

OTR Sistemlerinde Silikon Görüntüleme Ekranın Geant4 Simülasyonu

Veli ÇAPALI^{1,*}, Suat ÖZKORUCUKLU¹

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü, Doğu Kampüsü, 32260, Isparta, Türkiye

*Yazışılan yazar e-posta: velicapali@sdu.edu.tr

Alınış: 07 Haziran 2011, Kabul: 18 Ağustos 2011

Özet: Hızlandırıcı sistemlerinde Optik Geçiş Radyasyonu (OTR), demet profilini belirlemede kullanılır. OTR sistemlerinde görüntüleme ekranı olarak genelde alüminyum ve altın kullanılmaktadır. Bu çalışmada OTR sistemlerinde Silikon (Si) materyalinin görüntüleme ekranı olarak kullanılabilirliği simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Simülasyon çalışmaları, 18,5 MeV ve 38,5 MeV farklı iki elektron demet enerjileri ile görüntüleme ekranları olarak alüminyum, kurşun, titanyum, bakır, gümüş, altın materyalleri ve silikon üzerinde yapılmıştır. Simülasyon sonuçlarından da görülebileceği gibi, silikon tabanlı görüntüleme ekranları OTR sistemlerinde iyi bir seçenek olabilir.

Anahtar kelimeler: Silikon detektörler, OTR görüntüleme sistemi, geant4.

Geant4 Simulation of Silicon Screen in OTR Systems

Abstract: Optical Transition Radiation (OTR) is used for beam profile measurements in accelerator facilities. In OTR systems generally aluminum and gold are used as view screens. In this work, the simulation studies were carried out on usability of Silicon (Si) material as view screens in OTR systems. The simulation studies were carried out with two different electron beam energies of 18.5 MeV and 38.5 MeV on aluminum, lead, titanium, copper, silver, gold and silicon based view screen materials. It can be seen from the simulation results that silicon based view screens will be a good candidate as view screen in OTR systems.

Key words: Particle detectors, silicon detectors, transition radiation, geant4.

1. Giriş

Silikon detektörler son yıllarda yapılan hızlandırıcı deneylerinde oldukça önemli bir rol oynamıştır. Silikon materyali sadece hızlandırıcı deneylerinde değil bu gün hemen hemen her alanda kullanılmaktadır. Elektronüğün gelişimi ile detektör teknolojisi de gelişmekte ve daha hızlı ve yüksek hassasiyetli detektörlerin üretimine imkan sağlamaktadır. Yüksek enerji fiziğindeki gelişmeler ve bu süreçte silikon detektörlerin gelişimi ve kullanımını incelendiğinde; büyük hızlandırıcı detektörlerinde silikon detektörlerin kullanımı ön plana çıkmaktadır. Yaşam ömrü piko saniye aralığında olan parçacıkların gözlemlenmesinde çok hassas, hızlı ve iyi çözünürlükte detektörler gerekmektedir. Bu tür hassas ölçümler içinde detektörlerde silikondan oluşan tabakalar kullanılmaktadır.

Detektörlerde kullanılan silikon malzemelerde, bir elektron çifti oluşturmak için gerekli enerji Silisyumda 3,6 eV ve Germanyumda 2,85 eV iken, gazlarda bu değer yaklaşık 30 eV kadardır. Bu durum silikon detektörlerin kullanımını ön plana çıkarmıştır [1].

Bu çalışmada, silikon detektörün simülasyon uygulamaları ve silikon detektörler için yeni kullanım alanları incelenmiştir. OTR sistemlerinin içerisinde silikon detektör sistemi

adapte edilerek simülasyon çalışmalarının yapılması ve tasarım öncesi çalışma faktörlerinin belirlenerek, elde edilen bulgular yardımı ile sistemi iyileştirmek ve daha başarılı bir hale getirmek amaçlanmıştır.

