

## X ve Gama-Işını Dedektörlerinde Ölü Zaman Düzeltmesi - Kısım 2- Diferansiyel Düzeltme

Salih Mustafa KARABIDAK<sup>1\*</sup>

Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Fizik Mühendisliği Bölümü, TR-29100, Bağlarbaşı,  
Gümüşhane

Geliş tarihi/Received 12.12.2013

Düzeltilerek geliş tarihi/Received in revised form 03.04.2014

Kabul tarihi/Accepted 10.04.2014

### Özet

Elektronik aygıtlardan müteşekkil olan sayma sistemleri X ve Gama ışınlarından ileri gelen radyasyonun belirlenmesinde kullanılır. Sayma sisteminde ölü zamanının ana nedeni sayma sistemini oluşturan bu elektronik aygıtlardır. Bu ölü zamanın sonucu olarak ta sayma kayıpları yaşanır. Sayma kaybı aynı zamanda sayma oranı kaybı anlamına da gelmektedir. Nicelik (kantitatif) ve nitelik (kalitatif) analizlerinde sayma kaybı oranının tahmini analizin doğruluğu için hayati bir meseledir. Bu nedenle sayma sistemleri için istenilen sayma oranı düzeltmesi büyük bir öneme sahiptir. Spektrometrelerdeki bu sayma kayıpları yığılma pulsları, uzatılan ve uzatılmayan sistem ölü zamanlarından veya bu üç mekanizmanın ikili ve üçlü bileşimlerinden meydana gelir. Sistem ölü zamanına bağlı sayma oranı kayıplarının düzeltilmesi için uzatılan ve uzatılmayan modeller iyi bilinir ve sıklıkla kullanılır. Bununla birlikte bu iki model orta ve yüksek sayma oranlarında istenilen düzeltmeyi sağlayamamaktadırlar. Bu yüzden sayma oranı kayıplarını telafi etmek için yeni modellere ihtiyaç duyulmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Pikleşme zamanı, Ayırma zamanı, Ölü Zaman, Sayma kaybı, Yarıiletken dedektör.

## Dead Time Correction at X and Gamma-Rays Detectors - Part 1- Differential Correction

### Abstract

The counting systems consisting of electronics devices are used for detection of radiation due to X and Gamma rays. Main reason for the dead time in counting system is these electronic devices. As a result of this dead time, the counting losses occur. The counting loss also means the loss of the counting rate. Determination of the counting rate losses in quantitative and qualitative analysis become a vital step for correction analysis. Therefore, the counting rate correction required for counting system is of great importance. These counting losses in spectrometry are due to the pulse pile-up, paralyzable and non-paralyzable system dead time or dual and triple combination of these three mechanisms. Paralyzable and non-paralyzable models are well-known and frequently used for correction of counting rate losses dependent on the system dead time. However, these two models do not provide enough correction at medium and high counting rates. Therefore, new models for corrections of counting rate losses are needed.

**Keywords:** Peaking time, Resolving time, Dead time, Counting losses, Semiconductor detectors.

---

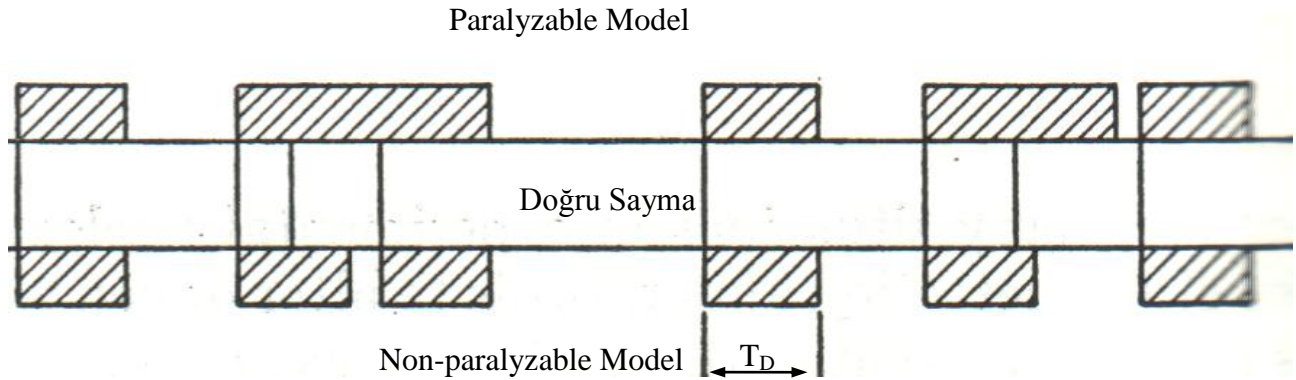
\* Salih Mustafa KARABIDAK, smkarabidak@gumushane.edu.tr, Tel: (0456) 233 74 25/1121

