



YÜKSEK LİSANS TEZİ

AYŞEGÜL CANEL

DİSİPLİNLERARASI NÜKLEER ENERJİ VE NÜKLEER ENERJİ SİSTEMLERİ
ANABİLİM DALI

GÜNCEL NÜKLEER UYGULAMALARA YÖNELİK YENİ NESİL EPOKSİ
TABANLI NÖTRON ZIRHLARININ GELİŞTİRMESİ

**T.C.
SİNOP ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GÜNCEL NÜKLEER
UYGULAMALARA YÖNELİK
YENİ NESİL EPOKSİ TABANLI
NÖTRON ZIRHLARININ GELİŞTİRMESİ**

AYŞEGÜL CANEL

**DİSİPLİNLERARASI NÜKLEER ENERJİ
VE
NÜKLEER ENERJİ SİSTEMLERİ
ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Hatun KORKUT**

**T.C. SİNOP ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE MİMARLIK FAKÜLTESİ**

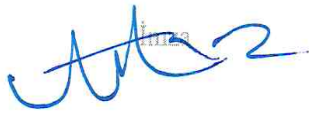
SİNOP – 2018

TEZ KABUL

Ayşegül CANEL tarafından hazırlanan “Güncel Nükleer Uygulamalara Yönelik Yeni Nesil Epoksi Tabanlı Nötron Zırhlarının Geliştirilmesi” başlıklı bu çalışma, 12.03.2018 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak, jürimiz tarafından **YÜKSEK LİSANS tezi** olarak kabul edilmiştir.

Başkan Yrd. Doç. Dr. Hatun KORKUT
Sinop Üniversitesi
Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi

İmza

İmza


Üye Doç. Dr. Murat SARIKAYA
Sinop Üniversitesi
Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi

Üye Yrd. Doç. Dr. Bünyamin AYGÜN
Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi
Meslek Yüksekokulu

İmza


Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

..... / / 20...

[Unvanı, Adı ve Soyadı]
Enstitü Müdürü

GÜNCEL NÜKLEER UYGULAMALARA YÖNELİK YENİ NESİL EPOKSİ TABANLI NÖTRON ZIRHLARININ GELİŞTİRMESİ

ÖZET

Günümüzde teknolojinin gelişmesi ile birlikte canlıların radyasyona maruziyeti her geçen gün artmaktadır. Bu artış ile birlikte zırhlama yöntemlerine yönelik yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları da hız kazanmıştır. Epoksi nükleer zırh olarak oldukça popüler bir malzemedir. Bol, ucuz, hafif ve dayanıklı olması epoksiyi radyasyon zırhlama teknolojisi için mükemmel bir seçenek haline getirmiştir. Bu nedenle bu çalışmada epoksi tabanlı kompozit zırh malzemelerinin radyasyon zırhı olarak geliştirilmesi konusu çalışılmıştır. Demir (Fe), tantal (Ta), toryum (Th), tungsten karbür (WC) ve bizmut (Bi) tozlarının %10'luk artan oranlarda epoksi reçinesine karıştırıldığı simüle edilerek elde edilen hedef numunelerin 4,5 MeV enerjili nötronlar ile bombardımana tutulması sonucu tesir kesitleri hesaplanmış ve radyasyon zırhlama açısından değerlendirilmiştir. Ayrıca reaksiyon sonucunda ortaya çıkan diğer ürünler de enerji aralıkları ile birlikte tahmin edilmiştir. Bu hesaplamalar GEANT4 Monte Carlo Hesaplama Kodu kullanılarak yapılmıştır. Hesaplama sonucunda %40 epoksi ve %60 tantal içeren kompozit en iyi nötron zırhı olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Nötron, GEANT4, tesir kesiti, radyasyon zırhlama, epoksi

DEVELOPMENT OF NEW GENERATION EPOXY BASED NEUTRON SHIELDS FOR CURRENT NUCLEAR APPLICATIONS

ABSTRACT

Today, with the development of technology, radiation exposure level is increasing day by day. Along with this increase, research and development studies on shielding methods have been also accelerated. Epoxy is a quite rather popular material as a nuclear shield. Due to abundance, cheapness, lightness and durability, epoxy is an excellent option for shielding technology. Therefore designing concept of epoxy based composite materials as radiation shields were studied in this study. Samples by simulating of at a increasing rate of ten percent of iron (Fe), tantalum (Ta), thorium (Th), tungsten carbide (WC) ve bismuth (Bi) powder mixed with epoxy, were irradiated by 4,5 MeV energetic neutron irradiation and cross section were calculated and evaluated in terms of shielding. In addition, other product nuclei and particles and their energy ranges that occur as a result of the reaction have been estimated. Calculations were made by GEANT4 Monte Carlo simulation code. As a result of calculations, the composite containing 40% epoxy and 60% tantalum has obtained as the best neutron-shield.

Key words: Neutron, GEANT4, Cross section, radiation shielding, epoxy

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı gerçekleştirmemde, tez hazırlama süreci boyunca büyük bir sabırla bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, ne zaman yardım istesem değerli zamanını bana ayıran, güler yüzünü ve samimiyetini benden esirgemeyen, her konuda bana yardımcı olan sayın danışmanım **Yrd. Doç. Dr. Hatun KORKUT** hocama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Geant4 programını öğrenmem de bana yardımcı olan ve tez çalışmam boyunca her konuda bilgisini benimle paylaşan saygıdeğer hocam **Doç. Dr. Turgay KORKUT**'a teşekkür ederim.

Tezimi hazırlarken beni yalnız bırakmayan sevgili eşime, maddi ve manevi destekleri ile beni bugüne getiren aileme teşekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SEMBOLLER ve KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER ve ÇİZELGELER LİSTESİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Radyasyon.....	3
2.1.1. İyonlaştırıcı Radyasyon	3
2.1.1.1. Parçacık Tipi Radyasyon	4
2.1.1.2. Dalga Tipi Radyasyon	5
2.1.2. İyonlaştırıcı (iyonize etmeyen) Olmayan Radyasyon.....	5
2.2. Radyasyonun Madde ile Etkileşimi	6
2.2.1. Ağır Yüklü Parçacıklar	6
2.2.2. Elektronlar	7
2.2.3. Elektromanyetik Radyasyon	7
2.2.3.1. Fotonlar.....	7
2.2.3.1.1. Compton Olayı.....	8
2.2.3.1.2. Fotoelektrik Olayı	8
2.2.3.1.3. Çift Oluşum	9
2.3. Radyasyon Dozu ve Birimleri	10
2.3.1. Soğrulmuş Doz	10
2.3.2. Eşdeğer Doz.....	10
2.3.3. Etkin Doz	11
2.3.4. Aktivite Birimi.....	11

2.3.5. Işınlama Birimi	11
2.4. Radyasyonun Biyolojik Etkileri	12
2.5. Radyasyonun Yararlı Etkileri (Tıbbi Tedavi).....	12
2.6. Radyoaktif Bozunma	15
2.6.1. Bozunma Çeşitleri	15
2.6.1.1. Alfa Bozunumu :.....	15
2.6.1.2. Beta Bozunumu :	16
2.6.1.3. Gama Bozunumu :	17
2.7. Nötronlar.....	18
2.7.1. Nötronların Soğurulması ve Yavaşlatılması.....	19
2.7.2. Nötron Tesir Kesiti	19
2.7.3. Nötron Dedektörleri.....	20
2.7.4. Nötronların Madde ile Etkileşimi	20
2.7.5. Nötron Kaynakları	22
2.7.5.1. Alfa-Berilyum Kaynakları	22
2.7.5.2. Fotonötron Kaynakları.....	22
2.7.5.3. Kendiliğinden Fisyon.....	23
2.7.5.4. Nükleer Reaksiyonlar	23
2.7.5.5. Nükleer Güç Santralleri	23
2.8. Polimerler Hakkında Genel Bilgiler	24
2.8.1. Polimerler	24
2.8.2. Polimerizasyon Mekanizması	26
2.9. Epoksi Reçinesi ve Epoksinin Özellikleri	27
2.9.1. Epoksi İçeren Kompozitlerin Nötron Zırhı Olarak Kullanılması	28
3. MATERYAL ve YÖNTEM	30
3.1. Kullanılan Numuneler	30
3.2. Modelleme	33

3.3. GEANT4 Hesaplamaları.....	35
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	37
4.1. Ürün Parçacıklar İçin Sayım-Enerji Tabloları.....	40
5. SONUÇLAR.....	136
KAYNAKLAR	139
ÖZGEÇMİŞ	143



SEMBOLLER ve KISALTMALAR LİSTESİ

e	Elektron
p	Proton
n	Nötron
γ	Gama Radyasyonu
α	Alfa Parçacığı
He	Helyum Çekirdeği
T	Manyetik Alan Birim Sembolü
m^0	Elektronun Durgun Kütlesi
m	Elektron Kütlesi
M	Nötronun Çarptığı Çekirdeğin Kütlesi
MeV	Mega Elektron Volt
Rad	Soğurulmuş Doz Özel Birimi
Gy	Gray, Absorblanmış Doz Birimi
Rem	Eşdeğer Doz Özel Birimi
Sv	Sievert, Eşdeğer Doz Birimi
SI	Uluslar Arası Birim Sistemi
Ci	Cruie, Aktivite Özel Birimi
Bq	Bequerel, Radyoaktivite Birimi
R	Röntgen, Radyasyon Şiddet Birimi
β	Beta Parçacığı
BNCT	Bor Nötron Yakalama Tedavisi
I	Şiddet

μ	Soğurma Katsayısı
σ_t	Toplam Tesir Kesiti
v	Nötronun Hızı
E	Enerji (keV, MeV, GeV)
P	Momentum
Fe	Demir Elementi
Bi	Bizmut Elementi
Ta	Tantal Elementi
Th	Toryum Elementi
WC	Tungsten Karbür Bileşiğı
D	Döteryum

ŞEKİLLER ve ÇİZELGELER LİSTESİ

ŞEKİLLER

Şekil 2.1. Radyasyonun giriciliği.....	6
Şekil 2.2. Yüksek enerjili X-ışınlarının fotonu ile karbon atomunun serbest elektronunun çarpıştırılması	8
Şekil 2.3. Bir kaynaktan yayılan ışık veya daha yüksek enerjili elektromanyetik dalganın yüzeyine düşmesi sonucu maddeden elektron yayılması.....	9
Şekil 2.4. Işık maddeye dönüşür	9
Şekil 2.5. Bor nötron yakalama tedavisinin (BNCT) beyin tümöründe uygulanması	14
Şekil 2.6. BNCT öncesi ve sonrası tümör tedavisi	14
Şekil 2.7. Serviks kanseri için uygulanan Bırakiterapi Tedavi yöntemi.....	15
Şekil 2.8. Alfa Bozunumu	16
Şekil 2.9. Beta bozunumu	17
Şekil 2.10. Gama Bozunumu	17
Şekil 2.11. ^{12}C Atomu.....	19
Şekil 2.12. Polimerizasyon tepkimesi sonucu oluşan Polimer Molekülleri	24
Şekil 2.13. Polimerizasyonda çoğalma	26
Şekil 2.14. Epoksi Reçinesi	27
Şekil 2.15. Epoksi Fonksiyonel Grubu	28
Şekil 2.16. Nükleer Reaktörler	29
Şekil 3.1. Demir cevherinin görünümü.....	30
Şekil 3.2. Bizmut cevherinin görünümü	31
Şekil 3.3. Tantal cevherinin Görünümü.....	32
Şekil 3.4. Toryum cevherinin görünümü	32
Şekil 3.5. Tungsten karbür tozu	33

Şekil 3.6. Çalışmada en iyi sonucu veren simülasyon.....	34
Şekil 4.1. %10 epoksi ve %90 demir için simülasyon ekran görüntüsü.....	42
Şekil 4.2. %20 epoksi ve %80 demir için simülasyon ekran görüntüsü.....	44
Şekil 4.3. %30 epoksi ve %70 demir için simülasyon ekran görüntüsü.....	46
Şekil 4.4. %40 epoksi ve %60 demir için simülasyon ekran görüntüsü.....	48
Şekil 4.5. %50 epoksi ve %50 demir için simülasyon ekran görüntüsü.....	50
Şekil 4.6. %60 epoksi ve %40 demir için simülasyon ekran görüntüsü.....	52
Şekil 4.7. %70 epoksi ve %30 demir için simülasyon ekran görüntüsü.....	54
Şekil 4.8. %80 epoksi ve %20 demir için simülasyon ekran görüntüsü.....	56
Şekil 4.9. %90 epoksi ve %10 demir için simülasyon ekran görüntüsü.....	58
Şekil 4.10. %100 epoksi için simülasyon ekran görüntüsü	59
Şekil 4.11. %10 epoksi ve %90 tungsten karbür için simülasyon ekran görüntüsü	61
Şekil 4.12. %20 epoksi ve %80 tungsten karbür için simülasyon ekran görüntüsü	63
Şekil 4.13. %30 epoksi ve %70 tungsten karbür için simülasyon ekran görüntüsü	65
Şekil 4.14. %40 epoksi ve %60 tungsten karbür için simülasyon ekran görüntüsü	67
Şekil 4.15. %50 epoksi ve %50 tungsten karbür için simülasyon ekran görüntüsü	69
Şekil 4.16. %60 epoksi ve %40 tungsten karbür için simülasyon ekran görüntüsü	71
Şekil 4.17. %70 epoksi ve %30 tungsten karbür için simülasyon ekran görüntüsü	73
Şekil 4.18. %80 epoksi ve %20 tungsten karbür için simülasyon ekran görüntüsü	75
Şekil 4.19. %90 epoksi ve %10 tungsten karbür için simülasyon ekran görüntüsü	77

Şekil 4.20. %100 epoksi için simülasyon ekran görüntüsü	78
Şekil 4.21. %10 epoksi ve %90 bizmut için simülasyon ekran görüntüsü	80
Şekil 4.22. %20 epoksi ve %80 bizmut için simülasyon ekran görüntüsü	82
Şekil 4.23. %30 epoksi ve %70 bizmut için simülasyon ekran görüntüsü	84
Şekil 4.24. %40 epoksi ve %60 bizmut için simülasyon ekran görüntüsü	86
Şekil 4.25. %50 epoksi ve %50 bizmut için simülasyon ekran görüntüsü	88
Şekil 4.26. %60 epoksi ve %40 bizmut için simülasyon ekran görüntüsü	90
Şekil 4.27. %70 epoksi ve %30 bizmut için simülasyon ekran görüntüsü	92
Şekil 4.28. %80 epoksi ve %20 bizmut için simülasyon ekran görüntüsü	94
Şekil 4.29. %90 epoksi ve %10 bizmut için simülasyon ekran görüntüsü	96
Şekil 4.30. %100 epoksi için simülasyon ekran görüntüsü	97
Şekil 4.31. %10 epoksi ve %90 tantal için simülasyon ekran görüntüsü	99
Şekil 4.32. %20 epoksi ve %80 tantal için simülasyon ekran görüntüsü	101
Şekil 4.33. %30 epoksi ve %70 tantal için simülasyon ekran görüntüsü	103
Şekil 4.34. %40 epoksi ve %60 tantal için simülasyon ekran görüntüsü	105
Şekil 4.35. %50 epoksi ve %50 tantal için simülasyon ekran görüntüsü	107
Şekil 4.36. %60 epoksi ve %40 tantal için simülasyon ekran görüntüsü	109
Şekil 4.37. %70 epoksi ve %30 tantal için simülasyon ekran görüntüsü	111
Şekil 4.38. %80 epoksi ve %20 tantal için simülasyon ekran görüntüsü	113
Şekil 4.39. %90 epoksi ve %10 tantal için simülasyon ekran görüntüsü	115
Şekil 4.40. %100 epoksi için simülasyon ekran görüntüsü	116
Şekil 4.41. %10 epoksi ve %90 toryum için simülasyon ekran görüntüsü.....	118
Şekil 4.42. %20 epoksi ve %80 toryum için simülasyon ekran görüntüsü.....	120
Şekil 4.43. %30 epoksi ve %70 toryum için simülasyon ekran görüntüsü.....	122
Şekil 4.44. %40 epoksi ve %60 toryum için simülasyon ekran görüntüsü.....	124
Şekil 4.45. %50 epoksi ve %50 toryum için simülasyon ekran görüntüsü.....	126
Şekil 4.46. %60 epoksi ve %40 toryum için simülasyon ekran görüntüsü.....	128

Şekil 4.47. %70 epoksi ve %30 toryum için simülasyon ekran görüntüsü.....	130
Şekil 4.48. %80 epoksi ve %20 toryum için simülasyon ekran görüntüsü.....	132
Şekil 4.49. %90 epoksi ve %10 toryum için simülasyon ekran görüntüsü.....	134
Şekil 4.50. %100 epoksi için simülasyon ekran görüntüsü	135



ÇİZELGELER

Çizelge 2.1. Radyasyon Çeşitleri.....	3
Çizelge 2.2. Radyasyon Birimleri.....	12
Çizelge 2.3. Nötronların Özellikleri	18
Çizelge 3.1. Demir metalinin özellikleri.....	30
Çizelge 3.2. Bizmut metalinin özellikleri	31
Çizelge 3.3. Tantal metalinin özellikleri.....	31
Çizelge 3.4. Toryum metalinin özellikleri	32
Çizelge 3.5. Tungsten karbür'ün özellikleri	33
Çizelge 4.1. Demir (Fe) için nötron tesir kesiti	38
Çizelge 4.2. Tungsten karbür (WC) için nötron tesir kesiti.....	38
Çizelge 4.3. Bizmut (Bi) için nötron tesir kesiti.....	39
Çizelge 4.4. Tantal (Ta) için nötron tesir kesiti	39
Çizelge 4.5. Toryum (Th) için nötron tesir kesiti	40
Çizelge 4.6. %10 epoksi ve %90 demir için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi	41
Çizelge 4.7. %20 epoksi ve %80 demir için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi	43
Çizelge 4.8. %30 epoksi ve %70 demir için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi	45
Çizelge 4.9. %40 epoksi ve %60 demir için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi	47
Çizelge 4.10. %50 epoksi ve %50 demir için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi	49
Çizelge 4.11. %60 epoksi ve %40 demir için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi	51
Çizelge 4.12. %70 epoksi ve %30 demir için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi	53
Çizelge 4.13. %80 epoksi ve %20 demir için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi	55
Çizelge 4.14. %90 epoksi ve %10 demir için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi	57

Çizelge 4.15. %100 epoksi için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi	59
Çizelge 4.16. %10 epoksi ve %90 tungsten karbür için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi.....	60
Çizelge 4.17. %20 epoksi ve %80 tungsten karbür için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi.....	62
Çizelge 4.18. %30 epoksi ve %70 tungsten karbür için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi.....	64
Çizelge 4.19. %40 epoksi ve %60 tungsten karbür için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi.....	66
Çizelge 4.20. %50 epoksi ve %50 tungsten karbür için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi.....	68
Çizelge 4.21. %60 epoksi ve %40 tungsten karbür için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi.....	70
Çizelge 4.22. %70 epoksi ve %30 tungsten karbür için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi.....	72
Çizelge 4.23. %80 epoksi ve %20 tungsten karbür için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi.....	74
Çizelge 4.24. %90 epoksi ve %10 tungsten karbür için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi.....	76
Çizelge 4.25. %100 epoksi için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi	78
Çizelge 4.26. %10 epoksi ve %90 Bizmut için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi	79
Çizelge 4.27. %20 epoksi ve %80 Bizmut için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi	81
Çizelge 4.28. %30 epoksi ve %70 Bizmut için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi	83
Çizelge 4.29. %40 epoksi ve %60 Bizmut için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi	85
Çizelge 4.30. %50 epoksi ve %50 Bizmut için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi	87

Çizelge 4.31. %60 epoksi ve %40 Bizmut için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi	89
Çizelge 4.32. %70 epoksi ve %30 Bizmut için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi	91
Çizelge 4.33. %80 epoksi ve %20 Bizmut için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi	93
Çizelge 4.34. %90 epoksi ve %10 Bizmut için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi	95
Çizelge 4.35. %100 epoksi için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi	97
Çizelge 4.36. %10 epoksi ve %90 Tantal için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi	98
Çizelge 4.37. %20 epoksi ve %80 Tantal için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi	100
Çizelge 4.38. %30 epoksi ve %70 Tantal için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi	102
Çizelge 4.39. %40 epoksi ve %60 Tantal için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi	104
Çizelge 4.40. %50 epoksi ve %50 Tantal için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi	106
Çizelge 4.41. %60 epoksi ve %40 Tantal için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi	108
Çizelge 4.42. %70 epoksi ve %30 Tantal için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi	110
Çizelge 4.43. %80 epoksi ve %20 Tantal için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi	112
Çizelge 4.44. %90 epoksi ve %10 Tantal için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi	114
Çizelge 4.45. %100 epoksi için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi	116
Çizelge 4.46. %10 epoksi ve %90 Toryum için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi.....	117

Çizelge 4.47. %20 epoksi ve %80 Toryum için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi.....	119
Çizelge 4.48. %30 epoksi ve %70 Toryum için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi.....	121
Çizelge 4.49. %40 epoksi ve %60 Toryum için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi.....	123
Çizelge 4.50. %50 epoksi ve %50 Toryum için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi.....	125
Çizelge 4.51. %60 epoksi ve %40 Toryum için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi.....	127
Çizelge 4.52. %70 epoksi ve %30 Toryum için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi.....	129
Çizelge 4.53. %80 epoksi ve %20 Toryum için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi.....	131
Çizelge 4.54. %90 epoksi ve %10 Toryum için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi.....	133
Çizelge 4.55. %100 epoksi için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi	135
Çizelge 4.56. Araştırmalar sonucunda kullanılan malzemelerden elde edilen en iyi sonuçlar.....	137

1. GİRİŞ

Günümüz teknolojisinin gelişimiyle birlikte evrendeki canlıların radyasyona maruz kalma süresi de her geçen gün artmaktadır. Kararsız bazı elementlerin kendiliğinden parçalanıp çevreye partiküller yayarak kararlı hale geçmesi radyasyon olarak tanımlanmaktadır. Radyasyon yayabilen bu maddeler yani radyoaktif elementler kanser hastalığının tedavisinde kullanılmaktadır. BNCT (Bor Nötron Yakalama) tedavi ve Brakiterapi bir çeşit kanser tedavi yöntemleridir. Sağlam hücrelere zarar vermeden kanserli hücreye gönderilen radyoaktif maddeler hastalığın tedavisinde kullanılır. Buna aynı zamanda Radyonüklid tedavi adı da verilmektedir.

Radyoaktif kaynaklar bir çok alanda kullanıldığı gibi Nükleer sistemlerde de kullanılmaktadır. Bu kaynaklara önlem alınmadığı takdirde canlılar ve çevre üzerinde önemli hasarlara yol açabilmektedir. Bu nedenle zırhlama teknolojisinin geliştirilmesi ile ilgili çalışmalar önem ve hız kazanmıştır. Zırhlamada kullanılacak malzemenin seçilmesi büyük önem arz etmektedir. Malzemenin hidrojen içeriği zengin olan parafin, epoksi, polietilen, akrilik reçinelerden hazırlanan kompozit malzemelerden seçilmesi daha uygundur.

Amaç radyasyonun türüne bağlı olarak, verdiği zarara en uygun zırh malzemesini geliştirmektir. Polimer katkılı olan epoksi reçinesi uygun bir zırhlama malzemesi olarak düşünülmektedir. Termosetler grubundan olan epoksi yapıştırıcı özelliği olan kimyasal bir reçinedir. Epoksi malzemesinin alkaliye, suya ve aside karşı direnci iyidir ve bu özelliğini kaybetmez. Polimerin tercih edilme nedenleri arasında hafif (düşük yoğunluklu), maliyeti düşük, kolay şekillendirilebilir ve kimyasallara oldukça dayanıklı olmasıdır. Bu özelliklerinden dolayı araştırmalarda polimer tabanlı malzemelerin kullanılması yoğunluk kazanmıştır. Epoksi reçinesine sertleştirici karıştırılarak elde edilen malzeme beton yüzeyde partiküler bir kaplama düzlemi oluşturarak mükemmel bir zırh malzemesi olarak kullanılır. Çünkü epoksi sertleştirici ile birleştirildiğinde, sürtünmeye ve aşınmaya karşı oldukça dayanıklı, mekanik dayanımı yüksek bir malzeme ortaya çıkar. Bu yüzden nükleer reaktörlerde zırhlama malzemesi olarak da çok kullanışlı olabileceği öngörülmektedir (Okuno, 2005).

Bu tezde polimer katkılı zırh malzemelerinin geliştirilmesi ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Polimer katkılı olan epoksi ile Demir (Fe), Bizmut (Bi), Tantal (Ta), Tungsten karbür (WC) ve Toryum (Th) malzemeleri uygun yüzdelik oranlarda

karıştırılarak zırhlamaya yönelik en doğru malzemenin bulunması amaçlanmıştır. Zırhlamada önemli olan, malzemenin nötron zırhlama kapasitesidir. Malzeme ne kadar çok nötron yakalarsa ve nötron yavaşlatırsa malzeme bir okadar zırhlama için uygun olacaktır.

Bu çalışmayı yaparken Monte Carlo tabanlı Geant4 Simülasyon Kodu kullanılmıştır. Geant4 madde içindeki parçacıkların simülasyonunu yapabilen bir araç kitidir. Aynı zamanda; sistemin geometrisi, ilgili parametreler, ilgi alanındaki temel parçacıklar, olayların birincil parçacıklarının oluşturulması, partiküllerin izlenmesi, elektromanyetik alanlar, parçacık etkileşimlerini yöneten fiziksel süreçler, hassas dedektör bileşenlerinin tepkisi, olay verisinin oluşturulması ve saklanması, simülasyonunun yani modellemenin yapılmasında yardımcı olmuştur (Agostinelli ve ark.). Simülasyonlar 4,5 MeV enerjili nötronlar düşünülerek yapılmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Radyasyon

Radyasyon, atom tarafından enerjinin yayılması ve bu enerjinin boşluk içinde iletilmesi işlemidir. Kararsız halde bulunan bazı elementler dış etkenler olmadan kendiliğinden parçalanır, çevrelerine partiküller ve elektromanyetik dalgalar yayarak kararlı hale geçerler kararlı duruma geçen bu elementler radyoaktif element olarak adlandırılır. Bu elementlerin kararlı hale geçerken ışın yada parçacık yayınlamasına da radyoaktivite denir. Toryum (Th), Uranyum (U), Neptünyum (Np) ve Aktinyum (Ac) radyoaktif elementlere en güzel örneklerdir. Radyasyon, iyonlaştırıcı radyasyon ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olmak üzere iki temel başlıkla incelenir.

Çizelge 2.1. Radyasyon Çeşitleri

RADYASYON ÇEŞİTLERİ		
İYONLAŞTIRICI RADYASYON		İYONLAŞTIRICI OLMAYAN RADYASYON
-PARÇACIK TİPİ	-DALGA TİPİ	-DALGA TİPİ
-Hızlı elektronlar Beta parçacıkları Alfa parçacıkları	-X-ışınları Gama ışınları	-Radyo dalgaları Mikrodalgalar Kızılötesi dalgalar Görülebilir ışık
-Dolaylı iyonlaştırıcı nötron parçacıkları		

2.1.1. İyonlaştırıcı Radyasyon

İyonlaştırıcı radyasyon, yüklü ve yüksüz radyasyon olarak sınıflandırılır. Yüklü parçacık radyasyonu, elektron, proton ve iyonları oluştururken, yüksüz parçacık radyasyonunu gama, X-ışınları ve nötronlar oluşturur. Yüklü parçacıkların madde ile etkileşimini tanımlarken parçacıklar kütlelerine göre sınıflandırılır. Bu yüklü parçacıklar madde içerisinden geçerken iyonlaşma, uyarma, saçılma, nükleer reaksiyonlar gibi çok sayıda etkileşme oluştururlar. Yüksüz radyasyonun tam tersine, yüklü parçacıklar madde içerisinden geçerken coulomb kuvvetine maruz kalırlar. Yüklü bir parçacık madde içerisinden geçerken kinetik enerjisini kaybeder ve yavaşlar. Bu parçacıklar

arasında elastik çarpışma mümkündür fakat, uyarma ve iyonlaşmaya sebep olan lastik çarpışmalar daha sık görülmektedir. Uyarma elektronun daha yüksek elektronlu bir kabuğa taşınması iken, iyonizasyon elektronun tamamen atomdan koparılmasıdır. Biri serbest elektron, diğeri de elektronu kopmuş pozitif yüklü bir atom bunlar bir iyon çifti oluşturur. İyonlaşan elektronun kinetik enerjisi, enerjisi atomik elektronun iyonizasyon enerjisi kadar azalmış olarak gelen parçacık tarafından transfer edilen enerjiye eşittir. Atomdan kopan elektronlar ikincil iyonizasyon oluşturacak kadar yeterli enerjiye sahip olabilir. İkincil iyonizasyon, birinci iyonizasyondan daha çok elektron koparılmasına sebep olabilir ancak ikincil elektronların enerjileri ilk iyonizasyon elektronlarının enerjilerinden daha düşüktür. İyon çifti oluşturmak için gerekli enerji radyasyona maruz kalan malzemenin özelliklerine bağlıdır (Yılmaz ve ark., 2015).

2.1.1.1. Parçacık Tipi Radyasyon

Parçacık tipi radyasyonunu hızlı elektronlar, alfa ve beta ışınlarını oluşturur. Belli bir kütlesi ve enerjisi olan çok hızlı hareket edebilen parçacıklardır. Gözle görülemeyecek kadar küçüktürler. Atomun çekirdeğinde meydana gelirler ve bir kütleyle sahiptirler. He (Helyum) çekirdeği olarak adlandırılan alfa parçacıkları yükü ve kütesinden dolayı madde içindeki giriciliği çok küçüktür. Alfa parçacığını kağıt parçası ile bile durdurmak mümkündür. Beta parçacığı hem artı hemde eksi yüklere sahiptir. Beta parçacıklarında belli bir yüke ve kütleyle sahiptir. Bu yüzden madde içerisinden geçerken iyonlaşmaya neden olurlar. Bu iyonlaşma, alfa parçacıklarının yarattığı iyonlaşmadan daha azdır. Çünkü beta parçacıkları alfa parçacıklarına göre daha hafif ve daha giricidirler. Beta parçacıkları ise metal bir levha tarafından durdurulabilir.

Çekirdek reaksiyonlarının hemen hemen birçoğunu serbest nötron etkileşimleri oluşturur. Bunların içinde çekirdek bölünmeside (filyon) bulunur. Bu yüzden nükleer reaktörler ve parçacık hızlandırıcılar nötron kaynağı olarak kabul edilirler. Yüksüz oldukları için madde içinde kolayca ilerleyebilirler. Ancak küçük çekirdekler ile çarpışma olursa yavaşlayabilirler. Nötrondan korunmanın yolu beton gibi kalın nötron zırhlı materyallerin veya alternatif malzemelerin kullanılmasıdır.

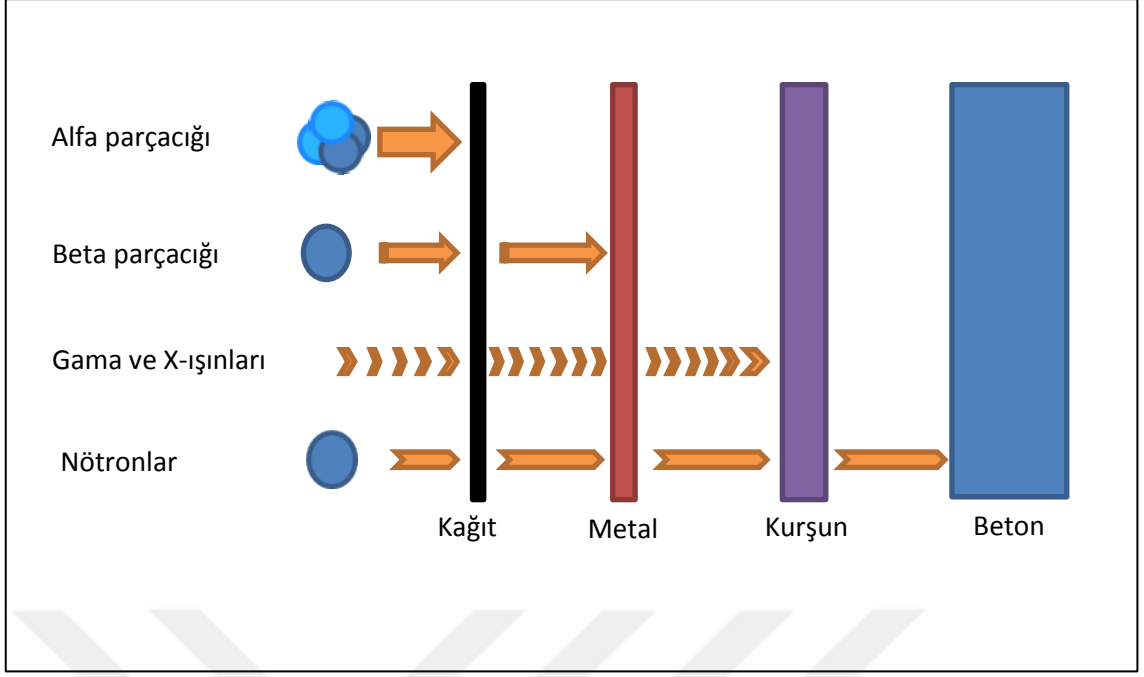
2.1.1.2. Dalga Tipi Radyasyon:

Elektromagnetik spektrumda gama ve X-ışınları bölgesine karşılık gelen radyasyon tipi dalga tipi radyasyon olarak isimlendirilir. Gama ve X-ışınlarının dalga boylarının küçük olmasına karşın enerjileri oldukça yüksek olduğu bilinmektedir. X-ışınları sürekli spektrumu, kinetik enerjiye sahip yüklü parçacıkların aniden durdurulması ya da yavaşlatılması ile elde edilir. Karakteristik X-ışınları ise elektronların verilen bir atomun seviyeler arası geçişi sırasında yayınlanan radyasyon tipidir. Elektronların sahip olduğu kinetik enerji ışıma şeklinde yayımlanır.

2.1.2. İyonlaştırıcı (iyonize etmeyen) Olmayan Radyasyon

Enerjisi bir atom veya bir molekülden elektron koparacak kadar yüksek olmayan radyasyon çeşididir. Kısaca iyonlaşmaya neden olmayan radyasyon türü olarak da nitelendirilebilir. İyonize olmayan radyasyonlar radyo dalgaları, mikro dalgalar, cep telefonları, radyo ve tv alıcıları, radarlar, trafolar, bilgisayarlar, kısacası günlük yaşamımızda kullandığımız elektronik eşyaların çalışması için kullanılan radyasyon tipleridir. Bu tür radyasyon tipleri atomik yörüngelerden elektron koparmaya kinetik enerjileri bakımından güç yetiremezler. Yalnızca elektronik seviyeler arası geçişe yetecek kinetik enerjilere sahiptirler.

Görülebilir ışık, mikrodalgalar, kızılötesi, radyo dalgaları v.s. bunlar dalga tipi radyasyonlardır. Dalga tipi radyasyon genellikle kütlesi olmayan ancak enerjisi yoluyla etkisi hissedilen enerji kuantalarıdır. Bu radyasyon etkileri günümüz teknolojinin temelini oluşturan pek çok aygıt tasarımında faydalanılan radyasyon türleridir. Bazen bu tür radyasyonların etkilerini minimize ederek bazı cihazların tasarımları için üst modeller de geliştirilebilmektedir. Aslında bu tür radyasyonların doğasını bilmek radyasyondan faydalanmaya ya da zararlı etkilerinden kurtulmaya direkt olarak etki etmektedir.



Şekil 2.1. Radyasyonun giriciliği

2.2. Radyasyonun Madde ile Etkileşimi

2.2.1. Ağır Yüklü Parçacıklar

Yüklü parçacığın dedektör materyali içinde uğradığı Coulomb saçılması olayında enerji kaybı çok küçüktür. Dedektör materyallerinin çekirdekleri, atom hacimlerinin sadece yaklaşık 10^{-15} 'ini işgal ettikleri için parçacığın çekirdeklerden çok elektronlarla çarpışma olasılığı 10^{15} kez daha fazladır. Böylece yüklü parçacığın enerjisini kaybetmesi için baskın olan mekanizma, dedektörün atom elektronlarıyla yaptığı Coulomb saçılmasıdır. M kütleli ağır parçacık ile m kütleli elektron (durgun halde) arasındaki merkezi çarpışmada enerji ve momentum korunumundan parçacığın kinetik enerjisindeki kayıp için;

$$\Delta T = T \left(\frac{4m}{M} \right) \quad (2.1)$$

şeklinde bulunur (Şarer, 2001).

2.2.2. Elektronlar

Pozitif ve negatif yüklü elektronlar tıpkı ağır yüklü parçacıklar gibi, atomik elektronlarla Coulomb saçılmasıyla etkileşirler. Ancak bazı önemli farklılıklar bulunmaktadır;

- β bozunumlarında yayınlanan elektronlar göreceli hızlarla hareket ederler.
- Elektronlar çarpışmaları sonucunda büyük sapmalar oluşturur ve düzensiz yörüngeler çizerler.
- Elektronun bir diğer elektronla yüzyüze çarpışmasında ilk enerjisinin büyük bir kısmı diğer elektrona aktarılabilir.
- Elektron hızının doğrultusu ve büyüklüğünde çok hızlı bir değişiklik olabileceğinden, çok büyük bir ivmeye maruz kalabilir. Bu ivmeli yüklü parçacık elektromanyetik enerji yayınlar (Şarer, 2001).

2.2.3. Elektromanyetik Radyasyon

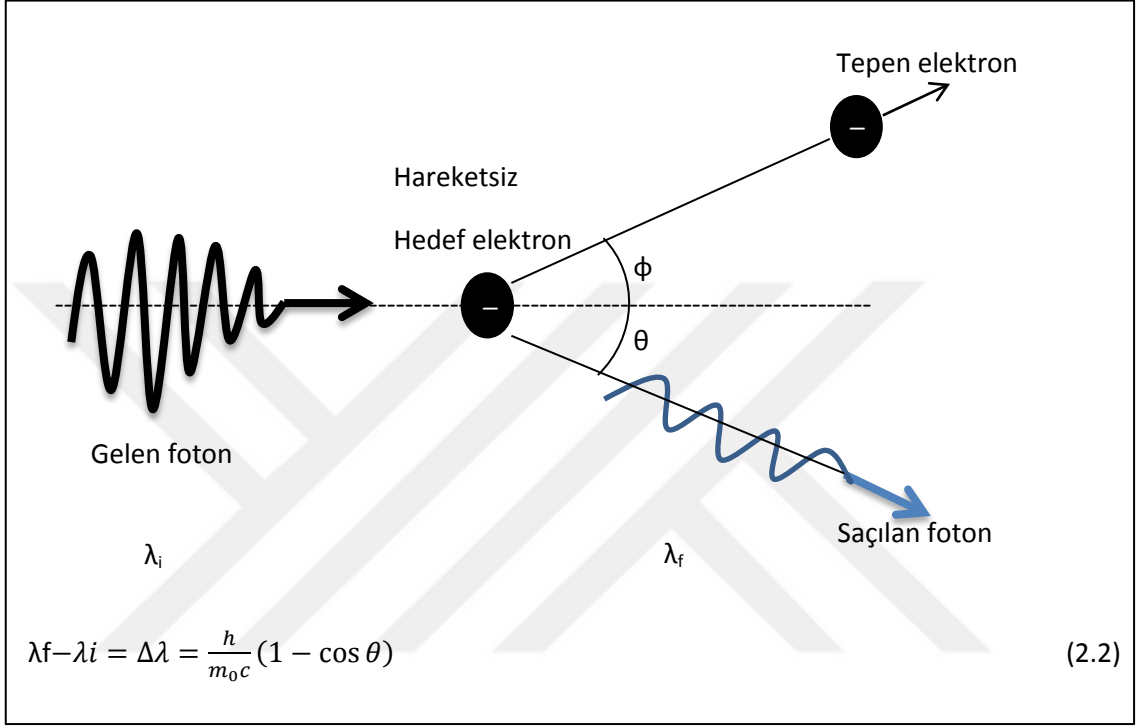
2.2.3.1. Fotonlar

Fotonlar dendiğinde X-ışınları ve gama ışınları düşünülebilir. Elektriksel yükleri olmadıklarından dolayı Coulomb kuvvetine maruz kalmazlar. Maruz kalmamaları madde içerisine atomları iyonlaştırmadığı anlamına gelmemektedir. Elektromanyetik Radyasyon çok düşük frekanslarla başlar ve X-ışınlarına kadar uzanır. Bu radyasyonun birim elemanı fotonlardır. Fotonlar elektromanyetik dalgaların bir noktadan diğer bir noktaya taşınmasına yardımcı olurlar. Işık hızı ile ilerlerler. Fotonlar maddenin içinden geçer, atomlarla rastgele etkileşim yaparak ortama enerji bırakırlar. Madde ile etkileşimleri üç temel olay ile olmaktadır. Bunlar ;

- Compton saçılması
- Fotoelektrik olayı
- Çift oluşumdur.

2.2.3.1.1. Compton Olayı

Işığın quantum teorisine göre fotonlar durgunluk kütlesi bulunmaması dışında parçacıklar gibi davranırlar. Foton Compton saçılmasında enerjisinin tümünü elektrona aktarmaz. Fotoelektron atomdan saçılarak fırlarken fotonun kendisi kalan enerjisiyle başka yöne saparak saçılır.

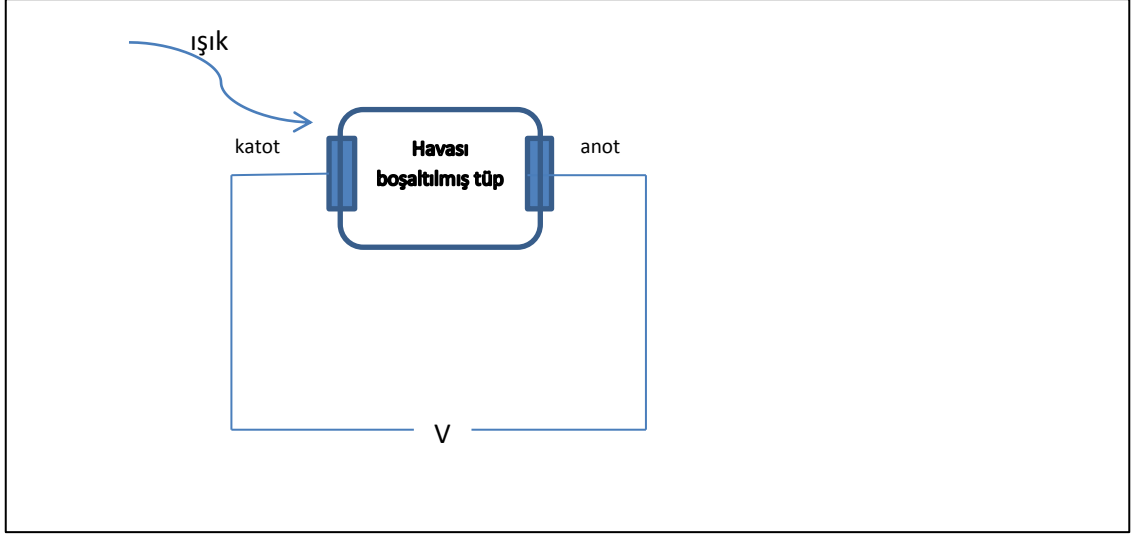


Şekil 2.2. Yüksek enerjili X-ışınlarının fotonu ile karbon atomunun serbest elektronunun çarpıştırılması

2.2.3.1.2. Fotoelektrik Olayı

Fotoelektrik olay gelen fotonun enerjisi bağlanma enerjisinden büyük veya eşit olması durumunda fotoelektrik olay gerçekleşir. Işığın şiddetinden bağımsızdır frekansı yani enerjisiyle ilgilidir.

Elektronların hemen hemen anında yayımlanmasının sebebi ışığın bir tanecik gibi davranarak enerjisini direkt olarak elektrona vermesindendir. Buda ışığın tanecikli yapısını açıklar.

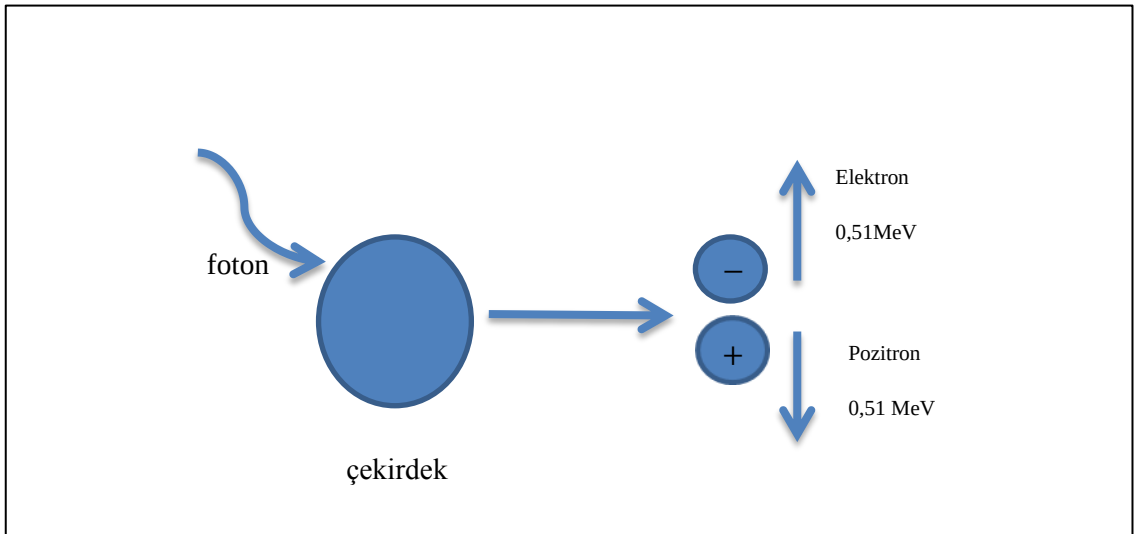


Şekil 2.3. Bir kaynaktan yayılan ışık veya daha yüksek enerjili elektromanyetik dalganın yüzeyine düşmesi sonucu maddeden elektron yayılması

2.2.3.1.3. Çift Oluşum

Çift oluşum boşlukta gerçekleşmez. Foton çekirdeğe çarparak enerjisinin bir kısmını çekirdeğe aktarır momentum ve enerji korunarak bir pozitron ve bir elektron oluşur yani foton (ışık) maddeye dönüşür.

Bir pozitron yada elektronun durgunluk enerjisi 0,51 MeV dir. Dolayısıyla çift oluşum şartı en az 1,02 MeV'lik gelen enerjisidir. Buda 1,2 pm dalga boylu gama ışınlamasına denk gelir.



Şekil 2.4. Işık maddeye dönüşür

2.3. Radyasyon Dozu ve Birimleri

2.3.1. Soğrulmuş Doz

Hertürlü radyasyon için kullanılılabılır. Radyasyonun madde tarafından soğrulması (absorblanma) işlemidir.

Özel birimi= Rad

Sı Birimi= Gray

Rad : ışınlanan maddenin 1 kg'ına 10^{-4} joule'lük enerji veren radyasyon miktarıdır. Soğrulan enerji parçacık yada foton olabilir.

Gray : Işınlanan maddenin 1 kg'ına 1 joule'lük enerji veren radyasyon miktarıdır.

$$1 \text{ Rad} = 0,01 \text{ Gy} \quad = \quad 1 \text{ Gy} = 100 \text{ Rad'dır.}$$

2.3.2. Eşdeğer Doz

Canlıda meydana gelen biyolojik hasar olarak nitendirilebilir. Farklı tipteki radyasyonlardan soğrulan enerjiler eşit bile olsa biyolojik etkileri farklı olabilir.

Özel Birim= Rem

Sı Birimi= Sievert (Sv)

Rem : Soğrulan Doz x Faktörler

Formülden de anlaşılacağı gibi eşdeğer doz soğrulmuş doz ve kendisine ait olan radyasyon ağırlık faktörünün çarpımı sonucunda oluşur.

Sievert : 1 Gray'lık X veya gama ışını ile aynı biyolojik etkiyi meydana getiren radyasyon miktarıdır.

$$1 \text{ Rem} = 10^{-2} \text{ Sv}$$

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ Rem} = 1 \text{ j/kg}$$

2.3.3. Etkin Doz

Etkin doz vücudumuzun tamamının doku veya organların aldığı dozu ifade etmektedir. Etkin doz eşdeğer dozlarının doku ağırlık faktörleri ile çarpılmasından elde edilir.

2.3.4. Aktivite Birimi

Radyasyon kaynağının gücüdür.

Özel Birim = Cruie (Ci)

Sı Birimi= Bequerel (Bq)

Curie : Saniyede $3,7 \times 10^{10}$ parçalanma veya bozunma gösteren maddenin aktivitesidir.

Bequerel : Saniyede 1 parçalanma yapan çekirdeğin aktivitesidir.

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq} \quad = \quad 1 \text{ Bq} = 2,7 \times 10^{-11} \text{ Ci}$$

2.3.5. Işınlama Birimi

Kaynaktan çıkan radyasyonun şiddetidir.

Özel Birim = Röntgen (R)

Sı Birimi = Coulomb/kg (C/kg)

Röntgen : Normal hava şartlarında havanın 1 kg'ında $2,58 \times 10^{-4}$ C'luk elektrik yükü değerinde pozitif ve negatif iyonlar oluşturan X ve gama ışını miktarıdır.

$$1 \text{ R} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C/kg} \quad = \quad 1 \text{ C/kg} = 3,88 \times 10^3$$

Çizelge 2.2. Radyasyon Birimleri

Birim	Eski Birim	Yeni Birim	Dönüşüm
Aktivite	Curie, Ci	Becquerel, Bq	1 Ci=3,7x10 ¹⁰ Bq
Işınlama Dozu	Röntgen, R	Coulomb/kilogram, C/kg	1 R=2,58x10 ⁻⁴ C/kg
Soğurulmuş Doz	Rad	Gray, Gy	1 rad=0,01 Gy
Doz Eşdeğeri	Rem	Sievert, Sv	1 rem=0,01 Sv

2.4. Radyasyonun Biyolojik Etkileri

Radyasyonun biyolojik etkisi radyasyon yolu ile bir organizmada depolanan enerji ile doğru orantılı olsaydı yapılacak işlemleri tasarlamak daha kolay olurdu. Bu durumda soğurulan doz gelen radyasyonun doğasından ve enerjisinden bağımsız olarak biyolojik hasara uygun bir ölçüt olabilirdi. Belirlenen organ veya dokunun doğası meydana gelen biyolojik etkinin miktarı için ayrı bir ölçüttür. Örneğin aynı miktarda ve aynı tip radyasyon dozu beyinde farklı etkilere neden olabilirken kas ve kemikte ya da sinir hücresinde bulunduğu organa bağlı olarak çok daha değişik biyolojik etkilere neden olabilir.

Biyolojik etki yalnızca gr veya cm³ başına depolanan toplam enerjiye bağlı olmayıp aynı zamanda enerjinin radyasyon yolu boyunca ne şekilde aktarıldığına bağlıdır. Biyolojik etkiyi en iyi şekilde lineer enerji transferi ile açıklamak mümkündür. α ve nötronların lineer enerjileri yüksekken β ve γ ışınlarının ki küçüktür.

2.5. Radyasyonun Yararlı Etkileri (Tıbbi Tedavi)

Radyasyonun tıbbi tedavide kullanımı, hastalara yılda verilen milyonlarca tedavi ile büyük ölçüde artmıştır. Kullanılan radyasyon; kaynağın hedeften belirli uzaklıkta tutulduğu teleterapi ünitelerinden, vücuda gömülmüş (implantlanmış) kapalı sistemlerdeki izotoplardan veya yutulmuş radyonüklit çözeltilerden gelmektedir.

Radyasyon etkisinin mekanizması, niteliksel olarak bilinmektedir. Hızlı bölünen ve çoğalan anormal hücreler normal hücrelere kıyasla radyasyona daha duyarlıdır. Her iki türde radyasyon ile tahrip olmasına rağmen, anormal hücreler daha fazla zarar görür. Radyasyon dozu parça parça verildiğinde daha etkili olmaktadır. Çünkü radyasyonun parçalara bölünmüş ve farklı zamanlarda uygulanması normal dokunun toparlanma sürecine izin vermektedir.

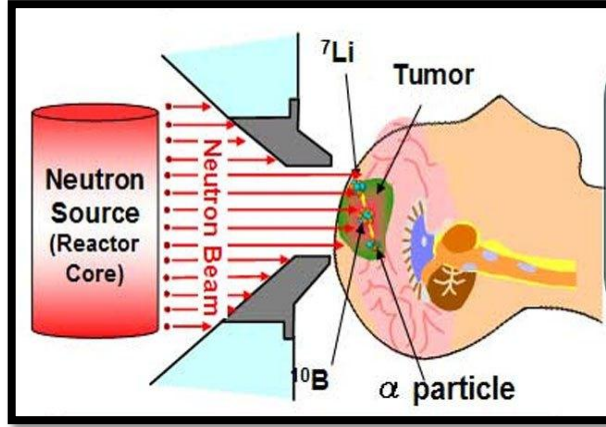
Radyasyon , kemoterapi ve cerrahi seçenekleri zarar görmüş belirli bir organa veya sisteme uygulanır. Radyasyon dozlarının kanser tedavisinde etkili olduğu bulunmuştur. İlk zamanlarda kanser tedavisi için X-ışınları kullanılmış fakat kobalt-60'ın gama ışınlarının daha etkili olduğu görülmüştür. Çünkü yüksek enerjili fotonlar dokuya daha iyi nüfuz etmiş ve radyasyon dozlarını minimum cilt reaksiyonları olacak şekilde vücudun derinliklerine iletebilmiştir. Modern nükleer tıpta kanser tedavisi için 4MeV-35 MeV aralığında radyasyon üreten hızlandırıcıların kullanımı artmıştır.

Radyonüklidin geçici ve kalıcı implantasyonu yolu ile hastalığın tedavisine, doku arasına uygulanan brakiterapi denir. Küçük radyoaktif kapsül, organ içine yerleştirilir ve bölgesel gama ışınlaması oluşturulur. En sık kullanılan malzemeler iridyum-192, iyot-125, paladyum-103'dür. Bu metodun başarılı olduğu tümör bölgeleri baş ve boyun, meme, akciğer, prostat bezi örnek verilebilir.

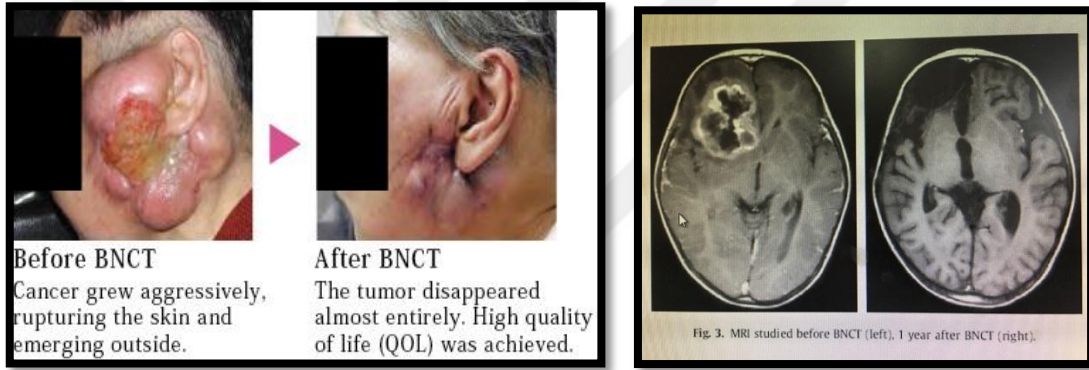
Anormal hipofiz bezlerinin tedavisindeki başarı, hızlandırıcıdan çıkan yüklü parçacıklarla sağlanmaktadır. Bor çözeltisi enjekte edilmiş tümörlerin yavaş nötron bombardımanından faydalı sonuçlar elde edilmektedir.

Eklem iltihabı tedavisi beta parçacıklarının ışınlaması yolu ile elde edilir. (Yılmaz ve ark., 2015)

BNCT (bor nötron yakalama tedavisi), beyin tümörlerinin ve melanomanın tedavisinde kullanılan radyasyon tedavi yöntemidir. Bu tedavi yönteminin iki bileşeni vardır. Birinci bileşen, tümör hücrelerinde toplanan kararlı bor izotopudur. İkinci bileşen, düşük enerjili nötron kaynağıdır. Tümör hücrelerinin içindeki ^{10}B , nötron kaynağından gelen nötronları yakaladıktan sonra parçalanmakta ve açığa çıkan yüksek enerji yüklü parçacıklar (^7Li ve ^4He) sadece tümör hücrelerine zarar vermektedir. Genellikle tedavi sürecinde 0.4 keV-10 veya 20 keV epitermal nötron aralığındaki nötronlar kullanılmaktadır. Günümüzde BNCT denemeleri nükleer reaktörlerde yapılmaktadır (Kahraman, 2004).

