T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KATKILI İNCE FİLMLERİN GAMA RADYASYON ZAYIFLATMA DAVRANIŞLARININ BELİRLENMESİ

Ali SÜT

FİZİK ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2023

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
ÇİZELGELER DİZİNİ vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ vii
1. GİRİŞ 1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 5
2.1. Radyasyon ve Radyoaktif Bozunum 5
2.2. Radyasyon Tarihçesi 5
2.3. Radyasyonun İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri 5
2.4. Radyasyon Çeşitleri 6
2.4.1. Elektromanyetik radyasyon 7
2.4.1.1. X ışını 7
2.4.1.2. Gama radyasyonu 7
4.3. Foton Zayıflama Katsayısı 8
2.7. Konuyla İlgili Yapılan Çalışmalar 9
3. MATERYAL ve YÖNTEM 13
3.1. Materyal 13
3.1.1. İndiyumoksit özellikleri 13
3.1.2. Samaryum özellikleri 14
3.1.3. Bor özellikleri 14
3.1.4. Monte Carlo Yöntemi 15
3.1.4.1. Monte Carlo Yönteminin Bir Foton Problemine Uyarlanması 16
3.1.4.2. MCNP (Monte Carlo N–Parçacık Taşınım Kodu) 17
3.1.4.3. XCOM Programı 22
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 26
4.1. Sonuçlar ve Tartışma 26
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 52
5.1. Sonuçlar 52
KAYNAKLAR 54

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KATKILI İNCE FİLMLERİN GAMA RADYASYON ZAYIFLATMA DAVRANIŞLARININ BELİRLENMESİ

Ali SÜT

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi. Mehmet KOŞAL
İkinci Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Murat YAŞAR
Yıl:2023, Sayfa:60

Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle birlikte bilişim, malzeme bilimi, ekipman geliştirme, radyasyondan korunma alanlarında bir çok iyileştirme meydana gelmektedir. Bu gelişmelerle birlikte teknolojik yeni tasarımlar oluşturmak, bir noktada insan sağlığını önemli ölçüde korumaktadır. Bu tasarımlardan bazıları da günümüzde enerji, bilim ve sağlık sektörlerinde kullanılan radyasyonun insanlar üzerindeki olumsuz etkilerini minimize etmektedir. Örneğin; radyasyon kaynaklarının kullanıldığı radyoloji veya nükleer tıp gibi sağlık birimlerinde çalışanların ve hastaların maruz kaldığı gereksiz radyasyonun etkilerini minimize etmek için bazı koruyucu ekipmanlar tasarlanmıştır. Bu ekipmanlarda cam formunda bulunan gözlükler de koruyucu ekipmanlardan biridir. Radyasyona duyarlı olan göz merceklerinin korunması büyük önem arz etmektedir ve bu doğrultuda her geçen gün koruyuculuğu daha iyi olabilecek yeni cam formları denenmektedir. Tercih edilen bileşik, ince film olarak tasarlandı samaryum ve bor %5, %10 ve %20 oranlarında katkılandı. Bu çalışmada farklı oranlara sahip indiyumoksit (In_2O_3) bileşiğine samaryum ve bor katkılanarak oluşan yeni bileşiğin Kütlesel Azalım Katsayıları (MAC) hesaplandı. Katkılama oranı arttıkça oluşan bileşiklerin yoğunluklarında düşüş meydana geldiği görüldü. Hesaplamalar, Monte Carlo tabanlı Monte Carlo N-Particle (MCNP6) Radyasyon Taşıma Programı kullanılarak simülasyonlar sonucundaki veriler kullanılarak yapıldı. Elde edilen sonuçlar XCOM değerleriyle karşılaştırıldı ve MCNP ile XCOM değerlerinin birbiriyle uyumlu olduğu görüldü. Elde edilen sonuçlar gösteriyor ki, ince film olarak tasarlanan malzemeler; enerji ve sağlık gibi alanlarda yeni malzemelerin kullanılabilirliğini ıspatlamaktadır. Yapılan bu çalışma, radyasyon kullanılan alanlarda farklı materyallerin denenebileceğini ve daha iyi verim elde edilebileceğini göstermektedir.

ANAHTAR KELİMELER: İnce film, Kütlesel azalım katsayısı, MCNP, Radyasyon, Samaryum

ABSTRACT

MSc Thesis

DETERMINATION Of GAMMA RADIATION ATTENUATION BEHAVIORS Of ADDITIVE THIN FILMS

Ali SÜT

Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Mehmet KOŞAL
Supervisor 2nd: Assist. Prof. Dr. Mehmet Murat YAŞAR
Year: 2023, Page: 60

Today, with the development of technology, many improvements occur in the fields of informatics, materials science, equipment development, radiation protection. With these developments, creating new technological designs significantly protects human health at some point. Some of these designs minimize the negative effects of radiation on people, which are used in the energy, science and health sectors today. For example; Some protective equipment has been designed to minimize the effects of unnecessary radiation to which employees and patients are exposed in health units such as radiology or nuclear medicine, where radiation sources are used. Glasses in the form of glass in these equipment are also one of the protective equipment. It is of great importance to protect eye lenses that are sensitive to radiation, and in this direction, new glass forms with better protection are being tried every day. The preferred compound was designed as a thin film and samarium and bor doped at 5%, 10% and 20%. In this study, the Mass Attenuation Coefficients (MAC) of the new compound formed by adding Samarium and bor to the indiumoxide (In_2O_3) compound with different ratios were calculated. As the doping ratio increased, the density of the compounds formed decreased. Calculations were made using data from simulations using the Monte Carlo-based Monte Carlo N-Particle (MCNP6) Radiation Transport Program. The obtained results were compared with the XCOM values and it was seen that the MCNP and XCOM values were compatible with each other. The results show that materials designed as thin films; It proves the usability of new materials in fields such as energy and health. This study shows that different materials can be tested and better efficiency can be obtained in areas where radiation is used.

KEY WORDS: Thin film, Mass attenuation coefficient, MCNP, Radiation, Samarium

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının seçimi, planlanmasında ve yürütülmesinde, benden ilgi ve yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve hoşgörüsünden yararlandığım ve beni sabırla dinleyen hertürlü konuda yardımda bulunan değerli hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Mehmet KOŞAL'a ve Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Murat YAŞAR'a teşekkürü bir borç bilirim.

Tüm eğitim hayatım boyunca her zaman desteğini yanımda hissettiğim maddi ve manevi anlamda desteklerini esirgemeyen ailem ve yüksek lisans eğitimini bitirebilmem için kararlı duruş sergileyen eşime teşekkür ederim.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Radyasyon türleri 6
Şekil 2.2. X-ışını şematik gösterimi 7
Şekil 2.3. Gama ışını şematik gösterimi 8
Şekil 3.1. Monte Carlo yönteminin işleyiş algoritması 17
Şekil 3.2. Örnek bir MCNP input dosyası 18
Şekil 3.3. Örnek MCNP input dosyasının görsel hali 19
Şekil 3.4. XCOM anasayfa 22
Şekil 3.5. XCOM materyal veri giriş sayfası 23
Şekil 3.6. XCOM sonuç ekranı 23
Şekil 3.7. Beer-Lambert yasasına ilişkin deney düzeneğinin temsili çizimi 25
Şekil 3.8. Monte Carlo Tabanlı MCNP simülasyon tasarımı görünümü 25
Şekil 4.1. Katkısız İndiyum Oksit Filmlerin Lineer Zayıflama Katsayıları (LAC) 28
Şekil 4.2. Katkısız İndiyum Oksit Filmlerin Kütle Zayıflatma Katsayıları (MAC) 28
Şekil 4.3. Katkısız İndiyum Oksit Filmlerin Ortalama Serbest Yol(MFP) 28
Şekil 4.4. Katkısız İndiyum Oksit Filmlerin Yarı Değer Kalınlığı (HVL) 29
Şekil 4.5. Katkısız İndiyum Oksit Filmlerin Onda Bir Kalınlık Değeri (TVL) 29
Şekil 4.6. % 5 Samaryum Katkılı İndiyum Oksit İnce Filmlerin Lineer Zayıflama Katsayıları (LAC) 31
Şekil 4.7. % 5 Samaryum Katkılı İndiyum Oksit ince filmlerin Kütle Zayıflama Katsayıları (MAC) 31
Şekil 4.8. % 5 Samaryum Katkılı İndiyum Oksit İnce Filmlerin Ortalama Serbest Yol(MFP) 31
Şekil 4.9. % 5 Samaryum Katkılı İndiyum Oksit İnce Filmlerin Yarı Değer Kalınlığı (HVL) 32
Şekil 4.10. % 5 Samaryum Katkılı İndiyum Oksit İnce Filmlerin Onda Bir Kalınlık Değeri (TVL) .. 32
Şekil 4.11.% 10 Samaryum Katkılı İndiyum Oksit İnce Filmlerin Lineer Zayıflama Katsayıları (LAC) 34
Şekil 4.12. % 10 Samaryum Katkılı İndiyum Oksit İnce Filmlerin Kütle Zayıflama Katsayıları (MAC) 34
Şekil 4.13. % 10 Samaryum Katkılı İndiyum Oksit İnce Filmlerde Ortalama Serbest Yol (MFP) 34
Şekil 4.14. % 10 Samaryum Katkılı İndiyum Oksit İnce Filmlerin Yarı Değer Kalınlığı (HVL) 35
Şekil 4.15. % 10 Samaryum Katkılı İndiyum Oksit İnce Filmlerin Onda Bir Kalınlık Değeri(TVL).. 35
Şekil 4.16. % 20 Samaryum Katkılı İndiyum Oksit İnce Filmlerin Lineer Zayıflama Katsayıları (LAC) 37
Şekil 4.17. % 20 Samaryum Katkılı İndiyum Oksit İnce Filmlerin Kütle Zayıflama Katsayıları (MAC) 37
Şekil 4.18. % 20 Samaryum Katkılı İndiyum Oksit İnce Filmlerin Ortalama Serbest Yol (MFP) 37
Şekil 4.19. % 20 Samaryum Katkılı İndiyum Oksit İnce Filmlerin Yarı Değer Kalınlığı (HVL) 38
Şekil 4.20. % 20 Samaryum Katkılı İndiyum Oksit İnce Filmlerin Onda Bir Kalınlık Değeri (TVL). 38
Şekil 4.21. %5 Bor katkılı In_2O_3 ince filmlerin Lineer Zayıflama Katsayıları (LAC) 40
Şekil 4.22. %5 Bor katkılı In_2O_3 ince filmlerin Kütle Zayıflatma Katsayıları (MAC) 40
Şekil 4.23. %5 Bor katkılı In_2O_3 ince filmlerde ortalama serbest yol (MFP) 40
Şekil 4.24. %5 Bor katkılı In_2O_3 ince filmlerde yarı değer kalınlığı (HVL) 41
Şekil 4.25. %5 Bor katkılı In_2O_3 ince filmlerde onda bir kalınlık değeri (TVL) 41
Şekil 4.26. %10 Bor katkılı In_2O_3 ince filmlerin Lineer Zayıflama Katsayıları (LAC) 43
Şekil 4.27. % 10 Bor katkılı In_2O_3 ince filmlerin Kütlesel Zayıflatma Katsayıları (MAC) 43
Şekil 4.28. % 10 Bor katkılı In_2O_3 ince filmlerde ortalama serbest yol (MFP) 43
Şekil 4.29. % 10 Bor katkılı In_2O_3 ince filmlerde yarı değer kalınlığı (HVL) 44
Şekil 4.30. % 10 Bor katkılı In_2O_3 ince filmlerde onda bir kalınlık değeri (TVL) 44
Şekil 4.31. % 20 Bor katkılı In_2O_3 ince filmlerin Lineer Zayıflama Katsayıları (LAC) 46
Şekil 4.32. % 20 Bor katkılı In_2O_3 ince filmlerin Kütle Zayıflatma Katsayıları (MAC) 46
Şekil 4.33. % 20 Bor katkılı In_2O_3 ince filmlerde ortalama serbest yol (MFP) 46
Şekil 4.34. % 10 Bor katkılı In_2O_3 ince filmlerde yarı değer kalınlığı (HVL) 47
Şekil 4.35. % 20 Bor katkılı In_2O_3 ince filmlerde onda bir kalınlık değeri (TVL) 47

Şekil 4.36. Katkısız indıyum oksit filmlerde kütlesel zayıflama katsayısı (MAC) karşılaştırılması grafiği. 48
Şekil 4.37. % 5 samaryum ve Bor katkılı indıyum oksit filmlerde kütlesel zayıflama katsayısı (MAC) karşılaştırılması grafiği 48
Şekil 4.38. % 10 samaryum ve Bor katkılı indıyum oksit filmlerde kütlesel zayıflama katsayısı (MAC) karşılaştırılması grafiği 49
Şekil 4.39. % 20 samaryum ve bor katkılı indıyum oksit filmlerde kütlesel zayıflama katsayısı (MAC) karşılaştırılması grafiği. 49
Şekil 4.40. Farklı oranlarda samaryum katkılanmış indiyum oksit ince filmin lineer zayıflatma katsayısı (LAC) karşılaştırma grafiği 50
Şekil 4.41. Farklı oranlarda bor katkılanmış indiyum oksit ince filmin lineer zayıflatma katsayısı (LAC) karşılaştırma grafiği 50
Şekil 4.42. Farklı oranlarda samaryum katkılanmış indiyum oksit ince filmin kütlesel zayıflatma katsayısı (MAC) karşılaştırma grafiği 51
Şekil 4.43. Farklı oranlarda bor katkılanmış indiyum oksit ince filmin kütlesel zayıflatma katsayısı (MAC) karşılaştırma grafiği 51

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 3.1. MCNP' de geometrileri oluşturmak için kullanılan bazı yüzey kartları 21
Çizelge 3.2. MCNP' de çalışılabilecek parçacık türleri 21
Çizelge 3.3. MCNP' de kullanılan tally kartları 22
Çizelge 4.1. Katkısız indiyum oksit ince filmlerin foton radyasyon zayıflama parametreleri 29
Çizelge 4.2. % 5 Samaryum katkılı indiyum oksit ince filmlerin foton radyasyon zayıflama parametreleri ..... **Error! Bookmark not defined.**2
Çizelge 4.3. % 10 Samaryum katkılı indiyum oksit ince filmlerin foton radyasyon zayıflama parametreleri ..... **Error! Bookmark not defined.**5
Çizelge 4.4. % 20 Samaryum katkılı indiyum oksit ince filmlerin foton radyasyon zayıflama parametreleri ..... **Error! Bookmark not defined.**8
Çizelge 4.5. % 5 bor katkılı indiyum oksit ince filmlerin foton radyasyon zayıflama parametreleri ..... **Error! Bookmark not defined.**1
Çizelge 4.6. % 10 bor katkılı indiyum oksit ince filmlerin foton radyasyon zayıflama parametreleri ..... **Error! Bookmark not defined.**4
Çizelge 4 .7. % 20 bor katkılı indiyum oksit ince filmlerin foton radyasyon zayıflama parametreleri ..... **Error! Bookmark not defined.**7

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

ρ	Yoğunluk
Å	Angsrom
Co-60	Kütle numarası 60 olan kobalt
Cs-137	Kütle numarası 137 olan sezyum
d	Film kalınlığı
E	Enerji
g	Yer çekimi ivmesi
Gy	Gray (Gy)
h	Planck sabiti
HVL	Yarı değer kalınlığı
hν	Foton enerjisi
ICRP	Uluslararası radyolojik koruma komisyonu
keV	Kilo elektron volt
LAC	Lineer zayıflama katsayıları
MAC	Kütle zayıflama katsayıları
MFP	Ortalama serbest yol
TVL	Onda Bir Kalınlık Değeri
u	Taşıyıcı hızı
U-235	Kütle numarası 235 olan uranyum
XCOM	NIST tarafından oluşturulan foton tesir kesiti kütüphanesi programı
μ	Lineer zayıflama katsayısı
μm	Mikrometre
ν	Frekans

1. GİRİŞ

Radyasyon, kontrol altında tutulması zor ve dikkatli kullanılmadığında canlı hayatı açısından yaratacağı tehlikeler bakımından önem arz eden bir enerji çeşididir (Erk, 2016). Radyasyondan koruyucu malzemelerin geliştirilmesi son yıllarda önemli ölçüde çalışılan bir konudur. Çünkü radyasyondan korunmada kullanılan malzemelerin emisyon, absorpsiyon ve lineer zayıflatma özellikleri geliştirilerek maruz kalınan radyasyonun dozu en aza indirilebilir. Bugün dünya çapında birçok tesiste çeşitli uygulamalar için farklı yapay radyasyon kaynakları mevcuttur. Bu radyasyon kaynaklarını daha güvenli ve etkin kullanmak için çeşitli inşaat malzemeleri (Madej ve ark., 2021), amorf alaşımlar (Alshahrani ve ark., 2021), farklı katkılı camlar (Sayyed ve ark., 2021) etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Böylece radyasyonun biyolojik yapıya ve çevreye verdiği zarar önemli ölçüde önlenebilmektedir. Bu amaçla, radyasyon tespitinde uyarı sinyali başlatabilen ve gerçek zamanlı olarak yanıt verebilen, uygun maliyetli radyasyon sensörlerinin geliştirilmesi de önemlidir (Sudha ve ark., 2019).

Radyasyonun özellikle sağlıkta; tanı ve tedavi aşamasında kullanılmasında hem hasta sağlığı hem de radyasyon ile direk etkileşimde olan radyasyon çalışanlarının aldıkları radyasyon dozlarını bilmek ve buna göre önlemler almak hayati önem taşımaktadır. Bu bağlamda radyasyon güvenliği açısından en önemli detay, doğrudan kontrol edilemeyen bu enerji türüne karşı ilk akla gelen şeyin doğru zırhlama olmasıdır. Geçmişten günümüze bu alanda yapılmış birçok çalışma bulunmakta ve farklı malzemeler incelenerek en uygun zırh malzemesi bulunmaya çalışılmaktadır. Uygun zırh malzemesini seçerken dikkat edilmesi gereken en önemli faktör, radyasyondan en iyi şekilde koruyabilmesi ve elde edilmesinin kolay olmasıdır (Emikönel, 2015; Çiçek, 2020).

Kurşun ve beton gibi yüksek atom numarasına sahip bazı malzemeler, nötronlar, X-ışınları ve gama gibi radyoaktif ışınlar parçacıklarla artan etkileşimlere sahip olabilir. Bu nedenle, radyasyona maruz kalmayı önlemek için uygun seçenekler

haline gelirler. Bu malzemelerin birçok avantajı olmasına ve iyonlaştırıcı radyasyon ile etkileşimleri nedeniyle koruyucu malzemeler olarak yaygın kullanılmalarına rağmen, opaklık gibi dezavantajları vardır. Bu tür malzemelerin içini görmek imkansızdır. Ayrıca kurşunun çevre üzerinde toksik etkileri vardır ve nem seviyesi betonun soğurma özelliklerini etkiler (Issa ve ark., 2021). Bu gelişmelere bağlı olarak radyasyondan korunmada kullanılmak üzere yeni malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır.

Yarı iletken metal oksit ince filmler, mükemmel termal ve kimyasal kararlılıkları nedeniyle araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Çünkü ince filmlerin optik özelliklerinde radyasyon kaynaklı değişikliklerin incelenmesi, optik olarak aktif bir dozimetre geliştirmek için önemlidir. Üzerinde çalışılan indiyum oksit (In_2O_3), 3.5–3.7 eV bant aralığına sahip olması nedeniyle büyüleyici bir n-tipi yarı iletkendir (Sudha ve ark., 2019). Ayrıca, yüksek elektriksel iletkenliğe, olağanüstü optik şeffaflığa sahiptir (Nulhakim ve ark., 2020). İnce film transistörler, fotodedektörler, gaz algılayan güneş pilleri, fotokatalizörler ve elektrokromatik cihazlar dahil olmak üzere farklı alanlardaki araştırmacıların ilgisini çekmiştir (Alam ve ark., 2020).

In_2O_3 ince filmi, sol-jel daldırmalı kaplama, kimyasal buhar biriktirme ve sprey piroliz gibi farklı teknikler kullanılarak sentezlenebilir (Deokate, 2020). Bunlardan sprey piroliz yöntemi kolay, düşük maliyetli ve bu yöntemle geniş alanlar kaplanabildiği için endüstriye uygundur. Ayrıca ince filmin fazı, boyutu ve morfolojisi kontrol edilebilir. Ayrıca sprey piroliz yöntemi gerekli ve yüksek kaliteli hedeflere/substratlara sahip değildir (Patil ve ark., 2016). Püskürtme piroliz yöntemi ile yüksek saflıkta, yüksek gözenekliliğe ve geniş yüzey alanına sahip ultra ince tozların elde edilmesi çok önemlidir (Gavrilovíc ve ark., 2018). Bu yöntemin bazı örnekleri; Flor katkılı In_2O_3 ince filmi sprey piroliz yöntemiyle sentezlenmiştir. Bu filmin elektrik direnci ve optik iletimi incelenmiştir (El Hichou ve ark., 2009).

Bu çalışmada farklı gama kaynakları kullanılarak farklı elementlerle katkılanmış ince filmlerin radyasyon zayıflatma özellikleri araştırıldı. Lineer soğurma katsayısı hesaplandı. Yapılan çalışmalarda gerekli simülasyonlar ve grafiklerle bu tip malzemelerin önemi vurgulandı.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Radyasyon ve Radyoaktif Bozunum

Radyasyon, uzayda veya maddede çok yüksek bir hızla hareket eden bir enerjidir. Bu enerji, radyoaktif maddelerden yayılan alfa ve beta gibi parçacıklar ve ışık, radyo dalgaları, mikrodalgalar, x-ışınları ve gama ışınları gibi dalgalar şeklinde olabilir. Radyonüklidler veya radyoizotoplar olarak da bilinen radyoaktif maddeler kararsız çekirdeklerdir. Doğada, kararsız çekirdeklerin kararlı bir forma dönüşme eğilimi vardır. Radyoaktif çekirdekler kararsızdır ve bundan dolayı yüksek enerjilere sahip olabilirler. Radyoaktif çekirdekler fazla enerjilerini kendiliğinden serbest bıraktıklarında bozunurlar. Fazla enerjilerini serbest bıraktıktan sonra, çekirdekler daha kararlı hale gelirler. Bozunma için gereken süre çekirdeğin karakteristik özelliği olup türüne bağlı bir durumdur (Köklü, 2006; Dönmez, 2017; Abay, 2021).

2.2. Radyasyon Tarihçesi

1895'te Alman fizikçi Wilhelm Conrad Roentgen tarafından fotoğraf filminde renk değişmesine neden olan X-ışınları keşfedilmişti. Radyoaktivite, 1896'da Paris'te çalışan Fransız fizikçi Henri Becquerel tarafından bulunmuştur. Marie Curie radyoaktivite terimini kullanan ilk kişidir ve kocası Pierre Curie ile birlikte radyoaktif uranyum cevherinden radyum ve polonyum gibi diğer radyoaktif elementleri elde etmiştir. Bir sonraki önemli adım, bu radyoaktif parçacıkların tanımlayıcı özelliklerini karakterize eden ve bunları alfa, beta parçacıkları ve gama ışınları olarak adlandıran Ernest Rutherford'dan gelmiştir (Kaya, 2021; Reed, 2011).