## 1. Giriş

Hemen hemen tüm dedektör sistemlerinde iki ayrı pulsun iki farklı olay olarak kaydedilebilmesi bu iki pulsun birbirinden ayrılmasını gerektirir. Ölü zaman olarak ifade edilen bu durum dedektörün kendisi ve sayma sisteminde kullanılan elektronik aygıtlar ile belirlenir. Bu ölü zaman periyodunda gelen saymalar kaybedilebileceğinden sistemin birim zaman başına sayması olarak ifade edilen sayma oranında bir azalmaya neden olur. Bu ölü zamandan kaynaklanan sayma kayıpları yüksek sayma oranlarına çıkıldıkça oldukça fazlalaşmaktadır. Bu nedenle uygun sayma oranının belirlenmesi ve bu doğrultuda gerçek sayma oranlarının belirlenmesi öneme haiz bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Sayma sistemlerin ölü zaman davranışının iki modeli sayma oranı düzeltmelerinde çokça

kullanılmaktadır: uzatılan (paralyzable) ve uzatılmayan (non-paralyzable) (Knoll, 2000). Paralyzable modelde iki ardışık doğru olaylar arasında en azından bir  $\tau$  zaman aralığı olmadıkça ikinci bir çıkış pulsu sağlamak mümkün değildir. İlk olaya bir  $\tau$  cevap zamanı boyunca kullanılan elektronik aygıtın geri alınması tam geri alma gerçekleşmeden önce oluşan ek herhangi bir doğru olayla ek bir  $\tau$  zaman ile daha fazla uzatılır. Bu modelde  $\tau$  zamanının hemen başındaki ve hemen sonundaki olaylar kaydedilir. Non-paralyzable modelde bir  $\tau$  ölü zamanı boyunca oluşan olaylarla herhangi bir şekilde etkilenmeyen elektronik aygıt bulunur. Yani aygıt her bir kaydedilen olaydan sonra bu ölü zamanı kadar bir süre işlemsizdir (Evans, 1955). Bu modeller şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Paralyzable ve non-paralyzable modellerin davranışları (Evans,1955).

Bu iki modelin idealleştirilmiş davranışı ifade ettiği varsayılır. Her iki modelde dedektörün “işlem (live) süresi” boyunca oluşan her bir doğru olay sabitlenmiş bir  $\tau$  ölü zamanında gerçekleştiği varsayılır (Knoll, 2000). Bu varsayım yalnızca yükseltici tarafından uygulanan ve yükselticinin piklenme zamanına bağlı ölü zaman halinde geçerlidir. Oysa bir sayma sistemi pulsun enerji değerini belirleyen bir analog-dijital çeviricide (ADC) içerir. ADC ler bu ölü zamanı değişken olarak üretmektedir. Bu durumda sabit bir ölü zaman ifadesi alınarak yapılan modellemelerde tam bir sayma oranı düzeltmesi yapılamayacağı açıktır. Ayrıca modern sayma sistemleri

paralyzable, non-paralyzable ve pile-up (yığılma) reddetmeyi içeren elektronik aygıtlardan oluşmaktadır (King ve Lim, 1985). Bunlardan son ikisi yükseltici de birlikte bulunurken ilki ADC ye karşılık gelmektedir.

Paralyzable ve non-paralyzable modelleri aynı ilk dizin kayıplarını öngörürken gerçek olay oranları yüksek olduğunda öngörülerini farklılaşmaktadır. Bu modeller idealleştirilmiş sistem davranışının uç noktalarını teşkil eder ve gerçek sayma sistemleri genelde bu uçların arasında ortalama bir davranış gösterir. Belirli bir sayma sisteminin detaylı davranışı

dedektörün kendisinde meydana gelen fiziksel süreçler ve puls işleme ve kaydetme elektroniğinden kaynaklanan gecikmelere bağlıdır. Non-paralyzable modelde dedektörünün ölü zamanı tüm zamanın kesri olarak  $m\tau$  çarpımı ile basitçe verilir. Bu yüzden doğru olayların kayıp oranı  $n\tau$  ile verilir. Buna karşılık  $n-m$  de kayıp oranı için diğer bir ifade olmasından dolayı non-paralyzable durumunda doğru etkileşme oranı (Knoll, 2000)

$$n_0 = \frac{n}{1 - n\tau} \quad (1)$$

ile verilir ve burada  $n$  doğru (gerçek) etkileşme oranı,  $m$  kaydedilen sayma oranı ve  $\tau$  sistemin ölü zamanıdır.

Paralyzable durumlarda ölü zaman her zaman sabit bir değerde olmadığından aynı tartışma yapılamaz. Bunun yerine  $\tau$  yi geçen doğru olaylar arasındaki zaman aralıklarında oluşan oranlarla özdeş olan  $m$  değeri dikkate alınır.  $n$  ortalama oranında oluşan rastgele olaylar arasındaki dağılım birinci dizin Poisson dağılımının bir  $[\tau, \infty]$  aralığında  $T$  üzerinden integralin alınmasıyla ikinci dizin Poisson dağılımına karşılık gelir. Yani bu durum

$$P_2(\tau) = \int_{\tau}^{\infty} P_1(T) dT = \int_{\tau}^{\infty} n_0 e^{-n_0 T} dT = e^{-n_0 \tau} \quad (2)$$

ile verilir. Bu dağılımın doğru  $n$  sayma oranı ile çarpılmasıyla bu tür aralıklarda oluşan oran belirlenir:

$$n = n_0 e^{-n_0 \tau} \quad (3)$$

Non-paralyzable modeli gözlenen sayma oranı ve tek değişkenli ölü zaman terimlerine doğru sayma oranları için yakın bir çözüm sağlayabilmesine rağmen  $m\tau$  de bir tekilliğe sahip olması ve bu nedenle  $n$  sonsuza gittiğinde  $1/\tau$  limitinde maksimum bir gözlenen sayma oranına gitmesi bir problemdir. Paralyzable model ise yüksek sayma oranlarına doğru gidildikçe gözlenen sayma oranını sıfır verir ve bu modelin açık bir çözümü yoktur ve ancak bazı

yaklaşımlarla sadece soyut çözümler yapılabilir (Gardner ve Liu, 1997).