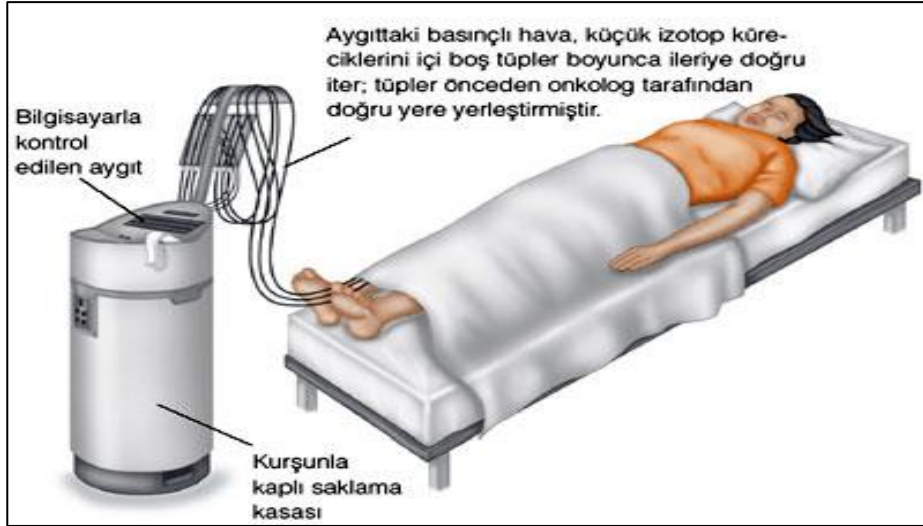


Şekil 2.5. Bor nötron yakalama tedavisinin (BNCT) beyin tümöründe uygulanması (<http://www.thenewstribes.com/2013/04/05/modern-anti-cancer-bnc-therapy-promises-no-side-effects/>)



Şekil 2.6. BNCT öncesi ve sonrası tümör tedavisi (<http://www.tsukuba-sogotoku.jp/en/project/project1/>)(<http://institute.tarla.org.tr/thm/uphuk/4/s-pdf/bayram-demir-bor-notron-yakalama.pdf>)

Brakiterapi kısa mesafeden uygulanan radyoterapi anlamındadır. Radyasyonun normal dokulara minimum zarar verecek şekilde vücuda verilmesi yöntemi olan brakiterapi günümüzde çokça kullanılan bir tedavi yöntemidir. Özellikle jinekolojik kanser tedavilerinde kullanılan bir yöntemdir. Bu tedavi tek başına da uygulanabilir yada eş zamanlı kemoterapi ile birlikte de uygulanabilir. Radyasyon kaynağının tümör içine veya yakınlara biryere yerleştirilmesiyle uygulanmaktadır. Brakiterapi rahim, meme, prostat kanserleri, baş-boyun tümörleri, göz tümörlerinde sıkça kullanılan bir tedavi yöntemidir (Dönmez Yılmaz ve Ünsal, 2013).



Şekil 2.7. Serviks kanseri için uygulanan Brakiterapi Tedavi yöntemi
(<http://www.saglikpark.com/haber/radyoterapi.htm>)

2.6. Radyoaktif Bozunma

Doğada bulunan kararsız elementlerin dış etkiler olmadan kendiliğinden parçalanması sonucu çevrelerine partiküller ya da elektromanyetik radyasyon vererek daha kararlı hale geçmelerine radyoaktivite, kararlı hale geçen bu elementlere de radyoaktif element denir.

Bir çekirdek kendiliğinden alfa parçacığı (α), bir elektron (β) veya bir foton yayınlarken uyarılmış bir enerji düzeyinden kurtularak daha kararlı duruma geçer ve yeni bir çekirdeğin oluşmasını sağlar bu olay radyoaktif bozunma olarak tanımlanır.

2.6.1. Bozunma Çeşitleri

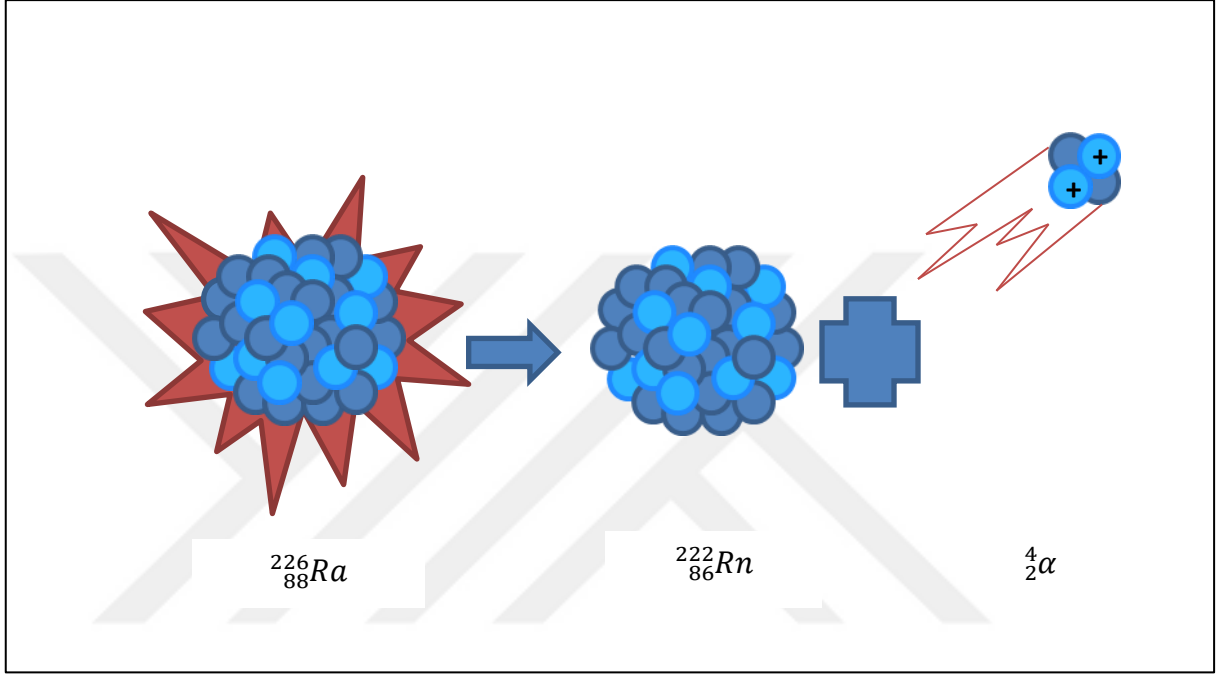
2.6.1.1. Alfa Bozunumu :

Alfa bozunumu sonucunda bir ürün çekirdek bir de He çekirdeği meydana gelir. Alfa bozunumuna uğrayan ana çekirdek iki proton ve iki nötron kaybederek kütleini dört birim azaltmış olur. Yani;



şeklinde olur.

Doğal radyoaktif atomlar ve atom numarası büyük izotoplarda alfa bozunması görülmektedir. Alfa bozunması itici bir Coulomb kuvveti olayıdır. Coulomb kuvveti nükleer bağlanma kuvvetinden daha hızlı artar. Elektrik yükleri büyük olan alfa parçacıkları madde üzerinden geçerken çok yoğun bir iyonlaşmaya neden olur. Çok fazla enerji harcarlar ve çok yol katedemezler. Bu yüzden bu parçacıkları bir kağıt parçası ile durdurmak mümkündür.



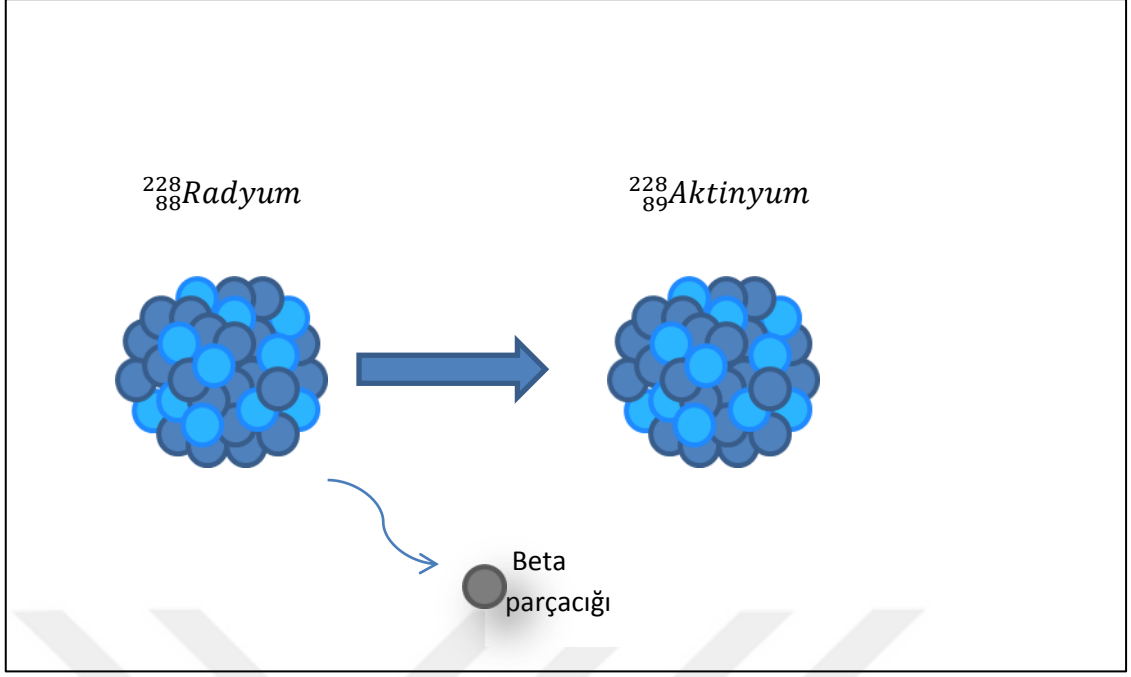
Şekil 2.8. Alfa Bozunumu

2.6.1.2. Beta Bozunumu :

Beta parçacığıda bir kütle ve yüke sahiptir. Bu parçacıkta alfa parçacığı kadar olmasa da madde içerisinden geçerken iyonlaşmaya neden olur alfa parçacığından daha hafif ve daha giricidir ki alimünyum bir levha beta parçacığını durdurabilir.

Çekirdekdeki nötron fazlalığı beta bozunumuna neden olur. Fazla olan bu nötronlar protona dönüşerek negatif beta parçacığı yayınlanır ve çok yüksek hızlarla atom çekirdeğinden fırlatılırlar.

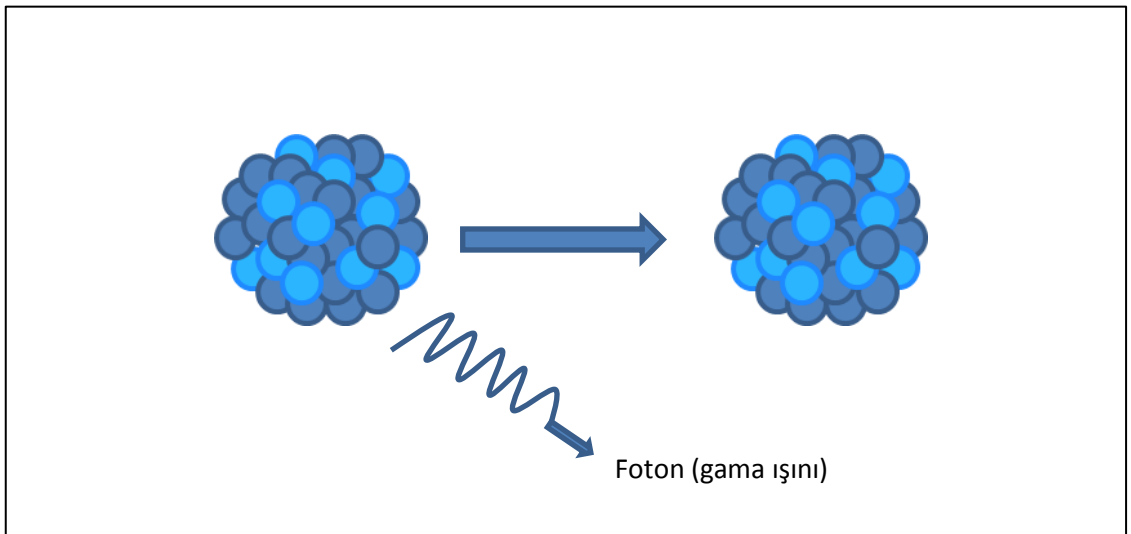




Şekil 2.9. Beta bozunumu

2.6.1.3. Gama Bozunumu :

Alfa ve beta yayınlamasından sonra kararlı kalamayan radyoaktif bir çekirdek daha sonra bir veya birkaç gama ışını yayınlamak üzere üzerindeki fazla enerjiyi atar ve kararlı hale geçer. Bu enerjiyi elektromanyetik radyasyon şeklinde yayınlamaktadır. Çekirdeğin üzerindeki enerji ne kadar yüksekse çıkacak olan gama ışını o kadar yüksek enerjili olacaktır.



Şekil 2.10. Gama Bozunumu

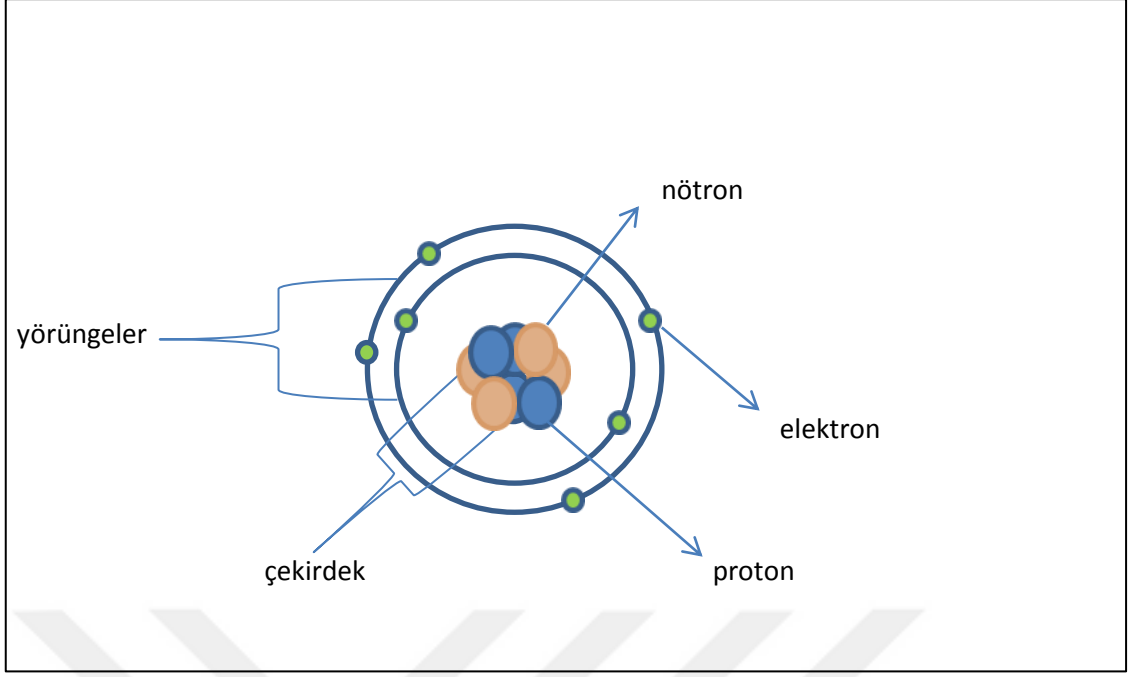
2.7. Nötronlar

Nötronun varlığını ilk olarak 1920 yılında E.Rutherford bulmuştur. Rutherford çekirdekte yüksüz taneciklerin de olabileceğini ortaya koymuştur. Daha sonra deneysel çalışmalar yapan James Chadwich 1932 yılında berilyum çekirdeğini alfa parçacığı ile bombardıman ederek çekirdekte yüksüz parçacıklar olduğunu tespit etmiştir. Bu parçacıklara yüksüz oldukları için “nötron” adını vermiştir. Bu nötronlar protonun kütesine eşit denecek kadar yakın yüksüz parçacıklardır. Doğada hidrojen dışında tüm elementlerin nötronu bulunmaktadır.

Çizelge 2.3. Nötronların Özellikleri

Kütle(MeV)	939,5656
Yük	0
Spin	1 / 2
Yaşam Süresi (s)	887 s
Çap(cm)	$1,45 \times 10^{-13}$

Nötron “n” simgesi ile gösterilir. Serbest bir nötron kararsız iken atomun çekirdeğinde bağlı olan bir nötron ise kararlıdır. Nötronlar hidrojen atomu hariç tüm elementlerin atom çekirdeklerine girerler. Çekirdeğe giren bu nötronlar karşılıklı aralarında itme kuvveti olan protonları ayırır ve çekirdekte büyük bir çekim kuvveti oluşur. Nötron ışınları fazlası ile giricidir. Yüksüz oldukları için madde içine rahatca nüfuz edebilirler. Ancak küçük çekirdeklerle karşılaşp çarpışılırsa yavaşlayabilirler (Korkut, 2010).



Şekil 2.11. ¹²C Atomu

2.7.1. Nötronların Soğurulması ve Yavaşlatılması

Katı madde içinden nötron demeti geçerken, nötron akım şiddeti, nötronların nükleer reaksiyonlar aracılığı ile demetten ayrılışıyla zayıflar. Hızlı nötronlar için (n,2n), (n,α) veya (n, p) gibi birçok reaksiyon mümkün olmaktadır. Ancak termal veya yavaş nötronların ortamdan kaybolmasının nedeni (n, γ) yakalama reaksiyonudur. Genellikle bu yakalama reaksiyonunun tesir kesiti, çok büyük tesir kesitine sahip olan bir veya daha fazla sayıdaki rezonanslar tarafından belirlenir. Rezonanslar dışında hız arttıkça soğurulma tesir kesiti v^{-1} ile orantılı olarak azalır; böylece elastik ve inelastik saçılma olayları nedeni ile nötronlar yavaşladıkça soğurulma ihtimalleri de artar. Başlangıçtaki enerjileri 1 MeV olan nötronların enerjileri eV seviyesine azalana kadar birçok saçılma işlemine maruz kalır. Bu düşük enerji seviyesindeki nötronların rezonanslarda veya rezonanslar dışında soğurulma olasılığı oldukça yüksektir (Şarer, 2002).

2.7.2. Nötron Tesir Kesiti

Nötron soğurma tesir kesiti, bombardımana sokulan nötronun enerjisine ve izotopa bağlıdır.

$$\ln \frac{I_0}{I} = \mu \quad (2.5)$$

Yani gelen parçacık sayısının çıkan parçacık sayısına oranı sonucunda soğurma katsayısı (μ) elde edilir. Bu da nötronlar için aranan tesir kesiti olarak ifade edilir. Birimi cm^{-1} dir.

Nötronlar madde içinde dx kalınlığında bir mesafe kattettikleri zaman demetin veya maddenin birim yüzeyi başına $n \, dx$ atomla çarpışır, burada n maddenin birim hacmindeki atom sayısıdır. Eğer nötronları demetten saptırmaya çalışan saçılma reaksiyonları da dahil olmak üzere σ_t toplam tesir kesiti ise I şiddetindeki kayıp;

$$dI = -I \sigma_t n \, dx \quad (2.6)$$

şeklinde ifade edilir (Şarer, 2002).

2.7.3. Nötron Dedektörleri

Nötronların kendileri iyonlaşma olayları meydana getiremedikleri için, nötron dedektörleri (n,p) , (n,α) , (n,γ) veya (n,fisyon) gibi veya yüklü hafif parçacıkların nükleer saçılmaları gibi nükleer reaksiyonlar tarafından oluşturulan ikincil olayların ölçülmesine dayanır.

Yavaş ve termal nötronlar durumunda, (n,p) (n,α) reaksiyonlarına dayanan dedektörler, reaksiyon sonucunda açığa çıkan yüksek enerjili p veya α 'nın neden olduğu sinyaller yardımı ile nötronların gözlenmesi için direk bir yol sağlarlar. Termal nötronlar için tesir kesiti çok yüksektir. Bu nedenle tesir kesitinin nötronların enerjisine bağlılığının özel bir şekli yoktur ve önceden belirlenebilir (Şarer, 2002).

2.7.4. Nötronların Madde ile Etkileşimi

Nötronlar yüksüz oldukları için madde ile kolayca etkileşime girerler. Bağlı bir durumda çekirdekte bulunan nötronlar kararlı, serbest halde bulunanlar ise kararsızdır. Serbest halde bulunan bu nötronlar birleşme (füzyon) ve ayrılma(fisyon) reaksiyonları sonucunda oluşurlar. Araştırma reaktörleri, özel nötron kaynakları nötron saçılma deneylerinde kullanılmak üzere serbest nötron üretirler. Bir A atomunun nötron ile olan etkileşimi şu şekilde olur.



Nötronlar hızlandırılmaz ancak farklı enerjilerdeki madde atomları ile çarpışmaları sonucunda enerjileri azaltılabilir.

Nötronları ;

- Ultra soğuk nötronlar ($E \sim 10^{-6}$ eV)
- Soğuk nötronlar ($E \sim 10^{-3}$ eV)
- Termal yada yavaş nötronlar ($E = kT \sim 0,025$ eV)
- Epitermal nötronlar ($0,1 \text{ eV} < E < 100 \text{ keV}$)
- Hızlı nötronlar ($100 - 200 \text{ keV} < E < 10-20 \text{ MeV}$)
- Yüksek enerjili nötronlar ($E > 100 \text{ MeV}$)

olmak üzere enerjilerine göre sınıflandırabiliriz (Kolbaşı, 2014).

Hızlı nötronlar bir kinetik enerjiye (MeV) sahiptirler. Kinetik enerjileri kütlelerinden daha az oldukları için non relativistik parçacık olarak kabul görürler. Yapılan laboratuvar çalışmalarında ilk nötron çekirdeğinin elastik çarpışma yönü ile çekirdekten geri tepme hızı arasındaki açı farklı olacaktır.

Kütle merkezinde toplam moment sıfır olurken elastik çarpışma sonucunda toplam kinetik enerji korunacaktır. (V_i ve v_i ilk hızlar, M ve m kütleleri)

$$\vec{v}_{cm} = \frac{m\vec{v}_i + M\vec{V}_i}{m+M} \quad (2.8)$$

$$\vec{V}_{cm} = \frac{m\vec{v}_i + M\vec{V}_i}{m+M} \quad (2.9)$$

Gibi hız dönüşümleri içeren Galileo dönüşümleri kullanılabilir.

Elastik çarpışma sonucunda da toplam kinetik enerjiler korunur.

$$E_k = \frac{p^{*2}}{2m} + \frac{p^{*2}}{2M} = \left(\frac{1}{2m} + \frac{1}{2M} \right) p^{*2} \quad (2.10)$$

Kütle merkezinde toplam moment sıfırdır (Korkut, 2010).

$$\vec{p}^* + \vec{P}^* = 0 \quad (2.11)$$

2.7.5. Nötron Kaynakları

Nötron demetleri çeşitli türde nükleer reaksiyonlar yardımı ile elde edilebilir. Nötronlar, yüklü parçacıklar gibi hızlandırılmazlar. Fakat yüksek enerjili nötronların enerjileri farklı maddelerin atomlarıyla çarpışmaları sonucunda azaltılabilir. Buna ‘‘yavaşlatma’’ işlemi denir. Sonuç olarak nötronlar çok düşük enerjilere ulaşabilirler (Şarer, 2002).

2.7.5.1. Alfa-Berilyum Kaynakları

Radyoaktif bozunma sonucu oluşan 5-6 MeV’lik enerjiye sahip bir alfa parçacığının Berilyum çekirdeğine çarpması sonucu bir nötron oluşur.



Böyle bir tepkimede daha uzun ömürlü bir alfa parçacığı yayımlayıcısı kullanılırsa ${}^{238}\text{Pu}$, ${}^{241}\text{Am}$ ve ${}^{210}\text{Po}$ gibi daha yüksek enerjiye sahip nötronlar elde edilir. Bu reaksiyon için Q değeri 5,7 MeV ‘tur. ${}^{226}\text{Ra}$ gibi uzun ömürlü bir α yayımlayıcı maddeyi ${}^9\text{Be}$ ile karıştırırsak, düzgün bir nötron üretimi sağlanmış olur. ${}^{226}\text{Ra}$ ve radyoaktif ürünleri yaklaşık 5-8 MeV enerjili α yayınlar ve böylece 13 MeV’a kadar uzanan enerji spektrumuna sahip nötronlar elde edilebilir. Bu nötronlar tek enerjili değildir, çünkü bir çok farklı α gruplarının varlığı, katı madde içindeki çarpışmalar sonucu alfaların yavaşlaması, alfalara göre nötronlarında yayınlanma doğrultularının çok çeşitli oluşu ve nötron üretimine izin vermez (Şarer, 2002).

2.7.5.2. Fotonötron Kaynakları

Gama kaynaklarında nötron elde etmek için kullanabiliriz. Fakat kaynağın veriminin yüksek olmasına rağmen yarı ömrü çok kısadır. Foton kaynağı tekenerjili ise nötronların da tekenerjili olması fotonötron eldesinin bir avantajıdır. ${}^{24}\text{Na}$ izotopu tarafından yayınlanan 2,76 MeV ‘lik γ ışınlarının absorpsiyonu, ${}^9\text{Be}$ ’daki bağlanma enerjisini sökmek için yeterlidir.

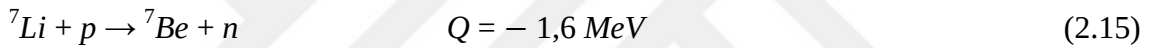


2.7.5.3. Kendiliğinden Fisyon

Nötronlar çekirdeklerin parçalanması sonucu elde edilirler. Kendiliğinden fisyonla nötron üreten bir kaynak olarak ^{252}Cf izotopu örnek verilebilir. Bu izotop çok yaygın şekilde kullanılmaktadır. Nötronlar direk olarak fisyon reaksiyonları sonucunda üretilirler. Her parçalanma başına dört nötron elde edilir.

2.7.5.4. Nükleer Reaksiyonlar

Nötron eldesi için birçok nükleer reaksiyon vardır. Nötronu çeşitli hızlandırıcılarla temin ettiğimiz yüklü parçacıkları kullanarak da elde edebiliriz. Yüklü parçacık enerjisinin ve gözlenen nötron yayınlama açısının dikkatli seçimi ile hemen hemen istenilen her enerjide nötron demeti eldesi mümkündür.



2.7.5.5. Nükleer Güç Santralleri

Nükleer güç santralleri reaktörde üretilen ısıyı elektriğe dönüştürür. Bir nötron zincir reaksiyonun gerçekleşmesi için tek şart yeterli miktarda bölünebilir çekirdek olmasıdır. Buna rağmen işlevsel bir nükleer reaktör kurmak için malzeme ve düzenlemelerin pekçok kombinasyonları kullanılabilir. 1942’de ilk reaktör kullanıma başlandığından bu yana birkaç farklı tipte veya düşüncede reaktör tasarlanmış ve test edilmiştir (Yılmaz ve ark., 2015).

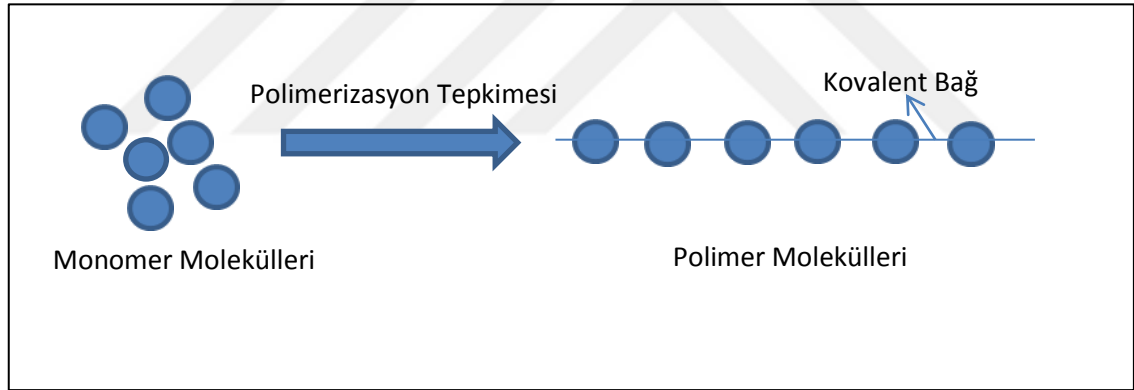
Hızlı reaktörler, nötronların çoğunun 0,1-1 MeV enerji aralığında yer aldığı reaktördür. Bu enerjinin altında ama yakın değerlerdeki nötronlar fisyon sonucu serbest kalırlar. Nötronların yavaşlamasını sağlayan malzeme göreceli olarak daha az olduğundan nötronlar yüksek enerjide kalır (Yılmaz ve ark., 2015).

Nükleer güç santrallerinde yakıtın kontrolü çok önemlidir. Bu nedenle yakıt çubukları ismi verilen nötron tutucuların belli aralıklarla reaktörün koru ile temas ederek ortamdaki fazla nötronları tutması ve dolayısı ile zincir reaksiyonların kontrol altında tutulması nükleer güvenlik açısından çok önemlidir. Başlangıçta kullanılan eski tip reaktörlerde çıkan nükleer kazaların birçoğu yakıt çubuklarının kontrolündeki mekanik hatalardan meydana gelir. Bu nedenle reaktörlerin kontrolü ve cihazlandırılması çok büyük önem arz etmektedir.

2.8. Polimerler Hakkında Genel Bilgiler

2.8.1. Polimerler

Polimerlerin yapı taşlarını oluşturan her bir küçük molekül monomer olarak adlandırılmaktadır. Monomer moleküller kovalent bağlarla birbirine bağlanarak polimer moleküllerini oluşturur.



Şekil 2.12. Polimerizasyon tepkimesi sonucu oluşan Polimer Molekülleri

Polimer yunanca kökenli olan Poli(çok) ve meros(parçalı) kelimelerinin birleşmesi ile oluşmuştur. Kauçuk günümüzde çok kullanılan polimerik bir üründür. Kauçuk, kauçuk ağacına atılan çiziklerden elde edilir. Bu çiziklerden akan süt halinde ağaç özsu (lateks) kuruyup sertleşir ve endüstride kullanılmak üzere hazır hale getirilir. Kauçuğun en belirgin özelliği elastik bir yapıya sahip olmasıdır. Yani eski haline dönebilen ve uzayabilen bir yapıda olmasıdır. Bu özellik sebebi ile hemen hemen her sektörde kullanılmaktadır. Günümüzde kullanılan diğer bir polimerik ürün ise plastiktir. 1860'lı yıllarda Alexander Parkes tarafından bulunmuştur. Plastik bulunana kadar geçen dönemde kalıpla şekil vermek için kauçuk kullanılıyordu. Plastiğin

bulunuğu ile birlikte maliyeti fazla olan kauçuk geri plana atılarak plastik sıkça kullanılmaya başlandı (Khanghah, 2014).

İhtiyaca bağılı olarak iki veya daha fazla polimerin karıştırılması ile kristal, yarı kristal ve amorf yapıda çeşitli polimerler üretilebilmektedir. Üretilen polimerler, poliester, poliamid, stirenik v.s. olarak adlandırılan moleküler yapılarda olabilirler. Üretim aşamalarında kazandırılan tüm fiziksel veya yapısal özellikler polimerin işlenebilirlik ve mekanik özelliklerini belirleyen en önemli etkenlerdir (Beşergil 2014).

Polimerlerin kullanım alanları her geçen gün artmaktadır. Bunun nedeni polimerin yapısal özellikleridir. Bu özellikler;

- Ek bir işlem gerektirmeden karmaşık şekillerin bile kolaylıkla kaplanabilir olmasıdır.
- Yoğunluklarının düşük olması hafif malzemeler üretilebilmesine olanak sağlamaktadır.
- Kimyasal etkiye karşı dayanıklıdır.
- Korozyona yani aşınmaya karşı dirençlidir.
- Genellikle polimerler ısıya karşı dayanıklıdır ve bazıları elektriğı iletmezler.
- Polimer olan kauçuğun esnekliğı bir çok uygulamada artı yarar sağlamaktadır.
- Polimerlerin dayanıklılık değerleri düşük olsa da birim ağırlık başına uygun olmaktadır bu yüzden uzay ve havacılık sanayilerinde de kullanılmaktadır.
- Lastiklerin(kauçukların) elastik özelliğı sayesinde yaylanma ve enerji depolama gerektiren uygulamalarda da kullanılabilmektedir (Khanghah, 2014).

Polimerlerin amacına uygun sınıflandırılması aşağıdaki gibidir;

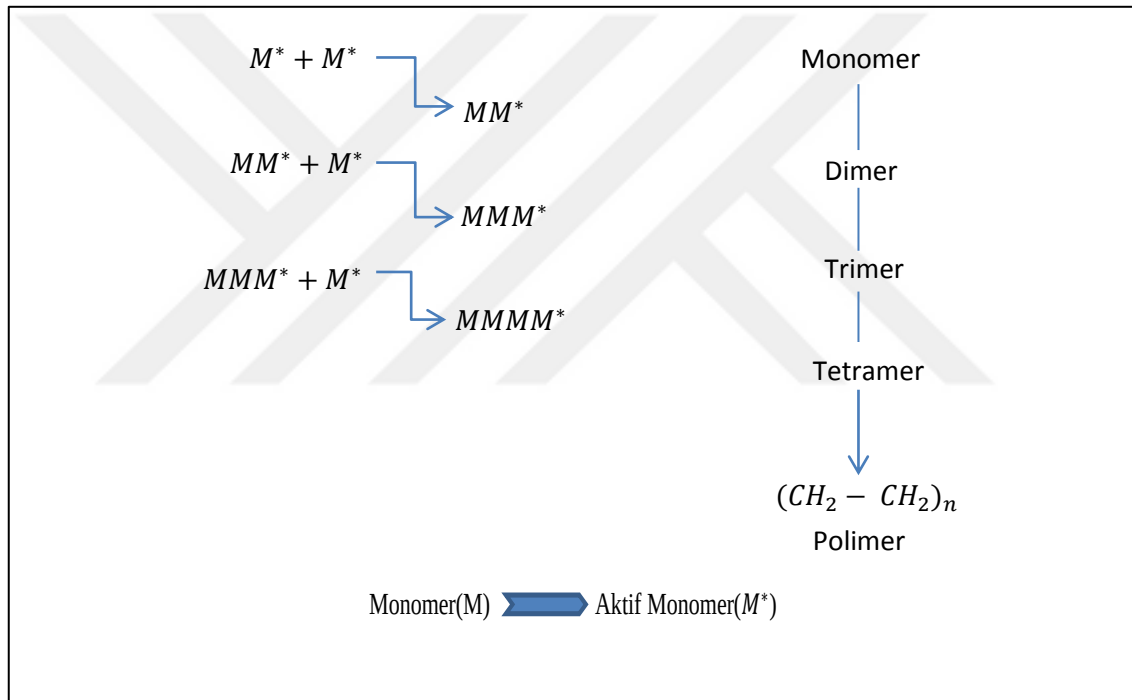
- Molekül ağırlıklarına göre (oligomer, makromolekül)
- Doğada bulunup, bulunmamasına göre (doğal, yapay)
- Organik ya da anorganik olmalarına göre
- Isıya karşı gösterdikleri davranışa göre
- Zincirin kimyasal ve fiziksel yapısına göre (düz, dallanmış çapraz bağılı, kristal, amorf polimerler)
- Zincir yapısına göre (homopolimer, kopolimer)
- Sentezleme şekillerine göre (Kazancı, 2010)

2.8.2. Polimerizasyon Mekanizması

Monomerden başlayarak polimer moleküllerinin elde edilmesine kadar olan reaksiyonlara “polimerizasyon reaksiyonları” denir. Polimerizasyonun oluşumu başlama, çoğalma ve sonlama olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır (San, 2012).

Monomerin kimyasal yapısını başlatıcılar etkilemektedir. Monomer içindeki atomlar başka atomlarla bağ kuracak hale gelirken, monomerler uygun kimyasallarla polimerleşebilecek hale getirilir (Demircioğlu, 2012).

Meydana gelen bu aktif monomer, iki veya daha fazla monomer ile birleşerek monomer zinciri oluştururlar.



Şekil 2.13. Polimerizasyonda çoğalma

Monomer zincirinde bulunan aktif uçlar pasifleşir, yapı daha kararlı hale gelerek polimerleşme sonuçlanır (Khanghah, 2014).

Polimerlerin sentezi genel işleyiş bakımından basamaklı polimerizasyon ve katılma polimerizasyonu olmak üzere iki yöntemle açıklanır.

-Basamaklı Polimerizasyon

Büyüklikleri birbirinden farklı olan iki molekül arasında meydana gelen reaksiyonlardır. Bu tür reaksiyona verilebilecek en çarpıcı örnek kondensasyon

reaksiyonudur. Kondensasyon reaksiyonunda küçük moleküller, kondensasyon reaksiyonları ile bağlanarak polimer moleküllerini meydana getirirler. Bu sırada bazı küçük moleküllerde oluşur (Kazancı, 2010).

-Katılma Polimerizasyonu

Çok sayıda doymamış molekül birleşerek monomer birimleri tek bağlar ile bağlanmış büyük bir molekül oluşturur. Birleşen birimler bire bir birbirlerinin aynısı olabileceği gibi iki veya çok çeşitli moleküllerde olabilir. Bu polimerizasyon ile polimerleşen monomerler vinil ve dien monomerleridir. Vinil ve dien, etil ve bütadienin türevleri olarak incelenir (Kazancı, 2010).

2.9. Epoksi Reçinesi ve Epoksinin Özellikleri

Epoksi reçinesi 1930 yılında ilk defa sentezlenmiş ve birçok endüstri alanında kullanılmaya başlanmıştır. Yapı malzemeleri, kaplamalar, havacılık, laminant, yapıştırıcılar, kompozit malzemelerde kullanılmıştır (Vaia ve ark., 1995).



Şekil 2.14. Epoksi Reçinesi (<http://tpi.com.tr/epoxy-resin>)

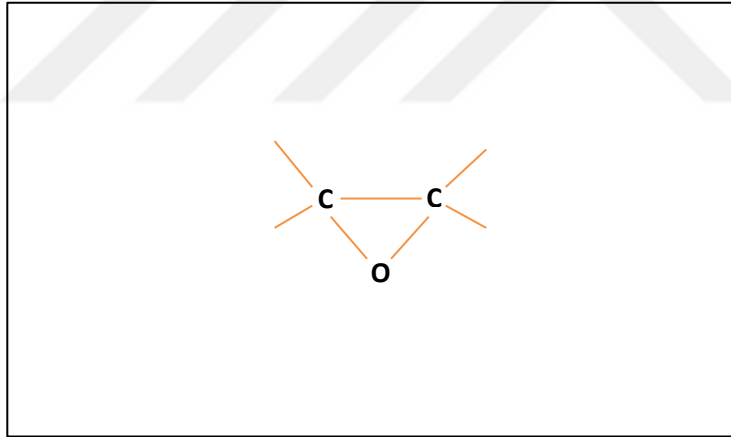
Epoksi reçineleri, diğer polimer matrislerden pahalıdır. Buna rağmen, kompozitler için en çok tercih edilen polimer matristir (Şeker, 2010).

Epoksilerin çok kullanılmasının nedenlerini şu şekilde sıralayabiliriz;

- Aşınmalara karşı çok dayanıklıdır.

- Oda sıcaklığında katılaşabilir.
- Sıcaklıkları yüksek olduğunda iyi mekanik ve fiziksel performans gösterir.
- Düşük viskozite ve düşük akış hızına sahiptir.
- Elektriksel ve kimyasal direnci oldukça yüksektir.
- Çekme ve darbeye karşı oldukça dayanıklıdır.
- Hangi düzgünlük ve dokuda olursa olsun hertürlü yüzeye yapışabilir.
- Kürleşme sürecinde uçuculuğunun düşük olması (Kaw 1997).

Epoksi reçinesinin yapısındaki zincirleri düz hale getirmek ya da çapraz bağlamak sureti ile çok kompleks yapıda bir reçine elde edebilmek için reçinenin pişirilmesi gerekmektedir. Reçinenin pişirilmesi, sertleştirme işlemi katılan sertleştirici ve sıcaklığın etkisine bağlıdır. Reçineye elastik polimer (elastomer) katılması reçinenin yumuşaklığını, darbe direncini, pigmentlerin maliyetinin düşürülmesine neden olurken ısı transfer özelliklerini ayarlar ve kimyasallara karşı direncini artırır. Dolgu malzemeleri, reçinenin sertliğini ve dayanıklılığını artırarak kullanılacak yüzeye istenen görünümün verilmesini sağlar (Öz, 2016).



Şekil 2.15. Epoksi Fonksiyonel Grubu

2.9.1. Epoksi İçeren Kompozitlerin Nötron Zırhı Olarak Kullanılması

Zırhlama malzemesinin nötron absorbtalama özelliğini artırmak için bir nötron yavaşlatıcısı olarak hidrojen zengin malzemeler kullanılmaktadır.

Düşük atom numaralı materyaller arasında epoksi gibi yüksek hidrojen içeren polimerler yararlıdır çünkü hafiftirler ve metal matrix kompozitlerden daha kolay üst üste gelebilirler. Bunun yanında epoksi reçinesi içerisine bir takım başka inorganik malzemeler katılarak bu malzemenin zırhlama özellikleri artırılabilir. Epoksi reçinesinin ana özellikleri düşük daralma ve buna bağlı olarak iyi boyutsal düzgünlük, bir çok takviyeye mükemmel adhezyon destek özellikleri ve yüksek ısı direnci, yüksek mekanik güç ve kimyasal kararlılık olarak sayılabilir. Bundan başka gama ışınına ve nötron ışınlamasına gösterdiği üstün sağlamlık yüzünden epoksi reçinesi nükleer radyasyon kullanımının gerektiği alanlarda tercih edilir (Adeli and ark. , 2017).



Şekil 2.16. Nükleer Reaktörler

(<http://www.tesisat.org/nukleer-enerji-ve-fizyon-reaktorleri.html>)

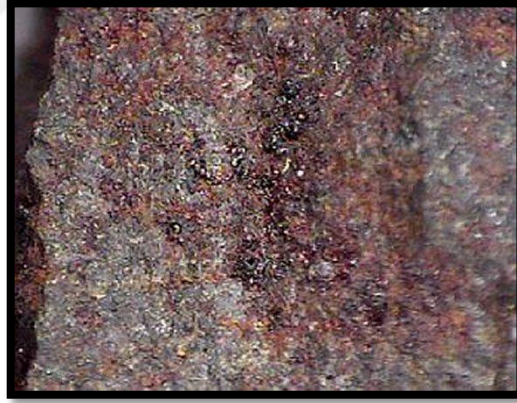
3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Kullanılan Numuneler

Nötronların madde ile etkileşim gösterdiklerinde hedef malzemenin atomları tarafından yavaşlatılırlar ya da yakalanırlar. Malzemenin nötron yavaşlatıcı olması içerdiği hidrojen miktarına, nötron yakalayıcı olması ise içindeki bor miktarına bağlıdır (Korkut, 2010).

Çizelge 3.1. Demir metalinin özellikleri

Demir'in (Fe) Fiziksel Özellikleri	
Kimyasal Formül	Fe
Moleküler Ağırlık	55.85 gm
Renk	Siyah, Koyu gri, Çelik gri
Yoğunluğu(ortalama)	7.87 g/cm ³
Erime Sıcaklığı	1.538 °C

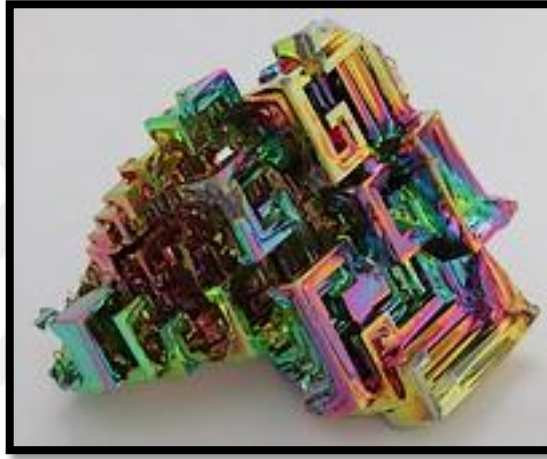


Şekil 3.1. Demir cevherinin görünümü

(<http://webmineral.com/specimens/picshow.php?id=557#.WicHhxvhBPY>)

Çizelge 3.2. Bizmut metalinin özellikleri

Bizmut'un (Bi) Fiziksel Özellikleri	
Kimyasal Formül	Bi
Moleküler Ağırlık	208.98 gm
Renk	Gümüş beyaz, Pembemsi beyaz,
Yoğunluğu(ortalama)	Kırmızı
Erime Sıcaklığı	9.75 g/cm ³
	271.4 °C



Şekil 3.2. Bizmut cevherinin görünümü

(<http://cevapbizden.com/wp-content/uploads/2015/10/bizmut.jpg>)

Çizelge 3.3. Tantal metalinin özellikleri

Tantal'ın (Ta) Fiziksel Özellikleri	
Kimyasal Formül	Ta
Moleküler Ağırlık	180.95 gm
Renk	Gümüş
Yoğunluğu(ortalama)	16.65 g/cm ³
Erime Sıcaklığı	3.020 °C



Şekil 3.3. Tantal cevherinin Görünümü

(<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tantalum.jpg>)

Çizelge 3.4. Toryum metalinin özellikleri

Toryum'un (Th) Fiziksel Özellikleri	
Kimyasal Formül	Th
Moleküler Ağırlık	232 g/m
Renk	Gümüş beyazı renkli, metalik
Yoğunluğu(ortalama)	11.7 g/cm ³
Erime Sıcaklığı	1.755 °C



Şekil 3.4. Toryum cevherinin görünümü

(<http://www.kimyakulubu.com/toryum-th/>)

Çizelge 3.5. Tungsten karbür'ün özellikleri

Tungsten karbür'ün (WC) Fiziksel Özellikleri	
Kimyasal Formül	WC
Moleküler Ağırlık	195,86 g/mol
Renk	Parlak gri, siyah
Yoğunluğu(ortalama)	15,63 g/cm ³
Erime Sıcaklığı	2.870 °C



Şekil 3.5. Tungsten karbür tozu

(<http://www.tungsten-powder.com/turkish/Tungsten-Carbide-Powder.html>)

3.2. Modelleme

Modelleme yani simülasyon, fiziksel gerçek bir sistemin ya da teorik bilgilerin bilgisayar ortamında modellenerek sistemin davranışını kavrayabilmek veya değişik yolları değerlendirebilmek için bilgisayar yardımı ile yürütülen bir tekniktir.

Simülasyon,

- Sonuçların ve gidişatların tahmin edilmesinde
- Gözlenen sonuçların nedenlerinin belirlenmesinde
- Yatırım yapılmadan önce problemlerin ne olduğunu belirlemede
- Değişikliklerin ne gibi etkilere yol açacağını ortaya çıkarmada
- Sistem değişkenlerinin hepsinin bulunmalarını sağlamada
- Fikirleri değerlendirme ve verimli olmayan yanları bulmada

- Yeni fikirler geliřtirmede
- Plan bütünlüğü ve fizibiliteyi test etmede

kullanılır.

Bilgisayar simülasyonları günümüzde çokca kullanılan bir tekniktir. Mühendis ve planlamacılara sistem hakkında yardımcı olur. Tek başına problem çözemez fakat problemi çok net bir şekilde tanımlar ve alternatif çözümleri değerlendirir. Önerilen bir çözüm için analiz ve sayısal ölçüm yapabilir. Kısa bir sürede ekstra bir çözümün bulunmasında yardımcı olur. Yeni bir sistemi kurmadan önce bu teknik ile modelleyerek sistem çalıştığında karşılaşılabilecek birçok yanılgıyı öncede görmemizi sağlar.

Simülasyonun fazla sayıda ve fazla özellikli değişkeni tek bir modelde toplayabilme özelliğı, bugünkü kompleks sistemlerin dizayn edilmesinde vazgeçilmez bir teknik olmasını sağlamaktadır (Korkut, 2010).

```

aysegul@aysegul-VPF24M1E:~/Hadr03
neutron + C135 --> N gamma + C136: 1 Q = 9.5405 MeV
neutron + C135 --> N gamma + alpha + P32: 347 Q = 940.66 keV
neutron + C135 --> N gamma + neutron + C135: 2507 Q = 2.9585 keV
neutron + C135 --> N gamma + proton + S35: 428 Q = 629.29 keV
neutron + C135 --> alpha + P32: 7 Q = 939.40 keV
neutron + C135 --> neutron + C135: 7351 Q = 23.773 eV
neutron + C135 --> proton + S35: 389 Q = 615.67 keV
neutron + C137 --> N gamma + C138: 1 Q = 1.7461 MeV
neutron + C137 --> N gamma + neutron + C137: 893 Q = -201.84 eV
neutron + C137 --> neutron + C137: 2751 Q = 26.515 eV
neutron + H1 --> N gamma + deuteron: 6 Q = -11.71 keV
neutron + H1 --> neutron + proton: 202980 Q = 1.2249 keV
neutron + H2 --> neutron + deuteron: 39 Q = 456.60 eV
neutron + O16 --> N gamma + O17: 1 Q = -2.2779 MeV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + C13: 817 Q = -416.40 keV
neutron + O16 --> neutron + O16: 30412 Q = 162.2 eV
neutron + O17 --> N gamma + neutron + O17: 1 Q = -938.28 eV
neutron + O17 --> alpha + C14: 1 Q = 1.8187 MeV
neutron + O17 --> neutron + O17: 6 Q = 80.149 eV
neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15: 5 Q = -4.2586 MeV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 2 Q = -3.2204 keV
neutron + O18 --> alpha + C15: 1 Q = -4.2607 MeV
neutron + O18 --> neutron + O18: 54 Q = -21.429 keV
neutron + Ta180 --> N gamma + neutron + Ta180: 3 Q = 0.877321 eV
neutron + Ta180 --> neutron + Ta180: 5 Q = 3.2937 eV
neutron + Ta181 --> N gamma + Ta182: 79 Q = 1.6784 MeV
neutron + Ta181 --> N gamma + neutron + Ta181: 43659 Q = 341.62 keV
neutron + Ta181 --> neutron + Ta181: 49553 Q = 2.1176 eV

Number of gamma: N = 1 --> 13

List of generated particles:
C12: 161047 Emean = 423.34 keV ( 1.1776 eV --> 1.2902 MeV)
C13: 2530 Emean = 533.84 keV ( 256.25 eV --> 1.3328 MeV)
C14: 1 Emean = 984.98 keV ( 984.98 keV --> 984.98 keV)
C15: 0 Emean = 189.11 keV ( 188.95 keV --> 189.22 keV)
C132: 9850 Emean = 189.06 keV ( 13.773 eV --> 491.65 keV)
C136: 1 Emean = 126.67 keV ( 126.67 keV --> 126.67 keV)
C137: 3644 Emean = 115.46 keV ( 9.3478 eV --> 465.87 keV)
C138: 1 Emean = 136.24 keV ( 136.24 keV --> 136.24 keV)
O16: 30412 Emean = 373.67 keV ( 5.337 eV --> 1.0063 MeV)
O17: 8 Emean = 275.75 keV ( 69.628 keV --> 945.62 keV)
O18: 56 Emean = 364.03 keV ( 390.7 eV --> 884.45 keV)
P32: 354 Emean = 701.23 keV ( 141.85 keV --> 1.2167 MeV)
S35: 817 Emean = 228.11 keV ( 2.7292 keV --> 323.41 keV)
Ta180: 8 Emean = 20.954 keV ( 473.38 eV --> 60.674 keV)
Ta181: 93212 Emean = 19.464 keV ( 0.17561 eV --> 99.514 keV)
Ta182: 79 Emean = 25.83 keV ( 22.213 keV --> 28.45 keV)
alpha: 1178 Emean = 2.3807 MeV ( 50.267 keV --> 5.3337 MeV)
deuteron: 35 Emean = 1.779 MeV ( 124.37 keV --> 3.9405 MeV)
gamma: 198990 Emean = 845.78 keV ( 44.127 eV --> 6.5601 MeV)
neutron: 47665 Emean = 1.2808 MeV ( 1.3823 keV --> 4.4935 MeV)
proton: 203717 Emean = 2.2035 MeV ( 11.827 keV --> 5.1131 MeV)

Momentum balance: Pmean = 64.582 keV ( 118.66 eV --> 13.64 MeV)

----- Rencuc engine status -----
Initial seed (index) = 0
Current couple of seeds = 1257654638, 2017008121
-----
idle>

```

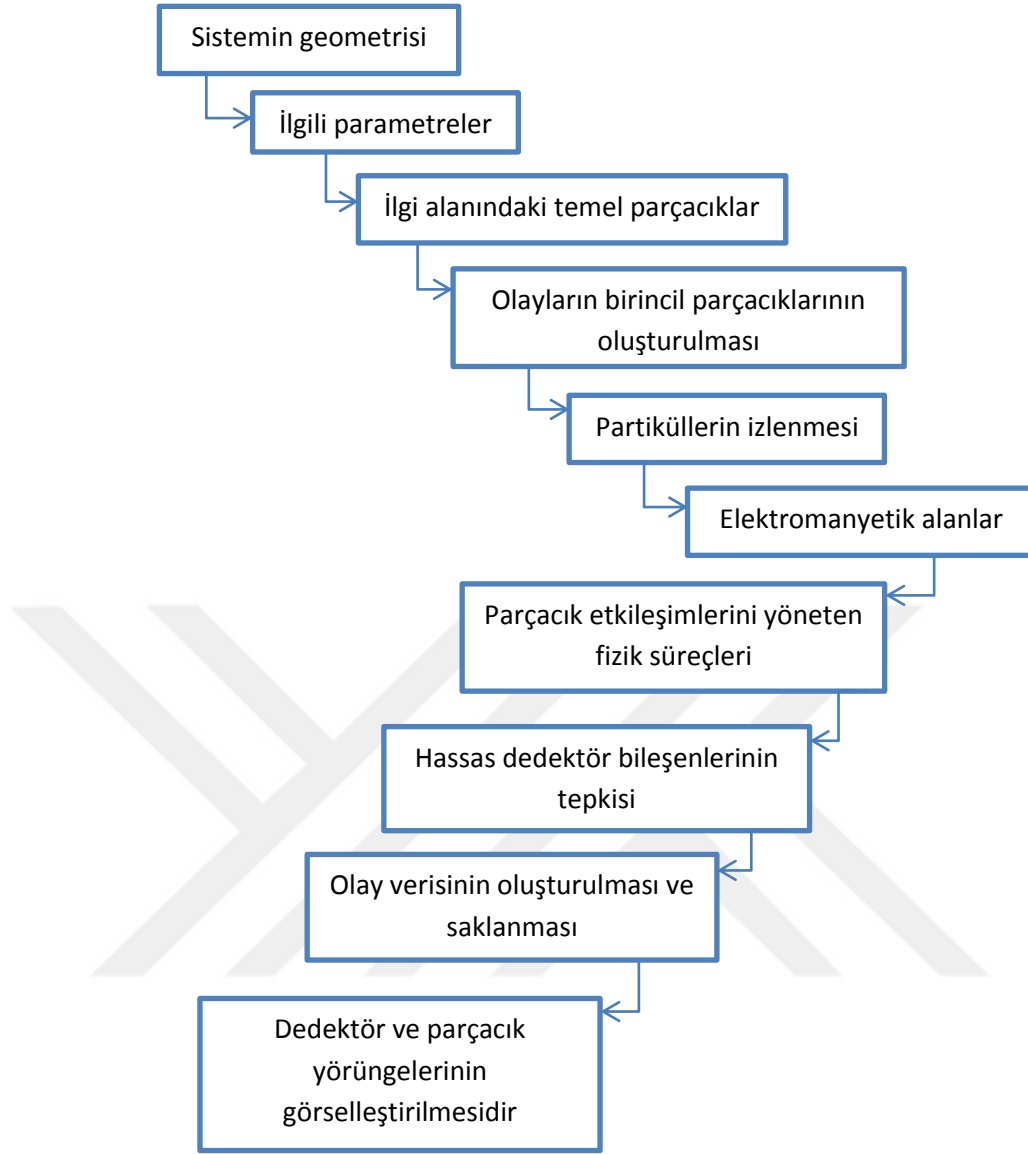
Şekil 3.6. Çalışmada en iyi sonucu veren simülasyon

(%40 epoksi ile %60 Tantal karıştırılarak bulunan simülasyon)

3.3. GEANT4 Hesaplamaları

Modern parçacık fiziği ve nükleer fizik deneyleri sağlam yazılım uygulamaları gerektirmektedir. Bu deneylerde kullanılan parçacık dedektörlerinin, kapsamlı simülasyonları için talep her geçen gün artmaktadır. Dedektörlerin hassasiyeti, düşük maliyetli oluşu ve karmaşık simülasyonların çözümünün daha kolay olması nedeniyle daha çok ilgi çekmektedir. Radyasyon fiziği, uzay bilimi, nükleer tıp ve aslında madde içindeki parçacık etkileşimlerinin rol aldığı herhangi bir alanda da bu uygulamalar çok kullanışlıdır.