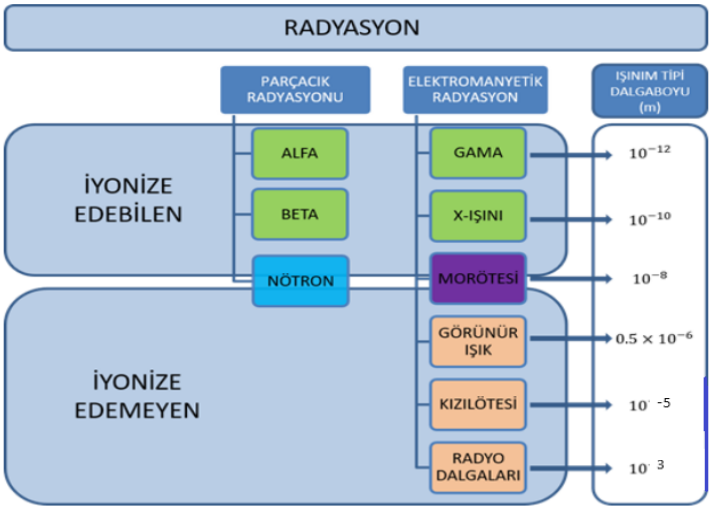
2.3. Radyasyonun İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri

Bitkiler ve hayvanlar üzerinde yapılan deneyler nedeniyle, insanlarda radyasyonun neden olduğu mutasyona dair bir kanıt olmamasına rağmen, iyonlaştırıcı

radyasyonun gelecek nesilleri etkileyen genetik mutasyonlara da neden olabileceği varsayılmalıdır. Çok yüksek seviyelerde radyasyona maruziyetten sonraki haftalar içinde hastalığa ve ölüme neden olabilir. Radyasyonun neden olduğu hasarın derecesi, doz oranı, radyasyon türü, vücudun maruz kalan kısmı, yaş ve sağlık gibi birçok faktöre bağlıdır. İnsan fetüsü dahil olmak üzere embriyolar, radyasyon hasarına karşı özellikle hassastır. Genel olarak radyasyonun insan sağlığına zararlarına bakıldığında fenomenolojik olarak değişen; saç ve kıllarda dökülme, deride kızarıklık, ishal, bulantı, kusma, kansızlık gibi akut etkiler ile geçici veya sürekli kısırlık; kanser, yaşam süresinin kısalması, cenin ve gelişmesi üzerindeki etkileri gibi kronik etkilerdir (Köklü, 2006; Çetin, 2011).

2.4. Radyasyon Çeşitleri

Madde ile etkileşime girdiğinde iyon üretebilen radyasyona iyonlaştırıcı radyasyon denir. Alfa parçacıkları, beta parçacıkları, x-ışınları ve gama ışınları iyonlaştırıcı radyasyon biçimleridir. İyonize olmayan radyasyon (non-iyonize radyasyon), etkileşime girdiği maddede yüklü iyonlar oluşturamayan radyasyondur. Radyo dalgaları, mikrodalgalar, ısı dalgaları, görünür ışık ve ultraviyole radyasyon, iyonlaştırıcı olmayan radyasyon biçimleridir (Kaya, 2021). Radyasyon türleri Şekil 2.1'de gösterilmiştir (Dönmez, 2017; Çimen, 2018; Çiçek, 2020). Çalışmamızın konusu sebebiyle sadece elektromanyetik radyasyona değinilmiştir.



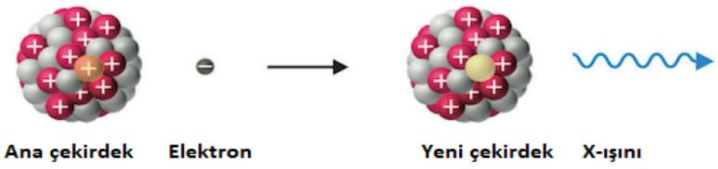
Şekil 2.1. Radyasyon türleri

2.4.1. Elektromanyetik radyasyon

İyonlaştırıcı elektromanyetik radyasyon X-ışınları ve gama (γ) ışınları olup belli bir enerjiye sahip dalga formundaki radyasyon çeşidi olarak bilinmektedir (Kaya, 2021; Dönmez, 2017). Bu radyasyon türü yüksek enerjili, iyonlaşmaya yol açabilen ve günümüzde kurşun gibi yüksek kütle numaralı elementlerden oluşan bloklarla durdurulabilen radyasyon türüdür.

2.4.1.1. X ışını

Röntgen ışınları olarak da bilinen X ışınları, bir atoma gönderilen yüksek enerjili elektronlar o atomun ilk enerji düzeyinden elektronlar koparırlar. Atomdan kopan bu elektronun yerine üst enerji seviyelerinden elektronlar geçerek kopan elektronun yerindeki boşluğu doldururlar. Bu sırada açığa çıkan enerji fazlalığı X-ışını şeklinde dışarı salınır. Çekirdekteki protonlardan birisi atomun ilk enerji düzeyindeki bir elektronu yakalar ve nötrleşir. Bu elektronun enerji düzeyinde oluşan boşluğa diğer enerji düzeyinden bir elektronun geçişiyle X-ışını meydana gelebilir (Vaizoğullar, 2016).

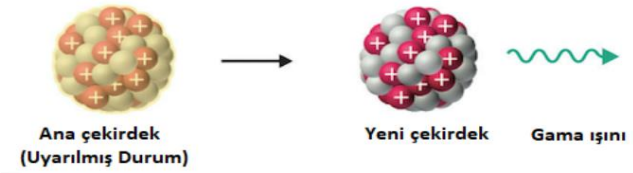


Şekil 2.2. X-ışını şematik gösterimi (Vaizoğullar,2020)

2.4.1.2. Gama radyasyonu

Nötron sayısı proton sayısının 1.5 katı ve atom numarası 83 ten fazla olan çekirdekler kararsızdır. Bu çekirdekler α ve β parçacıkları ile γ ışınları yayınlayarak kararlı hale geçerler. Bir çekirdek, bir beta parçacığı yayımladıktan sonra, çoğunlukla hâlâ biraz kararsızdır ve hemen ardından bir gama ışını yayarak fazla enerjisinden kurtulur. İki olay arasındaki zaman gecikmesi o kadar kısadır (saniyenin milyarda

birinden daha az). X ışınları ve gama ışınları yüksek enerjilere sahiptir. Yaklaşık olarak aynı frekans aralığını kapsarlar ve aralarındaki tek fark oluşum şekilleridir. Gama ışınları radyoaktif atomların çekirdeklerinden yayılırken, X-ışınları atomların elektron yörüngelerindeki geçişlerinden üretilir. Birbirlerinden yalnızca frekanslarında (saniyedeki titreşim veya döngü sayısı) farklılık gösterirler. Ancak bu fark tamamen frekans farkından kaynaklanmaktadır. Şekil 2.6'de gama ışını oluşumu şematik gösterimi verilmiştir (Köklü, 2006; Bakar, 2012; Vaizoğullar, 2016; Çiçek, 2020).



Şekil 2.3. Gama ışını şematik gösterimi

4.3. Foton Zayıflama Katsayısı

Malzeme ile etkileşime giren radyasyon, malzeme atomları ile etkileşim nedeniyle soğurulur (Kavun, 2019). Denklem (2.1) ile malzemenin birim kalınlığında soğurulan radyasyon miktarı hesaplanır (Eskalen ve ark., 2020).

$$\mu = \ln\left(\frac{I_0}{I}\right)/x(\mathrm{cm}^{-1}) \tag{2.1}$$

Burada μ doğrusal zayıflama katsayısı ve x malzeme kalınlığıdır. I, hedef malzeme ile etkileşerek dedektöre ulaşan X ışınlarının şiddeti, I_0, malzeme ile etkileşime girmeden dedektöre ulaşan X ışınlarının şiddetidir. Denklem (2.2)'de standart sapma formülü görülmekte ve μ kullanılarak hesaplanmaktadır (Eskalen ve ark., 2020).

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(\mu_i - \bar{\mu})^2}{N-1}} \tag{2.2}$$

Burada μ_i her bir ölçümdür ve μ ortalama ölçümdür. Ayrıca N, her numunenin ölçüm sayısıdır. Standart sapmaların hesaplanmasında her bir sayım için deneysel olarak elde edilen doğrusal zayıflama katsayısı ve doğrusal zayıflama katsayılarının ortalama değeri kullanılmıştır. Bileşik ve karışımların kütle zayıflatma katsayıları (μ_m) için denklem (2.3) kullanılır (Eskalen ve ark., 2020).

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} = \sum w_i \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_i \cdot (\mathrm{cm}^2/\mathrm{g}) \tag{2.3}$$

Burada ağırlık oranı w_i ile verilir. ρ yoğunluktur ve bileşikteki elementler için kütle zayıflama katsayısı $(\mu/\rho)_i$ verilir. Radyasyonu azaltmak için gerekli malzeme kalınlığı (Yarım Değer Katmanı-HVL) gelen ışın demeti şiddetinin yarıya inmesi için gerekli malzeme kalınlığı Denklem (2.4)'de verilmiştir.

$$\text{Yarım Değer Katmanı (HVL)} = {}^{\ln 2}/_{\mu}\ (\mathrm{cm}) \tag{2.4}$$

Gelen ışın demeti yoğunluğunun onda bire düşürülmesi için gereken malzeme kalınlığını (Onuncu değer katmanı-TVL) belirlemek için Denklem (2.5) kullanılmaktadır (Eskalen ve ark., 2020).

$$\text{Onuncu Değer Katmanı (TVL)} = {}^{\ln 10}/_{\mu}\ (\mathrm{cm}) \tag{2.5}$$

Ortalama Serbest Yolun X-ışınının malzeme ile etkileşime girmeden hareket ettiği ortalama mesafesi (MFP) (Denk. (2.6) de verilmiştir (Eskalen ve ark., 2020).

$$\text{Ortalama Serbest Yol (MFP)} = {}^{1}/_{\mu}\ (\mathrm{cm}) \tag{2.6}$$

2.7. Konuyla İlgili Yapılan Çalışmalar

Kavun ve ark. (2022) tarafından yapılan çalışmada, sprey piroliz yöntemiyle saf indiyum oksit (In_2O_3) ve samaryum (Sm) katkılı In_2O_3 ince filmleri sentezlemiştir.

Elde edilen numuneler, X-ışını difraktometresi, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve UV-VIS spektrometresi ile karakterize edilmiştir. Sm elementinin eklenmesiyle, In_2O_3'ün kristal pikleri, artan doping konsantrasyonuyla kademeli olarak azaldığı tespit edilmiştir. Farklı yüzdelerde (%0, 5, 10 ve 20) Sm katkılı In_2O_3 ince filmlerin deneysel doğrusal zayıflama katsayıları (μ), VARIAN® ve PTW® iyon odası aracılığıyla X-ışını kullanılarak belirlenmiştir. Bu ölçümlerden elde edilen sonuçlar, Sm katkılı In_2O_3 ince filmlerin radyasyondan koruma performansının anlaşılmasını sağlamıştır.

Sriwunkum ve ark. (2018) tarafından yapılan çalışmalarında, $PbO–Li_2O–B_2O_3$ bileşiğini farklı (mol %) oranlarda karıştırarak elde ettikleri cam numunelerininde yine bir Monte Carlo yöntemi tabanlı FLUKA programı kullanarak, cam örneklerinin kütlesel zayıflama katsayıları hesaplanmıştır. Daha sonra kütlesel zayıflama katsayılarını, ortalama serbest yolu, etkin atom numarası ve elektron yoğunluğu standart XCOM verileriyle ve yakın zamanda yayınlanan çalışmanın deneysel sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Simüle edilmiş ve hesaplanmış sonuçların, tüm cam numuneleri için maksimum bağıl sapmanın %1.5'ten az olduğu yayınlanan sonuçlarla iyi bir uyum içinde olduğu bulunmuştur.

Tarim ve Güler (2018) tarafından yapılan çalışmalarda, gama ışınının zayıflaması için pratik uygulamada kullanılabilecek Monte Carlo simülasyonuna dayalı kullanışlı bir hesaplama modelini tanıtmayı amaçlamaktadır. Burada farklı PbO yüzdelerine sahip kurşun çinko borat camların doğrusal zayıflama katsayısı için bir Monte Carlo algoritması kullanılarak belirlenen değerleri sunmaktadır. Tasarlanan program, maddedeki gama ışını etkileşimlerini simüle ettiği görülmüştür. Farklı bileşim ve yoğunluktaki camlar için lineer zayıflama katsayısı, HVL ve MFP değerleri 80, 356, 662, 1173 ve 1332 keV enerjiler için hesaplanmıştır. Bu çalışmadan, malzeme yoğunluğunun arttırılması, dolaylı olarak malzemelerin HVL ve TVL kalınlıklarının azaltılmasıyla gama ışınlarının etkisinin en aza indirilebileceği sonucuna varılabilir. Öte yandan, lineer zayıflama katsayısı (μ) değerleri gama ışını enerjisinin artmasıyla azalmakta, ancak ortalama serbest yol ve yarı değer katmanı, gama ışınlarının enerjisinin artmasıyla artmaktadır. Monte Carlo simülasyonu, XCOM programı ve

deneysel veriler arasında gözlemlenen iyi bir uyum, algoritmanın çeşitli ekranlama malzemelerinin karakterizasyonu için kullanılabileceğini göstermektedir.

Aygün ve Karabulut (2018) tarafından yapılan çalışmalarda, yüksek sıcaklıklarda radyasyon absorpsiyon karakterine sahip ağır beton tasarımı ve üretimini amaçlamışlardır. Hızlı nötron ve gama radyasyonu için hematit (Fe_2O_3), titanyum oksit (TiO_2), alüminyum oksit (Al_2O_3), limonit (FeO (OH) nH_2O), siderit ($FeCO_3$), silikon dioksit (SiO_2) gibi minerallerin absorpsiyon kesitleri GEANT4 kodu olarak adlandırılan Monte Carlo simülasyon programı kullanılarak datolit ($CaBSiO_4$), barit ($BaSO_4$), galen (Pbs) tespit edilmiştir. Bulunan simülasyon sonuçlarına göre üretimde kullanılan malzemelerin kütle yüzdeleri hesaplanmıştır. Üretimde alüminli çimento kullanılarak yüksek sıcaklığa dayanıklı yeni ağır beton tasarlanmış ve üretilmiştir. Yeni ağır betonun yüksek sıcaklıklardaki davranışı "yüksek sıcaklık deneyleri" ile belirlenmiştir. Daha sonra deneysel nötron iletim ölçümü ve mekanik direnç testleri yapılmıştır. Sonuçlar normal betonlarla karşılaştırılmış ve yeni ağır betonun γ-gama ve hızlı nötron radyasyonu soğurma performansının daha yüksek olduğu görülmüştür. Mevcut çalışmada elde edilen sonuçlara göre, yeni ağır betonların nükleer reaktörlerde, radyasyon terapi odalarında, nükleer atıkların depolanmasında, nükleer araştırma laboratuvarlarında ve nükleer sığınaklarda kullanılabileceği önerilmiştir.

Matur ve Baydogan (2017) tarafından yapılan çalışmada, gama ışınımının karakteristik etkileri için CIGS ince filmlerinin özellikleri incelenmiştir. İyi kristalize edilmiş bakır indiyum galyum (di) selenid-Cu(In, Ga)Se_2 (CIGS) ince filmler, sol-jel daldırarak kaplama yöntemi kullanılarak soda-kireç silikat cam alt tabakalar üzeri kaplanmıştır. Işınlama prosedürü, CIGS ince filmlerinin optik ve elektriksel özelliklerinin geliştirmelerini incelemek için iki farklı soğurulan doz seviyesinde (0.03 ve 0.05 Gray (Gy)'de) sertifikalı bir Co-60 radyoizotop kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Cs-137 (0.662 MeV) ve Co-60 (~1.25 MeV) radyoizotopları, gama ışını tekniği ile farklı kalınlıklardaki CIGS ince filmler üzerinde soğurulan dozun etkisini değerlendirmek için kullanılmıştır. Işınlanmış CIGS ince filmleri, optimal tabaka kalınlığında geliştirilmiş bir optik bant aralığı ve elektrik direnci sergilediği görülmüştür. Deneylerde, farklı kalınlıklardaki ışınlanmamış ve ışınlanmış CIGS ince filmlerinin Cs-137 (0.662 MeV) ve Co-60 (~1.25 MeV) gama kaynaklarına karşı gama

zayıflama özelliklerini araştırmak için gama iletim tekniği kullanılmıştır. Işınlama işlemi ve CIGS ince filmlerinin kalınlığının artması, daha yüksek lineer zayıflama katsayısına, daha yüksek soğurmaya ve elektriksel iletkenlikte iyileşmeye neden olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar, özellikle yüksek irtifa uçuş operasyonları için, havacılık teknolojisindeki güneş pili uygulamaları için bu malzemelerin uygunluğunu göstermiştir.

Toebbe (2012) tarafından yapılan çalışmada, geri dönüştürülmüş lastik kauçuğundan üretilen ve ince bir yüksek atom numaralı malzeme tabakasıyla kaplanmış kırıntı kauçuk granüllerinin radyasyondan koruma performansını iyileştirmek için sıradan betona karıştırılabileceği öne sürülmüştür. Kauçuğun yüksek hidrojen içeriği, kompozit malzemenin elastik saçılma yoluyla nötronlara karşı koruma kabiliyetini artırır. Örneğin, kurşun veya bizmutun yüksek elektron yoğunluğu, gama ışınlarını verimli bir şekilde zayıflatır. Ağır metal kaplı kauçuk granüllerin koruma özelliklerine ilişkin yaptığı araştırmasında, bu tür kompozit malzemelerin pratik radyasyon koruma problemlerinin çözümünde faydasını fazlasıyla göstermiştir. Kauçuk granül kaplanmış yüzeylerin yoğunluğu ıslak betonla eşleştirildiğinde kalkan duvarının radyasyon kalkanı özellikleri üzerinde ihmal edilmeyen bir etkiye sahip olduğu bulunmurtur. Geometrik modelleme soyutlamasının, kalkan duvarının öngörülen performansı üzerinde önemli bir etkisi olduğu bulunmuştur.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. İndiyumoksit özellikleri

Nanomalzemeler, hem temel hem de uygulamalı bilimler için araştırmacılar tarafından büyük ilgi çekmiştir. Nano boyuttaki (1–100 nm) bu malzemeler, yüksek yüzey alanı, mükemmel fiziksel ve kimyasal kararlılık ve emsallerine kıyasla daha düşük malzeme yoğunluğu gibi yeni özellikler göstermektedirler. Aslında, nanomalzemelerin bu özellikleri, araştırmacıların pratik kullanım için yeni fonksiyonel nanomalzemeler/cihazlar tasarlamasına ve üretmesine yardımcı olmuştur. Geçtiğimiz yıllarda, nanoyapılı metal oksit yarı iletkenler (MOS'ler), çeşitli alanlardaki yaygın uygulamalarından dolayı malzeme araştırmacılarının büyük ilgisini çekmiştir. Çeşitli MOS'lar arasında indiyum oksit (In_2O_3), geniş bant aralığı, yüksek elektriksel iletkenliği, kararlılığı ve mükemmel optoelektronik özellikleri nedeniyle geniş çapta araştırılmıştır. In_2O_3 (IO), oda sıcaklığında 3.6 eV doğrudan bant aralığı enerjisine sahip geniş bant aralıklı n-tipi bir yarı iletkendir. Son on yılda IO veya IO tabanlı nanomalzemeler kapsamlı bir şekilde incelenmiştir (Khan ve ark., 2020).

Groth ve ark. (1996) yaptığı çalışmada, IO'ya katılan az miktarda Sn veya Ti'nin, görünür bölgedeki optik şeffaflığını kaybetmeden elektriksel iletkenliği ve kızılötesi yansıtmayı önemli ölçüde artırabileceğini göstermiştir. Bu deneysel gözleme dayanarak, popüler olarak indiyum kalay oksit (ITO) olarak bilinen Sn katkılı In_2O_3, elektrokromatik ve kızılötesi yansıtıcı pencereler, ışık yayan diyotlar, güneş pilleri için şeffaf kontaklar ve düz alanlarda aktif bir araştırma ve geliştirme alanı oluşturur. Son zamanlarda, ITO'lu çeşitli elektronik/optoelektronik cihazların üretimindeki hızlı artış, indiyum fiyatında keskin bir artışa neden olmuştur. Fonksiyonel özelliklerden ödün vermeden maliyeti en aza indirmek için indiyum oksit esaslı ince filmler üretilmiştir. Bu bakımdan, IO veya IO tabanlı nanomalzemelerin bant boşluk mühendisliği ile

heteroyapı oluşumu, özellikle şeffaf elektronik cihazlar ve sensörlerde ileri uygulamalar için fonksiyonel özelliklerini geliştirmektedir (Khan ve ark., 2020).

3.1.2. Samaryum özellikleri

Samaryum, nadir toprak elementleri olarak da adlandırılan lantanid metallerinden biridir. İlk olarak 1879'da Paul-Émile Lecoq de Boisbaudran tarafından keşfedilmiştir. Samaryum oksit formunda, elemental veya metal formunda veya bileşik formunda bulunabilir. Metalik versiyon, çubuklar, filmler ve püskürtme hedefleri gibi çeşitli biçimler de mevcuttur. Oksitleri nanotoz ve yoğun pelet formlarında gelir. Bu oksitler en çok optik kaplamalar ve ince film uygulamaları için uygundur. Çözünmeyen florürleri, metalurji, kimyasal ve buhar biriktirme ve özel optik kaplamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Çözünür oksitleri arasında klorürler, nitratlar ve asetatlar bulunur. Samaryum-titanate olağanüstü dielektrik özellikler göstermiştir. Hassas optik kaplamalar ve mikrodalga frekanslarında yüksek performanslı kapasitörler için idealdir. Metalik formları arasında çubuklar, teller, peletler ve granüller bulunur (Jha, 2014).

Metalik samaryum başta kanser olmak üzere çeşitli hastalıkların tanı ve tedavisinde çok önemli roller oynamaktadır. Çeşitli lantanit kompleksleri, özellikle samaryum, tümör hücreleri üzerinde kanseri tedavi edici etkiler göstermiştir. Samaryum, paramanyetik özelliklerinden dolayı manyetik rezonans görüntüleme (MRI) için de kullanılır. Samaryum parçacığının mükemmel özelliklerine göre, gelecekte çeşitli hastalıkların tedavisi ve teşhis sistemlerinin tasarlanması öngörülebilir (Ghodrati ve Divsalar, 2021).

3.1.3. Bor özellikleri

Bor yeryüzünde en az bulunan elementlerdendir. Doğada serbest halde bulunmayan bu element minerallerin bileşiminde bulunmaktadır. Dünyadaki bor rezervinin % 62’sine yakını Türkiye’dedir (Ünlü, 2006).

Çelik alaşımı, demir ve titanyum gibi metallerin borla katkılanması ile aşınmaya karşı dayanıklı tabakalar elde edilebilmektedir (Ünlü, 2006).

Bor-karbür (B_4C) bileşimi yüksek sertlikte olup kimyasal ve mekanik aşınmaya karşıçok iyi bir direnceye sahiptir. Bor karbürden yapılan zırh malzemeleri diğer malzemelere oranla %70 daha hafiftir. Bor savuma sanayi, nükleer enerji, uzay ve havacılık sanayi, sağlık sektörü ve temizlik sektöründe kullanılmaktadır (Ağar, 2017).

3.1.4. Monte Carlo Yöntemi

Monte Carlo Yöntemi, rastgele sayılar kullanarak bir soruna makroskopik bir çözüm elde etmeye yönelik istatistiksel bir yaklaşımdır (Sağlamcı, 2021). Monte Carlo Yöntemi, analitik olarak çözümlenmesi mümkün olmayan rastgele durumları bilgisayarlarda hesaplamaktadır. Hesaplamaların çoğu birbirinden bağımsız ve düzgün dağılımlı, istatistiksel testleri sağlayan, tekrarlanabilir ve (0.1) aralığında üretilen, rastgele sayılara dayandırılmaktadır. Gerçekte bu sayılar birbirinden bağımsız ve düzgün dağılımlı değildir. Bu sebeple bilgisayar algoritmaları ile üretilen bu sayılara sözde rastgele sayılar denilmektedir (Yıldırım, 2019). Monte Carlo Yöntemi, araştırmacıların kantitatif analiz yapmalarına ve karar vermede riskleri dikkate almalarına olanak tanıyan bilgisayarlı bir matematiksel tekniktir (Baykal, 2011).

