
Araştırma Makalesi / Research Article

Gama Spektrumunun Analizi İçin Bir Bilgisayar Programı

Pelin OTANSEV*, Çetin BOLCAL

*İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, İstanbul
(ORCID: 0000-0003-0766-649X) (ORCID: 0000-0001-9274-0150)*

Öz

Bu çalışmada, True Basic programlama dilini kullanarak gama spektrumunu analiz eden bir bilgisayar programı yazılmıştır. Program bir ana program ve bu ana programa bağlı alt programlar şeklindedir. İnteraktif olarak çalışan programın başında bir yardım sayfası vardır. Programı test etmek için, Malatya civarından alınan bir toprak örnek yüksek saflıkta germanyum (HPGe) detektörü kullanılarak sayım sisteminde sayıldı. Sayım sistemi 133Ba ve 137Cs standartları kullanılarak kalibre edildi. Toprak örnekten elde edilen spektrumdan sayıma karşılık kanal değerleri belirlendi ve bir veri dosyası oluşturuldu. Ayrıca, izotopun enerjisi, izotopun adı, izotopun kütle numarası ve pik şiddetlerinden oluşan ikinci bir veri dosyası oluşturuldu. Bu veri dosyaları programın içinde çağırılmaktadır. Programda sayıma karşılık kanaldan oluşan veri dosyası kullanılarak spektrum çizildi ve pikler analiz edildi. Program keskin ve temiz piklerde iyi sonuçlar vermektedir. Bir izotopun tanınması için aynı çekirdeğin farklı piklerini belirlemek gibi programın daha fazla geliştirilmesi ve alt programların ilave edilmesi yararlı olacaktır.

Anahtar kelimeler: Radyasyon, Spektrum, Bilgisayar Programı, İzotop.

A Computer Program for Analysis of Gamma Spectrum

Abstract

In this study, a computer program that analyzes the gamma spectrum by using the True Basic programming language was written. The program is in the form of a main program and subprograms linked to this main program. There is a help page at the beginning of interactively working program. To test program, a soil sample was counted in the counting system by using high purity germanium (HPGe) detector. The counting system was calibrated by using 133Ba and 137Cs standards. From the spectrum obtained from the soil sample, the channel values against the counts were determined and a data file was created. Also, a second data file consisting of the energy of isotope, the name of isotope, the mass number of isotope and peak intensities was created. These data files are called in the program. In the program, the spectrum was drawn by using the data file consisting of the channel versus the count and the peaks were analyzed. The program gives good results in sharp and clean peaks. To identify an isotope, it would be useful to further develop the program such as identifying different peaks of the same nuclide and to add subprograms.

Keywords: Radiation, Spectrum, Computer Program, Isotope.

1. Giriş

Yeryüzündeki tüm canlılar karasal kökenli radyoaktif elementlerin ve kozmik kökenli ışınların radyasyonuna maruz kalmaktadır [1-5]. Radyoaktif bir çekirdek alfa ve beta yayınladıktan sonra kararlı duruma geçemediğinde, geride kalan çekirdek uyarılmış haldedir ve gama ışını yayınlarken kararlı duruma gelir [6]. Topraktaki doğal radyoaktivitenin büyük kısmını 232Th ve 238U bozunma zincirlerinde bulunan radyonüklitler ile 40K oluşturmaktadır [7-10]. 232Th, 238U ve 40K gama ışını yayınlamaları. Gama ışınları, atomun elektron seviyelerinin değişimi sonucu meydana gelir. Gama ışınları madde içinde üç yolla enerjilerini kaybederler. Bunlar fotoelektrik etkisi, compton etkisi ve çift oluşumdur [11].

*Sorumlu yazar: pelins@istanbul.edu.tr

Geliş Tarihi: 12.01.2021, Kabul Tarihi: 21.03.2021

Radyasyon ölçüm cihazlarının çalışma prensipleri de radyasyonun madde ile etkileşmesine dayanır. Bu cihazlardan biri de yüksek saflıkta germanyum (HPGe) detektörüdür. Sayım sistemlerinde kullanılan HPGe detektörleri enerji ayırma gücünün yüksek olması ve birbirine yakın olan pikleri kolaylıkla ayırt edebilmesi bakımından diğer detektörlere nazaran daha avantajlıdır. Bu detektörler çevresel örneklerdeki radyonüklitlerin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır [12]. Örneklerin sayım sisteminde sayılması sonucu elde edilen spektrumun analiz edilebilmesi için çeşitli bilgisayar programları vardır. Bu programların kullanımının kolay olması, hızlı çalışması ve hassas sonuçlar vermesi gama spektrumunun analizinde çok önemlidir.

