



TR1100070

## RADYASYON DENEYLERİ İÇİN SANAL LABORATUVAR

Ali Tiftikçi\*, Cemil Kocar, Mehmet Tombakoğlu

Hacettepe Üniversitesi, Nükleer Enerji Mühendisliği Bölümü, Beytepe, 06800, Ankara

Monte Carlo yöntemi ve JAVA programlama dili kullanılarak nükleer fizik laboratuvarlarında yapılan alfa, beta ve gama algılama ve ölçme deneylerinin sanal ortamda benzeşimi yapılmıştır. Bilindiği gibi, gerçekte bu tip laboratuvarların kurulumu oldukça pahalıdır. Aynı zamanda, bazı deneyler için kullanılan yüksek aktiviteli kaynaklar öğrenciler ve laborantlar için risk içermektedir. Bu sorunlar göz önüne alınarak, bu çalışmada amaçlanan en az maliyetle bir sanal radyasyon laboratuvarı kurmak ve öğrencilerin herhangi bir radyasyon riski taşımaksızın radyasyon fiziği eğitimini hızlandırmaktır. Bu amaçla oluşturulan yazılım Monte Carlo yöntemi yardımıyla radyasyon ve radyasyon taşınımı kavramlarının doğasını yansıtmaktadır. Yazılımda deney değişkenleri kullanıcı tarafından girilebilmektedir ve deney sonuçları eş zamanlı olarak MCA(Çok Kanallı Analizör) ya da SCA(Tek Kanallı Analizör) tarafından izlenebilmektedir. Deneyler sonrası gerekli sonuçlar bu MCA ya da SCA panellerinde analiz edilebilmektedir. Oluşturulan sanal radyasyon laboratuvarının güvenilir sonuçlar vermesi ve sınırsız deney imkanı sunması nedeniyle faydalı bir eğitim materyali olduğu söylenebilir. Ayrıca, bu yazılıma yeni tip radyasyon deneyleri eklenebilir ve sonuçta sanal ortamda oluşturulan bu laboratuvar genişletilebilir.

**Anahtar Kelimeler :** Radyasyon Algılama, Radyasyon Ölçme, Sanal Laboratuvar, Monte Carlo

## VIRTUAL LABORATORY FOR RADIATION EXPERIMENTS

Simulation of alpha, beta and gamma radiation detection and measurement experiments which are part of real nuclear physics laboratory courses was realized with Monte Carlo method and JAVA Programming Language. As being known, establishing this type of laboratories are very expensive. At the same time, highly radioactive sources used in some experiments carries risk for students and also for experimentalists. By taking into consideration of those problems, the aim of this study is to setup a virtual radiation laboratory with minimum cost and to speed up the training of radiation physics for students with no radiation risk. Software coded possesses the nature of radiation and radiation transport with the help of Monte Carlo method. In this software, experimental parameters can be changed manually by the user and experimental results can be followed synchronous in an MCA (Multi Channel Analyzer) or an SCA (Single Channel Analyzer). Results obtained in experiments can be analyzed by these MCA or SCA panels. Virtual radiation laboratory which is developed in this study with reliable results and unlimited experimentation capability seems as an useful educational material. Moreover, new type of experiments can be integrated to this software easily and as a result, virtual laboratory can be extended.

