



GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ



FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ

Gümüşhane University Journal of Science and Technology Institute

GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ YAYINI

PUBLISHED BY GÜMÜŞHANE UNIVERSITY SCIENCE AND TECHNOLOGY INSTITUTE



ISSN 2146-538X

CİLT/VOLUME: 3

SAYI/NUMBER: 2

YIL/YEAR: 2013

Gümüşhane University Science and Technology Institute Bağlarbaşı Mahallesi 29100 Gümüşhane/TURKEY
gufbed@gumushane.edu.tr Tel: 0 456 233 75 36 Faks: 0 456 233 74 27

X ve Gama-Işını Dedektörlerinde Ölü Zaman Düzeltmesi - Kısım 1- İntegral Düzeltme

S. M. KARABIDAK*

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

Geliş tarihi/Received 04.06.2013

Düzeltilerek geliş tarihi/Received in revised form 08.07.2013

Kabul tarihi/Accepted 10.07.2013

Özet

Yarıiletken dedektörlerinin kullanıldığı spektrometrik kantitatif ve kalitatif analizlerinde, analizlerin doğruluğu için sayma kayıplarının belirlenmesi ve telafi edilmesi önemlidir. Spektrometrelerdeki bu sayma kayıpları yığılma pulsları, uzatılan ve uzatılmayan sistem ölü zamanlarından veya bu üç mekanizmanın ikili ve üçlü bileşimlerinden meydana gelir. Bu çalışmada, yukarıda ifade edilen üç faktörden ileri gelen sayma kayıplarını telafi etmek için yeni bir yöntem önerilmiştir. Bu doğrultuda bir program geliştirildi. Önerilen yöntemi test etmek için bir takım deneysel çalışmalar yapılmıştır. Sonuç olarak, önerilen yöntemin düşük ve orta dereceli sayma oranlarında etkin bir düzeltme sağladığı görülmüştür.

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

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

Abstract

Determination of and compensating for count losses for the correctness of analyses in spectrometric analysis of qualitative and quantitative use of semiconductor detectors are of 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. In this work, a new method is suggested for compensate for counting losses resulting from above-mentioned three factors. For this purpose, a source code was developed. A number of experimental studies were performed to test the proposed method. As a result, it was seen to provide an effective correction of proposed method at low-and middle-grade counting rates.

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

(*) Salih Mustafa KARABIDAK, smkarabidak@gumushane.edu.tr, Tel: (456) 233 74 25/1121

1. Giriş

Yarıiletken dedektörün aktif hacmi içerisinde gelen radyasyon ile üretilen iyonizasyon, dedektör elektrotları arasına uygulanan elektrik alanı ile taşınan yüklü parçacıkların oluşturulması olarak tanımlanır. İyonize parçacıkların üretilmesi ve toplanması, gelen fotonun enerjisine ve dedektör ortamına bağlı rastgele istatistiksel değişimlerin bir konusudur. Öz ayırma sınırlaması, gelen radyasyonu bir elektrik sinyaline çevirme sürecinde de vardır (Tennelec, 1986). Çıkış sinyali, yarıiletken gama ve x ışını dedektörlerinde saymaların doğru bir şekilde elde edilmesi ve analizinin sağlanması için çeşitli işlemlere maruz bırakılır. Gelen radyasyon tarafından üretilen yüklü parçacıkların toplanması ve işlenmesi için gerekli olan zaman birçok uygulamada önemlidir. Eğer yük toplama zamanı yükselticinin pikleşme zamanı ile karşılaştırılmayacak kadar kısa değil ise düzeltilmiş sinyal sayısında bir kayıp görülecektir (Gerardi vd., 2006). Yük toplama zamanı; dedektör geometrisine, ortama, elektrik alana ve dedektör aktif hacminde etkileşmenin olduğu noktaya bağlıdır.

Optimize edilen bir spektrometre sistemi deneysel sınırlılıkların verilen bir kurgusu içinde elde edilebilir en iyi enerji çözünürlüğünü sağlar. Sistemi en uygun hale getirme; herhangi bir sistemde elektronik donanımın uygun seçimini, çözünürlük uyuşmasının bilgisini ve sayma oranı performansını gerektirir. Dedektör, ön yükseltici, yükseltici ve analog dijital çevirici birleşimi radyasyon belirleme sistemi elektroniğinin en kritik parçasıdır. Dünyanın en iyi yükselticisi dahi zayıf sinyal-gürültüsü veya sistemin ön ucunun uygunsuz seçimi ile oluşan sayma oranı kısıtlamalarını telafi edemeyebilir. Uygun yükselticinin seçimi iyi dedektör ve ön yükseltici birleşiminin performansını artırır. Sistem ayırma gücü; kaynak ve dedektör etkileşimi, dedektör-ön yükseltici-yükseltici birleşimi, puls işlemci şekli ve sistem sayma oranı ile belirlenir (Tennelec, 1986).

Modern gama ve x ışını spektrometrelerinin çıktısındaki ana sınırlama aktif dedektör hacminde iyonize radyasyon ile üretilen yüklerin toplanması ve ardışık olarak kullanılan

elektronik modüllerle puls işlemesi için geçen süredir (Pomme, 2001). Tüm dedektör sistemlerinde, iki ayrı pulsu iki ayrı olay olarak kaydetmek durumunda olan sayma sisteminin ölü zaman olarak adlandırılan minimum bir toplama zamanı vardır. Bu ölü zaman boyunca, sistem gelen diğer fotonlara karşılık vermediğinden bu olaylar kaybedilir. Çok kanallı puls analizörü veya sayma sistemi kullanıcılarının karşılaştığı ana sorunlardan birisi, analizör ve sayma sisteminin ölü zamanından kaynaklanan sayma kayıplarının sonuçlarını düzeltmektir. Bu problem, bilinen ya da ölçülen toplam araç için gerçek zamanından daha ziyade işlem zamanının tüm sayma çalışmalarında yerine getirilmesi ile otomatik olarak çözülebilir (Deighton, 1961).

Sayma sistemlerinin ölü zaman davranışının iki modeli sıklıkla kullanılır: *paralyzable* (*uzatılan*) ve *non-paralyzable* (*uzatılmayan*). Bu iki model, yalnızca doğru sayma oranı yüksek olduğunda farklı olan diğer durumlarda aynı birinci dizin düzeltme kaybı öngörmektedir (Knoll, 2000). Yüksek ve orta ölçekli sayma oranlarında bu modellerin her ikisi uygulanabilir değildir. Bu nedenle ölü zaman kayıpları için düzeltme, veri değerlendirmenin önemli bir görevidir (Szentmiklosi vd., 2007).

Nükleer spektrometre ölçümlerinde; puls kayıpları, puls işleme süresince analog dijital dönüştürücünün (ADC) neden olduğu gelen puls başına *uzatılmayan* ölü zamanı ile geleneksel olarak ilişkilidir. *Uzatılmayan* kavramı, puls işleme boyunca yeni bir pulsun ADC'ye gelmesi ile uzatılmayan ölü zaman periyodu anlamına gelmektedir (ADC giriş kapısı kapatılır). *Uzatılan* olarak adlandırılan sistemler (yükselticinin bulunduğu sistemler) için ölü zaman, en son pulsun ulaşma zaman aralığından başlayarak uzatılır. Ayrıca pile up pulsu, *uzatılan* ölü zamandan kaynaklanan puls kaybının bir türü olarak yorumlanabilir (Pomme, 1998). Bir T_P pikleşme zamanı aralığı içine düşen ardışık pulslar yığılma (pile up) pulsu şeklinde davranır ve bir yığılma pulsu reddetme (PUR) devresi tarafından reddedilen bir puls olarak spektrumdan atılır.

Sayma oranı hemen hemen sabit tutulduğunda ölü zamandan kaynaklanan sayma kayıpları hem

uzatılan hem de *uzatılmayan* ölü zamanlar için türetilen temel ve basit formüllerle düzeltilebilir (NCRP, 1985). Bununla birlikte, sayma oranı önemli ölçüde değiştiğinde veya dalgalandığında matematiksel formüllere dayalı düzeltmeler zor ve karmaşık olabilmektedir. Bu meselenin üzerinden gelebilmek için, sayma suresi boyunca her an ölü zaman etkilerinin otomatik olarak telafi edilmesine imkân veren bir yöntem Kawada (1976) tarafından önerilmiştir. Bu yöntemde, ölü zamandan ileri gelen sayma kaybına eş sayıda puls ilk dizin yaklaşımında kapı tekniğinin kullanılması ile rastgele rastlantı pulsları olarak üretilir ve ertelemeyen sonra çıkan puls katarına eklenir (Kawada vd., 1998).

Değişen ölü zaman problemi nükleer spektrometre ölçümlerindeki hataların çok iyi bilinen bir kaynağıdır. Böylesi durumlarda ölü zaman kayıpları, yalnızca değişen ölü zamana bir radyasyon kaynağı baskın olursa düzeltilebilir. Çözümler birkaç değişik biçimde sunulur: Ölü zamanı sabitleme (Schönfeld, 1966; Görner ve Höhnel, 1970; Wiernik, 1971), belki de gerekli olmayan ölü zaman ve sayma etkinliği kaybı ile sonuçlanan sabit bir ölü zamanda problemi çözme gibi (Blaauw vd., 2001). Fakat sonuçlar sistem ölü zamanından kaynaklanan sayma kayıpları telafi etmekten uzaktır.

Galushka (1993) kaydedilen olayların gerçek bir serisi içine pulsların eklenmesi ile ölü zaman etkisini düzeltmek amaçlı bir teknik önermiştir ve Müller (1993) bu yöntemin geçerliliğini analiz etmiştir. “Kayıp serbest sayma tekniği”, dijital spektrometreler üretilmeden önce Harms’ın (1967) “diferansiyel ölü zaman” düzeltme yöntemini geliştiren Westphal (1979) tarafından önerilmiştir. Sayma kayıpları PUR devresi ve ADC çevirme zamanından ileri gelen ölü zamanla artar. Sayma kayıplarını telafi etmek için birkaç yöntem önerilmiştir. Bu yöntemlerden biri Ortec firması tarafından üretilen DSPEC PLUS TM dijital spektrometresinde kullanılan “sıfır ölü zaman” yöntemidir. Bu yöntem Pomme (2001) tarafından test edilmiştir.

O halde, yalnızca ölü zaman boyunca oluşan sayma kayıplarını telafi etmek nasıl

mümkündür? Bizim niyetimiz orijinal puls sürecini yeniden oluşturmak değildir. Aksine amacımız dikkate alınan zaman aralıkları için asıl sayma oranının veya asıl olayların sayısının güvenilir bir tahminini elde etmektir. Bunu yapabilmek için ya ölü zaman süreci başına ortalama kayıplar için doğru bir değere ya da bireysel düzeltmelere ulaşabilmek için yardım edecek bir yöntem gereksinim duyarız. Çalışmada, bir radyoaktif kaynak ya da bir puls üreticisinin kullanılması yerine analitik bir düzeltme yöntemi geliştirildi. Bu düzeltme için, *pile up*, *uzatılan* ve *uzatılmayan* puls kaybetme mekanizmalarının üçünü birlikte içine alan bir program kodlandı. Bu düzeltme toplam (integral) bir düzeltme olarak ifade edilebilir ve sistemin toplam işlem zamanına (live time) bağlı bir ölçme prensibine dayalıdır. Ayrıca bu düzeltme yöntemi sistem ölü zamanının saymada baskın olmadığı sayma oranlarında ideal olduğu ifade edilebilir. Ek olarak işlem zamanı prensibinin matematiksel özü integral matematiktir. Bu nedenle integral matematik yalnızca sabit (durağan) Poisson süreçlerinde (zamanla değişmeyen) uygulanabilir. Dikkat edilmelidir ki uzun yarı ömürlü radyoizotoplarla yapılan deneysel çalışmalarda zamanla değişmeyen Poisson süreci geçerliliğini korumaktadır.

2. Materyal ve Yöntem

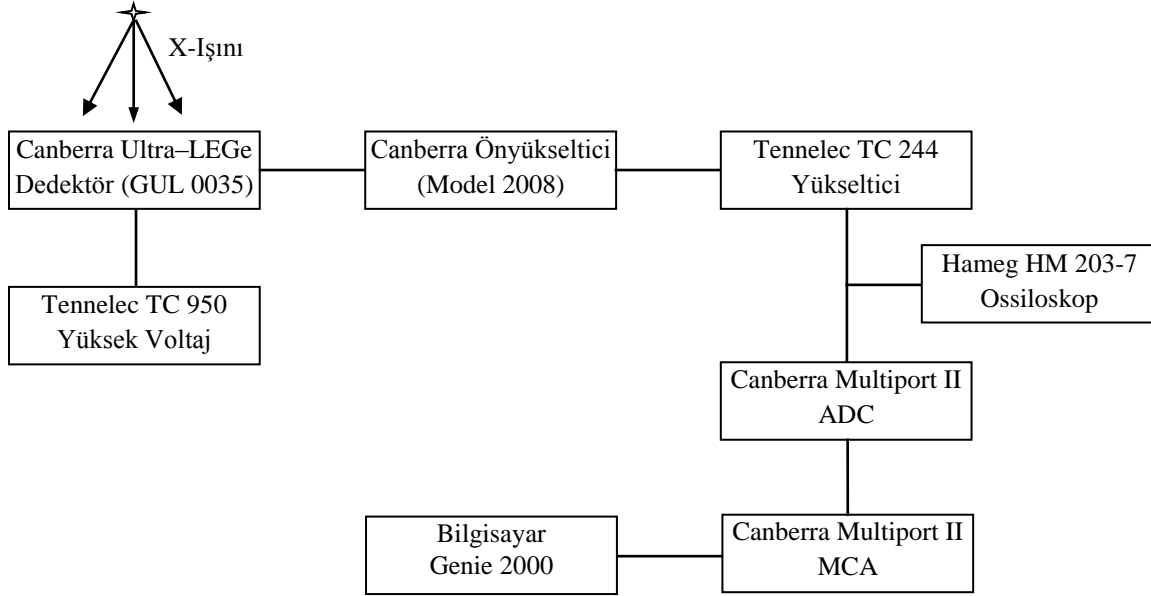
2.1. Deneysel Çalışmalar

K x-ışını şiddetleri ve yığılma pikleri, Amersham firmasından satın alınan 50 mCi’lik halka radyoaktif bir kaynak olan ²⁴¹Am’dan yayınlanan 59,54 keV enerjili fotonların kullanılmasıyla Alfa Aesar firmasından alınan % 99,9 saflıkta bakır (Cu) elementi için ölçüldü. Numunelerden yayınlanan K α ve K β fotonlarını saymada 5,9 keV’de 150 eV’lik bir çözünürlüğe sahip Canberra marka aşırı düşük enerjili Ge (Ultra-LEGe) dedektörü (GUL0035 model) kullanıldı. Sayma sisteminde ortak olarak Genie 2000 spektroskopi yazılımı, Canberra firmasının ön yükselticisi (model 2008), Tennelec TC 244 spektroskopi yükseltici ve Canberra firmasının multiport II ADC ve MCA modülleri kullanıldı. Ayrıca, tüm pulsların genişliğini ölçmek için Hameg firmasının Hm 203–7 model osiloskobu kullanıldı. Ölçümlerde kullanılan x ve gama-

ışını spektrometre sistemi kurgusu Şekil 1’de şematik olarak gösterilmektedir.

Kα foto 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 belirlendi. Ayrıca grafik fit denklemleri bu yazılımın polinomik fit modülü ile elde edildi.



Şekil 1. Ölçümlerde kullanılan X ve Gama-ışını spektrometre sisteminin blok şeması.

2.2. Yapılan Çalışmalar

2.2.1. Pikleşme Zamanı ile Minimum Ayırma Zamanı Arasındaki İlişki

Yükselticinin 0,5, 0,75, 2, 3, 8 ve 12 μ s’lik pikleşme zamanlarına karşılık gelen tüm puls genişliği HM 203-7 osiloskop yardımı ile belirlendi. Belirleme işleminde Şekil 2 dikkate Burada T_R yükselticinin minimum ayırma zamanı, T_W tüm puls genişliği ve T_P yükselticinin pikleşme zamanıdır. Yükseltici üzerinden ayarlanan ilgili pikleşme zamanlarına karşılık tüm puls genişliği osiloskop ekranından okundu. Daha sonra Denklem (1) ile ilgili pikleşme zamanlarına karşılık gelen minimum ayırma zamanları hesaplandı. Pikleşme zamanına karşılık minimum ayırma

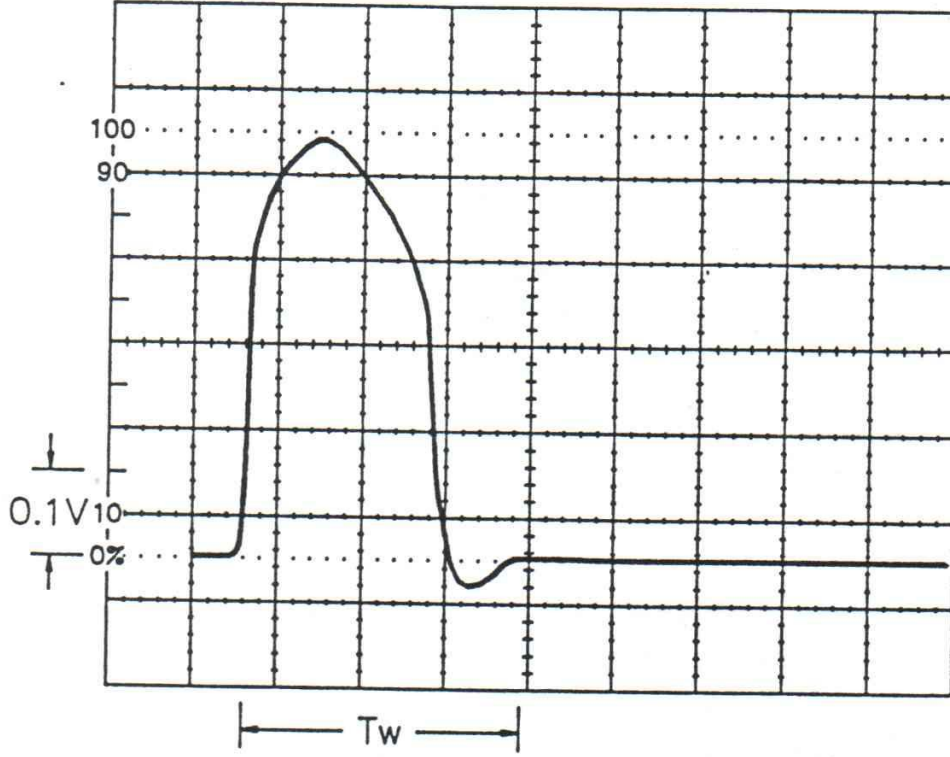
alındı. Minimum ayırma zamanı, pikleşme zamanı ve tüm pulsların genişliği arasındaki ilişki aşağıdaki denklem ile belirlenir (Tennelec, 1986):

$$T_R \geq \frac{T_W}{T_P} - 1 \quad (1)$$

zamanı arasındaki ilişkiyi belirlemek için grafiği çizildi ve fit denklemleri elde edildi (Karabıdak vd., 2011).

$$T_R = B_2 T_P^2 + B_1 T_P + A \quad (2)$$

burada A, B1 ve B2 katsayıları sırasıyla 3,73746E-6, -0,03894 ve 5067,18198’dir.

Şekil 2. Tüm puls genişliği (T_w) (Tennelec, 1986).

2.2.2. Sayma Sisteminin Ölü Zamanının Belirlenmesi

Sistemin efektif T_D ölü zamanı aşağıdaki kategorilerden birine uyar (Tennelec, 1986):

$$T_R > 1,5\mu s + T_C \quad (3)$$

veya

$$T_R < 1,5\mu s + T_C \quad (4)$$

Burada T_C ADC'nin çevirme zamanıdır. Şayet pile up pulsu reddetme devresinin minimum ayırma zamanı $T_C + 1,5$ mikro saniyeden daha büyük ise, bu durumda sistemin ölü zamanı;

$$T_D = T_P + T_R \quad (5)$$

ile verilir. Aksi durumda sistemin ölü zamanı,

$$T_D = T_P + 1,5\mu s + T_C \quad (6)$$

şekindedir. Buradaki $1,5\mu s$ pile up pulsu reddetme devresi aktif durumda iken ardışık iki pulsu açık bir şekilde ayırmak için yükseltici üretici tarafından yükselticiye eklenen ilave bir zamandır. Bu nedenle bu ilave zaman pulsun ADC'den MCA'ya geçmesi ve yazılım tarafından kaydedilmesi (yaklaşık olarak $0,5 - 2\mu s$ civarı) için gerekli olan bir zaman olarak dikkate alınabilir (Gilmore ve Hemingway, 2003). Ölçümlerde 100 MHz elektronik saate sahip Wilkinson türü bir ADC kullanıldı. Bu nedenle ilgili enerji çizgisinin ADC çevirme zamanı aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Spieler, 1999):

$$T_C = \frac{E}{\Delta E} T_{Clock} \quad (7)$$

Burada E çizgi enerjisi, ΔE kanal başına enerji (Canberra, 1998) ve T_{Clock} ADC'nin işlem frekansıdır. Sayma sisteminin ölü zamanı, Denklem (3) ve (4) ile verilen şartlar göz önüne alındığında Denklem (2), (5) ve (6) ifadeleri kullanıldığında aşağıdaki gibi verilebilir (Karabıdak vd., 2011):

$$T_D = B_2 T_P^2 + (B_1 + 1) T_P + A \quad (8)$$

veya

$$T_D = T_P + 1.5 \mu s + \frac{E}{\Delta E} T_{C \text{ lock}} \quad (9)$$

2.2.3. Sayma Sisteminin Ölü Zamanından Kaynaklanan Sayma Kayıplarının Düzeltilmesi

Sistem ölü zamanından kaynaklanan sayma kayıpları için sayma oranları ile ilişkili iki yaklaşım mümkündür. Geleneksel düzeltme formülleri ilk yöntemde kullanılır: bu gözlenen sayma oranlarına dayanır ve ölçme sürecinin sonunda uygulanır. İkinci yöntemde ise bunun tersine görünüşte ölçüm sonucunun veya hesaplanan sayma oranının bilinmesini gerektirmeyen kayıplar için anında düzeltme ya da telafi edilmesini öngören farklı bir yolla çalışmaktadır. İkinci yöntemde, T_D uzunluğundaki bir ölü zamanda saymaların belirli bir k sayısının kaybedilmesi olasılığının tahmin edilmesi mümkündür. Poisson olasılığı ile ilgilendiğimiz için bu olasılık aşağıdaki şekilde verilebilir (Kawada vd., 1998; Müller, 1993):

$$P_k = \frac{(nT_D)^k}{k!} e^{-nT_D} \quad (10)$$

Burada n her bir kanaldaki sayma oranıdır. Her bir ölü zamandan kaynaklanan beklenen L sayma kaybı aşağıdaki ifade ile verilir:

$$L = \sum_{k=1}^{\infty} k P_k = e^{-nT_D} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(nT_D)^k}{(k-1)!} = nT_D \quad (11)$$

Bu durumda, her bir kanaldaki toplam ölü zaman (TDT) ile şu şekilde hesaplanır (Karabıdak vd., 2009):

$$TDT = \text{Sayma} * T_D \quad (12)$$

Sayma sisteminin toplam ölü zamanı (STDT) kanalların tümü üzerinden;

$$STDT = \sum_{i=\text{kanal sayısı}} (TDT)_i \quad (13)$$

ile verilir. Her bir kanaldaki sayma oranı ise

$$n = \frac{\text{Sayma}}{T_L} \quad (14)$$

ifadesi ile verilir. Burada T_{Live} sistemin işlem zamanıdır. Denklem (11) dikkate alındığında sistemin ölü zamanından kaynaklanan toplam sayma kaybı (L) aşağıdaki formül ile elde edilir (Karabıdak vd., 2009):

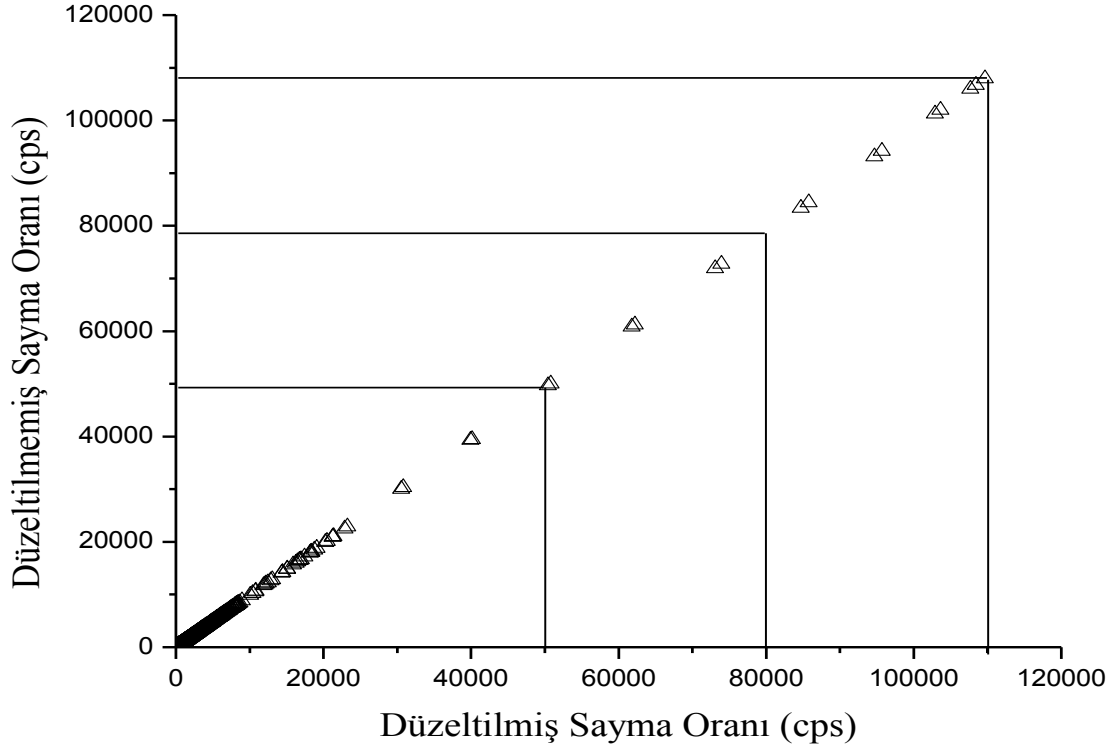
$$L = n * STDT \quad (15)$$

Böylece de düzeltilmiş sayma (CC)

$$CC = \text{Sayma} + L \quad (16)$$

3. Bulgular, Sonuç ve Tartışma

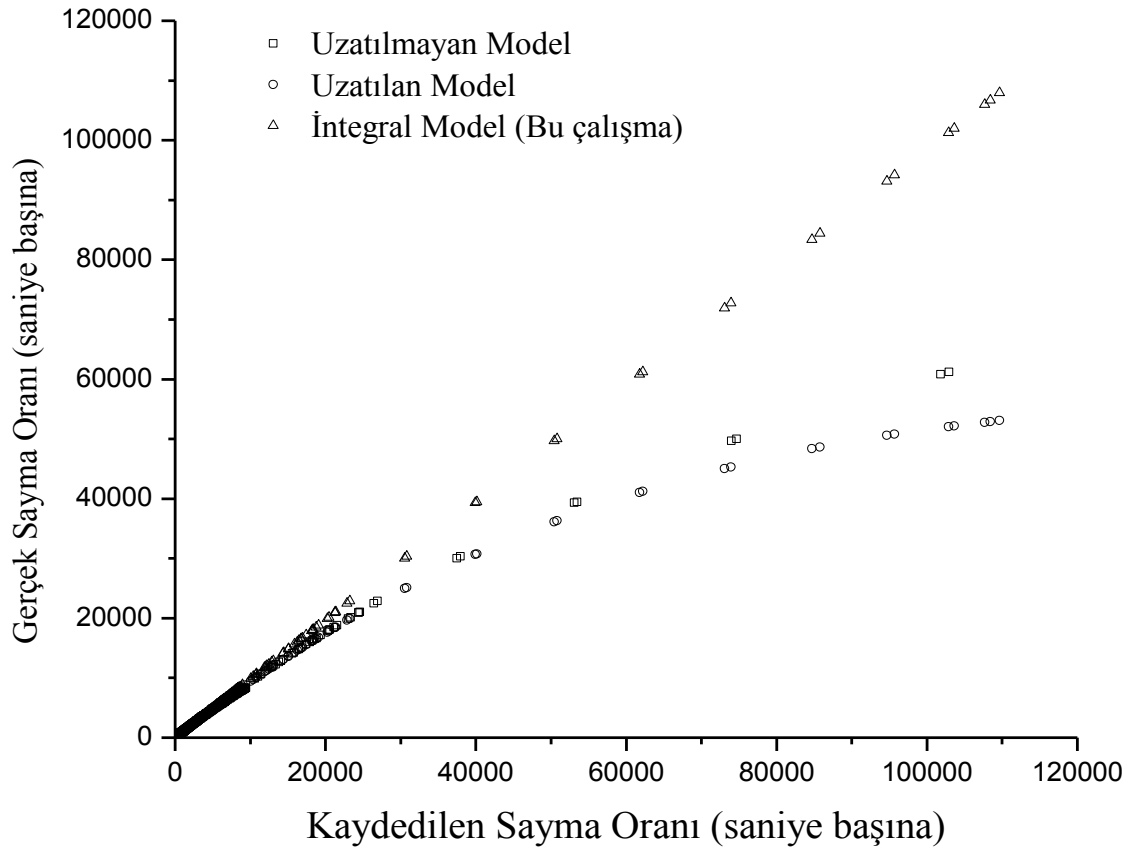
Bu çalışmada önerilen yöntem ile yapılan ölü zaman düzeltmesi sonucu elde edilen düzeltilmiş sayma oranı ile düzeltilmemiş sayma oranı arasındaki ilişki Şekil 3'te verilmiştir. Çalışmada önerilen yeni model (analitik model) sayma oranı düzeltmesinde integral düzeltme öngörmektedir. Bu model ölü zamanın sayma sistemi üzerinde baskın olmadığı düşük ve orta dereceli sayma oranlarında etkilidir. Ayrıca önerilen yeni yöntemle hem ADC'nin toplam ölü zamanını hem de sistemin toplam ölü zamanını elde etmek mümkündür. Bu durum giriş kısmında verilen diğer düzeltme yöntemlerinde mevcut değildir. Ayrıca sıkça kullanılan uzatılan ve uzatılmayan düzeltme yöntemleri sırasıyla yalnızca amplifier ve ADC durumlarını dikkate aldıklarından modern spektrometreler de her iki durumu içinde barındırdığı için bu geleneksel yöntemlerin kullanılması sıkıntılıdır. Buna ek olarak, orta dereceli sayma oranlarında bu geleneksel düzeltme (uzatılan ve uzatılmayan) yöntemleri istenilen düzeltmeleri sağlamamaktadırlar. Böylece, sistem ölü zamanlarından ileri gelen sayma kayıpları için istenen düzeltmeler (*uzatılan* veya *uzatılmayan* ya da her ikisini kapsayan birleşik bir sistem için) kolaylıkla yapılabilir.



Şekil 3. Önerilen ölü zaman modeli ile düzeltilmiş ve düzeltilmemiş sayma oranları arasındaki ilişki.

Bu düzeltme direkt olarak sayma süresi ile ilişkili olduğundan düşük ve orta dereceli sayma oranlarında yani ölü zamanın baskın olmadığı sayma oranlarında etkin bir düzeltme sağlar. Ayrıca pik şekli her bir durumda aynıdır. Bu nedenle de hem ölçüm sonucu elde edilen pik hem de düzeltilmiş sayma aynı

istatistiğe uyar. Çalışmada önerilen model ve diğer sıklıkla kullanılan iki model (uzatılan ve uzatılmayan) karşılaştırmalı grafikleri Şekil 4'te verilmiştir. Buradan da görüldüğü üzere önerilen integral model diğer iki modele göre oldukça iyi sonuç vermektedir.



Şekil 4. Bu çalışmada önerilen model ile diğer iki modelin karşılaştırılması.

Sistem ölü zaman kaybı ve saf Cu elementinin K_{α} ve K_{β} tesir kesitleri yükselticinin mümkün üç pikleşme zamanına göre test edildi. Önerilen yöntem hem sayma sisteminin ölü zamanını tahmin etmede hem de saf Cu elementinin K_{α}

ve K_{β} tesir kesitlerinin hesaplanmasında çok daha doğru sonuçlar verdi. Saf Cu elementinin hesaplanan tesir kesitleri Tablo 1'de görülmektedir.

Tablo 1. Bir uygulama örneği: Saf Cu elementinin K_{α} ve K_{β} tesir kesitleri.

Tesir Kesiti	Pikleşme Zamanı (μ s)						Teorik*
	3		8		12		
	Düzeltilmemiş	Düzeltilmiş	Düzeltilmemiş	Düzeltilmiş	Düzeltilmemiş	Düzeltilmiş	
Cu $\sigma_{K_{\alpha}}$ (b/atom)	44,8	52,6	48,4	53,1	50,0	52,9	52,3
Cu $\sigma_{K_{\beta}}$ (b/atom)	5,97	7,08	6,4	7,31	7,39	6,98	7,21

*Scofield (1973).

Sonuç olarak, bu çalışmada önerilen integral düzeltme yöntemi ile *pile up pulsu*, *uzatılan ve uzatılmayan sistem ölü zamanları* olarak ifade edilen üç mekanizmanın birleşiminden ileri gelen sayma kayıplarını telafi edilebilir. Sayma sisteminin ölü zamanı analitik bir formül ile

belirlenebilir. Bu ölü zaman boyunca oluşan sayma kayıpları Poisson davranışına uyan düzeltilmemiş spektrum göz önünde bulundurulur telafi edilebilir. Bu yeni yöntem sabit düşük ve orta dereceli sayma oranlarında sayma kaybını yeteri kadar düzeltebilmektedir.

Kaynaklar

Blaauw, M., Fleming, R.F. ve Keyser R., 2001, Digital signal processing and zero dead time counting, J. Radioanal. Nucl. Chem., 248, 309-313.

Canberra, 1998, Germanium detectors, User's Manuel, Canberra Industries, pp. 7.3.

Deighton, M.O., 1961, Statistical errors arising from use of a gate pulse train for total live time measurement during pulse amplitude analysis, Nucl. Instr. and Meth., 14, 48-52.

Galushka, A. N., 1993, The method of Poisson's fluxes of accidental events registration, Communication through J. M. Muller.

Gerardi, G., Abbene, L., Manna, A.L., Fauci, F. ve Raso, G., 2006, Digital filtering and analysis for a semiconductor x-ray detector data acquisition, Nucl. Instr. and Meth. A., 571, 378-380.

Gilmore, G. ve Hemingway, J.D., 2003, Practical Gamma-Ray Spectrometry, Willey, New York, 314 p.

Görner, W. ve Höhnel, G., 1970, An automatic life time correction in multichannel counting of short-lived nuclides, Nucl. Instr. and Meth., 88, 193-195.

Harms, J., 1967, Automatic dead-time correction for multichannel pulse-height analyzers at variable counting rates, Nucl. Instr. and Meth., 53, 192-196.

Karabıdak, S. M., Çevik, U. ve Kaya, S., A new method to compensate for

counting losses due to system dead time, Nucl. Instr. and Meth. 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.

Kawada, Y., 1976, A new method of measuring resolving times of counting systems and its application, In Proc. Of the 13th annual Meeting on Radioisotopes in the Physical Sciences and Industry, Tokyo, Japan.

Kawada, Y., Kobayashi, S., Watanabe, K., Kawamura, T. ve Hino, Y., 1998, Automatic Compensation of dead time effects, Appl. Radiat. Isot., 49, 1123-1126

Knoll, G. F., 2000, Radiation Detection and Measurement, Third Edit., Wiley, New York, 802 p.

Müller, J. W., 1993, Some remarks on the Galushka method, Report BIPM 93/2.

NCRP, 1985, A Handbook Radioactivity Measurements Procedures, NCRP Reports No.58.

Pomme, S., 1998, Time distortion of a poisson process and it effect on experimental uncertainty, Appl. Radiat. Isot., 49, 1213-1218.

Pomme, S., 2001, Experimental test of the "Zero Dead Time" count-losses correction method on a digital gamma-

ray spectrometer, Nucl. Instr. and Meth. A., 472, 245-252.

gamma-ray spectrometry, J. Radioanal. Nucl. Chem., 271, 439-445.

Scofield, J. H., 1973, Lawrence Livermore Laboratory, Report UCRL-51326.

Tennelec, 1986, Instruction Manual TC 244 Amplifier, Oxford Instruments Inc.

Schönfeld, F., 1966, Alpha - a computer program for the determination of radioisotopes by least-squares resolution of the gamma-ray spectra, Nucl. Instr. and Meth., 42, 213-218.

Westphal, G.P., 1979, On the performance of loss-free counting – a method for real-time compensation of dead-time and pile-up losses in nuclear pulse spectroscopy, Nucl. Instr. Meth., 163, 189-196.

Spieler, H., 1999, Introduction to radiation detectors and electronics, http://www.physics.lbl.gov/~spieler/physics_198_notes_1999/index.html.

Wiernik, M., 1971, Comparison of several methods proposed for correction of dead time losses in the gamma-ray spectrometry very short-lived nuclides, Nucl. Instr. and Meth., 95, 13-18.

Szentmiklosi, L., Belgya, T., Molnar G.L. ve Revay, Z.S., 2007, Time resolved