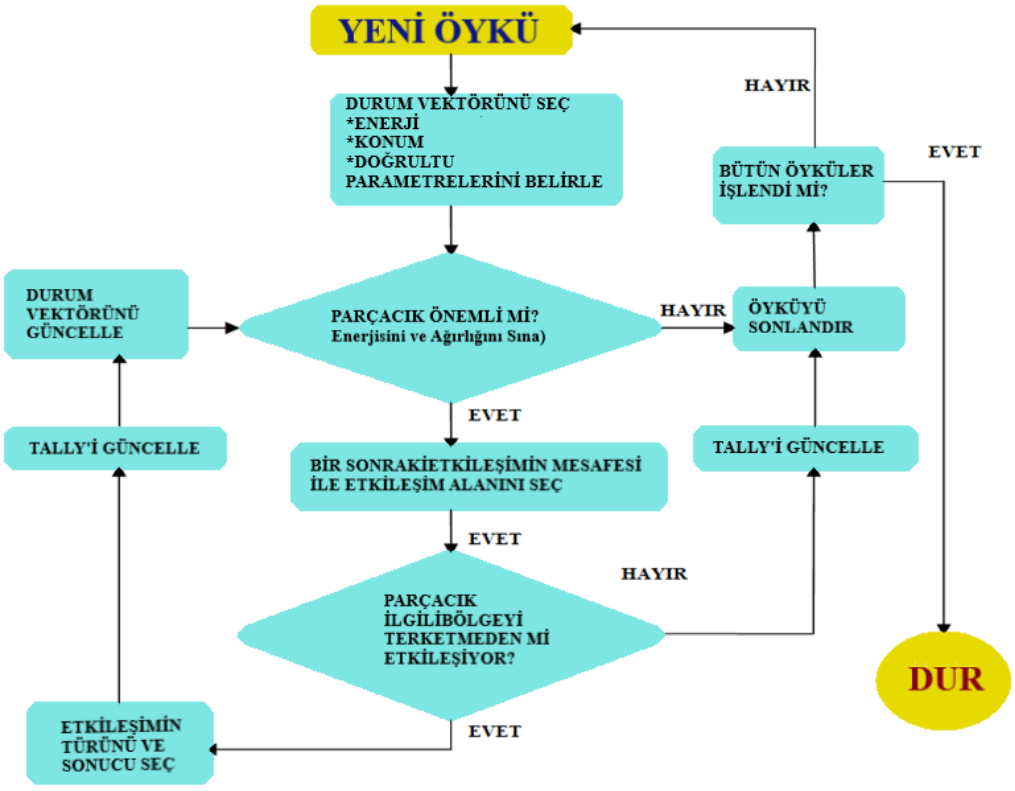
Monte Carlo Yöntemi, ilk olarak atom bombası üzerinde çalışan bilim adamları tarafından kullanılmıştır (Kochanski, 2005). Bu yöntem, 1940 yılında Stanislaw Ulam tarafından geliştirilmiştir. Rastgele sayılar yardımıyla olası veya pratik olmayan problemlerin çözülmesine dayalı bir hesaplama tekniğidir. Yöntemin uygulanabilmesi için problemin olasılık dağılım fonksiyonu ile temsil edilmesi yeterli olmaktadır. Ancak bu temsil, kabul edilebilecek oranda hata sınırları içinde olmalıdır. Bu olasılık dağılım fonksiyonu sayesinde rastgele sayılar üretilerek yapılan simülasyonların ortalaması beklenen problem çözümü sonucunu vermektedir (Doğru, 2020; Diker ve Aslan, 2022).

Parçacık etkileşimlerinin stokastik (rastgele) doğası, bir rastgele sayı üreteci kullanılarak simüle edilir. Yol uzunluğu ve etkileşim şekli, geometrik kısıtlamalar dikkate alınıp kesit alanı verilerinden örneklenir. Uygun diferansiyel yüzeylerin örneklenmesi, açığa çıkan parçacıkların enerjisini ve yönünü belirler (Doğru, 2020).

3.1.4.1. Monte Carlo Yönteminin Bir Foton Problemine Uyarlanması

Fotoelektrik olay, Compton saçılımı ve çift oluşumu gibi fiziksel olaylar fotonların madde ile etkileşimleri sırasında ortaya çıkmaktadır. Monte Carlo metodu kullanılarak fotonların madde ile etkileşimi hesaplanabilmektedir. Özellikle bir foton için, Monte Carlo metodu'nun kullanımı için önerilen bir algoritma kullanarak, etkileşimler sonucunda oluşacak olaylar simüle edilebilir. Bu simülasyon sonuçlarının ortalaması çok küçük hata paylarıyla deneysel sonuçları verir. Bu teknik sayesinde deneysel olarak yapılamayan çalışmalar daha hızlı sonuç almak için simüle edilebilir. Şekil 3.1'deki algoritma kullanılarak, foton-madde etkileşimlerinden kaynaklanan istatistiksel veriler incelenebilir. Bir foton için bu verilerin nasıl elde edildiği incelenirse;

1. Belirli bir enerji, konum ve yöne sahip bir foton oluşturulur.
2. Foton enerjisi ve ağırlığı kontrol edilir. Bu değerler istenilen aralıklarda ise süreç devam ediyor. Değilse, süreç sonlandırılır.
3. Fotonun bir sonraki etkileşim mesafesi ve alanı belirlenir.
4. Foton ilgili bölge dışında etkileşiyorsa, sayım (Tally) güncellenir ve süreç sonlandırılır. Etkileşim belirtilen bölge içinde gerçekleşirse, etkileşimin türü ve sonucu belirlenerek Tally güncellenir ve ve tekrar durum vektörü belirlenir, işlemlere 2. maddeden tekrar devam edilir.
5. Tüm öyküler işlenmişse program durdurulur ve Tally'lerin elde ettiği sonuçların ortalaması hesaplanır. Hikayeler tamamlanmadıysa yeni hikaye için tüm işlemler tekrarlanır (Çiçek, 2020)



Şekil 3.1. Monte Carlo yönteminin işleyiş algoritması (Çiçek, 2020)

Burada gerçekleştirilen işlemlerin tamamına öykü adı verilir ve tek bir foton için gösterilir. Öykü sayısı arttıkça Tally sayısı da artacaktır. Fotonun her etkileşimini ve fotonla ilgili tüm verileri kaydeder. Tally tarafından bulunan sonuçların ortalaması alındığında Monte Carlo Yöntemi sonucu elde edilir. Kat sayısı arttıkça elde edilen veriler daha az hata payı ile sonuçlanmaktadır (Çiçek, 2020).

3.1.4.2. MCNP (Monte Carlo N–Parçacık Taşınım Kodu)

Radyasyon olgusunun deneysel olarak incelenmesinin yanı sıra bazı simülasyon programları yardımıyla ele alınması hem zaman hem de maliyet açısından daha kullanışlıdır. Monte Carlo Yöntemini kullanan programlardan birisi de MCNP (Monte Carlo N-Particle) radyasyon transport çözüm programıdır. MCNP'nin yaygın kullanım alanları bulunmaktadır. Radyasyon çalışanları için; radyasyondan korunma ve dozimetri hesaplamaları, nükleer reaktörler veya halk sağlığını korumak için; radyasyon zırhlama, sağlık sektöründe radyografik görüntü analizleri, medikal fizik

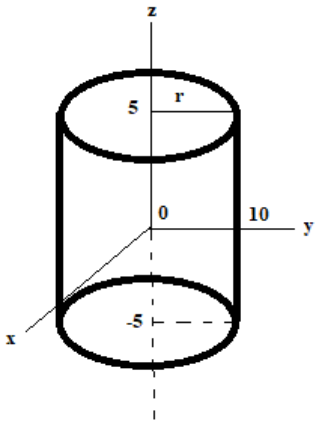
alanında radyoterapi, nükleer tıpta hem görüntüleme hem de tedavi işlemlerinde, dedektörlerin farklı tasarımları gibi birçok olay incelenebilmektedir (Hançerlioğlu, 2006).

MCNP algoritmaları kullanılarak düşünülen olaylar ya da problemler rahatlıkla simüle edilebilmektedir. MCNP'de bir girdi (input) dosyası hazırlanmak istendiğinde; simüle edilecek problemin tanımlandığı ilk satırdan hemen sonra probleme ait üç kısım oluşturulmalıdır. Temel olarak bu üç kısım sırasıyla; hücre kartları, yüzey kartları ve veri kartları olarak adlandırılırlar ve input dosyasında birbirlerinden bir boşluk ile ayrılırlar. Şekil 3.2'de örnek bir MCNP input dosyası gösterilmiştir. Bu örnek dosyaya göre; merkezi (0 0 0), yarıçapı 10 cm, yüksekliği 10 cm olan ve z eksenince uzanan bir silindir simüle edilmek istenmektedir (Şekil 3.3). Bu örnek dosya üzerinden hücre kartları, yüzey kartları ve veri kartları bölümünü bir MCNP input dosyası üzerinden nasıl hazırlandığı gösterilmektedir (Çiçek, 2020).

a) Hücre Kartları Bölümü: Bu bölüm MCNP input dosyasında tanımlama satırından sonra başlar. Simüle edilmesi düşünülen ortamlara ait hücreler ile ilgili tanımlamalar yapılır. Hücre kartında simülasyon ortamını oluşturan her bir hücre için hücre tanımlama sayıları, her bir hücrenin geometrik yapısı materyalin yoğunluk değeri, hücrelerin meydana geldiği materyal numarası, oluşturacak yüzeylerin tanımlanması ve simülasyonu düşünülen problem için oluşturulacak hücrelerin önem derecesi belirtilir (Çiçek, 2020).

```
1            Problem Tanımlama satırı
2   c ***** hucre kartlari ************************
3   10    1 -7.86     -1   2 -3              imp:p=1
4   99    0             1 -2   3              imp:p=0
5
6   c ***** yuzey kartlari ************************
7   1 cz   10.0
8   2 pz   -5.0
9   3 pz    5.0
10
11  c ***** veri kartlari *************************
12  mode p
13  sdef    par 2
14          pos 0.0 0.0 0.0
15          erg 1.0
16  m1    26000 -1.0
17  f15:p 0.0 5.0 0.0 0.1
18  nps 1e6
```

Şekil 3.2. Örnek bir MCNP input dosyası (Çiçek, 2020)



Şekil 3.3. Örnek MCNP input dosyasının görsel hali (Çiçek, 2020)

Örnek input dosyası incelendiğinde c harfi ile başlayan tüm satırların MCNP tarafından algılanmadığı; yorum veya tanımlayıcı satırlar olarak adlandırıldığı bilinmelidir. Şekil 3.2'de gösterilen örnek input dosyasında, problem tanımlama satırından hemen sonra başlayan hücre kartları bölümü, 3. ve 4. satırlarda tanımlanmaktadır. 3. satırda verilen rakamlar sırasıyla incelendiğinde; 10 numaralı hücre (kullanıcıya bağlı olarak rastgele verilir) 1 numaralı materyalden oluşur ve yoğunluğu 7.86 g/cm^3'tür. Bu hücre; 1 numaralı yüzeyin içi, 2 numaralı yüzeyin üst tarafı ve 3 numaralı yüzeyin alt tarafının (-1 2 -3) kesiştiği hacmi doldurur. Son olarak bu hücre foton (photon, p) radyasyonu açısından problemimizde %100 önemlidir (imp:p=1). 4. satırda ise problem uzayımızın sınırını geçen fotonların (yani; silindir hacminden dışarı çıkan fotonlar) önemsiz olduğunu gösteren boşluk (materyal numarası 0) tanımlanmış ve önemsiz (imp:p=0) olarak atanmıştır. Daha önce de değinildiği gibi, MCNP programı her bir fotonu ayrı birer öykü olarak ele alır. 4. satırdaki tanımlamalar sonucunda; diyelim ki bir foton 3. satırda tanımlanan bölgenin dışına çıktığı anda MCNP o foton için izlediği öyküyü sonlandırmaktadır. 99 numaralı hücre tanımlaması yapılmadığı takdirde silindirden dışarı çıkacak olası bir foton yüzünden simülasyon hiçbir zaman bitmeyecektir (Çiçek, 2020).

b) Yüzey Kartları Bölümü: Genel olarak; hücre kartları bölümünde atanmış yüzeylerin geometrik olarak programa tanıtıldığı bölümdür. Yüzey kartları bölümü, örnek input dosyamızda 7, 8 ve 9. satırlarda ifade edilmiştir. Bu satırlarda hücre kartları bölümünde tanımlanmış 1, 2 ve 3 numaralı yüzeylerin geometrik şekilleri

tanımlanarak boyutları cm cinsinden verilmiştir. Buna göre; 1 numaralı yüzey (7. satır) merkezi z ekseni olacak şekilde yarıçapı 10 cm olan sonsuz uzunlukta bir silindir olarak ifade edilir. 2 numaralı yüzey (8. satır), z eksenini -5 cm'de ve 3 numaralı yüzey (9. satır) z-eksenini 5 cm'de dik olarak kesen sonsuz uzunlukta yüzeyler olarak tanımlanmıştır. Dikkat edildiğinde bu üç yüzeyin kesiştiği hacim, problemimizi oluşturan silindir geometrisinin boyutlarını ve konumunu vermektedir. Çizelge 3.1'da MCNP programında kullanılabilecek bazı geometrik tanımlamalar ve matematiksel denklemleri verilmiştir (Çiçek, 2020).

c) Veri Kartları Bölümü: Simülasyonu düşünülen radyasyon problemi ile ilgili olarak; radyasyon kaynağı, dedektör bilgileri, materyal içerikleri ve öykü sayısının tanımlandığı bölümdür. Veri kartları bölümü, örnek input dosyamızda 12-18. satırlar arasında verilmiştir. 12. satırda problemimizin foton problemi olduğu tanımlanmıştır (mode p). MCNP' de farklı radyasyon problemleri için kaynak tanımlayıcılar Çizelge 3.2'de verilmiştir (Çiçek, 2020).

Örnek input dosyasının 13, 14 ve 15. satırlarında radyasyon kaynağı tanımlanmaktadır. sdef kartı ile başlayan bu bölümde, orijinden (pos 0.0 0.0 0.0) harekete başlayan ve 1 MeV enerjiye sahip (erg 1.0) foton parçacıkları (par 2) üretimi tanımlanmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken husus şudur; kaynak tanımlamasında foton hareketi ile ilgili olarak herhangi bir doğrultu ve açı parametresi girilmemiştir. Bu örnek dosyaya göre orijinde üretilen fotonlar izotropik bir dağılım ile her yöne eşit ihtimal ile yayılacaktır. Daha ayrıntılı ve spesifik kaynak tanımları için MCNP programı ile gelen rehberlere bakılabilir (Çiçek, 2020).

Çizelge 3.1. MCNP' de geometrileri oluşturmak için kullanılan bazı yüzey kartları

Kısaltmalar	Yüzey Türü	Tanımlama	Denklem
p	Düzlem	Genel	$Ax + By + Cz - D = 0$
Px	Düzlem	x-eksenine dik	$x - D = 0$
Py	Düzlem	y-eksenine dik	$y - D = 0$
Pz	Düzlem	z-eksenine dik	$z - D = 0$
so	Küre	Orjin merkezli	$x^2 + y^2 + z^2 - R^2 = 0$
So	Küre	Genel	$(x - \bar{x})^2 + (y - \bar{y})^2 + (z - \bar{z})^2 - R^2 = 0$
Sx	Küre	x-eksenine merkezli	$(x - \bar{x})^2 + y^2 + z^2 - R^2 = 0$
Sy	Küre	y-eksenine merkezli	$x^2 + (y - \bar{y})^2 + z^2 - R^2 = 0$
Sz	Küre	z-eksenine merkezli	$x^2 + y^2 + (z - \bar{z})^2 - R^2 = 0$
c/x	Silindir	x-eksenine paralel	$(y - \bar{y})^2 + (z - \bar{z})^2 - R^2$
c/y	Silindir	y-eksenine paralel	$(x - \bar{x})^2 + (z - \bar{z})^2 - R^2$
c/z	Silindir	z-eksenine paralel	$(x - \bar{x})^2 + (y - \bar{y})^2 - R^2$
Cx	Silindir	merkezi x-ekseninde	$y^2 + z^2 - R^2$
Cy	Silindir	merkezi y-ekseninde	$x^2 + z^2 - R^2$
Cz	Silindir	merkezi z-ekseninde	$x^2 + y^2 - R^2$

Çizelge 3.2. MCNP' de çalışılabilecek parçacık türleri

Mode	Görev
mode n	Sadece varsayılan nötron transferi
mode n p	Nötron ve etkilenmiş foton transferi
mode p	Sadece foton transferi
mode e	Sadece elektron transferi
mode p e	Foton ve elektron transferi
mode n p e	Nötron, etkilenmiş foton ve elektron transferi

Örnek input dosyanın 16. satırında hücre kartları bölümünde tanımlanan 1 numaralı materyalin (m1) içeriği verilmiştir. Bu materyal atom numarası 26 olan demir elementi ile %100 doludur (26000 -1.0). 17. satırda ise dedektör (tally) bilgisi verilmiştir. Bu örneğe göre; x=0, y=5 ve z=0 koordinatlarında 0.1 cm yarıçaplı hayali bir küre oluşturularak, bu hayali küreden geçen foton parçacık akı tally'si tanımlanmıştır (f15:p 0.0 5.0 0.0 0.1). f5 tally'si sonucu parçacık/cm^2 olarak verecektir. MCNP'de kullanılan diğer tally türleri Çizelge 3.3'te verilmiştir. Son olarak 18. satırda nps 1e6 komutu ile 10^6 parçacık (öykü) için simülasyonu gerçekleştireceği bilgisi programa aktarılmıştır (Çiçek, 2020).

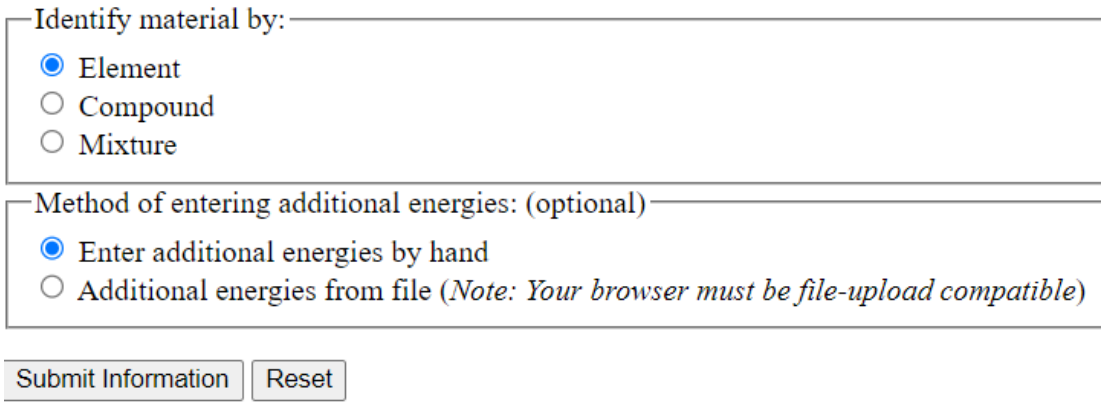
Çizelge 3.3. MCNP' de kullanılan tally kartları

Sembolü	Tally Türü	Birimi
f1	Tüm yüzey üzerinden integre edilen parçacık akımı	parçacık
f2	Yüzey üzerinden ortalama akı	parçacık/cm^2
f4	Hücre üzerinden ortalama akı	parçacık/cm^2
f5a	Nokta veya halka dedektörün parçacık akısı	parçacık/cm^2
f6	Her bir hücrede biriken enerji	MeV/g
f8	Dedektörde üretilen pulsların enerji dağılımı	

3.1.4.3. XCOM Programı

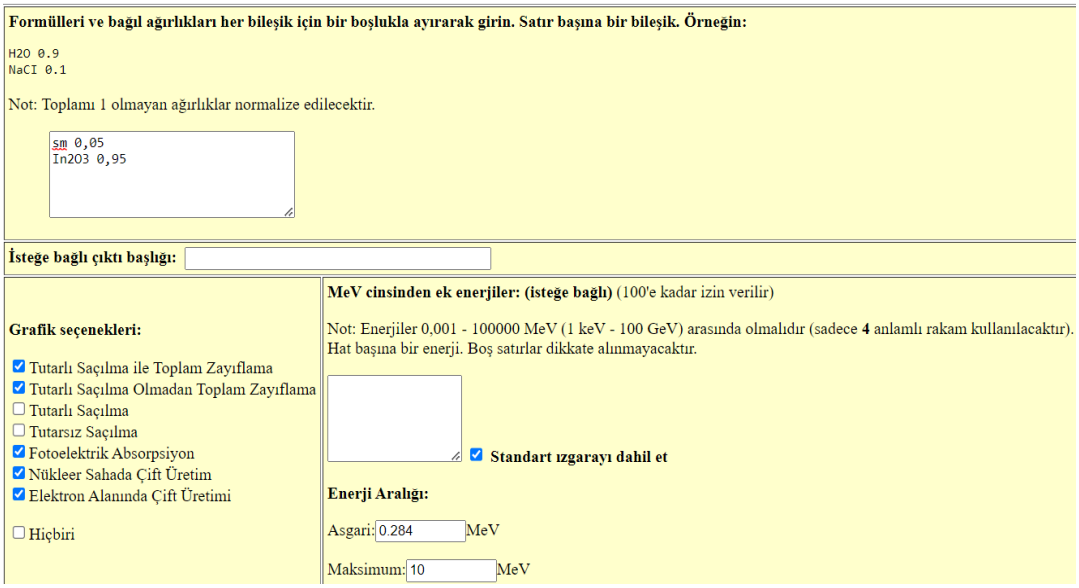
XCOM, herhangi bir element, bileşik veya karışımdan oluşan materyal için (Z ≤ 100) için 1 keV'den 100 GeV'e kadar enerjilerde foton saçılması, fotoelektrik soğurma ve çift üretimi için foton tesir kesitlerini ve toplam zayıflama katsayılarını hesaplamak için kullanılabilen bir web veri tabanı sağlayıcısıdır. XCOM, literatürdeki mevcut tablolar ve tablo verilerinin grafiksel gösterimi olmak üzere iki türde çıktı sunar (Özge, 2019).

Bu tez çalışmasında MCNP programı ile elde edilen lineer ve kütlesel zayıflatma katsayıları XCOM dan alınan verilerle kıyaslanmıştır. XCOM'dan belli foton enerjileri için istenilen materyalden veri almak için web sitesine girildiğinde Şekil 3.4'teki ekran görüntüsü bizi karşılamaktadır.



Şekil 3.4. XCOM anasayfa

Bu bölümde ilgili materyalimizin element, bileşik veya karışım olup olmadığı bilgisi sorulmaktadır. Gerekli alan seçilip bir sonraki adıma geçildiğinde ise Şekil 3.5'deki ekran görüntüsü karşımıza gelecektir.



