

**NÖTRON RADYASYONA KARŞI ZIRHLAMA  
AMACIYLA KARMA LİFLİ AĞIR  
BETON ÜRETİLMESİ**

**Rasoul MEHRNEJAD**

**Doktora Tezi  
Fizik Anabilim Dalı  
Atom ve Molekül Fiziği Bilim Dalı  
Prof. Dr. Abdulhalik KARABULUT  
2015**

**Her hakkı saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

**DOKTORA TEZİ**

**NÖTRON RADYASYONA KARŞI ZIRHLAMA AMACIYLA  
KARMA LİFLİ AĞIR BETON ÜRETİLMESİ**

**Rasoul MEHRNEJAD**

**FİZİK ANABİLİM DALI  
Atom ve Molekül Fiziği Bilim Dalı**

**ERZURUM  
2015**

**Her hakkı saklıdır**



T.C.  
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

NÖTRON RADYASYONA KARŞI ZIRHLAMA AMACIYLA KARMA LİFLİ AĞIR  
BETON ÜRETİLMESİ

Prof. Dr. Abdulhalik KARABULUT danışmanlığında, Rasoul MEHRNEJAD tarafından hazırlanan bu çalışma 2015/06/05 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı - Atom ve Molekül Fiziği Bilim Dalı Bilim Dalı'nda Doktora tezi olarak ~~oy birliği~~oy çokluğu (3/5) ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Ridvan DURAK

İmza :

Üye : Prof. Dr. Abdulhalik KARABULUT

İmza :

Üye : Prof. Dr. Neslihan EKİNCİ

İmza :

Üye : Doç. Dr. Remzi ŞAHİN


İmza :

Üye : Doç. Dr. Turgay KORKUT

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu 09/07/2015 tarih ve 27/908 nolu kararı ile onaylanmıştır.

  
Prof. Dr. Erhan YILDIRIM  
Enstitü Müdürü

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğraflarını kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

## ÖZET

Doktora Tezi

### NÖTRON RADYASYONA KARŞI ZIRHLAMA AMACIYLA KARMA LİFLİ AĞIR BETON ÜRETİLMESİ

Rasoul MEHRNEJAD

Atatürk Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Fizik Anabilim Dalı  
Atom ve Molekül Fiziği Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Abdulhalik KARABULUT

Bu çalışmada elde edilen karma lifli ağır betonlar, nükleer santrallerde meydana gelen radyasyondan korunmada, nükleer savaş olasılığına karşı yapılan sığınaklarda ve tıp alanında radyoloji ve onkoloji servis odalarının duvarlarında zırh malzemesi olarak kullanılabilir. X ve  $\gamma$ -ışınlarını geçirmemesi için yoğunluğu yüksek olan barit ve galena maddeleri, nötron parçacıklarını durdurmak için ise bor, bor karbid, galena ve lifler kullanılmıştır. Çalışma öncelikle betonların Geant4 kodu ile teorik olarak elde edilmesi şeklinde düşünülmüştür. Beton karışım kuralları dikkate alınarak beton içerisindeki agrega, çimento ve suyu kimyasal bileşiklerinin konsantrasyon miktarları her bir beton türü için Geant4 Monte Carlo programı kullanılarak belli enerjilerde tesir kesiti, yoğunluk ve nötron tutucu kabiliyetleri belirlenmiştir. Teorik sonuçlara göre soğurganlık açısından iyi olan beton türleri için deney aşamasına geçilmiştir. Hesaplamalarda önemli olan maddeler barit, galena, datolite'dir. Bu maddelere belli oranlarda eklenen bor karbid, bor ve lifler'dir. Çimento olarak CEM I'in kimyasal analiz sonuçları kullanılmıştır. Sonra agrega deneyleri kısmına geçilmiş ve bu aşamada elde edilen sonuçlara göre barit cevheri ve galena cevherinin kullanıldığı toplam beş çeşit beton hazırlandı. Su çimento oranı, akışkanlaştırıcı ve çimento dozajının optimum değerleri karma lifli ağır beton açısından ayrıca göz önünde bulundurulmuştur. Bu betonlar dayanıma ulaşmaları için yirmi sekiz gün boyunca kur havuz suyunda bekletilmiştir. Sonra betonlar 5,5cm kalınlıklarda kesilmiştir. Daha sonra malzemelerin içerisinde bulunan bor, bor karbid ve galena miktarlarının, malzemelerin hızlı nötronları zırhlama kabiliyetini nasıl etkilediği araştırılmış ve bu malzemelerin nötron zırhlama özelliğini artırdığı sonucuna varılmıştır.

**2015, 172 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Nötron parçacıkları, radyasyon zırhlama, Geant4 Monte Carlo kodu, karma lifli ağır beton

## ABSTRACT

Ph.D. Thesis

### THE PRODUCTION OF HYBRID FIBER HEAVYWEIGHT AGGREGATE CONCRETE FOR NEUTRON RADIATION SHIELDING

Rasoul MEHRNEJAD

Ataturk University  
Graduate School of Applied and Natural Sciences  
Physics Department  
Atomic and Molecular Physics Department

Advisor: Prof. Dr. Abdulhalik KARABULUT

High performance hybrid fiber heavyweight aggregate concretes obtained in this study can be used as a shielding in order to avoid radiation in nuclear plants, in the shelters build against nuclear war possibility and in the walls of radiology and oncology department in medical field. Barite and galena have high density not to pass through X and  $\gamma$ - rays, Boron, boron carbide, galena and fibers not to pass through neutron particles were used. Previously, study was thought obtain of concretes as a theoretic. As take into consideration concrete mixture rules, concentration quantities of chemical compounds of aggregate, cement and water in concrete was determined using Geant4 Monte Carlo code program at certain energies cross sections, densities and neutron captures for each one concrete types. According to theoretic results, for concretes have good absorption was passed to experimental step. Ore kinds taken into consideration at calculation were barite, galena and Datolite. Chemical compounds additive to this matter at certain proportions were boron carbide, boron and fiber. As cement, chemical analysis results of CEM I were used. Then, it was passed aggregate experiments and, at this step according to results obtained five kinds concretes used barite matter, galena matter and fibers. Optimum values of water cement proportion, plasticizer and cement quantity were separately taken into consideration as to hybrid fiber heavyweight aggregate concretes. These concretes for attain to resistance have been waited with water along the twenty eight days. Then concretes were cut 5cm thicknesses. Then, it is investigated effects of sample's boron, boron carbide and galena contents on fast neutron shielding capabilities of samples. As a conclusion, fast neutron shielding capacity of samples increases with increasing boron, boron carbide and galena contents.

**2015, 172 pages**

**Keywords:** Neutron particles, radiation shielding, Geant4 Monte Carlo code, hybrid fiber heavyweight aggregate concrete

## TEŞEKKÜR

Doktora tezi olarak sunduğum bu çalışmanın deneysel kısmı Atatürk Üniversitesi Fen Fakóltesi Fizik Bölümü Nötron Doz Ölçüm Araştırma Laboratuvarı, Mühendislik Fakóltesi İnşaat Mühendisliđi Bölümü Yapı Anabilim Dalı araştırma laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Monte Carlo simölasyonlarının yapılmasında Geant4 programı kullanılmıştır.

Önceden önerilerinden istifade ettiğim hocam merhum Sayın Prof. Dr. Gökhan BUDAK'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım ve Allahdan hocama rehmet dilerim. Çalışmalarım süresince her türlü destek ve yardımlarına başvurduğum tez danışmanın ve saygıdeğer hocam Sayın Prof. Dr. Abdulhalik KARABULUT'a teşekkür ederim. Deneysel çalışmalarımda yardımlarını aldığım değerli arkadaşım Dr. Bünyamin AYGÜN'e teşekkür ediyorum.

Geant 4 programı ile Monte Carlo simölasyonları hesaplamalarında yardımcı alan Sayın Doç. Dr. Turgay KORKUT'a teşekkürlerimi sunuyorum.

Numunelerin temininde yardımcı olan Eti Maden işletmelerine teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince beni yalnız bırakmayan ve destek veren çok değerli eşim ve aileme teşekkür ederim.

**Rasoul MEHRNEJAD**

**Haziran, 2015**

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	1
ABSTRACT .....	2
TEŞEKKÜR .....	3
SİMGELER DİZİNİ .....	9
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	11
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	15
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. KURAMSAL TEMELLER.....</b>	<b>5</b>
2.1. Betonlar.....	5
2.1.1. Ağır betonlar .....	5
2.1.2. Lifli betonlar.....	7
2.1.3. Karma lifli betonlar .....	8
2.2. Radyasyon.....	10
2.3. Radyasyon Birimleri.....	11
2.3.1. Aktivite birimleri .....	11
2.3.2. Işınlama birimi .....	11
2.3.3. Soğurulmuş doz birimi.....	11
2.3.4. Eşdeğer doz birimi.....	11
2.3.5. Etkin doz birimi.....	12
2.4. Nötron kaynakları.....	12
2.4.1. Kendiliğinden bozunma.....	12
2.4.2. Radyoizotop ( $\alpha$ , n) kaynakları.....	13
2.4.3. Fotonötron kaynakları.....	15
2.4.4. Hızlandırılmış yüklü parçacıklarla reaksiyonlar .....	16
2.5. Nötronların madde ile etkileşmesi.....	16
2.5.1. Nötron alanında çalışmalar .....	16
2.5.2. Nötronların madde ile etkileşmelerinin genel özellikleri .....	22
2.5.3. Yavaş nötron etkileşmeleri.....	23
2.5.4. Hızlı nötron etkileşmeleri.....	23

2.5.5. Nötron parçacıklarının zırhlanması için maddeler .....	24
2.6. Nötron kinematiği.....	30
2.7. Nötronların nükleer reaksiyonları .....	31
2.7.1. B <sup>10</sup> (n,α) reaksiyonu.....	31
2.7.2. Li <sup>6</sup> (n,α) reaksiyonu .....	32
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM .....</b>	<b>33</b>
3.1. Beton.....	33
3.1.1. Teorik hesaplamalar.....	33
3.1.2. Betonun bileşenleri .....	39
3.1.3. Beton yapımında kullanılan aletler .....	44
3.1.4. Agrega deneyleri .....	46
3.1.5. Beton karışım hesapları .....	47
3.1.6. Beton üretilmesi .....	48
3.1.7. Deney numunelerinin hazırlanması .....	49
3.1.8. Kesme makinesi ile numunelerin alınması .....	49
3.2. Deney Geometrisi .....	50
3.3. Deneyde Kullanılan Nötron Kaynağı .....	51
3.4. Deneyde Kullanılan Nötron Dedektörü .....	51
3.5. Kullanılan Numuneler .....	52
3.6. <sup>241</sup> Am-Be nötron kaynağı.....	57
3.7. Nötron Dedektörleri.....	59
3.8. Simülasyon ve Monte Carlo Metodu.....	66
3.8.1. Simülasyonun ortaya çıkış sebebi .....	66
3.8.2. Simülasyon nedir? .....	66
3.8.3. Simülasyonun değerlendirilmesi .....	67
3.8.4. Simülasyonun engelleri.....	68
3.8.5. Simülasyon modelinin nitelikleri .....	69
3.8.6. Simülasyonun kullanım sebepleri.....	69
3.9. Simülasyon Dilleri.....	70
3.9.1. GPSS (III) .....	70
3.9.2. GASP (4).....	71
3.9.3. DYNAMO.....	71



3.9.4. SIMSCRIPT II.5.....	72
3.9.5. Q-GERT.....	72
3.9.6. CERN FLUKA Monte Carlo simülasyon kodu .....	72
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....</b>	<b>76</b>
4.1. Datolite ve Galena Katkılı Betonlar .....	76
4.1.1. Datolite ve galena .....	76
4.1.2. Datolite numunesi için Geant 4 programı kullanılarak yapılan doz simülasyonları.....	77
4.1.3. Datolite numunesi için Geant 4 programı kullanılarak hesaplanan tesir kesitleri.....	78
4.1.4. Galena numunesi için Geant 4 programı kullanılarak yapılan doz simülasyonları.....	78
4.1.5. Galena numunesi için Geant 4 programı kullanılarak tesir kesitleri .....	78
4.2. Serpentine .....	79
4.2.1. Serpentine için lineer azaltma katsayısı.....	80
4.2.2. Serpentine için etkin tesir kesiti .....	81
4.3. Bor karbit (B <sub>4</sub> C) katkılı betonlar .....	87
4.3.1. B <sub>4</sub> C numunesi için Geant 4 programı kullanılarak yapılan doz simülasyonları .....	89
4.3.2. B <sub>4</sub> C numunesi için Geant 4 programı kullanılarak hesaplanan tesir kesitleri .....	90
4.4. Hormirad.....	90
4.4.1. Hormirad beton için ölçülmüş ve hesaplanmış H <sup>*</sup> (10) değerleri .....	91
4.4.2. Hormirad ve borax (Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ) beton için yapılan işlemler.....	93
4.5. Datolite ve B <sub>4</sub> C katkılı betonlar .....	96
4.5.1. Datolite ve B <sub>4</sub> C numunesi için Geant 4 programı kullanılarak ölçülmüş birim hacim başına tesir kesiti .....	97
4.5.2. Datolite ve B <sub>4</sub> C numunesi için Geant 4 programı kullanılarak ölçülmüş birim kütle başına tesir kesiti .....	98
4.5.3. Datolite ve B <sub>4</sub> C numunesi için Geant4 programı kullanılarak ölçülmüş tesir kesiti, nötron tutucu ve yoğunluk .....	100

4.5.4. Datolite ve B <sub>4</sub> C numunesi için Geant4 programı kullanılarak ölçülmüş tesir kesiti ve bor karbid oranı .....	101
4.5.5. Datolite ve B <sub>4</sub> C numunesi için Geant4 programı kullanılarak ölçülmüş tesir kesiti ve yoğunluk.....	102
4.6. Datolite, Galena ve Bor Katkılı Betonlar.....	103
4.6.1. Datolite, galena ve bor numunesi için Geant4 programı kullanılarak ölçülmüş tesir kesiti, nötron tutucu ve yoğunluk .....	104
4.6.2. Datolite, galena ve bor beton numunesi için maddelerin oranı.....	105
4.6.3. Datolite, galena ve bor numunesi için Geant4 programı kullanılarak ölçülmüş tesir kesiti ve nötron tutuculuğu.....	106
4.6.4. Datolite, galena ve bor numunesi için Geant4 programı kullanılarak ölçülmüş tesir kesiti, nötron tutucu ve yoğunluk .....	107
4.7. Galena ve bor katkılı betonlar .....	108
4.7.1. Galena ve bor numunesi için Geant4 programı kullanılarak ölçülmüş tesir kesiti, nötron tutucu ve yoğunluk.....	109
4.7.2. Galena ve borlu beton numunesi için maddelerin oranı .....	110
4.7.3. Galena ve bor numunesi için Geant4 programı kullanılarak ölçülmüş tesir kesiti ve nötron tutuculuğu .....	111
4.7.4. Galena bor numunesi için Geant4 programı kullanılarak ölçülmüş tesir kesiti, nötron tutucu ve yoğunluk.....	112
4.8. Galena ve B <sub>4</sub> C katkılı betonlar.....	113
4.8.1. Galena ve B <sub>4</sub> C numunesi için Geant4 programı kullanılarak ölçülmüş tesir kesiti, nötron tutucu ve yoğunluk .....	114
4.8.2. Galena ve B <sub>4</sub> C beton numunesi için maddelerin oranı.....	115
4.8.3. Galena B <sub>4</sub> C numunesi için Geant4 programı kullanılarak ölçülmüş tesir kesiti ve nötron tutuculuğu .....	116
4.8.4. Galena B <sub>4</sub> C numunesi için Geant4 programı kullanılarak ölçülmüş tesir kesiti ve yoğunluk .....	117
4.9. Numune üretimi.....	118
4.10. Beton Üretimi.....	120
4.11. Galena ve barit ile yapılan karma lifli ağır beton.....	120
4.12. Numune Ölçüm Sistemi.....	126

<b>5. SONUÇ ve TARTIŞMA .....</b>	<b>127</b>
5.1. Tesir kesiti.....	128
5.2. Yoğunluk Ve Nötron Tutucu .....	131
5.3. Foton Enerjisi ve Lineer Azaltma Katsayısı .....	138
5.4. Beton Kalınlığı .....	140
5.5. Ferro Borun Tanıtımı ve Teknik Özellikleri .....	146
5.6. B <sub>4</sub> C ve Borlu Betonların Deneysel Sonuçları .....	147
5.7. Barit ve Galena ile Yapılan Karma Lifli Ağır Betonların Deneysel Sonuçları	155
KAYNAKLAR.....	159
ÖZGEÇMİŞ.....	164

## SİMGELER DİZİNİ

A	kütle numarası
<sup>241</sup> Am	Amerisyum-241 izotopu
A	Alfa parçacığı
Bq	Becquerel, radyoaktivite birimi
B	Manyetik alan
c	Işık hızı
Ci	Curie
d	Döteryum
dΩ	Diferansiyel katı açısı
e	Elektron
eV	Elektron volt
E	Enerji (keV, MeV, GeV)
γ	Gama radyasyonu
GeV	Giga elektron volt
Gy	Gray, absorblanmış doz birimi
I	Şiddet
keV	Kilo elektron volt
λ	Aktivite
m	Elektronun kütlesi
m <sub>0</sub>	Elektronun durgun kütlesi
M	Nötronun çarptığı çekirdeğin kütlesi
MeV	Mega elektron volt
μSv	Mikrosievert (Eşdeğer Doz)
mSv	Milisievert (Eşdeğer Doz)
n	Nötron
p	Proton
ρ	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )
R	Röntgen, radyasyon şiddet birimi
Σ	Makroskopik tesir kesiti (Taşınım katsayısı)

$\sigma_t$	Toplam tesir kesiti
Sv	Sivert, eşdeğer doz birimi
SI	Uluslararası birim sistemi
t	Tritiyum
$\mu$	Mikro, alt birimi ( $10^{-6}$ )
$\tau$	Ortalama ömür
$t_{1/2}$	Yarı ömür
$\theta$	Kütle merkezi sistemindeki saçılma açısı
v	Nötronun hızı
YTK	Yarı tabaka kalınlığı
Z	Atom numarası

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Barit cevheri .....	25
Şekil 2.2. Kolemanit cevheri.....	26
Şekil 2.3. Üleksit cevheri.....	27
Şekil 2.4. Tinkal cevheri.....	28
Şekil 2.5. Kolemanit cevherinin kristal yapısı .....	28
Şekil 2.6. Üleksit cevherinin kristal yapısı .....	29
Şekil 2.7. Datolite ve galena cevheri.....	29
Şekil 3.1. Çelik lif .....	38
Şekil 3.2. Multifilament polipropilen lif.....	38
Şekil 3.3. Monofilament polipropilen lif .....	39
Şekil 3.4. Barit agregası.....	40
Şekil 3.5. Galena agrgası .....	41
Şekil 3.7. Betoniyer .....	44
Şekil 3.8. Elekler .....	45
Şekil 3.9. Betonların konulduğu kalıplar .....	45
Şekil 3.10. Beton kesme işlemi.....	49
Şekil 3.11. Test geometrisi .....	50
Şekil 3.12. Deney düzeneği .....	50
Şekil 3.13. Datolite ve galena cevheri .....	53
Şekil 3.14. Serpentine cevheri.....	54
Şekil 3.15. Hormirad beton.....	55
Şekil 3.16. Bor karbid (B <sub>4</sub> C) görünümü .....	56
Şekil 3.18. <sup>241</sup> Am-Be nötron Kaynağı .....	58
Şekil 3.19. Tipik standart spektrum (ISO spektrum) ile karşılaştırıldığında Bayes (Bayesian) analizinden elde edilen iki gauss grafiğinin toplamı olarak modellenen nötron spektrumu .....	59
Şekil 3.20. He nötron dedektörü .....	64
Şekil 3.21. Nötronların hafif elementlere çarpması sonucu saçılan enerjilerin sintilasyon sayacı ile dedekte edilmesi .....	64

Şekil 3.22. Çalışmada kullanılan nötron dedektörü sistemi.....	65
Şekil 3.23. Dedektörün nötron verim eğrisi.....	65
Şekil 4.1. <sup>241</sup> Am-Be kaynağın nötron enerji spektrumu .....	77
Şekil 4.2. Normal betonda, foton enerjisine göre lineer azaltma katsayısı ( $\mu$ ) ( $\rho=2.35\text{g/cm}^3$ ) .....	83
Şekil 4.3. Çelik lifli betonda, foton enerjisine göre lineer azaltma katsayısı ( $\mu$ ) ( $\rho=5.1\text{g/cm}^3$ ) .....	84
Şekil 4.4. Serpantine betonda, foton enerjisine göre lineer azaltma katsayısı ( $\mu$ ) ( $\rho=2.6\text{g/cm}^3$ ) .....	85
Şekil 4.5. Normal, serpantine ve çelik lifli betonda, foton enerjisine göre kütle azaltma katsayısı ( $\mu/\rho$ ).....	86
Şekil 4.6. B <sub>4</sub> C yüzdelere göre çizilmiş yoğunluk grafiği .....	87
Şekil 4.7. Bor karbit yüzdelere göre çizilmiş azaltma katsayısı grafiği .....	88
Şekil 4.8. Bor karbit yüzdelere göre çizilmiş güç dayanımının grafiği .....	89
Şekil 4.9. Hormirad betonun kalınlığına göre $H^*(10)$ 'ın değeri üstel olarak ölçülmüş değerleri .....	91
Şekil 4.10. Numunelerin kalınlığına göre çizilmiş boş doz eşdeğer grafiği .....	92
Şekil 4.11. <sup>241</sup> Am-Be nötronların Hormirad betondan geçmesi.....	94
Şekil 4.12. Normal betonun kalınlığına göre <sup>241</sup> Am-Be nötronların transmisyon grafiği.....	95
Şekil 4.13. Hormirad'ile boraxlı betonların kalınlığına göre <sup>241</sup> Am-Be nötronların bağıl doz grafiği.....	95
Şekil 4.14. Bor karbid oranına göre ölçülmüş birim hacim başına tesir kesiti .....	97
Şekil 4.15. Yoğunluğa göre ölçülmüş birim kütle başına tesir kesiti.....	98
Şekil 4.16. Bor karbid oranına göre ölçülmüş tesir kesiti .....	101
Şekil 4.17. Bor karbid oranına göre numunelerin yoğunluğu.....	102
Şekil 4.18. Nötron tutucu kabiliyetine göre numunelerin tesir kesiti.....	106
Şekil 4.19. Numunelerin yoğunluğuna göre ölçülmüş tesir kesiti .....	107
Şekil 4.20. Galena ve bor beton numunesi .....	108
Şekil 4.21. Nötron tutucu kabiliyetine göre numunelerin tesir kesiti.....	111
Şekil 4.22. Numunelerin yoğunluğuna göre ölçülmüş tesir kesiti .....	112

<b>Şekil 4.23.</b> Galena ve bor karbit beton numunesi .....	113
<b>Şekil 4.24.</b> Nötron tutucu kabiliyetine göre numunelerin tesir kesiti.....	116
<b>Şekil 4.25.</b> Numunelerin yoğunluğuna göre ölçülmüş tesir kesiti .....	117
<b>Şekil 4.26.</b> Betoların türüne göre tesir kesiti grafiği .....	125
<b>Şekil 4.27.</b> Betoların türüne göre yoğunluk grafiği.....	125
<b>Şekil 4.28.</b> Numune ölçüm sistemi.....	126
<b>Şekil 5.1.</b> Datoite ve bor karbidli betonun B <sub>4</sub> C yüzdelere göre çizilmiş tesir kesiti grafiği.....	128
<b>Şekil 5.2.</b> Galena ve bor karbidli betonun B <sub>4</sub> C yüzdelere göre çizilmiş tesir kesiti grafiği.....	129
<b>Şekil 5.3.</b> Galena ve borlu betonun bor yüzdelere göre çizilmiş tesir kesiti grafiği.	130
<b>Şekil 5.4.</b> Barit ve galena ile yapılan karma lifli ağır betonunun lif türlerine karşı tesir kesiti grafiği .....	131
<b>Şekil 5.5.</b> Datoite ve bor karbidli betonların B <sub>4</sub> C yüzdelere göre çizilmiş yoğunluk grafiği .....	133
<b>Şekil 5.6.</b> Galena ve bor karbidli betonların B <sub>4</sub> C yüzdelere göre çizilmiş yoğunluk grafiği .....	134
<b>Şekil 5.7.</b> Galena ve borlu betonların bor yüzdelere göre çizilmiş yoğunluk grafiği.....	135
<b>Şekil 5.8.</b> Galena ve barit ile yapılan karma lifli ağır betonun lif türlerine göre çizilmiş yoğunluk grafiği .....	136
<b>Şekil 5.9.</b> Datolite, galena ve borlu betonların nötron tutucu kabiliyetine göre çizilmiş tesir kesiti grafiği.....	137
<b>Şekil 5.10.</b> Datolite, galena ve borlu betonların yoğunluğa göre çizilmiş tesir kesiti grafiği .....	138
<b>Şekil 5.11.</b> Normal, serpentine ve çelik lifli betonda foton enerjisine göre çizilmiş kütle azaltma katsayısı ( $\mu/\rho$ ) grafiği.....	139
<b>Şekil 5.12.</b> Bor karbid yüzdesine göre çizilmiş azaltma katsayısı grafiği .....	140
<b>Şekil 5.13.</b> B <sub>4</sub> C betonunun kalınlığına karşı deneysel doz ölçüm grafiği .....	142
<b>Şekil 5.14.</b> B <sub>4</sub> C betonunun kalınlığına karşı tesir kesiti grafiği.....	143
<b>Şekil 5.15.</b> Hormirad ve normal betonunun kalınlığına karşı nötron akış grafiği.....	144
<b>Şekil 5.16.</b> Hormirad ve normal betonunun kalınlığına karşı boş doz eşdeğer grafiği	145



<b>Şekil 5.17.</b> Hormirad ile borlu betonun kalınlığına göre doz grafiği .....	146
<b>Şekil 5.18.</b> Bor yüzdesine karşı deneysel doz ölçüm grafiği .....	149
<b>Şekil 5.19.</b> Bor yüzdesine karşı tesir kesiti grafiği.....	150
<b>Şekil 5.20.</b> B <sub>4</sub> C yüzdesine karşı deneysel doz ölçüm grafiği.....	151
<b>Şekil 5.21.</b> B <sub>4</sub> C yüzdesine karşı tesir kesiti grafiği .....	152
<b>Şekil 5.22.</b> Bor yüzdesine göre çizilmiş simülasyon ve deneysel tesir kesiti grafiği ...	153
<b>Şekil 5.23.</b> B <sub>4</sub> C yüzdesine göre çizilmiş simülasyon ve deneysel tesir kesiti grafiği ..	154
<b>Şekil 5.24.</b> Galena ve baritli karma lifin ağır betonunun liflerine karşı dedektörün emdiği doz grafiği.....	157

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Be ( $\alpha,n$ ) nötron kaynaklarının karakteristikleri .....	14
Çizelge 2.2. Alternatif ( $\alpha,n$ ) izotopik nötron kaynakları .....	15
Çizelge 2.3. Baritin agrega özellikleri .....	25
Çizelge 2.4. Kolemanit cevherinin kimyasal özellikleri.....	26
Çizelge 2.5. Balıkesir Bigadiç bor işletmesi'nde işlenen üleksit cevherinin kimyasal özellikleri.....	27
Çizelge 2.6. Eskişehir Kırka Bor işletmesi'nde işlenen Tinkal cevherinin kimyasal özellikleri.....	27
Çizelge 2.7. Datolite ve galena içerisindeki bileşiklerin kimyasal ve fiziksel analiz sonuçları .....	30
Çizelge 2.8. Bor karbit içerisindeki bileşiklerin kimyasal analiz sonuçları.....	30
Çizelge 3.1. %100 Barit agregalı ağır betonu oluşturan bileşenler .....	34
Çizelge 3.3. Barit agregasını içerisindeki bileşiklerin kimyasal analiz sonuçları .....	35
Çizelge 3.4. Çelik liflerin özellikleri .....	36
Çizelge 3.5. Multifilament polipropilen liflerin özellikleri .....	36
Çizelge 3.6. Monofilament polipropilen liflerin özellikleri.....	36
Çizelge 3.8. Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri.....	42
Çizelge 3.9. Çimentonun kimyasal özellikleri .....	42
Çizelge 3.10. Yoğunluk, yüzey nem ve su emme oranı tayini deney sonuçları .....	46
Çizelge 3.12. 1000 dm <sup>3</sup> beton için kullanılan malzame miktarları .....	48
Çizelge 3.13. Datolite ve galena içerisindeki bileşiklerin kimyasal analiz sonuçları ....	52
Çizelge 3.14. Normal beton, serpentine ve çelik magnetli betonun içerisindeki elementlerin ağırlık yüzdesi ve bileşenlerin yüzdesi .....	53
Çizelge 3.15. Hormirad içerisindeki elementlerin miktarı .....	54
Çizelge 3.16. Bor karbid (B <sub>4</sub> C) içerisindeki elementlerin kimyasal analiz sonuçları ....	55
Çizelge 3.18. <sup>241</sup> Am-Be nötron kaynağının özellikleri .....	58
Çizelge 3.19. FLUKA programında enerji limitleri .....	75
Çizelge 4.1. Normal betonun içindeki bileşiklerin miktarları.....	76
Çizelge 4.2. DaGa betonun içerisindeki bileşiklerin miktarları .....	76

<b>Çizelge 4.3.</b> Datolite numunenin nötronlar ile etkileşme sonuçları .....	77
<b>Çizelge 4.4.</b> Datolite'nin nötron tesir kesiti değerleri .....	78
<b>Çizelge 4.5.</b> Galena'nın nötronlar ile etkileşme sonuçları .....	78
<b>Çizelge 4.6.</b> Galena'nın nötron tesir kesiti değerleri .....	78
<b>Çizelge 4.7.</b> Üç tür beton için lineer azaltma katsayısı.....	80
<b>Çizelge 4.8.</b> Üç tür beton için kütle azaltma katsayısı ( $\mu/\rho$ ).....	81
<b>Çizelge 4.9.</b> Hesaplanmış ve ölçülmüş üç tür beton için etkin tesir kesiti değerleri.....	82
<b>Çizelge 4.10.</b> Bor karbid numunenin nötronlar ile etkileşme sonuçları .....	90
<b>Çizelge 4.11.</b> Bor karbit numunenin nötron tesir kesiti değerleri .....	90
<b>Çizelge 4.12.</b> Hesaplanmış ve ölçülmüş $H^*(10)$ değerleri .....	92
<b>Çizelge 4.13.</b> Hormirad beton için hesaplanmış ve ölçülmüş değerler .....	93
<b>Çizelge 4.14.</b> Farklı oranlarda Borax katısının Hormirad betonda elde edilen sonuçları .....	93
<b>Çizelge 4.15.</b> Numunelerin yoğunluğu, birim hacim başına tesir kesiti ve birim kütle başına tesir kesiti .....	99
<b>Çizelge 4.16.</b> Betonların $B_4C$ ve datolite oranına göre yoğunluk, tesir kesiti ve nötron tutuculuğu.....	100
<b>Çizelge 4.17.</b> Betonların bor, datolite ve galena oranına göre tesir kesiti, yoğunluk ve nötron tutuculuğu .....	104
<b>Çizelge 4.18.</b> Datolite, galena ve borlu betonda maddelerin yüzdesi .....	105
<b>Çizelge 4.19.</b> Betonların galena ve bor oranlarına göre tesir kesiti, yoğunluk ve nötron tutuculuğu.....	109
<b>Çizelge 4.20.</b> Galena ve bor betonda maddelerin yüzdesi.....	110
<b>Çizelge 4.21.</b> Betonların, $B_4C$ ve galena oranına göre tesir kesiti, yoğunluk ve nötron tutuculuğu.....	114
<b>Çizelge 4.22.</b> Galena ve bor karbit betonda maddelerin yüzdesi .....	115
<b>Çizelge 4.23.</b> Numune üretiminde kullanılan malzemelerin kütlece oranları .....	118
<b>Çizelge 4.24.</b> Numune üretiminde kullanılan malzemelerin kütlece oranları .....	118
<b>Çizelge 4.25.</b> Numune üretiminde kullanılan malzemelerin kütlece oranları .....	119
<b>Çizelge 4.26.</b> Numune üretiminde kullanılan malzemelerin kütlece oranları .....	120
<b>Çizelge 4.27.</b> %100 Barit agregalı ağır betonun içerisindeki bileşikleri .....	121
<b>Çizelge 4.28.</b> %70 Barit + %30 galena agregalı ağır betonun içerisindeki bileşikleri .	121

<b>Çizelge 4.29.</b> %70 Barit + %30 galena agregalı + çelik lifli ağır betonun içerisindeki bileşikleri .....	122
<b>Çizelge 4.30.</b> %70 Barit + %30 galena agregalı + çelik lifli + pp lifli ağır betonun içerisindeki bileşikleri .....	122
<b>Çizelge 4.31.</b> %70 Barit + %30 galena agregalı + çelik lifli + monofilament pp lifli ağır betonun içerisindeki bileşikleri .....	123
<b>Çizelge 4.32.</b> Barit agregalı ağır betondaki çimento bileşiklerinin miktarları.....	123
<b>Çizelge 4.33.</b> Betonların, barit ve galena oranına göre tesir kesiti, yoğunluk ve nötron tutuculuğu.....	124
<b>Çizelge 5.1.</b> B <sub>4</sub> C betonunun ağırlığına göre deneysel sonuçlar .....	141
<b>Çizelge 5.2.</b> Borlu betonun bor yüzdesine göre deneysel sonuçlar .....	148
<b>Çizelge 5.3.</b> Bor karbidli betonun B <sub>4</sub> C yüzdesine göre deneysel sonuçlar .....	148
<b>Çizelge 5.4.</b> Deneysel olarak barit ve galena ile yapılan karma lifli ağır betonların boş ölçüm, dedektorum emdiği doz, tesir kesiti ve nötron tutucu kabiliyet değerleri.....	156
<b>Çizelge 5.5.</b> Deneysel olarak barit ve galena ile yapılan karma lifli ağır betonların transport, inelastik saçılma, elastik saçılma ve nötron tutucu değerleri..	156

## 1. GİRİŞ

Radyasyondan bugün çoğu alanda faydalanılmaktadır. Radyasyonun bir çok faydalı yönünün olmasına rağmen, canlı yapılara zarar verebilmesi nedeniyle, kullanım süresince bu tehlikeli yönü de göz önüne alınmalıdır. Radyasyonun zararları önceden tesbit edilerek bu zararları en aza indirmek için önleyici tedbirler alınırsa, radyasyon ile daha güvenli bir şekilde çalışma yapılabilir. Radyasyona maruz kalan kişinin radyasyonun türüne ve enerjisine bağlı olarak görme, tat alma, duyma, koklama ve dokunma gibi hisleri için kesin olarak saptanamayan bir tehlikedir. Radyasyon, kararsız durumdaki bir radyoaktif çekirdeğin kararlı duruma geçmek için çevresine alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ) parçacıkları veya  $\gamma$ -ışını saçmasıyla oluşur. Alfa parçacıkları 2 proton ve 2 nötrondan meydana gelen bir helyum çekirdeğidir. Beta parçacıkların yükü negatiftir ve elektronlardan meydana gelir ve alfa'ya göre daha az kütlesi vardır. Ama gama ışınları mutlak enerjiden meydana gelen elektromanyetik ışınlardır.

Nötronlar nötr yüklü parçacıklar olduklarından giricilikleri oldukça fazla olup, nükleer reaksiyonlarla meydana getirilirler. X ve  $\gamma$ -ışınlarının aksine, su ve parafin gibi bazı hafif elementler ve bazı özel beton türleri nötronların durdurulmasında kullanılmaktadır. Beton çok iyi bir radyasyon koruyucudur. Zira betonda Hidrojen gibi hafif elementler var ki bu elementlerin atom numarası küçüktür. Bu özelliğe sahip olan elementler radyasyon ve nötron zırhlamalarında betonlarda kullanılır.

Büyük özgül ağırlıklı agregalarla radyoaktif ışının soğrulmasını sağlamak için gerekli olan normal beton kalınlığı 1,5–2,5 kat azaltılabilmektedir (Akman 1987; Topçu 2002). Bu nedenle ağır beton agregalarının özgül ağırlıkları genellikle 2500–4000 kg/m<sup>3</sup> olur. Bu amaçla bu çalışmada en çok kullanılan agrega barit ve galenadır.

Nötron parçacıkları soğurganlıkları bakımından yapılan ağır beton çalışmaları incelendiğinde birçok çalışma yapılmıştır. Tschirf (1976), Avusturya'da nötron parçacıkları zırhlaması üzerine normal ve ağır beton üzerinde araştırmalar yapmıştır.

Ayküz (1977), çalışmasında barit agregalarını kullanarak farklı birim ağırlığa sahip ağır betonlar üretmiş,  $^{60}\text{Co}$  radyoaktif kaynağı için lineer azaltma katsayısı ile beton yoğunluğu arasında ilişki kurmuştur. Makarios *et. al.* (1996), yoğunluğu  $3,5\text{t/m}^3$  olan betonun nötron parçacıklara karşı zırlamasını araştırmıştır. Bashter *et. al.* (1996), reaktörlerde hızlı nötron parçacıklarının zırlaması için hematit – serpentit, ilemenit – limonit agregalı betonlar üzerine araştırmalar yapmıştır. Abdo *et al.* (2002), barit agregalı betonun nötron parçacık radyasyonun azaltma özelliklerini araştırmışlardır. Yazar'ın (1994) bildirdiğine göre, nötron zırlamasında en çok kullanılan zırh malzemeleri su, çeşitli betonlar, çelik, hidrojen içeren organik bileşikler veya hidritler, bor içeren metaller ve çeşitli tür plastiklerdir (Rockwell 1956; Price *et al.* 1957). Polivka ve Davis (1979), nötron parçacıklarını zırlamak için sırasıyla atom ağırlıkları yüksek olan ağır malzemeler, hidrojen ve oksijen gibi hafif element konularında araştırmalar yapmış ve bu parçacıklara karşı bor içeren malzame kullanılması gerektiği fikrini öne sürmüşlerdir.

Erimchev (2006), Seramikli agrega (Uranium Dioxid ( $\text{UO}_2$ )) betona katarak nötron durdurucu kabiliyeti artar. Eltehvay (2009) tarafından önerilen örnek bir ağır beton karışımı şu şekildedir: Ilmenite kaba agrega olarak, Serpentine ince agrega olarak, normal Portland çimento, su ve çelik lifler. Mahdy (2002) , Yüksek sıcaklığa dayanıklı olan betonlar reaktörlerde kullanılır. Bu tür betonlara önerilen örnek şu şekildedir: Su/çimento oranı 0,54 ve Superakışkanlaştırıcı, Silis dumanı, Magnetit ve doğal ince kum. Datolite ve galena (DaGa) madensel tuzları ağır betonlara katarak nötron zırlama amaçlı kullanılırlar. Datolite ve galena tuzlar genelde İranda bulunur (Mortazavi 2010). Nötron durdurucu olan diğer bir beton türü de Hormirad betonlardır. Bu betonların karışımı bir çok kısmı magnetit ve diğer kısmı da anhidre boraks ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ )'dir (Lorento 2010).

Paslanmaz borlu çelik, nötron absorblama kabiliyetine göre tercih edilmektedir. Aşağı yukarı her bir bor atomu bir nötron absorblar. Nükleer reaktörlerinin kontrol sistemlerinde, soğutucu havuzlarında ve reaktörün bir zırh ile kaplanmasında ( $^{10}\text{B}$ ) bor kullanılabilir. Ayrıca, nükleer atıkların saklanması için kolemanitten faydalanılabilir.

Nükleer reaktörlerde radyoaktif maddelerin bölünme neticesinde ısı, alfa ve beta parçacıkları, gama ışınları ve nötronlar ortaya çıkar. Nötronları zırlamak için kullanılan yaygın maddeler, polietilen, lityum, hidrojen ve su olup, zırh olarak kullanılan maddelerin çoğu ikincil gama ışını saçarlar bu ışınları da durdurmak için ikinci bir zırha ihtiyaç vardır. Bor, sıcak nötronları absorbe etmekte çok etkin olan tek maddedir. Sadece hafif bir gama ışını meydana getirerek, alfa parçacıklarını rahatça absorbe etmektedir (Tümer 2009). Hawk *et al.* (2004), bor özellikle kanserli beyin tümörlerini yok etmek için BNCT (Boron Neutron Capture Therapy) tedavisinde kullanılmaktadır (Korkut 2012).

Hızlı nötronlar temel olarak atom çekirdeği ile yaptıkları elastik çarpışmalarla enerjilerini kaybederler. Bir nötron pek çok çarpışmadan sonra oda sıcaklığında 0,04 eV enerjiye ulaşarak atomun merkezi çevresi ile termal dengeye gelebilir. Standart analitik metotlarla nötron enerji dağılımının hesaplanması kolay bir şey değildir. Çünkü dağılımın biçimi çarpışma sayısına bağlı olacaktır. Bu dağılımlarda Monte Carlo simülasyon tekniklerinin kullanılması her zaman basit ve açık bir usul olarak geçerlidir. Nötron ile maddenin elastik çarpışmalardan oluşan etkileşimi, farklı konularla ilgilenen iki fizik dalı olan nükleer fizik ve istatistik mekanik için oldukça ilginç bir örnek teşkil etmektedir.

Bu çalışmada, nötronların radyasyonun doğasından kaynaklanan çeşitli zararlı etkilerden korunabilmek için nötron zırhlanmasında betonda kullanılacak en uygun materyaller tespit edilmeye çalışıldı ve zırhlamanın çeşitli özellikleri Monte Carlo simülasyon tekniği kullanılarak araştırıldı. Elde edilen karma lifli ağır betonlar, nükleer santrallerin, sığınakların, radyasyonla çalışan laboratuvarların duvarlarında, hastanelerin radyoloji ve onkoloji servis odalarının duvarlarının zırhlaması amacıyla üretilmişlerdir. X ve  $\gamma$ -ışınlarını geçirmemesi için yoğunluğu yüksek olan barit ve galena maddeleri, nötron parçacıkları durdurmak için ise bor, bor karbid ve galena kullanılmıştır. Çalışmada betonlar öncelikle teorik olarak kimyasal bileşik konsantrasyonlarına göre belirlenmiştir. Beton, karışım kuralları dikkate alınarak içerisindeki agrega, çimento ve suyun kimyasal bileşiklerinin konsantrasyon miktarları her bir beton türü için Geant4

Monte Carlo programı kullanılarak belli enerjilerde tesir kesiti, yoğunluk ve nötron tutucu kabiliyeti belirlenmiştir. Teorik sonuçlara göre soğurganlık açısından iyi olan beton türleri için deney aşamasına geçildi. Teorik hesaplamalarda dikkate alınan maddeler barit ve galena cevherleri betonda ana agrega olarak düşünülmüştür. Bu şekilde agregaların kullanılmasının nedeni radyasyon soğurganlığı için fikir vermesidir. Ayrıca yine fikir vermesi açısından teorik hesaplamalarda agrega olarak düşünülen bu cevherlere çelik lif, multifilament polipropilen lif ve monofilament propilen lifler dahil edilmiştir. Teorik hesaplamalar için çimento olarak uluslararası standartlarda değerleri bilinen CEM I'in kimyasal analiz sonuçları değerlendirmeye alınmıştır. Teorik hesaplamaların değerlendirmelerinden sonra agrega deneylerine geçildi ve bu aşamada da sonuçlara göre 5 tür beton üretildi. Elde edilen bu betonların tasarım aşamasında, betonu etkileyen en önemli üç faktör birçok denemeden sonra şu şekilde belirlenmiştir; üretilen betonlarda su/çimento oranı 0,55, çimento dozajı  $350 \text{ kg/m}^3$  ve akışkanlaştırıcı tipi çimentoyla uyumu bakımından PLASTICON 125 belirlenmiştir. Betonlar 28 gün standart kür ortamında bekletilmiştir. Her bir beton türü 5 cm kalınlıklarda kesilerek nötron parçacıklarının soğurganlığı için  $^{241}\text{Am/Be}$  nötron kaynağı ve He nötron dedektörü kullanıldı.



## 2. KURAMSAL TEMELLER

### 2.1. Betonlar

#### 2.1.1. Ağır betonlar

Ağır betonlar özellikle zararlı ışınlar karşı bir perde oluşturmak amacıyla kullanılan, birim ağırlıkları 2500–4000 kg/m<sup>3</sup> ola betonlardır. Kullanım yerleri arasında nükleer reaktörler yani atom santralleri, hastanelerin ışın tedavisi yapılan bölümleri gösterilebilir. Eğer yeterli yer varsa aynı koruyucu etki beton elemanın kalınlığı fazla tutularak, normal betonla da sağlanabilir. Kesitleri kalın tutulamıyorsa ağır metal filizlerinin agrega olarak kullandığı ağır betonlar kullanılır. Çok özel durumlarda demir veya kurşundan yapılmış agregalardan yararlanır. Bu tür betonların zararlı ışınlar karşı bir perde oluşturmasının yanı sıra yeterli mukavemete sahip olmaları gibi bir görevi daha vardır. Ayrıca korunma sağlanacak ışınların türlerine ( $\alpha$ , GALENA,  $\beta$ ,  $\gamma$  ve nötron) göre betonlardan başka fonksiyonlar da, örneğin ısı iletkenliği, beklenebilir (Güner 1999).

Radyasyonun belli enerji aralığı için kullanılan koruyucu maddenin soğurma özelliği maddenin atom numaralarına bağlıdır. Düşük maliyetli olması açısından deneysel ve geniş bir kullanım alanına sahip olan kurşun, atom numarası yüksek bir maddedir. Birim yüzey başına düşen ağırlık miktarı aynı olmak koşulu ile hafif metalden yapılmış kalın kalkan ile ağır metalden yapılmış ince kalkan neredeyse birbirine eşdeğerdirler. Düşük maliyete, kolay kullanma ve iyi yapısal özelliklere sahip olan beton da iyi bir radyasyon soğurucu malzeme olarak kullanılabilir. Yüksek yoğunluklu agrega kullanılarak gerekli olan beton kalınlığı 1,5–2,5 kat azaltılabilir (Dusil and Beier 1989).

Nötronlar nükleer reaktörlerde çok önemlidir.  $\gamma$  ve X-ışınlarındaki durumdan farklı olarak, nötronların madde ile etkileşimleri her zaman her bir maddenin atom numarasına bağlı olarak değişmez. Bir izotop kısmen hayli soğurucu bir özelliğe sahip

olabilirken, o izotopun komşuları da kısmen geçirici özelliğe sahip olabilirler. Aynı zamanda soğurma ikincil  $\gamma$ -ışınlarının oluşmasıyla meydana gelir ve bu ışınların miktarı ve enerjileri bir maddeden diğerine değişiklik gösterebilir. Bu nedenle bir reaktör için soğurucu malzeme, o reaktörün belirgin özelliklerine göre seçilmelidir.

Radyoaktif kaynaktan çıkan hızlı nötronların yavaşlatılması elastik ve elastik olmayan saçılım ile sağlanır. Sadece demir ve demirden daha yüksek atom numarasına sahip olan elementler elastik olmayan saçılmalarda oldukça etkili olarak kullanılırlar. Bu nedenle nötron kalkanlarında demir ve baryum taşıyan agregalar kullanılır. Nötronların en düşük atom numarasına sahip olan hidrojen saçılmaları bu açıdan en iyisidir.

Hidrojen ile oksijenin bir arada olduğu yerler hidratlı portland çimento jelinde su olarak ya da çimento hamuru boşluklarında kısmen serbest su olarak ya da bazı sulu agregalarda karışımı oluşturan bir madde olarak bulunur. Nötronların soğurulması en iyi şekilde kalkan maddenin içinde gerçekleştiği için, bunun sonucu olarak açığa çıkan ışınlar önemli bir problem teşkil eder. Hafif bir izotop olan bor  $^{10}\text{B}$  izotopu, kısmen çok yüksek nötron soğurma kapasitesine sahiptir.

İyi bir nötron kalkanı;

1. Elastik olmayan saçılımı sağlayacak olan demir,
2. Nötron yakalamak ve elastik saçılımı sağlamak için su
3. İkincil ışın problemini azaltmak için bor  $^{10}\text{B}$  izotopu bileşenlerini içermelidir.

Normal ağırlıktaki bir beton için agregalar temiz ve çimento matrisi ile gerekli bağı yapmak için yabancı kaplamalardan ve yağdan arınmış olmalıdır. Agregalar düz ve uzun parçacıklardan arınmış ve şekil olarak kabaca küp şeklinde olmalıdır. Eğer karışımda kullanılan agregaların ağırlıklarında oldukça fazla fark olmuş ise ayrışma ya da çökme olayı meydana gelebilir. Örneğin çelik parçacıkları, silis dumandan yapılmış harç içinde dibe çökerler. Çelik parçalarının kullanıldığı ağır yoğunluklu agregalı karışımlar katı şekilde tutulmaya çalışılmalıdır. Ağır agregalar, maden cevherlerinde,

minerallerde, elik ve demir-fosfor gibi üretilmiş malzemelerde doğal olarak bulunurlar. Bu malzemeler aşağıda verilmiştir (Topçu 2006):

1. Demir veya baryum içeren doğal ve yapay agregalar
2. Hidratlı doğal agregalar
3. Bor içeren agregalar

Birinci grup oldukça yüksek atom numarasına sahip olan ve  $X$  ile  $\gamma$ -işinlarını soğurma özelliğine sahip malzemeleri içerir. İkinci grup, nötronları zayıflatmada oldukça etkili olan "bağ suyu" olarak adlandırılan su veya sulu içeren agregalardan oluşur. üncü grup ise girici güce sahip, yüksek enerjili  $\gamma$ -işinlarını üretmeyecek şekilde, termal nötronları soğurma özelliğine sahip olan bor izotopu içeren agregalardır (Dusil and Beier 2004).

### **2.1.2. Lifli betonlar**

Lifli beton; imento, agrega ve beton içersinde çoğunlukla süreksiz dağılı liflerin suyla karıştırılmasıyla meydana gelen bir yapıya sahiptir. Belirli zellikleri olan liflerle homojen olarak takviye edilmiş lifli beton, ilk görünüşte normal beton karışımlarına benzemesine rağmen değişik yükler altında gösterdiği davranış ve performans açısından geleneksel betondan oldukça farklı özelliğe sahiptir. Liflerin beton içersinde gelişigüzel dağılmasına rağmen lifli beton yük altında homojen bir davranış gösterir.

Betonu takviye amacıyla kullanılan ve değişik şekil ve büyüklüklerde olan lifler genel olarak cam, elik, polipropilen ve organik polimerlerden üretilmektedir.

### **elik lifler**

Boyları 30-60 mm, çapları 0,5-1 mm arasında daire ya da dikdörtgen kesitlidir. elik lifli betonun taşıma gücüne eriştiği halde yük taşıma özelliği vardır. Kavitasyon-

erozyon dayanımı ,darbe dayanımı, ilk çatlak oluşumu dayanımı, yorulma dayanımı , deformasyon kapasitesi ve tokluk açısından lifsiz betondan çok daha iyi performans gösterir. Çatlamalar, dökülme, parçalanma ve dağılmalar azdır. Çekme mukavemeti normal betona göre daha fazladır.

### **Polipropilen lifler**

Beton ve harçlarda %0,3 ile %1,5 hacim oranları arasında kullanılmaktadır. Darbe, aşınma ve korozyona karşı dayanımı artırır. Malzemenin, çekme, eğilme ve yorulma mukavemetini artırır. Beton yerleştirme esnasında olası çökme ve oturma nedeniyle boşlukların oluşmasını engeller. Büzülme ve rötre çatlaklarını engeller.

### **2.1.3. Karma lifli betonlar**

Birden fazla çeşitli tip ve boyutlardaki liflerin birlikte kullanılmasıyla üretilen yeni kuşak çimento esaslı kompozitlere ‘karma lifli beton’ adı verilmektedir. Beton içerisinde çekme dayanımı yüksek liflerin kullanımı betonun ilk çatlak dayanımını ve nihai dayanımı artırıcı özelliştir. Buna ilaveten betonun içine daha esnek liflerin ilavesi betonun tokluğunun ve şekil değiştirme kapasitesinin artmasına neden olur. Değişik tipteki liflerin birlikte kullanıldığı betonlarda yüksek elastisite modülüne sahip karbon, asbest, çelik veya cam lifler daha çok dayanım artırıcı, düşük elastisite modülüne sahip polipropilen veya polietilen lifler ise tokluk artırıcı özellik göstermektedirler.

Betonda yük altında oluşan çatlakların mikro düzeyden başlayarak kontrol altına alınabilmesi için mikro, mezo ve makro düzeydeki liflerin birlikte kullanıldığı karma lifli betonlar üretilebilmektedir. Betonda meydana gelen çatlaklar uzunluklarına, genişliklerine ve oluşum gösterdikleri numune ya da yapının boyutlarına göre mikro veya makro çatlak olarak adlandırılırlar. Bu çatlakların önlenmesinde kullanılan yüksek dayanımlı makro lifler (çelik, karbon vb.) makro düzeydeki büyük çatlakları, zayıf mikro lifler (polipropilen, polietilen vb.) ise mikro düzeydeki küçük çatlakların oluşumunu ve gelişimini kontrol ederler.

Uzunluğu 10mm ve çapı 80  m'den kuk mikro lifler kullanılarak 100  m'den kuk aralıkla bir lif dağılımı sağlanabildiği gösterilmiştir (Banthia,2000). Betterman (1995), polivinilalkol (pva) lifler kullanarak yaptıkları çalışmada çekme gerilmesi altında lifler arası uzaklığın azalmasıyla ilk tepe yükünün arttığını göstermişlerdir. Mikro lifler mikro çatlakları kritik çatlak haline gelmeden durdururlar (Mobasher and Yu Li 1996).