Yüksek sayma oranlı durumların altında dedektör, yükseltici ve analog dijital çeviricilerin doyma etkilerinden ileri gelen sayma kayıpları ile ilgili hemen hemen hiç yok denecek kadar az bir bilgi vardır (Choi, 2009). Yüksek enerjide veya nötron alanında ışıdamalı bir dedektörün sayma davranışını araştırmak için deneysel ve teorik yaklaşımlar kullanılarak paralyzable tipli ölü zaman için doyma etkisi ile ilgili böylesi bir çalışma Hashimoto ve Yamada (1999) tarafından yapılmıştır. Özetle yapılan bu çalışmanın belirli bir dedektör ve elektronik elemanlara sahip sayma sistemlerinde var olan ölü zaman tipleri için bir doyma etkisi çalışmalarında öncü olacağı söylenebilir.

Çalışmanın bu kısmında önerilen bozulan kaynak yaklaşımı diferansiyel matematiğe dayalı ölü zaman ve sayma oranı düzeltmelerini içermektedir. Bu düzeltme biçimi sistem ölü zamanının sayma üzerinde baskın olduğu sayma oranlarında idealdir. Ayrıca diferansiyel matematik zamanla şiddeti değişen Poisson süreçlerinde doğru bir şekilde uygulanabilir. Buna ek olarak yarı ömrü çok kısa olan radyoizotoplarla yapılan deneylerde bu Poisson sürecinin kullanılması daha doğrudur.

## 2. Yapılan Çalışmalar

### 2.1. Deneysel Çalışmalar

13 mm çapında tablet olarak preslenen toz mermerler soğurucu numune olarak kullanıldı. Bu numunelerin deneysel kütle soğurma katsayılarını elde etmek için enerjileri 80 KeV'den 1333 KeV'e kadar değişen radyoaktif nokta kaynaklar kullanılmıştır. Bu kaynaklardan yayımlanan gama ışınlarını paralel demetler halinde dedektöre ulaştırmak ve istenmeyen saçılmaları önlemek için kaynakla numune arasına yerleştirilen 1 mm çapında deliklere sahip kurşun kolimatörler kullanılmıştır. İlk olarak numunesiz ölçümler daha sonra numuneli ölçümler yapılmıştır. Numunelerden geçen gama ışınlarını saymada

1332.5 keV’de 1.9 KeV’lik bir çözünürlüğe sahip Canberra marka yüksek saflıklı Ge (HPGe) dedektörü (GC 1519 model) kullanıldı. Sayma sisteminde ortak olarak Genie 2000 spektroskop yazılımı, Canberra firmasının ön yükselticisi (model 2008), Tennelec TC 244 spektroskop yükseltici ve Canberra firmasının multiport II ADC ve MCA modülleri kullanılmıştır.

Gama pik alanları, OriginLab firmasının Originpro 7.5 yazılımının multi-Gaussian fonksiyonu modülü ile birlikte polinomik arka plan (background) giderme modülü kullanılarak ölçülmüş spektrumun fit edilmesiyle ayrıştırılmasından sonra pik alanları belirlenmiştir. Belirlenen pik alanlarına bağlı olarak mermer numunelerin ölü zaman düzeltmesinden önce ve sonra kütle soğrulma katsayıları hesaplanmıştır ve sonuçlar tablo 1’de verilmiştir. Ayrıca grafik fit denklemleri bu yazılımın polinomik ve üstel fit modülleri ile elde edilmiştir.

## 2.2. Teorik Çalışma

1910 yılında Bateman kısa yarı ömürlü olmayan çekirdekler veya kısa süreli deneylerde göz ardı edilebilir olan azalmaya sahip bir kaynaktan t süresince ayrılan n atomlarının olasılığı için kendisinin meşhur formülünü türetti (Rutherford vd., 1910). Bateman’a göre bu olasılık

$$P_N = \frac{(ft)^N e^{-ft}}{N!} \quad (4)$$

ile verilir ve burada f birim zaman başına ayrılan parçacıkların ortalama sayısıdır. Sonra Bortkiewicz bu formülü bozulan bir kaynağa uyguladı. Daha sonrada Ruark ve arkadaşları, özel durumlar için Bateman ve Bortkiewicz formüllerini veren olasılığının çok daha geniş bir aralığı kapsayan diferansiyel bir denklem önerdiler (Ruark ve Devol, 1935a; Ruark ve Devol, 1935b). Bu aralıkların her bir durum için başlıca problem (0,t) aralığında oluşan N ayrılmaları ifade eden  $P_N(0, t)$  olasılığını belirlemektir. Bu işlemden sonra  $P_N(0, t)$  ifadesi ile uyumlu diferansiyel denklemi elde etmek için 0 ve t+dt arasındaki N olayların olasılığı iki terimin toplamı

olduğuna dikkat edilmelidir (bu iki olay birbirinden bağımsız olduğundan): 1) (0, t) aralığında N-1 olayının olma olasılığı kere (t, t+dt) arasında bir olayın olması olasılığı; 2) (0, t) aralığında N olayının olması olasılığı kere (t, t+dt) aralığında hiçbir olayın olmama olasılığı (Ruark ve Devol, 1935b). Böylece