Bu amaçlar doğrultusunda simülasyon çalışması için Geant4 simülasyon programı ve simülasyon verilerinin analizi ve grafikler çizmek için Root analiz programı kullanılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Büyük hızlandırıcı detektörlerinde, yüklü parçacıklar silikon şeritlerin arasından geçerken enerjilerinin bir kısmını iyonizasyon vasıtasıyla kaybettirerek yüklü parçacıkların yükü tespit edilir. Bu yük detektörlerde elektriksel sinyal dönüşümleri ile parçacıkların belirlenmesini sağlar [1].

Yüklü parçacıkları materyal içerisinden geçerken, kaybettikleri enerjiyi hesaplamak için Bethe ve Bloch' un "Durdurma Gücü" denklemi kullanılır.

$$-\left. \frac{dE}{dx} \right|_c = 4\pi N_a r_e^2 m_e c^2 \rho \frac{Z}{A} \frac{z^2}{\beta^2} \left[\frac{1}{2} \ln \left(\frac{2m_e \gamma^2 W_{\max}}{I^2} \right) - \beta^2 - \frac{\delta}{2} - \frac{C}{Z} \right] \quad (1)$$

Burada;

B = Parçacığın göreceli hızı (v / c).

dE = Parçacığın enerjisi.

dx = Parçacığın madde içerisinde aldığı yol.

c = Işık hızı.

γ = Lorentz faktörü (E/mec^2).

m_e = Elektronun durgun kütlesi.

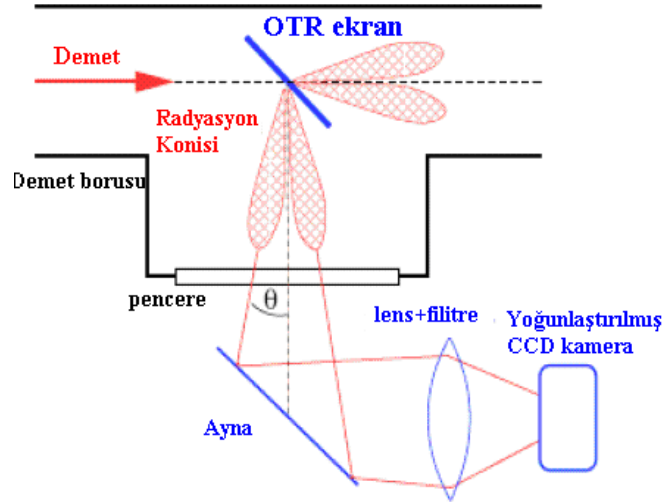
N_a = Avagadro sayısı.

I = Ortamın iyonizasyon ve uyarma potansiyelidir.

2.1. Optik Geçiş Radyasyonu

Geçiş radyasyonu, elektrik akımlarına farklı direnç gösteren iki yalıtkan arasından geçiş yapan rölativistik yüklü parçacıklar tarafından madde ile etkileşmeleri sonucunda üretilir. Temel olarak elektron demeti bir metal yüzeyden geçirilerek, geçiş radyasyonu elde edilir. Bu geçiş radyasyonu spektrumsal olarak çok geniş bir bant aralığına sahiptir. Ancak bu bant aralığındaki, kameralarca tespit edilebilen yani görsel olan geçiş radyasyonuna OTR denilir [2].

Şekil 1 de OTR sistemlerinin demet hattındaki görüntüleme yapısı gösterilmektedir.



