



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



DOKTORA TEZİ

**GERÇEK ZAMANLI ÇEVRESEL RADYASYON DOZU İZLEME
SİSTEMİ TASARIMI**

Özgür AYTAN

Fizik Anabilim Dalı

Nükleer Fizik Programı

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Baki AKKUŞ**

Şubat, 2019

İSTANBUL

Bu çalışma, 8.02.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fizik Anabilim Dalı
, Nükleer Fizik Programında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Prof. Dr. Baki AKKUŞ(Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Prof. Dr. Yeşim ÖKTEM
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Prof. Dr. Z. Gökay KAYNAK
Uludağ Üniversitesi
Fen Edebiyat Fakültesi

Prof. Dr. Bayram DEMİR
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Doç. Dr. Kutsal BOZKURT
Yıldız Teknik Üniversitesi
Fen Edebiyat Fakültesi



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi’nin aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu tez, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin 48462 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Bu tez, 2211 numaralı TÜBİTAK Yurt İçi Lisans Üstü Burs Programı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Öncelikle hayatımı mutlulukla dolduran sevgili eşim Kübra'ya,

Hayatımın her aşamasında beni destekleyen ailem, annem Suna, babam Onur, teyzem Aysel, eniştem Ali, kardeşlerim Sibel, Hülya ve Oğuz, ailemizin en kıymetlisi ve moral kaynağımız Mir Efe'ye;

Tezin çalışmalarının yapılmasında sınırsız ve karşılıksız desteklerini gördüğüm ve her daim birlikte çalışmaktan mutluluk duyduğum Özgür SEVİNDİK, Erhan EMİRHAN, Aziz KURT ve Berk DÜZEN'e,

Tüm eğitim hayatım boyunca bilgi ve emekleriyle beni yetiştiren hocalarıma,

Mensubu olmaktan şeref duyduğum ve beraber çalışma şansını yaşadığım TR-2 Araştırma Reaktörü personeline,

İstanbul Üniversitesi bünyesine katıldığım günden beri desteğini esirgemeyen sayın Prof. Dr. Yeşim ÖKTEM'e,

Anlayışı ve desteği ile bu çalışmanın bitmesinde büyük pay sahibi olan tez danışmanım sayın Prof. Dr. Baki AKKUŞ'a,

minnet ve şükranlarımı sunarım.

Son olarak bu çalışmam ile ülkemizin en önemli ihtiyaçlarından biri olan yüksek teknoloji ürünlerini üretebilmek amacına bir katkıda bulunabildi isem kendimi mutlu addeder, eksiklerimin ve devam çalışmalarının meslektaşlarım tarafından tamamlanmasını ümit ederim.

Şubat 2019

Özgür AYTAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ.....	ix
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	x
ÖZET	xii
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR.....	3
2.1 FOTOELEKTRİK SOĞRULMA	5
2.2 COMPTON SAÇILMASI.....	7
2.3 ÇİFT OLUŞUMU	9
2.4 SİNTİLATÖR DETEKTÖRLER.....	9
2.5 ORGANİK SİNTİLATÖRLER	11
2.6 PORTAL MONİTÖR.....	12
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	13
3.1 DEDEKTÖR MODÜLÜ	13
3.1.1 Algaç (Plastik Sintilatör)	13
3.1.1.1 Plastik Sintilatörün Hazırlanması	13
3.1.1.2 Plastik Sintilatörün Dedektör Olarak Kullanımı.....	22
3.1.2 Dedektör Elektronikleri	25
3.1.2.1 Birinci versiyon sinyal işleme kartı	25
3.1.2.2 İkinci versiyon sinyal işleme kartı	28
3.2 KONTROL ÜNİTESİ (ALGORİTMA)	31
4. BULGULAR.....	33
4.1 ÜRETİLEN DEDEKTÖRLERİN SAYIM SİSTEMİ OLARAK HAZIRLANMASI.....	33
4.1.1 Deney Düzenegi	33
4.1.2 Deney Düzenegi Bileşenleri	34
4.1.2.1 Fotoçoğaltıcı Tüp (PMT).....	34

4.1.2.2 Yüksek Voltaj Kaynağı.....	35
4.1.2.3 Sayaç.....	36
4.2 RADYOAKTİF KAYNAKLARA KARŞI SİNTİLATÖRÜN TEPKİSİ VE BUNUN STANDART ÜRÜNLERLE KARŞILAŞTIRILMASI.....	37
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	38
KAYNAKLAR.....	41
EKLER.....	43
Ek 1. Bilgisayar Kodu Örneği -1	43
Ek 2. Bilgisayar Kodu Örneği -2.....	47
Ek 3. Bilgisayar Kodu Örneği -3.....	50
Ek 4. Bilgisayar Kodu Örneği -4.....	54
Ek 5. Portal sistemi saha kurulum fotoğrafı	56
Ek 6. Dedektör ünitesi saha kurulum fotoğrafı	57
ÖZGEÇMİŞ.....	58

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 1.1: Katı aç geometrisi.	2
Şekil 2.1: Kurşun için fotoelektrik kütle zayıflatma katsayısı. (Nelson and Reilly, 1909)	7
Şekil 2.2: Cs-137 standart kaynağının spektrumda beliren karakteristiği. (Nelson and Reilly, 1909).....	8
Şekil 2.3: Organik molekül için örnek enerji seviyeleri geçişleri.....	12
Şekil 3.1: Plastik sintilatör içerisinde dalga boyu değişimi.	14
Şekil 3.2: PPO - 2,5-Diphenyloxazole'ün molekül şekli.	15
Şekil 3.3: POPOP - 1,4-Bis(5-phenyl-2-oxazolyl) benzene'nin molekül şekli.	15
Şekil 3.4: RTX-M90 Mikser.	16
Şekil 3.5: Polistren molekül şekli.	17
Şekil 3.6: Ekstrüzyon için kullanılan cihazlar a) Karıştırıcı b) Isıtıcı Pres c) Soğutuculu pres.	19
Şekil 3.7: Sitren monomer molekül şekli.	19
Şekil 3.8: Isıtıcıli manyetik karıştırıcı.	21
Şekil 3.9: Polimerizasyon sürecindeki sıcaklık değişimi.	21
Şekil 3.10: Parlatma makinesi.....	23
Şekil 3.11: Sintilatörün a) parlatılmış hali b) parlatılmamış hali.	23
Şekil 3.12: Birinci versiyon sinyal işleme kartı şematik çizimi.....	26
Şekil 3.13: Birinci versiyon sinyal işleme kartı: sinyal işleme katı, RS485 veri iletişim modülü ve mikroişemci modülü.	27
Şekil 3.14: Yavaş voltaj modülü.	28
Şekil 3.15: İkinci versiyon sinyal işleme kartı şematik çizimi.....	29
Şekil 3.16: Fotoçoğaltıcı çıkış sinyali. (Çalışma Gerilimi 800V).....	29
Şekil 3.17: Şekillendirici yükselticiden alınan sinyal çıkışı.....	30

Şekil 3.18: İkinci sinyal işleme kartı için komparatör çıkışı.....	30
Şekil 3.19 : Geliştirilen 2. Versiyon sinyal işleme kartı.	31
Şekil 4.1: Sayım elektroniği şematik görüntüsü.	33
Şekil 4.2: Deney düzeneği.	34
Şekil 4.3: Fotoçoğaltıcı tüp şematik çizimi.....	35
Şekil 4.4: Sayım modülü.....	36
Şekil 5.1 : Portal monitör sistem şematik montajı.	39



TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 1.1: Farklı ölçüler için hesaplanan katı açılar.	2
Tablo 2.1 : Radyasyon detektörlerinin sınıflandırılması. (Kamal, 2014).....	5
Tablo 3.1: PPO'nun teknik özellikleri.	15
Tablo 3.2: POPOP'un teknik özellikleri.	15
Tablo 3.3: Polistrenin teknik özellikleri.	17
Tablo 3.4: Polistrenin tartım sonuçları.	18
Tablo 3.5: Sitren monomerin teknik özellikleri.....	20
Tablo 3.6: Sitren monomer tartım sonuçları.	20
Tablo 3.7: Optik gresin özellikleri.....	24
Tablo 3.8: Algoritma koşulları.	32
Tablo 4.1: Fotoçoğaltıcı tüp teknik özellikleri.	35
Tablo 4.2: Yüksek voltaj kaynağı teknik özellikleri.....	36
Tablo 4.3: Sayım modülü teknik özellikleri.	36
Tablo 4.4: EJ-200 ve BC-412 teknik özellikleri.....	37
Tablo 4.5: Sayım sonuçları.	37
Tablo 5.1: Portal monitör teknik özellikleri	40

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
Ω	: Katı açısı, Steradyan
h	: Planck sabiti
ν	: Frekans
I	: Floresans şiddeti
nm	: Nanometre

Kısaltmalar	Açıklama
ADS	: Analog dijital çevirici
CPS	: Saniyedeki sayım
Bckg	: Doğal fon radyasyonu
PS	: Polistren
PPO	: 2,5-Diphenyloxazole
POPOP	: 1,4-bis [5-phenyloxazol-2yl] benzene
PVT	: Poliviniltoluen
PMT	: Fotoçoğaltıcı tüp
MCA	: Çok kanallı analizör
HV	: Yüksek voltaj kaynağı
NaI	: Sodyum iyodür kristali
TAEK	: Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
CSB	: T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
IAEA	: Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı
ANSI	: American National Standards Institute
AIP	: American Institute of Physics
m_0c^2	: Durgun kütle enerjisi
keV	: Kiloelektron volt
MeV	: Megaelektron volt
Algaç	: Algılama yapan, sensör
TiO₂	: Titanyum dioksit
FVO	: Frekans voltaj dönüştürücü

RS485	: Veri iletişim protokolü
TTL	: Atlama sınırı
DC	: Doğru akım
RTU	: Uzak kontrol cihazı
SoC	: Çip üzerinde sistem
ARM	: Gelişmiş RISC Makinesi
USB	: Evrensel Seri Veri Yolu
LAN	: Yerel ağ bağlantısı



ÖZET

DOKTORA TEZİ

GERÇEK ZAMANLI ÇEVRESEL RADYASYON DOZU İZLEME SİSTEMİ TASARIMI

Özgür AYTAN

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Baki AKKUŞ

Bu tez çalışmasında Gerçek Zamanlı Çevresel Radyasyon Dozu İzleme Sistemi Tasarımı konusu detaylı araştırılmış, dedektör türü olarak ucuz ve hassas olmasının yanı sıra geometrik avantajları göz önüne alınarak algaç olarak plastik sintilatör seçilmiştir. Seçilen plastik sintilatörün üretimi yanında algacı dedektör haline getirebilmek için gerekli elektronik ve algoritmalar da üretilmiştir. Çalışan bir prototip üretimi gerçekleşmiş ve son kullanıcı ürünü haline de getirilmiştir. Hazırlanan bu sistem ülkenin radyasyon güvenliği, nükleer madde güvenliği, fiziksel güvenlik, sağlık fiziği uygulamaları, müon araştırmaları, sanayi tesislerinin hammadde temininde malzemelerin radyoaktif madde kontaminasyonu açısından kontrolü ve yayımlanan çeşitli tebliğlerle çözüm oluşturabileceğinden önemlidir.