Şekil 3.5. XCOM materyal veri giriş sayfası

Bu sayfada ilk olarak materyali oluşturan atom/molekül'lerin simgesel gösterimi ile ağırlıklı yüzde oranları sisteme girilir. Daha sonra sol alt kısımda bulunan grafik seçenekleri bölümünden çizilmesi istenilen grafik türü seçilerek, sağ alttaki bölümde ihtiyaç olan foton enerji aralığı tanımlanır. Son adımda ise tüm sonuçlar grafik ve tablo olarak sunulmaktadır (Şekil 3.6).

indir Reset

Kenar	(gerekli) Foton Enerjisi	Saçılma		Fotoelektrik Absorpsiyon	Çift Üretim		Toplam Zayıflama	
		tutarlı	tutarsız		Nükleer Alanda	Elektron Alanında	Tutarlı Saçılma ile	Tutarlı Saçılma Olmadan
	MeV	g/cm2	g/cm2	g/cm2	g/cm2	g/cm2	g/cm2	g/cm2
	3.000E-01	1.099E-02	9.127E-02	5.189E-02	0.000E+00	0.000E+00	1.541E-01	1.432E-01
	4.000E-01	6.320E-03	8.242E-02	2.381E-02	0.000E+00	0.000E+00	1.125E-01	1.062E-01
	5.000E-01	4.096E-03	7.564E-02	1.339E-02	0.000E+00	0.000E+00	9.312E-02	8.902E-02
	6.000E-01	2.868E-03	7.014E-02	8.557E-03	0.000E+00	0.000E+00	8.157E-02	7.870E-02
	8.000E-01	1.629E-03	6.179E-02	4.423E-03	0.000E+00	0.000E+00	6.785E-02	6.622E-02
	1.000E+00	1.048E-03	5.563E-02	2.761E-03	0.000E+00	0.000E+00	5.944E-02	5.839E-02
	1.022E+00	1.003E-03	5.508E-02	2.628E-03	0.000E+00	0.000E+00	5.871E-02	5.771E-02
	1.250E+00	6.729E-04	4.981E-02	1.773E-03	1.455E-04	0.000E+00	5.240E-02	5.172E-02
	1.500E+00	4.679E-04	4.529E-02	1.270E-03	6.802E-04	0.000E+00	4.771E-02	4.724E-02
	2.000E+00	2.638E-04	3.868E-02	7.737E-04	2.339E-03	0.000E+00	4.206E-02	4.179E-02
	2.044E+00	2.526E-04	3.820E-02	7.465E-04	2.502E-03	0.000E+00	4.170E-02	4.145E-02
	3.000E+00	1.174E-04	3.044E-02	4.111E-04	6.009E-03	1.065E-05	3.699E-02	3.687E-02

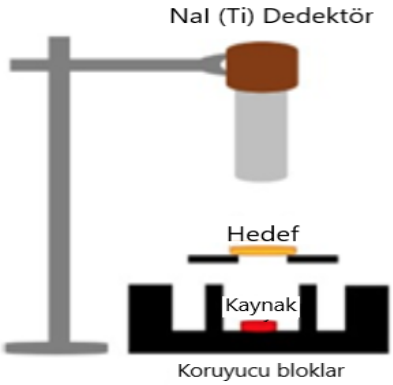
Şekil 3.6. XCOM sonuç ekranı

Radyasyonun maddesel ortama girdiğinde yapacağı etkileşimler sonucu sahip olduğu enerjinin bir kısmını veya tamamını ortamdaki atomlara bırakabilmektedir. Atom içerisinde bırakılan bu enerji 2 farklı şekilde sonuç doğurabilmektedir. Bunlar iyonize ve iyonize olmayan radyasyonlardır. X-ışınları ve atom çekirdeğinden yayılan alfa, gama, beta vb. parçacıklar, iyonize edici radyasyona örnek verilebilir. İyonize etmeyen radyasyona örnek olarak da mikro dalgalar, radyo dalgaları, güneş ışınları, ultraviyole dalgaları örnektir (Tüfekçi, 2017). Alfa, beta, nötron gibi parçacık olmayan x-ışınları ve gama gibi radyasyon madde içerisinde temel olarak üç farklı şekilde etkileşir. Bunlar fotoelektrik olay, compton olayı ve çift üretimi olayıdır (Akyıldırım, 2012). Radyasyon maddesel ortamdan geçerken enerjisine bağlı olarak bu üç temel etkileşimi geçirebilir. Fotoelektrik, Compton ve çift oluşumu etkileşmeleri sırasıyla τ, σ ve κ sembolleriyle temsil edilen birer kısmi zayıflatma katsayısı verir. Toplam zayıflatma katsayısı μ, bu üç etkileşmeden gelen zayıflatma katsayılarının toplamına eşittir (Hubbell, 1982).

$$\mu = \tau + \sigma + \kappa \tag{3.1}$$

Denk. (3.1)'deki kısmi doğrusal zayıflatma katsayıları gama ışınlarının maddenin atom çekirdekleri ve atomik elektronlarıyla olan etkileşme ihtimallerine karşılık atomik ve elektronik tesir kesitlerinin birer fonksiyonudur. x kalınlığındaki bir maddenin içinden geçen ve I_0 şiddetine sahip foton radyasyonu madde dışına I şiddetinde zayıflayarak çıkar. Denklem (3.2)'de verilen Beer-Lambert yasası olarak bilinen bu olay aşağıdaki deney düzeneği ile bulunur (Şekil 3.7) (Özavcı, 2017).

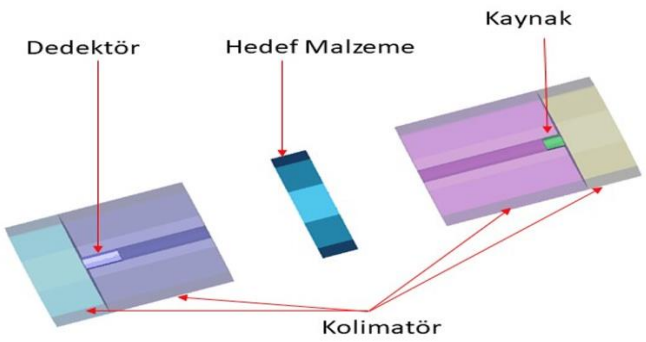
$$I = I_0 . e^{-\mu x} \tag{3.2}$$



Şekil 3.7. Beer-Lambert yasasına ilişkin deney düzeneğinin temsili çizimi

Kurşun bloklar içinde gama kaynağı önünde film yokken ilkin boş sayım alınır. Ardından kurşun blok içindeki gama kaynağı ile dedektör arasına katkılanmış ince filmler konularak sayımlar alınır ve geçen radyasyon miktarı ölçülür.

Bu çalışmada Monte Carlo Tabanlı MCNP simülasyon programı kullanıldı. Deney düzeneğinde 0.5 cm yarıçap ve 1 cm kalınlığa sahip silindir şeklinde kaynak, 2 μm kalınlığa sahip hedef malzeme ve 0.5 cm yarıçap ve 1 cm kalınlığa sahip silindir şeklinde dedektör tercih edildi. (Şekil 3.8). %5, %10 ve %20 Sm ve B katkılı In_2O_3 malzemesine farklı enerjilere sahip elektromanyetik radyasyon gönderilerek radyasyon zayıflatma özellikleri araştırıldı. Simülasyondan elde edilen veriler kullanılarak LAC, MAC, HVL, TVL ve MFP değerleri hesaplanarak ilgili ince film malzemenin radyasyona karşı davranışı tanımlanmaya çalışıldı. Simülasyondan elde edilen verilerle XCOM'dan çekilen veriler kıyaslanarak yapılan simülasyonun uygunluğu tartışıldı.



Şekil 3.8. Monte Carlo Tabanlı MCNP simülasyon tasarımı görünümü

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Sonuçlar ve Tartışma

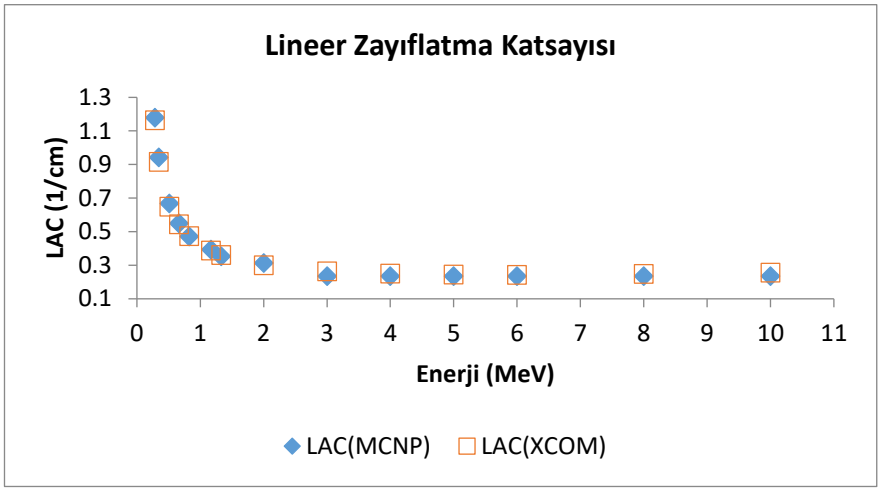
Yeryüzünde yapay ve doğal radyasyon kaynakları bulunmaktadır. Bu nedenle, bu mevcut kaynaklara maruz kalma nedeniyle birçok istenmeyen yan etki meydana gelebilir. LAC değerleri, bu radyasyona maruz kalmanın canlı ve cansız varlıklar üzerindeki etkisini en aza indirmek için gerekli bilgileri sağlar. Bu çalışmada In_2O_3 kaplı ince filmlerden lineer zayıflatma katsayısı değerleri elde edilmiştir. Bu ince filmler %5, %10, %20 konsantrasyonlarında ayrı ayrı samaryum ve bor elementleri ile dispersiyon haline getirilmiştir.

Sm katkısız In_2O_3 ince filmin LAC, HVL, TVL, MFP ve MAC (μ_m) değerleri Çizelge 4.1'de verilmiştir. Değerler incelendiğinde enerji arttıkça Sm katkısız In_2O_3'in LAC değerlerinde azalma, MAC değerlerinde azalma, MFP, HVL ve TVL değerlerinde artış olduğu gözlendi.

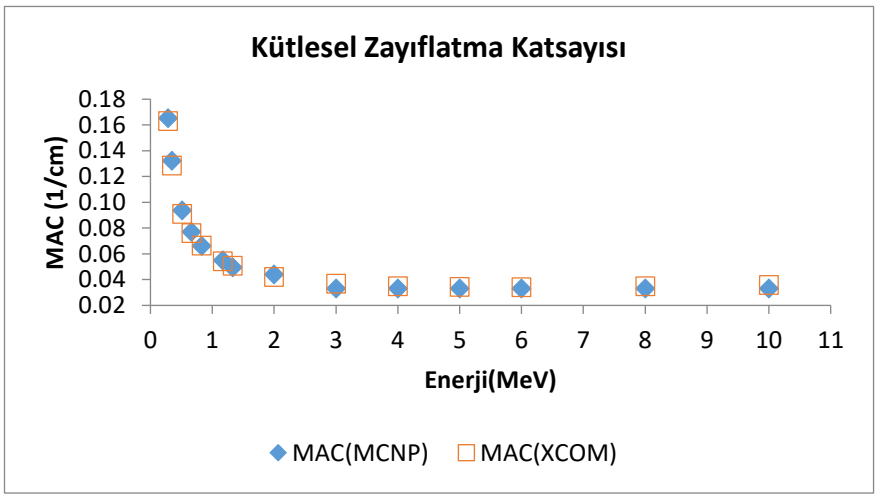
Çizelge 4.1. Katkısız indiyum oksit ince filmlerin foton radyasyon zayıflama parametreleri

KATKISIZ İNDİYUM OKSİT

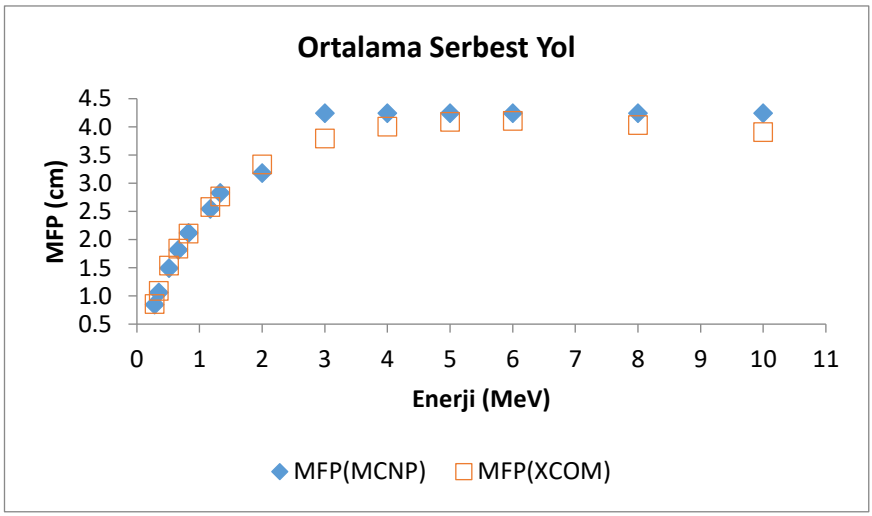
Energy				Yoğunluk	LAC	LAC	Fark LAC	MAC	MAC	Fark MAC	MFP	MFP	Fark MFP	HVL	HVL	Fark HVL	TVL	TVL	Fark TVL
(MeV)	I_0	I	x (cm)	(g/cm^3)	(MCNP)	(XCOM)	(XCOM-MCNP)	(MCNP)	(XCOM)	(XCOM-MCNP)	(MCNP)	(XCOM)	(XCOM-MCNP)	(MCNP)	(XCOM)	(XCOM-MCNP)	(MCNP)	(XCOM)	(XCOM-MCNP)
0,284	1,27324	1,27294	0,0002	7,13	1,1782	1,1629	1,32%	0,1653	0,1631	1,32%	0,8487	0,8599	1,30%	0,5882	0,5959	1,30%	1,9543	1,9800	1,30%
0,347	1,27324	1,27300	0,0002	7,13	0,9426	0,9162	2,88%	0,1322	0,1285	2,88%	1,0609	1,0915	2,80%	0,7352	0,7564	2,80%	2,4429	2,5132	2,80%
0,511	1,27324	1,27307	0,0002	7,13	0,6676	0,6495	2,80%	0,0936	0,0911	2,80%	1,4978	1,5397	2,72%	1,0380	1,0670	2,72%	3,4489	3,5453	2,72%
0,662	1,27324	1,27310	0,0002	7,13	0,5498	0,5431	1,24%	0,0771	0,0762	1,24%	1,8188	1,8413	1,22%	1,2604	1,2760	1,22%	4,1880	4,2398	1,22%
0,826	1,27324	1,27312	0,0002	7,13	0,4713	0,4736	0,50%	0,0661	0,0664	0,50%	2,1220	2,1113	0,51%	1,4705	1,4631	0,51%	4,8860	4,8614	0,51%
1,17	1,27324	1,27314	0,0002	7,13	0,3927	0,3874	1,36%	0,0551	0,0543	1,36%	2,5464	2,5810	1,34%	1,7646	1,7886	1,34%	5,8633	5,9430	1,34%
1,33	1,27324	1,27315	0,0002	7,13	0,3534	0,3613	2,19%	0,0496	0,0507	2,19%	2,8293	2,7674	2,24%	1,9607	1,9178	2,24%	6,5148	6,3722	2,24%
2	1,27324	1,27316	0,0002	7,13	0,3142	0,2998	4,79%	0,0441	0,0421	4,79%	3,1830	3,3354	4,57%	2,2058	2,3114	4,57%	7,3291	7,6800	4,57%
3	1,27324	1,27318	0,0002	7,13	0,2356	0,2634	10,54%	0,0330	0,0369	10,54%	4,2440	3,7968	11,78%	2,9411	2,6312	11,78%	9,7722	8,7424	11,78%
4	1,27324	1,27318	0,0002	7,13	0,2356	0,2495	5,55%	0,0330	0,0350	5,55%	4,2440	4,0084	5,88%	2,9411	2,7778	5,88%	9,7722	9,2296	5,88%
5	1,27324	1,27318	0,0002	7,13	0,2356	0,2444	3,60%	0,0330	0,0343	3,60%	4,2440	4,0914	3,73%	2,9411	2,8353	3,73%	9,7722	9,4207	3,73%
6	1,27324	1,27318	0,0002	7,13	0,2356	0,2436	3,26%	0,0330	0,0342	3,26%	4,2440	4,1058	3,37%	2,9411	2,8453	3,37%	9,7722	9,4538	3,37%
8	1,27324	1,27318	0,0002	7,13	0,2356	0,2479	4,96%	0,0330	0,0348	4,96%	4,2440	4,0337	5,21%	2,9411	2,7954	5,21%	9,7722	9,2880	5,21%
10	1,27324	1,27318	0,0002	7,13	0,2356	0,2557	7,84%	0,0330	0,0359	7,84%	4,2440	3,9111	8,51%	2,9411	2,7104	8,51%	9,7722	9,0057	8,51%



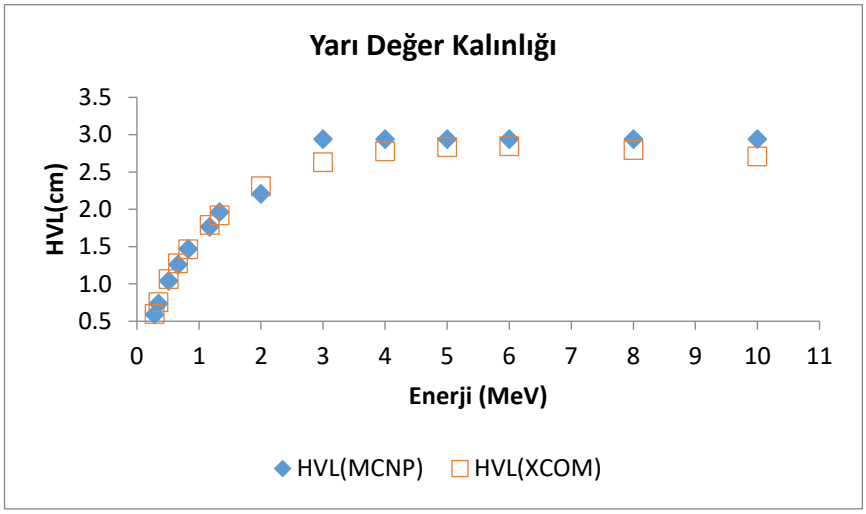
Şekil 4.1. Katkısız İndiyum Oksit Filmlerin Lineer Zayıflama Katsayıları (LAC)



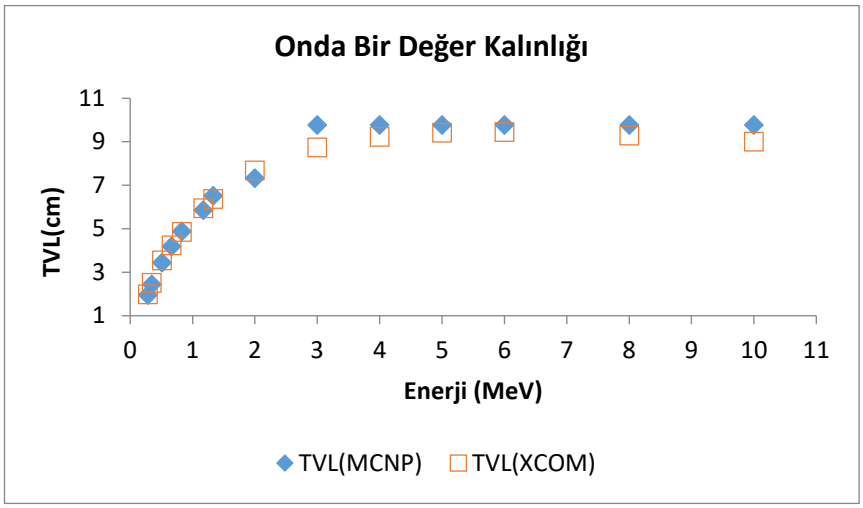
Şekil 4.2. Katkısız İndiyum Oksit Filmlerin Kütle Zayıflatma Katsayıları (MAC)



Şekil 4.3. Katkısız İndiyum Oksit Filmlerin Ortalama Serbest Yol (MFP)



Şekil 4.4. Katkısız İndiyum Oksit Filmlerin Yarı Değer Kalınlığı (HVL)



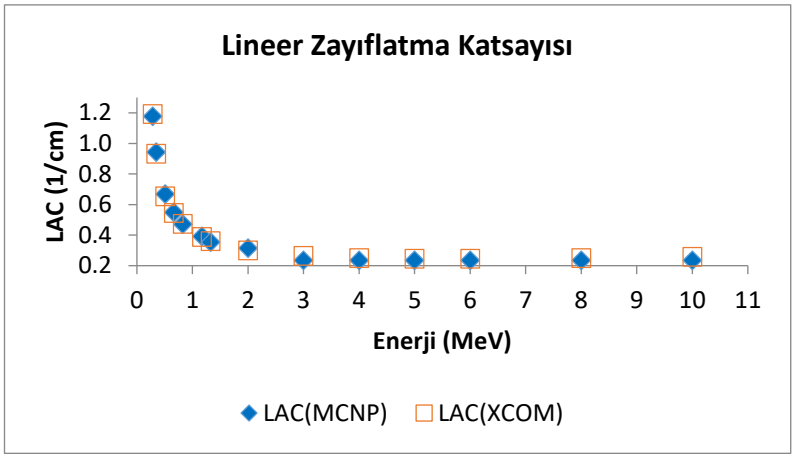
Şekil 4.5. Katkısız İndiyum Oksit Filmlerin Onda Bir Kalınlık Değeri (TVL)

Katkısız In_2O_3 ince filmin LAC, HVL, TVL, MFP ve MAC (μ_m) değerleri Çizelge 4.2'de verilmiştir. Değerler incelendiğinde enerji arttıkça katkısız In_2O_3'in LAC değerlerinde azalma, MAC değerlerinde azalma, MFP, HVL ve TVL değerlerinde artış olduğu gözlenmiştir.