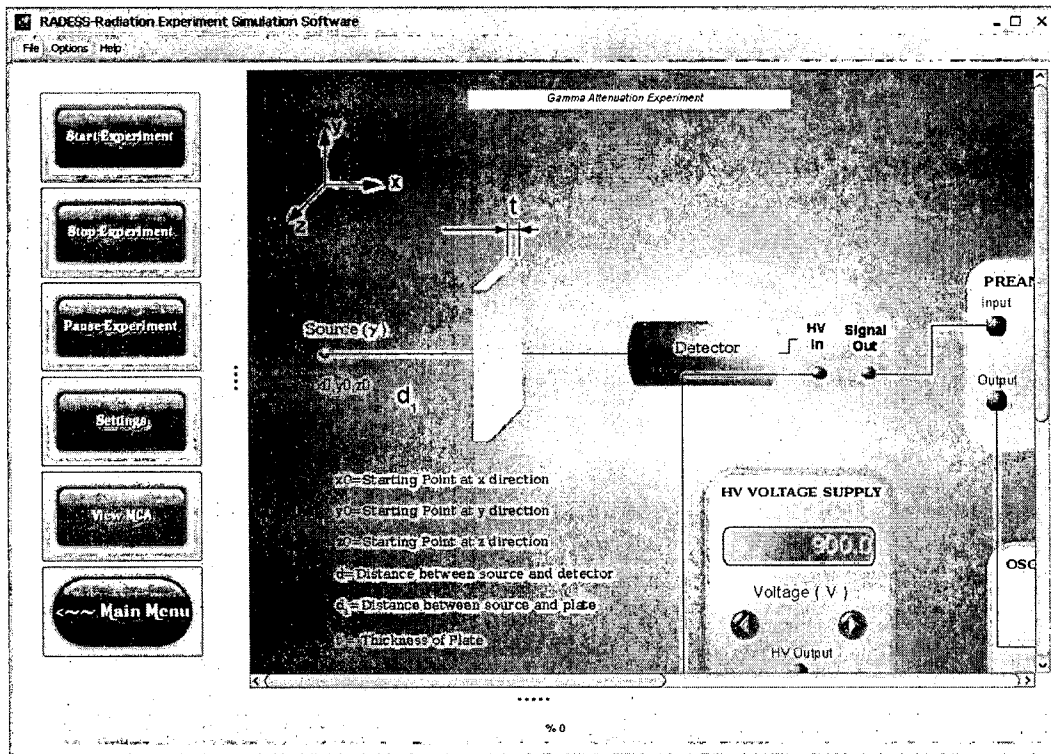
**Keywords :** Radiation Detection, Radiation Measurement, Virtual Laboratory, Monte Carlo

\* ali\_tiftik@hotmail.com

## 1.GİRİŞ

Radyasyon algılama ve ölçme eğitimi, lisans ve yüksek lisans düzeyinde nükleer ya da sağlık fiziği derslerinde verilmesi gereken bir kavramdır. Bu eğitim genellikle üniversitelerin ya da kurumların nükleer fizik laboratuvarlarında verilmektedir. Ancak bu tip laboratuvarların kurulumu oldukça pahalıdır ve kullanımları belli bir takvim ile sınırlandırılmıştır. Öğrencilerin belli zamanlarda radyasyon algılama ve ölçme deneyleri yaparak bu kavramı özümsemeleri çok zordur. Ayrıca radyasyon riski içeren bir ortamda uzun süre kalmak uygun değildir. Yaptığımız çalışmada amaçlanan bu sorunları en aza indirmek ve öğrencilere sınırsız deney yapma imkanı sunan bir sanal ortam geliştirerek öğrencilerin bu konudaki eğitimlerini hızlandırmaktır. Böylece öğrencilerin laboratuvar ortamında aldıkları pratik eğitim, sanal ortamda desteklenecektir. Bu amaçlarla geliştirilen yazılım RADESS(Radiation Experiment Simulation Software) olarak adlandırılmıştır.

RADESS , JAVA programlama dili kullanılarak kodlanmıştır ve on beş adet deney setinden oluşmaktadır.Deneyler temel olarak alfa,beta ve gama radyasyon kaynakları kullanılarak yapılan algılama ve ölçme deneyleridir.RADESS başlatıldığında kullanıcının mevcut on beş adet deneyden birini seçebileceği bir ekran görüntülenir.İlgili deney seçildikten sonra seçilen deney için RADESS yazılımının ana menüsü Şekil 1'de görüldüğü gibi ekrana gelir.Kullanıcı burada deneye başlamadan önce , deney değişkenlerini girdi olarak vermelidir.Deney sonuçları kullanıcının verdiği bu değerlere göre değişir.Herbir deney için bir deney föyü oluşturulmuş ve kullanıcı bu föylerden deneyi nasıl yapacağını ve deney değişkenlerinin ne anlama geldiğini öğrenebilir.Deney başlatıldığında, deney tipine göre bir SCA ya da MCA ekranında sonuçlar senkronize olarak görüntülenir.Deney sonunda kullanıcı SCA ve MCA arayüzlerinde deney sonuçlarını analiz edebilir.

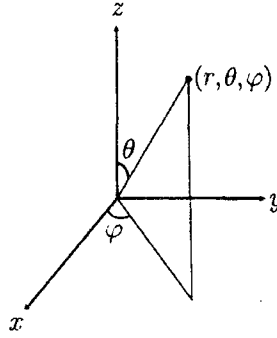


Şekil 16. RADESS Ana Menü

Radyasyon algılama ve ölçme deneylerinin matematiksel modellenmesi için RADESS temel olarak Monte Carlo yöntemi kullanmaktadır. Monte Carlo yöntemi birçok tesadüfi sayının örneklenmesi ile istenen sonuca ulaşılması temeline dayanır. Radyasyon ve radyasyon taşınımı sırasında herhangi bir radyasyon parçacığı da olası bir rota izlemektedir ve her radyasyon parçacığı için bu rota değişebilmektedir. Dolayısıyla radyoaktif bozunma ve radyasyon taşınımı mekanizmaları modellemek için Monte Carlo yöntemi kullanmak uygundur[1]. PENELOPE, GEANT4, EGS ve DPM gibi foton/elektron kod geliştiriciler temel olarak Monte Carlo yöntemi kullanmaktadır.