Bu çalışmanın en büyük katkısı ise teoride olan bilginin ürüne çevrilmiş olmasıdır. Araştırma sonucunda edinilen nasıl üretileceği bilgisinin yeni araştırmalar ve çalışmalara fırsat yaratacağı düşünülmektedir.

Şubat 2019, 72. sayfa.

Anahtar kelimeler: Plastik Sintilatör, Portal Monitör, Radyasyon Dedektörü, Kontaminasyon Monitörü, Alan Monitörü, Sintilatör Dedektörü

SUMMARY

Ph.D. THESIS

DESIGN OF A REAL-TIME ENVIRONMENTAL RADIATION DOSE MONITORING SYSTEM

Özgür AYTAN

İstanbul University

Institute of Graduate Studies in Science and Engineering

Department of Physics

Supervisor : Prof. Dr. Baki AKKUŞ

In this thesis, Real-Time Environmental Radiation Dose Monitoring System Design was investigated in detail, the chosen type of detector was plastic scintillator because of its low cost, sensitivity as well as its geometric advantages. In order to make it possible to work as a detector the necessary electronics and algorithms have been produced in addition to the production of the selected plastic scintillators. A working prototype production have been performed and brought up as an end-user product. This system is important because it can be an answer for the country's radiation safety, nuclear material safety, physical security, health physics applications, muon research, control of materials in terms of radioactive material contamination of raw materials in the supply of raw materials of industrial plants and some of the government regulations. The most important contribution of this study is that the information in theory is translated into the product.

It is thought that the information gained from this know-how research will lead to further opportunities and new studies.

February 2019, 72 pages.

Keywords: Plastic Scintillator, Portal Monitor, Radiation Detector, Contamination Monitor, Field Monitor, Scintillator Detector

1. GİRİŞ

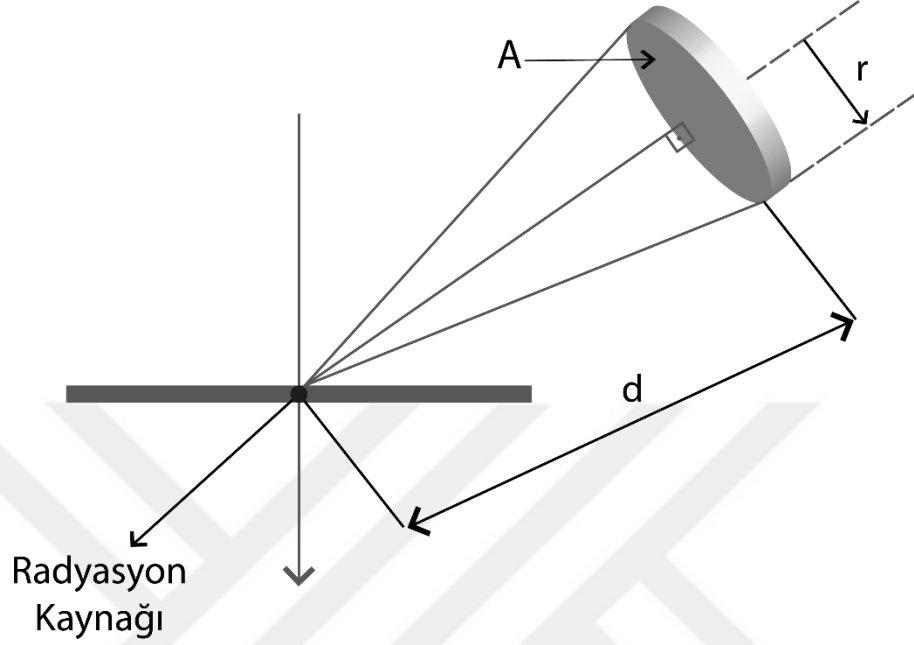
Tezin amacı çevresel radyasyonu ölçüp, raporlayan, ölçtüğü doz değerlerini uzak noktalara transfer edebilen bir dedektör sistemini tasarlamaktır. Tez kapsamında yapılacak çalışmada tasarımı planlanan dedektör sistemi ülkemizde hâlihazırda pek çok alanda ihtiyaç duyulan radyasyon seviyelerinin izlenmesi ve kontrolü uygulamalarında kullanılabilir yapıda olacaktır.

Tasarımlanacak bu sistem ülkenin radyasyon güvenliği, nükleer madde güvenliği, fiziksel güvenlik, sağlık fiziği uygulamaları, alan izleme, müon (Akazu, 2011) araştırmalarında kullanabilme, sanayi tesislerinin hammadde temininde malzemelerin radyoaktif madde kontaminasyon kontrolü ve yayımlanan çeşitli tebliğlerle birçok sanayi kuruluşunun çalışması için gerekli lisans koşullarından biri olan Radyasyon Kontrol Sistemi vb. uygulamalarda kullanılabilir. (IAEA, 2002)

Geniş kullanım alanına sahip olması isteği ve düşük maliyetli ve hassas bir sistem tasarımı öngörüsü nedeniyle dedektörün algaç kısmı olarak plastik sintilatör tercih edilmiştir. Fermilab'da yapılan bir çalışmada 1 kg'lık bir plastik sintilatör üretim maliyetinin 20 TL ile 40 TL arasında değiştiği hesaplanmıştır. (Pla-Dalmai, Bross and Mellott, 2001) Üretim maliyetinin diğer dedektör yapılarına göre düşük olmasının yanı sıra radyasyon ölçümü için en önemli parametrelerden birisi olan cevaplama süresinin de düşük olması nedeniyle plastik sintilatör seçilmiştir.

Bunun yanında plastik sintilatör yapıların tercih edilmesinin en önemli avantajı büyük geometrilerde üretilebilme avantajıdır. (Clark, Scherb and Smith, 1957) Yüzey alanı büyük olarak üretilen bir radyasyon ölçüm dedektörünün radyoaktif kaynaktan çıkan radyasyonun daha büyük bir oranıyla etkileşmesi ve dolayısıyla çok daha hassas sonuçlar vermesi beklenmektedir. Dedektör algaç kısmının geometrik etkisi, ilgili dedektörün radyasyon alanında kapsadığı katı açının bir yansıması olarak düşünülebilir. En çok kullanılan ürünlerin sahip olduğu katı açıların bazıları aşağıda hesaplanmıştır. Hesaplamalarda en uygun maliyetli dedektör olan Geiger Müller dedektörünün pancake versiyonunun standart ölçüsü, Gama spektroskopisi ve doz ölçümlerinde çokça kullanılan NaI dedektörün 3" 'lik bir örneğinin ölçüsü ve son olarak da Plastik Sintilatör portal monitörlerde en çok kullanılan panelin ölçüsü

kullanılmıştır. Hesaplanan dedektör geometrisinin bir örneği Şekil 1.1’de, çeşitli boyutlar için hesaplanan katı açılar Tablo 1.1’de verilmiştir.



Şekil 1.1: Katı açı geometrisi.

Tablo 1.1: Farklı ölçüler için hesaplanan katı açılar.

Dedektör Örneği	Dedektör Yarıçapı (r)	Dedektörün Kaynağa Uzaklığı (d)	Hesaplanan Katı Açı (Ω)
Standart pancake bir Geiger dedektör ölçüsü olmak üzere	2 cm	100 cm	0,001
3" ebatlı bir NaI kristalin ölçüsü olmak üzere	3,81 cm	100 cm	0,005
Plastik Sintilatör portal monitörlerde en çok kullanılan panelin ölçüsü	25 cm	100 cm	0,188

Çalışma kapsamında detektörün radyasyonu algılayan sintilasyon malzemesi kısmı olan plastik sintilatör üretilecek ve detektörden çıkan pulsların işleneceği elektronik tasarlanacak ve en nihayetinde elektroniklerde dijitalize edilen verilerin işleneceği algoritmalar ve kontrol mekanizması oluşturulacaktır.

2. GENEL KISIMLAR

Nükleer radyasyon detektörlerinin tarihi atom ve atom altı fiziği hakkındaki bilgi birikimimizle paralel ilerlemektedir. Fotografik emülsiyon ile radyasyonun ortaya konması, 1895 yılında Röntgen'in X-ışınlarını keşfiyle o zamanların en önemli gelişmelerinden biri olmuştur. İlerleyen yıllarda Becquerel, fotografik plakalar kullanarak radyoaktivite çalışmalarını sürdürmüştür. Rutherford ise meşhur alfa saçılması deneyinde, alfa parçacıklarının yüzeye çarptığında ürettiği flaş ışıklarını floresan yüzey kullanarak radyoaktiviteyi göstermiş ve bu deneyler Rutherford'un çekirdeği keşfi sırasındaki çalışmalarının temelini oluşturmuştur. Sir William Crookes tarafından geliştirilen, alfa parçacıklarını bir ışıldayıcı ekranda mercekle yardımıyla gözle görünmesini sağlayan "spintariscope" ise 1900'lü yılların en ilgi çekici buluşlarından olmuştur.

