T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KATKILI ORGANİK SİNTİLASYON DEDEKTÖRLERİNİN KARAKTERİZASYONU

İrem ARSLAN AYSUNE

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fizik Anabilim Dalı

Fizik Programı

Danışman

Öğr. Gör. Dr. Özgür AKÇALI

Ağustos, 2019

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KATKILI ORGANİK SİNTİLASYON DEDEKTÖRLERİNİN KARAKTERİZASYONU

İrem ARSLAN AYSUNE tarafından hazırlanan tez çalışması 02.08.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Tezli Fizik Yüksek Lisans Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Öğr. Gör. Dr. Özgür AKÇALI

Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışman

Jüri Üyeleri

Öğr. Gör. Dr. Özgür AKÇALI, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Ayşe DURUSOY, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. İskender Atilla REYHANCAN, Üye

İstanbul Teknik Üniversitesi _____

Danışmanım Öğr. Gör. Dr. Özgür AKÇALI sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Katkılı Organik Sintilasyon Dedektörlerinin Karakterizasyonu başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

İrem ARSLAN AYSUNE

Bu çalışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Koordinatörlüğü'nün 2016-01-01-YL01 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

TEŞEKKÜR

Eğitim hayatım boyunca bana destek olan aileme, Yıldız Teknik Üniversitesi'nde tamamladığım lisans ve yüksek lisans eğitimim süresince bütün birikimlerini benimle paylaşan değerli öğretmenlerime ve yüksek lisans tez danışmanım Öğr. Gör. Dr. Özgür AKÇALI'ya teşekkür ederim.

İrem ARSLAN AYSUNE

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ vi
KISALTMA LİSTESİ vii
ŞEKİL LİSTESİ viii
TABLO LİSTESİ ix
ÖZET x
ABSTRACT xi
1 Giriş 1
1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 3
1.3 Hipotez 4
2 Nükleer Ölçüm Sistemleri 5
2.1 Radyasyon Dedektörleri 5
2.2 Sintilasyon Dedektörleri 8
2.3 Organik Sintilatörler 10
3 Deneysel Tasarım 15
3.1 Materyal ve Metot 15
3.2 Ölçüm Sistemi 21
4 Analiz 24
4.1 Ölçümler ve Grafikler 24
4.1.1 Dijital Osiloskop Ekran Görüntüleri 24
4.1.2 DRS4 ile Alınan Ölçümler 26
5 Sonuç ve Öneriler 38
Kaynakça 41
A Kullanılan Malzemelerin Kimyasal Özellikleri 43
B Kullanılan Ekipmanın Elektronik Özellikleri 46
Tezden Üretilmiş Yayınlar 50

SİMGE LİSTESİ

α	Alfa
β	Beta
γ	Gama ışını
μ	Mikro
E_γ	Gama enerjisi

KISALTMA LİSTESİ

AGND	Analog topraklama
AVDD	Analog besleme gerilimi
DRS4	Domino Ring Sampler
GND	Topraklama
HPGe	Yüksek saflıkta Germanyum dedektörü
HV	Yüksek gerilim kaynağı
K	Borosilikat cam
KPTS	Kanal başına hafıza
MA	Multialkali
MC	Metal kanal
PDMS	Polidimetilsiloksan
PMT	Foto çoğaltıcı tüp
POPOP	1,4-bis(5-fenil-2-oksazolil) benzen
PPO	2,5-difeniloksazol
PS	Polistiren
PVC	Polivinilklorür
PVT	Poliviniltoluen
RTV	Oda sıcaklığında donan
SBA	Süper Bialkali
SNR	Sinyal gürültü oranı
SPS	Örnek/Saniye
U	UV cam
UV	Mor ötesi elektromanyetik dalgalar

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Nükleer kararlılık ve bozunma eğrisi 6
Şekil 2.2 Foton-elektron etkileşmeleri 8
Şekil 2.3 Foto çoğaltıcı tüp 9
Şekil 2.4 İnorganik kristalin izinli ve yasaklı enerji aralıkları 11
Şekil 2.5 Organik molekülün enerji diyagramı 13
Şekil 2.6 Sintilasyon aşamaları 14
Şekil 3.1 PVC kalıp 18
Şekil 3.2 Numune 1 19
Şekil 3.3 Numune 5 19
Şekil 3.4 Karanlık oda sistemi 20
Şekil 3.5 Dedektör mekanizması 1 20
Şekil 3.6 Dedektör mekanizması 2 21
Şekil 3.7 Nükleer ölçüm sistemi 1 22
Şekil 3.8 Nükleer ölçüm sistemi 2 23
Şekil 4.1 Arka fon sinyali – 250 ms 24
Şekil 4.2 Gama sinyali – 250 ms 25
Şekil 4.3 Arka fon sinyali – 250 µs 25
Şekil 4.4 Gama sinyali – 250 µs 26
Şekil 4.5 Co-60 gama ölçümü -Tek olay- (Numune 5) 27
Şekil 4.6 Co-60 gama ölçümü -Tepe gerilimi- (Numune 5) 28
Şekil 4.7 Co- 60 gama ölçümü -Çıkış süresi- (Numune 5) 28
Şekil 4.8 Co-60 gama ölçümü -İniş süresi- (Numune 5) 29
Şekil 4.9 Cs-137 gama ölçümü -Tek olay- (Numune 5) 29
Şekil 4.10 Cs-137 gama ölçümü -Tepe gerilimi- (Numune 5) 30
Şekil 4.11 Cs-137 gama ölçümü -Çıkış süresi- (Numune 5) 30
Şekil 4.12 Cs-137 gama ölçümü -İniş süresi- (Numune 5) 31
Şekil 4.13 Co-60 gama ölçümü -Tek olay- (Numune 4) 31
Şekil 4.14 Co-60 gama ölçümü -Tepe gerilimi- (Numune 4) 32
Şekil 4.15 Co-60 gama ölçümü -Çıkış süresi- (Numune 4) 32
Şekil 4.16 Co-60 gama ölçümü -İniş süresi- (Numune 4) 33
Şekil 4.17 Cs-137 gama ölçümü -Tek olay- (Numune 4) 33
Şekil 4.18 Cs-137 gama ölçümü -Tepe gerilimi- (Numune 4) 34
Şekil 4.19 Cs-137 gama ölçümü -Çıkış süresi- (Numune 4) 34
Şekil 4.20 Cs-137 gama ölçümü -İniş süresi- (Numune 4) 35
Şekil 4.21 Co-60 gama sinyali karşılaştırmalı analiz 36
Şekil 4.22 Cs-137 gama sinyali karşılaştırmalı analiz 37
Şekil B.1 PMT akım şeması 48

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.5 Malzeme katkı oranları 18
Tablo A.1 Polistrenin kimyasal özellikleri 43
Tablo A.2 Çözücülerin kimyasal özellikleri 43
Tablo A.3 Katkı malzemelerinin özellikleri 44
Tablo A.4 BRV epoksi özellikleri 44
Tablo A.5 Sezyum-137 45
Tablo A.6 Kobalt-60 45
Tablo B.1 R9880U-110 PMT teknik özellikler 46
Tablo B.2 R9880U-04 PMT teknik özellikler 47
Tablo B.3 Dijital osiloskop teknik özellikler 48
Tablo B.4 DRS 4 teknik özellikleri 49

ÖZET

Katkılı Organik Sintilasyon Dedektörlerinin Karakterizasyonu

İrem ARSLANAYSUNE

Fizik Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Öğr. Gör. Dr. Özgür AKÇALI

Bu tez çalışmasında, epoksi tabanlı katı organik sintilatörlerin temel sintilasyon özellikleri araştırılmıştır. Katı organik dedektör malzemesine, ağır ve hafif bileşikler farklı oranlarda katkılanarak gama ışını algılama yeteneklerinin değişimi ölçülmüştür. Katkı malzemelerinin ve katkı miktarlarının, kullanılan katı organik malzemenin optik ve mekanik özellikleri ile radyasyon algılama verimine etkisi değerlendirilmiş ve hızlı, düşük maliyetli, kolay elde edilebilir bir sintilasyon dedektörü tasarlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Epoksi, POPOP, radyasyon dedeksiyonu, sintilasyon

ABSTRACT

Characterization of Dopped Organic Scintillation Detectors

İrem ARSLAN AYSUNE

Department of Physics

Master of Science Thesis

Advisor: Assist. Prof. Özgür AKÇALI

In this thesis, basic scintillation properties of epoxy resin based solid organic scintillators were investigated. The solid organic detector material was measured by varying proportions of heavy and light compounds to measure gamma ray sensing capabilities. The effect of additive materials and additives on the optical and mechanical properties of solid organic material and the effect of radiation detection was evaluated and a fast, low cost, easily obtainable scintillation detector was designed.

Keywords: Epoxy, POPOP, radiation detection, scintillation

1
Giriş

1.1 Literatür Özeti

Radyasyon ölçüm sistemleri, belirlenmek istenen radyasyon tipine ve enerji aralığına göre geliştirilmektedir. Dedektörler, doğal veya yapay ışınımın madde ile etkileşmesi sonucu gerçekleşen iyonlaşma mekanizmalarının çeşitli sistemler vasıtasıyla elektrik sinyallerine dönüştürülmesi prensibiyle çalışırlar. Ticari ve araştırma amaçlı en çok tercih edilen dedektör tipleri, gaz dolu dedektörler, yarı iletken dedektörleri ve sintilasyon dedektörleridir. Sintilasyon dedektörleri, radyasyon ile etkileşen sintilatör malzemenin görünür bölgede ışık yayınlaması ve bu ışığın elektrik sinyallerine dönüştürülmesi prensibiyle çalışırlar. Organik ve inorganik materyaller içeren iki tip sintilasyon dedektörü bulunmaktadır. Bu tip dedektörlerde kristale foton yayınlama olasılığını arttırmak için aktivatör denilen safsızlıklar eklenebilir. Plastik sintilasyon dedektörleri, nükleer fizik ve yüksek enerji fiziği alanlarında uzun yıllardır kullanılmaktadır. İlk örnekleri 1950'lerde kullanılmaya başlanan plastik sintilatörler, polimer içerisinde çözünmüş organik ışıma yapan bileşikler içeren katı malzemeler olarak tanımlanabilir. Organik sintilatörlerin, hızlı sonuç vermeleri ve istenilen şekil ve ebatlarda elde edilebilmeleri, tercih edilmelerinde önemli bir etkendir. Yapılan çalışmalar, yüksek verimle çalışan, düşük maliyetli, hızlı ve birçok alanda beklenilen ihtiyacı karşılayacak sintilasyon dedektörleri tasarımı ve üretimi üzerinedir. Fizik, kimya, malzeme ve mühendislik bilimindeki gelişmeler, bu tasarım ve üretim aşamalarının hız kazanmasını sağlar.

Yakın geçmişte, bir takım organik ve inorganik katkı malzemelerinin sintilatörün ışıldama verimi üzerine etkileri önemli bir araştırma konusu olmuştur. Kore, Kyungpook Ulusal Üniversitesi, bilim insanları J.M. Park, H.J. Kim, Y.S. Hwang, D.H. Kim, H.W. Park, 2012 yılında yaptıkları çalışmada, emisyon dalga boyunu kontrol altında tutabilmek için kuantum nokta katkılı plastik sintilatörler imal etmişlerdir. CdSe / ZnS ve genellikle sintilasyon özelliklerini geliştirmek için kullanılan PPO (2, 5difeniloksazol) katkılanmış

stiren tabanlı plastik sintilatörün karakterizasyonu yapılmıştır. Çalışma sonucunda, kuantum nokta katkılı plastik sintilatörlerin düşük bozunum süresine sahip olduğu belirlenmiştir[1]. 2013 yılında P.N. Zhmurin ve diğer araştırmacılar, dedektörlerde kullanılan sintilatörlere yapılan katkıların, nötron gama ayırım gücü üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Yapılan çalışmada aktivatör olarak, 1,4-dimethyl-9, 10 diphenylanthracene (DMDPA), tris(dibenzoylmethide) , (1,10phenanthroline) Europium(III) (Eu[DBM]3Phen) gibi organikler kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, farklı oranlarda katılan aktivatör malzemelerine bağlı olarak, nötron gama ayırım gücündeki artış belirlenmiştir[2]. Aynı yıl içerisinde I.A. Pawełczak ve çalışma arkadaşları, dedektörde oluşturulan, darbe şekli ve parıldamada Bor-10 katkısının etkileri araştırılmış ve plastik sintilatörde Bor-10 katkılanmasının nötron-gama ayırım gücünde artışa yol açtığını gözlemlemişlerdir. Deneysel veriler ve benzetimlerin sonucunda, Bor katkılı bu plastiklerin, nötron algılama sistemleri için iyi bir aday olduğu düşünülmektedir[3]. Japonya Niigata Üniversitesi bilim insanları ve Carlit Holdings Co. Ltd. işbirliği ile 2014 yılında, güçlendirici eklenmiş, oda sıcaklığında sıvı halde bir malzeme üretilerek geliştirilmiş bir plastik sintilatörü piyasaya sunmuştur. Belirli oranlarda Gadolinyum katkılanan sintilatörün ışığı zayıflatma miktarının yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ancak daha yüksek zayıflatma için daha fazla Gadolinyum katkılanması, dedektörün maliyetini ve zehirli madde miktarını arttırmaktadır[4]. 2014 yılının sonlarına doğru Rasoul Ghadiri, Jamshid Khorsandi, plastik sintilatörün gama ışınlarına karşı tepkisinin Geant4 Monte Carlo kodu ile incelenmesi üzerine yaptıkları çalışmada, NE-102 sintilatörünün gama ışını tepkisini belirlemek ve gama spektrumunu incelemek için Geant4 kodu kullanarak bir NE-10 sintilatörü tasarlamışlardır. Simülasyon sonuçları deneysel verilerle karşılaştırıldığında deneysel veriler ve benzetim sonuçları arasında tutarlılık olduğu gözlenmiştir. Nükleer ölçüm sistemlerinde simülasyon teknolojilerinin geliştirilmesi, sintilatör ve dedektör geometrisinin, ölçüm sonuçlarından yüksek verim alınabilecek şekilde oluşturulmasını sağlar[5].

2015 yılında Natalia Zaitseva ve ekibi sıvı sintilatörlere katkılanan trans-stilbenin büyük ölçekli nötron dedektörlerinde performansı arttırdığını gözlemlemişlerdir[6]. Aynı yılın sonlarında Paul Lecoq, sağlık uygulamalarında kullanılmak üzere, farklı sintilatör kristalleri geliştirilmesi üzerine çalışmıştır. Çeşitli kristal ve seramik malzemelerden üretilmiş sintilatörlerin, X-ray, PET ve SPECT görüntülemede, ışık verimi ve enerji

çözünürlüğü üzerine etkilerini araştırmıştır. Talyum katkılı sodyum iyodür (NaI-Tl) ve sezyum iyodür (CsI-Tl) sintilatörleri ticari düzeyde en çok kullanılanlar olmasına rağmen şeffaf dökme seramiklerin, kolay şekillendirilmesi, ekonomik uygunluğu ve standart katı malzemeden daha iyi parıldama özelliği göstermesiyle gelecekte yapılacak nanoteknolojik geliştirmelerle kullanım alanının artacağı öngörülmektedir[7].

Yapılan çalışmalar birbirini ve diğer bilim dallarındaki teknolojik gelişmeleri takip etmektedir. Bu gelişmelerin bir sonucu olarak elde edilen yüksek verimli plastik sintilasyon dedektörleri yüksek enerji fiziği, nükleer fizik araştırma alanlarında ve radyasyon algılanmasında kullanılmaktadır.

1.2 Tezin Amacı

Savunma ve enerji sanayi, sağlık, ulaşım, uzay bilimleri, değerli maden endüstrisi, eğitim ve araştırma gibi birçok alanda hayatımızın her anında varlığını göstermekte olan nükleer fizik bilimi ve nükleer endüstrisindeki gelişmeler, günümüz dünyasında, yazılım, makine endüstrisi, malzeme bilimi, tıp ve daha birçok alandaki teknolojik ilerlemeler ve yatırımlar sayesinde ivme kazanmıştır. Nükleer bilimlere hayatın her alanında ihtiyaç duyulması ve aktif olarak kullanılmasıyla birlikte, daha ulaşılabilir, taşınabilir ve hızlı radyasyon dedektörlerinin ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

Bu tez çalışmasında, çok amaçlı nükleer ölçüm sistemlerinde kullanılmak üzere küçük hacimlerde veya farklı geometrilerde katkılı organik sintilatörlerin üretilmesi ve geliştirilmesi üzerine çalışılmıştır.

Nükleer algılama sistemlerinde kullanılan yüksek saflıkta yarıiletkenler, inorganik kristaller ve aromatik bileşikler karşılaştırıldığında, organik dedektörlerin [4] üretimi ve şekillendirilmesi diğer malzemelere kıyasla çok daha kolay ve ucuzdur. Bu malzemelerin diğer bir avantajı ise farklı katkı malzemelerinin [3,8] kullanımına olanak sağlamalarıdır. Malzeme bilimindeki son gelişmeler, nanomalzeme [1,9] alanındaki ilerlemeler organik kimyasalların kullanım alanındaki artış, bu konudaki çalışmaları arttırmıştır. İnorganik kristallerle kıyaslandığında ışık verimi düşük olan organik malzemelerin avantajı ise hızlı (~10 ns) tepki süreleridir.

Bu alandaki araştırmaların kapsamı aynı ve/veya farklı taban malzemesine [11] sahip dedektörlere yapılacak farklı katkılarla belirli bir tür iyonize radyasyon ile etkileşimi arttırmak [3,8,10], tıbbi veya bilimsel alanda kullanılabilecek kameraları [12,13] geliştirmek, kirlenme kontrolü için hafif ve taşınabilir ölçüm sistemleri [4] üretmek olarak özetlenebilir. Bu çalışmada hedeflenen, düşük maliyetli, kolay elde edilebilir ve taşınabilir malzemelerden çok amaçlı bir sintilasyon dedektörü üretilmesidir.

1.3 Hipotez

Radyasyon sağlık, güvenlik, enerji gibi ihtiyaçlar nedeniyle günlük hayatın bir parçası olmuştur. Bu kullanım çeşitliliği radyasyon algılama ve ölçüm tekniklerinin amaca göre farklılaşmasını gerektirir. Sağlık alanında kullanılan nükleer yöntemler tek enerjili kaynakları ve sabit enerjili X ışınlarını içerdiğinden, hızlı ve yüksek etkileşim gücüne sahip küçük dedektörleri gerektirir. Diğer taraftan güvenlik amaçlı ölçüm sistemleri ise çok büyük hacimlerden gelecek zayıf sinyalleri belirleyebilmelidir. Temelde kısa dalga boylu radyoaktif ışımaları, görece uzun dalga boylu görünür bölge ışımasına dönüştürecek ölçüm sistemlerinin amaca yönelik olarak geliştirilmesi önemlidir. Biz bu çalışmada, katkılanmış iki bileşenli epoksi sintilatör üretim yönteminin geliştirilmesinin büyük hacimli sistemlerde güvenlik ölçümü için uygun bir çözüm üretebileceğini öneriyoruz. Sıvı fazda hazırlanan bu yapıların hızla uygun geometride hazırlanabilen ve gerekli ölçüm hız ve verimini sağlayan dedektörler olacaklarını değerlendiriyoruz.

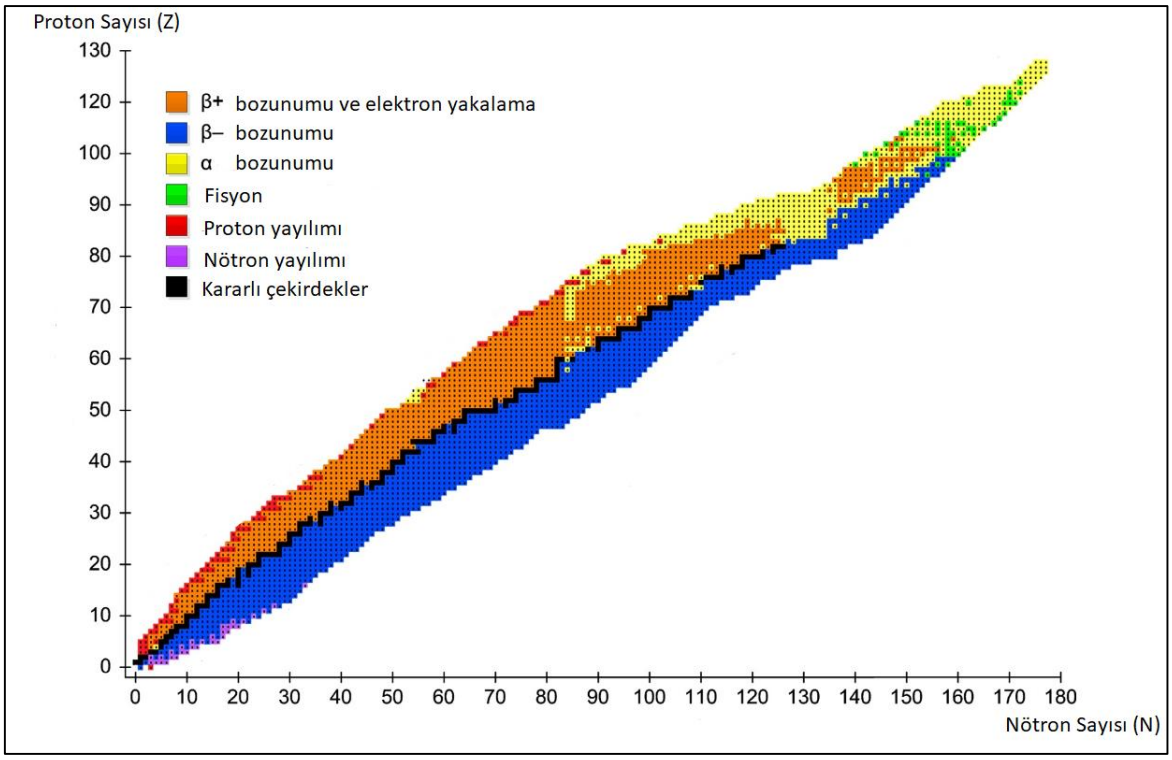
2
Nükleer Ölçüm Sistemleri

2.1 Radyasyon Dedektörleri

Atom çekirdeğini oluşturan nükleonların sayısı ve cinsi elementin kararlılık durumunu belirler. Hafif çekirdekler için proton sayısının, nötron sayısına yaklaşık olarak eşit olduğu izotoplar kararlı durumda olarak kabul edilebilir. Daha ağır çekirdekler için çekirdekteki proton sayısı arttıkça, Coulomb kuvvetlerini dengeleyebilmek için nötron sayısının proton sayısından fazla olması gerektiği bilinmektedir fakat bu fazla enerji atomda kararsızlığa sebep olmaktadır. Şekil 2.1 de, izotopların çekirdeklerinde bulunan proton ve nötron sayılarına bağlı kararlılık eğrisi verilmiştir. Radyoaktif parçacık olarak adlandırabildiğimiz kararsız izotoplar, kararlı duruma gelebilmek için füzyon ve fisyon reaksiyonları, alfa, beta, gama bozunumu ve elektron yakalama gibi reaksiyonlardan birini ya da art arda birkaçını zincirleme reaksiyon şeklinde yapabilirler ve bu tepkimelerin sonucunda elektromanyetik dalgalar halinde veya parçacık yoluyla enerji açığa çıkarırlar. Bu şekilde gerçekleşen enerji yayımlanmasına radyasyon denilmektedir[14].

Doğal radyoaktif olarak tanımladığımız bazı izotoplar enerji salınımını kendiliğinden yapmaktayken, dışarıdan uyarılma sonucunda da yapay radyasyon oluşturulabilmektedir. Nükleer dönüşümler ve reaksiyonların gerçekleşmesi sonucu açığa çıkan enerji, farklı şiddete sahip farklı radyasyon türleri olarak gözlemlenmektedir.

Nükleer radyasyonu, iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak iki gruba ayırabiliriz. Madde ile etkileşimi sonucu yüklü parçacıklar oluşturabilen radyasyon türlerine iyonlaştırıcı radyasyon denilebilir ki parçacıklar ya da elektromanyetik dalgalar halinde yayılabilir. İyonlaştırıcı radyasyon, yüklü parçacıklar (elektron, pozitron, proton, alfa parçacıkları ve ağır iyonlar), gama ve X ışınları ve nötronlar olarak sınıflandırılabilir. Bu radyasyon türlerinin her birinin karakteristik özelliklere sahip olduğu ve madde içerisinde farklı iyonlaşma tepkimeleri gerçekleştirdikleri bilinmektedir[15].



Şekil 2.1 Nükleer bozunma ve kararlılık eğrisi [14]

20. yüzyıl başlarından itibaren, radyoaktif kaynaklar, başta sağlık sektöründe görüntüleme, tanı ve tedavi amaçlı olmak üzere, savunma sanayi, enerji, uzay ve havacılık çalışmaları, radyografik görüntüleme teknolojilerinde ve daha birçok alanda kullanılmaktadır. Radyoaktif kaynakların doğrudan veya dolaylı olarak kullanıldığı bütün çalışmalarda, kaynak aktivitesinin belirlenmesi ve canlı, çevre sağlığının korunması amacıyla radyasyon dedektörleri kullanılmaktadır.

İyonize radyasyon türlerinin algılanması için, farklı nükleer algılama sistemleri kullanılabilir ve bu algılama sistemleri benzerlik gösterir. Radyasyonun yalnızca varlığını tespit edebilen dedektörler olduğu gibi bir kısım dedektörler ise gelen radyasyonun enerjisini ve radyasyona sebep olan kaynak türünün tespit edilmesini sağlar.

Radyasyon dedektörlerinin çalışma prensibi çok temel olarak, nükleer tepkime sonrası, çekirdekten dışarı yayımlanan enerjinin, yolu üzerinde rastladığı diğer maddeler ile etkileşiminin incelenmesine dayanır. Farklı tür ve enerji aralıklarında olabilen bu etkileşimler, çeşitli nükleer ölçüm sistemleri yardımıyla algılanarak ve analiz edilerek radyasyonun türü ve enerjisi belirlenebilir.

Radyasyon algılama sistemlerinin tasarımında ve üretiminde göz önünde bulundurulması gereken en önemli olan husus, hangi alanda ve ne amaçla kullanılacağıdır. Bilinen bir kaynak aktivitesinin ölçülmesi, anlık doz ölçümü ya da çevre sağlığını korumak amacıyla bir alanın taranması için farklı radyasyon dedektörleri gerekmektedir. Aynı zamanda hız, erişilebilirlik, maliyet, dedektöre uygun çalışma ortamı, fiziksel direnç, taşınabilirlik gibi etkenler de göz önünde bulundurulmalıdır.

Radyasyon algılama sistemleri, gazlı dedektörler, sintilasyon dedektörleri ve yarı iletken dedektörler olarak üç ana grupta incelenebilir.

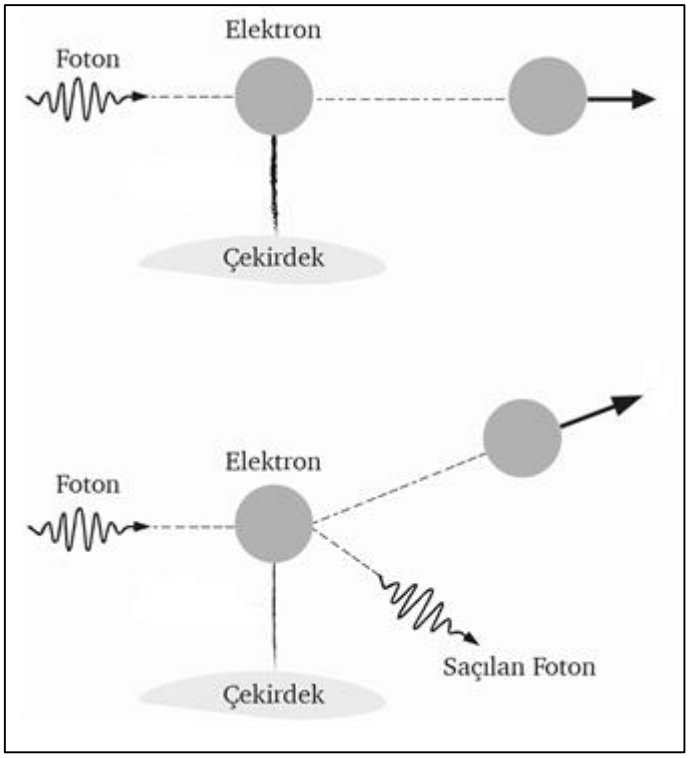
Gazlı dedektörler, gaz odasına gelen radyasyonun gaz taneciklerini iyonlaştırması prensibiyle çalışır. Dedektörden elde edilen sinyalin genliği oluşturulan iyon sayısıyla doğru orantılıdır. Dedektördeki gazın çeşidi ve dedektör sisteminin geometrisine bağlı olarak algılama karakteristiği değişebilir, radyasyonun enerjisi, şiddeti ve yoğunluğu ölçülebilir. İyon odaları, orantılı sayıcılar ve Geiger Müller dedektörleri olarak üç tipi vardır. Bu dedektörler, tiplerine göre radyasyon ölçümü ve analizi için kullanılabildiği gibi insan sağlığını korumak adına kullanılan yalnızca radyasyonun varlığını tespit edebilen dedektörler olarak da üretilebilir[16, 17].

Yarı iletken malzemeler dış etkiyle iletken hale getirilebilen, iletkenlik özelliği iletken ve yalıtkan malzemeler arasında olan kristal katılardır. Kütlece küçük oranlarda katkı malzemesi eklenmesiyle elektrik iletkenlik özellikleri değiştirilebilir. Yarı iletken dedektörlerini, uygun çalışma sıcaklığına ve safsızlıklarına göre değerlendirebiliriz. Oda sıcaklığında çalışan dedektör tipleri olduğu gibi uygun çalışma sıcaklığı için sıvı azot sıcaklığına kadar soğutulması gereken çeşitleri de vardır. Radyasyon algılama sistemlerinde kullanılabilen yarı iletken malzemelere Si, Ge, CdTe, CdZnTe, GeAs, HgI_2 örnek verilebilir. Dış etkenlere karşı dayanıklı olan bu dedektörlerin ölçüm hassasiyeti çok yüksektir ve farklı geometrik tasarımlarda üretilmeleri mümkündür[16, 17].

2.2 Sintilasyon Dedektörleri

Sintilasyon, kelimesi ışıldama anlamına gelmektedir. Belirli fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip malzemelerin, radyasyon ile etkileşimleri sonucunda mor ötesi veya görünür bölgede, gelen radyasyon enerjisinden daha düşük enerjili fotonlar yayınlaması olayına sintilasyon denir.

Yüksek enerjili elektromanyetik dalgalar, madde içerisinde fotoelektrik olay, Compton saçılması ve çift oluşumu olayları sonucunda enerji aktarımı gerçekleştirebilir. Bu etkileşimlerde foton enerjisinin tamamını kaybeder, soğurulur ya da enerjisinin bir kısmını elektrona aktarır ve kendisi daha düşük enerji ile saçılır(Şekil 2.2). Etkileşimler, gelen fotonun enerjisine ve etkileşim elektronlarının çekirdeğe bağlanma enerjisine bağlı olarak gerçekleşmektedir[15].

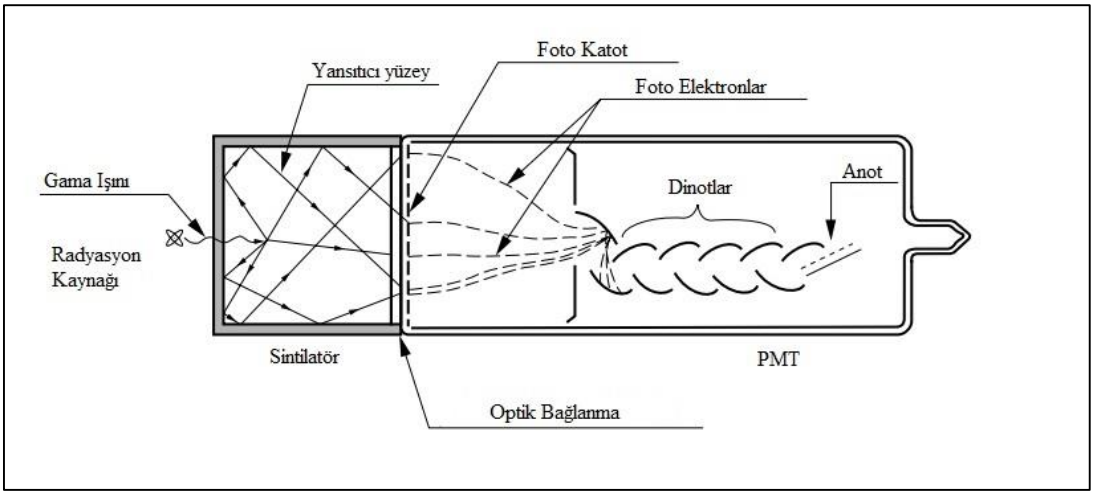


Şekil 2.2 Foton-elektron etkileşmeleri

Fotonların enerjileri elektronların bağlanma enerjilerine eşit veya biraz büyük olduğunda fotoelektrik olay gerçekleşme olasılığı artar; gelen foton enerjisinin tümünü elektrona aktararak soğurulur ve elektronlar koparılabilir ve saçılmaya uğrayabilirler. Bu durum rastlantısal olarak gerçekleşmektedir. Başka bir etkileşim durumunda, gelen fotonun

enerjisi elektronun bağlanma enerjisinden çok fazla olduğunda, elektron çekirdek etrafında serbest gibi davranır yani elektronun bağlanma enerjisi ihmal edilir ve foton ile elektron arasında esnek çarpışma –Compton Saçılması- gerçekleşir. Sistemde gerçekleşen enerji korunumu sonucunda saçılma sonrası fotonun frekansı azalır, rengi değişir. Bu etkileşimlerin gerçekleşme olasılığı ve sayısı, gelen foton demetinin enerjisine ve şiddetine bağlı olduğu gibi maddenin cinsi ve madde miktarına da bağlıdır. Radyasyon zırhı olarak üretilen bir malzeme içerisinden enerji çıkışının olmaması gerektiğinden, radyasyon ve madde etkileşiminin yüksek olması istenmektedir ve malzeme seçimi buna göre yapılmaktadır. Radyasyon algılama sistemlerinde ise gelen radyasyonun dedektör içerisinde yaptığı etkileşimler sonucu belirli enerjilerde fotonların yayınlanması istenir[15].

Sintilaston dedektörleri, sintilatör kristalinin gelen radyasyon ile etkileşmesi sonucu yayınladığı enerji vasıtasıyla gelen radyasyonun enerjisini ve türünü ölçebilmektedir. Radyasyon algılanmasında kullanılan sintilasyon dedektörleri radyasyonun etkilerini algılar.



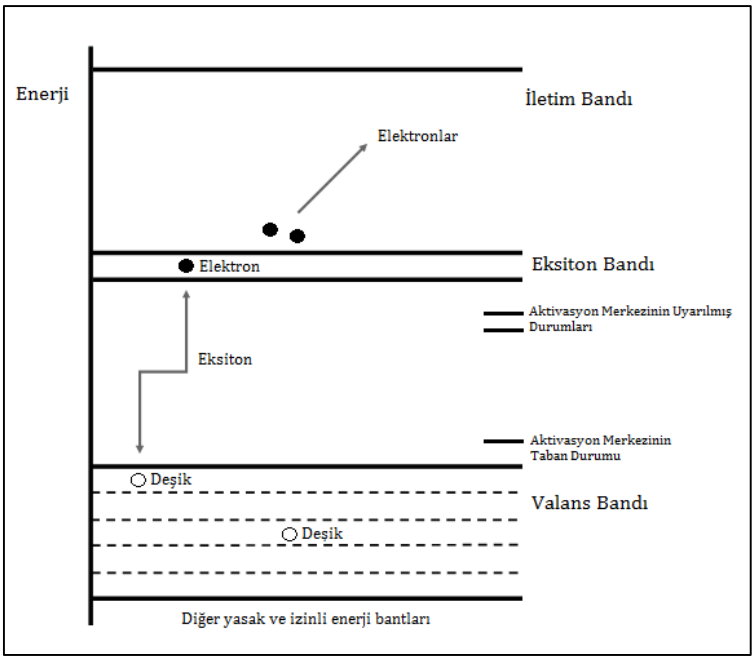
Şekil 2.3 Foto çoğaltıcı tüp [18]

Radyasyonun sintilatör kristali ile etkileşmesi sonucu, meydana gelen ışıldamanın foto çoğaltıcı tüpe ulaşması sonucunda sistemde radyasyon algılanması başlamaktadır. Bu etkileşmenin şiddetine bağlı olarak foto katottan elektron veya elektronlar koparılacaktır. Sintilatörde meydana gelen ışımanın şiddeti, sintilatör tarafından soğurulan gama enerjisiyle orantılı olacağından, foto katotta oluşan ikincil yük miktarı da gama ışını enerjisiyle orantılı olacaktır. Yüksek vakum derecelerine kadar boşaltılmış foto çoğaltıcı

tüp içerisinde dinot olarak adlandırılan metal levhalara çarpan elektronlar, yeni elektronların serbest bırakılmasını sağlar. Dinotlar arasında, yüksek gerilim kaynağı tarafından sağlanan elektriksel potansiyel fark elektronlar için hızlandırıcı elektrik alan sağlar. Oluşan foto elektronlar, elektrik alan yardımıyla foto çoğaltıcı tüp içerisinde bulunan dinotlara doğru hızlandırılırlar. İlk dinottan koparılan elektronlar, elektrik alan etkisiyle ikinci dinota doğru hareket ederler. Sürekli devam eden hızlandırma ve başka elektronlar koparma işlemi sistemde şiddetlendirmeyi sağlar. Anotta toplanan elektronların, bir direnç üzerinden geçirilmesiyle gama kaynağının enerjisiyle orantılı bir elektrik sinyali oluşturulur. Bu sinyalin genliği, çıkış ve iniş süresi, farklı ölçüm sistemleriyle analiz edilebilir ve gelen radyasyonun enerjisi, türü ve diğer karakteristik özellikleri belirlenebilir[15, 18].

2.3 Organik Sintilatörler

Endüstriyel radyasyon algılama sistemlerinde sıklıkla inorganik sintilatörler tercih edilmektedir. Sezyum İyodür (CsI), Sodyum İyodür (NaI), Kalsiyum Florür (CaF_2) gibi inorganik malzemelerdeki sintilasyon mekanizması kristal örgüsü tarafında belirlenen enerji durumlarına bağlıdır(Şekil 2.4). İyonlaştırıcı radyasyonun kristalden geçerken elektronları iletim bandına çıkarması, valans bandında deşikler yaratır ve bunlara bağlı olarak eksitonlar oluşur. Aktivasyon merkezleri(Na, Tl, Eu gibi katkılar) bu elektron-deşik ve eksitonları çekerek (emerek) uyarılmış seviyeye çıkarlar. Bu uyarılmış seviyeden taban duruma düşüş bir foton yayınlanması ile gerçekleşir[15].

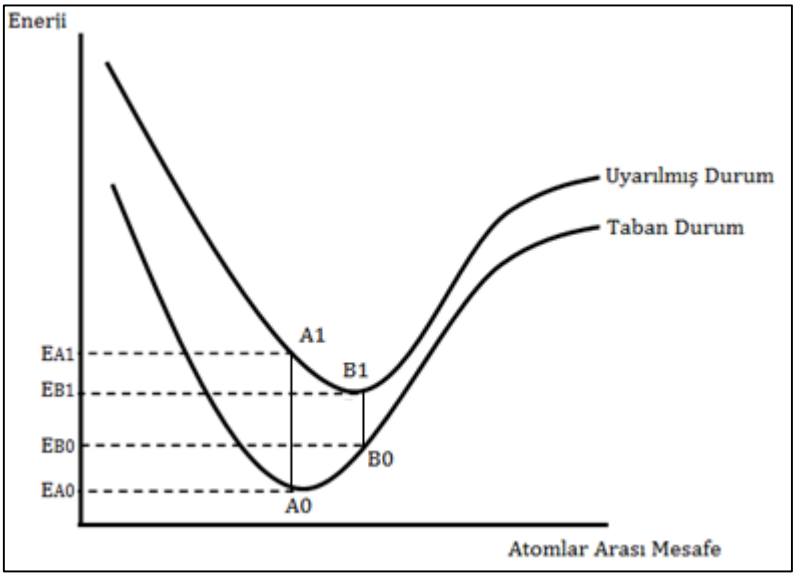


Şekil 2.4 İnorganik kristalin izinli ve yasaklı enerji aralıkları [15]

Organik sintilatörler moleküler uyarım sonucunda ışıma yapmaktadırlar. Organik kristaller ve sıvı organikler olarak incelenebilirler. Büyük çoğunluğu aromatik hidrokarbonlar olan katı organik sintilatörler, Naftalin, Antrasen, Stilben, Poliviniltoluen, Polistiren vb. radyasyon ile etkileşimleri sonucunda görünür bölge ve UV aralığında ışın yayınlarlar. Organik kristalde aşamalı gerçekleşen deeksitasyon, emisyon spektrumu ile soğurulma spektrumunun birbirinin farklı olmasını sağlar ve bu fark sintilatörden yayınlanan ışığın tekrar soğurulması olasılığını düşürür. Küçük atom numaralarına sahip olmaları, yüksek enerjili gama ışınlarının algılanması için elverişli değildir. Sıvı organik sintilatörler, ksilen, toluen ve hekzametilbenzen benzeri bileşiklerinin çözeltileri olarak üretilir. Bu tip sintilatörlerde yüksek verim elde edilebilmesi için geniş hacim tercih edilmektedir ki bu durum taşınabilirlik ve maliyet açısından bir dezavantajdır. Beta sayımı için çok uygunlardır[15].

Organik sintilatörlerde ışığın üretimi, moleküler geçişlerin sonucudur. Molekülün, emisyon spektrumu ile absorbsiyon spektrumunun birbirinden farklı olması, radyasyon etkileşimi sonucunda ışıldama gerçekleşmesine sebep olmaktadır.. A_0 konumunda, taban durumunda bulunan bir organik molekül, en az enerjiye sahiptir(Şekil 2.5). İyonlaştırıcı radyasyon, sintilatör kristali içerisinden geçişi sırasında moleküle enerji aktarılabilir ve molekül A_0 durumundan A_1 durumuna geçer. A_1 konumunda molekül dengede değildir ve

sahip olduğu enerji fazlasını, termal yollarla serbest bırakarak B_1 konumuna hareket eder. B_1 uyarılmış bir durumdur ve molekül B_0 durumuna geçmek ister ve bu enerji geçişinin sonucunda E_{B1}-E_{B0} enerjisinde foton yayınlanır. Işıldama sonucu açığa çıkan fotonun enerjisi (E_{B1}-E_{B0}) gelen radyasyonun enerjisinden (E_{A1} - E_{A0}) daha küçüktür[15].



Şekil 2.5 Organik molekülün enerji diyagramı [15]

İnorganik ve organik sintilatörleri olumlu ve olumsuz yönleri üzerinden değerlendirecek olursak, inorganik sintilatörler, yüksek ışık verimi ve yüksek yoğunluğa sahip olmalarının yanı sıra istenilen enerji çözünürlüğünü sağlayabilirler. Ancak yüksek maliyete sahiptirler, kristal büyütme işlemleri zor ve karmaşıktır. Organik sintilatörler ise radyasyonla etkileşim sonucu hızlı tepki verirler, üretimleri ucuza mal edilir ve kolayca istenilen fiziksel geometri elde edilerek levha, fiber ya da film halinde kullanılabilirler. Düşük ışık verimine sahip olmaları ve çok kolay radyasyon hasarına uğrayabilmeleri başlıca dezavantajlarıdır.

Organik veya inorganik sintilatör kristaline, ışıma gücünü arttırmak için katkı (aktivatör, dopant) adı verilen bazı safsızlıklar eklenebilir. Bu katkı malzemelerinin cinsine ve kristalin yapısına bağlı olarak, kristalden yayılan ışığın spektrumu ve şiddeti değişmektedir.

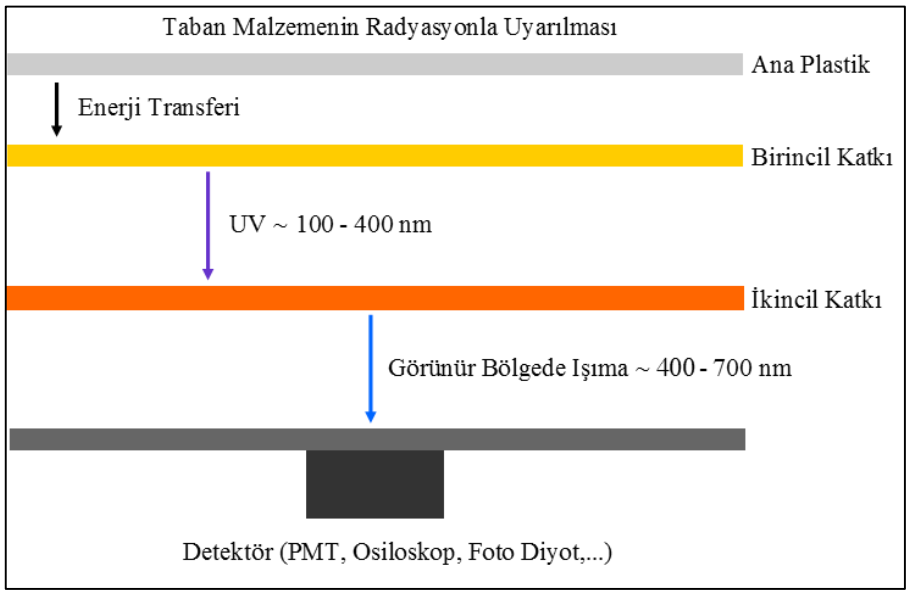
Sintilasyon dedektörlerinde, gelen radyasyon ile etkileşim sonucunda, görünür bölgede ışıma yapan kristaller kullanılmaktadır. Gelen radyasyonun enerjisi çok yüksek olduğu durumlarda bu enerjinin ölçülebilecek düzeye getirilmesi sintilatör içerisine eklenen

katkı malzemeleriyle sağlanmaktadır. Bu katkılar sintilatör içerisinde gerçekleşen foton-madde etkileşimi sayısını arttırarak, gelen fotonun enerjisinin, görünür bölge dalga boyuna (400-700 nm) kaymasını sağlar[19].

Organik sintilatör içerisinden geçen iyonize radyasyon etkileşimi taban malzeme atomları ile gerçekleşir. Bu etkileşimler sonucunda düşük enerjili fotonlar, taban malzemeden yayınlanır. Kristale eklenen, ışığa duyarlı katkılar, malzeme içerisindeki etkileşim olasılığını ve sayısını arttırarak ışıldama verimini arttırır, daha düşük enerjili ve yüksek şiddette ışık çıkışını sağlar. Katkı malzemeleri, sintilatör içerisinde enerji dönüşümü yaparak, gelen radyasyon enerjisinin seçilen algılama sistemlerine uygun, ölçülebilir hale getirir. Katkı etkisiyle kısalan bozunum süresinin istenilen oranda elde edilebilmesi için ikincil ve gerekirse üçüncül bir katkı malzemesi, ağırlıkça daha düşük oranlarda eklenebilir[20].

Dalga boyu kaydırıcı malzemeler, sintilatöre katkılanarak tek bir enerjide gelen radyasyonu, yüksek dalga boylarında izotropik olarak tekrar yayınlayan foto floresan katkılardır. Sintilatör içerisinde eklenebilirler ve ince filmlere boyanabilirler.

Katkı malzemeleri, toz, granül ya da sıvı formda bulunabildiği gibi ana malzeme içerisine, fiziksel veya kimyasal yollarla eklenebilirler. Sintilatör kristali içerisine eklenen katkı malzemelerinin, plastik içerisinde kolaylıkla çözünebilir, dayanıklı, ışığa duyarlı, radyasyon etkileşimi yüksek, kararlı ve kimyasal olarak reaktif olması gerekir.



Şekil 2.6 Sintilasyon aşamaları [20]

Kuantum-nokta olarak isimlendirilen, nanometrik boyutlarda üretilen, yarı iletken katkılar, boyut değiştirdikçe, radyasyon etkileşimi sonucu yaptıkları ışımanın da frekansı değişmektedir. Çapları 2-15 nm arasında değişen kuantum katkıların, çapları arttıkça yaptıkları ışımanın dalga boyu da artmaktadır. İstenilen geometride eklenen kuantum nokta katkılar gelen ışığın enerjisinin, istenilen şekilde dönüştürülmesini sağlar. Mühendislik teknolojilerinde ve tıbbi görüntüleme sistemlerinde kullanılmak üzere, optik ve elektronik özelliklerinden dolayı üretilen kuantum nokta katkıları CdSe, InAs, CdS, GaN, CdTe 'dir[21].

3
Deneysel Tasarım

3.1 Materyal ve Metot

Sintilatör üretimi için, taban malzeme kullanılmak üzere, hafif, düşük maliyetli ve kolay elde edilebilir ham madde olduklarından polistren ve epoksi kullanılması tercih edilmiştir. Katkı malzemesi olarak sintilasyona uygun fiziksel ve kimyasal özellikleri göz önünde bulundurularak 1,4-bis(5-fenil-2-oksazolil) benzen (POPOP), 2,5-difeniloksazol (PPO) kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan polistiren (PS) (Mn: 170 000 g/mol, Mw: 350 000 g/mol), aseton, kloroform Sigma Aldrich firmasından, toluen Merck firmasından ve POPOP, antrasen, PPO ise Sigma Aldrich firmasından temin edildi.

Malzemelerin temininin ardından, katkılı organik sintilatör yapımında izlenecek metotlar belirlendi ve ilk örnek çalışmaların polistiren üzerinde yapıldı. Ardından ilk olarak sintilatör malzeme yapımında kullanılacak olan kimyasalların istenen geometrik yapıda ve homojen formda elde edilmesinde izlenecek yöntemler belirlendi.

Ticari kullanım amaçlı üretilen sintilatör malzemeler için şekillendirme amacıyla ekstrüzyon yöntemi kullanılabilmektedir. Bunun için kullanılan ekstrüder makineleri, plastik, seramik gibi hammaddeleri yüksek sıcaklık altında basınç uygulanmasıyla şekillendirmektedir. Bu çalışmada ekstrüzyon yönteminin tercih edilmemesinin en temel sebebi, sanayi tipi kullanım için üretilen ekstrüder makinelerinde kalıplama yapılabilmesi için yüksek miktarda ham madde gerekmektedir. Bu nedenle polistrenin katkılanması için Yalova Üniversitesi, Polimer Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Dr. Mehmet Arif Kaya'nın deneyimleri doğrultusunda, ısısal işlemlerden uzak durularak çözeltiden döküm yöntemine karar verildi.

Çözeltiden döküm yöntemi uygulanırken değişik oranlarda polimer: çözücü içeren çalışmalar gerçekleştirildi ve farklı kaynama noktalarına sahip çözücüler ve farklı kalıplar kullanıldı.

Polistirenin tamamı çözücü içinde homojen bir çözelti oluşturacak şekilde çözünmesi beklendi. Ele geçen homojen çözeltilere polistirenin kütlesine kıyasla 3 mg / 100 g oranında olacak şekilde POPOP ve 1 g / 100 g oranında olacak şekilde PPO ilave edildi. Çözeltilerin istenilen geometrik şekillerde elde edilebilmesi ve kuruma performanslarının incelenmesi açısından alüminyum, RTV tipi silikon ve ahşaptan yapılmış üç farklı kalıp kullanıldı. Kalıp türleri, şekil, esneklik, genleşme, çözeltiyle etkileşim gibi fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak seçilmiştir. Kuruma sonrasında, RTV silikon ve alüminyum kalıp içerisinde çözücülerin buharlaşmasının daha zor gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Bununla birlikte katı numune, esnek yapılı RTV silikon kalıptan diğer kalıplara göre daha kolay çıkarılmıştır.

Kalıplara dökülen polistiren çözeltilerinin çözücülerinin uzaklaşarak kalıp formunda ürün eldesi farklı sıcaklık değerlerinde, atmosferik basınç altında gerçekleştirildi, buna ilave olarak kuruma işleminde vakum etüvü ve düşük basınç özelliklerinden de faydalanıldı.

Çalışmamızda kullanılan, aseton, kloroform ve tolüen çözücülerinin hepsinin ağırlıkça % 50 oranında polistireni başarı ile çözelti haline getirdiği tespit edildi.

Görece düşük kaynama noktasına ve yüksek buhar basıncına sahip olan aseton ve kloroformun çözücü olarak kullanıldığı karışımların benzer karakterler sergilediği gözlemlenmiştir. Oda sıcaklığında atmosferik basınç altında 96 saat süre ile kurumaya bırakılan örneklerin kalıptan çıkarılmaları esnasında tam olarak çözücünün uzaklaşmamış olduğu çözücü emdirilmiş bir polimerik jel formunda kaldıkları gözlendi.

Aynı karışımların oda sıcaklığında vakum altında kurutulmaları işlemi esnasında örneklerin yüksek uçuculukları nedeniyle vakum altında gaz fazına geçen çözücüler nedeniyle içlerinde gaz kabarcıklarının oluştuğu gözlendi.

Çözelti içerisinde gaz kabarcığı oluşumu, atmosferik basınçta ve çözücülerin kaynama noktalarına yakın yapılan denemelerde de yinelendi.

Bu sonuçlar ışığında çözeltiden dökme yönteminde aseton ve kloroform çözücülerinin polistiren için uygun bir seçim olmadığı değerlendirildi.

Aseton ve kloroform çözücülerine kıyasla daha yüksek bir kaynama noktasına sahip olan tolüen çözücüsünün kullanıldığı çözeltilerde, hava ile temas ettiği yüzeyin sert bir film

oluşturacak şekilde kuruduğu ancak bu kabuğun altında kalan kısmın kurumadan kaldığı ve örneklerin beklenilen kuruma performansını verecek şekilde kurumadıkları tespit edildi.

Farklı kalıp materyalleri ve kullanılan farklı çözücü tipleri ile gerçekleştirilen tüm denemeler göz önüne alındığında polimerik çözeltilerin yüksek et kalınlığına sahip kalıplar içinde uygun bir şekilde kalıplanamayacağı sonucuna ulaşıldı.

Bu çalışmalar sonucunda, sintilatör malzemesinin katı, homojen ve mümkün olduğunca şeffaf formda elde edilmesi gerektiğinden çalışmanın bir sonraki kısmında, katı, şeffaf, kolay şekillendirilebilir, kolay elde edilebilir ve düşük maliyetli bir malzeme olan epoksi kullanılması tercih edildi. Epoksi, çok uzun yıllardır yapı endüstrisinde, uzay ve havacılık çalışmalarında, otomotiv sanayisinde ve daha birçok endüstriyel alanda kullanılmaktayken, son bir kaç yıl içerisinde de dekorasyon, hobi ve sanat çalışmalarında da kullanımı yaygınlaşan bir malzemedir.

Termosetler grubunda bulunan bu uzun ömürlü malzemelerin aynı zamanda sıcaklık değişimi ve nem gibi dış etkenlere karşı direnci yüksektir. Genellikle çift bileşenden oluşan, epoksiler, kürleme işlemi sonucunda sıvı halden katı hale geçerler.

Epoksi reçine (A) ve epoksi sertleştirici (B) olmak üzere iki bileşenden oluşan epoksiler, kütlece 5/8 oranında A bileşen ve 3/8 oranında B bileşenin karıştırılmasıyla başlayan sürede laboratuvar koşulları etkisi de göz önünde bulundurulduğunda, ilk 20 dakikada katılaşmaya başlamakta ve 12-24 saat içerisinde nihai olarak sertleşmektedir.

Bu çalışmada BRV (İzmir) firması tarafından üretilen iki bileşenli epoksi kullanılmıştır.

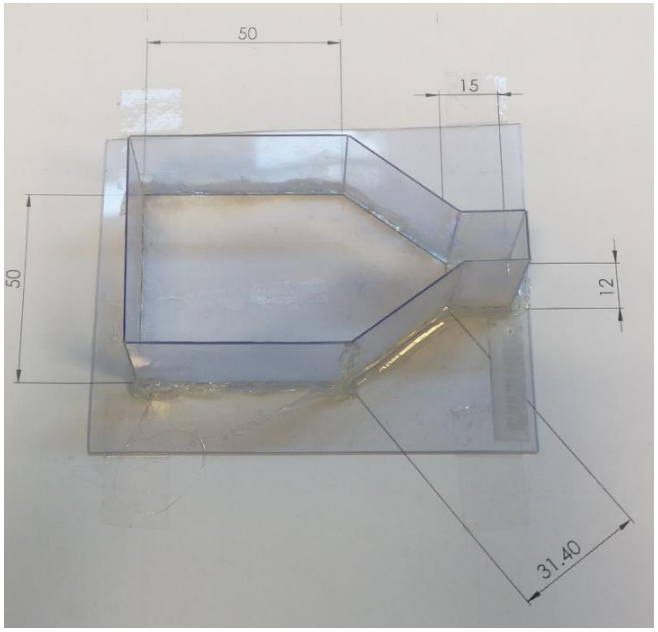
Epoksi tabanlı üretilen sintilatör içerisine eklenen katkı malzemelerinin (POPOP ve PPO) karışım içerisinde bulunma oranları belirlenirken, homojenlik, renk değişimi, şeffaflık, parlaklık, sertlik gibi fiziksel değişimler gözlemlenerek birden fazla çalışma yapılmış ve farklı fiziksel özelliklere sahip numuneler elde edilmiştir.

Tablo 3.5 Malzeme katkı oranları

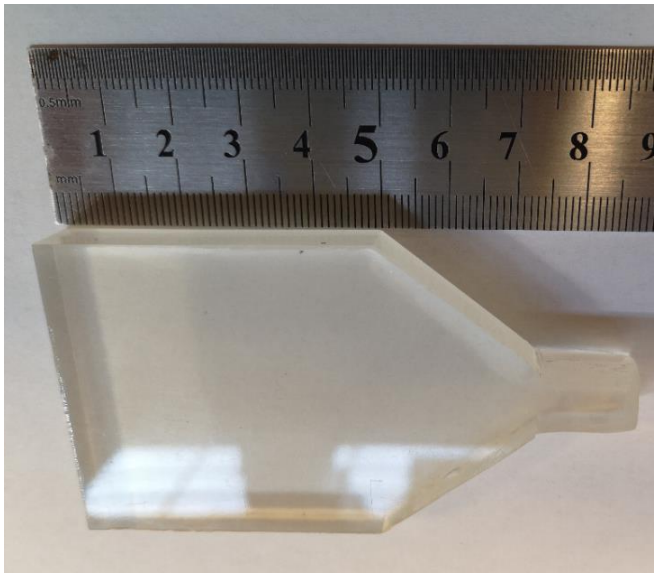
Sintilatör	A Bileşen(g)	B Bileşen(g)	POPOP (g)	PPO (g)	Çözücü (g)
Numara					
1	29,4	18,5	-	-	-
2	30,1	19,4	0,094	0,906	3,322 (Si yağ)
3	29,6	18,7	0,114	0,604	0,438 (Si yağ)
4	30,2	18,4	0,062	0,602	0,307 (PDMS)
5	47,2	28,3	0,512	5,020	Aseton
6	30,8	18,2	-	0,826	-
7	15,4	11,1	0,412	8,101	Aseton

Çözücü olarak aseton kullanılan çalışmalarda, aseton karışıma en düşük kütlede eklenmiş ve daha sonra kurutma işlemi esnasında numuneden uzaklaştırılması sağlanmıştır.

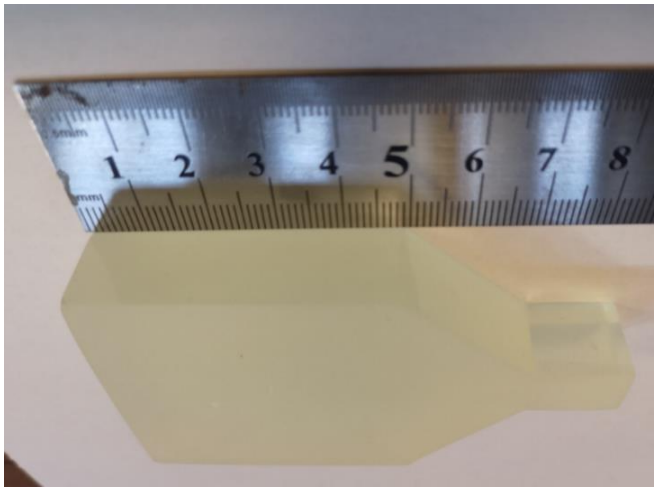
Yaş karışım hazırlandıktan sonra çözünürlük miktarına bağlı olarak manyetik ve/veya ultrasonik karıştırıcı yardımıyla homojen hale getirilmiş ve foto çoğaltıcı tüp ve dedektör sisteminin geometrik koşullarına uygun olarak hazırlanan PVC kalıplara dökülerek kurumaya bırakılmıştır.



Şekil 3.1 PVC kalıp



Şekil 3.2 Numune 1



Şekil 3.3 Numune 5

Tam kuruma gerçekleştikten sonra numuneler kalıplarından çıkarılmış, zımparalanarak pürüzlerinden arındırılmış ve iç yansıma ile ışık verimini yükseltmek amacıyla beyaz teflon bant ve malzeme içerisinde ışık sızdırmazlığının sağlanması adına katı numuneler alüminyum folyo ile kaplanmıştır.

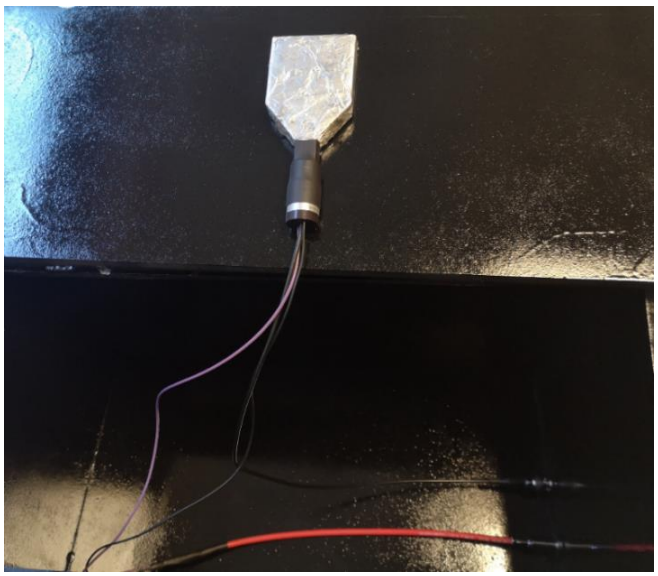
Sintilatörlerin üretiminin ardından dedektör sistemi üzerine çalışılmıştır. Deneysel ölçümlerin yüksek verimlilikle yapılabilmesi açısından dedektör sisteminin ışık sızdırmazlığı bu süreçte büyük önem arz eden durumlardan birisidir.

Işık giriş ve çıkışının en aza indirgenmesi gerektiğinden, ışık yalıtımlı karanlık oda sistemi hazırlanmış ve dış kısmı radyasyon zırhlama malzemesi olarak uygun görülen kurşun plakalarla kaplanmıştır.

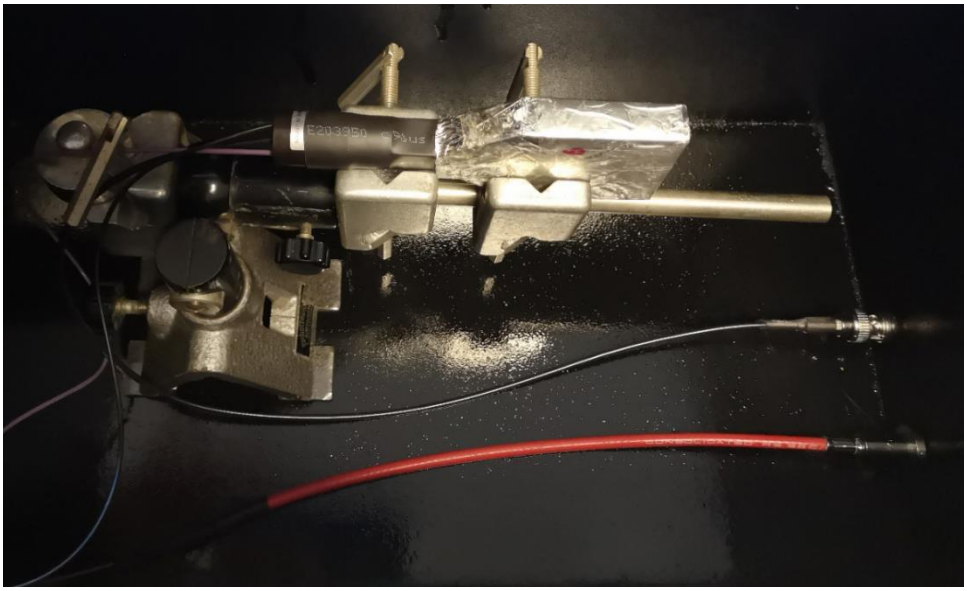


Şekil 3.4 Karanlık oda sistemi

Dedektör mekanizması, karanlık oda içerisine kurulurken, PMT ile sintilatör malzemenin birbirine uygun olarak monte edilebilmesi adına PMT ile sintilatör arasında optik bağlayıcı olarak PDMS kullanıldı ve ısıyla daralan makaron ile sarılarak PMT ve sintilatör arasında ışık yalıtımı sağlandı.



Şekil 3.5 Dedektör mekanizması 1



Şekil 3.6 Dedektör mekanizması 2

3.2 Ölçüm Sistemi

Üretilen sintilatör numunesinin, gama ışınları ile etkileşimini incelemek için kurulan ölçüm sisteminde, deneylerde, radyografik görüntüleme ve ışın tedavisi alanında sıklıkla kullanılmakta olan kobaltın radyoaktif izotopu, Co-60 ve nükleer enerji ve savunma sanayiinde kullanılan Cs-137 kaynağı kullanılmıştır.

Üretilen sintilatör ve dedektör tipine bağlı olarak PMT seçimi yapılmalıdır. Bu çalışmada hızlı bir sintilasyon dedektörü üretilmesi planlandığından, nükleer ölçüm sisteminde, yaklaşık 10 ns tepki süresine sahip sintilatör kristali ile birlikte düşük tepki süresine (~3,7 ns) sahip PMT kullanılmıştır.

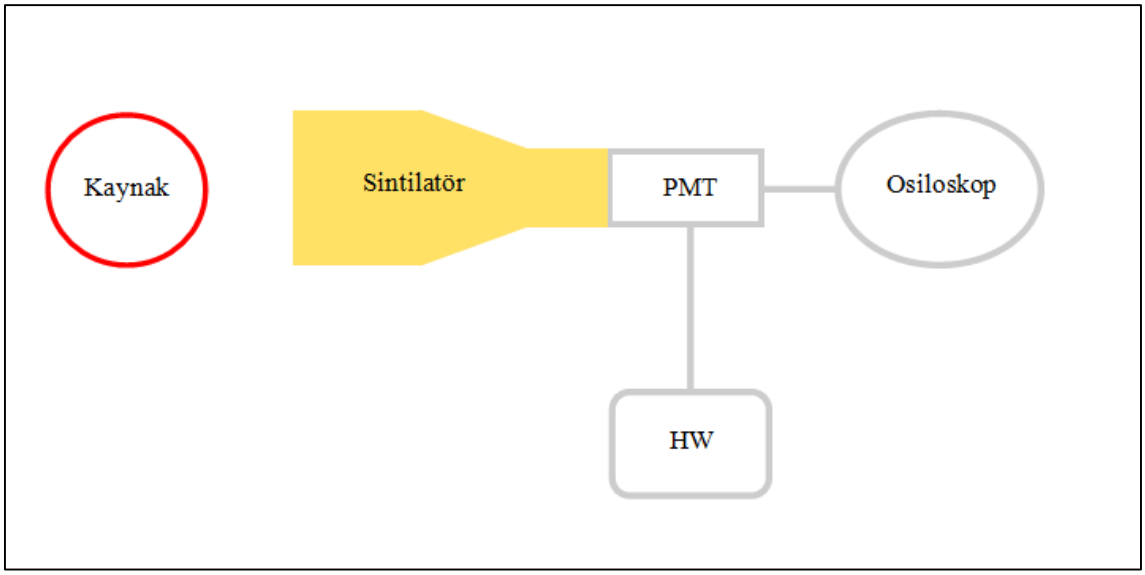
Çalışmalarda kullanılan PMT ve bağlantı soketi Hamamatsu Photonics K.K ürünü olup, ürün kodları R9880U-110 ve E10679-02'dir.

PMT için belirlenen -1100 Volt çalışma gerilimi, Ortec 556 yüksek güç kaynağı ile sağlanmıştır. Negatif çalışma gerilimi katot levhadan koparılan elektronlar için hızlandırıcı potansiyel sağlamaktadır.

Kaynaktan kesintisiz yayınlanan gama ışınlarının sintilatör ile etkileşmesi sonucu açığa çıkan enerjinin PMT üzerinde şiddetlendirilmesinin ardından oluşan elektrik sinyalleri, farklı ölçüm sistemleri yardımıyla analiz edilebilir.

Dedektör üretildikten sonra ilk olarak üretilen sintilatör malzeme kristallerinin gama ışınları ile etkileşim karakteristiği bilinmediğinden bu etkileşimin varlığının belirlenebilmesi için dijital osiloskop kullanılmıştır.

Şekil 3.7 de görülen ölçüm sistemi kullanılarak arka fon radyasyonu ve gama radyasyonu tarafından oluşturulduğu bilinen elektrik sinyalleri, osiloskop tarafından gerilimin zamana bağlı fonksiyonu olarak dalga formu şeklinde elde edilmiştir.

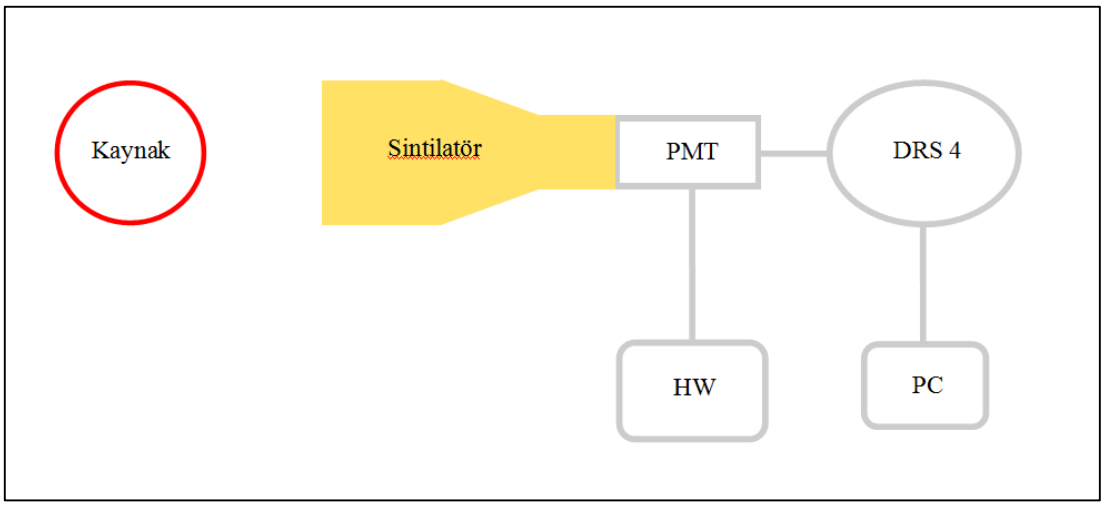


Şekil 3.7 Nükleer ölçüm sistemi 1

Çalışmanın ikinci aşamasında kullanılan ölçüm sistemi, üretilen sintilatör malzemenin kullanıldığı bir gama spektroskopisidir.

Dedektör kristaline ulaşan gama ışınları enerjilerine bağlı olarak ikincil ışımalara neden olurlar. Kristale yapılan katkılar ile bu ışınım görünür bölgeye kaydırılır ve kristal içinde ilerleyerek PMT aracılığı ile akıma dönüştürülür. PMT soketinde yer alan RC devresi üzerinde oluşan potansiyel fark bir veri toplama sistemi ile kayıt edilebilir sayısal sinyallere dönüştürülmelidir. Ölçüm sürecinin sürekliliği çok kanallı yüksek geçici çözünürlüğe sahip bir veri toplama sistemi gerektirir. DRS4 dalga şekli sayısallaştırma entegresi saniyede 5 milyar örnekleme yapabilen (5 GSPS) yüksek genlik çözünürlüğüne sahip ideal ve ucuz bir çözüm sağlar. Domino örnekleme metodunu kullanan bu cihaz klasik analog-sayısal dönüştürücülere göre çok daha avantajlıdır. Tetiklenen her bir kayıt 1024 bitlik bir çözünürlükte sayısallaştırılır. Plastik sintilatörler gibi nano saniye

bölgesinde çalışan ölçüm sistemlerinden gelen bilginin kayıpsız kaydı daha sonrasında elde edilen ölçümlerin sınıflandırılması ve analizini kolaylaştıracaktır[22,23].



Şekil 3.8 Nükleer ölçüm sistemi 2

Şekil 3.8 de verilen ölçüm sistemi ile toplanan veriler ROOT yazılımı kullanılarak yeniden oluşturulmuştur. Ölçüm sistemi 50000 ve üzeri olay kaydı yapacak şekilde ayarlanmıştır. Bu olay kayıtları alınırken 10 mV ile 35 mV arasında eşik filtreleri uygulanmıştır. Farklı filtrelerden elde edilen bağımsız olay kayıtları incelendiğinde sistemin aslında 50000 olaydan fazlasını kaydettiği görülmüştür. 1024 bit olarak alınan kayıtların büyük kısmı tek bir sinyal içermekle birlikte 2 hatta 3 olay içeren kayıtlarda bulunmaktadır. Bu nedenle DRS4 üreticisi tarafından sağlanan ve tek bir sinyal tepesini analiz eden standart yazılım değiştirilerek çoklu sinyal tepesi içeren durumlar da dikkate alınarak sinyal analizi detaylandırılmıştır.

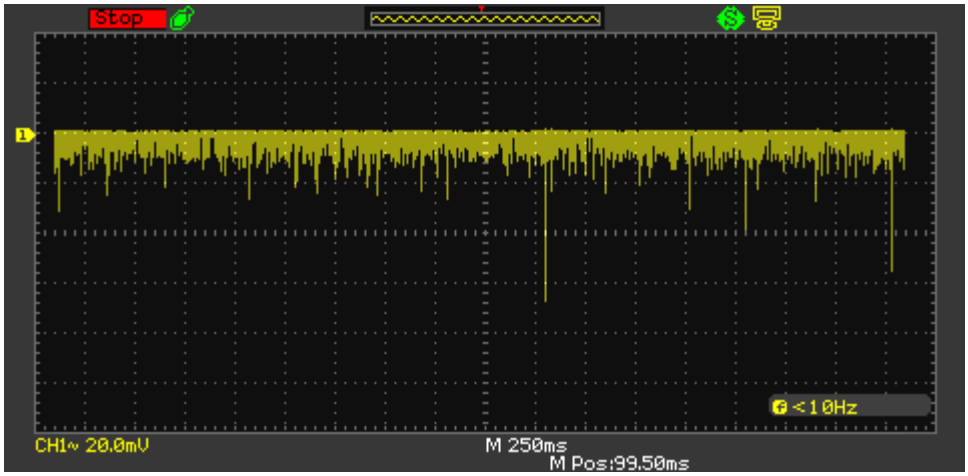
Tasarlanan iki ayrı nükleer ölçüm sisteminde, Co-60 ve Cs-137 kaynağı kullanılarak yapılan deneyler sonucunda, yapılan ölçümlerde elde edilen grafikler Bölüm 4'te incelenmiştir.

4
Analiz

4.1 Ölçümler ve Grafikler

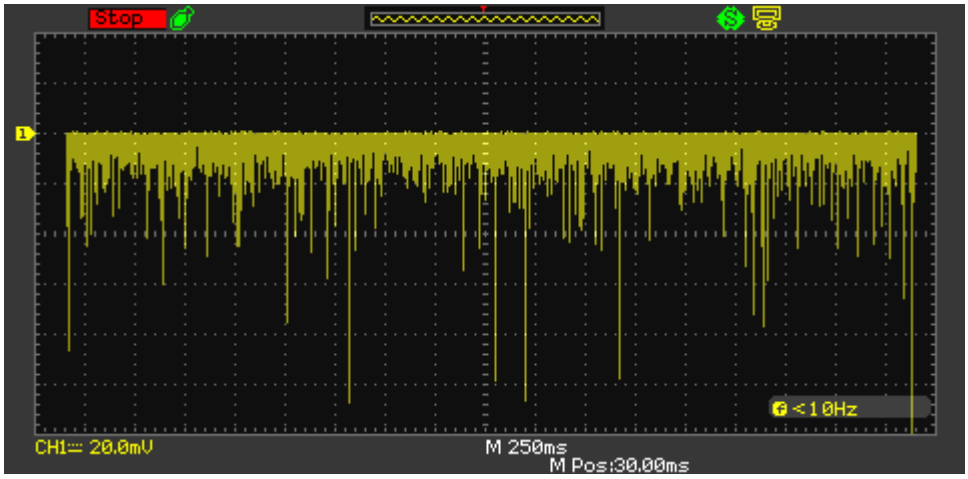
4.1.1 Dijital Osiloskop Ekran Görüntüleri

Osiloskop ile kurulan nükleer ölçüm sisteminde gama algılanması adına yapılan çalışmalarda Co-60 kaynağı kullanılmıştır.



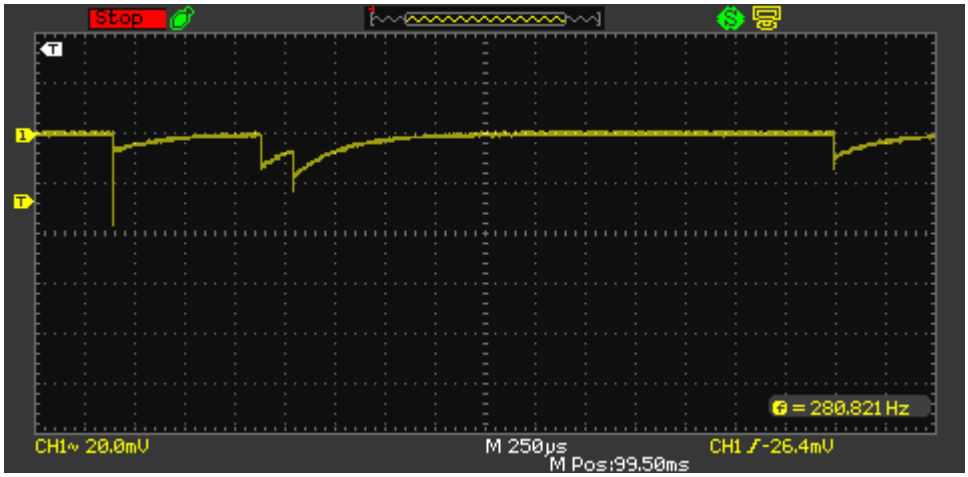
Şekil 4.1 Arka fon sinyali - 250 ms

Dedektör tepki süresi ile kıyaslandığında çok büyük bir zaman aralığı olan 250 ms içerisinde osiloskop ile alınan ekran görüntülerinde, dedektörde kaynak olmamasına rağmen yaklaşık 10 mV seviyesinde arka fon sinyalleri gözlemlenmektedir. Arka fon sinyallerinin, elektronik gürültüden, daha yüksek gerilimde gözlemlenen tepe noktalarının ise arka fon radyasyonundan kaynaklandığı söylenebilir.



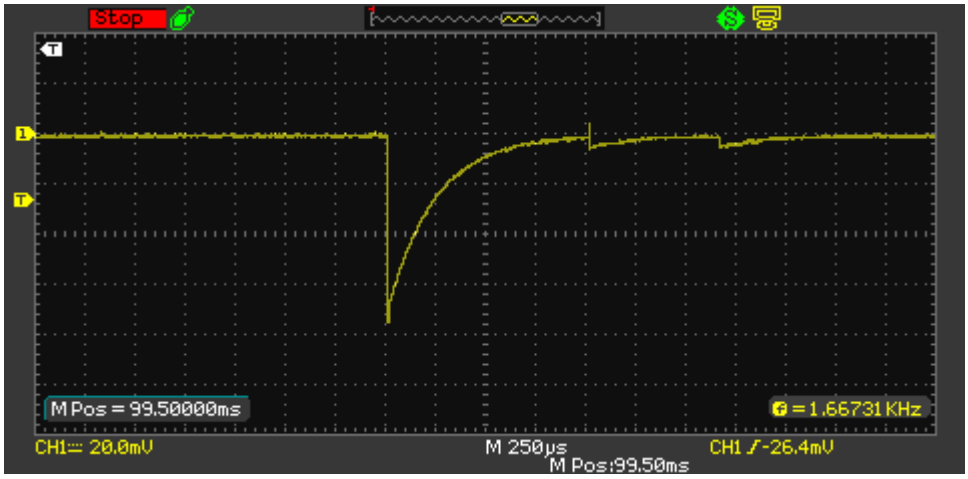
Şekil 4.2 Gama sinyali - 250 ms

Aynı zaman aralığında Co-60 kaynağı ile ölçümler alındığında, arka fon sinyallerinin 15 mV seviyesine geldiği görülmektedir. Bu durum kaynak aktivitesi ile oluşan sinyal sayısının artışının, elektronik gürültüyü yükseltmesinden kaynaklanmaktadır. Bunun yanı sıra genlikleri yaklaşık 100 mV olan sinyallerin de varlığı ve miktarı, dedektörün kaynak ile etkileştiğini göstermektedir.



Şekil 4.3 Arka fon sinyali - 250 µs

Dedektörün tepki hızının ve tekil sinyallerin gözlemlenmesi amacıyla, ölçüm zaman aralığı 1000 kat daha küçültülmüştür. Boş ölçümler alındığında Şekil 4.3'te gözlemlenen sinyaller, Şekil 4.1 deki sinyallerle benzerlik gösteren, elektronik gürültü seviyesinde, düzensiz sinyallerdir.



Şekil 4.4 Gama sinyali - 250 µs

Aynı zaman aralığında gama kaynağı ile ölçüm alındığında, PMT içerisinde sinyal oluşumuyla dolan sığaçların, deşarj eğrisi görülmektedir. Yaklaşık 80 mV seviyesinde oluşan, hızlı bir tepki ile gerçekleşen ve üstel şekilde azalan bu tepe sinyalinin gama kaynağının enerji sinyali olduğu söylenebilir.

Bu sonuçlar incelendiğinde, üretilen sintilatör kristali ile oluşturan dedektör ile ölçümler alınabildiği ve bu ölçümlerin kullanılan elektronik sistemlerle uyumlu olduğunu gözlemlenmektedir.

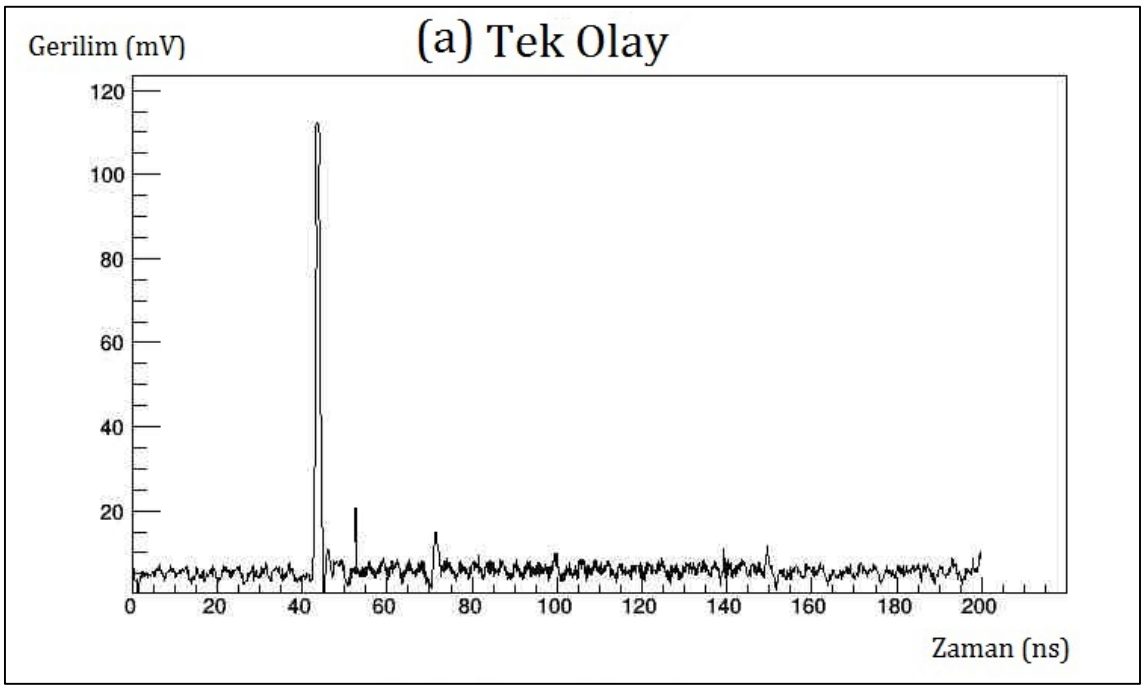
4.1.2 DRS4 Yongası İle Alınan Ölçümler

Dijital osiloskop ile yapılan çalışmaların ardından gelen sinyalin enerjisini belirleyebilmek adına daha küçük ölçekli bir zaman aralığında(ns) ölçüm alınması için DRS4 yongası kullanılmıştır.

Sintilatördeki ışık etkileşimi PMT'nin ışığa duyarlı olduğu bölgede (Görünür bölge) gerçekleştiği takdirde nükleer ölçüm sisteminde değerlendirilebilir. Dedektörde elektronik gürültü ve arka fon radyasyonundan kaynaklanmakta olan arka fon sinyallerinin dijital osiloskop ile yapılan analizlerde 20 mV seviyesinde olduğu belirlenmiştir. . Bu nedenle DRS4 ile yapılan ölçümlerde, 20 mV altında gelen sinyaller kaydedilmemiştir.

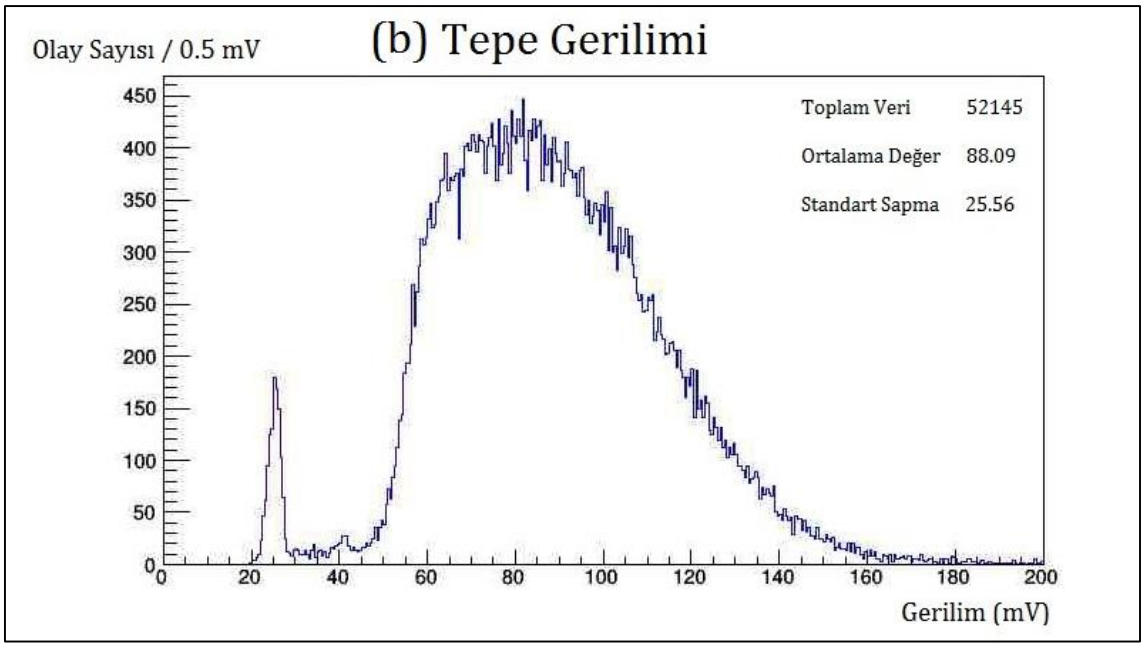
Elektronik gürültünün dijital olarak çıkarılmasının ardında DRS4 yongası ile 50000 ve üzeri olay kaydedilmiştir.

Bu bölümdeki grafiklerde iki farklı sintilatör kullanılarak üretilmiş nükleer ölçüm sistemlerinde iki farklı kaynak kullanılarak alınmış farklı ölçümler verilmiştir.

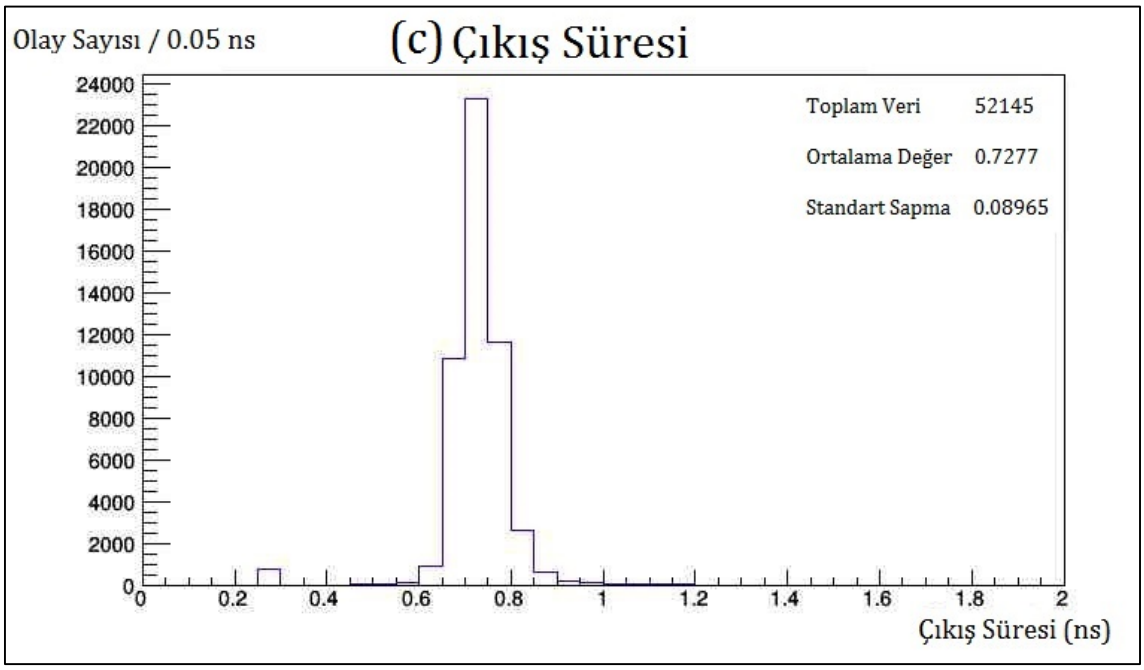


Şekil 4.5 Co-60 gama ölçümü -Tek olay- (Numune 5)

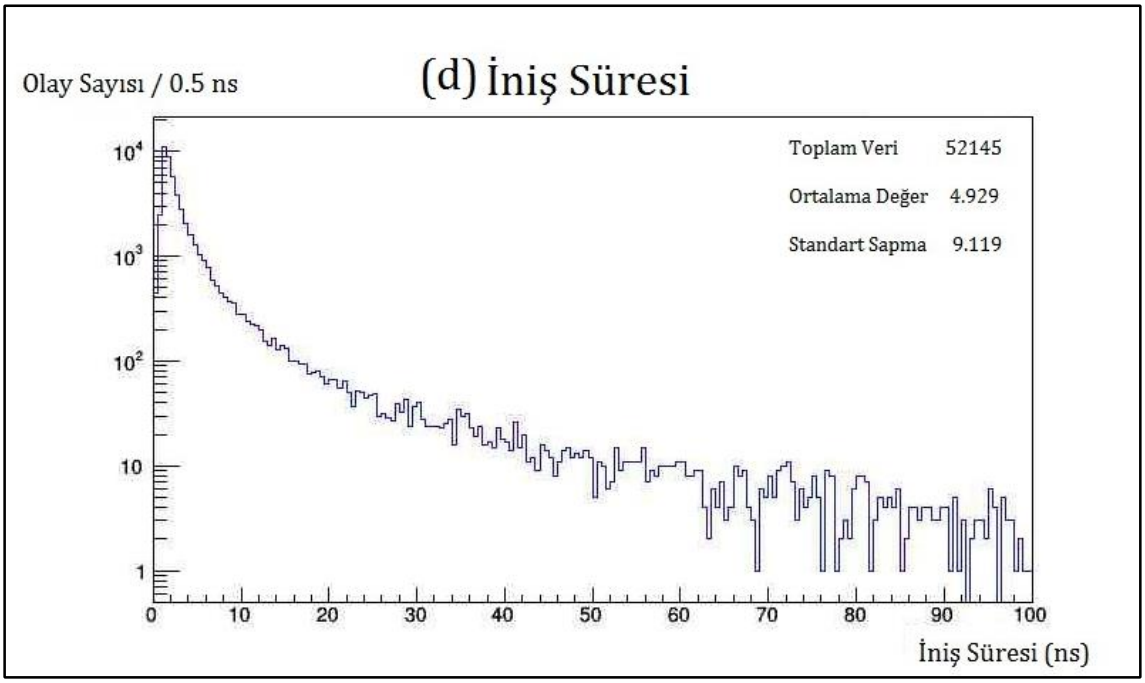
Şekil 4.5'de verilen gerilim-zaman eğrisinde, yaklaşık 115 mV seviyesinde gama kaynağının enerji sinyali gözlenmiştir. Bununla birlikte 50 ns ve 70 ns'de görülen simetrik sinyaller, elektrik sinyalinin, elektronik devrede yüksek dirençle karşılaşması sonucu gerçekleştirdiği yansımalardır. Bu yansımaların elektronik sistemde kullanılan bağlantı kabloları, dağıtıcılar, PMT ve güç kaynağının elektronik özelliklerinden kaynaklandığını ve elektronik sistemin sinyal şeklinin düzensizliğini etkilediği söylenebilir.



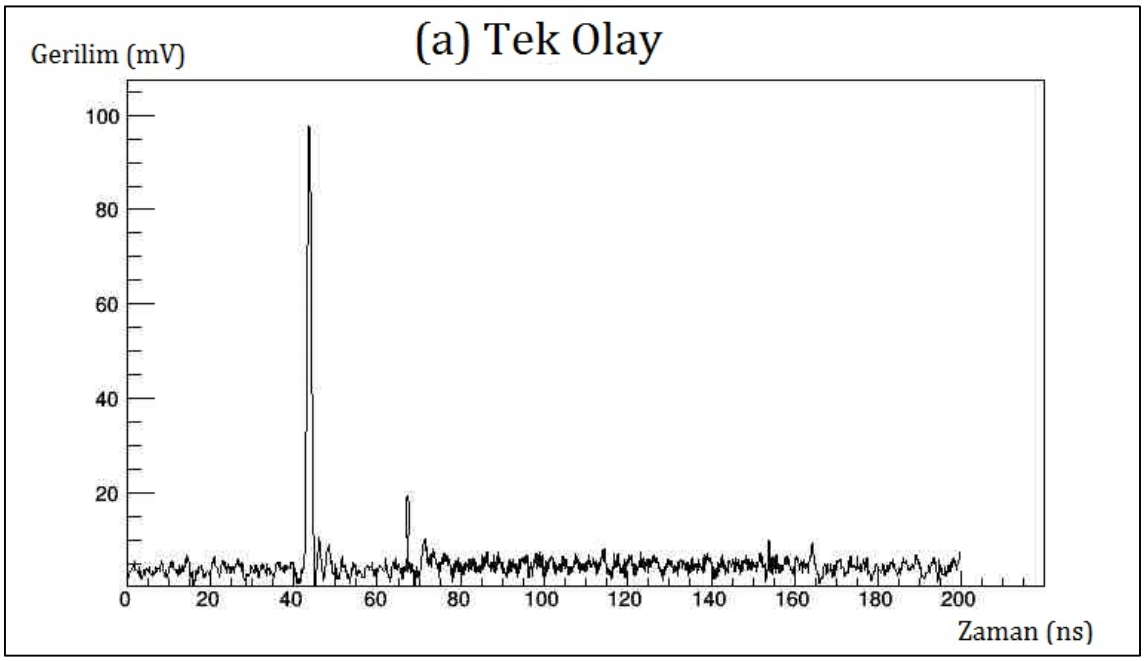
Şekil 4.6 Co-60 gama ölçümü -Tepe gerilimi- (Numune 5)



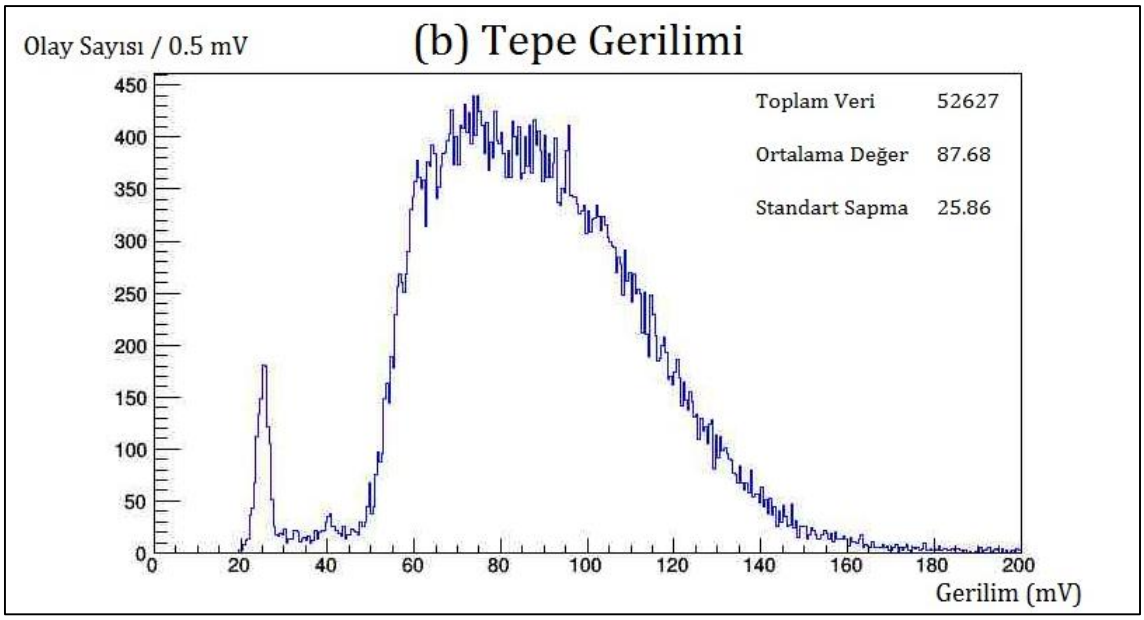
Şekil 4.7 Co-60 gama ölçümü -Çıkış süresi- (Numune 5)



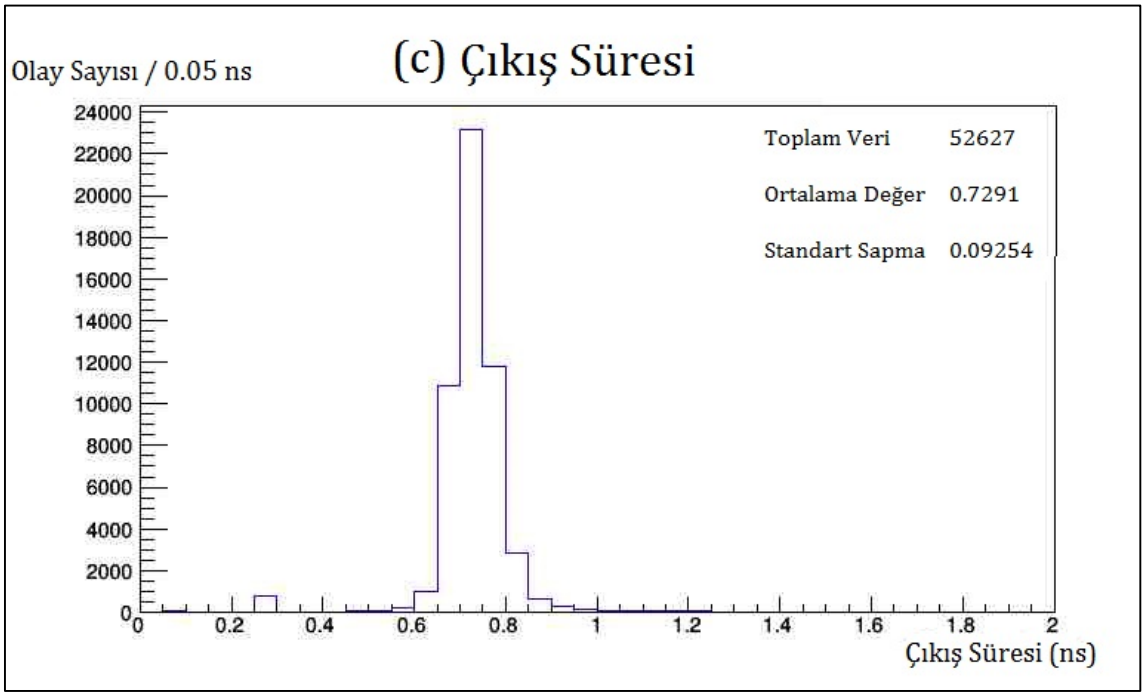
Şekil 4.8 Co-60 gama ölçümü -İniş süresi- (Numune 5)



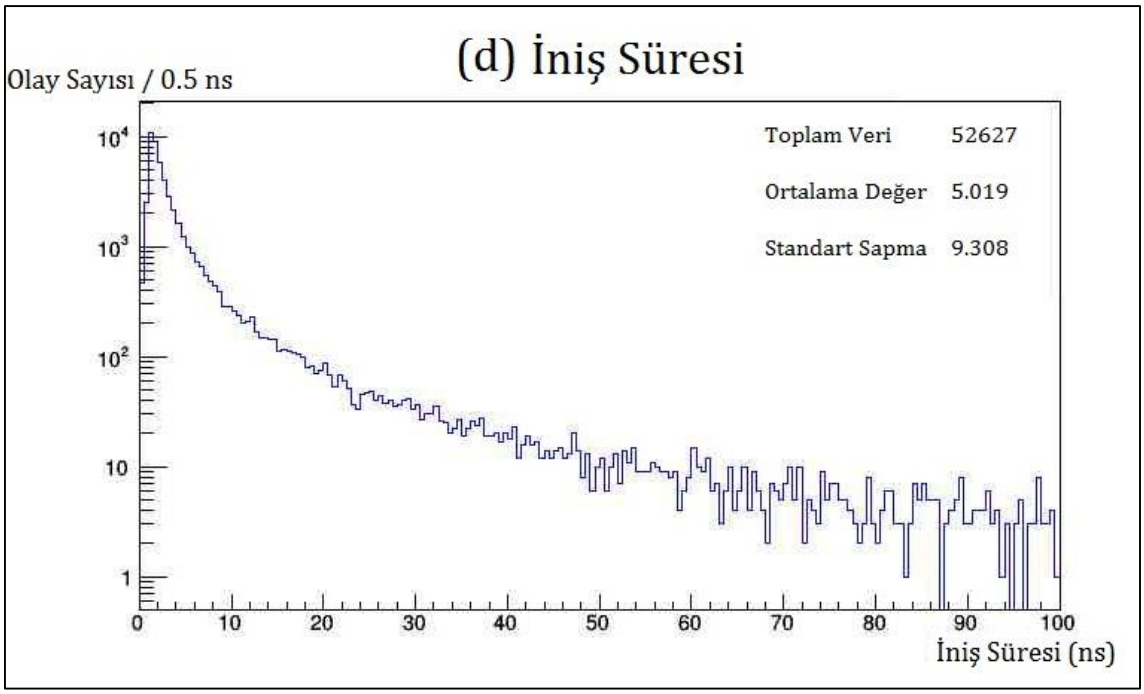
Şekil 4.9 Cs-137 gama ölçümü -Tek olay- (Numune 5)



Şekil 4.10 Cs-137 gama ölçümü -Tepe gerilimi- (Numune 5)

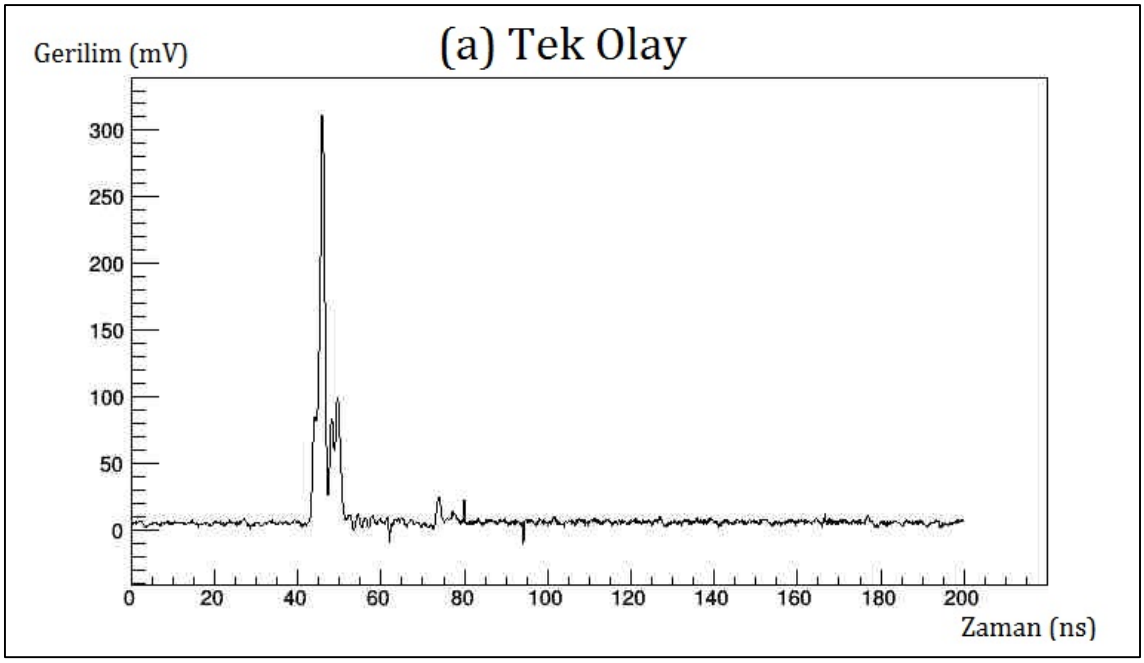


Şekil 4.11 Cs-137 gama ölçümü -Çıkış süresi- (Numune 5)

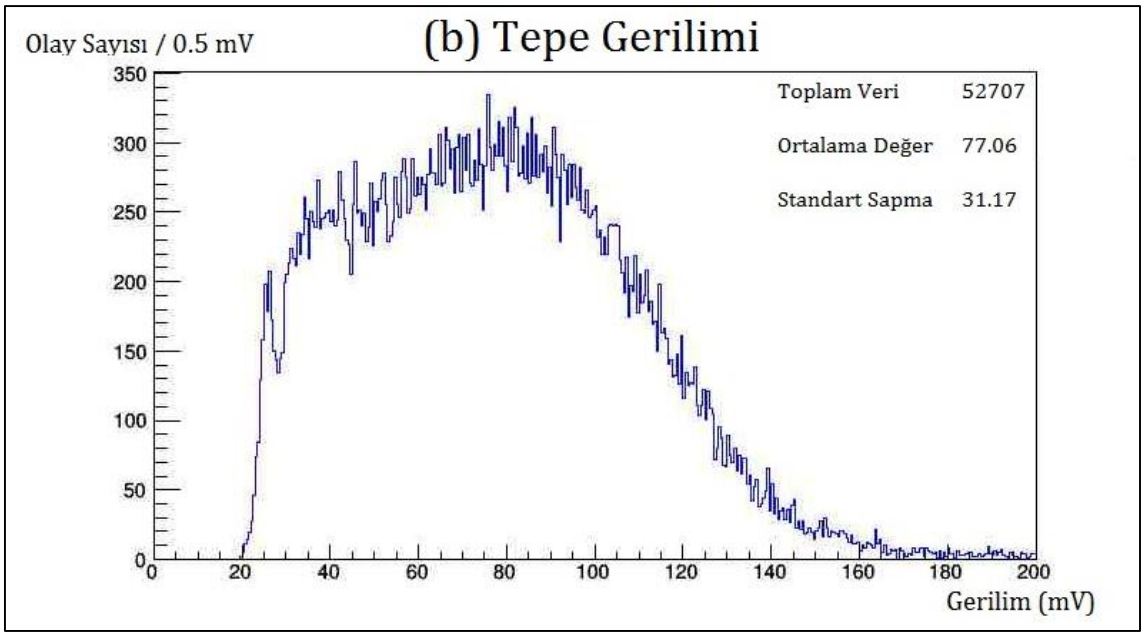


Şekil 4.12 Cs-137 gama ölçümü -İniş süresi- (Numune 5)

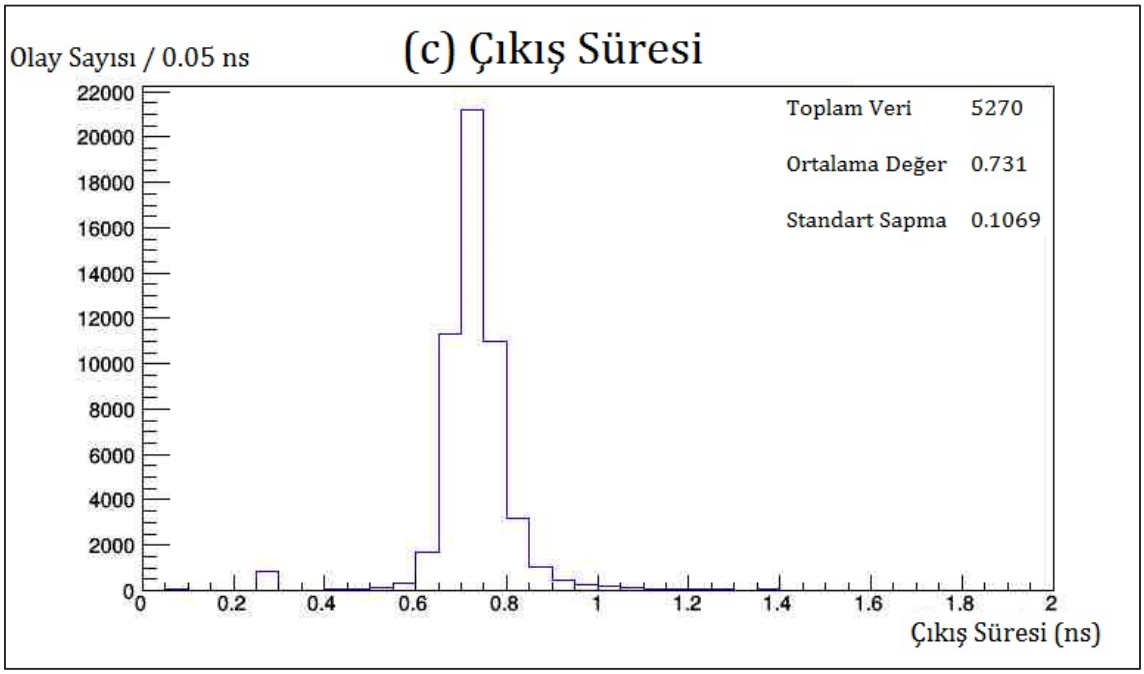
İniş süresi eğrileri (Şekil 4.8 ve Şekil 4.12) incelendiğinde gama sinyalinin dedektör tarafından algılanmasıyla oluşturulan elektrik sinyallerinin, 50 ns içerisinde yaklaşık 1000 kat azaldığının gözlenmesiyle, üretilen sintilatör kristalinin beklenen tepkiyi verdiği söylenebilir.



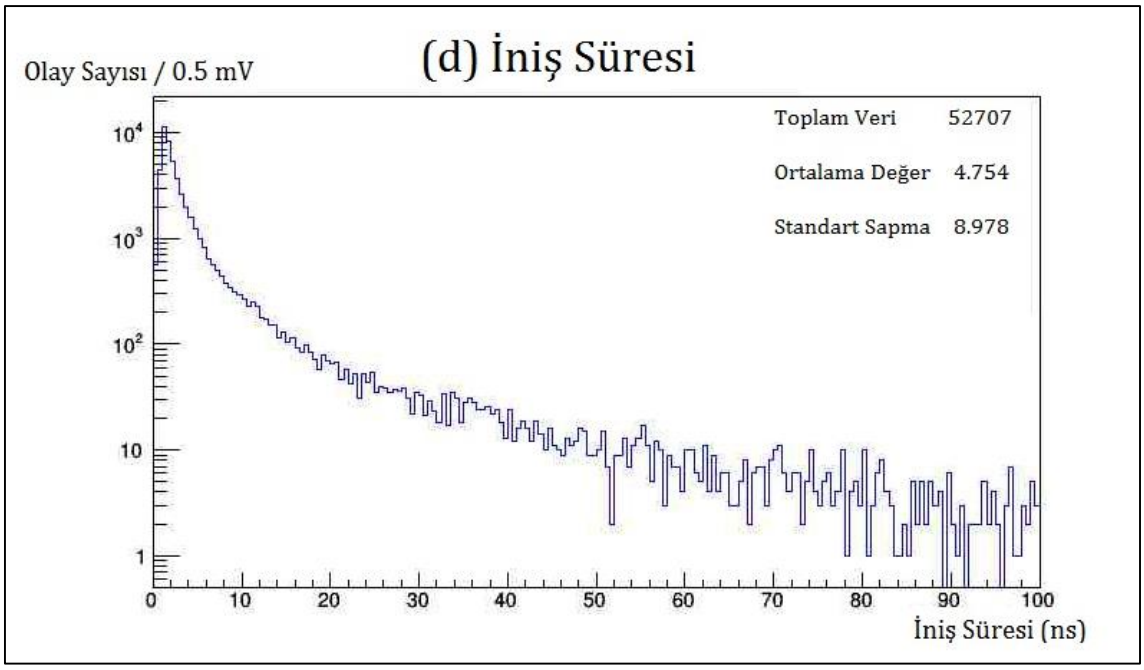
Şekil 4.13 Co- 60 gama ölçümü -Tek olay- (Numune 4)



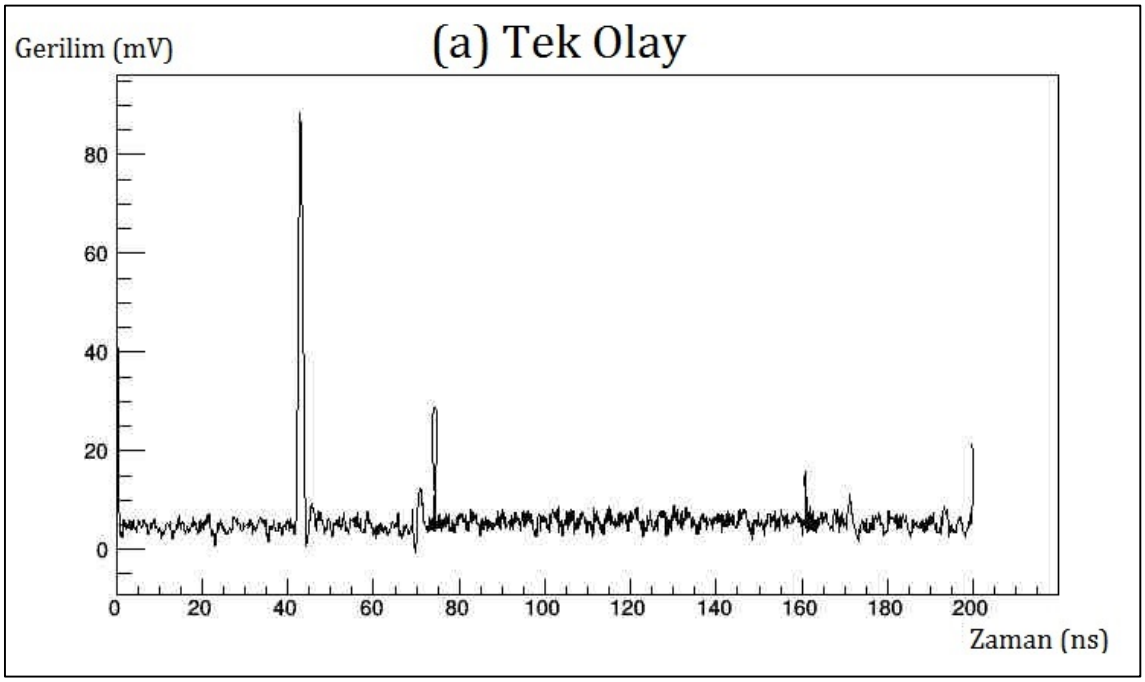
Şekil 4.14 Co- 60 gama ölçümü -Tepe gerilimi- (Numune 4)



Şekil 4.15 Co- 60 gama ölçümü -Çıkış süresi- (Numune 4)

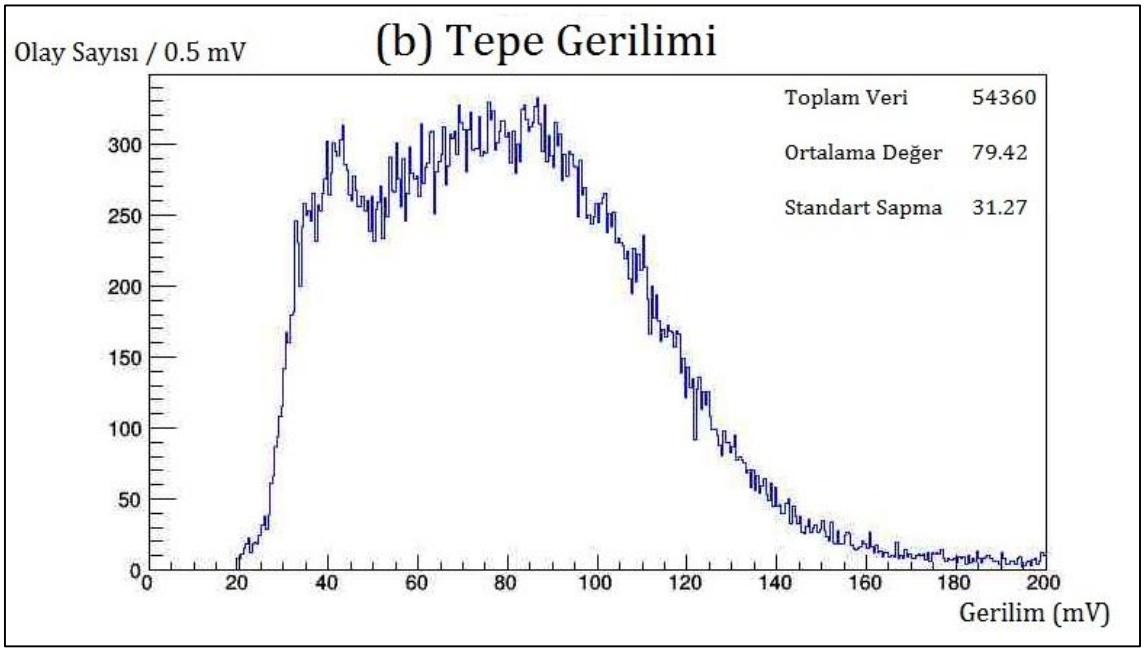


Şekil 4.16 Co- 60 gama ölçümü -İniş süresi- (Numune 4)

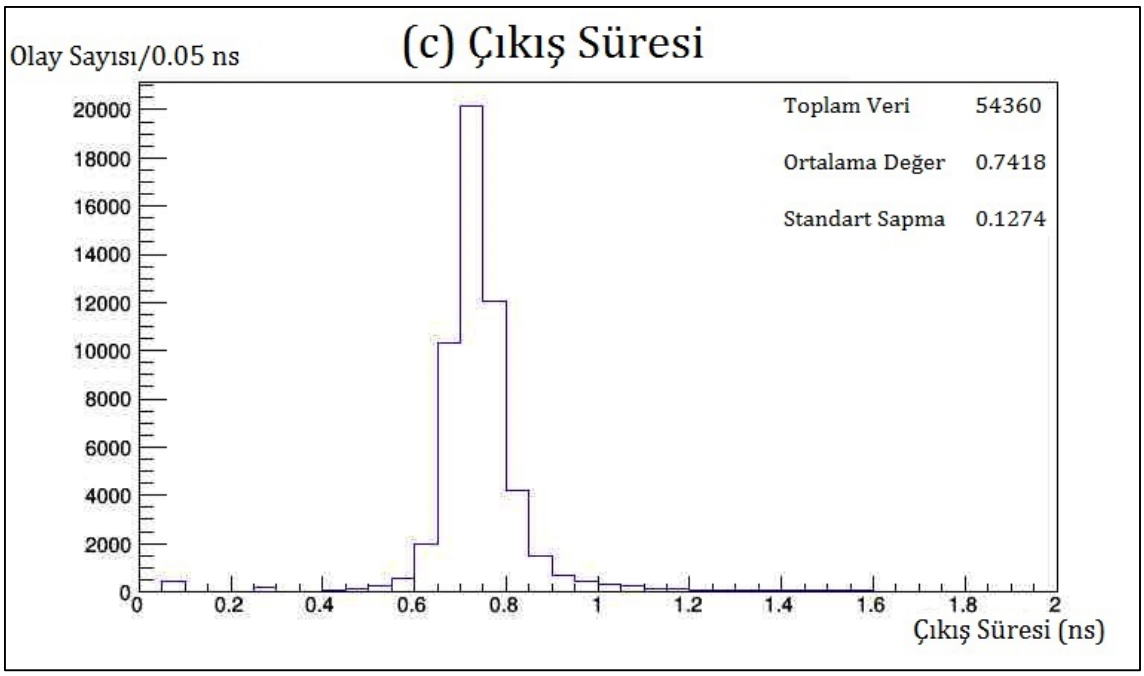


Şekil 4.17 Cs-137 gama ölçümü -Tek olay- (Numune 4)

Şekil 4.5'de verilen tek olay grafiğindeki gözlemlenen simetrik sinyaller diğer 3 deney düzeneğinde alınan tek olay sinyalleri ölçümlerinde de (Şekil 4.9, 4.13 ve 4.17) gözlenmektedir. Bu durum gama sinyaliyle birlikte, yansıma sinyallerinin varlığını doğrulamaktadır.



Şekil 4.18 Cs-137 gama ölçümü -Tepe gerilimi- (Numune 4)

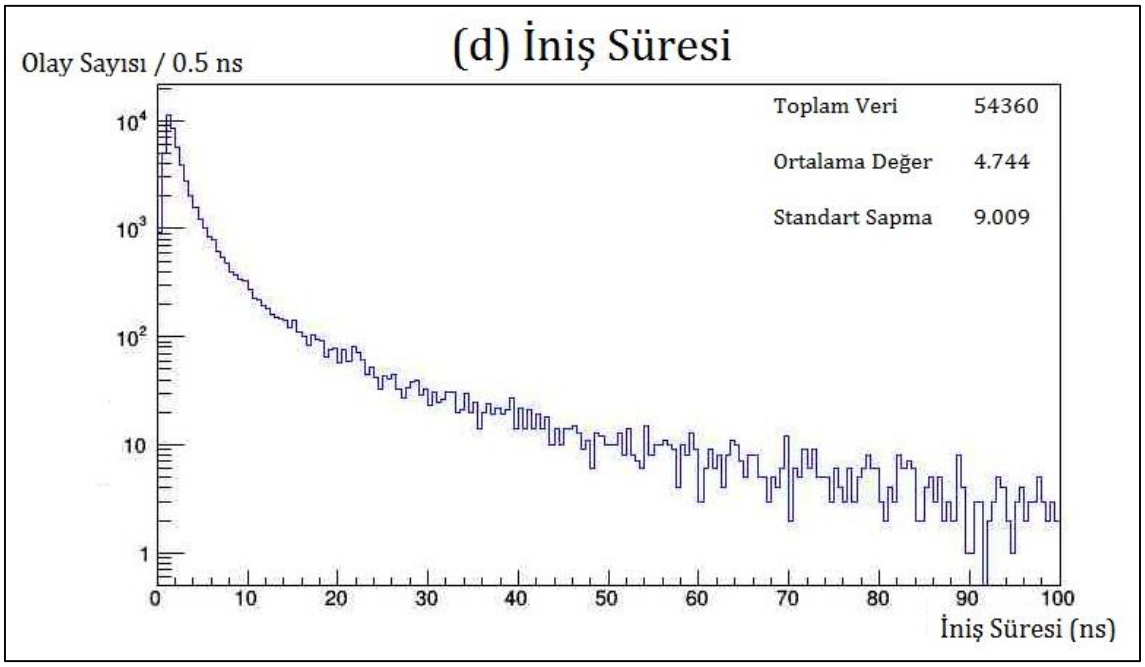


Şekil 4.19 Cs-137 gama ölçümü -Çıkış süresi- (Numune 4)

Elektronik devrede çıkış süresi, tanımlanan gerilim veya akım fonksiyonunun belirlenen referans değerinden başlayarak, yükselmesi olarak tanımlanabilir.

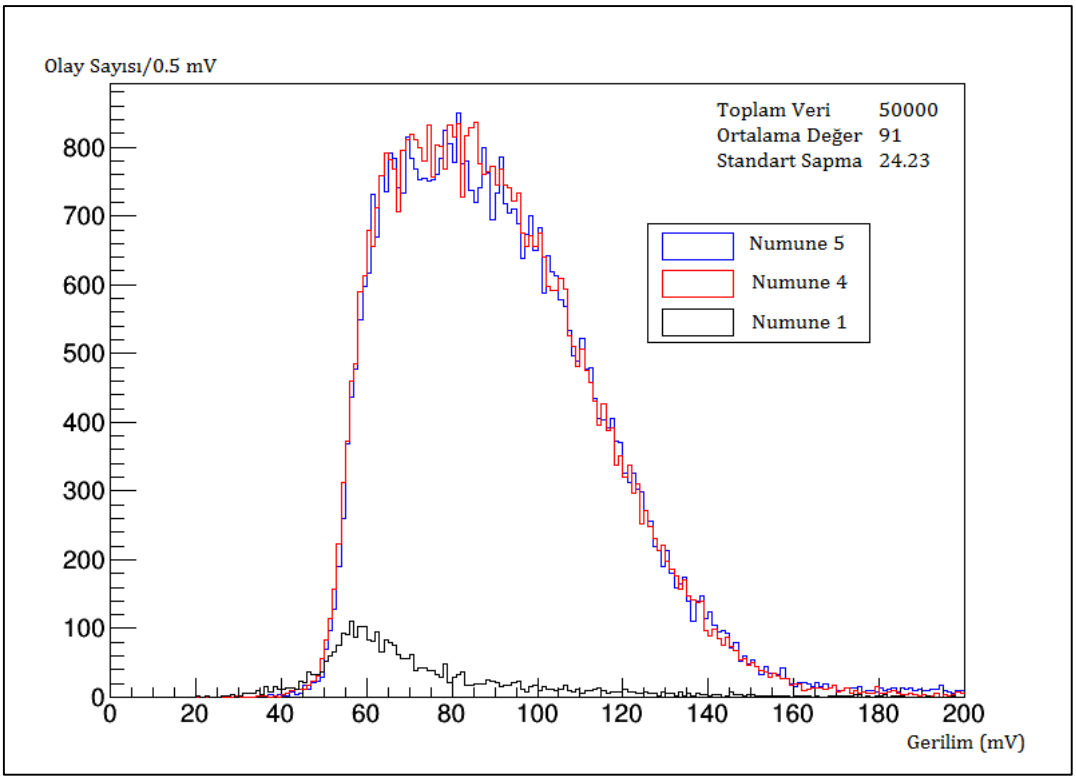
Radyasyon algılama sistemlerinde, çıkış süresi, dedektörün radyoaktif kaynak etkileşimi sonucu PMT de oluşturulan sinyallere verdiği tepki süresidir.

Çalışmaların tamamında elde edilen sinyallerin çıkış süresi eğrileri incelendiğinde (Şekil 4.7, 4.11, 4.15 ve 4.19) olayların büyük çoğunluğu olarak tanımlayabileceğimiz yaklaşık 22000 olay, ortalama 0,7324 ns içerisinde gerçekleşmiştir ve bu zaman aralığı dedektör sisteminin elektronik elemanları ile uyumludur.



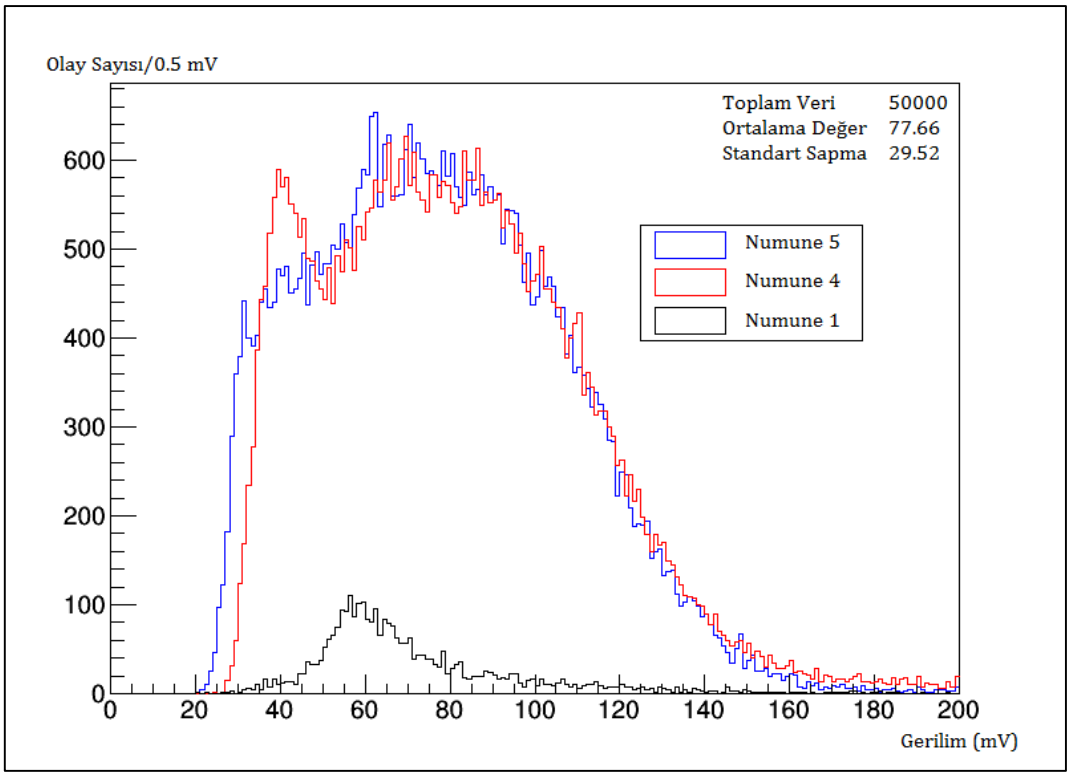
Şekil 4.20 Cs-137 gama ölçümü -İniş süresi- (Numune 4)

PDMS katkılı sintilatör ile alınan gama ölçümlerinde iniş süreleri incelendiğinde (Şekil 4.16 ve Şekil 4.20) PDMS katkısının sintilatör kristali içerisinde ikincil ışımaları arttırdığı, 50 ns üzerinde de ihmal edilemeyecek seviyede sinyal oluşturmaya devam ettirdiği söylenebilir.



Şekil 4.21 Co-60 gama sinyali karşılaştırmalı analiz

Şekil 4.21'de, kaydedilen 50000 olay içerisinde, numune 4 ve numune 5 ile alınan ölçümlerde ağırlıklı olarak 80-100 mV arasında oluşmuş sinyaller görülmektedir. Epoksi taban, numune 1 ile alınan ölçümlerde 0,5 mV başına 100 olay kaydedilirken, katkılı numuneler 4 ve 5 için bu sayı 800 olaya kadar çıkmaktadır. Bu durum, eklenen katkıların sintilatörün ışıldama verimini yaklaşık 8 kat attırdığını göstermektedir.



Şekil 4.22 Cs-137 gama sinyali karşılaştırmalı analiz

Numune 5 için çözücü olarak aseton kullanılmış ve buharlaştırma işlemi sonucunda asetonun numuneden uzaklaşması sağlanmıştır. Aseton ile oluşturulan numunelerde, kuruma sonrası renk değişimi gözlemlediğinden, POPOP için ideal çözücü olan yağ bazlı malzemeler düşünülmüş fakat bu malzemelerin çözünme sonrası sintilatör kristali içerisinden buharlaşma miktarı ihmal edilecek kadar düşük olduğundan, hem çözücü özelliği taşıyan ve bununla birlikte kristalin optik verimine katkısı olabileceği düşünüldüğünden PDMS kullanılmıştır.

Şekil 4.22'da 20 V üzerinde ölçülen sinyaller incelendiğinde numune 4 için düşük bölgede bir pik daha gözlenmektedir. Bu durum PDMS çözücüsünün, sintilatör kristali içerisinde üçüncül bir katkı malzemesi gibi davrandığını, optik çözünürlüğü etkilediğini göstermektedir. Farklı karışım oranları ve karıştırma metotları denenerek, PDMS katkısının sintilatör içerisinde ışıldama verimini arttıracak biçimde optik çözünürlüğe olumlu etkileri gözlenebilir.

5
Sonuç ve Öneriler

Bu tez çalışmasında malzeme teminin ardından, polistren ve epoksi tabanlı sintilatör üretimi için fiziksel döküm yöntemleri üzerine çalışılmıştır. Kristal berraklığında, katkılı, sert yapılı plastik sintilatör elde edilmesi amacıyla yapılan çalışmalarda, taban olarak kullanılan polistren ve epoksi kimyasallarına POPOP ve PPO katkılanması aşamasında farklı çözücü ve çözünen varyasyonları denenmiştir. Çalışmanın tamamı değerlendirildiğinde, polistren için küçük ölçekli, ısısal işlemlerden uzak yapılan çalışmalarda, ortaya çıkan temel problem POPOP katkısının taban malzeme içerisinde çözünürlüğünün daha karmaşık işlemler gerektirmesidir. POPOP katkısı için Tablo A2'de verilen çözeltiler kullanıldığında, polistren içerisinden çözücünün tam uzaklaşmaması problemiyle karşılaşılmış ve çözeltiden döküm metodunun polistren kalıplama için uygun olmadığı görülmüştür. Bu sebeple daha kolay şekillendirilebileceği düşünüldüğünden, kendiliğinden kürlenen şeffaf bir polimer olan epoksi, taban olarak kullanılmıştır. Epoksi içerisinde aseton çözücüsü, numunenin renginin sarıya kaymasına sebep olmuştur. Diğer çözücüler olan Si yağ ve PDMS içerisinde, POPOP, aseton ile oluşturulan çözeltilere göre daha yüksek verimle çözündüğü ancak yağ bazlı malzemelerin çözelti içerisindeki madde miktarıyla doğru orantılı olarak sintilatör kristalinin şeffaflığını azalttığı, bu sebeple, epoksi tabanlı sintilatör üretiminde, POPOP katkısı için yağ bazlı malzemelerin polimerik formda ideal çözücü olamayacağı gözlenmiştir.

Çözücü uygulamaları ile üretilen sintilatör malzemelerinde ısıl işlemler yapılması malzemenin istenilen özelliklerde elde edilebilmesini sağlayabileceği gibi sintilatör kristali üretimi için fiziksel yöntemler izlenmesi yerine, monomer oluşumu esnasında taban malzemeye katkıların eklenmesi çözünürlük, şeffaflık gibi özelliklerin istenilen düzeyde elde edilmesini sağlayabilir. Diğer monomerlerle polimerize edilebilen bir madde olan renksiz, sıvı formda bulunan metil metakrilat kullanılabilir.

Sintilatör üretimlerinin ardından optik özelliklerinin uygun olduğu düşünülen numunelerle, dijital osiloskop kullanılarak farklı zaman aralıklarında alınan ölçümlerden

elde edilen ekran görüntülerinde, sintilatör malzemenin gama ışınlarıyla etkileştiğinde oluşturduğu elektrik sinyalleri gözlemlenmiştir. Sintilatör malzemenin kaynak aktivitesine karşı gösterdiği bu tepki, arka fon radyasyonu ile karşılaştırıldığında, üretilen sintilatör kristallerinin gama aktivitesine karşı duyarlı oluşu çalışmanın bu kısmında kesinleştirilmiştir.

DRS 4 ile yapılan ölçümler bu durumu desteklemektedir. Tespit edilen, düşük çıkış ve düşük iniş süresi üretilen epoksi tabanlı katkılı organik sintilatörün hızlı gama etkileşimi gerçekleştirdiğini göstermiştir. Bu durumu sintilatörün şeffaflık özelliği etkilemektedir. Solvent olarak PDMS kullanılan numunenin, ışık geçirgenliği diğer iki numuneden gözle görülebilecek kadar düşük olduğu için çıkış ve iniş süresinin bu numune için daha düzensiz olduğu tespit edilmiştir. Bu durum opak numune içerisinde ışık çıkışının daha düşük olması sebebiyle, ikincil ışımaların gerçekleşme olasılığının daha yüksek olduğunu göstermektedir. Katkısız taban olarak üretilen numune 1'in ışık geçişi diğer numunelerle karşılaştırıldığında çok yüksek olduğundan çıkış ve iniş süresi en düşük olan sintilatördür.

Sintilatör içerisindeki katkı malzemesinin ışıldamaya etkisi, sintilatörün gama etkileşimi sonrası oluşturulan elektrik sinyallerinin karakteristiğini belirlemektir. Epoksi tabanlı sintilatör kristali içerisine eklenen PPO, POPOP ve PDMS katkılarının kristalin ışıldama verimini değiştirdiği analizlerle tespit edilmiştir. Numune 1 için gama etkileşimi sonrası ışıldamanın çok küçük oluşu, sintilatör malzemenin safsızlığının malzemenin gama etkileşimi karakteristiğini değiştirdiğini kanıtlamaktadır.

Numune 4 ile yapılan ölçümler incelendiğinde, PDMS katkısının organik sintilatörün tepki karakteristiğini değiştirdiğini göstermektedir. Epoksi tabanlı sintilatör kristaline eklenen PDMS katkısının, sintilatörün şeffaflığını gözle görülebilir şekilde azalttığından bu durumun sintilatör içerisinde ikincil ışımaları arttırdığı, kristalden ışık çıkışının zorlaştığını ve kristalin sürekli olarak ışıldama yapan bir sistem gibi davrandığı söylenebilir. Elektromanyetik dalga ile etkileşmesi sonucunda meydana gelen ışıldamanın enerjisiyle doğru orantılı olan sintilatör kristalinin verimi, malzeme içerisine eklenen katkı maddeleriyle arttırılabilmektedir. Işıldama enerjisini arttıran bu katkı malzemeleri, sintilatör kristali içerisinde fiziksel deformasyonlara yol açabilmektedir. Bu çalışmada, katkı malzemeleri, sintilatör kristali içerisine farklı yöntemlerde karıştırılmıştır. Epoksi taban üzerine, farklı çözücülerde çözülmüş katkı malzemeleri, sıvı-

sıvı karışım oluşturacak şekilde eklenmiş ve soğumaya bırakılmıştır. Karışım oluştururken izlenen yöntemler, elde edilen sintilatör malzemesinin, şeffaflık, yoğunluk, renk gibi fiziksel özelliklerini belirlemektedir. Katkısız epoksi numune 1 ile alınan ölçümler ile kıyaslandığında, diğer sintilatör numunelerinde, eklenen katkı malzemelerinin sintilatörlerin ışıldama verimini arttırdığı gözlemlenmektedir. İdeal bir sintilasyon dedektörü tasarlanmak istendiğinden, dedektör verimi ile birlikte dedektörün hızlı olması da istenilen özellikler arasındadır. Ancak eklenen katkı malzemeleri, bu çalışmada izlenen karıştırma yöntemleri kullanıldığında, sintilatör kristalinin şeffaflık özelliğini azaltmakta hatta belirli oranlarda kristalin tamamen opak forma geçmesine sebep olmaktadır. İdeal nükleer ölçüm sisteminin tasarlanması ve üretilmesinin amaçlandığı bu tez çalışmasında, tasarlanan karanlık oda sistemi içerisinde ve PMT sintilatör montajı sırasında ışık yalıtımının sağlandığı, sintilatör geometrisinin nükleer ölçüm sisteminin çalışma koşullarına uygun olduğu görülmüştür. Üretilen sintilatör kristali ve kullanılan elektronik ekipman ve diğer materyallerin çalışma mekanizmalarının uyumluğu olduğu yapılan ölçümler ve elde edilen analizler sonucunda gözlemlenmiştir. Elde edilen bulgular sonucunda, yüksek verimliliğe sahip, hızlı bir sintilatör malzeme üretimi için, eklenen katkı malzemelerinin sintilatör kristalinin ışıldama verimini arttırdığı gözlemlenmektedir. Ancak uygun olmayan kimyasal ve fiziksel karıştırma yöntemleri izlendiğinde, kristal üzerinde fiziksel deformasyonlar meydana gelmekte ve bu deformasyonlar polistren tabanlı sintilatör üretilmesi üzerine yapılan çalışmalarda gözlemlediğimiz gibi sintilatör kristalinin istenilen geometride ve sertlikte elde edilebilmesini zorlaştırmaktedır. Bununla birlikte ortaya çıkan bu deformasyonlar, epoksi ile hazırlanan numunelerde olduğu gibi sintilatör kristali içerisinde ışıldama özelliklerini değiştirmekte ve kristalin şeffaflığını azalttığından sintilatör verimini düşürmektedir. Bu durumda çözünen ve çözücü özellikleri göz önünde bulundurularak uygun karıştırma yöntemleri belirlendiğinde, eklenen ideal katkı malzemelerinin sintilatör kristali içerisinde verimi arttırdığı söylenebilir.

Kaynakça

[1] Y.S. Hwang, H.J. Kim, D.H. Kim, H.W. Park, J.M. Park, "Scintillation properties of quantum-dot doped styrene based plastic scintillators," *Journal of Luminescence,* sayı 146, sayfa157–161, 2014.

[2] A.F. Adadurov, Y.A. Gurkalenko, V.N. Lebedev, V.N. Pereymak, P.N. Zhmurin, "Plastic scintillator for pulse shape neutrons and gamma quanta discrimination," *Radiation Measurements,* sayı 62, sayfa 1-5, 2014.

[3] M.L. Carman, A.M. Glenn, H.P. Martinez, I.A. Pawełczak, S.A. Payne, N.P. Zaitseva,"Boron-loaded plastic scintillator with neutron-γ pulse shape discrimination capability". *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research,* Bölüm A, sayı 751, sayfa 62–69, 2014.

[4] K. Ishida, Y. Itoh, M. Katsumata, H. Miyata, H. Ono, T. Suzuki, M. Tamura, M. Watanabe, Y. Yamaguchi, "First performance test of newly developed plastic scintillator for radiation detection," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, Bölüm A, sayı 770, sayfa 197–202, 2015

[5] R. Ghadiri, J. Khorsandi ,"Studying the response of a plastic scintillator to gamma rays using the Geant4 Monte Carlo code," *Applied Radiation and Isotopes,* sayı 99, sayfa 63–68, 2015.

[6] L. Carman, A. Glenn, R. Hatarik, H. Klapper, P. Martinez, S. Payne, N. Zaitseva, "Scintillation properties of solution-grown trans-stilbene single crystals," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research,* bölüm A , sayı 789, sayfa 8-15, 2015.

[7] P. Lecoq, "Development of new scintillators for medical applications," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research,* bölüm A, sayı 809, sayfa 130–139, 2016.

[8] M. Balmer, K. Gamage, G. Taylor, "Comparative analysis of pulse shape discrimination methods in a 6Li loaded plastic scintillator," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research,* bölüm A, sayı 788, sayfa 146–153, 2015.

[9] Y. Ifergan ve diğer. 2014. "Utilization of wavelength-shiftingfibers coupled to ZnS(Ag) and plastic scintillator for simultaneous detection of alpha/beta particles," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, bölüm A, sayı 784, sayfa 93–96, 2015.

[10] P. Beck, N. Cherepy, C. Hurlbut, S. Payne, R. Sanner, E. Swanberg, T. Tillotson, "Bismuth- and lithium-loaded plastic scintillators for gamma and neutron detection," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research,* bölüm A, sayı 778, sayfa 126–132, 2015.

[11] Y. Fujimoto, K. Watanabe, T. Yanagida, "Comparative study of neutron and gamma-ray pulse shape discrimination of anthracene, stilbene, and p-terphenyl," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research,* bölüm A, sayı 784, sayfa 111–114, 2015.

[12] U. Bravar ve diğer, "Design and testing of a position-sensitive plastic scintillator detector for fast neutron imaging," *IEEE Transactions on Nuclear Science*, sayı 53, sayfa 3894 – 3903, 2006.

[13] P. Moskal ve diğer, 2014. "Test of a single module of the J-PET scanner based on plastic scintillators," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, Bölüm A, sayı 7, sayfa 317–321, 2014.

[14] R. L.Murray, K. E.Holbert, *Nuclear Energy*, 7. baskı, 3. bölüm, sayfa 31-46, 2015.

[15] S. Landsberger, N. Tsoulfanidis, *Measurement and Detection of Radiation*, 4. baskı, 1. bölüm, sayfa 1-3, 4. bölüm, sayfa 141-152, 6. bölüm, sayfa 195-228, 2015.

[16] D.Bor, "Radyasyon dedeksiyon ve ölçüm yöntemleri ders notları, 2018" Ankara Üniversitesi, Erişim bilgileri: https://acikders.ankara.edu.tr/course/view.php?id=3254 , Şubat 2019.

[17] S. N. Ahmed, *Physics and Engineering of Radiation Detection*, 2. baskı, 3,4,5. bölüm, sayfa 157-329, 2015.

[18] *Photomultiplier Tubes and Related Products User Manual*, Hamamatsu Photonics K.K., Japonya, 2016.

[19] C.Buck, B. Gramlich, S. Wagner, " Light propagation and fluorescence quantum yields in liquid scintillators," *Journal of Instrumentation*, sayı 10, sayfa P09007, Eylül 2015.

[20] Türkiye Atom Enerjisi Kurumu-SANAEM "Ticari polistren kullanarak düşük maliyetli plastik sintilatör üretimi," TR-2011-16, Ankara, Türkiye, 2011.

[21] E. Durmuşoğlu, "Kuantum nokta," *TMMOB Metalurji Dergisi*, sayı 160, sayfa 31-34, 2011.

[22] G. Davatz, H. Friederich, U. Hartmann, A. Howard, H. Meyer, ve diğer, "A scalable DAQ system based on the DRS4 waveform digitizing chip," *IEEE Transactions on Nuclear Science*, sayı 8, sayfa 1652-1656, 2011.

[23] M. Bitossi, R. Paoletti, D. Tescaro, "Ultra-fast sampling and data acquisition using the DRS4 waveform digitizer," *IEEE Transactions on Nuclear Science*, sayı 63, sayfa 2309-2316, 2016.

[24] BRV Poliüretan Epoksi Boya A.Ş., İzmir, Türkiye, Kasım 2018, Erişim bilgileri: http://www.brv.com.tr/decofloor-sc-330 , Kasım 2018.

[25] *D Type Socket Assemblies User Manual*, Hamamatsu Photonics K.K., Shizuoka,Japonya, 2016

[26] NETES Mühendislik ve Dış Ticaret A.Ş., İstanbul, Türkiye, Erişim bilgileri: https://www.netes.com.tr/urun/aatech-ads-1022b-dijital-osiloskop-2-mhz-kanal , Mart 2019.

[27] *DRS4 Datasheet rev. 0.9 User Manual*, Paul Sherrer Instut, Villigen, İsviçre,2007.

A

Kullanılan Malzemelerin Kimyasal Özellikleri

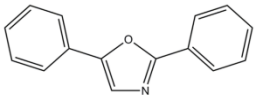
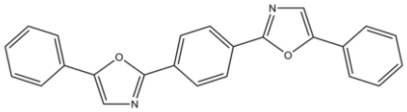
Tablo A.1 Polistirenin kimyasal özellikleri

CAS Numarası	9003-53-6
Özkütle (g/mL)	0,96-1,04
Erime Noktası (^{o}C)	240
Camsı Geçiş Sıcaklığı (^{o}C)	100
Gerilme Direnci (MPa)	42
Uzama (%)	1,8
Darbe Dayanımı (J/m)	21
Kırılma İndisi	1,6
Dielektrik Sabiti	2,6
Isı İletkenlik Katsayısı (W/mK)	0,033

Tablo A.2 Çözücülerin kimyasal özellikleri

	Aseton	Kloroform	Toluen	PDMS
CAS Numarası	67-64-1	67-66-3	108-88-3	63148-62-9
Molekül Ağırlığı (g/Mol)	58,08	119,37	92,14	54,71-71,8
Özkütle (g/mL)	0,7845	1,489	0,87	0,965
Erime Noktası (^{o}C)	-94,7	-63,5	-95	-50
Kaynama Noktası (^{o}C)	56,05	61,15	111	200
Kırılma İndisi	1,3588	1,4459	1,4970	1,4010
Akışkanlık (mPa/s, 25 ^{0}C)	0,295	0,563	0,590	0,31

Tablo A.3 Katkı malzemelerinin özellikleri

	PPO	POPOP
		
CAS Numarası	92-71-7	1806-34-4
Ampirik Formül	$C_{15}H_{11}NO$	$C_{24}H_{16}N_2O_2$
İsimlendirme	2,5-difeniloksazol	1,4-bis (5-fenil-2-oksazolil) benzen
Molekül Ağırlığı (g/mol)	221,25	364,40
Kaynama Noktası (°C)	360	Veri yok.
Erime Noktası (°C)	72-73	244-246
Saflık (%)	99	99
Görünüm	Beyaz Toz	Sarı Kristalin Fiber

Tablo A.4 BRV epoksi özellikleri [1]

Renk	Şeffaf
Görünüm	Parlak
Ağırlıkça Katı Madde	% 100
Yoğunluk	1,10 g/cm^3
Alevlenme Noktası	>25 °C
Karışım Oranı	5 / 3
Karışım Ömrü	30 dakika
Kuruma Süresi	

[1] BRV Poliüretan Epoksi Boya A.Ş., İzmir, Türkiye, Kasım 2018, Erişim bilgileri: http://www.brv.com.tr/decofloor-sc-330 , Kasım 2018.

Tablo A.5 Sezyum-137

Sembol	Cs - 137	
Yarı Ömrü (Y)	30,08	
Aktivite (kBq)	308,358	
E_γ (keV)	661,657	%85,1

Tablo A.6 Kobalt-60

Sembol	Co - 60	
Yarı Ömrü (Y)	5,27	
Aktivite (kBq)	93,289	
E_γ (keV)	1332,492	% 99,9826
	1173,228	% 99,85

B

Kullanılan Ekipmanın Elektronik Özellikleri

Tablo B.1 R9880U-110 PMT teknik özellikler [1]

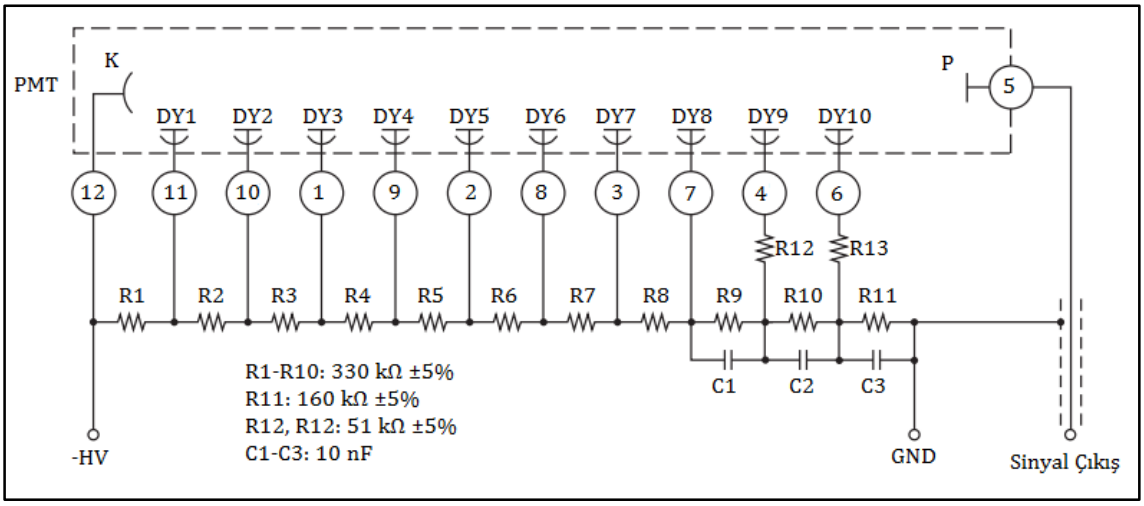
Seri Numarası			R9880U-110
Spektral Cevap	Menzil (nm)		270-700
	Tepe Dalga Boyu (nm)		400
Foto Katot Malzeme			SBA
Pencere Malzeme			K
Dinot Yapısı / Sayısı			MC/10
Maksimum Değerler	Anot-Katot Arası Potansiyel Fark (V)		1100
	Ortalama Çıkış Akımı (mA)		0,1
Katot Karakteristiği	Işıldama	Minimum (μA/lm)	80
		Karakteristik (μA/lm)	105
	Mavi Duyarlılık İndisi		13,5
	Kırmızı / Beyaz Oranı		-
	Radyant Karakteristiği (mA/W)		110
Anot Karakteristiği	Işıldama	Minimum (μA/lm)	80
		Karakteristik (μA/lm)	210
	Radyant Karakteristiği (mA/W)		$2{,}2.10^5$
	Kazanç Karakteristiği		2.10^6
	Yanıt Süresi	Çıkış Süresi (ns)	0,57
		Geçiş Süresi (ns)	2,7
	Karanlık Akım (30 dakika)	Karakteristik (nA)	1
		Maksimum (nA)	10

[1] *Photomultiplier Tubes and Related Products User Manual*, Hamamatsu Photonics K.K., Shizuoka, Japonya, 2016.

Tablo B.2 R9880U-04 PMT teknik özellikler [2]

Seri Numarası			R9880U-04
Spektral Cevap	Menzil (nm)		185-870
	Tepe Dalga Boyu (nm)		400
Foto Katot Malzeme			MA
Pencere Malzeme			U
Dinot Yapısı / Sayısı			MC/10
Maksimum Değerler	Anot-Katot Arası Potansiyel Fark (V)		1100
	Ortalama Çıkış Akımı (mA)		0,1
Katot Karakteristiği	Işıldama	Minimum (µA/lm)	100
		Karakteristik (µA/lm)	200
	Mavi Duyarlılık İndisi		-
	Kırmızı / Beyaz Oranı		0,2
	Radyant Karakteristiği (mA/W)		77
Anot Karakteristiği	Işıldama	Minimum (µA/lm)	100
		Karakteristik (µA/lm)	400
	Radyant Karakteristiği (mA/W)		$1{,}5.10^5$
	Kazanç Karakteristiği		2.10^6
	Yanıt Süresi	Çıkış Süresi Karakteristiği (ns)	0,57
		Geçiş Süresi Karakteristiği (ns)	2,7
	Karanlık Akım (30 dakika)	Karakteristik (nA)	1
		Maksimum (nA)	10

[2] *Photomultiplier Tubes and Related Products User Manual*, Hamamatsu Photonics K.K., Shizuoka, Japonya, 2016.



Şekil B.1 PMT akım şeması [3]

Tablo B.3 Dijital osiloskop teknik özellikler [4]

Model	ADS-1022B
Bant Genişliği	25 MHz
Kanal Sayısı	2 kanal, 1 harici tetikleme girişi
Gerçek Zamanlı Örnekleme Oranı	500 MSa/s
Eşdeğer Örnekleme Oranı	10 GSa/s
Kayıt Uzunluğu	32 Kpts (kanal başına)
Yükselme Zamanı	< 14 ns
Giriş Empedansı	1 MΩ // 17pF
Düşey Hassasiyet	2 mV-10 V/div
Düşey Çözü nürlük	8 bit
Maksimum Giriş Voltajı	± 400 V
Besleme	AC 100-240 V, 45 – 440 Hz, 50 VA

[3] *D Type Socket Assemblies User Manual*, Hamamatsu Photonics K.K., Shizuoka,Japonya, 2016.

[4] NETES Mühendislik ve Dış Ticaret A.Ş., İstanbul, Türkiye, Erişim bilgileri: https://www.netes.com.tr/urun/aatech-ads-1022b-dijital-osiloskop-25-mhz-2kanal , Mart 2019.

Tablo B.4 DRS 4 teknik özellikleri [5]

	DRS 4
Örnekleme Hızı (GSPS)	0,7 - 5,6
Okuma Hızı (GSPS)	10, 40, 30*(n+1)
SNR (Db)	69,1
Etkili Bit Sayısı (Bit)	11,5
	Analog Girişler
Diferansiyel Giriş Aralığı (V)	1
Ortak Mod Aralığı (V)	0,1-1,5
Mutlak Gerilim Sınırları (V)	AGND – 300 mV AVDD + 300 mV
Giriş Sığası (pF)	7, 11, 15
Eşdeğer Giriş Empedansı (kΩ / GHz)	6,3
Bant Genişliği (MHz)	950
BIAS Giriş Empedansı (kΩ)	> 1
	Analog Çıkışlar
Ortak Mod Gerilimi (V)	1,37

[5] *DRS4 Datasheet rev. 0.9 User Manual*, Paul Sherrer Instut, Villigen, İsviçre, 2007.

Tezden Üretilmiş Yayınlar

İletişim Bilgisi: iremarslanaysune@gmail.com

Konferans Bildirileri

1. İ. Arslan, M.A. Kaya, Ö. Akçalı, "Production of doped organic scintillators," *Türk Fizik Derneği, Uluslararası 32. Fizik Kongresi*, sayı 32, sayfa 384, 2016.

Projeler

1. İ. Arslan, Ö. Akçalı, **"**2016-01-01-YL01 numaralı Yüksek Lisans Tez Projesi: Katkılı Organik Sintilasyon Dedektörlerinin Karakterizasyonu, devam eden proje," Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü, İstanbul, Türkiye, 2016.