Bu çalışmada, Malatya civarından alınan bir toprak örnek pelet haline getirilerek 14.6 MeV nötronlarla ışınlandı. Işınlanan örnek, HPGe detektör, Canberra 2002 CSL model bir ön yükseltici, Canberra 2015 A model spektroskopi yükselticisi, Canberra 8075 model bir analog dijital dönüştürücü, Canberra S-100 model çok kanallı analizör ve bilgisayardan oluşan sayım sisteminde sayıldı. Elde edilen spektrumdan sayıma karşılık kanal değerleri belirlendi. Bu değerlerden bir veri dosyası oluşturuldu. Sayım sisteminin kalibrasyonu için ^{133}Ba ve ^{137}Cs standart kaynaklar kullanıldı. İzotopun enerjisi, izotopun adı, izotopun kütle numarası ve pik şiddetlerinden oluşan ikinci bir veri dosyası oluşturuldu. Bu veri dosyaları oluşturulduktan sonra bilgisayar programında: Verilerin veri dosyasından alınarak spektrumun çizilmesi, enerji-kanal kalibrasyonunun yapılması, pikin seçilmesi, gauss fitinin yapılması, spektrum üzerinde seçilen pikin enerjisinin bulunması ve hangi izotopa ait olduğunun belirlenmesi işlemleri yapılmaktadır.

2. Materyal ve Metot

Günümüzde gama spektrum analizi yapan farklı dillerde yazılmış çeşitli programlar vardır. Bu programlar kullanılan programlama dili, piklerin tanınması ve eğrilerin uydurulması bakımından farklılık göstermektedir [13-15]. Bu çalışmada gama spektrumunun analizini yapan bilgisayar programı kullanıcının interaktif olarak çalışabileceği şekilde "True Basic" programlama dilinde yazıldı. Farklı bilgisayarlarda aynı yazılımı kullanabilme olanağı vermesi bakımından True Basic programlama dili büyük bir avantaj sağlamaktadır. True Basic modern programlama yapısı, büyük sayı ve dizileri içerebilmesi, karmaşık grafiklerin çizilebilmesi ve alt programların kullanılabilmesi gibi çeşitli özelliklere sahiptir [16]. Program bir ana program ve bu ana programa bağlı alt programlar şeklinde hazırlandı. Ana program yalnızca çağırıcı program şeklindedir. Alt programlar sırasıyla verilerin okunması, spektrumun çizilmesi, enerji-kanal kalibrasyonunun yapılması, pikin seçilmesi, gauss fitinin yapılması ve sonuçta pikin hangi izotopa ait olduğunun belirlenmesi gibi farklı işlemleri kapsamaktadır. Bu çalışmada oluşturulan bilgisayar programı aşağıda verilmektedir.

```
!*****PEAK IDENTIFICATION*****
OPTION NOLET
SET COLOR "RED/WHITE"
OPEN #20: SCREEN .2,1,0,.7
DIM X(5000), Y(5000), XG(8000), YG(8000), XX(5000), YY(5000)
DIM XGA(5000), YGA(5000), Q(5000), XN(5000), YN(5000), S1(20), SID1(20)
DIM XXX(5000), YYY(5000), XXD(5000), YYD(5000), YGG(5000), ENERZ(20)
DIM CC$(20), SID(20)
! *****
!*****MAIN PROGRAM*****
!*****
CALL YARDIM
! TÜM SPEKTRUM*****
CALL VERI
ISON1=ISON
CALL MAXY(Y())
OPEN #22:SCREEN 0.02, .98,.35,.98
CALL COORDINATE(X(),Y())
CALL SPKCIZ(X(), Y())
! SPEKTRUMDA SEÇİLMİŞ KISIM *****
```

```

CALL GETPOINT
IB=INT(XG(1))
IS=INT(XG(2))
FOR J=1 TO IS-IB
I=IB+J-1
XX(J)=X(I)
YY(J)=Y(I)
NEXT J
ISON=IS-IB
CLEAR
CALL MAXY(YY())
CALL COORDINATE(XX(),YY())
CALL SPKCIZ (XX(),YY())
CALL MAXY (YY())
CALL GETPOINT
IB=INT(XG(1))
IS=INT(XG(2))
ISON=IS-IB
XH=IB
YH=Y(IB)
!PRINT IB,IS,XH,YH
FOR J=IB TO IS
I=J
XX(J)=X(I)
YY(J)=Y(I)
NEXT J
YMAX1=0
FOR I=IB TO IS
IF YMAX1>YY(I) THEN
ELSE
YMAX1=YY(I)
END IF
NEXT I
CALL GAUSS1 (XX(),YY())
CALL FIT (XGA(),YGA())
CALL GAUSS2 ((X),Y())
CALL EGRI
CALL TANI
STOP
!*****
!*****SUBROUTINES*****
!*****
SUB YARDIM
INPUT PROMPT "PROGRAMI ÇALIŞTIRMAK İÇİN YARDIM İSTİYORSANIZ 'EVET=1'
GİRİN": E
CLEAR
IF E=1 THEN
PRINT " ***** MERHABA ***** "
PRINT " ***** "
PRINT " *1- PROGRAM KANAL SAYISINI VERİN ***** "
PRINT " *2- VERİ DOSYASININ ADINI GİRİN ***** "
PRINT " *3- ÇALIŞACAĞINIZ BÖLGEYİ FAREYİ TIKLATARAK SEÇİN ***** "
PRINT " *4- FAREYİ X EKSENİ ALTINDA BİR DEFA TIKLATTIĞINIZDA ***** "
PRINT " * SEÇİLEN BÖLGE EKRANA GELECEKTİR ***** "
PRINT " *5- FAREYİ İKİ KANADINDA TIKLATARAK TANIMAK ***** "