Buna çözüm olarak, nesne yönelimli yeni bir simülasyon hesaplama kodu olan Geant4 geliştirilmiştir. Hesaplama kodu, çeşitli ortamlarda kullanılabilen geniş kapsamlı, birbirine bağlı yazılım bileşenlerinin bir setini oluşturmaktadır. Bunlar temel olaylar ve geometriler göz önüne alınarak yapılan araştırmalar büyük Hadron Çarpıştırıcısı deneyi ve diğer bazı deneyler için ufuk açıcı olmuştur. Yazılım bileşenlerini tanımlarken ve uygularken, simülasyon süreci basamakları şu şekilde olmaktadır;



Hesaplama kodunun tüm parçalarının bütün halinde çalışmasına izin veren, sorun hazırlama, çalıştırma, olay, parçacık taşıma, görselleştirme ve analiz seviyelerinde çalışan yerleşik basamakları ve komut yorumlayıcılarını içerir.

Bu yazılım sisteminin merkezinde, çok geniş bir enerji aralığında madde ile parçacıkların etkileşimlerinin yorumlanabileceği bir dizi fizik modeli bulunur. Programda kullanılan temel veriler ve uzmanlık deneyimleri dünyadaki birçok kaynaklardan elde edilmiştir ve bu bakımdan Geant4, parçacık etkileşimleri hakkında bildiklerimizin büyük bir bölümünü içeren bir depo görevi görür ; bunlara ek olarak program her geçen gün genişletilmekte ve güncellenmektedir. Önceki birçok simülasyon sisteminin bazı mekanizmalarındaki ciddi kısıtlılıklar, yeni veya değişken fizik modellerini eklemenin zorluğu ; boyut bazındaki sınırlılıklar, karmaşıklıklar bu

programların güncelleştirilmesi ve geliştirilmesini zorlaştırmıştır. Bunun aksine, nesne yönelimli yöntemler, tüm fizik modelleri için ortak örgütsel ilkeler ve ortak bir arayüz tanımlayarak karmaşıklığın ve bağımlılıkların etkili bir şekilde yönetimini sağlamıştır.

Geant4, birçok işbirliği enstitüleri, HEP deneyleri ve üniversitelerden gelen pekçok uzman tarafından uluslararası bir işbirliği ile oluşturulmuş tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Aynı zamanda fizik dedektörleri ve fiziksel süreçlerin Monte Carlo simülasyonu alanına katkıda bulunan birçok profesyonelin deneyimlerinden yararlanılmaktadır. Coğrafi olarak dağıtılan yazılım geliştirme ve büyük nesne odaklı sistemler artık bir yenilik değilken, Geant4 işbirliğinin, bu tür projeler arasında kodun boyutu, kapsamı ve katkıda bulunanların sayısı açısından, en büyük ve en iddialı alanlardan birini temsil ettiği düşünülmektedir. Fizik biliminin ortaya koymuş olduğu hızlı değişen ve açık uçlu gereksinimler, titiz yazılım mühendisliği uygulamalarının ve nesne yönelimli yöntemlerinin tutarlı ve sürdürülebilir bir yazılım ürününün üretilmesine katkı sağladığı bu program vasıtası ile ortaya konmuştur (Agostinelli ve ark. 2003).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu çalışmada epoksi reçinesi içerisine %10'dan başlayarak 10'ar artan yüzdelik oranlarda beş farklı metal karıştırıldı. Zırhlama malzemesinin eldesinde karıştırılması uygun görülen malzemeler; demir (Fe), bizmut (Bi), tantal (Ta), tungsten karbür (WC) ve toryum (Th) olarak belirlendi. Bu malzemelerin seçilme nedeni yüksek yoğunluklu ve nötron tutma kapasiteleri yüksek olmalarından dolayıdır. Ayrıca malzemenin dayanıklılığını arttırması için verilen malzemelerin içeriklerinin uygun olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 4.1. Demir (Fe) için nötron tesir kesiti

Demir (Fe yoğunluk:7.87 g/cm³, epoksi yoğunluk: 1.18 g/cm³)		
Karışıma katılan epoksi miktarı (%)	Karışımın Yoğunluğu (g/cm³)	Nötron için tesir kesiti (cm⁻¹)
10	7.08	0.353
20	6.53	0.389
30	5.86	0.407
40	5.19	0.409
50	4.52	0.400
60	3.86	0.379
70	3.19	0.343
80	2.52	0.296
90	1.85	0.235
100	1.18	0.160

Çizelge 4.2. Tungsten karbür (WC) için nötron tesir kesiti

Tungsten karbür (WC yoğunluk:15.63 g/cm³, epoksi yoğunluk: 1.18 g/cm³)		
Karışıma katılan epoksi miktarı (%)	Karışımın Yoğunluğu (g/cm³)	Nötron için tesir kesiti (cm⁻¹)
10	14.18	0.499
20	12.74	0.591
30	11.29	0.652
40	9.85	0.679
50	8.40	0.674
60	6.96	0.637
70	5.51	0.567
80	4.07	0.464
90	2.62	0.328
100	1.18	0.160

Çizelge 4.3. Bizmut (Bi) için nötron tesir kesiti

Bizmut (Bi yoğunluk:9.75 g/cm³, epoksi yoğunluk: 1.18 g/cm³)		
Karışıma katılan epoksi miktarı (%)	Karışımın Yoğunluğu (g/cm³)	Nötron için tesir kesiti (cm⁻¹)
10	8.89	0.297
20	8.04	0.362
30	7.18	0.406
40	6.32	0.428
50	5.46	0.432
60	4.61	0.419
70	3.75	0.384
80	2.89	0.329
90	2.04	0.256
100	1.18	0.160

Çizelge 4.4. Tantal (Ta) için nötron tesir kesiti

Tantal (Ta yoğunluk:16.65 g/cm³, epoksi yoğunluk: 1.18 g/cm³)		
Karışıma katılan epoksi miktarı (%)	Karışımın Yoğunluğu (g/cm³)	Nötron için tesir kesiti (cm⁻¹)
10	15.10	0.492
20	13.56	0.597
30	12.01	0.668
40	10.46	0.703
50	8.91	0.702
60	7.37	0.667
70	5.82	0.594
80	4.27	0.484
90	2.73	0.341
100	1.18	0.160

Çizelge 4.5. Toryum (Th) için nötron tesir kesiti

Toryum (Th yoğunluk:11.7 g/cm³, epoksi yoğunluk: 1.18 g/cm³)		
Karışıma katılan epoksi miktarı(%)	Karışımın Yoğunluğu (g/cm³)	Nötron için tesir kesiti (cm⁻¹)
10	10.65	0.338
20	9.60	0.416
30	8.54	0.470
40	7.49	0.500
50	6.44	0.506
60	5.39	0.485
70	4.34	0.441
80	3.28	0.371
90	2.23	0.279
100	1.18	0.160

4.1. Ürün Parçacıklar İçin Sayım-Enerji Tabloları

Geant4 Hesaplama Kodu kullanılarak kaynağa bir milyon parçacık gönderilerek kaynaktan çıkan 4,5 MeV enerjili nötronlar ile simülasyonlar yapıldı. Yapılan bu simülasyonlar sonucunda üretilen izotop parçacıkların neler olduğu görüldü ve bu parçacıkların sayımı sonucunda enerji aralığı bulunarak ortalama enerjileri hesaplandı.

Demir (Fe) malzemesi için sonuçlar;

Çizelge 4.6. %10 epoksi ve %90 demir için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi

Ürün Tipi	Parçacık Sayısı	Parçacığın Ortalama Enerjisi	Parçacığın Enerji Aralığı
¹² C	31562	422.65 keV	8.2333 eV --> 1.2901 MeV
¹³ C	523	544.29 keV	1.8611 keV --> 1.3395 MeV
³⁵ Cl	1911	109.68 keV	5.0972 eV --> 491.01 keV
³⁶ Cl	2	142.15 keV	137.48 keV --> 146.82 keV
³⁷ Cl	711	112.53 keV	42.592 eV --> 465.76 keV
⁵¹ Cr	4	492.64 keV	270.92 keV --> 694.28 keV
⁵³ Cr	11	393.02 keV	115.27 keV --> 666.96 keV
⁵⁴ Cr	6	499.05 keV	265.1 keV --> 899.72 keV
⁵⁴ Fe	11664	70.678 keV	11.1 eV --> 325.18 keV
⁵⁵ Fe	3	84.595 keV	80.591 keV --> 89.546 keV
⁵⁶ Fe	198694	71.356 keV	0.84662 eV --> 314.06 keV
⁵⁷ Fe	4526	71.304 keV	1.0015 eV --> 307.05 keV
⁵⁸ Fe	607	65.504 keV	156.02 eV --> 298.83 keV
⁵⁴ Mn	1109	162.02 keV	203.23 eV --> 354.06 keV
⁵⁶ Mn	6	113.69 keV	15.925 keV --> 211.15 keV
⁵⁷ Mn	3	149.82 keV	81.06 keV --> 209.49 keV
¹⁶ O	6002	366.92 keV	28.348 eV --> 1.005 MeV
¹⁷ O	4	344.68 keV	273.78 keV --> 548.47 keV
¹⁸ O	7	388.18 keV	156.63 keV --> 690.3 keV
³² P	81	652.87 keV	180.72 keV --> 1.2086 MeV
³⁵ S	137	257.29 keV	2.6799 keV --> 524.6 keV
Alfa (α)	270	2.6666 MeV	984.31 keV --> 6.7435 MeV)
Döteron (D)	6	1.8068 MeV	242.59 keV --> 3.8524 MeV
Gama (γ)	183242	1.1352 MeV	34.959 eV --> 13.526 MeV
Nötron (n)	76993	1.7184 MeV	690.93 eV --> 4.6439 MeV
Proton (p)	41304	2.3115 MeV	26.128 eV --> 5.1243 MeV
Ortalama momentum: 47.177 keV (162.58 eV --> 205.6 keV)			


```
aysegul@aysegul-VPCF24M1E:~/Hadr03
neutron + Fe56 --> N gamma + alpha + Cr53: 3 Q = 331.99 keV
neutron + Fe56 --> N gamma + neutron + Fe56: 70562 Q = -498.69 eV
neutron + Fe56 --> N gamma + proton + Mn56: 4 Q = -2.8118 MeV
neutron + Fe56 --> alpha + Cr53: 8 Q = 294.61 keV
neutron + Fe56 --> neutron + Fe56: 120132 Q = 12.692 eV
neutron + Fe56 --> proton + Mn56: 2 Q = -2.8114 MeV
neutron + Fe57 --> N gamma + alpha + Cr54: 4 Q = 2.4713 MeV
neutron + Fe57 --> N gamma + neutron + Fe57: 1777 Q = 109.55 keV
neutron + Fe57 --> N gamma + proton + Mn57: 2 Q = -1.6142 MeV
neutron + Fe57 --> alpha + Cr54: 2 Q = 2.3493 MeV
neutron + Fe57 --> neutron + Fe57: 2718 Q = 12.598 eV
neutron + Fe57 --> proton + Mn57: 1 Q = -1.9222 MeV
neutron + Fe58 --> N gamma + neutron + Fe58: 237 Q = 56.536 keV
neutron + Fe58 --> neutron + Fe58: 370 Q = 12.052 eV
neutron + H1 --> neutron + proton: 40049 Q = 1.2258 keV
neutron + H2 --> neutron + deuteron: 6 Q = 491.61 eV
neutron + O16 --> N gamma + O17: 2 Q = 8.4285 MeV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + C13: 168 Q = -300.83 keV
neutron + O16 --> neutron + O16: 6002 Q = 100.65 eV
neutron + O17 --> N gamma + neutron + O17: 1 Q = 0.067829 eV
neutron + O17 --> neutron + O17: 1 Q = 141.52 eV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 1 Q = -9.5169 keV
neutron + O18 --> neutron + O18: 6 Q = -19.786 keV

Number of gamma: N = 1 --> 12

List of generated particles:
C12: 31562 Emean = 422.65 keV ( 8.2333 eV --> 1.2901 MeV)
C13: 523 Emean = 544.29 keV ( 1.8611 keV --> 1.3395 MeV)
C135: 1911 Emean = 109.68 keV ( 5.0972 eV --> 491.01 keV)
C136: 2 Emean = 142.15 keV ( 137.48 keV --> 146.82 keV)
C137: 711 Emean = 112.53 keV ( 42.592 eV --> 465.76 keV)
Cr51: 4 Emean = 492.64 keV ( 278.92 keV --> 694.28 keV)
Cr53: 11 Emean = 393.82 keV ( 115.27 keV --> 666.96 keV)
Cr54: 6 Emean = 499.85 keV ( 265.1 keV --> 899.72 keV)
Fe54: 11664 Emean = 70.678 keV ( 11.1 eV --> 325.18 keV)
Fe55: 3 Emean = 84.595 keV ( 80.591 keV --> 89.546 keV)
Fe56: 198694 Emean = 71.356 keV ( 0.84662 eV --> 314.86 keV)
Fe57: 4526 Emean = 71.384 keV ( 1.0015 eV --> 307.05 keV)
Fe58: 607 Emean = 65.504 keV ( 156.02 eV --> 298.83 keV)
Mn54: 1109 Emean = 162.82 keV ( 203.23 eV --> 354.06 keV)
Mn56: 6 Emean = 113.69 keV ( 15.925 keV --> 211.15 keV)
Mn57: 3 Emean = 149.82 keV ( 81.06 keV --> 209.49 keV)
O16: 6002 Emean = 366.92 keV ( 28.348 eV --> 1.005 MeV)
O17: 4 Emean = 344.68 keV ( 273.78 keV --> 548.47 keV)
O18: 7 Emean = 388.18 keV ( 156.63 keV --> 690.3 keV)
P32: 81 Emean = 652.87 keV ( 188.72 keV --> 1.2886 MeV)
S35: 137 Emean = 257.29 keV ( 2.6799 keV --> 524.6 keV)
alpha: 270 Emean = 2.6666 MeV ( 984.31 keV --> 6.7435 MeV)
deuteron: 6 Emean = 1.8668 MeV ( 242.59 keV --> 3.8524 MeV)
gamma: 183242 Emean = 1.1352 MeV ( 34.959 eV --> 13.526 MeV)
neutron: 76993 Emean = 1.7184 MeV ( 690.93 eV --> 4.6439 MeV)
proton: 41304 Emean = 2.3115 MeV ( 26.128 eV --> 5.1243 MeV)

Momentum balance: Pmean = 47.177 keV ( 162.58 eV --> 205.6 keV)

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (index) = 0
Current couple of seeds = 580972696, 57211480
-----
Idle>
```

Şekil 4.1. %10 epoksi ve %90 demir için simülasyon ekran görüntüsü

Çizelge 4.7. %20 epoksi ve %80 demir için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi

Ürün Tipi	Parçacık Sayısı	Parçacığın Ortalama Enerjisi	Parçacığın Enerji Aralığı
¹² C	57683	423.83 keV	8.2333 eV --> 1.2901 MeV
¹³ C	954	514.89 keV	504.45 eV --> 1.3332 MeV
¹⁴ C	1	2.4971 MeV	2.4971 MeV --> 2.4971 MeV
¹⁵ C	1	189.13 keV	189.13 keV --> 189.13 keV
³⁵ Cl	3521	107.56 keV	14.329 eV --> 491.67 keV
³⁷ Cl	1325	110.17 keV	45.027 eV --> 466.57 keV
⁵¹ Cr	1	468.53 keV	468.53 keV --> 468.53 keV
⁵³ Cr	4	282.38 keV	124.19 keV --> 462.52 keV
⁵⁴ Cr	5	456.92 keV	182.78 keV --> 765.84 keV
⁵⁴ Fe	9491	71.855 keV	6.1279 eV --> 325.03 keV
⁵⁵ Fe	1	75.933 keV	75.933 keV --> 75.933 keV
⁵⁶ Fe	160312	71.429 keV	0.46966 eV --> 314.07 keV
⁵⁷ Fe	3770	70.291 keV	14.185 eV --> 307.05 keV
⁵⁸ Fe	455	62.642 keV	103.48 eV --> 293.78 keV
⁵⁴ Mn	891	160.19 keV	203.23 eV --> 352.45 keV
⁵⁶ Mn	10	117.57 keV	30.808 keV --> 211.15 keV
⁵⁷ Mn	2	154.41 keV	123.07 keV --> 185.76 keV
¹⁶ O	10931	371.7 keV	11.126 eV --> 1.0057 MeV
¹⁷ O	4	173.45 keV	63.278 keV --> 264.54 keV
¹⁸ O	26	351.08 keV	12.629 keV --> 823.86 keV
³² P	123	716.86 keV	119.83 keV --> 1.2177 MeV
³⁵ S	304	235.88 keV	753.53 eV --> 522.28 keV
Alfa (α)	440	2.432 MeV	50.313 keV --> 6.4221 MeV
Döteron (D)	11	2.3604 MeV	58.689 keV --> 3.9473 MeV
Gama (γ)	149582	1.1325 MeV	8.3974 eV --> 13.473 MeV
Nötron (n)	62445	1.7149 MeV	690.93 eV --> 4.6422 MeV
Proton (p)	73637	2.2948 MeV	9.7014 eV --> 5.1243 MeV
Ortalama momentum: 39.902 keV (141.51 eV --> 172.99 keV)			

```
aysegul@aysegul-VPCF24M1E:~/Hadr03
neutron + Fe56 --> alpha + Cr53: 2 Q = 307.9 keV
neutron + Fe56 --> neutron + Fe56: 103752 Q = 12.665 eV
neutron + Fe56 --> proton + Mn56: 2 Q = -2.9119 MeV
neutron + Fe57 --> N gamma + Fe58: 1 Q = 5.6407 MeV
neutron + Fe57 --> N gamma + alpha + Cr54: 4 Q = 2.4852 MeV
neutron + Fe57 --> N gamma + neutron + Fe57: 1441 Q = 123.6 keV
neutron + Fe57 --> N gamma + proton + Mn57: 1 Q = -1.9696 MeV
neutron + Fe57 --> alpha + Cr54: 1 Q = 2.3551 MeV
neutron + Fe57 --> neutron + Fe57: 2301 Q = 12.357 eV
neutron + Fe57 --> proton + Mn57: 1 Q = -1.9212 MeV
neutron + Fe58 --> N gamma + neutron + Fe58: 170 Q = 66.657 keV
neutron + Fe58 --> neutron + Fe58: 276 Q = 11.447 eV
neutron + H1 --> neutron + proton: 72430 Q = 1.2307 keV
neutron + H2 --> neutron + deuteron: 11 Q = 641.97 eV
neutron + O16 --> N gamma + O17: 1 Q = 1.2127 MeV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + C13: 305 Q = -425.1 keV
neutron + O16 --> neutron + O16: 10931 Q = 101.96 eV
neutron + O17 --> N gamma + alpha + C14: 1 Q = 1.817 MeV
neutron + O17 --> neutron + O17: 3 Q = 36.938 eV
neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15: 1 Q = -4.259 MeV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 1 Q = -620.19 eV
neutron + O18 --> neutron + O18: 25 Q = -20.461 keV

Number of gamma: N = 1 --> 10

List of generated particles:
C12: 57683 Emean = 423.83 keV ( 0.2333 eV --> 1.2001 MeV)
C13: 954 Emean = 514.89 keV ( 504.45 eV --> 1.3332 MeV)
C14: 1 Emean = 2.4971 MeV ( 2.4971 MeV --> 2.4971 MeV)
C15: 1 Emean = 189.13 keV ( 189.13 keV --> 189.13 keV)
C135: 3521 Emean = 107.56 keV ( 14.329 eV --> 491.67 keV)
C137: 1325 Emean = 110.17 keV ( 45.027 eV --> 466.57 keV)
Cr51: 1 Emean = 468.53 keV ( 468.53 keV --> 468.53 keV)
Cr53: 4 Emean = 282.38 keV ( 124.19 keV --> 462.52 keV)
Cr54: 5 Emean = 456.92 keV ( 182.78 keV --> 765.04 keV)
Fe54: 9491 Emean = 71.855 keV ( 6.1279 eV --> 325.03 keV)
Fe55: 1 Emean = 75.933 keV ( 75.933 keV --> 75.933 keV)
Fe56: 160312 Emean = 71.429 keV ( 0.46966 eV --> 314.07 keV)
Fe57: 3770 Emean = 70.291 keV ( 14.185 eV --> 307.05 keV)
Fe58: 455 Emean = 62.042 keV ( 103.48 eV --> 293.78 keV)
Mn54: 891 Emean = 160.19 keV ( 203.23 eV --> 352.45 keV)
Mn56: 10 Emean = 117.57 keV ( 30.808 keV --> 211.15 keV)
Mn57: 2 Emean = 154.41 keV ( 123.07 keV --> 185.76 keV)
O16: 10931 Emean = 371.7 keV ( 11.126 eV --> 1.0657 MeV)
O17: 4 Emean = 173.45 keV ( 63.278 keV --> 204.54 keV)
O18: 26 Emean = 351.08 keV ( 12.629 keV --> 823.06 keV)
P32: 123 Emean = 716.06 keV ( 119.83 keV --> 1.2177 MeV)
S35: 304 Emean = 235.88 keV ( 753.53 eV --> 522.28 keV)
alpha: 440 Emean = 2.432 MeV ( 50.313 keV --> 6.4221 MeV)
deuteron: 11 Emean = 2.3604 MeV ( 58.689 keV --> 3.9473 MeV)
gamma: 149502 Emean = 1.1325 MeV ( 8.3974 eV --> 13.473 MeV)
neutron: 62445 Emean = 1.7149 MeV ( 690.93 eV --> 4.6422 MeV)
proton: 73637 Emean = 2.2948 MeV ( 9.7014 eV --> 5.1243 MeV)

Momentum balance: Pmean = 39.902 keV ( 141.51 eV --> 172.99 keV)

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (Index) = 0
Current couple of seeds = 834840045, 886390378
-----
Idle>
```

Şekil 4.2. %20 epoksi ve %80 demir için simülasyon ekran görüntüsü

Çizelge 4.8. %30 epoksi ve %70 demir için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi

Ürün Tipi	Parçacık Sayısı	Parçacığın Ortalama Enerjisi	Parçacığın Enerji Aralığı
¹² C	77267	424.62 keV	8.2333 eV --> 1.2904 MeV
¹³ C	1241	527.31 keV	948.42 eV --> 1.3409 MeV
¹⁵ C	6	189.07 keV	189.02 keV --> 189.15 keV
³⁵ Cl	4766	111.6 keV	27.747 eV --> 491.67 keV
³⁶ Cl	1	110.95 keV	110.95 keV --> 110.95 keV
³⁷ Cl	1728	110.37 keV	15.609 eV --> 464.24 keV
⁵¹ Cr	1	323.14 keV	323.14 keV --> 323.14 keV
⁵³ Cr	10	412.46 keV	171.45 keV --> 583.41 keV
⁵⁴ Cr	3	461.58 keV	265.1 keV --> 686.42 keV
⁵⁴ Fe	7259	70.411 keV	0.019783 eV --> 325.24 keV
⁵⁵ Fe	3	81.885 keV	75.308 keV --> 90.462 keV
⁵⁶ Fe	125662	71.107 keV	0.70708 eV --> 313.96 keV
⁵⁷ Fe	2873	73.713 keV	16.065 eV --> 307.22 keV
⁵⁸ Fe	386	62.331 keV	114.31 eV --> 301.22 keV
⁵⁴ Mn	697	158.93 keV	203.23 eV --> 363.69 keV
⁵⁶ Mn	2	175.69 keV	160.56 keV --> 190.83 keV
⁵⁷ Mn	1	98.112 keV	98.112 keV --> 98.112 keV
¹⁶ O	14523	374.67 keV	14.25 eV --> 1.0065 MeV
¹⁷ O	7	569.3 keV	125.4 keV --> 890.67 keV
¹⁸ O	27	274.4 keV	5.8049 keV --> 803.1 keV
³² P	195	661.76 keV	202.28 keV --> 1.1628 MeV
³⁵ S	377	234.78 keV	4.3124 keV --> 524.45 keV
Alfa (α)	619	2.5217 MeV	50.283 keV --> 6.4641 MeV
Döteron (D)	14	2.0439 MeV	86.069 keV --> 3.8977 MeV
Gama (γ)	118659	1.137 MeV	22.467 eV --> 13.441 MeV
Nötron (n)	49400	1.7052 MeV	10.106 keV --> 4.6156 MeV
Proton (p)	98197	2.2851 MeV	6.3194 eV --> 5.1243 MeV
Ortalama momentum: 34.622 keV (107.02 eV --> 185.92 keV)			

```
aysegul@aysegul-VPCF24M1E:~/Hadr03
neutron + Fe56 --> N gamma + proton + Mn56: 2 Q = -2.8726 MeV
neutron + Fe56 --> alpha + Cr53: 7 Q = 384.49 keV
neutron + Fe56 --> neutron + Fe56: 81539 Q = 12.692 eV
neutron + Fe57 --> N gamma + Fe58: 1 Q = 6.76 MeV
neutron + Fe57 --> N gamma + alpha + Cr54: 1 Q = 2.485 MeV
neutron + Fe57 --> N gamma + neutron + Fe57: 1151 Q = 87.939 MeV
neutron + Fe57 --> alpha + Cr54: 2 Q = 2.373 MeV
neutron + Fe57 --> neutron + Fe57: 1697 Q = 12.821 eV
neutron + Fe57 --> proton + Mn57: 1 Q = -1.9173 MeV
neutron + Fe58 --> N gamma + neutron + Fe58: 154 Q = 25.67 keV
neutron + Fe58 --> neutron + Fe58: 231 Q = 18.947 eV
neutron + H1 --> N gamma + deuteron: 1 Q = -58.024 keV
neutron + H1 --> neutron + proton: 97120 Q = 1.2381 keV
neutron + H2 --> neutron + deuteron: 13 Q = 552.28 eV
neutron + O16 --> N gamma + O17: 1 Q = 4.2961 MeV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + C13: 404 Q = -475.64 keV
neutron + O16 --> neutron + O16: 14523 Q = 102.77 eV
neutron + O17 --> neutron + O17: 6 Q = 159.17 eV
neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15: 3 Q = -4.2591 MeV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 2 Q = 0.04431 eV
neutron + O18 --> alpha + C15: 3 Q = -4.2687 MeV
neutron + O18 --> neutron + O18: 25 Q = -16.128 keV

Number of gamma: N = 1 --> 9

List of generated particles:
C12: 77267 Enean = 424.62 keV ( 8.2333 eV --> 1.2904 MeV)
C13: 1241 Enean = 527.31 keV ( 948.42 eV --> 1.3409 MeV)
C15: 6 Enean = 189.07 keV ( 189.02 keV --> 189.15 keV)
C135: 4766 Enean = 111.6 keV ( 27.747 eV --> 491.67 keV)
C136: 1 Enean = 110.95 keV ( 110.95 keV --> 110.95 keV)
C137: 1728 Enean = 110.37 keV ( 15.609 eV --> 464.24 keV)
Cr51: 1 Enean = 323.14 keV ( 323.14 keV --> 323.14 keV)
Cr53: 10 Enean = 412.46 keV ( 171.45 keV --> 583.41 keV)
Cr54: 3 Enean = 461.58 keV ( 265.1 keV --> 686.42 keV)
Fe54: 7259 Enean = 70.411 keV ( 0.019783 eV --> 325.24 keV)
Fe55: 3 Enean = 81.885 keV ( 75.388 keV --> 90.462 keV)
Fe56: 125662 Enean = 71.187 keV ( 0.70708 eV --> 313.96 keV)
Fe57: 2873 Enean = 73.713 keV ( 16.065 eV --> 307.22 keV)
Fe58: 386 Enean = 62.331 keV ( 114.31 eV --> 301.22 keV)
Mn54: 697 Enean = 158.93 keV ( 283.23 eV --> 363.69 keV)
Mn56: 2 Enean = 175.69 keV ( 168.56 keV --> 198.83 keV)
Mn57: 1 Enean = 98.112 keV ( 98.112 keV --> 98.112 keV)
O16: 14523 Enean = 374.67 keV ( 14.25 eV --> 1.0865 MeV)
O17: 7 Enean = 569.3 keV ( 125.4 keV --> 890.67 keV)
O18: 27 Enean = 274.4 keV ( 5.8049 keV --> 803.1 keV)
P32: 195 Enean = 661.76 keV ( 282.28 keV --> 1.1628 MeV)
S35: 377 Enean = 234.78 keV ( 4.3124 keV --> 524.45 keV)
alpha: 619 Enean = 2.5217 MeV ( 30.283 keV --> 6.4641 MeV)
deuteron: 14 Enean = 2.0439 MeV ( 86.069 keV --> 3.8977 MeV)
gamma: 118659 Enean = 1.137 MeV ( 22.467 eV --> 13.441 MeV)
neutron: 49488 Enean = 1.7852 MeV ( 18.186 keV --> 4.6156 MeV)
proton: 98197 Enean = 2.2851 MeV ( 6.3194 eV --> 5.1243 MeV)

Momentum balance: Pmean = 34.622 keV ( 107.02 eV --> 185.92 keV)

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (Index) = 0
Current couple of seeds = 1026572761, 856975798
-----
Idle>
```

Şekil 4.3. %30 epoksi ve %70 demir için simülasyon ekran görüntüsü

Çizelge 4.9. %40 epoksi ve %60 demir için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi

Ürün Tipi	Parçacık Sayısı	Parçacığın Ortalama Enerjisi	Parçacığın Enerji Aralığı
¹² C	91502	421.54 keV	1.8749 eV --> 1.2901 MeV
¹³ C	1491	542.18 keV	229.76 eV --> 1.3351 MeV
¹⁵ C	4	189.07 keV	188.86 keV --> 189.17 keV
³⁵ Cl	5521	108.9 keV	2.1612 eV --> 491.3 keV
³⁶ Cl	1	109.67 keV	109.67 keV --> 109.67 keV
³⁷ Cl	2098	114.7 keV	15.609 eV --> 465.62 keV
⁵¹ Cr	1	407.71 keV	407.71 keV --> 407.71 keV
⁵³ Cr	2	524.12 keV	479.34 keV --> 568.9 keV
⁵⁴ Cr	3	492.59 keV	244.22 keV --> 651.7 keV
⁵⁴ Fe	5440	71.632 keV	4.5714 eV --> 324.37 keV
⁵⁵ Fe	2	76.693 keV	64.742 keV --> 88.644 keV
⁵⁶ Fe	94966	71.563 keV	0.69859 eV --> 313.97 keV
⁵⁷ Fe	2193	71.42 keV	1.0015 eV --> 308.73 keV
⁵⁸ Fe	303	69.226 keV	25.522 eV --> 302.34 keV
⁵⁴ Mn	483	166.52 keV	911.47 eV --> 357.01 keV
⁵⁶ Mn	4	125.05 keV	58.151 keV --> 209 keV
⁵⁷ Mn	2	109.41 keV	81.06 keV --> 137.76 keV
¹⁶ O	17058	375.67 keV	13.869 eV --> 1.0047 MeV
¹⁷ O	7	448.19 keV	27.848 keV --> 948.22 keV
¹⁸ O	38	288.97 keV	1.9995 keV --> 756.16 keV
³² P	196	682.07 keV	141.85 keV --> 1.2062 MeV
³⁵ S	426	227.02 keV	5.1105 keV --> 523.79 keV
Alfa (α)	682	2.3612 MeV	50.245 keV --> 6.3092 MeV
Döteron (D)	15	1.8968 MeV	46.836 keV --> 3.9188 MeV
Gama (γ)	92417	1.1334 MeV	16.093 eV --> 13.118 MeV
Nötron (n)	38137	1.7047 MeV	8.9511 keV --> 4.635 MeV
Proton (p)	114913	2.2735 MeV	283.26 eV --> 5.1246 MeV
Ortalama momentum: 30.594 keV (196.65 eV --> 182.75 keV)			

```
aysegul@aysegul-VPCF24M1E:~/Hadr03
neutron + Fe56 --> N gamma + alpha + Cr53: 1 Q = 331.99 keV
neutron + Fe56 --> N gamma + neutron + Fe56: 33603 Q = -499.73 eV
neutron + Fe56 --> N gamma + proton + Mn56: 4 Q = -2.6186 MeV
neutron + Fe56 --> alpha + Cr53: 1 Q = 254.83 keV
neutron + Fe56 --> neutron + Fe56: 61363 Q = 12.722 eV
neutron + Fe57 --> N gamma + Fe58: 1 Q = 27.42 MeV
neutron + Fe57 --> N gamma + alpha + Cr54: 3 Q = 2.405 MeV
neutron + Fe57 --> N gamma + neutron + Fe57: 878 Q = 120.22 keV
neutron + Fe57 --> N gamma + proton + Mn57: 2 Q = -1.5516 MeV
neutron + Fe57 --> neutron + Fe57: 1296 Q = 12.636 eV
neutron + Fe58 --> N gamma + neutron + Fe58: 123 Q = 34.227 keV
neutron + Fe58 --> neutron + Fe58: 179 Q = 14.204 eV
neutron + H1 --> N gamma + deuteron: 1 Q = 24.556 keV
neutron + H1 --> neutron + proton: 113998 Q = 1.2271 keV
neutron + H2 --> neutron + deuteron: 14 Q = 580.18 eV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + C13: 476 Q = -482.81 keV
neutron + O16 --> neutron + O16: 17058 Q = 103.85 eV
neutron + O17 --> N gamma + neutron + O17: 1 Q = 0.10592 eV
neutron + O17 --> neutron + O17: 6 Q = 111.7 eV
neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15: 4 Q = -4.2583 MeV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 2 Q = -1.0649 keV
neutron + O18 --> neutron + O18: 36 Q = -17.234 keV

Number of gamma: N = 1 --> 11

List of generated particles:
C12: 91502 Emean = 421.54 keV ( 1.8749 eV --> 1.2901 MeV)
C13: 1491 Emean = 542.18 keV ( 229.76 eV --> 1.3351 MeV)
C15: 4 Emean = 109.07 keV ( 188.86 keV --> 109.17 keV)
C135: 5521 Emean = 108.9 keV ( 2.1612 eV --> 491.3 keV)
C136: 1 Emean = 109.67 keV ( 109.67 keV --> 109.67 keV)
C137: 2098 Emean = 114.7 keV ( 15.609 eV --> 465.62 keV)
Cr51: 1 Emean = 407.71 keV ( 407.71 keV --> 407.71 keV)
Cr53: 2 Emean = 524.12 keV ( 479.34 keV --> 508.9 keV)
Cr54: 3 Emean = 492.59 keV ( 244.22 keV --> 651.7 keV)
Fe54: 5440 Emean = 71.632 keV ( 4.5714 eV --> 324.37 keV)
Fe55: 2 Emean = 76.693 keV ( 64.742 keV --> 88.644 keV)
Fe56: 94906 Emean = 71.563 keV ( 0.69859 eV --> 313.97 keV)
Fe57: 2193 Emean = 71.42 keV ( 1.0015 eV --> 308.73 keV)
Fe58: 303 Emean = 69.226 keV ( 25.522 eV --> 302.34 keV)
Mn54: 483 Emean = 166.52 keV ( 911.47 eV --> 357.01 keV)
Mn56: 4 Emean = 125.05 keV ( 58.151 keV --> 209 keV)
Mn57: 2 Emean = 109.41 keV ( 81.06 keV --> 137.76 keV)
O16: 17058 Emean = 375.67 keV ( 13.869 eV --> 1.0047 MeV)
O17: 7 Emean = 448.19 keV ( 27.848 keV --> 948.22 keV)
O18: 38 Emean = 288.97 keV ( 1.9995 keV --> 756.16 keV)
P32: 196 Emean = 682.07 keV ( 141.85 keV --> 1.2062 MeV)
S35: 426 Emean = 227.02 keV ( 5.1105 keV --> 523.79 keV)
alpha: 682 Emean = 2.3612 MeV ( 50.245 keV --> 6.3092 MeV)
deuteron: 15 Emean = 1.8968 MeV ( 46.836 keV --> 3.9108 MeV)
gamma: 92417 Emean = 1.1334 MeV ( 16.093 eV --> 13.118 MeV)
neutron: 38137 Emean = 1.7047 MeV ( 8.9511 keV --> 4.635 MeV)
proton: 114913 Emean = 2.2735 MeV ( 283.26 eV --> 5.1246 MeV)

Momentum balance: Pmean = 30.594 keV ( 196.65 eV --> 182.75 keV)

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (index) = 0
Current couple of seeds = 1917726884, 1441067191
-----
Idle>
```

Şekil 4.4. %40 epoksi ve %60 demir için simülasyon ekran görüntüsü

Çizelge 4.10. %50 epoksi ve %50 demir için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi

Ürün Tipi	Parçacık Sayısı	Parçacığın Ortalama Enerjisi	Parçacığın Enerji Aralığı
¹² C	99232	422.09 keV	4.765 eV --> 1.2903 MeV
¹³ C	1585	542.11 keV	6.5763 eV --> 1.3413 MeV
¹⁵ C	2	189.08 keV	189.08 keV --> 189.08 keV
³⁵ Cl	6046	108.64 keV	1.3892 eV --> 491.21 keV
³⁶ Cl	2	140.73 keV	134.43 keV --> 147.03 keV
³⁷ Cl	2307	111.03 keV	15.609 eV --> 466.03 keV
⁵³ Cr	3	247.6 keV	70.157 keV --> 435.76 keV
⁵⁴ Cr	2	651.14 keV	417.71 keV --> 884.58 keV
⁵⁴ Fe	4117	72.083 keV	17.679 eV --> 325.01 keV
⁵⁵ Fe	1	98.446 keV	98.446 keV --> 98.446 keV
⁵⁶ Fe	69130	71.458 keV	0.33035 eV --> 313.97 keV
⁵⁷ Fe	1565	71.224 keV	35.337 eV --> 307.24 keV
⁵⁸ Fe	217	70.87 keV	884.37 eV --> 295.94 keV
⁵⁴ Mn	382	166.66 keV	133.44 eV --> 354.85 keV
⁵⁶ Mn	1	65.398 keV	65.398 keV --> 65.398 keV
⁵⁷ Mn	1	81.06 keV	81.06 keV --> 81.06 keV
¹⁶ O	18767	374.02 keV	3.2197 eV --> 1.0053 MeV
¹⁷ O	10	325.82 keV	52.469 keV --> 745.44 keV
¹⁸ O	45	340.26 keV	7.8501 keV --> 892.88 keV
³² P	257	685.9 keV	114.61 keV --> 1.2065 MeV
³⁵ S	515	235.56 keV	1.6518 keV --> 523.73 keV
Alfa (α)	782	2.4976 MeV	50.298 keV --> 6.4361 MeV
Döteron (D)	19	1.902 MeV	54.238 keV --> 3.9667 MeV
Gama (γ)	70103	1.1256 MeV	22.467 eV --> 9.8221 MeV
Nötron (n)	28425	1.6889 MeV	9.9851 keV --> 4.6393 MeV
Proton (p)	126386	2.2684 MeV	67.948 eV --> 5.1142 MeV
Ortalama momentum: 27.455 keV (127.73 eV --> 183.76 keV)			


```
aysegul@aysegul-VPCF24M1E:~/Hadr03
neutron + Fe56 --> N gamma + alpha + Cr53: 3 Q = 331.99 keV
neutron + Fe56 --> N gamma + neutron + Fe56: 24376 Q = -587.46 eV
neutron + Fe56 --> N gamma + proton + Mn56: 1 Q = -2.7263 MeV
neutron + Fe56 --> neutron + Fe56: 44754 Q = 12.826 eV
neutron + Fe57 --> N gamma + neutron + Fe57: 657 Q = 186.84 keV
neutron + Fe57 --> N gamma + proton + Mn57: 1 Q = -1.9096 MeV
neutron + Fe57 --> alpha + Cr54: 2 Q = 2.3623 MeV
neutron + Fe57 --> neutron + Fe57: 897 Q = 12.173 eV
neutron + Fe58 --> N gamma + neutron + Fe58: 83 Q = 160.21 keV
neutron + Fe58 --> neutron + Fe58: 134 Q = 14.714 eV
neutron + H1 --> N gamma + deuteron: 6 Q = -35.388 keV
neutron + H1 --> neutron + proton: 125486 Q = 1.2246 keV
neutron + H2 --> neutron + deuteron: 13 Q = 474.98 eV
neutron + H2 --> proton + 2 neutron: 1 Q = -2.2364 MeV
neutron + O16 --> N gamma + O17: 3 Q = -362.37 keV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + C13: 518 Q = -489.81 keV
neutron + O16 --> neutron + O16: 18767 Q = 102.59 eV
neutron + O17 --> N gamma + neutron + O17: 1 Q = 0.061719 eV
neutron + O17 --> neutron + O17: 6 Q = 79.813 eV
neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15: 1 Q = -4.2595 MeV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 3 Q = -539.84 eV
neutron + O18 --> alpha + C15: 1 Q = -4.2606 MeV
neutron + O18 --> neutron + O18: 42 Q = -20.437 keV

Number of gamma: N = 1 --> 12

List of generated particles:
C12: 99232 Emean = 422.09 keV ( 4.765 eV --> 1.2903 MeV)
C13: 1585 Emean = 542.11 keV ( 6.5763 eV --> 1.3413 MeV)
C15: 2 Emean = 189.08 keV ( 189.08 keV --> 189.08 keV)
C135: 6046 Emean = 108.64 keV ( 1.3892 eV --> 491.21 keV)
C136: 2 Emean = 140.73 keV ( 134.43 keV --> 147.03 keV)
C137: 2307 Emean = 111.83 keV ( 15.099 eV --> 466.03 keV)
Cr53: 3 Emean = 247.6 keV ( 78.157 keV --> 435.76 keV)
Cr54: 2 Emean = 651.14 keV ( 417.71 keV --> 884.58 keV)
Fe54: 4117 Emean = 72.083 keV ( 17.079 eV --> 325.01 keV)
Fe55: 1 Emean = 98.446 keV ( 98.446 keV --> 98.446 keV)
Fe56: 69130 Emean = 71.458 keV ( 0.33035 eV --> 313.97 keV)
Fe57: 1565 Emean = 71.224 keV ( 35.337 eV --> 307.24 keV)
Fe58: 217 Emean = 70.87 keV ( 884.37 eV --> 295.94 keV)
Mn54: 382 Emean = 166.66 keV ( 133.44 eV --> 354.85 keV)
Mn56: 1 Emean = 65.398 keV ( 65.398 keV --> 65.398 keV)
Mn57: 1 Emean = 81.06 keV ( 81.06 keV --> 81.06 keV)
O16: 18767 Emean = 374.82 keV ( 3.2197 eV --> 1.0853 MeV)
O17: 10 Emean = 325.82 keV ( 52.469 eV --> 745.44 keV)
O18: 45 Emean = 340.26 keV ( 7.8501 keV --> 892.88 keV)
P32: 257 Emean = 685.9 keV ( 114.61 keV --> 1.2065 MeV)
S35: 515 Emean = 235.58 keV ( 1.6518 keV --> 523.73 keV)
alpha: 782 Emean = 2.4976 MeV ( 50.298 keV --> 6.4361 MeV)
deuteron: 19 Emean = 1.902 MeV ( 54.238 keV --> 3.9667 MeV)
gamma: 70103 Emean = 1.1256 MeV ( 22.467 eV --> 9.8221 MeV)
neutron: 28425 Emean = 1.6889 MeV ( 9.9851 keV --> 4.6393 MeV)
proton: 126386 Emean = 2.2684 MeV ( 67.948 eV --> 5.1142 MeV)

Momentum balance: Pmean = 27.455 keV ( 127.73 eV --> 183.76 keV)

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (index) = 0
Current couple of seeds = 2085789423, 1685489479
Idle>
```

Şekil 4.5. %50 epoksi ve %50 demir için simülasyon ekran görüntüsü

Çizelge 4.11. %60 epoksi ve %40 demir için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi

Ürün Tipi	Parçacık Sayısı	Parçacığın Ortalama Enerjisi	Parçacığın Enerji Aralığı
¹² C	102970	420.97 keV	1.1573 eV --> 1.2901 MeV
¹³ C	1614	539.01 keV	646.18 eV --> 1.3437 MeV
¹⁴ C	2	1.1304 MeV	317.17 keV --> 1.9437 MeV
¹⁵ C	3	189.02 keV	188.93 keV --> 189.06 keV
³⁵ Cl	6467	108.77 keV	3.4746 eV --> 491.4 keV
³⁶ Cl	2	130.54 keV	114.05 keV --> 147.03 keV
³⁷ Cl	2367	116.2 keV	26.057 eV --> 466.44 keV
³⁸ Cl	1	117.02 keV	117.02 keV --> 117.02 keV
⁵³ Cr	2	255.9 keV	70.157 keV --> 441.64 keV
⁵⁴ Cr	1	456.27 keV	456.27 keV --> 456.27 keV
⁵⁴ Fe	2819	73.657 keV	7.2623 eV --> 324.81 keV
⁵⁵ Fe	1	91.086 keV	91.086 keV --> 91.086 keV
⁵⁶ Fe	47846	71.126 keV	0.39505 eV --> 314.14 keV
⁵⁷ Fe	1081	72.473 keV	21.323 eV --> 308.06 keV
⁵⁸ Fe	162	61.433 keV	181.49 eV --> 282.29 keV
⁵⁴ Mn	282	162.09 keV	1.8612 keV --> 334 keV
⁵⁶ Mn	2	90.952 keV	52.073 keV --> 129.83 keV
¹⁶ O	19501	372.94 keV	8.6767 eV --> 1.0061 MeV
¹⁷ O	6	401.53 keV	52.469 keV --> 739.95 keV
¹⁸ O	27	301.19 keV	26.098 keV --> 745.42 keV
³² P	256	654.5 keV	175.18 keV --> 1.1934 MeV
³⁵ S	533	236.48 keV	1.4091 keV --> 524.52 keV
Alfa (α)	780	2.5026 MeV	50.263 keV --> 6.5564 MeV
Döteron (D)	18	1.7755 MeV	4.5826 keV --> 3.935 MeV
Gama (γ)	51453	1.1171 MeV	17.437 eV --> 10.247 MeV
Nötron (n)	20555	1.6954 MeV	10.276 keV --> 4.6336 MeV
Proton (p)	130502	2.2623 MeV	16.925 eV --> 5.1146 MeV
Ortalama momentum: 24.964 keV (113.96 eV --> 191.6 keV)			

```
aysegul@aysegul-VPCF24M1E:~/Hadr03
neutron + Fe56 --> N gamma + proton + Mn56: 1 Q = -2.9181 MeV
neutron + Fe56 --> alpha + Cr53: 1 Q = 272.62 keV
neutron + Fe56 --> neutron + Fe56: 30873 Q = 12.592 eV
neutron + Fe56 --> proton + Mn56: 1 Q = -2.9118 MeV
neutron + Fe57 --> N gamma + alpha + Cr54: 1 Q = 5.0225 MeV
neutron + Fe57 --> N gamma + neutron + Fe57: 450 Q = 60.793 keV
neutron + Fe57 --> neutron + Fe57: 618 Q = 12.186 eV
neutron + Fe58 --> N gamma + neutron + Fe58: 55 Q = 109.56 keV
neutron + Fe58 --> neutron + Fe58: 107 Q = 10.849 eV
neutron + H1 --> N gamma + deuteron: 1 Q = 56.378 keV
neutron + H1 --> neutron + proton: 129684 Q = 1.2226 keV
neutron + H2 --> N gamma + proton + 2 neutron: 1 Q = -2.2244 MeV
neutron + H2 --> neutron + deuteron: 17 Q = 474.13 eV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + C13: 517 Q = -504.35 keV
neutron + O16 --> neutron + O16: 19501 Q = 102.3 eV
neutron + O17 --> N gamma + alpha + C14: 1 Q = 1.8177 MeV
neutron + O17 --> N gamma + neutron + O17: 2 Q = -13.972 eV
neutron + O17 --> neutron + O17: 4 Q = 109.73 eV
neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15: 2 Q = -4.2593 MeV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 1 Q = -430.73 eV
neutron + O18 --> alpha + C15: 1 Q = -4.2607 MeV
neutron + O18 --> neutron + O18: 26 Q = -16.671 keV

Number of gamma: N = 1 --> 10

List of generated particles:
C12: 102970 Emean = 420.97 keV ( 1.1573 eV --> 1.2901 MeV)
C13: 1614 Emean = 539.01 keV ( 646.18 eV --> 1.3437 MeV)
C14: 2 Emean = 1.1304 MeV ( 317.17 keV --> 1.9437 MeV)
C15: 3 Emean = 189.02 keV ( 189.93 keV --> 189.06 keV)
C135: 6467 Emean = 108.77 keV ( 3.4746 eV --> 491.4 keV)
C136: 2 Emean = 130.54 keV ( 114.05 keV --> 147.03 keV)
C137: 2367 Emean = 116.2 keV ( 26.057 eV --> 466.44 keV)
C138: 1 Emean = 117.02 keV ( 117.02 keV --> 117.02 keV)
Cr53: 2 Emean = 255.9 keV ( 70.157 keV --> 441.64 keV)
Cr54: 1 Emean = 456.27 keV ( 456.27 keV --> 456.27 keV)
Fe54: 2819 Emean = 73.657 keV ( 7.2623 eV --> 324.81 keV)
Fe55: 1 Emean = 91.086 keV ( 91.086 keV --> 91.086 keV)
Fe56: 47846 Emean = 71.126 keV ( 0.39505 eV --> 314.14 keV)
Fe57: 1801 Emean = 72.473 keV ( 21.323 eV --> 308.06 keV)
Fe58: 162 Emean = 61.433 keV ( 181.49 eV --> 202.29 keV)
Mn54: 282 Emean = 162.09 keV ( 1.0612 keV --> 334 keV)
Mn56: 2 Emean = 90.952 keV ( 52.073 keV --> 129.03 keV)
O16: 19501 Emean = 372.94 keV ( 6.0767 eV --> 1.0061 MeV)
O17: 6 Emean = 401.53 keV ( 52.469 keV --> 739.95 keV)
O18: 27 Emean = 301.19 keV ( 26.098 keV --> 745.42 keV)
P32: 250 Emean = 654.5 keV ( 175.18 keV --> 1.1934 MeV)
S32: 533 Emean = 236.48 keV ( 1.4091 keV --> 524.52 keV)
alpha: 780 Emean = 2.5026 MeV ( 50.263 keV --> 6.5564 MeV)
deuteron: 18 Emean = 1.7755 MeV ( 4.5826 keV --> 3.935 MeV)
gamma: 51453 Emean = 1.1171 MeV ( 17.437 eV --> 10.247 MeV)
neutron: 20555 Emean = 1.6954 MeV ( 10.276 keV --> 4.6336 MeV)
proton: 130502 Emean = 2.2623 MeV ( 16.925 eV --> 5.1146 MeV)

Momentum balance: Pmean = 24.964 keV ( 113.96 eV --> 191.6 keV)

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (Index) = 0
Current couple of seeds = 2036086558, 2069395749
-----
Idle>
```

Şekil 4.6. %60 epoksi ve %40 demir için simülasyon ekran görüntüsü

Çizelge 4.12. %70 epoksi ve %30 demir için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi

Ürün Tipi	Parçacık Sayısı	Parçacığın Ortalama Enerjisi	Parçacığın Enerji Aralığı
C12	100942	423.39 keV	2.1574 eV --> 1.2905 MeV
C13	1597	552.69 keV	598.68 eV --> 1.3387 MeV
C15	4	189.16 keV	189.04 keV --> 189.21 keV
Cl35	6183	109.16 keV	18.757 eV --> 491.4 keV
Cl36	1	120.24 keV	120.24 keV --> 120.24 keV
Cl37	2380	111.76 keV	66.347 eV --> 464.84 keV
Cr51	1	500.97 keV	500.97 keV --> 500.97 keV
Cr53	1	503.74 keV	503.74 keV --> 503.74 keV
Cr54	1	492.07 keV	492.07 keV --> 492.07 keV
Fe54	1723	71.606 keV	19.985 eV --> 324.64 keV
Fe56	30053	71.875 keV	2.2747 eV --> 314 keV
Fe57	727	68.566 keV	106.84 eV --> 302.13 keV
Fe58	97	66.977 keV	181.49 eV --> 302.46 keV
Mn54	163	159.44 keV	1.2824 keV --> 345.84 keV
Mn56	1	184.07 keV	184.07 keV --> 184.07 keV
O16	19108	373.84 keV	10.947 eV --> 1.0063 MeV
O17	9	314.39 keV	3.2979 keV --> 728.43 keV
O18	38	349.48 keV	26.098 keV --> 886.93 keV
P32	218	700.6 keV	175.18 keV --> 1.2104 MeV
S35	517	231.43 keV	3.9122 keV --> 524.52 keV
Alfa (α)	751	2.3712 MeV	50.29 keV --> 5.7 MeV
Döteron (D)	18	2.7381 MeV	429.63 keV --> 3.9427 MeV
Gama (γ)	34377	1.12 MeV	131.35 eV --> 10.726 MeV
Nötron (n)	13619	1.6892 MeV	5.1887 keV --> 4.5977 MeV
Proton (p)	127392	2.2689 MeV	10.826 eV --> 5.1226 MeV
Ortalama momentum: 22.916 keV (51.231 eV --> 180.55 keV)			

```
aysegul@aysegul-VPCF24M1E:~/Hadr03
neutron + Fe54 --> N gamma + proton + Mn54: 149 Q = 544.58 keV
neutron + Fe54 --> neutron + Fe54: 1166 Q = 14.335 eV
neutron + Fe54 --> proton + Mn54: 14 Q = 79.099 keV
neutron + Fe56 --> N gamma + Fe57: 5 Q = 5.1664 MeV
neutron + Fe56 --> N gamma + neutron + Fe56: 10644 Q = -496.02 eV
neutron + Fe56 --> N gamma + proton + Mn56: 1 Q = -2.718 MeV
neutron + Fe56 --> alpha + Cr53: 1 Q = 263.65 keV
neutron + Fe56 --> neutron + Fe56: 19489 Q = 12.911 eV
neutron + Fe57 --> N gamma + alpha + Cr54: 1 Q = 2.4053 MeV
neutron + Fe57 --> N gamma + neutron + Fe57: 280 Q = 94.793 keV
neutron + Fe57 --> neutron + Fe57: 442 Q = 11.726 eV
neutron + Fe58 --> N gamma + neutron + Fe58: 35 Q = 104.61 keV
neutron + Fe58 --> neutron + Fe58: 62 Q = 13.34 eV
neutron + H1 --> N gamma + deuteron: 3 Q = 2.4086 keV
neutron + H1 --> neutron + proton: 126711 Q = 1.2268 keV
neutron + H2 --> neutron + deuteron: 15 Q = 769.68 eV
neutron + O16 --> N gamma + O17: 5 Q = 561.34 keV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + C13: 526 Q = -581.19 keV
neutron + O16 --> neutron + O16: 19108 Q = 102.55 eV
neutron + O17 --> neutron + O17: 4 Q = 96.507 eV
neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15: 3 Q = -4.2583 MeV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 4 Q = 374.31 eV
neutron + O18 --> alpha + C15: 1 Q = -4.2607 MeV
neutron + O18 --> neutron + O18: 34 Q = -19.979 keV

Number of gamma: N = 1 --> 10

List of generated particles:
C12: 106942 Emean = 423.39 keV ( 2.1574 eV --> 1.2905 MeV)
C13: 1597 Emean = 552.69 keV ( 598.68 eV --> 1.3387 MeV)
C15: 4 Emean = 189.16 keV ( 189.04 keV --> 189.21 keV)
C135: 6183 Emean = 109.16 keV ( 18.757 eV --> 491.4 keV)
C136: 1 Emean = 128.24 keV ( 128.24 keV --> 128.24 keV)
C137: 2380 Emean = 111.76 keV ( 66.347 eV --> 464.84 keV)
Cr51: 1 Emean = 508.97 keV ( 508.97 keV --> 508.97 keV)
Cr53: 1 Emean = 503.74 keV ( 503.74 keV --> 503.74 keV)
Cr54: 1 Emean = 492.07 keV ( 492.07 keV --> 492.07 keV)
Fe54: 1723 Emean = 71.006 keV ( 19.985 eV --> 324.64 keV)
Fe56: 30653 Emean = 71.075 keV ( 2.2747 eV --> 314 keV)
Fe57: 727 Emean = 68.566 keV ( 106.84 eV --> 302.13 keV)
Fe58: 97 Emean = 66.977 keV ( 181.49 eV --> 302.46 keV)
Mn54: 163 Emean = 159.44 keV ( 1.2824 keV --> 345.84 keV)
Mn56: 1 Emean = 184.07 keV ( 184.07 keV --> 184.07 keV)
O16: 19108 Emean = 373.84 keV ( 10.947 eV --> 1.0603 MeV)
O17: 9 Emean = 314.39 keV ( 3.2979 keV --> 728.43 keV)
O18: 38 Emean = 349.48 keV ( 26.098 keV --> 886.93 keV)
P32: 218 Emean = 700.6 keV ( 175.18 keV --> 1.2104 MeV)
S35: 517 Emean = 231.43 keV ( 3.9122 keV --> 524.52 keV)
alpha: 751 Emean = 2.3712 MeV ( 50.29 keV --> 5.7 MeV)
deuteron: 18 Emean = 2.7381 MeV ( 429.63 keV --> 3.9427 MeV)
gamma: 34377 Emean = 1.12 MeV ( 131.35 eV --> 10.726 MeV)
neutron: 13619 Emean = 1.6892 MeV ( 5.1887 keV --> 4.5977 MeV)
proton: 127392 Emean = 2.2689 MeV ( 18.826 eV --> 5.1226 MeV)

Momentum balance: Pmean = 22.916 keV ( 51.231 eV --> 180.55 keV)

----- Raney engine status -----
Initial seed (Index) = 0
Current couple of seeds = 1440204590, 1901057399
-----
Idle>
```