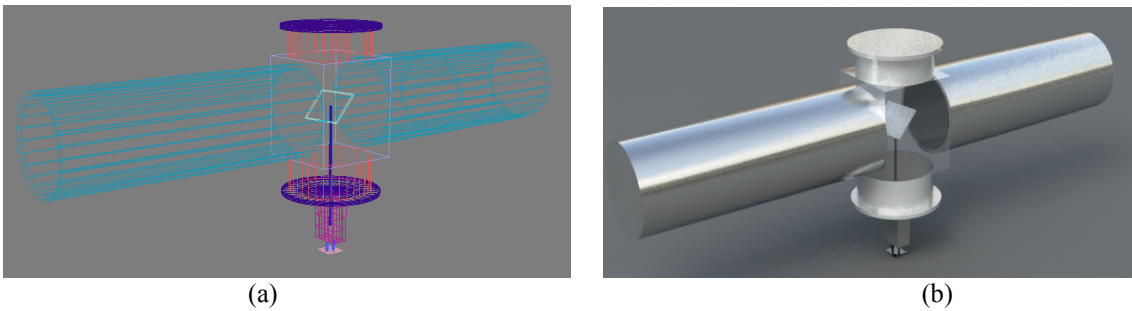
Şekil 1. Demet hattında bir OTR gözlem yapısı.

2.2 Simülasyon Çalışması

Simülasyon programı olan Geant4 maddenin içindeki parçacıkların ve nesneye dayalı yapıların simülasyonunu yapabilen araçları içeren, modern, gelişmiş ve geniş bir fizik kütüphanesine sahip Monte Carlo simülasyon yazılımıdır.

Geant4 programında OTR sistemini ve silikon detektör uygulamasının simülasyonunda global yapının tanımlanması, yapılacak olan simülasyonun ilk ve temel adımındır. Daha sonra detektöre göre geometrinin yüklenmesi ve olay süreçlerinin aktarımı ile devam etmektedir. Simülasyona dair parçacıklar, meydana gelecek fizik olayları ve fiziksel hesaplamalar tanımlandıktan sonra süreçler yerine getirilir ve simülasyon işlemi gerçekleştirilir.

Deneysel tasarımın 3 boyutlu modelleri hazırlanılarak, simülasyon için ön grafik modelleri bilgisayar ortamında oluşturulmuştur (Şekil 2).



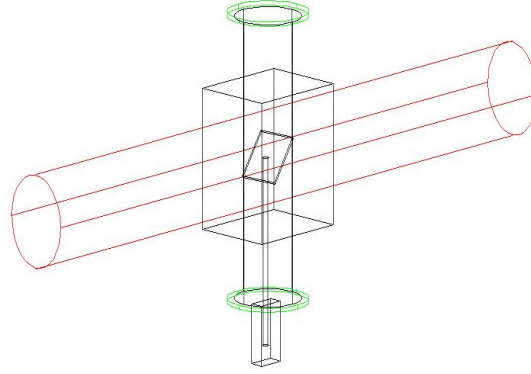
Şekil 2. (a)(b) Simülasyon için bilgisayar modellemesi.

Geant yazılımında geometri tasarımı, fizik olayları ve madde tanımları için java tabanlı MOMO ara yüzü kullanıldı. Bu ara yüzde hazırlanan geometrik ve fizik yapıları derleyiciler ile otomatik olarak C++ diline dönüştürülerek geant yazılımına adapte edilir.

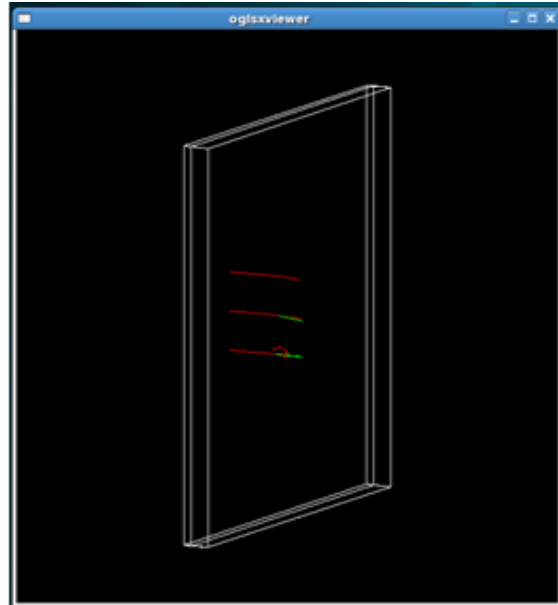
Geometri tanımına göre world; 12×12×12 cm katı bir küp, içi ortamın vakum altında olduğu, modellemedeki konumu ve deneyin gerçekleşeceği ortamın modelini temsil