Matristeki çatlaklar mikro düzeyde başlar. Büyük boyutlu lifler arasındaki mesafe fazla olduğu için bu lifler mikro çatlaklar için etkili olamazlar. Büyük boyutlu lifler ancak çatlaklar gelişip makro düzeye geldiği zaman etkili olur. Buna karşın, mikro lifler çatlaklar mikro düzeyde iken arada köprü vazifesi görerek çatlakları durdururlar. Mikro lifler matrisin hemen hemen her bölgesine dağılabilecek kadar kk oldukları için makro liflerin bulunmadığı ara bölgelerdeki kk çatlakların başlamasını ve gelişimini kontrol edebilirler. Mikro lifler, mikro çatlakları kritik çatlak haline gelmeden durdururlar.

Brandt and Glinicki (1992), ürettikleri numunelerde lifsiz, (%0,5, 1,0, 2,0, 3,5 karbon) lif, (%0,5 karbon + % 1,0 PVA) lif ve (%0,5 karbon + % 1,0 elik) lif kullanarak normal ve karma lifli betonlar hazırlamışlardır. Numuneler üzerinde eğilme testleri yapılmıştır. Deneyler sonunda eğilme dayanımında en fazla artışın elik ve karbon liflerin birlikte kullanıldığı numunelerde olduğu grlmştir. Kırılma tokluklarına bakıldığında, betonda lif kullanımının tokluğu önemli lde arttırdığı, karma lifli betonlardaki artışın karbon liflerin tek başlarına kullanıldığı betonlardan daha fazla olduğu grlmştir.

Karma lifli betonlar, hasarlı binaların güçlendirilmesinde, kesiti kk taşıyıcı elemanların yapımında, zımbalamaya karşı kolon başlarının güçlendirilmesinde, zararlı radyoaktif ve endüstriyel atıkların çatlaksız ve durabilitesi yüksek elemanlarda saklanmasında, sünek davranış gerektiren taşıyıcı yapı elemanları birleşim bölgelerinde, prekast çatı kaplama elemanı yapımında, çarpma ve aşınmaya karşı dayanım gerektiren bölgelerde kullanımı söz konusudur.

## 2.2. Radyasyon

Genel olarak radyasyonu iki ana gruba ayırabiliriz.

### 1. Yüklü parçacık radyasyonu

- a. Hızlı elektronlar
- b. Ağır yüklü parçacıklar

### 2. Yüksüz radyasyon

- a. Elektromanyetik radyasyon
- b. Nötronlar

Hızlı elektronlar, herhangi bir işlemle üretilmiş yüksek hızlı elektronlar kadar nükleer bozunmalarda yayınlanan  $\beta$  parçacıklarını da (hem  $\beta^-$  hem de  $\beta^+$ ) içerir.

Ağır yüklü parçacıklar, müonlar, protonlar, pionlar, alfalar ve döteronlara benzer ağır yüklü parçacıklar gibi soğurucu bir ortama girerken, kendi pozitif yükleri ile çevredeki atomların yörünge elektronlarının negatif yükü arasında Coulomb kuvveti ile etkileşirler. İnelastik çarpışmalar, ağır yüklü parçacıkların madde içerisindeki enerji kaybının en önemli sebebidir. Eğer bu etkileşmelerde gelen parçacığın kinetik enerjisi atomun iyonlaşma enerjisinden yeteri kadar büyükse, enerjisini yoldaki atomları iyonlaştırmak için maddeye aktarır.

Elektromanyetik radyasyon, atomik seviyeler arası geçişlerden yayınlanan veya yüksek hızlı elektronların frenlenmesiyle elde edilen X-ışınları ve çekirdek içindeki geçişlerden yayınlanan  $\gamma$ -ışınlarını içerir.

Çeşitli nükleer işlemlerde üretilen genellikle yavaş ve hızlı nötronlar olmak üzere ikiye

ayrılan nötronlar, son radyasyon kategorisini oluşturur.

## 2.3. Radyasyon Birimleri

### 2.3.1. Aktivite birimleri

Aktivite birimi Becquerel (Bq)'dir ve birim zamanda bir bozunmaya eşittir. Aktifliğin eski birimi Curie (Ci)'dir ve  $1Ci = 3,7 \times 10^{10}$  parç/s'dir.  $1 Bq = 2,703 \times 10^{-11}Ci$ 'dir. Bir başka aktivite birimi Rutherford (Rd)'dir ve saniyede  $10^6$  parçalanmaya eşittir.

### 2.3.2. Işınlama birimi

Röntgen (R) ışınlama birimi'dir. Röntgen; standart hava koşullarında havanın 1 kg'ında  $2,58 \times 10^{-4}$  C' luk elektrik yükü değerinde pozitif ve negatif iyonlar meydana getiren GALENA- ve  $\gamma$ -ışını değeridir.  $1R = 2,58 \times 10^{-4}$  C/kg veya  $1C/kg = 3,88 \times 10^3 R$ 'dir.

### 2.3.3. Soğurulmuş doz birimi

Soğurulmuş doz birimi, birim kütle başına absorblanan enerjinin miktarıdır. Çeşitli radyasyonlara uygulanabilir. Radyasyon miktarını, radyasyonun maddenin birim kütlesine aktardığı enerji miktarı ile ölçülür ve birimi Gray (Gy)'dir. 1 Gy, 1 kg'lık kütleyle 1 J'lük enerji aktaran radyasyon miktarıdır. Yani  $1Gy=1 J/kg$ 'dır. Eski birimi rad'dır. Bir rad, 1 kg'lık bir kütleyle  $10^{-2}$  J enerji aktaran enerji miktarı olarak tanımlanır.  $1rad = 10^{-2}j/kg$  ve  $1Gy = 10^{-2}rad$ 'dır.

### 2.3.4. Eşdeğer doz birimi

Eşdeğer doz birimi, organlarda toplanan enerjinin bir ölçüsüdür. Düşük doz değerlerinde radyasyonun türüne ve enerjisine göre biyolojik zararlarını da veren bir

ölçümdür. Eski birimi rem'dir. 1 rem, bir R'lik ışımının meydana getirdiği hasara eşdeğer etkiyi oluşturan ışıma olarak tanımlanır ve Röntgen Equivalent Max'ın kısaltmasıdır. Yeni birimi Sievert (Sv)'dir ve  $1\text{Sv}=1\text{J/kg}$ 'dir.  $1\text{Sv}=100$  rem'dir. X-ışınları,  $\gamma$ -ışınları ve  $\beta$  parçacıkları için  $1\text{Gy}=1\text{Sv}$ 'tir.

### 2.3.5. Etkin doz birimi

Organ veya dokuların aldığı dozun bütün vücut için yüklediği miktarı ifade etmektedir ve birimi Sievert (Sv)'dir.

## 2.4. Nötron kaynakları

Nötronlar çekirdek reaksiyonları sonucu veya çekirdek parçalanması sonucu meydana gelirler. Nötronları meydana getiren reaksiyonlar alfa-nötron ( $\alpha, n$ ) ve gamma-nötron ( $\gamma, n$ ) reaksiyonlarıdır. Gamma ile yapılan bu nükleer reaksiyonlara foto nükleer reaksiyonlar denir (Ertuğrul 2010).

### 2.4.1. Kendiliğinden bozunma

Çekirdek parçalanması sonucu nötron elde edilebilen kaynaklardır. Parçalanma başına yaklaşık 4 tane nötron üretilir. Oluşan nötronların enerjileri fisyonu bağlı olarak 1–3 MeV arasında değişir. Çoğu trans-uranik ağır nüklid, önemli bir kendiliğinden parçalanma ihtimaliyetine sahiptir. Pek çok hızlı nötron her bir parçalanma olayında yayımlanır. En çok kullanılan kendiliğinden parçalanma kaynağı  $\text{Cf}^{252}$ 'dir. Onun 2,65 yıllık yarı-ömrü yeterince uzundur ve bu izotop bütün transuranyum elementlerinin en çok üretilenlerinden biridir. Asıl bozunma mekanizması  $\text{Am}^{241}$ 'dir ve  $\alpha$  yayınlama hızı kendiliğinden parçalanma hızının yaklaşık 32 katıdır. Nötron verimi, aktivitenin  $\alpha$  ve kendiliğinden parçalanma hızının birleşimi olduğundan, Bq başına 0,116 n/s'dir. Birim kütle temeline dayandırırsak,  $2,30 \times 10^6$  n/s'lik verim numunenin  $\mu\text{g}$ 'ı başına üretilir. Aşağıda tanımlanan diğer izotopik nötron kaynaklarıyla karşılaştırıldığında  $\text{Cf}^{252}$  kaynakları aktif maddenin çok küçük miktarlarını gerektirir (normal olarak  $\mu\text{g}$ 'lar



mertebesinde) ve bundan dolayı sadece kaplama (muhafaza) koşulları tarafından zorlanarak çok küçük boyutlarda yapılabilir. Nötron verimi 8 ve 10 MeV kadar yüksek enerjilerde de önemli bir değere sahip olmasına rağmen 0,5 MeV ile 10 MeV arasında en büyük değerine ulaşır. Tipik bir parçalanma spektrumunun şekli

$$\frac{dN}{dt} = \sqrt{E} e^{-E/kT} \quad (2.1)$$

ifadesine uyar.

#### 2.4.2. Radyoizotop ( $\alpha$ , n) kaynakları

Enerjik  $\alpha$ -parçacıkları pek çok uygun radyonüklidin doğrudan bozunmasından elde edilebildiği için,  $\alpha$ -yayınlayan izotopu uygun bir hedefle karıştırarak küçük bir nötron kaynağı üretmek mümkündür. Pek çok farklı hedef madde kolayca radyoaktif bozunmalarından elde edilebilen  $\alpha$ -parçacıkları için ( $\alpha$ ,n) reaksiyonu gerçekleştirilebilir.

En büyük nötron verimi, Be hedef kullanıldığında üretilebilmektedir. Bu reaksiyon 5,71 MeV'lik Q değerine sahiptir.



$\alpha$ -parçacıklarının çoğunluğu hedefte durdurulur ve yaklaşık  $10^4$   $\alpha$ -parçacığından yalnızca biri Be çekirdekleriyle reaksiyona girer. Aslında aynı verim  $\alpha$ -yayınlayıcıları nispeten küçük konsantrasyonlarında Be boyunca homojen olarak dağıldığı takdirde  $\alpha$ -parçacık yayınlayıcısıyla Be'un karışımından elde edilebilir.

Pratikte önemli olan bütün  $\alpha$ -yayınlayıcıları aktinit elementleridir ve araştırmalar kararlı bir alaşımın aktinitler ve MBe13 biçimindeki Be'un arasında oluşturulabileceğini gösterir ki, burada M aktinit metali temsil eder. Bundan dolayı aşağıda tanımlanan kaynakların çoğu bu alaşım biçiminde metalurjik olarak hazırlanır ve her bir  $\alpha$ -parçacığı

herhangi bir enerji kaybına uğramaksızın Be çekirdekleriyle etkileşme şansına sahiptir.

Bazı yaygın  $\alpha$ -parçacık yayınlayıcıları ve nötron kaynaklarının özellikleri Çizelge 2.1’de listelenmiştir. Bu izotopların birkaçı,  $Ra_{226}$  ve  $Ac_{227}$  dikkate değerdir,  $\alpha$ -parçacıklarının verimine ilave büyük bir  $\gamma$ -ışını backgrounduna rağmen uzun ürün zincirlerine sahiptirler. Bundan dolayı bu kaynaklar, şiddetli  $\gamma$ -ışını backgrounduna sahip olduğu için bazı uygulamalarda uygun değildir. Üstelik, bu Ra-Be ve Ac-Be kaynaklar, gama radyasyonunun ek biyolojik zararlarından dolayı daha dikkatli çalışma gerektirir.

**Çizelge 2.1.** Be ( $\alpha,n$ ) nötron kaynaklarının karakteristikleri (Anderson and Hertz 1971)

			10 <sup>6</sup> primer $\alpha$ -parçacığı başına nötron verimi		E <sub>n</sub> <1,5 MeV sahip yüzde verimi	
Kaynak	Yarı ömür	E <sub><math>\alpha</math></sub> (MeV)	Hesaplanan	Ölçülen	Hesaplanan	Ölçülen
Pu <sup>238</sup> /Be	24000y	5.14	65	57	11	9-33
Po <sup>210</sup> /Be	138 g	5.30	73	69	13	12
Pu <sup>238</sup> /Be	87,4 y	5.48	79	-	-	-
Am <sup>241</sup> /Be	433 y	5.48	82	70	14	15-23
Cm <sup>244</sup> /Be	18 y	5.79	100	-	18	29
Cm <sup>242</sup> /Be	162 g	6.10	118	106	22	26
Ra <sup>226</sup> /Be + ürünleri	1602 y	Çoklu	502	-	26	33-38
Ac <sup>227</sup> /Be + ürünleri	21,6 y	Çoklu	702	-	28	38

Pu<sup>239</sup>/Be radioizotop kaynağı ( $\alpha,n$ ) kaynağı olarak muhtemelen en yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bununla birlikte, yaklaşık olarak 16g madde 1 Ci ( $3,7 \times 10^{10}$ Bq)’lik aktivite için gerekli olduğundan dolayı boyutları birkaç santimetre olan bu tip kaynaklar yaklaşık  $10^7$  n/s verimiyle sınırlanır. Kaynağın fiziksel büyüklüğünü arttırmadan nötron verimini arttırmak için daha büyük özel aktiviteli  $\alpha$ -yayınlayıcıları yerine yerleştirilmelidir. Bundan dolayı Am<sup>241</sup> (yarı-ömrü 433 yıl) ve Pu<sup>238</sup> (yarı-ömrü 87,4 yıl) ile birleştirilmiş kaynaklar da yüksek nötron verimi gerekiyorsa kullanılır. Cm<sup>244</sup> (yarı-ömrü 18 yıl)’ten faydalanan kaynaklar özel aktivite ve kaynak ömrü arasında

hemen hemen oluşmuş bir idealliği temsil eder.

$\alpha$ -parçacıklarının indüklediği birkaç reaksiyon nötron kaynağı olarak kullanılır. Ama esasen hepsi Be reaksiyonlarıyla karşılaştırıldığında birim alfa aktivitesi daha düşük nötron verimine sahiptirler. Önemli reaksiyonlarının bazıları Çizelge 2.2’de listelenmiştir.

**Çizelge 2.2.** Alternatif ( $\alpha,n$ ) izotopik nötron kaynakları

Hedef	Reaksiyon	Enerji (MeV)	Verimi (%)
Tabii B	$B^{10}(\alpha,n)$ $B^{11}(\alpha,n)$	+1,07 +0,158	$Am^{241}$ $\alpha$ -parçacığı için 13
F	$F^{19}(\alpha,n)$	-1,93	$Am^{241}$ $\alpha$ -parçacığı için 4,1
İzotopik olarak ayrık $C^{13}$	$C^{13}(\alpha,n)$	+2,2	$Am^{241}$ $\alpha$ -parçacığı için 11
Tabii Li	$Li^7(\alpha,n)$	-2,79	
Be (karşılaştırma için)	$Be^9(\alpha,n)$	+5,71	$Am^{241}$ $\alpha$ -parçacığı için 70

### 2.4.3. Fotonötron kaynakları

Bazı radyoizotop  $\gamma$ -yayınlayıcıları da uygun bir hedefle birleştirildiğinde nötron üretmek için kullanılabilir. Böyle fotonötron kaynakları, serbest bir nötron yayınlanmasına izin vermesi için bir  $\gamma$ -ışını fotonu soğurarak bir hedef çekirdeğe yeterli uyarma enerjisinin sağlanması ilkesine dayanır. Uygun Reaksiyonlar,



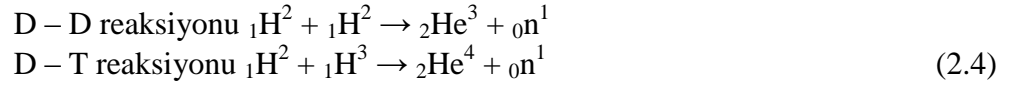
olarak yazılabilir.

Fotonötron kaynaklarının en önemli avantajı  $\gamma$ -ışınları tek enerjiliyse nötronların da

neredeysse tek enerjili olmasıdır. Fotonötron kaynaklarının asıl dezavantajı, çok büyük  $\gamma$ -ışını aktiviteleri yeterli şiddetteki nötron kaynakları üretmek için kullanılması gerçeğidir.

#### 2.4.4. Hızlandırılmış yüklü parçacıklarla reaksiyonlar

Alfa parçacıkların radyoizotoplardan yayınlanan küçük  $Z$ 'li yüklü ağır parçacıklar olduğu için gelen protonlara, döteronlar v.s. ile ilgili reaksiyonlar suni olarak hızlandırılmış parçacıklarına dayanır. Nötron üretmede kullanılan bu tip reaksiyonlarından ikisi şunlardır:



Gelen döteron ve hafif hedef çekirdeği arasındaki Coulomb engeli nispeten küçük olduğundan nötronlar önemli bir nötron verimi üretmek için çok yüksek enerjiye hızlandırılması gerekmez. Bu reaksiyonlardan, döteryum iyonlarının yaklaşık 100-300 keV'lik bir potansiyel tarafından hızlandırıldığı "nötron jeneratörlerinde" geniş şekilde kullanılır.

### 2.5. Nötronların madde ile etkileşmesi

$\gamma$ -ışınları gibi nötronlar da net yük taşımazlar ve bundan dolayı yüklü parçacıklar ve elektronlar için maddeyle etkileşmede esas enerji kaybetme mekanizması Coulomb kuvveti vasıtasıyla maddeyle etkileşme yapmazlar.

#### 2.5.1. Nötron alanında çalışmalar

Radyoaktivite hakkında bilimsel süreç, 1896'da Henry Becquerel'in tesadüfen uranyum tuzu tarafından yayınlanan ışınımı keşfi ile başlar. Daha sonra Mary Curie ve eşi Pierre

Curie'nin 1898 yılında radyasyon yayan Radium ve Polonyum maddelerini keşfetmelerinin ardından kısa bir süre içinde radyoaktif özellik taşıyan Toryum, Aktinyum, Radyotoryum, Mezotoryum gibi birçok element bulunmuştur. Zamanla radyasyon kaynakları tıpta, sanayide ve bilimsel araştırmalarda da artan bir hızla kullanılmaya başlanmıştır. Bu artış, radyasyon güvenliği konusunun bilimsel olarak çalışması gereken önemli bir konu olmasını zorunlu kılmıştır.

1932 yılında nötronun keşfi, radyoaktif elementlerin yapay olarak elde edilmesi konusunda önemli bir basamağı teşkil etmiştir. Nötronun keşfinin akabinde çekirdek fisyonunun bulunması sonucunda nükleer reaktörlerin yapılandırılması gelişme sürecine girmiştir. Bu şekilde dünyada kullanılan radyoaktif maddelerin ve radyasyon kaynaklarının sayısı hızla artmıştır (Etherington 1958).

Radyasyon yayınlayan maddelerin ve aletlerin varlığı ve bu şekilde artış göstermesi, nükleer reaktörlerdeki fisyon ve nötron bombardımanı ile oluşturulan radyoizotopların tehlikeli etkileri, zırhlama teknolojisini ortaya çıkarmıştır. Radyasyonun en temel özelliği ileri derecede maddelere ve dokulara nüfuz edebilmesi olduğundan yüksek aktiviteye sahip yüksek enerjili kaynakların zırhlanması gerekmektedir.

Nükleer enerji üretimini içeren barışçıl teknolojiler ile nükleer reaktörler yaygınlaşmış ve bu sayede pek çok elementin radyoizotopları elde edilmiştir. Zamanla her alanda gelişim gösteren teknoloji, nükleer alanında da etkisini göstermeye de devam etmektedir (Oberhofer 1991).

Gelişen yeni nükleer tekniklerin kullanıldıkları yerler farklılıklar gösterebilmektedir (Gardner and Ely 1967). Bu bağlamda nükleer tekniklerin ileri araştırma alanlarındaki uygulamaları da çeşitlilik göstermektedir. Radyoizotopların tıp (Bernier *et al.* 1997) ve geometri (Tuğrul 1985) gibi alanlarda yaygın olarak kullandığı bilinmektedir.

Ferrari *et al.* (2001), nükleer teknikler uygulanırken radyasyon ile çalışma söz konusu olmaktadır. Böylece radyasyona uzun süre maruz kalan canlılara radyasyonun olumsuz

etkileri söz konusudur. Radyasyon canlılar üzerinde istenmeyen etkilerinin önlenmesi açısından zırhlama teknolojisi önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Radyasyon zırhlaması için çeşitli malzemelerin kullandığı birçok çalışma vardır. Bor, Kurşun, Baryum gibi elementler, bor karbit ve PbO'li bileşik, borlu bileşik, çimento ve normal kum gibi malzemeleri konu alan çalışmalar örnek verilebilir.

Grifoni (1988), bor ve kurşun mineralleri kullanılarak elde ettiği çimento tabanlı malzeme ile Amerikan Patent Ofisi'nden patent almıştır.

Khannal *et al.* (1996), 662 keV'de bazı ağır metal oksit borat camlarda lineer ve kütle azaltma katsayılarını belirlediler.

Alam *et al.* (2001), Bangladeş'in Chittatong ve Cox's Bazar bölgelerinde alınan toprak, kum, inşaat malzemesi ve ağır sahil numunelerinin farklı tiplerinin kütle ve nötron transmisyonlarını  $^{133}\text{Ba}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  ve  $^{60}\text{Co}$  nokta kaynaklarının 276, 303, 356, 384, 662 ve 1332 keV'lik enerjileri için yüksek çözünürlüklü HPGe dedektör kullanılarak 276-1332 keV enerji aralığında ölçmüşlerdir.

Abdo *et al.* (2003), yüksek yoğunluğa sahip polietilen ve kurşun oksit kompozit malzemelerin hızlı nötron ve  $\gamma$ -ışını zırhlaması üzerine çalışmışlardır.

Singh *et al.* (2003a), 511, 662, 1173 ve 1332 keV foton enerjilerinde ZnO-PbO-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> camlar için kütle soğurma katsayısı, etkin atom numarası ve etkin elektron yoğunluğunu deneysel olarak belirlediler ve teorik sonuçlarla karşılaştırdılar.

Singh *et al.* (2003b), 356, 511, 662, 1173, 1332 keV'lük foton enerjilerinde zırhlama malzemesi olarak baryum ve kalsiyum borat camlar için  $\gamma$ -ışını değerlerini, kütle azaltma katsayısını ve etkin atom numaralarını deneysel olarak belirlemişlerdir.

Singh *et al.* (2004b),  $\gamma$ -ışını radyasyon zırhlayıcı için ince şua metodunu kullanılarak  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ -  $\text{PbO}$ -  $\text{B}_2\text{O}_3$  cam sistemlere  $\text{PbO}$ - $\text{B}_2\text{O}_3$  kurşun boratın karşılaştırmalı çalışmasını yapmıştır.

Singh *et al.* (2005a),  $\text{PbO}$ - $\text{B}_2\text{O}_3$ - $\text{SiO}_2$  ve  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ -  $\text{B}_2\text{O}_3$ -  $\text{SiO}_2$  camlar için 662 ve 1173 keV'lik  $\gamma$ -ışını enerjilerinde kütle azaltma katsayısı deneysel ve teorik olarak hesapladılar.

Singh *et al.* (2005b), 511, 662, 1173 ve 1332 keV'lik enerjilerde  $\text{CaO}$ - $\text{SrO}$ - $\text{B}_2\text{O}_3$  camlar için kütle azaltma katsayılarını, etkin atom numaralarını ve etkin elektron yoğunluklarını deneysel olarak belirlemişlerdir

Boncukçuoğlu vd (2005), tınkal cevherinden boraks üretimi yapılırken elde edilen atık ile modifiye edilmiş çimento ve Portland çimentosunun mekaniksel özelliklerini ve 15.746 keV ile 40.390 keV enerji aralığında radyasyon geçirgenliklerini incelemişlerdir.

Singh *et al.* (2006),  $\text{PbO}$ - $\text{BaO}$ - $\text{B}_2\text{O}_3$  cam sisteminde 511, 662 ve 1274 keV'lik foton enerjilerini kullanılarak yarı kalınlık parametresi ve kütle azaltma katsayısını XCom programı yardımıyla hesaplamışlardır.

Kirko *et al.* (2007), baryum veya kurşunun farklı oksitleri ve ağır metallerin bileşiklerin içeren polimer veya seramik tabanlı Basgan isminde radyasyon zırhlayıcılığı çok iyi olan bir kaç adet kompozit malzeme elde etmişlerdir.

Singh *et al.* (2008), daraltılmış şua metodunu kullanılarak 356, 662, 1173 ve 1332 keV'lik  $\gamma$ -ışını enerjilerinde baryum borat uçucu küllerinin kütle azaltma katsayılarını ölçmüşlerdir.

Yukarıda belirtilenler radyasyon zırhlama üzerine yapılan çalışmalardır. Bu çalışmalarda deney geometrisi genelde dedektör ile radyasyon kaynağının arasına

materyalin konması esasına dayanan transmisyon geometrisidir. Ancak bu geometride materyalin kendisi, mesafeler, dedektör, kolimatör tipi ve radyasyon kaynağı önem teşkil etmektedir. Yine literatür incelendiğinde bunlarla ilgili birçok çalışma yapılmıştır.

Sidhu *et al.* (1999), farklı kolimasyon şartları altında 662 keV'lik  $\gamma$ -ışınları için su ve toprağın kütle azaltma katsayılarını ölçmüşlerdir.

Turgut vd (2004), ikincil X-ışınları kullanılarak 4.508-13.375 keV foton enerji aralığında Cu, Cr ve onların bileşiklerin X-ışını azaltma katsayılarını ölçmüşlerdir.

Turgut vd (2005), çeşitli hedefler yardımıyla 4.508-17.443 enrji aralığında elde edilen ikinci ışın kullanılarak  $\text{FeF}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeCl}_3\cdot 2\text{NH}_4\text{Cl}\cdot \text{H}_2\text{O}$  bileşiklerinin kütle soğurma katsayılarını ölçmüşlerdir.

Çevik vd (2006),  $\text{CuInSe}_2$  yarı iletken için azaltma katsayısı, kalınlık ve etkin atom numaralarını belirlemişlerdir.

Midgley (2006), X-ışını nötron transmisyonlarını ölçerken saçılan radyasyonun sistematik hatanın ana kaynağı olabildiğini yaptığı çalışma ile göstermiştir.

Khater and Ebaid (2008), referans numuneler ile diğer numunelerin matrisi arasındaki farklılıklardan dolayı foton pik verimlerindeki sistematik belirsizliği düzeltmek için bir çalışma yapmışlardır.

Şarer'e göre nötron ışınlarının dedeksiyonu ve soğrulması ile ilgili çalışmalar maddelerin toplam tesir kesitlerinin hesaplaması üzerine yoğunlaşmıştır (Şarer 2002).

Goldsmith (1947), Huges and Schwartz (1958), Blatt and Weiskopf (1952), Shera and Hafemeister (1966), Ayrıca  $^{241}\text{Am}$ 'ın alfa parçacığı vasıtasıyla  $^9\text{Be}$ 'dan Waterloo üniversitesi ve Lorch tarafından nötron pikleri elde edilmiştir (Lorch 1973).



Yarar 1994 yılındaki çalışmasında, nükleer güç reaktörlerinin zırhlama betonlarında kolemanit kullanılması durumunda betonun nötron zırhlama etkinliğinin ve aktivitesinin ne şekilde değişeceğini teorik ve deneysel olarak araştırmıştır.

Kolemanit betonların mukavemetini çok azalttığı için beton içerisindeki miktarı %10'u aşmamalıdır (Yarar 1987).

Rockwell (1956), Price (1957), nötron zırhlamasında en çok kullanılan zırh malzemesi su, çeşitli betonlar, çelik, hidrojen içeren organik bileşikler veya hidritler, bor içeren metaller ve çeşitli tür plastikleridir.

Polivka and Davis (1979), hızlı, orta hızlı ve düşük hızlı nötron parçacıklarını zırhlamak için sırasıyla atom ağırlıkları yüksek ağır malzemeler, hidrojen ve oksijen gibi hafif element konularında araştırmalar yapmış ve bu parçacıklara karşı bor içeren malzeme kullanılması gerektiği fikrini öne sürmüşlerdir

Zazula and Tesch (1990), çalışmasında çeşitli metotlar ağır ve normal beton üzerine farklı enerjilerde nötronlar göndererek kütle azaltma katsayılarının normal betonlarda  $107 \text{ g/cm}^2$ , ağır betonlarda ise  $116 \text{ g/cm}^2$  bulmuşlardır

Mollah *et al.* (1992), bir  $^{252}\text{Cf}$  radyoaktif kaynağı ve  $\text{BF}_3$  nötron dedektörü kullanılarak limenit ve manyetit agregalı betonların nötron zırhlama özelliklerini araştırmışlardır.

Yarar vd Bayülken (1994), kolemanit içeren zırhlama betonlarının radyo aktifliklerini ve nötron zırhlama verimlerini araştırmışlardır.

Bashter *et al.* (1996), normal, ileminitli ve limonitli beton zırhlarında ET-RR-1 reaktör çekirteğinden yayımlanan termal nötron dağılımları üzerine çalışmışlardır.

İbrahim (2002), su, normal beton, ağır beton, parafin wax, grafit, kurşun ve demir gibi birçok zırhlama malzemesi içinde termal nötron soğrulması sonucunda sıcaklığın üzerine bir çalışma yapmıştır.

Agosteo *et al.* (2004b), RIB (Rare Isotop Beam) zırhlama tasarımı için bir Fe üzerine 1GeV/luk C ve U iyonlarının gönderilmesiyle oluşan nötronların beton içerisindeki azaltma eğrileri çalışmışlardır.

Okuno (2005), epoksi reçinesi ile kolemaniti birbirine karıştırarak nötron zırhlama malzemesi elde etmiştir.

Korkut vd (2010), farklı kolemanit yüzdelerini sahip betonların 4,5 MeV enerjili nötronlar için doz transmisyon değerleri deneysel olarak belirlenmiştir.

### **2.5.2. Nötronların madde ile etkileşmelerinin genel özellikleri**

Nötronlar herhangi bir etkileşme yapmaksızın maddenin santimetrelerce içine ilerleyebilirler ve böylece sıradan büyüklüğe sahip bir detektörle tamamen gözlenemeyebilirler.

Etkileşmenin bir sonucu olarak nötronlar ya tamamen görünmezler ya da bir veya daha çok ikincil radyasyonla yer değiştirebilirler veya ilaveten nötron enerjisi ve doğrultusu önemli derecede değiştirilir.

$\gamma$ -ışınlarının tersine nötron etkileşmelerinin sonucu oluşan ikincil radyasyonlar neredeyse her zaman ağır yüklü parçacıklardır. Bu parçacıklar ya nötronların indüklediği nükleer reaksiyonlar sonucu olarak üretilebilirler ya da nötron çarpışmalarının sonucu olarak enerji alan soğurucunun kendi çekirdekleri olabilir. Çoğu nötron detektörü doğrudan sayılabilecek olan ikincil yüklü parçacıklara gelen nötronların dönüşümlerinin bazı tiplerini kullanır.

### 2.5.3. Yavaş nötron etkileşmeleri

Yavaş nötronlar için önemli etkileşmeler soğurucu çekirdekleriyle elastik saçılmayı ve nötron-indüklü çok sayıda nükleer reaksiyonu içerir. Yavaş nötronlar küçük kinetik enerjilerinden dolayı elastik çarpışmalarda çekirdeğe çok küçük enerji aktarabilirler. Sonuç olarak, bu yavaş nötron detektörlerinin temeli olabilecek bir etkileşme değildir. Yine de elastik saçılmalar çok mümkün olma eğilimindedir ve sık sık farklı bir etkileşme yapmadan önce soğurucuyla yavaş nötronları termal dengeye getirmeye çalışır. Bundan dolayı yavaş nötron enerji aralığında enerjilere sahip nötronların çoğunluğu oda sıcaklığında yaklaşık 0,025 eV ortalama enerjiye sahip olan termal nötronlar arasında bulunacaktır.

Gerçek öneme sahip yavaş nötron etkileşmeleri doğrudan ölçülebilecek yeterli enerjili ikincil radyasyonlar oluşturabilen nötron-indüklü reaksiyonlardır. Gelen nötron enerjisi çok küçük olduğundan bütün reaksiyonların enerjik olarak mümkün olabilmesi için reaksiyonun pozitif bir  $Q$ - değerine sahip olması gerekir. Çoğu maddede ışımalı yakalama (veya  $(n,\gamma)$  reaksiyonu) çok muhtemeldir ve nötronların soğurulması ve zırhlamasında önemli bir rol oynar. Işımalı yakalama reaksiyonlarından daha sonra anlatılacağı gibi aktivasyon foillerini kullanılarak nötronların dolaylı ölçümlerinde yararlanılabilir, ama ikincil radyasyonun sayılması zor olan  $\gamma$ -ışınları olduğu için aktif nötron detektörlerinde yaygın olarak kullanılmazlar. Gerçekten  $(n,\alpha)$ ,  $(n,p)$  ve  $(n,\text{parçalanma})$  gibi reaksiyonlar ikincil radyasyonları yüklü parçacıklar olduğu için çok daha çekicidir.

### 2.5.4. Hızlı nötron etkileşmeleri

Detektörde faydalı olan çoğu nötron-indüklü reaksiyonun ihtimaliyeti artan nötron enerjisiyle hızla azalır. Bununla birlikte saçılmanın önemi daha büyük olur. Çünkü bu nötronlar bir çarpışmada önemli bir büyüklükte enerji aktarabilirler. Her bir saçılma konumunda nötron enerji kaybeder ve dolayısıyla daha küçük enerjilere yavaşlatılır. En etkin moderatör (ılımlayıcı) hidrojenidir.

Çünkü nötronlar hidrojen çekirdeğiyle tek bir çarpışmada bütün enerjisini kaybedebilir. Daha ağır çekirdekler için sadece kısmi bir enerji aktarımı mümkündür.

Hızlı nötronların enerjisi yeterince büyükse çekirdeklerle geri tepen çekirdeğin çarpışma esnasında uyarılmış seviyelerinin birine çıkarıldığı inelastic saçılmalarda gerçekleşebilir. Çekirdekler çabucak  $\gamma$ -ışını yayınlayarak deoksite olurlar ve nötronlar eşdeğer bir elastik çarpışmada olduğundan çok daha büyük enerji kaybederler. İnelastik saçılma ve ardışık ikincil  $\gamma$ -ışınları yüksek enerjili nötronların zırhlanmasında önemli bir rol oynar ama elastik saçılmalara dayanan çoğu hızlı nötron detektörünün cevabında istenmeyen bir etkidir.

#### **2.5.5. Nötron parçacıklarının zırhlanması için maddeler**

Kalkanlarda nötron soğrulması nötronların yutabilecekleri enerji düzeylerine kadar yavaşlatılmaları ile gerçekleştirilir. Nötron yavaşlamasında en etkili element hidrojenidir. Nötron zırhlama işleminde ikinci aşama yavaşlatılmış olan nötronların zırh içinde soğrulmasının sağlanmasıdır. Bunu sağlayan elementlerin, nötron yakalama reaksiyonları sonucu  $\gamma$ -ışını yayınlamalarının düşük olması ve malzemede radyoaktif kaynaklar yaratmamaları istenir (Topçu 2006). Nötronların zırhlaması için çeşitli malzemeler kullanılabilir. Bunlardan en yaygın olanları barit, bor,  $B_4C$ , Datolite, galena, kolemanit, parafin wax ve sudur.

**Barit:** Barit cevherinin konsantrasyonun neredeyse tamamını  $BaSO_4$  oluşturmaktadır. Barit cevherinin görünümü Şekil 2.1'de verilmiştir. İri ve ince agregalı baritin özellikleri ise Çizelge 2.3'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Barit cevheri (Anonymous 2014)

Çizelge 2.3. Baritin agrega özellikleri (Korkut 2010)

Agrega Tane Boyutu (mm)	Gevşek Birim Ağırlık(kg/m <sup>3</sup> )	Kuru Birim Ağırlık(kg/m <sup>3</sup> )	Doygun Birim Ağırlık(kg/m <sup>3</sup> )	48 saatlik Su Emme (%)
İri (>4mm)	2235	4002	4011	0,002
İnce (<4mm)	2210	3946	3988	0,010

**Bor:** Bor cevherine örnek olarak kolemanite (Çizelge 2.4, Şekil 2.2), üleksit (Çizelge 2.5, Şekil 2.3) ve tinkal (Çizelge 2.6, Şekil 2.4) cevherleri verilebilir. Türkiye dünya bor rezervlerinin %60'ına ve dünyadaki en büyük kolemanit yataklarına sahiptir. Hızlı nötronlara kolemanitin etkisi içerdiği hidrojen nedeniyle olacaktır. Elementlerin hızlı nötron soğurmasında, bor çekirdekleri ancak nötron yavaşlaması arttıkça etkili olmaktadır. Kolemanit termal nötron yutma tesiri kesiti yüksek olan bor elementi içerir. Bu nedenle kolemanit katkılı betonlar termal nötron akışı karşısında daha etkilidir. Kolemanitli beton içerisinde termal akı normal betona göre yaklaşık olarak 1/4000 oranında azalmaktadır (Topçu 2006).

**Çizelge 2.4.** Kolemanit cevherinin kimyasal özellikleri (Balıkesir Bigadiç Bor işletmesi) (Korkut 2010)

<b>Kimyasal Özellikler:</b>				
	(a)	(b)	(c)	(d)
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%41-43	%33,50-35	%38-40	%26-28
SiO <sub>2</sub>	%6,50 maks.	%8 maks.	%7maks.	%13maks.
CaO	%26-28	%24-28	%26-28	%24-28
SO <sub>3</sub>	%0,50 maks.	%0,60 maks.	%0,50 maks.	%0,80 maks.
As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	50 ppm maks.	50 ppm maks.	50 ppm maks.	60 ppm maks.
<b>Fiziksel Özellikler:</b>				
		Tane Boyutu:		
(a)		25-125 mm (konsantre)		
(b)		3-25 mm (konsantre)		
(c)		0-25 mm (ön-kırma)		
(d)		0,2-3 mm (konsantre)		



**Şekil 2.2.** Kolemanit cevheri (Anonim 2014)

**Çizelge 2.5.** Balıkesir Bigadiç bor işletmesi'nde işlenen üleksit cevherinin kimyasal özellikleri

<b>Kimyasal Özellikler</b>		
	(a)	(b)
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%36-38	%24-27
SiO <sub>2</sub>	%4 maks.	%13 maks.
CaO	%19 maks.	%18-24
Na <sub>2</sub> O	%3-7	%2-4
<b>Fiziksel Özellikler (Tane Boyutu)</b>		
	(a) 3-125 mm (konsantre)	
	(b) 0,2-3 mm (konsantre)	



**Şekil 2.3.** Üleksit cevheri (Anonymous 2015a)

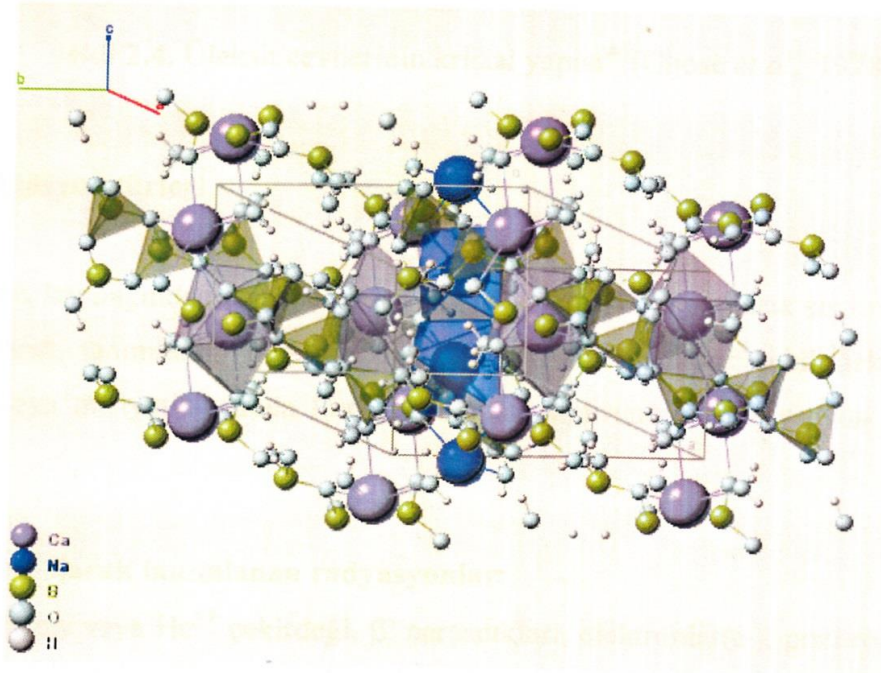
**Çizelge 2.6.** Eskişehir Kırka Bor işletmesi'nde işlenen Tinkal cevherinin kimyasal özellikleri (Demir 2009)

<b>Kimyasal Özellikler</b>		
	Ortalama	% min.- maks.
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%33,30	%32-34
CaO	%2,43	%1,47-2,79
<b>Fiziksel Özellikler (Tane Boyutu)</b>		
	0-6 mm %4 maks. (konsantre)	



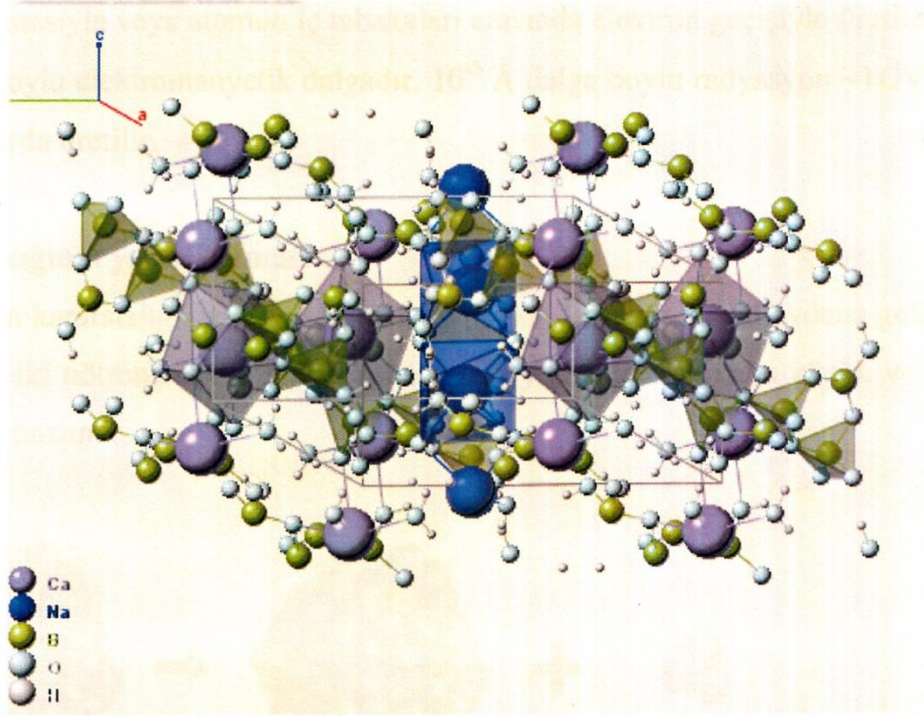
**Şekil 2.4.** Tinkal cevheri (Anonymous 2015b)

Kolemanit cevheri  $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11.5} (\text{H}_2\text{O})$  (Şekil 2.5), üleksit cevheri  $\text{NaCaB}_5\text{O}_6 (\text{OH})_{6.5} (\text{H}_2\text{O})$  (Şekil 2.6) ve tinkal cevheri  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 (\text{H}_2\text{O})$  kimyasal formülleri ile temsil edilirler.



**Şekil 2.5.** Kolemanit cevherinin kristal yapısı (Anonymous 2015c; Burns and Hawthorne 1993)





Şekil 2.6. Üleksit cevherinin kristal yapısı (Ghose *et al.* 1978)

**Datolite ve Galena:** Datolite ve galena cevherinin görünümü Şekil 2.7'de ve kimyasal analiz sonuçları Çizelge 2.7'de verilmiştir.



Şekil 2.7. Datolite ve galena cevheri (Moratzavi *et al.* 2010)

**Çizelge 2.7.** Datolite ve galena içerisindeki bileşiklerin kimyasal ve fiziksel analiz sonuçları (Mortazavi *et al.* 2010)

Mineral	Datolite	Galena
Özellik		
Kimyasal kompozisyon	CaBSiO <sub>4</sub> (OH) Alkalik kalsiyum bor silikat(35.0% CaO, 21.8% B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,37.6% SiO <sub>2</sub> ,5.6% H <sub>2</sub> O)	Kurşun Sülfür (PbS)
Moleküler Ağırlık	159.98 g	239.26 g
Kurşun Miktarı	-----	86.59% Pb 13.40% S
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Miktarı	21.8%	-----
Sertlik	5.0 - 5.5	2.5
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	2.8 – 3 Ortalama = 2.9	7.0 - 7.5
Renk	Renksiz, Beyaz	Gri

**Bor Karbit (B<sub>4</sub>C):** Bor karbit cevherinin kimyasal özellikleri Çizelge 2.8'de verilmiştir.

**Çizelge 2.8.** Bor karbit içerisindeki bileşiklerin kimyasal analiz sonuçları (Korkut 2010)

Element	B <sub>4</sub> C (%0)	B <sub>4</sub> C (%5)	B <sub>4</sub> C (%20)
Al	7.112	6.047	5.984
Ca	60.530	55.360	60.710
Fe	7.902	8.362	9.212
Pb	0.0108	0.0130	0.0095
Rb	0.253	0.179	0.191
S	1.116	2.090	1.666
Si	21.751	20.856	21.212
Ti	1.109	0.896	0.860
Zr	0.222	0.198	0.150
Toplam	100		

## 2.6. Nötron kinematığı

Hızlı nötronlar kütlelerinin kinetik enerjilerinden daha fazla olması nedeniyle açıkçası onlar non relativistik parçacıklar olarak düşünülebilir. Laboratuvar referans

çerçevesinde, ilk nötron çekirdek elastik çarpışmasının yönü ile nötron hızı arasındaki açı, çarpışmanın yönü ile çekirdekten geri tepme hızı arasındaki açıdan farklı olacaktır. Sistemin kütle merkezinde çarpışma açısının ve dolayısıyla nötronun son enerjisinin belirlenmesi daha kolaydır.  $\vec{v}$  ve  $\vec{V}$  sırasıyla laboratuvar çerçevesinde nötron ve çekirdeğin ilk hızları olsun.

$$\vec{v}_{km} = \frac{m\vec{v}_i + M\vec{V}_i}{m+M} \quad (2.5)$$

$$\vec{v}^* = \vec{v} + \vec{v}_{km} \quad (2.6)$$

$\vec{v}_{cm}$  kütle merkezinin hızı ve  $\vec{v}^*$  referans çerçevesinin kütle merkezinin hızı, gibi hız dönüşümleri içeren Galileo Dönüşümleri kullanılabilir.

Kütle merkezinde toplam momentum sıfırdır:

$$\vec{p}^* + \vec{P}^* = 0 \quad (2.7)$$

Elastik çarpışmalarda toplam kinetik enerji  $E_k$  korunur:

$$E_k = \left( \frac{1}{2m} + \frac{1}{2M} \right) \vec{p}^{*2} \quad (2.8)$$

Bu nedenle nötronun momentumu çarpışmadan önce ve sonra aynıdır. Kütle transferi gibi, nötronun transferide olmadığı için, nötronun hızı da çarpışmadan önce ve sonra aynıdır.

## 2.7. Nötronların nükleer reaksiyonları

### 2.7.1. $B^{10}$ (n, $\alpha$ ) reaksiyonu

Muhtemelen doğrudan sayılabilen parçacıklara yavaş nötronların dönüşmesi için en

popüler reaksiyon  $B^{10} (n,\alpha)$  reaksiyonudur. Reaksiyon;



0,025 eV'luk termal nötronlar %94 ihtimalle  $Li^7$ 'i uyarılmış halde bırakan ikinci reaksiyonu ve %6 ihtimalle temel halde bırakan birinci reaksiyonu indükler.

### 2.7.2. $Li^6 (n,\alpha)$ reaksiyonu

Nötronların sayımı için başka bir reaksiyon tipi  $Li^6$  ile  $(n,\alpha)$ 'dır. Burada ürün çekirdek sadece temel halde ortaya çıkar ve basitçe



olarak yazılır.

### **3. MATERYAL ve YÖNTEM**

#### **3.1. Beton**

##### **3.1.1. Teorik hesaplamalar**

Beton karışım hesabı daha önce belirlenen özellikte ve dayanımında beton üretebilmek için yapılan hesaplardır. Beton karışımı için bir çok yöntem vardır. Bütün yöntemlerde istenilen özellikte beton üretebilmek için yapılan hesaplarla temsil üretim yapılır. bu üretim sonucu varsa düzeltmeler yapılır ve bu düzeltmeler sonucu gerekirse tekrar temsili numuneler dökülür. İstenilen özellikte beton karışımı elde edilinceye kadar bu işleme devam edilir. Beton dökümünden önce karışım oranları bulunmuş ve bu karışım sonucu temsili numuneler ile sonuçlar tayin edilmiş olmalıdır.

Yukarıda açıklandığı gibi istenilen kıvam ve istenebilme özelliğine sahip, yeterli dayanım ve dayanıklılıkta olan (ağır beton) kaliteden ödün vermeden, en ekonomik betonu elde edilebilmek için, karışıma girecek su, çimento, agrega, hava ve gerektiğinde katkı maddesi miktarını belirlemek amacıyla yapılan hesaplara beton karışım hesapları denir. Çalışmada kullanılan ağır betonların karışım hesapları normal betonlar için belirlenen yöntemlerden yapıldı. Buna göre, su/ çimento oranı 0,55 ve çelik lif beton hacminin %1 oranında, Multiflament (pp) lif beton hacminin %0,3 oranında Monoflament (pp) lif beton hacminin %0,3 oranında alınarak öncelikle beton içerisindeki su, çimento ve agrega miktarları belirlendi (Çizelge 3.1).

**Çizelge 3.1.** %100 Barit agregalı ağır betonu oluşturan bileşenler

	Malzame Adı	Hacim (dm <sup>3</sup> )	Yoğunluk (kg/dm <sup>3</sup> )	Ağırlık (kg)	1 dm <sup>3</sup> için gereken ağırlık (kg)
1	Su	192.5	1	192.5	0.193
2	Çimento	112.9	3.1	350	0.350
3	Hava	10.0	-	-	
4	Akışkanlaştırıcı	3.2	1.1	4	0.004
5	Agrega	681.4			
	Barit				
	8/16 (%25)	170.4	4.27	727	0.727
	4/8 (%25)	170.4	4.27	727	0.727
	2/4 (%25)	170.4	4.04	688	0.688
	0/2 (%25)	170.4	4.04	688	0.688
<b>Teorik Birim Ağırlık</b>				<b>3377</b>	<b>3.377</b>

Hesaplamalar için her bir bileşen içerisindeki kimyasal bileşik değerleri tespit edildi. Buna göre, çimento için CEM I 42.5 R portland çimentosu için verilen değerler (Çizelge 3.2), Barit için Osmaniye Bahçe Barit Maden Türk A. Ş.' Den alınan değerler (Çizelge 3.3), Galena için Makhlag İsfahan galena Madan alınan değerler (Çizelge 3.13), çelik liflerin özellikleri (Çizelge 3.4), polipropilen liflerin özellikleri (Çizelge 3.5) ve monofilament pp liflerin özellikleri (Çizelge 3.6) göz önüne alınarak kullanıldı.

**Çizelge 3.2.** Çimento içerisindeki bileşiklerin miktarı (Anonim 2015)

<b>Bileşikler</b>	<b>Çimento içerisindeki miktar (%)</b>
SiO <sub>2</sub>	18,10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,48
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,09
CaO	63,65
MgO	2,58
SO <sub>3</sub>	2,84
Na <sub>2</sub> O	0,21
K <sub>2</sub> O	0,62
Cl	0,015
Serbest CaO	0,44

**Çizelge 3.3.** Barit agregasını içerisindeki bileşiklerin kimyasal analiz sonuçları

<b>Bileşikler</b>	<b>Barit Agregasını içerisindeki bileşiklerin miktar (%)</b>
SiO <sub>2</sub>	0,78
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,21
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,07
CaO	0,88
MgO	1,01
SrO	0,70
MnO	0,10
K <sub>2</sub> O	0,04
TiO <sub>2</sub>	0,02
BaSO <sub>4</sub>	95,00

**Çizelge 3.4.** Çelik liflerin özellikleri

Çap(mm)	Uzunluk (mm)	Bağlı yoğunluk (kg/dm <sup>3</sup> )	Elastisite modülü (MPa)	Çekme dayanımı (MPa)
0,8	36	7,85	200 000	850

**Çizelge 3.5.** Multifilament polipropilen liflerin özellikleri

Çap(µm)	Kopmada Uzunluk %	Uzunluk (mm)	yoğunluk (kg/dm <sup>3</sup> )	Erime noktası °C	Çekme dayanımı (MPa)
23 - 35	14 - 17	6 - 18	0,91	165 - 175	400

**Çizelge 3.6.** Monofilament polipropilen liflerin özellikleri

Çap (mm)	Uzunluk (mm)	Bağlı yoğunluk (kg/dm <sup>3</sup> )	Elastisite modülü (MPa)	Erime noktası °C	Çekme dayanımı (MPa)
0,9	40	0,91	2150	130 - 165	295

Yukarıda belirtilen agregalara ayrıca çelik lif %1 oranında, multifilament polipropilen (pp) lif % 0,3 oranında, monofilament polipropilen (pp) lif %0,3 oranında katılarak da teorik olarak betonlar elde edildi. Tüm be verileri göz önüne alınarak 5 beton türü teorik olarak elde edildi. Bu betonların 1 dm<sup>3</sup>' ü içerisindeki her bir bileşenin kimyasal bileşiklerinin yoğunluk miktarları belirlendi (Çizelge 3.7).