Şekil 4.7. %70 epoksi ve %30 demir için simülasyon ekran görüntüsü

Çizelge 4.13. %80 epoksi ve %20 demir için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi

Ürün Tipi	Parçacık Sayısı	Parçacığın Ortalama Enerjisi	Parçacığın Enerji Aralığı
¹² C	93298	421.92 keV	6.6458 eV --> 1.2903 MeV
¹³ C	1511	549.94 keV	210.68 eV --> 1.3411 MeV
¹⁵ C	1	189.15 keV	189.15 keV --> 189.15 keV
³⁵ Cl	5630	108.48 keV	2.1612 eV --> 491.12 keV
³⁶ Cl	2	136.12 keV	117.59 keV --> 154.64 keV
³⁷ Cl	2075	108.44 keV	76.232 eV --> 466.53 keV
⁵⁴ Fe	957	72.148 keV	15.426 eV --> 324.52 keV
⁵⁵ Fe	1	91.086 keV	91.086 keV --> 91.086 keV
⁵⁶ Fe	16152	70.847 keV	2.1152 eV --> 313.98 keV
⁵⁷ Fe	375	81.068 keV	284.66 eV --> 304.84 keV
⁵⁸ Fe	61	61.198 keV	149.31 eV --> 302.25 keV
⁵⁴ Mn	91	144.25 keV	1.9264 keV --> 308.7 keV
¹⁶ O	17846	375.13 keV	23.152 eV --> 1.0045 MeV
¹⁷ O	7	230.29 keV	7.8721 keV --> 339.56 keV
¹⁸ O	38	423.8 keV	41.187 keV --> 804.52 keV
³² P	202	688.59 keV	177.5 keV --> 1.2025 MeV
³⁵ S	507	232.58 keV	873.81 eV --> 524.52 keV
Alfa (α)	723	2.3228 MeV	50.318 keV --> 5.234 MeV
Döteron (D)	14	1.8033 MeV	44.993 keV --> 3.6687 MeV
Gama (γ)	21392	1.1044 MeV	84.198 eV --> 9.8697 MeV
Nötron (n)	7998	1.6425 MeV	11.478 keV --> 4.5893 MeV
Proton (p)	118403	2.274 MeV	7.4538 eV --> 5.115 MeV
Ortalama momentum: 21.167 keV (53.373 eV --> 179.24 keV)			

```
aysegul@aysegul-VPCE24M1E:~/Hadr03
neutron + Cl35 --> alpha + P32: 4 Q = 939.08 keV
neutron + Cl35 --> neutron + Cl35: 4233 Q = 23.758 eV
neutron + Cl35 --> proton + S35: 236 Q = 615.87 keV
neutron + Cl37 --> N gamma + neutron + Cl37: 476 Q = 25.16 keV
neutron + Cl37 --> neutron + Cl37: 1599 Q = 23.933 eV
neutron + Fe54 --> N gamma + Fe55: 1 Q = 4.8892 MeV
neutron + Fe54 --> N gamma + neutron + Fe54: 323 Q = -180.54 eV
neutron + Fe54 --> N gamma + proton + Mn54: 76 Q = 391.21 keV
neutron + Fe54 --> neutron + Fe54: 634 Q = 14.175 eV
neutron + Fe54 --> proton + Mn54: 15 Q = 83.414 keV
neutron + Fe56 --> N gamma + Fe57: 3 Q = 7.5964 MeV
neutron + Fe56 --> N gamma + neutron + Fe56: 5626 Q = -495.85 eV
neutron + Fe56 --> neutron + Fe56: 10526 Q = 12.768 eV
neutron + Fe57 --> N gamma + neutron + Fe57: 151 Q = 103.45 keV
neutron + Fe57 --> neutron + Fe57: 221 Q = 15.561 eV
neutron + Fe58 --> N gamma + neutron + Fe58: 18 Q = 53.718 keV
neutron + Fe58 --> neutron + Fe58: 43 Q = 12.181 eV
neutron + H1 --> neutron + proton: 117805 Q = 1.2298 keV
neutron + H2 --> neutron + deuteron: 14 Q = 490.58 eV
neutron + O16 --> N gamma + O17: 3 Q = 1.8021 MeV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + C13: 520 Q = -515.26 keV
neutron + O16 --> neutron + O16: 17846 Q = 102.9 eV
neutron + O17 --> N gamma + neutron + O17: 2 Q = -4.1344 eV
neutron + O17 --> neutron + O17: 2 Q = 31.695 eV
neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15: 1 Q = -4.2586 MeV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 5 Q = 543.53 eV
neutron + O18 --> neutron + O18: 33 Q = -25.328 keV

Number of gamma: N = 1 --> 9

List of generated particles:
C12: 93298 Emean = 421.92 keV ( 6.6458 eV --> 1.2903 MeV)
C13: 1511 Emean = 549.94 keV ( 210.68 eV --> 1.3411 MeV)
C15: 1 Emean = 189.15 keV ( 189.15 keV --> 189.15 keV)
Cl35: 5630 Emean = 108.48 keV ( 2.1612 eV --> 491.12 keV)
Cl36: 2 Emean = 136.12 keV ( 117.59 keV --> 154.64 keV)
Cl37: 2075 Emean = 108.44 keV ( 76.232 eV --> 466.53 keV)
Fe54: 957 Emean = 72.148 keV ( 15.426 eV --> 324.52 keV)
Fe55: 1 Emean = 91.086 keV ( 91.086 keV --> 91.086 keV)
Fe56: 16152 Emean = 70.847 keV ( 2.1152 eV --> 313.98 keV)
Fe57: 375 Emean = 81.068 keV ( 284.66 eV --> 304.84 keV)
Fe58: 61 Emean = 61.198 keV ( 149.31 eV --> 302.25 keV)
Mn54: 91 Emean = 144.25 keV ( 1.9264 keV --> 308.7 keV)
O16: 17846 Emean = 375.13 keV ( 23.152 eV --> 1.0045 MeV)
O17: 7 Emean = 230.29 keV ( 7.8721 keV --> 339.56 keV)
O18: 38 Emean = 423.8 keV ( 41.187 keV --> 804.52 keV)
P32: 202 Emean = 688.59 keV ( 177.5 keV --> 1.2025 MeV)
S35: 507 Emean = 232.58 keV ( 873.81 eV --> 524.52 keV)
alpha: 723 Emean = 2.3228 MeV ( 50.318 keV --> 5.234 MeV)
deuteron: 14 Emean = 1.8033 MeV ( 44.993 keV --> 3.6687 MeV)
gamma: 21392 Emean = 1.1044 MeV ( 84.198 eV --> 9.8697 MeV)
neutron: 7998 Emean = 1.6425 MeV ( 11.478 keV --> 4.5893 MeV)
proton: 118403 Emean = 2.274 MeV ( 7.4538 eV --> 5.115 MeV)

Momentum balance: Pmean = 21.167 keV ( 53.373 eV --> 179.24 keV)

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (index) = 0
Current couple of seeds = 1305299442, 2114023808
-----
Idle>
```

Şekil 4.8. %80 epoksi ve %20 demir için simülasyon ekran görüntüsü

Çizelge 4.14. %90 epoksi ve %10 demir için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi

Ürün Tipi	Parçacık Sayısı	Parçacığın Ortalama Enerjisi	Parçacığın Enerji Aralığı
¹² C	79254	422.61 keV	0.97906 eV --> 1.29 MeV
¹³ C	1316	530.92 keV	210.68 eV --> 1.3393 MeV
¹⁵ C	3	189.05 keV	189.02 keV --> 189.11 keV
³⁵ Cl	4863	106.09 keV	2.1612 eV --> 491.58 keV
³⁶ Cl	1	139.85 keV	139.85 keV --> 139.85 keV
³⁷ Cl	1817	110.09 keV	23.587 eV --> 466.53 keV
⁵⁴ Fe	352	73.795 keV	36.386 eV --> 311.38 keV
⁵⁶ Fe	6088	73.363 keV	0.69859 eV --> 313.98 keV
⁵⁷ Fe	153	74.563 keV	900.28 eV --> 291.88 keV
⁵⁸ Fe	20	40.211 keV	3.1529 keV --> 231.27 keV
⁵⁴ Mn	33	163.54 keV	15.495 keV --> 320.25 keV
¹⁶ O	15199	371.31 keV	28.115 eV --> 1.0061 MeV
¹⁷ O	12	368.74 keV	25.235 keV --> 912.35 keV
¹⁸ O	34	367.14 keV	7.6794 keV --> 872.46 keV
³² P	165	718.96 keV	131.33 keV --> 1.2021 MeV
³⁵ S	411	233.12 keV	1.6398 keV --> 524.44 keV
Alfa (α)	589	2.3358 MeV	50.284 keV --> 5.1819 MeV
Döteron (D)	12	1.8271 MeV	292.8 keV --> 2.9844 MeV
Gama (γ)	11214	1.0942 MeV	126.94 eV --> 10.045 MeV
Nötron (n)	3934	1.603 MeV	10.638 keV --> 4.6433 MeV
Proton (p)	100485	2.2669 MeV	28.851 eV --> 5.1142 MeV
Ortalama momentum: 19.679 keV (53.373 eV --> 183.14 keV)			


```
aysegul@aysegul-VPCF24M1E:~/Hadr03
neutron + Cl35 --> alpha + P32: 1 Q = 939.85 keV
neutron + Cl35 --> neutron + Cl35: 3666 Q = 23.222 eV
neutron + Cl35 --> proton + S35: 189 Q = 615.87 keV
neutron + Cl37 --> N gamma + neutron + Cl37: 452 Q = 7.4364 keV
neutron + Cl37 --> neutron + Cl37: 1365 Q = 24.765 eV
neutron + Fe54 --> N gamma + neutron + Fe54: 111 Q = -87.078 eV
neutron + Fe54 --> N gamma + proton + Mn54: 29 Q = 747.37 keV
neutron + Fe54 --> neutron + Fe54: 241 Q = 12.993 eV
neutron + Fe54 --> proton + Mn54: 4 Q = 77.695 keV
neutron + Fe56 --> N gamma + Fe57: 1 Q = 8.2691 MeV
neutron + Fe56 --> N gamma + neutron + Fe56: 2090 Q = -496.1 eV
neutron + Fe56 --> neutron + Fe56: 3990 Q = 13.222 eV
neutron + Fe57 --> N gamma + Fe58: 1 Q = 5.6191 MeV
neutron + Fe57 --> N gamma + neutron + Fe57: 63 Q = 34.084 keV
neutron + Fe57 --> neutron + Fe57: 89 Q = 13.182 eV
neutron + Fe58 --> N gamma + neutron + Fe58: 4 Q = -5.2485 eV
neutron + Fe58 --> neutron + Fe58: 15 Q = 8.8412 eV
neutron + H1 --> N gamma + deuteron: 5 Q = -45.594 keV
neutron + H1 --> neutron + proton: 100941 Q = 1.2265 keV
neutron + H2 --> neutron + deuteron: 7 Q = 418.95 eV
neutron + O16 --> N gamma + O17: 2 Q = 889.97 keV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + C13: 421 Q = -412.72 keV
neutron + O16 --> neutron + O16: 15199 Q = 101.85 eV
neutron + O17 --> N gamma + neutron + O17: 4 Q = 0.877981 eV
neutron + O17 --> neutron + O17: 6 Q = 97.832 eV
neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15: 3 Q = -4.2591 MeV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 5 Q = -177.91 eV
neutron + O18 --> neutron + O18: 29 Q = -22.371 keV

Number of gamma: N = 1 --> 9

List of generated particles:
C12: 79254 Emean = 422.61 keV ( 0.97906 eV --> 1.29 MeV)
C13: 1316 Emean = 538.92 keV ( 210.68 eV --> 1.3393 MeV)
C15: 3 Emean = 189.05 keV ( 189.02 keV --> 189.11 keV)
Cl35: 4863 Emean = 106.09 keV ( 2.1612 eV --> 491.58 keV)
Cl36: 1 Emean = 139.85 keV ( 139.85 keV --> 139.85 keV)
Cl37: 1817 Emean = 110.09 keV ( 23.587 eV --> 466.53 keV)
Fe54: 352 Emean = 73.795 keV ( 36.386 eV --> 311.38 keV)
Fe56: 6088 Emean = 73.363 keV ( 0.69859 eV --> 313.98 keV)
Fe57: 153 Emean = 74.563 keV ( 900.28 eV --> 291.88 keV)
Fe58: 20 Emean = 40.211 keV ( 3.1529 keV --> 231.27 keV)
Mn54: 33 Emean = 163.54 keV ( 15.495 keV --> 320.25 keV)
O16: 15199 Emean = 371.31 keV ( 28.115 eV --> 1.0061 MeV)
O17: 12 Emean = 368.74 keV ( 25.235 keV --> 912.35 keV)
O18: 34 Emean = 307.14 keV ( 7.0794 keV --> 872.40 keV)
P32: 165 Emean = 718.96 keV ( 131.33 keV --> 1.7021 MeV)
S35: 411 Emean = 233.12 keV ( 1.6398 keV --> 524.44 keV)
alpha: 589 Emean = 2.3358 MeV ( 90.284 keV --> 5.1819 MeV)
deuteron: 12 Emean = 1.8271 MeV ( 292.8 keV --> 2.9844 MeV)
gamma: 11214 Emean = 1.0942 MeV ( 126.94 eV --> 10.045 MeV)
neutron: 3934 Emean = 1.603 MeV ( 10.638 keV --> 4.6433 MeV)
proton: 100485 Emean = 2.2669 MeV ( 28.851 eV --> 5.1142 MeV)

Momentum balance: Pmean = 19.679 keV ( 53.373 eV --> 183.14 keV)

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (index) = 0
Current couple of seeds = 1251854778, 956106154
Idle>
```

Şekil 4.9. %90 epoksi ve %10 demir için simülasyon ekran görüntüsü

Çizelge 4.15. %100 epoksi için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi

Ürün Tipi	Parçacık Sayısı	Parçacığın Ortalama Enerjisi	Parçacığın Enerji Aralığı
^{12}C	58028	426.44 keV	7.5371 eV --> 1.2902 MeV
^{13}C	892	537.31 keV	85.793 eV --> 1.3375 MeV
^{15}C	2	189 keV	188.9 keV --> 189.11 keV
^{35}Cl	3583	108.1 keV	70.383 eV --> 491.19 keV
^{37}Cl	1308	116.26 keV	15.438 eV --> 466.06 keV
^{16}O	10669	371.42 keV	16.132 eV --> 1.0061 MeV
^{17}O	10	511.97 keV	125.01 keV --> 940.13 keV
^{18}O	18	402.52 keV	12.122 keV --> 849.8 keV
^{32}P	130	696.7 keV	169.84 keV --> 1.2048 MeV
^{35}S	308	240 keV	4.604 keV --> 524.65 keV
Alfa (α)	440	2.3958 MeV	50.255 keV --> 5.2278 MeV
Döteron (D)	10	1.4241 MeV	202.99 keV --> 2.9954 MeV
Gama (γ)	4151	1.0531 MeV	340.41 eV --> 4.9463 MeV
Nötron (n)	1176	1.4644 MeV	10.618 keV --> 3.2692 MeV
Proton (p)	73229	2.27 MeV	12.026 eV --> 5.1112 MeV
Ortalama momentum: 18.4 keV		(191.73 eV --> 130.91 keV)	

```

aysegul@aysegul-VPCF24M1E:~/Hadr03
MeanFreePath: 4.8502 nm +- 2.8867 nm          nassic: 573.03 mg/cm2
CrossSection: 2.0592 cm^-1                    nassic: 1.7451 cm2/g

Verification: crossSections from G4Hadr03ProcessStore:
Transportation: 0 um2/mg
hadElastic: 13.493 nm2/g
ncapture: 0.34502 um2/mg
neutronInelastic: 176.09 um2/mg
total: 13.67 nm2/g

List of nuclear reactions:
neutron + C12 --> N gamma + C13: 2 Q = 817.38 keV
neutron + C12 --> neutron + C12: 58028 Q = 155.87 eV
neutron + C13 --> neutron + C13: 892 Q = 32.717 keV
neutron + C13 --> N gamma + alpha + P32: 127 Q = 940.65 keV
neutron + C13 --> N gamma + neutron + C13: 878 Q = 3.7867 keV
neutron + C13 --> N gamma + proton + S35: 174 Q = 616.08 keV
neutron + C13 --> alpha + P32: 3 Q = 939.07 keV
neutron + C13 --> neutron + C13: 2705 Q = 23.726 eV
neutron + C13 --> proton + S35: 134 Q = 615.87 keV
neutron + C13 --> N gamma + neutron + C13: 294 Q = 155.38 eV
neutron + C13 --> neutron + C13: 1014 Q = 26.854 eV
neutron + H1 --> N gamma + deuteron: 1 Q = 9.1708 keV
neutron + H1 --> neutron + proton: 72921 Q = 1.2205 keV
neutron + H2 --> neutron + deuteron: 9 Q = 362.07 eV
neutron + O16 --> N gamma + O17: 1 Q = 8.041 MeV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + C13: 308 Q = 380.13 keV
neutron + O16 --> neutron + O16: 10669 Q = 101.88 eV
neutron + O17 --> N gamma + neutron + O17: 2 Q = 447.77 eV
neutron + O17 --> neutron + O17: 7 Q = 151.75 eV
neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15: 2 Q = 4.2569 MeV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 2 Q = 0.049941 eV
neutron + O18 --> neutron + O18: 16 Q = 23.563 keV

Number of gamma: N = 1 --> 8

List of generated particles:
C12: 58028 Emean = 426.44 keV ( 7.5371 eV --> 1.2902 MeV)
C13: 892 Emean = 537.31 keV ( 85.793 eV --> 1.3375 MeV)
C15: 2 Emean = 189 keV ( 188.9 keV --> 189.11 keV)
P32: 127 Emean = 189.1 keV ( 188.9 keV --> 189.11 keV)
S35: 3583 Emean = 108.1 keV ( 70.383 eV --> 491.19 keV)
C137: 1308 Emean = 116.26 keV ( 15.438 eV --> 466.06 keV)
O16: 10669 Emean = 371.42 keV ( 16.132 eV --> 1.0061 MeV)
O17: 10 Emean = 511.97 keV ( 125.01 keV --> 940.13 keV)
O18: 18 Emean = 402.52 keV ( 12.122 keV --> 849.8 keV)
P32: 130 Emean = 696.7 keV ( 169.84 keV --> 1.2048 MeV)
S35: 308 Emean = 240 keV ( 4.604 keV --> 524.65 keV)
alpha: 440 Emean = 2.3958 MeV ( 50.255 keV --> 5.2278 MeV)
deuteron: 10 Emean = 1.4241 MeV ( 202.99 keV --> 2.9954 MeV)
gamma: 4151 Emean = 1.0531 MeV ( 340.41 eV --> 4.9463 MeV)
neutron: 1176 Emean = 1.4644 MeV ( 10.618 keV --> 3.2692 MeV)
proton: 73229 Emean = 2.27 MeV ( 12.026 eV --> 5.1112 MeV)

Momentum balance: Pmean = 18.4 keV ( 191.73 eV --> 130.91 keV)

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (Index) = 0
Current couple of seeds = 199086779, 1945375675
Idles: 1

```

Şekil 4.10. %100 epoksi için simülasyon ekran görüntüsü

Tungsten karbür (WC) malzemesi için sonuçlar;

Çizelge 4.16. %10 epoksi ve %90 tungsten karbür için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi

Ürün Tipi	Parçacık Sayısı	Parçacığın Ortalama Enerjisi	Parçacığın Enerji Aralığı
¹² C	110339	424.42 keV	0.97966 eV --> 1.2905 MeV
¹³ C	1450	484.98 keV	375.29 eV --> 1.3437 MeV
¹⁵ C	1	188.94 keV	188.94 keV --> 188.94 keV
³⁵ Cl	3736	108.29 keV	18.757 eV --> 491.58 keV
³⁷ Cl	1341	110.39 keV	15.609 eV --> 465.66 keV
¹⁶ O	11309	378.88 keV	32.791 eV --> 1.0047 MeV
¹⁷ O	6	247.03 keV	153.31 keV --> 529.13 keV
¹⁸ O	18	299.17 keV	24.182 keV --> 802.66 keV
³² P	132	642.38 keV	114.54 keV --> 1.2046 MeV
³⁵ S	268	244.84 keV	2.6799 keV --> 520.73 keV
¹⁸⁰ W	230	19.001 keV	23.715 eV --> 86.176 keV
¹⁸² W	48613	19.128 keV	0.052823 eV --> 98.923 keV
¹⁸³ W	26982	19.447 keV	0.20608 eV --> 98.295 keV
¹⁸⁴ W	58757	19.041 keV	0.20085 eV --> 97.981 keV
¹⁸⁵ W	38	25.065 keV	18.749 keV --> 30.64 keV
¹⁸⁶ W	54398	18.726 keV	0.028987 eV --> 96.965 keV
¹⁸⁷ W	29	24.328 keV	20.239 keV --> 28.409 keV
Alfa (α)	443	2.4096 MeV	50.264 keV --> 5.242 MeV
Döteron (D)	9	1.7773 MeV	400.96 keV --> 3.7163 MeV
Gama (γ)	376142	761.12 keV	8.5268 eV --> 10.414 MeV
Nötron (n)	93086	1.4269 MeV	12.721 eV --> 4.453 MeV
Proton (p)	75562	2.2644 MeV	44.962 eV --> 5.1131 MeV
Ortalama momentum: 61.232 keV (175.56 eV --> 330.12 keV)			

```
aysegul@aysegul-VPCF24M1E:~/Hadr03
neutron + C137 --> N gamma + neutron + C137: 315 Q = 16.191 keV
neutron + C137 --> neutron + C137: 1025 Q = 24.994 eV
neutron + H1 --> N gamma + deuteron: 2 Q = 17.368 keV
neutron + H1 --> neutron + proton: 75298 Q = 1.2262 keV
neutron + H2 --> neutron + deuteron: 7 Q = 443.42 eV
neutron + O16 --> N gamma + O17: 1 Q = 294.57 keV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + C13: 389 Q = 422.57 keV
neutron + O16 --> neutron + O16: 11387 Q = 183.91 eV
neutron + O17 --> N gamma + neutron + O17: 1 Q = 29.265 eV
neutron + O17 --> neutron + O17: 4 Q = 67.461 eV
neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15: 1 Q = 4.2589 MeV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 1 Q = 0.039416 eV
neutron + O18 --> neutron + O18: 17 Q = -18.148 keV
neutron + W180 --> N gamma + neutron + W180: 109 Q = -489.62 eV
neutron + W180 --> neutron + W180: 116 Q = 77.153 eV
neutron + W182 --> N gamma + W183: 123 Q = 5.0876 MeV
neutron + W182 --> N gamma + neutron + W182: 24324 Q = -448.93 eV
neutron + W183 --> neutron + W182: 24331 Q = 1.9874 eV
neutron + W183 --> N gamma + W184: 28 Q = 9.295 MeV
neutron + W183 --> N gamma + neutron + W183: 13162 Q = -509.05 eV
neutron + W183 --> neutron + W183: 13714 Q = 1.8493 eV
neutron + W184 --> N gamma + W185: 38 Q = 5.1615 MeV
neutron + W184 --> N gamma + neutron + W184: 28519 Q = -478.27 eV
neutron + W184 --> neutron + W184: 30202 Q = 1.7365 eV
neutron + W186 --> N gamma + W187: 29 Q = 7.8108 MeV
neutron + W186 --> N gamma + neutron + W186: 25736 Q = -459.77 eV
neutron + W186 --> neutron + W186: 28665 Q = 1.9567 eV

Number of gamma: N = 1 --> 16

List of generated particles:
C12: 110377 Emean = 424.45 keV ( 0.97966 eV --> 1.2905 MeV)
C13: 1453 Emean = 483.12 keV ( 375.29 eV --> 1.3437 MeV)
C15: 1 Emean = 188.94 keV ( 188.94 keV --> 188.94 keV)
C135: 3732 Emean = 108.07 keV ( 29.576 eV --> 491.58 keV)
C137: 1340 Emean = 110.11 keV ( 15.009 eV --> 465.66 keV)
O16: 11307 Emean = 378.82 keV ( 32.791 eV --> 1.0847 MeV)
O17: 6 Emean = 247.03 keV ( 153.31 keV --> 529.13 keV)
O18: 18 Emean = 299.17 keV ( 24.182 keV --> 882.66 keV)
P32: 132 Emean = 638.25 keV ( 114.54 keV --> 1.2046 MeV)
S35: 270 Emean = 244.37 keV ( 2.6799 keV --> 520.73 keV)
W180: 225 Emean = 19.114 keV ( 23.715 eV --> 86.176 keV)
W182: 48655 Emean = 19.133 keV ( 0.052823 eV --> 96.923 keV)
W183: 26999 Emean = 19.458 keV ( 0.20608 eV --> 98.295 keV)
W184: 58749 Emean = 19.035 keV ( 0.20085 eV --> 97.981 keV)
W185: 38 Emean = 25.065 keV ( 18.749 eV --> 30.64 keV)
W186: 54401 Emean = 18.702 keV ( 0.028987 eV --> 96.965 keV)
W187: 29 Emean = 24.328 keV ( 20.239 keV --> 28.409 keV)
alpha: 442 Emean = 2.415 MeV ( 50.264 keV --> 5.242 MeV)
deuteron: 9 Emean = 1.7773 MeV ( 408.96 keV --> 3.7163 MeV)
gamma: 376243 Emean = 760.88 keV ( 0.5268 eV --> 10.414 MeV)
neutron: 93888 Emean = 1.427 MeV ( 12.721 eV --> 4.453 MeV)
proton: 75508 Emean = 2.2649 MeV ( 44.962 eV --> 5.1131 MeV)

Momentum balance: Pmean = 61.228 keV ( 175.56 eV --> 330.12 keV)

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (Index) = 0
Current couple of seeds = 2130210799, 2147207103
-----
Idle>
```

Şekil 4.11. %10 epoksi ve %90 tungsten karbür için simülasyon ekran görüntüsü

Çizelge 4.17. %20 epoksi ve %80 tungsten karbür için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi

Ürün Tipi	Parçacık Sayısı	Parçacığın Ortalama Enerjisi	Parçacığın Enerji Aralığı
¹² C	141856	422.52 keV	3.6854 eV --> 1.2902 MeV
¹³ C	2075	501.62 keV	339.13 eV --> 1.3438 MeV
¹⁵ C	1	189.18 keV	189.18 keV --> 189.18 keV
³⁵ Cl	6351	108.9 keV	20.351 eV --> 491.57 keV
³⁷ Cl	2317	110.85 keV	20.959 eV --> 466.66 keV
¹⁶ O	19396	374.4 keV	5.5259 eV --> 1.0059 MeV
¹⁷ O	9	325.53 keV	36.981 keV --> 671.88 keV
¹⁸ O	39	303.1 keV	13.208 keV --> 859.25 keV
³² P	232	685.09 keV	179.21 keV --> 1.2018 MeV
³⁵ S	581	226.94 keV	1.0843 keV --> 525.28 keV
¹⁸⁰ W	138	20.962 keV	3.4653 eV --> 92.436 keV
¹⁸² W	36980	19.478 keV	0.16045 eV --> 98.783 keV
¹⁸³ W	20574	19.528 keV	0.26368 eV --> 98.335 keV
¹⁸⁴ W	44517	19.044 keV	0.20111 eV --> 97.817 keV
¹⁸⁵ W	38	25.135 keV	20.018 keV --> 29.022 keV
¹⁸⁶ W	41759	18.625 keV	0.29546 eV --> 96.844 keV
¹⁸⁷ W	19	25.427 keV	22.107 keV --> 29.776 keV
Alfa (α)	760	2.4263 MeV	50.325 keV --> 5.2472 MeV
Döteron (D)	13	1.5151 MeV	162.57 keV --> 3.7924 MeV
Gama (γ)	290900	764.54 keV	4.7382 eV --> 10.711 MeV
Nötron (n)	71851	1.4183 MeV	77.607 eV --> 4.453 MeV
Proton (p)	129879	2.2672 MeV	44.962 eV --> 5.1148 MeV
Ortalama momentum: 47.193 keV (113.34 eV --> 374.46 keV)			

```
aysegul@aysegul-VPCE24M1E:~/Hadr03
neutron + C137 --> N gamma + neutron + C137: 569 Q = -146.31 eV
neutron + C137 --> neutron + C137: 1748 Q = 24.946 eV
neutron + H1 --> N gamma + deuteron: 4 Q = -58.787 keV
neutron + H1 --> neutron + proton: 129298 Q = 1.2266 keV
neutron + H2 --> neutron + deuteron: 9 Q = 327.45 eV
neutron + O16 --> N gamma + O17: 3 Q = 55.704 keV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + C13: 527 Q = -454.52 keV
neutron + O16 --> neutron + O16: 19396 Q = 102.7 eV
neutron + O17 --> N gamma + neutron + O17: 1 Q = -34.351 eV
neutron + O17 --> neutron + O17: 5 Q = 87.689 eV
neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15: 1 Q = -4.2586 MeV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 5 Q = 1.2383 keV
neutron + O18 --> neutron + O18: 34 Q = -17.661 keV
neutron + W180 --> N gamma + neutron + W180: 77 Q = 7.4031 keV
neutron + W180 --> neutron + W180: 61 Q = 72.249 eV
neutron + W182 --> N gamma + W183: 88 Q = 6.1789 MeV
neutron + W182 --> N gamma + neutron + W182: 18613 Q = -450.19 eV
neutron + W182 --> neutron + W182: 18367 Q = 1.9852 eV
neutron + W183 --> N gamma + W184: 18 Q = 7.2738 MeV
neutron + W183 --> N gamma + neutron + W183: 10045 Q = -510.34 eV
neutron + W183 --> neutron + W183: 10441 Q = 1.8297 eV
neutron + W184 --> N gamma + W185: 38 Q = 8.44 MeV
neutron + W184 --> N gamma + neutron + W184: 21422 Q = -481.99 eV
neutron + W184 --> neutron + W184: 23077 Q = 1.7595 eV
neutron + W186 --> N gamma + W187: 19 Q = 5.9841 MeV
neutron + W186 --> N gamma + neutron + W186: 19592 Q = -454.77 eV
neutron + W186 --> neutron + W186: 22167 Q = 1.9318 eV

Number of gamma: N = 1 --> 16

List of generated particles:
C12: 14185 Emean = 422.52 keV ( 3.6854 eV --> 1.2902 MeV)
C13: 2875 Emean = 501.62 keV ( 339.13 eV --> 1.3438 MeV)
C15: 1 Emean = 189.18 keV ( 189.18 keV --> 189.18 keV)
C135: 6351 Emean = 108.9 keV ( 20.351 eV --> 491.57 keV)
C137: 2317 Emean = 110.85 keV ( 20.959 eV --> 466.66 keV)
O16: 19396 Emean = 374.4 keV ( 5.5259 eV --> 1.0059 MeV)
O17: 9 Emean = 325.53 keV ( 36.981 keV --> 671.88 keV)
O18: 39 Emean = 303.1 keV ( 13.208 keV --> 859.25 keV)
P32: 232 Emean = 685.09 keV ( 179.21 keV --> 1.2018 MeV)
S35: 581 Emean = 226.94 keV ( 1.0843 keV --> 525.28 keV)
W180: 138 Emean = 20.962 keV ( 3.4653 eV --> 92.436 keV)
W182: 36988 Emean = 19.478 keV ( 0.16045 eV --> 98.783 keV)
W183: 28574 Emean = 19.528 keV ( 0.26360 eV --> 98.335 keV)
W184: 44517 Emean = 19.044 keV ( 0.20111 eV --> 97.017 keV)
W185: 38 Emean = 25.135 keV ( 20.018 keV --> 29.022 keV)
W186: 41759 Emean = 18.625 keV ( 0.29546 eV --> 96.844 keV)
W187: 19 Emean = 25.427 keV ( 22.107 keV --> 29.776 keV)
alpha: 760 Emean = 2.4263 MeV ( 50.325 keV --> 5.2472 MeV)
deuteron: 13 Emean = 1.5151 MeV ( 162.57 keV --> 3.7924 MeV)
gamma: 296900 Emean = 764.54 keV ( 4.7382 eV --> 10.711 MeV)
neutron: 71851 Emean = 1.4183 MeV ( 77.607 eV --> 4.453 MeV)
proton: 129879 Emean = 2.2672 MeV ( 44.962 eV --> 5.1148 MeV)

Momentum balance: Pmean = 47.193 keV ( 113.34 eV --> 374.46 keV)

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (Index) = 0
Current couple of seeds = 1992087344, 2079373391
-----
Idle>
```

Şekil 4.12. %20 epoksi ve %80 tungsten karbür için simülasyon ekran görüntüsü

Çizelge 4.18. %30 epoksi ve %70 tungsten karbür için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi

Ürün Tipi	Parçacık Sayısı	Parçacığın Ortalama Enerjisi	Parçacığın Enerji Aralığı
¹² C	163422	423.04 keV	2.9249 eV --> 1.2903 MeV
¹³ C	2446	507.24 keV	256.58 eV --> 1.3422 MeV
¹⁵ C	4	189.11 keV	189.06 keV --> 189.22 keV
³⁵ Cl	8103	107.49 keV	1.5325 eV --> 491.65 keV
³⁶ Cl	1	144.77 keV	144.77 keV --> 144.77 keV
³⁷ Cl	2937	114.19 keV	6.8197 eV --> 466.5 keV
¹⁶ O	25109	376.53 keV	6.1319 eV --> 1.006 MeV
¹⁷ O	15	451.36 keV	9.8732 keV --> 887.84 keV
¹⁸ O	47	271.51 keV	1.791 keV --> 833.6 keV
³² P	287	703.44 keV	169.72 keV --> 1.2155 MeV
³⁵ S	625	232.97 keV	4.9493 keV --> 522.03 keV
¹⁸⁰ W	127	17.384 keV	22.231 eV --> 72.986 keV
¹⁸² W	28305	19.186 keV	0.17189 eV --> 98.927 keV
¹⁸³ W	15419	19.765 keV	0.44025 eV --> 98.359 keV
¹⁸⁴ W	33580	18.934 keV	0.13976 eV --> 97.817 keV
¹⁸⁵ W	26	24.729 keV	21.632 keV --> 29.737 keV
¹⁸⁶ W	31498	18.513 keV	0.29546 eV --> 96.85 keV
¹⁸⁷ W	24	24.465 keV	21.34 keV --> 27.281 keV
Alfa (α)	963	2.3757 MeV	50.295 keV --> 5.2472 MeV
Döteron (D)	21	1.3817 MeV	96.73 keV --> 3.9785 MeV
Gama (γ)	224658	765.19 keV	2.1606 eV --> 9.2502 MeV
Nötron (n)	55397	1.4221 MeV	78.697 eV --> 4.4531 MeV
Proton (p)	167739	2.265 MeV	6.8472 eV --> 5.1108 MeV
Ortalama momentum: 38.735 keV (104.59 eV --> 340.97 keV)			


```
aysegul@aysegul-VPCF24M1E:~/Hadr03
neutron + C137 --> N gamma + neutron + C137: 704 Q = 16.959 keV
neutron + C137 --> neutron + C137: 2233 Q = 26.055 eV
neutron + H1 --> N gamma + deuteron: 3 Q = -48.464 keV
neutron + H1 --> neutron + proton: 167114 Q = 1.2261 keV
neutron + H2 --> neutron + deuteron: 18 Q = 337.61 eV
neutron + O16 --> N gamma + O17: 2 Q = -536.61 keV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + C13: 672 Q = -480.84 keV
neutron + O16 --> neutron + O16: 25109 Q = 103.28 eV
neutron + O17 --> neutron + O17: 13 Q = 124.23 eV
neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15: 4 Q = -4.2586 MeV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 7 Q = 1.1647 keV
neutron + O18 --> neutron + O18: 40 Q = -16.426 keV
neutron + W180 --> N gamma + neutron + W180: 56 Q = 10.8 keV
neutron + W180 --> neutron + W180: 71 Q = 75.708 eV
neutron + W182 --> N gamma + W183: 73 Q = 5.0247 MeV
neutron + W182 --> N gamma + neutron + W182: 14134 Q = -449.42 eV
neutron + W182 --> neutron + W182: 14171 Q = 1.9259 eV
neutron + W183 --> N gamma + W184: 17 Q = 6.4678 MeV
neutron + W183 --> N gamma + neutron + W183: 7614 Q = -506.27 eV
neutron + W183 --> neutron + W183: 7732 Q = 1.86 eV
neutron + W184 --> N gamma + W185: 26 Q = 6.2174 MeV
neutron + W184 --> N gamma + neutron + W184: 16143 Q = -473.39 eV
neutron + W184 --> neutron + W184: 17420 Q = 1.7393 eV
neutron + W186 --> N gamma + W187: 24 Q = 4.8036 MeV
neutron + W186 --> N gamma + neutron + W186: 14764 Q = -457.19 eV
neutron + W186 --> neutron + W186: 16734 Q = 1.9306 eV

Number of gamma: N = 1 --> 16

List of generated particles:
C12: 163422 Emean = 423.04 keV ( 2.9249 eV --> 1.2903 MeV)
C13: 2446 Emean = 507.24 keV ( 256.58 eV --> 1.3422 MeV)
C15: 4 Emean = 189.11 keV ( 189.06 keV --> 189.22 keV)
C135: 8103 Emean = 107.49 keV ( 1.5325 eV --> 491.65 keV)
C136: 1 Emean = 144.77 keV ( 144.77 keV --> 144.77 keV)
C137: 2937 Emean = 114.19 keV ( 6.8197 eV --> 466.5 keV)
O16: 25109 Emean = 376.53 keV ( 6.1319 eV --> 1.066 MeV)
O17: 15 Emean = 451.36 keV ( 9.8732 keV --> 887.84 keV)
O18: 47 Emean = 271.51 keV ( 1.791 keV --> 833.6 keV)
P32: 287 Emean = 703.44 keV ( 169.72 keV --> 1.2155 MeV)
S35: 625 Emean = 232.97 keV ( 4.9493 keV --> 522.03 keV)
W180: 127 Emean = 17.384 keV ( 22.231 eV --> 72.986 keV)
W182: 28305 Emean = 19.186 keV ( 6.17168 eV --> 98.927 keV)
W183: 15410 Emean = 19.765 keV ( 0.44035 eV --> 98.359 keV)
W184: 33580 Emean = 18.934 keV ( 0.13876 eV --> 97.817 keV)
W185: 26 Emean = 24.729 keV ( 21.632 keV --> 29.737 keV)
W186: 31498 Emean = 18.513 keV ( 0.29546 eV --> 96.05 keV)
W187: 24 Emean = 24.465 keV ( 21.34 keV --> 27.281 keV)
alpha: 963 Emean = 2.3757 MeV ( 50.295 keV --> 5.2472 MeV)
deuteron: 21 Emean = 1.3817 MeV ( 96.73 keV --> 3.9785 MeV)
gamma: 224658 Emean = 765.19 keV ( 2.1606 eV --> 9.2502 MeV)
neutron: 55397 Emean = 1.4221 MeV ( 78.697 eV --> 4.4531 MeV)
proton: 167739 Emean = 2.265 MeV ( 6.8472 eV --> 5.1108 MeV)

Momentum balance: Pmean = 38.735 keV ( 104.59 eV --> 348.97 keV)

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (index) = 0
Current couple of seeds = 1751914564, 1159572038
-----
Idle>
```

Şekil 4.13. %30 epoksi ve %70 tungsten karbür için simülasyon ekran görüntüsü

Çizelge 4.19. %40 epoksi ve %60 tungsten karbür için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi

Ürün Tipi	Parçacık Sayısı	Parçacığın Ortalama Enerjisi	Parçacığın Enerji Aralığı
¹² C	174487	423.2 keV	4.1003 eV --> 1.2903 MeV
¹³ C	2629	520.1 keV	590.49 eV --> 1.3393 MeV
¹⁴ C	2	1.1802 MeV	877.36 keV --> 1.4831 MeV
¹⁵ C	3	189.11 keV	189.09 keV --> 189.14 keV
³⁵ Cl	9353	109.26 keV	2.2701 eV --> 491.74 keV
³⁷ Cl	3460	113.61 keV	11.336 eV --> 464.32 keV
³⁸ Cl	1	109.58 keV	109.58 keV --> 109.58 keV
¹⁶ O	28683	373.88 keV	17.288 eV --> 1.006 MeV
¹⁷ O	12	340 keV	61.65 keV --> 850.44 keV
¹⁸ O	63	349.35 keV	5.9333 keV --> 869.22 keV
³² P	327	698.9 keV	104.51 keV --> 1.2059 MeV
³⁵ S	785	221.51 keV	585.97 eV --> 520.77 keV
¹⁸⁰ W	88	21.689 keV	3.6505 eV --> 85.927 keV
¹⁸¹ W	1	24.986 keV	24.986 keV --> 24.986 keV
¹⁸² W	20894	19.103 keV	0.66994 eV --> 98.688 keV
¹⁸³ W	11461	19.499 keV	2.1525 eV --> 98.199 keV
¹⁸⁴ W	24802	18.917 keV	0.2587 eV --> 97.784 keV
¹⁸⁵ W	9	25.143 keV	23.646 keV --> 27.379 keV
¹⁸⁶ W	23119	18.548 keV	0.54392 eV --> 96.79 keV
¹⁸⁷ W	17	25.687 keV	22.329 keV --> 32.28 keV
Alfa (α)	1103	2.3782 MeV	50.302 keV --> 5.4414 MeV
Döteron (D)	19	1.9461 MeV	443.18 keV --> 3.8911 MeV
Gama (γ)	167990	776.35 keV	8.6144 eV --> 10.259 MeV
Nötron (n)	41993	1.4298 MeV	90.13 eV --> 4.4531 MeV
Proton (p)	19679	2.2665 MeV	6.2296 eV --> 5.1152 MeV
Ortalama momentum: 32.934 keV (163.52 eV --> 328.32 keV)			

```
aysegul@aysegul-VPCF24M1E:~/Hadr03
neutron + O16 --> N gamma + O17: 3 Q = 1.936 MeV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + C13: 771 Q = -497.16 keV
neutron + O16 --> neutron + O16: 28683 Q = 182.56 eV
neutron + O17 --> N gamma + neutron + O17: 2 Q = 0.983499 eV
neutron + O17 --> alpha + C14: 2 Q = 1.8186 MeV
neutron + O17 --> neutron + O17: 7 Q = 98.391 eV
neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15: 3 Q = -4.2584 MeV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 7 Q = 1.8378 keV
neutron + O18 --> neutron + O18: 56 Q = -19.952 keV
neutron + W180 --> N gamma + W181: 1 Q = 8.723 MeV
neutron + W180 --> N gamma + neutron + W180: 45 Q = 13.345 keV
neutron + W180 --> neutron + W180: 43 Q = 68.586 eV
neutron + W182 --> N gamma + W183: 48 Q = 5.0394 MeV
neutron + W182 --> N gamma + neutron + W182: 10358 Q = -448.12 eV
neutron + W182 --> neutron + W182: 10536 Q = 1.9242 eV
neutron + W183 --> N gamma + W184: 8 Q = 4.9177 MeV
neutron + W183 --> N gamma + neutron + W183: 5670 Q = -498.24 eV
neutron + W183 --> neutron + W183: 5743 Q = 1.8682 eV
neutron + W184 --> N gamma + W185: 9 Q = 5.5711 MeV
neutron + W184 --> N gamma + neutron + W184: 11944 Q = -480.95 eV
neutron + W184 --> neutron + W184: 12850 Q = 1.7365 eV
neutron + W186 --> N gamma + W187: 17 Q = 5.6102 MeV
neutron + W186 --> N gamma + neutron + W186: 10802 Q = -454.87 eV
neutron + W186 --> neutron + W186: 12317 Q = 1.9388 eV

Number of gamma: N = 1 --> 16

List of generated particles:
C12: 174487 Emean = 423.2 keV ( 4.1003 eV --> 1.2903 MeV)
C13: 2629 Emean = 520.1 keV ( 598.49 eV --> 1.3393 MeV)
C14: 2 Emean = 1.1802 MeV ( 877.36 keV --> 1.4831 MeV)
C15: 3 Emean = 189.11 keV ( 189.09 keV --> 189.14 keV)
C135: 9351 Emean = 109.26 keV ( 2.2701 eV --> 491.74 keV)
C137: 3460 Emean = 113.61 keV ( 11.336 eV --> 464.32 keV)
C138: 1 Emean = 109.58 keV ( 109.58 keV --> 109.58 keV)
O16: 28683 Emean = 373.88 keV ( 17.288 eV --> 1.066 MeV)
O17: 12 Emean = 348 keV ( 61.65 keV --> 858.44 keV)
O18: 63 Emean = 349.35 keV ( 5.9333 keV --> 869.22 keV)
P32: 327 Emean = 690.9 keV ( 184.51 keV --> 1.2059 MeV)
S35: 785 Emean = 221.51 keV ( 585.97 eV --> 520.77 keV)
W180: 88 Emean = 21.689 keV ( 3.6505 eV --> 85.927 keV)
W181: 1 Emean = 24.986 keV ( 24.986 keV --> 24.986 keV)
W182: 20894 Emean = 19.103 keV ( 0.66994 eV --> 98.688 keV)
W183: 11461 Emean = 19.499 keV ( 2.1525 eV --> 98.199 keV)
W184: 24802 Emean = 18.917 keV ( 0.2267 eV --> 97.784 keV)
W185: 9 Emean = 25.143 keV ( 23.646 keV --> 27.379 keV)
W186: 23119 Emean = 18.548 keV ( 0.54392 eV --> 96.79 keV)
W187: 17 Emean = 25.687 keV ( 22.329 keV --> 32.28 keV)
alpha: 1103 Emean = 2.3782 MeV ( 50.302 keV --> 5.4414 MeV)
deuteron: 19 Emean = 1.9461 MeV ( 443.18 keV --> 3.8911 MeV)
gamma: 107990 Emean = 776.35 keV ( 8.6144 eV --> 10.259 MeV)
neutron: 41993 Emean = 1.4298 MeV ( 90.13 eV --> 4.4531 MeV)
proton: 193679 Emean = 2.2665 MeV ( 6.2296 eV --> 5.1152 MeV)

Momentum balance: Pmean = 32.934 keV ( 163.52 eV --> 328.32 keV)

----- Rancu engine status -----
Initial seed (Index) = 0
Current couple of seeds = 462536561, 115187813
Idle>
```

Şekil 4.14. %40 epoksi ve %60 tungsten karbür için simülasyon ekran görüntüsü

Çizelge 4.20. %50 epoksi ve %50 tungsten karbür için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi

Ürün Tipi	Parçacık Sayısı	Parçacığın Ortalama Enerjisi	Parçacığın Enerji Aralığı
¹² C	178414	423.44 keV	0.067615 eV --> 1.2902 MeV
¹³ C	2682	542.77 keV	77.677 eV --> 1.3454 MeV
¹⁴ C	1	1.2247 MeV	1.2247 MeV --> 1.2247 MeV
¹⁵ C	5	189.03 keV	188.92 keV --> 189.17 keV
³⁵ Cl	9920	107.12 keV	12.44 eV --> 491.74 keV
³⁷ Cl	3766	108.92 keV	20.959 eV --> 466.09 keV
¹⁶ O	30972	373.25 keV	1.3578 eV --> 1.0062 MeV
¹⁷ O	9	312.49 keV	83.492 keV --> 850.44 keV
¹⁸ O	70	356.04 keV	327.41 eV --> 869.22 keV
³² P	372	693.96 keV	111.27 keV --> 1.2117 MeV
³⁵ S	816	231.36 keV	1.0446 keV --> 522.92 keV
¹⁸⁰ W	60	21.162 keV	3.6505 eV --> 92.436 keV
¹⁸² W	14774	19.389 keV	0.42716 eV --> 98.866 keV
¹⁸³ W	8144	19.501 keV	2.2765 eV --> 98.481 keV
¹⁸⁴ W	17629	18.978 keV	0.26019 eV --> 97.801 keV
¹⁸⁵ W	10	24.864 keV	21.632 keV --> 26.98 keV
¹⁸⁶ W	16465	18.531 keV	1.5932 eV --> 96.79 keV
¹⁸⁷ W	13	24.967 keV	20.937 keV --> 29.01 keV
Alfa (α)	1243	2.3844 MeV	50.26 keV --> 5.2303 MeV
Döteron (D)	24	1.4773 MeV	105.62 keV --> 3.4284 MeV
Gama (γ)	124380	783.42 keV	1.9897 eV --> 8.304 MeV
Nötron (n)	31016	1.4164 MeV	82.448 eV --> 4.4531 MeV
Proton (p)	206884	2.2654 MeV	6.2296 eV --> 5.1149 MeV
Ortalama momentum: 28.787 keV (57.548 eV --> 335.11 keV)			

```
aysegul@aysegul-VPCF24M1E:~/Hadr03
neutron + H1 --> N gamma + deuteron: 3 Q = 23.069 keV
neutron + H1 --> neutron + proton: 200688 Q = 1.2262 keV
neutron + H2 --> neutron + deuteron: 21 Q = 370.13 eV
neutron + O16 --> N gamma + O17: 2 Q = -747.47 keV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + C13: 865 Q = -524.28 keV
neutron + O16 --> neutron + O16: 30972 Q = 182.38 eV
neutron + O17 --> N gamma + neutron + O17: 1 Q = 6.940321 eV
neutron + O17 --> alpha + C14: 1 Q = 1.8186 MeV
neutron + O17 --> neutron + O17: 6 Q = 87.736 eV
neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15: 5 Q = -4.2587 MeV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 10 Q = 869.36 eV
neutron + O18 --> neutron + O18: 60 Q = -21.269 keV
neutron + W180 --> N gamma + neutron + W180: 32 Q = -444.72 eV
neutron + W180 --> neutron + W180: 28 Q = 81.443 eV
neutron + W182 --> N gamma + W183: 33 Q = 6.0159 MeV
neutron + W182 --> N gamma + neutron + W182: 7354 Q = -451.94 eV
neutron + W182 --> neutron + W182: 7420 Q = 1.9941 eV
neutron + W183 --> N gamma + W184: 7 Q = 5.5892 MeV
neutron + W183 --> N gamma + neutron + W183: 4186 Q = -584.67 eV
neutron + W183 --> neutron + W183: 4885 Q = 1.7155 eV
neutron + W184 --> N gamma + W185: 10 Q = 3.8232 MeV
neutron + W184 --> N gamma + neutron + W184: 8465 Q = -474.74 eV
neutron + W184 --> neutron + W184: 9157 Q = 1.7436 eV
neutron + W186 --> N gamma + W187: 13 Q = 5.4926 MeV
neutron + W186 --> N gamma + neutron + W186: 7788 Q = -461.63 eV
neutron + W186 --> neutron + W186: 8757 Q = 1.9094 eV

Number of gamma: N = 1 --> 16

List of generated particles:
C12: 178414 Enean = 423.44 keV ( 0.067615 eV --> 1.2982 MeV)
C13: 2682 Enean = 542.77 keV ( 77.677 eV --> 1.3454 MeV)
C14: 1 Enean = 1.2247 MeV ( 2.2247 MeV --> 1.2247 MeV)
C15: 5 Enean = 189.83 keV ( 188.92 keV --> 189.17 keV)
C135: 9920 Enean = 107.12 keV ( 12.44 eV --> 491.74 keV)
C137: 3766 Enean = 108.92 keV ( 20.959 eV --> 466.09 keV)
O16: 30972 Enean = 373.25 keV ( 1.3578 eV --> 1.8862 MeV)
O17: 9 Enean = 312.49 keV ( 83.492 keV --> 859.44 keV)
O18: 70 Enean = 356.04 keV ( 327.41 eV --> 869.22 keV)
P32: 372 Enean = 693.96 keV ( 111.27 keV --> 1.2117 MeV)
S35: 816 Enean = 231.36 keV ( 1.0446 keV --> 522.92 keV)
W180: 60 Enean = 21.162 keV ( 3.6505 eV --> 92.436 keV)
W182: 14774 Enean = 19.389 keV ( 0.42716 eV --> 98.866 keV)
W183: 8144 Enean = 19.501 keV ( 2.2765 eV --> 98.481 keV)
W184: 17029 Enean = 18.978 keV ( 0.26019 eV --> 97.081 keV)
W185: 10 Enean = 24.864 keV ( 21.032 keV --> 26.08 keV)
W186: 16465 Enean = 18.531 keV ( 1.5932 eV --> 96.79 keV)
W187: 13 Enean = 24.967 keV ( 20.937 keV --> 29.81 keV)
alpha: 1243 Enean = 2.3844 MeV ( 50.26 keV --> 5.2383 MeV)
deuteron: 24 Enean = 1.4773 MeV ( 105.62 keV --> 3.4284 MeV)
gamma: 124380 Enean = 783.42 keV ( 1.9897 eV --> 8.304 MeV)
neutron: 31016 Enean = 1.4164 MeV ( 82.448 eV --> 4.4531 MeV)
proton: 206884 Enean = 2.2654 MeV ( 6.2296 eV --> 5.1149 MeV)

Momentum balance: Pnean = 28.787 keV ( 57.548 eV --> 335.11 keV)

----- Raney engine status -----
Initial seed (index) = 0
Current couple of seeds = 661891148, 1616292336
Idle>
```

Şekil 4.15. %50 epoksi ve %50 tungsten karbür için simülasyon ekran görüntüsü

Çizelge 4.21. %60 epoksi ve %40 tungsten karbür için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi

Ürün Tipi	Parçacık Sayısı	Parçacığın Ortalama Enerjisi	Parçacığın Enerji Aralığı
¹² C	174501	422.83 keV	7.0783 eV --> 1.2902 MeV
¹³ C	2691	550.22 keV	51.493 eV --> 1.3333 MeV
¹⁴ C	2	1.395 MeV	733.94 keV --> 2.056 MeV
¹⁵ C	3	189.16 keV	189.1 keV --> 189.2 keV
³⁵ Cl	9930	108.28 keV	1.5325 eV --> 491.46 keV
³⁶ Cl	1	103.83 keV	103.83 keV --> 103.83 keV
³⁷ Cl	3686	110 keV	11.336 eV --> 464.88 keV
¹⁶ O	31316	372.36 keV	1.3578 eV --> 1.0062 MeV
¹⁷ O	7	413.46 keV	17.257 keV --> 850.94 keV
¹⁸ O	69	373.82 keV	12.717 keV --> 860.17 keV
³² P	371	684.89 keV	120.78 keV --> 1.2124 MeV
³⁵ S	815	230.33 keV	1.6562 keV --> 525.52 keV
¹⁸⁰ W	45	17.486 keV	234.95 eV --> 76.962 keV
¹⁸² W	10108	19.129 keV	0.28213 eV --> 98.762 keV
¹⁸³ W	5686	19.12 keV	2.2765 eV --> 98.083 keV
¹⁸⁴ W	12018	18.769 keV	0.54864 eV --> 97.331 keV
¹⁸⁵ W	6	25 keV	23.406 keV --> 26.969 keV
¹⁸⁶ W	11077	18.888 keV	3.4517 eV --> 96.713 keV
¹⁸⁷ W	8	25.114 keV	23.546 keV --> 29.01 keV
Alfa (α)	1232	2.3875 MeV	50.304 keV --> 5.5849 MeV
Döteron (D)	28	1.991 MeV	105.62 keV --> 3.9803 MeV
Gama (γ)	88129	794.4 keV	7.7662 eV --> 7.1005 MeV
Nötron (n)	22153	1.4283 MeV	160.87 eV --> 4.4525 MeV
Proton (p)	209855	2.264 MeV	32.431 eV --> 5.1142 MeV
Ortalama momentum: 25.732 keV (172.76 eV --> 332.67 keV)			

```
aysegul@aysegul-VPCF24M1E:~/Hadr03
neutron + H2 --> neutron + deuteron: 23 Q = 525.68 eV
neutron + O16 --> N gamma + O17: 2 Q = 570.4 keV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + C13: 856 Q = -449.51 keV
neutron + O16 --> neutron + O16: 31316 Q = 182.14 eV
neutron + O17 --> N gamma + alpha + C14: 1 Q = 1.8174 MeV
neutron + O17 --> N gamma + neutron + O17: 1 Q = 0.819441 eV
neutron + O17 --> alpha + C14: 1 Q = 1.8188 MeV
neutron + O17 --> neutron + O17: 4 Q = 122.2 eV
neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15: 3 Q = -4.2588 MeV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 10 Q = -728.78 eV
neutron + O18 --> neutron + O18: 59 Q = -21.44 keV
neutron + W180 --> N gamma + neutron + W180: 22 Q = 28.239 keV
neutron + W180 --> neutron + W180: 23 Q = 55.742 eV
neutron + W182 --> N gamma + W183: 27 Q = 7.2573 MeV
neutron + W182 --> N gamma + neutron + W182: 5030 Q = -449.98 eV
neutron + W182 --> neutron + W182: 5078 Q = 1.9277 eV
neutron + W183 --> N gamma + W184: 1 Q = -82.539 keV
neutron + W183 --> N gamma + neutron + W183: 2787 Q = -509.72 eV
neutron + W183 --> neutron + W183: 2872 Q = 1.7618 eV
neutron + W184 --> N gamma + W185: 6 Q = 4.3585 MeV
neutron + W184 --> N gamma + neutron + W184: 5761 Q = -478.21 eV
neutron + W184 --> neutron + W184: 6256 Q = 1.7073 eV
neutron + W186 --> N gamma + W187: 8 Q = 5.7117 MeV
neutron + W186 --> N gamma + neutron + W186: 5222 Q = -470.37 eV
neutron + W186 --> neutron + W186: 5855 Q = 2.0126 eV

Number of gamma: N = 1 --> 15

List of generated particles:
C12: 174501 Emean = 422.83 keV ( 7.0783 eV --> 1.2002 MeV)
C13: 2691 Emean = 550.22 keV ( 51.493 eV --> 1.3333 MeV)
C14: 2 Emean = 1.395 MeV ( 733.94 keV --> 2.056 MeV)
C15: 3 Emean = 189.16 keV ( 189.1 keV --> 189.2 keV)
C135: 9930 Emean = 108.28 keV ( 1.5325 eV --> 491.46 keV)
C136: 1 Emean = 103.83 keV ( 103.83 keV --> 103.83 keV)
C137: 3686 Emean = 110 keV ( 11.336 eV --> 404.88 keV)
O16: 31316 Emean = 372.36 keV ( 1.3578 eV --> 1.8862 MeV)
O17: 7 Emean = 413.46 keV ( 17.257 keV --> 850.94 keV)
O18: 69 Emean = 373.82 keV ( 12.717 keV --> 868.17 keV)
P32: 371 Emean = 684.89 keV ( 120.78 keV --> 1.2124 MeV)
S35: 815 Emean = 230.33 keV ( 1.6562 keV --> 525.52 keV)
W180: 45 Emean = 17.486 keV ( 234.95 eV --> 76.962 keV)
W182: 10108 Emean = 19.129 keV ( 0.28213 eV --> 98.762 keV)
W183: 5686 Emean = 19.12 keV ( 2.2765 eV --> 98.083 keV)
W184: 12018 Emean = 18.769 keV ( 0.54864 eV --> 97.331 keV)
W185: 6 Emean = 25 keV ( 23.406 keV --> 26.969 keV)
W186: 11077 Emean = 18.888 keV ( 3.4517 eV --> 96.713 keV)
W187: 8 Emean = 25.114 keV ( 23.546 keV --> 29.01 keV)
alpha: 1232 Emean = 2.3875 MeV ( 50.304 keV --> 5.5849 MeV)
deuteron: 28 Emean = 1.991 MeV ( 105.62 keV --> 3.9803 MeV)
gamma: 88129 Emean = 794.4 keV ( 7.7662 eV --> 7.1005 MeV)
neutron: 22153 Emean = 1.4283 MeV ( 160.87 eV --> 4.4525 MeV)
proton: 209855 Emean = 2.264 MeV ( 32.431 eV --> 5.1142 MeV)

Momentum balance: Pmean = 25.732 keV ( 172.76 eV --> 332.67 keV)

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (index) = 0
Current couple of seeds = 717662807, 1955377529
-----
Idle>
```

Şekil 4.16. %60 epoksi ve %40 tungsten karbür için simülasyon ekran görüntüsü

Çizelge 4.22. %70 epoksi ve %30 tungsten karbür için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi

Ürün Tipi	Parçacık Sayısı	Parçacığın Ortalama Enerjisi	Parçacığın Enerji Aralığı
^{12}C	163812	422.02 keV	6.4994 eV --> 1.2904 MeV
^{13}C	2513	517.72 keV	77.677 eV --> 1.3413 MeV
^{15}C	7	189.04 keV	188.91 keV --> 189.21 keV
^{35}Cl	9553	108.39 keV	3.1181 eV --> 491.97 keV
^{36}Cl	1	123.97 keV	123.97 keV --> 123.97 keV
^{37}Cl	3616	114.71 keV	21.352 eV --> 465.83 keV
^{16}O	29621	375.29 keV	1.2228 eV --> 1.0063 MeV
^{17}O	9	396.18 keV	35.67 keV --> 808.48 keV
^{18}O	73	384.47 keV	2.707 keV --> 894.74 keV
^{32}P	348	682.49 keV	159.1 keV --> 1.2132 MeV
^{35}S	811	227.73 keV	671.23 eV --> 525.34 keV
^{180}W	26	20.063 keV	401.5 eV --> 62.109 keV
^{182}W	6241	19.528 keV	3.0588 eV --> 98.943 keV
^{183}W	3349	19.346 keV	7.3944 eV --> 97.985 keV
^{184}W	7299	18.884 keV	0.26019 eV --> 97.598 keV
^{185}W	3	25.393 keV	23.344 keV --> 28.103 keV
^{186}W	6716	18.659 keV	1.8557 eV --> 96.731 keV
^{187}W	4	25.595 keV	24.214 keV --> 27.105 keV
Alfa (α)	1129	2.4191 MeV	50.257 keV --> 5.2467 MeV
Döteron (D)	32	1.7521 MeV	181.03 keV --> 3.805 MeV
Gama (γ)	57475	819.67 keV	12.122 eV --> 8.1808 MeV
Nötron (n)	14704	1.4216 MeV	159.53 eV --> 4.4527 MeV
Proton (p)	199436	2.2699 MeV	78.317 eV --> 5.1152 MeV
Ortalama momentum: 23.307 keV (167.56 eV --> 299.1 keV)			

```
aysegul@aysegul-VPCF24M1E:~/Hadr03
neutron + C135 --> proton + S35: 371 Q = 615.86 keV
neutron + C137 --> N gamma + neutron + C137: 936 Q = 9.0414 keV
neutron + C137 --> neutron + C137: 2680 Q = 25.921 eV
neutron + H1 --> N gamma + deuteron: 5 Q = -28.016 keV
neutron + H1 --> neutron + proton: 198625 Q = 1.2284 keV
neutron + H2 --> neutron + deuteron: 27 Q = 451.73 eV
neutron + O16 --> N gamma + O17: 2 Q = -1.956 MeV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + C13: 774 Q = -443.94 keV
neutron + O16 --> neutron + O16: 29621 Q = 192.94 eV
neutron + O17 --> neutron + O17: 7 Q = 112.77 eV
neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15: 7 Q = -4.2587 MeV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 5 Q = -1.9147 keV
neutron + O18 --> neutron + O18: 68 Q = -22.479 keV
neutron + W180 --> N gamma + neutron + W180: 13 Q = 46.581 keV
neutron + W180 --> neutron + W180: 13 Q = 115.41 eV
neutron + W182 --> N gamma + W183: 16 Q = 8.4129 MeV
neutron + W182 --> N gamma + neutron + W182: 3098 Q = -440.43 eV
neutron + W182 --> neutron + W182: 3143 Q = 2.8506 eV
neutron + W183 --> N gamma + neutron + W183: 1632 Q = -513.59 eV
neutron + W183 --> neutron + W183: 1701 Q = 1.8187 eV
neutron + W184 --> N gamma + W185: 3 Q = 2.3583 MeV
neutron + W184 --> N gamma + neutron + W184: 3470 Q = -457.42 eV
neutron + W184 --> neutron + W184: 3829 Q = 1.885 eV
neutron + W186 --> N gamma + W187: 4 Q = 5.1036 MeV
neutron + W186 --> N gamma + neutron + W186: 3185 Q = -460.53 eV
neutron + W186 --> neutron + W186: 3531 Q = 1.9145 eV

Number of gamma: N = 1 --> 15

List of generated particles:
C12: 163812 Emean = 422.02 keV ( 6.4994 eV --> 1.2904 MeV)
C13: 2513 Emean = 517.72 keV ( 77.677 eV --> 1.3413 MeV)
C15: 7 Emean = 189.84 keV ( 188.91 keV --> 189.21 keV)
C135: 9553 Emean = 108.39 keV ( 3.1181 eV --> 491.97 keV)
C136: 1 Emean = 123.97 keV ( 123.97 keV --> 123.97 keV)
C137: 3616 Emean = 114.71 keV ( 21.352 eV --> 465.83 keV)
O16: 29621 Emean = 375.29 keV ( 1.2228 eV --> 1.0063 MeV)
O17: 9 Emean = 396.18 keV ( 35.67 keV --> 808.48 keV)
O18: 73 Emean = 384.47 keV ( 2.707 keV --> 894.74 keV)
P32: 348 Emean = 682.49 keV ( 159.1 keV --> 1.2132 MeV)
S35: 818 Emean = 227.73 keV ( 671.23 eV --> 525.34 keV)
W180: 26 Emean = 20.063 keV ( 401.5 eV --> 62.189 keV)
W182: 6241 Emean = 19.328 keV ( 3.0588 eV --> 90.843 keV)
W183: 3349 Emean = 19.346 keV ( 7.3944 eV --> 97.985 keV)
W184: 7299 Emean = 18.884 keV ( 0.26019 eV --> 97.598 keV)
W185: 3 Emean = 25.393 keV ( 23.344 keV --> 28.103 keV)
W186: 6716 Emean = 18.659 keV ( 1.8557 eV --> 96.731 keV)
W187: 4 Emean = 25.595 keV ( 24.214 keV --> 27.105 keV)
alpha: 1129 Emean = 2.4191 MeV ( 50.257 keV --> 5.2467 MeV)
deuteron: 32 Emean = 1.7521 MeV ( 181.03 keV --> 3.805 MeV)
gamma: 57475 Emean = 819.07 keV ( 12.122 eV --> 8.1888 MeV)
neutron: 14704 Emean = 1.4216 MeV ( 159.53 eV --> 4.4527 MeV)
proton: 199436 Emean = 2.2699 MeV ( 78.317 eV --> 5.1152 MeV)

Momentum balance: Pmean = 23.307 keV ( 167.56 eV --> 299.1 keV)

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (index) = 0
Current couple of seeds = 1529924139, 245971746
Idle>
```

Şekil 4.17. %70 epoksi ve %30 tungsten karbür için simülasyon ekran görüntüsü

Çizelge 4.23. %80 epoksi ve %20 tungsten karbür için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi

Ürün Tipi	Parçacık Sayısı	Parçacığın Ortalama Enerjisi	Parçacığın Enerji Aralığı
¹² C	142303	423.51 keV	1.141 eV --> 1.2902 MeV
¹³ C	2243	528.24 keV	51.493 eV --> 1.3455 MeV
¹⁴ C	1	670.24 keV	670.24 keV --> 670.24 keV
¹⁵ C	5	189.06 keV	188.9 keV --> 189.3 keV
³⁵ Cl	8561	107.61 keV	5.4407 eV --> 491.58 keV
³⁷ Cl	3172	113.64 keV	51.151 eV --> 466.54 keV
¹⁶ O	26141	372.33 keV	4.4719 eV --> 1.0065 MeV
¹⁷ O	9	434.55 keV	226.79 keV --> 808.48 keV
¹⁸ O	52	367.56 keV	12.899 keV --> 791.54 keV
³² P	315	702.78 keV	184.73 keV --> 1.197 MeV
³⁵ S	748	244.32 keV	3.9748 keV --> 523.43 keV
¹⁸⁰ W	14	19.084 keV	953.49 eV --> 68.909 keV
¹⁸² W	3338	19.816 keV	2.7313 eV --> 98.751 keV
¹⁸³ W	1768	19.264 keV	0.57547 eV --> 98.132 keV
¹⁸⁴ W	3846	19.236 keV	1.5839 eV --> 97.453 keV
¹⁸⁵ W	2	23.857 keV	21.71 keV --> 26.004 keV
¹⁸⁶ W	3491	18.333 keV	3.1538 eV --> 96.708 keV
¹⁸⁷ W	5	26.053 keV	23.743 keV --> 29.292 keV
Alfa (α)	1021	2.4081 MeV	50.253 keV --> 5.6486 MeV
Döteron (D)	29	1.7601 MeV	76.551 keV --> 3.8483 MeV
Gama (γ)	34705	830.25 keV	35.55 eV --> 10.156 MeV
Nötron (n)	8892	1.4505 MeV	7.3322 eV --> 4.4475 MeV
Proton (p)	175960	2.2682 MeV	9.3594 eV --> 5.1082 MeV
Ortalama momentum: 21.452 keV (159.93 eV --> 295.93 keV)			

```
aysegul@aysegul-VPCF24M1E:~/Hadr03
neutron + H2 --> neutron + deuteron: 24 Q = 450.87 eV
neutron + H2 --> proton + 2 neutron: 1 Q = -2.1131 MeV
neutron + O16 --> N gamma + O17: 3 Q = 2.4621 MeV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + C13: 700 Q = -523.95 keV
neutron + O16 --> neutron + O16: 26141 Q = 102.13 eV
neutron + O17 --> N gamma + neutron + O17: 1 Q = 0.046206 eV
neutron + O17 --> alpha + C14: 1 Q = 1.8188 MeV
neutron + O17 --> neutron + O17: 5 Q = 133.79 eV
neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15: 4 Q = -4.2581 MeV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 9 Q = -455.99 eV
neutron + O18 --> alpha + C15: 1 Q = -4.2666 MeV
neutron + O18 --> neutron + O18: 43 Q = -21.922 keV
neutron + W180 --> N gamma + neutron + W180: 8 Q = -511 eV
neutron + W180 --> neutron + W180: 6 Q = 180.11 eV
neutron + W182 --> N gamma + W183: 4 Q = 11.846 MeV
neutron + W182 --> N gamma + neutron + W182: 1780 Q = -440.34 eV
neutron + W182 --> neutron + W182: 1638 Q = 1.9652 eV
neutron + W183 --> N gamma + W184: 1 Q = 1.0456 MeV
neutron + W183 --> N gamma + neutron + W183: 870 Q = -517.4 eV
neutron + W183 --> neutron + W183: 894 Q = 1.7690 eV
neutron + W184 --> N gamma + W185: 2 Q = 5.4316 MeV
neutron + W184 --> N gamma + neutron + W184: 1820 Q = -477.18 eV
neutron + W184 --> neutron + W184: 2017 Q = 1.8039 eV
neutron + W186 --> N gamma + W187: 5 Q = 5.5533 MeV
neutron + W186 --> N gamma + neutron + W186: 1634 Q = -452.94 eV
neutron + W186 --> neutron + W186: 1857 Q = 2.016 eV

Number of gamma: N = 1 --> 15

List of generated particles:
C12: 142303 Emean = 423.51 keV ( 1.141 eV --> 1.2902 MeV)
C13: 2243 Emean = 528.24 keV ( 51.493 eV --> 1.3455 MeV)
C14: 1 Emean = 670.24 keV ( 670.24 keV --> 670.24 keV)
C15: 5 Emean = 189.06 keV ( 188.9 keV --> 189.3 keV)
C135: 8561 Emean = 107.61 keV ( 5.4407 eV --> 491.58 keV)
C137: 3172 Emean = 113.64 keV ( 51.151 eV --> 466.54 keV)
O16: 26141 Emean = 372.33 keV ( 4.4719 eV --> 1.0065 MeV)
O17: 9 Emean = 434.55 keV ( 226.79 keV --> 808.48 keV)
O18: 52 Emean = 367.56 keV ( 12.899 keV --> 791.54 keV)
P32: 315 Emean = 702.78 keV ( 184.73 keV --> 1.197 MeV)
S35: 748 Emean = 244.32 keV ( 3.9748 keV --> 523.43 keV)
W180: 14 Emean = 19.084 keV ( 953.49 eV --> 68.909 keV)
W182: 3338 Emean = 19.816 keV ( 2.7313 eV --> 98.751 keV)
W183: 1768 Emean = 19.264 keV ( 0.57547 eV --> 98.132 keV)
W184: 3846 Emean = 19.236 keV ( 1.5839 eV --> 97.453 keV)
W185: 2 Emean = 23.857 keV ( 21.71 keV --> 26.064 keV)
W186: 3491 Emean = 18.333 keV ( 3.1538 eV --> 96.708 keV)
W187: 5 Emean = 26.053 keV ( 23.743 keV --> 29.292 keV)
alpha: 1821 Emean = 2.4081 MeV ( 50.253 keV --> 5.6486 MeV)
deuteron: 29 Emean = 1.7601 MeV ( 76.551 keV --> 3.8483 MeV)
gamma: 34785 Emean = 830.25 keV ( 35.55 eV --> 10.156 MeV)
neutron: 8892 Emean = 1.4505 MeV ( 7.3322 eV --> 4.4475 MeV)
proton: 175960 Emean = 2.2682 MeV ( 9.3594 eV --> 5.1062 MeV)

Momentum balance: Pmean = 21.452 keV ( 159.93 eV --> 295.93 keV)

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (index) = 0
Current couple of seeds = 1862093166, 2029220839
-----
Idle>
```

Şekil 4.18. %80 epoksi ve %20 tungsten karbür için simülasyon ekran görüntüsü

Çizelge 4.24. %90 epoksi ve %10 tungsten karbür için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi

Ürün Tipi	Parçacık Sayısı	Parçacığın Ortalama Enerjisi	Parçacığın Enerji Aralığı
¹² C	108620	423.06 keV	6.9128 eV --> 1.2903 MeV
¹³ C	1704	534.23 keV	51.493 eV --> 1.3396 MeV
¹⁴ C	2	1.2857 MeV	1.2848 MeV --> 1.2867 MeV
¹⁵ C	1	189.07 keV	189.07 keV --> 189.07 keV
³⁵ Cl	6536	107.97 keV	1.1051 eV --> 491.97 keV
³⁶ Cl	1	130.84 keV	130.84 keV --> 130.84 keV
³⁷ Cl	2454	110.61 keV	21.352 eV --> 466.35 keV
¹⁶ O	20089	372.69 keV	18.504 eV --> 1.0058 MeV
¹⁷ O	3	421.7 keV	113.79 keV --> 900.69 keV
¹⁸ O	34	345.69 keV	9.295 keV --> 834.46 keV
³² P	230	711.49 keV	134.71 keV --> 1.1963 MeV
³⁴ P	1	513.87 keV	513.87 keV --> 513.87 keV
³⁵ S	526	225.86 keV	2.5408 keV --> 524.34 keV
¹⁸⁰ W	5	14.804 keV	922.22 eV --> 37.81 keV
¹⁸² W	1088	19.464 keV	6.2418 eV --> 98.418 keV
¹⁸³ W	597	20.165 keV	24.031 eV --> 92.736 keV
¹⁸⁴ W	1345	19.664 keV	9.1689 eV --> 96.739 keV
¹⁸⁵ W	1	22.881 keV	22.881 keV --> 22.881 keV
¹⁸⁶ W	1200	17.784 keV	27.673 eV --> 96.492 keV
¹⁸⁷ W	1	23.942 keV	23.942 keV --> 23.942 keV
Alfa (α)	779	2.3822 MeV	50.297 keV --> 5.2403 MeV
Döteron (D)	23	1.8322 MeV	18.5 keV --> 3.9473 MeV
Gama (γ)	16272	897.82 keV	247.46 eV --> 6.7215 MeV
Nötron (n)	4332	1.4412 MeV	1.6452 keV --> 4.4461 MeV
Proton (p)	135968	2.2743 MeV	70.61 eV --> 5.1134 MeV
Ortalama momentum: 19.788 keV (136.85 eV --> 289 keV)			

```
aysegul@aysegul-VPCF24M1E:~/Hadr03
neutron + H1 --> neutron + proton: 135442 Q = 1.2312 keV
neutron + H2 --> neutron + deuteron: 21 Q = 487.84 eV
neutron + O16 --> N gamma + O17: 1 Q = 5.35 MeV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + C13: 545 Q = -523.99 keV
neutron + O16 --> neutron + O16: 20889 Q = 102.23 eV
neutron + O17 --> alpha + C14: 2 Q = 1.8186 MeV
neutron + O17 --> neutron + O17: 2 Q = 130.87 eV
neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15: 1 Q = -4.2596 MeV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 4 Q = -393.84 eV
neutron + O18 --> neutron + O18: 30 Q = -20.277 keV
neutron + W180 --> N gamma + neutron + W180: 2 Q = -643.36 eV
neutron + W180 --> neutron + W180: 3 Q = 18.651 eV
neutron + W182 --> N gamma + W183: 4 Q = 3.952 MeV
neutron + W182 --> N gamma + neutron + W182: 543 Q = -439.55 eV
neutron + W182 --> neutron + W182: 545 Q = 1.99 eV
neutron + W183 --> N gamma + W184: 1 Q = 20.368 MeV
neutron + W183 --> N gamma + neutron + W183: 296 Q = -531.12 eV
neutron + W183 --> neutron + W183: 297 Q = 2.1033 eV
neutron + W184 --> N gamma + W185: 1 Q = 3.8004 MeV
neutron + W184 --> N gamma + neutron + W184: 695 Q = -525.37 eV
neutron + W184 --> neutron + W184: 649 Q = -1.5349 eV
neutron + W186 --> N gamma + W187: 1 Q = 4.0704 MeV
neutron + W186 --> N gamma + neutron + W186: 572 Q = -471.14 eV
neutron + W186 --> neutron + W186: 628 Q = 1.598 eV

Number of gamma: N = 1 --> 15

List of generated particles:
C12: 108620 Emean = 423.06 keV ( 6.9128 eV --> 1.2903 MeV)
C13: 1704 Emean = 534.23 keV ( 51.493 eV --> 1.3396 MeV)
C14: 2 Emean = 1.2857 MeV ( 1.2848 MeV --> 1.2867 MeV)
C15: 1 Emean = 189.07 keV ( 189.07 keV --> 189.07 keV)
C135: 6536 Emean = 107.97 keV ( 1.1051 eV --> 491.97 keV)
C136: 1 Emean = 130.84 keV ( 130.84 keV --> 130.84 keV)
C137: 2454 Emean = 110.61 keV ( 21.352 eV --> 466.35 keV)
O16: 20889 Emean = 372.69 keV ( 18.504 eV --> 1.8058 MeV)
O17: 3 Emean = 421.7 keV ( 113.79 keV --> 908.69 keV)
O18: 34 Emean = 345.69 keV ( 9.295 keV --> 834.46 keV)
P32: 230 Emean = 711.49 keV ( 134.71 keV --> 1.1963 MeV)
P34: 1 Emean = 513.87 keV ( 513.87 keV --> 513.87 keV)
S35: 520 Emean = 225.86 keV ( 2.5408 keV --> 524.34 keV)
W180: 5 Emean = 14.804 keV ( 922.22 eV --> 37.81 keV)
W182: 1088 Emean = 19.464 keV ( 6.2418 eV --> 98.418 keV)
W183: 597 Emean = 20.165 keV ( 24.031 eV --> 92.736 keV)
W184: 1345 Emean = 19.464 keV ( 9.1689 eV --> 96.739 keV)
W185: 1 Emean = 22.881 keV ( 22.881 keV --> 22.881 keV)
W186: 1200 Emean = 17.784 keV ( 27.673 eV --> 96.492 keV)
W187: 1 Emean = 23.942 keV ( 23.942 keV --> 23.942 keV)
alpha: 779 Emean = 2.3822 MeV ( 50.297 keV --> 5.2403 MeV)
deuteron: 23 Emean = 1.8322 MeV ( 18.5 keV --> 3.9473 MeV)
gamma: 16272 Emean = 897.82 keV ( 247.46 eV --> 6.7215 MeV)
neutron: 4332 Emean = 1.4412 MeV ( 1.6452 keV --> 4.4461 MeV)
proton: 135968 Emean = 2.2743 MeV ( 70.61 eV --> 5.1134 MeV)

Momentum balance: Pmean = 19.788 keV ( 136.85 eV --> 289 keV)

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (Index) = 0
Current couple of seeds = 1385444361, 317095847
-----
Idle>
```

Şekil 4.19. %90 epoksi ve %10 tungsten karbür için simülasyon ekran görüntüsü

Çizelge 4.25. %100 epoksi için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi

Ürün Tipi	Parçacık Sayısı	Parçacığın Ortalama Enerjisi	Parçacığın Enerji Aralığı
^{12}C	57819	423.65 keV	0.070395 eV --> 1.2901 MeV
^{13}C	858	559.32 keV	493.84 eV --> 1.3374 MeV
^{35}Cl	3426	106.21 keV	39.57 eV --> 491.5 keV
^{37}Cl	1309	106.77 keV	51.151 eV --> 465.53 keV
^{16}O	10989	378.35 keV	6.8299 eV --> 1.0061 MeV
^{17}O	4	466.36 keV	244.6 keV --> 832.34 keV
^{18}O	25	418.5 keV	25.208 keV --> 847.18 keV
^{32}P	148	668.46 keV	185.36 keV --> 1.2154 MeV
^{35}S	262	237.15 keV	3.2792 keV --> 525.46 keV
Alfa (α)	401	2.5873 MeV	983.38 keV --> 5.2147 MeV
Döteron (D)	14	1.5501 MeV	149.68 keV --> 3.4806 MeV
Gama (γ)	3911	1.0299 MeV	215.34 eV --> 4.9465 MeV
Nötron (n)	1127	1.4718 MeV	17.329 keV --> 3.2775 MeV
Proton (p)	73883	2.2735 MeV	27.057 eV --> 5.1127 MeV
Ortalama momentum: 18.349 keV (38.589 eV --> 131.67 keV)			

```

aysegul@aysegul-VPCF24M1E:~/Hadr03
Nb of incident particles surviving after 1 cm of yeni : 851525

MeanFreePath: 4.8651 mm + 2.8816 mm      massic: 574.08 mg/cm2
CrossSection: 2.0555 cm^-1      massic: 1.7419 cm2/g

Verification: crossSections from G4Hadr03ProcessStore:
Transportation= 0 um2/mg
hadElastic= 13.493 mm2/mg
nCaptures= 0.34583 um2/mg
neutronInelastic= 176.09 um2/mg
Total= 13.67 mm2/g

List of nuclear reactions:
neutron + C12 --> N gamma + C13: 3 Q = 2.0027 MeV
neutron + C12 --> neutron + C12: 57819 Q = 154.85 eV
neutron + C13 --> neutron + C13: 602 Q = -35.75 keV
neutron + C135 --> N gamma + alpha + P32: 146 Q = 940.77 keV
neutron + C135 --> N gamma + neutron + C135: 816 Q = 2.4879 keV
neutron + C135 --> N gamma + proton + S35: 148 Q = 642.78 keV
neutron + C135 --> alpha + P32: 2 Q = 939.06 keV
neutron + C135 --> neutron + C135: 2610 Q = 23.324 eV
neutron + C135 --> proton + S35: 114 Q = 615.88 keV
neutron + C137 --> N gamma + neutron + C137: 386 Q = -136.0 eV
neutron + C137 --> neutron + C137: 1003 Q = 23.51 eV
neutron + H1 --> N gamma + deuteron: 3 Q = -46.003 keV
neutron + H1 --> neutron + proton: 73621 Q = 1.2389 keV
neutron + H2 --> neutron + deuteron: 11 Q = 371.41 eV
neutron + O16 --> N gamma + O17: 1 Q = -112.31 keV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + C13: 233 Q = -600.37 keV
neutron + O16 --> neutron + O16: 10989 Q = 103.78 eV
neutron + O17 --> neutron + O17: 3 Q = 139.44 eV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 5 Q = 137.40 eV
neutron + O18 --> neutron + O18: 20 Q = -23.632 keV

Number of gamma: N = 1 --> 7

List of generated particles:
C12: 57819 Emean = 423.65 keV ( 0.070395 eV --> 1.2901 MeV)
C13: 858 Emean = 559.32 keV ( 493.84 eV --> 1.3374 MeV)
C135: 3426 Emean = 106.21 keV ( 39.57 eV --> 491.5 keV)
C137: 1309 Emean = 106.77 keV ( 51.151 eV --> 465.53 keV)
O16: 10989 Emean = 378.35 keV ( 6.8299 eV --> 1.0061 MeV)
O17: 4 Emean = 466.36 keV ( 244.6 keV --> 832.34 keV)
O18: 25 Emean = 418.5 keV ( 25.208 keV --> 847.18 keV)
P32: 148 Emean = 668.46 keV ( 185.36 keV --> 1.2154 MeV)
S35: 262 Emean = 237.15 keV ( 3.2792 keV --> 525.46 keV)
alpha: 401 Emean = 2.5873 MeV ( 983.38 keV --> 5.2147 MeV)
deuteron: 14 Emean = 1.5501 MeV ( 149.68 keV --> 3.4806 MeV)
gamma: 3911 Emean = 1.0299 MeV ( 215.34 eV --> 4.9465 MeV)
neutron: 1127 Emean = 1.4718 MeV ( 17.329 keV --> 3.2775 MeV)
proton: 73883 Emean = 2.2735 MeV ( 27.057 eV --> 5.1127 MeV)

Momentum balance: Pmean = 18.349 keV ( 38.589 eV --> 131.67 keV)

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (index) = 0
Current couple of seeds = 227087116, 971373372
-----

```

Şekil 4.20. %100 epoksi için simülasyon ekran görüntüsü

Bizmut(Bi) malzemesi için sonuçlar;

Çizelge 4.26. %10 epoksi ve %90 Bizmut için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi

Ürün Tipi	Parçacık Sayısı	Parçacığın Ortalama Enerjisi	Parçacığın Enerji Aralığı
²⁰⁹ Bi	152929	16.544 keV	0.033033 eV --> 86.37 keV
²¹⁰ Bi	17	21.648 keV	19.815 keV --> 23.914 keV
¹² C	40663	423.99 keV	43.757 eV --> 1.29 MeV
¹³ C	652	530.08 keV	1.6576 keV --> 1.3298 MeV
¹⁵ C	2	189.11 keV	188.97 keV --> 189.25 keV
³⁵ Cl	2494	109.01 keV	44.709 eV --> 491.55 keV
³⁶ Cl	2	155.08 keV	135.01 keV --> 175.16 keV
³⁷ Cl	949	116.06 keV	72.97 eV --> 466.03 keV
³⁸ Cl	1	110.85 keV	110.85 keV --> 110.85 keV
¹⁶ O	7821	375.19 keV	33.219 eV --> 1.0057 MeV
¹⁷ O	1	224.77 keV	224.77 keV --> 224.77 keV
¹⁸ O	16	342.69 keV	20.576 keV --> 828.61 keV
³² P	101	714.75 keV	171.12 keV --> 1.2019 MeV
³⁵ S	195	218.12 keV	2.5886 keV --> 515.59 keV
Alfa (α)	298	2.5089 MeV	50.271 keV --> 5.2492 MeV
Döteron (D)	6	920.57 keV	64.769 keV --> 2.3004 MeV
Gama (γ)	114868	1.2179 MeV	1.8785 eV --> 9.4687 MeV
Nötron (n)	45246	1.3933 MeV	2.1655 keV --> 3.6038 MeV
Proton (p)	51589	2.2574 MeV	13.723 eV --> 5.1093 MeV
Ortalama momentum: 74.093 keV (110.17 eV --> 379.09 keV)			

```
aysegul@aysegul-VPCF24M1E:~/Hadr03
neutronInelastic 601.16 um2/mg
total= 3.3569 mm2/g

List of nuclear reactions:
neutron + B1209 --> N gamma + B1210: 17 Q = 3.0381 MeV
neutron + B1209 --> N gamma + neutron + B1209: 44389 Q = -496.07 eV
neutron + B1209 --> neutron + B1209: 108540 Q = 2.552 eV
neutron + C12 --> N gamma + C13: 1 Q = 9.4937 MeV
neutron + C12 --> neutron + C12: 40663 Q = 154.97 eV
neutron + C13 --> neutron + C13: 456 Q = -33.362 keV
neutron + C135 --> N gamma + C136: 2 Q = 15.071 MeV
neutron + C135 --> N gamma + alpha + P32: 100 Q = 946.79 keV
neutron + C135 --> N gamma + neutron + C135: 635 Q = 2.706 keV
neutron + C135 --> N gamma + proton + S35: 183 Q = 616.66 keV
neutron + C135 --> alpha + P32: 1 Q = 939.06 keV
neutron + C135 --> neutron + C135: 1869 Q = 24.22 eV
neutron + C135 --> proton + S35: 92 Q = 615.87 keV
neutron + C137 --> N gamma + C138: 1 Q = 7.8802 MeV
neutron + C137 --> N gamma + neutron + C137: 231 Q = 14.774 keV
neutron + C137 --> neutron + C137: 718 Q = 26.868 eV
neutron + H1 --> N gamma + deuteron: 1 Q = 24.731 keV
neutron + H1 --> neutron + proton: 51394 Q = 1.2218 keV
neutron + H2 --> neutron + deuteron: 5 Q = 175.53 eV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + C13: 195 Q = -627.89 keV
neutron + O16 --> neutron + alpha + O16: 7821 Q = 102.92 eV
neutron + O17 --> neutron + O17: 1 Q = 58.024 eV
neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15: 2 Q = -4.2585 MeV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 1 Q = 4.3074 keV
neutron + O18 --> neutron + O18: 15 Q = -19.8 keV

Number of gamma: N = 1 --> 8

List of generated particles:
B1209: 152929 Emean = 16.544 keV ( 0.833033 eV --> 86.37 keV)
B1210: 17 Emean = 21.448 keV ( 19.015 keV --> 23.014 keV)
C12: 40663 Emean = 423.99 keV ( 43.757 eV --> 1.29 MeV)
C13: 652 Emean = 530.08 keV ( 1.6576 keV --> 1.3298 MeV)
C15: 2 Emean = 189.11 keV ( 188.97 keV --> 189.25 keV)
C135: 2494 Emean = 109.01 keV ( 44.709 eV --> 491.55 keV)
C136: 2 Emean = 155.88 keV ( 135.01 keV --> 175.16 keV)
C137: 949 Emean = 116.06 keV ( 72.97 eV --> 466.03 keV)
C138: 1 Emean = 110.85 keV ( 110.85 keV --> 110.85 keV)
O16: 7821 Emean = 375.19 keV ( 33.219 eV --> 1.0057 MeV)
O17: 1 Emean = 224.77 keV ( 224.77 keV --> 224.77 keV)
O18: 16 Emean = 342.69 keV ( 20.576 keV --> 828.61 keV)
P32: 101 Emean = 714.75 keV ( 171.12 keV --> 1.2019 MeV)
S35: 195 Emean = 218.12 keV ( 2.5886 keV --> 515.59 keV)
alpha: 298 Emean = 2.5089 MeV ( 50.271 keV --> 5.2492 MeV)
deuteron: 6 Emean = 920.57 keV ( 64.769 keV --> 2.3004 MeV)
gamma: 114808 Emean = 1.2179 MeV ( 1.8785 eV --> 9.4687 MeV)
neutron: 45246 Emean = 1.3933 MeV ( 2.1655 keV --> 3.6038 MeV)
proton: 51589 Emean = 2.2574 MeV ( 13.723 eV --> 5.1093 MeV)

Momentum balance: Pmean = 74.093 keV ( 110.17 eV --> 379.09 keV)

----- Raney engine status -----
Initial seed (Index) = 0
Current couple of seeds = 270258428, 50199634
-----
Idle>
```

Şekil 4.21. %10 epoksi ve %90 bizmut için simülasyon ekran görüntüsü

Çizelge 4.27. %20 epoksi ve %80 Bizmut için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi

Ürün Tipi	Parçacık Sayısı	Parçacığın Ortalama Enerjisi	Parçacığın Enerji Aralığı
²⁰⁹ Bi	120037	16.413 keV	0.07858 eV --> 86.385 keV
²¹⁰ Bi	15	22.164 keV	19.054 keV --> 25.445 keV
¹² C	71986	423.04 keV	1.1573 eV --> 1.2904 MeV
¹³ C	1212	523.54 keV	6.5763 eV --> 1.3345 MeV
¹⁴ C	1	909.87 keV	909.87 keV --> 909.87 keV
¹⁵ C	2	189.05 keV	189.04 keV --> 189.07 keV
³⁵ Cl	4334	107.22 keV	33.872 eV --> 491.28 keV
³⁶ Cl	1	138.88 keV	138.88 keV --> 138.88 keV
³⁷ Cl	1626	117.44 keV	255.12 eV --> 463.95 keV
¹⁶ O	13716	373.91 keV	1.3829 eV --> 1.0053 MeV
¹⁷ O	6	424.36 keV	141.28 keV --> 843.05 keV
¹⁸ O	19	378.32 keV	7.2821 keV --> 894.94 keV
³² P	176	651.77 keV	85.512 keV --> 1.2126 MeV
²⁰⁹ Pb	1	78.976 keV	78.976 keV --> 78.976 keV
³⁵ S	376	231.45 keV	602.79 eV --> 521.3 keV
Alfa (α)	539	2.5017 MeV	50.289 keV --> 5.4089 MeV
Döteron (D)	13	1.8308 MeV	86.069 keV --> 3.8447 MeV
Gama (γ)	92117	1.2158 MeV	0.34714 eV --> 9.0999 MeV
Nötron (n)	36077	1.3971 MeV	14.366 keV --> 3.6037 MeV
Proton (p)	90936	2.2652 MeV	39.465 eV --> 5.1152 MeV
Ortalama momentum: 55.382 keV (215.91 eV --> 372.47 keV)			


```
aysegul@aysegul-VPCF24M1E:~/Hadr03
neutron + Bi209 --> N gamma + Bi210: 15 Q = 4.0260 MeV
neutron + Bi209 --> N gamma + neutron + Bi209: 34564 Q = -496.41 eV
neutron + Bi209 --> neutron + Bi209: 85473 Q = 2.5173 eV
neutron + Bi209 --> proton + Pb209: 1 Q = 156.04 keV
neutron + C12 --> N gamma + C13: 2 Q = 787.36 keV
neutron + C12 --> neutron + C12: 71986 Q = 154.63 eV
neutron + C13 --> neutron + C13: 850 Q = -33.385 keV
neutron + C13 --> N gamma + C136: 1 Q = 19.951 MeV
neutron + C13 --> N gamma + alpha + P32: 175 Q = 940.71 keV
neutron + C13 --> N gamma + neutron + C135: 1116 Q = -58.281 eV
neutron + C13 --> N gamma + proton + S35: 205 Q = 616.6 keV
neutron + C13 --> alpha + P32: 1 Q = 939.06 keV
neutron + C13 --> neutron + C135: 3218 Q = 23.276 eV
neutron + C13 --> proton + S35: 171 Q = 615.86 keV
neutron + C137 --> N gamma + neutron + C137: 394 Q = 26.061 keV
neutron + C137 --> neutron + C137: 1232 Q = 27.113 eV
neutron + H1 --> N gamma + deuteron: 1 Q = 41.108 keV
neutron + H1 --> neutron + proton: 90559 Q = 1.2258 keV
neutron + H2 --> neutron + deuteron: 12 Q = 487.13 eV
neutron + O16 --> N gamma + O17: 1 Q = -69.959 keV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + C13: 360 Q = -446.56 keV
neutron + O16 --> neutron + O16: 13716 Q = 102.56 eV
neutron + O17 --> N gamma + neutron + O17: 1 Q = -1.5066 keV
neutron + O17 --> alpha + C14: 1 Q = 1.8187 MeV
neutron + O17 --> neutron + O17: 4 Q = 120.19 eV
neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15: 2 Q = -4.2585 MeV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 2 Q = 2.2216 keV
neutron + O18 --> neutron + O18: 17 Q = -23.591 keV

Number of gamma: N = 1 --> 7

List of generated particles:
Bi209: 120037 Emean = 16.413 keV ( 0.07858 eV --> 86.385 keV)
Bi210: 15 Emean = 22.164 keV ( 19.054 keV --> 25.445 keV)
C12: 71986 Emean = 423.04 keV ( 1.1573 eV --> 1.2904 MeV)
C13: 1212 Emean = 523.54 keV ( 6.5763 eV --> 1.3345 MeV)
C14: 1 Emean = 909.87 keV ( 909.87 keV --> 909.87 keV)
C15: 2 Emean = 189.05 keV ( 189.04 keV --> 189.07 keV)
C135: 4334 Emean = 107.22 keV ( 33.872 eV --> 491.28 keV)
C136: 1 Emean = 138.88 keV ( 138.88 keV --> 138.88 keV)
C137: 1026 Emean = 117.44 keV ( 255.12 eV --> 463.95 keV)
O16: 13716 Emean = 373.91 keV ( 1.3029 eV --> 1.0653 MeV)
O17: 6 Emean = 424.36 keV ( 141.28 keV --> 843.05 keV)
O18: 19 Emean = 370.32 keV ( 7.2821 keV --> 894.94 keV)
P32: 176 Emean = 651.77 keV ( 85.512 keV --> 1.2126 MeV)
Pb209: 1 Emean = 78.976 keV ( 78.976 keV --> 78.976 keV)
S35: 376 Emean = 231.45 keV ( 602.79 eV --> 521.3 keV)
alpha: 539 Emean = 2.5017 MeV ( 50.280 keV --> 5.4809 MeV)
deuteron: 13 Emean = 1.8388 MeV ( 86.069 keV --> 3.8447 MeV)
gamma: 92117 Emean = 1.2158 MeV ( 0.34714 eV --> 9.0999 MeV)
neutron: 36077 Emean = 1.3971 MeV ( 14.366 keV --> 3.6037 MeV)
proton: 90930 Emean = 2.2652 MeV ( 39.465 eV --> 5.1152 MeV)

Momentum balance: Pmean = 55.302 keV ( 215.91 eV --> 372.47 keV)

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (index) = 0
Current couple of seeds = 1082728522, 1125061829
-----
Idle>
```

Şekil 4.22. %20 epoksi ve %80 bizmut için simülasyon ekran görüntüsü

Çizelge 4.28. %30 epoksi ve %70 Bizmut için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi

Ürün Tipi	Parçacık Sayısı	Parçacığın Ortalama Enerjisi	Parçacığın Enerji Aralığı
²⁰⁹ Bi	92166	16.523 keV	0.033266 eV --> 86.339 keV
²¹⁰ Bi	9	21.818 keV	19.059 keV --> 24.375 keV
¹² C	94645	422.12 keV	4.6842 eV --> 1.2904 MeV
¹³ C	1535	533.01 keV	6.5763 eV --> 1.3442 MeV
¹⁵ C	7	189.05 keV	188.97 keV --> 189.11 keV
³⁵ Cl	5594	107.78 keV	10.139 eV --> 491.55 keV
³⁶ Cl	1	123.1 keV	123.1 keV --> 123.1 keV
³⁷ Cl	2107	113.27 keV	73.657 eV --> 465.96 keV
¹⁶ O	17894	374.06 keV	3.6495 eV --> 1.0065 MeV
¹⁷ O	4	296.96 keV	98.768 keV --> 625.4 keV
¹⁸ O	33	376.58 keV	50.493 keV --> 831.9 keV
³² P	196	699.37 keV	191.19 keV --> 1.2058 MeV
²⁰⁹ Pb	1	9.0956 keV	9.0956 keV --> 9.0956 keV
³⁵ S	465	221.32 keV	1.5087 keV --> 525.09 keV
Alfa (α)	672	2.3327 MeV	50.273 keV --> 5.2311 MeV
Döteron (D)	22	1.5945 MeV	24.164 keV --> 3.9428 MeV
Gama (γ)	74266	1.2077 MeV	2.09 eV --> 7.5172 MeV
Nötron (n)	28872	1.4085 MeV	8.232 keV --> 3.6038 MeV
Proton (p)	119820	2.2663 MeV	10.826 eV --> 5.1144 MeV
Ortalama momentum: 44.271 keV (149.4 eV --> 347.72 keV)			

```
aysegul@aysegul-VPCF24M1E:~/Hadr03
hadElastic= 5.1417 mm2/g
nCapture= 0.24471 un2/mg
neutronInelastic= 506.7 un2/mg
total= 5.6487 mm2/g

List of nuclear reactions:
neutron + Bi209 --> N gamma + Bi210: 9 Q = 2.1265 MeV
neutron + Bi209 --> N gamma + neutron + Bi209: 26932 Q = -495.36 eV
neutron + Bi209 --> neutron + Bi209: 65234 Q = 2.2316 eV
neutron + Bi209 --> proton + Pb209: 1 Q = 156.84 keV
neutron + C12 --> neutron + C12: 94645 Q = 154.29 eV
neutron + C13 --> neutron + C13: 1866 Q = -32.245 keV
neutron + C13 --> N gamma + C136: 1 Q = 4.4273 MeV
neutron + C13 --> N gamma + alpha + P32: 196 Q = 940.72 keV
neutron + C13 --> N gamma + neutron + C135: 1433 Q = 2.3211 keV
neutron + C13 --> N gamma + proton + S35: 261 Q = 616.63 keV
neutron + C13 --> neutron + C135: 4161 Q = 23.212 eV
neutron + C13 --> proton + S35: 204 Q = 615.87 keV
neutron + C13 --> N gamma + neutron + C137: 506 Q = 20.294 keV
neutron + C13 --> neutron + C137: 1601 Q = 25.193 eV
neutron + H1 --> N gamma + deuteron: 3 Q = -21.572 keV
neutron + H1 --> neutron + proton: 119354 Q = 1.2267 keV
neutron + H2 --> neutron + deuteron: 19 Q = 405.52 eV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + C13: 469 Q = -424.47 keV
neutron + O16 --> neutron + O16: 17894 Q = 102.61 eV
neutron + O17 --> neutron + O17: 4 Q = 76.642 eV
neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15: 7 Q = -4.2588 MeV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 1 Q = -3.7168 keV
neutron + O18 --> neutron + O18: 32 Q = -22.069 keV

Number of gamma: N = 1 --> 7

List of generated particles:
Bi209: 92166 Emean = 16.523 keV ( 0.033266 eV --> 86.339 keV)
Bi210: 9 Emean = 21.818 keV ( 19.059 keV --> 24.375 keV)
C12: 94645 Emean = 422.12 keV ( 4.0842 eV --> 1.2904 MeV)
C13: 1535 Emean = 533.81 keV ( 6.5763 eV --> 1.3442 MeV)
C15: 7 Emean = 189.05 keV ( 188.97 keV --> 189.11 keV)
C136: 5594 Emean = 107.78 keV ( 10.139 eV --> 491.55 keV)
C137: 1 Emean = 123.1 keV ( 123.1 keV --> 123.1 keV)
C137: 2107 Emean = 113.27 keV ( 73.657 eV --> 465.96 keV)
O16: 17894 Emean = 374.06 keV ( 3.6495 eV --> 1.8065 MeV)
O17: 4 Emean = 296.96 keV ( 98.768 keV --> 625.4 keV)
O18: 33 Emean = 376.58 keV ( 50.493 keV --> 831.9 keV)
P32: 196 Emean = 699.37 keV ( 191.19 keV --> 1.2058 MeV)
Pb209: 1 Emean = 9.0956 keV ( 9.0956 keV --> 9.0956 keV)
S35: 465 Emean = 221.32 keV ( 1.5087 keV --> 525.09 keV)
alpha: 672 Emean = 2.3327 MeV ( 50.273 keV --> 5.2311 MeV)
deuteron: 22 Emean = 1.5945 MeV ( 24.164 keV --> 3.9428 MeV)
gamma: 74266 Emean = 1.2877 MeV ( 2.09 eV --> 7.5172 MeV)
neutron: 28872 Emean = 1.4885 MeV ( 8.232 keV --> 3.6038 MeV)
proton: 119820 Emean = 2.2663 MeV ( 10.026 eV --> 5.1144 MeV)

Momentum balance: Pmean = 44.271 keV ( 149.4 eV --> 347.72 keV)

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (index) = 0
Current couple of seeds = 543462320, 1577842670
-----
Idle>
```

Şekil 4.23. %30 epoksi ve %70 bizmut için simülasyon ekran görüntüsü

Çizelge 4.29. %40 epoksi ve %60 Bizmut için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi

Ürün Tipi	Parçacık Sayısı	Parçacığın Ortalama Enerjisi	Parçacığın Enerji Aralığı
²⁰⁹ Bi	68459	16.472 keV	0.066153 eV --> 86.365 keV
²¹⁰ Bi	6	21.565 keV	20.532 keV --> 22.6 keV
¹² C	109190	421.92 keV	3.996 eV --> 1.2902 MeV
¹³ C	1727	516.26 keV	6.5763 eV --> 1.3426 MeV
¹⁴ C	1	1.1103 MeV	1.1103 MeV --> 1.1103 MeV
¹⁵ C	2	189.02 keV	188.94 keV --> 189.1 keV
³⁵ Cl	6754	110.3 keV	4.8054 eV --> 491.39 keV
³⁷ Cl	2457	112.51 keV	6.9622 eV --> 466.17 keV
¹⁶ O	20808	370.64 keV	6.0315 eV --> 1.0058 MeV
¹⁷ O	16	327.91 keV	25.646 keV --> 907.74 keV
¹⁸ O	41	307.76 keV	1.9752 keV --> 813.44 keV
³² P	233	704.07 keV	161.43 keV --> 1.2094 MeV
³⁵ S	562	234.52 keV	3.2147 keV --> 524.81 keV
Alfa (α)	771	2.42 MeV	50.264 keV --> 5.2477 MeV
Döteron (D)	22	1.6257 MeV	24.164 keV --> 3.9473 MeV
Gama (γ)	57862	1.2008 MeV	2.9904 eV --> 7.4985 MeV
Nötron (n)	22144	1.3952 MeV	2.0686 keV --> 3.6037 MeV
Proton (p)	138343	2.2649 MeV	85.701 eV --> 5.1119 MeV
Ortalama momentum: 36.879 keV (103.25 eV --> 341.22 keV)			

```
aysegul@aysegul-VPCF24M1E:~/Hadr03
neutronInelastic: 459.47 um2/mg
total= 6.7945 mm2/g

List of nuclear reactions:
neutron + B1209 --> N gamma + B1210: 6 Q = 3.1262 MeV
neutron + B1209 --> N gamma + neutron + B1209: 19861 Q = -498.45 eV
neutron + B1209 --> neutron + B1209: 48598 Q = 2.5373 eV
neutron + C12 --> N gamma + C13: 1 Q = 18.656 MeV
neutron + C12 --> neutron + C12: 109190 Q = 154.22 eV
neutron + C13 --> neutron + C13: 1191 Q = -32.336 keV
neutron + C135 --> N gamma + alpha + P32: 233 Q = 940.72 keV
neutron + C135 --> N gamma + neutron + C135: 1684 Q = 2.2076 keV
neutron + C135 --> N gamma + proton + S35: 292 Q = 616.65 keV
neutron + C135 --> neutron + C135: 5070 Q = 24.228 eV
neutron + C135 --> proton + S35: 270 Q = 615.87 keV
neutron + C137 --> N gamma + neutron + C137: 590 Q = 5.671 keV
neutron + C137 --> neutron + C137: 1867 Q = 25.344 eV
neutron + H1 --> N gamma + deuteron: 2 Q = -17.614 keV
neutron + H1 --> neutron + proton: 137780 Q = 1.2256 keV
neutron + H2 --> neutron + deuteron: 20 Q = 425.08 eV
neutron + H2 --> proton + 2 neutron: 1 Q = -2.2117 MeV
neutron + O16 --> N gamma + O17: 2 Q = -753.84 keV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + C13: 535 Q = -499.03 keV
neutron + O16 --> neutron + O16: 20808 Q = 101.67 eV
neutron + O17 --> N gamma + neutron + O17: 2 Q = -212.37 eV
neutron + O17 --> alpha + C14: 1 Q = 1.8179 MeV
neutron + O17 --> neutron + O17: 12 Q = 89.949 eV
neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15: 2 Q = -4.2586 MeV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 5 Q = 1.0312 keV
neutron + O18 --> neutron + O18: 36 Q = -18.752 keV

Number of gamma: N = 1 --> 8

List of generated particles:
B1209: 68459 Emean = 16.472 keV ( 0.066153 eV --> 86.365 keV)
B1210: 6 Emean = 21.565 keV ( 20.532 keV --> 22.6 keV)
C12: 109190 Emean = 421.92 keV ( 3.996 eV --> 1.2902 MeV)
C13: 1727 Emean = 516.26 keV ( 6.5763 eV --> 1.3426 MeV)
C14: 1 Emean = 1.1103 MeV ( 1.1103 MeV --> 1.1103 MeV)
C15: 2 Emean = 189.02 keV ( 188.94 keV --> 189.1 keV)
C135: 6754 Emean = 110.3 keV ( 4.8054 eV --> 491.39 keV)
C137: 2457 Emean = 112.51 keV ( 6.9622 eV --> 466.17 keV)
O16: 20808 Emean = 370.64 keV ( 6.0315 eV --> 1.0058 MeV)
O17: 16 Emean = 327.91 keV ( 25.646 keV --> 907.74 keV)
O18: 41 Emean = 307.76 keV ( 1.9752 keV --> 813.44 keV)
P32: 233 Emean = 704.07 keV ( 161.43 keV --> 1.2094 MeV)
S35: 562 Emean = 234.52 keV ( 3.2147 keV --> 524.81 keV)
alpha: 771 Emean = 2.42 MeV ( 50.264 keV --> 5.2477 MeV)
deuteron: 22 Emean = 1.6357 MeV ( 24.164 keV --> 3.9473 MeV)
gamma: 57862 Emean = 1.2088 MeV ( 2.9904 eV --> 7.4905 MeV)
neutron: 22144 Emean = 1.3952 MeV ( 2.0486 keV --> 3.6037 MeV)
proton: 138343 Emean = 2.2649 MeV ( 85.701 eV --> 5.1119 MeV)

Momentum balance: Pmean = 36.879 keV ( 103.25 eV --> 341.22 keV)

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (index) = 0
Current couple of seeds = 1755411832, 1919444714

Idle>
```

Şekil 4.24. %40 epoksi ve %60 bizmut için simülasyon ekran görüntüsü

Çizelge 4.30. %50 epoksi ve %50 Bizmut için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi

Ürün Tipi	Parçacık Sayısı	Parçacığın Ortalama Enerjisi	Parçacığın Enerji Aralığı
²⁰⁹ Bi	49217	16.575 keV	0.1406 eV --> 86.366 keV
²¹⁰ Bi	5	21.441 keV	20.996 keV --> 21.998 keV
¹² C	118063	421.52 keV	4.8762 eV --> 1.2902 MeV
¹³ C	1928	525.05 keV	28.992 eV --> 1.3348 MeV
¹⁴ C	1	556.58 keV	556.58 keV --> 556.58 keV
¹⁵ C	1	189.03 keV	189.03 keV --> 189.03 keV
³⁵ Cl	7108	108.64 keV	12.208 eV --> 491.72 keV
³⁷ Cl	2692	114.88 keV	20.959 eV --> 466.23 keV
¹⁶ O	22335	370.02 keV	49.637 eV --> 1.0062 MeV
¹⁷ O	4	219.88 keV	98.768 keV --> 272.34 keV
¹⁸ O	36	331.76 keV	7.9816 keV --> 886.93 keV
³² P	264	690.38 keV	122.19 keV --> 1.2101 MeV
³⁵ S	583	227.31 keV	3.0802 keV --> 524.89 keV
Alfa (α)	882	2.4048 MeV	50.287 keV --> 5.7621 MeV
Döteron (D)	22	1.4875 MeV	18.603 keV --> 3.9979 MeV
Gama (γ)	44474	1.1981 MeV	1.8785 eV --> 5.9896 MeV
Nötron (n)	16778	1.3919 MeV	15.441 keV --> 3.6038 MeV
Proton (p)	149466	2.2689 MeV	7.4538 eV --> 5.112 MeV
Ortalama momentum: 31.509 keV (127.73 eV --> 348.19 keV)			

```
aysegul@aysegul-VPCF24M1E:~/Hadr03
nCapture= 0.27337 um2/mg
neutronInelastic= 412.24 um2/mg
total= 7.9405 mm2/g

List of nuclear reactions:
neutron + Bi209 --> N gamma + Bi210: 5 Q = 3.7261 MeV
neutron + Bi209 --> N gamma + neutron + Bi209: 14344 Q = -498.89 eV
neutron + Bi209 --> neutron + Bi209: 34873 Q = 2.5478 eV
neutron + C12 --> N gamma + C13: 1 Q = 5.7484 MeV
neutron + C12 --> neutron + C12: 118063 Q = 154.87 eV
neutron + C13 --> neutron + C13: 1311 Q = -31.984 keV
neutron + C135 --> N gamma + alpha + P32: 260 Q = 940.67 keV
neutron + C135 --> N gamma + neutron + C135: 1745 Q = 888.6 eV
neutron + C135 --> N gamma + proton + S35: 312 Q = 616.63 keV
neutron + C135 --> alpha + P32: 4 Q = 939.06 keV
neutron + C135 --> neutron + C135: 5363 Q = 24.038 eV
neutron + C135 --> proton + S35: 271 Q = 615.87 keV
neutron + C137 --> N gamma + neutron + C137: 681 Q = 4.6476 keV
neutron + C137 --> neutron + C137: 2011 Q = 26 eV
neutron + H1 --> N gamma + deuteron: 5 Q = -4.7814 keV
neutron + H1 --> neutron + proton: 148883 Q = 1.228 keV
neutron + H2 --> neutron + deuteron: 17 Q = 341.95 eV
neutron + O16 --> N gamma + O17: 2 Q = 674.89 keV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + C13: 616 Q = -381.11 keV
neutron + O16 --> neutron + O16: 22335 Q = 101.5 eV
neutron + O17 --> alpha + C14: 1 Q = 1.8187 MeV
neutron + O17 --> neutron + O17: 2 Q = 43.907 eV
neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15: 1 Q = -4.2579 MeV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 8 Q = -801.35 eV
neutron + O18 --> neutron + O18: 28 Q = -21.528 keV

Number of gamma: N = 1 --> 7

List of generated particles:
Bi209: 49217 Enean = 16.575 keV ( 0.1406 eV --> 86.366 keV)
Bi210: 5 Enean = 21.441 keV ( 20.996 keV --> 21.998 keV)
C12: 118063 Enean = 421.52 keV ( 4.8762 eV --> 1.2902 MeV)
C13: 1928 Enean = 525.05 keV ( 28.992 eV --> 1.3348 MeV)
C14: 1 Enean = 556.58 keV ( 556.58 keV --> 556.58 keV)
C15: 1 Enean = 189.03 keV ( 189.03 keV --> 189.03 keV)
C135: 7108 Enean = 108.64 keV ( 12.208 eV --> 491.72 keV)
C137: 2692 Enean = 114.88 keV ( 20.959 eV --> 466.23 keV)
O16: 22335 Enean = 370.02 keV ( 49.637 eV --> 1.0062 MeV)
O17: 4 Enean = 219.88 keV ( 98.768 keV --> 272.34 keV)
O18: 36 Enean = 331.76 keV ( 7.9816 keV --> 886.93 keV)
P32: 264 Enean = 690.38 keV ( 122.19 keV --> 1.2101 MeV)
S35: 583 Enean = 227.31 keV ( 3.0802 keV --> 524.89 keV)
alpha: 882 Enean = 2.4048 MeV ( 50.287 keV --> 5.7621 MeV)
deuteron: 22 Enean = 1.4875 MeV ( 18.003 keV --> 3.9979 MeV)
gamma: 44474 Enean = 1.1981 MeV ( 1.8785 eV --> 5.9896 MeV)
neutron: 16778 Enean = 1.3919 MeV ( 15.441 keV --> 3.6038 MeV)
proton: 149466 Enean = 2.2689 MeV ( 7.4538 eV --> 5.112 MeV)

Momentum balance: Pmean = 31.509 keV ( 127.73 eV --> 348.19 keV)

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (Index) = 0
Current couple of seeds = 1542457104, 1348835626
-----
Idle>
```

Şekil 4.25. %50 epoksi ve %50 bizmut için simülasyon ekran görüntüsü

Çizelge 4.31. %60 epoksi ve %40 Bizmut için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi

Ürün Tipi	Parçacık Sayısı	Parçacığın Ortalama Enerjisi	Parçacığın Enerji Aralığı
²⁰⁹ Bi	33860	16.476 keV	0.15582 eV --> 86.313 keV
²¹⁰ Bi	4	20.378 keV	18.358 keV --> 21.873 keV
¹² C	120930	421.09 keV	3.9037 eV --> 1.2901 MeV
¹³ C	1839	534.76 keV	180.27 eV --> 1.3374 MeV
¹⁵ C	4	188.99 keV	188.92 keV --> 189.09 keV
³⁵ Cl	7270	107.38 keV	45.175 eV --> 491.72 keV
³⁷ Cl	2812	114.44 keV	6.9622 eV --> 466.06 keV
¹⁶ O	22695	373.85 keV	17.186 eV --> 1.0062 MeV
¹⁷ O	14	316.57 keV	11.655 keV --> 800.13 keV
¹⁸ O	40	400.13 keV	51.988 keV --> 897.78 keV
³² P	264	644.17 keV	157.08 keV --> 1.2016 MeV
³⁵ S	615	223.05 keV	1.0979 keV --> 520.19 keV
Alfa (α)	893	2.3982 MeV	50.26 keV --> 5.2322 MeV
Döteron (D)	22	1.4315 MeV	10.985 keV --> 3.9419 MeV
Gama (γ)	33365	1.1805 MeV	4.5569 eV --> 8.3619 MeV
Nötron (n)	12325	1.4136 MeV	11.751 keV --> 3.6035 MeV
Proton (p)	152798	2.2673 MeV	32.431 eV --> 5.1148 MeV
Ortalama momentum: 27.646 keV (143.86 eV --> 335.42 keV)			


```
aysegul@aysegul-VPCF24M1E:~/Hadr03
neutronInelastic= 365.01 um2/mg
total= 9.0862 mm2/g

List of nuclear reactions:
neutron + B1209 --> N gamma + B1210: 4 Q = 3.5 MeV
neutron + B1209 --> N gamma + neutron + B1209: 9860 Q = -499.73 eV
neutron + B1209 --> neutron + B1209: 23992 Q = 2.5127 eV
neutron + C12 --> N gamma + C13: 8 Q = 1.7376 MeV
neutron + C12 --> neutron + C12: 120930 Q = 153.91 eV
neutron + C13 --> neutron + C13: 1286 Q = -32.319 keV
neutron + C135 --> N gamma + alpha + P32: 261 Q = 940.72 keV
neutron + C135 --> N gamma + neutron + C135: 1769 Q = 2.3165 keV
neutron + C135 --> N gamma + proton + S35: 356 Q = 616.65 keV
neutron + C135 --> alpha + P32: 3 Q = 939.67 keV
neutron + C135 --> neutron + C135: 5581 Q = 23.848 eV
neutron + C135 --> proton + S35: 259 Q = 615.87 keV
neutron + C137 --> N gamma + neutron + C137: 679 Q = 14.888 keV
neutron + C137 --> neutron + C137: 2133 Q = 25.819 eV
neutron + H1 --> N gamma + deuteron: 2 Q = 3.9475 keV
neutron + H1 --> neutron + proton: 152182 Q = 1.2273 keV
neutron + H2 --> neutron + deuteron: 20 Q = 366.42 eV
neutron + H2 --> proton + 2 neutron: 1 Q = -2.2149 MeV
neutron + O16 --> N gamma + O17: 2 Q = 2.6368 MeV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + C13: 635 Q = -481.54 keV
neutron + O16 --> neutron + O16: 22695 Q = 102.55 eV
neutron + O17 --> N gamma + neutron + O17: 2 Q = -12.093 eV
neutron + O17 --> neutron + O17: 10 Q = 69.729 eV
neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15: 3 Q = -4.2584 MeV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 5 Q = -863.66 eV
neutron + O18 --> alpha + C15: 1 Q = -4.2666 MeV
neutron + O18 --> neutron + O18: 35 Q = -24.15 keV

Number of gamma: N = 1 --> 8

List of generated particles:
B1209: 33860 Emean = 16.476 keV ( 0.15582 eV --> 86.313 keV)
B1210: 4 Emean = 20.378 keV ( 18.358 keV --> 21.673 keV)
C12: 120930 Emean = 421.09 keV ( 3.9037 eV --> 1.2901 MeV)
C13: 1839 Emean = 534.76 keV ( 180.27 eV --> 1.3374 MeV)
C15: 4 Emean = 188.99 keV ( 188.92 keV --> 189.09 keV)
C135: 7270 Emean = 107.38 keV ( 45.175 eV --> 491.72 keV)
C137: 2812 Emean = 114.44 keV ( 6.9622 eV --> 466.06 keV)
O16: 22695 Emean = 373.85 keV ( 27.186 eV --> 1.0662 MeV)
O17: 14 Emean = 316.57 keV ( 11.655 keV --> 800.13 keV)
O18: 40 Emean = 480.13 keV ( 51.988 keV --> 897.78 keV)
P32: 264 Emean = 644.17 keV ( 157.08 keV --> 1.2016 MeV)
S35: 615 Emean = 223.05 keV ( 1.0979 keV --> 520.19 keV)
alpha: 893 Emean = 2.3982 MeV ( 50.26 keV --> 5.2322 MeV)
deuteron: 22 Emean = 1.4315 MeV ( 10.985 keV --> 3.9419 MeV)
gamma: 33365 Emean = 1.1805 MeV ( 4.5569 eV --> 8.3619 MeV)
neutron: 12325 Emean = 1.4136 MeV ( 11.751 keV --> 3.6035 MeV)
proton: 152798 Emean = 2.2673 MeV ( 32.431 eV --> 5.1148 MeV)

Momentum balance: Pmean = 27.646 keV ( 143.86 eV --> 335.42 keV)

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (index) = 0
Current couple of seeds = 1229577936, 634970270
-----
Idle>
```

Şekil 4.26. %60 epoksi ve %40 bizmut için simülasyon ekran görüntüsü

Çizelge 4.32. %70 epoksi ve %30 Bizmut için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi

Ürün Tipi	Parçacık Sayısı	Parçacığın Ortalama Enerjisi	Parçacığın Enerji Aralığı
²⁰⁹ Bi	20872	16.174 keV	0.99363 eV --> 86.322 keV
²¹⁰ Bi	3	21.59 keV	20.836 keV --> 22.13 keV
¹² C	116531	423.31 keV	0.1657 eV --> 1.2901 MeV
¹³ C	1809	540.98 keV	482.43 eV --> 1.3369 MeV
¹⁴ C	2	1.4312 MeV	548.26 keV --> 2.3142 MeV
¹⁵ C	2	189.01 keV	188.99 keV --> 189.03 keV
³⁵ Cl	7100	108.07 keV	3.4746 eV --> 491.24 keV
³⁶ Cl	2	127.78 keV	120.56 keV --> 135.01 keV
³⁷ Cl	2717	110.18 keV	6.9622 eV --> 466.06 keV
³⁸ Cl	1	125.13 keV	125.13 keV --> 125.13 keV
¹⁶ O	22000	368.97 keV	11.968 eV --> 1.0064 MeV
¹⁷ O	9	518.41 keV	159.06 keV --> 893.23 keV
¹⁸ O	50	299.1 keV	9.4665 keV --> 897.78 keV
³² P	270	664.32 keV	184.6 keV --> 1.2094 MeV
³⁵ S	600	235.27 keV	2.6172 keV --> 525.03 keV
Alfa (α)	849	2.4746 MeV	50.276 keV --> 5.7704 MeV
Döteron (D)	17	931.11 keV	51.281 keV --> 3.8049 MeV
Gama (γ)	23589	1.1571 MeV	15.672 eV --> 9.6447 MeV
Nötron (n)	8399	1.4035 MeV	5.5504 keV --> 3.6037 MeV
Proton (p)	147467	2.2681 MeV	26.72 eV --> 5.1133 MeV
Ortalama momentum: 24.56 keV (51.231 eV --> 357.73 keV)			

```
aysegul@aysegul-VPCF24M1E-~/Hadr03
neutron + Bi209 --> N gamma + Bi210: 3 Q = 4.6262 MeV
neutron + Bi209 --> N gamma + neutron + Bi209: 5971 Q = -492.64 eV
neutron + Bi209 --> neutron + Bi209: 14981 Q = 2.4987 eV
neutron + C12 --> N gamma + C13: 2 Q = 889.97 keV
neutron + C12 --> neutron + C12: 116531 Q = 154.72 eV
neutron + C13 --> neutron + C13: 1232 Q = -33.799 keV
neutron + C13 --> N gamma + C136: 2 Q = 11.297 MeV
neutron + C13 --> N gamma + alpha + P32: 263 Q = 940.75 keV
neutron + C13 --> N gamma + neutron + C135: 1757 Q = 2.9486 keV
neutron + C13 --> N gamma + proton + S35: 329 Q = 616.63 keV
neutron + C13 --> alpha + P32: 7 Q = 939.07 keV
neutron + C13 --> neutron + C135: 5343 Q = 24.03 eV
neutron + C13 --> proton + S35: 271 Q = 615.87 keV
neutron + C13 --> N gamma + C138: 1 Q = 1.1113 MeV
neutron + C13 --> N gamma + neutron + C137: 665 Q = 9.7036 keV
neutron + C13 --> neutron + C137: 2052 Q = 24.918 eV
neutron + H1 --> neutron + proton: 146866 Q = 1.2275 keV
neutron + H2 --> neutron + deuteron: 17 Q = 253.41 eV
neutron + H2 --> proton + 2 neutron: 1 Q = -2.0589 MeV
neutron + O16 --> N gamma + O17: 2 Q = 247.46 keV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + C13: 575 Q = -594.05 keV
neutron + O16 --> neutron + O16: 22000 Q = 101.21 eV
neutron + O17 --> N gamma + alpha + C14: 1 Q = 1.8169 MeV
neutron + O17 --> N gamma + neutron + O17: 1 Q = 0.035335 eV
neutron + O17 --> alpha + C14: 1 Q = 1.8187 MeV
neutron + O17 --> neutron + O17: 6 Q = 169.95 eV
neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15: 2 Q = -4.2592 MeV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 3 Q = 1.2564 keV
neutron + O18 --> neutron + O18: 47 Q = -17.802 keV

Number of gamma: N = 1 --> 8

List of generated particles:
Bi209: 20872 Enean = 16.174 keV ( 0.99363 eV --> 86.322 keV)
Bi210: 3 Enean = 21.59 keV ( 20.836 keV --> 22.13 keV)
C12: 116531 Enean = 423.31 keV ( 0.1657 eV --> 1.2901 MeV)
C13: 1809 Enean = 540.98 keV ( 482.43 eV --> 1.3369 MeV)
C14: 2 Enean = 1.4312 MeV ( 548.26 keV --> 2.3142 MeV)
C15: 2 Enean = 189.01 keV ( 188.99 keV --> 189.03 keV)
C135: 7100 Enean = 108.07 keV ( 3.4746 eV --> 491.24 keV)
C136: 2 Enean = 127.78 keV ( 120.56 keV --> 135.01 keV)
C137: 2717 Enean = 110.18 keV ( 6.9622 eV --> 466.06 keV)
C138: 1 Enean = 125.13 keV ( 125.13 keV --> 125.13 keV)
O16: 22000 Enean = 368.97 keV ( 11.968 eV --> 1.0064 MeV)
O17: 9 Enean = 518.41 keV ( 159.06 keV --> 893.23 keV)
O18: 50 Enean = 299.1 keV ( 9.4665 keV --> 897.78 keV)
P32: 270 Enean = 664.32 keV ( 184.6 keV --> 1.2094 MeV)
S35: 600 Enean = 235.27 keV ( 2.6172 keV --> 525.03 keV)
alpha: 849 Enean = 2.4746 MeV ( 50.276 keV --> 5.7704 MeV)
deuteron: 17 Enean = 931.11 keV ( 51.281 keV --> 3.8049 MeV)
gamma: 23589 Enean = 1.1571 MeV ( 15.072 eV --> 9.6447 MeV)
neutron: 8399 Enean = 1.4035 MeV ( 5.5504 keV --> 3.6837 MeV)
proton: 147467 Enean = 2.2681 MeV ( 26.72 eV --> 5.1133 MeV)

Momentum balance: Pmean = 24.56 keV ( 51.231 eV --> 357.73 keV)

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (Index) = 0
Current couple of seeds = 1166329747, 1563665777
Idle>
```

Şekil 4.27. %70 epoksi ve %30 bizmut için simülasyon ekran görüntüsü

Çizelge 4.33. %80 epoksi ve %20 Bizmut için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi

Ürün Tipi	Parçacık Sayısı	Parçacığın Ortalama Enerjisi	Parçacığın Enerji Aralığı
²⁰⁹ Bi	10999	16.683 keV	1.3011 eV --> 86.453 keV
²¹⁰ Bi	1	23.822 keV	23.822 keV --> 23.822 keV
¹² C	104991	423.16 keV	2.1574 eV --> 1.2905 MeV
¹³ C	1690	526.32 keV	246.69 eV --> 1.3339 MeV
¹⁴ C	1	1.8129 MeV	1.8129 MeV --> 1.8129 MeV
¹⁵ C	7	189.06 keV	188.93 keV --> 189.2 keV
³⁵ Cl	6445	108.66 keV	2.1612 eV --> 491.58 keV
³⁶ Cl	1	151.09 keV	151.09 keV --> 151.09 keV
³⁷ Cl	2455	110.42 keV	23.587 eV --> 466.17 keV
¹⁶ O	19933	372.97 keV	4.1382 eV --> 1.0068 MeV
¹⁷ O	9	294.34 keV	46.776 keV --> 715.11 keV
¹⁸ O	33	344.36 keV	16.457 keV --> 846.9 keV
³² P	227	668.29 keV	167.35 keV --> 1.2131 MeV
³⁵ S	515	231.91 keV	1.9704 keV --> 523.88 keV
Alfa (α)	774	2.3789 MeV	50.262 keV --> 5.2319 MeV
Döteron (D)	10	1.8846 MeV	9.8543 keV --> 3.9419 MeV
Gama (γ)	15596	1.1501 MeV	2.09 eV --> 11.383 MeV
Nötron (n)	5393	1.3968 MeV	29.095 keV --> 3.6028 MeV
Proton (p)	133394	2.2643 MeV	8.0676 eV --> 5.1138 MeV
Ortalama momentum: 22.082 keV (169.73 eV --> 313.66 keV)			

```

aysegul@aysegul-VPCF24M1E:~/Hadr03
List of nuclear reactions:
neutron + Bi209 --> N gamma + Bi210: 1 Q = 4.6285 MeV
neutron + Bi209 --> N gamma + neutron + Bi209: 3248 Q = -497.59 eV
neutron + Bi209 --> neutron + Bi209: 7751 Q = 2.5576 eV
neutron + C12 --> N gamma + C13: 5 Q = 568.32 keV
neutron + C12 --> neutron + C12: 104991 Q = 154.67 eV
neutron + C13 --> neutron + C13: 1146 Q = -31.795 keV
neutron + C13 --> N gamma + C136: 1 Q = 7.0534 MeV
neutron + C135 --> N gamma + alpha + P32: 220 Q = 940.08 keV
neutron + C135 --> N gamma + neutron + C135: 1573 Q = 4.4996 keV
neutron + C135 --> N gamma + proton + S35: 285 Q = 624.87 keV
neutron + C135 --> alpha + P32: 7 Q = 939.05 keV
neutron + C135 --> neutron + C135: 4872 Q = 24.043 eV
neutron + C135 --> proton + S35: 230 Q = 615.86 keV
neutron + C137 --> N gamma + neutron + C137: 564 Q = 15.169 keV
neutron + C137 --> neutron + C137: 1891 Q = 25.062 eV
neutron + H1 --> N gamma + deuteron: 2 Q = 37.654 keV
neutron + H1 --> neutron + proton: 132878 Q = 1.2256 keV
neutron + H2 --> neutron + deuteron: 8 Q = 483.45 eV
neutron + H2 --> proton + 2 neutron: 1 Q = -2.0572 MeV
neutron + O16 --> N gamma + O17: 1 Q = 1.212 MeV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + C13: 539 Q = -510.95 keV
neutron + O16 --> neutron + O16: 19933 Q = 102.31 eV
neutron + O17 --> N gamma + neutron + O17: 2 Q = 0.067458 eV
neutron + O17 --> alpha + C14: 1 Q = 1.8182 MeV
neutron + O17 --> neutron + O17: 6 Q = 83.702 eV
neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15: 7 Q = -4.2585 MeV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 4 Q = 1.3431 keV
neutron + O18 --> neutron + O18: 29 Q = -20.119 keV

Number of gamma: N = 1 --> 8

List of generated particles:
Bi209: 10999 Emean = 16.683 keV ( 1.3011 eV --> 86.453 keV)
Bi210: 1 Emean = 23.022 keV ( 23.022 keV --> 23.022 keV)
C12: 104991 Emean = 423.16 keV ( 2.1574 eV --> 1.2905 MeV)
C13: 1690 Emean = 526.32 keV ( 246.69 eV --> 1.3339 MeV)
C14: 1 Emean = 1.8129 MeV ( 1.8129 MeV --> 1.8129 MeV)
C15: 7 Emean = 109.06 keV ( 108.93 keV --> 109.2 keV)
C135: 6445 Emean = 108.06 keV ( 2.1612 eV --> 491.58 keV)
C136: 1 Emean = 151.09 keV ( 151.09 keV --> 151.09 keV)
C137: 2455 Emean = 110.42 keV ( 23.587 eV --> 466.17 keV)
O16: 19933 Emean = 372.97 keV ( 4.1382 eV --> 1.0008 MeV)
O17: 9 Emean = 294.34 keV ( 46.776 keV --> 715.11 keV)
O18: 33 Emean = 344.36 keV ( 16.457 keV --> 846.9 keV)
P32: 227 Emean = 668.29 keV ( 167.35 keV --> 1.2131 MeV)
S35: 515 Emean = 231.91 keV ( 1.9704 keV --> 523.88 keV)
alpha: 774 Emean = 2.3789 MeV ( 30.262 keV --> 5.2319 MeV)
deuteron: 10 Emean = 1.8846 MeV ( 9.8543 keV --> 3.9419 MeV)
gamma: 15596 Emean = 1.1501 MeV ( 2.09 eV --> 11.383 MeV)
neutron: 5393 Emean = 1.3968 MeV ( 29.095 keV --> 3.6028 MeV)
proton: 133394 Emean = 2.2643 MeV ( 8.0676 eV --> 5.1138 MeV)

Momentum balance: Pmean = 22.082 keV ( 169.73 eV --> 313.66 keV)

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (index) = 0
Current couple of seeds = 1343161837, 1224176372
-----
Idle>

```

Şekil 4.28. %80 epoksi ve %20 bizmut için simülasyon ekran görüntüsü

Çizelge 4.34. %90 epoksi ve %10 Bizmut için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi

Ürün Tipi	Parçacık Sayısı	Parçacığın Ortalama Enerjisi	Parçacığın Enerji Aralığı
²⁰⁹ Bi	4113	16.361 keV	0.23656 eV --> 86.287 keV
¹² C	86538	423.32 keV	3.3067 eV --> 1.2905 MeV
¹³ C	1402	523.17 keV	708.72 eV --> 1.3379 MeV
¹⁵ C	2	189.12 keV	189.08 keV --> 189.15 keV
³⁵ Cl	5386	108.52 keV	1.562 eV --> 491.78 keV
³⁶ Cl	3	131.43 keV	115.65 keV --> 151.09 keV
³⁷ Cl	1942	109.86 keV	23.587 eV --> 466.09 keV
¹⁶ O	16654	373.01 keV	29.442 eV --> 1.0056 MeV
¹⁷ O	7	445.36 keV	50.151 keV --> 811.65 keV
¹⁸ O	34	323.06 keV	6.9803 keV --> 872.46 keV
³² P	185	680.97 keV	184.09 keV --> 1.216 MeV
³⁴ P	1	139.22 keV	139.22 keV --> 139.22 keV
³⁵ S	433	230.71 keV	1.6398 keV --> 524.44 keV
Alfa (α)	636	2.3759 MeV	50.3 keV --> 5.2464 MeV
Döteron (D)	12	1.4793 MeV	246.27 keV --> 3.7706 MeV
Gama (γ)	9297	1.118 MeV	5.5891 eV --> 11.383 MeV
Nötron (n)	3050	1.4425 MeV	13.367 keV --> 3.5988 MeV
Proton (p)	109317	2.2715 MeV	19.75 eV --> 5.1142 MeV
Ortalama momentum: 20.192 keV (53.373 eV --> 291.14 keV)			

```
aysegul@aysegul-VPCF24M1E:~/Hadr03
neutronInelastic= 223.33 um2/mg
total= 12.524 nm2/g

List of nuclear reactions:

neutron + Bi209 --> N gamma + neutron + Bi209: 1285 Q = -490.83 eV
neutron + Bi209 --> neutron + Bi209: 2988 Q = 2.4958 eV
neutron + C12 --> N gamma + C13: 2 Q = 822.07 keV
neutron + C12 --> neutron + C12: 86538 Q = 154.73 eV
neutron + C13 --> neutron + C13: 952 Q = -31.795 keV
neutron + C13 --> N gamma + C136: 3 Q = 3.2694 MeV
neutron + C135 --> N gamma + alpha + P32: 181 Q = 940.78 keV
neutron + C135 --> N gamma + neutron + C135: 1347 Q = 2.5364 keV
neutron + C135 --> N gamma + proton + S35: 252 Q = 618.78 keV
neutron + C135 --> alpha + P32: 4 Q = 939.05 keV
neutron + C135 --> neutron + C135: 4039 Q = 23.89 eV
neutron + C135 --> proton + S35: 181 Q = 615.87 keV
neutron + C137 --> N gamma + alpha + P34: 1 Q = -1.5631 MeV
neutron + C137 --> N gamma + neutron + C137: 493 Q = 20.799 keV
neutron + C137 --> neutron + C137: 1449 Q = 24.913 eV
neutron + H1 --> N gamma + deuteron: 1 Q = -110.46 keV
neutron + H1 --> neutron + proton: 108884 Q = 1.2296 keV
neutron + H2 --> neutron + deuteron: 11 Q = 385.62 eV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + C13: 448 Q = -513.94 keV
neutron + O16 --> neutron + O16: 16654 Q = 102.32 eV
neutron + O17 --> N gamma + neutron + O17: 1 Q = 0.010762 eV
neutron + O17 --> neutron + O17: 6 Q = 111.42 eV
neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15: 1 Q = -4.2593 MeV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 4 Q = -334.87 eV
neutron + O18 --> alpha + C15: 1 Q = -4.2686 MeV
neutron + O18 --> neutron + O18: 30 Q = -18.648 keV

Number of gamma: N = 1 --> 7

List of generated particles:

Bi209: 4113 Emean = 16.361 keV ( 0.23656 eV --> 86.287 keV)
C12: 86538 Emean = 423.32 keV ( 3.3067 eV --> 1.2905 MeV)
C13: 1402 Emean = 523.17 keV ( 708.72 eV --> 1.3379 MeV)
C15: 2 Emean = 189.12 keV ( 189.08 keV --> 189.15 keV)
C136: 5386 Emean = 108.52 keV ( 1.562 eV --> 491.70 keV)
C136: 3 Emean = 131.43 keV ( 115.65 keV --> 151.09 keV)
C137: 1942 Emean = 109.86 keV ( 23.587 eV --> 466.09 keV)
O16: 16654 Emean = 373.01 keV ( 29.442 eV --> 1.0056 MeV)
O17: 7 Emean = 445.36 keV ( 50.151 keV --> 811.65 keV)
O18: 34 Emean = 323.06 keV ( 6.9803 keV --> 872.46 keV)
P32: 185 Emean = 680.97 keV ( 184.09 keV --> 1.216 MeV)
P34: 1 Emean = 139.22 keV ( 139.22 keV --> 139.22 keV)
S35: 433 Emean = 230.71 keV ( 1.6398 keV --> 524.44 keV)
alpha: 636 Emean = 2.3759 MeV ( 50.3 keV --> 5.2464 MeV)
deuteron: 12 Emean = 1.4793 MeV ( 246.27 keV --> 3.7706 MeV)
gamma: 9297 Emean = 1.118 MeV ( 5.5891 eV --> 11.383 MeV)
neutron: 3050 Emean = 1.4425 MeV ( 13.367 keV --> 3.5988 MeV)
proton: 109317 Emean = 2.2715 MeV ( 19.75 eV --> 5.1142 MeV)

Momentum balance: Pmean = 20.192 keV ( 53.373 eV --> 291.14 keV)

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (index) = 0
Current couple of seeds = 907139086, 1733841212
-----
Idle>
```

Şekil 4.29. %90 epoksi ve %10 bizmut için simülasyon ekran görüntüsü

Çizelge 4.35. %100 epoksi için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi

Ürün Tipi	Parçacık Sayısı	Parçacığın Ortalama Enerjisi	Parçacığın Enerji Aralığı
^{12}C	58034	425.63 keV	4.1494 eV --> 1.2902 MeV
^{13}C	877	547.39 keV	85.793 eV --> 1.3375 MeV
^{15}C	2	189 keV	188.9 keV --> 189.11 keV
^{35}Cl	3600	106.06 keV	70.383 eV --> 491.19 keV
^{37}Cl	1322	117.11 keV	15.438 eV --> 466.06 keV
^{16}O	10708	371.47 keV	12.251 eV --> 1.0061 MeV
^{17}O	9	501.22 keV	125.01 keV --> 940.13 keV
^{18}O	21	409.24 keV	12.122 keV --> 849.8 keV
^{32}P	130	689.89 keV	169.84 keV --> 1.2048 MeV
^{35}S	308	243.94 keV	4.604 keV --> 524.65 keV
Alfa (α)	434	2.3948 MeV	50.255 keV --> 5.2278 MeV
Döteron (D)	10	1.4241 MeV	202.99 keV --> 2.9954 MeV
Gama (γ)	4104	1.0552 MeV	340.41 eV --> 4.9463 MeV
Nötron (n)	1171	1.462 MeV	10.618 keV --> 3.4604 MeV
Proton (p)	73263	2.2682 MeV	12.026 eV --> 5.1112 MeV
Ortalama momentum: 18.421 keV (191.73 eV --> 130.91 keV)			

```

aysegul@aysegul-VPCF24M1E: ~/Hadr03
MeanFreePath: 4.8598 nm +- 2.8878 nm      massic: 573.45 mg/cm2
CrossSection: 2.0577 cm^2-1      massic: 1.7438 cm2/g

Verification: crosssections from G4Hadr03ProcessStore:
Transportation: 0 um2/mg
hadElastic: 13.494 nm2/g
ncapture: 0.34802 um2/mg
neutronInelastic: 176.1 um2/mg
total: 13.67 nm2/g

List of nuclear reactions:
neutron + C12 --> N gamma + C13: 1 Q = 824.6 keV
neutron + C12 --> neutron + C12: 58034 Q = 155.57 eV
neutron + C13 --> neutron + C13: 574 Q = -33.146 keV
neutron + C135 --> N gamma + alpha + P32: 126 Q = 946.02 keV
neutron + C135 --> N gamma + neutron + C135: 864 Q = 3.7721 keV
neutron + C135 --> N gamma + proton + S35: 175 Q = 616.69 keV
neutron + C135 --> alpha + P32: 4 Q = 939.56 keV
neutron + C135 --> neutron + C135: 2736 Q = 23.187 eV
neutron + C135 --> proton + S35: 133 Q = 615.87 keV
neutron + C137 --> N gamma + neutron + C137: 303 Q = -162.49 eV
neutron + C137 --> neutron + C137: 1019 Q = 27.307 eV
neutron + H1 --> N gamma + deuteron: 1 Q = -9.1768 keV
neutron + H1 --> neutron + proton: 72955 Q = 1.2275 keV
neutron + H2 --> neutron + deuteron: 9 Q = 362.67 eV
neutron + O16 --> N gamma + O17: 1 Q = 8.641 MeV
neutron + O16 --> N gamma + C13: 382 Q = -446.14 keV
neutron + O16 --> neutron + O16: 10708 Q = 181.9 eV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + C13: 1 Q = 0.024888 eV
neutron + O17 --> N gamma + neutron + O17: 1 Q = 151.75 eV
neutron + O18 --> N gamma + alpha + C13: 2 Q = -4.2889 MeV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 3 Q = 376.86 eV
neutron + O18 --> neutron + O18: 18 Q = -24.784 keV

Number of gamma: N = 1 --> 8

List of generated particles:
C12: 58034 Emean = 425.63 keV ( 4.1494 eV --> 1.2902 MeV)
C13: 877 Emean = 547.39 keV ( 85.793 eV --> 1.3375 MeV)
C15: 2 Emean = 189 keV ( 188.9 keV --> 189.11 keV)
C135: 3600 Emean = 106.06 keV ( 70.383 eV --> 491.19 keV)
C137: 1322 Emean = 117.11 keV ( 15.438 eV --> 466.06 keV)
O16: 10708 Emean = 371.47 keV ( 12.251 eV --> 1.0061 MeV)
O17: 9 Emean = 501.22 keV ( 125.01 keV --> 940.13 keV)
O18: 21 Emean = 409.24 keV ( 12.122 keV --> 849.8 keV)
P32: 130 Emean = 689.89 keV ( 169.84 keV --> 1.2048 MeV)
S35: 308 Emean = 243.94 keV ( 4.604 keV --> 524.65 keV)
alpha: 434 Emean = 2.3948 MeV ( 50.255 keV --> 5.2278 MeV)
deuteron: 10 Emean = 1.4241 MeV ( 202.99 keV --> 2.9954 MeV)
gamma: 4104 Emean = 1.0552 MeV ( 340.41 eV --> 4.9463 MeV)
neutron: 1171 Emean = 1.462 MeV ( 10.618 keV --> 3.4604 MeV)
proton: 73263 Emean = 2.2682 MeV ( 12.026 eV --> 5.1112 MeV)

Momentum balance: Pmean = 18.421 keV ( 191.73 eV --> 130.91 keV)

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (index) = 0
Current couple of seeds = 1737237605, 2133377088
-----
[Idle]

```

Şekil 4.30.%100 epoksi için simülasyon ekran görüntüsü

Tantal(Ta) malzemesi için sonuçlar;

Çizelge 4.36. %10 epoksi ve %90 Tantal için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi

Ürün Tipi	Parçacık Sayısı	Parçacığın Ortalama Enerjisi	Parçacığın Enerji Aralığı
¹² C	63964	422.45 keV	3.996 eV --> 1.2902 MeV
¹³ C	1043	531.4 keV	9.5406 eV --> 1.3371 MeV
¹⁵ C	1	189.17 keV	189.17 keV --> 189.17 keV
³⁵ Cl	3894	107.09 keV	4.8903 eV --> 491.67 keV
³⁶ Cl	3	140 keV	134.98 keV --> 144.77 keV
³⁷ Cl	1512	116.15 keV	72.029 eV --> 466.25 keV
¹⁶ O	12033	370.14 keV	7.9605 eV --> 1.006 MeV
¹⁷ O	4	227.56 keV	197.33 keV --> 264.1 keV
¹⁸ O	27	325.05 keV	6.761 keV --> 838 keV
³² P	148	706 keV	191.63 keV --> 1.195 MeV
³⁵ S	306	228.22 keV	4.539 keV --> 524.55 keV
¹⁸⁰ Ta	31	15.483 keV	1.008 keV --> 61.973 keV
¹⁸¹ Ta	224264	19.418 keV	0.080181 eV --> 99.52 keV
¹⁸² Ta	199	25.045 keV	20.834 keV --> 30.306 keV
Alfa (α)	475	2.4314 MeV	50.322 keV --> 5.1938 MeV
Döteron (D)	12	1.2286 MeV	135.48 keV --> 3.3691 MeV
Gama (γ)	452712	836.33 keV	71.829 eV --> 8.5798 MeV
Nötron (n)	106492	1.2734 MeV	2.0372 keV --> 4.493 MeV
Proton (p)	81392	2.269 MeV	166.79 eV --> 5.1113 MeV
Ortalama momentum: 162.35 keV (185.91 eV --> 10.552 MeV)			

```
aysegul@aysegul-VPCE24M1E:~/Hadr03
List of nuclear reactions:

neutron + C12 --> N gamma + C13: 2 Q = 776.05 keV
neutron + C12 --> neutron + C12: 63964 Q = 154.41 eV
neutron + C13 --> neutron + C13: 715 Q = 32.082 keV
neutron + C13 --> N gamma + C136: 1 Q = 5.0406 MeV
neutron + C135 --> N gamma + alpha + P32: 147 Q = 940.71 keV
neutron + C135 --> N gamma + neutron + C135: 937 Q = 82.981 eV
neutron + C135 --> N gamma + proton + S35: 153 Q = 630.32 keV
neutron + C135 --> alpha + P32: 1 Q = 939.05 keV
neutron + C135 --> neutron + C135: 2957 Q = 23.552 eV
neutron + C135 --> proton + S35: 153 Q = 615.07 keV
neutron + C137 --> N gamma + neutron + C137: 366 Q = 14.82 keV
neutron + C137 --> neutron + C137: 1146 Q = 26.419 eV
neutron + H1 --> N gamma + deuteron: 3 Q = 18.52 keV
neutron + H1 --> neutron + proton: 81086 Q = 1.228 keV
neutron + H2 --> neutron + deuteron: 9 Q = 237.73 eV
neutron + O16 --> N gamma + O17: 2 Q = 334.96 keV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + C13: 326 Q = 461.02 keV
neutron + O16 --> neutron + O16: 12033 Q = 101.53 eV
neutron + O17 --> neutron + O17: 2 Q = 51.25 eV
neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15: 1 Q = 4.2583 MeV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 2 Q = 6.031874 eV
neutron + O18 --> neutron + O18: 25 Q = 19.958 keV
neutron + Ta180 --> N gamma + Ta181: 1 Q = 3.3796 MeV
neutron + Ta180 --> N gamma + neutron + Ta180: 11 Q = 102.42 keV
neutron + Ta180 --> neutron + Ta180: 20 Q = 1.3964 eV
neutron + Ta181 --> N gamma + Ta182: 199 Q = 2.3374 MeV
neutron + Ta181 --> N gamma + neutron + Ta181: 105176 Q = 343.25 keV
neutron + Ta181 --> neutron + Ta181: 119087 Q = 2.1004 eV

Number of gamma: N = 1 --> 15

List of generated particles:

C12: 63964 Emean = 422.45 keV ( 3.996 eV --> 1.2902 MeV)
C13: 1043 Emean = 531.4 keV ( 9.5406 eV --> 1.3371 MeV)
C15: 1 Emean = 189.17 keV ( 189.17 keV --> 189.17 keV)
C135: 3894 Emean = 107.09 keV ( 4.8903 eV --> 491.67 keV)
C136: 3 Emean = 140 keV ( 134.98 keV --> 144.77 keV)
C137: 1512 Emean = 116.15 keV ( 72.029 eV --> 466.25 keV)
O16: 12033 Emean = 379.14 keV ( 7.9605 eV --> 1.006 MeV)
O17: 4 Emean = 227.56 keV ( 197.33 keV --> 264.1 keV)
O18: 27 Emean = 325.05 keV ( 6.761 keV --> 838 keV)
P32: 148 Emean = 706 keV ( 191.63 keV --> 1.195 MeV)
S35: 306 Emean = 228.22 keV ( 4.539 keV --> 524.55 keV)
Ta180: 31 Emean = 15.483 keV ( 1.008 keV --> 61.973 keV)
Ta181: 224264 Emean = 19.418 keV ( 0.080181 eV --> 99.52 keV)
Ta182: 199 Emean = 25.045 keV ( 20.834 keV --> 30.306 keV)
alpha: 475 Emean = 2.4314 MeV ( 50.322 keV --> 5.1938 MeV)
deuteron: 12 Emean = 1.2286 MeV ( 135.48 keV --> 3.3691 MeV)
gamma: 452712 Emean = 836.33 keV ( 71.029 eV --> 8.5798 MeV)
neutron: 106492 Emean = 1.2734 MeV ( 2.0372 keV --> 4.493 MeV)
proton: 81392 Emean = 2.269 MeV ( 166.79 eV --> 5.1113 MeV)

Momentum balance: Pmean = 162.35 keV ( 185.91 eV --> 10.352 MeV)

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (index) = 0
Current couple of seeds = 1634970502, 1369250170
-----
Idle>
```

Şekil 4.31. %10 epoksi ve %90 tantal için simülasyon ekran görüntüsü

Çizelge 4.37. %20 epoksi ve %80 Tantal için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi

Ürün Tipi	Parçacık Sayısı	Parçacığın Ortalama Enerjisi	Parçacığın Enerji Aralığı
¹² C	109489	422.7 keV	3.3702 eV --> 1.2901 MeV
¹³ C	1761	522.56 keV	6.5763 eV --> 1.3443 MeV
¹⁵ C	6	189.08 keV	188.96 keV --> 189.2 keV
³⁵ Cl	6778	108.65 keV	22.488 eV --> 491.39 keV
³⁷ Cl	2638	110.85 keV	73.657 eV --> 465.7 keV
¹⁶ O	20736	374.96 keV	66.675 eV --> 1.0045 MeV
¹⁷ O	8	382.16 keV	56.976 keV --> 790.64 keV
¹⁸ O	44	312 keV	21.818 keV --> 839.27 keV
³² P	263	674.38 keV	132.26 keV --> 1.207 MeV
³⁴ P	1	533.59 keV	533.59 keV --> 533.59 keV
³⁵ S	572	234.09 keV	1.8836 keV --> 525.15 keV
¹⁸⁰ Ta	27	18.396 keV	463.39 eV --> 65.272 keV
¹⁸¹ Ta	169811	19.501 keV	0.011642 eV --> 99.579 keV
¹⁸² Ta	129	25.087 keV	21.98 keV --> 28.303 keV
Alfa (α)	843	2.4279 MeV	50.268 keV --> 5.25 MeV
Döteron (D)	17	1.7699 MeV	61.913 keV --> 3.9427 MeV
Gama (γ)	348340	836.29 keV	126.47 eV --> 6.2502 MeV
Nötron (n)	82029	1.2738 MeV	1.2639 keV --> 4.4928 MeV
Proton (p)	137968	2.2621 MeV	38.768 eV --> 5.114 MeV
Ortalama momentum: 111.53 keV (117.21 eV --> 11.617 MeV)			

```
aysegul@aysegul-VPCF24M1E:~/Hadr03
total= 4.4041 mm2/g

List of nuclear reactions:

neutron + C12 --> neutron + C12: 109489 Q = 154.5 eV
neutron + C13 --> neutron + C13: 1188 Q = -31.854 keV
neutron + C135 --> N gamma + alpha + P32: 261 Q = 940.71 keV
neutron + C135 --> N gamma + neutron + C135: 1789 Q = 7.8254 keV
neutron + C135 --> N gamma + proton + S35: 319 Q = 623.91 keV
neutron + C135 --> alpha + P32: 2 Q = 939.06 keV
neutron + C135 --> neutron + C135: 5069 Q = 23.633 eV
neutron + C135 --> proton + S35: 253 Q = 615.86 keV
neutron + C137 --> N gamma + neutron + C137: 656 Q = 31.151 keV
neutron + C137 --> alpha + P34: 1 Q = -1.5639 MeV
neutron + C137 --> neutron + C137: 1982 Q = 24.979 eV
neutron + H1 --> N gamma + deuteron: 1 Q = -72.755 keV
neutron + H1 --> neutron + proton: 137396 Q = 1.2243 keV
neutron + H2 --> neutron + deuteron: 16 Q = 474.04 eV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + C13: 573 Q = -475.98 keV
neutron + O16 --> neutron + O16: 20736 Q = 102.85 eV
neutron + O17 --> N gamma + neutron + O17: 2 Q = 0.038174 eV
neutron + O17 --> neutron + O17: 6 Q = 101.44 eV
neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15: 6 Q = -4.2586 MeV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 4 Q = -1.0349 keV
neutron + O18 --> neutron + O18: 40 Q = -18.468 keV
neutron + Ta180 --> N gamma + neutron + Ta180: 12 Q = 750.04 keV
neutron + Ta180 --> neutron + Ta180: 15 Q = 1.933 eV
neutron + Ta181 --> N gamma + Ta182: 129 Q = 2.1585 MeV
neutron + Ta181 --> N gamma + neutron + Ta181: 79646 Q = 337.88 keV
neutron + Ta181 --> neutron + Ta181: 90165 Q = 2.1228 eV

Number of gamma: N = 1 --> 13

List of generated particles:

C12: 109489 Emean = 422.7 keV ( 3.3702 eV --> 1.2901 MeV)
C13: 1761 Emean = 522.56 keV ( 6.5763 eV --> 1.3443 MeV)
C15: 6 Emean = 189.08 keV ( 188.96 keV --> 189.2 keV)
C135: 6778 Emean = 108.65 keV ( 22.488 eV --> 491.39 keV)
C137: 2638 Emean = 119.85 keV ( 73.657 eV --> 405.7 keV)
O16: 20736 Emean = 374.96 keV ( 66.075 eV --> 1.0045 MeV)
O17: 8 Emean = 382.16 keV ( 56.976 keV --> 790.64 keV)
O18: 44 Emean = 312 keV ( 21.818 keV --> 839.27 keV)
P32: 263 Emean = 674.38 keV ( 132.26 keV --> 1.207 MeV)
P34: 1 Emean = 533.59 keV ( 533.59 keV --> 533.59 keV)
S35: 572 Emean = 234.09 keV ( 1.8836 keV --> 525.15 keV)
Ta180: 27 Emean = 18.396 keV ( 463.39 eV --> 65.272 keV)
Ta181: 169811 Emean = 19.501 keV ( 0.011642 eV --> 99.579 keV)
Ta182: 129 Emean = 25.087 keV ( 21.98 keV --> 28.303 keV)
alpha: 843 Emean = 2.4279 MeV ( 50.268 keV --> 5.25 MeV)
deuteron: 17 Emean = 1.7699 MeV ( 61.913 keV --> 3.9427 MeV)
gamma: 348340 Emean = 836.29 keV ( 126.47 eV --> 6.2502 MeV)
neutron: 82029 Emean = 1.2738 MeV ( 1.2639 keV --> 4.4928 MeV)
proton: 137968 Emean = 2.2621 MeV ( 38.768 eV --> 5.114 MeV)

Momentum balance: Pmean = 111.53 keV ( 117.21 eV --> 11.617 MeV)

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (Index) = 0
Current couple of seeds = 1771901477, 254561330
-----
Idle>
```

Şekil 4.32. %20 epoksi ve %80 tantal için simülasyon ekran görüntüsü

Çizelge 4.38. %30 epoksi ve %70 Tantal için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi

Ürün Tipi	Parçacık Sayısı	Parçacığın Ortalama Enerjisi	Parçacığın Enerji Aralığı
¹² C	140631	422.83 keV	1.6895 eV --> 1.2901 MeV
¹³ C	2279	546.15 keV	256.25 eV --> 1.3408 MeV
¹⁴ C	1	1.2016 MeV	1.2016 MeV --> 1.2016 MeV
¹⁵ C	5	189.1 keV	188.99 keV --> 189.21 keV
³⁵ Cl	8575	107.83 keV	19.747 eV --> 491.97 keV
³⁶ Cl	3	136.76 keV	131.32 keV --> 144.77 keV
³⁷ Cl	3168	114.74 keV	18.103 eV --> 464.49 keV
¹⁶ O	26551	371.14 keV	28.313 eV --> 1.0046 MeV
¹⁷ O	11	206.03 keV	13.385 keV --> 582.66 keV
¹⁸ O	57	381.64 keV	13.828 keV --> 884.45 keV
³² P	345	658.37 keV	122.28 keV --> 1.2111 MeV
³⁵ S	751	230.7 keV	2.026 keV --> 523.33 keV
¹⁸⁰ Ta	24	16.594 keV	751.44 eV --> 98.287 keV
¹⁸¹ Ta	127626	19.454 keV	0.061613 eV --> 99.516 keV
¹⁸² Ta	136	25.242 keV	22.419 keV --> 29.275 keV
Alfa (α)	1124	2.4182 MeV	50.277 keV --> 5.2371 MeV
Döteron (D)	21	1.5741 MeV	10.985 keV --> 3.9803 MeV
Gama (γ)	267648	839.79 keV	44.127 eV --> 9.1186 MeV
Nötron (n)	63036	1.277 MeV	1.755 keV --> 4.4929 MeV
Proton (p)	178021	2.268 MeV	5.4939 eV --> 5.1139 MeV
Ortalama momentum: 83.309 keV (127.73 eV --> 11.617 MeV)			

```
aysegul@aysegul-VPCF24M1E:~/Hadr03
neutron + C12 --> N gamma + C13: 1 Q = 2.0379 MeV
neutron + C12 --> neutron + C12: 140631 Q = 154.55 eV
neutron + C13 --> neutron + C13: 1505 Q = -32.729 keV
neutron + C135 --> N gamma + C136: 3 Q = 12.425 MeV
neutron + C135 --> N gamma + alpha + P32: 341 Q = 940.65 keV
neutron + C135 --> N gamma + neutron + C135: 2166 Q = 5.0692 keV
neutron + C135 --> N gamma + proton + S35: 420 Q = 616.6 keV
neutron + C135 --> alpha + P32: 4 Q = 939.06 keV
neutron + C135 --> neutron + C135: 6489 Q = 23.253 eV
neutron + C135 --> proton + S35: 331 Q = 615.87 keV
neutron + C137 --> N gamma + neutron + C137: 734 Q = 15.423 keV
neutron + C137 --> neutron + C137: 2414 Q = 26.412 eV
neutron + H1 --> N gamma + deuteron: 6 Q = -48.232 keV
neutron + H1 --> neutron + proton: 177270 Q = 1.2274 keV
neutron + H2 --> neutron + deuteron: 15 Q = 357.19 eV
neutron + O16 --> N gamma + O17: 1 Q = -1.1893 MeV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + C13: 773 Q = -528.78 keV
neutron + O16 --> neutron + O16: 26551 Q = 101.81 eV
neutron + O17 --> alpha + C14: 1 Q = 1.8186 MeV
neutron + O17 --> neutron + O17: 10 Q = 51.897 eV
neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15: 3 Q = -4.2587 MeV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 6 Q = -731.62 eV
neutron + O18 --> alpha + C15: 2 Q = -4.2606 MeV
neutron + O18 --> neutron + O18: 51 Q = -22.302 keV
neutron + Ta180 --> N gamma + neutron + Ta180: 8 Q = -179.25 keV
neutron + Ta180 --> neutron + Ta180: 16 Q = 2.4057 eV
neutron + Ta181 --> N gamma + Ta182: 136 Q = 3.5267 MeV
neutron + Ta181 --> N gamma + neutron + Ta181: 60102 Q = 340.36 keV
neutron + Ta181 --> neutron + Ta181: 67524 Q = 2.1053 eV

Number of gamma: N = 1 --> 16

List of generated particles:
C12: 140631 Emean = 422.83 keV ( 1.6895 eV --> 1.2901 MeV)
C13: 2279 Emean = 546.15 keV ( 256.25 eV --> 1.3408 MeV)
C14: 1 Emean = 1.2010 MeV ( 1.2010 MeV --> 1.2010 MeV)
C15: 5 Emean = 189.1 keV ( 188.99 keV --> 189.21 keV)
C136: 8575 Emean = 107.83 keV ( 19.747 eV --> 491.97 keV)
C136: 3 Emean = 136.76 keV ( 131.32 keV --> 144.77 keV)
C137: 3168 Emean = 114.74 keV ( 10.103 eV --> 464.49 keV)
O16: 26551 Emean = 371.14 keV ( 28.313 eV --> 1.0046 MeV)
O17: 11 Emean = 206.83 keV ( 13.385 keV --> 582.66 keV)
O18: 57 Emean = 381.64 keV ( 13.828 keV --> 884.45 keV)
P32: 345 Emean = 658.37 keV ( 122.28 keV --> 1.2111 MeV)
S35: 751 Emean = 230.7 keV ( 2.026 keV --> 523.33 keV)
Ta180: 24 Emean = 16.594 keV ( 751.44 eV --> 98.287 keV)
Ta181: 127626 Emean = 19.454 keV ( 0.061613 eV --> 99.516 keV)
Ta182: 136 Emean = 25.242 keV ( 22.419 keV --> 29.275 keV)
alpha: 1124 Emean = 2.4182 MeV ( 50.277 keV --> 5.2371 MeV)
deuteron: 21 Emean = 1.5741 MeV ( 10.985 keV --> 3.9803 MeV)
gamma: 267648 Emean = 839.79 keV ( 44.127 eV --> 9.1188 MeV)
neutron: 63036 Emean = 1.277 MeV ( 1.755 keV --> 4.4929 MeV)
proton: 178021 Emean = 2.268 MeV ( 5.4939 eV --> 5.1139 MeV)

Momentum balance: Pmean = 83.309 keV ( 127.73 eV --> 11.617 MeV)

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (index) = 0
Current couple of seeds = 385908981, 243456656
-----
Idle>
```

Şekil 4.33. %30 epoksi ve %70 tantal için simülasyon ekran görüntüsü

Çizelge 4.39. %40 epoksi ve %60 Tantal için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi

Ürün Tipi	Parçacık Sayısı	Parçacığın Ortalama Enerjisi	Parçacığın Enerji Aralığı
¹² C	161047	423.34 keV	1.1776 eV --> 1.2902 MeV
¹³ C	2530	533.84 keV	256.25 eV --> 1.3328 MeV
¹⁴ C	1	984.98 keV	984.98 keV --> 984.98 keV
¹⁵ C	6	189.11 keV	188.95 keV --> 189.22 keV
³⁵ Cl	9858	109.06 keV	13.273 eV --> 491.85 keV
³⁶ Cl	1	126.67 keV	126.67 keV --> 126.67 keV
³⁷ Cl	3644	115.46 keV	9.3478 eV --> 465.87 keV
³⁸ Cl	1	136.24 keV	136.24 keV --> 136.24 keV
¹⁶ O	30412	373.67 keV	5.337 eV --> 1.0063 MeV
¹⁷ O	8	275.75 keV	69.628 keV --> 945.62 keV
¹⁸ O	56	364.03 keV	306.7 eV --> 884.45 keV
³² P	354	701.23 keV	141.85 keV --> 1.2167 MeV
³⁵ S	817	228.11 keV	2.7392 keV --> 523.41 keV
¹⁸⁰ Ta	8	20.954 keV	473.38 eV --> 68.674 keV
¹⁸¹ Ta	93212	19.464 keV	0.17561 eV --> 99.514 keV
¹⁸² Ta	79	25.03 keV	22.213 keV --> 28.45 keV
Alfa (α)	1178	2.3807 MeV	50.267 keV --> 5.3337 MeV
Döteron (D)	35	1.779 MeV	124.37 keV --> 3.9405 MeV
Gama (γ)	198096	845.78 keV	44.127 eV --> 6.5601 MeV
Nötron (n)	47065	1.2808 MeV	1.3823 keV --> 4.4935 MeV
Proton (p)	203717	2.2635 MeV	11.827 eV --> 5.1131 MeV
Ortalama momentum: 64.582 keV (118.66 eV --> 13.64 MeV)			

```
aysegul@aysegul-VPCF24M1E:~/Hadr03
neutron + C135 --> N gamma + C136: 1 Q = 9.5405 MeV
neutron + C135 --> N gamma + alpha + P32: 347 Q = 940.69 keV
neutron + C135 --> N gamma + neutron + C135: 2587 Q = 2.9585 keV
neutron + C135 --> N gamma + proton + S35: 420 Q = 620.20 keV
neutron + C135 --> alpha + P32: 7 Q = 939.60 keV
neutron + C135 --> neutron + C135: 7351 Q = 23.773 eV
neutron + C135 --> proton + S35: 389 Q = 615.87 keV
neutron + C137 --> N gamma + C138: 1 Q = 1.7441 MeV
neutron + C137 --> N gamma + neutron + C137: 893 Q = -201.04 eV
neutron + C137 --> neutron + C137: 2751 Q = 26.515 eV
neutron + H1 --> N gamma + deuteron: 6 Q = -11.71 keV
neutron + H1 --> neutron + proton: 202900 Q = 1.2249 keV
neutron + H2 --> neutron + deuteron: 29 Q = 456.68 eV
neutron + O16 --> N gamma + O17: 1 Q = -2.2779 MeV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + C13: 817 Q = -418.49 keV
neutron + O16 --> neutron + O16: 30412 Q = 102.5 eV
neutron + O17 --> N gamma + neutron + O17: 1 Q = -938.28 eV
neutron + O17 --> alpha + C14: 1 Q = 1.8167 MeV
neutron + O17 --> neutron + O17: 6 Q = 89.149 eV
neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15: 5 Q = -4.2586 MeV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 2 Q = -3.2204 keV
neutron + O18 --> alpha + C15: 1 Q = -4.2607 MeV
neutron + O18 --> neutron + O18: 54 Q = -21.429 keV
neutron + Ta180 --> N gamma + neutron + Ta180: 3 Q = 0.077121 eV
neutron + Ta180 --> neutron + Ta180: 5 Q = 3.2937 eV
neutron + Ta181 --> N gamma + Ta182: 79 Q = 1.4939 MeV
neutron + Ta181 --> N gamma + neutron + Ta181: 43659 Q = 341.62 keV
neutron + Ta181 --> neutron + Ta181: 49553 Q = 2.1176 eV

Number of gamma: N = 1 --> 13

List of generated particles:
C12: 161847 Emean = 423.34 keV ( 1.1776 eV --> 1.2902 MeV)
C13: 2530 Emean = 533.84 keV ( 256.25 eV --> 1.3328 MeV)
C14: 1 Emean = 984.98 keV ( 984.98 keV --> 984.98 keV)
C15: 0 Emean = 189.11 keV ( 188.95 keV --> 189.22 keV)
C135: 9858 Emean = 109.06 keV ( 13.273 eV --> 491.85 keV)
C136: 1 Emean = 126.67 keV ( 126.67 keV --> 126.67 keV)
C137: 3044 Emean = 115.46 keV ( 9.3478 eV --> 465.87 keV)
C138: 1 Emean = 136.24 keV ( 136.24 keV --> 136.24 keV)
O16: 30412 Emean = 373.67 keV ( 5.337 eV --> 1.0063 MeV)
O17: 8 Emean = 275.75 keV ( 69.628 keV --> 945.62 keV)
O18: 50 Emean = 364.03 keV ( 306.7 eV --> 804.45 keV)
P32: 354 Emean = 701.23 keV ( 141.85 keV --> 1.2107 MeV)
S35: 817 Emean = 228.11 keV ( 2.7392 keV --> 523.41 keV)
Ta180: 8 Emean = 20.954 keV ( 473.38 eV --> 68.074 keV)
Ta181: 93212 Emean = 19.464 keV ( 0.17561 eV --> 99.514 keV)
Ta182: 79 Emean = 25.03 keV ( 22.213 keV --> 28.45 keV)
alpha: 1178 Emean = 2.3807 MeV ( 50.267 keV --> 3.3337 MeV)
deuteron: 35 Emean = 1.779 MeV ( 124.37 keV --> 3.9405 MeV)
gamma: 198096 Emean = 845.78 keV ( 44.127 eV --> 6.5601 MeV)
neutron: 47065 Emean = 1.2808 MeV ( 1.3823 keV --> 4.4935 MeV)
proton: 203717 Emean = 2.2635 MeV ( 11.827 eV --> 5.1131 MeV)

Momentun balance: Pmean = 64.582 keV ( 118.66 eV --> 13.64 MeV)

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (index) = 0
Current couple of seeds = 1257654638, 2017008121
-----
Idle>
```