etmektedir. Tracker; 10×10×10 cm vakum altında olan bir takip odasıdır. Target; hedef olarak tanımlanan 45° açıyla 5×5 cm boyutlarında ve 0,01 mm kalınlığında Al yaprak plakadır. Diğer materyallerde bu şekilde tanımlanmaktadır (Şekil 3).

Silikon detektörün hedef madde olarak tanımı ise şu şekildedir. p tipi ve n tipi yarı iletkenlerden ince tabakalar oluşturularak her bir tabaka birer yüzeyde yer alacak şekilde dizilim oluşturuldu. (Şekil 4). Burada ön yüzeyde 5×5 cm boyutlarında 0,03 mm kalınlığında yarı iletken ince bir yüzey alanı elde edilmiştir ve bu yüzey alanı materyal olarak sisteme eklenmiştir.



Şekil 3. Geant4 OTR sistemi geometri tasarımı



Şekil 4. Geant4 Silikon detektör geometri tasarımı.

Simülasyon çalışmasında son adımda da; modele birebir uygun olacak şekilde simülasyon süreçleri ve fiziksel hesaplamalar yer almaktadır. Simülasyonda, CLHEP kütüphanesinde yer alan elektromanyetik etkileşimler (EM) ve geçiş radyasyonu (TR) paketleri fizik işlemlerinde kullanılarak, olay çözümlerinde ve değerlerin hesaplanması sağlanmıştır.

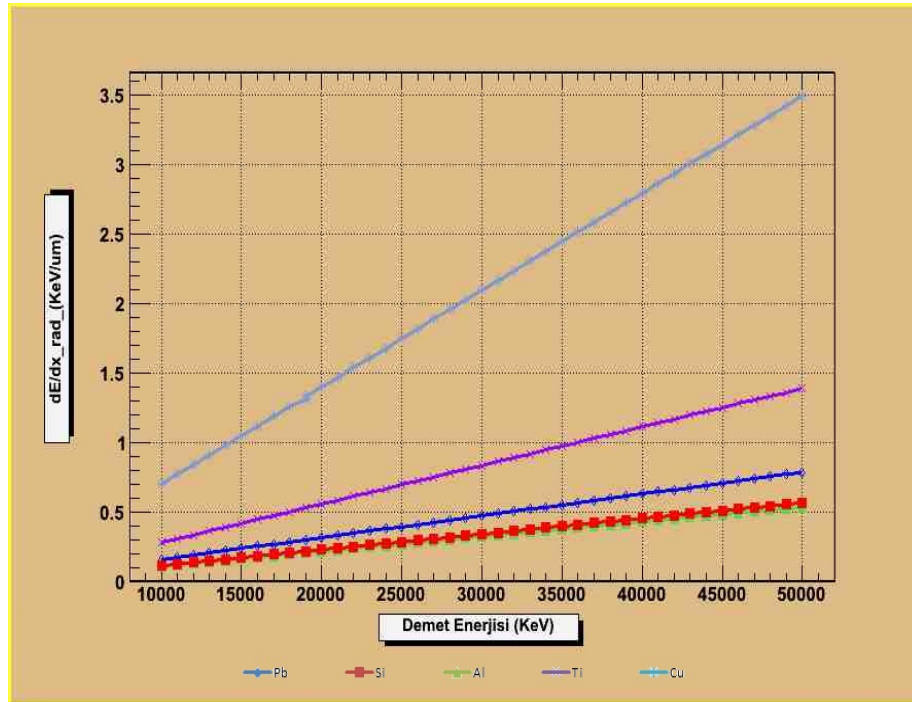
3. Bulgular

Simülasyon çalışmasının sonuçları materyallere göre ayrılmıştır. Her bir materyal için çeşitli simülasyon çalışması ve test işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda simülasyon çalışmasında ele alınan değerler;

- ❖ Materyal türü ve kalınlığı,
- ❖ Gelen Demet Enerjisi,
- ❖ Silikon detektör sistemidir.