$$P_N(0, t+dt) = P_{N-1}(0, t)f_{N-1}dt + P_N(0, t)(1-f_Ndt) \quad (5)$$

veya

$$\frac{dP_N}{dt} = f_{N-1}P_{N-1} - f_N P_N \quad N=1, 2, \dots, \quad (6)$$

ifadeleri yazılabilir. Eğer f, yalnızca t’ye bağlı ve t’nin bilinen bir fonksiyonu ise (t, t+dt) zamanındaki bir olay için (6) ifadesi

$$\frac{dP_N}{dx} = P_{N-1} - P_N \quad (7)$$

haline döner. Burada

$$x = \int_0^t f(t)dt \quad (8)$$

şeklinde tanımlıdır. O halde (7) ifadesinin çözümü

$$P_N(0, t) = \frac{x^N e^{-x}}{N!} \quad (9)$$

ile verilebilir.

Kurbatov ve arkadaşları tarafından istatistiksel yaklaşım kullanılarak Geiger-Muller sayıcıları için bir düzeltme önerildi (Kurbatov ve Mann, 1945). Kaynaktan yayınlanan fotonların tümünün dedektör tarafından yakalandığını ve sayma sistemine kayıpsız gönderildiğini varsayalım. (t-τ, t) aralığında kaynaktan bir fotonun yayınlanma olasılığı P(t) olsun. Bu durumda (t, t+dt) aralığı boyunca dedektör tarafından yakalanan ve sayma sistemine gönderilen fotonların olasılığı a(t)dt olacaktır. Burada P(t), t’nin sürekli bir fonksiyonudur (Kurbatov ve Mann, 1945). Dedektör tarafından bir fotonun alınıp sayma sistemine gönderilmesi için gerek ve yeter şartlar şu şekilde ifade edilebilir:

- 1) Bir foton (t, t+dt) zaman aralığında dedektör tarafından sayma sistemine gönderilir.

- 2) (t-τ, t) aralığında sayma sisteminde herhangi bir sayım olayı meydana gelmez.

Yukarıdaki 1 ve 2 olayları birbirinden bağımsız olaylar oldukları için dt zamanında bir saymanın gerçekleşme olasılığı  $[1-P(t)]a(t)dt$  ile verilir (Kurbatov ve Mann, 1945):

$$P(t) = \int_{t-\tau}^t [1-P(x)]a(x)dx \quad (10)$$

Sıfır zamanda  $N_0$  tane atom içeren ve  $\lambda$  bozunma sabitine sahip bir radyoaktif çekirdekte artan  $N_0$  değeri ile  $f$ ,  $N_0 e^{-\lambda t} \lambda$  değerine ulaşır (Ruark ve Devol, 1935 (b); Schiff, 1935). Bu durumda ölü zaman olmadan t zamanında dedektöre ulaşan fotonların beklenen sayısı (8) denklemi göz önünde bulundurulduğunda

$$C(t) = \int_0^t N_0 \lambda e^{-\lambda t} dt = N_0 (1 - e^{-\lambda t}) \quad (11)$$

olarak verilebilir. Bu ifadeye dedektör verimi  $\varepsilon$ , radyoaktif çekirdeğin gama enerjisinin  $\gamma$  dallanma oranı ve kaynaktan çıkacak fotonların dedektör kristali ile etkileşme yapabilmesinin bir ölçüsü olan katı açısı (ölçüm süresince geometri değişmeyeceğinden katı açısı sabit olarak kalır) eklenerek (Karabıdak ve Çevik, 2013)

$$C_2(t) = \varepsilon \gamma \Omega N_0 (1 - e^{-\lambda t}) \quad (12)$$

elde edilir. P(t) denkleminin  $C_2(t)$  olan bu çözümü analojik bir yaklaşımla bozulan kaynak yöntemi olarak önerildi (Karabıdak ve Çevik, 2013). Bozulan kaynak yaklaşımında  $C_2(t)$  ifadesi

$$n = \frac{1}{T_D} (1 - e^{-n_0 T_D}) \quad (13)$$

ile verilebilir (Karabıdak ve Çevik, 2013). Burada  $T_D$ ,  $n_0$  ve  $n$  ifadeleri sırasıyla sistemin ölü zamanı, her bir kanaldaki gerçek sayma oranı ve her bir kanaldaki sayma oranıdır. Sistemin ölü zamanının ve her bir kanaldaki

sayma oranının nasıl hesaplanacağı yapılan çalışmalarla ifade edilmiştir (Karabıdak vd., 2009; 2011).

Her bir kanal için gözlenen sayma oranının belirlenmesinden sonra sistemin yalnız yükseltici durumu veya analog dijital çevirici ya da hem yükseltici hem de analog dijital çeviriciden oluşan birleşik sistem için ölü zamanlar ilgili denklemler ile hesaplanır. Bu ölü zaman hesaplamalarından sonra sistemin gerçek sayma oranı her bir kanal için, yalnız yükseltici durumu veya analog dijital çevirici ya da hem yükseltici hem de analog dijital çeviriciden oluşan birleşik sistem için ilgili formüllerle yerine konularak aşağıda verilen denklem ile hesaplanır:

$$n_0 = \frac{1}{T_D} \ln \left( \frac{1}{1 - m T_D} \right) \quad (14)$$

Bu durumda sayma süresi içinde her bir kanala karşılık gelen düzeltilmiş sayma

$$DS = n_0 T_{gerçek} \quad (15)$$

ile verilir. Burada DS her bir kanala ait düzeltilmiş sayma ve  $T_{gerçek}$  gerçek (real) sayma süresidir.

