	721,7	68,11
	85	687,5	46,24
	95	651,7	32,82
	105	632,6	24,21
	115	610,5	19,61
	125	594,7	15,49
	135	591,4	12,44
	145	576,9	13,24
155	575,1	11,97	
165	564	10,86	
175	560,8	11,6	
200 MeV	5	1342	387,4
	15	1372	444,8
	25	1354	418,1
	35	1290	353,3
	45	1226	278,8
	55	1164	205,9
	65	1099	144,7
	75	1031	101
	85	979,1	67,73
	95	916,8	49,63
	105	881,7	37,63
115	845,8	28,72	

Tablo 4.66. (Devam): CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{208}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların açısal dağılımı (mb/sr)

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	Açı (derece) (sr)	n ve p'nun açığa bağlı tesir kesiti (mb/sr)	
		n(mb/sr)	p(mb/sr)
200 MeV	125	809,3	22,72
	135	800,6	20,08
	145	782,1	16,57
	155	762,9	16,01
	165	748,7	15,2
	175	764,9	11,06
300 MeV	5	1541	437,6
	15	1618	481,6
	25	1566	435,5
	35	1496	370
	45	1435	303
	55	1380	243,7
	65	1306	189
	75	1232	142,6
	85	1166	105,1
	95	1112	83,01
	105	1056	67,13
	115	1018	54,84
	125	980	47,44
	135	950,9	42,88
	145	926,4	39,66
155	904,4	35,35	
165	897	38,91	
175	870,8	32,9	
400 MeV	5	1800	474,3
	15	1834	492
	25	1750	427,1
	35	1666	363,1
	45	1594	300,7
	55	1523	240
	65	1462	185,9
	75	1379	141,3
	85	1318	110,8
	95	1254	91,07
	105	1195	79,6
	115	1145	69,55
	125	1104	63,2
	135	1075	58,95
	145	1053	54,52
155	1025	52,84	
165	1028	48,93	
175	1045	53,54	
500 MeV	5	2146	578,6
	15	2147	567,6
	25	2022	463,1
	35	1907	382,2
	45	1818	320,1
	55	1727	272,3
65	1649	216,4	

Tablo 4.66. (Devam): CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{82}\text{Pb}^{208}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların açısal dağılımı (mb/sr)

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	Açı (derece) (sr)	n ve p'nun açığa bağlı tesir kesiti (mb/sr)	
		n(mb/sr)	p(mb/sr)
500 MeV	75	1563	173
	85	1499	139,6
	95	1418	118,9
	105	1363	103,1
	115	1318	90,64
	125	1256	85,5
	135	1233	80,41
	145	1201	74,29
	155	1170	74,41
	165	1156	71,51
	175	1118	75,61

4.4.7. $p+_{90}\text{Th}^{232}$ Reaksiyonu

Toryum (Th); Nötron bombardımanına tutulduğunda, nükleer bir yakıt olan U-233'e dönüşür. Bu yüzden, dolaylı bir nükleer enerji kaynağıdır. Kullanımı amacıyla değişik santral sistemlerinin tasarım ve deneme çalışmaları sürmektedir. Güçlü alaşımların eldesinde ve kızılötesi fotoelektrik hücrelerde kullanılır. Toryum oksit (ThO_2), %1 kadar seryum oksit ve diğer bileşenlerden oluşan fitiller, gaz alevinde ısıtıldıklarında çarpıcı bir şekilde parlar ve taşınabilir gazlı lambalarda kullanılır. Alaşımlarına yüksek sıcaklıklarda, güç ve sünmeye karşı dayanıklılık sağladığından, magnezyuma katılır. Elektron koparmak için gereken enerji düzeyi düşük ve elektron emisyonu yüksek olduğundan, elektronik donanımın yapımında kullanılan tungsten tellerin kaplanmasında kullanılır. Oksidi, elektrik lambalarında kullanılan tungstenin kristal granül büyüklüğünü kontrol etmekte, yüksek sıcaklıklara dayalı laboratuvar kaplarının kaplanmasında kullanılır. Toryum oksit içeren camlar, yüksek kırılma indisine sahiptir ve ışığın fazla dağılmasına (dispersiyon) izin vermezler. Bu özellikleri nedeniyle, kaliteli fotoğraf merceklelerinin ve bilimsel donanımın yapımında kullanılırlar. Toryum oksit ayrıca, amonyağın nitrik asite dönüştürülmesinde ve petrolün ayrıştırılmasında, sülfürik asit üretiminde katalizör olarak kullanılır. Th^{232} izotopunun bolluk oranı %100 dür.

CEM03 Programında farklı enerjilerde. $p+_{90}\text{Th}^{232}$ reaksiyonu sonucunda oluşan; elastik, inelastik ve fisyon tesir kesiti, (A) kütleğe bağlı izotop üretimi, (Z) yüke bağlı izotop

üretimi, bombardıman sonucunda oluşan (T: Tüm üretim mekanizması, C: Kaskad, P: Denge öncesi, Sp: Spallation atık sonrası, E:Toplam buharlaşma) nötron ve protonların sayıları, oluşan nötron ve protonların verimi (mb), ortalama kinetik enerjisi <TKE> (MeV), çift diferansiyel tesir kesitleri (mb/MeV/sr), reaksiyon sonucunda enerjiye bağlı oluşan nötronların ve protonların enerji spektrumu (mb/MeV), oluşan ikincil reaksiyon nötron verimi tesir kesiti (mb) ve oluşan nötronların açısal dağılım tesir kesiti [mb/sr] hesaplamaları yapılmıştır. ALICE/ASH programı ile de reaksiyon sonucunda enerjiye bağlı oluşan nötronların ve protonların enerji spektrumu (mb/MeV) hesaplamaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.67-77'de verilmiştir. Şekil 4.18'de ve Şekil 4.19'da teorik-deneysel data karşılaştırması yapılmıştır.

Tablo 4.67. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{90}\text{Th}^{232}$ bombardımanındaki elastik ve inelastik tesir kesiti (mb)

Enerji (MeV)	100 MeV	200 MeV	300 MeV	400 MeV	500 MeV
İnelastik tesir kesiti (mb)	2012,1	1810,73	1737,67	1729,89	1746,35
Monte carlo inelastik tesir kesiti (mb)	1691,59	1634,35	1625,71	1647,79	1691,6
Elastik tesir kesiti (mb)	1068,18	1058,35	1030,28	988,76	927,09
Fisyon tesir kesiti(mb)	1217,86	1138,82	1088,18	1053,42	1023,66

Tablo 4.68. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{90}\text{Th}^{232}$ bombardıman sonucunda (A) kütleyle bağlı izotop üretimi

p = 100 MeV			p = 200 MeV			p = 300 MeV			p = 500 MeV		
A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)
232	52,31	0,06734	232	26,87	0,07974	232	18	0,08492	232	11,53	0,08827
231	118,4	0,08198	231	85,05	0,06807	231	73,92	0,06314	231	61,21	0,05483
230	107,4	0,134	230	63,23	0,1143	230	52,77	0,1063	230	38,96	0,1027
229	111,8	0,1678	229	72,86	0,1281	229	63,41	0,1168	229	52,48	0,1023
228	118,2	0,2212	228	64,72	0,1779	228	59,46	0,1692	228	45,34	0,1547
227	94,09	0,2723	227	50,07	0,2238	227	43,88	0,2211	227	38,89	0,1939
226	81,19	0,3137	226	45,23	0,2789	226	41,6	0,2761	226	36,81	0,2466
225	47,36	0,3682	225	34,39	0,339	225	34,27	0,3	225	31,45	0,2933
224	27	0,4118	224	31	0,3748	224	30,62	0,3839	224	26,91	0,3367
223	15,07	0,5202	223	30,85	0,4219	223	28,12	0,4021	223	25,67	0,3911
222	9,98	0,6136	222	28,9	0,4961	222	24,05	0,4728	222	21,57	0,4674
221	6,761	0,6742	221	32,41	0,5278	221	26,13	0,5508	221	22,37	0,5084
220	3,058	0,7828	220	27,81	0,5896	220	22,71	0,6157	220	20,55	0,5893
219	1,368	0,9247	219	24,75	0,6722	219	23,15	0,695	219	22,62	0,6722
218	0,1408	0,9865	218	19,03	0,7297	218	20,16	0,7663	218	20,19	0,7371
217	0,08048	1,052	217	12,15	0,7881	217	15,43	0,8669	217	19,47	0,7963

Tablo 4.68. (Devam): CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{90}\text{Th}^{232}$ bombardıman sonucunda (A) kütleyle bağlı izotop üretimi