## 2.RADESS YAZILIMINDA RADYASYON TAŞINIMI

Monte Carlo yönteminde radyoaktif kaynaktan yayılan herbir radyasyon parçacığı ayrı ayrı modellenir. Bu yüzden kaynaktan çıkan herbir parçacık için bir katı açı belirlenmelidir. RADESS yazılımında radyasyon kaynakları yönbağımsız nokta kaynaklar olarak kabul edilmiştir. Buna bağlı olarak herbir parçacık için katı açı şu şekilde belirlenir:



Şekil 17. Açı Modellemesi için Küresel Koordinatlar

Şekil 2.'de gösterilen küresel koordinatlarda eğer  $\mu = \cos \theta$  olarak kabul edilirse,  $\mu$  değeri  $[-1,1]$  aralığında eş dağılımlı olarak örneklenebilir. Böylece,  $\mu = 2\xi - 1$  olarak yazılır. Burada  $\xi$  değeri  $[0,1]$  aralığında homojen dağılımlı olarak değer alan tesadüfi bir sayıdır. Radyasyon parçacığı için belirlenecek katı açı  $\Omega(\varphi, \mu)$  elemanları ,

$$\Omega_x = \sin \varphi \sqrt{1 - \mu^2}, \quad (1)$$

$$\Omega_y = \cos \varphi \sqrt{1 - \mu^2}, \quad (2)$$

$$\Omega_z = \mu. \quad (3)$$

şeklinde yazılır.

Radyasyon parçacığı için katı açı belirlendikten sonra bu parçacığın taşıdığı enerji değeri belirlenmelidir. Alfa ve gama kaynakları belli olasılıklara sahip belirli enerji düzeylerinde radyasyon yayarlar. Ancak alfa ve gama dedektörlerinde, dedektöre gelen radyasyonun enerjisine bir Gauss gürültüsü eklenmektedir. Bu gürültü dedektör tipine göre değişmektedir. Dolayısıyla alfa ve gama spektroskopi deneylerinde bu belirsizlikler ayrıca modellenmiştir[2,3]. Beta kaynaklarından yayılan radyasyonun enerjisi sürekli bir dağılım

fonksiyonundan örneklenir. Alfa, beta ve gama radyasyonlarının Monte Carlo yöntemiyle etkileşim mekanizmalarının modellenmesi birbirinden farklıdır. Bu nedenle bu taşınım mekanizmalarını ayrı ayrı ele almak gerekir.

## 2.1 Alfa Taşınımı

Alfa parçacıkları +2 yük taşıdıklarından hareket ettikleri madde içerisindeki elektronlarla sürekli bir etkileşim içerisindeyler. Ancak alfa parçacıklarının kütlesi elektronlara oranla çok fazla olduğundan , bu etkileşimler sonucu alfa parçacıklarının yönü ihmal edilebilecek düzeyde değişir. Bu yüzden Monte Carlo yöntemiyle , alfa taşınımı modellenirken CSDA(Continuous Slowing Down Approximation) adı verilen bir yaklaşım kullanılır.

Eğer  $E_1$  enerjili bir alfa parçacığının madde içerisinde alabileceği maksimum yol(erim)  $R_1$  simgesi ile tanımlanır ve bu parçacığın aldığı yol  $s$  olarak tanımlanırsa ,  $s < R_1$  olmak üzere parçacığın  $s$  noktasındaki enerjisini( $E_2$ ) hesaplamak için ilk önce parçacığın  $s$  yolunu aldıktan sonra yeni erimi  $R_2 = R_1 - s$  hesaplanır.  $E_2$  enerjisi ters erim tabloları kullanılarak hesaplanır[4].

## 2.2 Gama Taşınımı

Gama radyasyonu madde içerisinde dört tip etkileşim gerçekleştirir. Bu etkileşimler Compton saçılması, Rayleigh saçılması, fotoelektrik soğurulma ve çift oluşumdur. Monte Carlo yöntemiyle gama taşınımı modellenirken önce gama radyasyonunun etkileşim yapacağı uzaklık belirlenir.

$$d = -\frac{1}{\mu_T} \ln(\xi), \quad (4)$$

burada  $\mu_T$  birim uzaklıktaki toplam etkileşim olasılığıdır. Bu noktada gama parçacığının bahsettiğimiz dört etkileşimden birini yapma olasılığı ,

$$P_i = \frac{\mu_i}{\mu_T} \quad (5)$$

olarak yazılır. Burada  $i$  indisi etkileşim mekanizma tipini temsil etmektedir.