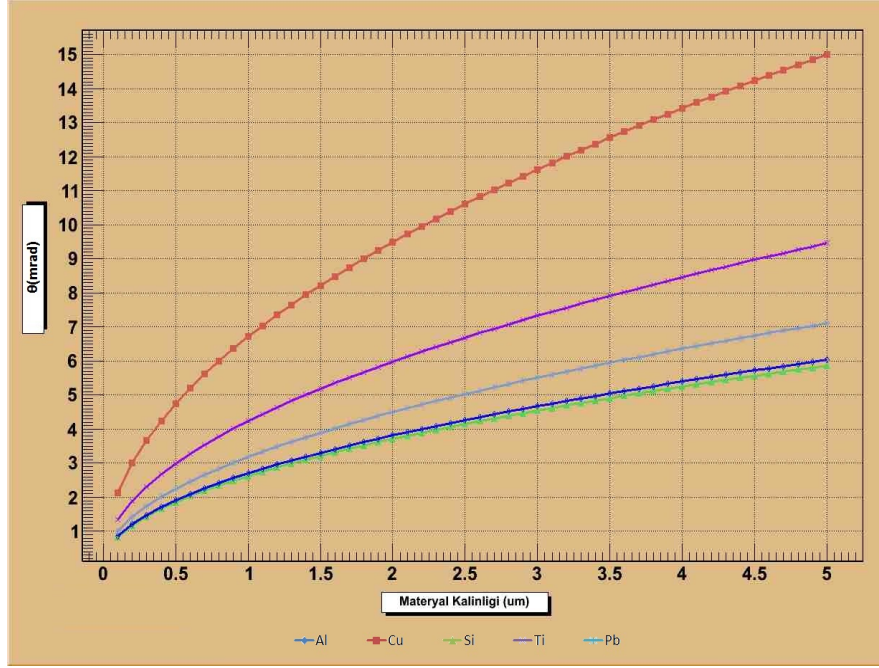
Elektron demetinin enerjisi, 18,5 MeV ve 38,5 MeV olmak üzere iki farklı elektron demet enerjisi için farklı materyallere göre simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Simülasyon çalışmasında hedef materyalin türüne bağlı olarak öncelikle demet enerji kaybı incelenmiştir. Bu inceleme hangi materyalin kullanımının sonucunda elektron demetindeki oluşacak enerji kaybını ve buna bağlı olarak deformasyonu göstermiştir. Elektron demetinin enerjisine göre materyal ile etkileşim sonrası enerji kayıpları, KeV/ μm cinsinden analizin grafiği Şekil 5’de gösterilmektedir. Kullanılan materyallerin kalınlıkları 0,5 μm ’dir. Geçiş radyasyonunun temel alındığı sistemlerde optik demet profili elde edilirken demete zarar vermemek için en doğru materyal seçilmelidir.