Başlangıçta, radyasyonun havada oluşturduğu iyonizasyon elektroskoplarla ve elektrometrelerle ölçülmeye başlanmıştır ve bu ölçümler sonraları kozmik münların keşfinde dahi kullanılmıştır. Marie Curie yaptığı radyoaktivite çalışmalarının çoğunda basit elektrometreler kullanmıştır. Bu çalışmalar onu, o zamanlar çok önemli bir sonuç olan aktivitenin, radyoaktif materyalin miktarına bağlı olduğu sonucuna ulaştırmıştır. Radyoaktivite ile zamanlarını harcayan bilim insanlarını zorlayan, her defasında, var olan radyoaktivitenin daha iyi anlaşılmasını sağlayan bir "sayıcı" ya da "detektör" tasarlamak olmuştur. McKay'ın 1953 yılında belirttiği gibi "Fizikçiler ne zaman atomik parçacıkların sebep olduğu bir etki bulsalar, yeni bir sayıcı yapma ihtiyacı duyarlar" cümlesi durumu izah etmektedir. (AIP annual report 1952, 1952)

Radyasyon detektörleri tarihsel olarak "iz tipi" ve "sinyal tipi" olarak ayrılmaktadır. İz tipi detektörler genellikle yüksek enerji çalışmalarında kullanılırken, sinyal tipi detektörler radyokimyacılar, düşük enerji üzerine çalışmalar yapan nükleer fizikçiler, biyologlar, biokimyacılar ve jeologlar gibi daha geniş kesimlerce kullanılmaktadır. İz tipi radyasyon detektörleri olarak bulut odaları, baloncuk odaları, kalorimetreler ve pasif alfa parçacık sayıcı filmler sayılabilmektedir. Sinyal tipi detektörler söz konusu olduğunda çeşitlilik artmaktadır. Bu detektörler arasında Geiger sayıcılar, orantısal sayıcılar, yarıiletken detektörler, nötron detektörleri, Cerenkov sayıcılar, kıvılcım odaları, sintilasyon detektörleri gibi detektörler sıralanabilir. Radyasyon detektörlerini sınıflandırma konusunda başka bir yaklaşım ise "elektiriksel" ve "optik" olarak sınıflandırmaktır. Tüm bu detektörler farklı fizik olaylar

sonucunda oluşan radyasyonu tespit etmek için özelleşmektedir. Geiger-Müller detektörler, yüklü parçacıkların iyonizasyonu sonucunda sinyal üreten detektörler olarak bilinmektedir. Sintilasyon sayıcılar, gama ışınlarını fotoelektrik etki, Compton saçılması yada gelen fotonların enerjisi uygun olduğunda çift oluşumu ile algılamaktadır. Yüksek enerjili nötronlar geri tepen protonların oluşturduğu iyonizasyon sayesinde indirekt olarak, yavaş nötronlar ise borondan yayılan alfa parçacıklarıyla ya da U-235 çekirdeklerinin fisyon özellikleriyle tespit edilirler. Bu örnekler dışında aynı fizik süreçleri farklı detektörlerde yine sinyal oluşumuna olanak verir. Örneğin yüksek saflıklı germanium detektörleri için de sintilasyon detektörlerinde olduğu gibi fotoelektrik etki, Compton saçılması ve çift oluşumu çıkış sinyali alınmasına sebep olmaktadır. Buradaki fark sintilasyon detektörlerinde sayılan fizik süreçleri bir ışıdamaya sebep olurken, yarıiletken detektörlerde net yük birikimine sebep olmaktadır. Sonuç olarak radyasyonun farklı detektörlerde, aynı fizik süreçleri ile oluşturduğu etkiler, bir sinyal çıkışıyla sonuçlanırken, bu sinyal özellikleri detektör türüne göre farklılık gösterir.

Bir radyasyon detektörü bir bilgiyi çok doğru verirken başka bir bilgiyi yeterli doğrulukta veremeyebilir. Örnek olarak, yarıiletken bir detektörle alfa parçacığının enerjisi, detektör içerisine bırakılan parçacık enerji sayesinde doğru olarak ölçülebilirken, detektörün zaman çözünürlüğü yetersiz kalacaktır. Bir başka örnek olarak, Cerenkov detektörü 1 ns lik bir olay için yeterli zaman çözünürlüğüne sahipken, uzaysal çözünürlükte (spatial resolution) yetersiz kalmaktadır. Fotografik emülsiyon parçacıkların izlerini ayırmada çok iyi mekansal çözünürlük sağlarken, eski bir olayla yeni olay farkını ayırt etmekte yetersiz kalmaktadır.

Tablo 2.1 deki gibi sınıflandırılan elektrik sinyali çıkışlı detektörler, sinyal şekillendirici, sinyal yükseltici, ayırıştırıcı (discriminators), eşzamanlayıcılar (coincidence units), oranlayıcılar (scalers) vb, dış elektronik birimlere ihtiyaç duymaktadır. Her bir enstrüman, bir olayı işleme esnasında hassasiyetini “ölü zamanı” oranında kaybeder. Sayım verimliliğinin yüksek kabul edilmesi için, enstrümanın ölü zamanının, peş peşe gelen iki olay arasındaki zamandan küçük olması gerekir. Eğer sayım hızı “r” ve ölü zaman “td” ise, ölçüm enstrümanının yüksek verimli olduğunu $rtd \ll 1$ şartı gösterir. Radyasyon, bir detektör yardımıyla algılanırken temel prensip radyasyonun (yüklü parçacık, foton, nötron vb.) dedektörle reaksiyona girmesi ve bunun sonucunda bir sinyal (yük, voltaj, ışık, ısı, iz, vb) elde edilmesidir.

Tablo 2.1 : Radyasyon detektörlerinin sınıflandırılması. (Kamal, 2014)

Tip	Dedektör
Elektriksel	İyonizasyon Odası Orantılı Sayaç Geiger-Muller Sayıcı Yarıiletken Dedektör Nötron Dedektörü Sintilasyon Dedektörü Cerenkov Sayacı
Optik	Fotografik Emülsiyon Genleşme Sis Odası Difüzyon Sis Odası Kabarık Odası Kıvılcım Odası

Gelen radyasyon, detektör sayesinde genel adıyla bir “çıkış sinyali” verir. Bu sinyalin genliği yani çıkış yüksekliği ile gelen radyasyonun enerjisi arasındaki oransallık, bununla beraber sayım sisteminin ve detektörün verimi, enerji çözünürlüğü, sinyalin zaman genişliği, radyasyonun doğru olarak sayılmasını etkileyen başlıca kavramlardır. Çıkış sinyalinin genliği, detektörde algılanan gelen radyasyonun enerjisi ile doğrudan orantılıdır.

Radyasyon detektörlerinden alınan çıkış sinyalinin oluşmasına sebep olan temel fizik süreçlerini, gelen radyasyonun gama ışınları olduğunu varsayarak, radyasyonun madde ile etkileşimini ve detektör sinyali oluşumu sürecini incelemek yararlı olacaktır.

Bir kaynaktan yayımlanan gama fotonlarının detektör tarafından algılanması, bu fotonların detektör malzemesi ile etkileşme sürecine bağlıdır. Gama fotonları madde ile üç temel mekanizma çerçevesinde etkileşirler; fotoelektrik soğurulma, Compton saçılması ve çift oluşumu.

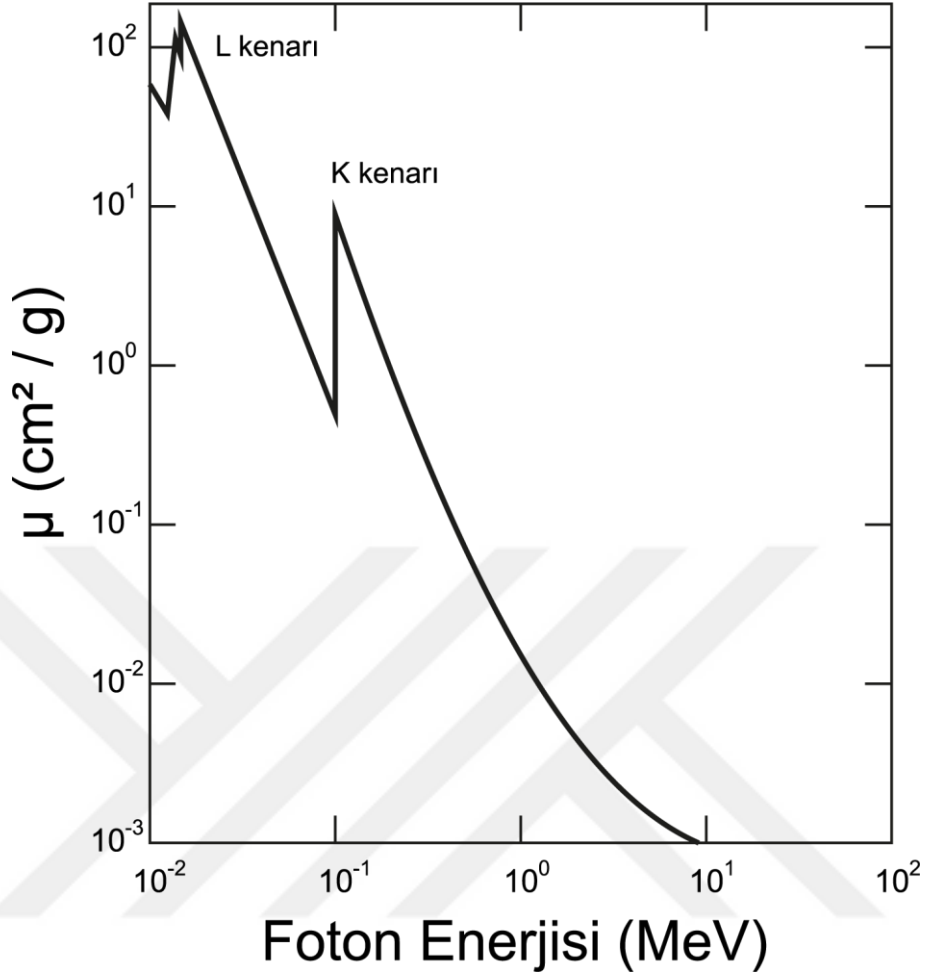
2.1 FOTOELEKTRİK SOĞRULMA

Detektöre gelen gama fotonları, detektör ortamındaki atomik elektronla çarpışması sırasında enerjilerinin tamamını elektrona aktarabilmektedir. Bu enerjinin bir kısmı, elektronu bulunduğu yörüngeden koparıp serbest hale getirmek için, kalan kısmı da elektronun kinetik enerji kazanıp ortam içinde yol alması için harcamaktadır. İşte bu enerjinin tamamının elektronlara aktarıldığı süreç fotoelektrik soğurulmadır. Fotoelektrik soğurulma, gelen fotonunun enerjisine, elektronun

bağlanma enerjisine ve hedef atomun atom numarasına bağlı olup gelen fotonun enerjisinin tamamı elektriksel sinyale dönüştüğünden bu olay gama ışınlarının dedeksiyonunda en önemli yeri tutar.