Eğer  $\xi$  [0,1] aralığında eş dağılımlı tesadüfi bir sayı ve (Eş.6) da verilen kısıtlamaya uyuyor ise,

$$\sum_{j=1}^{i-1} P_j < \xi < \sum_{j=1}^i P_j, \quad (6)$$

$i$  tipi etkileşim gerçekleşecektir. Bu etkileşim mekanizmalarının modellenmesinde GEANT4 kodu referans alınmıştır[5].

### 2.3 Beta Taşınımı

Beta kaynakları bozduğunda bir beta parçacığı ve bir nötrino yayınlanır. Bozunma sonucu uyarılma enerjisi bu beta parçacığı ve nötrino tarafından paylaşılır. Bu paylaşım beta parçacıklarının alfa ve gama radyasyonlarından farklı olarak sürekli bir enerji dağılımına sahip olmalarını sebep olur. Bu nedenle kaynaktan yayılan beta parçacığının enerjisi (Eş.7) de verilen dağılım fonksiyonundan örneklenir.

$$N(T_e) = AF(Z_d, T_e) \sqrt{T_e^2 + 2T_e mc^2} (T_e + mc^2) (T_{\max} - T_e)^2 \quad (7)$$

burada A=Sabit ,  $F(Z_d, T_e) \propto \frac{2\pi\eta}{1 - \exp(-2\pi\eta)}$  and  $\eta = \frac{Z_d \alpha}{(v_e / c)}$

$T_e$  = Elektron kinetik enerjisi

$T_{\max}$  = Elektron maksimum kinetik enerjisi

$mc^2$  = Elektron durgun kütlesi

$Z_d$  = Bozunma sonucu oluşan çekirdeğin atom numarası

$v_e$  = Elektron hızı

$\alpha$  = Sabit

$c$  = Işık hızı

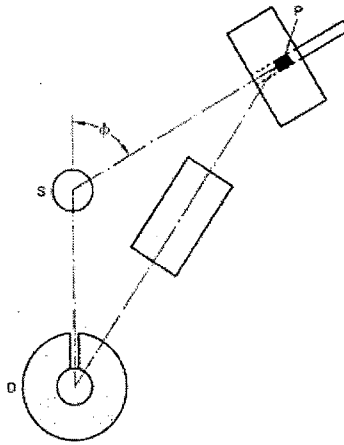
Beta taşınımını Monte Carlo yöntemiyle modellemek için PENELOPE foton/elektron kodu referans alınmıştır[6].