Şekil 4.34. %40 epoksi ve %60 tantal için simülasyon ekran görüntüsü

Çizelge 4.40. %50 epoksi ve %50 Tantal için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi

Ürün Tipi	Parçacık Sayısı	Parçacığın Ortalama Enerjisi	Parçacığın Enerji Aralığı
¹² C	171238	422.71 keV	0.57801 eV --> 1.2905 MeV
¹³ C	2758	528.56 keV	4.4142 eV --> 1.3443 MeV
¹⁴ C	2	1.6083 MeV	1.1476 MeV --> 2.069 MeV
¹⁵ C	4	189.06 keV	188.96 keV --> 189.11 keV
³⁵ Cl	10311	109.61 keV	16.707 eV --> 491.97 keV
³⁶ Cl	3	131.2 keV	122.48 keV --> 144.89 keV
³⁷ Cl	3921	113.49 keV	44.734 eV --> 466.66 keV
¹⁶ O	32400	372.57 keV	2.7623 eV --> 1.0064 MeV
¹⁷ O	12	215.46 keV	8.7074 keV --> 451.75 keV
¹⁸ O	59	232.93 keV	14.357 keV --> 841.61 keV
³² P	404	693.79 keV	141.85 keV --> 1.2032 MeV
³⁵ S	884	241.51 keV	3.8321 keV --> 525.39 keV
¹⁸⁰ Ta	11	21.739 keV	933.64 eV --> 68.674 keV
¹⁸¹ Ta	66491	19.422 keV	0.032742 eV --> 99.393 keV
¹⁸² Ta	53	24.966 keV	22.458 keV --> 27.767 keV
Alfa (α)	1321	2.4202 MeV	50.27 keV --> 5.2337 MeV
Döteron (D)	28	1.9696 MeV	268.59 keV --> 3.9405 MeV
Gama (γ)	145404	852.08 keV	10.572 eV --> 9.6786 MeV
Nötron (n)	34674	1.2794 MeV	4.1116 keV --> 4.4936 MeV
Proton (p)	216571	2.27 MeV	32.949 eV --> 5.1119 MeV
Ortalama momentum: 51.081 keV (92.503 eV --> 13.64 MeV)			

```
aysegul@aysegul-VPCF24M1E:~/Hadr03
neutron + Cl35 --> N gamma + Cl36: 3 Q = 12.319 MeV
neutron + Cl35 --> N gamma + alpha + P32: 400 Q = 940.72 keV
neutron + Cl35 --> N gamma + neutron + Cl35: 2663 Q = 3.3456 keV
neutron + Cl35 --> N gamma + proton + S35: 473 Q = 616.66 keV
neutron + Cl35 --> alpha + P32: 4 Q = 939.09 keV
neutron + Cl35 --> neutron + Cl35: 7640 Q = 23.452 eV
neutron + Cl35 --> proton + S35: 411 Q = 615.88 keV
neutron + Cl37 --> N gamma + neutron + Cl37: 927 Q = 3.5076 keV
neutron + Cl37 --> neutron + Cl37: 2994 Q = 25.994 eV
neutron + H1 --> N gamma + deuteron: 4 Q = -34.058 keV
neutron + H1 --> neutron + proton: 215685 Q = 1.2285 keV
neutron + H2 --> N gamma + proton + 2 neutron: 1 Q = -2.2244 MeV
neutron + H2 --> neutron + deuteron: 24 Q = 523.56 eV
neutron + H2 --> proton + 2 neutron: 1 Q = -2.0383 MeV
neutron + O16 --> N gamma + O17: 5 Q = 1.3181 MeV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + C13: 911 Q = 490.39 keV
neutron + O16 --> neutron + O16: 32400 Q = 102.2 eV
neutron + O17 --> N gamma + alpha + C14: 1 Q = 1.8174 MeV
neutron + O17 --> alpha + C14: 1 Q = 1.8186 MeV
neutron + O17 --> neutron + O17: 7 Q = 43.637 eV
neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15: 3 Q = -4.2587 MeV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 11 Q = 308.31 eV
neutron + O18 --> alpha + C15: 1 Q = -4.2606 MeV
neutron + O18 --> neutron + O18: 48 Q = -13.566 keV
neutron + Ta180 --> N gamma + neutron + Ta180: 3 Q = 6.096585 eV
neutron + Ta180 --> neutron + Ta180: 8 Q = 4.2787 eV
neutron + Ta181 --> N gamma + Ta182: 53 Q = 2.2782 MeV
neutron + Ta181 --> N gamma + neutron + Ta181: 31066 Q = 343.04 keV
neutron + Ta181 --> neutron + Ta181: 35425 Q = 2.1236 eV

Number of gamma: N = 1 --> 14

List of generated particles:
Cl2: 171238 Enean = 422.71 keV ( 0.57801 eV --> 1.2905 MeV)
Cl3: 2750 Enean = 528.56 keV ( 4.4142 eV --> 1.3443 MeV)
Cl4: 2 Enean = 1.6083 MeV ( 1.1476 MeV --> 2.069 MeV)
Cl5: 4 Enean = 109.06 keV ( 109.96 keV --> 109.11 keV)
Cl35: 10311 Enean = 109.61 keV ( 16.707 eV --> 491.97 keV)
Cl36: 3 Enean = 131.2 keV ( 122.48 keV --> 144.89 keV)
Cl37: 3921 Enean = 113.49 keV ( 44.734 eV --> 466.66 keV)
O16: 32400 Enean = 372.57 keV ( 2.7623 eV --> 1.0064 MeV)
O17: 12 Enean = 215.46 keV ( 8.7074 keV --> 451.75 keV)
O18: 59 Enean = 232.93 keV ( 14.357 keV --> 841.61 keV)
P32: 404 Enean = 693.79 keV ( 141.85 keV --> 1.2032 MeV)
S35: 884 Enean = 241.51 keV ( 3.0321 keV --> 525.39 keV)
Ta180: 11 Enean = 21.739 keV ( 933.64 eV --> 68.074 keV)
Ta181: 66491 Enean = 19.422 keV ( 0.032742 eV --> 99.393 keV)
Ta182: 53 Enean = 24.966 keV ( 22.458 keV --> 27.767 keV)
alpha: 1321 Enean = 2.4202 MeV ( 50.27 keV --> 5.2337 MeV)
deuteron: 28 Enean = 1.9696 MeV ( 268.59 keV --> 3.9405 MeV)
gamma: 145404 Enean = 852.08 keV ( 10.572 eV --> 9.6786 MeV)
neutron: 34674 Enean = 1.2794 MeV ( 4.1116 keV --> 4.4936 MeV)
proton: 216571 Enean = 2.27 MeV ( 32.949 eV --> 5.1119 MeV)

Momentum balance: Pmean = 51.081 keV ( 92.503 eV --> 13.64 MeV)

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (index) = 0
Current couple of seeds = 1052940114, 114182971
-----
idle>
```

Şekil 4.35. %50 epoksi ve %50 tantal için simülasyon ekran görüntüsü

Çizelge 4.41. %60 epoksi ve %40 Tantal için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi

Ürün Tipi	Parçacık Sayısı	Parçacığın Ortalama Enerjisi	Parçacığın Enerji Aralığı
¹² C	173162	422.3 keV	2.1438 eV --> 1.2906 MeV
¹³ C	2841	529.25 keV	14.312 eV --> 1.3459 MeV
¹⁵ C	6	188.98 keV	188.87 keV --> 189.08 keV
³⁵ Cl	10685	110.71 keV	1.1051 eV --> 491.58 keV
³⁶ Cl	3	121.9 keV	93.783 keV --> 137.48 keV
³⁷ Cl	3960	110.69 keV	44.037 eV --> 466.58 keV
¹⁶ O	32697	373.53 keV	1.5766 eV --> 1.0064 MeV
¹⁷ O	12	318.17 keV	8.8492 keV --> 733.6 keV
¹⁸ O	78	333.9 keV	28.997 keV --> 884.41 keV
³² P	394	688.83 keV	120.78 keV --> 1.2183 MeV
³⁴ P	1	342.78 keV	342.78 keV --> 342.78 keV
³⁵ S	880	232.28 keV	1.0446 keV --> 525.1 keV
¹⁸⁰ Ta	5	26.888 keV	887.09 eV --> 68.674 keV
¹⁸¹ Ta	44625	19.465 keV	0.07925 eV --> 99.441 keV
¹⁸² Ta	26	25.096 keV	22.912 keV --> 27.935 keV
Alfa (α)	1292	2.4076 MeV	50.247 keV --> 5.2495 MeV
Döteron (D)	24	1.796 MeV	74.484 keV --> 3.9207 MeV
Gama (γ)	102846	855.53 keV	53.918 eV --> 8.5798 MeV
Nötron (n)	24667	1.2899 MeV	2.4542 keV --> 4.4888 MeV
Proton (p)	218279	2.2659 MeV	50.967 eV --> 5.1149 MeV
Ortalama momentum: 41.837 keV (149.38 eV --> 9.98 MeV)			

```
aysegul@aysegul-VPCF24M1E:~/Hadr03
neutron + C12 --> N gamma + C13: 4 Q = 812.23 keV
neutron + C12 --> neutron + C12: 173162 Q = 154.36 eV
neutron + C13 --> neutron + C13: 1946 Q = -32.538 keV
neutron + C135 --> N gamma + C136: 3 Q = 10.832 MeV
neutron + C135 --> N gamma + alpha + P32: 385 Q = 940.7 keV
neutron + C135 --> N gamma + neutron + C135: 2695 Q = 3.3358 keV
neutron + C135 --> N gamma + proton + S35: 486 Q = 620.09 keV
neutron + C135 --> alpha + P32: 9 Q = 939.07 keV
neutron + C135 --> neutron + C135: 7990 Q = 24.323 eV
neutron + C135 --> proton + S35: 394 Q = 615.86 keV
neutron + C137 --> N gamma + neutron + C137: 958 Q = 19.627 keV
neutron + C137 --> alpha + P34: 1 Q = -1.5637 MeV
neutron + C137 --> neutron + C137: 3082 Q = 24.844 eV
neutron + H1 --> N gamma + deuteron: 3 Q = -39.147 keV
neutron + H1 --> neutron + proton: 217399 Q = 1.2264 keV
neutron + H2 --> neutron + deuteron: 21 Q = 471.39 eV
neutron + O16 --> N gamma + O17: 4 Q = 664.93 keV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + C13: 891 Q = -549.18 keV
neutron + O16 --> neutron + O16: 32697 Q = 182.46 eV
neutron + O17 --> N gamma + neutron + O17: 1 Q = -37.438 eV
neutron + O17 --> neutron + O17: 7 Q = 75.66 eV
neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15: 6 Q = -4.2583 MeV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 6 Q = 2.7961 keV
neutron + O18 --> neutron + O18: 72 Q = -19.78 keV
neutron + Ta180 --> N gamma + neutron + Ta180: 1 Q = 0.036078 eV
neutron + Ta180 --> neutron + Ta180: 4 Q = 6.7944 eV
neutron + Ta181 --> N gamma + Ta182: 26 Q = 1.496 MeV
neutron + Ta181 --> N gamma + neutron + Ta181: 21086 Q = 338.8 keV
neutron + Ta181 --> neutron + Ta181: 23619 Q = 2.1176 eV

Number of gamma: N = 1 --> 14

List of generated particles:
C12: 173162 Emean = 422.3 keV ( 2.1438 eV --> 1.2906 MeV)
C13: 2841 Emean = 529.25 keV ( 14.312 eV --> 1.3459 MeV)
C15: 6 Emean = 188.98 keV ( 188.87 keV --> 189.08 keV)
C135: 10685 Emean = 119.71 keV ( 1.1051 eV --> 491.58 keV)
C136: 3 Emean = 121.9 keV ( 93.783 keV --> 137.48 keV)
C137: 3960 Emean = 119.69 keV ( 44.037 eV --> 466.58 keV)
O16: 32697 Emean = 173.53 keV ( 1.5766 eV --> 1.0064 MeV)
O17: 12 Emean = 318.17 keV ( 8.8492 keV --> 733.6 keV)
O18: 78 Emean = 333.9 keV ( 28.997 keV --> 884.41 keV)
P32: 394 Emean = 688.83 keV ( 120.78 keV --> 1.2183 MeV)
P34: 1 Emean = 342.78 keV ( 342.78 keV --> 342.78 keV)
S35: 880 Emean = 232.28 keV ( 1.0446 keV --> 525.1 keV)
Ta180: 5 Emean = 26.888 keV ( 887.09 eV --> 68.674 keV)
Ta181: 44625 Emean = 19.465 keV ( 0.07925 eV --> 99.441 keV)
Ta182: 26 Emean = 25.096 keV ( 22.912 keV --> 27.935 keV)
alpha: 1292 Emean = 2.4076 MeV ( 50.247 keV --> 5.2495 MeV)
deuteron: 24 Emean = 1.796 MeV ( 74.484 keV --> 3.9207 MeV)
gamma: 102846 Emean = 855.53 keV ( 53.918 eV --> 8.5798 MeV)
neutron: 24667 Emean = 1.2899 MeV ( 2.4542 keV --> 4.4888 MeV)
proton: 218279 Emean = 2.2659 MeV ( 50.907 eV --> 5.1149 MeV)

Momentum balance: Pmean = 41.837 keV ( 149.38 eV --> 9.98 MeV)

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (index) = 0
Current couple of seeds = 1971924961, 133918618
Idle>
```

Şekil 4.36. %60 epoksi ve %40 tantal için simülasyon ekran görüntüsü

Çizelge 4.42. %70 epoksi ve %30 Tantal için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi

Ürün Tipi	Parçacık Sayısı	Parçacığın Ortalama Enerjisi	Parçacığın Enerji Aralığı
^{12}C	165221	424.05 keV	0.57071 eV --> 1.2906 MeV
^{13}C	2595	533.11 keV	302.36 eV --> 1.3428 MeV
^{14}C	1	1.126 MeV	1.126 MeV --> 1.126 MeV
^{15}C	4	189.03 keV	189.01 keV --> 189.06 keV
^{35}Cl	10100	108.43 keV	24.519 eV --> 491.97 keV
^{36}Cl	1	133.28 keV	133.28 keV --> 133.28 keV
^{37}Cl	3774	112.36 keV	25.61 eV --> 466.16 keV
^{16}O	31033	374.65 keV	0.88855 eV --> 1.0068 MeV
^{17}O	18	341.28 keV	8.8492 keV --> 871.73 keV
^{18}O	64	284.97 keV	762.21 eV --> 871.32 keV
^{32}P	388	697.18 keV	126.9 keV --> 1.207 MeV
^{35}S	838	225.46 keV	2.2538 keV --> 522.88 keV
^{180}Ta	2	14.455 keV	2.2009 keV --> 26.71 keV
^{181}Ta	27477	19.315 keV	0.21627 eV --> 99.466 keV
^{182}Ta	24	25.441 keV	23.392 keV --> 28.317 keV
Alfa (α)	1241	2.4507 MeV	50.283 keV --> 5.2485 MeV
Döteron (D)	30	1.9024 MeV	12.358 keV --> 3.8626 MeV
Gama (γ)	66900	872.27 keV	10.47 eV --> 7.4425 MeV
Nötron (n)	16373	1.3133 MeV	2.6591 keV --> 4.4896 MeV
Proton (p)	207258	2.2656 MeV	54.364 eV --> 5.1136 MeV
Ortalama momentum: 33.501 keV (117.52 eV --> 8.7776 MeV)			

```
aysegul@aysegul-VPCF24M1E:~/Hadr03
neutron + C12 --> N gamma + C13: 1 Q = 772.6 keV
neutron + C12 --> neutron + C12: 165221 Q = 154.99 eV
neutron + C13 --> neutron + C13: 1746 Q = -32.731 keV
neutron + C135 --> N gamma + C136: 1 Q = 15.753 MeV
neutron + C135 --> N gamma + alpha + P32: 383 Q = 940.71 keV
neutron + C135 --> N gamma + neutron + C135: 2516 Q = 1.4532 keV
neutron + C135 --> N gamma + proton + S35: 472 Q = 633.03 keV
neutron + C135 --> alpha + P32: 5 Q = 939.08 keV
neutron + C135 --> neutron + C135: 7584 Q = 23.0 eV
neutron + C135 --> proton + S35: 366 Q = 615.86 keV
neutron + C137 --> N gamma + neutron + C137: 962 Q = -210.86 eV
neutron + C137 --> neutron + C137: 2812 Q = 25.703 eV
neutron + H1 --> N gamma + deuteron: 4 Q = -29.537 keV
neutron + H1 --> neutron + proton: 206420 Q = 1.2262 keV
neutron + H2 --> neutron + deuteron: 26 Q = 583.18 eV
neutron + O16 --> N gamma + O17: 2 Q = 2.0949 MeV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + C13: 848 Q = -542.43 keV
neutron + O16 --> neutron + O16: 31033 Q = 102.77 eV
neutron + O17 --> alpha + C14: 1 Q = 1.8186 MeV
neutron + O17 --> neutron + O17: 16 Q = 90.196 eV
neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15: 3 Q = -4.2588 MeV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 6 Q = 1.0534 keV
neutron + O18 --> alpha + C15: 1 Q = -4.2607 MeV
neutron + O18 --> neutron + O18: 58 Q = -16.224 keV
neutron + Ta180 --> N gamma + neutron + Ta180: 1 Q = 0.862112 eV
neutron + Ta180 --> neutron + Ta180: 1 Q = 0.498 eV
neutron + Ta181 --> N gamma + Ta182: 24 Q = 2.556 MeV
neutron + Ta181 --> N gamma + neutron + Ta181: 12888 Q = 341.23 keV
neutron + Ta181 --> neutron + Ta181: 14589 Q = 2.1046 eV

Number of gamma: N = 1 --> 13

List of generated particles:
C12: 165221 Emean = 424.05 keV ( 0.57071 eV --> 1.2906 MeV)
C13: 2595 Emean = 533.11 keV ( 302.36 eV --> 1.3428 MeV)
C14: 1 Emean = 1.126 MeV ( 1.126 MeV --> 1.126 MeV)
C15: 4 Emean = 109.63 keV ( 109.01 keV --> 109.06 keV)
C135: 16100 Emean = 108.43 keV ( 24.619 eV --> 491.97 keV)
C136: 1 Emean = 133.28 keV ( 133.28 keV --> 133.28 keV)
C137: 3774 Emean = 112.36 keV ( 25.61 eV --> 466.16 keV)
O16: 31033 Emean = 374.65 keV ( 0.88855 eV --> 1.0068 MeV)
O17: 18 Emean = 341.28 keV ( 0.8492 keV --> 871.73 keV)
O18: 64 Emean = 284.97 keV ( 762.21 eV --> 871.32 keV)
P32: 388 Emean = 697.18 keV ( 126.9 keV --> 1.207 MeV)
S35: 838 Emean = 225.46 keV ( 2.2538 keV --> 522.88 keV)
Ta180: 2 Emean = 14.455 keV ( 2.2009 keV --> 26.71 keV)
Ta181: 27477 Emean = 19.315 keV ( 0.21627 eV --> 99.466 keV)
Ta182: 24 Emean = 25.441 keV ( 23.392 keV --> 28.317 keV)
alpha: 1241 Emean = 2.4507 MeV ( 50.283 keV --> 5.2485 MeV)
deuteron: 30 Emean = 1.9024 MeV ( 12.358 keV --> 3.8626 MeV)
gamma: 66900 Emean = 872.27 keV ( 10.47 eV --> 7.4425 MeV)
neutron: 16373 Emean = 1.3133 MeV ( 2.6591 keV --> 4.4696 MeV)
proton: 207250 Emean = 2.2656 MeV ( 54.364 eV --> 5.1136 MeV)

Momentum balance: Pmean = 33.581 keV ( 117.52 eV --> 8.7776 MeV)

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (index) = 0
Current couple of seeds = 1871484087, 471203528
-----
idle>
```

Şekil 4.37. %70 epoksi ve %30 tantal için simülasyon ekran görüntüsü

Çizelge 4.43. %80 epoksi ve %20 Tantal için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi

Ürün Tipi	Parçacık Sayısı	Parçacığın Ortalama Enerjisi	Parçacığın Enerji Aralığı
¹² C	144667	420.96 keV	3.3067 eV --> 1.2901 MeV
¹³ C	2370	532.12 keV	180.91 eV --> 1.3436 MeV
¹⁴ C	2	1.1856 MeV	1.1662 MeV --> 1.205 MeV
¹⁵ C	1	189 keV	189 keV --> 189 keV
³⁵ Cl	8812	108.64 keV	13.821 eV --> 491.55 keV
³⁶ Cl	2	132.58 keV	114.05 keV --> 151.11 keV
³⁷ Cl	3341	111.09 keV	50.227 eV --> 466.57 keV
¹⁶ O	27380	372.43 keV	5.8564 eV --> 1.006 MeV
¹⁷ O	15	326.73 keV	7.8721 keV --> 828.68 keV
¹⁸ O	55	283.55 keV	2.6739 keV --> 866.1 keV
³² P	345	667.34 keV	131.38 keV --> 1.2059 MeV
³⁵ S	750	227.84 keV	2.2538 keV --> 525.52 keV
¹⁸⁰ Ta	1	10.183 keV	10.183 keV --> 10.183 keV
¹⁸¹ Ta	14196	19.417 keV	0.4113 eV --> 99.149 keV
¹⁸² Ta	8	24.838 keV	23.565 keV --> 26.728 keV
Alfa (α)	1133	2.4131 MeV	50.28 keV --> 5.2433 MeV
Döteron (D)	30	1.6859 MeV	59.627 keV --> 3.9318 MeV
Gama (γ)	38723	892.87 keV	45.255 eV --> 8.5798 MeV
Nötron (n)	9646	1.3308 MeV	7.0077 keV --> 4.4603 MeV
Proton (p)	182595	2.2679 MeV	32.949 eV --> 5.1136 MeV
Ortalama momentum: 27.603 keV (117.52 eV --> 8.4893 MeV)			

```
aysegul@aysegul-VPCF24M1E:~/Hadr03
neutron + C12 --> N gamma + C13: 4 Q = 790.34 keV
neutron + C12 --> neutron + C12: 144667 Q = 153.86 eV
neutron + C13 --> neutron + C13: 1581 Q = -31.449 keV
neutron + C135 --> N gamma + C136: 2 Q = 4.2124 MeV
neutron + C135 --> N gamma + alpha + P32: 339 Q = 940.72 keV
neutron + C135 --> N gamma + neutron + C135: 2243 Q = 644.75 eV
neutron + C135 --> N gamma + proton + S35: 424 Q = 016.07 keV
neutron + C135 --> alpha + P32: 6 Q = 939.69 keV
neutron + C135 --> neutron + C135: 6569 Q = 23.708 eV
neutron + C135 --> proton + S35: 326 Q = 615.87 keV
neutron + C137 --> N gamma + neutron + C137: 798 Q = 12.847 keV
neutron + C137 --> neutron + C137: 2543 Q = 25.285 eV
neutron + H1 --> N gamma + deuteron: 2 Q = -17.669 keV
neutron + H1 --> neutron + proton: 181845 Q = 1.2274 keV
neutron + H2 --> neutron + deuteron: 28 Q = 447.52 eV
neutron + O16 --> N gamma + O17: 5 Q = 1.6543 MeV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + C13: 785 Q = -507.36 keV
neutron + O16 --> neutron + O16: 27380 Q = 102.16 eV
neutron + O17 --> N gamma + neutron + O17: 1 Q = -734.89 eV
neutron + O17 --> alpha + C14: 2 Q = 1.8186 MeV
neutron + O17 --> neutron + O17: 9 Q = 94.979 eV
neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15: 1 Q = -4.2578 MeV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 3 Q = 872.6 eV
neutron + O18 --> neutron + O18: 52 Q = -16.897 keV
neutron + Ta180 --> neutron + Ta180: 1 Q = 2.2380 eV
neutron + Ta181 --> N gamma + Ta182: 8 Q = 1.9586 MeV
neutron + Ta181 --> N gamma + neutron + Ta181: 6601 Q = 337.49 keV
neutron + Ta181 --> neutron + Ta181: 7595 Q = 2.1261 eV

Number of gamma: N = 1 --> 14

List of generated particles:
C12: 144667 Emean = 420.96 keV ( 3.3807 eV --> 1.2901 MeV)
C13: 2379 Emean = 532.12 keV ( 180.91 eV --> 1.3436 MeV)
C14: 2 Emean = 1.1856 MeV ( 1.1662 MeV --> 1.205 MeV)
C15: 1 Emean = 189 keV ( 189 keV --> 189 keV)
C135: 8812 Emean = 100.64 keV ( 13.021 eV --> 491.55 keV)
C136: 2 Emean = 132.58 keV ( 114.05 keV --> 151.11 keV)
C137: 3341 Emean = 111.09 keV ( 60.227 eV --> 466.57 keV)
O16: 27380 Emean = 372.43 keV ( 5.8564 eV --> 1.806 MeV)
O17: 15 Emean = 326.73 keV ( 7.8721 keV --> 828.08 keV)
O18: 55 Emean = 283.55 keV ( 2.6739 keV --> 866.1 keV)
P32: 345 Emean = 667.34 keV ( 131.38 keV --> 1.2059 MeV)
S35: 750 Emean = 227.84 keV ( 2.2538 keV --> 525.52 keV)
Ta180: 1 Emean = 10.183 keV ( 10.183 keV --> 10.183 keV)
Ta181: 14196 Emean = 19.417 keV ( 0.4113 eV --> 99.149 keV)
Ta182: 8 Emean = 24.838 keV ( 23.565 keV --> 26.728 keV)
alpha: 1133 Emean = 2.4131 MeV ( 50.28 keV --> 5.2433 MeV)
deuteron: 38 Emean = 1.6859 MeV ( 59.627 keV --> 3.9318 MeV)
gamma: 38723 Emean = 892.87 keV ( 45.255 eV --> 0.5798 MeV)
neutron: 9646 Emean = 1.3308 MeV ( 7.0077 keV --> 4.4603 MeV)
proton: 182595 Emean = 2.2679 MeV ( 32.949 eV --> 5.1136 MeV)

Momentum balance: Pmean = 27.603 keV ( 117.52 eV --> 0.4893 MeV)

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (index) = 0
Current couple of seeds = 304606699, 824538788
-----
Idle>
```

Şekil 4.38. %80 epoksi ve %20 tantal için simülasyon ekran görüntüsü

Çizelge 4.44. %90 epoksi ve %10 Tantal için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi

Ürün Tipi	Parçacık Sayısı	Parçacığın Ortalama Enerjisi	Parçacığın Enerji Aralığı
¹² C	110654	423.14 keV	7.8211 eV --> 1.2901 MeV
¹³ C	1767	540.02 keV	180.27 eV --> 1.3395 MeV
¹⁴ C	2	1.9776 MeV	1.9669 MeV --> 1.9883 MeV
¹⁵ C	4	189.02 keV	188.96 keV --> 189.09 keV
³⁵ Cl	6727	108.22 keV	14.048 eV --> 491.58 keV
³⁷ Cl	2602	112.29 keV	31.624 eV --> 466.55 keV
¹⁶ O	21128	374.59 keV	22.651 eV --> 1.0065 MeV
¹⁷ O	6	389.33 keV	46.776 keV --> 811.65 keV
¹⁸ O	44	299.47 keV	9.1365 keV --> 866.1 keV
³² P	241	678.83 keV	172.8 keV --> 1.2028 MeV
³⁵ S	589	234.32 keV	2.868 keV --> 523.26 keV
¹⁸¹ Ta	4845	19.379 keV	0.14974 eV --> 98.639 keV
¹⁸² Ta	4	24.73 keV	23.957 keV --> 26.279 keV
Alfa (α)	830	2.3547 MeV	50.27 keV --> 5.235 MeV
Döteron (D)	22	1.7917 MeV	217.29 keV --> 3.7717 MeV
Gama (γ)	17730	939.59 keV	42.268 eV --> 4.9465 MeV
Nötron (n)	4619	1.3675 MeV	13.387 keV --> 4.4822 MeV
Proton (p)	141164	2.2711 MeV	8.0676 eV --> 5.1077 MeV
Ortalama momentum: 22.485 keV (169.73 eV --> 7.0919 MeV)			

```
aysegul@aysegul-VPCF24M1E:~/Hadr03
List of nuclear reactions:
neutron + C12 --> N gamma + C13: 6 Q = 3.0499 MeV
neutron + C12 --> neutron + C12: 110654 Q = 154.66 eV
neutron + C13 --> neutron + C13: 1178 Q = -32.415 keV
neutron + C135 --> N gamma + alpha + P32: 238 Q = 940.7 keV
neutron + C135 --> N gamma + neutron + C135: 1685 Q = 481.71 eV
neutron + C135 --> N gamma + proton + S35: 324 Q = 623.78 keV
neutron + C135 --> alpha + P32: 3 Q = 939.08 keV
neutron + C135 --> neutron + C135: 5942 Q = 23.942 eV
neutron + C135 --> proton + S35: 265 Q = 615.87 keV
neutron + C137 --> N gamma + neutron + C137: 663 Q = 12.835 keV
neutron + C137 --> neutron + C137: 1939 Q = 25.317 eV
neutron + H1 --> N gamma + deuteron: 3 Q = -33.954 keV
neutron + H1 --> neutron + proton: 140575 Q = 1.2291 keV
neutron + H2 --> neutron + deuteron: 19 Q = 468.13 eV
neutron + O16 --> N gamma + O17: 2 Q = 17.899 keV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + C13: 583 Q = -463.88 keV
neutron + O16 --> neutron + O16: 21128 Q = 102.75 eV
neutron + O17 --> N gamma + alpha + C14: 1 Q = 1.8175 MeV
neutron + O17 --> N gamma + neutron + O17: 1 Q = -0.46512 eV
neutron + O17 --> alpha + C14: 1 Q = 1.8181 MeV
neutron + O17 --> neutron + O17: 3 Q = 107.1 eV
neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15: 3 Q = -4.255 MeV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 4 Q = 1.2944 keV
neutron + O18 --> alpha + C15: 1 Q = -4.2606 MeV
neutron + O18 --> neutron + O18: 40 Q = -17.194 keV
neutron + Ta181 --> N gamma + Ta182: 4 Q = 3.4264 MeV
neutron + Ta181 --> N gamma + neutron + Ta181: 2266 Q = 332.66 keV
neutron + Ta181 --> neutron + Ta181: 2579 Q = 2.0566 eV

Number of gamma: N = 1 --> 11

List of generated particles:
C12: 110654 Emean = 423.14 keV ( 7.8211 eV --> 1.2901 MeV)
C13: 1767 Emean = 540.02 keV ( 180.27 eV --> 1.3395 MeV)
C14: 2 Emean = 1.9776 MeV ( 1.9609 MeV --> 1.9883 MeV)
C15: 4 Emean = 189.02 keV ( 180.96 keV --> 189.09 keV)
C135: 6727 Emean = 180.22 keV ( 14.048 eV --> 401.58 keV)
C137: 2602 Emean = 112.29 keV ( 31.424 eV --> 466.55 keV)
O16: 21128 Emean = 374.59 keV ( 22.451 eV --> 1.0065 MeV)
O17: 6 Emean = 389.33 keV ( 46.776 keV --> 811.65 keV)
O18: 44 Emean = 299.47 keV ( 9.1365 keV --> 866.1 keV)
P32: 241 Emean = 678.83 keV ( 172.8 keV --> 1.2028 MeV)
S35: 589 Emean = 234.32 keV ( 2.868 keV --> 523.26 keV)
Ta181: 4845 Emean = 19.379 keV ( 0.14974 eV --> 98.639 keV)
Ta182: 4 Emean = 24.73 keV ( 23.957 keV --> 26.279 keV)
alpha: 830 Emean = 2.3547 MeV ( 50.27 keV --> 5.235 MeV)
deuteron: 22 Emean = 1.7917 MeV ( 217.29 keV --> 3.7717 MeV)
gamma: 17730 Emean = 939.59 keV ( 42.268 eV --> 4.9465 MeV)
neutron: 4619 Emean = 1.3675 MeV ( 13.387 keV --> 4.4822 MeV)
proton: 141164 Emean = 2.2711 MeV ( 8.0676 eV --> 5.1077 MeV)

Momentum balance: Pmean = 22.485 keV ( 169.73 eV --> 7.0919 MeV)

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (Index) = 0
Current couple of seeds = 1098899561, 1638167807
-----
Idle>
```

Şekil 4.39. %90 epoksi ve %10 tantal için simülasyon ekran görüntüsü

Çizelge 4.45. %100 epoksi için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi

Ürün Tipi	Parçacık Sayısı	Parçacığın Ortalama Enerjisi	Parçacığın Enerji Aralığı
^{12}C	58067	425.47 keV	4.1494 eV --> 1.2902 MeV
^{13}C	876	544.64 keV	85.793 eV --> 1.3375 MeV
^{15}C	2	189 keV	188.9 keV --> 189.11 keV
^{35}Cl	3591	106.57 keV	70.383 eV --> 491.19 keV
^{37}Cl	1321	117.68 keV	15.438 eV --> 466.06 keV
^{16}O	10710	371.03 keV	12.251 eV --> 1.0061 MeV
^{17}O	9	501.22 keV	125.01 keV --> 940.13 keV
^{18}O	21	409.24 keV	12.122 keV --> 849.8 keV
^{32}P	130	685.96 keV	169.84 keV --> 1.2048 MeV
^{35}S	306	243.35 keV	4.604 keV --> 524.65 keV
Alfa (α)	436	2.3937 MeV	50.255 keV --> 5.2278 MeV
Döteron (D)	10	1.4241 MeV	202.99 keV --> 2.9954 MeV
Gama (γ)	4116	1.0588 MeV	340.41 eV --> 4.9463 MeV
Nötron (n)	1174	1.4545 MeV	10.618 keV --> 3.4604 MeV
Proton (p)	73277	2.2679 MeV	12.026 eV --> 5.1112 MeV
Ortalama momentum: 18.415 keV		(191.73 eV --> 130.91 keV)	

```

aysegul@aysegul-VPCF24M1E: ~/Hadr03
MeanFreePath: 4.8586 mm +- 2.8872 mm      massic: 573.31 mg/cn2
CrossSection: 2.0582 cm^2-1      massic: 1.7443 cm2/g

Verification: crossSections from G4HadrondProcessStore:
Transportation: 0 um2/mg
hadElastic: 13.493 mm2/g
nCapture: 0.34502 um2/mg
neutronInelastic: 176.2 um2/mg
total: 13.67 mm2/g

List of nuclear reactions:
neutron + C12 --> N gamma + C13: 1 Q = 824.6 keV
neutron + C12 --> neutron + C12: 58067 Q = 155.51 eV
neutron + C13 --> neutron + C13: 571 Q = 32.971 keV
neutron + C135 --> N gamma + alpha + P32: 127 Q = 940.61 keV
neutron + C135 --> N gamma + neutron + C135: 893 Q = 3.7649 keV
neutron + C135 --> N gamma + proton + S35: 173 Q = 616.69 keV
neutron + C135 --> alpha + P32: 3 Q = 939.07 keV
neutron + C135 --> neutron + C135: 2726 Q = 23.363 eV
neutron + C135 --> proton + S35: 133 Q = 615.87 keV
neutron + C137 --> N gamma + neutron + C137: 385 Q = 150.77 eV
neutron + C137 --> neutron + C137: 1016 Q = 27.41 eV
neutron + H1 --> N gamma + deuteron: 1 Q = 9.1708 keV
neutron + H1 --> neutron + proton: 72971 Q = 1.2274 keV
neutron + H2 --> neutron + deuteron: 9 Q = 362.07 eV
neutron + O16 --> N gamma + O17: 1 Q = 8.441 MeV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + C13: 304 Q = 417.08 keV
neutron + O16 --> neutron + O16: 10710 Q = 101.78 eV
neutron + O17 --> N gamma + neutron + O17: 1 Q = 6.024888 eV
neutron + O17 --> neutron + O17: 7 Q = 151.75 eV
neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15: 2 Q = 4.2509 MeV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 3 Q = 378.96 eV
neutron + O18 --> neutron + O18: 18 Q = 24.784 keV

Number of gamma: N = 1 --> 8

List of generated particles:
C12: 58067 Emean = 425.47 keV ( 4.1494 eV --> 1.2902 MeV)
C13: 876 Emean = 544.64 keV ( 85.793 eV --> 1.3375 MeV)
C15: 2 Emean = 189 keV ( 188.9 keV --> 189.11 keV)
C135: 3591 Emean = 106.57 keV ( 70.383 eV --> 491.19 keV)
C137: 1321 Emean = 117.68 keV ( 15.438 eV --> 466.06 keV)
O16: 10710 Emean = 371.03 keV ( 12.251 eV --> 1.0061 MeV)
O17: 9 Emean = 501.22 keV ( 125.01 keV --> 940.13 keV)
O18: 21 Emean = 409.24 keV ( 12.122 keV --> 849.8 keV)
P32: 130 Emean = 685.96 keV ( 169.84 keV --> 1.2048 MeV)
S35: 306 Emean = 243.35 keV ( 4.604 keV --> 524.65 keV)
alpha: 436 Emean = 2.3937 MeV ( 50.255 keV --> 5.2278 MeV)
deuteron: 10 Emean = 1.4241 MeV ( 202.99 keV --> 2.9954 MeV)
gamma: 4116 Emean = 1.0588 MeV ( 340.41 eV --> 4.9463 MeV)
neutron: 1174 Emean = 1.4545 MeV ( 10.618 keV --> 3.4604 MeV)
proton: 73277 Emean = 2.2679 MeV ( 12.026 eV --> 5.1112 MeV)

Momentum balance: Pmean = 18.415 keV ( 191.73 eV --> 130.91 keV)

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (Index) = 0
Current couple of seeds = 1319407431, 1463955456
Idles: 1

```

Şekil 4.40. %100 epoksi için simülasyon ekran görüntüsü

Toryum(Th) malzemesi için sonuçlar;

Çizelge 4.46. %10 epoksi ve %90 Toryum için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi

Ürün Tipi	Parçacık Sayısı	Parçacığın Ortalama Enerjisi	Parçacığın Enerji Aralığı
¹² C	47927	424.17 keV	7.7178 eV --> 1.2902 MeV
¹³ C	752	548.46 keV	130.98 eV --> 1.3395 MeV
¹⁵ C	1	189.06 keV	189.06 keV --> 189.06 keV
³⁵ Cl	2963	106.97 keV	14.043 eV --> 491.24 keV
³⁷ Cl	1092	116.19 keV	35.153 eV --> 465.85 keV
¹⁶ O	9070	372.31 keV	4.2022 eV --> 1.0062 MeV
¹⁷ O	2	150.81 keV	100.96 keV --> 200.65 keV
¹⁸ O	21	326.25 keV	12.872 keV --> 747.1 keV
³² P	111	671.38 keV	189.53 keV --> 1.203 MeV
³⁵ S	247	226.69 keV	994.88 eV --> 520.85 keV
²³² Th	161166	14.359 keV	0.018685 eV --> 77.905 keV
²³³ Th	387	19.476 keV	16.285 keV --> 22.059 keV
Alfa (α)	360	2.4165 MeV	50.296 keV --> 5.2492 MeV
Döteron (D)	7	1.6816 MeV	287.92 keV --> 3.5047 MeV
Gama (γ)	707173	283.33 keV	7.9907 eV --> 9.164 MeV
Nötron (n)	77938	1.7744 MeV	3.0477 keV --> 17.412 MeV
Proton (p)	60423	2.2626 MeV	160.46 eV --> 5.1148 MeV
Ortalama momentum: 1.4102 MeV (211.27 eV --> 425.8 MeV)			

```
aysegul@aysegul-VPCF24M1E:~/Hadr03
neutron + C135 --> alpha + P32: 5 Q = 939.07 keV
neutron + C135 --> neutron + C135: 2210 Q = 23.455 eV
neutron + C135 --> proton + S35: 115 Q = 615.07 keV
neutron + C137 --> N gamma + neutron + C137: 257 Q = -121.56 eV
neutron + C137 --> neutron + C137: 835 Q = 26.48 eV
neutron + H1 --> neutron + proton: 60176 Q = 1.2245 keV
neutron + H2 --> neutron + deuteron: 7 Q = 457.56 eV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + C13: 248 Q = -352.11 keV
neutron + O16 --> neutron + O16: 9070 Q = 102.13 eV
neutron + O17 --> neutron + O17: 2 Q = 30.960 eV
neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15: 1 Q = -4.2591 MeV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 5 Q = 742.84 eV
neutron + O18 --> neutron + O18: 16 Q = -10.095 keV
neutron + Th232 --> : 1 Q = -4.5 MeV
neutron + Th232 --> 2 neutron: 1 Q = 1.6426 MeV
neutron + Th232 --> 3 neutron: 1 Q = -1.8848 MeV
neutron + Th232 --> 6 neutron: 1 Q = 5.5065 MeV
neutron + Th232 --> N gamma: 200 Q = -3.6195 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 10 neutron: 1 Q = 17.733 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 2 neutron: 723 Q = 711 keV
neutron + Th232 --> N gamma + 3 neutron: 657 Q = 3.1486 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 4 neutron: 362 Q = 5.256 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 5 neutron: 210 Q = 7.5576 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 6 neutron: 108 Q = 10.375 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 7 neutron: 38 Q = 10.453 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 8 neutron: 10 Q = 13.061 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 9 neutron: 3 Q = 13.98 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + Th233: 387 Q = 4.8059 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + neutron: 631 Q = -1.3753 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + neutron + Th232: 69333 Q = 3.6465 keV
neutron + Th232 --> neutron: 2 Q = -2.3604 MeV
neutron + Th232 --> neutron + Th232: 91833 Q = 1.0845 eV

Number of gamma: N = 1 --> 16

List of generated particles:
C12: 47927 Enean = 424.17 keV ( 7.7178 eV --> 1.2902 MeV)
C13: 752 Enean = 548.46 keV ( 130.98 eV --> 1.3395 MeV)
C15: 1 Enean = 189.06 keV ( 189.06 keV --> 189.06 keV)
C135: 2963 Enean = 100.97 keV ( 14.043 eV --> 491.24 keV)
C137: 1092 Enean = 116.19 keV ( 35.153 eV --> 405.05 keV)
O16: 9070 Enean = 372.31 keV ( 4.2022 eV --> 1.0062 MeV)
O17: 2 Enean = 150.81 keV ( 100.96 keV --> 200.65 keV)
O18: 21 Enean = 326.25 keV ( 12.872 keV --> 747.1 keV)
P32: 111 Enean = 671.38 keV ( 189.53 keV --> 1.203 MeV)
S35: 247 Enean = 226.69 keV ( 994.88 eV --> 520.85 keV)
Th232: 161166 Enean = 14.359 keV ( 0.018685 eV --> 77.905 keV)
Th233: 387 Enean = 19.476 keV ( 16.285 keV --> 22.059 keV)
alpha: 360 Enean = 2.4165 MeV ( 50.296 keV --> 5.2492 MeV)
deuteron: 7 Enean = 1.6816 MeV ( 287.92 keV --> 3.5047 MeV)
gamma: 707173 Enean = 283.33 keV ( 7.9907 eV --> 9.164 MeV)
neutron: 77938 Enean = 1.7744 MeV ( 3.0477 keV --> 17.412 MeV)
proton: 60423 Enean = 2.2626 MeV ( 160.46 eV --> 5.1148 MeV)

Momentum balance: Pmean = 1.4102 MeV ( 211.27 eV --> 425.8 MeV)

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (Index) = 0
Current couple of seeds = 1408361147, 965151820
-----
Idle>
```

Şekil 4.41. %10 epoksi ve %90 toryum için simülasyon ekran görüntüsü

Çizelge 4.47. %20 epoksi ve %80 Toryum için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi

Ürün Tipi	Parçacık Sayısı	Parçacığın Ortalama Enerjisi	Parçacığın Enerji Aralığı
¹² C	83567	422.5 keV	1.1573 eV --> 1.2904 MeV
¹³ C	1362	546.87 keV	297.43 eV --> 1.3432 MeV
¹⁵ C	3	189.11 keV	189.01 keV --> 189.19 keV
³⁵ Cl	5083	110.54 keV	16.344 eV --> 491.21 keV
³⁶ Cl	4	139.4 keV	127.53 keV --> 147.01 keV
³⁷ Cl	1825	110.77 keV	20.959 eV --> 466.62 keV
¹⁶ O	15732	370.6 keV	6.9588 eV --> 1.0039 MeV
¹⁷ O	7	229.34 keV	29.632 keV --> 714.66 keV
¹⁸ O	35	317.05 keV	5.8777 keV --> 829.58 keV
³² P	187	717.92 keV	122.19 keV --> 1.1952 MeV
³⁵ S	431	215 keV	1.408 keV --> 523.65 keV
²³² Th	124664	14.292 keV	0.0367 eV --> 77.807 keV
²³³ Th	299	19.561 keV	17.751 keV --> 22.059 keV
Alfa (α)	661	2.3141 MeV	50.282 keV --> 5.2255 MeV
Döteron (D)	15	1.9105 MeV	37.938 keV --> 3.9419 MeV
Gama (γ)	549644	288.38 keV	0.94586 eV --> 8.8862 MeV
Nötron (n)	61637	1.7669 MeV	353.85 eV --> 14.301 MeV
Proton (p)	105366	2.2665 MeV	5.4939 eV --> 5.1119 MeV
Ortalama momentum: 971.09 keV (107.02 eV --> 370.71 MeV)			

```
aysegul@aysegul-VPCF24M1E:~/Hadr03
neutron + C135 --> N gamma + proton + S35: 249 Q = 616.6 keV
neutron + C135 --> neutron + C135: 3747 Q = 23.976 eV
neutron + C135 --> proton + S35: 182 Q = 615.87 keV
neutron + C137 --> N gamma + neutron + C137: 463 Q = 14.721 keV
neutron + C137 --> neutron + C137: 1362 Q = 24.716 eV
neutron + H1 --> N gamma + deuteron: 1 Q = -37.957 keV
neutron + H1 --> neutron + proton: 104935 Q = 1.2267 keV
neutron + H2 --> neutron + deuteron: 14 Q = 513.3 eV
neutron + O16 --> N gamma + O17: 1 Q = -86.423 keV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + C13: 471 Q = -497.77 keV
neutron + O16 --> neutron + O16: 15732 Q = 181.66 eV
neutron + O17 --> N gamma + neutron + O17: 1 Q = -580.74 eV
neutron + O17 --> neutron + O17: 5 Q = 32.04 eV
neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15: 3 Q = -4.259 MeV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 4 Q = 1.9369 keV
neutron + O18 --> neutron + O18: 31 Q = -18.46 keV
neutron + Th232 --> 4 neutron: 2 Q = 6.3914 MeV
neutron + Th232 --> N gamma: 179 Q = -3.8514 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 2 neutron: 573 Q = 571.17 keV
neutron + Th232 --> N gamma + 3 neutron: 524 Q = 2.9583 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 4 neutron: 344 Q = 5.1979 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 5 neutron: 186 Q = 7.4576 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 6 neutron: 74 Q = 16.1 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 7 neutron: 34 Q = 12.641 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 8 neutron: 13 Q = 14.072 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 9 neutron: 9 Q = 17.038 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + Th233: 299 Q = 4.7989 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + neutron: 456 Q = -1.5881 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + neutron + Th232: 53477 Q = 3.2252 MeV
neutron + Th232 --> neutron: 1 Q = -1.3495 MeV
neutron + Th232 --> neutron + Th232: 71187 Q = 1.0618 eV

Number of gamma: N = 1 --> 16

List of generated particles:
C12: 83507 Emean = 422.5 keV ( 1.1573 eV --> 1.2904 MeV)
C13: 1362 Emean = 546.87 keV ( 297.43 eV --> 1.3432 MeV)
C15: 3 Emean = 189.11 keV ( 189.01 keV --> 189.19 keV)
C135: 5883 Emean = 110.54 keV ( 16.344 eV --> 491.21 keV)
C136: 4 Emean = 139.4 keV ( 127.53 keV --> 147.01 keV)
C137: 1825 Emean = 110.77 keV ( 20.959 eV --> 466.62 keV)
O16: 15732 Emean = 370.6 keV ( 6.9588 eV --> 1.0039 MeV)
O17: 7 Emean = 229.34 keV ( 29.632 keV --> 714.66 keV)
O18: 35 Emean = 317.05 keV ( 5.8777 keV --> 829.58 keV)
P32: 187 Emean = 717.92 keV ( 122.19 keV --> 1.1952 MeV)
S35: 431 Emean = 215 keV ( 1.408 keV --> 523.65 keV)
Th232: 124664 Emean = 14.292 keV ( 0.0367 eV --> 77.807 keV)
Th233: 299 Emean = 19.561 keV ( 17.751 keV --> 22.059 keV)
alpha: 661 Emean = 2.3141 MeV ( 80.282 keV --> 5.2255 MeV)
deuteron: 15 Emean = 1.9105 MeV ( 37.938 keV --> 3.9419 MeV)
gamma: 549644 Emean = 288.38 keV ( 0.94586 eV --> 8.8862 MeV)
neutron: 61637 Emean = 1.7669 MeV ( 353.85 eV --> 14.301 MeV)
proton: 105366 Emean = 2.2665 MeV ( 5.4939 eV --> 5.1119 MeV)

Momentum balance: Pmean = 971.09 keV ( 107.02 eV --> 370.71 MeV)

----- Rancu engine status -----
Initial seed (Index) = 0
Current couple of seeds = 1838429433, 656143734
-----
Idle>
```

Şekil 4.42. %20 epoksi ve %80 toryum için simülasyon ekran görüntüsü

Çizelge 4.48. %30 epoksi ve %70 Toryum için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi

Ürün Tipi	Parçacık Sayısı	Parçacığın Ortalama Enerjisi	Parçacığın Enerji Aralığı
^{12}C	109573	423.33 keV	2.3255 eV --> 1.2901 MeV
^{13}C	1724	532.77 keV	28.992 eV --> 1.3383 MeV
^{15}C	3	189.16 keV	189.1 keV --> 189.23 keV
^{35}Cl	6590	108.87 keV	29.19 eV --> 491.76 keV
^{36}Cl	1	135.01 keV	135.01 keV --> 135.01 keV
^{37}Cl	2495	112.64 keV	19.931 eV --> 464.92 keV
^{16}O	20821	373.4 keV	13.177 eV --> 1.0058 MeV
^{17}O	9	211.33 keV	9.1989 keV --> 613.95 keV
^{18}O	38	343.21 keV	7.0865 keV --> 892.59 keV
^{32}P	255	672.68 keV	174.98 keV --> 1.1962 MeV
^{35}S	534	239.36 keV	2.6463 keV --> 524.8 keV
^{232}Th	94751	14.261 keV	0.023079 eV --> 77.733 keV
^{233}Th	192	19.491 keV	17.691 keV --> 21.058 keV
Alfa (α)	813	2.4503 MeV	50.305 keV --> 5.2458 MeV
Döteron (D)	18	1.1346 MeV	13.985 keV --> 3.7181 MeV
Gama (γ)	414614	293.73 keV	3.0661 eV --> 8.3913 MeV
Nötron (n)	46957	1.7649 MeV	2.7538 keV --> 13.974 MeV
Proton (p)	137094	2.2721 MeV	12.026 eV --> 5.1133 MeV
Ortalama momentum: 641.39 keV (202.14 eV --> 335.62 MeV)			


```
aysegul@aysegul-VPCF24M1E:~/Hadr03
neutron + C135 --> N gamma + proton + S35: 299 Q = 616.71 keV
neutron + C135 --> alpha + P32: 4 Q = 939.07 keV
neutron + C135 --> neutron + C135: 4956 Q = 23.523 eV
neutron + C135 --> proton + S35: 235 Q = 615.87 keV
neutron + C137 --> N gamma + neutron + C137: 644 Q = 18.557 keV
neutron + C137 --> neutron + C137: 1851 Q = 25.73 eV
neutron + H1 --> N gamma + deuteron: 1 Q = -92.897 keV
neutron + H1 --> neutron + proton: 136580 Q = 1.2299 keV
neutron + H2 --> neutron + deuteron: 17 Q = 292.01 eV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + C13: 555 Q = 555.05 keV
neutron + O16 --> neutron + O16: 20821 Q = 102.43 eV
neutron + O17 --> N gamma + neutron + O17: 1 Q = -9.1167 eV
neutron + O17 --> neutron + O17: 8 Q = 54.499 eV
neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15: 3 Q = -4.2585 MeV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 2 Q = 2.5656 keV
neutron + O18 --> neutron + O18: 36 Q = -19.953 keV
neutron + Th232 --> 2 neutron: 1 Q = -1.6945 MeV
neutron + Th232 --> N gamma: 119 Q = -3.7987 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 2 neutron: 440 Q = 612.58 keV
neutron + Th232 --> N gamma + 3 neutron: 372 Q = 2.8642 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 4 neutron: 223 Q = 5.28 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 5 neutron: 132 Q = 7.8422 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 6 neutron: 57 Q = 9.9625 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 7 neutron: 22 Q = 12.723 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 8 neutron: 8 Q = 14.286 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 9 neutron: 2 Q = 18.841 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + Th233: 192 Q = 4.7825 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + neutron: 349 Q = -1.4055 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + neutron + Th232: 40197 Q = 3.6582 keV
neutron + Th232 --> neutron: 2 Q = -2.7909 MeV
neutron + Th232 --> neutron + Th232: 54554 Q = 1.8962 eV

Number of gamma: N = 1 --> 16

List of generated particles:
C12: 109573 Emean = 423.33 keV ( 2.3255 eV --> 1.2901 MeV)
C13: 1724 Emean = 532.77 keV ( 28.992 eV --> 1.3383 MeV)
C15: 3 Emean = 189.16 keV ( 189.1 keV --> 189.23 keV)
C135: 6590 Emean = 108.87 keV ( 29.19 eV --> 491.76 keV)
C136: 1 Emean = 135.01 keV ( 135.01 keV --> 135.01 keV)
C137: 2495 Emean = 112.64 keV ( 19.931 eV --> 464.92 keV)
O16: 20821 Emean = 373.4 keV ( 13.177 eV --> 1.0658 MeV)
O17: 9 Emean = 211.33 keV ( 9.1989 keV --> 613.95 keV)
O18: 38 Emean = 343.21 keV ( 7.8065 keV --> 892.59 keV)
P32: 255 Emean = 672.68 keV ( 174.98 keV --> 1.1962 MeV)
S35: 534 Emean = 239.36 keV ( 2.6463 keV --> 524.8 keV)
Th232: 94751 Emean = 14.261 keV ( 0.023079 eV --> 77.733 keV)
Th233: 192 Emean = 19.491 keV ( 17.491 keV --> 21.058 keV)
alpha: 813 Emean = 2.4503 MeV ( 50.305 keV --> 5.2458 MeV)
deuteron: 18 Emean = 1.1346 MeV ( 13.985 keV --> 3.7181 MeV)
gamma: 414614 Emean = 293.73 keV ( 3.0661 eV --> 8.3913 MeV)
neutron: 46957 Emean = 1.7649 MeV ( 2.7538 keV --> 13.974 MeV)
proton: 137094 Emean = 2.2721 MeV ( 12.026 eV --> 5.1133 MeV)

Momentum balance: Pmean = 641.39 keV ( 282.14 eV --> 335.62 MeV)

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (Index) = 0
Current couple of seeds = 1455447717, 2128977874
-----
Idle>
```