Fotoelektrik olay olasılığı, proton sayısının artmasıyla hızlı bir şekilde arttığından dolayı, yüksek atom numaralı malzemelerin detektör malzemesi olarak kullanılması etkileşme olasılığını arttırmaktadır. Fotoelektrik soğurulma, düşük enerjili gama ışınları, X-ışınları ve Bremsstrahlung ışınları için baskın etkileşme olarak gözlenmektedir.

Fotoelektrik olayda, gelen fotonun enerjisini soğurarak yörüngesinden ayrılan elektronun yeri, ortamdaki bir başka elektron ya da başka bir yörüngeden gelen elektron tarafından doldurulmaktadır. Atomik yörüngeler arasında oluşan bu geçiş, karakteristik X-ışını şeklinde gözlenmektedir. Örneğin 30 keV'lik bir gama fotonu, Xe atomu ile fotoelektrik etkileşmeye girdiğinde, fotonların % 86'sı K kabuğu elektronları tarafından soğurulur. Bu oranın % 87.5'i K kabuğunun karakteristik X-ışınları, % 12.5'i ise Auger elektronları olarak gözlenir. Gelen fotonların % 14 oranındaki kısmı ise L veya M kabuğundaki elektronlar tarafından foto-elektron oluşturacak şekilde soğurulurlar. Şekil 2.1'deki süreksizlik noktaları, soğurulma kenarları (absorbtion edge) olarak adlandırılır. Bu noktalarda, gelen gama fotonunun enerjisi elektronun bağlı bulunduğu kabuktaki bağlanma enerjisine eşittir. Bu nedenle K kenarı, diğer kenarlara göre daha yüksek enerjili fotonlar tarafından oluşturulur. Gelen fotonun enerjisi, soğurulma kenarına denk gelen enerjiden büyük olduğu anda fotoelektrik olay gerçekleşir ve fotoelektron kazandığı fazladan enerji ile atomu terk eder. Bu enerjinin altında gelen gama fotonu artık K kabuğu elektronlarını koparamazken, enerjinin azalması ile birlikte etkileşme olasılığı L kabuğu elektronları için bağlanma enerjisine kadar artar. Buradaki süreksizlikler LI LII, LIII kenarı adını alır. Bu soğurulma kenarlarının varlığı X-ışını floresans analizleri için önemlidir. (Nelson and Reilly, 1909)



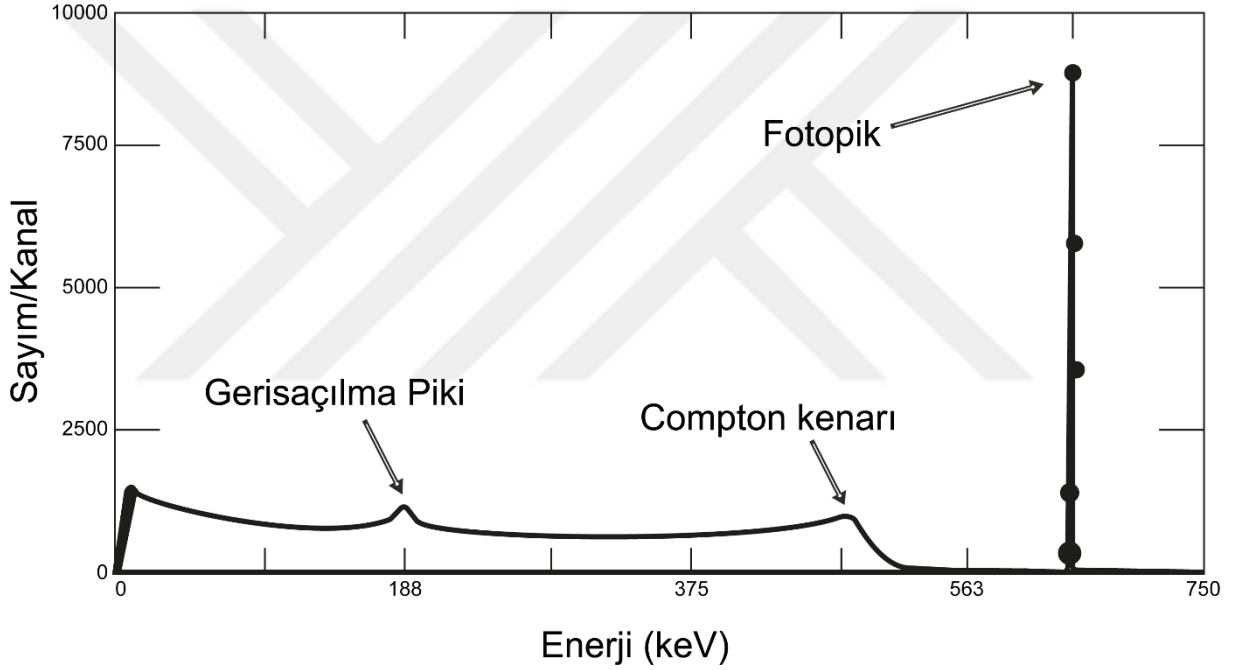
Şekil 2.1: Kurşun için fotoelektrik kütle zayıflatma katsayısı. (Nelson and Reilly, 1909)

2.2 COMPTON SAÇILMASI

Compton saçılmasında, gelen foton, serbest ya da atoma çok düşük bir bağlanma enerjisi ile bağlı olan elektronlarla, enerjisinin bir kısmını aktararak etkileşir. Bu etkileşme bağlanma enerjisinin düşük olduğu atomun en dış kabuk elektronlarında baskındır. Gelen foton ile saçılan foton arasındaki enerji farkı, serbest duruma geçen elektronun kinetik enerjisini belirler. $h\nu$ enerjisinde gelen bir foton, saçılmadan sonra $h\nu'$ ($\nu > \nu'$) enerjisinde olur. Enerjide meydana gelen bu değişim, (2.1)'de verildiği gibi saçılma açısına bağlıdır ve Compton saçılma formülü ile temsil edilir.

$$h\nu' = \frac{h\nu}{1 + (h\nu/m_0c^2)(1 - \cos\phi)} \quad (2.1)$$

Burada m_0c^2 elektronun durgun kütle enerjisi (0.511 MeV), ϕ ise fotonun geliş doğrultusundan sapma açısıdır. Saçılan fotonun enerjisi, 180° lik bir saçılma açısında minimum, sıfıra yakın küçük açılar için maksimum olacaktır. Saçılma, detektör içerisinde tüm açılarda gerçekleşir ve hedef elektronun soğuracağı maksimum enerji formülünde (2.2) $\Phi=180$ durumundan hesaplanır. Compton saçılması ile saçılan bir elektron, genellikle detektör içerisinde durdurulur ve bu durumda oluşan sinyalin genliği, gelen foton ile saçılan fotonun arasındaki enerji farkı ile orantılıdır. Şekil 2.2’de de verilen ^{137}Cs spektrumu örneğinde, 661 keV de oluşan karakteristik pik, gelen fotonun enerjisinin tamamının fotoelektronlara aktarıldığı durumda oluşmaktadır.



Şekil 2.2: Cs-137 standart kaynağının spektrumunda beliren karakteristiği. (Nelson and Reilly, 1909)

Gelen foton, enerjisinin bir kısmını ortamdaki serbest elektronlarla farklı açılarda çarpışması sonucunda, enerji spektrumunda fotopik enerjisinden düşük enerjilerde sürekli bir enerji dağılımı Şekil 2.2’de de görüldüğü gibi oluşmuştur. Spektrumdan anlaşılacağı üzere, 470 keV civarında bir çukıntı oluşmuştur. Bu enerji değerinde, Compton saçılması sonucu, gelen fotonların enerjilerini soğuran elektronların sayısı en fazladır. Bu şekilde oluşmuş olan kenara Compton kenarı (Compton edge) adı verilir. 188 keV civarında oluşan pik geri saçılma piki (backscatter peak) adını alır. Compton saçılması, gelen fotonla, atoma çok zayıf bir şekilde

bağlı elektronlar arasında olduğundan, saçılma olasılığı için, atom numarasına bağımlılık neredeyse yoktur. Etkileşme olasılığı, baskın olarak her materyal için sabit olan elektron yoğunluğuna (Z/A) bağlıdır.