p = 100 MeV			p = 200 MeV			p = 300 MeV			p = 500 MeV		
A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)
216	0,02012	1,393	216	8,655	0,8992	216	12,2	0,9321	216	16,76	0,9247
178	0,02012	34,59	215	4,817	0,9362	215	9,696	1,036	215	13,95	0,9879
175	0,02012	48,14	214	3,766	1,007	214	8,219	1,132	214	12,8	1,128
167	0,04024	50,35	213	2,607	1,199	213	7,524	1,13	213	12,61	1,182
166	0,02012	36,05	212	1,268	1,359	212	6,551	1,251	212	12,45	1,338
165	0,06036	49,52	211	0,5975	1,575	211	5,352	1,44	211	11,18	1,394
164	0,08048	43,74	210	0,3078	1,802	210	4,518	1,45	210	10,37	1,488
163	0,04024	42,87	209	0,1992	1,629	209	3,632	1,663	209	9,902	1,621
162	0,08048	43,44	208	0,163	2,243	208	2,815	1,797	208	9,587	1,88
161	0,1811	48,48	207	0,1268	1,655	207	3,249	1,864	207	10,76	1,891
160	0,2012	46,76	206	0,0362	2,386	206	2,294	1,861	206	12,1	1,924
159	0,3823	46,94	205	0,0362	2,602	205	2,415	2,092	205	13,95	2,083
158	0,5231	47,38	172	0,0181	49,41	204	1,564	2,297	204	12,68	2,248
157	0,7445	50,51	170	0,0181	43,67	203	0,9905	1,859	203	12,12	2,166
156	1,087	50,27	168	0,0724	42,74	202	0,417	2,738	202	11,04	2,409
155	1,489	49,35	167	0,0181	46,53	201	0,2085	4,038	201	8,941	2,436
154	2,435	51,23	166	0,0181	36,02	200	0,139	1,903	200	7,23	2,618
153	2,656	52,5	165	0,0181	39,56	198	0,0347	3,271	199	5,344	2,551
152	3,541	53,54	164	0,0905	38,54	169	0,0173	31,97	198	5,326	3,03
151	4,266	53,93	163	0,0543	42,83	168	0,0521	33,2	197	3,353	2,94
150	5,734	55,54	162	0,0543	42,63	167	0,0173	44,27	196	2,969	3,292
149	6,62	55,58	161	0,1268	49,27	165	0,1216	41,69	195	2,55	3,294
148	8,39	56,52	160	0,163	42,58	164	0,0695	44,32	194	2,2	3,577
147	10,46	56,97	159	0,4165	42,87	163	0,0868	41,77	193	1,449	2,769
146	11,71	57,59	158	0,2716	47,74	162	0,1043	40,35	192	1,537	4,017
145	13,5	57,82	157	0,4708	45,96	161	0,0521	40,17	191	0,7859	4,277
144	17,28	58,56	156	0,7967	47,4	160	0,1738	44,82	190	0,7509	3,335
143	18,25	59,12	155	0,9235	49,25	159	0,2606	45,81	189	0,489	3,539
142	19,82	59,83	154	1,376	49,47	158	0,3302	46,49	188	0,4715	3,283
141	22,54	60,17	153	1,648	49,74	157	0,3997	43,32	187	0,3842	3,633
140	25,73	60,94	152	2,626	51,28	156	0,5561	45,22	186	0,262	4,139
139	26,76	61,23	151	3,169	51,77	155	0,7124	47,32	185	0,1222	3,753
138	29,46	61,8	150	3,712	52,64	154	1,234	49,25	184	0,06985	3,052
137	32,33	62,26	149	4,599	53,33	153	1,512	48,95	183	0,08732	3,067
136	33,52	62,69	148	4,998	54,78	152	2,033	49,82	182	0,03493	4,237
135	33,16	63,87	147	6,7	55,3	151	2,276	51,59	181	0,03493	6,575
134	33,66	64,35	146	8,239	55,06	150	2,641	51,35	180	0,01746	5,702
133	32,03	64,93	145	9,506	56,32	149	3,614	51,85	179	0,01746	30,64
132	32,07	65,73	144	10,83	57,09	148	4,362	52,84	172	0,05239	39,02
131	31,15	66,28	143	12,01	57,23	147	5,439	54,5	171	0,01746	22,73
130	31,23	66,85	142	12,04	58,11	146	6,673	54,66	170	0,03493	30,77
129	29,36	67,95	141	14,29	58,46	145	7,402	54,94	169	0,01746	35,45
128	30,83	68,53	140	16,73	59,04	144	8,827	55,72	168	0,03493	39,71
127	29,96	68,8	139	17,51	59,47	143	9,401	56,75	167	0,06985	37,39
126	31,65	69,67	138	19,32	60,46	142	11,1	56,55	166	0,03493	44,98
125	31,13	70,08	137	20,12	60,55	141	11,36	57,79	165	0,03493	44,4
124	34,27	71,06	136	21,89	61,4	140	12,35	58,07	164	0,05239	30,61

Tablo 4.68. (Devam): CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{90}\text{Th}^{232}$ bombardıman sonucunda (A) kütleyle bağlı izotop üretimi

p = 100 MeV			p = 200 MeV			p = 300 MeV			p = 500 MeV		
A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)
123	32,09	71,28	135	22,43	62,24	139	14,56	58,93	163	0,08732	43,11
122	36,34	72,3	134	22,69	62,71	138	15,59	59,35	162	0,1048	42,86
121	37,16	72,79	133	21,91	63,46	137	15,81	60,25	161	0,1222	37,43
120	40,42	73,6	132	23,1	63,85	136	18,16	60,31	160	0,08732	41,75
119	39,94	74,38	131	22,09	64,24	135	16,98	60,86	159	0,1222	36,36
118	44,79	75,01	130	24,03	65,27	134	18,19	61,7	158	0,2096	42,48
117	44,77	75,83	129	24,44	65,48	133	17,38	62,41	157	0,3493	45,18
116	47,28	76,3	128	25,78	66,16	132	18,28	62,76	156	0,5239	44,5
115	46,04	76,75	127	25,73	66,84	131	18,7	63,43	155	0,6811	45,73
114	47,69	77,72	126	28,01	67,48	130	19,57	64,02	154	0,6462	49,46
113	46,62	78,25	125	29,13	67,82	129	19,9	64,68	153	0,7859	47,42
112	51,57	78,8	124	32,05	68,87	128	22,29	64,51	152	1,484	49,34
111	44,95	79,73	123	32,16	69,52	127	22,02	65,42	151	1,589	50,65
110	51,29	80,22	122	33,46	70,42	126	24,87	66,34	150	1,781	50,16
109	46,94	80,93	121	35,58	70,66	125	25,44	66,58	149	2,48	51,21
108	48,69	81,3	120	38,28	71,36	124	27,16	66,95	148	3,056	51,97
107	47,49	82,21	119	38,53	72,26	123	29,8	67,76	147	3,283	51,99
106	46,12	82,95	118	41,79	72,84	122	31,59	68,64	146	4,331	53,31
105	44,63	83,53	117	43,73	73,54	121	31	69,56	145	5,222	53,67
104	43,88	83,81	116	47,64	74,16	120	35,55	70,03	144	5,641	54,61
103	40,22	84,97	115	47,8	74,67	119	35,17	70,23	143	6,427	54,93
102	41,65	85,47	114	47,84	75,37	118	38,32	71,5	142	7,16	55,35
101	37,18	86,09	113	47,33	75,97	117	38,98	71,93	141	8,644	56,17
100	38,45	86,77	112	53,02	76,71	116	42,28	72,57	140	9,203	56,82
99	33,24	87,71	111	48,17	77,03	115	44,78	73,17	139	10,36	57,1
98	35,05	88,09	110	52,67	77,79	114	47,47	73,71	138	11,21	57,82
97	34,93	89,22	109	52,84	78,56	113	45,72	74,3	137	12,26	58,28
96	36,58	90,03	108	53,72	79,17	112	49,14	75,06	136	12,98	59,34
95	35,65	91,06	107	52,66	79,85	111	46,4	75,43	135	12,05	59,84
94	36,02	92,16	106	51,88	80,97	110	51,42	75,99	134	13,39	59,91
93	34,65	92,37	105	49,54	81,28	109	50,24	77	133	13,27	60,54
92	36,84	93,64	104	48,94	81,59	108	51,09	77,57	132	13,66	61,17
91	36,02	94,37	103	46,95	82,57	107	50,32	78,53	131	13,62	60,78
90	38,41	95,05	102	48,91	83,41	106	53,4	78,8	130	15,39	61,79
89	38,29	96,19	101	43,11	83,74	105	49,58	79,32	129	15,51	62,09
88	37,16	96,43	100	42,9	84,52	104	51,07	80,03	128	15,96	63,1
87	33,78	97,46	99	38,37	85,14	103	48,03	80,89	127	17,38	63,53
86	36,76	98,47	98	38,28	85,92	102	49,85	81,29	126	19,07	63,36
85	33,7	98,99	97	38,28	86,81	101	44,5	82,43	125	19,98	64,34
84	30,32	99,97	96	35,45	87,41	100	44,76	82,92	124	22,55	64,77
83	24,81	100,6	95	36,27	88,2	99	39,2	83,69	123	22,89	65,47
82	24,1	101	94	36,18	89,77	98	42,1	83,81	122	26,21	66,42
81	18,73	102,7	93	34,13	89,56	97	38,19	84,81	121	27,63	67,02
80	16,62	102,6	92	34,19	90,91	96	41,62	85,82	120	29,22	67,11
79	13,18	102,8	91	31,8	91,67	95	36,73	86,22	119	30,77	68,36
78	11,09	104,1	90	32,59	92,34	94	36,49	87,02	118	33,3	68,74
77	8,109	103,8	89	31,11	93,66	93	33,29	88,18	117	34,98	69,01

Tablo 4.68. (Devam): CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{90}\text{Th}^{232}$ bombardıman sonucunda (A) kütleyle bağlı izotop üretimi