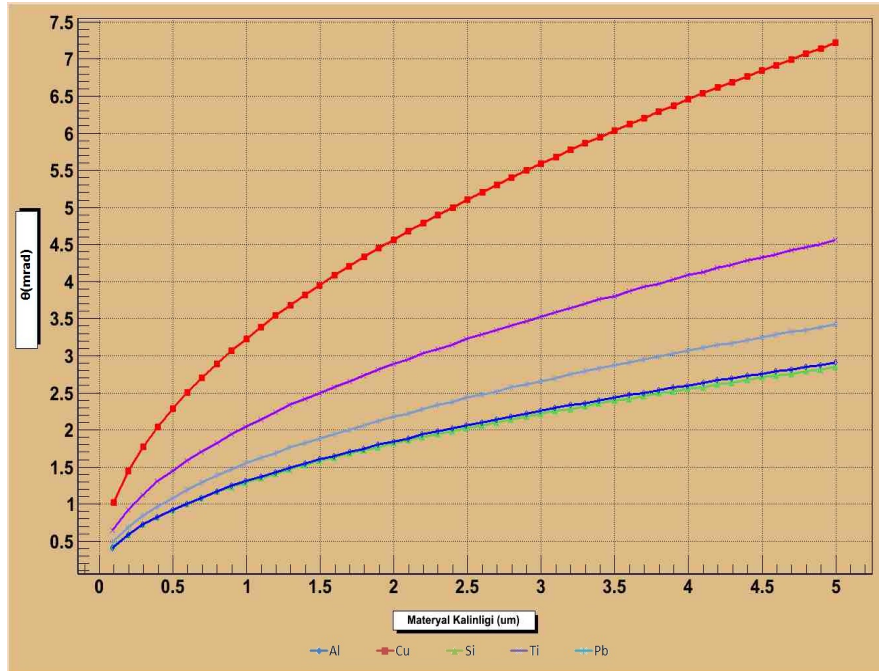


Şekil 5. Materyal türlerine göre 15-45 MeV arası enerji değerler için demet enerji kaybı.

Simülasyon çalışmasında hedef materyalin türüne ve kalınlığına bağlı olarak elektron demetinin materyal ile etkileşiminin bir sonucu olan saçılmanın açılma dağılımı incelenmiştir. Bu kapsamda 18,5 MeV ve 38,5 MeV enerji değerlerindeki elektron demetleri için materyallere ve materyal kalınlıklarına bağlı saçılma enerji verilerinin analizleri Şekil 6’da yer almaktadır. Materyal kalınlığını 0,1 μm - 5 μm aralığı için materyal türlerine göre geant simülasyonunda alınan verilerde Şekil 7’de yer almaktadır.

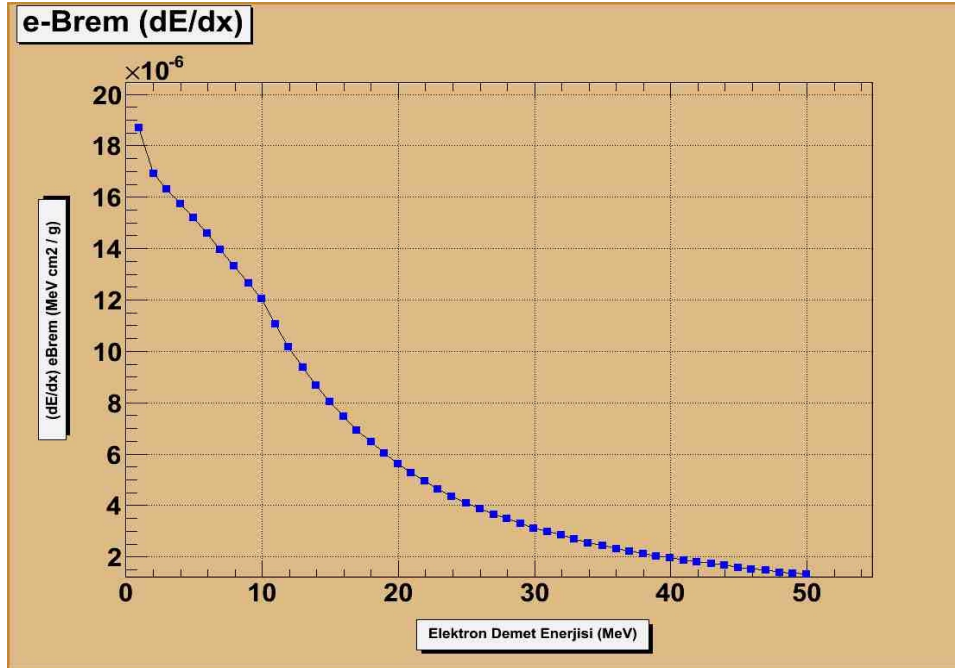


Şekil 6. Materyal türlerine bağlı olarak 0,1µm - 5µm materyal kalınlığına göre 18,5 MeV enerjili elektron demetinin saçılımının açısal dağılım grafiği.