Çelik lif (Şekil 3.1), Multifilament polipropilen lif (Şekil 3.2) ve Monofilament polipropilen lif (Şekil 3.3) de gösterilmektedir.



**Çizelge 3.7.** Teorik olarak elde edilen barit agregalı beton türleri ve bileşen miktarları

<b>Ağır Beton Türleri</b>	<b>Çimento (kg/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>Su (kgd/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Barit (kg/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>Galena (kg/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>Akışkanlaştırıcı (kg/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>Çelik Lif (kg/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>Multifilament pp Lif (kg/dm<sup>3</sup>)</b>	<b>Monofilament pp Lif (kg/dm<sup>3</sup>)</b>
%100 Barit Agregalı	3,1	1	16,62	-	1,1	-	-	-
%70 Barit + %30 Galena Agregalı	3,1	1	16,62	22,96	1,1	-	-	-
%70 Barit + %30 Galena Agregalı + Çelik lif	3,1	1	16,62	22,96	1,1	7,85	-	-
%70 Barit + %30 Galena Agregalı + Çelik lif + PP Lif	3,1	1	16,62	22,96	1,1	7,85	0,91	-
%70 Barit + %30 Galena Agregalı + Çelik lif + monofilament PP Lif	3,1	1	16,62	22,96	1,1	7,85	-	0,91



**Şekil 3.1.** Çelik lif



**Şekil 3.2.** Multifilament polipropilen lif



Şekil 3.3. Monofilament polipropilen lif

### 3.1.2. Betonun bileşenleri

Betonu meydana getiren maddeler çimento, agrega, su, kimyasal katkıları ile mineral katkılarıdır. Kimyasal katkıları (priz geciktirici, akışkanlaştırıcı, antifriz, geçirimsizlik sağlayıcı ...), mineral katkıları ise (tras, taş unu, uçucu kül, yüksek fırın cürufu, silis dumanı) olup betonun verimini arzu ettiğimiz yönde iyileştiren çağdaş teknoloji maddeleridir. Çimentoyla suyun karışımından meydana gelen çimento hamuru zaman geçtikçe katılaşır sertleşerek agrega tanelerini (çakıl, kum, kırmataş) bağlar, yapıştırır ve böylece betonun direnç kazanmasına neden olur.

### Agrega

Beton yapımında kullanılan çakıl, kum, kırmataş gibi maddelerin yaygın adı agregadır. Beton içinde hacimsel olarak %60-75 civarında yer alan agrega mühim bir bileşendir. Agregalar tane büyüklüğüne göre kaba (çakıl kırmataş... gibi) ve ince (kum, kırma kum... gibi) agregalar olarak ikiye ayrılır. Betonda kullanılacak agregalar TS 706 EN 12620 standardına uygun olmalıdır. Agregaların beton içerisinde önemi çok büyük olması neden ile betonda kullanılacak agregaların sertliği, granülometrisi, yapısı betonu direk olarak etkilemektedir. Agregalarda istenilen en önemli özellikler şunlardır:

- Dayanıklı, sert ve boşluksuz olmaları,
- Zayıf taneler olmaması (deniz kabuğu, odun, kömür... gibi)
- Aşınmaya ve basınca mukavemetli olmaları,
- Toprak, toz ve betona hasar verebilecek malzemeler içermemeleri,
- Uzun ve yassı taneler içermemeleri,
- Çimentoyla hasarlı reaksiyona girmemeleridir.

Üretilen betonlarda barit agregası (Şekil 3.4) ve galena agregası (Şekil 3.5) kullanılmıştır. Agregaların boyutları 0-16 mm aralığındadır ve agregaların özellikleri agrega deneyleri ile tayin edilmiştir.



**Şekil 3.4.** Barit agregası



**Şekil 3.5.** Galena agrgası

### **Çimento**

Su ile ıslatıldığında hidrotasyon olayı neticesi katılaştıran ve bir daha yumuşamayan hidrolik bir birleştiricidir. Yaklaşık % 70 kalker, % 30 kil ve lazım olursa demir cevheri karışımı, 1400-1500°C'de döner fırınlarda pişirilir ve erken priz yapmasını engellemek için %2-6 oranında jips (alçı taşı) ilave edilerek çimento yapılır. Katkılı çimento yapımında; klinker ve alçı taşı hariç, çimento tipine bağlı tek veya birkaçı birlikte olmak üzere tras, yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı vb. katılır. Çimento birçok beton karışımında hacimce en küçük yeri almasına göre beton bileşenleri içinde en önemli maddelerden birisidir. En çok kullanılan çimento türleri Portland Kompoze Çimento, Cürufllu Çimento, Katkılı Çimento, Sülfata Dayanıklı Çimento, bunun dışında özel amaçlar için Beyaz Portland Çimentosu ve diğer bazı tip çimentolar kullanılmaktadır. Çimento hamurunun mukavemeti önemli ölçüde su/çimento oranına da bağlıdır. Hazır betonda kullanılacak çimentolar yapıların özellikleri dikkate alınarak belirlenmeli ve TS EN 197 - 1 standardına uygunluğu kanıtlanmalıdır.

Çalışmada Aşkale çimento fabrikasının üretilmiş olduğu Normal Portland Çimentosu (CEM I 42,5 R) kullanılmıştır. Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 3.8'da, ve kimyasal analizin sonuçları ise Çizelge 3.9'da verilmiştir.

**Çizelge 3.8.** Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri (Anonim 2015)

İncelik(45µm elek üstü %)	7,15
Özgül Ağırlık (g/cm <sup>2</sup> )	5,12
Özgül Yüzey (cm <sup>2</sup> /g)	3698
Priz Başı (saat - dk)	2sa - 31dk
Priz Sonu (saat - dk)	3sa – 11 dk
Hacim Genleşmesi (mm)	1,0
Basınc Dayanımı (MPa)	2 gün 27,90      28 gün 58,00
Su İhtiyacı (%)	29,5

**Çizelge 3.9.** Çimentonun kimyasal özellikleri (Anonim 2015)

Bileşikler	Çimento içerisindeki miktar (%)
SiO <sub>2</sub>	18,10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,48
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,09
CaO	63,65
MgO	2,58
SO <sub>3</sub>	2,84
Na <sub>2</sub> O	0,21
K <sub>2</sub> O	0,62
Cl	0,015
Serbest CaO	0,44

### **Beton suyu:**

Betonun esas unsurlarından birisi de su olduğundan çok iyi incelenmesi, içindeki yabancı maddelerin betona etkilerinin bilinmesi gereklidir. Çalışmada beton suyu olarak Atatürk Üniversitesi içme suyu kullanılmıştır.

### **Katkılar**

Betonun niteliklerini geliştirmek üzere yapım sırasında veya dökümden önce transmiksere az miktarda ilave edilen maddelere katkı adı verilir. Çalışmamızda kimyasal katkı olarak DRACO Yapı Kimyasal LTD şirketinden temin edilen

PLASTİCON 125 orta akışkanlaştırıcı beton katkısı (Şekil 3.6) kullanılmıştır. Katkı bütün çalıştığımız betonlarda aynı olmak üzere 1 dm<sup>3</sup> için gereken ağırlık 0,004 kg miktarında kullanılmıştır.



**Şekil 3.6.** Betonlarda kullanılan akışkanlaştırıcı



### 3.1.3. Beton yapımında kullanılan aletler

Deneyleerde, 10 LT Mikser laburatuuar tipi betoniyer (Şekil 3.7), 0-2 mm ve 2-4 mm ve 4-8 mm ve 8-16 mm aralığında göz açıklıklı kare delikli tel elekler (Şekil 3.8) kullanılmıştır.



Şekil 3.7. Betoniyer





**Şekil 3.8.** Elekler

Üretilen nümüneler  $70 \times 70 \times 280$  mm<sup>3</sup> boyutlardaki metal kalıplara (Şekil 3.9) konulur. Sıkıştırma işlemi ise 600 mm uzunluğunda 16 mm çapında standart çelik şişleme çubuğu ile yapılmıştır.



**Şekil 3.9.** Betonların konulduğu kalıplar

### 3.1.4. Agrega deneyleri

Beton agregalarından numune alınması ve agrega deney numunelerinin hazırlanması TS 707 standardına göre belirtilmiştir. Numunelerde kullanılacak miktarlardan fazla alınır. Sonra bu miktarlar çeyrekleme yöntemiyle azalır. Bu yöntemde numune bir küçük yığın haline getirilir ve sonra 4'e bölünür. Karışıklık iki kısmı atılır, sonra kalan kısmı tekrar yığın hale getirilir. Tekrar dörde bölünür karışıklık iki çeyrek atılır bu şekilde deneyde gerekli numune bulunana kadar devam edilerek gereken miktar bulunur. Agrega yığnında bulunan tanelerin oranlarının belirlenmesine granülometri denir. Kaliteli beton üretebilmek için agrega boyutları çok önemlidir. Bunun için granülometrik bileşim bulunmalıdır. Bulunan değerlere göre en az boşluklu beton için hangi agregadan hangi oranda alınacağı belirlenir (Güner 1999).

Çalışmada, sonuçların daha dikkatli olması için, agregalar 0/2 mm, 2/4 mm, 4/8 mm ve 8/16 mm olmak üzere 4 tane sınıfına ayrılmıştır. Her bir agrega için su emme oranı, yoğunluk ve yüzey nemi oranı tayini deneyleri yapılmış ve bu deneylerin sonuçları Çizelge 3.10'da verilmiştir.

**Çizelge 3.10.** Yoğunluk, yüzey nem ve su emme oranı tayini deney sonuçları

Malzame	Tane Büyükülüğü (mm)	Yüzey Nemi Oranı (%)	Görünür Tane Yoğunluğu (g/cm <sup>3</sup> )	Doğun Kuru Yüzey Tane Yoğunluğu (g/cm <sup>3</sup> )	Su Emme Oranı (%)
Barit	8 - 16	-0,41	-	4,27	-
Galena	4 - 16	-0,03	-	5,96	-
Galena	0 - 4	-0,24	-	5,52	-

### 3.1.5. Beton karışım hesapları

Beton dökünmeden önce karışım oranları bulunmuş ve bu karışım sonucu temsili numuneler ile sonuçlar tayin edilmiş olmalıdır. İstenilen kıvam ve işlenebilme özelliğine sahip, yeterli dayanım ve dayanıklılıkta olan kaliteden ödün vermeden, en ekonomik betonu elde edile bilmek için, karışıma girecek su, çimento, agrega, hava ve gerektiğinde katkı maddesi miktarını belirlemek amacıyla yapılan hesaplara **Beton Karışım Hesapları** denir. Beton karışım hesapları TS 802 satandardına uygun olarak yapılmıştır (Güner 1999).

Bu çalışmada 5 grup beton üretilmiştir. Bütün karışımlarda çimento dozajı  $350 \text{ kg/m}^3$ , su/çimento oranı ise 0,55 olarak alınmıştır. Çelik lif beton hacminin %1'i oranında, Multifilament polipropilen (pp) lif beton hacminin %0,3 oranında ve Monofilament propilen lif ise beton hacminin %0,3 oranında alınmıştır. Beton üretiminde ayarlanmış granülometri eğrisi kullanılmıştır. Buna göre 0/2 tane sınıftan %25, 2/4 tane sınıftan %25, 4/8 tane sınıftan %25 ve 8/16 tane sınıftan %25 oranında agrega kullanılmıştır.

Agregaların kuru yüzey doygun ağırlıkları hesaplanmış, agrega yüzey nemi oranına göre düzeltmeler yapılarak beton için gereken malzame miktarları belirlenmiştir. Beton sınıfları Çizelge 3.11'de verilmiştir. Çizelge 3.12'de her bir karışım gurubu için gereken malzame miktarları verilmiştir.

**Çizelge 3.11.** Beton türleri

Kodu	Agrega
B1	% 100 Barit
B2	% 70 Barit + % 30 Galena
B3	%70 Barit + %30 Galena + Çelik lif
B4	%70 Barit +%30 Galena + Çelik lif + Multifilament polipropile lif
B5	%70 Barit +%30 Galena + Çelik lif + Monofilament polipropilen lif

**Çizelge 3.12.** 1000 dm<sup>3</sup> beton için kullanılan malzame miktarları

<b>Bileşen Adı</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>B3</b>	<b>B4</b>	<b>B5</b>
Su	192,5	192,5	192,5	192,5	192,5
Çimento	112,9	112,9	112,9	112,9	112,9
Hava	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Akışkanlaştırıcı	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
Agerga	681,4	681,4	671,4	668,4	668,4
Barit	-	477,0	470,0	467,9	467,9
Barit 8/16	170,4	119,2	117,5	117,0	117,0
Barit 4/8	170,4	119,2	117,5	117,0	117,0
Barit 2/4	170,4	119,2	117,5	117,0	117,0
Barit 0/2	170,4	119,2	117,5	117,0	117,0
Galena	-	204,4	201,4	200,5	200,5
Galena 8/16	-	51,1	50,4	50,1	50,1
Galena 4/8	-	51,1	50,4	50,1	50,1
Galena 2/4	-	51,1	50,4	50,1	50,1
Galena 0/2	-	51,1	50,4	50,1	50,1
Çelik Lif	-	-	10,0	10,0	10,0
Multiflament polipropilen Lif	-	-	-	3,0	-
Monoflament polipropilen Lif	-	-	-	-	3,0

### 3.1.6. Beton üretilmesi

Beton üretimi aşamasından belirlenen malzame miktarları dikkatli bir şekilde tartılarak hazırlanmıştır. Betoniyere malzame konulmadan önce kazanın iç yüzeyini temizlemek gerekir. Beton üretiminde önce kuru bileşenler konularak 2 dakika, sonra suyu katılarak

2 dakika ve ardından su ile akışkanlaştırıcı 2 dakika karıştırılıp, sonra 4 dakika karıştırılmalıdır.

### 3.1.7. Deney numunelerinin hazırlanması

Betoniyerdeki beton hamuru geri dökülerek 1 dakika karıştırıldıktan sonra kalıplara alınır. Kalıplara yerleştirme işlemi 20 defa şişlenerek yapılmıştır. Kalıplardaki betonların yüzeyi malayla düzeltilip ve nümüne yüzeyi kalıp kenarı ile aynı seviyeye getirilmelidir. Nem kaybını önlemek için, düzeltmeden sonra kalıplardaki betonların yüzeyini çimento hamuru ile reaksiyona girmeyen ve su emmeyen malzameden yapılmış naylon örtü ile örtüldükten sonra sarsıntız bir zeminde sertleşmeye bırakılmıştır. 24 saatden sonra kalıpta olan numuneleri kalıptan çıkarıp ve sıcaklığı  $23\pm 2^{\circ}\text{C}$  olan kür havuzunda 28 gün süreyle konulup ve beklenir. Sonra da havuzdan çıkan numunler bir gün de laboratuvar şartlarında beklenir.

### 3.1.8. Kesme makinesi ile numunelerin alınması

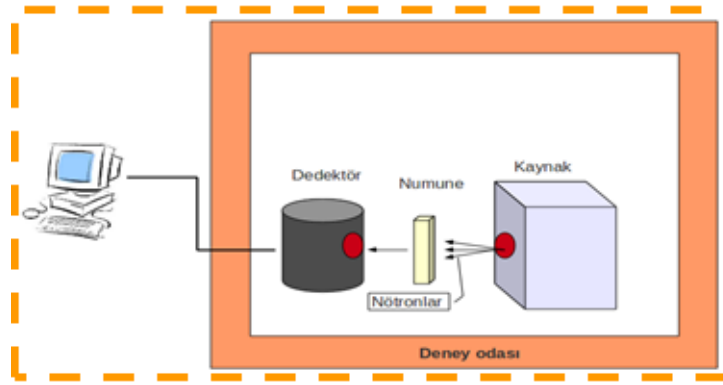
Nötron bombardıman edilmek için numuneler kesme makinesi ile (Şekil 3.10) yaklaşık 5–6 cm aralığında kalınlıkta kesilerek örnekler alınmıştır.



Şekil 3.10. Beton kesme işlemi

### 3.2. Deney Geometrisi

Ölçümü yapılacak olan numuneler kaynak ile dedektör arasına ikisine de belli uzaklıkta konularak  $^{241}\text{Am-Be}$  nötron kaynağından çıkan nötronlar ile etkileşiminden sonra (BF3) orantılı sayacında dedekte edilmiştir. Bu numunelere gelen nötronlar ile numuneyi geçerek nötronlar dedektöre ulaşan nötronların ölçüm sonuçları bilgisayar ortamında değerlendirilmiştir. Bu anlatılanlar şematik olarak Şekil 3.11'de ve deney düzeneği görüntüleri ise Şekil 3.12'de verilmiştir.



Şekil 3.11. Test geometrisi



Şekil 3.12. Deney düzeneği

### 3.3. Deneyde Kullanılan Nötron Kaynağı

Deneyde radyoaktif  $^{241}\text{Am}$ -Be nötron kaynağı kullanılmıştır. Bu kaynaktaki alfa yayınlayıcısı  $^{241}\text{Am}$  (432,2 yıl) izotopudur. Bu kaynak 0-11 MeV aralığında nötron yayınlamaktadır. Fakat Şekil 3.8’de de gösterildiği gibi nötronlar 4,5 MeV etkin enerjili (Beyster *et al.* 1955) olarak düşünülmektedir. Bu radyoaktif çekirdekten açığa çıkan alfa parçacıkları ile nötron bağlanma enerjisi düşük olan berilyum hedefi bombardıman edildiği zaman nötron parçacıkları elde edilir. Bu işlem sonucunda nötron parçacıklarının yanı sıra gama ışınları da açığa çıkar.



### 3.4. Deneyde Kullanılan Nötron Dedektörü

Deneyde  $\text{BF}_3$  gazlı ADM-606-Model NP serisi bir nötron dedektörü (şekil 3.22) kullanılmıştır. Bu dedektör  $\text{BF}_3$  ( $^{10}\text{B}$  ile zenginleştirilmiş) gazı ile doldurulmuş bir orantılı sayacıdır. Bu gaz dedektöre gelen termal nötronlar için de bir hedeftir. Dedektörün çalışma prensibi, içerisinde meydana gelen ve 3.2’de ifade edilen nükleer reaksiyonuna dayanmaktadır (Şarer 2002):



Bu reaksiyona göre bor nötron reaksiyonu sonucu üretilen alfalar, lityum çekirdeği ile birlikte  $\text{BF}_3$  gazının bulunduğu ortamda ikincil iyonizasyona neden olacak kadar yüksek enerjiye sahiptir ve bu oluşan ikincil iyonizasyonlar ise dedekte edilebilir. Yani iyonizasyon sonucu oluşan elektronlar merkezi anot teline ulaştığı zaman bir pulsa dönüşür. Bu pulsun oluşturduğu şarj ise hassas yükselticilerle yükseltilir ve ADM 616 seri dijital veri okuyucuyla değerlendirilir.

### 3.5. Kullanılan Numuneler

Nötrolar madde ile etkileştiklerinde hedef malzemenin atomları tarafından yavaşlatılırlar ya da yakalanırlar. Malzemenin nötron yavaşlatıcı olması içerdiği hidrojen miktarına, nötron soğurtucu olması ise içerdiği bor ve kurşun (Pb) miktarına büyük ölçüde bağlıdır. Bu çalışmada kullanılan galena kurşun içermektedir (Mortazavi 2010). Serpentine hem hidrojen hem de oxyjen içermekte (Aminian 2010), B<sub>4</sub>C ise sadece bor içermekte (Korkut 2010), Hormirad (Ağır Beton) hem magnetit hem de anhidrit boraks (Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>) içermekte (Lorente 2008), HWHSC (Ağır ve Yüksek Dayanıklı Güce sahip olan Beton) ise superakışkanlaştırıcı, siliktozu ve magnetit içermekte (Mahdy 2002), çelik lifli betonlar ise demir içermektedir (Ristinah 2011).

**Çizelge 3.13.** Datolite ve galena içerisindeki bileşiklerin kimyasal analiz sonuçları (Mortazavi *et al.* 2010)

Mineral	Datolite	Galena
Özellik		
Kimyasal kompozit	CaBSiO <sub>4</sub> (OH) Alkalik kalsiyum bor silikat(35.0% CaO, 21.8% B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , 37.6% SiO <sub>2</sub> , 5.6% H <sub>2</sub> O)	Kurşun Sülfür (PbS)
Moleküler ağırlık	159.98 g	239.26 g
Kurşun miktarı	-----	86.59% Pb 13.40% S
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> miktarı	21.8%	-----
Sertlik	5.0 - 5.5	2.5
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	2.8 - 3 Ortalama 2.9	7.0 - 7.5
Renk	Renksiz, Beyaz	Gri





**Şekil 3.13.** Datolite ve galena cevheri (Mortazavi *et al.* 2010)

**Çizelge 3.14.** Normal beton, serpentine ve çelik magnetli betonun içerisindeki elementlerin ağırlık yüzdesi ve bileşenlerin yüzdesi (Aminian 2010)

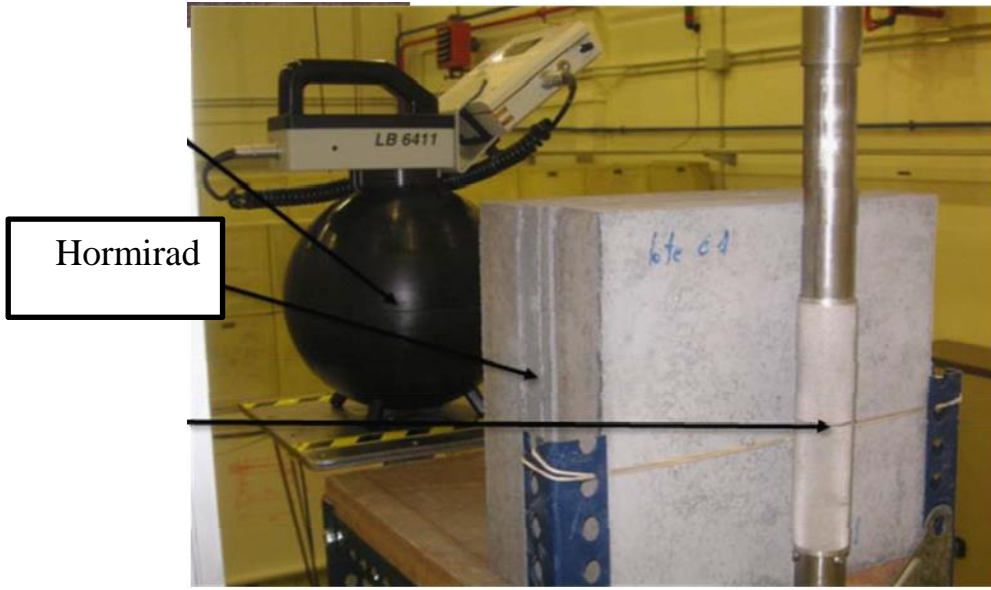
Madde	Normal beton	Serpentine beton	Çelik- Magnet beton
Portland çimento	11.82	15.94	7.55
Kum	26.71	27.35	-----
Çakıl	54.96	-----	-----
Serpentine	-----	48.33	-----
Magnet	-----	-----	26.19
Çelik	-----	-----	61.73
Su	6.51	8.38	4.53
Eleman	Normal Beton	Serpentine Beton	Çelik Magnet Beton
Hidrojen	1	7.2	0.51
Karbon	0.1	0.15	-----
Oksijen	53.2	55.6	15.7
Sodyum	2.9	-----	-----
Magnezyum	----	10.2	0.58
Alüminyum	3.4	2.5	0.66
Silikon	33.9	17.55	2.68
Fosfor	-----	-----	0.08
Kükürt	-----	-----	0.06
Potasyum	0.3	0.08	-----
Kalsiyum	4.4	5.64	3.95
Mangan	----	-----	0.07
Demir	0.8	1.08	75.73



**Şekil 3.14.** Serpentine cevheri (Aminian *et al.* 2010)

**Çizelge 3.15.** Hormirad içerisindeki elementlerin miktarı (Lorente *et al.* 2010)

Element	Hormirad (Yoğunluk: 3.44 - 4.10 g/cm <sup>3</sup> )	Portland Beton (Yoğunluk: 2.30 g/cm <sup>3</sup> )
Fe	60.80%	1.40%
O	31.26%	52.91%
Ca	4.36%	4.40%
Si	1.87%	33.70%
H	0.44%	1.00%
Mg	0.39%	0.20%
P	0.29%	-
Ti	0.19%	-
Al	0.17%	3.39%
K	0.06%	1.30%
Mn	0.06%	-
V	0.05%	-
C	0.04%	0.10%
S	0.01%	-
N	0.003%	-
Na	-	1.60%



Şekil 3.15. Hormirad beton (Lorente *et al.* 2008)

Çizelge 3.16. Bor karbid ( $B_4C$ ) içerisindeki elementlerin kimyasal analiz sonuçları (Korkut 2010)

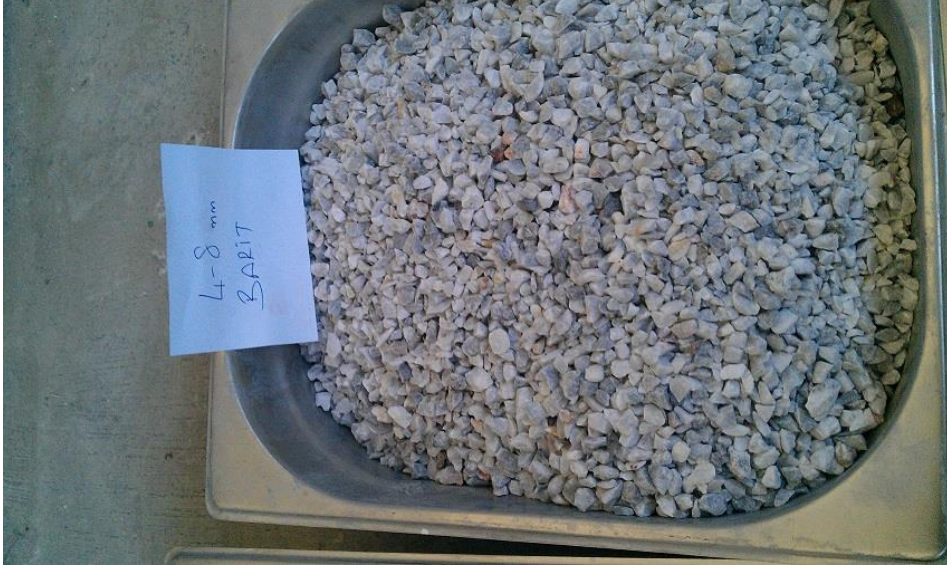
Element	$B_4C$ (%0)	$B_4C$ (%5)	$B_4C$ (%20)
Al	7.112	6.047	5.984
Ca	60.530	55.360	60.710
Fe	7.902	8.362	9.212
Pb	0.0108	0.0130	0.0095
Rb	0.253	0.179	0.191
S	1.116	2.090	1.666
Si	21.751	20.856	21.212
Ti	1.109	0.896	0.860
Zr	0.222	0.198	0.150
Toplam	100		



**Şekil 3.16.** Bor karbid ( $B_4C$ ) görünümü (Korkut 2010)

**Çizelge 3.17.** Barit agregasını içerisindeki bileşiklerin kimyasal analiz sonuçları

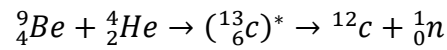
Bileşikler	Barit Agregasını içerisindeki bileşiklerin miktar (%)
$SiO_2$	0,78
$Al_2O_3$	0,21
$Fe_2O_3$	0,07
$CaO$	0,88
$MgO$	1,01
$SrO$	0,70
$MnO$	0,1
$K_2O$	0,04
$TiO_2$	0,02
$BaSO_4$	95,00



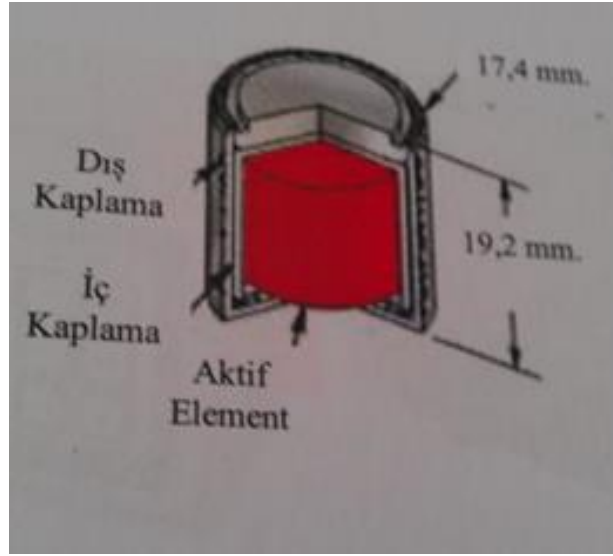
Şekil 3.17. Barit agregasi

### 3.6. $^{241}\text{Am}$ -Be nötron kaynağı

Deneyde radyoaktif  $^{241}\text{Am}$ -Be nötron kaynağı kullanılmıştır. Bu kaynaktaki alfa yayınlayıcısı  $^{241}\text{Am}$  (486 yıl) izotopudur. Bu kaynak 0-11 MeV aralığında nötron yayınlamaktadır. Fakat Şekil 3.8'de de gösterildiği gibi nötronlar 4,5 MeV etkin enerjili (Beyster *et al.* 1955) olarak düşünülmektedir. Düşük atom numaralı ve son nötronunun bağlanma enerjisi düşük olan berilyum gibi hedef malzemeler, radyoaktif çekirdeklerin yayınladığı alfa parçacıkları ile bombardıman edildiğinde tipik ve en muhtemel reaksiyon şudur:



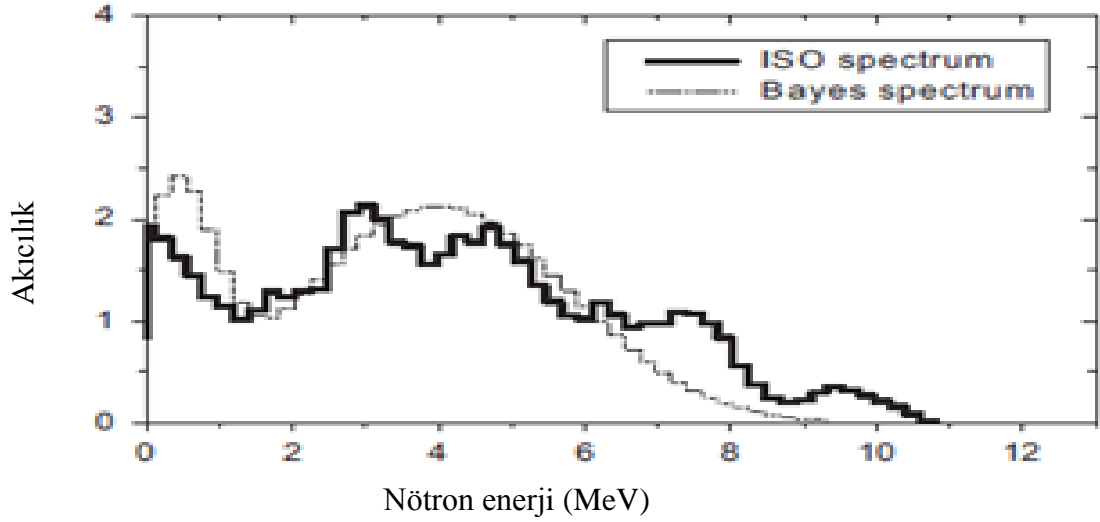
Bu reaksiyonda  ${}^{13}\text{C}^*$  çekirdeği çok kısa süreli (10-12 s) oluşan bileşik çekirdektir. Bu kaynakların yapımında, alfa yayınlayan  $^{241}\text{Am}$  (%100\_432,2 yıl) izotopu yaygın olarak kullanılmıştır. Kaynaktan çıkan nötron parçacıklarının etkin enerjileri 4,5 MeV'dir.



Şekil 3.18.  $^{241}\text{Am}$ -Be nötron Kaynağı

Çizelge 3.18.  $^{241}\text{Am}$ -Be nötron kaynağının özellikleri

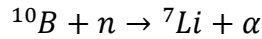
Yayınlanan radyasyon	Enerji (keV)	Etkin Enerji (keV)	1m'deki doz oranı ( $\mu\text{Sv/h/GBq}$ )	Gerekli zırh malzemesi
$\gamma$ veya X-ışını	13.9 (%42.7) 59.5 (%35.9)	-	85	Yarı kalınlık değeri: kurşun (0.01cm)
$\alpha$ parçacığı	5443 (%12.8) 5486 (%85.2)	-	-	-
Nötron parçacığı	-	4500	2	Yarı kalınlık değeri: Parafin mum (6.6cm)



**Şekil 3.19.** Tipik standart spektrum (ISO spektrum) ile karşılaştırıldığında Bayes (Bayesian) analizinden elde edilen iki gauss grafiğinin toplamı olarak modellenen nötron spektrumu (Boushaki *et al.* 2012)

### 3.7. Nötron Dedektörleri

Nötronlar kendileri iyonlaşma olayları meydana getirmezler. Bu nedenle nötron dedektörleri (n,p), (n, $\alpha$ ), (n, $\gamma$ ) veya (n,fisyon) gibi veya yüklü hafif parçacıkların nükleer saçılmaları gibi nükleer reaksiyonlar tarafından oluşturulan ikincil olayların ölçülmesi esasına dayanır. Yavaş ve termal nötronlar durumunda, (n,p), (n, $\alpha$ ) reaksiyonlarına dayanan dedektörler, reaksiyon sonucunda açığa çıkan yüksek enerjili p veya  $\alpha$ 'nın neden olduğu sinyaller ile nötronların gözlenmesi için direk bir yol sağlarlar.  $^{10}\text{B}$  izotopu genellikle, bir iyonlaşma odası veya içi dolu  $\text{BF}_3$  gazı ile dolu veya iç yüzeyi bor metali veya bor bileşeni ile kaplı bir orantılı sayaç yapılmasında kullanılır. Reaksiyon



şeklinindedir. Burada  $^7\text{Li}$  izotopu genellikle 0,48 MeV'lik bir uyarılmış durumda kalır. Termal nötronlar için tesir kesiti çok yüksektir ve yaklaşık 3840 b civarındadır, tesir kesiti  $1/v$  kanununa yaklaşık 100 KeV'e kadar uyar. Bu nedenle tesir kesitinin nötronların enerjisine bağlılığı belirlenebilir.

Tesir kesitinin  $1/v$  bağımlılığının başka bir avantajı daha vardır. Yönlendirilmiş bir nötron demetini veya izotropik bir akıyı gözlediğimiz ve birim hacimde, hızları  $v$  ve  $v+dv$  aralığındaki nötronların bir  $n(v)v dv$  olur. Eğer sayaçta her birinin tesir kesiti  $\sigma$  olan  $N$  tane bor çekirdeği bulunursa, saniyede bir etkileşmenin gerçekleşmesi ihtimali, hızları  $v$  ve  $v+dv$  arasındaki nötronlar için

$$dR = N\sigma n(v)v dv \quad (3.1)$$

olur. Bütün hızlardaki nötronlar için toplam sayma hızı ise

$$R = \int N\sigma n(v)v dv = NC \int n(v) dv \quad (3.2)$$

ile verilir. Burada son adımda  $\sigma \propto v^{-1}$  ve dolayısıyla  $\alpha v$  çarpımının bir  $C$  sabitine eşit olduğu kabul edilmiştir. İntegral böylece birim hacim başına  $n$  toplam nötron sayısını verir ve sayma hızı

$$R = NCn \quad (3.3)$$

elde edilir. Tesir kesitinin  $1/v$  bölgesinin dışındaki nötron aksına katkısını ihmal ettiğimiz taktirde,  $R$  herhangi bir hız dağılımı için nötron yoğunluğuyla doğrudan orantılıdır.

Hızlı nötronların enerjilerinin ölçümü için en genel metot, nötron ile bir hafif hedef ( $H$ ,  $^2H$ ,  $^3H$ ,  $^4H$  vb.) arasındaki elastik çarpışmayı izleyen geri tepme olayından yararlanılmaktadır. Nötronlar beton içinde  $dx$  kalınlığında bir mesafe aldıkları zaman demetin veya maddenin birim yüzeyi başına  $ndx$  atomla çarpışırlar, burada  $n$  maddenin birim hacimdeki atom sayısıdır. Eğer  $\sigma_i$  toplam tesir kesiti ise (nötronlar demetten saptırmaya çalışan reaksiyonları da dahil olmak üzere),  $I$  şiddetindeki kayıp

$$dI = -I\sigma_i ndx \quad (3.4)$$



şeklinde yazılabilir yani, şiddet soğurucu kalınlığı ile üstel olarak azalır:

$$I = I_0 e^{-n\sigma_i x} \quad (3.5)$$

Bu ifadenin sadece tek enerjili nötronlar için geçerli olduğu bilinmelidir. Belli bir enerjiye sahip olan nötronların şiddeti (3.5) denklemine göre azalır. Aynı zamanda, düşük enerjili ve değişik tesir kesitlerine sahip nötronlar meydana gelebilir. Fakat bu etki denklem (3.5)'e dahil değildir. Bu yüzden bu denklemi toplam nötron sayısındaki azalmayı hesaplamada güvenilir bir şekilde kullanamayız, sadece verilen bir ilk enerjili nötronların şiddetinin değişimi bulunabilir. Başlangıç enerjisi E ve hızı  $v$  olan bir nötron ile başlangıçta durgun halde olan A kütleli bir hedef atomu arasındaki bir elastik çarpışmayı göz önüne alalım. Enerji ve lineer momentumun korunum yasalarının uygulanması nötronun E' son enerjisi ile ilk enerjisi arasındaki oranı verir:

$$\frac{E'}{E} = \frac{A^2 + 1 + 2A \cos \theta}{(A+1)^2} \quad (3.6)$$

Burada  $\theta$  kütle merkezi sistemdeki saçılma açısıdır. Saçılmanın olmadığı durum için ( $\theta=0^\circ$ ), denklem (3.6) beklendiği gibi  $E'/E=1$ , verir. Maksimum enerji kaybı bir kafa-kafaya (merkezi) çarpışmada meydana gelir ( $\theta=180^\circ$ ):

$$\left(\frac{E'}{E}\right)_{min} = \frac{(A-1)^2}{(A+1)^2} \quad (3.7)$$

$A=1$  için nötronun tam enerjisini, çarptığı protona verdiği dikkat ediniz. 10 MeV ve daha aşağı nötron enerjileri için, saçılma daha ziyade S dalgası şeklindedir ve böylece (kütle-merkezi sisteminde) büyük ölçüde  $\theta$  dan bağımsızdır. Böylece E'/E oranı E'/E=1 olur. Her nötron birçok defa saçılacağı için enerji kaybının art arda hesap edilmesi gerekir. İkinci saçılma olduğu zaman gelen nötronlar artık tek enerjili olmayacaktır. Hesapları daha nicel yapabilmek için, tek bir çarpışmadan sonraki  $\log(E/E')$  nin ortalama değerini veren  $\zeta$  parametresini tanımlarız:

$$\zeta = \left[ \frac{E'}{E} \right]_{ort} = \frac{\int \log \left[ \frac{(A+1)^2}{A^2+1+2A \cos \theta} \right] d\Omega}{\int d\Omega} \quad (3.8)$$

Burada  $d\Omega$  kütle merkezi sistemdeki katı açısı elemanıdır. Burada yine saçılmanın izotropik olduğu kabul edilir ve integral alınırsa

$$\zeta = 1 + \zeta \frac{(A-1)^2}{2A} \log \frac{A-1}{A+1} \quad (3.9)$$

bulunur.  $\log E'$  nün ortalama değeri her çarpışmadan sonra bir  $\zeta$  miktarı azalır ve  $n$  çarpışmadan sonra,  $\log E'$  nün ortalama değeri, denklem (3.8) a göre  $\log E'_n$  olur:

$$\log E'_n = \log E - n\zeta \quad (3.10)$$

Önceki hesaplamalarda, nötronların saçıldığı atomların durgun halde oldukları farz edilmiştir. Bu, MeV mertebedeki nötronlar için kesinlikle iyi bir yaklaşımdır. Fakat termal enerjilere yaklaştıkça, yavaşlatıcıların atomlarının termal hareketlerinin nötronların hızlarının birbirine yakın olduğunu görürüz. Bu taktirde saçılma olayı istatistiksel mekanik kullanılarak daha iyi analiz edilebilir. Böylece yeterli bir süre sonra nötronların  $T$  sıcaklığındaki bir yavaşlatıcı ile termal dengeye gelebileceklerini varsayabiliriz. Bu durumda nötronların hızı Maxwell hız dağılımı ile tanımlanır:

$$f(v)dv = 4\pi n \left( \frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} v^2 e^{-mv^2/2kT} dv \quad (3.11)$$

Burada  $f(v)dv$  terimi, hızları  $v$  ve  $v+dv$  arasında olan nötron sayısını vermektedir,  $m$  nötron kütleini ve  $n$ , birim hacim başına toplam nötron sayısını göstermektedir. Bu enerji değişkenine bağlı olarak yeniden yazılırsa

$$f(E)dE = \frac{2\pi n}{(\pi kT)^{3/2}} E^{1/2} e^{-E/kT} dE \quad (3.12)$$

elde edilir.

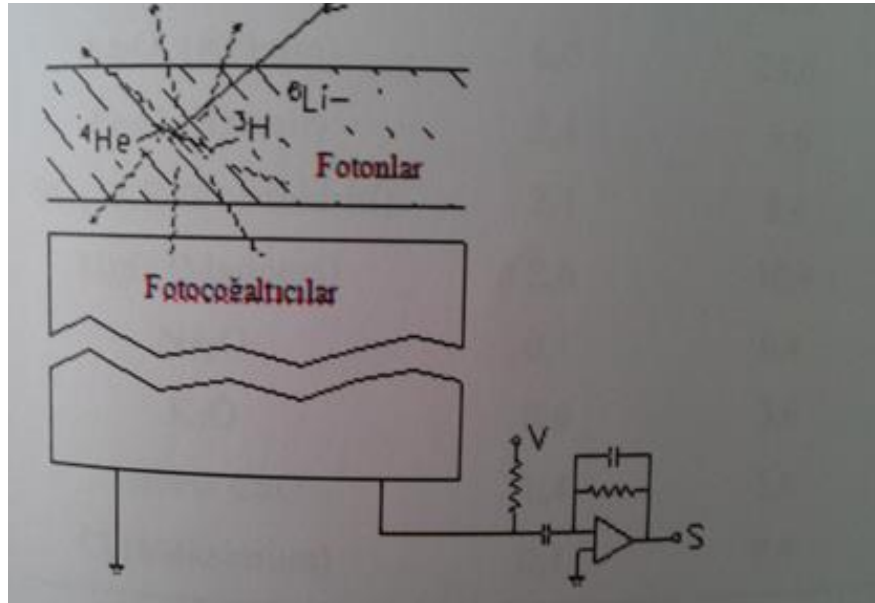
Nötronlar hafif elementlerle durdurulabilir. Çünkü ağır elementlere çarpan nötronlar çok yüksek enerjili gama ışınları saçmakta ve yüksek yoğunluklu malzemelerle bu ışınların zırhlanması gerekmektedir. Yani nötronlar düşük atom numaralı atomlara çarptığında açığa çıkan enerji daha küçük olur. Aşağıdaki reaksiyonlar bunu çok açık bir şekilde ortaya koymaktadır.

- $n + 3\text{He} \rightarrow 3\text{H} + 1\text{H} + 0.764 \text{ MeV}$
- $n + 6\text{Li} \rightarrow 4\text{He} + 3\text{H} + 4.79 \text{ MeV}$
- $n + 10\text{B} \rightarrow 7\text{Li}^* + 4\text{He} \rightarrow 7\text{Li} + 4\text{He} + 0.48\text{MeV } \gamma + 2.3\text{MeV}(\%93) \rightarrow 7\text{Li} + 4\text{He} + 2.8\text{MeV}(\%7)$
- $n + 155\text{Gd} \rightarrow \text{Gd}^* \rightarrow \gamma\text{-ışını spektrumu} \rightarrow \text{dönüşüm elektron spektrumu}$
- $n + 157\text{Gd} \rightarrow \text{Gd}^* \rightarrow \gamma\text{-ışını spektrumu} \rightarrow \text{dönüşüm elektron spektrumu}$
- $n + 235\text{U} \rightarrow \text{bölünme kısmı} + \sim 160 \text{ MeV}$
- $n + 239\text{Pu} \rightarrow \text{bölünme kısmı} + \sim 160 \text{ MeV}$

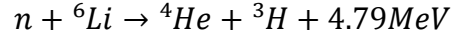
He dedektörlerinde, He ile etkileşen nötron dışarıya foton salar ve bu fotonlar foto çoğaltıcılar yardımıyla dedekte edilirler.



Şekil 3.20. He nötron dedektörü (Demir 2009)



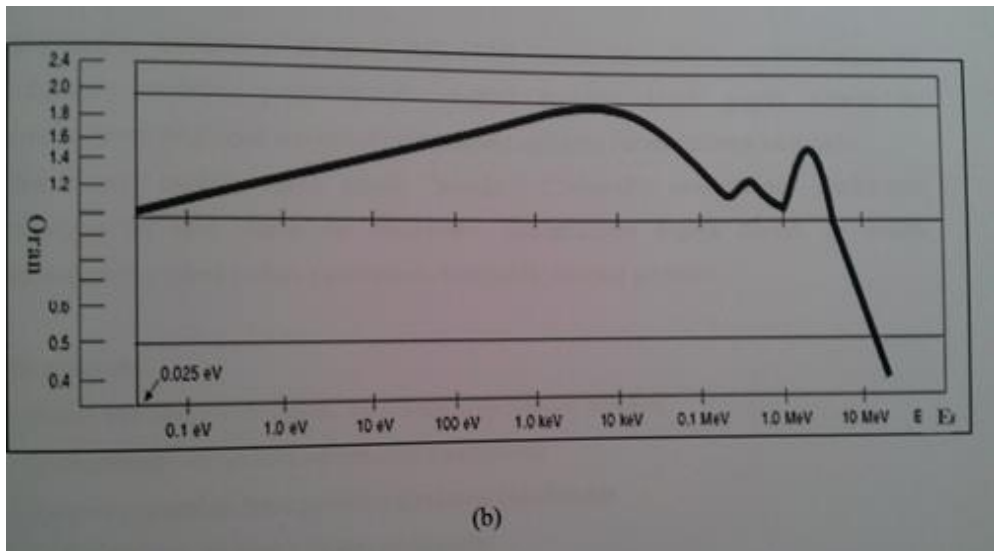
Şekil 3.21. Nötronların hafif elementlere çarpması sonucu saçılan enerjilerin sintilasyon sayacı ile dedekte edilmesi (Demir 2009)



Nötron parçacıklarının doz azalmalarını saymak için kullanılan dedektör Canberra ADM\_600 model taşınabilir nötron dedektörüdür. Dedektör kaynaktan çıkan nötronları için doz eşdeğeri ölçümü yapmaktadır. Belli aralıklarla ortalama doz eşdeğeri değerleri  $\mu\text{Sv/h}$  birimi ile RADACS yazılım programının kullandığı PC'den okunmaktadır.



Şekil 3.22. Çalışmada kullanılan nötron dedektörü sistemi



Şekil 3.23. Dedektörün nötron verim eğrisi (Korkut 2010)

### 3.8. Simülasyon ve Monte Carlo Metodu

#### 3.8.1. Simülasyonun ortaya çıkış sebebi

Günümüzde son derece karmaşık ve çok yönlü sistemlerin davranışlarını ortaya çıkarmak için analitik ve gözlemsel araçlar yeterli gelmemektedir. Sistemlerdeki bir çok element arasındaki etkileşim kompleks bir yapı gösterir ve bu kompleks yapı sistem yaklaşımı olarak adlandırılan yeni bir yaklaşımın ortaya çıkmasına neden olmuştur.

#### 3.8.2. Simülasyon nedir?

Simülasyonun aşağıdaki gibi bir çok farklı tanımı yapılabilir:

- Özgün bir cismi modellemek temsili bir simülasyondur.
- Bir sistemi karakterize edebilecek bir model yaratma sürecidir.
- Simülasyon, hakiki bir sistemin modelinin planlanması ve bu model ile sistemin işletilmesi amacına göre tasarlanmasıdır. Tasarlanan bu sistemin hareket tarzını anlayabilmek veya değişik taktikleri ölçebilmek için deneyler yürütülmesi işlemidir.
- Simülasyon, yeniden düzenlenen veya geliştirilen işlem süreçlerini bitirmede ve deneme araştırmalarını yürütmede, süreçlerin hata zamanlarını tasarlamak için yapılan deneysel araştırmadır. Bu anlamda yeni işlemin ne tür değişikliklere neden olduğunu önceden bilmemize yardımcı olur.
- Simülasyon modelinin birçok tarifleri verilse de simülasyon işlemi, hem modelin kurulmasına bir öncülük ederek hem de ortaya çıkacak bir problemin eleştirilmesine bağlı olarak çözümün önceden yapılabileceği olanağını verir.

Böylece;

- Simülasyon; sistemin hareket tarzını önceden tahmin etmek veya sistemin işlemesi için geliştirilen değişik taktikleri değerlendirmek amacıyla tasarlanması veya gerçek

sistem modellerinin planlanarak, bu model ile deneylerin yürütülmesi işlemidir.

### 3.8.3. Simülasyonun değerlendirilmesi

Bütün simülasyon modelleri girdi – çıktı esasına dayanır. Bu demektir ki, etkileşimli alt sistemlere bir girdi verildiğinde, bir çıktı elde edilir. Yani, simülasyonla modellenen sistemlerden, istenilen bilgilere ve sonuçlara ulaşmak için, “çözmek” den çok sistemin oluşum “koşulları” önemlidir. Sadece, deneyci tarafından belirlenen koşullar altındaki sistemlerin hareket tarzını incelemek için simülasyon bir araçtır. Oluşturulan bu şartlar altında, simülasyon bir kuram değil, problem analizi için bir metoddur. Sisteme bağlı özel bir bilgiye ihtiyaç duyulduğunda, bu bilgi bilinen kaynaklardan temin edilemiyorsa, deneysel bir sorun meydana gelmiştir demektir. Hakiki bir sistem üzerinde model ve oluşan şartlar arasında iyi bir denge sağlanarak doğrudan yapılan deney, zorlukların büyük bir kısmının ortadan kaldırılmasını sağlar. Nihayet deneyde bazı sorunlar olabilir, bunlar:

Simülasyonun kullanılma işlemlerini zorlaştırabilir. Eğer kişiler sistemin tamamlayıcı bir parçası iseler, gözlemlenmeleri neticesinde sistem koşulları değişebilecektir. Testin her yenilenmesinde benzer yöntem şartlarının korunması çok zor olabilir. Aynı durum koşullarını sağlamak çok zaman tüketici ve masraflı olabilir. Gerçek hayatta çok farklı koşulları ele almak mümkün olmayabilir, konuyu bu yöntem ile gözden geçirirsek simülasyon metodundan yararlanmanın faydalı olacağını söyleyebiliriz. Bu koşulları şu şekilde sıralayabiliriz;

- Sorunun tam bir matematiksel formülasyonu yoksa,
- Çözümsel bir metod geliştirilmemişse,
- Çözümsel metodların iş verilebilir olduğu ancak matematiksel analiz yollarının fazla kompleks olması durumunda,
- Çözümsel metodların bulunduğu ancak bu işin mesulu olan kişinin matematik yeteneğini aştığı zamanlarda,

- Bazı parametrelerin öngörülmesine ek olarak, zaman süresi içinde işlemin simüle edilen öyküsünün gözlenmesinin istenildiği anlarda,
- Testlerin yürütülmesi ve olayların hazır ortamları içinde gözlemlenmesindeki güç sebeplerin varlığı gibi durumlarda simülasyon metodu kullanılabilir.

Simülasyon yönteminin faydalarına bir başka çerçeve içerisinde bakarsak;

Simülasyon, sistem analizcilerini daha yaygın ve geniş düşünmeye sevk eder. Simülasyon, sistemlerinin evrimselliklerini ileri sürerek, dinamik yapılarının eleştirmesini engeller. Simülasyon benzerliği ile dinamik sistemlerin hakiki zamanı, daraltılmış veya genişletilmiş süre içinde eleştirilebilir. Matematiksel metodlar ile çözümler icat ettikten sonra, simülasyon bunların doğruluğunu isbatlamak üzere kullanılabilir. Simülasyon, herhangi bir sistemin içsel etkileşimlerini araştırma ve bunlar üzerinde testler yapma imkanı verebilir. Bildiğimiz bir sistemin, farklı şartlar ve yeni koşullar altında nasıl bir davranış sergileceğini incelemek üzere testler yapmak için simülasyondan faydalanabilir. Simülasyon modeli üzerinde yapılacak araştırmalar için gereken bilgiler çoğu defa gerçek hayatta olduğundan daha ucuz ulaşılır. Sistemin datalarının detaylı ve yeterli olmadığı durumlarda simülasyon metodları boşluğu kapatabilir. Simülasyon modeli, belirlendikten sonra sistemin çeşitli şartlarının araştırılması için arzu edildiği kadar zaman harcanabilir. Simülasyon modeli belirlenecek olan sistemin, detaylı gözlenmesi, sistemin daha güzel görünmesini, daha önce fark edilmemiş noksanlıkların giderilmesini ve daha faydalı, daha geçerli ve daha kullanışlı bir sistem kurulmasını temin edebilir.