2.3 ÇİFT OLUŞUMU

Dedektöre gelen gama fotonu enerjisi 1.022 MeV ve daha fazla çekirdek yakınındaki güçlü elektromanyetik alandan etkilenecek elektron-pozitron çifti oluşturabilir. Elektron ve pozitronun yaratılabilmesi için 2×511 keV'lik bir minimum enerji gerektirdiğinden dolayı, 1.022 MeV'lik foton eşik enerjisine ihtiyaç vardır. Eşik değerinden yüksek enerjiler, elektron-pozitron çifti arasında kinetik enerji olarak paylaşılır. Çift oluşumu ile oluşan elektron-pozitron çifti, detektör içerisinde yavaşlatılır. Enerjisini kaybeden pozitron, ortamdaki bir elektronla birleşerek (annihilation process), her biri 511 keV'lik iki ayrı gama fotonu oluşturur. Bu iki foton detektör içerisinde soğurulabilir veya soğurulmadan detektörden kaçabilir. Çift oluşumu olayı, spektrumda, üç farklı enerjide pik oluşumuna sebep olur. Eğer her iki yok olma fotonu birden soğurulursa, etkileşme, gerçek enerji pikine (full-energy peak) katkıda bulunmuştur. Yok olma fotonlarından biri soğurulmuş, diğeri detektörden kaçmış ise, bu durumda, etkileşme, spektrumda bulunan gerçek enerji pikinden 511 keV düşük enerjili tek-kaçış (single-escape peak) pikinin oluşmasına sebep olur. Yok olma fotonlarının her ikisinin de detektörden kaçması durumunda, gerçek enerji pikinin 1.022 MeV altında çift-kaçış piki (double-escape peak) oluşur.

2.4 SİNTİLATÖR DETEKTÖRLER

Kallmann; sintilasyonu, fosfor ekranda oluşan flaş ışığı olarak tanımlarken, Physical Encyclopedia, iyonize radyasyonun etkisindeki ışıldayıcı malzemedan kaynaklanan kısa flaş ışıkları olarak tanımlamaktadır. Sintilasyon detektörleri de bu flaş ışıklarının toplanıp, bir elektrik sinyali olarak, sayım sistemine gönderen düzenekler olarak tanımlanabilir.

E. Rutherford' un çinko sülfid ekranda alfa parçacıklarının oluşturduğu ışıldamayı keşfiyle başlayan modern nükleer detektörlerin gelişimi halen devam etmektedir. (Coltman JW, 1947) Deneysel fizikteki ve özellikle fotoçoğaltıcı alanındaki gelişmeler sintilasyon sağlayan materyallerle dizayn edilen detektörlerin, en ideal temel parçacık detektörleri olduğunu göstermiştir. (Marshall FH, 1947)

Kısa bir zaman içinde ise çeşitli organik ve inorganik malzemelerde sintilasyon mekanizmaları gözlenmiş (Moon RJ, 1948) ve bu malzemeler içerisinde keşfedilen NaI kristali, sintilasyon detektörler içinde en yaygın kullanılan haline gelmiştir. (Bell PR, 1948)

Kallmann sintilatör materyaller üzerinde çalışırken iki önemli konuda başarılı sonuçlar elde etmiştir (Kallmann H, 1949);

a) Işığa dönüştürülen, absorplanmış iyonize radyasyon enerjisinin oransal olarak ne kadar fiziksel ışık çıkışına sebep olduğu ve

b) Sintilatör materyalin ucunda toplanan ışık miktarının teknik olarak buradan alınması, ışığın ortamdaki soğurulması ve ışığı en verimli şekilde sintilatör materyalden dışarı çıkarma.

Bu iki başarıım, sintilatör detektörler için bir devrim niteliğindedir.

Sintilasyon mekanizması ile birbirine karıştırılan, son kullanıcı için önemli olmasa da, konsept olarak çok farklı bir kavram ise lüminesans mekanizmasıdır. Florasan lambalarda ve lazerlerde kullanılan lüminesans mekanizması, elektrik boşalma ile veya ışık pulslarıyla temel seviyesinden uyarılmış bir enerji seviyesine yükseltile aktif iyonların radiatif relaksasyonundan kaynaklanır. Sintilasyon mekanizması ise, iyonize radyasyonun sintilasyon malzeme içindeki enerji kaybıdır.

Elektronlar, gama fotonları ve beta parçacıklarının madde içerisinde enerji kaybetme mekanizmaları yukarıda anlatılan üç standart elektriksel süreçle meydana gelmektedir. Gelen parçacıkların enerjisi çoklu saçılmalara sebep olacak kadar büyük ve çift oluşumuna yeterli ise bu parçacıkların enerjileri, ikincil parçacıklara aktararak bir elektromanyetik dağılım (electromagnetic shower) şekline gelir. Eşik değerinin altında enerji kayıp mekanizması yine Compton saçılmalarıyla olur. Kristal gibi düzenli yapıya sahip materyallerde ise başka bir süreç gerçekleşir. Elektromanyetik dağılımdaki keV mertebesindeki elektronlar, latis içerisindeki atom ve diğer elektronlarla kupule olabilir ve sonuç olarak mevcut elektronik konfigürasyondaki elektronları uyarabilirler. Bu süreç elektron-boşluk çiftlerinin oluşumuna sebep olur. Eğer elektronların enerjisi iyonizasyon eşiğini de aşacak kadar yüksek ise, kristal ortamına serbest taşıyıcılar aktarılacaktır. Bunlar bir kusura (imperfection) takılana kadar ya da lüminesans merkezlerde rekombine olana kadar ortamda kalacaktır. Bir malzemenin sintilatör olabilmesi için lüminesans merkezlerinin olması gerekir. Kristal yapıli sintilatörlerde bu merkezler kristal

yapılardaki düzensizlikler olarak negatif veya pozitif iyon boşluklarıyla ya da aktivatör olarak adlandırılan dışarıdan ek olarak konulan atom veya iyonlarla sağlanır. (Korjik *et al.*, 2015) Bu merkezlerin oluşturulması sintilasyon özelliğini doğrudan ilgilendirdiği için yapılan çalışmalar, yeni sintilatör detektör geliştirme çalışmaları için önem teşkil etmektedir. (Yang, Shin and Park, 2019)

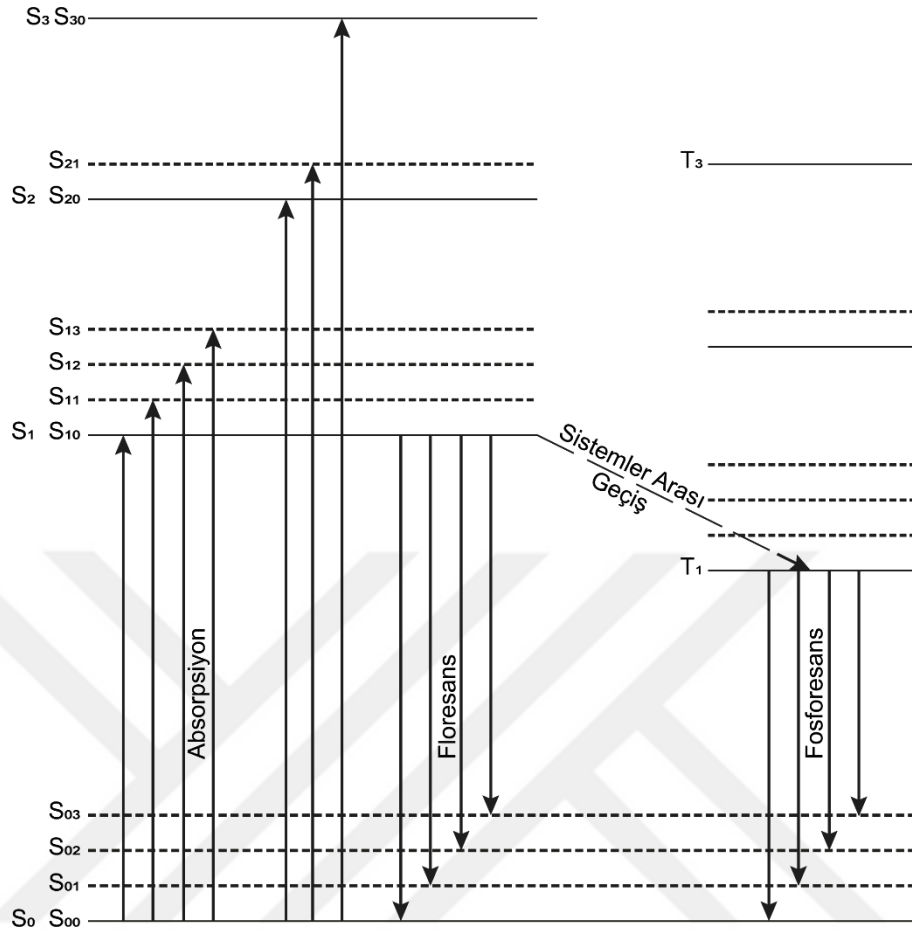
Kristal yapılu sintilatörler için geçerli olan bu kompleks prosedürler, organik yapılu sintilatörler için geçerli değildir.

2.5 ORGANİK SİNTİLATÖRLER

Bu tip sintilatörlerde floresans süreci, sintilatör malzeme içerisindeki atomların enerji seviyeleri arasındaki geçişlerden kaynaklanmaktadır. Pratikte kullanılan çoğu organik sintilatör π -elektron yapısı adı verilen simetrik bir molekül dizilimine göre üretilmiştir. Bu tip üretilmiş moleküller için örnek π -elektron yapısı enerji geçişleri Şekil 2.3'de verilmiştir. Burada, molekül tarafından absorblanan enerji yukarı oklar ile gösterilmiştir. Sintilatör malzeme için bu süreç, gelen iyonize parçacığın veya fotonun, kısaca radyasyonun yarattığı kinetik enerjinin absorblanmasını temsil eder. S2 ve S3 singlet durumlarından meydana gelen geçişler, vibrasyon enerjisi seviyelerinde olup ışıldamaya sebep olmaz. Şekil 2.3'de gösterildiği gibi, organik malzeme içindeki uyarılma süreçlerinin net etkisi S10 durumlarında gözlenmektedir. Temel sintilasyon ışıldamalarında bu durum, aşağı yönlü oklarla gösterilen, S10 ve temel durum arasında gerçekleşir. S10 durumu için T ışıldama bozunma zamanı olarak alındığında, t anındaki floresans şiddeti 2.2 denklemiyle verilir. (Knoll, 1989)

$$I = I_0 \exp(-t/T) \quad (2.2)$$

Genellikle organik sintilatörler için T birkaç nanosaniye boyutlarında olup, bu zaman organik sintilatörlerin görece hızlı detektörler olabileceğini gösterir.