p = 100 MeV			p = 200 MeV			p = 300 MeV			p = 500 MeV		
A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	A Kütle	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)
76	6,6	104,2	88	31,09	94,01	92	34,94	88,66	116	37,86	69,99
75	4,93	104,7	87	28,59	95,27	91	30,97	89,5	115	37,88	70,46
74	3,823	104,9	86	29,28	96,07	90	33,43	90,02	114	41,58	71,47
73	2,495	107,8	85	25,6	97,18	89	29,75	91,55	113	41,32	72,17
72	1,871	105,8	84	25,68	97,76	88	30,7	91,69	112	43,43	72,72
71	1,489	107,2	83	21,49	98,84	87	28,43	92,94	111	41,93	72,96
70	1,147	107,3	82	20,59	99,47	86	30,1	94,67	110	47,29	73,79
69	0,6841	110,2	81	18,16	100,7	85	25,54	95,18	109	44,78	74,49
68	0,5433	108,8	80	15,59	100,8	84	24,07	96,34	108	48,02	74,33
67	0,4628	106,8	79	13,4	102	83	21,69	96,3	107	46,1	75,5
66	0,4628	109,2	78	12,49	102,3	82	22,05	97,89	106	49,4	76,14
65	0,2012	109,5	77	9,742	102,4	81	17,15	99,37	105	48,13	76,42
64	0,08048	118,8	76	8,239	102,2	80	15,76	99,36	104	50,38	77,1
63	0,02012	111,9	75	7,261	103,4	79	13,83	99,78	103	46,63	78,02
62	0,06036	114,5	74	5,994	104,1	78	13,21	100,4	102	49,19	78,56
60	0,06036	121,2	73	4,708	104,3	77	11,17	101	101	43,48	79,43
59	0,02012	125	72	4,183	105,1	76	10,32	102	100	46,8	79,9
52	0,02012	126,8	71	2,843	105,4	75	7,889	102	99	42,89	80,53
49	0,02012	133,1	70	2,137	104,7	74	7,42	104	98	44,97	81,06
			69	1,793	106,2	73	5,717	103	97	43,69	81,76
			68	1,756	107,6	72	5,248	102,9	96	41,67	82,14
			67	1,086	105,8	71	3,84	103,4	95	37,58	83,38
			66	0,9416	107,3	70	3,788	104,4	94	40,88	84,09
			65	0,7424	109,4	69	2,502	105,3	93	36,29	84,4
			64	0,3621	108,8	68	1,946	104,9	92	36,01	85,01
			63	0,3078	110,2	67	1,668	105,4	91	35,4	85,49
			62	0,4346	116,1	66	1,442	104,3	90	34,33	85,96
			61	0,1811	109,2	65	1,077	103,6	89	32,73	87,27
			60	0,1268	115,2	64	1,025	108,1	88	33,3	88,65
			59	0,0905	111,9	63	0,8688	107,5	87	29,39	89,27
			58	0,0905	104,5	62	0,5213	110,1	86	30,65	90,55
			57	0,0724	101,9	61	0,5213	106,4	85	26,86	91,64
			56	0,0724	110,4	60	0,3823	110,2	84	24,59	92,87
			55	0,0362	105,5	59	0,2606	106	83	21,85	93,37
			54	0,0724	119,5	58	0,278	113,4	82	21,69	94,3
			53	0,0181	122,7	57	0,1738	110,9	81	19,24	95
			51	0,0362	125,9	56	0,139	112,8	80	17,32	95,75
						55	0,0868	109,2	79	15,96	96,42
						54	0,1216	109,7	78	15,12	96,85
						53	0,0347	137,2	77	12,78	98,15
						52	0,0521	129,3	76	11,16	98,34
						51	0,0173	112,6	75	9,587	98,64
						50	0,0347	100,9	74	8,54	99,25
						49	0,0173	122,2	73	7,841	99,99
						48	0,0173	90,48	72	6,566	100,4

Tablo 4.69. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{90}\text{Th}^{232}$ bombardıman sonucunda (Z) yüke bağlı izotop üretimi

p = 100 MeV			p = 200 MeV			p = 300 MeV			p = 500 MeV		
Z Yük	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	Z Yük	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	Z Yük	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	Z Yük	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)
91	127,6	0,1861	91	73,44	0,2067	91	66,83	0,2329	91	56,58	0,2627
90	487,2	0,1836	90	283,3	0,1546	90	247,2	0,1632	90	200,6	0,1648
89	166,2	0,3233	89	227,8	0,3795	89	213,9	0,399	89	194	0,3971
88	12,74	0,5729	88	66,92	0,6371	88	71,56	0,7509	88	81,57	0,8289
87	0,4829	0,7796	87	16,98	0,8769	87	26,9	1,107	87	45,93	1,21
70	0,02012	34,59	86	2,662	1,147	86	9,053	1,326	86	26,21	1,559
69	0,02012	48,14	85	0,67	1,702	85	11,82	1,896	85	63,76	2,087
67	0,06036	45,58	84	0,163	2,436	84	2,137	2,263	84	33,86	2,427
66	0,04024	47,93	70	0,01811	49,41	83	0,1216	2,557	83	7,247	2,883
65	0,161	46,02	68	0,09054	41,21	82	0,03475	3,008	82	7,806	3,222
64	0,4829	44,06	67	0,1449	40,9	69	0,05213	36,07	81	2,602	3,759
63	1,368	48,37	66	0,163	37,24	68	0,06951	38,33	80	1,642	3,369
62	2,857	50,25	65	0,2897	42,96	67	0,2433	41,72	79	0,2794	4,144
61	5,533	51,26	64	0,7424	46,64	66	0,2954	42,94	78	0,4366	3,357
60	12,19	54	63	1,376	45,77	65	0,4692	41,03	77	0,1222	4,641
59	23,18	55,42	62	2,915	48,87	64	0,9905	45,33	74	0,01746	36,65
58	38,87	57,41	61	5,994	49,92	63	1,616	46,43	73	0,01746	22,73
57	56,16	59,02	60	10,76	52,3	62	3,041	47,75	72	0,05239	33,73
56	70,44	60,69	59	18,51	54,18	61	5,682	49,3	71	0,08732	33,9
55	83,32	62,42	58	29,39	56,16	60	10,83	51,38	70	0,1397	35,95
54	88,61	64,16	57	40,16	57,78	59	17,31	53,85	69	0,1572	39,66
53	86,12	65,97	56	52,53	59,93	58	26,81	55,81	68	0,1572	36,71
52	88,23	67,69	55	58,41	61,58	57	36,65	57,59	67	0,2794	38,83
51	88,53	69,67	54	62,49	63,27	56	42,94	59,36	66	0,4017	40,42
50	92,48	71,35	53	72,37	65	55	49,33	61,23	65	0,5064	43,62
49	99,42	73,11	52	75,36	66,5	54	51,54	62,85	64	0,6112	42,98
48	114,2	74,98	51	81,94	68,52	53	66,67	64,07	63	1,537	45,73
47	119,7	76,6	50	89,38	70,28	52	67,2	66,06	62	3,109	46,35
46	123,4	78,36	49	102,6	72	51	77,29	67,64	61	5,798	48,18
45	122,9	80,2	48	115,9	73,55	50	85,11	69,23	60	10,69	50,57
44	123,1	81,77	47	124,7	75,47	49	95,5	71,14	59	12,57	53,11
43	115,4	83,6	46	129,5	77,02	48	113,7	72,78	58	20,99	54,6
42	103	85,09	45	135,9	78,67	47	117,6	74,45	57	27,84	56,79
41	93,14	86,88	44	130,5	80,34	46	125,9	75,91	56	35,59	58
40	90,06	88,55	43	121,8	82,27	45	130,4	77,71	55	37,63	60,22
39	83,66	91,04	42	114,7	83,9	44	128,9	79,19	54	38,75	61,92
38	83,3	92,68	41	105,2	85,77	43	119,7	81,18	53	56,55	62,36

Tablo 4.69. (Devam): CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{90}\text{Th}^{232}$ bombardıman sonucunda (Z) yüke bağlı izotop üretimi

p = 100 MeV			p = 200 MeV			p = 300 MeV			p = 500 MeV		
Z Yük	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	Z Yük	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	Z Yük	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)	Z Yük	Verim (mb)	Kinetik enerji (MeV)
37	83,88	95,21	40	91,41	87,55	42	115,8	82,85	52	59,52	64,08
36	84,43	96,86	39	78,62	89,39	41	102	84,53	51	69,05	66,16
35	76,12	98,84	38	76,1	91,28	40	98,35	86,22	50	76,49	67,59
34	65,57	100,6	37	69,84	93,39	39	79,2	88,31	49	84,38	69,4
33	47,65	102,1	36	62,78	95,72	38	73,73	90,02	48	110,9	70,78
32	31,83	103,7	35	57,24	98,03	37	64,99	92,05	47	101,6	72,85
31	19,18	105	34	48,93	99,85	36	59,67	94,49	46	116,8	74,1
30	9,054	106	33	38,99	101,2	35	51,66	96,8	45	123	75,68
29	4,447	106,9	32	27,54	102,8	34	45,42	99,16	44	123,4	76,99
28	2,133	107,4	31	18,38	104	33	36,07	100,5	43	112,2	79,17
27	0,7646	107,6	30	11,52	105,5	32	27,7	102,4	42	119	80,7
26	0,3421	111,8	29	6,175	106,2	31	17,76	103,7	41	101,8	82,46
25	0,06036	107,6	28	3,241	107,4	30	13,1	104,5	40	104,1	83,4
24	0,06036	125,6	27	1,666	107,8	29	6,899	104,9	39	81,62	85,49
22	0,02012	126,8	26	0,7062	111,7	28	3,788	106,4	38	77,5	87,05
21	0,02012	133,1	25	0,1811	108,3	27	1,946	106,7	37	67,62	89,68
			24	0,1811	112,7	26	1,286	108,9	36	58,61	92,55
			23	0,1449	114,1	25	0,5213	108,4	35	49,42	94,32
			22	0,05432	112	24	0,3649	115,3	34	40,86	96,73
			21	0,01811	123	23	0,1564	117,8	33	35,8	98,31
						22	0,1043	115,1	32	26,68	100,3
						21	0,01738	122,2	31	18,09	101,5
						20	0,01738	90,48	30	13,17	102,3

Tablo 4.70. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{90}\text{Th}^{232}$ bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötron ve protonların sayıları

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	T		C		P		Sp		Pf		F		E	
	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p
100	7,148 2	0,560 6	0,495 8	0,345 7	0,432 2	0,209 5	1,11 9	0,000 1	1,314 2	0,003 1	3,796 3	0,001 2	6,220 2	0,005 4
125	7,998 4	0,641 1	0,692 4	0,419 3	0,473 2	0,212 9	1,230 1	0,001 7	1,426 2	0,005 2	4,176 6	0,002 2	6,832 9	0,008 9
150	8,761 3	0,701 8	0,958 6	0,488 4	0,473 3	0,198 1	1,375 6	0,004 1	1,505 7	0,007 8	4,448 8	0,003 5	7,329 4	0,015 3
175	9,454 9	0,742 6	1,260 9	0,547 4	0,454 1	0,172 1	1,462 9	0,005 6	1,589 3	0,012 8	4,687 8	0,005 2	7,74 6	0,023 6
200	10,06 82	0,792 1	1,544 6	0,605 6	0,425 9	0,153 1	1,500 8	0,008 2	1,704 6	0,018 3	4,892 4	0,007 2	8,097 8	0,033 5
250	11,08 38	0,916 7	1,843 7	0,690 2	0,468 1	0,166 1	1,698 5	0,015 2	1,946 3	0,032 5	5,127 2	0,012 2	8,772 8	0,059 8
300	12,04 95	1,035 8	2,053 7	0,746 5	0,525 3	0,193 8	1,816 9	0,024 6	2,163 1	0,050 7	5,490 6	0,020 3	9,470 5	0,095 6
350	12,57 39	0,995 2	2,061 2	0,647 6	0,565 9	0,216 7	2,040 6	0,037 6	2,303 7	0,066 5	5,602 5	0,027 4	9,946 8	0,131 3
400	13,29 91	1,091 2	2,255 9	0,677 4	0,592 3	0,239 5	2,273 2	0,053 6	2,421 6	0,084 2	5,756 5	0,036 5	10,45 09	0,174 3
500	14,72 23	1,265 7	2,632 3	0,707 4	0,653 7	0,274 9	2,923 4	0,103 1	2,601 7	0,123 1	5,911 2	0,057 6	11,43 63	0,283 8