#### **3.8.4. Simülasyonun engelleri**

Matematik estetik açısından eksik olmasına rağmen simülasyon, kontrolü sorunlarının analizinde en çok faydalanan nitel yöntemlerden birisi olarak gelişmektedir. Ancak yine de, her benzerlik gibi simülasyon da belirli engelleri kapsamaktadır. Bunlar;



- Güzel bir simülasyon modelinin geliştirilmesi sıklıkla, masraflı ve zaman alıcı bir süreçtir.
- Fazla bir yaratıcılık ister.
- Bir simülasyon modeli, gerçek bir durumu ifade ettiği bir anda, gerçek dünya şartının modeli gibi kavranabilir.
- Simülasyon modelinin sonuçları yaygın olarak sayısaldir. Buna göre sayılara bağlı kalınmasına sebep olabilir.
- Simülasyon modeli bir defa kullanıldıktan sonra, analizciler, bu kuralı, çözümsel metodların daha elverişli olduğu durumlarda da kullanma meylini gösterirler.

### **3.8.5. Simülasyon modelinin nitelikleri**

Kullanılabilir bir simülasyon modelinin karakteristiklerini gözden geçirirsek;

- Simülasyon sistemi belirli bir fonksiyonu karşılamak üzere bir araya gelmiş bulunan ve aralarında etkileşim bulunan sistemler grubudur.
- Simülasyonun, gerçek dünyanın sorunlarına bağlı olması nedeni ile, meydana gelen sonuçların gerçek anlamda, hakiki durumu ifade ettiğinden emin olmalıyız. Herhangi bir model, değişkenlerin ve parametrelerin uç değerlerinde irdelenmelidir. Eğer anlamsız neticeler meydana gelirse, modelden şüphelenmek ve yeniden incelemek zorunludur.
- Sonunda, türetilen dataların karar verici tarafından kullanılabilir olması veya olmaması bir model için korunabilir değildir.

### **3.8.6. Simülasyonun kullanım sebepleri**

Simülasyon modellemenin kullanımının birçok farklı sebepleri vardır bunlar aşağıda sıralanmıştır:

- Çok yararlı ve çok yönlüdür.
- Şehir işletme sistemindeki önemli iktisadi bileşenleri içine alan yapıyı makul olmayan ve çözümlenemeyen matematiksel modellerde,

- İklim değişikliklerinde,
- Şehir modellerinde,
- Eğitim sistemlerinde,
- Fizik, biyoloji, sosyoloji v.b... alanlardada kullanılabilir.
- Bazı şartlar altında simülasyon kullanılabilir tek yöntemdir. Örneğin NASA' da ulusal bir hava pilotunun seyrinde, Satürn'ün ortamını gözlemek oldukça zor olduğundan bu durumda simülasyon kullanılabilir.
- Simülasyon farklı tipteki sorulara yanıt verir. Araştırmacı hangi koşulların ilginç olduğunu önceden bilmek ister ve az zaman içerisinde bilgisayar vasıtası ile birçok sonucun farkına varabilir.
- Gerçek dünyadaki sistemler simülasyonun dikkatini çekmez, çünkü bu çok tehlikeli olabilir. Örneğin okul, hastahane veya üretim tesislerindeki simülasyonla elde edilen testler sistem üzerinde uygulanamaz.
- Simülasyon kompleks etkileşen sistemlerde bir çok parametreye bağlı olarak hangi parametrenin önemli olduğuna karar vermemizi sağlamak için bizi yönlendirir.
- Zaman sınırlaması simülasyonda yapılabilir . Sistemlerin davranış durumları için haftalar, aylar ve yıllara kadar sürebilecek karar neticeleri bilgisayarda simülasyon yöntemiyle kısa zamanda incelenebilir.
- Simülasyon birçok nicel analizde çözümlenmeyen kompleks gerçek dünya sorularının çözümüne yardım eder. Örnek olarak kuyruk modellerinde sembolleşmeye gerek duyulur veya Poisson Dağılımında; bazı ilerlemeler ve ağ modelleri normalliğe ihtiyaç duyar. Sadece simülasyonda kullanıcı herhangi bir ihtimal dağılım için faydalanır; standart dağılımı kullanmaya ihtiyaç duymayabilir.

### **3.9. Simülasyon Dilleri**

#### **3.9.1. GPSS (III)**

Genel Amaçlı Simülasyon Sistemi (**General Purpose Simulation System**), öncelikle genel kullanım alanı olan parçalı simülasyon dillerinden birisidir. Program yapma bilgisine az ihtiyaç duyulur. Simülasyonu incelemek için birkaç istatistik eleman vardır.

Bunlar blok-gib olarak isimlendirilen işlemsel elemanlardır. Bloklar hareketlerin akıntısını ve birbirleriyle etkileşimlerini denetlemek suretiyle sistemin mantığını tanımlarlar. GPSS Simülasyonunun varoluşu blokların hareketlerine göre karşılıklı etkileşimlerinden elde edilen faaliyetlere dayanmaktadır. GPSS aynı zamanda birçok sistem niteliğini ve elemanlarını da tanımlar. Çok kompleks dağılımların tarif edilmesinde kullanılabilir.

### **3.9.2. GASP (4)**

İstatistiksel bir kavram olan “parçalı stokastik” iki veya daha fazla sayıda sistem arasındaki ilişkiden kaynaklanan hataların, belli bazı istatistiksel varsayımlar yapılarak bu sistem ilişkilerinin bir model içinde gösterilip, sistemlerin analiz edilmesini sağlayan bir simülasyon programıdır. Bir dizi FORTRAN Programlarından meydana gelen bir simülasyon hazır paket programıdır. Bir GASP uygulaması iki çeşitli yapıdan meydana gelir:

1. Gasp paketi alt programları
2. Uygulama alt programları

GASP; birim-özellik -ilişki yapısı tarif edilen sistemlerin simülasyonuna uygundur.

### **3.9.3. DYNAMO**

M.I.T.'te 1959 yılında Phillis Fox ve Alexander L. Pugh tarafından hazırlanmış sanayi hareket modelidir. Bir benzeri ise Jay W. Forester 'ın büyük sanayi sistemlerdeki bütünsel davranış incelenmesinin gelişmesiyle ortaya çıkmıştır. DYNAMO sistemi kullanan bir programdır. Sonra denklik değerinin her artmasında sistem davranışı yeniden oluşur. DYNAMO, bilgi geri beslemesi (feedback) ve büyük ölçüdeki sistem erteleme üzerine incelemeye önem gösterir. Ekonometrik modellerde ve sanayi komplekslerin simülasyonu ile birlikte sosyal, evrensel ve kentsel problemlerde tesirli olarak kullanılır, DYNAMO, GPSS gibi program yapma bilgisine çok az ihtiyaç duyar.

### **3.9.4. SIMSCRIPT II.5**

SIMSCRIPT RAND firması tarafından 1960'lı yıllarda komple bir program yapma dili olarak ortaya çıkmıştır. Simülasyon için geliştirilmiş bir programdır, ama genel amaçlı olarak da kullanılmaktadır. Bu programın bir nitelik ise diğer orta seviye dillere (Fortran, Assembler) bağlı olmamasıdır. SIMSCRIPT 'de sistem kendi başına bağımsız elemanlardan meydana gelen bir sistem olarak tanımlanır.

### **3.9.5. Q-GERT**

Q-GERT - aslında GERT IIIQ - bir şebeke modelleme ve kuyruk sistemlerinin incelemesi için özel olarak kullanılan bir program yapma dilidir. Bu programda 1960'lı yıllarda ortaya çıkmıştır.

### **3.9.6. CERN FLUKA Monte Carlo simülasyon kodu**

Fluka programı FORTRAN altyapısı ile çalışmaktadır. 1954'de IBM tarafından yapılan IBM 704 için FORTRAN ilk sürümü John Backus ve ekibi tarafından yapılmıştır. Backus ve ekibi Kasım 1954'de "The IBM Mathematical FORMula TRANslating system: Fortran" adlı raporu yayınlamışlardır. Fortran ilk yüksek seviye program yapma dili olmasa da 1950'deki yüksek program yapma dilleri derlenmeden, bir yorumlayıcı (interpreter) yardımıyla işletiliyordu. Bu da makine koduyla yazılan programlardan en az 10 kat daha yavaş çalışmalarına neden oluyordu. 1950'lerdeki bilgisayarlar için hız çok şeyi temsil ettiğinden yazması kolay olmasa da makine kodu buna göre hala kullanışlıdır. Tam bu zamanda Backus ve ekibi hem yüksek program yapma dilleri gibi basit yazılabilen hem de makine kodunda yazılmış olarak hızlı çalışan bir program yapma dili sözüyle Fortran'ı ortaya çıkardılar. Fortran'ı diğer yüksek seviye program yapma dillerinden farklılığı bir çevirici yerine bir derleyici (compiler) kullanmasıdır. Program yüksek seviye dilde yazıldıktan sonra makine koduna çevriliyor ve bu nedenle hız kaybı az oluyor. Her ne kadar ilk derlenebilir yüksek seviye dilin Fortran olup olmadığı hala söz konusu olsa da, Fortran büyük kitlelerle kullanılmış ilk yüksek

seviye derlenebilir dildir. Fortran 0 ilk Fortran sürümüdür. Son sürümlü ise üzerindeki güncelleştirmeleri hala devam eden Fortran95, Visual Fortran, Digital Fortran V6.0 şeklinde sıralanabilir.

FLUKA programın gelişimi, 1962 yılında J.Ranfit ve H.Geibel tarafından yüksek enerjili protonlar için Monte Carlo uygulaması için kullanılması ile başlamıştır. FLUKA ismi 1970 yılındaki bir termodinamik temelli çalışmadan (FLUktuirende KAskade) gelmektedir. 1970'lerin başlarından itibaren J.Routti ve P.Aarino ile CERN'den G.R.Stevenson ve A.Fasso programın gelişimine katkıları sağlamışlardır. Programın modern kod sistemleri; GEANT-FLUKA ara yüzü, MCNPX (yüksek enerjili hadronik FLUKA generetör-1990), FLUGG (GEANT4 arayüzü-1994), İNFN projesi (2001), INFN-CERN projesi (2003) şeklinde sıralanabilir. 2005 yılının sonlarında FLUKA kaynak kodları ortaya çıkarıldı. FLUKA simülasyon programının, parçacık fiziği, yüksek enerjili deneysel fizik, mühendislik, zırhlama, detektör, teleskop tasarımı, kozmik ışın çalışmaları, dozimetre, tıbbi fizik, radyobiyojoloji gibi birçok uygulama alanı vardır. FLUKA simülasyon programının uygulamalarında hadron terapisi gibi yeni gelişmeler devam etmektedir. FLUKA simülasyon programı FORTRAN dili kullanılarak geliştirilmiştir ve bu programları çalıştırmak veya oluşturmak için Linux altında g77 derleyici gereklidir. 2011 yılından bu yana da 64 bit sürümü (4,5'den büyük olan sürümler) derlenmiş gfortran mevcuttur. FLUKA simülasyon programının en son sürümleri hadronik olaylardaki jeneratörler için özellikle GEANT3 ve diğer kodlara uygulanmıştır. Örneğin, GEANT-FLUKA birlikte kullanılabilir. FLUKA simülasyon programının Monte Carlo kodu tüm ışın-makina etkileşimi, radyasyondan korunma hesaplamaları ve gelecek projelerin tesis tasarımı için CERN'de yaygın olarak kullanılır. Kullanılan Monte Carlo kodu tüm enerji aralığında MeV den TeV'e kadar bütün temel parçacıkların ve ağır iyonların üzerinde sürekli güvenilir olmasını gerektirir. FLUKA simülasyon programı CERN dışında Avrupa'da HIT ve CNAO hadron-terapi tesisleri için bir çekirdek aracı olarak hizmet vermektedir. Bunun yanında FLUKA'nın tıbbi uygulamalardaki güvenilirlik ve öngörü gücünün artırılması için gelişmiş nükleer modelleri ve sürekli kod iyileştirilmesine gerek vardır.

Programın kullanım alanları:

- Zırlama
- Dozimetri
- Yüksek enerjili fizik ve mühendislik deneyleri
- Kozmik ışın çalışmaları
- Medikal fizik

olarak sıralana bilir.

Programın kullanıldığı etkileşimler şu şekildedir:

- Hadron- hadron ve Hadron-çekirdek etkileşimleri (0-10000TeV)
- Çekirdek-çekirdek etkileşimleri (100MeV/n-10000TeV/n)
- Elektromanyetik radyasyon ve müon etkileşimleri (1KeV-10000TeV)
- Nötrino etkileşimleri
- Yüklü parçacık transportu içeren tüm uygulamalar
- Manyetik alanda transport
- Bollean ve Voxel geometrileri
- Kademli nötron transportu ve etkileşimleri (0-20MeV)
- Çeşitli azalma hesaplamaları

Programın kullanırken uyulması gereken enerji limitleri ise aşağıdaki Çizelge 3.19'da gösterilmiştir.

**Çizelge 3.19.** FLUKA programında enerji limitleri (Korkut 2010)

PARÇACIKLAR	TRANSPORT LİMİTLERİ	BİRİNCİL PARÇACIKLAR İÇİN LİMİTLER
Yüklü Hadronlar	1KeV-20TeV	100KeV-20TeV
Nötronlar	Termal-20TeV	Termal-20TeV
Anti-Nötronlar	50MeV-20TeV	100MeV-20TeV
Müonlar	1KeV-10000TeV	100KeV-10000TeV
Elektronlar	1KeV-10000TeV	70KeV-10000TeV (düşük Z) 150KeV-10000TeV (yüksek Z)
Fotonlar	1KeV-10000TeV	7KeV-10000TeV
Ağır İyonlar	10MeV/n-5GeV/n	100MeV/n-5GeV/n

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

### 4.1. Datolite ve Galena Katkılı Betonlar

#### 4.1.1. Datolite ve galena

Datolit ve galena madensel maddeler, yüksek performanslı ağır betonların üretiminde kullanılır. Bu çalışmada bir kaç tür beton araştırılmıştır; birincisi normal beton olup içindeki bileşiklerin miktarları Çizelge 4.1'de verilmiştir. İkincisi DaGa (Datolit\_ Galena) beton olup bunun içerisindeki bileşiklerin miktarları Çizelge 4.2'de verilmiştir. Basınç dayanımını ölçmek için iki tür beton (normal ve DaGa) araştırılmıştır. DaGa betonun yoğunluğu 4420-4650 kg/m<sup>3</sup> ve normal betonun yoğunluğu 2300-2500 kg/m<sup>3</sup>'dir. DaGa betonun yoğunluğu normal betondan yüksek olduğu için basınç dayanımı da yüksektir ve %20'den daha fazla nötron emme kabiliyeti vardır. Yoğunluğu yüksek olan betonların gama ve nötron azaltma kabiliyetleri daha yüksektir. Galena (PbS) aslında kurşundan oluşan maddedir ve yoğunluğu 7400-7600 kg/m<sup>3</sup>tür (çeliğin yoğunluğu gibi).

**Çizelge 4.1.** Normal betonun içindeki bileşiklerin miktarları (Mortazavi *et al.* 2010)

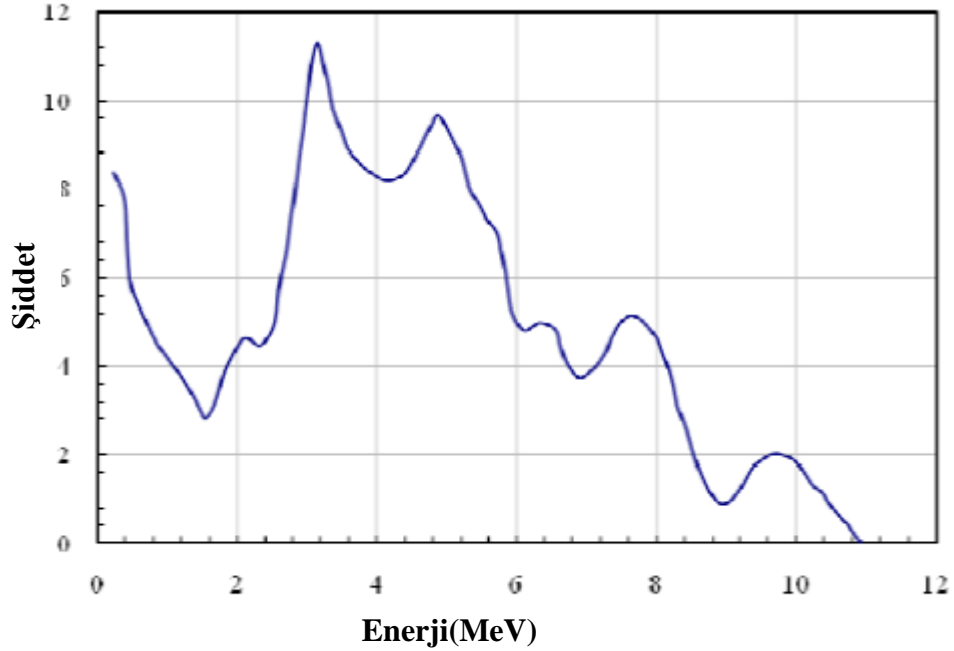
Çakıl (kg/m <sup>3</sup> )	Kum (kg/m <sup>3</sup> )	Su (kg/m <sup>3</sup> )	Çimento (kg/m <sup>3</sup> )	Silisdumanı (kg/m <sup>3</sup> )	Su/Çimento Oranı	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Basınç Dayanım (kg/m <sup>2</sup> )
865	1000	440	1128	44	0,39	2,35	300

**Çizelge 4.2.** DaGa betonun içerisindeki bileşiklerin miktarları (Mortazavi *et al.* 2010)

Kurşun Cevheri	Datolite	Su	Çimento	Silisdumanı	Su/Çimento Oranı	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Guç Dayanımı (kg/m <sup>2</sup> )
3548	896	408	950	95	0,42	4,42-4,65	448-522



<sup>241</sup>Am-Be kaynağından nötronun enerji spektrumu Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. <sup>241</sup>Am-Be kaynağın nötron enerji spektrumu (Mortazavi *et al.* 2010)

#### 4.1.2. Datolite numunesi için Geant 4 programı kullanılarak yapılan doz simülasyonları

<sup>241</sup>Am-Be kaynaktan yayınlanan 4,5 MeV enerjili 100000 nötron ile, 1cm kalınlığa sahip olan datolite numunenin etkileşmesinden Geant 4 programı kullanılarak, elde edilen sonuçlar Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Datolite numunenin nötronlar ile etkileşme sonuçları

Yoğunluk	Nötron Elastik	Giricilik	Giricilik Oranı	Baş Elastik	Nötron Tutucu
2.9 g/cm <sup>3</sup>	6260	86192	86.192%	7546	2

#### 4.1.3. Datolite numunesi için Geant 4 programı kullanılarak hesaplanan tesir kesitleri

Datolite numunesinin hacim başına tesir kesiti ve kütle başına tesir kesiti değerleri Çizelge 4.4'de verilmektedir.

**Çizelge 4.4.** Datolite'nin nötron tesir kesiti değerleri

Hacim başına nötron tesir kesiti	Kütle başına nötron tesir kesiti
0.14859 cm <sup>-1</sup>	0.051239 cm <sup>2</sup> /g

#### 4.1.4. Galena numunesi için Geant 4 programı kullanılarak yapılan doz simülasyonları

<sup>241</sup>Am-Be kaynaktan yayınlanan 4,5 MeV enerjili 100000 nötron ile, 1cm kalınlığa sahip olan galena numunesinin etkileşmesinden Geant 4 programı kullanılarak elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5'de verilmektedir.

**Çizelge 4.5.** Galena'nın nötronlar ile etkileşme sonuçları

Yoğunluk	Nötron Elastik	Giricilik	Giricilik Oranı	Baş Elastik	Nötron Tutucu
7.6 g/cm <sup>3</sup>	6460	86344	86.344%	7194	2

#### 4.1.5. Galena numunesi için Geant 4 programı kullanılarak tesir kesitleri

Galena numunesinin hacim başına tesir kesiti ve kütle başına tesir kesiti değerleri Çizelge 4.6'da verilmektedir.

**Çizelge 4.6.** Galena'nın nötron tesir kesiti değerleri

Hacim başına nötron tesir kesiti	Kütle başına nötron tesir kesiti
0.14683 cm <sup>-1</sup>	0.1932 cm <sup>2</sup> /g

## 4.2. Serpentine

Madde içerisinde foton etkileşimin olasılığına lineer azaltma katsayısı denir. Zırhlama konusunda lineer azaltma katsayısı çok önemli faktörlerden birisidir. Yoğunluk ikinci önemli faktörlerden birisidir. Betonun yoğunluğu betonun içerdiği materyaller, kütle yüzdesi, karıştırma modeli ve kurutma işlemleriyle kontrol edilebilir. Lineer azaltma katsayısının maddenin yoğunluğuna oranına ( $\mu/\rho$ ) kütle azaltma katsayısı denir. Kütle azaltma katsayısı zırhlama konusunda önemli faktörlerdendir. Geçip çarpışmayan nötronlardan ilk çarpışmaya uğrayan hızlı ve termal nötronların olasılığına tesir kesiti denir. Tesir kesiti, makroskopik emme tesir kesiti ( $\Sigma_a$ ) ve makroskopik saçılma tesir kesitinin ( $\Sigma_s$ ) toplamına eşittir. Lineer azaltma katsayısı üç tür beton için farklı foton enerjiler ile Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Azaltma katsayısı bu denklem ile hesaplanır:

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

Bu denklemde

$I$ , maddeden geçtikten sonraki radyasyon yoğunluğu  
 $I_0$ , gelen radyasyonun yoğunluğu  
 $\mu$ , azaltma katsayısı  
 $x$ , madde kalınlığı'dır.

#### 4.2.1. Serpentine için lineer azaltma katsayısı

Çizelge 4.7. Üç tür beton için lineer azaltma katsayısı

Enerji (MeV)	Beton Türü		
	Normal (cm <sup>-1</sup> )	Serpentine (cm <sup>-1</sup> )	Çelik (cm <sup>-1</sup> )
1.0 E-2	45.36	179.98	617.3
2.0 E-2	6.211	26.18	116.6
3.0 E-2	2.187	8.581	29.15
4.0 E-2	1.053	4.012	13.32
5.0 E-2	0.7514	2.578	7.182
1.0 E-1	0.3517	0.6411	1.508
2.0 E-1	0.2686	0.4173	0.7182
3.0 E-1	0.2293	0.3014	0.5119
4.0 E-1	0.2038	0.2691	0.4361
5.0 E-1	0.1813	0.2485	0.3933
1.0 E+0	0.1305	0.1684	0.2895
2.0 E+0	0.0915	0.1287	0.1931
3.0 E+0	0.07531	0.1034	0.1704
4.0 E+0	0.06593	0.09154	0.1511
5.0 E+0	0.05924	0.08293	0.1418
1.0 E+1	0.04624	0.06881	0.1359
1.4 E+1	0.04397	0.06481	0.1336
5.0 E+1	0.04336	0.07002	0.1649
1.0 E+2	0.04683	0.07581	0.1845
5.0 E+2	0.05418	0.08954	0.2201

Beton yoğunluklarına bağlı kütle azaltma katsayısı  $\mu/\rho$  'nin değişim değerleri Çizelge 4.8'de verilmektedir.

**Çizelge 4.8.** Üç tür beton için kütle azaltma katsayısı ( $\mu/\rho$ )

Enerji (MeV)	Beton Türü		
	Normal ( $\text{cm}^{-1}$ )	Serpentine ( $\text{cm}^{-1}$ )	Çelik ( $\text{cm}^{-1}$ )
1.0 E-2	19.302	56.243	121.03
2.0 E-2	2.641	8.806	22.862
3.0 E-2	0.9235	2.681	5.715
4.0 E-2	0.4482	1.253	2.612
5.0 E-2	0.3197	0.8056	1.408
1.0 E-1	0.1492	0.2003	0.2957
2.0 E-1	0.1145	0.1304	0.1408
3.0 E-1	0.0971	0.0941	0.1003
4.0 E-1	0.0868	0.0841	0.0855
5.0 E-1	0.0772	0.0776	0.0771
1.0 E+0	0.0558	0.0526	0.0567
2.0 E+0	0.0393	0.0402	0.0378
3.0 E+0	0.0324	0.0323	0.0334
4.0 E+0	0.0289	0.0286	0.0296
5.0 E+0	0.0253	0.0259	0.0278
1.0 E+1	0.0196	0.0215	0.0266
1.4 E+1	0.0187	0.0202	0.0262
5.0 E+1	0.0184	0.0219	0.0323
1.0 E+2	0.0199	0.0237	0.0362
5.0 E+2	0.0231	0.0279	0.0431

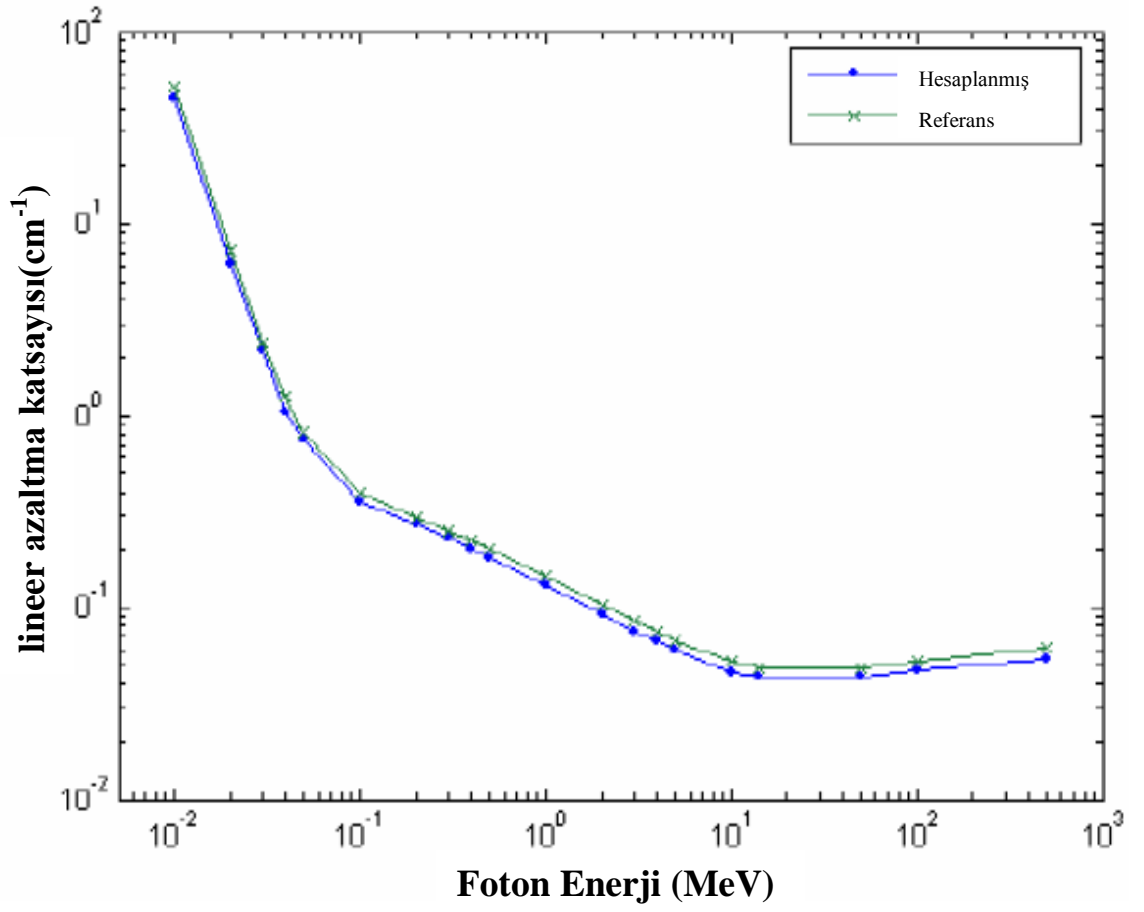
**4.2.2. Serpentine için etkin tesir kesiti**

Üç tür beton için etkin tesir kesiti değerleri Çizelge 4.9'da verilmektedir.

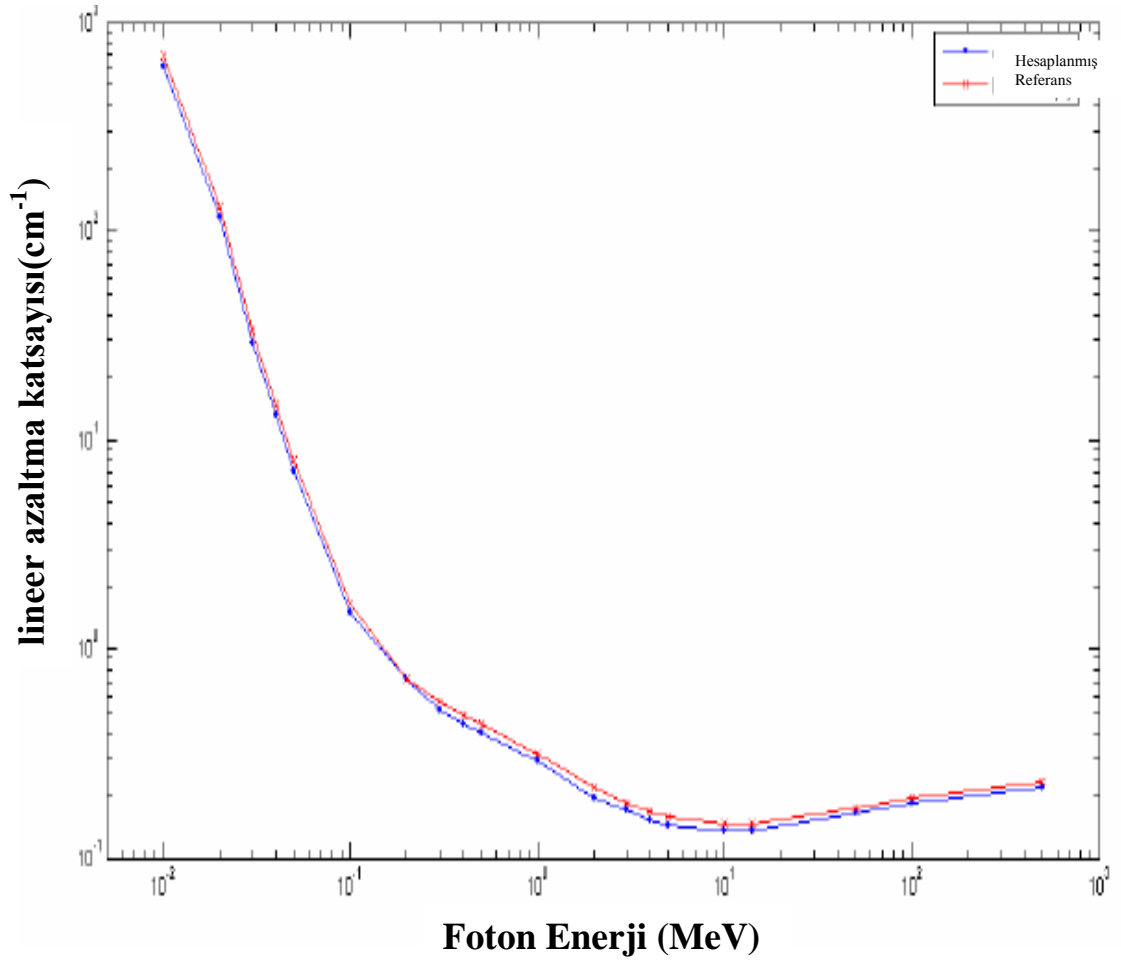
**Çizelge 4.9.** Hesaplanmış ve ölçülmüş üç tür beton için etkin tesir kesiti değerleri

Element	Lineer Azaltma Katsayısı $\sum_R \rho$ (cm <sup>2</sup> /g)	Normal Beton		Serpentine Beton		Çelik Magnet Beton	
		Kısmi yoğunluğu (g/cm <sup>3</sup> )	$\sum_R$ (cm <sup>-1</sup> )	Kısmi yoğunluğu (g/cm <sup>3</sup> )	$\sum_R$ (cm <sup>-1</sup> )	Kısmi yoğunluğu (g/cm <sup>3</sup> )	$\sum_R$ (cm <sup>-1</sup> )
Hidrojen	0.5980	0.0235	1.40E-2	0.1562	9.31E-2	0.0261	1.56E-2
Karbon	0.4020	0.0024	9.42E-4	0.0039	1.56E-3	-----	-----
Oksijen	0.405	1.2502	5.06E-2	1.4456	5.65E-2	0.8007	3.24E-2
Sodyum	0.0341	0.0681	2.32E-3	-----	-----	-----	-----
Magnezyum	0.0333	-----	-----	0.2652	8.83E-3	0.0295	9.82E-4
Alüminyum	0.0292	0.0799	2.33E-3	0.0651	1.90E-3	0.0336	9.81E-4
Silikon	0.0295	0.7966	2.35E-2	0.4356	1.34E-2	0.1367	4.03E-3
Fosfor	0.0283	-----	-----	-----	-----	0.0004	1.13E-5
Kükürt	0.0275	-----	-----	-----	-----	0.0003	8.25E-6
Potasyum	0.0247	0.0071	1.74E-4	0.0002	4.94E-6	-----	-----
Kalsiyum	0.0243	0.01034	2.51E-3	0.1466	3.56E-3	0.2014	4.89E-3
Mangan	0.0202	-----	-----	-----	-----	0.0004	8.08E-6
Demir	0.0214	0.0188	4.02E-4	0.0281	6.01E-4	3.8623	8.26E-2
Elemenlara $\sum_R \rho$ (cm <sup>2</sup> /g)	Hesaplanmış		0.0968		0.1664		0.1415
	Ölçülmüş		0.1143		0.1918		0.1652
$\sum_R$ 'de Fark (%)			15.31		13.2		14.35

Foton enerjisine göre hesaplanmış ve ölçülmüş lineer azaltma katsayısı üç tür beton için Şekil 4.2, 4.3 ve 4.4'de gösterilmiştir.

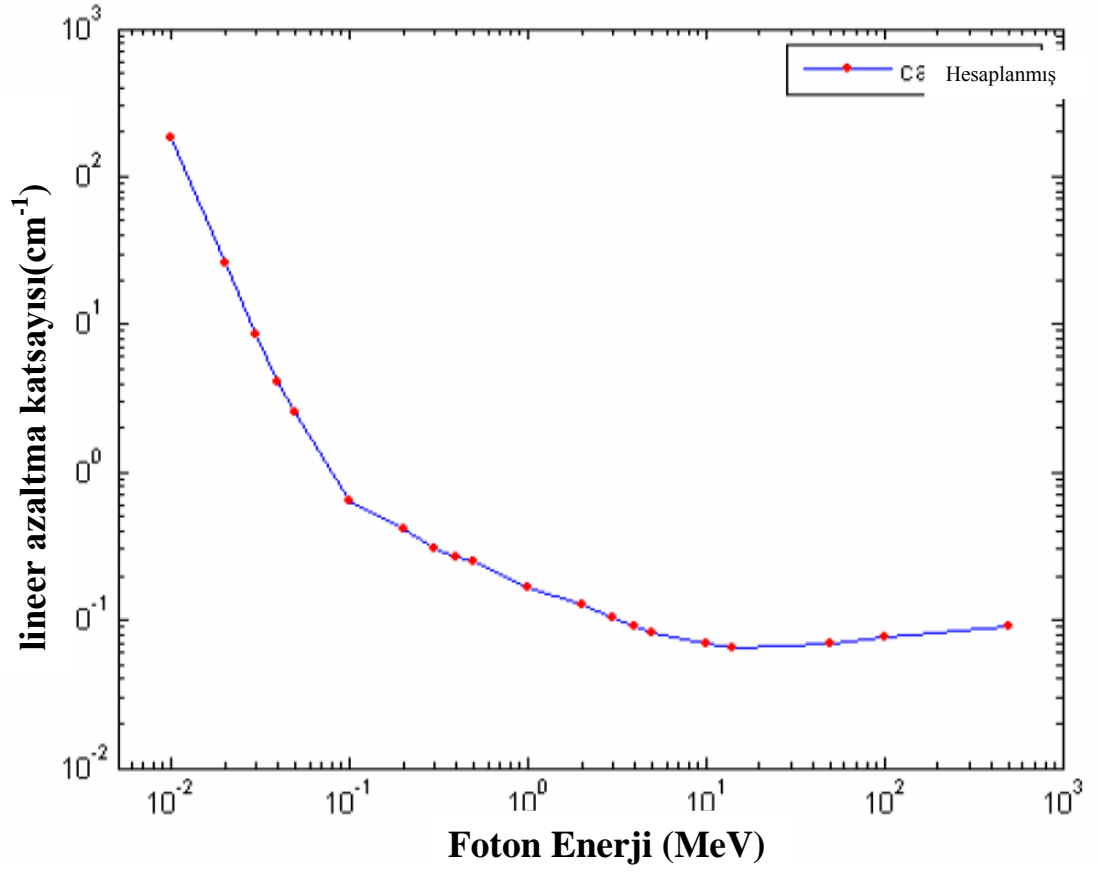


**Şekil 4.2.** Normal betonda, foton enerjisine göre lineer azaltma katsayısı ( $\mu$ ) ( $\rho=2.35\text{g/cm}^3$ ) (Aminian *et al.* 2010)

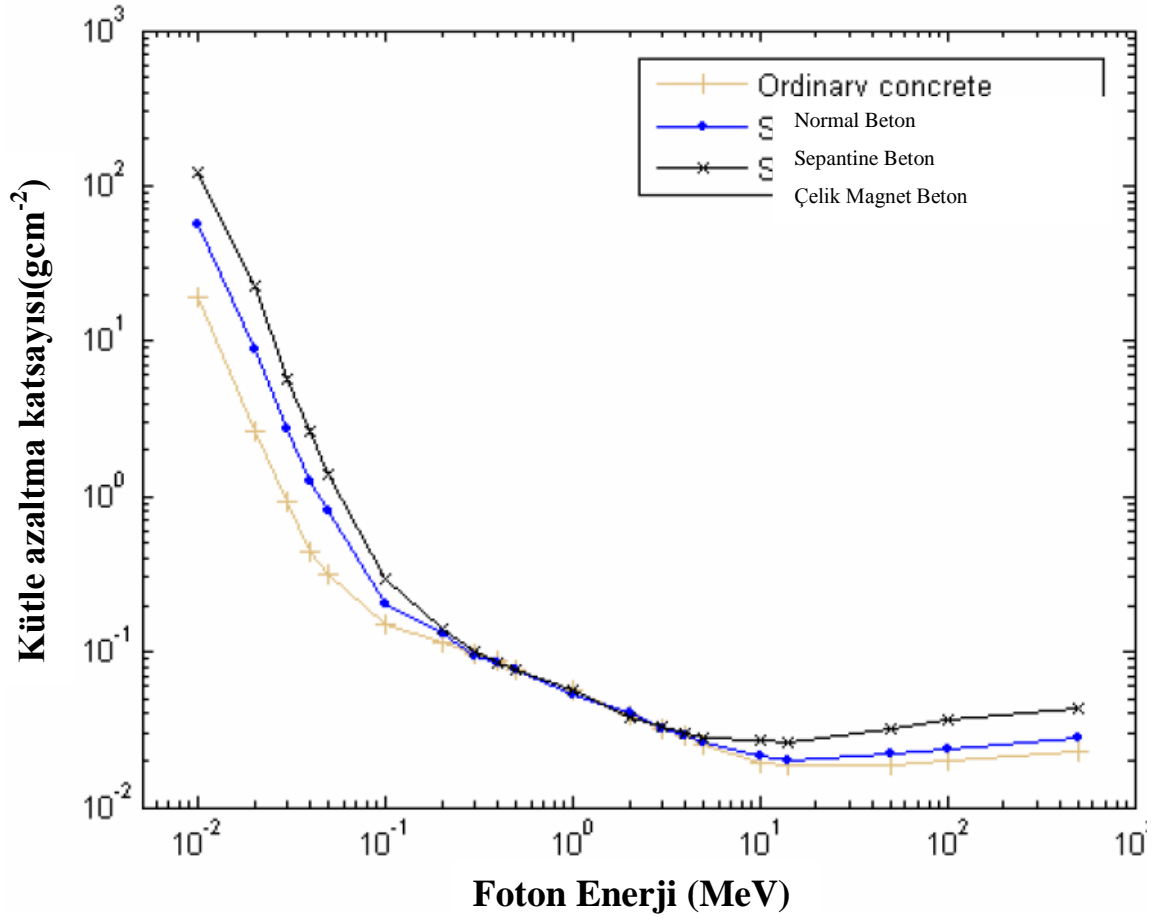


**Şekil 4.3.** Çelik lifli betonda, foton enerjisine göre lineer azaltma katsayısı ( $\mu$ ) ( $\rho=5.1\text{g/cm}^3$ ) (Aminian *et al.* 2010)





**Şekil 4.4.** Serpantine betonda, foton enerjisine göre lineer azaltma katsayısı ( $\mu$ ) ( $\rho=2.6\text{g/cm}^3$ ) (Aminian *et al.* 2010)



**Şekil 4.5.** Normal, serpentine ve çelik lifli betonda, foton enerjisine göre kütle azaltma katsayısı ( $\mu/\rho$ ) (Aminian *et al.* 2010)

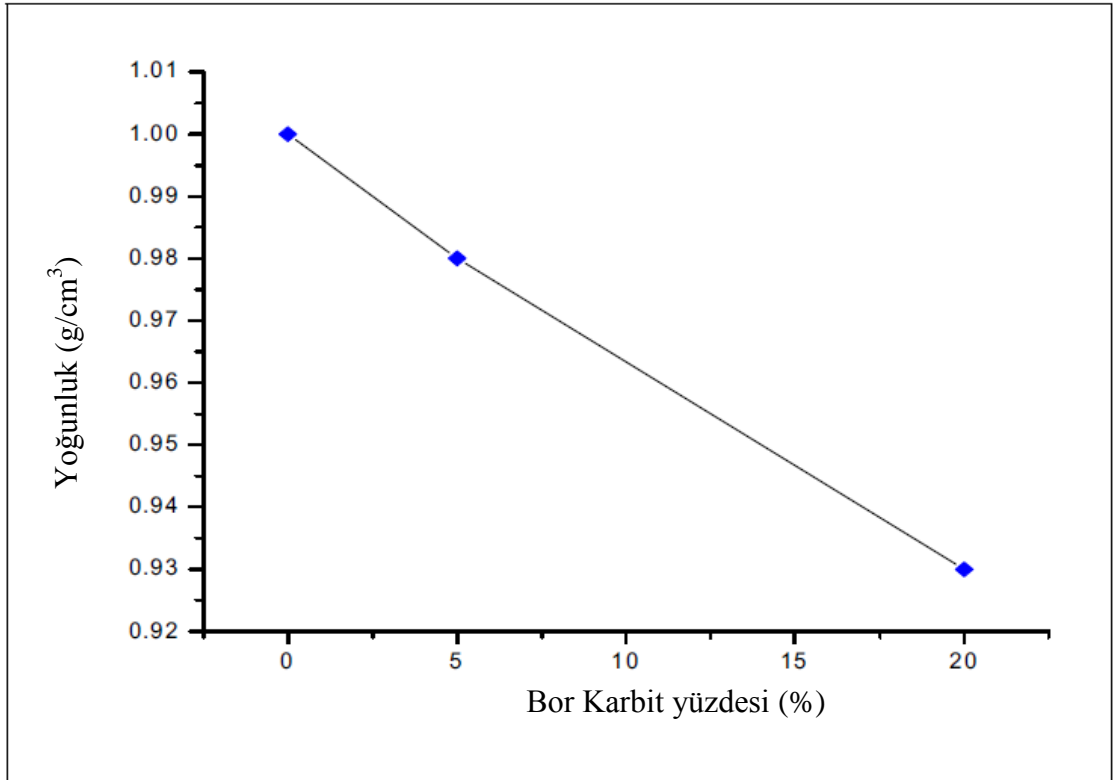
Çizelge 4.7 ve 4.8'e bakıldığında  $\mu/\rho$  ve  $\mu$  değerleri çelik lifli betonda serpentine ve normal betona göre yüksektir.

Şekil 4.5'e bakıldığında çelik lifli beton, serpentine ve normal betona göre daha iyi zırlama özelliklerine sahip olduğunu göstermektedir. Zira çelik lifli betonun içerisinde demir yüzdesi serpentine ve normal betona göre yüksektir (%76).

Yoğunluğu  $5.11\text{g/cm}^3$  olan çelik lifli betonun, atom numarası daha yüksektir. Buna göre foton zırlama konusunda daha etkilidir. Ayrıca Yoğunluğu  $2.6\text{g/cm}^3$  olan Serpentine beton nötron zırlama konusunda etkilidir. Zira tesir kesiti, çelik lifli beton ve normal betona göre yüksektir.

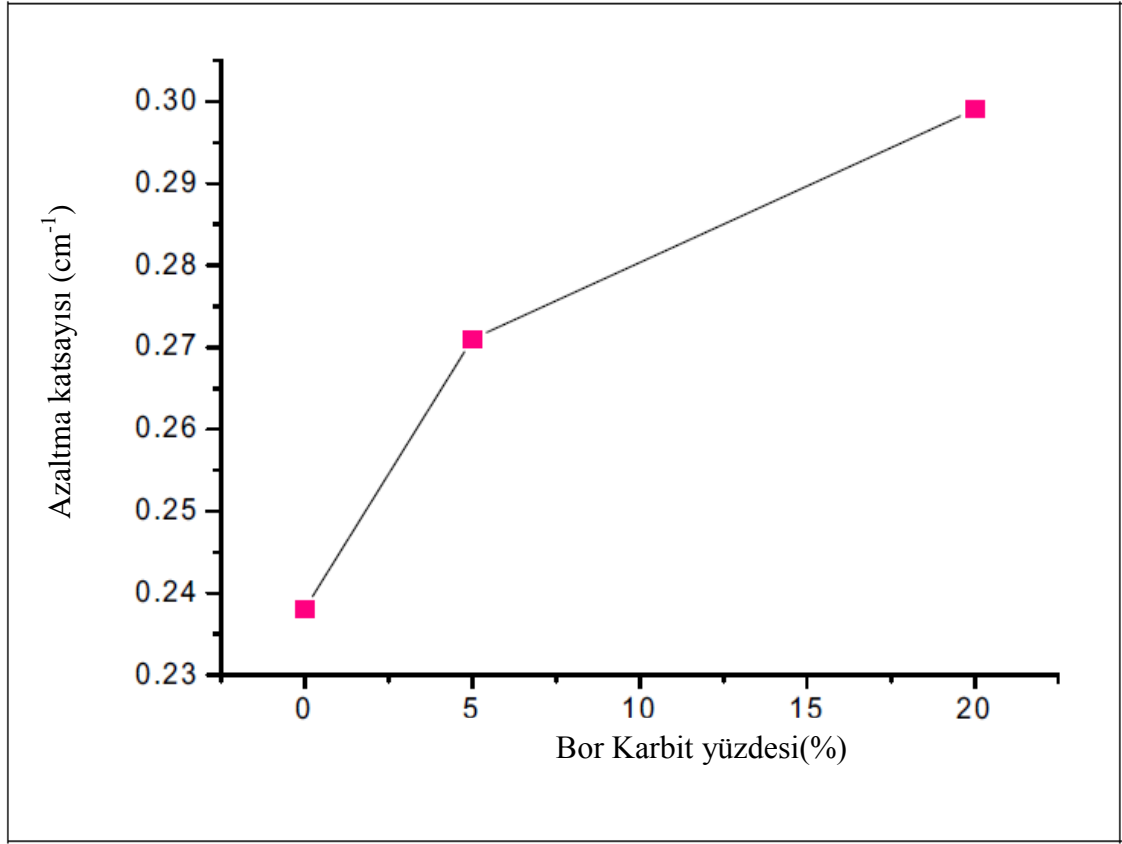
### 4.3. Bor karbit ( $B_4C$ ) katkılı betonlar

$B_4C$  betonun yoğunluğu, bor karbid arttikça azalmaktadır. Şekil 4.6 bunu göstermektedir. Bu grafiğe bakıldığında bor karbidin yüzdesinin artmasıyla,  $B_4C$  betonun yoğunluğu azalmaktadır.



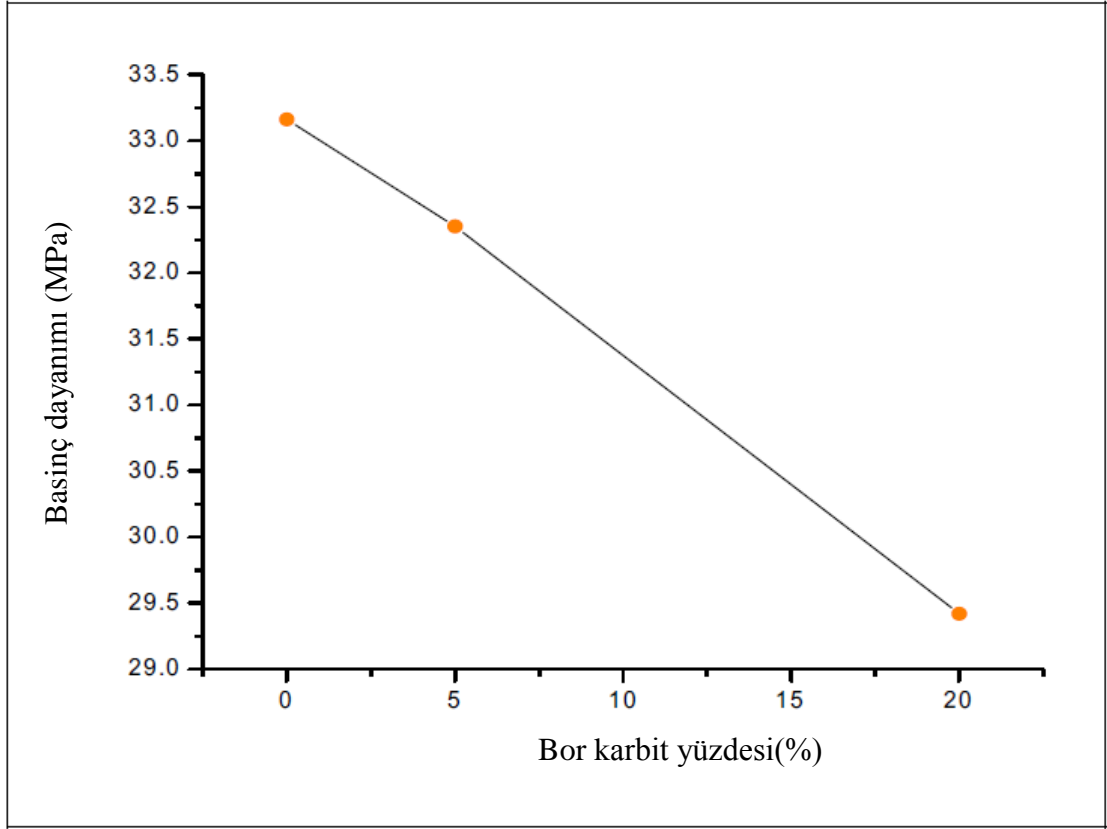
Şekil 4.6.  $B_4C$  yüzdelere göre çizilmiş yoğunluk grafiği (Abdullah *et al.* 2010)

Azaltma katsayısının değeri  $B_4C$  yüzdesine nasıl bağlı olduğunu Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Bu grafiğe bakıldığında bor karbidin yüzdesinin artmasıyla,  $B_4C$  betonun azaltma katsayısı artmaktadır.



**Şekil 4.7.** Bor karbit yüzdelere göre çizilmiş azaltma katsayısı grafiği (Abdullah *et al.* 2010)

Şekil 4.8'de üç tür B<sub>4</sub>C betonun güç dayanımının farklı miktarlarda B<sub>4</sub>C kullanılarak gösterilmiştir. Bu grafiğe bakıldığında bor karbidin yüzdesinin artmasıyla, B<sub>4</sub>C betonun basınç dayanımı azalmaktadır.



**Şekil 4.8.** Bor karbit yüzdelere göre çizilmiş güç dayanımının grafiği (Abdullah *et al.* 2010)

Grafiklere bakıldığında, betonun yoğunluğu bor karbidin artmasıyla azalmaktadır. Bor karbidin yüzdesinin artmasıyla, betonların azaltma katsayısı artmaktadır. Bor karbidin yüzdesinin artmasıyla, betonların basınç dayanımı azalmaktadır.

#### **4.3.1. B<sub>4</sub>C numunesi için Geant 4 programı kullanılarak yapılan doz simülasyonları**

<sup>241</sup>Am-Be kaynaktan yayınlanan 4.5 MeV enerjili 100000 nötron ile, 1cm kalınlığa sahip olan bor karbid numunenin etkileşmesinden elde edilen sonuçlar, Geant 4 programı kullanılarak elde edilmiş ve değerleri, Çizelge 4.10'da verilmektedir.