### 2.3 Simülasyon

Bu çalışmada, radyasyon belirlemede kullanılan yarıiletken dedektörden oluşan sayma sisteminin yükseltici ve analog dijital çeviricisinden oluştuğu kabul edilmiştir. Bu nedenle üretilen fotonların yükselticinin giriş ucuna geldiği varsayıldı. Çalışmanın bu adımı, sistemin sayma oranını yalnızca yükseltici ve analog dijital çevirici ve hem yükseltici hem de analog dijital çevirici için üç farklı durum göz önünde bulundurularak yerine getirildi. Bu doğrultuda Compaq Visual Fortran 6 derleyici yardımıyla Fortran 77 programlama dilinde SAYMA ORANI (SAYOR) programı kodlandı.

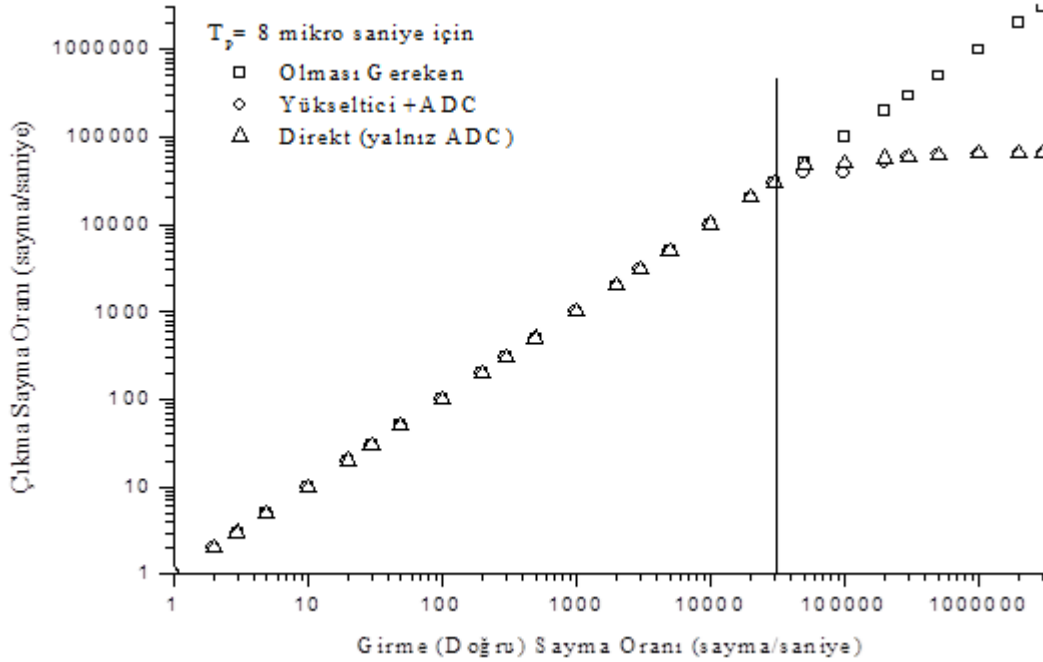
### 3. Bulgular

Yükselticinin 8  $\mu$ s piklenme zamanına bağlı olarak çalıştırılan SAYOR programı

sonuçlarına göre Şekil 2 elde edildi. Şekil 2’de girilen sayma oranlarına göre yükseltici + analog dijital çevirici ve doğrudan analog dijital çeviriciden çıkan sayma oranları görülmektedir. Girilen sayma oranının belirli bir değerine (yaklaşık 30000 sayma/saniye) kadar lineer bir artış gözlenirken bu noktadan sonra bu lineerlik bozulmaktadır. Bozulmanın başladığı sayma oranı yükseltici + analog dijital çevirici ve doğrudan analog dijital çevirici için aynıdır. Bu durum sayma sisteminin her iki hali için sayma oranı kaybının aynı olduğunu göstermektedir.

Şekil 3’de girilen sayma oranlarına göre yükselticinin mümkün üç farklı piklenme (3,