```

```

PRINT " * İSTEDİĞİNİZ PİKİ SEÇİN VE YİNE X EKSENİ ALTINDA ***** "
PRINT " * TIKLATIN ***** "
PRINT " *6- BACKGROUNDU BELİRLEMEK İÇİN FAREYİ MÜMKÜN ***** "
PRINT " * EN UZAK NOKTALARDA VE YİNE X EKSENİ ALTINDA ***** "
PRINT " * TIKLATIN ***** "
PRINT " ***** "
PRINT " *****BAŞARILAR ***** "
PRINT " ***** "
ELSE
END IF
END SUB
SUB VERİ
INPUT PROMPT "KANAL SAYISI=":ISON
PRINT "VERİ DOSYA ADI";
INPUT F$
CLEAR
OPEN #1:NAME F$
FOR I=1 TO ISON
INPUT #1: A$, BOS, KANAL, SAYIM
LET X(I)=KANAL
LET Y(I)=SAYIM/100
NEXT I
CLOSE #1
END SUB
SUB MAXY (Y())
YMAX=0
FOR I=1 TO ISON
IF YMAX>Y(I) THEN
ELSE
YMAX=Y(I)
END IF
NEXT I
END SUB
SUB COORDINATE (XC(),YC())
CLEAR
PLOT
SET WINDOW XC(1)-0.5, XC(ISON)+0.5, -YMAX/20,YMAX+.3
PRINT YMAX
HI=(XC(ISON)-XC(1))/10
PLOT TEXT, AT XC(1)-ISON/44,-YMAX/26:USING$("#####",XC(1))
FOR J=1 TO 9
PLOT TEXT, AT XC (1)+J*HI-ISON/44,-YMAX/26:USING$("#####",(XC(1)+J*H1))
NEXT J
H6=YMAX/62
PLOT LINES: XC(1),0;XC(ISON),0 !X AXIS
PLOT LINES: XC(1),0;XC(1),YMAX+.3 !Y AXIS
FOR I=1 TO 10
H2=H1*I
PLOT XC(1)+H2,H6;XC(1)+H2,0
NEXT I
H3=YMAX/10
H5=.5*ISON/50
FOR J=1 TO 9
H4=H3*J
PLOT XC(1)+ H5,H4;XC(1)+H4

```

```

NEXT J
END SUB
SUB SPKCIZ (M(),N())
FOR I=1 TO ISON
PLOT LINES: M(I),N(I);
NEXT I
END SUB
SUB GETPOINT
SET COLOR "BLUE"
oldx, oldy=100
J=0
DO
GET POINT X1,Y1
IF Y1<0 THEN EXIT DO
SET TEXT JUSTIFY "CENTER", "HALF"
PLOT TEXT, at X1,Y1:"+"
J=J+1
XG(J)=X1
YG(J)=Y1
oldx=X1
oldy=Y1
LOOP
END SUB
SUB GAUSS1 (XN(),YN())
FOR N=IB+1 TO IS-1
Q(N)=YN(N-1)/YN(N+1)
XGA(N)=XN(N)
YGA(N)=Q(N)
IF YGA(N)>0 THEN
YGA(N)=LOG(YGA(N))
IF YGA(N)>0 THEN WEIGHT=1/(YGA(N))
IF YGA(N)<0 THEN WEIGHT=1/(-(YGA(N)))
ELSE
END IF
NEXT N
END SUB
SUB FIT (XXD(),YYD())
SUM=0
SUMX=0
SUMY=0
SUMX2=0
SUMXY=0
SUMY2=0
FOR S=IB+1 TO IS-1
SUM=SUM+WEIGHT
SUMX=SUMX+WEIGHT*XXD(S)
SUMY=SUMY+WEIGHT*YYD(S)
SUMX2=SUMX2+WEIGHT*XXD(S)*XXD(S)
SUMXY=SUMXY+WEIGHT*XXD(S)*YYD(S)
SUMY2=SUMY2+WEIGHT*YYD(S)*YYD(S)
NEXT S
|*****
|*****KATSAYILARIN HESAPLANMASI*****
|*****
DELTA=(SUM*SUMX2)-(SUMX*SUMX)