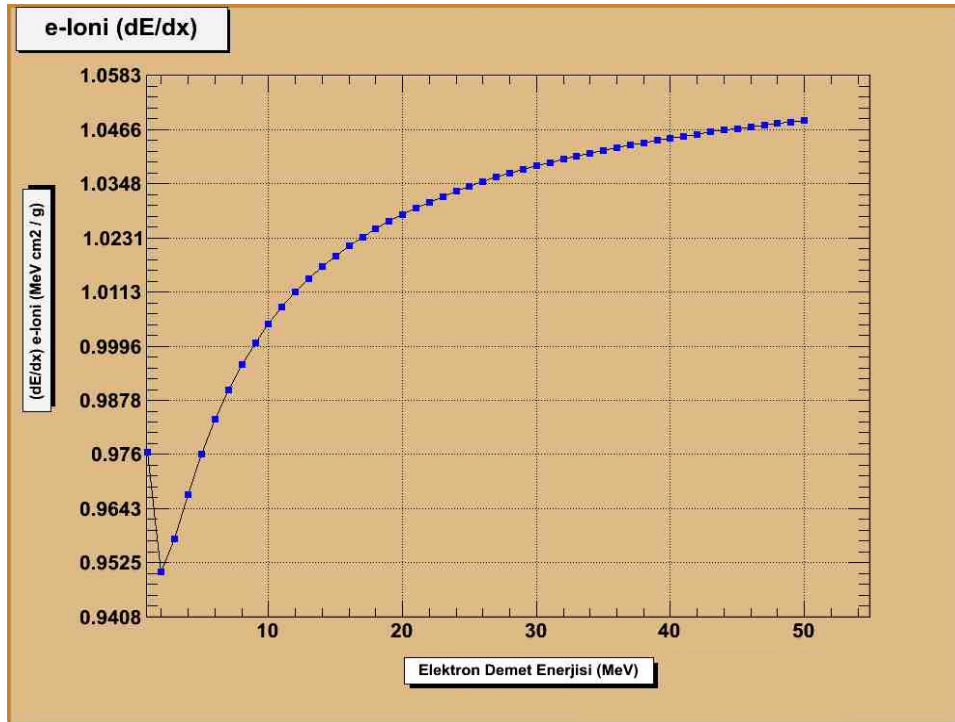


Şekil 7. Materyal türlerine bağlı olarak 0,1 µm – 5 µm materyal kalınlığına göre 38,5 MeV enerjili elektron demetinin saçılımının açısal dağılım grafiği.

Silikon detektör uygulamasında, elektron demeti ile etkileşiminin enerji değerleri ve detektör materyalinin etkileşim sonuçları analiz edilmiştir. Elektron demeti enerji aralığını 0 – 50 MeV olarak tanımlayıp detektör materyali ile elektron demetinin etkileşimi sonucu ortaya çıkan enerji analiz sonuçları Şekil 8 ve Şekil 9'de yer almaktadır.



Şekil 8. Silikon detektör için durdurma gücünün radyasyon enerjisi grafiği.



Şekil 9. Silikon detektör için iyonizasyon enerjisi grafiği.