Şekil 4.43. %30 epoksi ve %70 toryum için simülasyon ekran görüntüsü

Çizelge 4.49. %40 epoksi ve %60 Toryum için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi

Ürün Tipi	Parçacık Sayısı	Parçacığın Ortalama Enerjisi	Parçacığın Enerji Aralığı
^{12}C	125807	420.83 keV	1.7878 eV --> 1.2902 MeV
^{13}C	2004	528.29 keV	148.3 eV --> 1.3446 MeV
^{15}C	3	189.06 keV	188.97 keV --> 189.11 keV
^{35}Cl	7631	108.62 keV	12.208 eV --> 491.71 keV
^{36}Cl	1	128.71 keV	128.71 keV --> 128.71 keV
^{37}Cl	2895	113.16 keV	2.3582 eV --> 465.62 keV
^{16}O	23692	377.56 keV	2.4093 eV --> 1.0064 MeV
^{17}O	11	301.68 keV	98.768 keV --> 858.31 keV
^{18}O	54	325.39 keV	5.6574 keV --> 884.41 keV
^{32}P	281	683.74 keV	126.28 keV --> 1.209 MeV
^{35}S	596	228.43 keV	1.3285 keV --> 524.81 keV
^{232}Th	70452	14.205 keV	0.091037 eV --> 77.78 keV
^{233}Th	169	19.461 keV	16.896 keV --> 21.413 keV
Alfa (α)	916	2.4112 MeV	50.273 keV --> 5.2448 MeV
Döteron (D)	24	1.5046 MeV	4.5826 keV --> 3.6643 MeV
Gama (γ)	311449	302.39 keV	7.566 eV --> 9.2639 MeV
Nötron (n)	35994	1.7569 MeV	10.938 keV --> 16.345 MeV
Proton (p)	159292	2.2674 MeV	34.885 eV --> 5.1146 MeV
Ortalama momentum: 472.16 keV (103.25 eV --> 325.3 MeV)			

```
aysegul@aysegul-VPCF24M1E:~/Hadr03
neutron + C135 --> N gamma + neutron + C135: 1943 Q = 1.2531 keV
neutron + C135 --> N gamma + proton + S35: 305 Q = 0.6165 keV
neutron + C135 --> alpha + P32: 2 Q = 939.06 keV
neutron + C135 --> neutron + C135: 5688 Q = 23.705 eV
neutron + C135 --> proton + S35: 291 Q = 615.87 keV
neutron + C137 --> N gamma + neutron + C137: 765 Q = -193.56 eV
neutron + C137 --> neutron + C137: 2130 Q = 25.387 eV
neutron + H1 --> N gamma + deuteron: 2 Q = -5.0511 keV
neutron + H1 --> neutron + proton: 158696 Q = 1.2271 keV
neutron + H2 --> neutron + deuteron: 22 Q = 390.5 eV
neutron + O16 --> N gamma + O17: 2 Q = 1.5635 MeV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + C13: 632 Q = -539.89 keV
neutron + O16 --> neutron + O16: 23692 Q = 103.56 eV
neutron + O17 --> N gamma + neutron + O17: 1 Q = 0.054004 eV
neutron + O17 --> neutron + O17: 8 Q = 77.56 eV
neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15: 3 Q = -4.2591 MeV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 11 Q = 1.9945 keV
neutron + O18 --> neutron + O18: 43 Q = -17.984 keV
neutron + Th232 --> N gamma: 76 Q = -3.8124 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 2 neutron: 325 Q = 0.1212 keV
neutron + Th232 --> N gamma + 3 neutron: 278 Q = 2.7328 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 4 neutron: 191 Q = 5.3673 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 5 neutron: 92 Q = 7.7078 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 6 neutron: 53 Q = 9.9792 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 7 neutron: 16 Q = 12.393 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 8 neutron: 2 Q = 13.993 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 9 neutron: 1 Q = 19.238 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + Th233: 169 Q = 4.0059 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + neutron: 295 Q = -1.5023 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + neutron + Th232: 29816 Q = 3.8984 keV
neutron + Th232 --> neutron + Th232: 40636 Q = 1.0876 eV

Number of gamma: N = 1 --> 16

List of generated particles:
C12: 125807 Emean = 420.83 keV ( 1.7878 eV --> 1.2902 MeV)
C13: 2804 Emean = 528.29 keV ( 148.3 eV --> 1.3446 MeV)
C15: 3 Emean = 189.06 keV ( 188.97 keV --> 189.11 keV)
C135: 7631 Emean = 108.62 keV ( 12.208 eV --> 491.71 keV)
C136: 1 Emean = 128.71 keV ( 128.71 keV --> 128.71 keV)
C137: 2895 Emean = 113.16 keV ( 2.3582 eV --> 465.62 keV)
O16: 23692 Emean = 377.56 keV ( 2.4093 eV --> 1.0064 MeV)
O17: 11 Emean = 301.68 keV ( 98.768 keV --> 858.31 keV)
O18: 54 Emean = 325.39 keV ( 5.6574 keV --> 884.41 keV)
P32: 281 Emean = 683.74 keV ( 126.28 keV --> 1.209 MeV)
S35: 596 Emean = 228.43 keV ( 1.3285 keV --> 524.81 keV)
Th232: 76452 Emean = 14.285 keV ( 0.801037 eV --> 77.78 keV)
Th233: 169 Emean = 19.461 keV ( 16.896 keV --> 21.413 keV)
alpha: 916 Emean = 2.4112 MeV ( 50.273 keV --> 5.2448 MeV)
deuteron: 24 Emean = 1.5846 MeV ( 4.5826 keV --> 3.6643 MeV)
gamma: 311449 Emean = 302.39 keV ( 7.566 eV --> 9.2639 MeV)
neutron: 35994 Emean = 1.7569 MeV ( 10.938 keV --> 16.345 MeV)
proton: 159292 Emean = 2.2674 MeV ( 34.885 eV --> 5.1146 MeV)

Momentum balance: Pmean = 472.16 keV ( 103.25 eV --> 325.3 MeV)

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (index) = 0
Current couple of seeds = 1745271332, 1074432845
-----
Idle>
```

Şekil 4.44. %40 epoksi ve %60 toryum için simülasyon ekran görüntüsü

Çizelge 4.50. %50 epoksi ve %50 Toryum için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi

Ürün Tipi	Parçacık Sayısı	Parçacığın Ortalama Enerjisi	Parçacığın Enerji Aralığı
¹² C	135679	422.96 keV	3.5428 eV --> 1.2902 MeV
¹³ C	2193	541.25 keV	34.574 eV --> 1.3419 MeV
¹⁴ C	2	1.5102 MeV	1.3492 MeV --> 1.6713 MeV
¹⁵ C	8	189 keV	188.88 keV --> 189.07 keV
³⁵ Cl	8304	110.6 keV	28.346 eV --> 491.78 keV
³⁶ Cl	1	140.19 keV	140.19 keV --> 140.19 keV
³⁷ Cl	3045	115.43 keV	20.959 eV --> 466.53 keV
¹⁶ O	25295	372.92 keV	33.084 eV --> 1.0058 MeV
¹⁷ O	9	359.6 keV	63.88 keV --> 713.9 keV
¹⁸ O	55	333.26 keV	4.7869 keV --> 894.35 keV
³² P	316	693.42 keV	142.27 keV --> 1.2182 MeV
³⁵ S	689	219.45 keV	2.7824 keV --> 524.81 keV
²³² Th	50432	14.191 keV	0.16237 eV --> 77.768 keV
²³³ Th	117	19.476 keV	16.896 keV --> 21.548 keV
Alfa (α)	1062	2.3795 MeV	50.249 keV --> 5.2448 MeV
Döteron (D)	26	1.7301 MeV	206.18 keV --> 3.7181 MeV
Gama (γ)	226059	314.1 keV	2.0583 eV --> 9.1807 MeV
Nötron (n)	26791	1.7485 MeV	4.8402 keV --> 14.279 MeV
Proton (p)	170778	2.2687 MeV	3.8334 eV --> 5.1131 MeV
Ortalama momentum: 364.93 keV (142.92 eV --> 373.4 MeV)			

```
aysegul@aysegul-VPCF24M1E: ~/Hadr03
neutron + C135 --> alpha + P32: 9 Q = 939.08 keV
neutron + C135 --> neutron + C135: 6145 Q = 24.21 eV
neutron + C135 --> proton + S35: 289 Q = 615.86 keV
neutron + C137 --> N gamma + neutron + C137: 750 Q = 25.157 keV
neutron + C137 --> neutron + C137: 2295 Q = 26.039 eV
neutron + H1 --> N gamma + deuteron: 2 Q = -16.454 keV
neutron + H1 --> neutron + proton: 170889 Q = 1.228 keV
neutron + H2 --> neutron + deuteron: 24 Q = 458.75 eV
neutron + O16 --> N gamma + O17: 2 Q = -410.8 keV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + C13: 736 Q = 323.95 keV
neutron + O16 --> neutron + O16: 25295 Q = 102.29 eV
neutron + O17 --> alpha + C14: 2 Q = 1.8179 MeV
neutron + O17 --> neutron + O17: 7 Q = 99.481 eV
neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15: 5 Q = -4.2583 MeV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 8 Q = -897.22 eV
neutron + O18 --> alpha + C15: 3 Q = -4.2687 MeV
neutron + O18 --> neutron + O18: 47 Q = -20.676 keV
neutron + Th232 --> 3 neutrons: 1 Q = 4.4629 MeV
neutron + Th232 --> N gamma: 82 Q = -3.7381 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 2 neutrons: 266 Q = 938.36 keV
neutron + Th232 --> N gamma + 3 neutrons: 234 Q = 2.9292 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 4 neutrons: 151 Q = 4.9595 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 5 neutrons: 86 Q = 8.1394 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 6 neutrons: 37 Q = 10.649 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 7 neutrons: 8 Q = 9.8992 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 8 neutrons: 5 Q = 14.393 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + Th233: 117 Q = 4.8059 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + neutron: 208 Q = -1.5505 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + neutron + Th232: 21177 Q = 3.8388 keV
neutron + Th232 --> neutron + Th232: 29255 Q = 1.0884 eV

Number of gamma: N = 1 --> 16

List of generated particles:
C12: 135679 Emean = 422.96 keV ( 3.5428 eV --> 1.2902 MeV)
C13: 2193 Emean = 541.25 keV ( 34.574 eV --> 1.3419 MeV)
C14: 2 Emean = 1.5102 MeV ( 1.3492 MeV --> 1.6713 MeV)
C15: 8 Emean = 189 keV ( 188.68 keV --> 189.07 keV)
C135: 8304 Emean = 110.6 keV ( 28.346 eV --> 491.78 keV)
C136: 1 Emean = 140.19 keV ( 140.19 keV --> 140.19 keV)
C137: 3045 Emean = 115.43 keV ( 20.959 eV --> 466.53 keV)
O16: 25295 Emean = 372.92 keV ( 33.084 eV --> 1.0058 MeV)
O17: 9 Emean = 359.6 keV ( 63.88 keV --> 713.9 keV)
O18: 55 Emean = 333.26 keV ( 4.7869 keV --> 894.35 keV)
P32: 316 Emean = 693.42 keV ( 242.27 keV --> 1.2182 MeV)
S35: 689 Emean = 219.45 keV ( 2.7824 keV --> 524.81 keV)
Th232: 50432 Emean = 14.191 keV ( 0.16237 eV --> 77.768 keV)
Th233: 117 Emean = 19.476 keV ( 16.896 keV --> 21.548 keV)
alpha: 1062 Emean = 2.3795 MeV ( 50.249 keV --> 5.2448 MeV)
deuteron: 26 Emean = 1.7381 MeV ( 286.18 keV --> 3.7181 MeV)
gamma: 226059 Emean = 314.1 keV ( 2.0583 eV --> 9.1807 MeV)
neutron: 26791 Emean = 1.7485 MeV ( 4.8402 keV --> 14.279 MeV)
proton: 170778 Emean = 2.2687 MeV ( 3.8334 eV --> 5.1131 MeV)

Momentum balance: Pmean = 364.93 keV ( 142.92 eV --> 373.4 MeV)

----- Raney engine status -----
Initial seed (Index) = 0
Current couple of seeds = 1814983591, 506258354
-----
Idle>
```

Şekil 4.45. %50 epoksi ve %50 toryum için simülasyon ekran görüntüsü

Çizelge 4.51. %60 epoksi ve %40 Toryum için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi

Ürün Tipi	Parçacık Sayısı	Parçacığın Ortalama Enerjisi	Parçacığın Enerji Aralığı
¹² C	136236	421.53 keV	1.3763 eV --> 1.2901 MeV
¹³ C	2235	531.17 keV	180.27 eV --> 1.3405 MeV
¹⁵ C	1	188.98 keV	188.98 keV --> 188.98 keV
³⁵ Cl	8357	106.95 keV	5.3044 eV --> 491.97 keV
³⁶ Cl	3	148.92 keV	127.53 keV --> 184.21 keV
³⁷ Cl	3127	110.67 keV	9.3478 eV --> 466.57 keV
¹⁶ O	25858	371.85 keV	11.996 eV --> 1.0061 MeV
¹⁷ O	14	265.54 keV	8.8492 keV --> 881.88 keV
¹⁸ O	57	342.24 keV	13.646 keV --> 894.35 keV
³² P	321	673.24 keV	130.55 keV --> 1.2158 MeV
³⁵ S	699	226.2 keV	2.7824 keV --> 524.88 keV
³⁷ S	1	260.85 keV	260.85 keV --> 260.85 keV
²³² Th	34154	14.206 keV	0.38394 eV --> 77.717 keV
²³³ Th	65	19.427 keV	18.09 keV --> 20.338 keV
Alfa (α)	1056	2.4126 MeV	50.275 keV --> 5.2448 MeV
Döteron (D)	30	1.6988 MeV	1.9129 keV --> 3.9572 MeV
Gama (γ)	156940	328.05 keV	2.0583 eV --> 9.5566 MeV
Nötron (n)	18805	1.7179 MeV	9.2668 keV --> 12.744 MeV
Proton (p)	173116	2.2686 MeV	26.72 eV --> 5.1131 MeV
Ortalama momentum: 234.38 keV (117.52 eV --> 363.02 MeV)			

```
aysegul@aysegul-VPCF24M1E: ~/Hadr03
neutron + C135 --> alpha + P32: 3 Q = 939.07 keV
neutron + C135 --> neutron + C135: 6216 Q = 23.25 eV
neutron + C137 --> N gamma + neutron + C137: 316 Q = 615.87 keV
neutron + C137 --> N gamma + proton + S37: 732 Q = 24.446 keV
neutron + C137 --> N gamma + C137: 1 Q = -2.527 MeV
neutron + C137 --> neutron + C137: 2415 Q = 25.187 eV
neutron + H1 --> N gamma + deuteron: 3 Q = 7.3786 keV
neutron + H1 --> neutron + proton: 172416 Q = 1.2278 keV
neutron + H2 --> neutron + deuteron: 27 Q = 444.45 eV
neutron + O16 --> N gamma + O17: 2 Q = 1.9797 MeV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + C13: 734 Q = -453.47 keV
neutron + O16 --> neutron + O16: 25858 Q = 182 eV
neutron + O17 --> N gamma + neutron + O17: 1 Q = 0.815167 eV
neutron + O17 --> neutron + O17: 11 Q = 67.868 eV
neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15: 1 Q = -4.2593 MeV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 4 Q = 328.8 eV
neutron + O18 --> neutron + O18: 53 Q = -20.633 keV
neutron + Th232 --> 4 neutron: 1 Q = 1.8704 MeV
neutron + Th232 --> N gamma: 52 Q = -3.8938 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 2 neutron: 150 Q = 520.23 keV
neutron + Th232 --> N gamma + 3 neutron: 131 Q = 3.2304 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 4 neutron: 90 Q = 5.2332 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 5 neutron: 44 Q = 7.8592 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 6 neutron: 15 Q = 12.063 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 7 neutron: 8 Q = 13.828 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 8 neutron: 1 Q = 19.213 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + Th233: 65 Q = 4.8058 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + neutron: 123 Q = -1.2821 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + neutron + Th232: 14393 Q = 3.7745 keV
neutron + Th232 --> neutron + Th232: 19761 Q = 1.0884 eV

Number of gamma: N = 1 --> 16

List of generated particles:
C12: 136236 Emean = 421.53 keV ( 1.3763 eV --> 1.2981 MeV)
C13: 2235 Emean = 531.17 keV ( 189.27 eV --> 1.3405 MeV)
C15: 1 Emean = 188.98 keV ( 188.98 keV --> 188.98 keV)
C135: 8357 Emean = 106.95 keV ( 5.3044 eV --> 491.97 keV)
C136: 3 Emean = 148.92 keV ( 127.53 keV --> 184.21 keV)
C137: 3127 Emean = 110.67 keV ( 9.3478 eV --> 466.57 keV)
O16: 25858 Emean = 371.85 keV ( 11.996 eV --> 1.0061 MeV)
O17: 14 Emean = 205.54 keV ( 8.0492 keV --> 881.88 keV)
O18: 57 Emean = 242.24 keV ( 13.646 keV --> 894.35 keV)
P32: 321 Emean = 673.24 keV ( 130.55 keV --> 1.2158 MeV)
S37: 699 Emean = 226.2 keV ( 2.7824 keV --> 524.88 keV)
S37: 1 Emean = 260.85 keV ( 260.85 keV --> 260.85 keV)
Th232: 34154 Emean = 14.286 keV ( 0.38394 eV --> 77.717 keV)
Th233: 65 Emean = 19.427 keV ( 18.09 keV --> 20.338 keV)
alpha: 1050 Emean = 2.4326 MeV ( 20.275 keV --> 5.2448 MeV)
deuteron: 30 Emean = 1.6988 MeV ( 1.9129 keV --> 3.9572 MeV)
gamma: 156940 Emean = 328.05 keV ( 2.0583 eV --> 9.5566 MeV)
neutron: 18805 Emean = 1.7179 MeV ( 9.2668 keV --> 12.744 MeV)
proton: 173116 Emean = 2.2686 MeV ( 26.72 eV --> 5.1131 MeV)

Momentum balance: Pmean = 234.38 keV ( 117.52 eV --> 363.02 MeV)

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (index) = 0
Current couple of seeds = 1724868336, 1012006
Idle>
```

Şekil 4.46. %60 epoksi ve %40 toryum için simülasyon ekran görüntüsü

Çizelge 4.52. %70 epoksi ve %30 Toryum için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi

Ürün Tipi	Parçacık Sayısı	Parçacığın Ortalama Enerjisi	Parçacığın Enerji Aralığı
^{12}C	131444	423.38 keV	3.9037 eV --> 1.2902 MeV
^{13}C	2129	541.73 keV	148.3 eV --> 1.3436 MeV
^{15}C	7	189.08 keV	188.98 keV --> 189.18 keV
^{35}Cl	8149	108.83 keV	22.066 eV --> 491.72 keV
^{36}Cl	2	131.27 keV	127.53 keV --> 135.01 keV
^{37}Cl	2954	111.8 keV	18.998 eV --> 466.06 keV
^{16}O	24686	371.65 keV	0.88855 eV --> 1.0065 MeV
^{17}O	8	292.79 keV	72.878 keV --> 678.17 keV
^{18}O	49	296.93 keV	9.4665 keV --> 894.35 keV
^{32}P	300	651.4 keV	184.85 keV --> 1.2112 MeV
^{35}S	667	243.64 keV	858.88 eV --> 524.72 keV
^{232}Th	20882	14.095 keV	0.091764 eV --> 77.78 keV
^{233}Th	41	19.63 keV	18.557 keV --> 23.117 keV
Alfa (α)	1019	2.3699 MeV	50.274 keV --> 5.2415 MeV
Döteron (D)	19	2.0685 MeV	161.77 keV --> 3.9712 MeV
Gama (γ)	98448	354 keV	25.289 eV --> 8.5041 MeV
Nötron (n)	12574	1.706 MeV	11.303 keV --> 14.279 MeV
Proton (p)	165904	2.2673 MeV	5.091 eV --> 5.1149 MeV
Ortalama momentum: 173.05 keV (223.07 eV --> 343.15 MeV)			


```
aysegul@aysegul-VPCF24M1E:~/Hadr03
neutron + C135 --> N gamma + proton + S35: 351 Q = 616.64 keV
neutron + C135 --> alpha + P32: 4 Q = 939.08 keV
neutron + C135 --> neutron + C135: 6091 Q = 23.78 eV
neutron + C135 --> proton + S35: 316 Q = 615.87 keV
neutron + C137 --> N gamma + neutron + C137: 711 Q = -176.66 eV
neutron + C137 --> neutron + C137: 2243 Q = 25.44 eV
neutron + H1 --> N gamma + deuteron: 1 Q = -96.618 keV
neutron + H1 --> neutron + proton: 165237 Q = 1.227 keV
neutron + H2 --> neutron + deuteron: 18 Q = 568.98 eV
neutron + O16 --> N gamma + O17: 1 Q = -1.1887 MeV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + C13: 712 Q = -439.86 keV
neutron + O16 --> neutron + O16: 24686 Q = 181.95 eV
neutron + O17 --> N gamma + neutron + O17: 3 Q = -319.48 eV
neutron + O17 --> neutron + O17: 4 Q = 82.996 eV
neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15: 6 Q = -4.2585 MeV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 3 Q = -1.0448 keV
neutron + O18 --> alpha + C15: 1 Q = -4.2607 MeV
neutron + O18 --> neutron + O18: 46 Q = -18.09 keV
neutron + Th232 --> N gamma: 26 Q = -3.4895 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 2 neutron: 184 Q = 416.62 keV
neutron + Th232 --> N gamma + 3 neutron: 96 Q = 2.8955 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 4 neutron: 59 Q = 4.1856 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 5 neutron: 27 Q = 7.7677 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 6 neutron: 14 Q = 11.892 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 7 neutron: 3 Q = 11.257 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 8 neutron: 1 Q = 17.251 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 9 neutron: 1 Q = 14.275 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + Th233: 41 Q = 4.886 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + neutron: 80 Q = -1.3317 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + neutron + Th232: 8730 Q = 4.333 keV
neutron + Th232 --> neutron + Th232: 12152 Q = 1.0554 eV

Number of gamma: N = 1 --> 16

List of generated particles:
C12: 131444 Emean = 423.38 keV ( 3.9037 eV --> 1.2902 MeV)
C13: 2129 Emean = 541.73 keV ( 148.3 eV --> 1.3436 MeV)
C15: 7 Emean = 189.08 keV ( 188.98 keV --> 189.18 keV)
C135: 8149 Emean = 108.83 keV ( 22.066 eV --> 491.72 keV)
C136: 2 Emean = 131.27 keV ( 127.53 keV --> 135.01 keV)
C137: 2954 Emean = 111.8 keV ( 18.998 eV --> 406.08 keV)
O16: 24686 Emean = 371.65 keV ( 0.88855 eV --> 1.0065 MeV)
O17: 8 Emean = 292.79 keV ( 22.878 keV --> 878.17 keV)
O18: 49 Emean = 296.93 keV ( 9.4665 keV --> 894.35 keV)
P32: 300 Emean = 651.4 keV ( 184.85 keV --> 1.2112 MeV)
S35: 607 Emean = 243.64 keV ( 858.88 eV --> 524.72 keV)
Th232: 20882 Emean = 14.095 keV ( 0.091764 eV --> 77.78 keV)
Th233: 41 Emean = 19.63 keV ( 18.557 keV --> 23.117 keV)
alpha: 1019 Emean = 2.3699 MeV ( 50.274 keV --> 5.2415 MeV)
deuteron: 19 Emean = 2.0685 MeV ( 161.77 keV --> 3.9712 MeV)
gamma: 98448 Emean = 354 keV ( 25.289 eV --> 8.5041 MeV)
neutron: 12574 Emean = 1.706 MeV ( 11.303 keV --> 14.279 MeV)
proton: 165904 Emean = 2.2673 MeV ( 5.091 eV --> 5.1149 MeV)

Momentum balance: Pmean = 173.05 keV ( 223.07 eV --> 343.15 MeV)

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (index) = 0
Current couple of seeds = 38698417, 427785481
Idle>
```

Şekil 4.47. %70 epoksi ve %30 toryum için simülasyon ekran görüntüsü

Çizelge 4.53. %80 epoksi ve %20 Toryum için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi

Ürün Tipi	Parçacık Sayısı	Parçacığın Ortalama Enerjisi	Parçacığın Enerji Aralığı
^{12}C	116360	422.13 keV	6.6398 eV --> 1.2903 MeV
^{13}C	1807	536.71 keV	513.92 eV --> 1.3392 MeV
^{14}C	1	1.803 MeV	1.803 MeV --> 1.803 MeV
^{15}C	3	188.98 keV	188.94 keV --> 189.06 keV
^{35}Cl	7120	110.67 keV	3.4746 eV --> 491.65 keV
^{36}Cl	3	119.54 keV	100.48 keV --> 135.01 keV
^{37}Cl	2722	113.68 keV	6.9622 eV --> 466.13 keV
^{16}O	22061	372.28 keV	12.194 eV --> 1.0061 MeV
^{17}O	12	254.69 keV	7.8721 keV --> 560.1 keV
^{18}O	50	241.09 keV	9.4665 keV --> 846.9 keV
^{32}P	251	669.74 keV	142.27 keV --> 1.2099 MeV
^{35}S	617	228.23 keV	2.6704 keV --> 524.72 keV
^{37}S	1	86.978 keV	86.978 keV --> 86.978 keV
^{232}Th	10897	14.124 keV	0.27279 eV --> 77.729 keV
^{233}Th	30	19.581 keV	18.426 keV --> 20.524 keV
Alfa (α)	880	2.374 MeV	50.265 keV --> 5.235 MeV
Döteron (D)	17	1.7817 MeV	51.281 keV --> 3.909 MeV
Gama (γ)	54573	399.92 keV	2.9572 eV --> 10.543 MeV
Nötron (n)	7523	1.6898 MeV	11.471 keV --> 11.618 MeV
Proton (p)	148634	2.2718 MeV	8.336 eV --> 5.1132 MeV
Ortalama momentum: 119.17 keV (146.37 eV --> 352.46 MeV)			

```

aysegul@aysegul-VPCF24M1E:~/Hadr03
neutron + C135 --> alpha + P32: 4 Q = 939.06 keV
neutron + C135 --> neutron + C135: 5364 Q = 24.761 eV
neutron + C135 --> proton + S35: 286 Q = 615.87 keV
neutron + C137 --> N gamma + neutron + C137: 653 Q = 15.663 keV
neutron + C137 --> N gamma + proton + S37: 1 Q = -2.925 MeV
neutron + C137 --> neutron + C137: 2069 Q = 25.939 eV
neutron + H1 --> N gamma + deuteron: 1 Q = 36.539 keV
neutron + H1 --> neutron + proton: 148015 Q = 1.2294 keV
neutron + H2 --> neutron + deuteron: 16 Q = 475.71 eV
neutron + H2 --> proton + 2 neutron: 1 Q = -1.9043 MeV
neutron + O16 --> N gamma + O17: 2 Q = -1.2823 MeV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + C13: 625 Q = -500.28 keV
neutron + O16 --> neutron + O16: 22061 Q = 102.12 eV
neutron + O17 --> N gamma + alpha + C14: 1 Q = 1.8177 MeV
neutron + O17 --> neutron + O17: 10 Q = 04.679 eV
neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15: 3 Q = -4.2508 MeV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 5 Q = 402 eV
neutron + O18 --> neutron + O18: 45 Q = -14.101 keV
neutron + Th232 --> N gamma: 19 Q = -3.5686 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 2 neutron: 56 Q = 898.88 keV
neutron + Th232 --> N gamma + 3 neutron: 54 Q = 3.317 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 4 neutron: 17 Q = 6.2714 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 5 neutron: 20 Q = 8.0139 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 6 neutron: 6 Q = 8.6452 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 8 neutron: 2 Q = 10.557 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + Th233: 30 Q = 4.086 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + neutron: 60 Q = -1.1647 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + neutron + Th232: 4563 Q = 3.3124 keV
neutron + Th232 --> neutron + Th232: 6344 Q = 1.0956 eV

Number of gamma: N = 1 --> 16

List of generated particles:
C12: 110360 Enean = 422.13 keV ( 6.6398 eV --> 1.2903 MeV)
C13: 1807 Enean = 536.71 keV ( 513.92 eV --> 1.3392 MeV)
C14: 1 Enean = 1.883 MeV ( 2.883 MeV --> 1.883 MeV)
C15: 3 Enean = 108.98 keV ( 108.94 keV --> 109.06 keV)
C135: 7120 Enean = 110.67 keV ( 3.4746 eV --> 401.65 keV)
C136: 3 Enean = 119.54 keV ( 109.48 keV --> 135.01 keV)
C137: 2722 Enean = 113.68 keV ( 6.9622 eV --> 466.13 keV)
O16: 22061 Enean = 372.28 keV ( 12.194 eV --> 1.0061 MeV)
O17: 12 Enean = 254.69 keV ( 7.8721 keV --> 500.1 keV)
O18: 50 Enean = 241.09 keV ( 9.4665 keV --> 846.9 keV)
P32: 251 Enean = 609.74 keV ( 142.27 keV --> 1.2099 MeV)
S35: 617 Enean = 228.23 keV ( 2.6704 keV --> 524.72 keV)
S37: 1 Enean = 86.978 keV ( 86.978 keV --> 86.978 keV)
Th232: 10897 Enean = 14.124 keV ( 0.27279 eV --> 77.729 keV)
Th233: 30 Enean = 19.581 keV ( 18.426 keV --> 20.524 keV)
alpha: 880 Enean = 2.374 MeV ( 50.265 keV --> 5.235 MeV)
deuteron: 17 Enean = 1.7817 MeV ( 51.281 keV --> 3.909 MeV)
gamma: 54573 Enean = 399.92 keV ( 2.9572 eV --> 10.543 MeV)
neutron: 7523 Enean = 1.6898 MeV ( 11.471 keV --> 11.618 MeV)
proton: 148634 Enean = 2.2718 MeV ( 8.336 eV --> 5.1132 MeV)

Momentum balance: Pmean = 119.17 keV ( 146.37 eV --> 352.46 MeV)

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (index) = 0
Current couple of seeds = 1685210723, 602018708
-----
idle>

```

Şekil 4.48. %80 epoksi ve %20 toryum için simülasyon ekran görüntüsü

Çizelge 4.54. %90 epoksi ve %10 Toryum için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi

Ürün Tipi	Parçacık Sayısı	Parçacığın Ortalama Enerjisi	Parçacığın Enerji Aralığı
¹² C	93350	422.21 keV	0.97906 eV --> 1.2902 MeV
¹³ C	1450	534.53 keV	180.27 eV --> 1.328 MeV
¹⁵ C	2	189.09 keV	189.08 keV --> 189.09 keV
³⁵ Cl	5846	105.69 keV	5.4149 eV --> 491.78 keV
³⁶ Cl	2	143.05 keV	135.01 keV --> 151.09 keV
³⁷ Cl	2128	108.62 keV	15.952 eV --> 466.17 keV
¹⁶ O	17869	374.21 keV	5.5533 eV --> 1.0063 MeV
¹⁷ O	8	388.26 keV	10.788 keV --> 811.65 keV
¹⁸ O	38	281.15 keV	20.499 keV --> 866.1 keV
³² P	224	691.82 keV	148.08 keV --> 1.2069 MeV
³⁵ S	459	228.3 keV	1.9704 keV --> 524.72 keV
²³² Th	3789	14.36 keV	1.9347 eV --> 77.804 keV
²³³ Th	7	19.483 keV	19.266 keV --> 19.828 keV
Alfa (α)	710	2.4082 MeV	50.3 keV --> 5.2259 MeV
Döteron (D)	17	2.0849 MeV	9.8543 keV --> 3.9419 MeV
Gama (γ)	23133	505.1 keV	10.279 eV --> 11.383 MeV
Nötron (n)	3776	1.6084 MeV	10.922 keV --> 11.429 MeV
Proton (p)	118587	2.2707 MeV	19.75 eV --> 5.1138 MeV
Ortalama momentum: 57.558 keV (127.73 eV --> 249.86 MeV)			

```
aysegul@aysegul-VPCF24M1E: ~/Hadr03
neutron + Cl35 --> N gamma + alpha + P32: 220 Q = 940.74 keV
neutron + Cl35 --> N gamma + neutron + Cl35: 1452 Q = 4.9672 keV
neutron + Cl35 --> N gamma + proton + S35: 248 Q = 637.48 keV
neutron + Cl35 --> alpha + P32: 4 Q = 939.06 keV
neutron + Cl35 --> neutron + Cl35: 4394 Q = 22.815 eV
neutron + Cl35 --> proton + S35: 211 Q = 615.87 keV
neutron + Cl37 --> N gamma + neutron + Cl37: 512 Q = 9.8746 keV
neutron + Cl37 --> neutron + Cl37: 1616 Q = 24.281 eV
neutron + H1 --> N gamma + deuteron: 3 Q = -1.0535 keV
neutron + H1 --> neutron + proton: 118127 Q = 1.229 keV
neutron + H2 --> neutron + deuteron: 14 Q = 556.07 eV
neutron + H2 --> proton + 2 neutron: 1 Q = -2.2093 MeV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + Cl35: 484 Q = -594.24 keV
neutron + O16 --> neutron + O16: 17869 Q = 192.65 eV
neutron + O17 --> N gamma + neutron + O17: 2 Q = -630.54 eV
neutron + O17 --> neutron + O17: 6 Q = 100.1 eV
neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15: 1 Q = -4.2594 MeV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 4 Q = 0.036427 eV
neutron + O18 --> alpha + C15: 1 Q = -4.2606 MeV
neutron + O18 --> neutron + O18: 34 Q = -16.583 keV
neutron + Th232 --> N gamma: 6 Q = -3.7942 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 2 neutron: 19 Q = 337.68 keV
neutron + Th232 --> N gamma + 3 neutron: 19 Q = 3.0115 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 4 neutron: 11 Q = 4.9765 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 5 neutron: 4 Q = 6.8757 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 6 neutron: 1 Q = 19.71 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + 7 neutron: 1 Q = 10.805 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + Th233: 7 Q = 4.8059 MeV
neutron + Th232 --> N gamma + neutron: 11 Q = -607.5 keV
neutron + Th232 --> N gamma + neutron + Th232: 1621 Q = 4.7306 keV
neutron + Th232 --> neutron + Th232: 2168 Q = 1.8969 eV

Number of gamma: N = 1 --> 16

List of generated particles:
C12: 93350 Emean = 422.21 keV ( 0.97906 eV --> 1.2982 MeV)
C13: 1450 Emean = 534.53 keV ( 189.27 eV --> 1.328 MeV)
C15: 2 Emean = 189.09 keV ( 189.08 keV --> 189.09 keV)
Cl35: 5846 Emean = 105.69 keV ( 5.4149 eV --> 491.78 keV)
Cl36: 2 Emean = 143.05 keV ( 135.01 keV --> 151.09 keV)
Cl37: 2128 Emean = 108.62 keV ( 15.952 eV --> 466.17 keV)
O16: 17869 Emean = 374.21 keV ( 5.5533 eV --> 1.0063 MeV)
O17: 8 Emean = 388.26 keV ( 10.788 keV --> 811.65 keV)
O18: 38 Emean = 281.15 keV ( 20.499 keV --> 866.1 keV)
P32: 224 Emean = 691.82 keV ( 148.08 keV --> 1.2069 MeV)
S35: 459 Emean = 228.3 keV ( 1.9704 keV --> 524.72 keV)
Th232: 3789 Emean = 14.36 keV ( 1.9347 eV --> 77.804 keV)
Th233: 7 Emean = 19.483 keV ( 19.266 keV --> 19.828 keV)
alpha: 710 Emean = 2.4082 MeV ( 90.3 keV --> 5.2259 MeV)
deuteron: 17 Emean = 2.0849 MeV ( 9.8543 keV --> 3.9419 MeV)
gamma: 21133 Emean = 505.1 keV ( 10.279 eV --> 11.383 MeV)
neutron: 3776 Emean = 1.6084 MeV ( 10.922 keV --> 11.429 MeV)
proton: 118587 Emean = 2.2707 MeV ( 19.75 eV --> 5.1138 MeV)

Momentum balance: Pmean = 57.558 keV ( 127.73 eV --> 249.86 MeV)

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (index) = 0
Current couple of seeds = 1807498434, 686410917
-----
Idle>
```

Şekil 4.49. %90 epoksi ve %10 toryum için simülasyon ekran görüntüsü

Çizelge 4.55. %100 epoksi için çıkan parçacık sayısı-enerji ilişkisi

Ürün Tipi	Parçacık Sayısı	Parçacığın Ortalama Enerjisi	Parçacığın Enerji Aralığı
^{12}C	58024	425.84 keV	4.1494 eV --> 1.2902 MeV
^{13}C	878	546.14 keV	85.793 eV --> 1.3375 MeV
^{15}C	2	189 keV	188.9 keV --> 189.11 keV
^{35}Cl	3589	106.72 keV	70.383 eV --> 491.19 keV
^{37}Cl	1323	117.13 keV	15.438 eV --> 466.06 keV
^{16}O	10701	371.23 keV	12.251 eV --> 1.0061 MeV
^{17}O	9	501.22 keV	125.01 keV --> 940.13 keV
^{18}O	21	409.24 keV	12.122 keV --> 849.8 keV
^{32}P	128	687 keV	169.84 keV --> 1.2048 MeV
^{35}S	307	244.14 keV	4.604 keV --> 524.65 keV
Alfa (α)	435	2.3815 MeV	50.255 keV --> 5.2278 MeV
Döteron (D)	10	1.4241 MeV	202.99 keV --> 2.9954 MeV
Gama (γ)	4109	1.0543 MeV	340.41 eV --> 4.9463 MeV
Nötron (n)	1171	1.4605 MeV	10.618 keV --> 3.4604 MeV
Proton (p)	73257	2.2687 MeV	12.026 eV --> 5.1112 MeV
Ortalama momentum: 18.417 keV (191.73 eV --> 130.91 keV)			

```

aysegul@aysegul-VPCF24M1E: ~/Hadr03
MeanFreePath: 4.8617 nm -- 2.8876 nm          massic: 573.69 mg/cm2
CrossSection: 2.0569 cm^2-1                  massic: 1.7431 cm2/g

Verification: crossSections from G4Hadr03ProcessStore:
Transportation: 0 um2/mg
hadElastic: 13.493 nm2/g
nCapture: 0.34592 um2/mg
neutronInelastic: 116.58 um2/mg
total: 13.67 nm2/g

List of nuclear reactions:
neutron + C12 --> N gamma + C13: 1 Q = 824.6 keV
neutron + C12 --> neutron + C12: 58024 Q = 151.65 eV
neutron + C13 --> neutron + C13: 572 Q = -31.84 keV
neutron + C135 --> N gamma + alpha + P32: 124 Q = 940.63 keV
neutron + C135 --> N gamma + neutron + C135: 864 Q = 3.7765 keV
neutron + C135 --> N gamma + proton + S35: 174 Q = 616.69 keV
neutron + C135 --> alpha + P32: 4 Q = 939.06 keV
neutron + C135 --> neutron + C135: 2735 Q = 23.369 eV
neutron + C135 --> proton + S35: 133 Q = 615.87 keV
neutron + C137 --> N gamma + neutron + C137: 303 Q = 151.49 eV
neutron + C137 --> neutron + C137: 1050 Q = 27.36 eV
neutron + H1 --> N gamma + deuteron: 1 Q = -9.1788 keV
neutron + H1 --> neutron + proton: 72390 Q = 1.2278 keV
neutron + H2 --> neutron + deuteron: 9 Q = 362.67 eV
neutron + O16 --> N gamma + O17: 1 Q = 8.641 MeV
neutron + O16 --> N gamma + alpha + C13: 385 Q = -451.37 keV
neutron + O16 --> neutron + O16: 10701 Q = 101.83 eV
neutron + O17 --> N gamma + neutron + O17: 1 Q = 0.924898 eV
neutron + O17 --> neutron + O17: 7 Q = 151.75 eV
neutron + O18 --> N gamma + alpha + C15: 2 Q = -4.2589 MeV
neutron + O18 --> N gamma + neutron + O18: 3 Q = 378.66 eV
neutron + O18 --> neutron + O18: 18 Q = -24.784 keV

Number of gamma: N = 1 --> 8

List of generated particles:
C12: 58024 Emean = 425.84 keV ( 4.1494 eV --> 1.2902 MeV)
C13: 878 Emean = 546.14 keV ( 85.793 eV --> 1.3375 MeV)
C15: 2 Emean = 189 keV ( 188.9 keV --> 189.11 keV)
C135: 3589 Emean = 106.72 keV ( 70.383 eV --> 491.19 keV)
C137: 1323 Emean = 117.13 keV ( 15.438 eV --> 466.06 keV)
O16: 10701 Emean = 371.23 keV ( 12.251 eV --> 1.0061 MeV)
O17: 9 Emean = 501.22 keV ( 125.01 keV --> 940.13 keV)
O18: 21 Emean = 409.24 keV ( 12.122 keV --> 849.8 keV)
P32: 128 Emean = 687 keV ( 169.84 keV --> 1.2048 MeV)
S35: 307 Emean = 244.14 keV ( 4.604 keV --> 524.65 keV)
alpha: 435 Emean = 2.3815 MeV ( 50.255 keV --> 5.2278 MeV)
deuteron: 10 Emean = 1.4241 MeV ( 202.99 keV --> 2.9954 MeV)
gamma: 4109 Emean = 1.0543 MeV ( 340.41 eV --> 4.9463 MeV)
neutron: 1171 Emean = 1.4605 MeV ( 10.618 keV --> 3.4604 MeV)
proton: 73257 Emean = 2.2687 MeV ( 12.026 eV --> 5.1112 MeV)

Momentum balance: Pmean = 18.417 keV ( 191.73 eV --> 130.91 keV)

----- Ranecu engine status -----
Initial seed (index) = 0
Current couple of seeds = 2080277248, 1502842906
-----
[Idle]

```

Şekil 4.50. %100 epoksi için simülasyon ekran görüntüsü

5. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Her geçen gün gelişen teknoloji ile birlikte teknolojik aygıtların bünyesinde radyasyona neden olan materyallerin kullanımına bağlı olarak radyasyon maruziyeti sürekli artmaktadır. Bu durum radyasyona yol açan materyallerin aygıtlar bünyesinde neden olduğu olumsuz etkilerin yanında bundan daha önemlisi canlı dokular üzerinde de bazen kalıcı bazen de geçici çok önemli hasarlar bırakabilmektedir. Ancak bu hasarların önlenmesi için tümünden teknolojiden vazgeçmek pekçok tanı ve tedavide bile kullanılan radyasyona bağlı teknikleri kullanmamak anlamına da gelir. Bu nedenle teknolojiye devasa katkılar sunan nükleer ve radyasyona bağlı etkiler zararları için önlemler alınarak kullanılmaya devam edilebilecek vazgeçilmez teknolojik adımlardır. Buna bağlı olarak zırhlama teknolojileri alanında yapılan çalışmalar ve yeni zırhlama materyallerinin önerilmesi çok kıymetli bir çalışma alanı olarak karşımızda durmaktadır. Zırhlama materyallerinin iyi zırhlama yapmasının yanında bol, ucuz ve önerilen teknoloji açısından kullanışlı olması bu materyallerden beklenen en önemli özelliklerdir. Günümüzde esnek organik ve bol bulunan malzemeler kullanım alanının çok geniş olmasına bağlı olarak tercih nedenidir. Bunlardan birisi de epoksidir. Epoksi ile ilgili pekçok araştırmayı literatürde görebilmekteyiz (Rezaeian ve ark., 2017). Ancak değişik radyasyon tiplerine bağlı olarak epoksinin radyasyon tutma özelliği değişebilmektedir. Bu nedenle değişik katkı malzemeleri ile epoksinin zırhlama özelliklerinin güçlendirilmesinin yanında dayanıklılığının da artırılması gündeme gelmiştir (Kim ve ark., 2011). Özellikle ağır metaller bu konuda epoksinin sağlamış olduğu avantajları güçlendirerek yeni ve daha iyi zırh malzemelerinin oluşturulması konusunda bilim adamlarının gündemini meşgul etmektedir. Bu tezde bu öngörüden yola çıkılarak farklı yüzdelik oranlarda bazı ağır metallerin epoksi içerisine katılarak yeni zırh malzemelerinin üretilmesi öngörülmüştür.

Nükleer ve radyasyona bağlı teknolojiler içerisinde kuşkusuz en çok dikkat çeken nükleer reaktörlerdir. Nükleer reaktörler küresel enerji krizine en önemli tampon etkisi olarak dikkat çekmektedir. Tez için epoksiye katılmak üzere seçilmiş olan malzemelerden bazıları reaktörün yaymış olduğu radyasyonu reaktör içine hapsedmek için geliştirilmiş olan zırhlama teknikleri içerisinde yer almıştır (Nambiar ve Yeow, 2012).

Epoksi reçinesi; ısı ve kimyasal direncinin yüksek oluşu, düşük maliyeti, hijyenik oluşu, elektriğe karşı yalıtkan oluşu nedeni ile bir çok alanda aranan malzemeler arasında yer almaktadır. Epoksi uygun oranlarda sertleştiricisi ile birleştirildiğinde dayanım gücü çok yüksek bir malzeme ortaya çıkmaktadır. Bu tezde polimer tabanlı termoset plastik olan epoksi reçinesi ile beş farklı malzeme yüzdelik oranlarda karıştırılarak en iyi zırh malzemesi eldesi amaçlandı. Bu zırh malzemesini geliştirilirken demir (Fe), bizmut (Bi), tantal (Ta), tungsten karbür (WC) ve toryum (Th) malzemeleri yüzde ondan başlayarak onar artan yüzdeliklerle modellemeler yapıldı. Bu modellemeler yapılırken Monte Carlo tabanlı GEANT4 Hesaplama Kodu kullanıldı. GEANT4'ün merkezinde çok geniş enerji aralığında parçacıkların etkileşimlerini yorumlayabilecek bir dizi fizik modeli bulunur. Hesaplama kodunun tüm parçalarının bütün halinde çalışmasına izin veren, sorun hazırlama, çalıştırma, olay, parçacık taşıma, görselleştirme ve analiz seviyelerinde çalışan yerleşik basamakları ve komut yorumlayıcılarını içerir. Bu tezde kaynağa 4,5 MeV enerjili bir milyon parçacık gönderilerek nötron bombardımanına tutulmuştur ve modellemeler yapılmıştır. Bu modelleme sonucunda kaynaktan çıkan izotop ürünler ve bu ürünlerin sayısı, enerji aralığı eldesi mümkün olmuştur. Bu elde edilen verilerin neticesinde yüzde oranlarda karıştırılan nötron zırhlama kapasitesi en iyi olan yüzdelik oranlar;

Çizelge 4.56. Araştırmalar sonucunda kullanılan malzemelerden elde edilen en iyi sonuçlar

SONUÇ	Epoksi miktarı (%)	Karıştırılan malzemenin miktarı (%)	Nötron zırhlama kapasitesi (cm^{-1})
Demir (Fe)	%40	%60	0.409 cm^{-1}
Tungsten karbür (WC)	%40	%60	0.679 cm^{-1}
Bizmut (Bi)	%50	%50	0.432 cm^{-1}
Tantal (Ta)	%40	%60	0.703 cm^{-1}
Toryum (Th)	%50	%50	0.506 cm^{-1}

Tablodaki veriler sonucunda %40 epoksi ile karıştırılan %60 Tantal malzemesinin nötron zırhlama kapasitesinin diğer malzemelere oranla yüksek olduğu görülmektedir.

Bu nedenden dolayı Demir (Fe), Bizmut (Bi), Tantal (Ta), Tungsten karbür (WC) ve Toryum (Th) malzemelerinin epoksi ile yüzdelik oranlarda karıştırılması sonucunda nötron zırhlama kapasitesi en iyi olan malzeme Tantal (Ta) olarak belirlenmiştir.



KAYNAKLAR

- Adeli, R. , Shirmandi, S. P. , Mazinani, S. , Ahmadi, S. J. 2017. Nuclear characteristics of epoxy resin as a space environment neutron shielding. *Kerntechnik*, 82 (2017) 1: 125-131.
- Agostinelli, S., Allison, J., Amako, K., Apostolakis, J., Araujo, H., Arce, P., Asai, M., Axen, D., Banerjee, S., Barrand, G., Behner, F., Bellagamba, L., Boudreau, J., Broglia, L., Brunengo, A., Burkhardt, H., Chauvie, S., Chuma, J., Chytracek, R., Cooperman, G., Cosmo, G., Degtyarenko, P., Dell'Acqua, A., Depaola, G., Dietrich, D., Enami, R., Feliciello, A., Ferguson, C., Fesefeldt, H., Folger, G., Foppiano, F., Forti, A., Garelli, S., Giani, S., Giannitrapani, R., Gibin, D., Gómez Cadenas, J.J., González, I., Gracia, G., Abril, Greeniausphag, G., Greiner, W., Grichine, V., Grossheim, A., Guatelli, S., Gumplinger, P., Hamatsu, R., Hashimoto, K., Hasui, H., Heikkinen, A., Howard, A., Ivanchenko, V., Johnson, A., Jones, F.W., Kallenbach, J., Kanaya, N., Kawabata, M., Kawabata, Y., Kawaguti, M., Kelner, S., Kent, P., Kimura, A., Kodama, T., Kokoulin, R., Kossov, M., Kurashige, H., Lamanna, E., Lampén, T., Lara, V., Lefebvre, V., Lei, F., Liendl, M., Lockman, W., Longo, F., Magni, S., Maire, M., Medernach, E., Minamimoto, K., Mora de Freitasap, P., Morita, Y., Murakami, K., Nagamatu, M., Nartallo, R., Nieminen, P., Nishimura, T., Ohtsubo, K., Okamura, M., O'Neale, S., Oohata, Y., Paech, K., Perl, J., Pfeiffer, A., Pia, M.G., Ranjard, F., Rybin, A., Sadilov, S., Di Salvo, E., Santin, G., Sasaki, T., Savvas, N., Sawada, Y., Scherer, S., Sei, S., Sirotenko, V., Smith, D., Starkov, N., Stoecker, H., Sulkimo, J., Takahata, M., Tanaka, S., Tcherniaev, E., Safai Tehrani, E., Tropeano, M., Truscott, P., Uno, H., Urban, L., Urban, P., Verderi, M., Walkden, A., Wander, W., Weber, H., Wellisch, J.P., Wenaus, T., Williams, D.C., Wright, D., Yamada, T., Yoshida, H., Zschesche, D., 2003, GEANT4-a simulation toolkit. *Nucl instrum methods*, 506 (2003): 250-303.
- Beşergil, B. 2007. *Hampetrolde Petrokimyasallara*. Gazi Kitabevi, Ankara, 780.
- Demircioğlu, Z. 2012. *Anilin ve Anilin İçerikli Kopolimerler ince filmlerin Plazma Yöntemiyle Üretilmesi ve Karakterizasyonları*. Y.Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, 85.

- Dönmez Yılmaz, B. , Ünsal, M. 2013. Brakiterapi. Okmeydanı Tıp Dergisi, 29(Ek sayı 1):35-40.
- Kahraman, G. 2004. Bor nötron Yakalama Terapisi için Bor İçeren Polimerik Taşıyıcı Tasarım ve Hücre Kültürlerinde Kullanımları. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 107.
- Kazancı, A. 2010. Polimer Schiff Bazları ve Metal Komplekslerinin Sentezi ve Katalizör Özelliklerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi, Adana, 122.
- Kaw, A. 1997. Mechanics of Composite Materials. CRC Pres Inc, USA, 4-17.
- Khanghah, M. F. 2014. Plazma Polimerizasyon Tekniği ile Elde Edilen Nano Boyutlarda Polianilin İnce Filmlerin, Elektronik ve Optik Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, 72.
- Kim, J. W. Jun, J. H. Bae, Y. J. 2011. Epoxy resin composition for neutron shielding, and method for preparing the same. Korea Atomic Energy Research Institute, 2011-05-13. Patent no US9745442B2.
- Kolbaşı, A. 2014. ^{241}Am -Be nötron alanında epitermal nötron spektrum a-biçim parametresinin ^{98}Mo , ^{55}Mn ve ^{197}Au üçlü monitör yöntemiyle belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Nükleer Bilimler Enstitüsü, Ankara Üniversitesi, Ankara, 81.
- Korkut,T., Korkut, H. , Karabulut, A. , Budak, G. , 2011. A new radiation shielding material. Amethyst ore, Annals of Nuclear Energy, 38-1: 56-59.
- Korkut, T. 2010. Deneysel ve CERN-FLUKA Monte Carlo Simülasyon Kodu Yöntemleri Kullanılarak 4,5 MeV Enerjili Hızlı Nötronların Borlu Bileşik ve Cevherler Tarafından Yavaşlatılmasına İlişkin Parametrelerin Belirlenmesi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, 125.
- Nambiar, S. , Yeow, J.T.W. 2012. Polymer-composite materials for radiation protection. ACS Appl mater inter, 4(11): 5717-5726.

- Rezaeian, M., Kamali, J., Ahmadi, S.J., Kiani, M. A., 2017. Effectiveness of the neutron-shield nanocomposites for a dual-purpose cask of Bushehr's Water-Water Energetic Reactor (VVER) 1000 nuclear-power-plant spent fuels. Nuclear Engineering and Technology 49, 1563-1570.
- San, V. 2012. 3-Metoksibenzil Metakrilat'ın Serbest Radikal Polimerizasyonu, Atom Transfer Radikal Polimerizasyonu (ATRP) ve Termal Davranışı. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 64.
- Okuno, K. 2005. Neutron shielding material based on colemanite and epoxy resin. Rad. Protec. Dos., 115(1-4), 258-261.
- Öz, E. 2016. Foto-''click'' Tepkimesiyle Hazırlanan Gümüş Nanopartikül İçeren Termoset Polimerlerin Endüstriyel Uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yalova Üniversitesi, Yalova, 73.
- Şarer, B. 2002. Nükleer Fizik 2.Cilt. 975-8624-89-3. Palme Yayıncılık, Ankara, Türkiye, 839.
- Şarer, B. 2001. Nükleer Fizik 1.Cilt. 975-7477-82-6. Palme Yayıncılık, Ankara, Türkiye, 404.
- Şeker, A., 2010. Epoksi Reçine/Sepiyolit Kompozitlerinin hazırlanması ve karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 90.
- Yılmaz, A. Hakan. Aydın, A. Bayram, T. Akkoyun, S. Billur, A. A. 2015. Nükleer Enerji. 978-605-320-174-8. Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, Türkiye, 548.
- <http://www.thenewstribes.com/2013/04/05/modern-anti-cancer-bnc-therapy-promises-no-side-effects/>
- <http://www.tsukubasogotoku.jp/en/project/project1/>
- <http://institute.tarla.org.tr/thm/uphuk/4/s-pdf/bayram-demir-bor-notron-yakalama.pdf>
- <http://tpi.com.tr/epoxy-resin>
- <http://www.thesisat.org/nukleer-enerji-ve-fizyon-reaktorleri.html>
- <http://webmineral.com/specimens/picshow.php?id=557#.WicHhxvhBPY>
- <http://cevapbizden.com/wp-content/uploads/2015/10/bizmut.jpg>

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tantalum.jpg>

<http://www.kimyakulubu.com/toryum-th/>

<http://www.tungsten-powder.com/turkish/Tungsten-Carbide-Powder.html>

<http://www.saglikpark.com/haber/radyoterapi.htm>



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	:Ayşegül CANEL
Doğum Tarihi ve Yeri	:18.03.1984
Yabancı Dili	:İngilizce
E-posta	:fizikci577@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Fizik Bölümü	Trakya Üniversitesi	2008