```

```

B=(SUMX2*SUMY-SUMX*SUMXY)/DELTA
A=(SUMXY*SUM-SUMX*SUMY)/DELTA
END SUB
SUB GAUSS2 (XXX(),YYY())
SIGMA2=2/A
SIGMA=SQR(SIGMA2)
X0=-(B/A)
Y0=YMAX1
Y00=YMAX1*100
EN=X0*.212548+48.3972
END SUB
SUB EGRI
PLOT
! *****
SET COLOR "RED"
CALL GETPOINT
IB=INT(XG(1))
IS=INT(XG(2))
ISON=IS-IB
XSN=IB
YSN=Y(IB)
YSS=Y(IS)
G=0
GC=0
H=.1
DO
IF IB+H*G<=IS THEN
G=G+1
YLI=((YSN-YSS)/(IB-IS))*(H*G)+YSN
XG(G)=XSN+H*G
YG(G)=Y0*EXP(-(XG(G)-X0)^2/(2*SIGMA^2))
IF YG(G)>=YLI THEN
GC=GC+1
XG(GC)=XG(G)
YG(GC)=YG(G)
YGG(GC)=YG(GC)-YLI
PLOT LINES: XG(GC),YG(GC);
ELSE
END IF
ELSE
EXIT DO
END IF
LOOP
NP=(XG(GC)-XG(1))/H
TOPSAY=0
FOR GC=1 TO NP-1
TOPSAY=TOPSAY+H*GC*(YGG(GC+1)+YGG(GC))/2
NEXT GC
END SUB
SUB TANI
OPEN #17: SCREEN 0.02,.8,.0,.3
SET COLOR "RED"
PRINT" İZOTOP  ENER(KeV)      ENERK(KeV)  ŞİDDET  TOPLAM SAYIM  "
K=0
OPEN #5:NAME "ÇEK.DAT"

```

```

FOR I=1 TO 698
INPUT #5:A$,EZ,C$,SI
EN=TRUNCATE(EN,3)
EZ=TRUNCATE(EZ,3)
ED1=EZ-0.4
ED2=EZ+0.4
IF EN>=ED1 AND EN<=ED2 THEN
HP=0.001
N=(ED2-ED1)/HP
FOR M=1 TO N
EDM=ED1+HP*M
IF EDM=EZ THEN
K=K+1
ENERZ(K)=EZ
CC$(K)=C$
SID(K)=SI
ELSE
END IF
NEXT M
AK=K
ELSE
END IF
NEXT I
FOR I=1 TO AK
PRINT USING "#####": CC$(I), EN,ENERZ(I),SID(I),TOPSAY
NEXT I
CLOSE #17
END SUB
END