Şekil 2.3: Organik molekül için örnek enerji seviyeleri geçişleri.

2.6 PORTAL MONİTÖR

Portal monitör en basit tabiriyle; Radyasyon yoğunluğunu ölçen, ölçümünü alarm kriterleriyle karşılaştıran ve izlenen alanları takip ederken o bölgeden geçen bir materyale karşın alarm seviyelerini geçen değerler için bir alarm veren radyasyon algılama sistemidir.

Kullanım yerlerine ve amacına göre 4 farklı türde hizmet vermektedirler. (ANSI, 2006) Bunlar;

- Yaya
- Paket (Konveyör)
- Araç (Konteynır taşıyanlar dahil)
- Tren

olarak isimlendirilmişlerdir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

Tasarımı yapılan izleme sistemi ana bileşen olarak iki farklı modülden oluşmaktadır. Birinci modül dedektör modülü olup radyasyonla maddenin etkileşmesi, ışığa çevrilmesi, ışığın fotoçoğaltıcı tüpe aktarılması ve fotoçoğaltıcı tüpten çıkışın elektronikte işlenmesi süreçlerini içermektedir.

İkinci kısım ise kontrol ünitesi olarak adlandırılmakta olup dedektör ünitesinden gelen verinin kullanım amacına göre farklı algoritmalarla işlenmesi, kayıt edilmesi ve dış çıktılarının verilmesini kapsamaktadır.

3.1 DEDEKTÖR MODÜLÜ

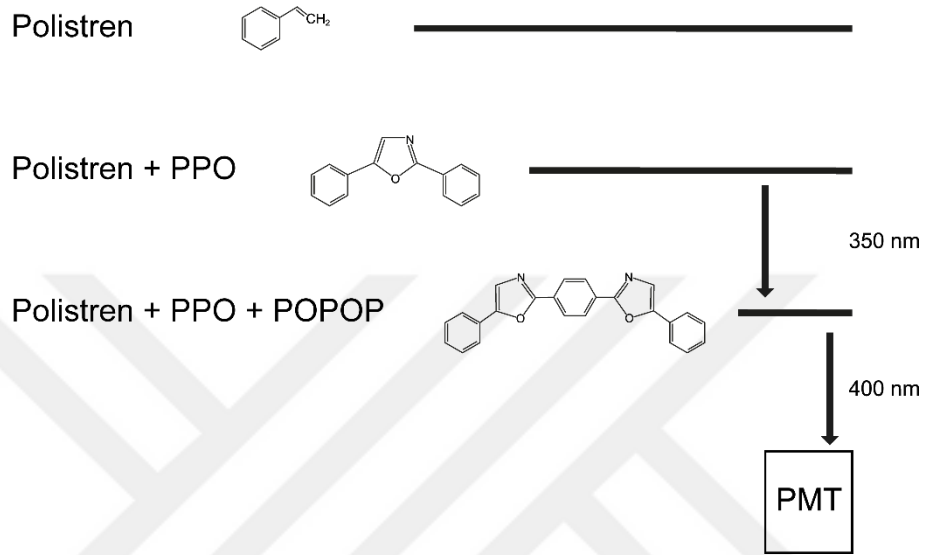
3.1.1 Algaç (Plastik Sintilatör)

Çalışmada sintilatör olarak Plastik Sintilatör kullanılmıştır. Plastik sintilatör en basit olarak sertleşmiş polimer plastik içerisine floresans yapan kimyasalların homojen bir şekilde karıştırılmış olduğu yapılar olarak tanımlanabilir. Plastik Sintilatörler 50 yılı aşkın süredir radyasyon dozu ölçümlerinde kullanılmaktadır. (Birks, 1964) Özellikle yüksek enerji fiziği çalışmalarında sıkça kullanılan plastik sintilatörler son yıllarda geliştirilen yeni polimerler ile daha ekonomik ve daha dayanıklı hale gelmiştir. Yeni polimer yapılar eski plastik sintilatörlere göre sararmaya karşı daha fazla direnç göstermekte ve bu da kullanım sürelerini uzatmaktadır. Önceki yıllarda poliviniltoluen bazlı sintilatörler kullanılırken üretim maliyetleri ve kanserojen tolüen kullanımının yarattığı zorluklardan kurtulmak adına ambalaj sektöründe sıkça kullanılan ve sararmaya karşı dayanımları daha iyi olan yeni polimerler kullanılmaya başlanmıştır. Bu bağlamda dünyada hem bilimsel çalışmalarda hem de bir çok ticari ürün kapsamında PS bazlı plastik sintilatörler kullanılmaya başlanmıştır. (Chang *et al.*, 2008) Bahsi geçen avantajları nedeniyle tez kapsamında polistren temelli bir çalışma yürütülmüştür.

3.1.1.1 Plastik Sintilatörün Hazırlanması

Plastik sintilatör temel olarak PS, PPO ve POPOP isimli üç kimyasal maddenin karışımıyla oluşmaktadır. (Pla-Dalmau, Bross and Rykalin, 2003) Bu maddelerden PS'in görevi plastik sintilatörde floresans sonucu ortaya çıkan fotonun sayılmak üzere PMT'ye ulaşması için bir ortam hazırlamasıdır. PS'e katılacak olan PPO (2.5-diphenyl-oxazole) kimyasalı ise polistren

içerisinde radyasyonla etkileşmesi sonucu floresansın oluşmasını sağlamaktadır. Son olarak kullanılan POPOP (1, 4-bis(5-phenyloxazole-2-yl)benzene) ise floresans sonucu oluşan fotonun dalga boyunu kaydırarak PMT ile etkileşmesini sağlamaktadır. Bu şekilde hazırlanan sintilatördeki dalga boyu kayması şekilde 3.1’de verilmektedir.

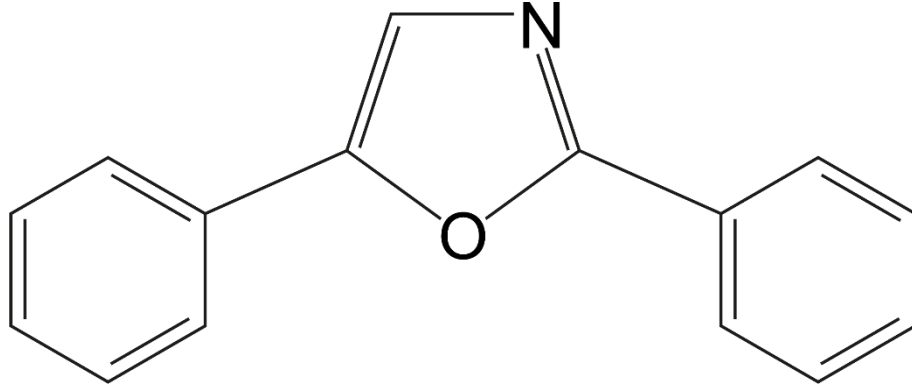


Şekil 3.1: Plastik sintilatör içerisinde dalga boyu değişimi.

Plastik sintilatörlerin üretimi için iki farklı metot uygulanmaktadır. Bu çalışma kapsamında iki metotla da üretim yapılmıştır. İki metotta da aynı PPO ve POPOP kullanılmış olup metotlara göre kullanılan PS farklılaşmıştır.

Kullanmış olduğumuz PPO ve POPOP’un özellikleri Tablo 3.1 ve Tablo 3.2’de verilmiştir.

PPO - 2,5-Diphenyloxazole’ün molekül şekli Şekil 3.2’de, teknik özellikleri ise Tablo3.1’de verilmiştir.

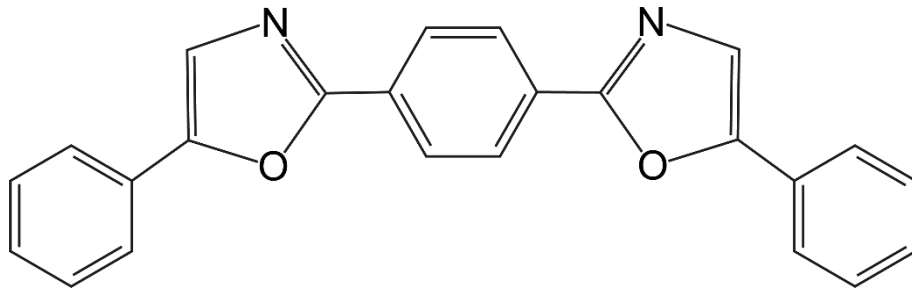


Şekil 3.2: PPO - 2,5-Diphenyloxazole'ün molekül şekli.

Tablo 3.1: PPO'nun teknik özellikleri.

Kimyasal Formülü	C₁₅H₁₁NO
Mol Ağırlığı	221,25 g/mol
Fiziksel Form	Toz
Ergime Sıcaklığı	72-74 °C
Kaynama Sıcaklığı	360 °C
Absorpsiyon	303 nm

POPOP - 1,4-Bis(5-phenyl-2-oxazolyl)benzene'nin molekül şekli Şekil 3.3'de, teknik özellikleri ise Tablo3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.3: POPOP - 1,4-Bis(5-phenyl-2-oxazolyl) benzene'nin molekül şekli.

Tablo 3.2: POPOP'un teknik özellikleri.

Kimyasal Formülü	C₂₄H₁₆N₂O₂
Mol Ağırlığı	364,40 g/mol
Fiziksel Form	Toz
Ergime Sıcaklığı	242-246 °C

Birinci metod olarak ekstrüzyon tekniği uygulanmıştır. Ekstrüzyon tekniğinde katı formda polistren kullanılmaktadır. Parıldamayı yaratan floresans etkin PPO ve dalgaboyu kaydırma etkisine sahip POPOP'un bu malzeme içerisine homojen şekilde dağıtılması gerekmektedir. Bu nedenle ekstrüder denen karıştırıcıya polistren, PPO ve POPOP eklenerek bu malzemelerin ergime sıcaklığına uygun bir sıcaklığa getirilmesi ve ikili vida adımları içerisinde bu eriyikte malzemeler homojen bir şekilde karıştırılması gerekmektedir. Malzemelerin homojenitesi üretilen sintilatörün kalitesi ile doğru orantılı olduğundan çok önemlidir.