(T: Tüm üretim mekanizması, C: Kaskad, P: Denge öncesi, Sp: Spallation atık sonrası, F: Fisyon, E: Toplam buharlaşma)

Tablo 4.71. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{90}\text{Th}^{232}$ bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötron ve protonların verimi (mb)

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	T		C		P		Sp		Pf		F		E	
	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p	n	p
100	1438 2,895	1127, 943	997,5 99	695,6 03	869,6 3	421,4 75	2233, 472	1,791	2644, 041	6,439	7638, 154	2,636	1251 5,666	10,86 5
125	1559 4,381	1250, 006	1349, 87	817,5 06	922,5 36	415,1 29	2398, 258	3,236	2780, 573	9,826	8143, 144	4,309	1332 1,975	17,37 2
150	1659 1,44	1328, 98	1815, 27	924,8 59	896,2 82	375,1 66	2605, 012	7,783	2850, 041	14,62	8424, 834	6,552	1387 9,887	28,95 5
175	1746 6,986	1371, 88	2329, 35	1010, 473	838,7 75	317,8 45	2702, 507	10,32 7	2936, 073	23,72 1	8660, 28	9,514	1429 8,86	43,56 2
200	1823 0,768	1434, 243	2796, 78	1096, 542	771,0 99	276,9 87	2717, 579	14,41 3	3086, 533	33,19 1	8858, 777	13,11	1466 2,889	60,71 4
250	1952 9,835	1614, 065	3248, 641	1216, 148	824,7 32	292,4 96	2992, 707	26,74 8	3429, 442	57,24 8	9034, 312	21,42 6	1545 6,462	105,4 22
300	2093 7,945	1799, 943	3568, 574	1297, 08	912,8 3	336,6 73	3157, 094	42,78 1	3758, 709	88,16 9	9540, 738	35,24	1645 6,541	166,1 9
350	2174 0,038	1720, 717	3563, 794	1119, 602	978,3 79	374,6 18	3528, 228	65,04 4	3982, 985	114,0 26	9686, 652	47,42 6	1719 7,866	226,4 97
400	2300 6,005	1887, 677	3902, 483	1171, 847	1024, 564	414,3 79	3932, 48	92,77 4	4189, 179	145,6 05	9957, 3	63,07 2	1807 8,958	301,4 51
500	2571 0,304	2210, 412	4596, 856	1234, 689	1141, 609	480,1 25	5105, 359	179,9 97	4543, 453	215,0 46	1032 3,027	100,5 55	1997 1,839	495,5 98

(T: Tüm üretim mekanizması, C: Kaskad, P: Denge öncesi, Sp: Spallation atık sonrası, F: Fizyon, E: Toplam buharlaşma)

Tablo 4.72. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{90}\text{Th}^{232}$ bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötron ve protonların ortalama kinetik enerjisi <TKE> (MeV)

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	T		C		P		Sp		Pf		F		E	
	E_n	E_p	E_n	E_p	E_n	E_p	E_n	E_p	E_n	E_p	E_n	E_p	E_n	E_p
100	5,23	42,4	31,01	48,97	17,12	32,36	1,41	10,99	2,37	11,53	2,61	8,8	2,34	10,78
125	6,01	48,19	33,42	57,4	17,23	31,61	1,52	11,28	2,55	11,6	2,7	8,61	2,46	10,8
150	6,71	54,08	33,76	65,34	16,34	29,66	1,64	11,23	2,7	11,79	2,78	8,81	2,55	10,97
175	7,39	61,02	33,81	73,7	15,1	27,55	1,74	11,27	2,83	11,94	2,84	9,09	2,63	11,16
200	7,99	67,6	34,01	81,32	14,09	25,67	1,81	11,48	2,95	11,91	2,9	9,39	2,71	11,26
250	9,23	77,57	38,31	95,84	14,35	25,47	1,96	11,48	3,19	12,21	3,01	9,35	2,85	11,45
300	10,43	84,65	43,51	109,27	15	25,88	2,11	11,69	3,41	12,47	3,13	9,41	3	11,62
350	11,4	98,52	50,24	140,05	15,54	26,79	2,28	12,02	3,59	12,69	3,21	9,51	3,11	11,83
400	12,35	102	53,66	151,71	16,15	26,96	2,44	12,07	3,76	12,81	3,3	9,49	3,22	11,89
500	13,97	103,9	59,01	170,16	17,08	28	2,8	12,49	4,06	13,16	3,46	9,77	3,43	12,23

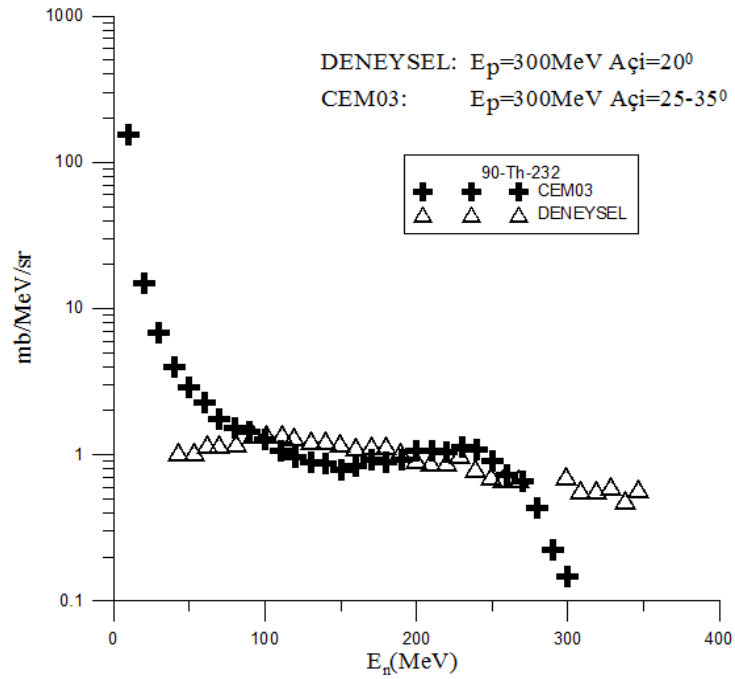
(T: Tüm üretim mekanizması, C: Kaskad, P: Denge öncesi, Sp: Spallation atık sonrası, F: Fizyon, E: Toplam buharlaşma)

Tablo 4.73. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{90}\text{Th}^{232}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların çift diferansiyel tesir kesitleri (mb/MeV/sr); laboratuvar açısı = 25-35°

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	Çıkan nötron ve proton enerjisi	Tesir kesiti (mb/MeV/sr)	
	$T_{n,p}$ (MeV)	n	p
100 MeV	0,0-10	110,4	0,2462
	10,0-20	7,668	3,285
	20,0-30	4,751	3,998
	30,0-40	3,693	4,042
	40,0-50	3,116	4,971
	50,0-60	2,638	5,004
	60,0-70	2,583	5,607
	70,0-80	2,432	4,655
	80,0-90	2,219	3,024
	90,0-100	1,238	0,8194
200 MeV	0,0-10	138	0,3174
	10,0-20	12,72	3,386
	20,0-30	6,507	2,979
	30,0-40	4,074	2,262
	40,0-50	2,834	1,779
	50,0-60	2,146	1,571
	60,0-70	1,713	1,412
	70,0-80	1,455	1,409
	80,0-90	1,392	1,448
	90,0-100	1,389	1,802
	100,0-110	1,266	2,096
	110,0-120	1,2	2,692
	120,0-130	1,504	2,834
	130,0-140	1,448	2,999
	140,0-150	1,458	3,085
	150,0-160	1,352	2,523
	160,0-170	1,333	2
	170,0-180	1,051	1,299
	180,0-190	0,7506	0,6679
190,0-200	0,3505	0,2248	
300 MeV	0,0-10	153,6	0,5521
	10,0-20	14,87	3,621
	20,0-30	6,898	2,612
	30,0-40	4,014	1,853
	40,0-50	2,919	1,383
	50,0-60	2,291	1,291
	60,0-70	1,742	1,015
	70,0-80	1,533	0,8885
	80,0-90	1,453	0,8663
	90,0-100	1,279	0,898
	100,0-110	1,069	0,8441
	110,0-120	0,9678	0,9646
	120,0-130	0,8885	0,9456
	130,0-140	0,879	1,079
	140,0-150	0,7965	1,152
	150,0-160	0,8441	1,307
	160,0-170	0,9297	1,599
	170,0-180	0,8821	1,634
	180,0-190	0,9234	1,929

Tablo 4.73. (Devam): CEM03 programında farklı enerjilerde $p+{}_{90}\text{Th}^{232}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların çift diferansiyel tesir kesitleri (mb/MeV/sr); laboratuvar açısı = 25-35°

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	Çıkan nötron ve proton enerjisi $T_{n,p}$ (MeV)	Tesir kesiti (mb/MeV/sr)	
		n	p
300 MeV	190,0-200	1,063	2,107
	200,0-210	1,069	2,224
	210,0-220	1,047	2,177
	220,0-230	1,126	2,11
	230,0-250	1,085	1,777
	240,0-250	0,9012	1,218
	250,0-260	0,7267	0,9075
	260,0-270	0,6568	0,6632
	270,0-280	0,4347	0,4442
	280,0-290	0,2253	0,2126
	290,0-300	0,146	0,06029