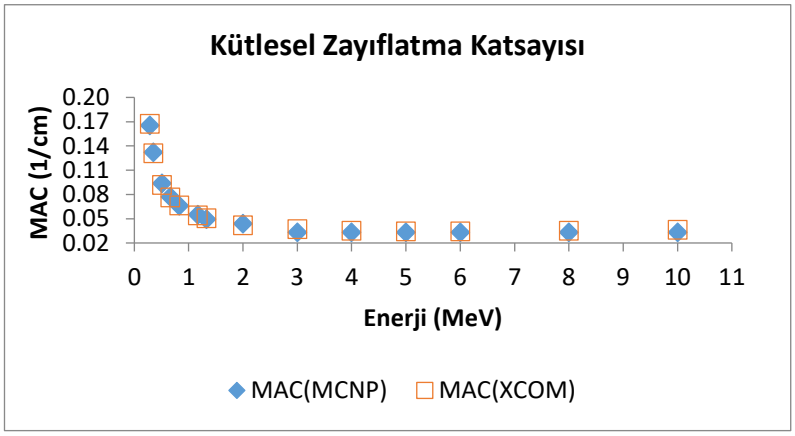
Çizelge 4.2. % 5 Samaryum katkılı indiyum oksit ince filmlerin foton radyasyon zayıflama parametreleri

% 5 SAMARYUM KATKILI İNDİYUM OKSİT

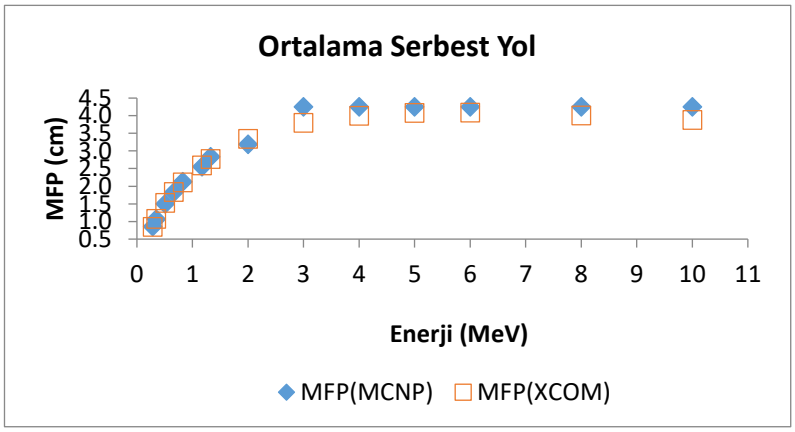
Energy				Yoğunluk	LAC	LAC	Fark LAC	MAC	MAC	Fark MAC	MFP	MFP	Fark MFP	HVL	HVL	Fark HVL	TVL	TVL	Fark TVL
(MeV)	I_0	I	x (cm)	(g/cm^3)	(MCNP)	(XCOM)	(XCOM-MCNP)	(MCNP)	(XCOM)	(XCOM-MCNP)	(MCNP)	(XCOM)	(XCOM-MCNP)	(MCNP)	(XCOM)	(XCOM-MCNP)	(MCNP)	(XCOM)	(XCOM-MCNP)
0,284	1,27324	1,27294	2E-04	7,12	1,17824	1,1933	1,26%	0,1655	0,1676	1,26%	0,8487	0,8380	1,28%	0,5882	0,5807	1,28%	1,9543	1,9296	1,28%
0,347	1,27324	1,27300	2E-04	7,12	0,94257	0,9334	0,98%	0,1324	0,1311	0,98%	1,0609	1,0713	0,97%	0,7352	0,7424	0,97%	2,4429	2,4668	0,97%
0,511	1,27324	1,27307	2E-04	7,12	0,66763	0,6548	1,96%	0,0938	0,0920	1,96%	1,4978	1,5271	1,92%	1,0380	1,0583	1,92%	3,4489	3,5163	1,92%
0,662	1,27324	1,27310	2E-04	7,12	0,54981	0,5452	0,85%	0,0772	0,0766	0,85%	1,8188	1,8343	0,84%	1,2604	1,2711	0,84%	4,1880	4,2235	0,84%
0,826	1,27324	1,27312	2E-04	7,12	0,47126	0,4744	0,66%	0,0662	0,0666	0,66%	2,1220	2,1079	0,67%	1,4705	1,4608	0,67%	4,8860	4,8536	0,67%
1,17	1,27324	1,27314	2E-04	7,12	0,39271	0,3871	1,45%	0,0552	0,0544	1,45%	2,5464	2,5832	1,43%	1,7646	1,7902	1,43%	5,8633	5,9481	1,43%
1,33	1,27324	1,27315	2E-04	7,12	0,35344	0,3609	2,07%	0,0496	0,0507	2,07%	2,8293	2,7708	2,11%	1,9607	1,9201	2,11%	6,5148	6,3799	2,11%
2	1,27324	1,27316	2E-04	7,12	0,31417	0,2995	4,91%	0,0441	0,0421	4,91%	3,1830	3,3393	4,68%	2,2058	2,3141	4,68%	7,3291	7,6889	4,68%
3	1,27324	1,27318	2E-04	7,12	0,23562	0,2637	10,63%	0,0331	0,0370	10,63%	4,2440	3,7929	11,90%	2,9411	2,6284	11,90%	9,7722	8,7334	11,90%
4	1,27324	1,27318	2E-04	7,12	0,23562	0,2502	5,82%	0,0331	0,0351	5,82%	4,2440	3,9969	6,18%	2,9411	2,7698	6,18%	9,7722	9,2031	6,18%
5	1,27324	1,27318	2E-04	7,12	0,23562	0,2456	4,05%	0,0331	0,0345	4,05%	4,2440	4,0722	4,22%	2,9411	2,8220	4,22%	9,7722	9,3765	4,22%
6	1,27324	1,27318	2E-04	7,12	0,23562	0,2449	3,80%	0,0331	0,0344	3,80%	4,2440	4,0828	3,95%	2,9411	2,8294	3,95%	9,7722	9,4011	3,95%
8	1,27324	1,27318	2E-04	7,12	0,23562	0,2498	5,69%	0,0331	0,0351	5,69%	4,2440	4,0025	6,03%	2,9411	2,7738	6,03%	9,7722	9,2162	6,03%
10	1,27324	1,27318	2E-04	7,12	0,23562	0,2580	8,68%	0,0331	0,0362	8,68%	4,2440	3,8755	9,51%	2,9411	2,6857	9,51%	9,7722	8,9238	9,51%



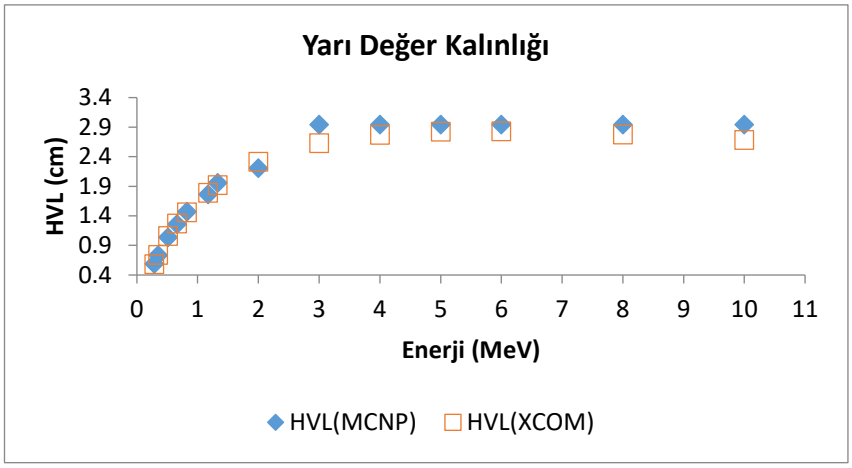
Şekil 4.6. % 5 Samaryum Katkılı İndiyum Oksit İnce Filmlerin Lineer Zayıflama Katsayıları (LAC)



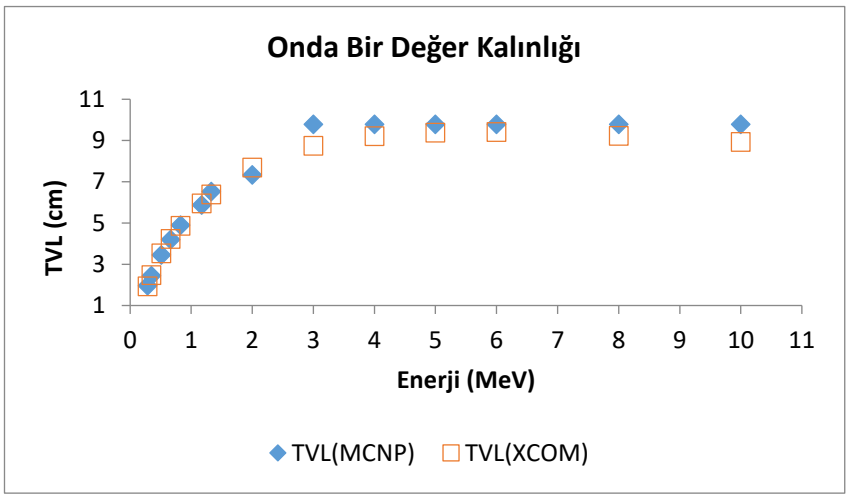
Şekil 4.7. % 5 Samaryum Katkılı İndiyum Oksit ince filmlerin Kütle Zayıflama Katsayıları (MAC)



Şekil 4.8. % 5 Samaryum Katkılı İndiyum Oksit İnce Filmlerin Ortalama Serbest Yol(MFP)



Şekil 4.9. % 5 Samaryum Katkılı İndiyum Oksit İnce Filmlerin Yarı Değer Kalınlığı (HVL)

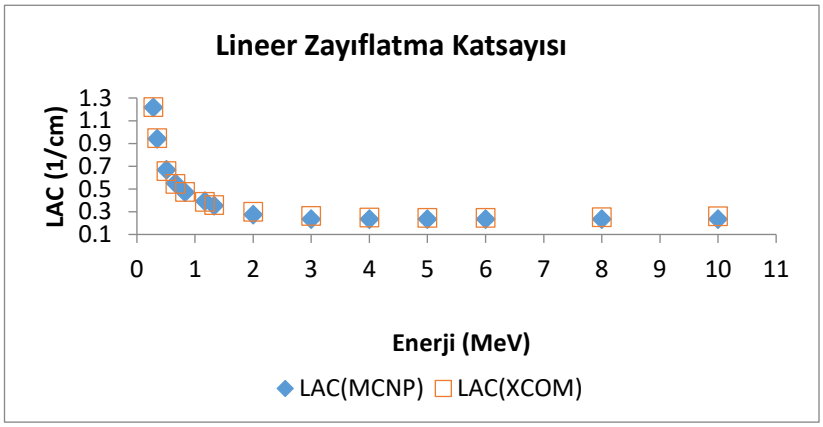


Şekil 4.10. % 5 Samaryum Katkılı İndiyum Oksit İnce Filmlerin Onda Bir Kalınlık Değeri (TVL)

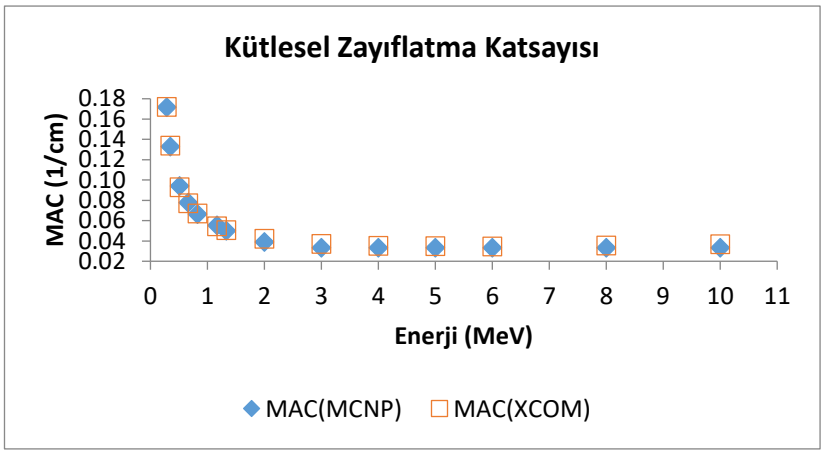
Çizelge 4.3. % 10 Samaryum katkılı indiyum oksit ince filmlerin foton radyasyon zayıflama parametreleri

% 10 SAMARYUM KATKILI İNDİYUM OKSİT

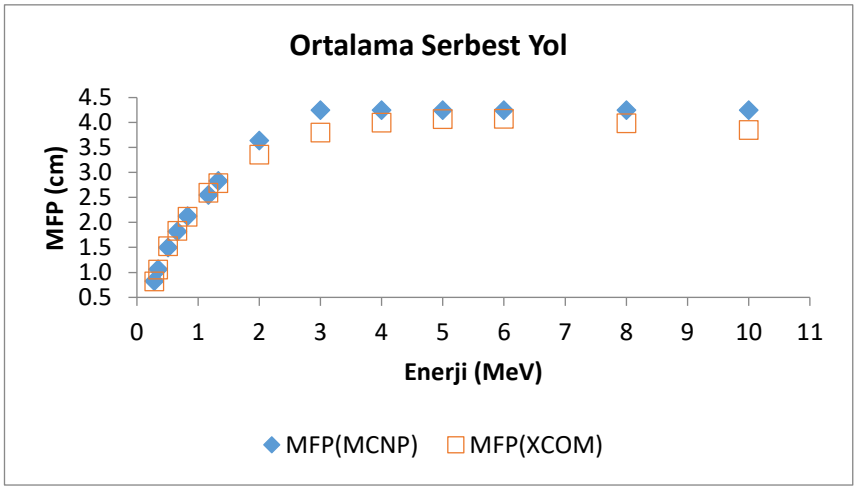
Energy				Yoğunluk	LAC	LAC	Fark LAC	MAC	MAC	Fark MAC	MFP	MFP	Fark MFP	HVL	HVL	Fark HVL	TVL	TVL	Fark TVL
(MeV)	I_0	I	x (cm)	(g/cm^3)	(MCNP)	(XCOM)	XCOM-MCNP	(MCNP)	(XCOM)	(XCOM-MCNP)	(MCNP)	(XCOM)	(XCOM-MCNP)	(MCNP)	(XCOM)	(XCOM-MCNP)	(MCNP)	(XCOM)	(XCOM-MCNP)
0,284	1,27324	1,27293	0,0002	7,09	1,2175	1,2202	0,22%	0,1717	0,1721	0,22%	0,8213	0,8195	0,22%	0,5692	0,5679	0,22%	1,8912	1,8871	0,22%
0,347	1,27324	1,27300	0,0002	7,09	0,9426	0,9479	0,57%	0,1329	0,1337	0,57%	1,0609	1,0549	0,57%	0,7352	0,7311	0,57%	2,4429	2,4291	0,57%
0,511	1,27324	1,27307	0,0002	7,09	0,6676	0,6582	1,43%	0,0942	0,0928	1,43%	1,4978	1,5192	1,41%	1,0380	1,0528	1,41%	3,4489	3,4981	1,41%
0,662	1,27324	1,27310	0,0002	7,09	0,5498	0,5457	0,75%	0,0775	0,0770	0,75%	1,8188	1,8325	0,74%	1,2604	1,2699	0,74%	4,1880	4,2194	0,74%
0,826	1,27324	1,27312	0,0002	7,09	0,4713	0,4738	0,53%	0,0665	0,0668	0,53%	2,1220	2,1108	0,53%	1,4705	1,4628	0,53%	4,8860	4,8603	0,53%
1,17	1,27324	1,27314	0,0002	7,09	0,3927	0,3857	1,82%	0,0554	0,0544	1,82%	2,5464	2,5927	1,79%	1,7646	1,7968	1,79%	5,8633	5,9699	1,79%
1,33	1,27324	1,27315	0,0002	7,09	0,3534	0,3595	1,68%	0,0499	0,0507	1,68%	2,8293	2,7819	1,70%	1,9607	1,9279	1,70%	6,5148	6,4056	1,70%
2	1,27324	1,27317	0,0002	7,09	0,2749	0,2983	7,86%	0,0388	0,0421	7,86%	3,6377	3,3518	8,53%	2,5209	2,3228	8,53%	8,3762	7,7178	8,53%
3	1,27324	1,27318	0,0002	7,09	0,2356	0,2632	10,47%	0,0332	0,0371	10,47%	4,2440	3,7997	11,69%	2,9411	2,6332	11,69%	9,7722	8,7491	11,69%
4	1,27324	1,27318	0,0002	7,09	0,2356	0,2502	5,83%	0,0332	0,0353	5,83%	4,2440	3,9967	6,19%	2,9411	2,7697	6,19%	9,7722	9,2028	6,19%
5	1,27324	1,27318	0,0002	7,09	0,2356	0,2460	4,20%	0,0332	0,0347	4,20%	4,2440	4,0658	4,38%	2,9411	2,8176	4,38%	9,7722	9,3619	4,38%
6	1,27324	1,27318	0,0002	7,09	0,2356	0,2457	4,09%	0,0332	0,0347	4,09%	4,2440	4,0705	4,26%	2,9411	2,8209	4,26%	9,7722	9,3727	4,26%
8	1,27324	1,27318	0,0002	7,09	0,2356	0,2511	6,15%	0,0332	0,0354	6,15%	4,2440	3,9832	6,55%	2,9411	2,7603	6,55%	9,7722	9,1716	6,55%
10	1,27324	1,27318	0,0002	7,09	0,2356	0,2597	9,27%	0,0332	0,0366	9,27%	4,2440	3,8505	10,22%	2,9411	2,6684	10,22%	9,7722	8,8661	10,22%



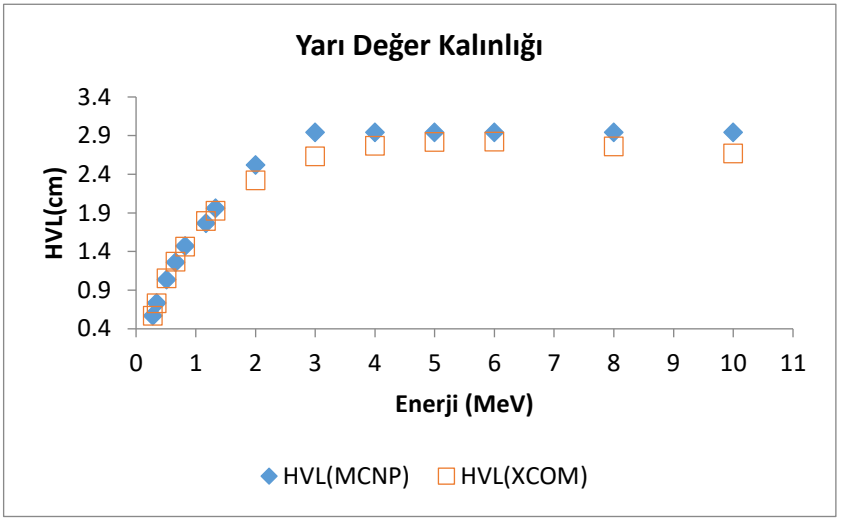
Şekil 4.11.% 10 Samaryum Katkılı İndiyum Oksit İnce Filmlerin Lineer Zayıflama Katsayıları (LAC)



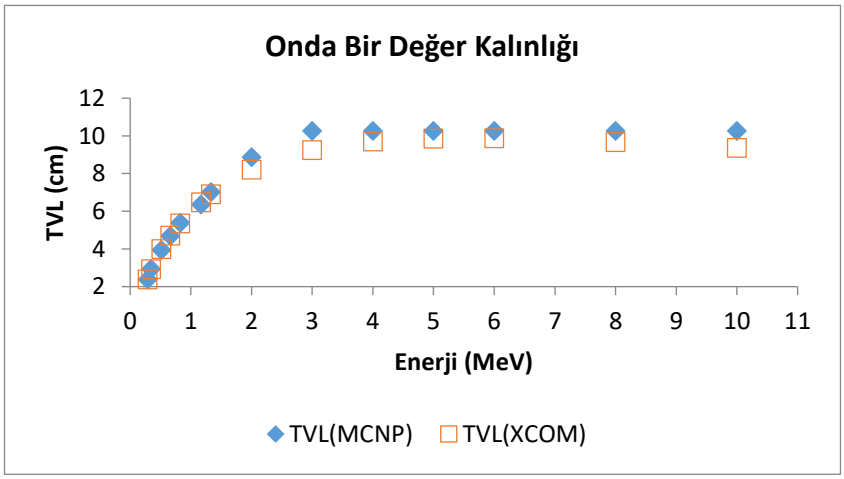
Şekil 4.12. % 10 Samaryum Katkılı İndiyum Oksit İnce Filmlerin Kütle Zayıflama Katsayıları (MAC)



Şekil 4.13. % 10 Samaryum Katkılı İndiyum Oksit İnce Filmlerde Ortalama Serbest Yol (MFP)



Şekil 4.14. % 10 Samaryum Katkılı İndiyum Oksit İnce Filmlerin Yarı Değer Kalınlığı (HVL)

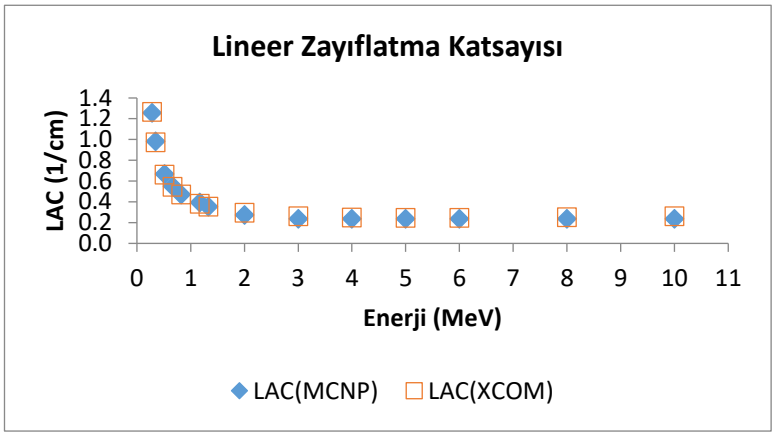


Şekil 4.15. % 10 Samaryum Katkılı İndiyum Oksit İnce Filmlerin Onda Bir Kalınlık Değeri(TVL)

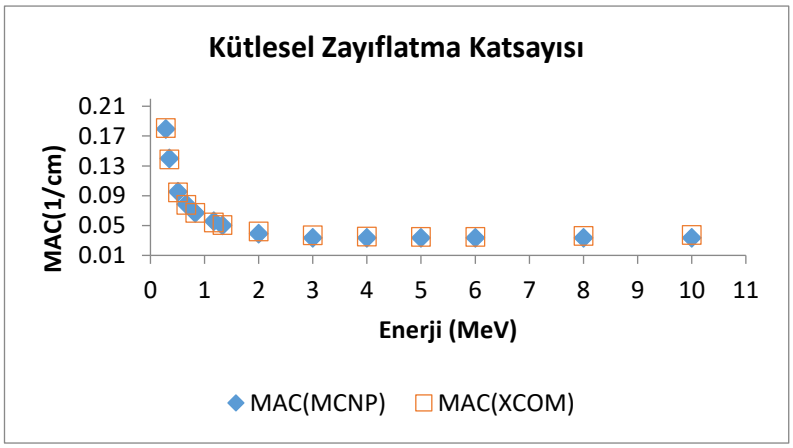
Çizelge 4 .4. % 20 Samaryum katkılı indiyum oksit ince filmlerin foton radyasyon zayıflama parametreleri

% 20 SAMARYUM KATKILI İNDİYUM OKSİT

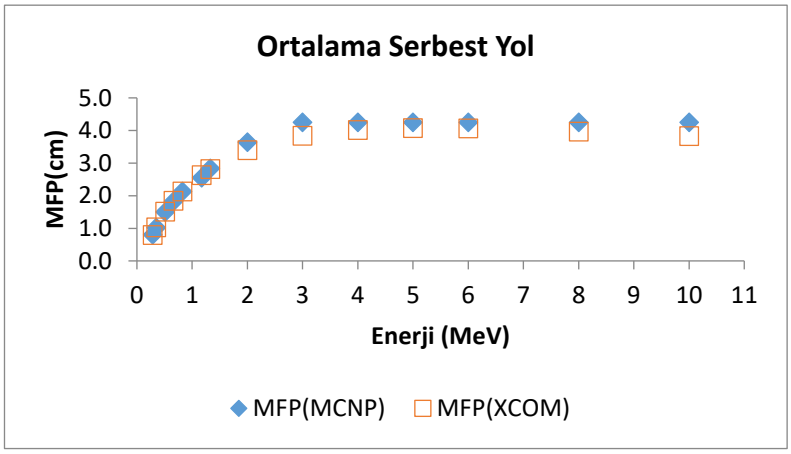
Energy				Yoğunluk	LAC	LAC	Fark LAC	MAC	MAC	Fark MAC	MFP	MFP	Fark MFP	HVL	HVL	Fark HVL	TVL	TVL	Fark TVL
(MeV)	I_0	I	x (cm)	(g/cm^3)	(MCNP)	(XCOM)	(XCOM-MCNP)	(MCNP)	(XCOM)	(XCOM-MCNP)	(MCNP)	(XCOM)	(XCOM-MCNP)	(MCNP)	(XCOM)	(XCOM-MCNP)	(MCNP)	(XCOM)	(XCOM-MCNP)
0,28	1,27324	1,27292	0,0002	7	1,2568	1,2677	0,86%	0,1795	0,1811	0,86%	0,7957	0,7888	0,87%	0,5514	0,5467	0,87%	1,8321	1,8163	0,87%
0,35	1,27324	1,27299	0,0002	7	0,9818	0,9723	0,98%	0,1403	0,1389	0,98%	1,0185	1,0285	0,97%	0,7058	0,7127	0,97%	2,3452	2,3682	0,97%
0,51	1,27324	1,27307	0,0002	7	0,6676	0,6621	0,83%	0,0954	0,0946	0,83%	1,4978	1,5103	0,82%	1,0380	1,0466	0,82%	3,4489	3,4775	0,82%
0,66	1,27324	1,27310	0,0002	7	0,5498	0,5445	0,98%	0,0785	0,0778	0,98%	1,8188	1,8367	0,97%	1,2604	1,2728	0,97%	4,1880	4,2291	0,97%
0,83	1,27324	1,27312	0,0002	7	0,4713	0,4704	0,18%	0,0673	0,0672	0,18%	2,1220	2,1259	0,18%	1,4705	1,4732	0,18%	4,8860	4,8950	0,18%
1,17	1,27324	1,27314	0,0002	7	0,3927	0,3812	3,03%	0,0561	0,0545	3,03%	2,5464	2,6236	2,94%	1,7646	1,8182	2,94%	5,8633	6,0412	2,94%
1,33	1,27324	1,27315	0,0002	7	0,3534	0,3550	0,45%	0,0505	0,0507	0,45%	2,8293	2,8166	0,45%	1,9607	1,9519	0,45%	6,5148	6,4854	0,45%
2	1,27324	1,27317	0,0002	7	0,2749	0,2948	6,76%	0,0393	0,0421	6,76%	3,6377	3,3917	7,25%	2,5209	2,3504	7,25%	8,3762	7,8096	7,25%
3	1,27324	1,27318	0,0002	7	0,2356	0,2610	9,73%	0,0337	0,0373	9,73%	4,2440	3,8310	10,78%	2,9411	2,6549	10,78%	9,7722	8,8212	10,78%
4	1,27324	1,27318	0,0002	7	0,2356	0,2491	5,39%	0,0337	0,0356	5,39%	4,2440	4,0151	5,70%	2,9411	2,7825	5,70%	9,7722	9,2451	5,70%
5	1,27324	1,27318	0,0002	7	0,2356	0,2456	4,07%	0,0337	0,0351	4,07%	4,2440	4,0712	4,25%	2,9411	2,8213	4,25%	9,7722	9,3742	4,25%
6	1,27324	1,27318	0,0002	7	0,2356	0,2461	4,24%	0,0337	0,0352	4,24%	4,2440	4,0642	4,42%	2,9411	2,8165	4,42%	9,7722	9,3582	4,42%
8	1,27324	1,27318	0,0002	7	0,2356	0,2524	6,65%	0,0337	0,0361	6,65%	4,2440	3,9617	7,13%	2,9411	2,7454	7,13%	9,7722	9,1220	7,13%
10	1,27324	1,27318	0,0002	7	0,2356	0,2618	10,00%	0,0337	0,0374	10,00%	4,2440	3,8197	11,11%	2,9411	2,6471	11,11%	9,7722	8,7952	11,11%