### 3.RADESS'ten BAZI DENEYLER

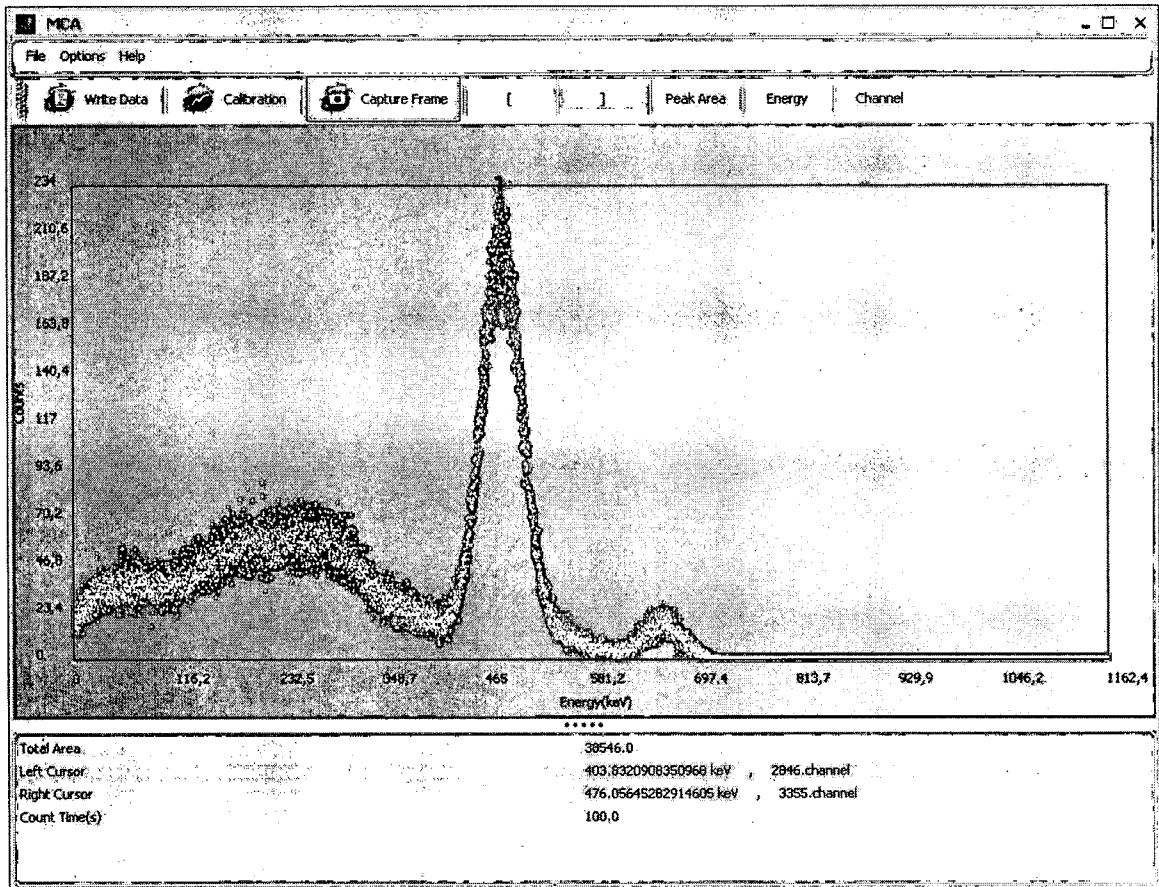
Daha önce bahsedildiği gibi RADESS on beş adet deney setinden oluşmaktadır. Bu bölümde bu deneylerden seçtiğimiz bazı deneyler incelenmiştir. Seçilen deneyler Compton saçılması, elektron zayıflatma katsayısı hesabı ve gama spektroskopisi deneyleridir.

#### 3.1 Compton Saçılma Deneyi

Bu deneyde saçılan gama radyasyonlarının enerjileri incelenmiş ve Compton dalga boyu hesabı yapılmıştır. Şekil 3.'de RADESS'te kullanılan deney düzeneğinin şematik bir gösterimi verilmiştir. Burada P kaynağından çıkan gama ışınları S saçılma ortamında saçılıp , etrafı kurşun malzeme ile çevrilmiş D dedektörüne kurşun malzeme üzerinde açılmış yarıktan girmektedir. Böylece saçılma ortamında Compton saçılması yapan gama ışınları dedektör tarafından sayılmaktadır. Şekil 3.'de görüldüğü gibi RADESS yazılımında deneye başlamadan önce  $\varphi$  açısı, kullanılan radyoaktif kaynağın aktivite değeri ve radyoaktif kaynak tipi girdi olarak kullanıcı tarafından verilmelidir. Bu deneyde kullanılan gama kaynağı Cs-137'dir. RADESS her bir deney için Şekil 4.'de görüldüğü gibi MCA panelinde saçılan gama radyasyonlarının spektrumunu eş zamanlı olarak göstermektedir. Deneyler sonucunda elde edilen sonuçlar yine bu panelde mevcut "Peak Area" opsiyonu ile analiz edilir. Ayrıca Çizelge 1.'de farklı saçılma açısı değerleri için RADESS'te yapılmış deney sonuçları verilmiştir. Hesaplanan Compton dalga boyu ( $\lambda$ ) değerlerinin literatürde bilinen  $\lambda_{\text{lit}}=2.426$  pm değerine yakın değerler olduğu görülmektedir.