```

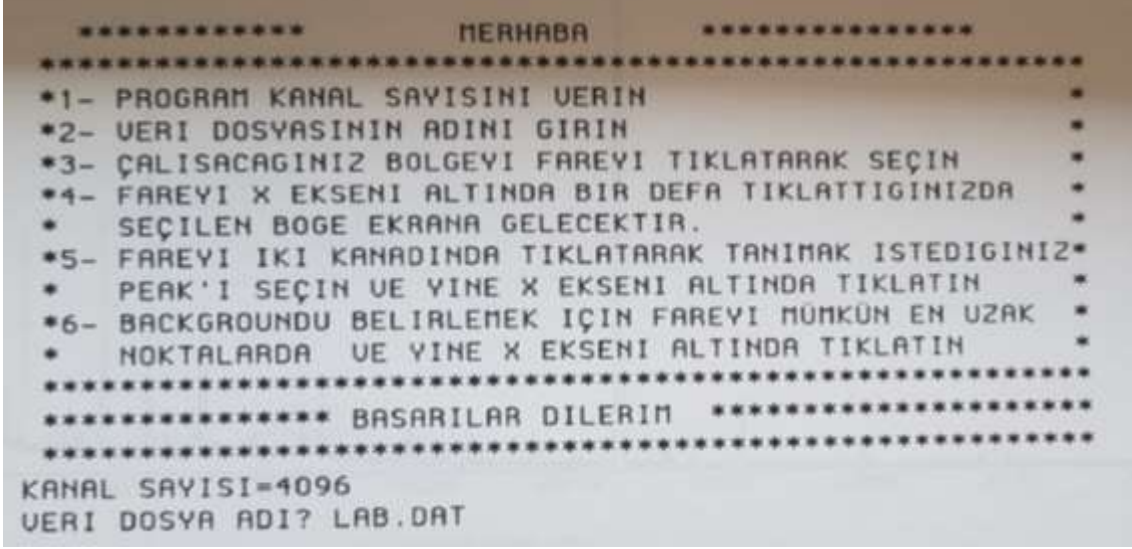
Programı test etmek için, Malatya civarındaki bir bölgeden alınan toprak örnek HPGe detektör, Canberra 2002 CSL model bir ön yükseltici, Canberra 2015 A model spektroskopi yükselticisi, Canberra 8075 model bir analog dijital dönüştürücü, Canberra S-100 model çok kanallı analizör ve bilgisayardan oluşan gama sayım sisteminde sayıldı. Bunun için, örnek, 200 mesh olacak şekilde toz haline getirildi ve 5 saat 80 °C de kurutuldu. Örnek içine selüloz nitrat eklenerek çapı 13 mm olacak şekilde 9 tonluk basınç altında pelet haline getirildi. Örnek ÇNAEM de 1.01×10^8 n cm⁻² sn⁻¹ nötron akısı ve 200 kV hızlandırma potansiyeli altında 14.6 MeV nötronlarla ışındı. Toprak örnek sayımı, kristal çapı 49.8 mm, uzunluğu 50.5 mm olan ayırma gücü yüksek HPGe detektörü kullanılarak yapıldı. Background etkisini azaltmak için detektör, kalınlığı 5.3 cm ve uzunluğu 28.2 cm olan bir kurşun zırh içerisindedir. Örneğin sayım sisteminde sayılması sonucu elde edilen veriler bir depolama aygıtı ile bilgisayar ortamına aktarıldı. Veriler sayıma karşılık kanaldan oluşmaktadır. Sayım sisteminin enerji kalibrasyonu ise ¹³³Ba ve ¹³⁷Cs standartları kullanılarak yapıldı. Standart kaynakların sayımı numunelerin sayıldığı sayım sisteminde yapıldı. Bu standart kaynaklardan elde edilen spektrumda her bir pik tepesine karşılık gelen enerji ve kanal değerleri belirlendi. Tablo 1’de standart gama kaynaklarından elde edilen spektruma ait pik enerjileri ve kanal değerleri verilmektedir.

Tablo 1. Standart gama kaynaklarından elde edilen spektruma ait pik enerjileri ve kanal değerleri.

	İzotop	Enerji(keV)	Kanal
¹³³ Ba		80.998	153.13
		276.397	1072.70
		302.851	1197.45
		356.005	1447.46
		383.851	1578.15
¹³⁷ Cs		661.638	2885.02

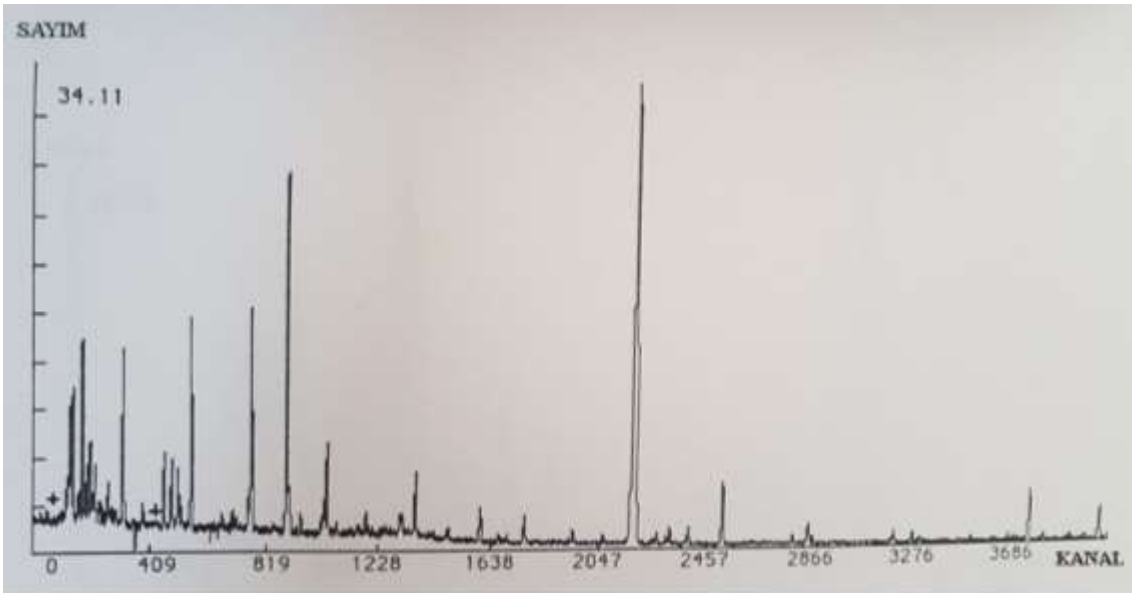
3. Bulgular ve Tartışma

Programda örneklerin sayım sisteminde sayılması sonucu elde edilen ve sayıma karşılık kanaldan oluşan bir veri dosyası ile izotopun enerjisi, izotopun adı, izotopun kütle sayısı ve pik şiddetlerinden oluşan ikinci bir veri dosyası kullanıldı. Bu dosya, program içinde daha önce yüklenen veri dosyası olarak sonradan çağırılmaktadır. Program interaktif şekilde çalışmaktadır. Programın başında bir yardım sayfası vardır. Kullanıcı ilk kez programı kullanıyorsa bu yardım sayfasından yararlanabilmektedir (Şekil 1).