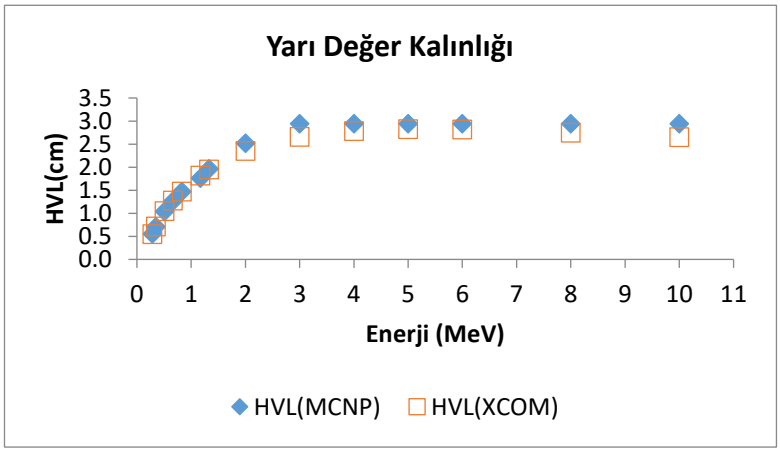
Şekil 4.16. % 20 Samaryum Katkılı İndiyum Oksit İnce Filmlerin Lineer Zayıflama Katsayıları (LAC)



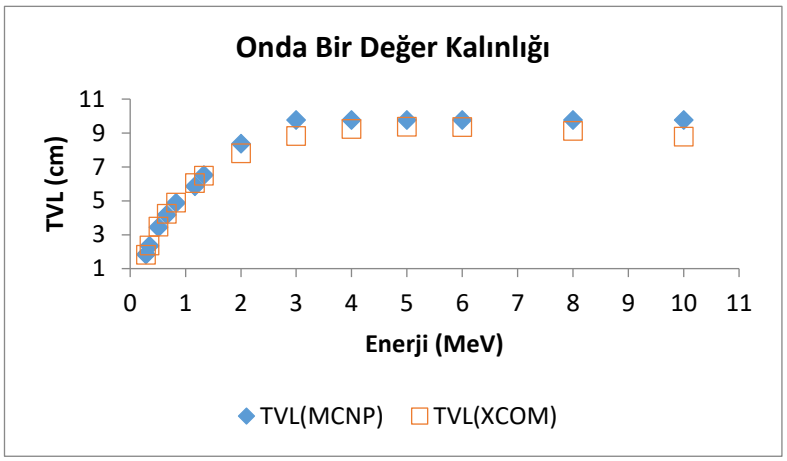
Şekil 4.17. % 20 Samaryum Katkılı İndiyum Oksit İnce Filmlerin Kütle Zayıflama Katsayıları (MAC)



Şekil 4.18. % 20 Samaryum Katkılı İndiyum Oksit İnce Filmlerin Ortalama Serbest Yol (MFP)



Şekil 4.19. % 20 Samaryum Katkılı İndiyum Oksit İnce Filmlerin Yarı Değer Kalınlığı (HVL)

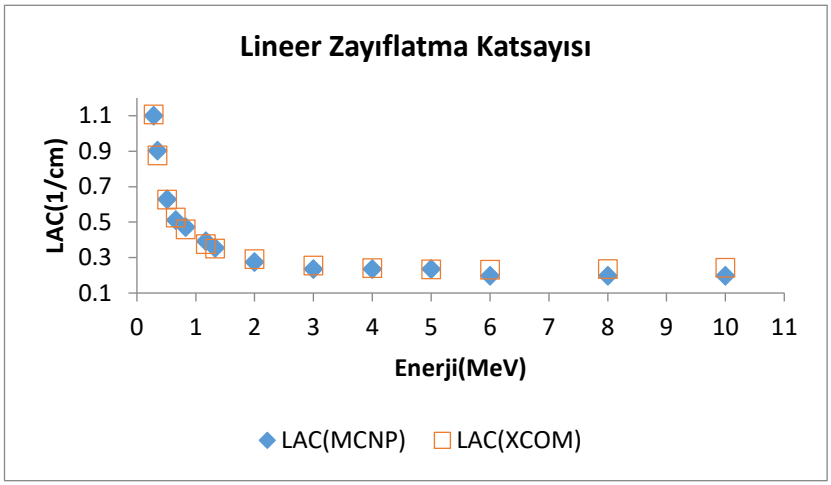


Şekil 4.20. % 20 Samaryum Katkılı İndiyum Oksit İnce Filmlerin Onda Bir Kalınlık Değeri (TVL)

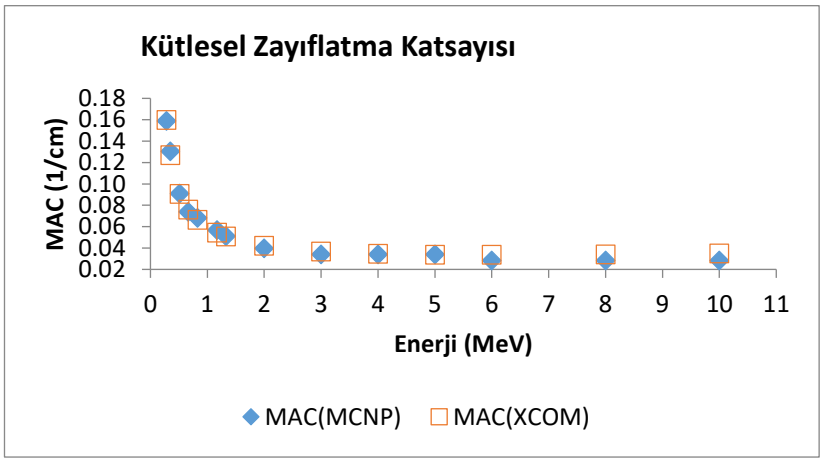
Çizelge 4.5. % 5 bor katkılı indiyum oksit ince filmlerin foton radyasyon zayıflama parametreleri

% 5 BOR KATKILI İNDİYUM OKSİT

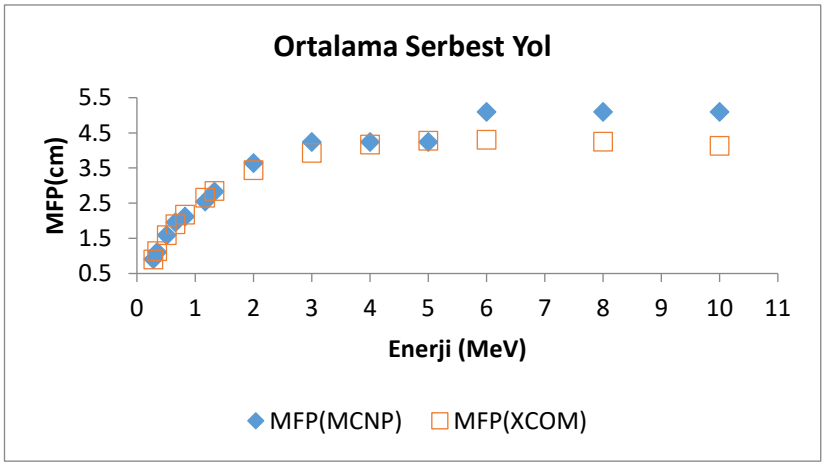
Energy				Yoğunluk	LAC	LAC	Fark LAC	MAC	MAC	Fark MAC	MFP	MFP	Fark MFP	HVL	HVL	Fark HVL	TVL	TVL	Fark TVL
(MeV)	I_0	I	x (cm)	(g/cm^3)	(MCNP)	(XCOM)	(XCOM-MCNP)	(MCNP)	(XCOM)	(XCOM-MCNP)	(MCNP)	(XCOM)	(XCOM-MCNP)	(MCNP)	(XCOM)	(XCOM-MCNP)	(MCNP)	(XCOM)	(XCOM-MCNP)
0,284	1,2732	1,27296	0,0002	6,92	1,0997	1,1065	0,62%	0,1589	0,1599	0,62%	0,9094	0,9037	0,62%	0,6302	0,6263	0,62%	2,0939	2,0809	0,62%
0,347	1,2732	1,27301	0,0002	6,92	0,9033	0,8768	3,03%	0,1305	0,1267	3,03%	1,1071	1,1406	2,94%	0,7672	0,7904	2,94%	2,5491	2,6262	2,94%
0,511	1,2732	1,27308	0,0002	6,92	0,6284	0,6265	0,30%	0,0908	0,0905	0,30%	1,5914	1,5963	0,30%	1,1029	1,1062	0,30%	3,6644	3,6755	0,30%
0,662	1,2732	1,27311	0,0002	6,92	0,5105	0,5254	2,84%	0,0738	0,0759	2,84%	1,9587	1,9032	2,92%	1,3574	1,3189	2,92%	4,5101	4,3822	2,92%
0,826	1,2732	1,27312	0,0002	6,92	0,4713	0,4591	2,65%	0,0681	0,0663	2,65%	2,1220	2,1783	2,59%	1,4705	1,5096	2,59%	4,8860	5,0157	2,59%
1,17	1,2732	1,27314	0,0002	6,92	0,3927	0,3761	4,42%	0,0568	0,0544	4,42%	2,5464	2,6589	4,23%	1,7646	1,8426	4,23%	5,8633	6,1222	4,23%
1,33	1,2732	1,27315	0,0002	6,92	0,3534	0,3508	0,74%	0,0511	0,0507	0,74%	2,8293	2,8503	0,73%	1,9607	1,9752	0,73%	6,5148	6,5630	0,73%
2	1,2732	1,27317	0,0002	6,92	0,2749	0,2906	5,42%	0,0397	0,0420	5,42%	3,6377	3,4407	5,73%	2,5209	2,3844	5,73%	8,3762	7,9225	5,73%
3	1,2732	1,27318	0,0002	6,92	0,2356	0,2542	7,32%	0,0340	0,0367	7,32%	4,2440	3,9333	7,90%	2,9411	2,7258	7,90%	9,7722	9,0567	7,90%
4	1,2732	1,27318	0,0002	6,92	0,2356	0,2397	1,70%	0,0340	0,0346	1,70%	4,2440	4,1717	1,73%	2,9411	2,8910	1,73%	9,7722	9,6058	1,73%
5	1,2732	1,27318	0,0002	6,92	0,2356	0,2340	0,71%	0,0340	0,0338	0,71%	4,2440	4,2741	0,70%	2,9411	2,9620	0,70%	9,7722	9,8416	0,70%
6	1,2732	1,27319	0,0002	6,92	0,1964	0,2323	15,48%	0,0284	0,0336	15,48%	5,0929	4,3047	18,31%	3,5294	2,9832	18,31%	11,7267	9,9119	18,31%
8	1,2732	1,27319	0,0002	6,92	0,1964	0,2353	16,54%	0,0284	0,0340	16,54%	5,0929	4,2503	19,82%	3,5294	2,9454	19,82%	11,7267	9,7866	19,82%
10	1,2732	1,27319	0,0002	6,92	0,1964	0,2418	18,79%	0,0284	0,0349	18,79%	5,0929	4,1359	23,14%	3,5294	2,8662	23,14%	11,7267	9,5233	23,14%



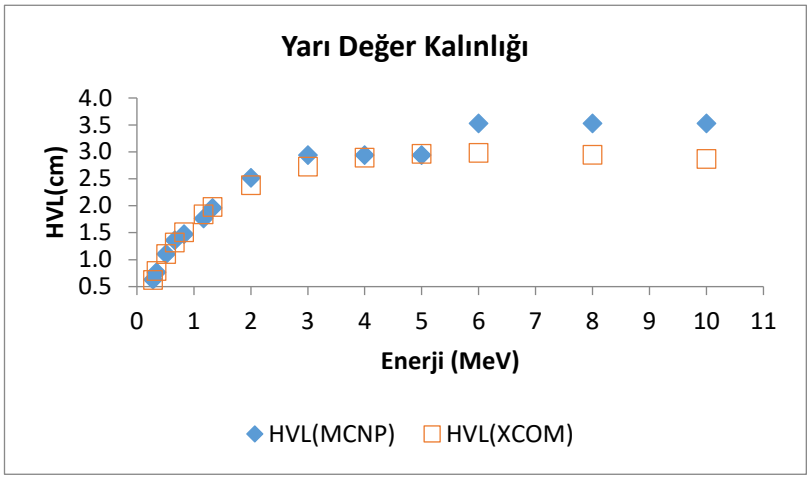
Şekil 4.21. %5 Bor katkılı In_2O_3 ince filmlerin Lineer Zayıflama Katsayıları (LAC)



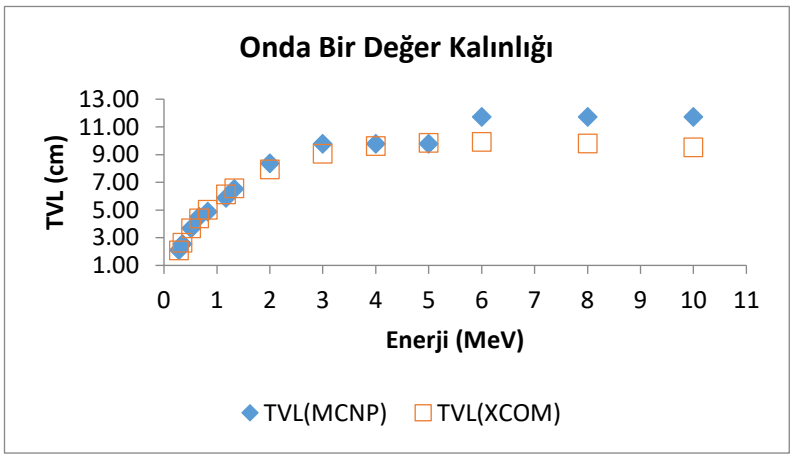
Şekil 4.22. %5 Bor katkılı In_2O_3 ince filmlerin Kütle Zayıflatma Katsayıları (MAC)



Şekil 4.23. %5 Bor katkılı In_2O_3 ince filmlerde ortalama serbest yol (MFP)



Şekil 4.24. %5 Bor katkılı In_2O_3 ince filmlerde yarı değer kalınlığı (HVL)

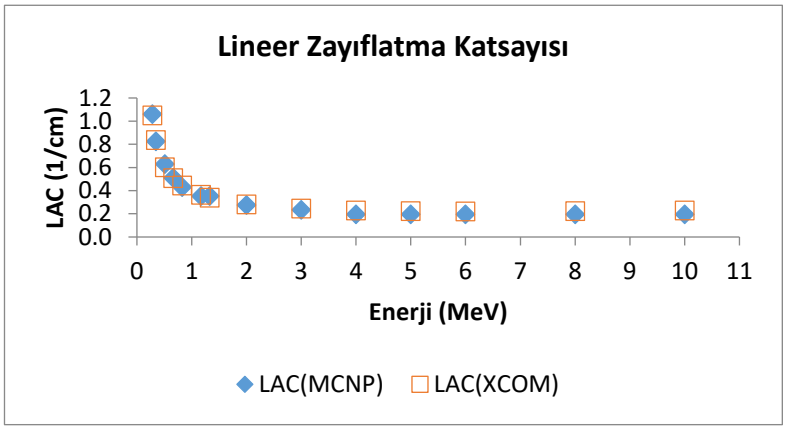


Şekil 4.115. %5 Bor katkılı In_2O_3 ince filmlerde onda bir kalınlık değeri (TVL)

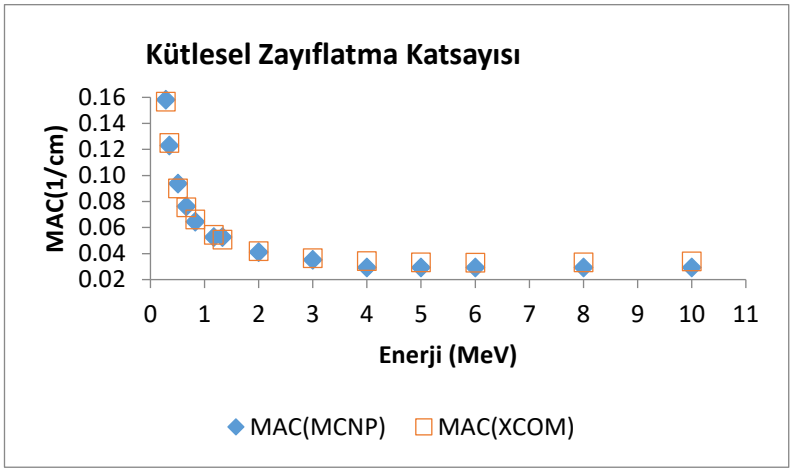
Çizelge 4.6. % 10 bor katkılı indiyum oksit ince filmlerin foton radyasyon zayıflama parametreleri

% 10 BOR KATKILI İNDİYUM OKSİT

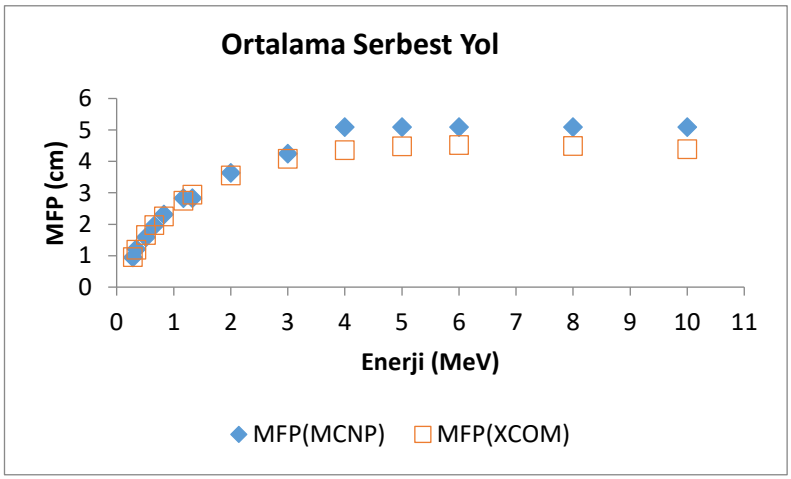
Energy				Yoğunluk	LAC	LAC	Fark LAC	MAC	MAC	Fark MAC	MFP	MFP	Fark MFP	HVL	HVL	Fark HVL	TVL	TVL	Fark TVL
(MeV)	I_0	I	x (cm)	(g/cm^3)	(MCNP)	(XCOM)	(XCOM-MCNP)	(MCNP)	(XCOM)	(XCOM-MCNP)	(MCNP)	(XCOM)	(XCOM-MCNP)	(MCNP)	(XCOM)	(XCOM-MCNP)	(MCNP)	(XCOM)	(XCOM-MCNP)
0,284	1,27324	1,27297	0,0002	6,7	1,0604	1,0506	0,94%	0,1583	0,1568	0,94%	0,9430	0,9519	0,93%	0,6535	0,6596	0,93%	2,1714	2,1918	0,93%
0,347	1,27324	1,27303	0,0002	6,7	0,8247	0,8375	1,52%	0,1231	0,1250	1,52%	1,2125	1,1940	1,55%	0,8403	0,8275	1,55%	2,7919	2,7494	1,55%
0,511	1,27324	1,27308	0,0002	6,7	0,6284	0,6029	4,23%	0,0938	0,0900	4,23%	1,5914	1,6587	4,06%	1,1029	1,1495	4,06%	3,6644	3,8194	4,06%
0,662	1,27324	1,27311	0,0002	6,7	0,5105	0,5071	0,67%	0,0762	0,0757	0,67%	1,9587	1,9719	0,67%	1,3574	1,3665	0,67%	4,5101	4,5405	0,67%
0,826	1,27324	1,27313	0,0002	6,7	0,4320	0,4438	2,66%	0,0645	0,0662	2,66%	2,3149	2,2532	2,74%	1,6042	1,5615	2,74%	5,3302	5,1882	2,74%
1,17	1,27324	1,27315	0,0002	6,7	0,3534	0,3642	2,96%	0,0528	0,0544	2,96%	2,8293	2,7457	3,05%	1,9607	1,9027	3,05%	6,5148	6,3221	3,05%
1,33	1,27324	1,27315	0,0002	6,7	0,3534	0,3398	4,01%	0,0528	0,0507	4,01%	2,8293	2,9427	3,85%	1,9607	2,0393	3,85%	6,5148	6,7758	3,85%
2	1,27324	1,27317	0,0002	6,7	0,2749	0,2811	2,19%	0,0410	0,0420	2,19%	3,6377	3,5579	2,24%	2,5209	2,4656	2,24%	8,3762	8,1924	2,24%
3	1,27324	1,27318	0,0002	6,7	0,2356	0,2448	3,73%	0,0352	0,0365	3,73%	4,2440	4,0858	3,87%	2,9411	2,8314	3,87%	9,7722	9,4079	3,87%
4	1,27324	1,27319	0,0002	6,7	0,1964	0,2297	14,53%	0,0293	0,0343	14,53%	5,0929	4,3527	17,00%	3,5294	3,0164	17,00%	11,7267	10,0224	17,00%
5	1,27324	1,27319	0,0002	6,7	0,1964	0,2233	12,07%	0,0293	0,0333	12,07%	5,0929	4,4781	13,73%	3,5294	3,1033	13,73%	11,7267	10,3111	13,73%
6	1,27324	1,27319	0,0002	6,7	0,1964	0,2210	11,17%	0,0293	0,0330	11,17%	5,0929	4,5242	12,57%	3,5294	3,1353	12,57%	11,7267	10,4174	12,57%
8	1,27324	1,27319	0,0002	6,7	0,1964	0,2227	11,83%	0,0293	0,0332	11,83%	5,0929	4,4902	13,42%	3,5294	3,1117	13,42%	11,7267	10,3390	13,42%
10	1,27324	1,27319	0,0002	6,7	0,1964	0,2280	13,88%	0,0293	0,0340	13,88%	5,0929	4,3859	16,12%	3,5294	3,0395	16,12%	11,7267	10,0990	16,12%



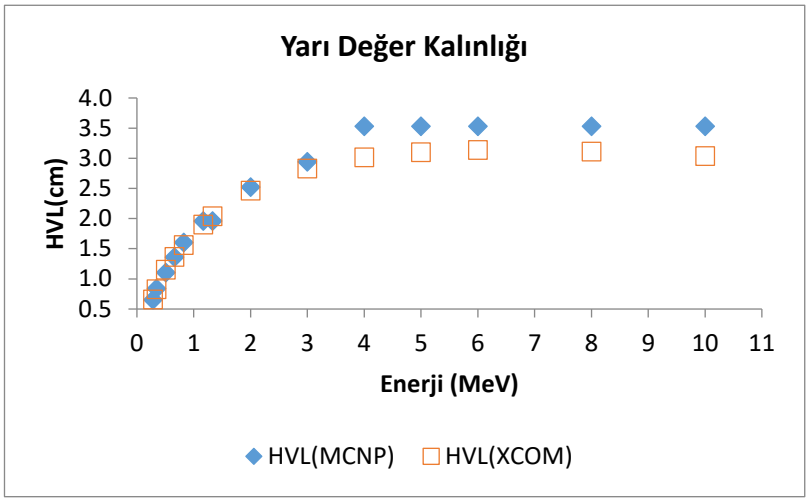
Şekil 4.26. %10 Bor katkılı In_2O_3 ince filmlerin Lineer Zayıflama Katsayıları (LAC)