**Çizelge 4.10.** Bor karbid numunenin nötronlar ile etkileşme sonuçları

Yoğunluk	Nötron Elastik	Giricilik	Giricilik Oranı	Baş Elastik
2.52 g/cm <sup>3</sup>	7531	84907	84.907%	7562

**4.3.2. B<sub>4</sub>C numunesi için Geant 4 programı kullanılarak hesaplanan tesir kesitleri**

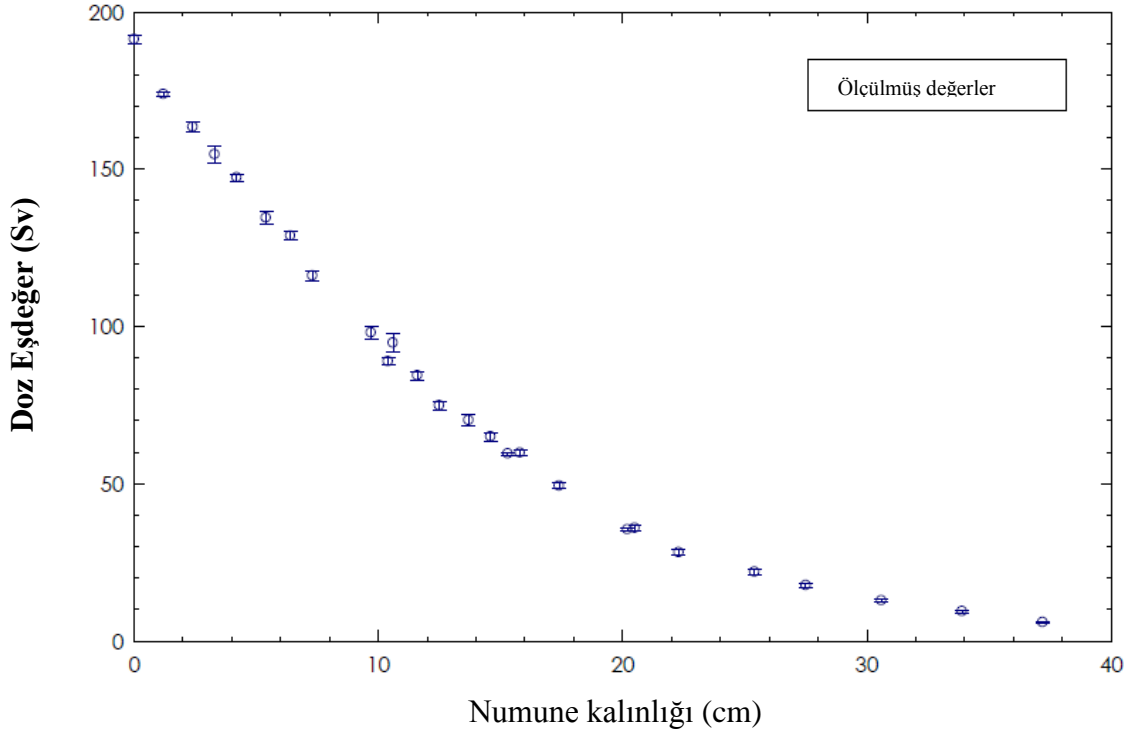
Bor karbit numunenin birim hacim başına tesir kesiti ve birim kütle başına tesir kesiti Çizelge 4.11'de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.11.** Bor karbit numunenin nötron tesir kesiti değerleri

Hacim başına nötron tesir kesiti	Kütle başına nötron tesir kesiti
0.16361 cm <sup>-1</sup>	0.064926 cm <sup>2</sup> /g

**4.4. Hormirad**

Materyal ve yöntem kısmında belirtilen transmisyon geometrisine uygun olarak önce kaynak ile dedektör arasına hiç bir numune konulmadan boş doz eşdeğer ölçümleri yapılmıştır. Daha sonra kaynak ile dedektör arasına Hormirad beton konularak dedektörün emdiği eşdeğer dozun azalması sağlanmıştır. Numuneli ölçümden elde edilen  $\mu s/h$  birimindeki doz eşdeğeri, boş ölçüden elde edilen değere bölünerek numuneler için doz transmisyonu değerleri elde edilmiştir.



**Şekil 4.9.** Hormirad betonun kalınlığına göre  $H^*(10)$ 'ın değeri üstel olarak ölçülmüş değerleri (Lorente *et al.* 2008)

#### 4.4.1. Hormirad beton için ölçülmüş ve hesaplanmış $H^*(10)$ değerleri

Bu betonda ölçülmüş ve hesaplanmış değerler denklem 4.1 ile verilir.

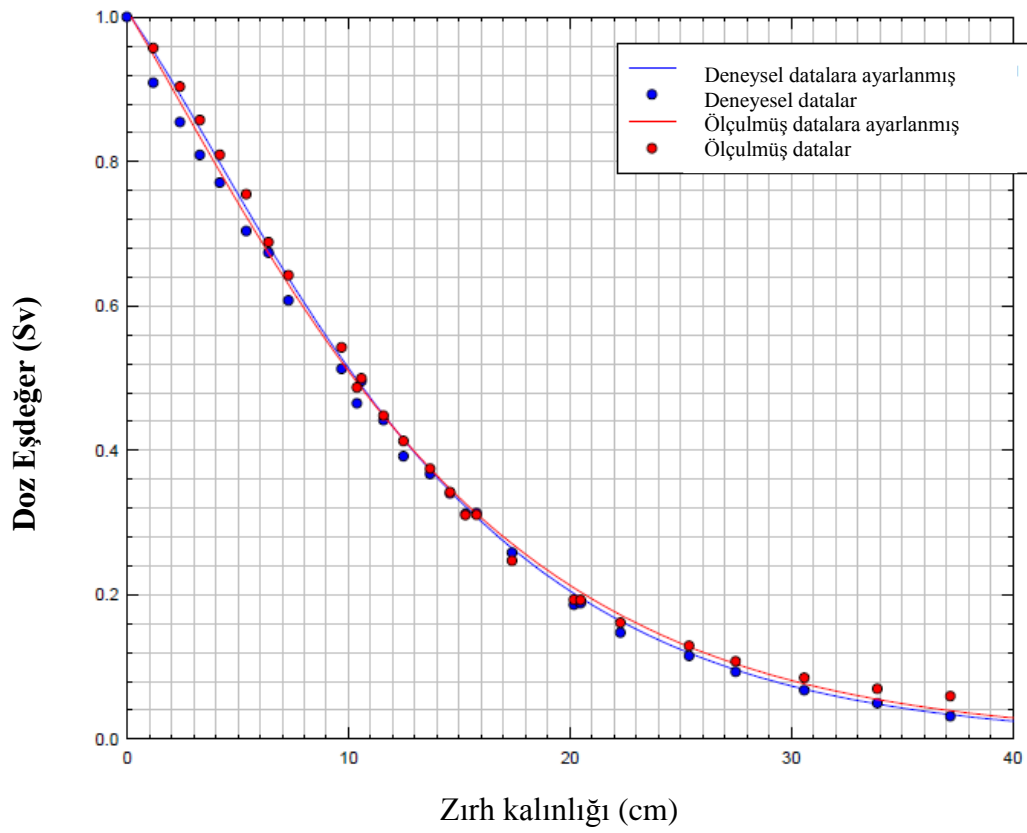
$$H^*(10)(x) = \beta(\Sigma x) \cdot H^*(10)(0) e^{-\Sigma x} \quad (4.1)$$

$$B(\Sigma x) = 1 + \beta \Sigma x$$

$\Sigma$ , B ve  $H^*(10)$ 'ın hesaplanmış ve ölçülmüş değerleri Çizelge 4.12'de verilmektedir.

**Çizelge 4.12.** Hesaplanmış ve ölçülmüş  $H^*(10)$  değerleri (Lorente *et al.* 2008)

Katsayı	Ölçülen	Hesaplanan
$H^*(10)(0)$ [ $\mu\text{Sv/h}$ ]	$185.7047 \pm 1.4823$	$194.2079 \pm 2.4713$
$\Sigma$ [ $\text{cm}^{-1}$ ]	$0.1300 \pm 0.0020$	$0.1220 \pm 0.0037$
$\beta$ [no units]	$0.6692 \pm 0.05485$	$0.5820 \pm 0.0991$

**Şekil 4.10.** Numunelerin kalınlığına göre çizilmiş boş doz eşdeğer grafiği (Lorente *et al.* 2008)

$^{241}\text{Am}$ -Be kaynağı kullanılarak hesaplanmış ve ölçülmüş verilerin grafikleri şekil 4.10'da verilmiştir. Bu dataları doğrulamak için  $X^2$  testi'de kullanılmıştır.

Çizelge 4.13'de hesaplanmış ve ölçülmüş değerler yarı kalınlık ve 10 katlı Hormirad beton numunelerinde verilmiştir.



**Çizelge 4.13.** Hormirad beton için hesaplanmış ve ölçülmüş değerler (Lorente *et al.* 2008)

Tabaka	Ölçülen	Hesaplanan
Birinci $X_{1/2}$	$10.23 \pm 0.16$	$10.12 \pm 0.31$
Birinci $X_{1/10}$	$27.01 \pm 0.42$	$27.81 \pm 0.85$
İkinci $X_{1/4}$	$17.88 \pm 0.30$	$18.15 \pm 0.56$
İkinci $X_{1/100}$	$48.08 \pm 0.75$	$50.19 \pm 1.53$

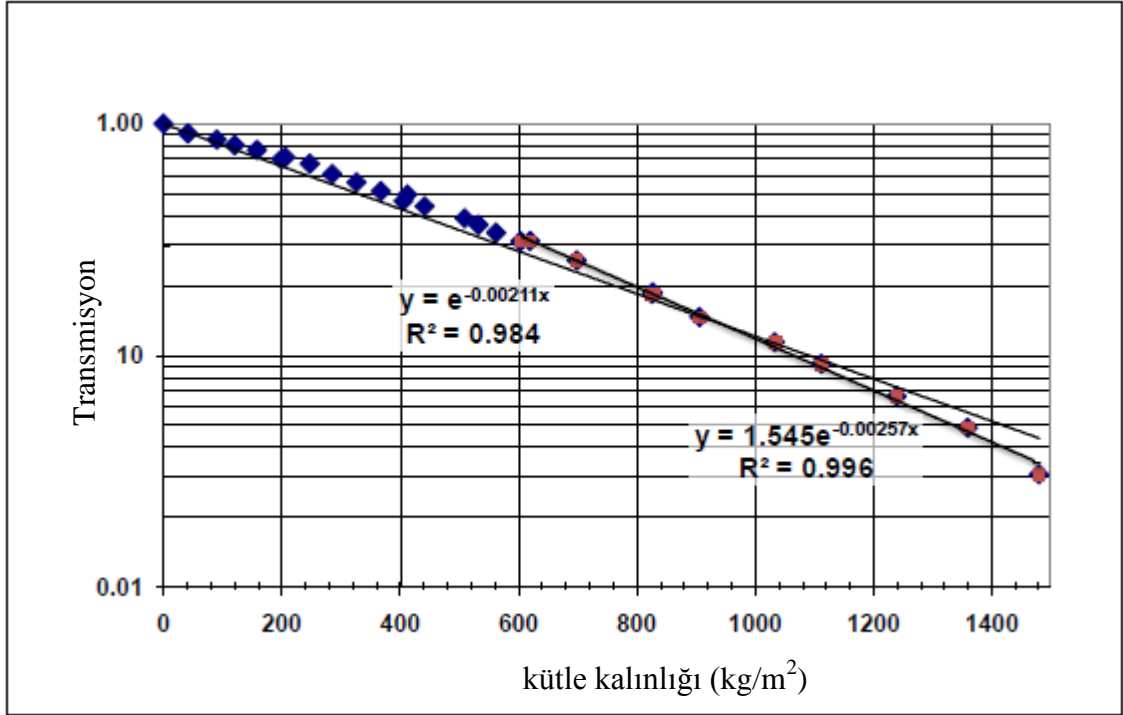
#### 4.4.2. Hormirad ve borax ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ) beton için yapılan işlemler

Eğer Hormirad betona farklı miktarlarda anhydrous borax ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ) katarsak elde edilen neticeler Çizelge 4.14'de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.14.** Farklı oranlarda Borax katısının Hormirad betonda elde edilen sonuçları (Lorente *et al.* 2008)

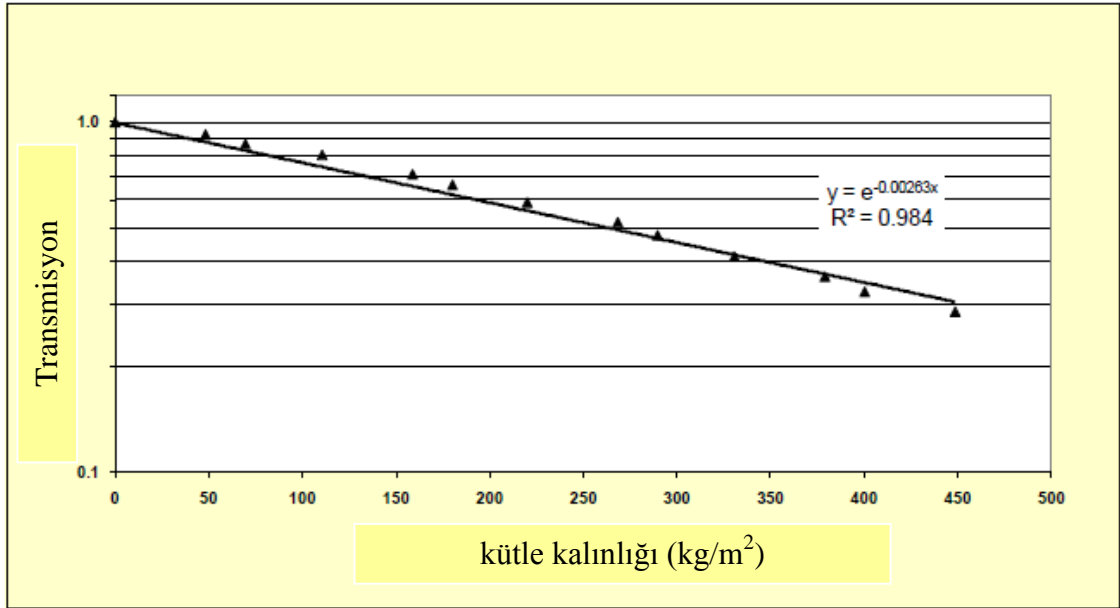
Zırh maddesi	Yoğunluk ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	Kütle kalınlığı ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	Gerçek Kalınlık (cm)
1.19% borax ve Hormirad	3.94	1046.6	26.56
5% borax ve Hormirad	3.62	959.4	26.50
25.1% borax ve Hormirad	2.68	794.0	29.64

Şekil 4.11'de boş doz eşdeğerinin azalması numunelerin kütle kalınlığına göre gösterilmiştir. Bu şekile bakıldığında üstel bir uygunluk görülmektedir. Bu grafiğe bakıldığında, demirli Hormirad betonun nötronlara karşı çok avantajları olduğu görülür. Zira demirli Hormirad betonun nötron azaltma katsayısı başka nümünelere göre yüksektir.



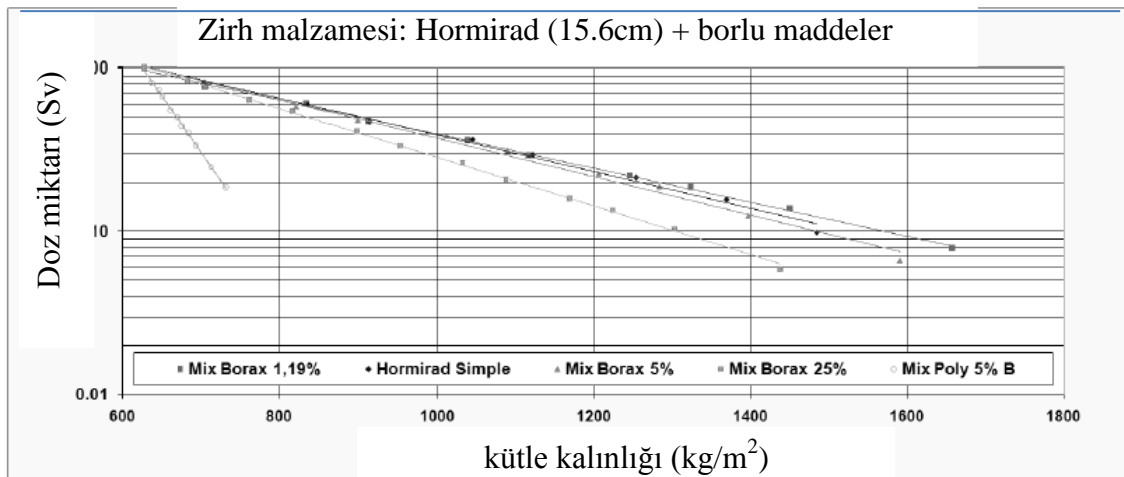
**Şekil 4.11.**  $^{241}\text{Am}$ -Be nötronların Hormirad betondan geçmesi (Lorente *et al.* 2008)

Şekil 4.12'de ölçülmüş azalma normal betona ve üstel uygunluk hesaplanmış noktalarda gösterilmektedir.



Şekil 4.12. Normal betonun kalınlığına göre <sup>241</sup>Am-Be nötronların transmisyona grafiği (Lorente *et al.* 2008)

Şekil 4.13'göre Hormirad betonun bor ile bileşimi iyi bir zırh hızlandırıcı odalarda söylenebilir.



Şekil 4.13. Hormirad ile boraxlı betonların kalınlığına göre <sup>241</sup>Am-Be nötronların bağlı doz grafiği (Lorente *et al.* 2008)

#### 4.5. Datolite ve B<sub>4</sub>C katkılı betonlar

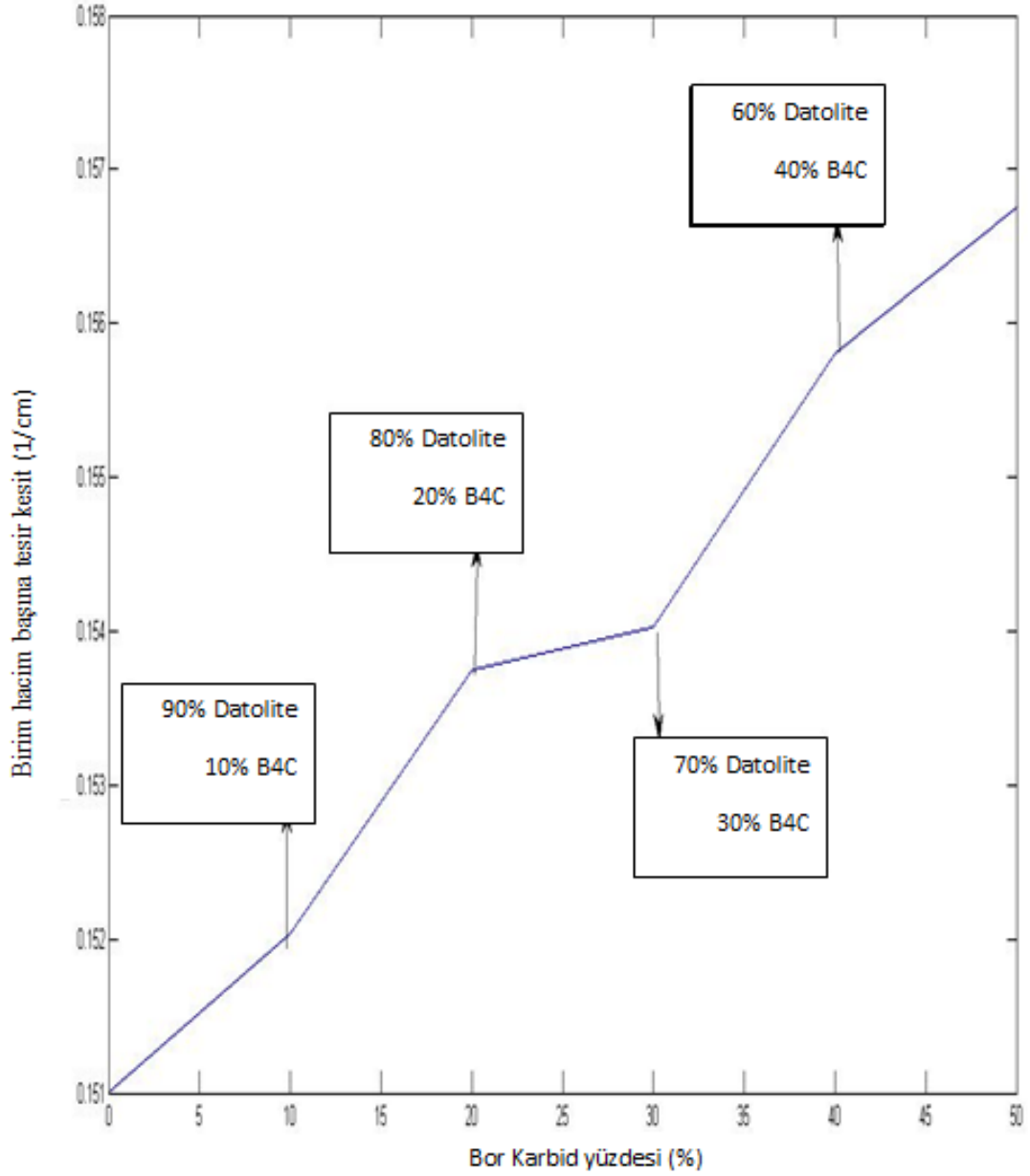
Nötronların madde ile etkileşme ihtimaline tesir kesiti denir. Tesir Kesiti "barn" ( $10^{-24} \text{cm}^{-1}$ ) ile birimlendirilir. Nötronların zırhlanmasında birim hacim ve birim kütledeki tesir kesiti önemli faktörlerdendir. Tesir Kesiti büyük olan malzemelerin nötronlarla çarpışma ihtimalleride fazla olduğundan nötronları yüksek oranda yavaşlatabilirler. Bu çalışmada Monte Carlo simülasyon tekniğinin GEANT4 kiti kullanılarak birim hacimdeki tesir kesiti ve birim kütledeki tesir kesitinin yüksek olduğu belirlenen, kütlece birleşim oranları aşağıda verilen 4 tür beton üretilmiştir:

1. %90 Datolite +%10 Bor karbid
2. %80 Datolite +%20 Bor karbid
3. %70 Datolite +%30 Bor karbid
4. %60 Datolite +%40 Bor karbid

Şekil 4.14'de ölçülen birim hacimdeki tesir kesiti, numunedeki kütlece bork arbid oranına bağlı olarak,GEANT4 kiti kullanılarak belirlenmiştir. Yoğunluğa göre ise birim kütledeki tesir kesiti şekil 4.15'te verilmiştir.

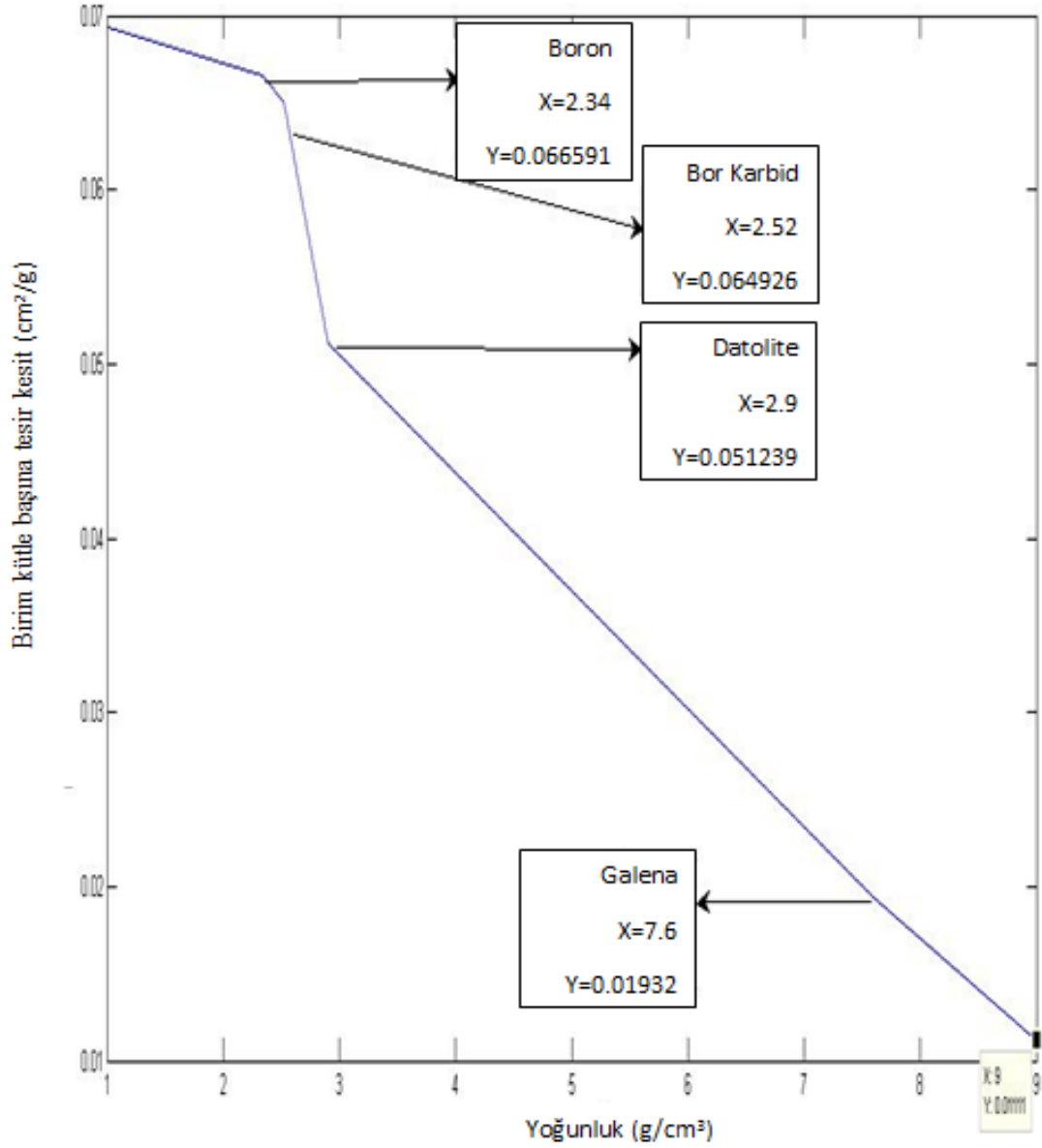
Datolit, galena, bor karbid ve bor numunelerinin yoğunluğuna göre birim hacim ve birim kütledeki tesir kesiti Çizelge 4.15'de gösterilmiştir. Bu veriler 4,5 MeV enerjili 100000 nötronun 1cm kalınlığındaki numunelere etkileşmesi sonucu elde edilmiştir.

**4.5.1. Datolite ve B<sub>4</sub>C numunesi için Geant 4 programı kullanılarak ölçülmüş birim hacim başına tesir kesiti**



**Şekil 4.14.** Bor karbid oranına göre ölçülmüş birim hacim başına tesir kesiti

**4.5.2. Datolite ve B<sub>4</sub>C numunesi için Geant 4 programı kullanılarak ölçülmüş Birim kütle başına tesir kesiti**



**Şekil 4.15.** Yoğunluğa göre ölçülmüş birim kütle başına tesir kesiti

**Çizelge 4.15.** Numunelerin yoğunluğu, birim hacim başına tesir kesiti ve birim kütle başına tesir kesiti

Madde	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Birim hacim başına Tesir Kesiti (cm <sup>-1</sup> )	Birim kütle başına Tesir Kesiti (cm <sup>2</sup> /g)
Galena	7.60	0.14683	0.01932
Datolite	2.90	0.14859	0.051239
Bor karbid (B <sub>4</sub> C)	2.52	0.16361	0.064926
Bor (B)	2.34	0.15582	0.066591

Nötronların zırhlanmasında nötron tutucu, yoğunluk ve tesir kesiti önemli faktörlerdendir. Ayrıca betonlara ek olarak Monte Carlo simülasyon tekniğinin GEANT4 kiti kullanılarak nötron tutucu, yoğunluk ve tesir kesiti Çizelge 4.16'de verilen kaç tür beton üretilmiştir.

Şekil 4.16'da ölçülen tesir kesiti, numunedeki kütlece bor karbid oranına bağlı olarak, GEANT4 kiti kullanılarak belirlenmiştir. Yoğunluğa göre ise tesir kesiti Şekil 4.17'de verilmiştir.

Betonların B<sub>4</sub>C ve datolite oranına göre yoğunluk, tesir kesiti ve nötron tutuculuğu Çizelge 4.16'da gösterilmiştir. Bu veriler 4,5 MeV enerjili 100000 nötronun 1cm kalınlığındaki numunelere etkileşmesi sonucu elde edilmiştir.

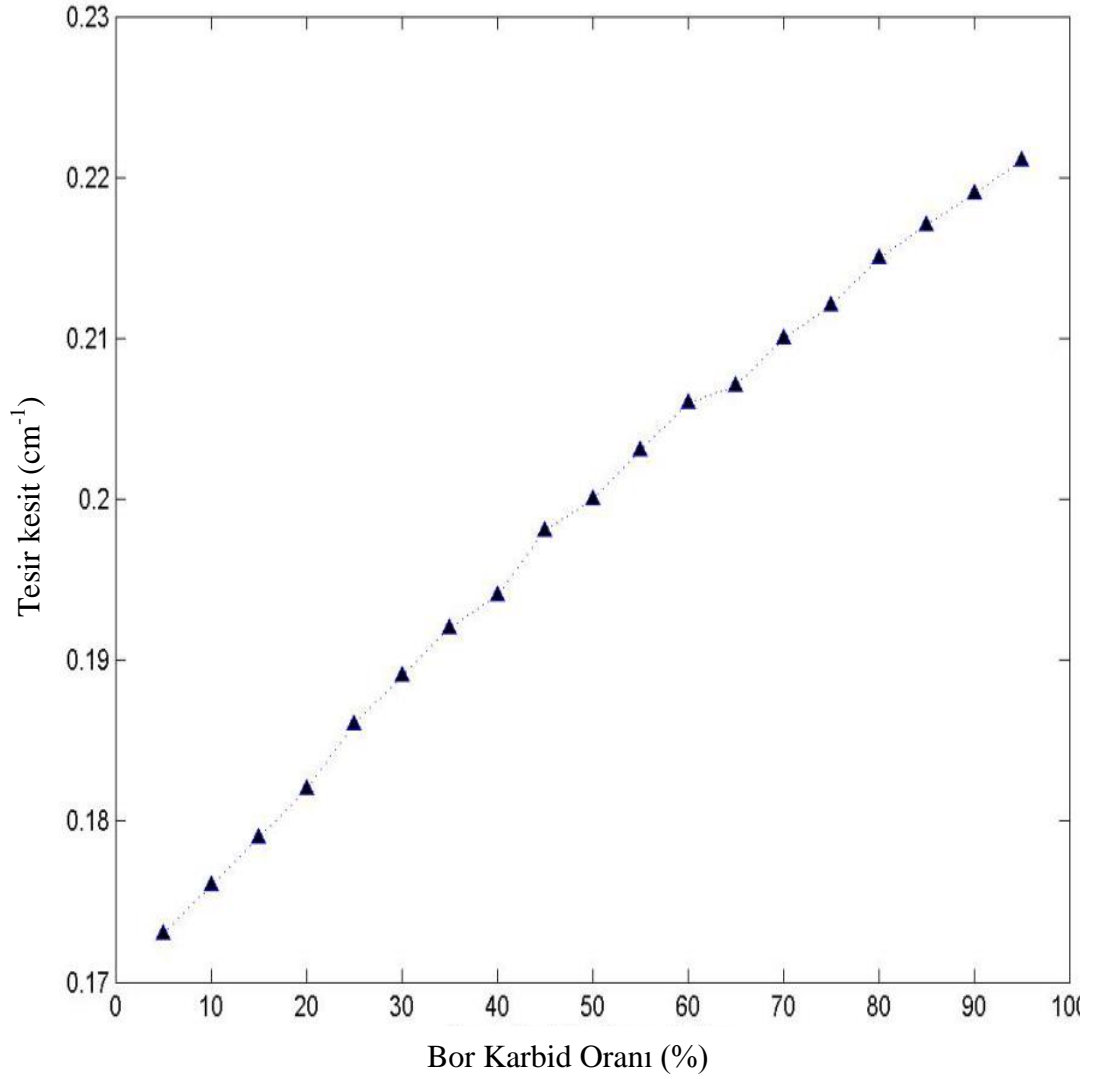
### 4.5.3. Datolite ve B<sub>4</sub>C numunesi için Geant4 programı kullanılarak ölçülmüş tesir kesiti, nötron tutucu ve yoğunluk

**Çizelge 4.16.** Betonların B<sub>4</sub>C ve datolite oranına göre yoğunluk, tesir kesiti ve nötron tutuculuğu

Madde	Tesir Kesiti (cm <sup>-1</sup> )	Birim kütle başına tesir kesiti (cm <sup>-1</sup> /g)	Nötron Tutucu	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )
95% Datolite + 5% B <sub>4</sub> C	0.17320286	0.15121	26	2.881
90% Datolite + 10% B <sub>4</sub> C	0.17625162	0.15204	18	2.862
85% Datolite + 15% B <sub>4</sub> C	0.17986378	0.15281	14	2.843
80% Datolite + 20% B <sub>4</sub> C	0.18280928	0.15375	18	2.824
75% Datolite + 25% B <sub>4</sub> C	0.18635127	0.15419	9	2.805
70% Datolite + 30% B <sub>4</sub> C	0.1898599	0.15403	10	2.786
65% Datolite + 35% B <sub>4</sub> C	0.19230644	0.15489	13	2.767
60% Datolite + 40% B <sub>4</sub> C	0.19470917	0.15580	15	2.748
55% Datolite + 45% B <sub>4</sub> C	0.19804371	0.15121	15	2.729
50% Datolite + 50% B <sub>4</sub> C	0.20082571	0.15204	13	2.71
45% Datolite + 55% B <sub>4</sub> C	0.20319388	0.15281	7	2.691
40% Datolite + 60% B <sub>4</sub> C	0.20610454	0.15375	10	2.672
35% Datolite + 65% B <sub>4</sub> C	0.20799143	0.15419	7	2.653
30% Datolite + 70% B <sub>4</sub> C	0.21053833	0.15403	10	2.634
25% Datolite + 75% B <sub>4</sub> C	0.21283437	0.15489	5	2.615
20% Datolite + 80% B <sub>4</sub> C	0.21563184	0.15580	5	2.596
15% Datolite + 85% B <sub>4</sub> C	0.21776181	0.15121	3	2.577
10% Datolite + 90% B <sub>4</sub> C	0.21949895	0.15204	2	2.558
5% Datolite + 95% B <sub>4</sub> C	0.22181444	0.15281	2	2.539
100% Datolite	0.17124631	0.15375	23	2.9
100% B <sub>4</sub> C	0.22426793	0.15419		2.52

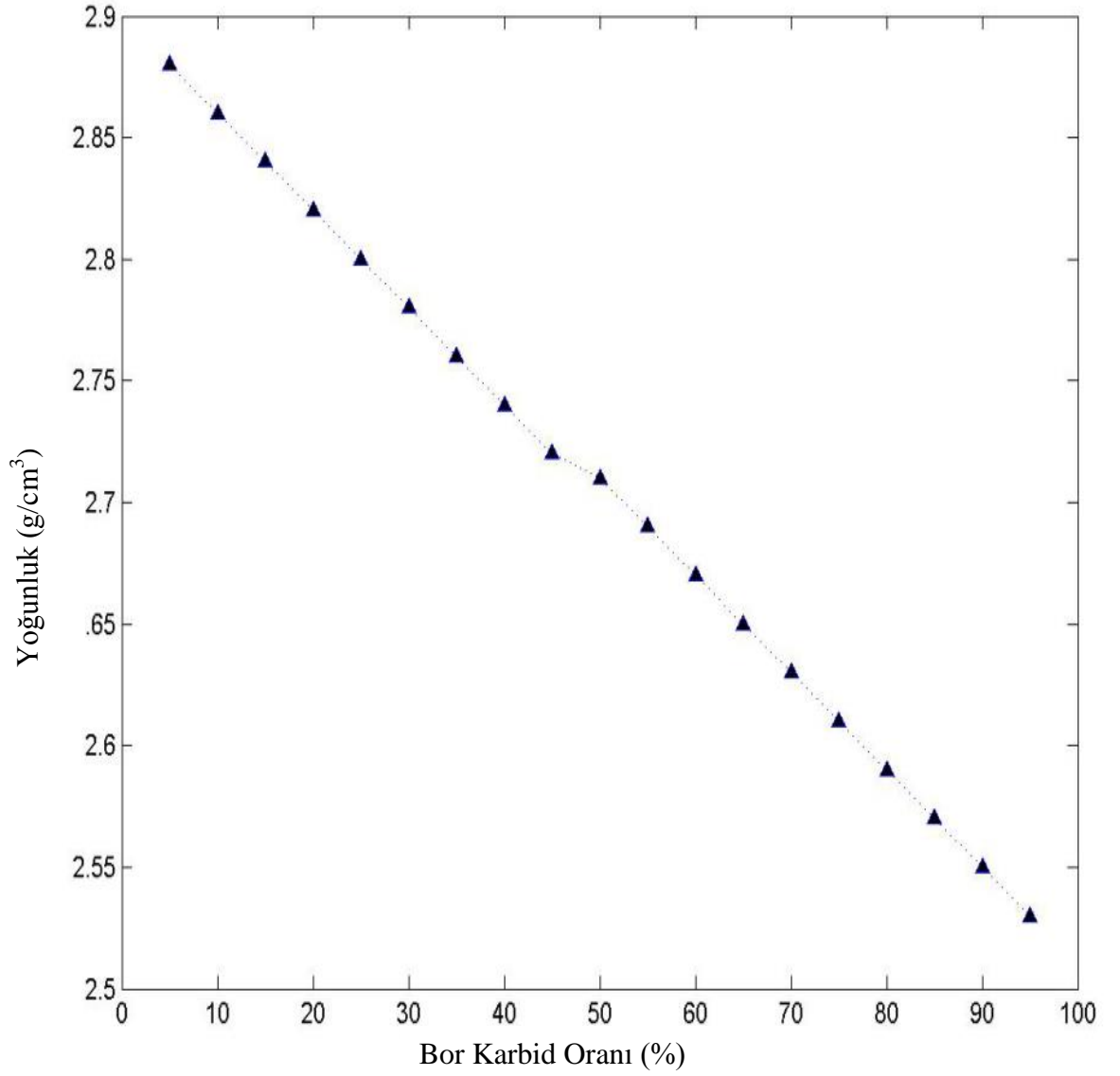


**4.5.4. Datolite ve B<sub>4</sub>C numunesi için Geant4 programı kullanılarak ölçülmüş tesir kesiti ve bor karbid oranı**



**Şekil 4.16.** Bor karbid oranına göre ölçülmüş tesir kesiti

**4.5.5. Datolite ve B<sub>4</sub>C numunesi için Geant4 programı kullanılarak ölçülmüş tesir kesiti ve yoğunluk**



**Şekil 4.17.** Bor karbid oranına göre numunelerin yoğunluğu

#### **4.6. Datolite, Galena ve Bor Katkılı Betonlar**

Nötronların zırhlanmasında nötron tutucu, yoğunluk ve tesir kesiti önemli faktörlerdendir. Ayrıca betonlara ek olarak datolite, galena ve bor ile kaç tür beton üretilmiştir (Çizelge 4.17)

Şekil 4.18'de nötron tutucu, numunedeki tesir kesiti oranına bağlı olarak,GEANT4 kiti kullanılarak belirlenmiştir. Yoğunluğa göre ise tesir kesiti şekil 4.19'da verilmiştir.

Betonların bor ve datolite ve galena oranına göre tesir kesiti, yoğunluk ve nötron tutucu Çizelge 4.17'de gösterilmiştir. Bu veriler 4,5 MeV enerjili 100000 nötronun 1cm kalınlığındaki numunelere etkileşmesi sonucu elde edilmiştir.

#### 4.6.1. Datolite, galena ve bor numunesi için Geant4 programı kullanılarak ölçülmüş tesir kesiti, nötron tutucu ve yoğunluk

**Çizelge 4.17.** Betonların bor, datolite ve galena oranına göre tesir kesiti, yoğunluk ve nötron tutuculuğu

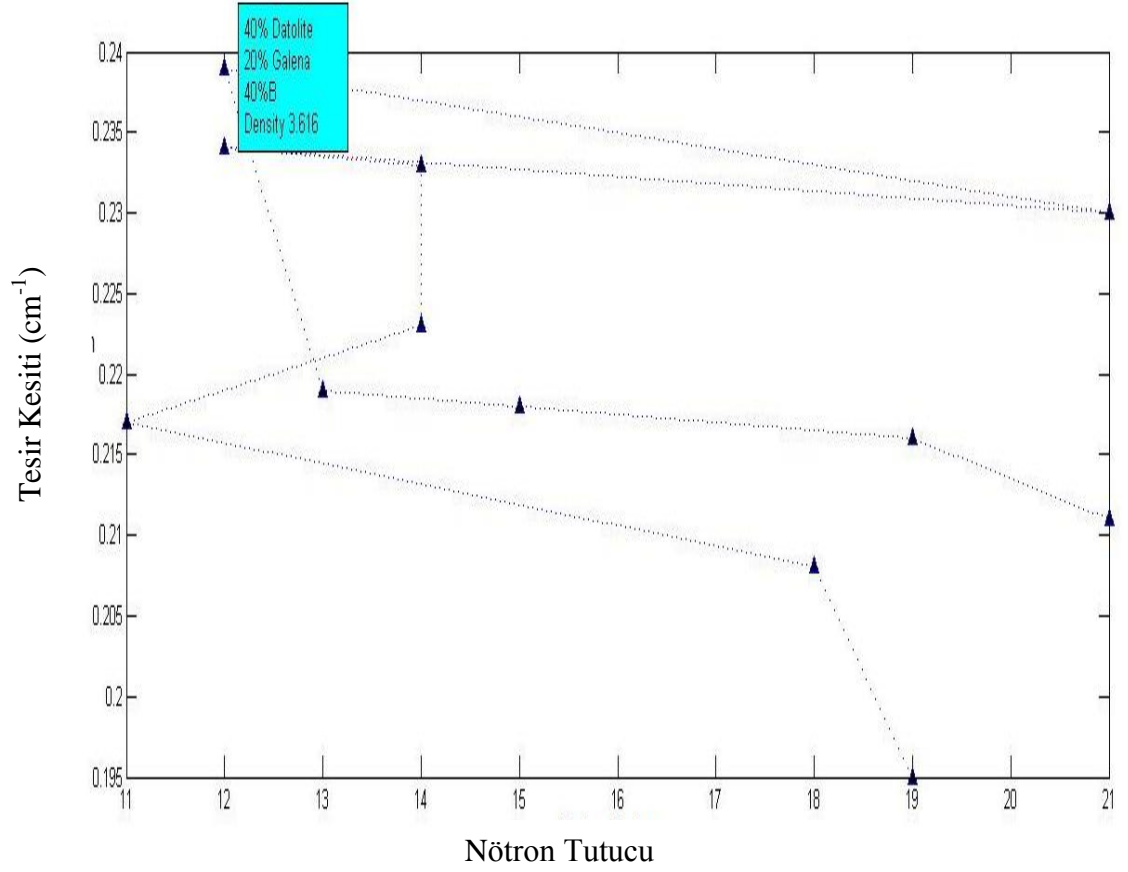
Madde	Tesir Kesiti (cm <sup>-1</sup> )	Nötron tutucu	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )
80% Datolite+10% Galena+10%B	0.19583242	19	3.314
70% Datolite+15% Galena+15%B	0.20809116	18	3.521
60% Datolite+15% Galena+25%B	0.21703599	11	3.465
60% Datolite+25% Galena+15%B	0.22317105	14	3.991
<b>50% Datolite+25% Galena+25%B</b>	<b>0.2337104</b>	<b>14</b>	<b>3.935</b>
<b>50% Datolite+30% Galena+20%B</b>	<b>0.2341287</b>	<b>12</b>	<b>4.198</b>
<b>50% Datolite+20% Galena+30%B</b>	<b>0.2302941</b>	<b>21</b>	<b>3.672</b>
<b>40% Datolite+20% Galena+40%B</b>	<b>0.23903541</b>	<b>12</b>	<b>3.616</b>
50% Datolite+10% Galena+40%B	0.21947031	13	3.146
40% Datolite+40% Galena+20%B	0.2439957	15	4.668
65% Datolite+30% Galena+5%B	0.21622876	19	4.282
70% Datolite+20% Galena+10%B	0.21107789	21	3.784
70% Datolite+10% Galena+20%B	0.20354805	11	3.258
70% Datolite+25% Galena+5%B	0.21118287	14	4.047
70% Datolite+5% Galena+25%B	0.19721755	12	2.995
80% Datolite+15% Galena+5%B	0.19875586	17	3.577
80% Datolite+5% Galena+15%B	0.19046583	14	3.051
90% Datolite+5% Galena+5%B	0.18629825	15	3.161
60% Datolite+20% Galena+20%B	0.22140257	16	3.728
60% Datolite+5% Galena+35%B	0.20468987	6	2.939
60% Datolite+35% Galena+5%B	0.22062797	18	4.517
50% Datolite+40% Galena+10%B	0.22998062	21	4.724
50% Datolite+5% Galena+45%B	0.21040997	6	2.883
50% Datolite+45% Galena+5%B	0.22647409	21	4.987
50% Datolite+35% Galena+15%B	0.23318	14	4.461
50% Datolite+15% Galena+35%B	0.22561661	16	3.409

#### 4.6.2. Datolite, galena ve bor beton numunesi için maddelerin oranı

Çizelge 4.18. Datolite, galena ve borlu betonda maddelerin yüzdesi

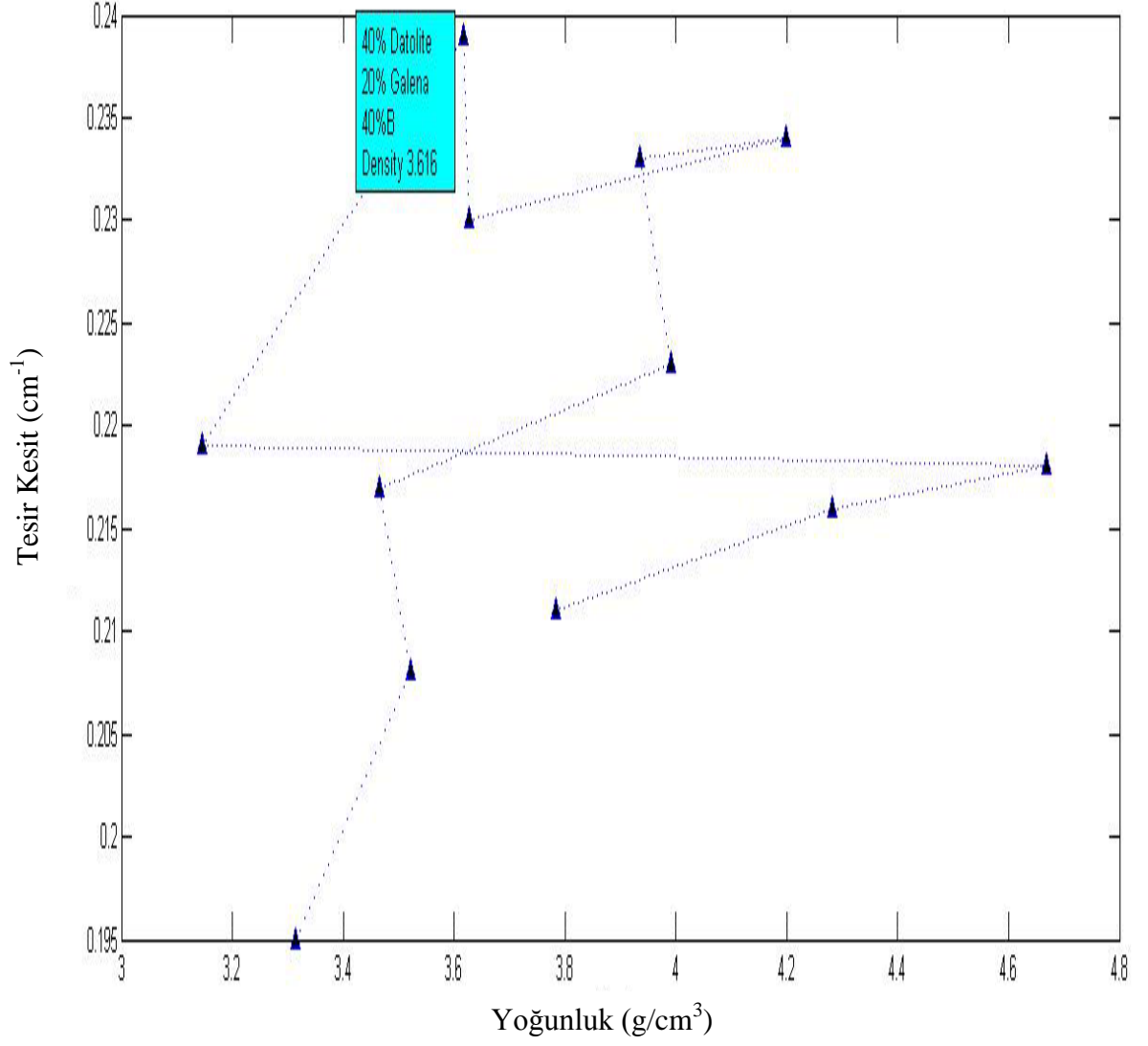
Madde Betón	Datolite (%)	Galena (%)	Bor (%)
1	80	10	10
2	70	15	15
3	60	15	25
4	60	25	15
5	50	25	25
6	50	30	20
7	50	20	30
8	40	20	40
9	50	10	40
10	40	40	20
11	65	30	5
12	70	20	10
13	70	10	25
14	70	25	5
15	70	5	25
16	80	15	5
17	80	5	15
18	90	5	5
19	60	20	20
20	60	5	35
21	60	35	5
22	50	40	10
23	50	5	45
24	50	45	5
25	50	35	15
26	50	15	35

**4.6.3. Datolite, galena ve bor numunesi için Geant4 programı kullanılarak ölçülmüş tesir kesiti ve nötron tutuculuğu**



**Şekil 4.18.** Nötron tutucu kabiliyetine göre numunelerin tesir kesiti

**4.6.4. Datolite, galena ve bor numunesi için Geant4 programı kullanılarak ölçülmüş tesir kesiti, nötron tutucu ve yoğunluk**



**Şekil 4.19.** Numunelerin yoğunluğuna göre ölçülmüş tesir kesiti

#### 4.7. Galena ve bor katkılı betonlar

Nötronların zırhlanmasında nötron tutucu, yoğunluk ve tesir kesiti önemli faktörlerdendir. Ayrıca betonlara ek olarak galena ve bor ile kaç tür beton üretilmiştir (Çizelge 4.20)

Şekil 4.21'de nötron tutucu, numunedeki tesir kesiti oranına bağlı olarak,GEANT4 kiti kullanılarak belirlenmiştir. Yoğunluğa göre ise tesir kesiti Şekil 4.22'de verilmiştir.

Betonların galena ve B oranlarına göre tesir kesiti, yoğunluk ve nötron tutucu Çizelge 4.19'da gösterilmiştir. Bu veriler 4,5 MeV enerjili 100000 nötronun 1cm kalınlığındaki numunelere etkileşmesi sonucu elde edilmiştir.