Şekil 4.18. ${}_{90}\text{Th}^{232}$ elementinin 300 MeV enerjili protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötronların çift diferansiyel tesir kesitleri, deneysel değerler Iwamoto vd (2009)'dan alınmıştır

Tablo 4.74. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+{}_{90}\text{Th}^{232}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların çift diferansiyel tesir kesitleri (mb/MeV/sr); laboratuvar açısı = 45-55°

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	Çıkan nötron ve proton enerjisi	Tesir kesiti (mb/MeV/sr)	
	$T_{n,p}$ (MeV)	n	p
100 MeV	0,0-10	109,9	0,3669
	10,0-20	7,005	3,6
	20,0-30	4,254	4,23
	30,0-40	3,25	3,691
	40,0-50	2,276	2,938
	50,0-60	1,616	2,036
	60,0-70	1,07	1,127
	70,0-80	0,7051	0,6068
	80,0-90	0,3837	0,2638
	90,0-100	0,1319	0,05516
200 MeV	0,0-10	134,1	0,3928
	10,0-20	11,95	3,28
	20,0-30	6,021	3
	30,0-40	3,684	2,734
	40,0-50	2,594	2,221
	50,0-60	2,154	2,014
	60,0-70	1,69	2,027
	70,0-80	1,601	1,826
	80,0-90	1,239	1,465
	90,0-100	1,135	1,327
	100,0-110	0,8978	1,092
	110,0-120	0,7403	0,7791
	120,0-130	0,5417	0,5849
	130,0-140	0,3669	0,4122
	140,0-150	0,3	0,2115
	150,0-160	0,2245	0,1165
	160,0-170	0,09712	0,05396
	170,0-180	0,09496	0,01079
	180,0-190	0,04316	0,004316
190,0-200	0,008633		
300 MeV	0,0-10	151	0,6172
	10,0-20	14,16	3,678
	20,0-30	6,317	2,545
	30,0-40	3,842	1,943
	40,0-50	2,759	1,673
	50,0-60	2,245	1,595
	60,0-70	1,676	1,487
	70,0-80	1,557	1,477
	80,0-90	1,309	1,493
	90,0-100	1,197	1,442
	100,0-110	1,102	1,35
	110,0-120	1,033	1,483
	120,0-130	0,8844	1,232
	130,0-140	0,8823	1,096
	140,0-150	0,7601	0,9672
	150,0-160	0,6897	0,7601
	160,0-170	0,6027	0,5592
	170,0-180	0,5095	0,5116
	190,0-200	0,2941	0,2299

Tablo 4.74. (Devam): CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{90}\text{Th}^{232}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların çift diferansiyel tesir kesitleri (mb/MeV/sr); laboratuvar açısı = $45-55^\circ$

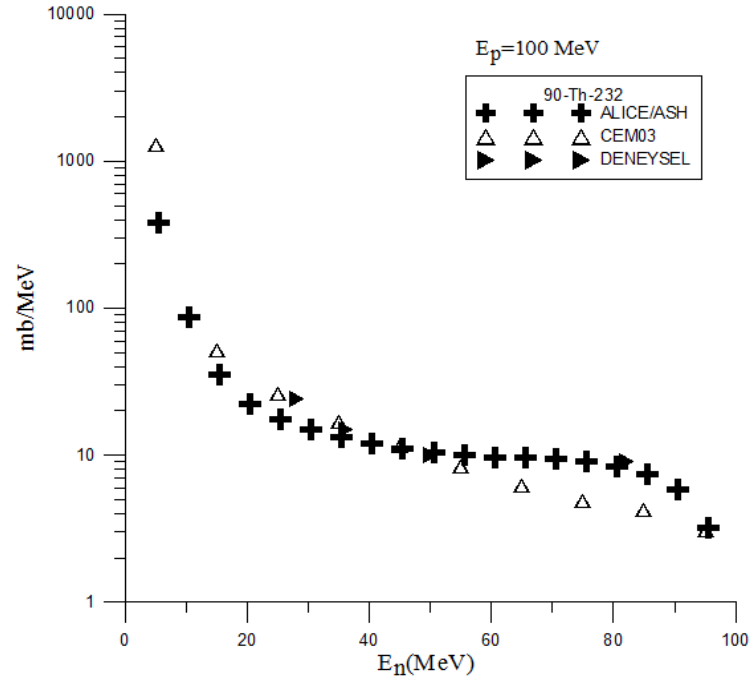
Proton (mermi) enerjisi (MeV)	Çıkan nötron ve proton enerjisi	Tesir kesiti (mb/MeV/sr)	
	$T_{n,p}$ (MeV)	n	p
300 MeV	180,0-190	0,4246	0,35
	200,0-210	0,2817	0,203
	210,0-220	0,1843	0,1077
	220,0-230	0,1388	0,06006
	230,0-250	0,1181	0,03107
	240,0-250	0,0642	0,01657
	250,0-260	0,04349	0,01657
	260,0-270	0,01657	0,01036
	270,0-280	0,01036	0,004142
	280,0-290	0,002071	0,002071
290,0-300	0,002071		

Tablo 4.75. ALICE/ASH ve CEM03 programları ile farklı enerjilerde $p+_{90}\text{Th}^{232}$ bombardıman sonucunda enerjiye bağlı ortaya çıkan nötronların ve protonların enerji spektrumu (mb/MeV)

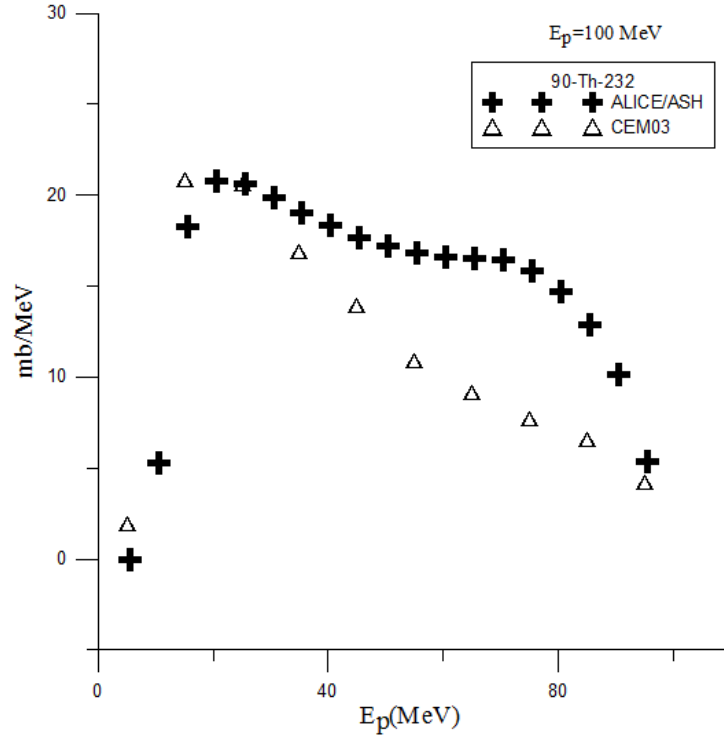
Proton (mermi) enerjisi (MeV)	ALICE/ASH nötron ve protonların enerji spektrumu (mb/MeV)			CEM03 nötron ve protonların enerji spektrumu (mb/MeV)		
	Çıkan n ve p enerjisi (MeV)	n(mb/MeV)	p(mb/MeV)	Çıkan n ve p enerjisi (MeV)	n(mb/MeV)	p(mb/MeV)
100 MeV	5,5	385,1	0	0,0-10	1305	1,948
	15,5	35,64	18,3	10,0-20	51,77	20,82
	25,5	17,53	20,64	20,0-30	26,04	20,64
	35,5	13,32	19,01	30,0-40	16,76	16,94
	45,5	11,18	17,65	40,0-50	11,48	13,92
	55,5	10,06	16,84	50,0-60	8,409	10,94
	65,5	9,56	16,55	60,0-70	6,264	9,121
	75,5	9,035	15,86	70,0-80	4,924	7,704
	85,5	7,39	12,91	80,0-90	4,235	6,563
	95,5	3,234	5,342	90,0-100	3,083	4,197

Tablo 4.75. (Devam): ALICE/ASH ve CEM03 programları ile farklı enerjilerde $p+{}_{90}\text{Th}^{232}$ bombardıman sonucunda enerjiye bağlı ortaya çıkan nötronların ve protonların enerji spektrumu (mb/MeV)

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	ALICE/ASH nötron ve protonların enerji spektrumu (mb/MeV)			CEM03 nötron ve protonların enerji spektrumu (mb/MeV)		
	Çıkan n ve p enerjisi (MeV)	n(mb/MeV)	p(mb/MeV)	Çıkan n ve p enerjisi (MeV)	n(mb/MeV)	p(mb/MeV)
200 MeV	5,5	557,8	0	0,0-10	1581	3,967
	15,5	25,53	11,05	10,0-20	98,72	25,74
	25,5	8,871	10,93	20,0-30	41,85	19,37
	35,5	7,72	11,47	30,0-40	23,81	13,78
	45,5	7,043	11,45	40,0-50	15,25	10,37
	55,5	6,464	11,12	50,0-60	11,15	8,148
	65,5	5,966	10,65	60,0-70	8,623	7,114
	75,5	5,546	10,18	70,0-80	6,837	6,169
	85,5	5,2	9,749	80,0-90	5,72	5,4
	95,5	4,954	9,409	90,0-100	4,663	5,036
	105,5	4,779	9,15	100,0-110	3,884	4,827
	115,5	4,647	8,956	110,0-120	3,422	4,712
	125,5	4,553	8,819	120,0-130	3,091	4,34
	135,5	4,494	8,735	130,0-140	2,655	3,987
	145,5	4,462	8,695	140,0-150	2,457	3,998
	155,5	4,455	8,691	150,0-160	2,243	3,726
	165,5	4,465	8,715	160,0-170	2,12	3,659
	175,5	4,266	8,28	170,0-180	2,073	3,698
185,5	3,426	6,55	180,0-190	2,017	3,315	
195,5	1,351	2,417	190,0-200	1,595	2,071	