Şekil 18. Compton Saçılma Deneyinin Şematik Gösterimi



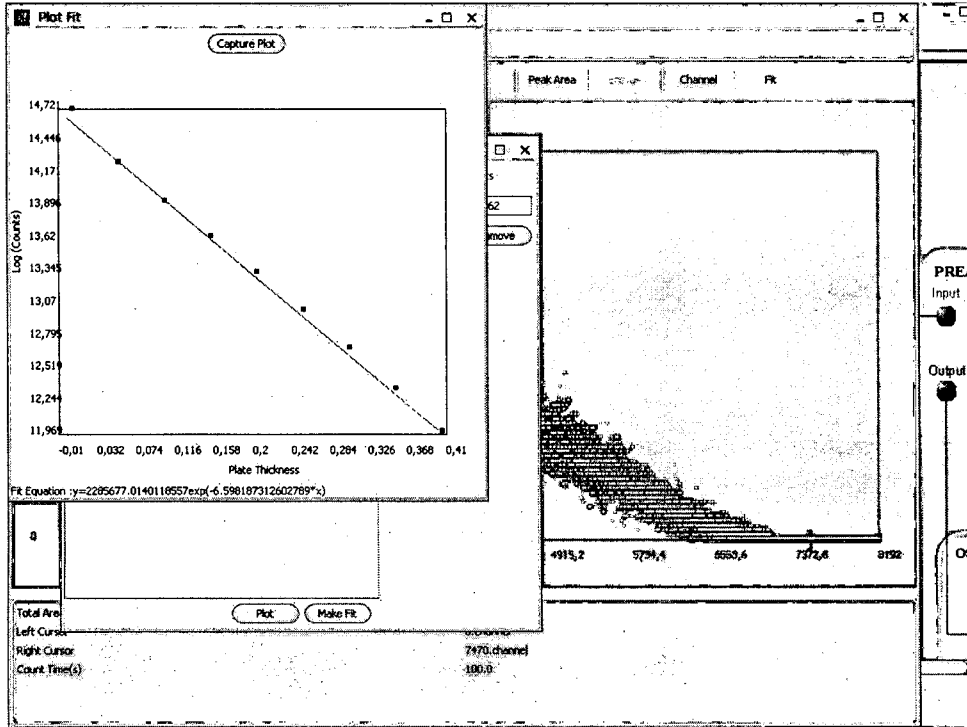
Şekil 19. Compton Saçılmasına Uğrayan Gama Işınlarnın Spektroskopisi

**Çizelge 1.** Farklı Saçılma Açıları için Compton Dalgaboyu Değerleri

$\phi$ (°)	E ( keV)	$\Lambda$ ( pm)
22.5	606.3978	2.3203
45.0	481.9153	2.3899
67.5	368.2186	2.4218
90.0	285.2718	2.4736
112.5	241.9160	2.3527
135	206.8796	2.4139

### 3.2 Elektron Zayıflatma Katsayısı Hesabı

Bu deneyde beta kaynağı kullanılarak alüminyum metal plakanın zayıflatma katsayısı hesaplanmıştır. Bunun için yapılması gereken girdi arayüzünde beta kaynak tipini seçmek, aktivite, bağıl uzaklık ve plaka kalınlığı değerlerini girmek gerekmektedir. Yapılan örnekleme deney için kullanılan beta kaynağı Tl-204'tür. Bundan sonra sadece plaka kalınlığı değiştirilerek deney tekrarlanır ve her bir deney için toplam sayım kaydedilir. Kaydedilen sayım ve plaka kalınlığı değerleri MCA panelinde bulunan "Fit" opsiyonu kullanılarak Şekil 5.'te gösterildiği gibi bir zayıflatma katsayısı değerine fit edilir. Elde edilen sonuç, Çizelge 2.'de görüldüğü gibi bazı deneysel formüllerle[7] karşılaştırılmıştır.