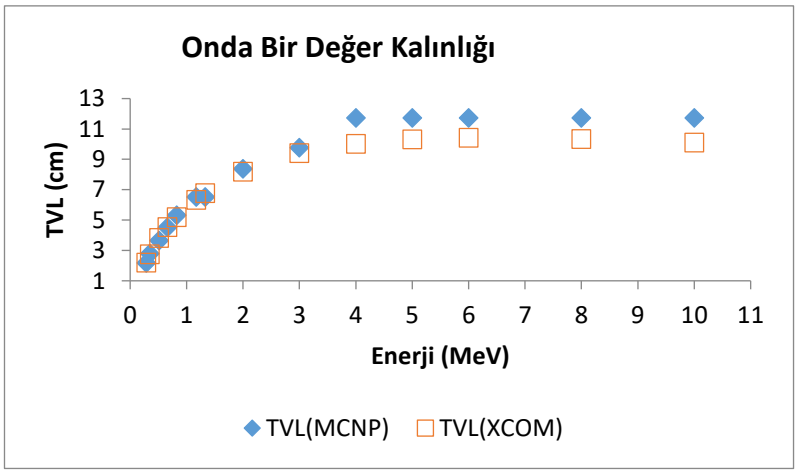
Şekil 4.27. % 10 Bor katkılı In_2O_3 ince filmlerin Kütlesel Zayıflatma Katsayıları (MAC)



Şekil 4.28. % 10 Bor katkılı In_2O_3 ince filmlerde ortalama serbest yol (MFP)



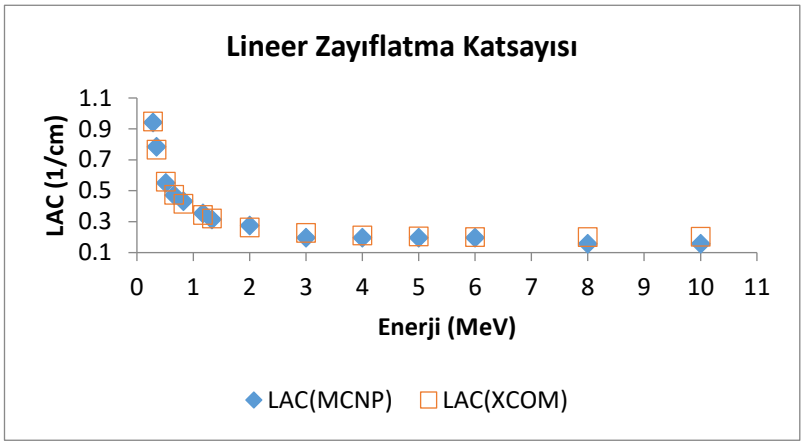
Şekil 4.29. % 10 Bor katkılı In_2O_3 ince filmlerde yarı değer kalınlığı (HVL)



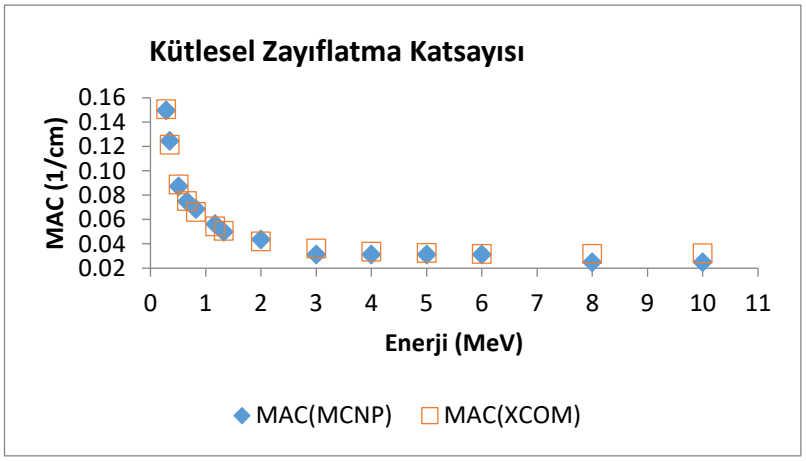
Şekil 4.30. % 10 Bor katkılı In_2O_3 ince filmlerde onda bir kalınlık değeri (TVL)

Çizelge 4.7. % 20 bor katkılı indiyum oksit ince filmlerin foton radyasyon zayıflama parametreleri

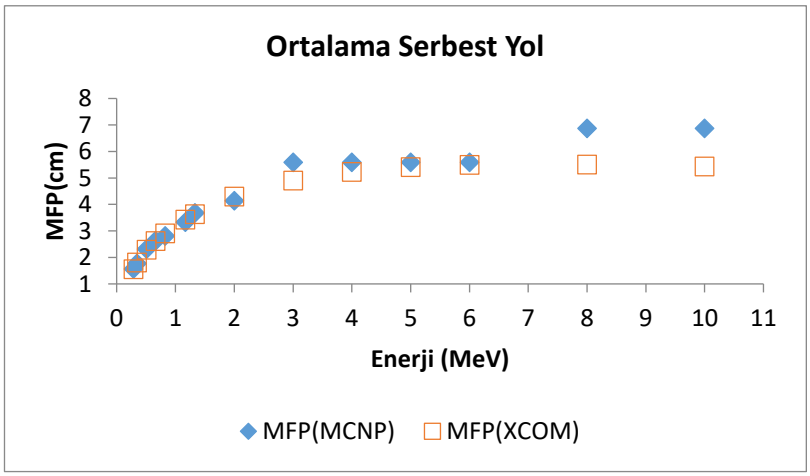
% 20 BOR KATKILI İNDİYUM OKSİT																				
Energy				Yoğunluk	LAC	LAC	Fark LAC	MAC	MAC	Fark MAC	MFP	MFP	Fark MFP	HVL	HVL	Fark HVL	TVL	TVL	Fark TVL
(MeV)	I_0	I	x (cm)	(g/cm^3)	(MCNP)	(XCOM)	(XCOM-MCNP)	(MCNP)	(XCOM)	(XCOM-MCNP)	(MCNP)	(XCOM)	(XCOM-MCNP)	(MCNP)	(XCOM)	(XCOM-MCNP)	(MCNP)	(XCOM)	(XCOM-MCNP)
0,284	1,27324	1,27300	0,0002	6,3	0,9426	0,9488	0,65%	0,1496	0,1506	0,65%	1,0609	1,0540	0,66%	0,7352	0,7304	0,66%	2,4429	2,4269	0,66%
0,347	1,27324	1,27304	0,0002	6,3	0,7855	0,7655	2,61%	0,1247	0,1215	2,61%	1,2731	1,3064	2,55%	0,8823	0,9053	2,55%	2,9315	3,0081	2,55%
0,511	1,27324	1,27310	0,0002	6,3	0,5498	0,5598	1,79%	0,0873	0,0889	1,79%	1,8188	1,7863	1,82%	1,2604	1,2379	1,82%	4,1880	4,1131	1,82%
0,662	1,27324	1,27312	0,0002	6,3	0,4713	0,4739	0,55%	0,0748	0,0752	0,55%	2,1220	2,1102	0,56%	1,4705	1,4624	0,56%	4,8860	4,8589	0,56%
0,826	1,27324	1,27313	0,0002	6,3	0,4320	0,4161	3,81%	0,0686	0,0661	3,81%	2,3149	2,4032	3,67%	1,6042	1,6654	3,67%	5,3302	5,5335	3,67%
1,17	1,27324	1,27315	0,0002	6,3	0,3534	0,3425	3,19%	0,0561	0,0544	3,19%	2,8293	2,9194	3,09%	1,9607	2,0232	3,09%	6,5148	6,7223	3,09%
1,33	1,27324	1,27316	0,0002	6,3	0,3142	0,3197	1,74%	0,0499	0,0508	1,74%	3,1830	3,1277	1,77%	2,2058	2,1675	1,77%	7,3291	7,2018	1,77%
2	1,27324	1,27317	0,0002	6,3	0,2749	0,2637	4,26%	0,0436	0,0419	4,26%	3,6377	3,7928	4,09%	2,5209	2,6284	4,09%	8,3762	8,7333	4,09%
3	1,27324	1,27319	0,0002	6,3	0,1964	0,2276	13,71%	0,0312	0,0361	13,71%	5,0929	4,3945	15,89%	3,5294	3,0454	15,89%	11,7267	10,1188	15,89%
4	1,27324	1,27319	0,0002	6,3	0,1964	0,2116	7,21%	0,0312	0,0336	7,21%	5,0929	4,7255	7,77%	3,5294	3,2748	7,77%	11,7267	10,8809	7,77%
5	1,27324	1,27319	0,0002	6,3	0,1964	0,2040	3,75%	0,0312	0,0324	3,75%	5,0929	4,9021	3,89%	3,5294	3,3972	3,89%	11,7267	11,2875	3,89%
6	1,27324	1,27319	0,0002	6,3	0,1964	0,2005	2,05%	0,0312	0,0318	2,05%	5,0929	4,9884	2,09%	3,5294	3,4569	2,09%	11,7267	11,4862	2,09%
8	1,27324	1,27320	0,0002	6,3	0,1571	0,1997	21,34%	0,0249	0,0317	21,34%	6,3661	5,0073	27,14%	4,4117	3,4700	27,14%	14,6585	11,5296	27,14%
10	1,27324	1,27320	0,0002	6,3	0,1571	0,2029	22,57%	0,0249	0,0322	22,57%	6,3661	4,9295	29,14%	4,4117	3,4161	29,14%	14,6585	11,3506	29,14%



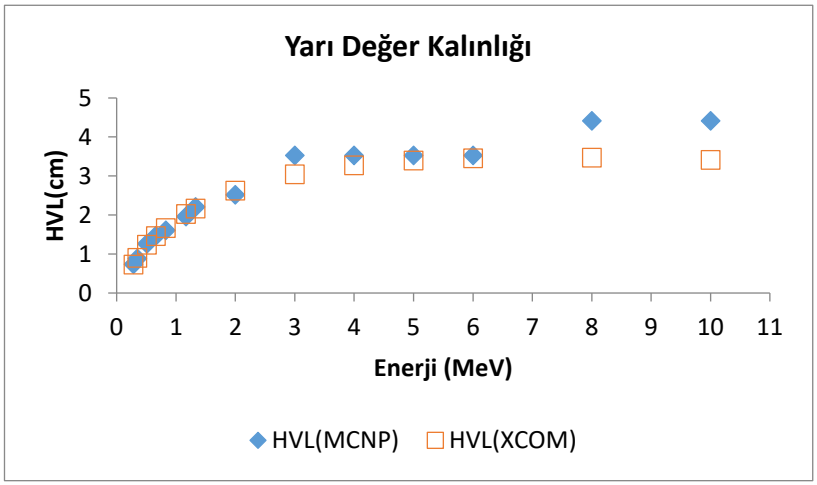
Şekil 4.31. % 20 Bor katkılı In_2O_3 ince filmlerin Lineer Zayıflama Katsayıları (LAC)



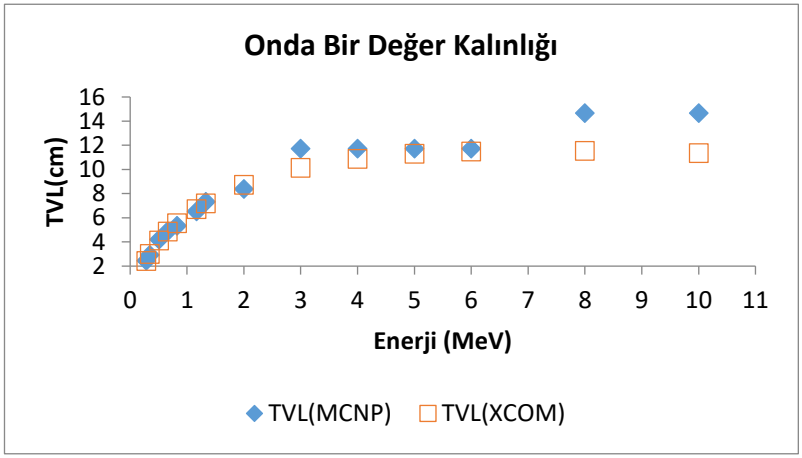
Şekil 4.32. % 20 Bor katkılı In_2O_3 ince filmlerin Kütle Zayıflatma Katsayıları (MAC)



Şekil 4.33. % 20 Bor katkılı In_2O_3 ince filmlerde ortalama serbest yol (MFP)



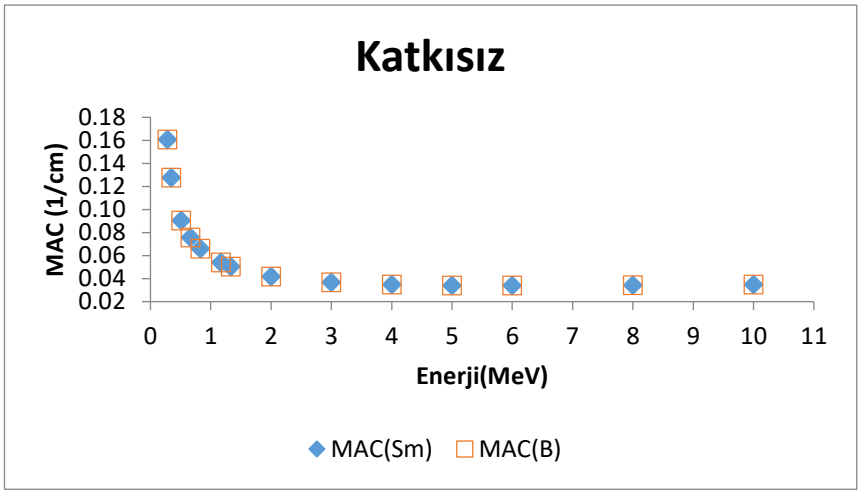
Şekil 4.12. % 10 Bor katkılı In_2O_3 ince filmlerde yarı değer kalınlığı (HVL)



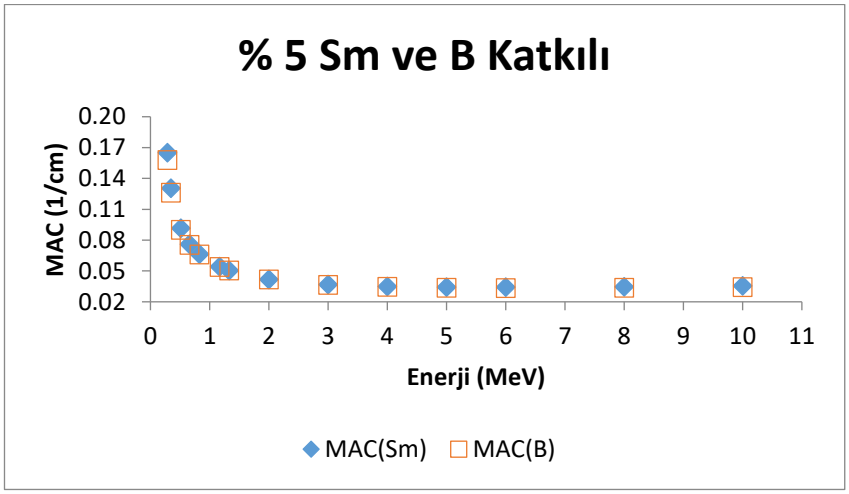
Şekil 4.35. % 20 Bor katkılı In_2O_3 ince filmlerde onda bir kalınlık değeri (TVL)

Yukarıdaki grafiklerden de görüleceği üzere Sm ve B katkılı In_2O_3 için yapılan simülasyon ve XCOM sonuçları incelendiğinde bazı enerjilerde MFP, HVL ve TVL değerlerinde farklar meydana gelmektedir. Bu durumun sebebi; MCNP'de tasarlanan geometride ince film kalınlığı 2 μm seçilirken XCOM değerlerinde malzeme kalınlığı MFP değeri olmasıdır.

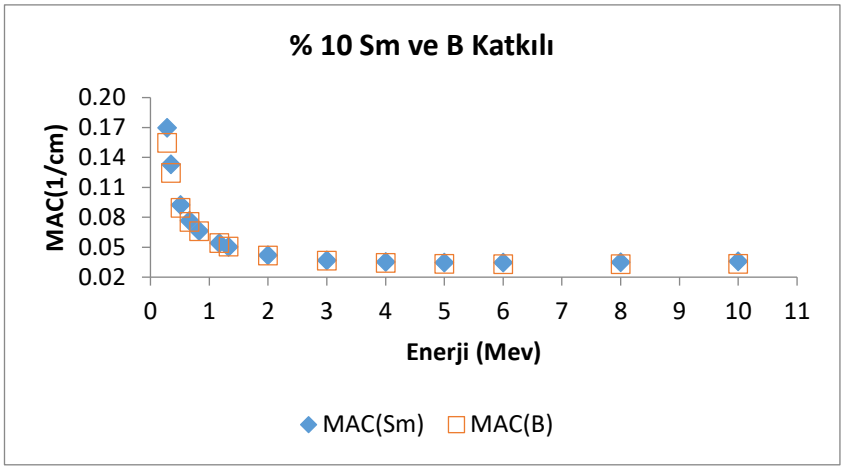
Gerek samaryum katkılı filmlerde gerekse bor katkılı filmlerde 2 μm film kalınlığı alınarak kütlesel zayıflama katsayısı değerleri kıyaslandığında MCNP ile XCOM değerleri birbirine yakın bulunmuştur. MCNP sonuçlarına göre samaryum ve bor katkılı indiyum oksit filmlerin karşılaştırması grafikleri aşağıda verilmiştir.



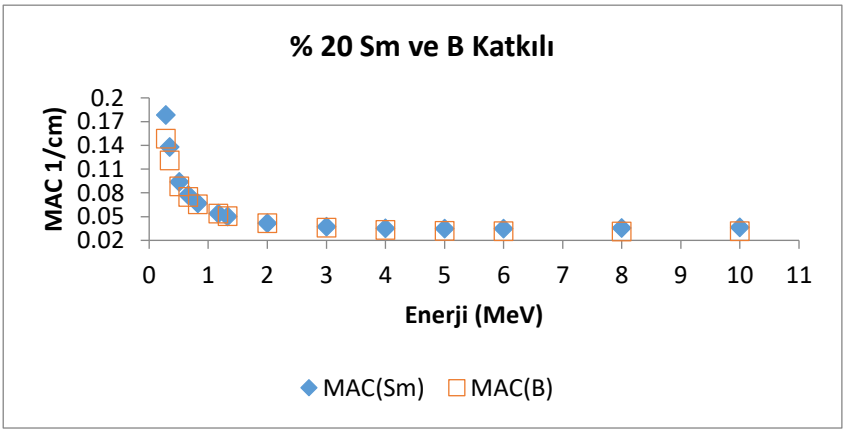
Şekil 4.36. Katkısız indıyum oksit filmlerde kütlesel zayıflama katsayısı (MAC) karşılaştırılması grafiği.



Şekil 4.37. % 5 samaryum ve Bor katkılı indıyum oksit filmlerde kütlesel zayıflama katsayısı (MAC) karşılaştırılması grafiği

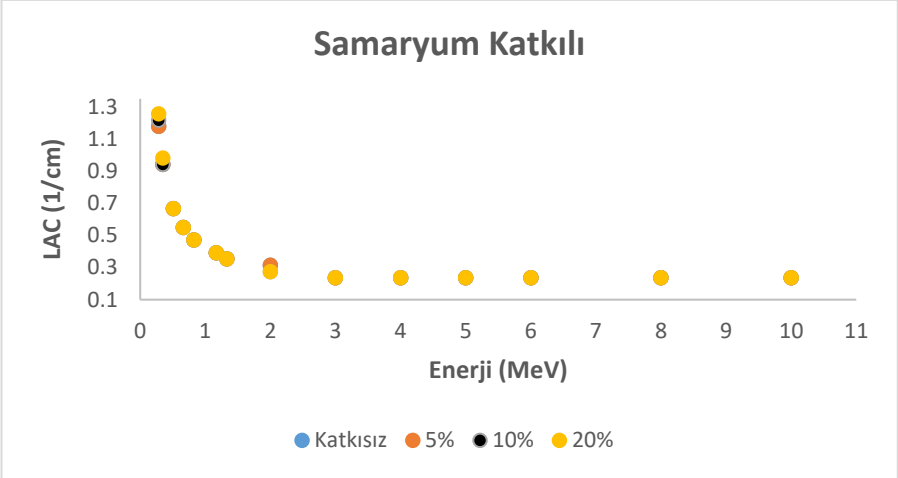


Şekil 4.38. % 10 samaryum ve Bor katkılı indıyum oksit filmlerde kütlesel zayıflama katsayısı (MAC) karşılaştırılması grafiği

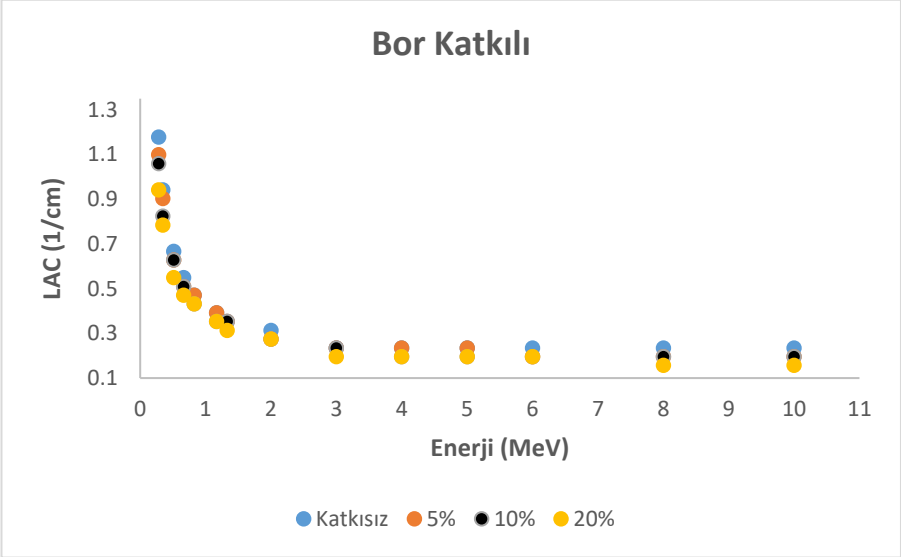


Şekil 4.39. % 20 samaryum ve bor katkılı indıyum oksit filmlerde kütlesel zayıflama katsayısı (MAC) karşılaştırılması grafiği.

MCNP ile elde edilen katkısız, % 5 samaryum katkılı, % 10 samaryum katkılı ve %20 samaryum katkılı indiyum oksit filmler ile katkısız, %5 bor katkılı, % 10 bor katkılı ve % 20 bor katkılı Lineer zayıflatma katsayısı değerlerinin karşılaştırma grafikleri Şekil 4.40 ve Şekil 4.41'de verilmiştir.