Şekil 4.19. ${}_{90}\text{Th}^{232}$ elementinin 100 MeV enerjili protonlarla bombardımanı sonucu ortaya çıkarda nötronların enerji spektrumları (mb/MeV), deneysel değerler Lefort vd (1962)'den alınmıştır



Şekil 4.20. ${}_{90}\text{Th}^{232}$ elementinin 100 MeV enerjili protonlarla bombardımanı sonucu ortaya çıkan protonların enerji spektrumları (mb/MeV)

Tablo 4.76. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+{}_{90}\text{Th}^{232}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan ikincil reaksiyon nötron verimi tesir kesiti (mb)

Reaksiyon türü	Proton (mermi) enerjisi (MeV)				
	100 MeV	200 MeV	300 MeV	400 MeV	500 MeV
(n,n)	21,29	11,35	8,64	7,08	5,8
(n,2n)	33,1	18,54	14,18	11,85	9,41
(n,3n)	27,99	14,85	11,52	9,57	8,42
(n,4n)	32,37	16,1	13,08	9,83	9,6
(n,5n)	32,01	13,31	10,51	8,58	8,16
(n,6n)	40,95	16,6	12,22	9,46	8,12
(n,7n)	47,73	16,33	11,17	8,79	7,16
(n,8n)	63,9	19,16	13,05	9,58	7,61
(n,9n)	71,99	21,98	13,17	9,7	7,23
(n,10n)	87,1	26,13	14,34	10,5	8

Tablo 4.77. CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{90}\text{Th}^{232}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların açısal dağılımı (mb/sr)

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	Açı (derece) (sr)	n ve p'nun açığa bağlı tesir kesiti (mb/sr)	
		n(mb/sr)	p(mb/sr)
100 MeV	5	1389	337,9
	15	1453	401
	25	1435	387,5
	35	1391	316,5
	45	1336	228,2
	55	1273	151,5
	65	1219	95,37
	75	1166	59,95
	85	1125	36,75
	95	1081	27,18
	105	1050	19,11
	115	1040	14,31
	125	1019	11,57
	135	1000	9,275
	145	990,2	7,975
	200 MeV	5	1832
15		1904	460,6
25		1881	422,7
35		1797	345,7
45		1730	271,3
55		1646	201,2
65		1579	140,4
75		1511	92,85
85		1440	65,54
95		1382	45,22
105		1329	33,07
115		1274	23,82
125		1239	18,41
135		1208	14,43
145		1193	12,83
145		1193	12,83
155	1173	11,38	
165	1169	10,99	
175	1187	11,38	

Tablo 4.77. (Devam): CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{90}\text{Th}^{232}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların açısal dağılımı (mb/sr)

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	Açı (derece) (sr)	n ve p'nun açığa bağlı tesir kesiti (mb/sr)	
		n(mb/sr)	p(mb/sr)
300 MeV	5	2089	448
	15	2186	470,4
	25	2111	440,1
	35	2038	373,4
	45	1970	305,6
	55	1906	237,1
	65	1818	179,6
	75	1735	132,3
	85	1662	100,4
	95	1595	76,29
	105	1526	58,46
	115	1478	48,04
	125	1434	42,59
	135	1395	38,3
	145	1365	34,44
	400 MeV	5	2332
15		2430	497,4
25		2343	429,4
35		2233	356,5
45		2141	295,7
55		2072	238,2
65		1992	182
75		1905	138,3
85		1827	107,8
95		1756	83,43
105		1677	72,34
115		1629	65,27
125		1575	58,17
135		1535	50,17
145		1516	47,56
500 MeV		5	2726
	15	2773	571,7
	25	2624	468,2
	35	2511	373
	45	2403	308,6
	55	2322	261,1
	65	2219	211,5
	75	2119	167,7
	85	2025	134,4
	95	1952	109,9

Tablo 4.77. (Devam): CEM03 programında farklı enerjilerde $p+_{90}\text{Th}^{232}$ bombardıman sonucunda ortaya çıkan nötronların ve protonların açısal dağılımı (mb/sr)

Proton (mermi) enerjisi (MeV)	Açı (derece) (sr)	n ve p'nun açığa bağlı tesir kesiti (mb/sr)	
		n(mb/sr)	p(mb/sr)
500 MeV	105	1881	98,81
	115	1813	86,52
	125	1759	77,59
	135	1720	71,48
	145	1674	72,67
	155	1663	65,84
	165	1646	64,44
	175	1627	65,5

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

1997'den itibaren Ankara ve Gazi Üniversitelerinden fizikçilerin DPT desteği ile yürüttükleri Türk Hızlandırıcı Merkezi (THM) bünyesinde kullanıma açılan hızlandırıcı için yapılacak olan çalışmalara, nükleer reaksiyon modellerine dayanan tesir kesiti hesaplarına, radyoizotop üretim programları için gerekli veri tabanının güçlendirilmesi, ülkemizde kullanıma açılan hızlandırıcı için yapılacak olan çalışmalara, nükleer reaksiyon modellerine dayanan tesir kesiti hesaplarına, radyoizotop üretim programları için gerekli veri tabanının güçlendirilmesine, üretim teknolojisinin geliştirilmesine ve yapılacak deneysel çalışmalara ışık tutması açısından önemli olmuştur.

Bu çalışmada ${}_{66}\text{Dy}^{163}$, ${}_{72}\text{Hf}^{177}$, ${}_{73}\text{Ta}^{181}$, ${}_{74}\text{W}^{183}$, ${}_{82}\text{Pb}^{207}$, ${}_{82}\text{Pb}^{208}$ ve ${}_{90}\text{Th}^{232}$ çekirdekler hedef madde olarak kullanılarak üzerlerine 25-500 MeV kadar enerji aralıklarına sahip hızlandırılmış proton gönderilerek çarpıştırılıp ortaya çıkacak komplikasyonların hesaplamaları CEM03 ve ALICE/ASH bilgisayar programlarıyla yapılmıştır. Hesaplama sonucunda elde edilen veriler literatürdeki deney sonuçları ile karşılaştırılarak Grapher 7 grafik programıyla grafikleri çizdirilmiştir.

Şekil 4.1'de $\text{Dy}^{163}(\text{p},\text{n})$ reaksiyonunun protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötronların enerji spektrumları CEM03 ve ALICE/ASH programlarıyla hesaplanmıştır. Tablo 4.9'da 100 MeV ile 200 MeV enerjilerinde datalar verilmiştir. 100 MeV enerjilik datalar alınarak Şekil 4.1'de grafik çizdirilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi programların sonuçları arasında bir uyum mevcuttur.

Şekil 4.2' de $\text{Dy}^{163}(\text{p},\text{p})$ reaksiyonunun protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan protonların enerji spektrumları CEM03 ve ALICE/ASH programlarıyla hesaplanmıştır. Tablo 4.9'da 100 MeV ile 200 MeV enerjilerinde datalar verilmiştir. 100 MeV enerjilik datalar alınarak Şekil 4.2'de grafik çizdirilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi programların

sonuçları arasında bir uyum mevcuttur ancak nötron oluşumunun aksine, oluşan düşük enerjili protonların (0-10 MeV) oluşum tesir kesitinin daha düşük olduğu görülmektedir.

Şekil 4.3’de $\text{Hf}^{177}(\text{p},\text{n})$ reaksiyonunun protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötronların enerji spektrumları CEM03 ve ALICE/ASH programlarıyla hesaplanmıştır. Tablo 4.20’de 100 MeV ile 200 MeV enerjilerinde datalar verilmiştir. 100 MeV enerjilik datalar alınarak Şekil 4.3’de grafik çizdirilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi programların sonuçları arasında bir uyum mevcuttur.

Şekil 4.4’de $\text{Hf}^{177}(\text{p},\text{p})$ reaksiyonunun protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan protonların enerji spektrumları CEM03 ve ALICE/ASH programlarıyla hesaplanmıştır. Tablo 4.20’de 100 MeV ile 200 MeV enerjilerinde datalar verilmiştir. 100 MeV enerjilik datalar alınarak Şekil 4.4’de grafik çizdirilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi programların sonuçlarında genel olarak bir uyum mevcuttur, ancak nötron oluşumunun aksine, oluşan düşük enerjili protonların (0-10 MeV) oluşum tesir kesitinin daha düşük olduğu görülmektedir.

Şekil 4.5’de $\text{Ta}^{181}(\text{p},\text{n})$ reaksiyonu 500 MeV enerjili protonlarla bombardımanı sonucunda 25-35° açı arasında ortaya çıkan nötronların çift diferansiyel tesir kesitleri CEM03 programıyla hesaplanmıştır. Tablo 4.29’da 100 MeV ile 500 MeV arasındaki datalar verilmiştir. 500 MeV enerjili CEM03 program dataları ile Filges vd (1984)’den deneysel değerler alınarak Şekil 4.5’de grafik çizdirilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi programların sonuçları arasında bir uyum mevcuttur.

Şekil 4.6’da $\text{Hf}^{181}(\text{p},\text{n})$ reaksiyonunun protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötronların enerji spektrumları CEM03 ve ALICE/ASH programlarıyla hesaplanmıştır. Tablo 4.31’de 100 MeV ile 200 MeV enerjilerinde datalar verilmiştir. 100 MeV enerjilik datalar alınarak Şekil 4.6’de grafik çizdirilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi programların sonuçları arasında bir uyum mevcuttur.

Şekil 4.7’de $\text{Ta}^{177}(\text{p},\text{p})$ reaksiyonunun protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan protonların enerji spektrumları CEM03 ve ALICE/ASH programlarıyla hesaplanmıştır. Tablo 4.31’de 100 MeV ile 200 MeV enerjilerinde datalar verilmiştir. 100 MeV enerjilik

datalar alınarak Şekil 4.7’de grafik çizdirilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi programların sonuçlarında genel olarak bir uyum mevcuttur, ancak nötron oluşumunun aksine, oluşan düşük enerjili protonların (0-10 MeV) oluşum tesir kesitinin daha düşük olduğu görülmektedir.