Şekil 4.20'de galena ve bor beton numunesi gösterilmiştir



**Şekil 4.20.** Galena ve bor beton numunesi



**4.7.1. Galena ve bor numunesi için Geant4 programı kullanılarak ölçülmüş tesir kesiti, nötron tutucu ve yoğunluk**

**Çizelge 4.19.** Betonların galena ve bor oranlarına göre tesir kesiti, yoğunluk ve nötron tutuculuğu

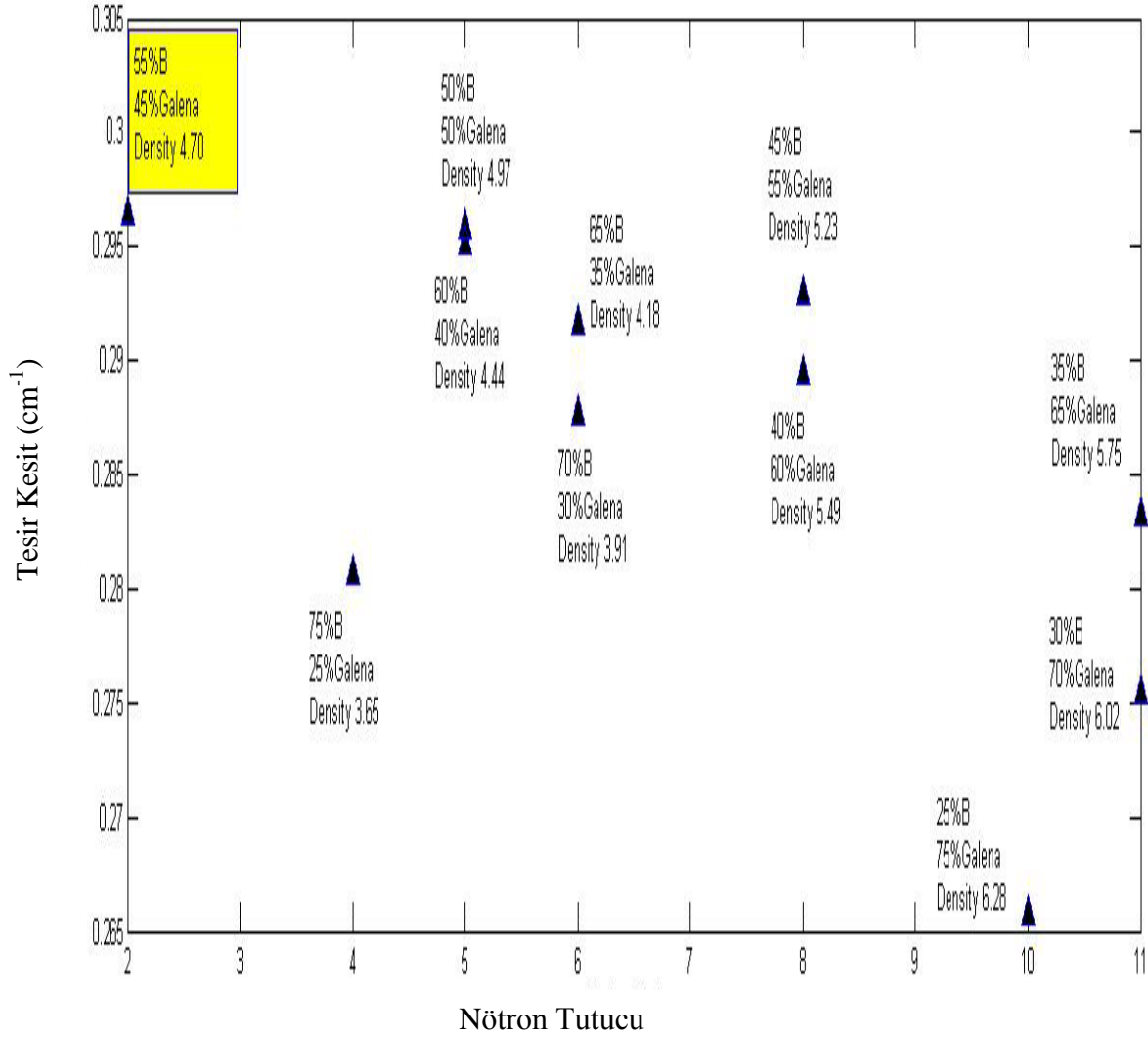
<b>Madde</b>	<b>Tesir Kesiti (cm<sup>-1</sup>)</b>	<b>Nötron Tutucu</b>	<b>Yoğunluk (g/cm<sup>3</sup>)</b>
95%B + 5% PBS	0.2360629	2	2.606
90%B + 10% PBS	0.25027711	2	2.886
85%B + 15%PBS	0.26231717	2	3.129
80%B + 20% PBS	0.27270676	2	3.392
75%B + 25%PBS	0.28071176	4	3.655
70%B + 30%PBS	0.28776874	6	3.918
65%B + 35%PBS	0.29179318	6	4.181
60%B + 40%PBS	0.29526273	5	4.444
<b>55%B + 45%PBS</b>	<b>0.2964228</b>	<b>2</b>	<b>4.707</b>
50%B + 50%PBS	0.29597369	5	4.97
45%B + 55%PBS	0.29298008	8	5.233
40%B + 60%PBS	0.28943027	8	5.496
35%B + 65%PBS	0.28328774	11	5.759
30%B +70%PBS	0.27543998	11	6.022
25%B + 75%PBS	0.2657523	10	6.285
20%B + 80%PBS	0.25446782	12	6.548
15%B + 85%PBS	0.24107333	13	6.811
10%B +90%PBS	0.22508544	15	7.074
5%B + 95%PBS	0.2087871	15	7.337

#### 4.7.2. Galena ve borlu beton numunesi için maddelerin oranı

Çizelge 4.20. Galena ve bor betonda maddelerin yüzdesi

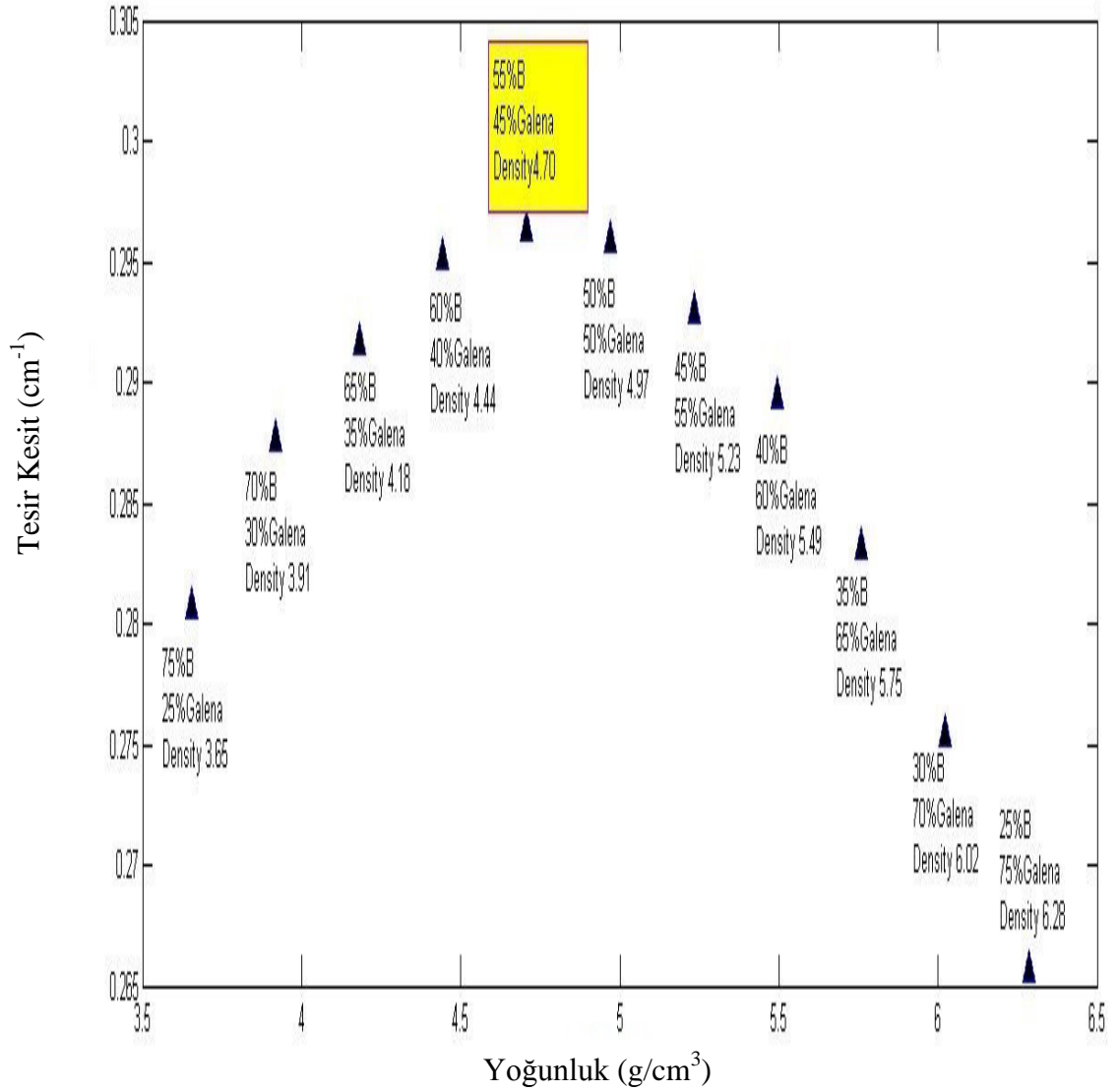
<b>Madde</b>	<b>Beton</b>	<b>Bor</b>	<b>Galena</b>
1		%95	%5
2		%90	%10
3		%85	%15
4		%80	%20
5		%75	%25
6		%70	%30
7		%65	%35
8		%60	%40
9		%55	%45
10		%50	%50
11		%45	%55
12		%40	%60
13		%35	%65
14		%30	%70
15		%25	%75
16		%20	%80
17		%15	%85
18		%10	%90
19		%5	%95

### 4.7.3. Galena ve bor numunesi için Geant4 programı kullanılarak ölçülmüş tesir kesiti ve nötron tutuculuğu



Şekil 4.21. Nötron tutucu kabiliyetine göre numunelerin tesir kesiti

**4.7.4. Galena bor numunesi için Geant4 programı kullanılarak ölçülmüş tesir kesiti, nötron tutucu ve yoğunluk**



**Şekil 4.22.** Numunelerin yoğunluğuna göre ölçülmüş tesir kesiti

#### 4.8. Galena ve B<sub>4</sub>C katkılı betonlar

Nötronların zırhlanmasında nötron tutucu, yoğunluk ve tesir kesiti önemli faktörlerdendir. Ayrıca betonlara ek olarak galena ve bor karbid ile kaç tür beton üretilmiştir (Çizelge 4.22).

Şekil 4.24'de nötron tutucu, numunedeki tesir kesiti oranına bağlı olarak,GEANT4 kiti kullanılarak belirlenmiştir. Yoğunluğa göre ise tesir kesiti şekil 4.25'da verilmiştir.

Betonların, B<sub>4</sub>C ve galena oranına göre tesir kesiti, yoğunluk ve nötron tutucu Çizelge 4.21'de gösterilmiştir. Bu veriler 4,5 MeV enerjili 100000 nötronun 1cm kalınlığındaki numunelere etkileşmesi sonucu elde edilmiştir.

Şekil 4.23'de galena ve bor karbit beton numunesi gösterilmiştir.



Şekil 4.23. Galena ve bor karbit beton numunesi

**4.8.1. Galena ve B<sub>4</sub>C numunesi için Geant4 programı kullanılarak ölçülmüş tesir kesiti, nötron tutucu ve yoğunluk**

**Çizelge 4.21.** Betonların, B<sub>4</sub>C ve galena oranına göre tesir kesiti, yoğunluk ve nötron tutuculuğu

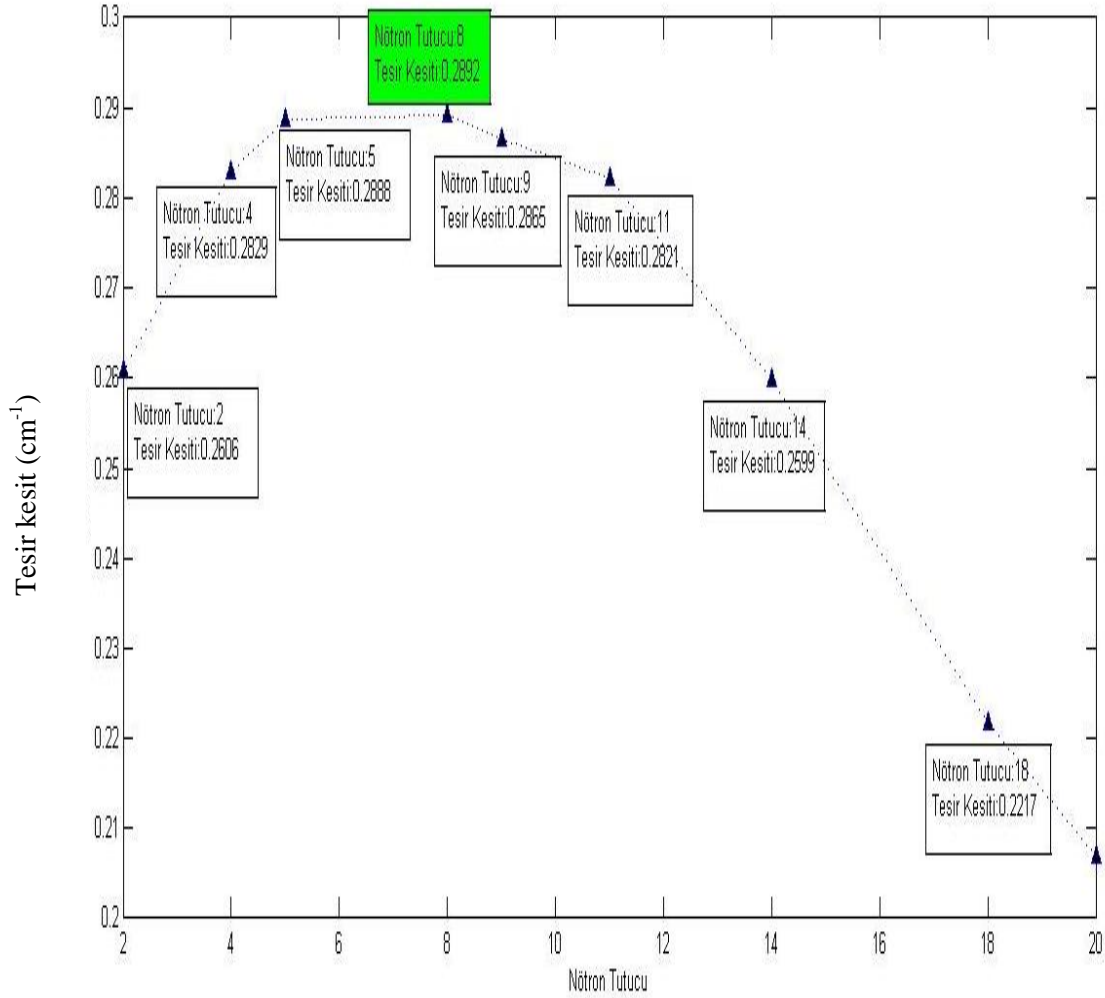
<b>Madde</b>	<b>Tesir Kesiti (cm<sup>-1</sup>)</b>	<b>Nötron Tutucu</b>	<b>Yoğunluk (g/cm<sup>3</sup>)</b>
5% B <sub>4</sub> C+95% PBS	0.206962671	20	7.6
10% B <sub>4</sub> C+90PBS	0.221739537	18	7.092
15% B <sub>4</sub> C+85% PBS	0.236877431	12	6.838
20% B <sub>4</sub> C+80%PBS	0.249168019	13	6.584
25% B <sub>4</sub> C+75% PBS	0.259999463	14	6.33
30% B <sub>4</sub> C+70% PBS	0.269149532	10	6.076
35% B <sub>4</sub> C+65% PBS	0.276289877	4	5.822
40% B <sub>4</sub> C+60% PBS	0.282124213	11	5.568
45% B <sub>4</sub> C+55% PBS	0.286514754	9	5.314
<b>50% B<sub>4</sub>C+50% PBS</b>	<b>0.289220589</b>	<b>8</b>	<b>5.06</b>
55% B <sub>4</sub> C+45% PBS	0.288880123	5	4.806
60% B <sub>4</sub> C+40% PBS	0.28829426	9	4.552
65% B <sub>4</sub> C+35% PBS	0.28662663	5	4.298
70% B <sub>4</sub> C+30% PBS	0.282943982	4	4.044
75% B <sub>4</sub> C+25% PBS	0.277399124	4	3.79
80% B <sub>4</sub> C+20% PBS	0.27010283	1	3.536
85% B <sub>4</sub> C+15% PBS	0.260706539	2	3.282
90% B <sub>4</sub> C+10% PBS	0.249846934	2	3.028
95% B <sub>4</sub> C+5% PBS	0.23731474	1	2.774

#### 4.8.2. Galena ve B<sub>4</sub>C beton numunesi için maddelerin oranı

Çizelge 4.22. Galena ve bor karbit betonda maddelerin yüzdesi

Madde Betón	Galena	Bor Karbit
1	%95	%5
2	%90	%10
3	%85	%15
4	%80	%20
5	%75	%25
6	%70	%30
7	%65	%35
8	%60	%40
9	%55	%45
10	%50	%50
11	%45	%55
12	%40	%60
13	%35	%65
14	%30	%70
15	%25	%75
16	%20	%80
17	%15	%85
18	%10	%90
19	%5	%95

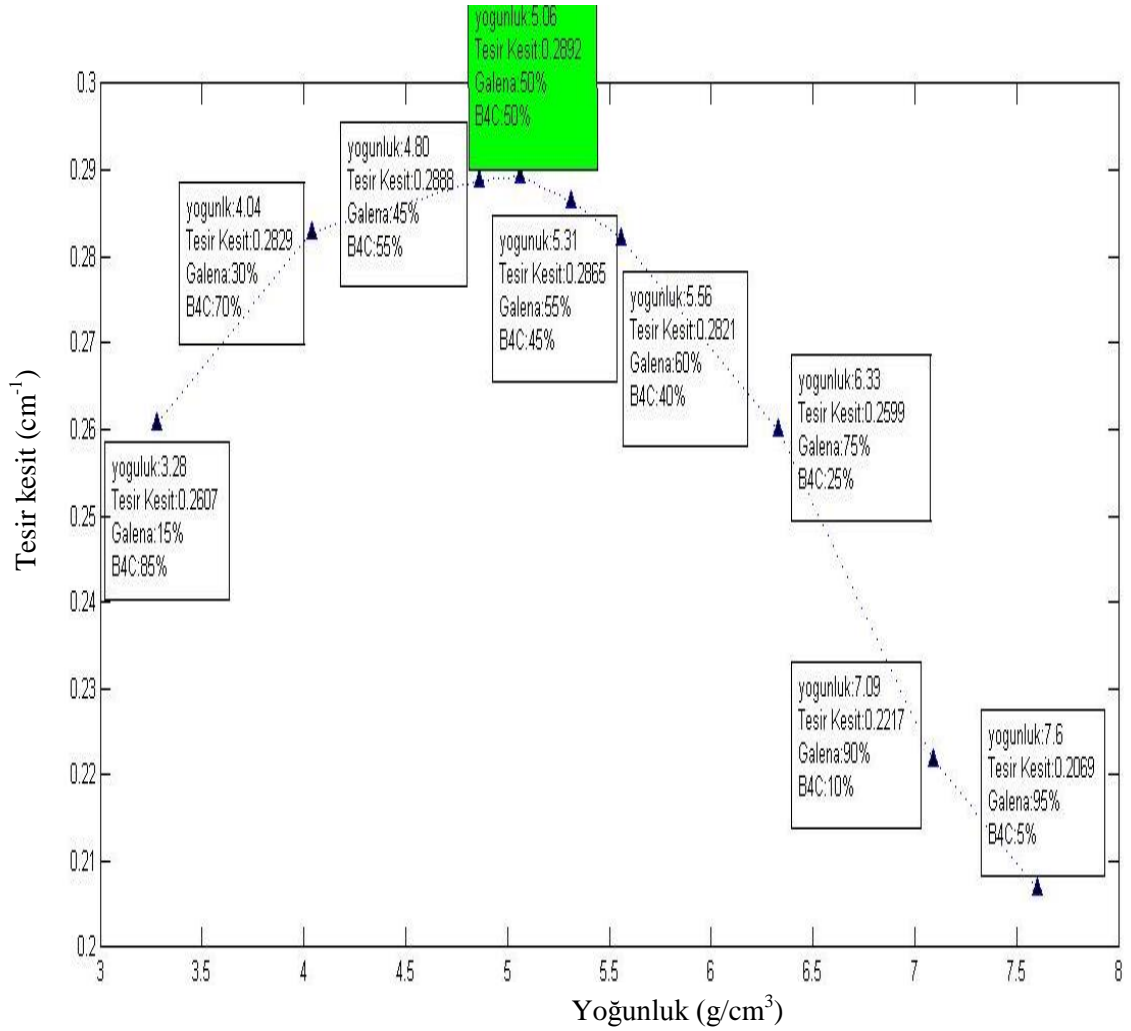
### 4.8.3. Galena B<sub>4</sub>C numunesi için Geant4 programı kullanılarak ölçülmüş tesir kesiti ve nötron tutuculuğu



Şekil 4.24. Nötron tutucu kabiliyetine göre numunelerin tesir kesiti



#### 4.8.4. Galena B<sub>4</sub>C numunesi için Geant4 programı kullanılarak ölçülmüş tesir kesiti ve yoğunluk



Şekil 4.25. Numunelerin yoğunluğuna göre ölçülmüş tesir kesiti

#### 4.9. Numune üretimi

Numune üretimi aşamasından önce Monte Carlo Simülasyon programının GEANT4 kodu kullanılarak üretimde kullanılan malzemeler ve kütlece birleşim oranları belirlendi.

**Çizelge 4.23.** Numune üretiminde kullanılan malzemelerin kütlece oranları

Numune Kodu	Malzeme	Birleşim Oranı(%)	50,100 ve 150 g Numune içindeki ağırlığı (g)
BC1a*	Galena (PbS)	12,5(50%)	6,25
	Bor karbid ( $B_4C$ )	12,5(50%)	6,25
	Beton (B02)	75	37,5
BC1b	Galena (PbS)	12,5(50%)	12,5
	Bor karbid ( $B_4C$ )	12,5(50%)	12,5
	Beton (B04)	75	75
BC1c	Galena (PbS)	12,5(50%)	18,75
	Bor karbid ( $B_4C$ )	12,5(50%)	18,75
	Beton (B05)	75	112,5

\*BC: Bor karbidli Beton

**Çizelge 4.24.** Numune üretiminde kullanılan malzemelerin kütlece oranları

Numune Kodu	Malzeme	Birleşim Oranı(%)	50 g Numune içindeki ağırlığı	Tesir Kesiti ( $cm^{-1}$ )
BC2	Galena (PbS)	17(65%)	8,72	0,2762
	Borkarbid ( $B_4C$ )	8(35%)	4,37	
	Beton (B02)	75	37,5	
BC3	Galena (PbS)	18,7(75%)	9,3	0,2599
	Borkarbid ( $B_4C$ )	6,3 (25%)	3,12	
	Beton (B02)	75	37,5	
BC4	Galena (PbS)	6,3(25%)	3,12	0,2773
	Borkarbid ( $B_4C$ )	18,7(75%)	9,3	
	Beton (B02)	75	37,5	
BC5	Galena (PbS)	2,5(10%)	1,25	0,2498
	Borkarbid ( $B_4C$ )	22,5(90%)	11,2	
	Beton (B02)	75	37,5	

**Çizelge 4.25.** Numune üretiminde kullanılan malzemelerin kütlece oranları

Numune Kodu	Malzeme	Birleşim Oranı(%)	100 ve 50 g Numune içindeki ağırlığı (g)	Tesir Kesiti (cm <sup>-1</sup> )
B1*	Galena (PbS)	11,25(55%)	11,25	0,2929
	Bor (B)	13,75(45%)	13,75	
	Beton (B03)	74	74	
	Demir (Fe)	1	1	
B2	Galena (PbS)	14,4(60%)	7,2	0,2894
	Bor (B)	9,6(40%)	4,8	
	Beton (B01)	74	37	
	Demir (Fe)	1	0,5	
B3	Galena (PbS)	16,8(70%)	8,4	0,2754
	Bor (B)	7,2(30%)	3,6	
	Beton (B01)	74	37	
	Demir (Fe)	1	0,5	
B4	Galena (PbS)	9,2(80%)1	4,6	0,2544
	Bor (B)	4,8(20%)	2,4	
	Beton (B01)	74	37	
	Demir (Fe)	1	0,5	
B5	Galena (PbS)	13,75(45%)	6,87	0,2964
	Bor (B)	11,25(55%)	5,62	
	Beton (B01)	74	37	
	Demir (Fe)	1	0,5	
B6	Galena (PbS)	8,4 (35%)	4,2	0,2917
	Bor (B)	13,6(65%)	6,8	
	Beton (B01)	74	37	
	Demir (Fe)	1	0,5	

\*B: Borlu beton

Yukarıdaki çizelgelerde malzemeler belirlenen oranlarda toz formundaki galena (PbS), borkarbid (B<sub>4</sub>C) malzemeleri beton içerisine katılarak homojen olacak şekilde 15 dakika süreyle karıştırıldı. Karışım sırasında 1 mm çapındaki çelik çubuk ile şişlenerek hava kabarcıklarının oluşması önlenildi ve BC numuneleri üretildi. Aynı şekilde toz formundaki galena (PbS), bor (B) malzemeleri beton içerisine katılarak homojen olacak şekilde 15 dakika süreyle karıştırıldı. Karışım sırasında 1 mm çapındaki çelik çubuk ile şişlenerek hava kabarcıklarının oluşması önlenildi ve B numuneleri üretildi. Kalıplara konularak 24-26 °C sıcaklık altında 28 gün boyunca kurumaya bırakıldı.

#### 4.10. Beton Üretimi

Beton üretimi aşamasından önce Monte Carlo Simülasyon programının GEANT4 kodu kullanılarak üretimde kullanılan malzemeler ve kütlece birleşim oranları belirlendi.

**Çizelge 4.26.** Numune üretiminde kullanılan malzemelerin kütlece oranları

Beton kodu	Beton Ağırlığı (g)	Malzeme	Birleşim Oranı (%)	Numune içindeki ağırlığı (g)
B01	37	Kum	70	25,9
		Çimento	20	7,4
		Su	10	3,7
B02	37,5	Kum	70	26,25
		Çimento	20	7,5
		Su	10	3,7
B03	74	Kum	70	51,8
		Çimento	20	14,8
		Su	10	7,4
B04	75	Kum	70	52,5
		Çimento	20	15
		Su	10	7,5
B05	112,5	Kum	70	105
		Çimento	20	30
		Su	10	15

Yukarıdaki Çizelgelerde malzemeler belirlenen oranlarda toz formundaki kum, çimento, su malzemeleri katılarak homojen olacak şekilde 15 dakika süreyle karıştırıldı. Karışım sırasında 1 mm çapındaki çelik çubuk ile şişlenerek hava kabarcıklarının oluşması önlenildi ve çizelge 4.26'da özellikleri belirtilen B0 kodlu numuneler üretildi.

#### 4.11. Galena ve barit ile yapılan karma lifli ağır beton

Bu çalışmada galena ve barit ile karma lifli beş tür ağır beton üretilmiştir. Teorik olarak elde edilen barit agregali ağır betonların bileşenleri Çizelge 4.27, 4.28, 4.29, 4.30 ve 4.31'de verilmiştir. Çimento miktarı, tüm ağır betonlarda aynı olduğu için içerisindeki bileşiklerin değerleri de sabit olacaktır (Çizelge 4.32).

**Çizelge 4.27.** %100 Barit agregalı ağır betonun içerisindeki bileşikleri

	Malzame Adı	Hacim (dm <sup>3</sup> )	Yoğunluk (kg/dm <sup>3</sup> )	Ağırlık (kg)	1 dm <sup>3</sup> için gereken ağırlık (kg)
1	Su	192.5	1	192.5	0.193
2	Çimento	112.9	3.1	350	0.350
3	Hava	10.0	-	-	
4	Akışkanlaştırıcı	3.2	1.1	4	0.004
5	Agrega	681.4			
	Barit				
	8/16 (%25)	170.4	4.27	727	0.727
	4/8 (%25)	170.4	4.27	727	0.727
	2/4 (%25)	170.4	4.04	688	0.688
	0/2 (%25)	170.4	4.04	688	0.688
<b>Teorik Birim Ağırlık</b>				<b>3377</b>	<b>3.377</b>

**Çizelge 4.28.** %70 Barit + %30 galena agregalı ağır betonun içerisindeki bileşikleri

	Malzame Adı	Hacim (dm <sup>3</sup> )	Yoğunluk (kg/dm <sup>3</sup> )	Ağırlık (kg)	1 dm <sup>3</sup> için gereken ağırlık (kg)
1	Su	192.5	1	192.5	0.193
2	Çimento	112.9	3.1	350	0.350
3	Hava	10.0	-	-	
4	Akışkanlaştırıcı	3.2	1.1	3.5	0.004
5	Agrega	681.4			
	Barit	477.0			
	8/16 (%25)	119.2	4.27	509	0.509
	4/8 (%25)	119.2	4.27	509	0.509
	2/4 (%25)	119.2	4.04	482	0.482
	0/2 (%25)	119.2	4.04	482	0.482
	Galena	204.4			
	8/16 (%25)	51.1	5.96	305	0.305
	4/8 (%25)	51.1	5.96	305	0.305
	2/4 (%25)	51.1	5.52	282	0.282
	0/2 (%25)	51.1	5.52	282	0.282
<b>Teorik Birim Ağırlık</b>				<b>3701</b>	<b>3.701</b>

**Çizelge 4.29.** %70 Barit + %30 galena agregalı + çelik lifli ağır betonun içerisindeki bileşikleri

	Malzame Adı	Hacim (dm <sup>3</sup> )	Yoğunluk (kg/dm <sup>3</sup> )	Ağırlık (kg)	1 dm <sup>3</sup> için gereken ağırlık (kg)
1	Su	192.5	1	192.5	0.193
2	Çimento	112.9	3.1	350	0.350
3	Hava	10.0	-	-	
4	Akışkanlaştırıcı	3.2	1.1	3.5	0.004
5	Çelik lif	10.0	7.85	78.5	0.079
6	Agrega	671.4			
	Barit	470.0			
	8/16 (%25)	117.5	4.27	502	0.502
	4/8 (%25)	117.5	4.27	502	0.502
	2/4 (%25)	117.5	4.04	475	0.475
	0/2 (%25)	117.5	4.04	475	0.475
	Galena	201.4			
	8/16 (%25)	50.4	5.96	300	0.300
	4/8 (%25)	50.4	5.96	300	0.300
	2/4 (%25)	50.4	5.52	278	0.278
	0/2 (%25)	50.4	5.52	278	0.278
<b>Teorik Birim Ağırlık</b>				<b>3733</b>	3.733

**Çizelge 4.30.** %70 Barit + %30 galena agregalı + çelik lifli + pp lifli ağır betonun içerisindeki bileşikleri

	Malzame Adı	Hacim (dm <sup>3</sup> )	Yoğunluk (kg/dm <sup>3</sup> )	Ağırlık (kg)	1 dm <sup>3</sup> için gereken ağırlık (kg)
1	Su	192.5	1	192.5	0.193
2	Çimento	112.9	3.1	350	0.350
3	Hava	10.0	-	-	
4	Akışkanlaştırıcı	3.2	1.1	3.5	0.004
5	Çelik lif	10.0	7.85	79	0.079
6	PP lif	3.0	0.91	3	
7	Agrega	668.4			
	Barit	467.9			
	8/16 (%25)	117.0	4.27	499	0.499
	4/8 (%25)	117.0	4.27	499	0.499
	2/4 (%25)	117.0	4.04	473	0.473
	0/2 (%25)	117.0	4.04	473	0.473
	Galena	200.5			
	8/16 (%25)	50.1	5.96	299	0.299
	4/8 (%25)	50.1	5.96	299	0.299
	2/4 (%25)	50.1	5.52	277	0.277
	0/2 (%25)	50.1	5.52	277	0.277
<b>Teorik Birim Ağırlık</b>				<b>3722</b>	3.722

**Çizelge 4.31.** %70 Barit + %30 galena agregalı + çelik lifli + monofilament pp lifli ağır betonun içerisindeki bileşikleri

	Malzame Adı	Hacim (dm <sup>3</sup> )	Yoğunluk (kg/dm <sup>3</sup> )	Ağırlık (kg)	1 dm <sup>3</sup> için gereken ağırlık (kg)
1	Su	192.5	1	192.5	0.193
2	Çimento	112.9	3.1	350	0.350
3	Hava	10.0	-	-	
4	Akışkanlaştırıcı	3.2	1.1	3.5	0.004
5	Çelik lif	10.0	7.85	79	0.079
6	Monofilament PP lif	3.0	0.91	3	
7	Agrega	668.4			
	Barit	467.9			
	8/16 (%25)	117.0	4.27	499	0.499
	4/8 (%25)	117.0	4.27	499	0.499
	2/4 (%25)	117.0	4.04	473	0.473
	0/2 (%25)	117.0	4.04	473	0.473
	Galena	200.5			
	8/16 (%25)	50.1	5.96	299	0.299
	4/8 (%25)	50.1	5.96	299	0.299
	2/4 (%25)	50.1	5.52	277	0.277
	0/2 (%25)	50.1	5.52	277	0.277
<b>Teorik Birim Ağırlık</b>				<b>3722</b>	<b>3.722</b>

**Çizelge 4.32.** Barit agregalı ağır betondaki çimento bileşiklerinin miktarları

Bileşikler	Bileşik miktar oranı (%)
SiO <sub>2</sub>	18,10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,48
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,09
CaO	63,65
MgO	2,58
SO <sub>3</sub>	2,84
Na <sub>2</sub> O	0,21
K <sub>2</sub> O	0,62
Cl	0,015
Serbest CaO	0,44

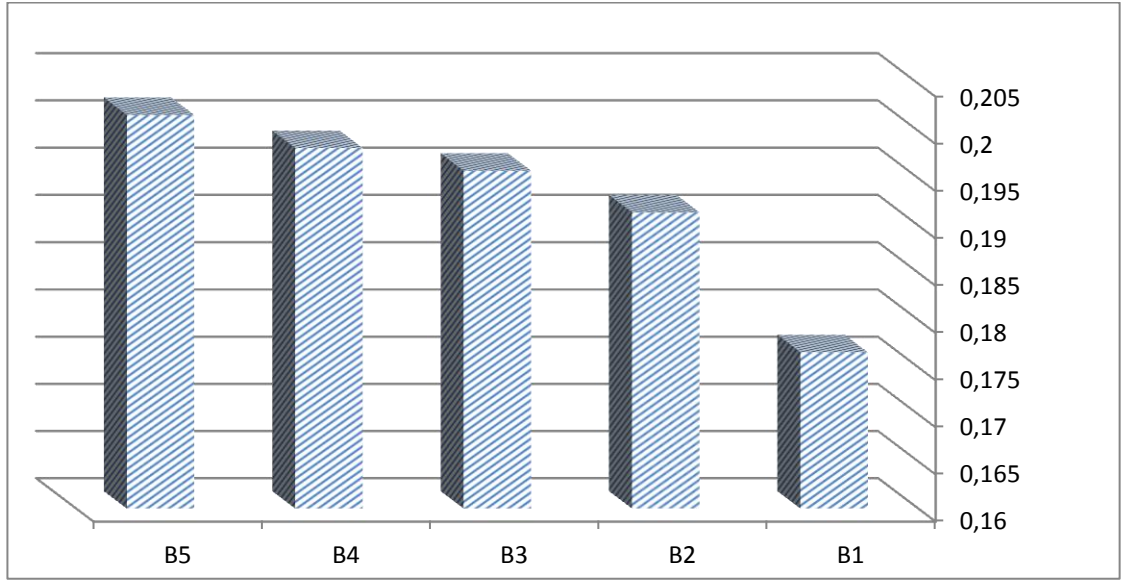
Şekil 4.26'da betonların türüne göre tesir kesiti grafiği,GEANT4 kiti kullanılarak belirlenmiştir. Yoğunluğa göre ise Şekil 4.27'de gösterilmiştir.

Betonların, barit ve galena oranına göre tesir kesiti, yoğunluk ve nötron tutuculuğu değerleri Çizelge 4.33'de gösterilmiştir. Bu veriler 4,5 MeV enerjili 100000 nötronun 5,5cm kalınlığındaki numunelere etkileşmesi sonucu elde edilmiştir.

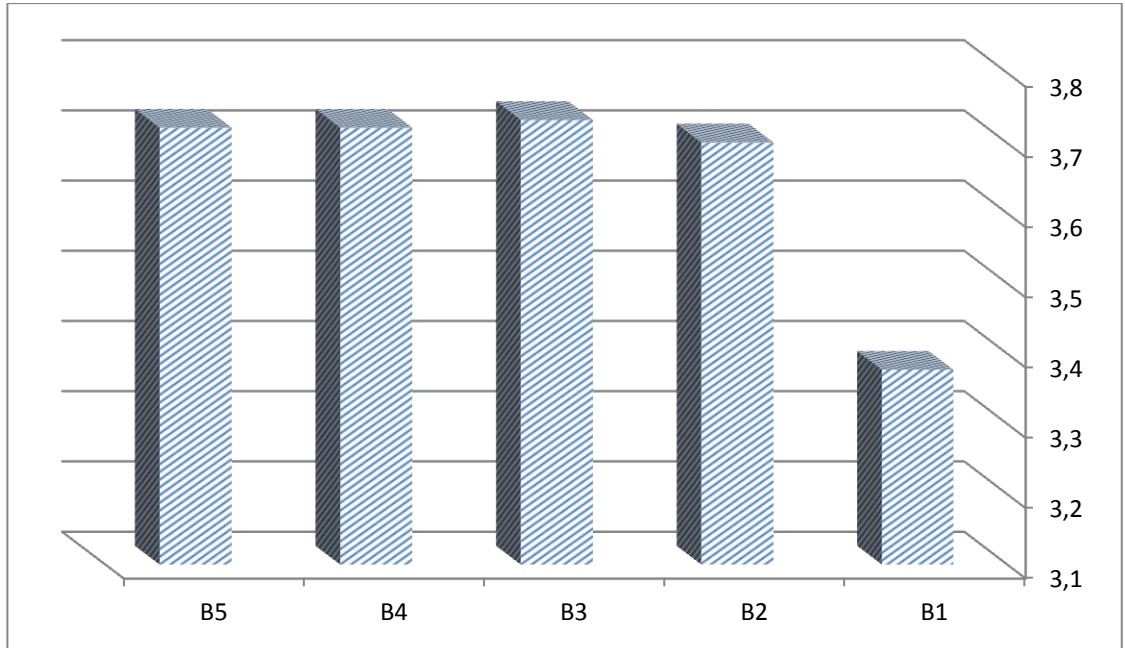
**Çizelge 4.33.** Betonların, barit ve galena oranına göre tesir kesiti, yoğunluk ve nötron tutuculuğu

<b>Madde</b>	<b>Tesir Kesiti (cm<sup>-1</sup>)</b>	<b>Nötron Tutucu</b>	<b>Yoğunluk (g/cm<sup>3</sup>)</b>
% 100 Barit	0,1766	24	3,377
% 70 Barit + %30 Galena	0,1914	19	3,701
% 70 Barit + %30 Galena + Çelik lif	0,1958	19	3,733
% 70 Barit + %30 Galena + Çelik lif + PP lif	0,1982	24	3,722
% 70 Barit + %30 Galena + Çelik lif + Monofilament PP lif	0,2017	36	3,722





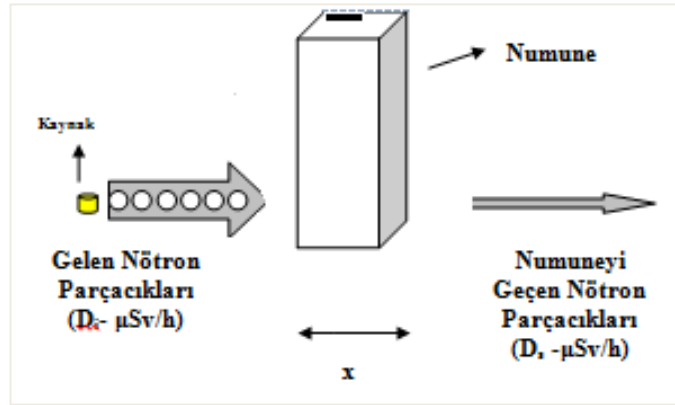
Şekil 4.26. Betoların türüne göre tesir kesiti grafiği



Şekil 4.27. Betoların türüne göre yoğunluk grafiği

#### 4.12. Numune Ölçüm Sistemi

Ölçüm sisteminin şematik olarak gösterimi Şekil 3.8’de verilmiştir. İlk olarak transmisyon geometrisine uygun bir şekilde dedektör ile kaynak arasında herhangi bir numune olmadan boş eşdeğer ölçümü yapılmıştır.



Şekil 4.28. Numune ölçüm sistemi

$D_i$  = Gelen nötronların eşdeğer doz oranı

$D_s$  = Numuneyi geçen nötronların eşdeğer doz oranı

$T$  = Doz Transmisyonu =  $D_s / D_i$

Kaynak ile dedektör arasına kompozit malzeme şeklinde hazırlanan numuneler konularak doz eşdeğeri ölçümleri yapılmıştır. Her bir numune için  $\mu\text{Sv/saat}$  birimindeki doz eşdeğeri değerleri belirlenmiştir. Ölçümler her numune için 30 dakika sürmüştür. Deneysel olarak sayım sonuçları elde edilmiştir ve tüm bu sonuçların ortalaması kullanılmıştır.

## 5. SONUÇ ve TARTIŞMA

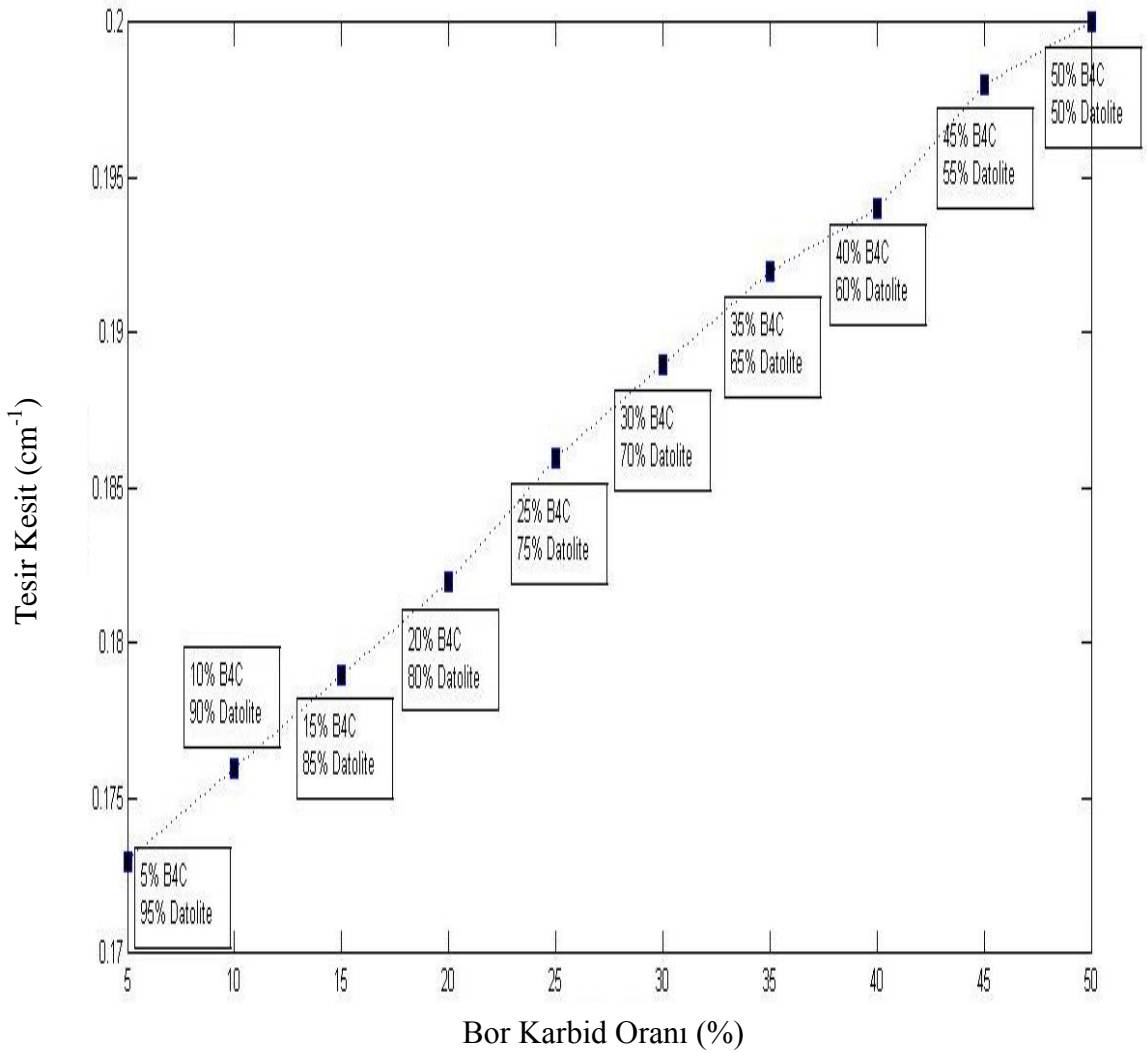
Barit ve galena maddelerinin yüksek yoğunluğa sahip olması nedeni ile nötron parçacıklarının durdurulmasında ve  $\gamma$  veya X-ışını zırlamasında büyük bir öneme sahiptirler. Bor karbit ve bor maddeleri nötronların yakalanmasında çok etkilidirler. Nötron parçacıkları hafif elementlerle durdurulabilir. Çünkü nötronlar hafif elementlerle elastik ve inelastik saçılmalar yaparak enerjilerini kaybederler ve soğrulma ihtimalleri artar. Başlangıç enerjileri 1MeV düzeyinde olan nötronların enerjileri eV bölgesine azalana kadar birçok saçılma işlemine uğrarlar. Bu düşük enerjileri nötronların rezonanslarda veya rezonanslar dışında soğrulma olasılığı yüksektir.

Günümüzde canlıların radyasyona maruz kalma ihtimali ve süresi yüksek seviyelere çıkmıştır ve radyasyon hasarlarına bağlı hastalıkların oranı gün geçtikçe artmaktadır. Bu oranı düşürmek için radyasyon karakteristikleri iyi bilinmeli, radyasyondan korunma kurallarına uyulmalı ve radyasyon yayan radyoaktif materyaller uygun malzemeler kullanılarak zırhlmalıdır. Radyasyon zırlama teknolojilerinde kullanılacak malzemelerin öncelikle zırlama performanslarının iyi olmasının yanı sıra ucuz olmaları da tercih edilmektedir.

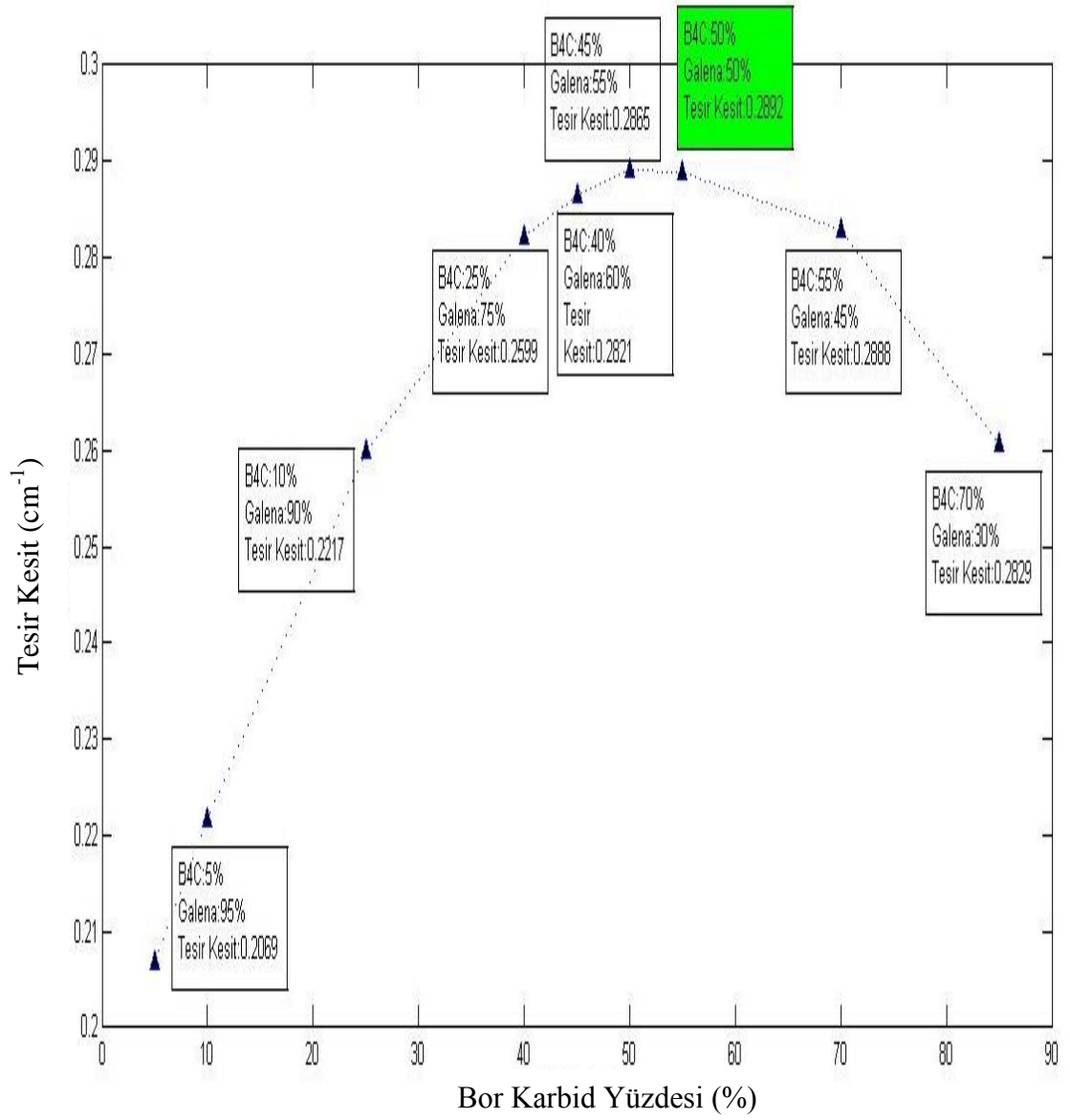
Günümüzde gama radyasyonunu zırlamak için beton içeren kompozit materyaller, kurşun bloklar ve demir gibi çeşitli metal tabakalar kullanılırken, nötron radyasyonu için genellikle hidrojen zengin parafin ve su gibi materyaller kullanılmaktadır. Nötron parçacıklarının yavaşlatılması için hidrojen veya hidrat içerikli materyaller, yakalanması için ise atom numarası düşük bor karbit ve bor içeren malzemelerin uygun olduğu bilinmektedir. Bu tez çalışmasında bor karbit, bor ve barit içerikli bir kaç bileşik için nötron zırlama parametreleri deneysel ve Geant4 simülasyon kodu kullanılarak belirlenmiştir.

### 5.1. Tesir kesiti

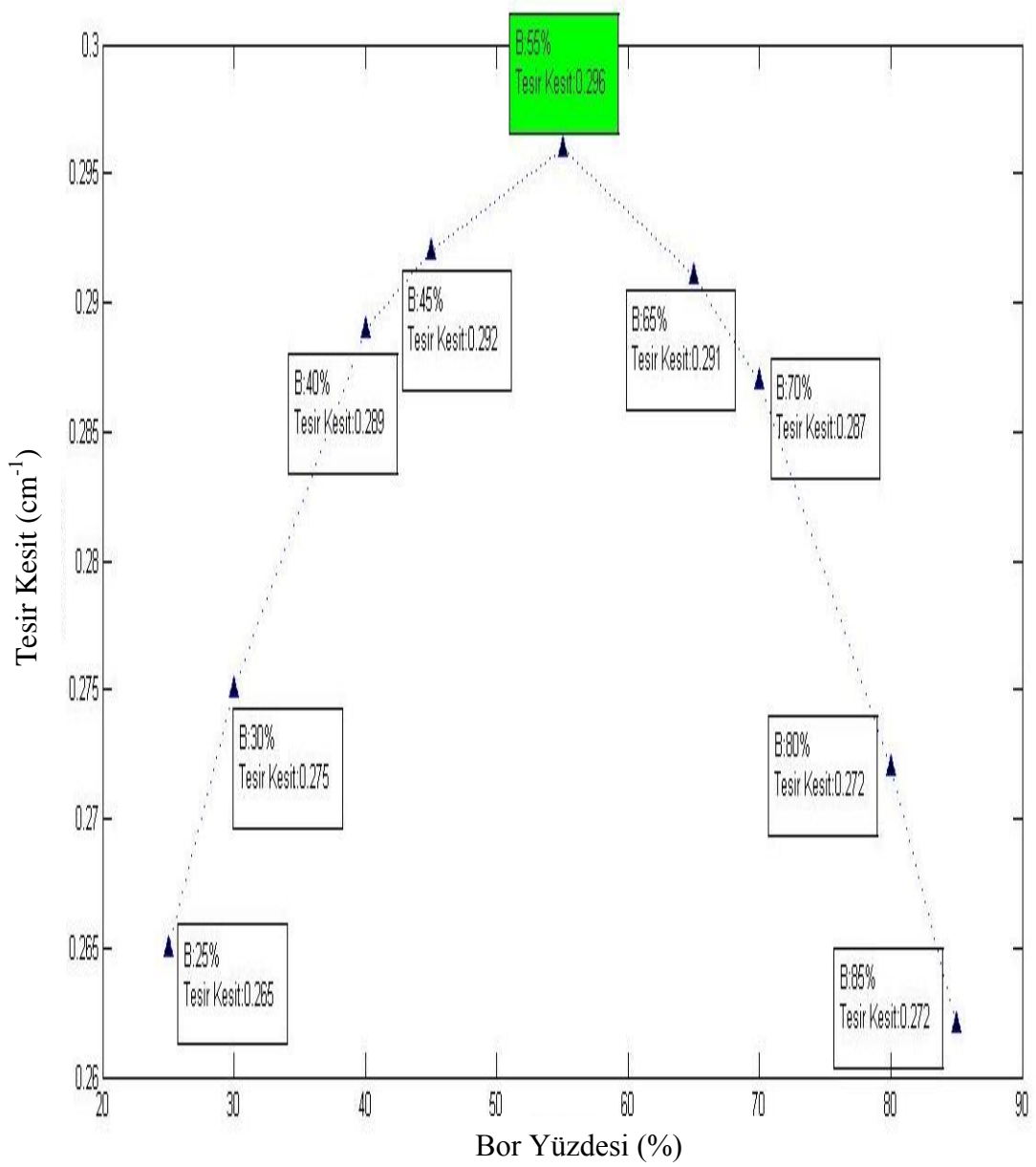
Numuneler 4.5 MeV etkin enerjili  $^{241}\text{Am}/\text{Be}$  nötron kaynağından çıkan nötronlarla bombardıman edilmiştir. Şekil 5.1'de bor karbit ve datolite bileşiklerin, şekil 5.2'de ise bor karbit ve galena bileşiklerin bor karbit yüzdelere karşı, şekil 5.3'de ise bor ve galena bileşiklerin bor yüzdelere karşı Geant4 programı kullanılarak elde edilen tesir kesiti grafikleri gösterilmiştir. Şekil 5.4'de barit ve galena ile yapılan karma lifli ağır betonunun lif türlerine karşı Geant4 programı kullanılarak elde edilen tesir kesiti grafiği gösterilmiştir.



**Şekil 5.1.** Datoite ve bor karbidli betonun B<sub>4</sub>C yüzdelere göre çizilmiş tesir kesiti grafiği



**Şekil 5.2.** Galena ve bor karbidli betonun B<sub>4</sub>C yüzdelere göre çizilmiş tesir kesiti grafiği

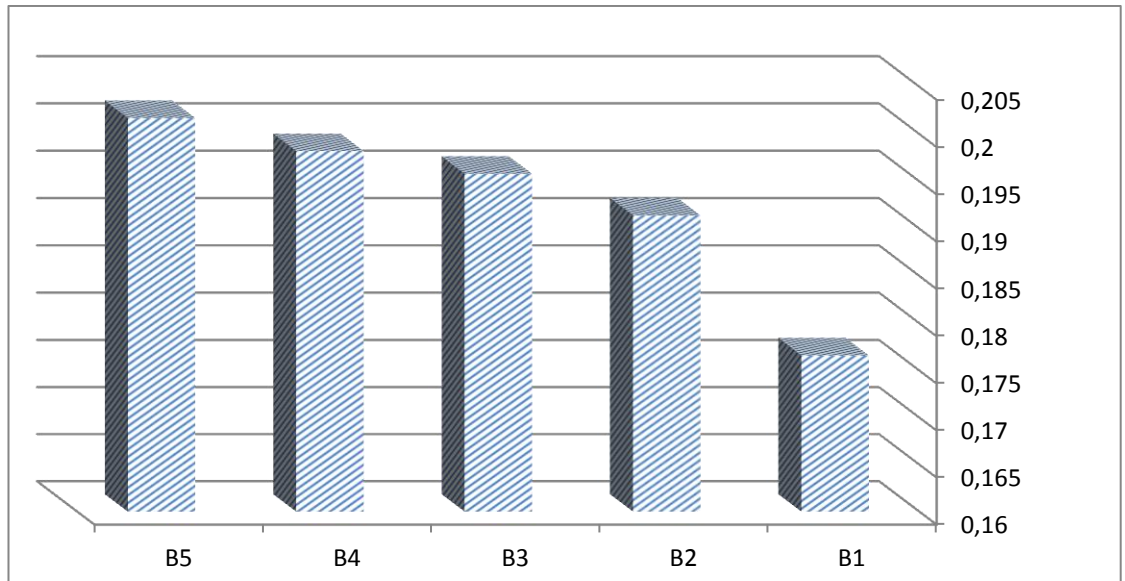


**Şekil 5.3.** Galena ve borlu betonun bor yüzdelere göre çizilmiş tesir kesiti grafiği

Şekil 5.1'e göre 4.5 MeV enerjili nötron enerjisini azaltmak için on bileşik arasında en kullanışlı olanlar en yüksek bor karbid oranına sahip olan bileşiklerdir. Şekil 5.2'ye bakıldığında ise "%50 B<sub>4</sub>C ve %50 galena (PbS)" numunesi uygun bor karbit ve beton içeriği nedeni ile nötronları diğer numunelerden daha iyi zırladıkları söylenebilir. Zira düşük bor karbitlerde bor karbit az olduğu için nötron yakalama ihtimaliyeti azalır ve yüksek B<sub>4</sub>C'lerde betonun az olduğu için su veya hidrat içerikli materyaller az olması nedeniyle nötron yakalama ihtimali azalır.