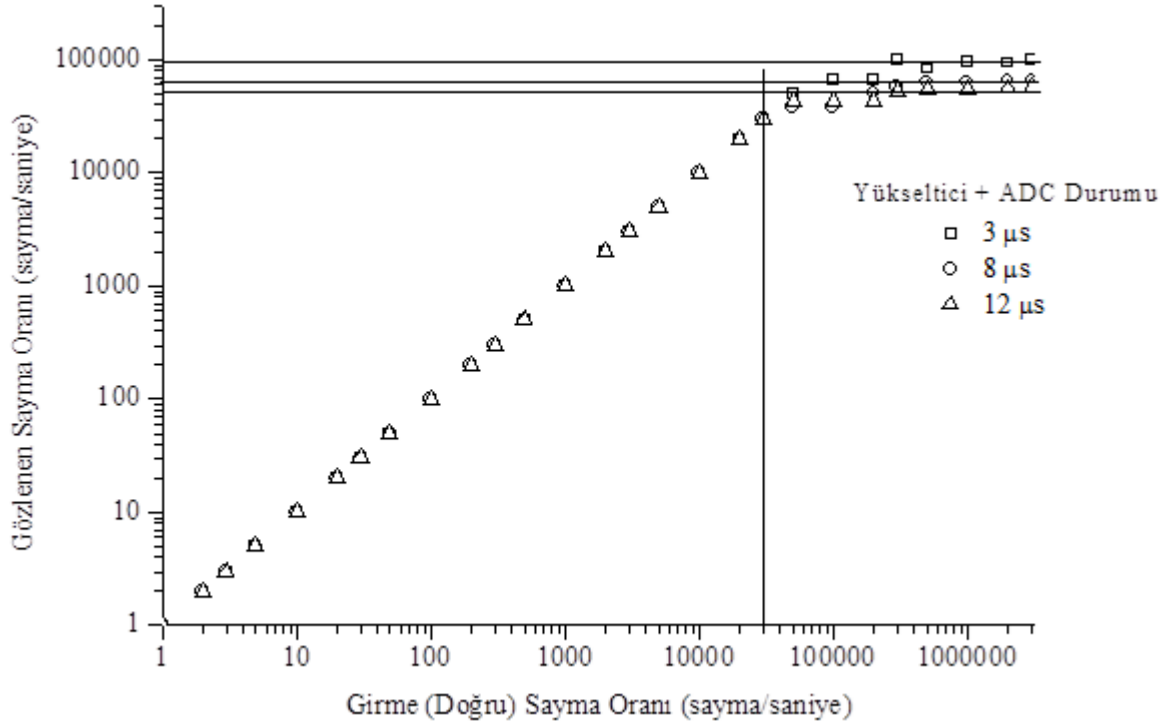
8 ve 12  $\mu$ s) zamanlarına karşılık hem yükseltici hem de analog dijital çeviricide gözlenen sayma oranları görülmektedir. Her üç piklenme zamanında belirli bir girilen sayma oranına kadar (yaklaşık 30000 sayma/saniye) lineer bir artış vardır. Bu girilen sayma oranından sonra lineerlik bozulmaktadır. 3  $\mu$ s’e karşılık gelen gözlenen sayma oranı diğerlerinden daha fazla olmasına rağmen yalnızca yükselticide gözlenen sayma oranına göre düşüktür. Yalnızca analog dijital çevirici için de benzeri bir davranış söz konusudur.



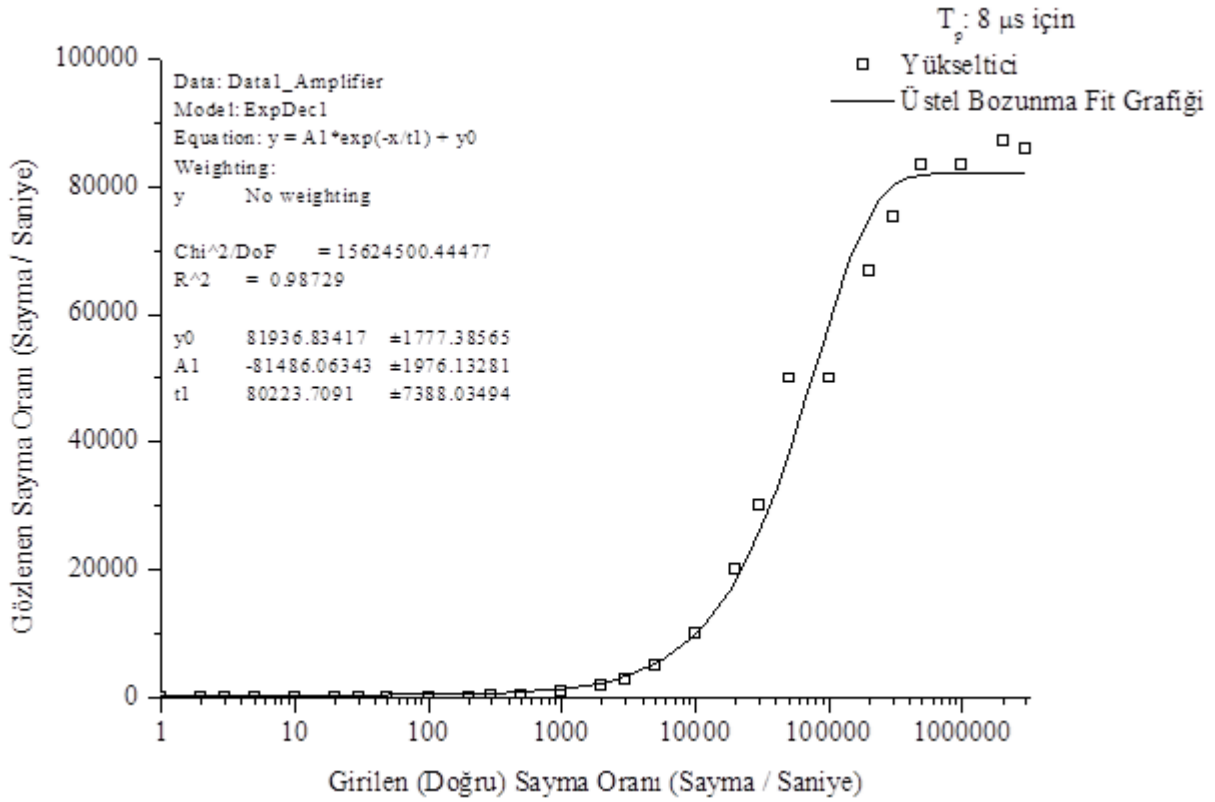
Şekil 2. Yükselticinin 8  $\mu$ s’lik piklenme zamanı için çıkan sayma oranının girme sayma oranı ile değişimi.