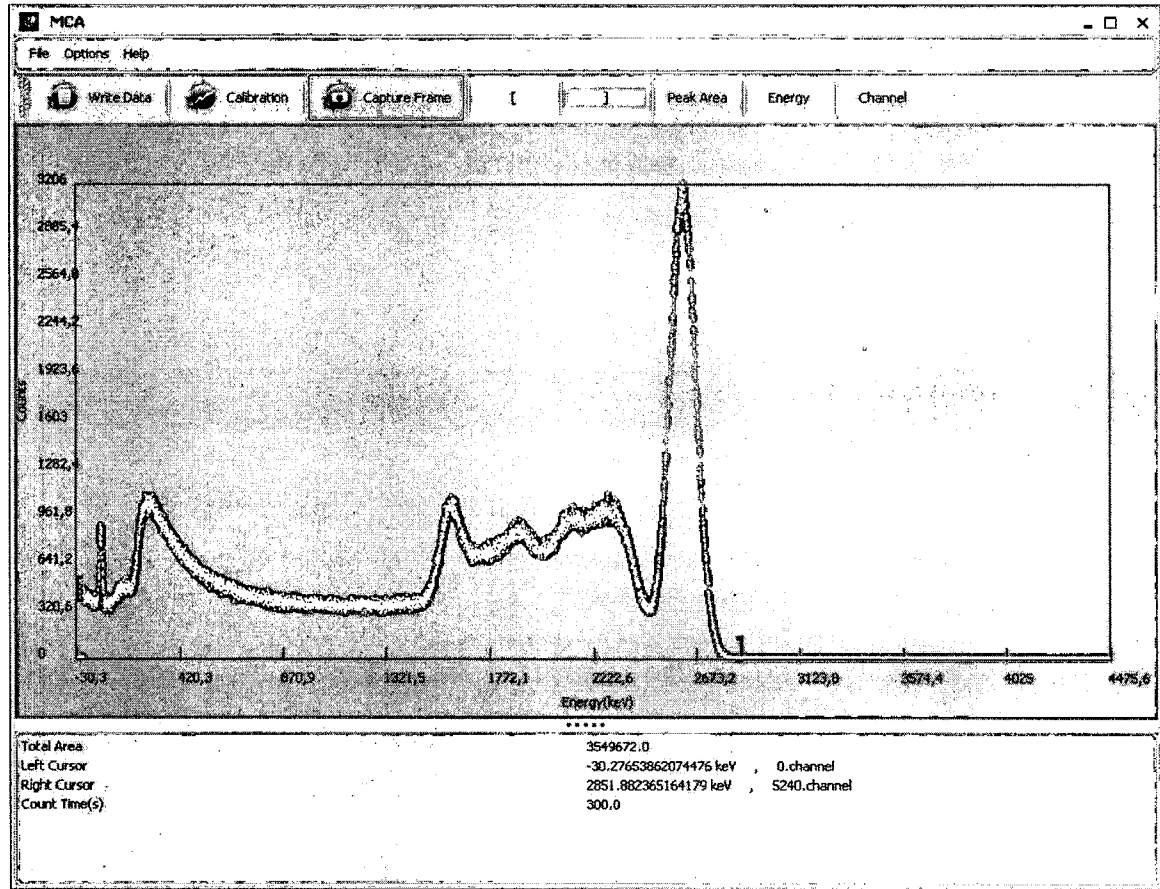
**Şekil 20.** Alüminyum metal plaka için zayıflatma katsayısı hesabı

**Çizelge 2.** Deneysel Formüllerle[7] ve RADESS'te Hesaplanan Zayıflatma Katsayısı Değerleri( $\text{cm}^{-1}$ )

RADESS	Thummel	Baltakments	Evans	Thontadarya	Gleason	Nathuram
6.598	6.929	6.613	6.239	6.457	6.720	6.534

### 3.3 Gama Spektroskopi Deneyi

Farklı gama kaynaklarının spektroskopi analizi yapılmıştır. Bu deneyi yapabilmek için ilk önce MCA paneli kalibre edilmelidir. Bunun için Co-60 ya da Na-22 kaynakları kullanılarak MCA panelinde "Peak Area" ve "Calibration" opsiyonları kullanılarak kalibrasyon işlemi yapılır. Daha sonra girdi arayüzünde deney değişkenleri tanımlanarak Bi-208 gama kaynağı seçilerek Şekil 6.'da gösterilen spektrum elde edilir.



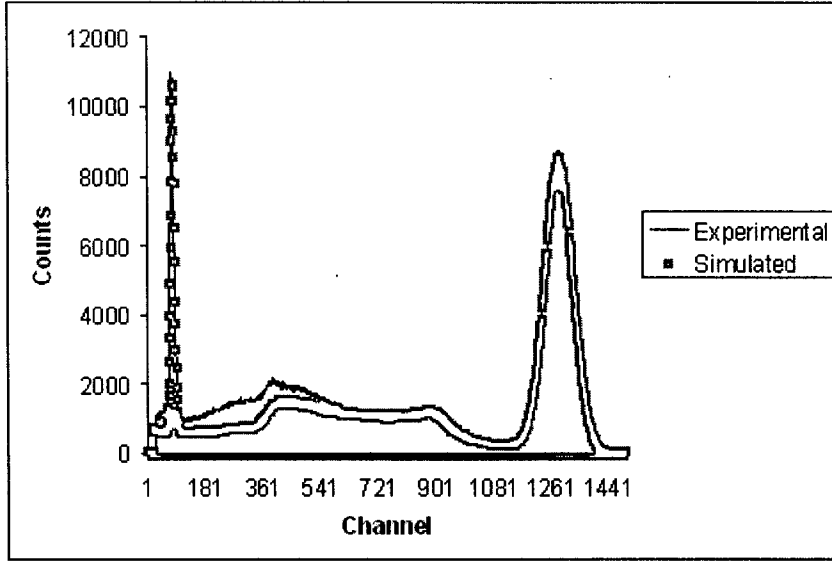
**Şekil 21.** Bi-208 gama kaynağının spektrumu