4. Tartışma ve Sonuç

Simülasyon tasarımında materyal olarak alüminyum, kurşun, titanyum, bakır, silikon, gümüş ve altın kullanılmıştır. Bu kapsamda 18,5 MeV ve 38,5 MeV elektron demet enerjisi değerleri için alınan sonuçlar incelendiğinde elektron demetinde en az enerji

kaybına ve deformasyona sebep olan materyaller silikon ve alüminyumdur. En fazla enerji kaybına ve deformasyona sebep olan materyaller ise gümüş ve altındır.

Simülasyon çalışmasında hedef materyalin kalınlığına bağlı olarak elektron demetinin materyal ile etkileşiminin bir sonucu olan saçılmanın açısal dağılımını incelenmesi ile demet materyal etkileşimin sonuçları elde edilmektedir. Bu kapsamda 18,5 MeV ve 38,5 MeV enerji değerlerinde, materyal kalınlıklarına bağlı saçılma enerji değerleri incelendiğinde elektron demetinin enerji değerinin artışı sonucunda düşük saçılım meydana gelmektedir. Bu değerler ışığında materyalin kalınlığının artması açısal dağılımının artmasına neden olduğu görülmektedir. Net olarak görülen bir başka değer ise gümüş ve altın gibi materyaller için açısal saçılma oldukça yüksektir. Alüminyum ve silikon gibi materyaller ise açısal saçılmalarının çok düşük olduğu görülmektedir.

OTR sistemlerinde elektron demetinin materyal ile etkileşim sonucuna bağlı olarak materyalde deformasyonlar oluşmaktadır. Bu durum anlık etkileşimler ile ortaya çıkmasa da uzun süreli kullanımlarda net bir şekilde görülebilmektedir. Etkileşime giren materyal, etkileşim sonucunda ortaya çıkan ısı enerjisi ile deformasyona uğramaktadır. Bu durum demet hattının da ısınmasına neden olabilir. Bu yüzden materyal seçiminde uzun dönemli ısı enerjisi ve deformasyonlarda göz önünde bulundurulmalıdır. Yapılan hesaplamalar sonucunda altın ve bakırın etkileşim sonrası ısı değerlerinin yüksek olduğu, alüminyum ve silikonun ise düşük ısı değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir.

Materyal değerlendirmesinde alüminyum ve silikon OTR sistemleri için enerji ve deformasyon bazında düşük değerleri ile ön plana çıkarken, altın, gümüş ve bakır gibi materyaller bu kapsamdaki değerlendirmelerde yüksek enerji ve deformasyon değerleri ile geri planda kalmaktadır. Ancak altın ve gümüş gibi materyaller OTR sistemlerinde tercih edilmektedir. Materyal seçimi, tasarım ve demet enerji değerlerine göre değişiklik gösterebilmektedir

Silikon detektörün, elektron demet enerjisinin artışına karşın durdurma gücü olarak verdiği tepki Bremsstrahlung enerjisi bazında incelendiğinde demet enerjisinin artışı ile durdurma gücün parabolik olarak azaldığı açıkça görülmektedir. Silikon detektörün, elektron demet etkileşiminin iyonizasyon enerjisi incelendiğinde demet enerjisinin artışı ile iyonizasyon enerjisinin parabolik olarak arttığı açıkça görülmektedir. Bu değerler silikon detektörden alınan verilerin sonuçlarıdır.

Simülasyon sonuçları incelendiğinde silikonun materyal olarak kullanımında ön plana çıkan hususlar; hem demet hem de materyal deformasyonun oldukça düşük olması ve demet etkileşimi sonucundaki saçılmanın dağılımı incelendiğinde ise düşük saçılımın olmasıdır.

5. Kaynaklar

- [1] Moser H. G., 2009. Silicon Detector Systems In High Energy Physics, *Progress in Particle and Nuclear Physics*, 63, 186-237.
- [2] Gitter B., 1992. Optical Transition Radiation, UCLA Department of Physics, Center for Advanced Accelerators Particle Beam Physics Lab. Los Angeles USA.

Suat Özkorucuklu e-posta: suatozkorucuklu@sdu.edu.tr