Yükselticinin piklenme modülünde bulunan mümkün üç farklı (3, 8 ve 12  $\mu$ s) piklenme zamanının sayma oranına etkisi, doğrudan yükseltici, analog dijital çevirici ve yükseltici ve analog dijital çeviriciden oluşan birleşik sistem olmak üzere üç farklı durum için irdelenmiştir. Yükselticiye giren ve çıkan sayma oranları arasındaki ilişkinin deneye dayalı ifadeleri için yalnızca 8  $\mu$ s

piklenme zamanı ile oluşturulan değerler kullanılmıştır. Diğer piklenme zamanlarında da aynı davranış gözlemlendiğinden burada bu piklenme zamanına ait davranışlar gösterildi. Yalnızca yükseltici için girilen sayma oranı değerlerine karşılık gelen gözlenen sayma oranı için aşağıda verilen fit grafiği çizilmiştir.



Şekil 3. Yükseltici ve Analog Dijital Çeviricinin 3 farklı piklenme zamanında girilen sayma oranlarına karşılık yükseltici ve analog dijital çeviricide gözlenen sayma oranları.



Şekil 4. Yükselticinin 8 µs'lik piklenme zamanında girilen sayma oranına karşılık yalnız yükselticide gözlenen sayma oranı.

Şekil 4'ten görüldüğü üzere girilen (doğru-gerçek) sayma oranı ile çıkma sayma oranı arasında ilişki, girilen sayma oranının belirli bir değerine kadar lineer artan bir özellik gösterirken bu değerden (yaklaşık 50000 sayma/saniye) sonra lineer artma özelliği bozulmaktadır. Ayrıca bu belirli girilen sayma oranından sonra (yaklaşık 400000 sayma/saniye) gözlenen sayma oranı sabitlenmektedir. Bu gözlenen sabit sayma oranı da yaklaşık 80000 değerine karşılık gelmektedir. Girilen ve gözlenen sayma oranları arasındaki ilişkinin, bu verilere göre bir eğri uydurulmaya çalışıldığında üstel bozunma kanununa uygun olduğu gözlenmiştir.

#### 4. Sonuç ve Tartışma

Sayma oranı üzerine pikleşme zamanının önemli bir etkisinin olduğu görülmüştür. Bu durum ölü zaman üzerinde pikleşme zamanının büyük bir öneme sahip olduğunu ifade etmektedir. Ayrıca artan pikleşme zamanı ölü zamanı artırırken beraberinde sayma kayıplarını da artırmaktadır. Yükselticinin sıklıkla kullanılan ve mümkün üç farklı pikleşme (3, 8 ve 12  $\mu$ s) zamanları için yapılan çalışmalarda belirli bir sayma oranına ulaştıktan sonra sistem bir doyuma ulaşmaktadır. Bu belirli sayma oranı pikleşme zamanı ve gelen pulsun enerjisi ile doğrudan ilişkilidir. Yani artan pikleşme zamanı ve puls enerjisi ile çıkan sayma oranı azalmaktadır.

Sayma sistemine giren ve çıkan sayma oranları arasındaki ilişki SAYOR simülasyon programı ile elde edilen sonuçlar kullanılarak tespit edilmiştir. Teorik olarak oluşturulan bozunan kaynak yaklaşımı (modeli) ve ya diferansiyel düzeltme yaklaşımı ile bu ilişki belirlenmiştir. Bozunan kaynak yaklaşımı ile elde edilen sonuçlar SAYOR simülasyon programı ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar, yükselticinin sıklıkla kullanılan ve mümkün her üç pikleşme zamanı için yalnızca yükseltici ve analog dijital çevirici ve hem yükseltici hem de analog dijital çeviriciden oluşan birleşik durumları için yapılmıştır. Her bir karşılaştırmada sonuçların birbirleriyle çok güzel bir uyum sağladığı görülmüştür.

Şekil 4'te elde edilen fit denklemi, üstel bozunma yasası olarak bilinen ve OriginLab firmasının Originpro 7.5 grafik programı içerisinde yer modül kullanılarak elde edilmiştir. Bu fit denklemi

$$y = y_0 - A_1 e^{-x/t} \quad (16)$$

şeklindedir. Bu denklem (13)'ün

$$n = \frac{1}{T_D} - \frac{1}{T_D} e^{-n_0 T_D} \quad (17)$$

şeklindeki yazımına benzerdir. Ayrıca burada (Karabıdak ve Çevik, 2013)

$$n_o = \frac{1}{T_D} \quad (18)$$

olduğu dikkate alındığında ve üstel kısımdaki  $T_D$  korunduğuna (17) denklemi (Karabıdak ve Çevik, 2013)

$$n = n_o - n_o e^{-n_0 T_D} \quad (19)$$

haline döner. (19) denkleminde  $n_o$  ifadesinin birimi 1/saniye olduğundan (16) denkleminde  $1/t$  karşılık geldiği açıktır. Dolayısıyla analogik yaklaşımda denklem (16) ile denklem (13)'ün aynı denklemler olduğu ifade edilebilir. Bu nedenle diferansiyel düzeltme ile bozunan kaynak yaklaşımı aynı durumu ifade etmektedir.

Ölü zaman düzeltmesi yapmadan önce ve sonra mermer numunelerinin deneysel kütle soğurma katsayıları hesaplanmış ve sonuçları teorik değerleri ile karşılaştırmalı olarak tablo 1 ile verilmiştir. Buradan görüldüğü üzere ölü zaman düzeltmesi sonucu yapılan hesaplamalar ölü zaman düzeltmesi yapılmadan yapılan hesaplamalardan daha fazla teorik değerlerine yaklaşmıştır. Ayrıca her iki durum için elde edilen hata payları ölü zaman düzeltmesi yapılanlarda daha düşük seviyededir. Bu nedenle ölü zaman düzeltmesi sonuçların doğruluğuna olumlu yönde katkı yapmaktadır.



Bunlara ek olarak ölü zamandan kaynaklanan sayma oranı kayıpları dikkate alındığında x veya gama ışını spektrometresinde sayma oranları kabaca aşağıda verilen şekilde sınıflandırılabilir:

Düşük sayma oranı < 30000 saniye başına sayma (cps)

30000 < Orta sayma oranı < 100000 saniye başına sayma (cps)

Yüksek sayma oranı > 100000 saniye başına sayma (cps)

Son olarak bu sınıflandırmaya bağlı kalındığında, bir önceki çalışmada önerilen “integral düzeltme” (Karabıdak, 2013) düşük sayma oranlarında etkin iken bu çalışmada önerilen “diferansiyel düzeltme” veya “bozunan kaynak yöntemi” orta ve yüksek sayma oranlarında etkilidir. Ayrıca dalgalanmaların yüksek olduğu sayma oranlarında yine bu model etkin bir ölü zaman düzeltmesi sağlamaktadır (Galushka, 2013).

Tablo 1. Mermer Numunelerin Kütle Soğurma Katsayıları.

Radyoaktif Kaynak	Enerji (keV)	Kütle Soğurma Katsayısı (cm <sup>2</sup> /gr)		
		Düzeltilmemiş	Düzeltilmiş	Teorik <sup>a</sup>
<sup>109</sup> Cd	88	0.181±0.059	0.182±0.055	0.189
<sup>57</sup> Co	122	0.166±0.010	0.168±0.010	0.155
	136	0.131±0.028	0.137±0.026	0.147
<sup>133</sup> Ba	276	0.108±0.012	0.110±0.012	0.110
	302	0.101±0.008	0.103±0.008	0.106
	356	0.098±0.005	0.099±0.005	0.100
	383	0.083±0.012	0.086±0.012	0.096

<sup>a</sup>XCOM (1999)

## Kaynaklar

Berger, M.J. ve Hubbell, J.H., 1987 XCOM: Photon cross-sections on a personnel computer (version 1.2), NBSIR85-3597, National Bureau of Standarts, Gaithersburg, MD, USA, for version 3.1, 1999, <http://physics.nist.gov/>.

Choi, H. D., 2009, Counting statistics distorted by two dead times in series which end with an extended type dead time, Nuclear Instruments and Methods A, 599, 251-259.

Evans, R. D., 1955, The Atomic Nucleus, MacGraw-Hill, Bombay, 503 p.

Galushka, A. N., 2013, Diferansiyel ve integral ölü zaman düzeltme üzerine bir tartışma, S. M. Karabıdak ile e-posta üzerinden iletişimle.

Gardner, R. P. ve Liu, L., 1997, On extending the accurate and useful counting rate range of GM counter detector systems, Applied and Radiation Isotopes, 48, 1605-1615.

Hashimoto, K. ve Yamada, S., 1999, Counting losses due to saturation effects of scintillation counters at high counting rates, Nuclear Instruments and Methods A, 438, 502-510.

Karabıdak, S. M., Çevik, U. ve Kaya, S., A new method to compensate for counting losses due to system dead time, Nuclear Instruments and Methods A, 2009, 361-364.

Karabıdak, S.M., Kaya, S., Çevik, U. ve Çelik A., 2011, Determination of proper peaking time for Ultra-

LEGe detector, Radiation Measurements, 46, 446-450.

- Karabıdak, S. M. ve evik, U., 2013, Decaying source model: alternative approach to determination of true counting rates at X and Gamma ray counting systems, Radiation Measurements, 58, 18-23.
- King, S. H. Ve Lim, C. B., 1985, Pulse pile-up, dead time, derandomization, and count rate capability in scintillation gamma cameras, IEEE Transactions on Nuclear Sciences, 32, 807-810.
- Knoll, G. F., 2000, Radiation Detection and Measurement, Third Edit., Wiley, New York, 802 p.
- Kurbatov, J. D. ve Mann H. B., 1945, Correction of G-M counter data, Physical Review, 68, 40-43.
- Ruark, A. E. ve Devol, L., 1935a, Theory of radioactive fluctuations, Physical Review, 48, 772-772
- Ruark, A. E. ve Devol, L., 1935b, The general theory of fluctuations in radioactive disintegration, Physical Review, 49, 355-367.
- Rutherford, E., Geiger, H. ve Bateman, H., The probability variations in the distribution of  $\alpha$  particle, Philosophical Magazine, 20, 698-707.
- Schiff, L. I., 1935, Statistical analysis of counter data, Physical Review, 50, 88-96.