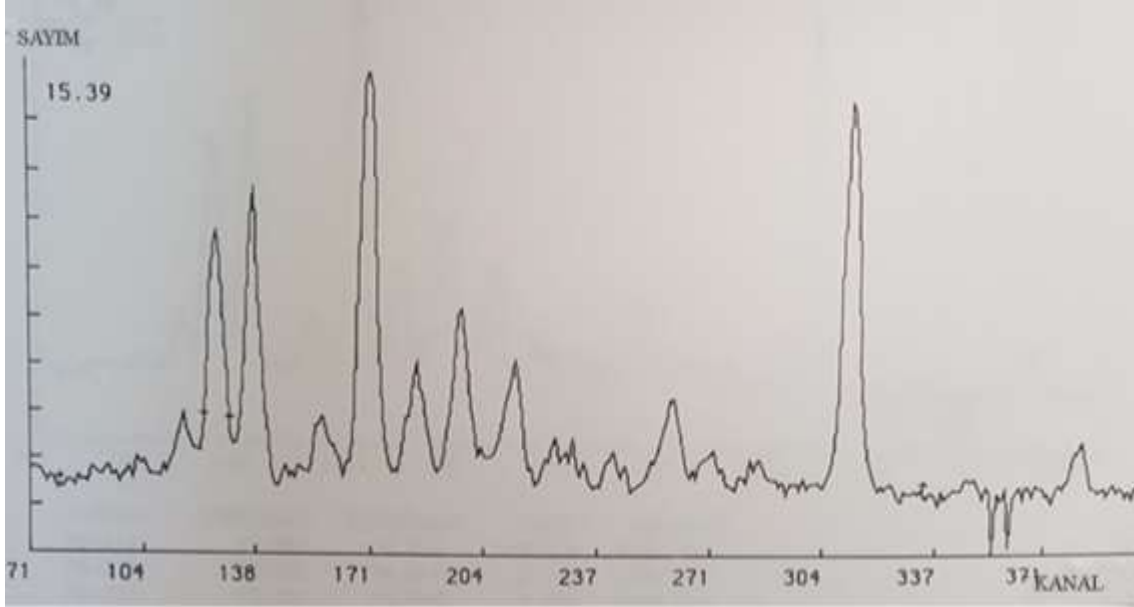
Şekil 1. Programdaki yardım sayfası.

Şekil 1’de görüldüğü gibi, programda kanal sayısı ve veri dosyasının adı sorulmaktadır. Veri dosyasının adı girildikten sonra ekranda otomatik olarak kanala karşılık sayımdan oluşan grafik çizilir. Şekil 2’de bilgisayar programında elde edilen spektrum görülmektedir.



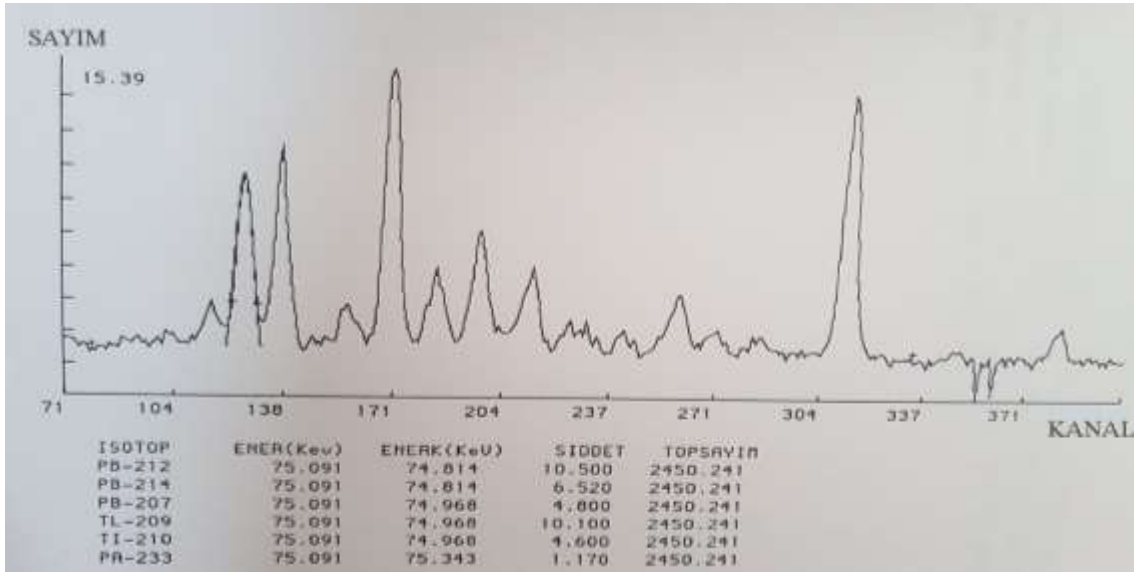
Şekil 2. Bilgisayar programında elde edilen spektrum.