Şekil 5.3'e bakıldığında ise "%55 bor ve %45 galena" yüksek bor nedeni ile nötronları diğer on numunelerden daha iyi zırladıkları söylenebilir. Zira düşük borlarda bor az olduğu için nötron yakalama ihtimaliyeti azalır. Yüksek borlu betonlarda su veya hidrat içerikli materyaller az olması nedeniyle nötron yakalama ihtimali azalır.

Şekil 5.4'e bakıldığında "%70 barit + %30 galena + çelik lif + monofilament polipropilen lif" karma lifli ağır beton numunesi, nötronları diğer numunelerden daha iyi zırladıkları söylenebilir. Zira bu tür betonon tesir kesiti değeri diğer numunelerden yüksektir. Bunun nedenide o numunedeki liflerin özelliklerine bağlıdır. Genelde polipropilen lifler nötron soğurganlık özelliğe sahiptirler. Bu çalışmada betonlara eklediğimiz monofilament polipropilen lif, multifilament polipropilen lifden daha iyi nötron soğurganlık özelliğini gösterdi.



**Şekil 5.4.** Barit ve galena ile yapılan karma lifli ağır betonunun lif türlerine karşı tesir kesiti grafiği

## 5.2. Yoğunluk Ve Nötron Tutucu

Şekil 5.5'de ve Şekil 5.6'da bor karbidli betonların bor karbid yüzdelerine göre ve Şekil 5.7'da borlu betonların bor yüzdelerine göre çizilmiş yoğunluk grafikleri gösterilmiştir.

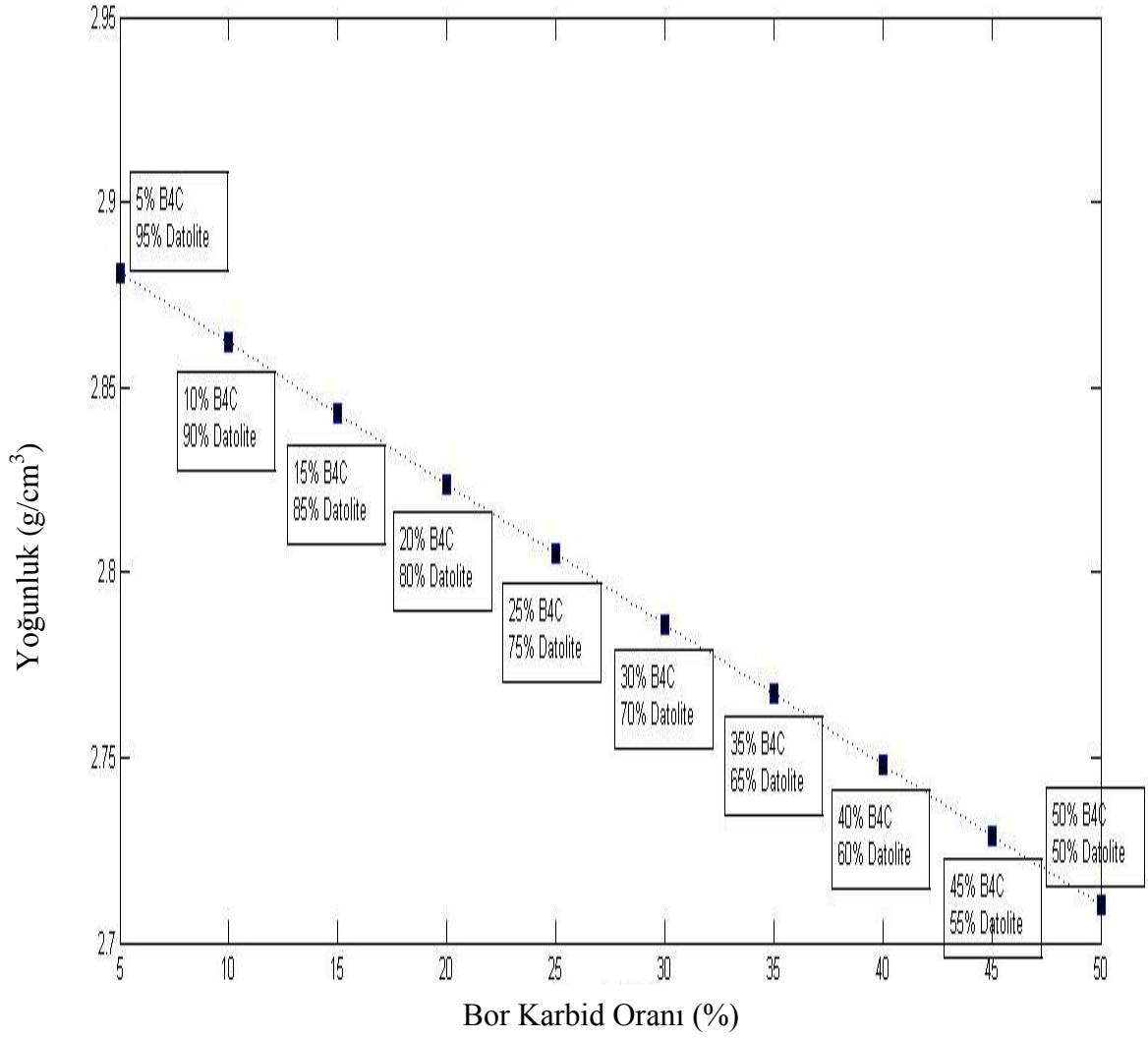
Şekil 5.8'de galena ve barit ile yapılan karma lifli ağır betonların lif türlerine göre Geant4 programı kullanılarak elde edilen yoğunluk grafiği gösterilmiştir.

Grafiklere bakıldığında diğerlerine göre daha yüksek bor karbid ve bor ile düşük yoğunluğa sahip olan "%50 B<sub>4</sub>C ve 50% datolit", "%50 B<sub>4</sub>C ve 50% galena", "%55 B ve %45 PbS " kombinasyonlar iyi bir nötron tutucu oldukları söylenebilir.

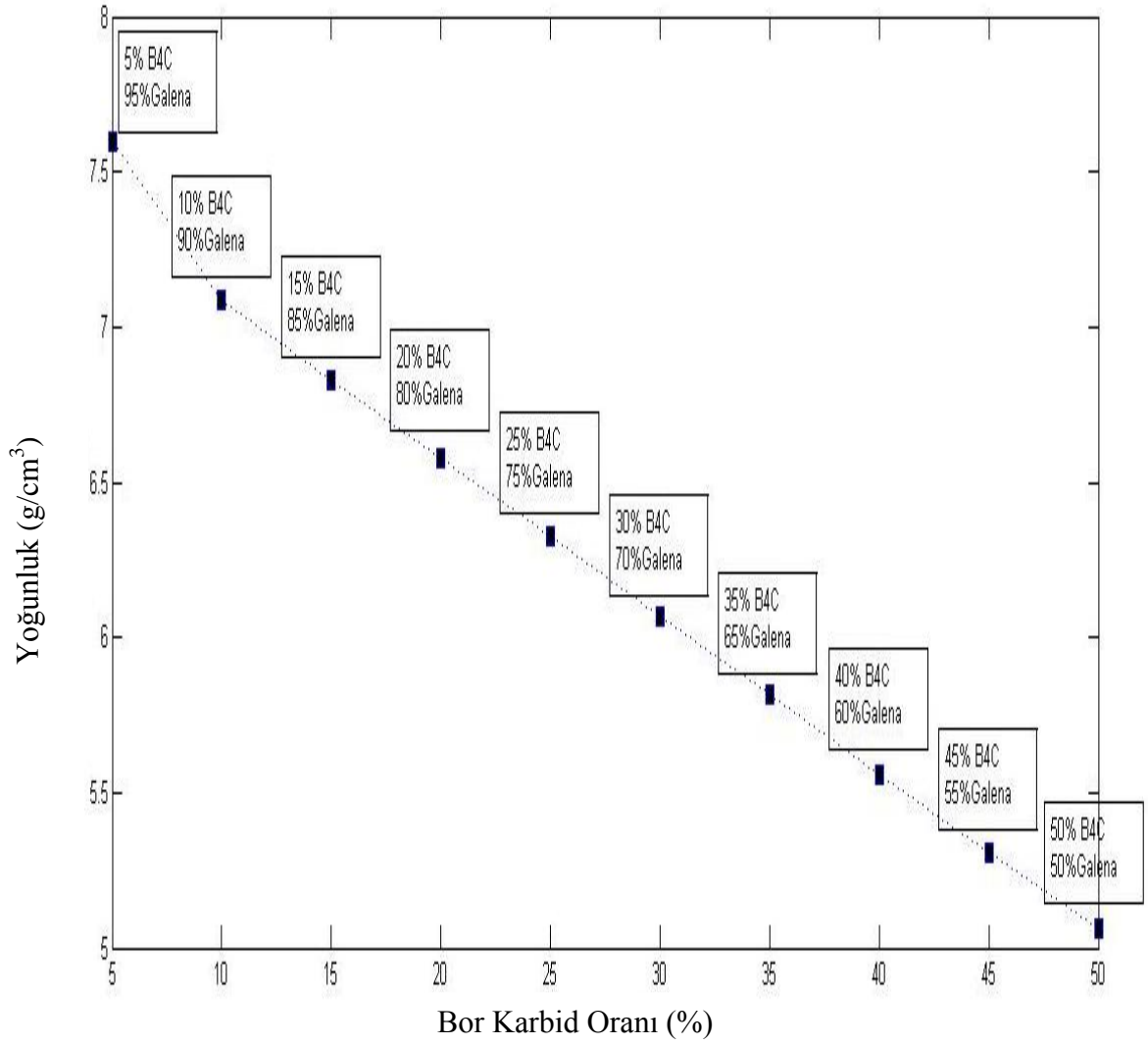
Şekil 5.8'e bakıldığında "%70 barit + %30 galena + çelik lif " karma lifli ağır beton numunesi diğer numunelere göre iyi bir nötron tutucu ve  $\gamma$  veya X-ışını zırhı oldukları söylenebilir zira yüksek yoğunluğa sahiptir. Bu numunelerde çelik lifin yoğunluğu diğer numunelerde kullandığımız liflere göre yüksektir ve bu nedenle o numunenin yoğunluğu diğer numunelere göre yüksektir.

Şekil 5.9'da datolite, galena ve borlu betonların nötron tutucu kabiliyetine göre, şekil 5.10'da ise datolite, galena ve borlu betonların yoğunluğa göre çizilmiş tesir kesiti grafikleri gösterilmiştir. Grafiklere bakıldığında diğerlerine göre daha yüksek tesir kesite sahip olan "%40 datolite ve %20 galena ve %40 bor " kombinasyonlar iyi bir nötron tutucu oldukları söylenebilir.

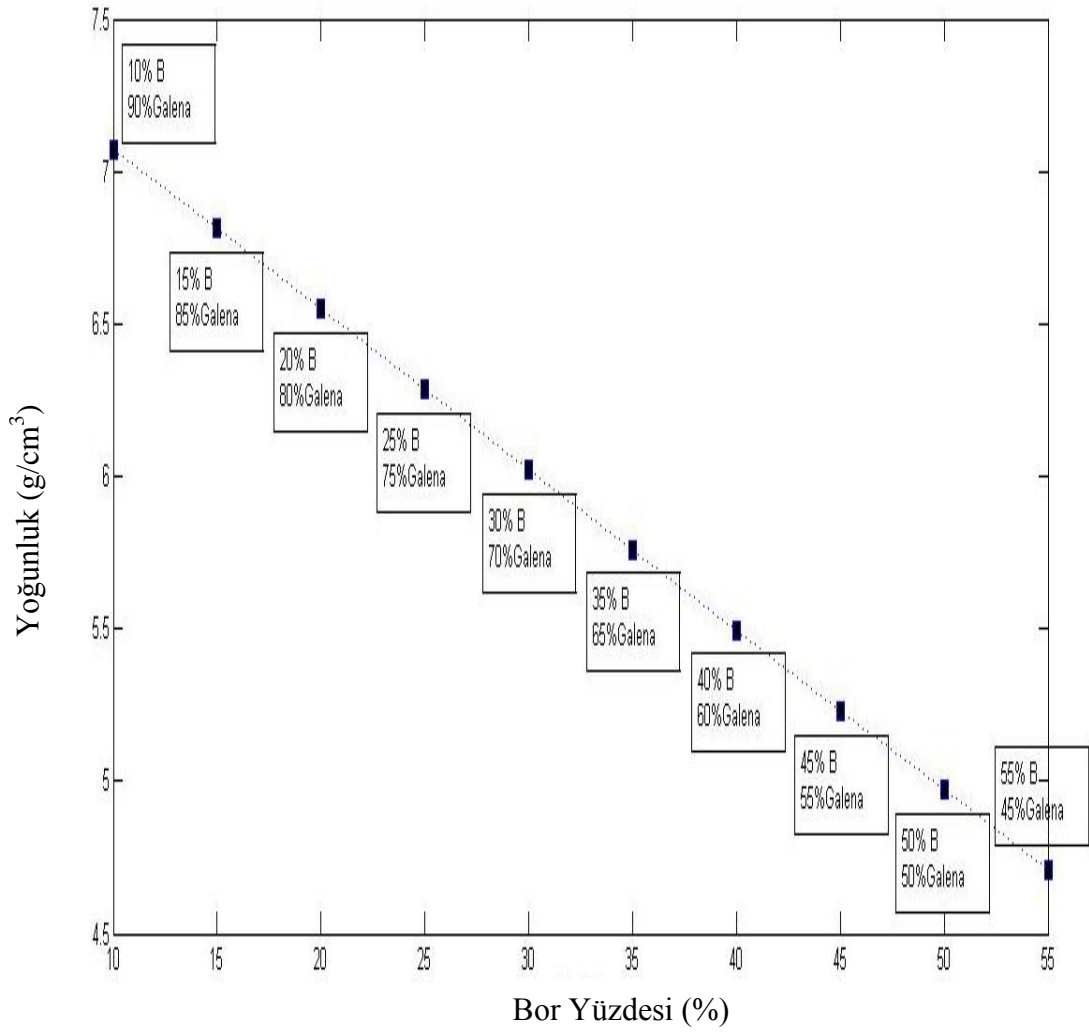




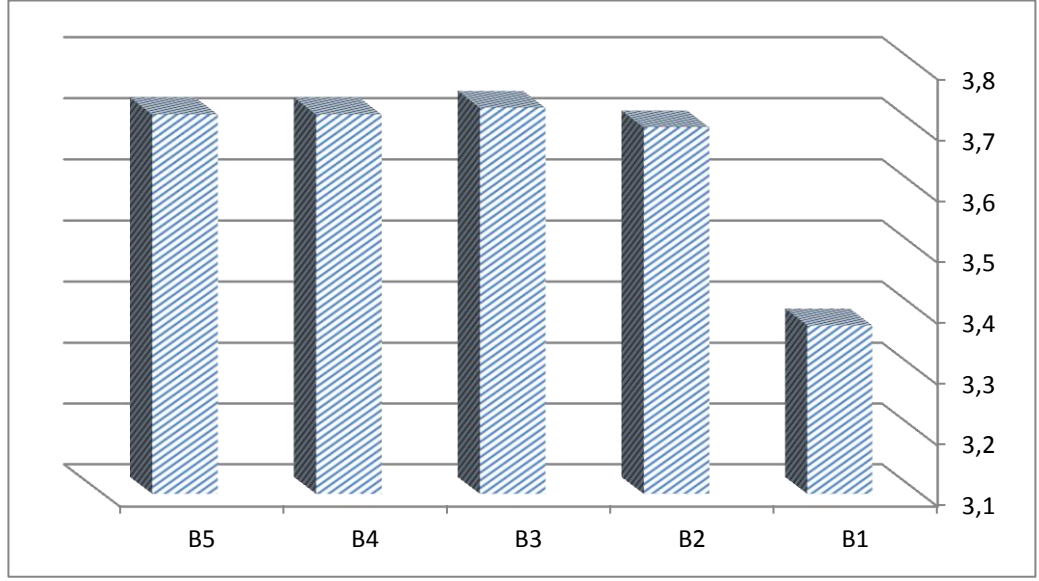
**Şekil 5.5.** Datoite ve bor karbidli betonların B<sub>4</sub>C yüzdelere göre çizilmiş yoğunluk grafiği



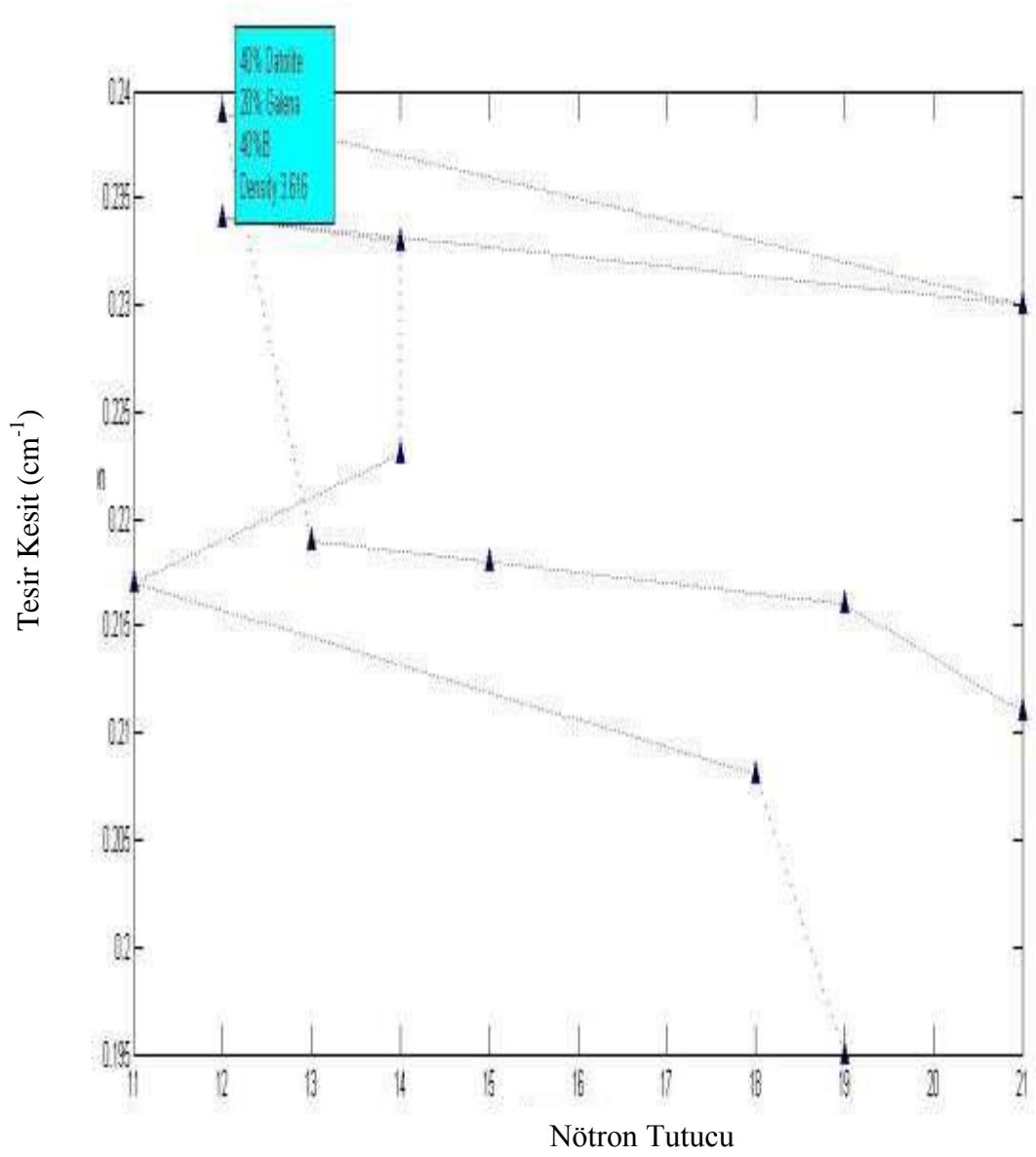
**Şekil 5.6.** Galena ve bor karbidli betonların B<sub>4</sub>C yüzdelere göre çizilmiş yoğunluk grafiği



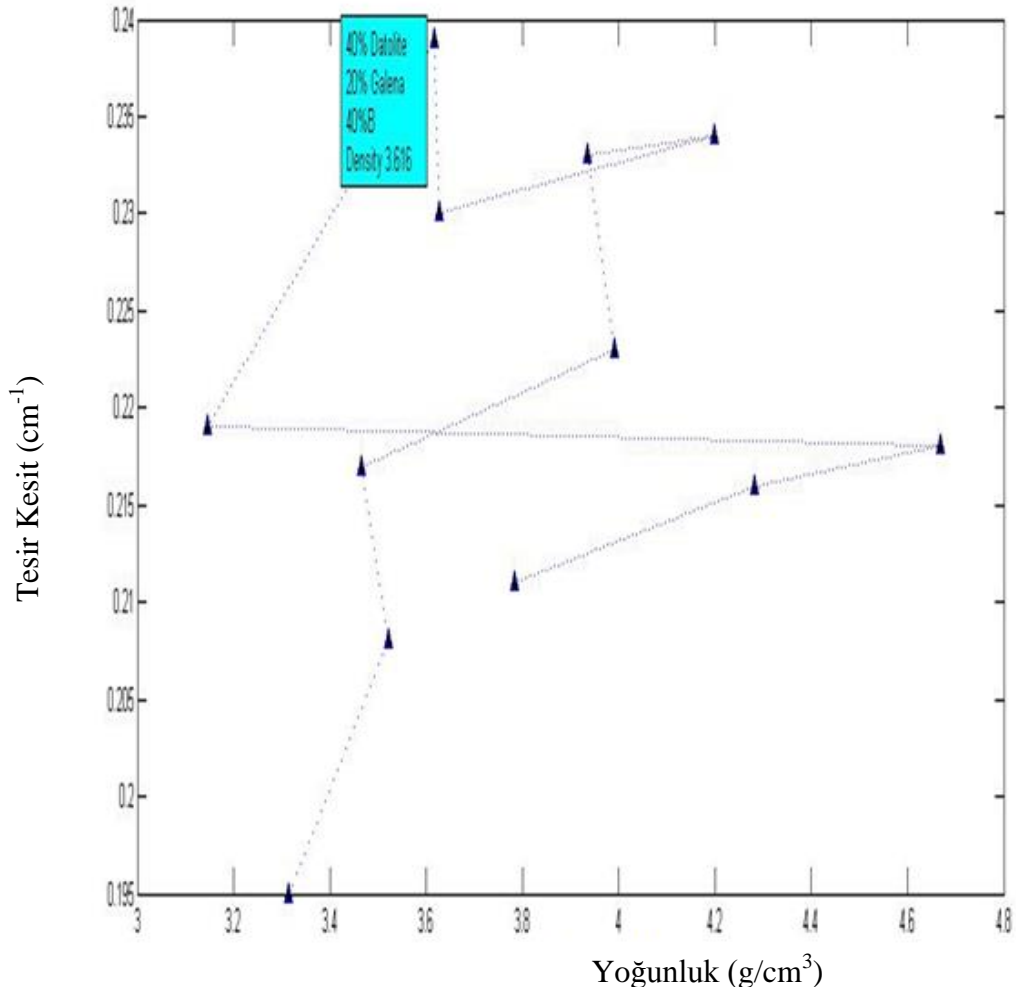
Şekil 5.7. Galena ve borlu betonların bor yüzdelere göre çizilmiş yoğunluk grafiği



**Şekil 5.8.** Galena ve barit ile yapılan karma lifli ağır betonun lif türlerine göre çizilmiş yoğunluk grafiği



**Şekil 5.9.** Datolite, galena ve borlu betonların nötron tutucu kabiliyetine göre çizilmiş tesir kesiti grafiği



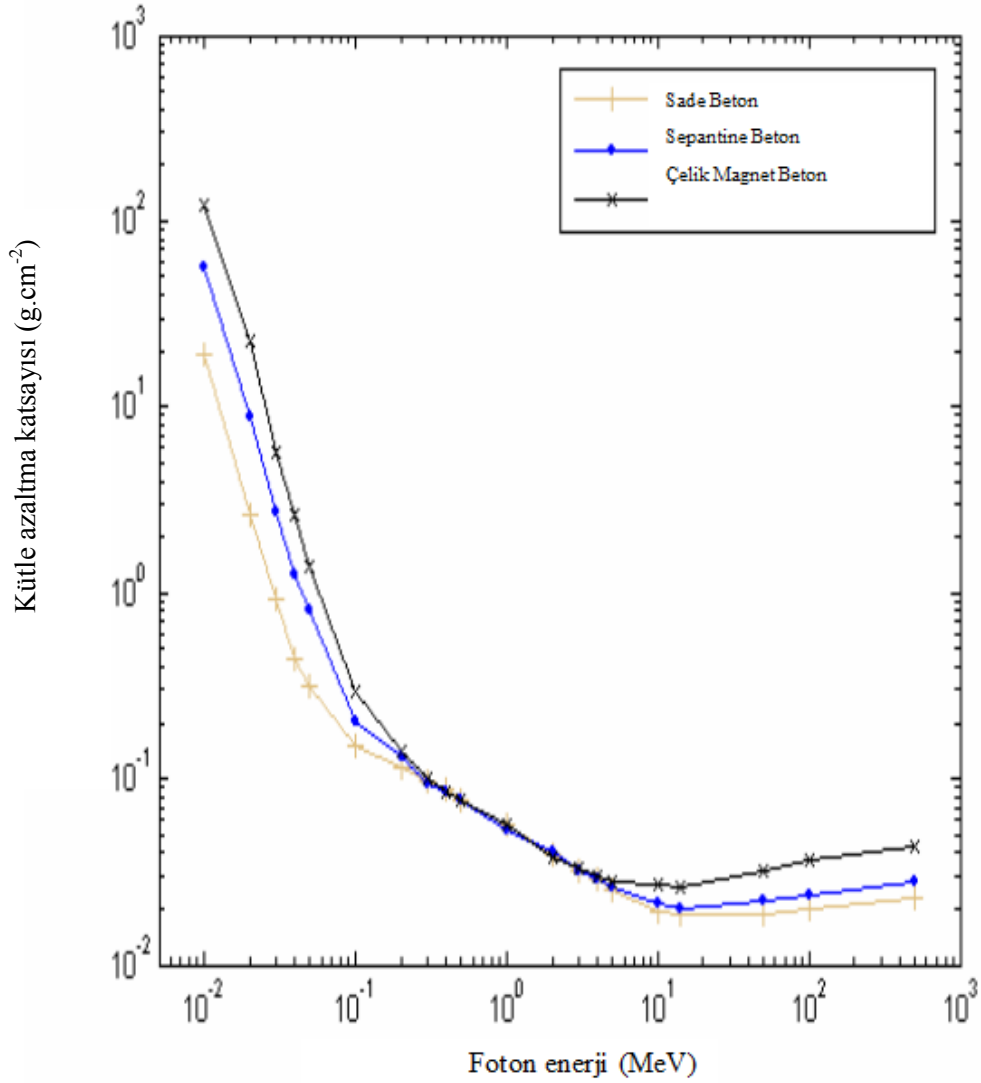
**Şekil 5.10.** Datolite, galena ve borlu betonların yoğunluğa göre çizilmiş tesir kesiti grafiği

### 5.3. Foton Enerjisi ve Lineer Azaltma Katsayısı

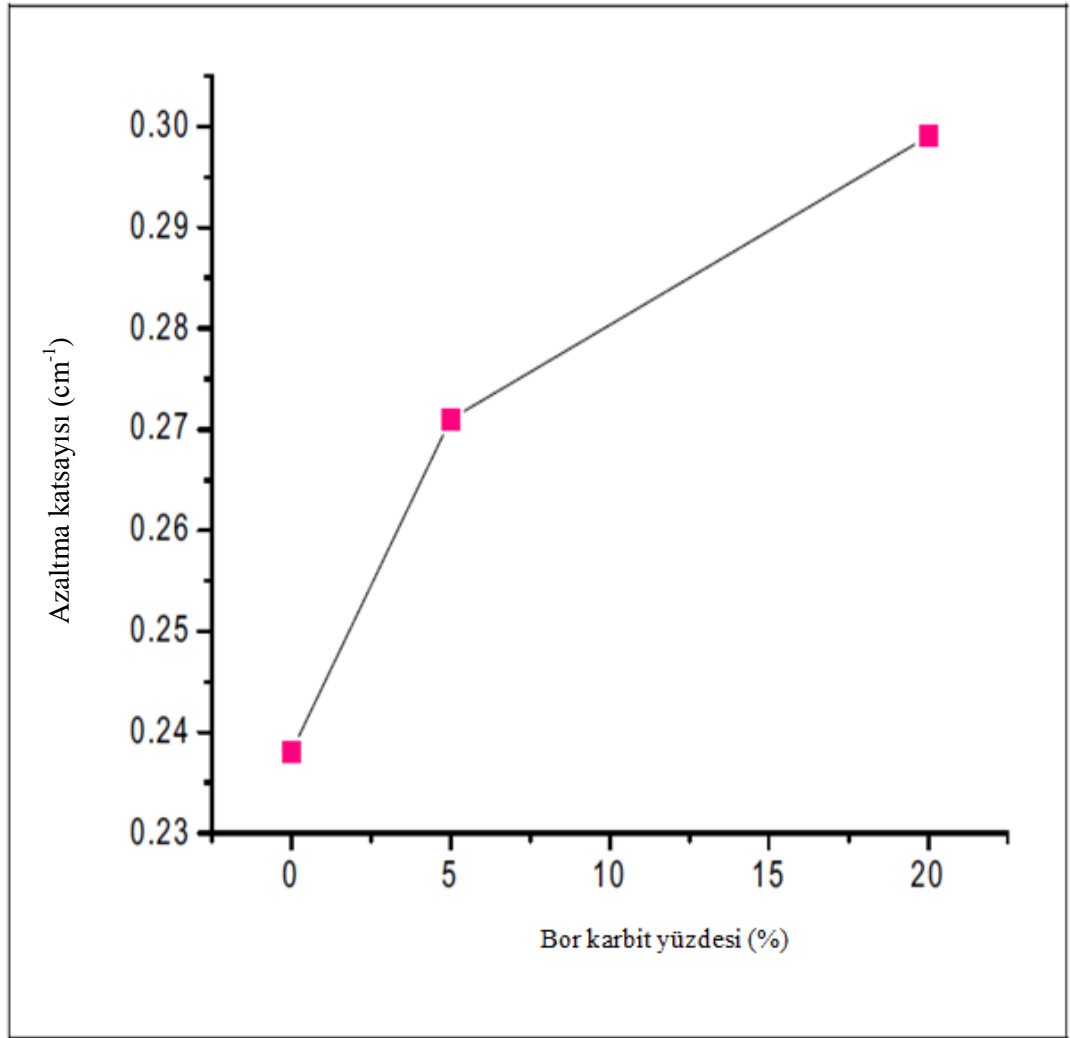
Şekil 5.11'da foton enerjisine karşı kütle azaltma katsayısı ( $\mu/\rho$ ) normal, serpentine ve çelik lifli beton için gösterilmiştir. Bu grafiğe bakıldığında 3 bölgeden oluştuğu görülmektedir. Birinci bölgenin enerjisi 0,01 MeV den 0,2 MeV'e kadar, ikinci bölgenin enerjisi 0.3MeV 'den 4MeV'e kadar ve üçüncü bölgenin enerjisi 5MeV'den 500MeV'e kadardır. Birinci ve üçüncü bölgelerde lineer azaltma katsayısı ( $\mu$ ) ve kütle azaltma katsayısı ( $\mu/\rho$ ) değerleri normal ve serpentine betonlara göre çelik lifli betonda da yüksek olduğu söylenebilir. İkinci bölgede de lineer azaltma katsayısı ( $\mu$ ) değeri çelik lifli betonda daha yüksek olduğu söylenebilir. Hesaplanmış ve ölçülmüş üç tür beton

için tesir kesiti değerleri Çizelge 4.14'de gösterilmiştir. Şekil 5.11'a bakıldığında çelik lifli beton foton ışınlarını zırlamak için daha etkili olduğu söylenebilir. Çizelge 4.14'e bakıldığında ise serpentine beton, yüksek tesir kesiti değerine sahip olması nedeni ile nötron zırlama konusunda daha etkili olduğu söylenebilir.

Şekil 5.12'da bor karbid yüzdesine karşı azaltma katsayısı grafiği çizilmiştir. Bu grafiği incelediğinde bor karbid artması nedeni ile azaltma katsayısı da artmaktadır ve bu da nötron tutucu kabiliyetinin yükselttiğini göstermektedir.



**Şekil 5.11.** Normal, serpentine ve çelik lifli betonda foton enerjisine göre çizilmiş kütle azaltma katsayısı ( $\mu/p$ ) grafiği



**Şekil 5.12.** Bor karbit yüzdesine göre çizilmiş azaltma katsayısı grafiği

#### 5.4. Beton Kalınlığı

Çizelge 5.1'de deneysel olarak B<sub>4</sub>C betonunun boş ölçüm değeri, deneysel doz ölçüm, tesir kesiti ve nötron tutucu kabiliyet değerleri gösterilmiştir.

Şekil 5.13'de B<sub>4</sub>C betonunun kalınlığına karşı deneysel doz ölçüm grafiği ve şekil 5.14'de ise B<sub>4</sub>C betonunun kalınlığına karşı tesir kesiti grafiği gösterilmiştir. Şekil 5.13 ve Şekil 5.14'e bakıldığında B<sub>4</sub>C betonunun kalınlığı artması deneysel doz ölçüm ve tesir kesiti değerlerinin azaldığı söylenebilir.

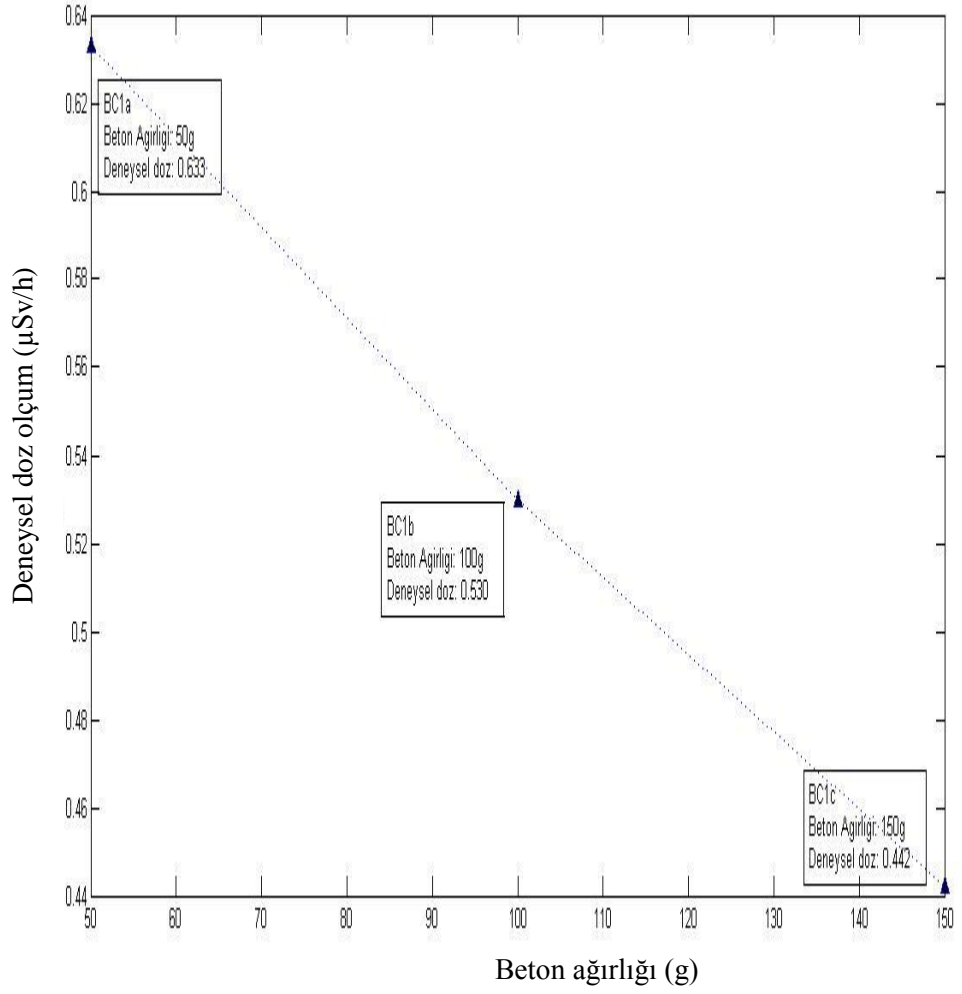


Şekil 5.15'da hormirad ve normal betonunun kalınlığına karşı nötron akşınının yoğunluk grafiği ve şekil 5.16'de ise hormirad ve normal betonunun kalınlığına karşı boş eşdeğeri doz grafiği gösterilmiştir. Şekil 5.15 ve şekil 5.16'e bakıldığında hormirad betonunun normal betona göre iyi nötron tutucu olduğu söylenebilir.

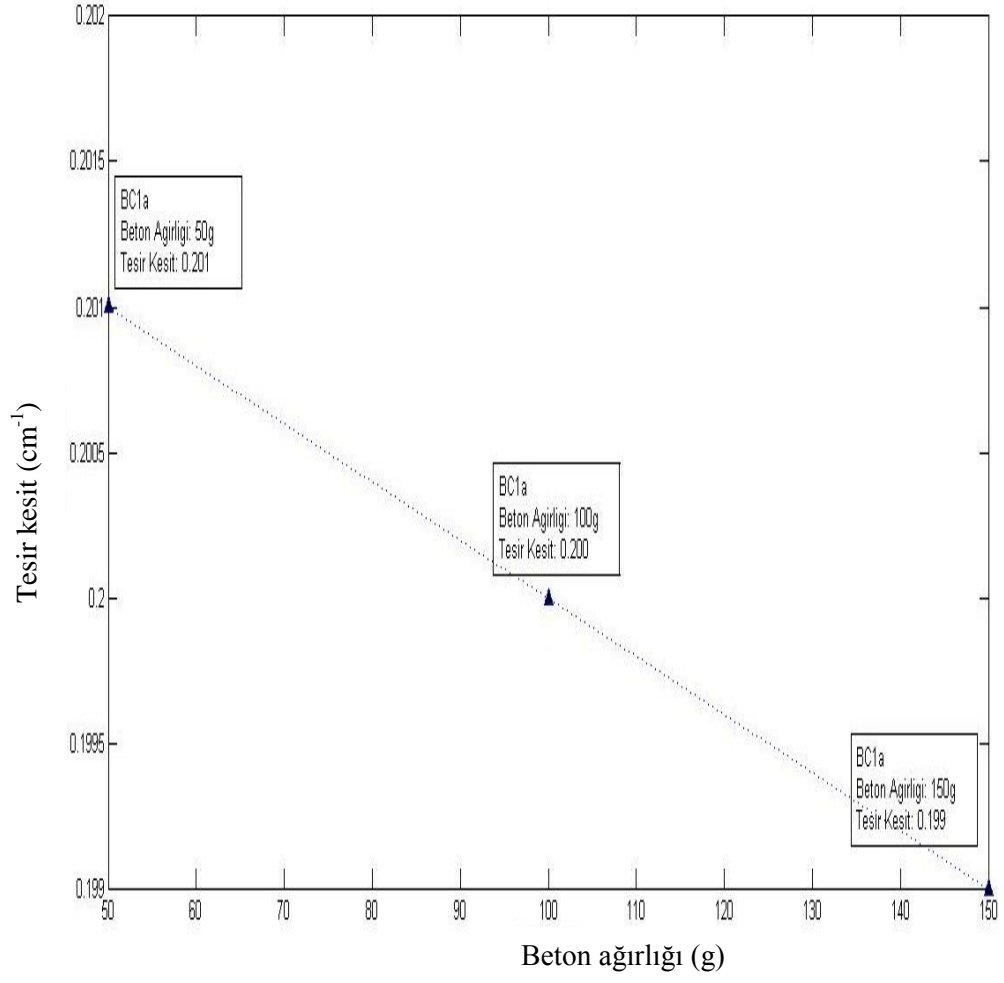
Şekil 5.17'de hormirad ile borlu betonun kalınlığına göre doz grafiği gösterilmiştir. Şekil 5.17'e baktığında bor yüzdesinin artmasıyla doz değerinin azaldığı söylenebilir.

**Çizelge 5.1.** B<sub>4</sub>C betonunun ağırlığına göre deneysel sonuçlar

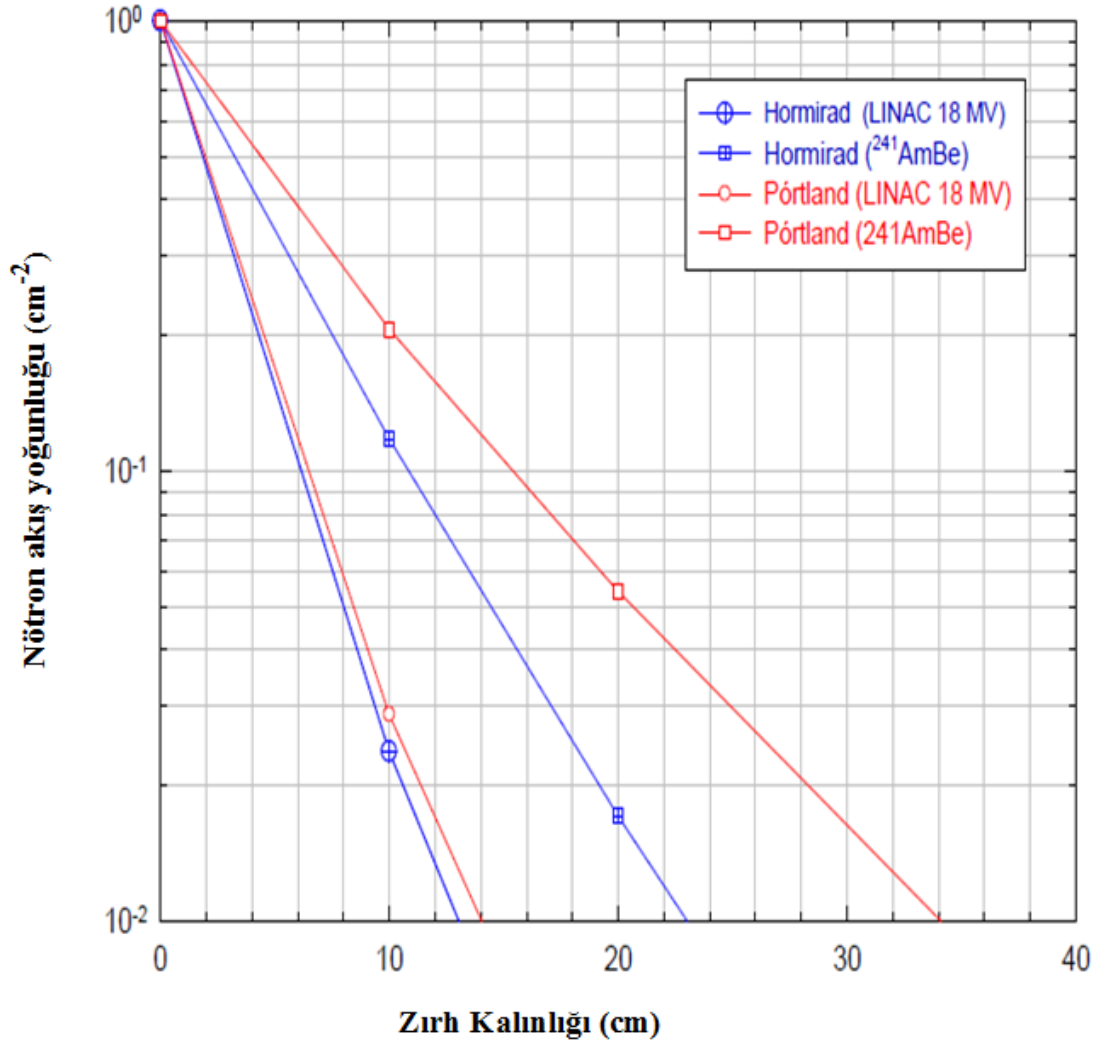
Numune Kodu	Boş ölçüm değeri (µSv/saat)	Deneysel doz ölçümü (µSv/saat)	Tesir Kesiti (cm <sup>-1</sup> )	Nötron Tutucu Kabiliyeti
BC1a	1,0924178	0,6334	0,2019	11
BC1b	1,0924178	0,5307	0,2001	9
BC1c	1,0924178	0,4423	0,1998	11
Normal Beton	1,0924178	0,7603	0,1638	20



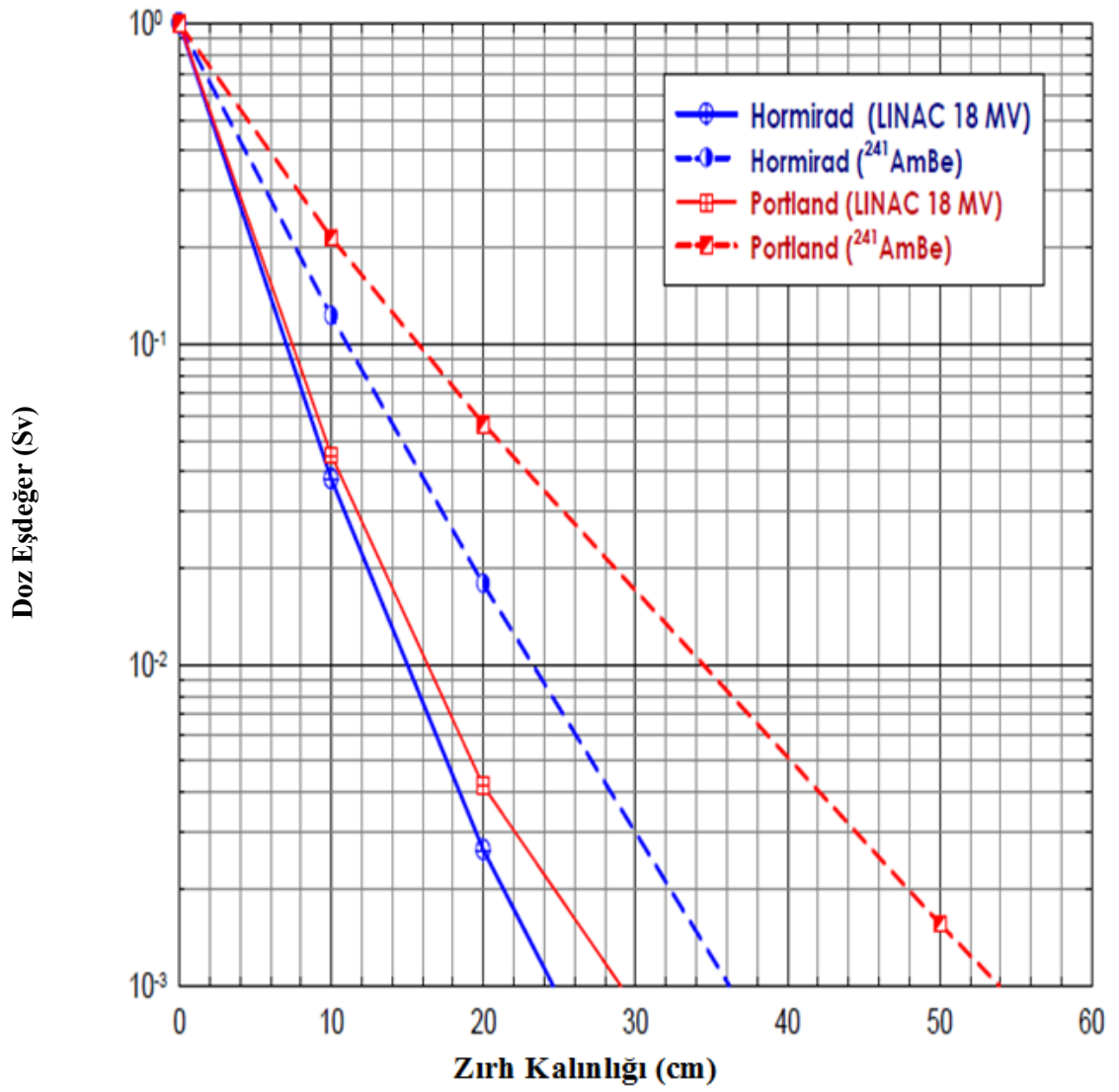
Şekil 5.13. B<sub>4</sub>C betonunun kalınlığına karşı deneysel doz ölçüm grafiği



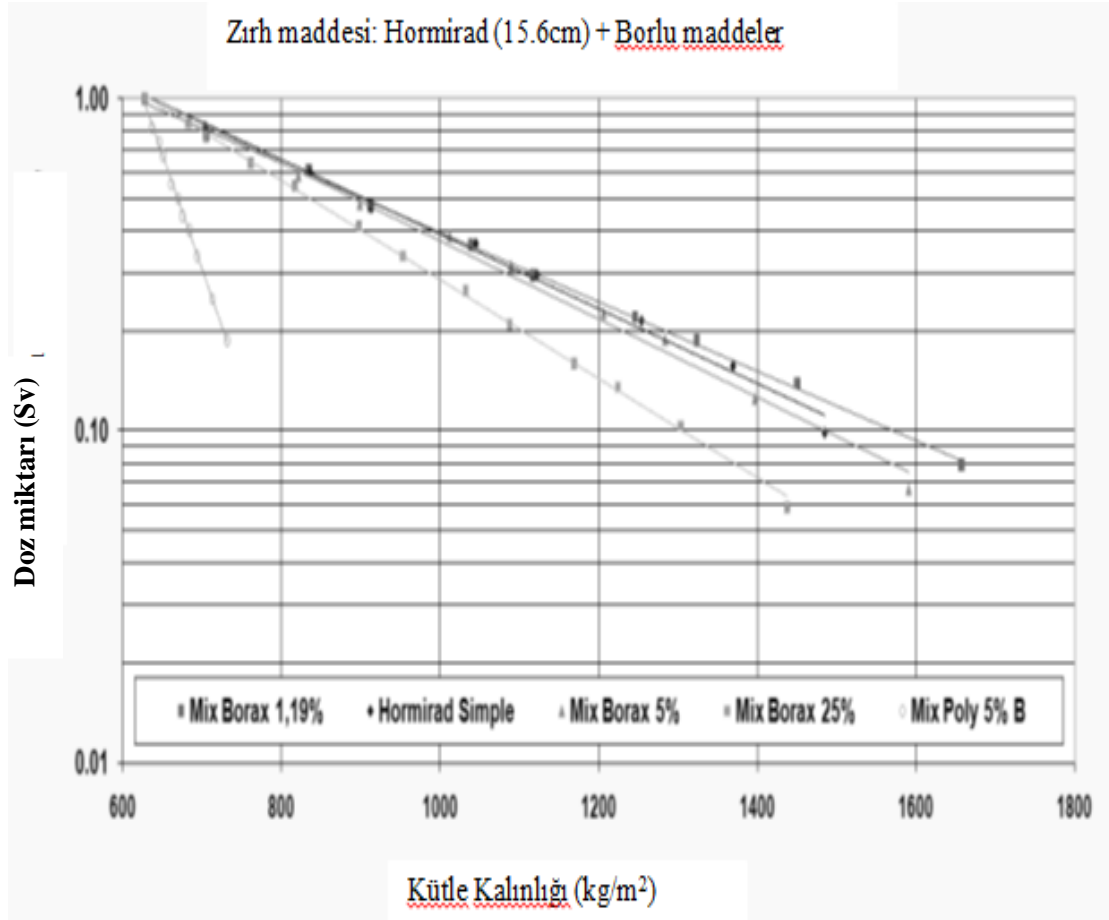
Şekil 5.14. B<sub>4</sub>C betonunun kalınlığına karşı tesir kesiti grafiği



Şekil 5.15. Homirad ve normal betonunun kalınlığına karşı nötron akış grafiği



Şekil 5.16. Hormirad ve normal betonunun kalınlığına karşı boş doz eşdeğer grafiği



**Şekil 5.17.** Hormirad ile borlu betonun kalınlığına göre doz grafiği

### 5.5. Ferro Borun Tanıtımı ve Teknik Özellikleri

Ferro bor, ağırlıkça %10-20 arasında bor ihtiva eden bir demir - bor karışımıdır. Katı haldeki demir içinde bor sıcaklığa bağlı olarak %0,1-0,15 arasında çözünmektedir. Demir-bor ikili faz diyagramına bakıldığında metaller arası iki bileşik görülmektedir. Bunlar FeB ve Fe<sub>2</sub>B bileşikleridir. FeB ortorombik kristal yapıya, Fe<sub>2</sub>B ise tetragonal kristal yapıya sahiptir. Fe<sub>2</sub>B'nin bileşminde %9, FeB'nin bileşminde ise %16 bor bulunur. İkili denge diyagramına göre, yüzde 9-16 arasında bor içeren alaşımı faz yapı Fe<sub>2</sub>B ve FeB kristallerinden ibarettir. Yüzde 16'dan fazla bor içeren alaşımı ise FeB ve B kristallerinden oluşur.