## 4.DENEYSEL SONUÇLAR

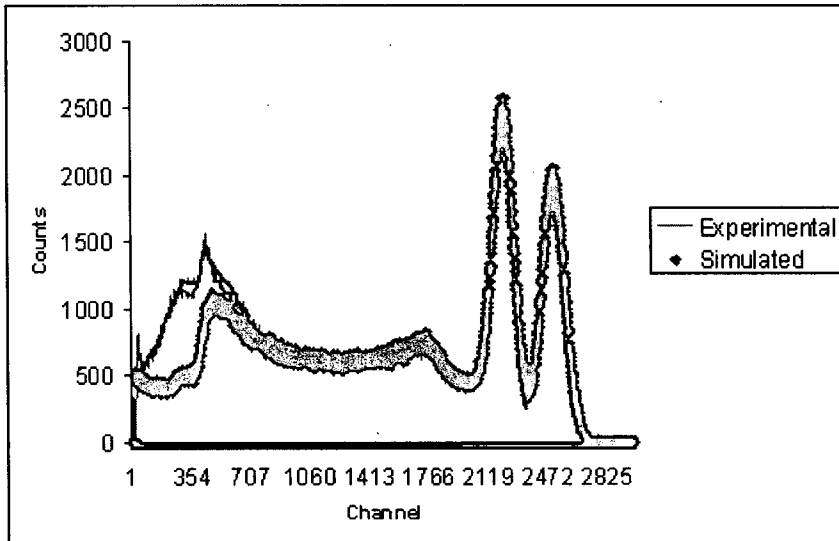
Bu bölüme kadar RADESS yazılımından elde edilen sonuçlar teorik verilerle karşılaştırılmıştır. Yazılımın güvenilirliğini sınamak amacıyla gerçek laboratuvar ortamında yapılan deney sonuçlarını , yazılımdan elde edilen sonuçlarla karşılaştırdık. Deneyler Hacettepe Üniversitesi Nükleer Enerji Mühendisliği Bölümü Radyasyon Algılama ve Ölçme Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.Yapılan deneylerde iki tip gama kaynağı kullanılmıştır.Bu kaynaklar Cs-137 ve Co-60 gama kaynaklarıdır.Aynı deney



RADESS kullanılarak yapılmıştır ve Şekil 7. ve 8. de görüldüğü gibi sonuçlar düşük enerjilerdeki sapmalar dışında deneysel sonuçlarla uyumluluk göstermektedir. Düşük enerjilerde bu sapmalar, laboratuvar ortamında arkaplan radyasyonun spektrumu etkilemesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 22. Cs-137 Gama Kaynağı için Deneysel (Experimental) ve RADESS (Simulated) Sonuçlar



Şekil 23. Co-60 Gama Kaynağı için Deneysel (Experimental) ve RADESS (Simulated) Sonuçlar

## 5. TARTIŞMA VE YORUM

Yapılan çalışmanın amacı, sanal ortamda sınırsız deney yapma imkanı sunan bir radyasyon laboratuvarı oluşturmak ve böylece öğrencilerin radyasyon eğitimini hızlandırmaktır. Monte Carlo yöntemi yardımıyla bu amaca ulaşılmıştır. Ayrıca yazılımdan elde edilen sonuçların deneysel ve teorik sonuçlarla uyumluluğu, yazılan kodun güvenilir sonuçlar verdiğini göstermektedir. Sonuç olarak, oluşturulan yazılımın öğrenciler için iyi bir eğitim materyali olduğu söylenebilir. Bununla beraber, JAVA dili ile yazılan yeni deneyler kolaylıkla yazılıma eklenebilir ve sanal ortamda oluşturulan bu laboratuvar genişletilebilir.

## 5. KAYNAKLAR

- [1] Bielajew A., Fundamentals of Monte Carlo Method for Neutral and Charged Particle Transport, 2001
- [2] Engdahl J.C., Bharwani K., Semi-Analytical Response Function for ML-EM Deconvolution of NaI Detector Energy Spectra, s. 1347, 2005
- [3] Siskonen T., Pollanen R., Advanced Simulation of Alpha Spectroscopy, s. 428-430, 2003
- [4] Knoll G.F., Radiation Detection and Measurement Second Edition
- [5] Wright D.H., Geant4 Physics Manual Version Geant4 8.0 December 2005
- [6] Salvat F., Fernandez-Varea J.M., Acosta E., Sempau J., Penelope A Code System for Monte Carlo Simulation of Electron and Photon Transport Workshop Proceedings Issy-les-Moulineaux, France 5-7 November 2001
- [7] Gürler O., Yalçın S., A Practical Method for Calculation of Mass Attenuation Coefficients of  $\beta$  Particles, 2005