Spektrum üzerinde çalışılmak istenilen bölge fare ile sınır noktalar işaretlenerek seçilir. Fare ile yapılan her işlemde sonra programın bir sonraki aşamaya geçebilmesi için farenin x eksenine altındaki tıklanması gerekmektedir. Bu durumda, Şekil 3’teki gibi spektrum üzerinde seçilen bölge ekrana gelir.



Şekil 3. Spektrum üzerinde seçilen bölge.

Bir sonraki aşama, spektrum üzerinde piki seçmektir. Bu işlemde fare ile pikin her iki kanadına tıklanır. Background'u çıkarmak için pikin her iki yanındaki kuyruğun dışındaki süreklilik bölgesi üzerinde tıklanır. Şekil 4'te görüldüğü gibi pik altındaki toplam sayım, piki oluşturan muhtemel izotopların enerjisi ve şiddeti program tarafından otomatik olarak verilmektedir.



Şekil 4. Programda spektrum analiz sonuçları.

Programda spektrumun analizi sonucu elde edilen sonuçlar Tablo 2'de verilmektedir. Tablo 2'de, toplam sayım değeri spektrumda seçilen pikin program tarafından belirlenen sayım değerini ve Ener (keV) ise spektrumda seçilen pikin program tarafından belirlenen enerji değerini ifade etmektedir. Ener (keV) değerleri ise program tarafından çağrılan veri dosyasıdır. Ener (keV)' e karşılık gelen muhtemel izotoplar, bu izotopların enerjileri ve şiddetleri program tarafından, daha önce oluşturulan veri dosyası çağrılarak belirlenmektedir.

Tablo 2. Bilgisayar programında elde edilen analiz sonuçları.

Toplam Sayım	Ener (keV)	Enerk (keV)	İzotop
3966.680	846.872	846.812	Mn-56
1221.397	151.535	151.179	Kr-85m
309.101	743.464	743.407	Zr-97
910.802	267.972	268.272	Ba-135
155.672	487.142	487.021	La-140
322.705	641.300	641.263	La-142
5491.742	166.196	165.852	Ce-139
1323.582	145.785	145.440	Ce-141
5099.363	114.658	114.307	Nd-149
1185.009	156.196	155.852	Nd-149
6232.299	211.655	211.293	Nd-149
2706.864	270.508	270.149	Nd-149
551.876	423.791	423.526	Nd-149
577.374	540.725	540.500	Nd-149
886.134	654.964	654.806	Nd-149
1031.728	103.502	103.180	Sm-153
89382.410	511.116	510.699	Tl-208
2627.017	583.321	583.174	Tl-208
2333.400	75.091	74.814	Pb-212
1153.572	87.524	87.189	Pb-212
8094.564	238.955	238.577	Pb-212
3151.952	77.453	77.107	Pb-214
893.218	727.460	727.250	Bi-212
1751.219	90.276	89.955	Ac-228
2256.772	338.615	338.419	Ac-228
663.621	463.389	463.099	Ac-228
2274.073	911.209	911.160	Ac-228
3992.915	84.528	84.203	Th-231

Bu çalışmada kullanılan toprak örnek, daha önce Akyüz ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada analiz edilmiştir [17]. Akyüz ve arkadaşları tarafından yapılan analiz sonuçları Tablo 3'te verilmektedir.

Tablo 3. Akyüz ve arkadaşlarının bu çalışmada kullanılan toprak örnekten elde ettikleri analiz sonuçları [17].