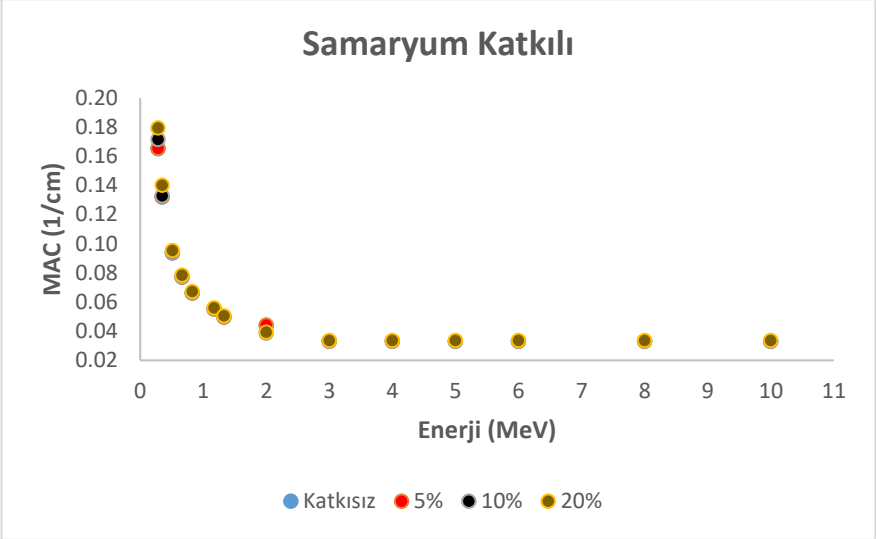


Şekil 4.40. Farklı oranlarda samaryum katkılanmış indiyum oksit ince filmin lineer zayıflatma katsayısı (LAC) karşılaştırma grafiği

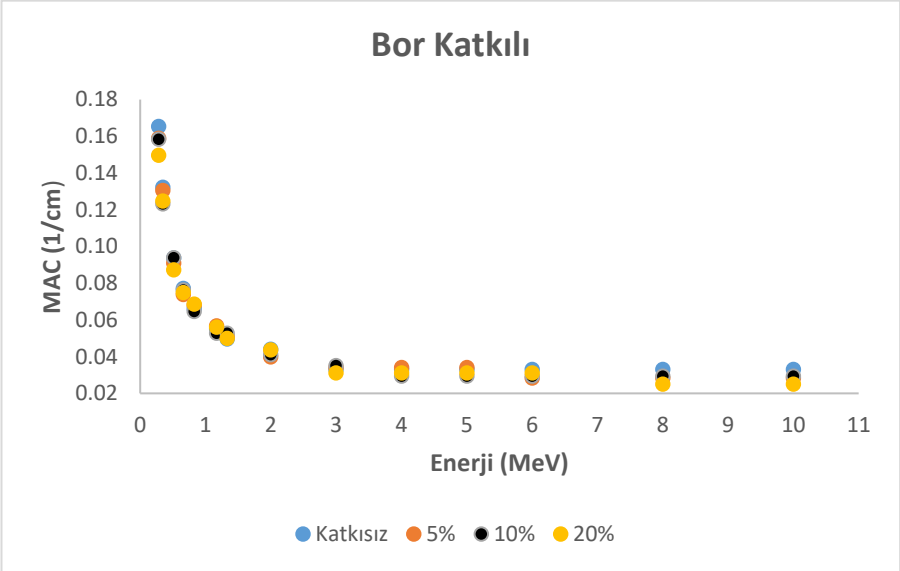


Şekil 4.41. Farklı oranlarda bor katkılanmış indiyum oksit ince filmin lineer zayıflatma katsayısı (LAC) karşılaştırma grafiği

MCNP ile elde edilen katkısız, % 5 samaryum katkılı, % 10 samaryum katkılı ve %20 samaryum katkılı indiyum oksit filmler ile katkısız, %5 bor katkılı, % 10 bor katkılı ve % 20 bor katkılı kütlesel zayıflatma katsayısı değerlerinin karşılaştırma grafikleri Şekil 4.42 ve Şekil 4.43'te verilmiştir.



Şekil 4.42. Farklı oranlarda samaryum katkılanmış indiyum oksit ince filmin kütlesel zayıflatma katsayısı (MAC) karşılaştırma grafiği



Şekil 4.43. Farklı oranlarda bor katkılanmış indiyum oksit ince filmin kütlesel zayıflatma katsayısı (MAC) karşılaştırma grafiği

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Günümüzde malzeme bilimi üzerine bir çok multidisipliner çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalar sağlık, teknolojik gereksinimler ve insanoğlunun ihtiyaçları doğrultusunda oluşan talepler göz önünde bulundurularak yapılmaktadır. Farklı bir çok sektörde hem iş veriminin arttırılması hem de çalışanların meslek hastalıklarına yakalanma riskini minimize etmek için teknolojik gelişmeler gün geçtikçe artmaktadır. Sektörlerde kullanılan teknolojik cihazlar ve koruyucu ekipman tasarımlarında kullanılacak ham maddelerin özellikleri de bu doğrultuda önem arz etmektedir. Örneğin sağlık sektörü göz önüne alındığında özellikle radyasyonlu ortamlarda hem çalışanların hem de hastaların radyasyondan korunması çeşitli kanunlarla koruma kapsamına alınmıştır. Bu noktada Nükleer tıp birimlerinde kullanılan koruyucu gözlüklerde, bilgisayarlı tomografi ünitelerindeki koruyucu cam formlu pencerelerde radyasyonu zayıflatma özelliğine sahip ham maddeler kullanılmaktadır. Her geçen gün tercih edilen ham maddelerin yerine daha iyi koruma sağlayabilecek farklı bileşikler araştırılmaktadır. Malzeme bilimi üzerine yapılan bu araştırmalardan bazıları deneysel ortamlarda gerçekleşirken zaman ve maliyet anlamında kayıplar yaşanmaktadır. Deneysel yöntemlerin yanı sıra simülasyon yöntemleri de büyük ölçüde tercih edilmektedir. Bu yöntemlerden biri de bir radyasyon taşıma programı olan ve Monte Carlo tabanlı MCNP simülasyon tekniğidir. Yapılan bu çalışmada ince film tasarımlarında tecih edilen In_2O_3 bileşiği tercih edilmiş olup elektriksel ve iletim özellikleri iyi olan Sm ve B elementleri ayrı ayrı %5, %10 ve %20 oranlarında katkılandırılıp boyut olarak ince filmler için ortalama bir değer olan 2 μm alındı ve yeni oluşan bileşiğin radyasyon zayıflatma davranışları gözlemlendi. Yüksek yoğunluğa sahip olan bileşikler için yapılan simülasyon sonuçları kullanılarak radyasyon zayıflatma özelliklerini tanımlayan LAC, MAC, MFP, HVL ve TVL değerleri irdelendi. Simülasyon sonuçlarına göre; In_2O_3'e katkılanan Sm veya B oranı arttıkça bileşiğin yoğunluğunda küçük miktarda azalma olduğu gözlemlendi. Yoğunlukta çok düşük düzeyde meydana gelen bu azalmanın etkisiyle radyasyon azaltma değerlerinde de düşüşler olduğu görülmüştür. Bu noktada

Sm ve B elementlerinin atomik boyutta daha az sıkı bir yapıda olması sebebiyle bileşik içinde katkısız duruma kıyasla atomik düzeyde boşlukların olduğu aşikardır. Çalışmada ikinci katkı maddesi olarak B seçilmesinin sebebi; ülkemizde B elementi yüksek oranda bulunması ve bu duruma istinaden ileride yapılması düşünülen mühendislik çalışmalarında Türkiye menşeili B içerikli ürünlerin tasarlanmasında denenebilecek olmasıdır. Bu çalışmada yapılan simülasyon sonuçlarına bakıldığında seçilen ondört farklı enerjideki MAC değerleri baz alınıp çok yüksek enerjilerde ince filmlerin radyasyon zırhlamada çok etkin olmadıkları anlaşılmaktadır. Sonuç tabloları incelendiğinde XCOM sonuçlarıyla yapılan karşılaşmalarda yapılan simülasyonlarda 2 μm olarak alınan kalınlıkların XCOM'un kullandığı kalınlıklar ile aynı olmaması sebebiyle sonuçlar arasında fark olduğu gözlenmiştir. Literatür incelendiğinde yapılan çalışmalarda kaynaklar genellikle Sezyum-137 ve Kobalt-60 olup enerji düzeylerine bakıldığında 662 keV ve ortalama 1,25 MeV olduğu görülmekle birlikte bu çalışmada ilgili enerjilerde uygun radyasyon zayıflatma değerlerinin yakalandığı görülmektedir. Bu çalışmada kullanılan ondört farklı enerji seçilmiş olup en yüksek enerji olarak 10 MeV için de simülasyon gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında 10 MeV enerjide XCOM değerleriyle ortalama %9 oranında bir fark meydana geldiği gözlenmiştir.

Sonuç olarak; bu tez çalışmasında mikron düzeyinde bir kalınlığa sahip 3 farklı oranda Samaryum veya Bor katkılanmış İndiyum Oksit bileşiğinin radyasyon zayıflatma özellikleri incelenmiş olup, simülasyon sonuçları kullanılarak yapılan LAC, MAC, MFP, HVL ve TVL hesapları neticesinde çok yüksek enerjiler hariç diğer enerji seviyeleri için ilgili malzemenin radyasyondan korunma ekipmanları için uygun bir ham madde olabileceği yorumu yapılabilmektedir. Bundan sonraki olabilecek çalışmalar için ince film dışında daha yüksek kalınlıklar ve enerjiler için aynı malzemeler denenebilir ve belki de farklı zırhlama tasarımları için simülasyonlar gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

ABAY, Ö., 2021. Europyum (Eu) katkılı gadalonyum lutesyum oksit şeffaf seramik sintilatör hazırlanması. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

AĞAR Özgün, 2017. Termiyonik Vakum ark(TVA) tekniği kullanarak Bor Karbür İnce Filmlerin oluşturulması ve bazı fiziksel özelliklerin incelenmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yükseklisans tezi, Afyon.

AKYILDIRIM, H., 2011. Ağır betonların nükleer radyasyon zırhlama özelliklerinin araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İsparta.

ALAM, F., ALAM, F., and LEWİS, D.J., 2020. Synthesis of indium oxide microparticles using aerosol assisted chemical vapour deposition. RSC Adv. 10, 22487–22490.

ALSHAHRANİ, B., OLARİNOYE, I.O., MUTUWONG, C., SRİWUNKUM, C., YAKOUT, H.A., TEKİN, H.O., and AL-BURİAHİ, M.S., 2021. Amorphous alloys with high Fe content for radiation shielding applications. Radiat. Phys. Chem. 183, 109386.

AMRİ, A., JİANG, Z.T., PRYOR, T., YİN, C.-Y., and DJORDJEVİC, S., 2014. Developments in the synthesis of flat plate solar selective absorber materials via sol-gel methods: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 36, 316-328.

ARMBRUST, M., HİNTZE-BRÜNİNG, H., STÜBBE, W., BETZ, P., and EHLİG, C., 2004. "Sol-gel coating", Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office. U.S. Patent No. 6,713,559.

ARSLAN, A.Y., 2010. Sol-jel yöntemiyle büyütülen kalay oksit filmlerin elektriksel ve optiksel özelliklerinin incelenmesi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

AYGÜN, B., ve KARABULUT, A., 2018. Development and production of high heat resistant heavy concrete shielding materials for neutron and gamma radiation. Eastern Anatolian Journal of Science, 4(2), 24-30.

BAYKAL, G., 2011. Monte Carlo yöntemi ile pozitronların altın ortamda menzil dağılımlarının incelenmesi. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir.

BEJİ, N., SOULİ, M., AJİLİ, M., AZZAZA, S., ALLEG, S., and TURKİ, N.K., 2015. Effect of iron doping on structural, optical and electrical properties of sprayed In2O3 thin films. Superlattice. Microst. 81, 114–128.

BEZİR, N., AKKURT, İ., EVCİN, A., GÜNOĞLU, K., ve OKTAY, A., 2013. Ce Katkılanmış TiO_2 İnce Filmlerin Radyasyon Soğurma Özelliklerinin İncelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 17(3), 38-41.

BİSWAS, M. and SU P., 2017. Chemical solution deposition technique of thin-film ceramic electrolytes for solid oxide fuel cells, modern technologies for creating the thin-film systems and coatings, Intechopen, DOI: 10.5772/66125.

CELEP, Ş., 2007. Nanoteknoloji ve tekstilde uygulama alanlari. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana.

ÇETİN, H., 2011. Tıbbı amaçlı x-ışını uygulamalarında radyasyondan korunmak amacıyla kullanılan kurşunlu önlük malzemelerine alternatif olarak üretilen kurşunsuz örneklerin soğurma özelliklerinin incelenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.

ÇETİNTAŞOĞLU, M.E., 2016. Sol-jel yöntemi uygulanarak ZrO_2 ile yüzey modifikasyonu yapılmış $LiMn_2O_4$ yapısının sentezlenmesi ve katot aktif malzemesi olarak incelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

ÇİÇEK, Ö.F., 2020. Bazı yapı malzemelerinin radyasyon geçirgenliği açısından monte carlo yöntemi kullanılarak incelenmesi. Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa.

ÇİMEN, B., 2018. İyonlaştırıcı Radyasyon ve Çevre Güvenliği. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya.

DASDAG, S., 2010. İyonlastirici radyasyonlar ve kanser/Ionizing radiations and cancer. Dicle Tip Dergisi, 37(2), 177.

DEOKATE, R.J., 2020. Influence of spray solution quantity on microstructural and optical properties of In2O3 thin films prepared by spray pyrolysis. Macromol. Symp. 392, 1–6.

DİKER, F., ve ASLAN, E., 2022. Monte Carlo Simülasyonu ve Zaman Serisi Yöntemlerine Göre Bir Üretim Firmasında Tahminleme. Journal of Academic Value Studies, 8(1), 26-36.

DOĞRU, H., 2020. Monte carlo yöntemi ile atmosferde ve yer yüzeyinde doz hesaplamaları. İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

DÖNMEZ, S., 2017. Radiation detection and measurement/radyasyon tespiti ve olcumu. ın nuclear medicine seminars, galenos yayinevi tic. ltd., vol. 3, no. 3, pp. 172-178.

DURMUŞ, O., 2011. Vanadyum oksit ince filmlerinin sol-jel yöntemi ile hazırlanması ve karakterizasyonu. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

DURMUŞ, O., 2011. Vanadyum Oksit İnce Filmlerinin Sol-Jel Yöntemi ile Hazırlanması ve karakterizasyonu. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

EL HİCHOU, A., ADDOU, M., MANSORİ, M., and EBOTH´E, J., 2009. Structural, optical and luminescent characteristics of sprayed fluorine-doped In2O3 thin films for solar cells. Sol. Energy Mater. Sol. Cells 93, 609–612.

EMİKÖNEL, S., 2015. Barit kaplanmış bazı kumaş türlerinin radyasyon soğurma özelliklerinin araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İsparta.

EMİKÖNEL, S., 2015. barit kaplanmış bazı kumaş türlerinin radyasyon soğurma özelliklerinin araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İsparta.

ERİTENKO, A.N., and TSVETYANSKY, A.L., 2020. Separation of materials according to the effective atomic number using photons of two energies in the range of 60–700 keV. Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. Mater. Atoms 462, 114–118.

ERK, İ., 2016. Fantom malzemelerinin doku denkliğinin deneysel ve teorik olarak incelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

ESERCİ D., 2007. Alümina, Zirkonya ve Alumina-Zirkonya kompozit malzeme üretimi, karakterizasyonu ve etkin difüzyon sabitinin bulunması. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

ESKALEN, H., KAVUN, Y., KERLİ, S., ve EKEN, S., 2020. An investigation of radiation shielding properties of boron doped ZnO thin films. Opt. Mater. 105, 109871.

GAVRİLOVİ´C, T.V., JOVANOVİ´C, D.J., and DRAMİ´CANİN, M.D., 2018. Synthesis of multifunctional inorganic materials. In: Nanomaterials for Green Energy.

GHODRATİ, Z., ve DİVSALAR, A., 2021. Biological properties, therapeutic and diagnostic applications of Samarium and Samarium nanoparticles. Koomesh, 23(1), 20-38.

GROTH, R., 1966. Untersuchungen an halbleitenden Indiumoxydschichten. physica status solidi (b), 14(1), 69-75.

GÜR, V., 2018. Farklı sıcaklıklarda üretilen kobalt katkılı hidroksiapatitlerin kristal yapı ve morfolojilerinin incelenmesi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elâzığ.

HANÇERLİOĞLU, A., 2006. Monte Carlo Simülasyon Metodu ve MCNP Kod Sistemi. Kastamonu Eğitim Dergisi, 14(2), 545-556.

ISSA, S.A., ZAKALY, H.M.H., PYSHKİNA, M., MOSTAFA, M.Y.A., RASHAD, M., and SOLİMAN, T.S., 2021. Structure, optical, and radiation shielding properties of PVA–$BaTiO_3$ nanocomposite films: an experimental investigation. Radiat. Phys. Chem. 180, 109281.

JACOB, K.,VİVİAN, G., and STEEL, J.R., 2004. X-ray dose training: are we exposed to enough. Clinic Radiology, 59: 928–934.

JHA, A.R., 2014. Rare earth materials: properties and applications. CRC Press. p:53-54.

JİMÉNEZ-SANDOVAL, S., ESTEVEZ, M., PACHECO, S., VARGAS, S., and RODRÍGUEZ, R., 2007. Defect-induced luminescence in sol–gel silica samples doped with Co(II) at different concentrations, Materials Science and Engineering: B, 145, 97-102.

KARA, F., 2020. İyonize radyasyonla çalışan sağlık personelinin mesleksel radyasyon risk algısı ve iş güvenliği yönünden incelenmesi. Selçuk Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya.

KAVUN, Y., KERLİ, S., ESKALEN, H., ve KAVGACI, M., 2022. Characterization and nuclear shielding performance of Sm doped In_2O_3 thin films. *Radiation Physics and Chemistry*, *194*, 110014.

KAYA, M., 2021. İnternal radyasyon tedavisi uygulanan hastaların acil serviste radyasyon yönetimi ve sağlık çalışanlarında farkındalık oluşturma. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Sağlık Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Tokat.

KAYĞILI, Ö., 2011. Sol-jel metodu ile üretilen hidroksiapatit esaslı biyoseramik malzemelerin mikroyapı ve fiziksel özelliklerinin incelenmesi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elâzığ.

KHAN, H., SARKAR, S., PAL, M., BERA, S., and JANA, S., 2020. Indium Oxide Based Nanomaterials: Fabrication Strategies, Properties, Applications, Challenges and Future Prospect. In Post-Transition Metals. IntechOpen.

KÖKLÜ, N., 2006. Radyasyonun insan sağlığı üzerindeki etkileri ve tıpta uygulama alanları. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya.

LAMARSH, J.R., and BARATTA A.J., 2001. Introduction to Nuclear Engineering. Pearson, USA, 783.

LEE, R.K.L., CHU, W.C.W., and GRAHAM, C.A., 2012. Knowledge of radiation exposure in common radiologic investigations: Comparison between radiologists and non radiologists. Emergency Medicine Journal; 29: 306-8.

MADEJ, D., SİLARSKİ, M., and PARZYCH, S., 2021. Design, structure, microstructure and gamma radiation shielding properties of refractory concrete materials containing Ba- and Sr- doped cements. Mater. Chem. Phys. 260, 124095

NOLAN, P.J. 2014. Fundamentals of Modern Physics. Physics Curriculum, 325, USA.

ÖZGE, Ö., 2019. Kurşun alaşımının kütle azaltma katsayısının Co-60 radyoaktif kaynağı ve GEANT4 simülasyon programı ile belirlenmesi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.

ÖZTÜRK, D., YILDIRIM, M., ve KAYA, V., 2015. Staff radiation safety awareness in medical staff. Journal of Clinical and Analytical Medicine, 6: 436-8.

PATİL, S.P., PATİL, V.L., SHENDAGE, S.S., HARALE, N.S., VANALAKAR, S.A., KİM, J.H., and PATİL, P.S., 2016. Spray pyrolyzed indium oxide thick films as NO2 gas sensor. Ceram. Int. 42, 16160–16168.

RAYCHAUDHURİ, S., 2008. Introduction to monte carlo simulation. In 2008 Winter simulation conference (pp. 91-100).

REED, A.B., 2011. The history of radiation use in medicine. journal of vascular surgery, 53 (1), 3-5.

SAĞLAMCI, Y., 2021. Simülasyon; Editör: Tüzemen ve Aslan Karar Vericinin El Kitabı Yöneticiler İçin Karar Verme Teknikleri ve Örnek Problem Çözümleri, Seçkin Yayınevi, Ankara.

SAYYED, M.I., MHAREB, M.H.A., ALAJERAMİ, Y.S.M., MAHMOUD, K.A., IMHEİDAT, M.A., ALSHAHRİ, F., ALQAHTANİ, M., and AL-ABDULLAH, T., 2021. Optical and radiation shielding features for a new series of borate glass samples. Optik 239, 166790.

SİNGH, R.K., MCCOUBRİE, P., BURNEY, K., and MİLES, J.A., 2008. Teaching medical students about radiation protection what do they need to know. Clinical 54 Radiology, 63: 1344-9.

SRİWUNKUM, C., NUTARO, T., and SAİZ, A., 2018. The comparative study of the radiation shielding of $PbO–Li_2O–B_2O_3$ glass system by using FLUKA to XCOM and experimental data. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1144, No. 1, p.)

SUDHA, A., SHARMA, S.L., and GUPTA, A.N., 2019. Achieving sensitive and stable indium oxide thin films for gamma radiation monitoring. Sens. Actuators, A Phys.

SUDHA, A., SHARMA, S.L., and GUPTA, A.N., 2019. Achieving sensitive and stable indium oxide thin films for gamma radiation monitoring. Sens. Actuators, A Phys

ŞAHİN, D., 2012. Sol-jel yönetimiyle elde edilen Na katkılı ZnO ince filmlerin yapısal, elektriksel ve optik özelliklerinin incelenmesi. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Tokat.

ŞAM, E.D., 2006. Saf ve katkılı TiO_2 filmlerin optik, yapısal ve fotoaktivite özellikleri. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.

TARİM, U., ve GÜLER, O., 2018. Application of Monte Carlo Method for Gamma Ray Attenuation Properties of Load Zinc Borate Glasses. Sakarya University Journal of Science, 22(6): 1848-1852.

TAYLOR, M.L., SMİTH, R.L., DOSSİNG, F., and FRANİCH, R.D., 2012. Robust calculation of effective atomic numbers: the Auto-Zeff software. Med. Phys.

TOEBBE, J.S., 2012. İmproving the radiation shielding properties of concrete using heavy-metal coated rubber granules. Faculty and the Colorado Board of Trustees Mining School, Master Thesis, Colorado, 945.

TOSUN, N., KURMİ, S. Z., ve TOSUN, G., 2020. Sol-jel yöntemiyle TiO_2 ve HAP kaplanan Ti_6Al_7Nb alaşımının mikroyapı ve aşınma davranışı. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 11(2), 653-662.

TOSUN, N., KURMİ, S. Z., ve TOSUN, G., 2020. Sol-Jel Yöntemiyle TiO2 ve HAP Kaplanan Ti6Al7Nb Alaşımının Mikroyapı ve Aşınma Davranışı. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 11(2), 653-662.

TOYGUN, Ş., KÖNEÇOĞLU, G., ve KALPAKLI, Y., 2013. General prıncıples of sol-gel. sigma: journal of engineering and natural sciences/mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 31(4).

TÜRKÜM, A., 2018. Kocaeli atmosferinde uçucu organik bileşiklerin ve inorganik gazların dağılımları, kaynakları ve sağlık risklerinin belirlenmesi. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kocaeli.

ULUCAN, O., 2016. Yapısal eşitlik modellemesi ile radyasyon farkındalığının radyasyondan korunma üzerindeki etkisinin incelenmesi: Afyon Kocatepe Üniversitesi sağlık bilimleri öğrencileri üzerinde bir uygulama. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Afyon.

UN, A., CANER, T., 2014. The Direct-Zeff software for direct calculation of mass attenuation coefficient, effective atomic number and effective electron number. Ann. Nucl. Energy.

ÜNLÜ B.S.,2006 Bor ve borlamanın kullanım alanları,Mühendis ve makine dergisi,cilt 47 sayı 552

VAİZOĞULLAR, H.E., 2016. Bazı yağlı tohumlu bitkilerde gama radyasyonun ($^{137}C_S$) M1 generasyonlarında oluşturduğu modifikasyonların fizyolojik özellikleri ile yağ verimine etkisinin belirlenmesi ve antimikrobiyal aktivitelerinin araştırılması. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Denizli.

YILDIRIM, A.K., 2019. Yttrium-90 Mikro Küre Tedavisinde Innternal Dozimetrinin Monte Carlo Yöntemı İle Belirlenmesi. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.

ZHU, H., ZHENG, Z., GAO, X., HUANG, Y., YAN, Z., ZOU, J., and FROST, R. L., 2006. Structural evolution in a hydrothermal reaction between Nb_2O_5 and NaOH solution: from Nb_2O_5 grains to microporous $Na_2Nb_2O_6$. $2/3H_2O$ fibers

and $NaNbO_3$ cubes. Journal of the American Chemical Society, 128(7), 2373-2384.