Şekil 4.8’de $Ta^{177}(p,5n)$ reaksiyonunun farklı enerjili protonlarla bombardımanı sonucu ortaya çıkan nötron verimi tesir kesiti CEM03 programıyla hesaplanmıştır. Tablo 4.32’de 500 MeV enerjilerindeki datalar verilmiş ve deneysel değerler ise Zhuikov vd (2003)’ten alınarak Şekil 4.8’de grafik çizdirilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi programların sonuçları arasında genel olarak bir uyum mevcuttur.

Şekil 4.9’da $W^{183}(p,n)$ reaksiyonunun protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötronların enerji spektrumları CEM03 ve ALICE/ASH programlarıyla hesaplanmıştır. Tablo 4.42’de 100 MeV ile 200 MeV enerjilerinde datalar verilmiştir. 100 MeV enerjilik datalar alınarak Şekil 4.9’da grafik çizdirilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi programların sonuçları arasında bir uyum mevcuttur.

Şekil 4.10’da $W^{183}(p,p)$ reaksiyonunun protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan protonların enerji spektrumları CEM03 ve ALICE/ASH programlarıyla hesaplanmıştır. Tablo 4.32’de 100 MeV ile 200 MeV enerjilerinde datalar verilmiştir. 100 MeV enerjilik datalar alınarak Şekil 4.10’da grafik çizdirilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi programların sonuçlarında genel olarak bir uyum mevcuttur, ancak nötron oluşumunun aksine, oluşan düşük enerjili protonların (0-10 MeV) oluşum tesir kesitinin daha düşük olduğu görülmektedir.

Şekil 4.11’de $W^{183}(p,n)$ reaksiyonunun protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötronların açılal spektrumları CEM03 programıyla hesaplanmıştır. Tablo 4.44’de 50 MeV ile 500 MeV arasındaki datalar verilmiştir. Deneysel değerler ise Kamitsubo vd (1967)’den alınmıştır. 50 MeV enerjili datalar Şekil 4.11’de grafik çizdirilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi programların sonuçları arasında bir uyum mevcuttur.

Şekil 4.12’de $Pb^{207}(p,f)$ reaksiyonunun protonlarla bombardımanı sonucunda oluşan reaksiyon tesir kesiti CEM03 programıyla hesaplanmıştır. Deneysel değerler ise Shigaev

vd (1973)'den alınmıştır. Tablo 4.45'de CEM03 programının 100 MeV ile 500 MeV arasındaki dataları ile Deneysel dataların 200 MeV e kadar olan kısım verilmiştir. Şekil 4.12'de fisyon tesir kesiti grafiği çizdirilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi program sonucu ile deneysel sonuç arasında bir uyum mevcuttur.

Şekil 4.13'de $Pb^{207}(p,n)$ reaksiyonunun protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötronların enerji spektrumları CEM03 ve ALICE/ASH programlarıyla hesaplanmıştır. Deneysel değerler ise Harder vd (1987)'den alınmıştır. Tablo 4.53'de 25 MeV ile 200 MeV enerjiler arasındaki datalar verilmiştir. 25 MeV enerjilik datalar alınarak Şekil 4.13'de grafik çizdirilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi programlar arasında bir uyum olduğu, özellikle deneysel değerler ile ALIS/ASH programı sonuçları arasında mükemmel bir uyum mevcuttur.

Şekil 4.14'de $Pb^{208}(p,p)$ reaksiyonunun protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan protonların enerji spektrumları CEM03 ve ALICE/ASH programlarıyla hesaplanmıştır. Tablo 4.53'de 100 MeV ile 200 MeV enerjilerinde datalar verilmiştir. 100 MeV enerjilik datalar alınarak Şekil 4.14'de grafik çizdirilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi programların sonuçları arasında bir uyum mevcuttur ancak nötron oluşumunun aksine, oluşan düşük enerjili protonların (0-20 MeV) oluşum tesir kesitinin daha düşük olduğu görülmektedir.

Şekil 4.15'de $Pb^{208}(p,f)$ reaksiyonunun protonlarla bombardımanı sonucu oluşan reaksiyon tesir kesiti CEM03 programıyla hesaplanmıştır. Deneysel değerleri ise Vaishnane vd (2010)'den alınmıştır. Tablo 4.56'da 100 MeV ile 500 MeV arasındaki değerler alınarak şekil 4.15'deki grafik çizdirilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi CEM03 Programı verileri ile deneysel değerlerde genel olarak bir uyum mevcuttur.

Şekil 4.16'da $Pb^{208}(p,n)$ reaksiyonunun protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötronların enerji spektrumları CEM03 ve ALICE/ASH programlarıyla hesaplanmıştır. Tablo 4.64'de 100 MeV ile 200 MeV enerjilerinde datalar verilmiştir. 100 MeV enerjilik datalar alınarak Şekil 4.16'da grafik çizdirilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi programların sonuçları arasında bir uyum mevcuttur.

Şekil 4.17’de $Pb^{208}(p,p)$ reaksiyonunun protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan protonların enerji spektrumları CEM03 ve ALICE/ASH programlarıyla hesaplanmıştır. Tablo 4.64’de 100 MeV ile 200 MeV enerjilerinde datalar verilmiştir. 100 MeV enerjilik datalar alınarak Şekil 4.17’de grafik çizdirilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi programların sonuçları arasında bir uyum mevcuttur ancak nötron oluşumunun aksine, oluşan düşük enerjili protonların (0-10 MeV) oluşum tesir kesitinin daha düşük olduğu görülmektedir.

Şekil 4.18’de $Th^{232}(p,n)$ reaksiyonunun protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötronların $25-35^\circ$ açı arasındaki çift diferansiyel tesir kesitleri CEM03 programıyla hesaplanmıştır. Deneysel değerler ise Iwamoto vd (2009)’den alınmıştır. Tablo 4.73’de 100 MeV ile 300 MeV enerjiler arasındaki datalar verilmiştir. Şekil 4.18’de 300 MeV lik protonların CEM03 programı ile deneysel datalar alınarak grafik çizdirilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi 70-270 MeV arasında tam bir uyum mevcuttur.

Şekil 4.19’da $Th^{232}(p,n)$ reaksiyonunun protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan nötronların enerji spektrumları CEM03 ve ALICE/ASH programlarıyla hesaplanmıştır. Deneysel değerler Lefort vd (1962)’den alınmıştır. Tablo 4.75’de 100 MeV ile 200 MeV enerjilerinde datalar verilmiştir. 100 MeV enerjilik datalar alınarak Şekil 4.19’da grafik çizdirilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi programların sonuçları arasında bir uyum mevcuttur.

Şekil 4.20’de $Th^{232}(p,p)$ reaksiyonunun protonlarla bombardımanı sonucunda ortaya çıkan protonların enerji spektrumları CEM03 ve ALICE/ASH programlarıyla hesaplanmıştır. Tablo 4.75’de 100 MeV ile 200 MeV enerjilerinde datalar verilmiştir. 100 MeV enerjilik datalar alınarak Şekil 4.20’de grafik çizdirilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi programların sonuçları arasında bir uyum mevcuttur ancak nötron oluşumunun aksine, oluşan düşük enerjili protonların (0-20 MeV) oluşum tesir kesitinin daha düşük olduğu görülmektedir.

KAYNAKLAR

Aydın, A., Tel. E., Sarer, B., “Investigation of the (n, p) reaction cross-sections of Some Nuclei in Tthe Rare-Earth Elements for an Incident Energy Range of 8–24 MeV”, *Physica Scripta*, 75: 299–306, 2007.

Bowman, C.D., Arthur, E.D., Lisowski P.W., “Nuclear energy generation and waste transmutation using an accelerator-driven intense thermal neutron source,” *Nuclear Inst. and Methods in Physics Research*, 320(1-2): 336–367, 1992.

Carpenter, J.M., “Pulsed spallation neutron sources for slow neutron scattering”, *Nucl. Instrum. Methods*, 145: 91, 1997.

Demirkol, İ., “Enerji Yükseltici Tasarımında Proton-Ağır Element Çarpışmasında Nötron Üretimi”, *Doktora, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 114, 2003.

Demirkol, İ., “Analysis of Isotopic Yields of Primary Residues in 1 A GeV 208Pb+p Reactions”, *Chinese Journal Of Physics*, 44(6): 418-429, 2006.

Demirkol, İ., Tel, E., Arasoğlu, A., Özmen, A., Sarer, B., Acir, A., Alkan, M., “The Neutron Production Cross Sections for Pb, Bi, and Au Targets and Neutron Multiplicity for Nuclear Spallation Reaction Induced by 20- to 1600-MeV Protons”, *Nuclear Science and Engineering*, 147(1): 83-91, 2004.

Demirkol, İ., Tel, E., Özmen, A., “Pb(1 GeV)+p Reaksiyonunda Üretilen Atık Çekirdeklerin İzotopik Üretim Tesir Kesitleri”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 3(1-2): 91-98, 2003.

Demirkol, İ., Tel, E., Arasoğlu, A., “p+ ²³²Th Çarpışmasında Spallasyon Nötron Üretimi ve Enerjileri”, *Yeni Ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Enerji Yönetimi Sempozyumu*, Kayseri, Türkiye, 2005.

Demirkol, İ., Tel, E., Arasoğlu, A., Özmen, A., Şarer, B., “Enerjisi 30 MeV’den 1500 MeV’e Kadar Olan Hızlandırılmış Protonlarla Nükleer Spallasyon Reaksiyonlarda Bazı Ağır Hedeflerin Nötron Üretim Tesir Kesitleri”, VIII. Ulusal Nükleer Bilimler ve Teknolojiler Kongresi, Kayseri, Türkiye, 2003.

Enqvist, T., Wlazlo, W., Armbruster, P., Benlliure, J., Bernas, M., Boudard, A., Czajkowski, S., Legrain, R., Leray, S., Mustapha, B., Pravikoff, M., Rejmund, F., Schmidt, K.H., Stephan, C., Taieb, J., Tassan-Got, L., Volant, C., “Isotopic yields and kinetic energies of primary residues in 1 A GeV Pb-208+p reactions”, Nuclear Physics A 686: 481-524, 2001.

Ertürk, S., Boztosun, İ., “Nükleer Fizik Araştırmalarında Kullanılacak Hızlandırıcılar ve Uygulama Alanları”, II. Ulusal Parçacık Hızlandırıcı Kongresi, Ankara, Türkiye, 2004.