Bor'lu betonun içine %1 oranında nano boyutta demir tozu katılarak bor ile FeB oluşturdu ve bu da betonun nötron tutucu kabiliyetinin ve dayanıklılığının artmasına neden oldu.

### 5.6. B<sub>4</sub>C ve Borlu Betonların Deneysel Sonuçları

Çizelge 5.2'de deneysel olarak borlu betonun ve Çizelge 5.3'de ise B<sub>4</sub>C betonun boş ölçüm değerleri, deneysel doz ölçüm,tesir kesiti ve nötron tutucu kabiliyet değerleri gösterilmiştir.

Şekil 5.18'de borlu betonunun bor yüzdesine karşı deneysel doz ölçüm grafiği ve Şekil 5.19'de ise borlu betonunun bor yüzdesine karşı tesir kesiti grafiği gösterilmiştir. Grafiklere bakıldığında diğerlerine göre B5 numunesinin iyi bir nötron tutucu olduğu söylenebilir. Zira düşük B'lerde bor az olduğu için nötron yakalama ihtimaliyeti azalır ve yüksek B'lerde betonun az olduğu su veya hidrat içerikli materyallerin az olması nedeniyle nötron yakalama ihtimali azalır. Ayrıca B5'deki bor ile demir iyi bir FeB oluşturur ve bu da betonun nötron tutuculuğunu daha da artırır.

Şekil 5.20'de B<sub>4</sub>C betonunun B<sub>4</sub>C yüzdesine karşı deneysel doz ölçüm grafiği ve şekil 5.21'de ise B<sub>4</sub>C betonunun B<sub>4</sub>C yüzdesine karşı tesir kesiti grafiği gösterilmiştir. Grafiklere bakıldığında diğerlerine göre BC1 numunesinin iyi bir nötron tutucu olduğu söylenebilir. Beton içerisindeki bor karbid (B<sub>4</sub>C) oranı arttıkça buna bağlı olarak betonun ihtiva ettiği su veya hidrat içerikli materyallerin oranı azalır. Ayrıca içinde fazla miktarda bor karbid (B<sub>4</sub>C) bulunan betonlarda yoğunluk farkından dolayı bor karbidin dibe çökmesiyle betonun homojenliği bozulur. Bu sebeplerden dolayı içindeki bor karbid (B<sub>4</sub>C) oranı fazla olan betonların nötron yakalama ihtimali az iken içindeki bor karbid (B<sub>4</sub>C) oranı az olan betonların nötron yakalama ihtimali daha fazladır.

Deneysel sonuçlar, simülasyonlarla elde edilen değerlerle (Şekil 5.22 ve Şekil 5.23) son derece uyumludur. B5 ve BC1 numuneleri en iyi nötron soğurganlık özelliklere sahiptirler.

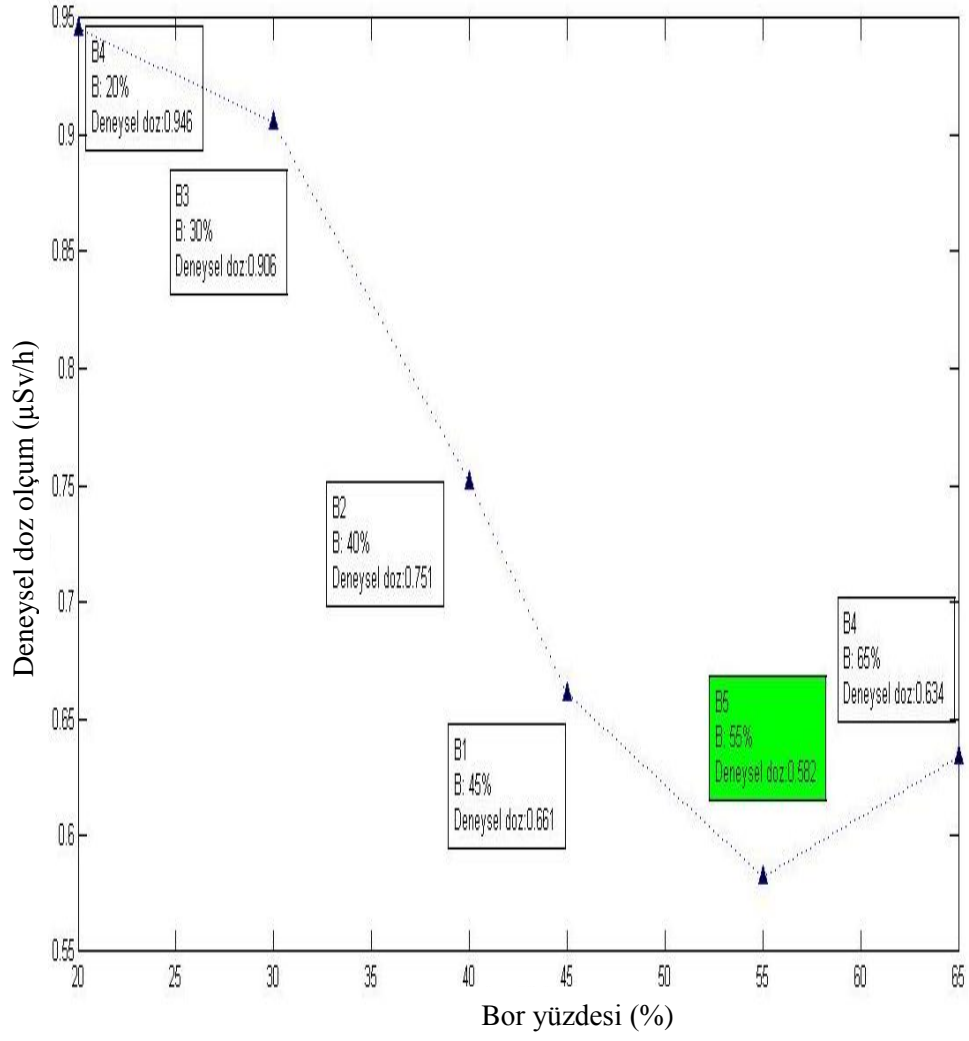
**Çizelge 5.2.** Borlu betonun bor yüzdesine göre deneysel sonuçlar

Numune Kodu	Boş ölçüm değeri ( $\mu\text{Sv/saat}$ )	Deneysel doz ölçüm ( $\mu\text{Sv/saat}$ )	Tesir Kesiti ( $\text{cm}^{-1}$ )	Nötron Tutucu Kabiliyeti
B1	1,0924178	0,6616	0.2151	9
B2	1,0924178	0,7518	0,2133	13
B3	1,0924178	0,90667	0,2091	9
B4	1,0924178	0,94615	0,2005	13
B5	1,0924178	0,58219	0,2191	11
B6	1,0924178	0,63465	0,2024	13
Normal Beton	1,0924178	0,7603	0,1638	20

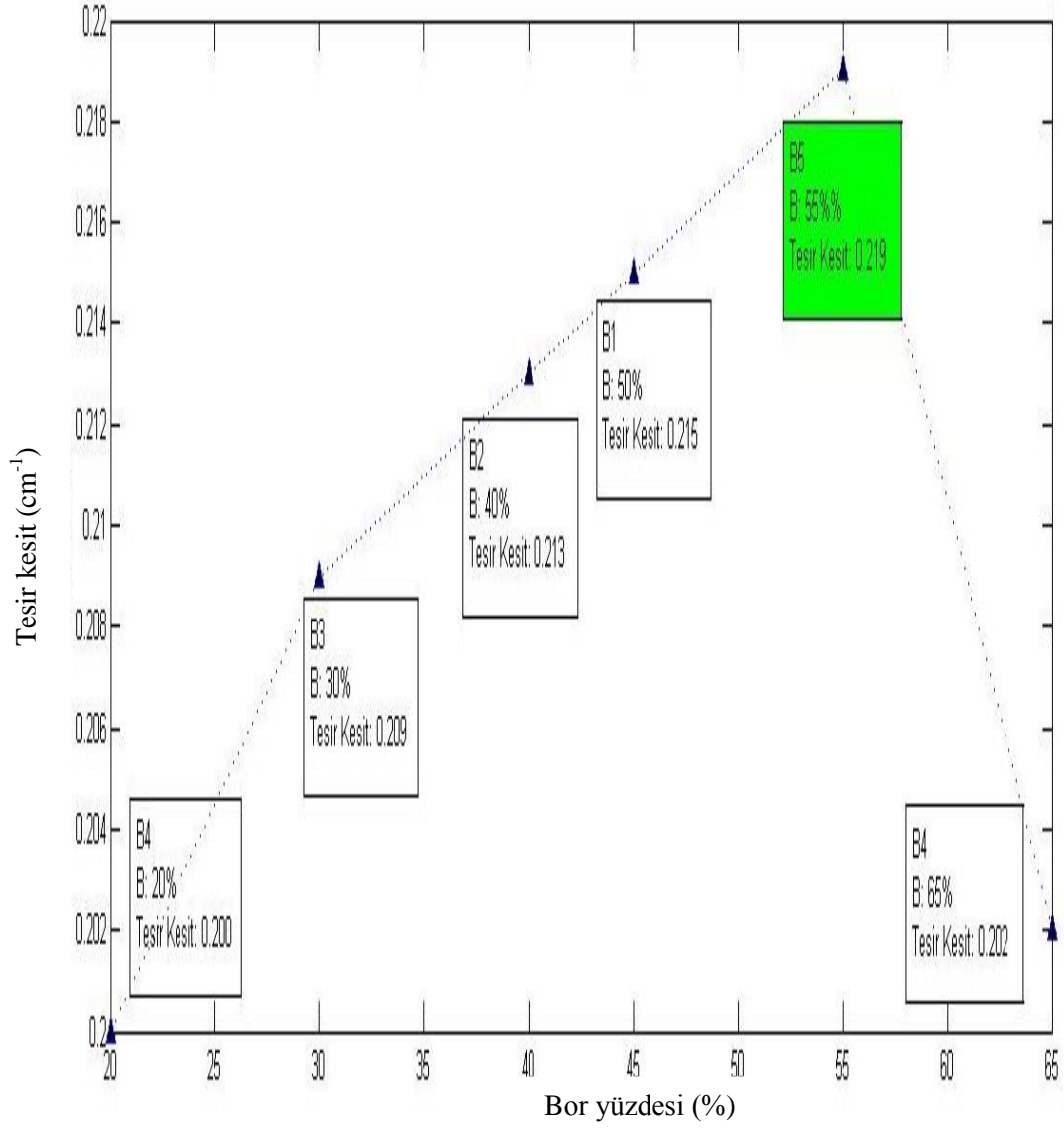
**Çizelge 5.3.** Bor karbidli betonun B4C yüzdesine göre deneysel sonuçlar

Numune Kodu	Boş ölçüm değeri ( $\mu\text{Sv/saat}$ )	Deneysel doz ölçüm ( $\mu\text{Sv/saat}$ )	Tesir Kesiti ( $\text{cm}^{-1}$ )	Nötron Tutucu Kabiliyeti
BC1	1,0924178	0,6334	0,20175	11
BC2	1,0924178	0,76319	0,197250	13
BC3	1,0924178	0,8466	0,193713	17
BC4	1,0924178	0,6447	0,190283	14
BC5	1,0924178	0,6654	0,1833222	11
Normal Beton	1,0924178	0,7603	0,1638	20

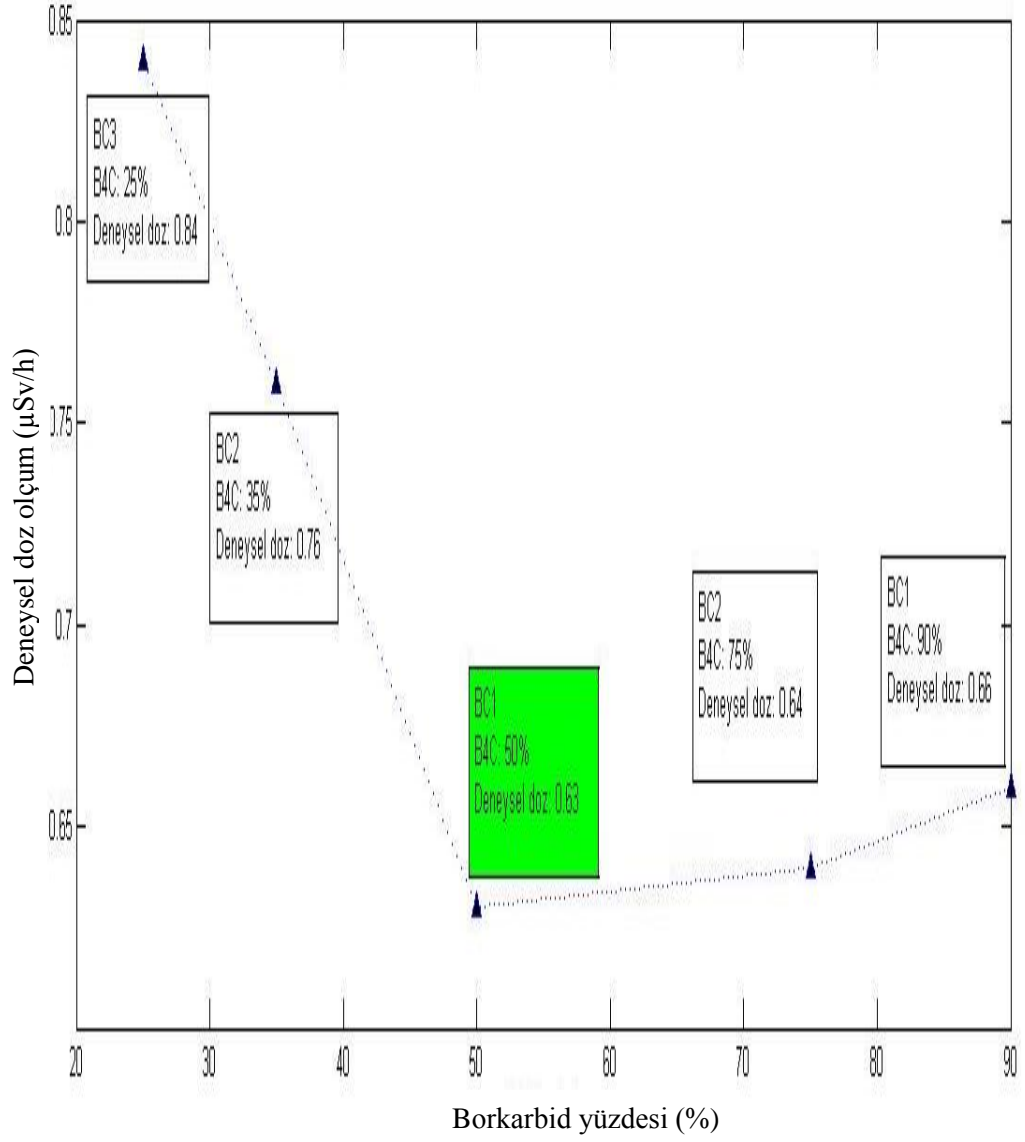




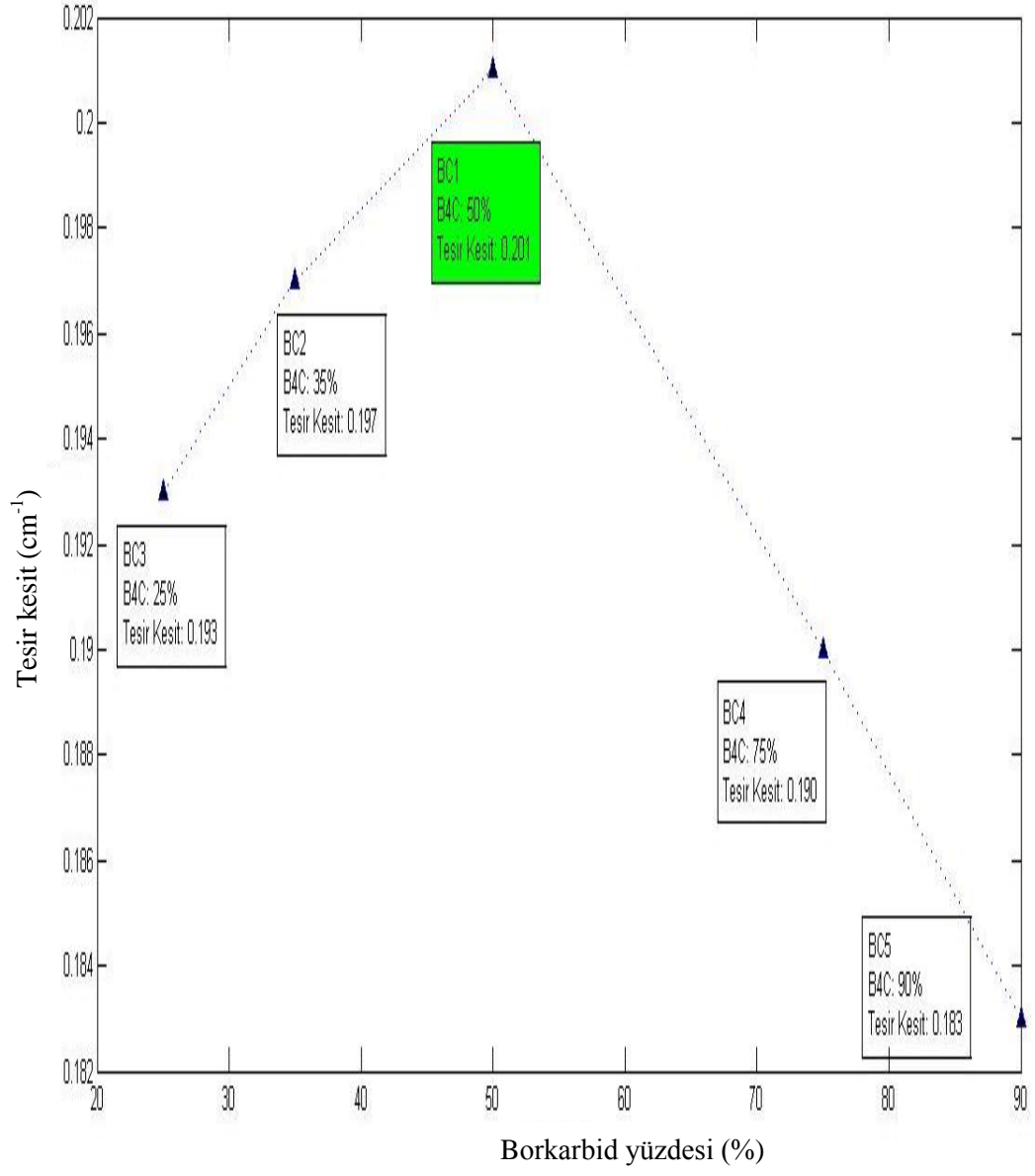
Şekil 5.18. Bor yüzdesine karşı deneysel doz ölçüm grafiği



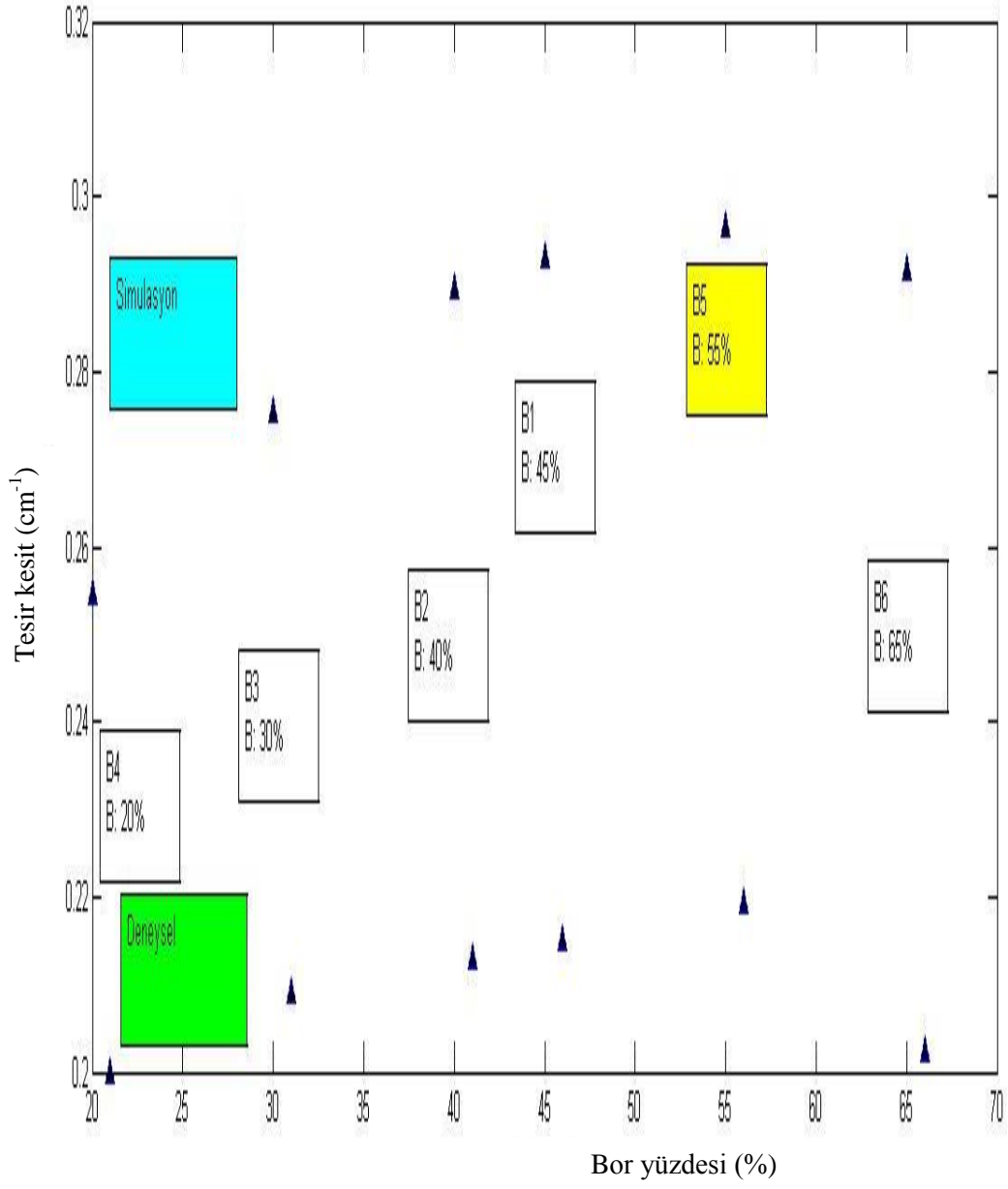
Şekil 5.19. Bor yüzdesine karşı tesir kesiti grafiği



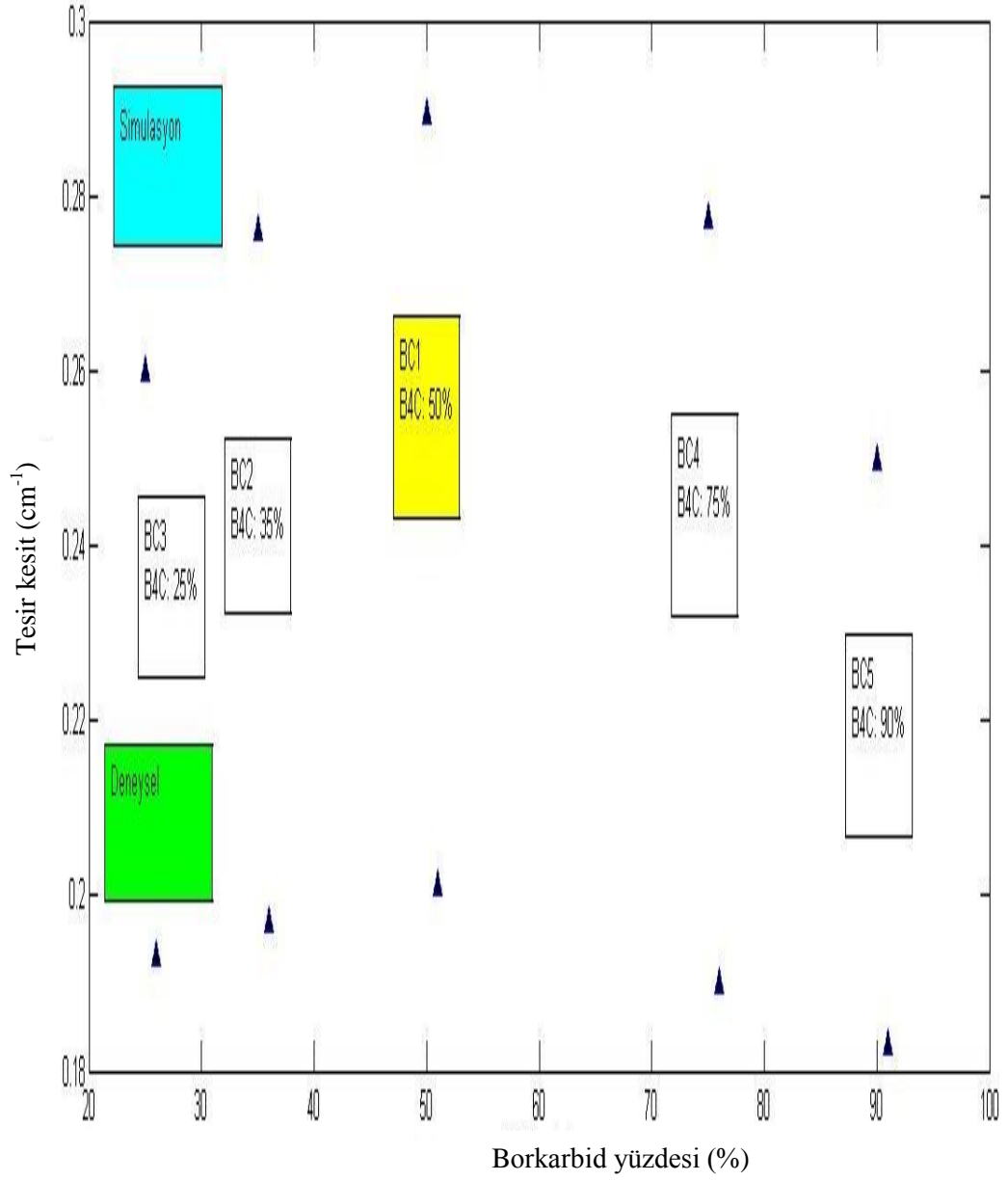
Şekil 5.20. B<sub>4</sub>C yüzdesine karşı deneysel doz ölçüm grafiği



Şekil 5.21. B<sub>4</sub>C yüzdesine karşı tesir kesiti grafiği



Şekil 5.22. Bor yüzdesine göre çizilmiş simülasyon ve deneysel tesir kesiti grafiği



**Şekil 5.23.** B<sub>4</sub>C yüzdesine göre çizilmiş simülasyon ve deneysel tesir kesiti grafiği

### **5.7. Barit ve Galena ile Yapılan Karma Lifli Ağır Betonların Deneysel Sonuçları**

Çizelge 5.4'de deneysel olarak barit ve galena ile yapılan betonların boş ölçüm değerleri, geçen doz ölçüm, tesir kesiti ve nötron tutucu kabiliyet değerleri gösterilmiştir. Çizelge 5.5'de ise transport, inelastik saçılma, elastik saçılma ve nötron tutucu değerleri verilmiştir. Bu veriler 4,5 MeV enerjili 1000000 nötronun 5,5cm kalınlığındaki numunelere etkileşmesi sonucu elde edilmiştir.

Şekil 5.24'de barit ve galena ile yapılan karma lifli ağır betonların kullandığı lif türlerine karşı geçen doz ölçüm grafiği gösterilmiştir.

Şekil 5.24'e bakıldığında diğerlerine göre "%70 barit + %30 galena + çelik lif + monofilament pp lif" numunesinin iyi bir nötron tutucu olduğu söylenebilir. Zira Çizelge 5.4'ü ve Şekil 5.5'i göz önüne alırsak o numunenin tesir kesiti yüksek olduğu belli olur. Tesir kesiti yüksek olan numunenin nötron tutucu özellikleri de iyi olur ve Şekil 5.24'e bakıldığımızda o numunenin en az geçen doz değerine sahip olduğu görünür. Yani o numune en iyi nötron zırlama özelliklere sahiptir.

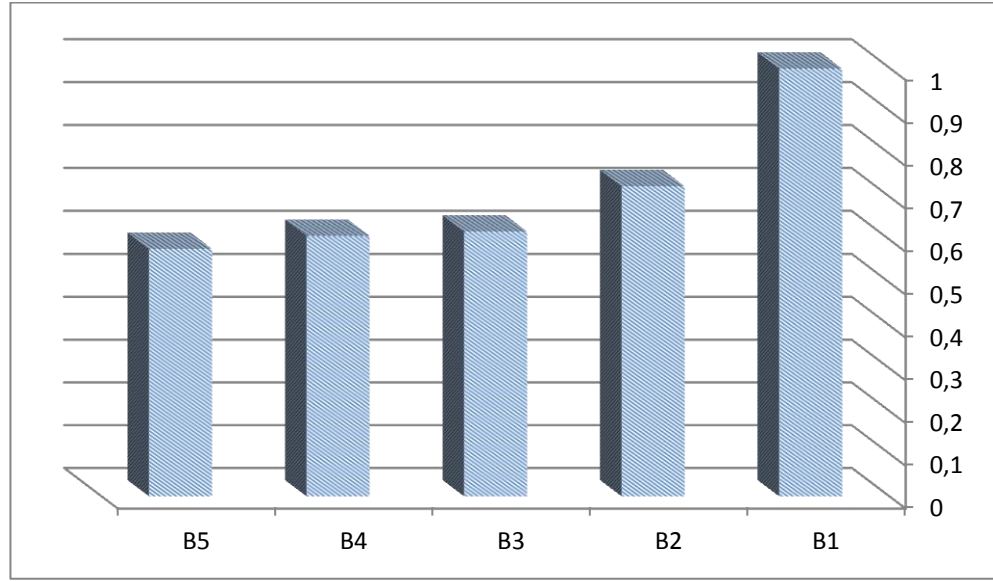
**Çizelge 5.4.** Deneysel olarak barit ve galena ile yapılan karma lifli ağır betonların boş ölçüm, dedektör emdiği doz, tesir kesiti ve nötron tutucu kabiliyet değerleri

Numune	Boş ölçüm değeri ( $\mu\text{Sv/saat}$ )	Dedektörün emdiği doz ( $\mu\text{Sv/saat}$ )	Tesir Kesiti ( $\text{cm}^{-1}$ )	Nötron Tutucu Kabiliyeti
% 100 Barit	1,1501	0,9982	0,1766	24
% 70 Barit % 30 galena	1,1501	0,7243	0,1914	19
% 70 Barit % 30 galena Çelik lif	1,1501	0,6187	0,1958	19
% 70 Barit % 30 galena Çelik lif Multi PP lif	1,1501	0,6089	0,1982	24
% 70 Barit % 30 galena Çelik lif Mono PP lif	1,1501	0,5784	0,2017	36
Normal Beton	1,0924178	0,7603	0,1638	4

**Çizelge 5.5.** Deneysel olarak barit ve galena ile yapılan karma lifli ağır betonların transport, inelastik saçılma, elastik saçılma ve nötron tutucu değerleri

Ağır beton	Transport	İnelastik saçılma	Elastik saçılma	Nötron tutucu
B1	387122	103546	509146	186
B2	443616	96517	459733	134
B3	443281	97125	459460	134
B4	436851	95987	467021	141
B5	427837	95201	455989	144
Normal Beton	441770	45693	512487	50





**Şekil 5.24.** Galena ve baritli karma lifin ağır betonunun liflerine karşı dedektörün emdiği doz grafiği

Bu çalışmada barit, galena, bor karbid ve bor malzemelerin yeni bir zırh malzemesi oluşturma amacı ile nötron radyasyonunu zırlama kabiliyetleri ve karışım oranlarının farklı varyasyon yöntemi ile en uygun zırh maddesi elde edilmesi araştırılmıştır. Çalışmadaki önemli farklı varyasyon işlemleri ise çelik lif, multifilament polipropilen lif, monofilament polipropilen lif, normal agrega, bor karbid ve bor cevherlerinin datolit ve galena cevherlerinin karışım oranları, barit ve galena cevherlerinin karışım oranları, su/çimento oranı, kullanılan akışkanlaştırıcının cinsi ve miktarı ile çimento miktarıdır. Araştırmalarda hızlı nötron kaynağı, nötron dedektörü, farklı miktarlarda bor karbid ve bor içeren bileşikler, farklı türlerde kullandığımız lifler, farklı miktarlarda barit ve galena içeren ağır betonlar Geant4 Monte Carlo simülasyon kodu kullanılmıştır. Yapılan deneyler ve Monte Carlo simülasyonları sonucunda bor karbid ve bor içeren malzemeler, barit, galena, multifilament polipropilen lif, monofilament polipropilen lif, hızlı nötron geçirgenliği konusunda birçok parametre hesaplanmış ve elde edilen bu sonuçlar bor karbitli ve borlu numunelerin içerdikleri bor karbid ve bor yüzdelere bağlı, barit ve galena ile yapılan karma lifli ağır betonun lif türlerine bağlı olarak yorumlanmıştır.

Çalışma fizik bilimi açısından incelendiğinde ise çok geniş enerji aralığında birçok radyasyon kaynağının ve birçok dedektörün, tüm dünyaca kabul edilen azaltma katsayı denklemi (Lambert-Beer denklemi) ile birlikte kullanılması oldukça önemlidir. Nükleer reaktörler, nükleer tıp birimleri, üniversitelerdeki nükleer fizik araştırma laboratuvarları gibi nötron radyasyonu bulunan ortamlarda, nötron radyasyonunun zararlı etkilerinden korunmak için ve ayrıca nötron araştırmalarında kolimatör olarak borlu malzemelerin kullanılabileceği önerilmektedir.

**KAYNAKLAR**

- Abdo, A. E., Ali, M. A. and M, Ismail, M. R., 2003. Natural fiber high-density polyethylene and lead oxide composites for radiation shielding, *Rad. Phys. and Chem.*, 66,185-195.
- Abdo, A. E., Kansouh, W. A. and Megahid, R.M., 2002. Investigation of radiation attenuation properties for barite concrete. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 41, 7512-7517.
- Abdullah, Y., Yusof, M. R., Mustafa, R., Mohamed, A. A. and et al., 2011. Properties Of Concrete/Bor Karbit As Neutron Shielding Materials. *Journal Of Nuclear And Related Technologies*, Volume 8, No. 2.
- Abdullah, Y., Yusof, M. R., Mustafa, R., Mohamed, A., Samsun, Z. and Abdullah, N., 2010. Cement-Bor Karbit Concrete As Radiation Shielding Material. *Journal of Nuclear and Related Technologies*, Vol. 7, No. 2.
- Agosteo, S., Fehrenbacher, G. and Silari, M., 2004. Attenuation curves in concrete of neutrons from 1 GeV/u C and U ions on a Fe target for shielding design of RIB in-flight facilities, *Nucl. Inst. and Meth. In Phys. B*, 226, 231-42.
- Agosteo, S., Nakamura, T., silari, M., Zajacova, Z., 2004. Attenuation curves in concrete of neutrons from 100 to 400 MeV per nucleon He, C, Ar, Fe and Xe ions on various targets. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 217, 221-236.
- Alam, M. N., Miah, M. M. H., Chowdhury, M. I., Kamal, M., Ghose, S. and Rahman, R., 2001. Attenuation coefficients of siols and some building materials of Bangladesh in energy range 276-1332 KeV, *Appl. Rad. and Isotop*, 54, 973-6.
- Aminian, A., Matollahi, M. R., Haddad, K. and Mehdizadeh, S., 2010. Determination of shielding parameters for different types of concretes by Monte Carlo methods. Department of Nuclear Engineering, Shiraz University, Zand Ave, Shiraz, Iran.
- Anonim, 2015, [www.askalecimento.com.tr](http://www.askalecimento.com.tr)
- Anonymous, 2014. [http://webmineral.com/data/Barit cevheri](http://webmineral.com/data/Barit%20cevheri).
- Anonymous, 2015a. [http://webmineral.com/data/üleksit.shtml](http://webmineral.com/data/uleksit.shtml)
- Anonymous, 2015b. <http://webmineral.com/specimens/picshow.php?id=1580>
- Anonymous, 2015c. <http://webmineral.com/data/colemanite.shtml>
- Bashter, I. I., Abdo, A. E. and Makarious, A. S., 1996. A comparative study of the attenuation of reactor thermal neutrons in different types of concrete. *Ann. Of Nucl. En.*, 23 (14), 1189-1195.
- Basyigit, C., 2006. The Physical and mechanical Properties of Heavyweight Concrete Used in Radiation Shielding. *Journal of Applied Science* 6 (4): 762-766.
- Blatt, J. M. and Weiskopf, W. E., 1952. *Theoretical nuclear physics*, Wiley, New York.
- Boncukçuoğlu, R., İçelli, O., Erzeneoğlu, S. and Kocakerim, M. M., 2005. Comprasion of radioactive transmission and mechanical properties of Portland cement and modified cement with trammel sieve waste, *Cem. and Conc. Res.* 35, 1082-7.
- Briesmeister, J., 1993. *RSIC Computer Code Collection MCNP4A*, Monte Carlo N-Particle Transport Code System. Los Alamos National Laboratory, New Mexico.
- Budak, G., Karabulut, A. and Ertuğrul, M., 1999. *Nucl. Inst. And Meth. B.*, 152 (2-3), 202-206.

- Budak, G., Karabulut, A., Demir, L., Şahin, Y., 1996. Monte Carlo Calculation of XRF Intensities in Annular Arrangements of Radioactive Source, Sample, Cylindrical Collimator, and Detector, *Applied Spectroscopy Reviews*, 31, 3, 321-332.
- Budak, G., Karabulut, A., Şimşek, Ö. and Ertuğrul, M., 1999. *Nucl. Inst. And Meth. B.*, 149, 379-382.
- Canada, T. R., Bearse R.C. and Tape, J. W., 1997. An accurate determination of the plutonium K-edge enerji using gamma-ray attenuation. *Nucl. Inst. Meth.*, 142, 609.
- Çevik, U., Baltaş, H., Çelik, A and Bacaksız, E., 2006. Determination of attenuation coefficients, thikness and atomic numbers for CuInSe<sub>2</sub> semiconductor. *Nucl. Inst. and Tech. in Phys. B.*, 247, 173-9.
- Clark, W. H. M., 1986. Electron linear accelerator building. *DOE-Cnonstruction*, 28, 18-19.
- Demir, F., 2009. Bor ve barit agregali ağır betonların nötron parçacıkları, X ve gama ışınları için radyasyon soğurganlıklarının belirlenmesi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- Demir, F., Budak, G., Şahin, R., Karabulut, A., Oltulu, M., Şerifoğlu, K., Ün, A., 2010. Radiation transmission of heavyweight and normal-weight concretes containing colemanite for 6MV and 18MV X-rays using Linear accelerator. *Annals of Nuclear Enerji*, 37 (3), 339-344.
- Dubrovskij, V. B., Ibragimov, Sh. Sh., 1966. The effect of neutron irradiation on certain properties of refractory concretes. *Cern libraries, Geneva, Atomnaya Energiya* 21, 108-112.
- Eltehawy, E., 2009. Behavior of Heavy Weight Concrete under Impact Effect. *Aerospace Sciences & Aviation Technology, Asat- 13, May 26 – 28.*
- Ermichev, S. G., Shapovalov, V. I., Sviridov, N. V., Sergeev, V. M., Semeyenov, A. G., Visik, A. M., Maslov, A. A., Demin, A. V., Petrov, D. D., Noskov, V. V., Sorokin, V. I., Uferov, O. I. and Dole, L., 2006. High- density concrete with ceramic aggregate based on depleted uranium dioxide, *IHLRWM 2006, Las Vegas, NV, April 30-May 4.*
- Ermichev, S.G., Shapovalov, V. I., Sviridov, N. V., 2006. High-Density Concrete with Ceramic Aggregate Based on Depleted Uranium Dioxide. (VNIINM, Moscow, Russia), *IHLRWM 2006, Las Vegas, NV.*
- Ertuğrul, Y., 2010. Çekirdek Fiziği Uygulamaları. Anadolu Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik bölümü, IOLTP, 2279, bolum 07ve 08, Eskişehir.
- Ferrada, J. J., Dole, L. R. and Ermichev, S. G., 2006. Analyses of U. S. and R. F. depleted-uranium concrete/steel transport and storage cask for spent nuclear fuel. *IHLRWM 2006, Las Vegas, NV, April 30 May 4.*
- Ferrari, A., Mitaroff, A., Silari, M., 2001. A Reference Radiation Facility for Dosimetry at Flight Altitude and in Space , *Phys. Medica*, 17.115–118 Suppl.
- Foster, D. G., Artur., 1982. Avarege Neutronic Properties of “Prompt” Fission Products,” *Los Alamos National Laboraty Report LA-9168-MS.*
- Goldsmith, H. H., 1947. *Rev. Mod. Phys.*, 19,259.
- Grifoni, S., 1988. Shield against radiations, Patent Number, 4727257.
- Güner, M. S., Malzame bilimi – yapı malzamesi ve Beton teknolojisi, 1999.
- Hawk A. E. et al., 2004. A shielding design for an accelerator-based neutron source for boron neutron captures therapy. *Applied Radiation and Isotopes* 61.

- Hawk, A. E., Blue, T. E. and Wollard, J. E., 2004. A shielding design for an accelerator-based neutron source for Bor neutron capture therapy, *Appl. Rad. and Isotope.*, 61, 1027-1031.
- Huges, D. J. and Schwartz, R. B., 1958. Brookhaven National Laboratory. Report BNL, 325.
- Ibrahim, M. A., 2002. Heat generation and corresponding rise in temperature due to absorption of thermal neutrons in several shielding materials. *Ann. of Nucl. En.*, 29, 1131-1136.
- Johston, R., 1963. A General Monte Carlo Neutronics Code. LAMS-2856, Los Alamos.
- Karabulut, A., Budak, G., *Radioisotope.*, 2000. X-ray fluorescence analysis of some elements in colemanite ore. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 55 (1), 91-95.
- Khanna, A., Bahatti, S. S., Singh, K. J., Thind, K. S., 1996. Gamma – Ray attenuation Coefficients in some borate glasses at 662 KeV, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B*, 114 (3-4), 217-20.
- Khater, A. E. M. and Ebaid, Y. Y., 2008. A Simplified gamma-ray self attenuation correction in bulk samples. *Appl. Rad. and Isotop.*, 66, 407-13.
- Kirko, V. I., 2007. New composite materials for radiation protection. *J. of Mat. of Preces. Tech.*, 181, 222-24.
- Knoll, G. F., 1989. *Radiation detection and measurement*, John Wiley and Sons, New York.
- Korkut, T. Karabulut, A, Budak, G, Aygün, B, Gencil, O, Hançerlioğulları., 2012. A. Investigation of neutron shielding properties depending on number of boron atoms for colemanite, ulexite and tincal ores by experiments and FLUKA Monte Carlo simulations. *Applied Radiation and Isotopes*, 70(1), 341-345.
- Korkut, T. Korkut, H, Karabulut, A, Budak, G. A, 2011. New Radiation Shielding Material: Amethyst Ore. *Annals of Nuclear Energy*, 38 (1), 56-59,
- Korkut, T. ZI Umaç, B.Aygün, A.Karabulut, R.Şahin, S.Yapıcı., 2013. Neutron Equivalent Dose Rate Measurements of Gypsum-Waste Tire Rubber Layered Structures. *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*, 18(6), 423-429.
- Korkut, T., 2010. Nötronların Zırhlanması ve Monte Carlo Simülasyonu, Doktora Tezi, Ataturk Üniversitesi, Erzurum.
- Korkut, T., H. Korkut., 2013. FLUKA simulations of DPA in 6H–SiC reactor blanket material induced by different radiation fields frequently mentioned in literature. *J. Fusion Energy* 32(1), 66–70.
- Korkut, T., Ün, A., Demir, F., Karabulut, A., Budak, G., Şahin., Oltulu, M., 2010. Neutron dose transmission measurements for several new concrete samples including colemanite. *Annals of Nuclear Energy*, 37 (7), 996-998.
- Lee, D. M., 1986. *Low-Enerji Neutron Shielding*. LA-10791-MS.
- Lorente, A., Gallego, E., 2008. Neutron Shielding Properties of a New High-Density Concrete. Nuclear Engineering Department, José Gutiérrez Abascal, 2, E-28006 Madrid, Spain.
- Lorentea, A., Gallego, E., Vega-Carrillo, H. R., 2008. Testing of a New High-Density Concrete As Neutron Shielding Material. US and European patent applications, *Nuclear Technology*, vol, 168, 309-404.

- Lux, I., Koblinger, L., 2010. Monte Carlo Particle Transport Methods, Neutron and Photon Calculations. CRC Press, Boca Raton, 1991.8 No. 1.
- Mahdy, M., Speare, P. R. S., Abdel-Reheem, A. H., 2002. Fatigue Properties Of Heavyweight, High Strength Concrete. 2nd Material Specialty Conference of the Canadian Society for Civil Engineering.
- Midgley, S., 2006. Angular width of narrow beams for X-ray linear attenuation coefficient measurements. *Rad. Phys. and Chem.*, 75, 945-53.
- Mollah, A. S., Ahmad, G. U., Husain, S. R., 1992. Measurements of neutron shielding properties of heavy concretes using a <sup>252</sup>Cf source. *Nucl. En. and Des.*, 135 (3), 321-25.
- Morioka, A., 2004. Irradiation and penetration test of boron-doped low activation concrete using 2.45 and 14 MeV neutron sources. *Journal of Nuclear Material* 329–333.
- Morioka, A., 2004. Irradiation and penetration tests of boron-doped low activation concrete using 2.45 and 14 MeV neutron sources. Japan Atomic Energy Research Institute, *Journal of Nuclear Materials* 329–333.
- Mortazavi, S.M.J., Mosleh-Shirazi, M.A., Baradaran-Ghahfarokhi, M. et al., 2010. Production of a datolite-based heavy concrete for shielding nuclear reactors and megavoltage radiotherapy rooms. *Iran. J. Radiat. Res.*, Vol 5.
- Okuno, K., 2005. Neutron shielding material based on colemanite and epoxy resin. *Rad. Protec. Dos.*, 115(1-4), 258-61.
- Peralta, L., 2002. Monte Carlo simulation of neutron thermalization in matter. *Eur. J. Phys.* 23.
- Polivka, M. and Davis, H. S., 1979. The shielding ability of concrete, ASTM STP 169B, 26, 420-434.
- Ristinah S, Wisnumurti, LudfiDjakfar., 2011. Evaluation of the Characteristic of Heavyweight Concrete using Steel Slag Aggregates for Radiation Shielding. *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences*.
- Rockwell, T., 1956. Reactor shielding design manual. (1. press), D. Van Nostrand Company, Inc., Princeton, New Jersey.
- Shera, E. B. and Hafemeister D. W., 1996. *Phys. Rev.* 150, 894.
- Sidhu, G. S., Singh, K., Singh P. S. and Mudahar G. S., 1999. Effects of collimator size and absorber thickness on gamma ray attenuation measurements, *Rad. Phys. and Chem.*, 56, 535-537.
- Singh, C., Singh T., Kumar A., Mudahar G. S., 2004a. Energy and chemical composition dependence of mass attenuation coefficients of building materials. *Ann. of Nucl. En.* 31, 1199-1205.
- Singh, H., Singh, K., Gerward L., Singh, K., Sahota, H. S. and Nathuram R., 2003a. ZnO-PbO-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Glasses as gamma-ray shielding materials. *Nucl. Inst. and Met. In Phys. Res. B.*, 207, 257-262.
- Singh, H., Singh, K., Sharma G., Gerward L., Nathuram R., Lark B. S., Sahota H. S. and Khanna A., 2003b. Barium and calcium borate glasses as shielding materials for X-ray and gamma-rays. *Phys. And Chem. of Glass.*, 44(1), 5-8.
- Singh, K., Singh, H., Sharma G., Gerward L., Khanna A., Kumar R., 2005b. Nathuram R., Sahota, H. S., Gamma-ray shielding properties of CaO-SrO-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> glasses. *Rad. Phys. and Chem.*, 72, 225-228.
- Singh, N., Aulak H. S., Allawadhi K. L. and Sood, B. S., 1989. *J. Phys.* 33, 505-511.

- Singh, N., Singh, K. J., and Singh, K. and Singh, H., 2004b. Comparative study of lead borate and bismuth lead borate glass systems as gamma-radiation shielding materials, *Nucl. Inst. and Meth. In Phys. Res. B.*, 225, 305-309.
- Singh, N., Singh, K. J., Singh, K. and Singh, H., 2006. Gamma-ray attenuation studies of PbO-BaO-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> glass system. *Rad. Meas.*, 41, 84-88.
- Singh, N., Singh, R., Singh, K. J. and Singh, K., 2005a. Gamma-ray properties of lead and bismuth borosilicate glasses. *Glass Tech.*, 46(4), 311-314.
- Singh, S., Kumar A., Singh D., Singh, K. J. and Mudahar G. S., 2008. Barium-borate-fly ash glasses: As radiation shielding materials, *Nucl. Inst. and Meth. In Phys. Res. B.*, 140-146.
- The Health Physics and Radiological Health Handbook, Scintra, Inc., Revised Edition, 1992
- Turgut, Ü., Büyükkasap, E., Şimşek, O. and Ertuğrul, M., 2005. X-ray attenuation coefficient of Fe compounds in the K-edge region at different energies and the validity of mixture rule, *J. of Quan. Spec. and Rad. Trans.*, 92.143-151.
- Turgut, Ü., Şimşek, Ö., Büyükkasap, E., and Ertuğrul, M., 2004. X-ray attenuation measurement for photon energies 4.508-13.375 keV in Cu, Cr and their compounds and the validity of mixture rule, *Analy. Chi. Acta.*, 515.394-352.
- Yarar, Y. and Bayülken, A., 1994. Investigation of neutron shielding efficiency and radioactivity of concrete shields containing colemanite. *J. of Nucl. Mat.*, 212-215, 1720-1720.
- Zazula, J. M. and Tesch, K., 1990. Analysis of the transverse shielding problem at proton accelerators using a hadronic cascade code with low energy particle modules. *Nucl. Inst. and Meth. In Phys. Res.*, 279-294.

## ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Miyandoab (İran)'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini sırasıyla Kashani İlköğretim okulu, Rajaei Ortaokulu ve Furughi Lisesi Miyandoab'da tamamladı. 2003-2007 yılları arasında lisans eğitimini ve 2007-2009 yılları arasında yüksek lisans eğitimini Mahabad Azad Üniversitesi'nde Fen Fakültesi Fizik bölümünde tamamladı. 2004 yılında ilköğretim öğretmeni olarak meslek hayatına başladı. Daha sonra 2008 yılında Valfajr Lisesi'nde, 2009 yılında Ahmad Khomeini lisesi'nde, 2010 yılında Shahed lisesi'nde, 2011 yılında Jafar Sadegh Lisesinde fizik öğretmeni olarak görev yaptı. 2009 yılında Shahindejh (sayın kala) Paiam Nour Üniversitesi, Miyandoab Azad Üniversitesi, Miyandoab Elmi Karbordi Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümünde Araştırma görevlisi olarak görevine devam etti. Evli ve Tebriz'de yaşıyor.

### **Uluslararası Kongre ve Konferanslarda Sunulan Bildiriler**

1. **MEHRNEJAD. R.**, RAZMJOUYAN. R. "Frequency Characteristics of Dielectric Periodic Structures", Recent Researches in Automatic Control and Electronics. Saint Malo & Mont Saint- Michel, France, April 2-4, 2012.
2. **MEHRNEJAD. R.**, RAZMJOUYAN. R. "Characteristics of Dielectric Grating of Left-Handed and Right-Handed Materials", Recent Researches in Automatic Control and Electronics. Saint Malo & Mont Saint- Michel, France, April 2-4, 2012.



## Uluslararası Yayınlanan Kitap Bölümü



1. Recent Researches in Automatic Control and Electronics, **MEHRNEJAD. R.**, RAZMJOUYAN. R. 2012: 187-190 ISBN: 978-1-61804-080-0, Editors: Vincenzo Niola, Michel Kadoch, Alexander Zemliak. *Faculty of Science, Department of Physics, Atatürk University, 25040, Erzurum, Turkey*



2. Recent Researches in Automatic Control and Electronics, **MEHRNEJAD. R.**, RAZMJOUYAN. R. 2012: 205-208 ISBN: 978-1-61804-080-0, Editors: Vincenzo Niola, Michel Kadoch, Alexander Zemliak. *Faculty of Science, Department of Physics, Atatürk University, 25040, Erzurum, Turkey.*

## Uluslararası ISI Makaleler

1. **Rasoul Mehrnejad**, Abdulhalik Karabulut, Turgay Korkut and Bunyamin Aygun, "Datolite and galena with B high density heavy concrete for shielding nuclear reactors", International Journal of Current Life Sciences - Vol.4, Issue, 8, pp.4233-4236, August, 2014.

2. **Rasoul Mehrnejad**, Abdulhalik Karabulut, Turgay Korkut and Bunyamin Aygun, "Datolite with B<sub>4</sub>C high density heavy concrete for shielding nuclear reactors" International Journal of Current Life Sciences - Vol. 4, Issue 8, pp. 4241-4243, August, 2014.