İzotop	Pik Enerjileri (keV)
Tl-208	277.5, 510.8, 583.1
Pb-212	74.9, 77.0, 87.3, 238.6, 300.0
Pb-214	77.4, 87.5, 295.4, 351.8
Bi-212	727.2, 860.5
Bi-214	609.1, 934.1, 1119.9
Ac-228	105.3, 129.1, 209.3, 270.1, 328.2, 338.3, 409.3, 462.9, 794.9

Bu çalışmada oluşturulan bilgisayar programından elde edilen analiz sonuçları (Tablo 2) ile Akyüz ve arkadaşlarının farklı bir çalışmada elde ettikleri sonuçlar (Tablo 3) karşılaştırıldığında, her iki sonucun uyumlu olduğu görülmektedir. Program keskin ve temiz piklerin tanımında oldukça iyi sonuçlar vermektedir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada gama spektrumunun analizini yapan bir bilgisayar programı yazılmıştır. Programı test etmek için Malatya civarından alınan toprak örnekten elde edilen gama spektrumu analiz edilmiştir. Program, bir ana program ve bu ana programa bağlı alt programlar şeklinde "True Basic" programlama dilinde yazılmıştır. Programdan elde edilen analiz sonuçları, farklı bir grubun analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlara göre, enerji ve izotop değerleri uyusmaktadır. Bunun yanında, programın izotop tanısı kısmında bir izotopun tanınması için aynı çekirdeğin farklı piklerini belirleyecek şekilde programın daha da geliştirilmesi ve alt programların ilave edilmesi yararlı olacaktır. Program, gama spektrumu analizi üzerine bilgisayar programı yazmak isteyen araştırmacılara ışık tutacaktır.

Yazarların Katkısı

Bu çalışmada Çetin BOLCAL fikir, eleştiri, bilgisayar ve laboratuvar ortamının sağlanması konusunda katkıda bulunmuştur. Pelin OTANSEV araştırma, veri toplama, laboratuvar çalışması, analiz, yorum, kaynak taraması ve makalenin yazımı konusunda katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] Tabar E., Yakut H., Saç M.M., Taşköprü C., İçhedef M., Kuş A. 2017. Natural radioactivity levels and related risk assessment in soil samples from Sakarya, Turkey. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 313 (1): 249-259.
- [2] Gönen E. 2012. Edirne ilinin çevresel radyoaktivitesinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- [3] Al-Jundi J. 2002. Population doses from terrestrial gamma exposure in areas near to old phosphate mine, Russaifa, Jordan. *Radiation Measurements*, 35 (1): 23-28.
- [4] Faheem M., Mujahid S.A., Matiullah M. 2008. Assessment of radiological hazards due to the natural radioactivity in soil and building material samples collected from six districts of the Punjab province-Pakistan. *Radiation Measurements*, 43 (8): 1443-1447.
- [5] Tzortzis M., Svoukis E., Tsertos H. 2004. A comprehensive study of natural gamma radioactivity levels and associated dose rates from surface soils in Cyprus. *Radiation Protection Dosimetry*, 109 (3): 217-224.
- [6] Kara A. 2008. Karaca ve Çal mağaralarında radon konsantrasyonu ve radyoaktivite seviyesinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [7] UNSCEAR 1993. Sources and effects of ionizing radiation. Report to General Assembly, with scientific Annexes, United Nations, New York.
- [8] UNSCEAR 2000. Sources and effects of ionizing radiation. Report to General Assembly, with scientific Annexes, United Nations, New York.

- [9] Akhtar N., Tufail M., Ashraf M. 2005. Natural environmental radioactivity and estimation of radiation exposure from saline soils. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1 (4): 279-285.
- [10] Kurnaz A., Küçükömeroğlu B., Keser R., Okumuşoğlu N.T., Korkmaz F., Karahan G., Çevik U. 2007. Determination of radioactivity levels and hazards of soil and sediment samples in Firtına Valley (Rize, Turkey). *Applied Radiation and Isotopes*, 65 (11): 1281-1289.
- [11] Krane K.S. 1988. *Introductory Nuclear Physics*. John Wiley & Sons, New York, USA.
- [12] Bingöldağ N. 2017. Nevşehir ilinin toprak, su ve tarım ürünlerinde doğal radyoaktivitenin ve ağır metallerin belirlenmesi. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [13] Korthoven P.J.M. 1968. A computer program for the analysis of gamma-ray spectra. Research and development report. Iowa State University of Science and Technology, IS-1811, USA, <https://doi.org/10.2172/4544744> (Erişim Tarihi: 09.01.2021).
- [14] Guzzi G., Cuypers J. 1974. A computer program for gamma ray spectrometry with Ge (Li) detectors. Joint Nuclear Research Centre Ispra Establishment, Italy. <http://aei.pitt.edu/91764/1/5117.pdf> (Erişim Tarihi: 09.01.2021).
- [15] Ergün Y.T. 1989. Development of a computer program for analysis of gamma-ray spectra and its use in instrumental neutron activation analysis. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [16] Kemeny G.J., Kurtz T.E. 2002. *True Basic*. Published by True BASIC Inc, USA, 1-249.
- [17] Akyüz T., Küçer R., Sarıtepe P., Bolcal Ç. 1993. Natural and neutron-induced gamma-ray spectroscopic investigations of the radioactive mineral from the deposits of Malatya. *İstanbul Üniversitesi Astronomi ve Fizik Dergisi*, 58: 1-8.