Filges, D., Cierjacks, S., Hino, Y., Armstrong, T.W., Cloth, P., “Validation Of The Intra-Nuclear Cascade Evaporation Model For Particle Production”, Kernforschungszentrum Karlsruhe Reports, 3779: 11, 1984.

Geissel, H., Münzenberg G., Riisager K., “Secondary Exomtic Nuclear Beams” Annu. Rev. Nucl. Sci. 45: 163, 1995.

Genç, G.B., “Yüksek Enerjili Proton Sürümlü Hedeflerde Nötronik Limitler”, VI. YUUP Çalıştayı, Ankara, Türkiye, 2008.

Gudima, Mashnik S.G., Toneev V.D., “Cascade-Exciton Model Of Nuclear Reactions”, Nuclear Physics A 401: 329-361, 1983.

Harder, K., F.Binash, A.Kaminsky, E.Mordhorst, W.Scobel, M.Trabandt. R., “Angle and Enrgy Differential Cross Sections For the (P,XN) Reactions of 25,5 MeV Protons with Pb-204,206,207,208”, Hamburg Univ.,Inst.f. Experimental physik Reports, 87: 01, 1987.

Holub, H., Caplar, E., Cindro, N., “A Consistent Study of Precompound and Compound-Nucleus Emission Mechanisms in Neutron-Induced Reactions”, Zeithschrift Physik A. Atom and Nuclei, 296: 341-357, 1980.

Iwamoto, H., Koba, Y., Imamura, M., Fukui, Y., Fukuda, Y., Kiyohara, K., Ueyama, M., Wakabayashi, G., Uozumi, Y., Evtoukhovitch, P., Kalinikov, V., Khomutov, N., Kuchinskiy, N., Macharasvili, G., Mjavia, D., Moiseenko, A., Molokanov, A., Mzavia, A., Samoilov, V., Nakano, M.R., “Measurement of light charged particle production

double differential cross sections for 360- and 500-MeV proton induced reactions”, AEA Conference proceedings, 2009-004: 193, 2009.

Kalbach, C., “Pre-equilibrium Models in General the Griffin Model in Particular”, Acta. Phys., No: 2-3, 25-38, 1975.

Kamitsubo, H., Ohnuma, H., Ono, K., Uchida, A., Imaizumi, M., Kobayashi, S., Sekiguchi, M., “Elastic Scattering of 55 MeV Protons from Heavy Nuclei”, Journal of the Physical Society of Japan, 22: 19, 1967.

Karadeniz, H., Çetiner, M.A., Yücel, H., Arıkan, P., Sultansoy, S., “Hızlandırıcı Güdümlü Reaktörler / Enerji Yükseltici”, I. Ulusal Parçacık hızlandırıcıları ve uygulamaları ve Uygulamaları kongresi , Ankara, Türkiye, 2001.

Kaplan, A., Aydın, A., Tel, E. and Sarer, B., “Equilibrium and Pre-Equilibrium Emissions In Proton - Induced Reactions on 203, 205Tl”, Pramana-Journal of Physics, 72 (2): 343-353, 2009.

Lefort, M., Simonoff, G.N., Tarrago X., “Effective comparison of cross sections of reactions (p,n) and (p,pn) induced on thorium by 30 and 150 MeV protons”, Journal de Physique, 23: 123, 1962.

Millazzo-Colli, L., Braga-Marcuzzan, G.M., “Preformation Probability of α - Clusters in Rare earth Nuclei measured by Means of the (p,a) Reaction”, Nuclear Physics A, 218: 274-284, 1974.

Rubbia, C., Rubio, J.A., Buono, S., Carminati, F., Fietier, N., Galvez, J., Geles, C., Kadi, Y., Klapisch, R., Mandrillon, P., Revol, J.P., Ch. Roche: CERN report CERN-LHC 96-011-ETT, 1999.

Sarer, B., Aydın, A., Günay, M., Korkmaz, M.E., Tel, E., “Calculations of Neutron-Induced Production Cross-Sections of 180,182,183,184,186W up to 20 MeV”, Annals of Nuclear Energy, 36(4): 417-426, 2009.

Schmidt, K.H., Brohm, T., Clerc, H.G., Dornik, M., Fauerbach, M., Geissel, H., Grewe, A., Hanelt, E., Junghans, A., Magel, A., Morawek, W., Münzenberg, G., Nickel, F., Pfützner, M., Scheidenberg, C., Sümmerer, K., Vieira, D., Voss, B., Ziegler, C., “Distribution of Ir and Pt isotopes produced as fragments of $1 < i > A < / i > \text{ GeV} < sup >$

197<sup> Au projectiles: a thermometer for peripheral nuclear collisions”, Physics Letters B 300(4): 313, 1993.

Shigaev, O.E., Bychenkov, V.S., Lomanov, M.F, Obukhov, A.I., Perfilov, N.A., Shimchuk, G.G., Jakovlev, R.M., “The definition of anisotropy and fission cross sections as a function of Z^2/A at the proton energy 200 MeV”, Khlopin Radiev. Inst., Leningrad Reports, number 17, 1973.

Shvedchikovii, A.I., “Sotopic effect in the energy dependence of the total fission cross section of lead and Bi-209 nuclei for protons with energies up to 1 GeV”, Izv. Rossiiskoi Akademii Nauk, Ser.Fiz., 74: 529, 2010. Bull.Russian Academy of Sciences - Physics, 74: 496, 2010.

Sultansoy, S., “Parçacık Hızlandırıcıları: Dün, Bugün, Yarını”, I. Ulusal Parçacık Hızlandırıcıları ve Uygulamaları Kongresi, Ankara, Türkiye, 2001.

TAEK, <http://www.taek.gov.tr/kurumsal/birimler/bagli-kuruluslar/sanaem/190-proton-hizlandiricisi-bolumu/807-proton-hizlandirici-tesisi.html>. (erişim tarihi; 30.10.2013)

TAEK, <http://parcacikfizigi.blogspot.com/2007/11/paracik-hizlandiricilari.html> (erişim tarihi; 12.03.2014).

Taieb, J., Schmidt, K.-H., Tassan-Got, L., Armbruster, P., Benlliure, J., Bernas, M., Boudard, A., Casarejos, E., Czajkowski, S., Enqvist, T., Legrain, R., Leray, S., Mustapha, B., Pravikoff, M., Rejmund, F., Stéphan, C., Volant, C., Wlazlo, W., "Measurement Of A Complete Set Of Nuclides, Cross-Sections And Kinetic Energies In Spallation Of ^{238}u 1a Gev With Protons", Nuclear Physics A 724: 413-430, 2003.

Takizuka, T., Arthur, E.D., Rodrigues, A., Schriber, S.O., “Accelerator-Driven Transmutation Technologies and Applications”, International Conference on Accelerator-Driven Transmutation Technologies and Applications, Las Vegas, 1994, (AIP Press, Woodbury, NY, 1995).

Tel, E., Aydın, A., Übeyli, M., Arasoğlu, A., Demirkol, İ., “Hızlı Nötron Kaynaklarıyla Komşu Deformala ve Deformasız Hedef Çekirdeklerinde (n,2n) Reaksiyon Tesir Kesitlerinin Arştırılması”, 2. Ulusal Parçacık Hızlandırıcıları ve Uygulamaları Kongresi, Ankara, Türkiye, 2004.

Tel, E., Übeyli, M., Aytekin, H., Demirkol, İ., Arasoğlu, A., “ ^{232}Th ve ^{238}U Çekirdeklerinin Nötron Bombardımanından Yayınlanan Nötronların Kinetik Enerji Dağılımı”, TFD, Muğla, Türkiye, 2005.

Tel, E., Arasoğlu, A., Bölükdemir, M.H., Demirkol, İ., Tanır, G., “Nükleer Modeller Kullanarak (N,2n) Reaksiyonu İçin Yeni Geliştirilmiş Deneysel Tesir Kesiti Formülleri”, IX. Ulusal Nükleer Bilimler Ve Teknolojileri Kongresi, İzmir, Türkiye, 2005.

Vaishnane, L.A., Vovchenko, V.G., Gavrikov, A.A., Kotov, Yu.A., Murzin, V.I., Poliakov, V.V., Tverskoy, M.G., Fedorov, O.Ya., Chestnov, Yu.A., Shvedchikov, A.V., Shchetkovskii, A.I., “Isotopic effect in the energy dependence of the total fission cross section of lead and Bi-209 nuclei for protons with energies up to 1 GeV”, Izv. Rossiiskoi Akademii Nauk, Ser.Fiz., 74: 529, 2010.

Wallenius, J., Yucek, K., Carlsson J., Gudowski W., “Application of Burnable Absorbers in an Accelerator Driven System”, Nuc. Sci. Eng., 137: 96, 2001.

Yavaş, Ö., “Parçacık Hızlandırıcıları”, II. Ulusal Parçacık Hızlandırıcıları ve uygulama Kongresi, Ankara, Türkiye, 2004.

Yıldırım, G., “Bazı Amforter Grubu Hedef Çekirdeklerin Proton Giriş Reaksiyonlarında Üretilen Nötronların Reaksiyon Tesir Kesitlerinin ve Yayınlanma Spektrumlarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 62, 2009.

Zhuikov, B.L., Mebel, M.V., Kokhanyunk, V.M., Iljinov, A.S., Zyuzin, A.Y., Vincent.S., “Production of high-spin isomers in proton induced reactions at 100-500 MeV on ^{181}Ta ”, Physical Review, Part C, Nuclear Physics, 054611: 68, 2003.

ÖZGEÇMİŞ

Tahsin DAĞDELEN; 1979 yılında Kayseri'nin Sarız ilçesinde doğdu, ilkokulu Çörekdere Köy okulunda, ortaokul ve liseyi Sarız'da tamaladıktan sonra Dicle Üniversitesi Eğitim Fakültesi Fizik Öğretmenliği Bölümünden 1998 yılında mezun oldu. 1999 yılında Diyarbakır'da öğretmen olarak göreve başladı. 2011 yılında Bingöl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı.