

TAEK TR-2011-1-16



**TİCARİ  
POLİSTİREN  
KULLANILARAK  
DÜŞÜK MALİYETLİ  
PLASTİK  
SİNTİLATÖR  
ÜRETİMİ**

**TEKNİK RAPOR**



TÜRKİYE ATOM ENERJİSİ KURUMU

**TÜRKİYE ATOM ENERJİSİ KURUMU**

**TEKNİK RAPOR**

**TİCARİ POLİSTİREN KULLANILARAK  
DÜŞÜK MALİYETLİ  
PLASTİK SİNTİLATÖR ÜRETİMİ**



2011

# TÜRKİYE ATOM ENERJİSİ KURUMU

2690 sayılı kanun ile kurulmuş olan Türkiye Atom Enerjisi Kurumunun ana görevi; atom enerjisinin barışçıl amaçlarla ülke yararına kullanılmasında izlenecek ulusal politikanın esaslarını ve bu konudaki plan ve programları belirlemek; ülkenin bilimsel, teknik ve ekonomik kalkınmasında atom enerjisinden yararlanılmasını mümkün kılacak her türlü araştırma, geliştirme, inceleme ve çalışmayı yapmak ve yaptırmak, bu alanda yapılacak çalışmaları koordine ve teşvik etmektir.

Bu çalışma TAEK personeli tarafından gerçekleştirilmiş araştırma, geliştirme ve inceleme sonuçlarının paylaşımı amacıyla Teknik Rapor olarak hazırlanmış ve basılmıştır.



Teknik Rapor 2011/16  
Türkiye Atom Enerjisi Kurumu yayınıdır.  
İzin alınmaksızın çoğaltılabılır.  
Referans verilerek kullanılabilir.

## TÜRKİYE ATOM ENERJİSİ KURUMU

Adres : Eskişehir Yolu 9. km 06530 Ankara/Türkiye  
Tel : +90 (312) 295 87 00  
Fax : +90 (312) 287 87 61  
Web : [www.taek.gov.tr](http://www.taek.gov.tr)

## ÖNSÖZ

*Plastik sintilasyon dedektörleri uzun yıllardan beri nükleer ve yüksek enerji fiziği alanlarında radyasyon dedeksiyonu amacıyla kullanılmaktadır [1]. Plastik sintilatörler, ayrıca, dozimetri uygulamalarında yüksek enerji ve elektron demeti dozimetrisi, <sup>60</sup>Co ve yüksek enerjili tedavi makinelerinin kalite güvenlik (QA) kontrolü amacıyla, optalmic (ophthalmic plaque dosimetry) plak dozimetri ve sterotaktik radiosurgery dozimetresi olarak da kullanılmaktadır. Plastik sintilatörlerin küçük hayvanların beyinlerinde in vivo β-parçacık dedüksiyonu için kullanımı dahi söz konusudur [2-8]. Kullanım alanı son derece geniş olan plastik sintilatörlerin gerek temel özelliklerinin geliştirilmesi gerekse üretim maliyetlerinin düşürülmesine yönelik çalışmalar uzun yıllardan beri devam etmektedir. Son yıllarda ticari polimerler kullanılarak plastik sintilatör üretim maliyetlerinin düşürülmesinin mümkün olduğu yapılan araştırmalarda ortaya konulmuştur [9-10]. Yapılan bu çalışmada da ticari olarak elde edilebilen polistiren (PS) pelletler kullanılarak ekstürüzyon ve basınçlı kalıplama tekniği ile plastik sintilatör protiplerinin üretilmesi hedeflenmiş olup iki adet prototip ürün 12 Haziran 2008 tarihinde üretilerek orijinal PS sintilatör ile birlikte gerekli testlere tabi tutulmuştur.*

## İÇİNDEKİLER

Tablolar Dizini.....	i
Şekiller Dizini.....	ii
Yönetici Özeti.....	iv
Executive Summary.....	vi
Kısaltmalar.....	viii
Terimler.....	viii
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. ORGANİK PLASTİK SİNTİLATÖRLERİN ÇALIŞMA PRENSİBİ.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 Sintilasyon Mekanizması.....</b>	<b>3</b>
<b>2.2 Ekstrüde Plastik Sintilasyon Dedektörler.....</b>	<b>6</b>
<b>3. ORGANİK PLASTİK SİNTİLATÖRLERİN HAZIRLANMASI.....</b>	<b>9</b>
<b>3.1 Kullanılan Ham Maddeler.....</b>	<b>9</b>
<b>3.2 Kullanılan Ekipman.....</b>	<b>10</b>
<b>3.3 Ekstrüde PS Kalıpların Hazırlanması.....</b>	<b>12</b>
<b>4. HAZIRLANAN PLASTİK SİNTİLATÖRLERİN ÖZELLİKLERİ.....</b>	<b>13</b>
<b>4.1 Spektroskopik Ölçümler.....</b>	<b>13</b>
<b>4.2 Mekanik Testler ve Eriyik Akış İndisi (MFI) Ölçümleri.....</b>	<b>14</b>
<b>4.3 Radyoaktif Kaynaklara Karşı Sintilatörün Cevabının     Ölçülmesi (Sayım Sistemi).....</b>	<b>15</b>
<b>4.4 Maliyet.....</b>	<b>20</b>



5. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME.....22

6. KAYNAKÇA.....23

## TABLolar DİZİNİ

<b>Tablo 1.</b> Plastik Sintilatörlerde Kullanılan Dopant Maddeler.....	5
<b>Tablo 2.</b> Ekstrüde Plastik Sintilatör Numuneleri İçin Ölçülen Işık Verimi.....	8
<b>Tablo 3.</b> Dow Styron 634 PS Pelletlerin Teknik Özellikleri.....	9
<b>Tablo 4.</b> Birincil ve İkincil Dopantların Bazı Fiziksel Özellikleri.....	10
<b>Tablo 5.</b> Sintilatör Bloklarının Mekanik Direnci.....	15
<b>Tablo 6.</b> Sintilatör Bloklarının MFI Değerleri.....	15
<b>Tablo 7.</b> Sayım Sisteminde Kullanılan Kaynaklar.....	16

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<b>Şekil 1.</b> Plastik Sintilatör Çalışma Prensibi.....	4
<b>Şekil 2.</b> Doğrudan Ekstrüzyon (Yöntem-1, sürekli) ve İki Basamaklı Proses (Yöntem-1+2, kesikli veya sürekli): Renklendirme ve Ekstürizyon.....	7
<b>Şekil 3.</b> Co-ekstrüzyon Metodu ile Yansıtıcı Kaplama Yapılması.....	7
<b>Şekil 4.</b> Birincil ve İkincil Dopant Olarak Kullanılan Katkı Maddelerinin Açık Yapıları.....	10
<b>Şekil 5.</b> Deneysel Düzeneğin Şematik Görünümü.....	11
<b>Şekil 6.</b> Kullanılan Ekstruder ve Pres.....	11
<b>Şekil 7.</b> Kullanılan Kalıplar.....	12
<b>Şekil 8.</b> PPO ve POPOP İçeren PS Sintilatörün Floresans ve % Geçirgenlik Spektrumları.....	13
<b>Şekil 9.</b> Orijinal LODLUM (PVT) (altta) ve SANAEM'de (üstte) Hazırlanan PS Blokların UV Spektrumları.....	14
<b>Şekil 10.</b> Sayım Sistemi.....	16
<b>Şekil 11.</b> SANAEM ve Orijinal Numuneden Ölçülen Background Sayım Sonuçları.....	17
<b>Şekil 12.</b> SANAEM ve Orijinal Numuneden Mesafeye Göre Ölçülen Sayım Sonuçları (Karma Kaynak).....	17
<b>Şekil 13.</b> SANAEM ve Orijinal Numuneden Mesafeye Göre Ölçülen Sayım Sonuçları (Cs-137).....	18

<b>Şekil 14.</b> SANAEM ve Orijinal Numuneden Mesafeye Göre	
Ölçülen Sayım Sonuçları (U-235 Standart Set).....	18
<b>Şekil 15.</b> SANAEM ve Orijinal Numuneden Mesafeye Göre	
Ölçülen Sayım Sonuçları (Karma Kaynak Farklı	
Mesafelerden Kaynak Açıp Kapatılarak).....	19
<b>Şekil 16.</b> SANAEM ve Orijinal Numuneden Mesafeye Göre	
Ölçülen Sayım Sonuçları (Cs-137 Farklı Mesafelerden	
Kaynak Açıp Kapatılarak).....	19
<b>Şekil 17.</b> SANAEM ve Orijinal Numuneden Mesafeye Göre	
Ölçülen Sayım Sonuçları (U-235 Standart Set Kullanılarak	
Farklı Mesafelerden Kaynak Açıp Kapatılarak).....	20

## YÖNETİCİ ÖZETİ

Plastik sintilatörler sertleştirilmiş bir polimer matrisi içerisinde çözülmüş organik floresant bileşikler içeren katı malzemeler olarak tanımlanabilir. Işık sintilasyonu için en yaygın kullanılan transparant plastikler polistiren (PS), polivinilbenzen, poliviniltoluen (PVT) veya polimetilstirendir. Plastik sintilatörlerin kompozisyonları değiştirilerek ışık verimi, radyasyon direnci, bozunma süresi gibi bir takım özellikleri kontrol edilebilir.

Plastik sintilatör dedektörler nükleer ve yüksek enerji fiziği alanlarında uzun yıllardır kullanılmaktadır. Plastik sintilatörlerin avantajları arasında hızlı tepki vermeleri, kolay üretilmeleri, şekillendirilebilmeleri ve çeşitlilikleri gelir. En büyük dezavantajları ise radyasyon dayanımları ve maliyetleridir. Plastik sintilatörler üzerine yapılan çalışmaların büyük çoğunluğu plastik sintilatörlerin temel özelliklerinin artırılması üzerine yoğunlaşmakla birlikte bu malzemelerin daha düşük maliyetle ve daha kolay hazırlama teknikleri ile üretilmelerine yönelik çalışmalar daha azdır.

İlk plastik sintilatörler 1950'lerde üretilmiştir. Düşük maliyetli plastik sintilatörlerin üretilmesine yönelik çalışmalar 1970'li yılların ikinci yarısından itibaren hızlanmıştır. 1975 yılında akrilik bazlı sintilatör Plexipop geliştirilmiştir. Düşük maliyetine rağmen akriliğin aromatik yapıda olmaması nedeniyle Plexipop'un sintilasyon ışık verimi klasik plastik sintilatörlerin dörtte biri kadar olmuştur. Zaman içinde geliştirilen sintilatörlerde yavaş cevap süresi ve zayıf mekanik özelliklerinden kaynaklanan problemler devam etmiştir. Bu nedenlerden dolayı 1980'li yıllara kadar yüksek kalitede ve düşük maliyetli sintilatörlerin üretilmesinde istenen sonuçlar alınamamıştır. Son on yıl içerisinde ekstürüzyon yöntemi, düşük maliyetli yüksek kalitede plastik sintilatör malzemelerin hazırlanmasında son derece popüler hale gelmiştir.

Bu çalışmada ekstürüzyon ve basınçlı kalıplama metodu ile ticari PS pelletler kullanılarak düşük maliyetli plastik sintilatör üretiminin ön çalışmalarının gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla floresant dopantlar içeren PS bloklar Haziran 2008'de SANAEM'de bulunan ekstrüder ve pres cihazları kullanılarak hazırlanmıştır. Ekstrüzyon cihazına bağlanabilecek uygun kalıp tasarımı yapılarak ürünün kalıplanabilmesi için en uygun çalışma sıcaklığı, basma hızı ve basıncı

gibi optimum üretim parametreleri bulunmuş ve belirlenen optimum parametreler ile 12 Haziran 2008 tarihinde iki adet PS Sintilatör bloğu üretilmiştir. Hazırlanan plastik sintilatör blokların bir tanesinde optik ve mekanik testler yapılmış diğerinin farklı radyoaktif kaynaklara karşı cevabı ölçülmüştür.

10x5x40 cm boyutlarında üretilen plastik Sintilatör bloklarının optik, mekanik özellikleri ile değişik radyasyon kaynaklarına verdikleri tepkiler incelenmiş ve sonuçlar, PVT ana malzemesiyle üretilen ABD yapımı 13x8x120 cm ebatlarındaki LODLUM Sintilatör bloklarıyla karşılaştırılmıştır. Laboratuar ölçekli bu üretim sonucu elde edilen malzemenin optik özelliklerinin LODLUM'la aynı olduğu, SANAEM'de hazırlanan PS sintilatörün mekanik özellikler bakımından LODLUM'a eşit veya daha iyi olduğunu bulunmuştur. Çeşitli radyoaktif kaynaklarla yapılan ölçüm çalışmaları, iki plastik Sintilatör bloğunun da alan ve/veya hacimleriyle (kaynağı gören katı açı ile) orantılı olarak benzer sonuçları verdiğini göstermiştir.

Bu çalışma, yurt dışından temin edilen plastik sintilatörlerin, SANAEM araştırma merkezindeki imkanlarla üretilebileceğini ve bu plastik sintilatörlerin yurt içinde ve sınır kapılarında radyoaktif malzemelerin tespiti amacıyla kullanılabilirliğini göstermiştir.

## EXECUTIVE SUMMARY

Plastic Scintillators can be described as solid materials which contain organic fluorescent compounds dissolved within a polymer matrix. Transparent plastics commonly used for light scintillation are Polystyrene (or PS, poly-vinyl-benzene) and polyvinyl-toluene (or PVT, poly-methyl-styron). By changing the composition of plastic Scintillators some features such as light yield, radiation hardening, decay time etc. can be controlled.

Plastic scintillation detectors have been used in nuclear and high energy physics for many decades. Among their benefits are fast response, ease of manufacture and versatility. Their main drawbacks are radiation resistance and cost. Many research projects have concentrated on improving the fundamental properties of plastic scintillators, but little attention has focussed on their cost and easier manufacturing techniques.

First plastic Scintillators were produced in 1950's. Activities for production of low cost Scintillators accelerated in second half of 1970's. In 1975 acrylic based Plexipop Scintillator was developed. Despite its low cost, since its structure was not aromatic the light yield of Plexipop was about one quarter of classical Scintillators. Problems arising from slow response time and weak mechanical properties in scintillators developed, has not been solved until 1980. Within the last decade extrusion method became very popular in preparation of low cost and high quality plastic scintillators.

In this activity, preliminary studies for low cost plastic scintillator production by using commercial polystyrene pellets and extrusion plus compression method were aimed. For this purpose, PS blocks consist of commercial fluorescent dopant were prepared in June 2008 by use of the extruder and pres in SANAEM. Molds suitable for accoupling to extruder were designed and manufactured and optimum production parameters such as extrusion temperature profile, extrusion rate and moulding pressure were obtained hence, PS Scintillator Blocks were produced with those determined parameters in 12 June 2008. Plastic blocks prepared were optically and mechanically tested and its response against various radioactive sources was measured.

The results regarding the optical, mechanical and detection properties of blocks produced in 10x5x40 cm dimension were compared with commercial LODLUM Scintillator (main component PVT) produced by US in 13x8x120 cm dimensions. It was found that optical and mechanical properties of blocks produced in SANAEM are similar to or better than that of LODLUM. Plastic scintillator produced in SANAEM has shown the same response and counting characteristics that obtained by LODLUM, but proportional to its area and/or volume specifications.

This study has shown that plastic scintillators imported can be produced in SANAEM domestically and be used for detection of radioactive materials within the country or border gates.

## KISALTMALAR ve TERİMLER

### KISALTMALAR

<b>CPS</b>	: Saniyede Sayım (Count per second)
<b>FMT</b>	: Işık Çoğaltıcı Tüp (Foto Multiplier Tube)
<b>MFI</b>	: Eriyik Akış İndisi (Melt Flow Index)
<b>POPOP</b>	: 1,4-bis [5-phenyloxazol-2yl] benzene
<b>PPO</b>	: 2,5-Diphenyloxazole
<b>PS</b>	: Polistiren
<b>PVT</b>	: Poliviniltoluen
<b>WLSF</b>	: Dalga boyu kaydırıcı fiber (wavelength shifting fibers)

### TERİMLER

<b>Plastik Sintilatör</b>	: Radyasyon kaynağına tepki vererek ışıldama yapan polimer maddeden mamul ana gövde
<b>Dopant</b>	: Sintilatör yapı içerisine katılan, oluşan ışıldamaları farklı dalga boyuna dönüştüren katkı maddeleri
<b>Ekstrüzyon</b>	: Ekstrüder kullanarak polimer maddenin eritilerek ve basınçlandırılarak bir kalıp veya haddeleme cihazı ya da çekme silindiri gibi şekillendirme ünitesine beslenmesi

# 1. GİRİŞ

Plastik sintilatör dedektörler nükleer ve yüksek enerji fiziği alanlarında uzun yıllardır kullanılmaktadır [1]. İlk örnekleri yarım yüzyıldan önce üretilmiş olan Plastik sintilatörler sertleştirilmiş bir polimer matris içerisinde çözülmüş organik floresant bileşikler içeren katı malzemeler olarak tanımlanabilir. Işık sintilasyonu için en yaygın kullanılan transparant plastikler polistiren (PS), polivinilbenzen, poliviniltoluen (PVT) veya polimetilstirendir [1-8]. Plastik sintilatörlerin kompozisyonları değiştirilerek ışık verimi, radyasyon direnci, bozunma süresi gibi bir takım özellikleri kontrol edilebilir.

Plastik sintilatörlerin bir takım avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Avantajları arasında hızlı tepki vermeleri, kolay üretilmeleri, şekillendirilebilmeleri ve çeşitlilikleri gelir [9]. En büyük dezavantajları ise radyasyon dayanımları ve maliyetleridir [11-14].

Plastik sintilatörler alüminyum veya cam bir kalıp içerisinde yığın polimerizasyonu veya klasik basınçlı kalıplama tekniği ile hazırlanabilir. Yığın polimerizasyonu ile üretim yapıldığında polimerizasyon öncesi kullanılan tüm bileşenlerin saflaştırılması gereklidir. Polimerizasyon süreci en az dört beş günlük bir zaman dilimine ihtiyaç duyar. Ayrıca, monomerin tamamen polimere dönüşümünü sağlamak için yüksek sıcaklık ve ardından gerilimsiz malzeme üretimi için oda sıcaklığına kadar kontrollü bir soğutma gerektirmektedir [9-10]. Polimer ana gövdeye oksijen ve nem difüzyonu, çatlak/hata oluşumu ve sararma/bulanıklaşmaya neden olarak ana gövdenin ışık üretimini (sintilasyon verimini) ve dopantların dönüştürdüğü ışığın iletimini/transmittansı düşürerek sintilatörün özelliklerinin kötüleşmesine neden olur. Bunun yanı sıra, plastik sintilatörlerdeki yaşlanmanın ana nedenlerinden birisi kalıntı monomerdir [15].

Plastik sintilatörler üzerine yapılan çalışmaların büyük çoğunluğu plastik sintilatörlerin temel özelliklerinin artırılması üzerine yoğunlaşmakla birlikte bu malzemelerin daha düşük maliyetle ve daha kolay hazırlama teknikleri ile üretilmelerine yönelik çalışmalar son yıllarda önem kazanmıştır. Özellikle, çok büyük miktarlarda plastik sintilatöre ihtiyaç duyulan büyük araştırma projelerinde sintilatör maliyeti önemli bir parametre olmaktadır.

İlk plastik sintilatörler 1950'lerde üretilmiştir. Düşük maliyetli plastik sintilatörlerin üretilmesine yönelik çalışmalar 1970'li yılların ikinci yarısından itibaren hızlanmıştır. 1975 yılında akrilik bazlı sintilatör Plexipop geliştirilmiştir. Düşük maliyetine rağmen akriliğin aromatik yapıda olmaması nedeniyle Plexipop'un sintilasyon ışık verimi klasik plastik sintilatörlerin dörte biri kadar olmuştur. Yine de akrilik esaslı plastik sintilatörler üzerine yapılan çalışmalar ışık verimi ile ilgili problemlere katkı sağlamıştır [1,9]. Ancak, geliştirilen sintilatörlerde yavaş cevap süresi ve zayıf mekanik özelliklerinden kaynaklanan problemler devam etmiştir. Bu nedenlerden dolayı 1980'li yıllara kadar yüksek kalitede ve düşük maliyetli sintilatörlerin üretilmesinde istenen sonuçlar alınamamıştır. Son on yıl içerisinde ekstürüzyon yöntemi düşük maliyetli yüksek kalitede plastik sintilatör malzemelerin hazırlanmasında son derece popüler hale gelmiştir.

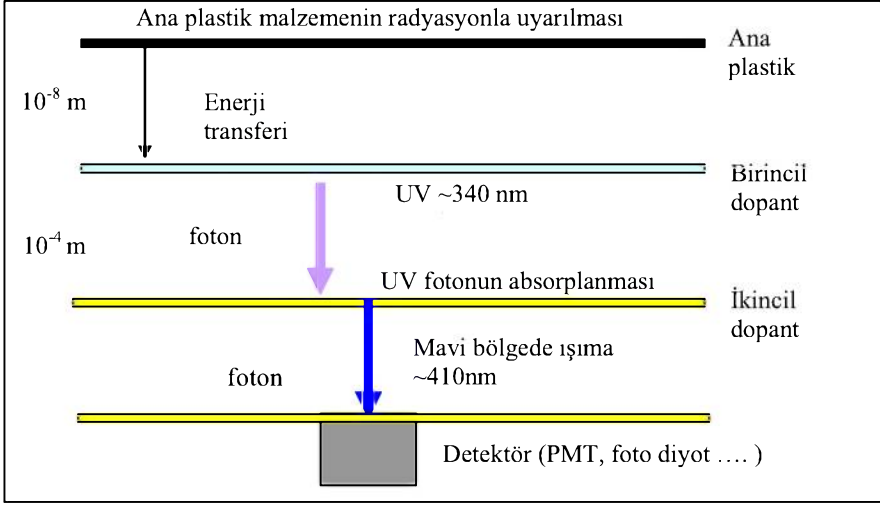
Özellikle, 1980'lerin sonundan itibaren dalga boyu kaydırıcı fiberlerin (wavelength shifting fibers, WLS) ticari olarak elde edilebilmesi ekstürüzyon yöntemi ile plastik sintilatörlerin üretilmesine katkı sağlamış ve bu alanda yapılan çalışmalara ayrı bir boyut kazandırmıştır. Ekstürüzyon işleminde kullanılan polimerler pellet veya toz halindedir. Ekstrüzyon metodunda kullanılmak üzere ticari PS peletler ucuz ve kolay bir şekilde elde edilebilir. Bu sayede monomerin saflaştırılması işlemleri ve bunun getirdiği maliyetler azalır. Ayrıca ekstrüzyon metodu, istenilen geometride üretim imkanı verdiği için dolayı detektör geometrisi seçenekleri artar. Bununla birlikte, ekstrüde plastik sintilatör, döküm sintilatörlere göre daha düşük optik kalitededir. Bunun nedeni PS taneciklerindeki yüksek parçacık konsantrasyonudur. Dolayısıyla ışığın soğrulması nedeniyle üretilen plastik sintilatörün boyu daha kısa olmak zorundadır. Bu sorunu aşmak için yukarıda bahsedilen WLS fiberler kullanılabilir. Bu çalışmada ekstürüzyon metodu ile ticari PS pelletler kullanılarak düşük maliyetli plastik sintilatör üretiminin ön çalışmalarının gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla floresant dopantlar içeren PS bloklar SANAEM Teknoloji Bölümü-Malzeme Birimi'nde bulunan ekstrüder ve ısıtmalı/soğutmali pres cihazları kullanılarak hazırlanmıştır. Ekstrüzyon aletine uygun kalıp tasarımı yapılarak sistemin çalışma sıcaklığı, basma hızı ve basıncı gibi optimum üretim parametreleri bulunmuştur. Hazırlanan plastik sintilatör blokların mekanik testleri yapılmıştır. Plastik sintilatörün farklı radyoaktif kaynaklara karşı cevabı ölçülerek mevcut kullanılan plastik sintilatörle karşılaştırması yapılmıştır.

## 2. ORGANİK PLASTİK SİNTİLATÖRLERİN ÇALIŞMA PRENSİBİ

### 2.1 Sintilasyon Mekanizması

Yüklü bir parçacık bir maddenin içerisinde geçtiği zaman arkasında içerisinde geçtiği maddenin uyarılmış moleküllerini bırakır. Belli tip moleküller bu enerjinin küçük bir kesrini ( $\approx \%3$ ) optik fotonlar olarak yayarlar. Sintilasyon (ışıldama) olarak adlandırılan bu proses, özellikle aromatik halka içeren PS, poliviniltoluen ve naftalin gibi organik yapılarda belirgindir. Toluen ve ksilen içeren sıvılarda sintilasyon yaparlar. Floresans olayında ise bir fotonun absorpsiyonu sonucu uyarılmış seviyeye çıkan molekül, daha uzun bir dalga boyunda ışımaya yaparak temel seviyeye döner.

Lüminesant katkılar, sintilasyon ışığını daha uygun (kolay ölçülebilir) bir dalgaboyuna kaydırmak için “dalga kaydırıcı” (wavelength shifters) olarak kullanılırlar. Kompleks moleküller içinde meydana gelen absorpsiyon ve emisyon prosesi foton enerjilerinin geniş bir bantı üzerine dağılır, emisyon ve absorpsiyon bantlarının bazıları örtüşür yani emisyon ışığının belli bir kesri tekrar absorplanabilir. Self absorpsiyon olarak adlandırılan bu olay attenuation uzunluğunun kısalmasına neden olduğu için dedektör uygulamalarında istenilmez. Ana absorpsiyon ve emisyon pikleri arasındaki dalgaboyu farkı “Stoke kayması” olarak adlandırılır. Bu nedenle daha büyük Stoke kayması self absorpsiyonun daha küçük olması anlamına gelir. Şekil 1’de plastik sintilatörün çalışma prensibi şematik olarak gösterilmiştir.







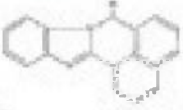



**Şekil 1.** Plastik Sintilatör Çalışma Prensibi

Plastik sintilatör yapımında kullanılan ana plastik malzemeler daha önce de değinildiği gibi PS, poliviniltoluen ve akriliktir. Ancak, akrilik aromatik bir yapı olmadığı için sintilasyon verimi düşük olup aromatik yapıdaki sintilatörlere kıyas ile çok daha kısa sürede ana gövde içerisinde çatlak gelişmesi ve bulanıklaşmaya uğramaktadır. Akrilik içerisine %5'den %20 'ye kadar değişebilen oranlarda naftalin gibi oldukça yüksek aromatik yapıli bir bileşiğin (dopant) çözülerek eklenmesiyle sintilatör malzemesi olarak kullanımı mümkün olabilmektedir. Akrilik içerisine bu oranlarda naftalin eklenmesi ile de aktif bileşen naftalin olur. Plastik sintilatörlerde kullanılan dopantların yeterince kararlı, çözünebilir, kimyasal olarak asal, radyasyon toleransı yüksek ve verimli olması gerekir. Tablo 1'de plastik sintilatörlerde en çok kullanılan birincil (primary) ve ikincil (secondary) dopantlar verilmiştir.

Plastik sintilatörlerde iyonlaştırıcı radyasyona duyarlı kısım ana plastik malzemedir. Dopantların kullanılmadığı durumlarda ana plastik kısa sönüm (attenuation) uzunluğunda (birkaç mm) UV fotonları yayacaktır. Daha uzun sönüm uzunlukları, ana plastiğin ışık geçirgenliğinin en fazla olduğu bir dalga boyunda soğrulan enerjiyi kuvvetli şekilde tekrar yayabilecek birincil dopantın yüksek bir konsantrasyonda (~%1 w/w) ana plastik içinde çözülmesiyle elde edilir. Birincil dopantın ikinci önemli bir fonksiyonu daha vardır. Sintilatörün ana plastiğinin decay süresi uzun olabilir (örneğin PS için bozunma süresi 16 ns), bu durumda yüksek konsantrasyonda birincil dopantın eklenmesi ile bozunma süresi büyük oranda kısalır ve toplam ışık verimi artar. Dopantın kullanılan konsantrasyonlarında (~%1 ve daha

fazla), bir dopant molekülü ile uyarılmış ana birim arasındaki ortalama mesafe  $100 \text{ \AA}$  civarındadır ve bu mesafe bir ışığın dalga boyundan oldukça azdır. Bununla birlikte bir dopant tam olarak emisyon dalga boyu veya sönüm uzunluğunun istenilen düzeyde olmasını sağlamaz ve çok düşük bir ağırlık kesrinde diğer bir dalga boyu kaydırıcının (ikincil dopant) kullanılmasına ihtiyaç duyulur. Nadiren de olsa üçüncü bir dopant kullanılır.

**Tablo 1.** Plastik sintilatörlerde kullanılan dopant maddeler

Primary Scintillators		
Scintillator	Structure	Emission Wavelength
<b>Butyl PBD</b> 3-[4-(4-tert-butylphenyl)-5-(4-tert-butylphenyl)-1,3,4-oxadiazole] Order No. SFC-88		363nm
<b>Naphthalene</b> Order No. SFC-89		322nm
<b>PPD</b> 2,2'-diphenylpropane Order No. SFC-90		367nm
<b>p-Terphenyl</b> Order No. SFC-91		346nm
Secondary Scintillators		
<b>BSO</b> 1,7-bis(2-dimethylaminoethyl)-2,1,3-benzoxadiazole Order No. SFC-10		477nm
<b>Bis-MSE</b> (1,4-bis(2-methylphenyl)-2,5-dimethyl-1,3,5-hexatriene) Order No. SFC-92		428nm
<b>POPDP</b> (1,4-bis(2-phenylpropanoate)-2,5-dimethyl-1,3,5-hexatriene) Order No. SFC-93		410nm
<b>TPB</b> (1,3,5-triphenyl-1,3,5-triazole) Order No. SFC-11		405nm

Bazı durumlarda plastik sintilatörden yayılan ışık ana gövde içerisine sokulan ve sintilasyon yapmayan bir dalga boyu kaydırıcı tarafından soğrulabilir. Böyle dalga boyu kaydırıcılar karmaşık geometri içerisinde ışık toplanmasına yardımcı olması bakımından yaygın şekilde kullanılır ve harici dalga boyu kaydırıcılar olarak adlandırılır. Harici dalga boyu

kaydırıcılar iyonlaştırıcı radyasyona ve Cerenkow ışığına karşı duyarsız olmalıdır. Bu amaçla iyi optik özellikleri olan akrilik esaslı fiberler ana plastik içerisine yerleştirilir.

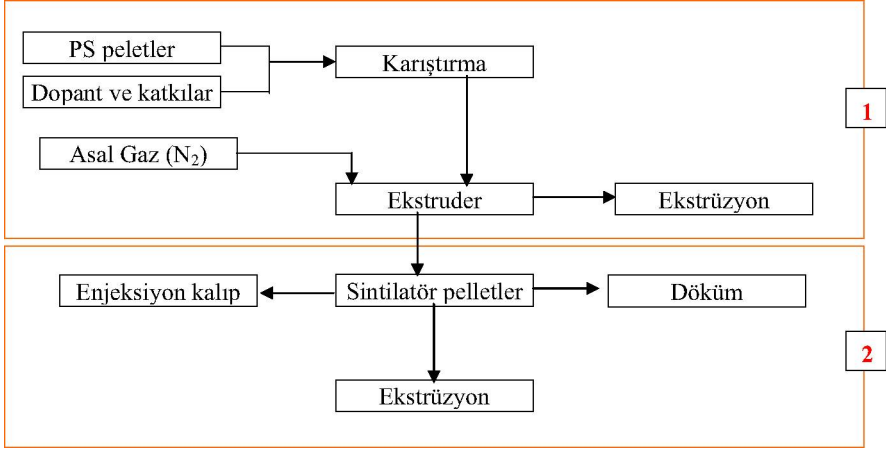
## 2.2 Ekstrüde Plastik Sintilasyon Dedektörler

†

Yukarıdaki bölümlerde değinildiği gibi plastik sintilatör detektörlerin üretiminde maliyet önemli bir faktördür. Özellikle, çok büyük miktarlarda plastik sintilasyon detektörüne ihtiyaç duyulan çalışmalarda maliyet unsuru önem kazanmaktadır. ABD’de bulunan Fermi Ulusal Hızlandırıcı laboratuvarlarında (Fermi National Accelerator Laboratory) yürütülen MINOS (Main Injector Neutrino Oscillation Search) projesi gibi bir çalışmada kullanılmak üzere çok büyük miktarda (MINOS’da 400.000 kg) plastik sintilatöre ihtiyaç duyulduğunda maliyet büyük önem kazanır. Kalıp yöntemi ile hazırlanan sintilatörlerde kg maliyeti yaklaşık olarak 40 USD iken ekstrüzyon metodu ile üretilen plastik sintilatörlerin kg maliyetlerinin yaklaşık olarak 5-8 USD olacağı hesaplanmıştır [9]. Bunun dışında döküm yöntemi ile plastik sintilatör üretimi oldukça zaman alıcı ve çok fazla iş gücü gerektirir.

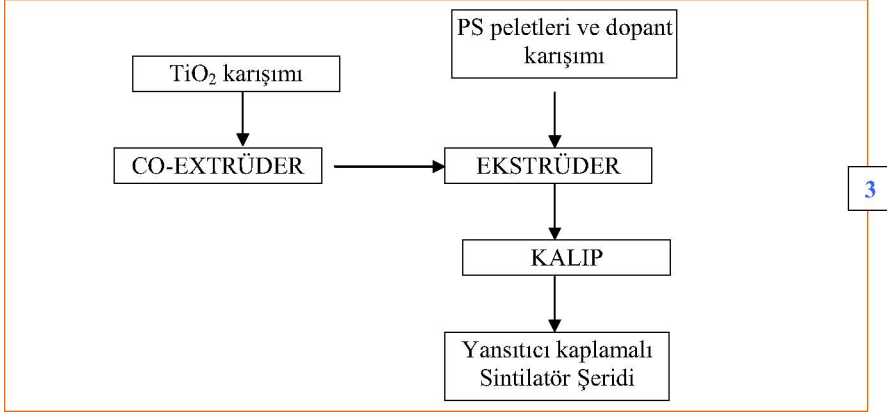
PS ticari uygulamalarda oldukça fazla kullanılan ve kolay bulunan bir polimerdir. Piyasada farklı özelliklerde PS pelet veya toz ürün bulunabilmekte ise de sintilatör yapımında sadece çok iyi optik özelliklere sahip PS kullanılması gerekir. Ekstrüde edilmiş plastik sintilatör yapımında kullanılacak olan PS seçimi yapılırken seçilen hammaddenin oldukça yüksek optik özellikte olmasının yanı sıra ekstrüzyon prosesinin kolaylığı için uygun eriyik akış hızına (melt flow rate) sahip olması, fiyatı ve kolay bulunabilirliği göz önüne alınmalıdır.

Ekstrüde plastik sintilatörlerin hazırlanmasında iki farklı yöntem kullanılabilir. Şekil 2’de gösterilen birinci yöntemde PS peletler, belirli miktarlarda eklenen birincil ve ikincil dopantlar ile asal gaz ortamında karıştırılarak ekstrüderde eritilir ve istenilen geometride hazırlanan kalıplar kullanılarak plastik sintilatörler elde edilebilir. Dopantların ana plastik ile karıştırıldığı bu yöntem plastik sanayinde renklendirme işlemi olarak bilinir. Renklendirme yapılan malzeme ile pellet üretilerek uygun geometride detektör imali için enjeksiyon, ekstrüzyon veya döküm işleminde kullanılır (Şekil 2, ikinci yöntem). Bu metotta birinci yöntemin ürünü, sintilasyon yapabilen PS peletler WLS veya plakalardır.



**Şekil 2.** Doğrudan Ekstrüzyon (Yöntem-1, sürekli) ve İki Basamaklı Proses (Yöntem-1+2, kesikli veya sürekli) : Renklendirme ve Ekstrüzyon

Üçüncü bir yöntemde ise, kısa “sönümlenme” uzunluğu sorunun aşmak için sintilasyon yapabilen plastik, bir WLS ile birlikte aynı anda ekstrüde edilebilir (Şekil 3). Bu işlemde plastik gövdeye reflektör kaplaması da ( $TiO_2$ ) uygulanıp, tek bir işlemde ürün elde edilebilir. Bu işlemin avantajı maliyeti düşürmesi, ilave ısıl işlem gereğini ortadan kaldırarak sintilatör malzemesindeki bozulmayı elimine ederek ürün ömrünü uzatmasıdır.



**Şekil 3.** Co-ekstrüzyon Metodu ile Yansıtıcı Kaplama Yapılması

Farklı özellikte ticari PS peletler kullanarak kesikli ve sürekli metotla hazırlanmış plastik sintilatörlerin karşılaştırmalı sonuçları Tablo 2.'de verilmektedir [9]. Bu sonuçlar 1. ve 2. metot arasında önemli bir fark olmadığını göstermektedir. Daha önemlisi genel amaçlı PS (Dow 663) optik kaliteli PSlerin yerini alabilmektedir.

**Tablo 2.** Ekstrüde plastik sintilatör numuneleri için ölçülen ışık verimi

Sintilatör	Numune Sayısı	Işık Verimi	St. Sapma	Sintilatör malzemesi ve metot
RDN 262	30	2.05	0.09	Dow 262, Metot 1, kesikli
Leistritz 262	10	1.81	0.14	Dow 262, Metot 2, sürekli
Leistritz 262P	10	2.02	0.10	Dow 262, Metot 2, sürekli
Leistritz 663	15	2.22	0.07	Dow 663, Metot 2, sürekli

### 3. ORGANİK PLASTİK SİNTİLATÖRLERİN HAZIRLANMASI

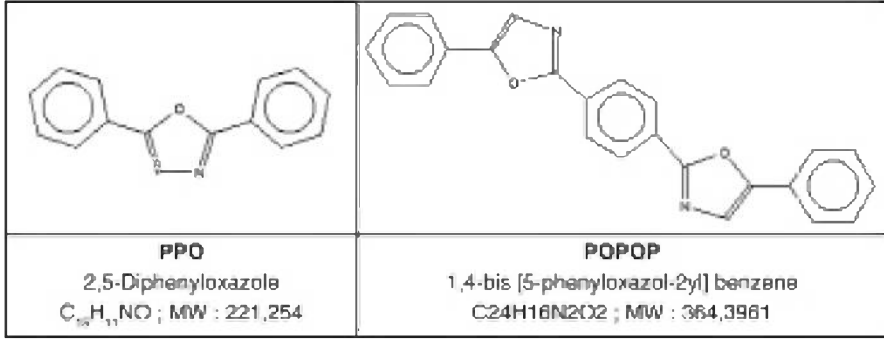
#### 3.1 Kullanılan Ham Maddeler

Yapılan çalışmada genel amaçlı Dow Styron 634 PS peletler kullanıldı. Dow Styron 634 PS peletlerin birim fiyatı 3,2 TL/kg dır. Dow Styron 634 PS peletlerin teknik özellikleri Tablo 3'de verilmiştir.

Birincil dopant olarak % 1,0-1,5 (w/w) PPO (Merck) ve ikincil dopant veya dalga boyu kaydırıcı olarak %0,01-0,03 (w/w) POPOP (Merck) kullanıldı. Kullanılan dopantların açık yapıları Şekil 4'de, diğer özellikleri ise Tablo 4'de verilmiştir.

**Tablo 3.** Dow Styron 634 PS peletlerin teknik özellikleri

Teknik Özellikler	Değer
<b>Fiziksel</b>	
Erime Akış Hızı (200 °C/5 kg) g/10 dk.	3,5
Özgül Ağırlık (@ 23°C), kg/m <sup>3</sup>	1050
Yığın Yoğunluğu, kg/m <sup>3</sup>	600
<b>Mekanik</b>	
Nihai Çekme Dayanımı, 5 mm/min., MPa	54
Nihai Çekme Uzaması, 5 mm/min., %	1-3
Esnaklık Modülü (3-points bending), MPa	3500
Esnaklık Dayanımı (3-points bending), MPa	85
<b>Termal</b>	
Vicat yumuşama noktası (120 °C/h, 1 kg), °C	102
(50 °C/h, 1 kg), °C	95
DTUL, tavllanmış (120 °C/h, 1.82 MPa), °C	94
(120 °C/h, 0.46 MPa), °C	96



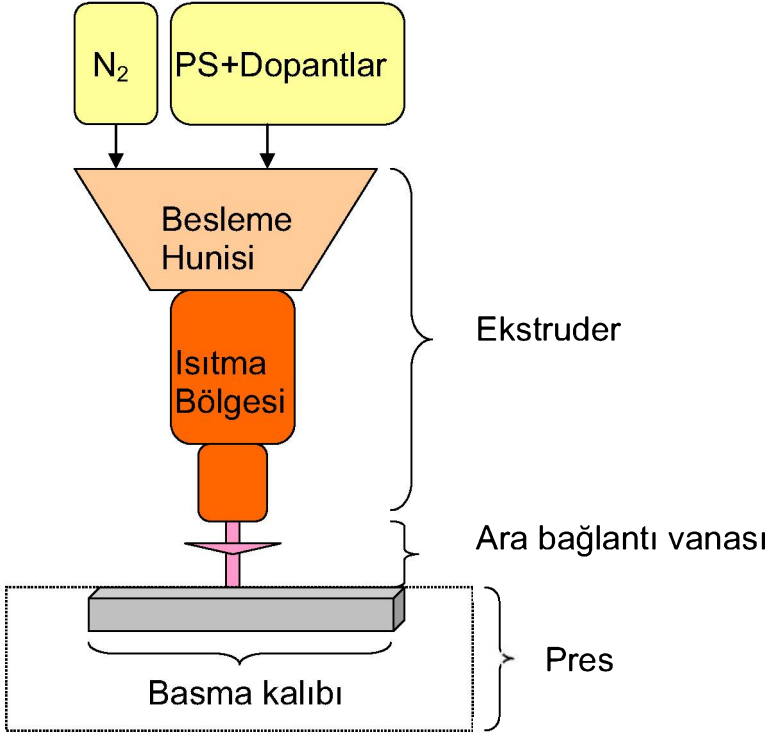
**Şekil 4.** Birincil ve ikincil dopant olarak kullanılan katkı maddelerinin açık yapıları

**Tablo 4.** Birincil ve ikincil dopantların bazı fiziksel özellikleri

Özellik	PPO	POPOP
Kaynama noktası	360 °C	Veri yok
Erime noktası	72-73 °C	244-246 °C
Safılık	% 99	% 99
Görünüş	Beyaz toz	Sarı kristalin fiber

### 3.2. Kullanılan Ekipman

Polisitiren plastik sintilatörün hazırlanmasında kullanılan deneysel düzenek Şekil 5’de gösterilmiştir. Yapılan çalışmada SANAEM Malzeme Biriminde bulunan FRUIL-FLIERE marka ESTRU 23 model 40 mm tek vidalı ekstürüder cihazı (Şekil 6) ve CEAST marka Type-6709 model ısıtmalı/soğutmali pres (Şekil 6) kullanıldı. İlk basma kalıbı olarak kullanılan alüminyum kalıp SANAEM Mekanik Atölyesinde, paslanmaz çelik kalıp ise OSTİM’de yaptırıldı. Kullanılan kalıpların resimleri Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 5. Deneysel Düzeneğin Şematik Görünümü



Şekil 6. Kullanılan Ekstruder ve Pres





**Şekil 7.** Kullanılan Kalıplar

### **3.3 Ekstrüde PS blokların Hazırlanması**

Ekstrüzyon işlemine başlamadan önce PS peletler ve dopantlara 70 °C'deki etüv içerisinde ön kurutma yapıldı. Dopant ve peletlerin karıştırıldığı renklendirme işlemine geçmeden önce etüvden alınan PS pelletler çözülmüş oksijen ve nemi uzaklaştırmak için 1-2 gün azot atmosferinde tutuldu. PS pelet ve dopantlar azot atmosferi altında bir karıştırma bidonu içerisinde karıştırıldı. Karıştırma esnasında dopantların peletler üzerine kaplanması ve daha homojen yayılmasını sağlamak için bir miktar silikon yağı eklendi. Ekstrüzyon işlemi boyunca ekstrüder besleme hunisi azot atmosferi altında tutularak besleme ortamının nemi en az seviyede tutulmaya çalışıldı. Ekstrüderden çıkan sıcak eriyik bir bağlantı vanası kullanılarak sıcak pres altında tutulan kalıp içerisine basıldı. Ekstrüder, ara bağlantı vanası ve kalıp sıcaklıkları son derece önemli olduğu için nihai basma sıcaklığı, basma hızı, kalıbın basma sonrası tekrar oda sıcaklığına soğutulma hızı gibi parametreler farklı kombinasyonlarda çalışılarak optimum deney şartları belirlendi.

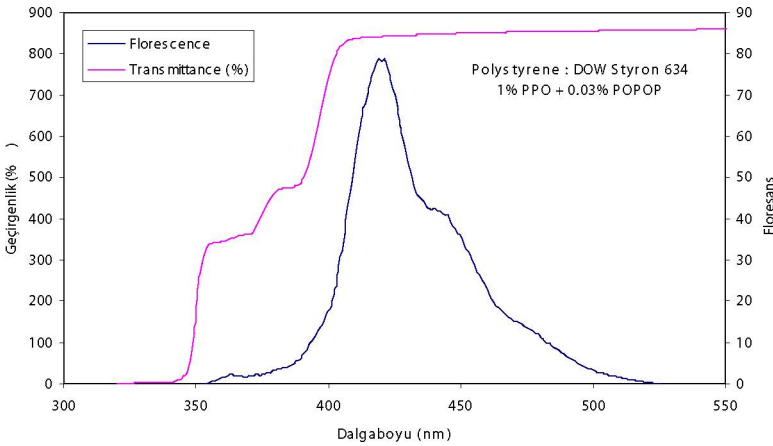
## 4. HAZIRLANAN PLASTİK SİNTİLATÖRLERİN ÖZELLİKLERİ

### 4.1 Spektroskopik Ölçümler

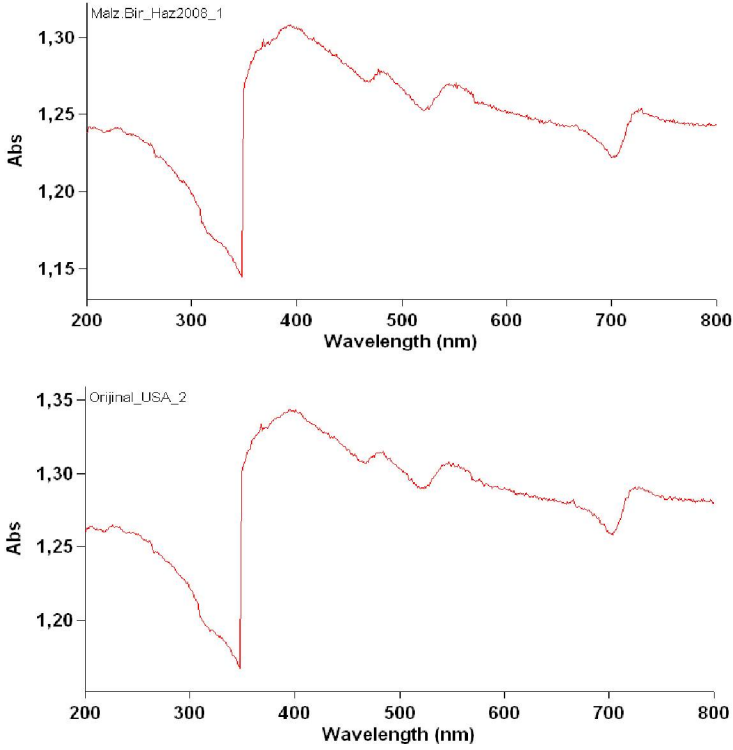
UV spektroskopik ölçümler Varian-Cary 100 model UV-Vis ve floresans ölçümleri Varian-Cary Eclipse model Floresans Spektrofotometrede ölçüldü. Floresans ölçümleri 310 nm uyarılma dalga boyunda yapılmıştır.

Birincil ve ikincil dopantlar içeren PS filmlerin spektroskopik karakteristikleri Şekil 8'de gösterilmiştir. Mavi ışık yayan sintilatörün absorpsiyon maksimumu yaklaşık olarak 400 nm de (1 cm optik yol uzunluğunda) ve emisyon maksimumu 420 nm de gözlenmiştir. Luminesant dopantlardan PPO  $\lambda_{\max}$ :340-370 nm ve POPOP  $\lambda_{\max}$ :420 nm de emisyon yapar.

Şekil 9'da ise orijinal LODLUM PVT ile SANAEM'de hazırlanan PS sintilatör bloklardan hazırlanan 5,00 mm kalınlığındaki disklerden ölçülen absorbans spektrumları verilmiştir.



Şekil 8. PPO ve POPOP içeren PS sintilatörün floresans ve % geçirgenlik spektrumları



**Şekil 9.** Orijinal LODLUM (PVT) (altta) ve SANAEM'de (üstte) hazırlanan PS blokların UV spektrumları

Yukarıda verilen spektrumlardan da görüldüğü gibi orijinal sintillatörden alınan spektrum ile SANAEM de hazırlanan spektrumdaki absorbans maksimumları son derece uyumludur.

## 4.2 Mekanik Testler ve Eriyik Akış İndisi (MFI) Ölçümleri

Kalıplanan PS bloktan ve mevcut kullanılan plastik sintilatör bloğundan hazırlanan numunelerin Eriyik Akış İndisi (MFI) ve 3 nokta bükülme (3 points bending) testleri yapılarak bu çalışmada üretilen sintilatör bloğunun bir karşılaştırması yapılmıştır.

Bükülme-kırılma testi için 10x15x140 mm boyutlarında test numuneleri hazırlanarak, SANAEM Malzeme Biriminde bulunan Instron marka 1011 model Üniversal mekanik test cihazı kullanılarak 3 nokta bükülme-kırılma testleri yapılmıştır. Test parametreleri şu şekildedir;

Bending Gap = 100 mm, Transducer = 5kN, Load Range = 1kN, Cross-Head Hızı = 200 mm/s

MFI ölçümleri SANAEM Malzeme Biriminde bulunan CEAST marka cihaz kullanılarak yapılmış olup test parametreleri şu şekildedir;

Sıcaklık = 200°C, Test Yüğü = 5 kg, Kesme aralığı = 30 sn

Kalıplanan PS bloktan ve mevcut kullanılan plastik sintilatör bloğundan hazırlanan numunelerin mekanik test dirençleri Tablo 5'te, MFI sonuçları Tablo 6'da verilmiştir.

**Tablo 5.** Sintilatör bloklarının mekanik direnci

	<b>PS Blok (SANAEM DOW 634)</b>	<b>PVT Blok (Orjinal LODLUM)</b>
Azami Bükülme, mm	6,52	7.10
Maksimum Bükülme Direnci, N	685,24	618,07
Kırılma Direnci, N	669,02	600,53

**Tablo 6.** Sintilatör bloklarının MFI değerleri

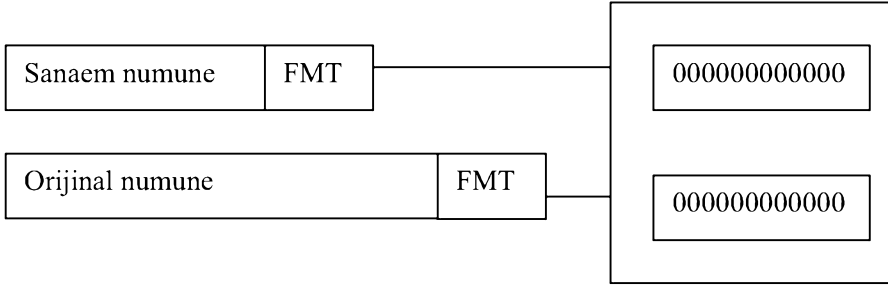
	<b>MFI, g/10dk</b>
PS Blok (SANAEM DOW 634)	5,496
PVT Blok (Orjinal LODLUM)	1,421

### **4.3 Radyoaktif Kaynaklara Karşı Sintilatörün Cevabının Ölçülmesi (Sayım Sistemi)**

Hazırlanan PS sintilatör bloktan farklı aktivitelerdeki radyoaktif kaynaklara karşı alınan ölçümler Şekil 10 da gösterilen sayım düzeneği kullanılarak alınmıştır. Ölçümlerde 10x5x40 cm (ExBxY) ebatlarında hazırlanan PS blok ile 13x8x120 cm (ExBxY) ebatlarında orijinal LODLUM plastik sintilatör kullanıldı. LODLUM sintilatörün ana plastik hammaddesi PVT'dir.

Hazırlanan PS Bloğun (SANAEM numunesi) gördüğü katı açısı, LODLUM'un gördüğü katı açısının % 33'üdür. Ayrıca LODLUM,

hazırladığı malzeme açısından optik olarak başlangıçta daha üstündür (PS'e karşılık PVT). Buna karşılık SANAEM numunesi daha kısa olduğundan oluşan ışıldamanın soğurulması (self absorption) daha azdır. LODLUM'un kalınlığı daha fazla olduğundan ışık verimi daha yüksektir. Ancak yaşlanmaya bağlı olarak LODLUM'un yapıldığı malzeme olan PVT'nin radyasyon direnci daha düşüktür.



**Şekil 10.** Sayım Sistemi

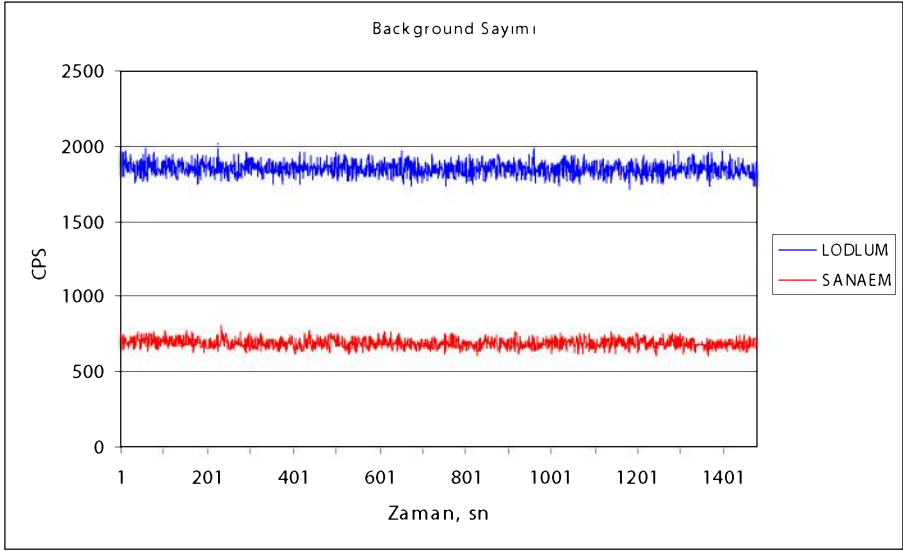
Sayım sırasında kullanılan kaynaklar ve aktiviteleri aşağıdaki Tablo'da verilmiştir.

**Tablo 7.** Sayım sisteminde kullanılan kaynaklar

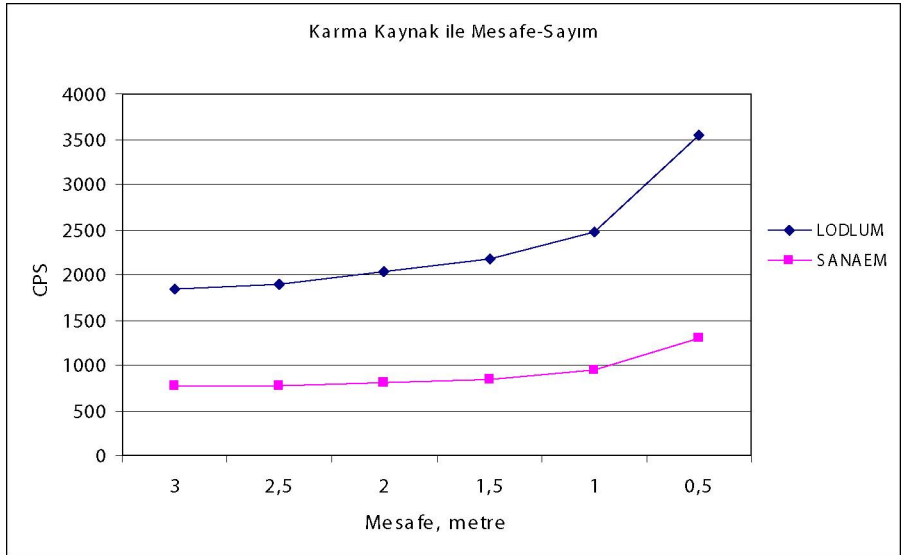
Kaynak	Aktivite / Doz Hızı
<sup>241</sup> Am	25 mCi
<sup>137</sup> Cs	333 kBq (1986)
Gamma referans seti Çıplak yüzey doz hızı Max. doz hızı 150mm'den	~200 mR/hr 2.5 mR/hr
U 235 standart set	-----

Şekil 11'de görülebildiği gibi SANAEM numunesi orijinal LODLUM'un % 37-38'i mertebesinde bir ardalan sayımı yapmaktadır.

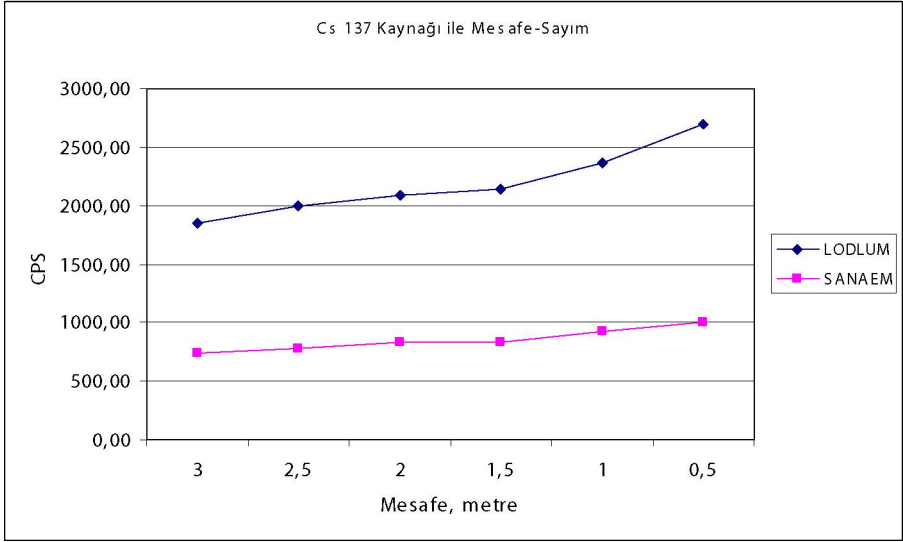
Farklı aktivitede radyoaktif kaynaklar ile orijinal LODLUM sintilatör ve SANAEM'de hazırlanan PS sintilatörden alınan sayım sonuçları Şekil 12-17'de verilmiştir.



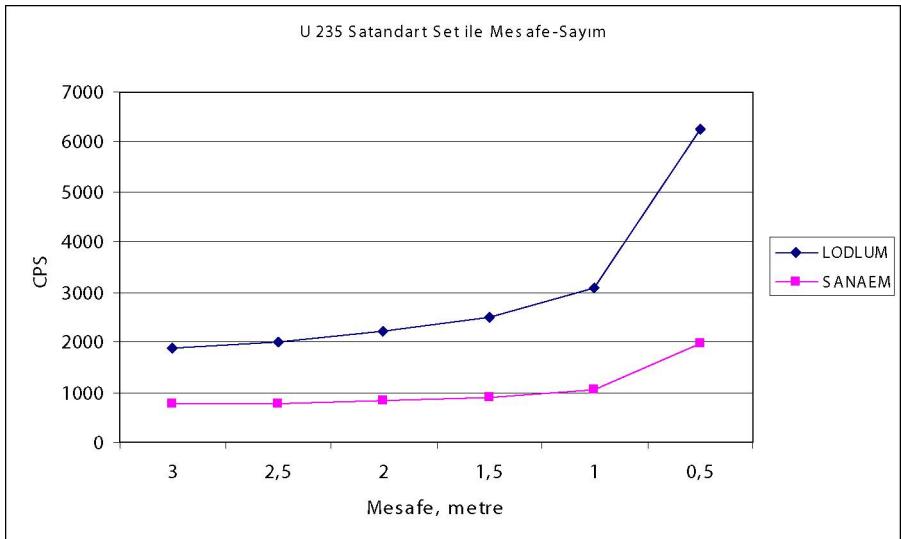
Şekil 11. SANAEM ve orijinal numuneden ölçülen ardalardan sayım sonuçları



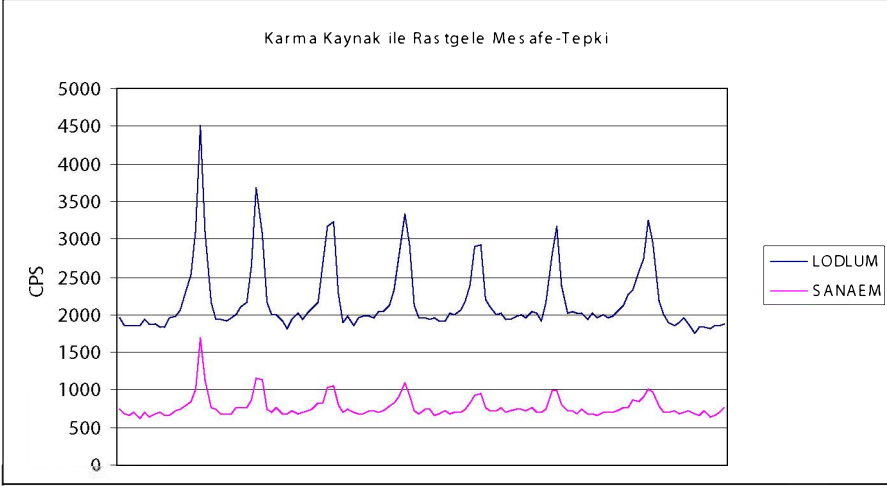
Şekil 12. SANAEM ve orijinal numuneden mesafeye göre ölçülen sayım sonuçları (Karma kaynak)



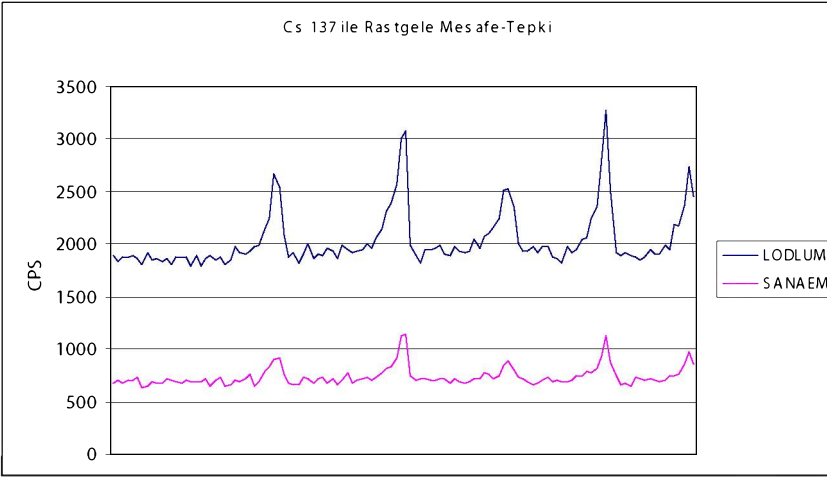
**Şekil 13.** SANAEM ve orijinal numuneden mesafeye göre ölçülen sayım sonuçları (Cs-137)



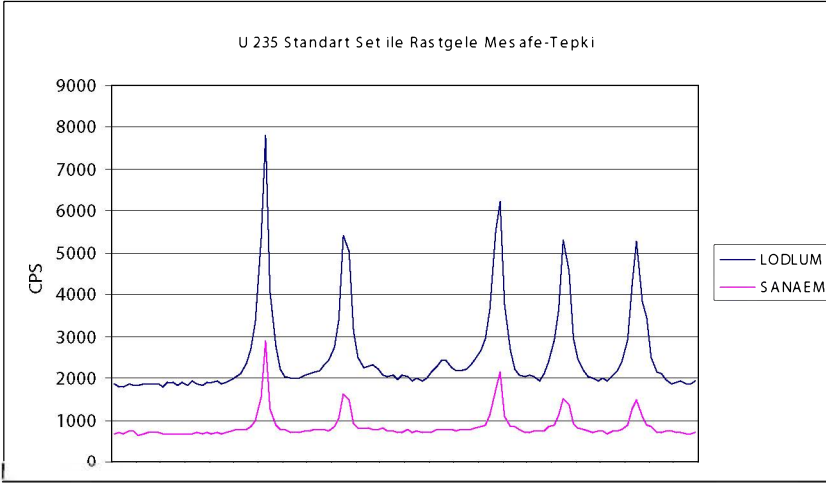
**Şekil 14.** SANAEM ve orijinal numuneden mesafeye göre ölçülen sayım sonuçları (U-235 standart set)



**Şekil 15.** SANAEM ve orijinal numuneden ölçülen sayım sonuçları  
(Karma kaynağa farklı mesafelerden ve kaynak açıp kapatılarak)



**Şekil 16.** SANAEM ve orijinal numuneden ölçülen sayım sonuçları  
(Cs-137 ile farklı mesafelerden ve kaynak açıp kapatılarak)



**Şekil 17.** SANAEM ve orijinal numuneden ölçülen sayım sonuçları (U-235 standart set kullanılarak kaynağa farklı mesafelerden kaynak açıp kapatılarak)

#### 4.4 Maliyet

Üretimde kullanılan PS peletlerinin fiyatı 3,2 TL/kg'dır. 10x5x100 cm ebatlarında bir sintilatör detektörü yapmak için;

5250 gr PS

5250 gr \* %1 = 52,5 gr PPO

5250 gr \* %0,03 = 1,575 gr POPOP gereklidir.

PPO'nun katalogdan alınan maliyeti 500 gr'lık bir şişe için 1,1 \$/gr'dır. Aynı şekilde POPOP için bulunan fiyat 1,5 \$/gr'dır. Bu maliyetlere göre plastik sintilatör maliyeti için malzeme maliyeti;

$5,25 \text{ kg} \times 3,2 \text{ TL/kg} + (52,5 \text{ gr} \times 1,1 \text{ \$/gr} \times 1,5 \text{ \$/gr}) \times 1,5 \text{ TL/\$}$

$= 106,97 \text{ TL}$

olarak bulunmaktadır.

Bu sintilatörün kalıplanabilmesi için bir ekstrüder, bir sıcak pres ve kalıp gereklidir. Üretim için gerekli olan ekstrüder ve pres cihazları SANAEM'de mevcut olduğundan hesaplamaya sadece kalıp fiyatı dahil edilmiştir.

Kalıp : 25.000 TL

Üretim maliyeti olarak üretim sırasında kullanılan elektrik ve kalıp maliyeti eklenecektir. Günde 8 saat çalışan toplam 9 kW gücünde ekstrüder ve sıcak pres için hafta sonları hariç yılda;

$$9 \text{ kW} \times 8 \text{ saat} \times (365 \text{ gün} - 110 \text{ gün}) \times 0,2 \text{ TL/kWh} = 3672 \text{ TL}$$

elektrik maliyeti bulunur.

Kesikli bir üretim düşünülür ve bir bloğun basma, soğutma, kalıptan çıkarma ve tekrar kalıp bağlama işlemi 90 dk. kabul edilirse, günde yaklaşık 5 adet blok üretilebilir. Bir yılda ~1275 plastik Sintilatör üretilebilir (hafta sonları hariç).

Sonuç olarak 10x5x100 cm boyutundaki 1275 adet plastik sintilatörün işçilik hariç, üretim maliyeti:

$$[(25.000 \text{ TL} + 3672 \text{ TL}) + (106,97 \text{ TL} \times 1275)] / 1275$$

$$= 129,46 \text{ TL}$$

olarak bulunur.

PS Sintilatör blok üretiminin sadece 1 yıl ve yılda 1275 adet ile sınırlı kalmaması durumunda beher blok için kalıp maliyeti daha düşük olacak dolayısı ile nihai blok maliyeti de daha düşük olacaktır. Maliyetin büyük kısmını malzeme gideri oluşturduğundan, kataloglarda gram mertebesindeki dopantlar için belirlenen fiyatların büyük alımlarda daha düşük olacağı, dolayısı ile toplam maliyetin düşeceği açıktır.

## 5. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

SANAEM'deki ekstrüder ve sıcak pres kullanılarak, PS peletlerden plastik Sintilatör yapımı gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar ölçekli bu üretim sonucu elde edilen malzemenin spektroskopik ölçümleri LODLUM'la karşılaştırıldığında neredeyse aynıdır.

Yapılan testler, SANAEM'de hazırlanan PS sintilatörün mekanik olarak LODLUM'a eşit veya daha iyi olduğunu göstermektedir. Eriyik Akış İndisi daha yüksek çıkmıştır.

Radyoaktif kaynaklara göre yapılan değerlendirmelere göre;

- Tüm sayımlarda SANAEM numunesinden, LODLUM'a göre kaynağı gören katı açısı ile orantılı olarak benzer veya daha yüksek sayım alındığı görülmüştür.
- Hareketli bir şekilde yaklaşıtırlan kaynaklara karşı, orijinal LODLUM ile aynı anda ve belirgin bir artış/tepki vermektedir.
- Hazırlanan numune, radyasyon mevcudiyetini tespit veya ikaz amaçlı kullanılabilir.
- Bu ön çalışma SANEM'deki imkanlarla plastik sintilatör detektör yapılabileceğini göstermiştir. Bundan sonra yapılması düşünölen çalışma, hazırlanan plastik sintilatörden spektrum alınması olacaktır.

## 6. KAYNAKÇA

- 1- Birks, J.B., "The theory and practice of scintillation counting", Pergamon Press, The MacMillan Co., NY, 1964
- 2- Beddar, A.S., et.al., Phys. Med. Biol. 1992a (37), 1883-1900
- 3- Beddar, A.S., Phys. Med. Biol. 1994 (39), 253-263
- 4- Flühls, D., et.al., Med. Phys. 1996(23), 427-434
- 5- Beddar, A.S., et.al., IEEE Trans. Nucl. Sci. 2001 (48), 924-928
- 6- Letourneau, D., et.al., Med.Phys., 1999(26), 2555-2561
- 7- Pain, F., et.al., IEEE Trans. Nucl. Sci. 2000 (47), 25-32
- 8- Pain, F., et.al., Proc. Natl. Acad. Sci. 2002 (99), 10807-10812
- 9- Pla-Dalmau, A., Nucl. Inst. & Met. In Phys. Res., A., 2001(466), 482-491
- 10- Yashimura, Y., Nucl. Inst. & Met. In Phys. Res., A., 2001 (406), 435-441
- 11- Clark, D., Nucl. Ins.Met. 1974 (117), 295
- 12- Mukhopadhyay, S.,  
<http://www.osti.gov/bridge/servlets/purl/811396-el5wPQ/native/811396.pdf>
- 13- Jun-Suhk Suh, KNU/CHEP, Second Korean ILC Workshop, December 2004
- 14- Dong Hee Kim, [http://www.slac.stanford.edu/econf/C0508141/proc/pres/ALCPG0701\\_TALK.PDF](http://www.slac.stanford.edu/econf/C0508141/proc/pres/ALCPG0701_TALK.PDF).,
- 15- V SENCHISHIN, et.al., "New Radiation Stable And Long-Lived Plastic Scintillator For The SSC", FERMILAB-TM-1866, Kasım 1993.

## TAEK YAYIN BİLGİ FORMU

<b>Rapor Bilgileri</b>	<b>1.Yayın Yılı/No</b> 2011/16
<b>2.Rapor Başlığı</b> TİCARİ POLİSTİREN KULLANILARAK DÜŞÜK MALİYETLİ PLASTİK SİNTİLATÖR ÜRETİMİ	<b>3.Yayın Kurulu</b> Tarih (Gün/Ay/Yıl)-No 18.08.2009-4
<b>4. Yazarlar</b> Dr. Okan OKTAR, Galip ARI, Ömer GÜNDÜZ, Dr. Halil DEMİREL, Ahmet DEMİRBAŞ	<b>5-Yayın Türü</b> Teknik Rapor
<b>6. Çalışmayı Yapan Birim</b> SANAEM Teknoloji Bölümü, Malzeme Birimi, SANAEM Ölçme ve Enstrümantasyon Bölümü, Analitik Ölçüm Birimi	
<b>7. Destekleyen veya Ortak Çalışılan Kuruluşlar</b> -	
<b>8. Özet</b> <p>Plastik sintilasyon dedektörleri uzun yıllardan beri nükleer ve yüksek enerji fiziği alanlarında radyasyon dedeksiyonu amacıyla kullanılmaktadır. Plastik sintilatörler, ayrıca, dozimetri uygulamalarında yüksek enerji ve elektron demeti dozimetrisi, <sup>60</sup>Co ve yüksek enerjili tedavi makinelerinin kalite güvenlik (QA) kontrolü amacıyla, optalmic (ophthalmic plaque dosimetry) plak dozimetri ve sterotaktik radiosurgery dozimetresi olarak da kullanılmaktadır. Plastik sintilatörlerin küçük hayvanların beyinlerinde in vivo β-parçacık dedüksiyonu için kullanımı dahi söz konusudur. Kullanım alanı son derece geniş olan plastik sintilatörlerin gerek temel özelliklerinin geliştirilmesi gerekse üretim maliyetlerinin düşürülmesine yönelik çalışmalar uzun yıllardan beri devam etmektedir. Son yıllarda ticari polimerler kullanılarak plastik sintilatör üretim maliyetlerinin düşürülmesinin mümkün olduğu yapılan araştırmalarda ortaya konulmuştur. Haziran 2008'de yapılan bu çalışmada da ticari olarak elde edilebilen polis tiren (PS) pelletler kullanılarak ekstürüzyon ve basınçlı kalıplama tekniği ile plastik sintilatör kütüklerinin üretilebilmesi hedeflenerek PS kütük protiplerinin üretimi ve testleri gerçekleştirilmiştir.</p>	
<b>9. Anahtar Kelimeler</b> Plastik Sintilatör, Detektör, Ekstrüzyon, PS, PPO,POPOP, SANAEM	<b>10. Gizlilik Derecesi</b> Tasnif Dışı

### GİZLİLİK DERECELERİ

**TASNİF DIŞI (UNCLASSIFIED):** İçerdiği konu itibarıyla, gizlilik dereceli bilgi taşımayan, ancak devlet hizmetiyle ilgili bilgileri içeren evrak, belge ve mesajlara verilen en düşük gizlilik derecesidir.

**HİZMETE ÖZEL (RESTRICTED):** İçerdiği konu itibarıyla, gizlilik dereceli konular dışında olan, ancak güvenlik işlemine ihtiyaç gösteren ve devlet hizmetine özel bilgileri içeren evrak, belge ve mesajlara verilen gizlilik derecesidir.

**ÖZEL (CONFIDENTIAL):** İçerdiği konu itibarıyla, izinsiz olarak açıklandığı takdirde, milli menfaatleri olumsuz yönde etkileyecek evrak, belge ve mesajlara verilen gizlilik derecesidir.

**GİZLİ (SECRET):** İzinsiz açıklandığı takdirde, milli güvenliği, milli prestij ve menfaatleri ciddi ve önemli bir şekilde zedeleyecek olan evrak, belge ve mesajlara verilen gizlilik derecesidir.



TURKIYE ATOM ENERJISI KURUMU