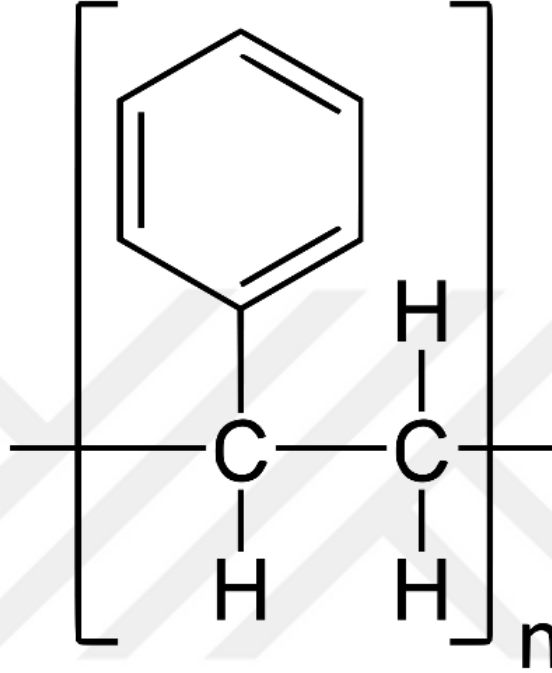
Çalışmada malzeme miktarının elverişli olması nedeniyle endüstriyel bir karıştırıcı olan RTX-M90 model eriyik mikseri kullanılmıştır. Mikserin fotoğrafı Şekil 3.4'de görünmektedir. Kullanılan üç kimyasalın ergime sıcaklıkları sırasıyla 180°C, 72 °C ve 242 °C 'dir. Kullanılan mikser, 300 °C'ye kadar çıkan çalışma sıcaklığı ile tüm malzemelerin ergime sıcaklık değerini karşıladığından erime ve homojenleştirme işlemini sorunsuz bir şekilde yapmıştır.



Şekil 3.4: RTX-M90 Mikser.

Bu teknikte PS olarak Styrolution PS 124 ticari isimli polistren kullanılmıştır. Bu polistren Şeffaf yapısı, uzun mesafeli ışık geçirgenliği ve ekonomik olarak uygun fiyatlı olması nedeniyle

tercih edilmiştir. Styrolution PS 124'ün molekül şekli Şekil 3.5'de teknik özellikleri ise Tablo 3.3'de verilmektedir.



Şekil 3.5: Polistren molekül şekli.

Tablo 3.3: Polistrenin teknik özellikleri.

Kimyasal Formülü	C8H8
Yoğunluk	1,04 g/cm ³
Fiziksel Form	Katı
Ergime Sıcaklığı	180-280 °C
Işık Geçirgenliği (550 nm'de)	%91,4
Refraktif indeks	1,56

Metot olarak hassas terazide tartımları yapılan PS, PPO ve POPOP karıştırıcı haznesine konularak 180 °C'de başlangıçta 20 devir/dakika hızında 1 dakika kadar karıştırılmış bir dakika sonunda malzeme ergidikten sonra 175 °C'de 10 dakika 35 devir/dakika hızında karıştırılmaya devam edilmiştir. On dakikanın sonunda karıştırıcı durdurulup ergiyen malzemenin sıcaklığı oda sıcaklığına düştüğü zaman karıştırıcının haznesinden alınmıştır.

Gramaj olarak Tablo 3.4’de ölçüleri verilen üç kimyasal hassas terazide tartımları yapılarak hazırlanmıştır.

Tablo 3.4: Polistrenin tartım sonuçları.

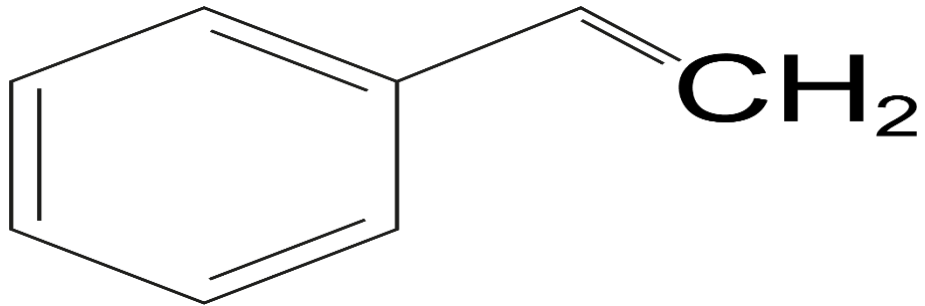
	Polistren	PPO	POPOP
Kütlece Miktar	78,72 g	1,224 g	0,016 g
Kütlece Yüzde Oranı	%98,45	%1,53	%0,02

Bu şekilde üç kimyasalın homojen bir şekilde karışmış olduğu polistren malzeme hazır duruma gelmiştir. Bu süreçten sonra polistren artık sintilatör yapıya kavuşmuş durumdadır. Tek eksiği dedektör sisteminde kullanılacak geometriye kavuşması olacaktır. Bunun için harmanlanmış polistren, metalik bir kalıba koyularak ısıtıcı preste şekillendirmeye maruz bırakılmıştır. Bu süreçte polistrenin şekil alabilmesi için presin sıcaklığı ergitme sıcaklığı olan 180°C’ye ayarlanmıştır. Kalıp içerisindeki polistrenin içinde boşluklar veya hava kabarcıkları kalmaması için 80 kg/cm²’lik bir basınç ile preslenerek 10 dakika süresince bu basınç ve sıcaklıkta bekletilmiştir. Daha sonra ise kalıp soğutuculu prese alınarak 5°C / dakika hızıyla soğutularak oda sıcaklığına düşürülmüştür. Bu işlemler için kullanılan cihazların fotoğrafı Şekil 3.6’da verilmiştir. Bu süreçte sıcaklığın uygulanması, basınç ve soğutma hızı sintilatör üzerinde mikroçatlaklar ve hava kabarcıkları oluşup oluşmadığını belirleyeceğinden çok önemlidir. Mikroçatlaklar veya hava kabarcıkları oluşan sintilatörde foton geçişi olmayacağından veya geçiş verimi düşük olacağından sintilatör olarak kullanımı mümkün olmayacaktır.



Şekil 3.6: Ekstrüzyon için kullanılan cihazlar
a) Karıştırıcı b) Isıticılı Pres c) Soğutuculu pres.

İkinci metod ise Polimerizasyon metodudur. Polimerizasyon tekniğinde ise ekstrüzyon tekniğinin aksine katı polistren değil sıvı fazda polistren monomerleri kullanılmaktadır. Çalışmada %99,96 saflıkta Sitren Monomer kullanılmıştır. Kullanılan sitren monomerin teknik özellikleri Tablo 3.5’de verilmiştir.



Şekil 3.7: Sitren monomer molekül şekli.

Tablo 3.5: Sitren monomerin teknik özellikleri.

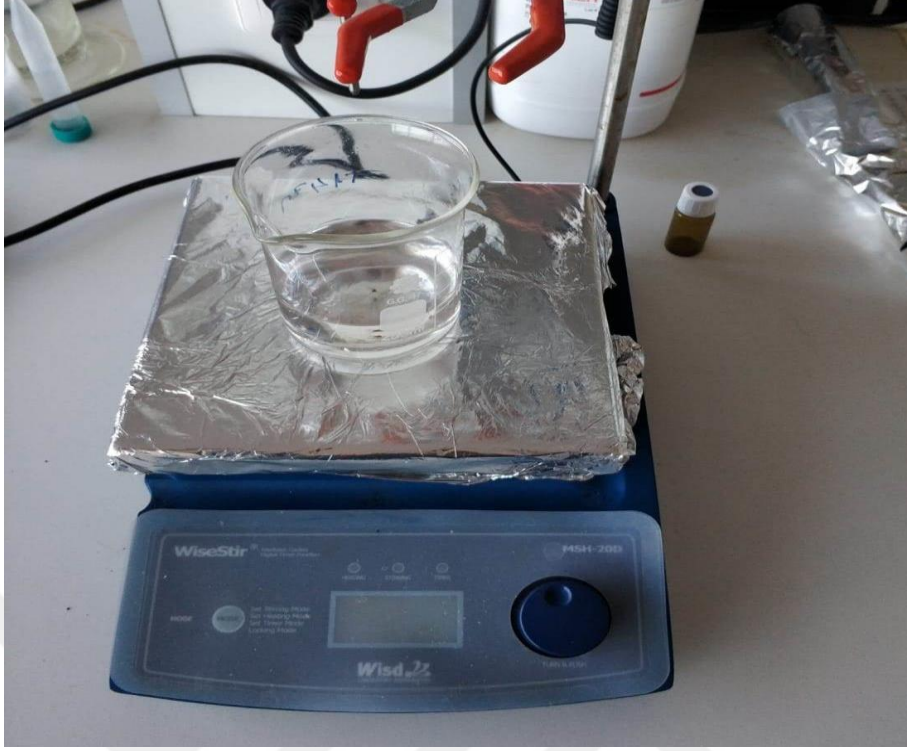
Kimyasal Formülü	C8H8
Yoğunluk	0,906 g/cm ³
Fiziksel Form	Şeffaf sıvı
Safılık	%99,96

Hazırlama aşamasında Tablo 3.6’da oranları verilen üç kimyasal hassas terazide tartımları yapılarak hazırlanmıştır.

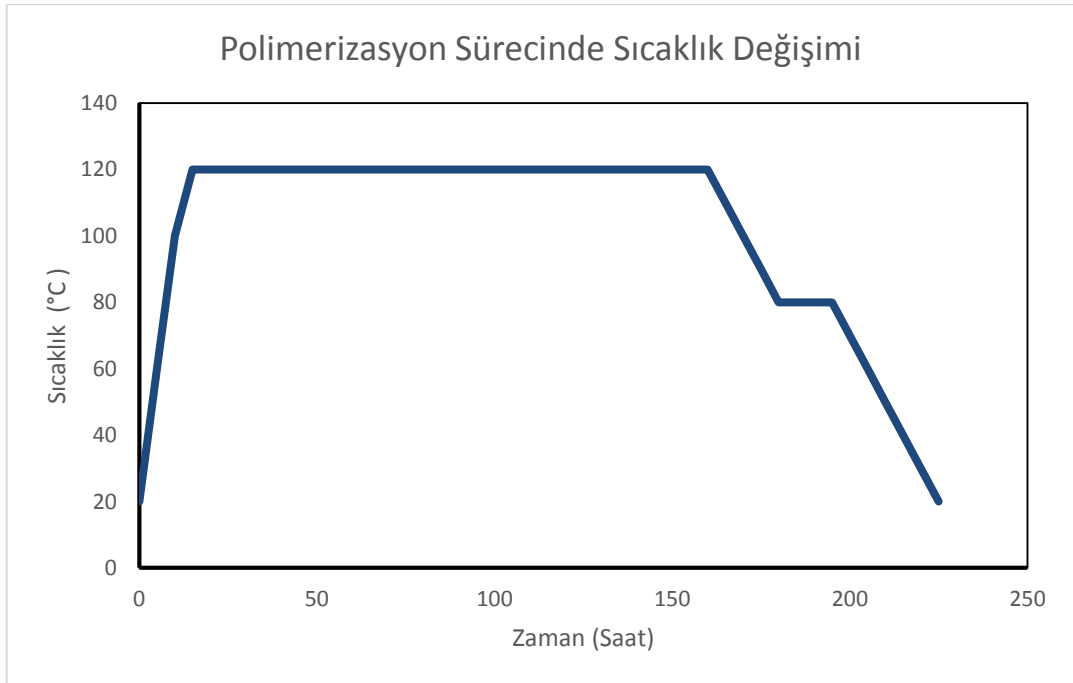
Tablo 3.6: Sitren monomer tartım sonuçları.

	Sitren Monomer	PPO	POPOP
Kütlece Miktar	98,498 g (89,239 ml)	1,5 g	0,02g
Kütlece Yüzde Oranı	%98,498	%1,5	%0,02

Tartımı yapılan kimyasallar hem kalıp olarak kullanılacakları hem de işlem sırasında onları bir arada tutacak olan 3 cm çaplı cam şişeye konulmuş ve 60°C’lik ısıtıcı manyetik karıştırıcıda altı saatlik süreyle karıştırılmıştır. (Lee *et al.*, 2017) Bu şekilde üç kimyasalın homojen bir şekilde karışmaları sağlanmıştır. Karıştırma işlemi için kullanılan ısıtıcı manyetik karıştırıcının fotoğrafı Şekil 3.8’de verilmiştir. Daha sonra polimerizasyon sürecinin başlaması için kontrollü bir şekilde ısıtılmış ve yüzey gerilimleri nedeniyle çatlaklar oluşmaması ve polimerizasyon esnasında hava kabarcıklarının oluşmaması için kontrollü bir şekilde soğutulmuştur. Sürecin sıcaklık değişimi Şekil 3.9’da verilmiştir.



Şekil 3.8: Isıtıcıli manyetik karıştırıcı.



Şekil 3.9: Polimerizasyon sürecindeki sıcaklık değişimi.

Oda sıcaklığına gelen sintilatör, konulduğu cam şişe kırılarak çıkarılmış ve dış yüzeyindeki yüzeyler kesilip parlatma işlemi uygulanmıştır.

3.1.1.2 Plastik Sintilatörün Dedektör Olarak Kullanımı

Üretilen plastik sintilatörler üretim süreci sonunda floresans özelliğine sahip hale gelmişlerdir. Fakat bir dedektör sisteminde algaç olarak kullanılabilmesi için bazı adımları daha tamamlaması gerekmektedir. Bu adımlar sırasıyla parlatma, yansıtıcı ile kaplama ve ışık zırlaması olarak adlandırılabilir.

Parlatma aşamasında üretilen plastik sintilatörler üretim esnasında kullanılan kalıplara bir miktar yapıştığından kalıptan sökülürken dış cidarlarında çeşitli düzensizlikler görülmektedir. Bilindiği üzere radyasyona maruz kalındığında sintilatör içerisinde fotonlar oluşmakta ve bu fotonlar sintilatörün bir yüzeyine monte edilen fotoçoğaltıcı tüp üzerinden okunmakta ve elektronik sinyale çevrilmektedir. Radyasyon seviyesini doğru ve verimli okuyabilmek için oluşan tüm fotonların mümkün olduğunca bu fotoçoğaltıcı tüpe aktarılması esastır. Üretim sonunda sintilatör yüzeyinde bulunan anomaliler fotonların soğrulmasına veya dış ortama kaçmasına neden olacağından ölçüme engel teşkil etmektedir. Bu nedenle bu anomaliler ortadan kaldırılmalıdır. Yüzeyde çok büyük şekil bozuklukları var ise bunlar testere ile kesilebildiği gibi torna tesviye ile de düzeltilebilir. Bu durumlarda dikkat edilmesi gereken husus kesim esnasında sürtünmeden dolayı yüksek sıcaklıkların oluşması durumudur. Ergime sıcaklığına yakın sıcaklıkların oluşması durumunda sintilatörün şeffaf kristal yapısında değişiklikler olur. Bu değişiklikler ise foton geçişine engel olacağından sintilatörün verimini düşürür ve kullanılamaz hale gelmesine sebep olur. Parlatma işlemi sintilatör içerisinde oluşan fotonun yüzeyden sekerek tekrar sintilatör içerisine doğru yönelmesini sağlar. Kullandığımız polistrende fotonlar için verilen erişim uzunluğu 4,5 metre mertebesinde olduğundan iyi parlatılmış yüzeylerden seken fotonların sintilatör içerisinde sekerek fotoçoğaltıcı tüpe erişme ihtimalleri yüksek olacaktır. Yapılan bir çalışmada parlatma yapılmasının sayım sayısını yaklaşık olarak %80 arttırdığı gözlenmiştir.(Kandemir and Cakir, 2018)

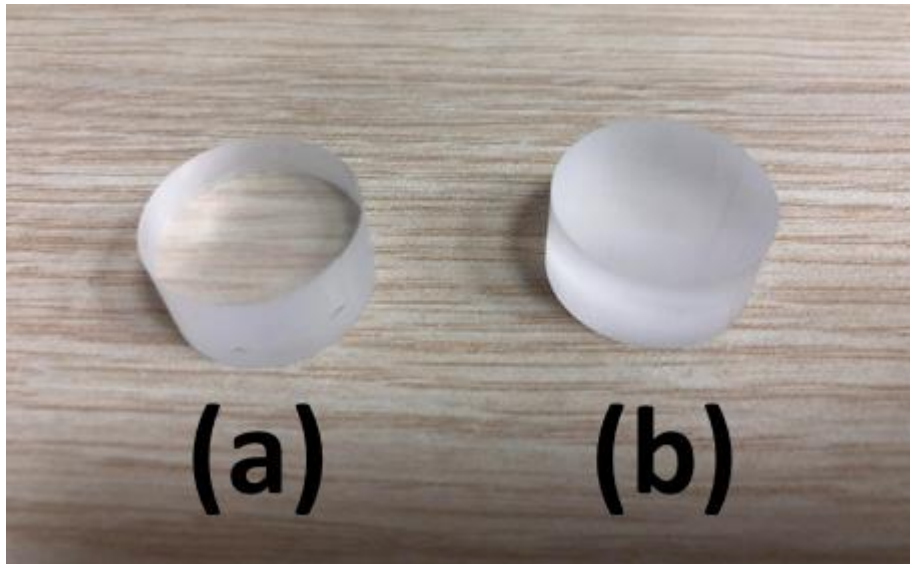
Parlatma makinelerde yapılabileceği gibi elle de yapılabilir. Elde parlatmalarda sırasıyla 120, 240, 400, 600, 1200 ve 1500 ‘lük kum zımpara kullanılması ve tüm bu parlatma süresince sadece su ve izopropil alkol kullanılması esastır. Diğer çözücüler sintilatöre zarar

verebileceğinden kullanılmalıdır. Çalışmada; parlatma için Struers parlatma makinesi kullanılmıştır. Parlatma makinesinin fotoğrafı Şekil 3.10’da görülmektedir.



Şekil 3.10: Parlatma makinesi.

Sintilatörün kesim yapıldıktan sonraki ham hali ve parlatılmış hali Şekil 3.11’de görünmektedir.



Şekil 3.11: Sintilatörün a) parlatılmış hali b) parlatılmamış hali.

Parlatma aşamasından sonra sintilatörün üzeri yansıtıcı yüzeyle kaplanmaktadır. Sintilatör parlatıldıktan sonra fotonların sintilatör dışına kaçma olasılığı olması durumunda yine sintilatörün içerisine dönmesini sağlamak adına yansıtıcı bir reflektör ile sarılması verimi arttıracığından tavsiye edilmektedir. Bazı uygulamalarda yansıtıcı reflektör malzeme kullanmak yerine titanyum dioksit (TiO₂) bazlı yansıtıcı bir boya ile de boyanabilir. Reflektör malzeme ile kaplama; foton veriminin %20'ye kadar artmasına yardımcı olmaktadır. (Ros *et al.*, 2018)

Çalışmada, sintilatörler ince alüminyum folyo ile sarılarak hazırlanmıştır.

Sintilatörün parlatılması ve yansıtıcı ile kaplanmasının ardından dış ortamın etkilerinin yok edilebilmesi için ışık geçişine engel olan siyah plastik bir malzeme ile sarılması gerekmektedir. Bu zırlama düzgün olmadığı takdirde dış ortamdan sintilatör ve fotoçoğaltıcıya ışık sızabilir ve bu sızıntı yanlış değerler ölçülmesine neden olur.

Çalışmada ışık zırlaması için siyah elektrik bandı ve polyolefin bazlı ısıtılınca daralan makaron kullanılmıştır. Bu malzeme iyi bir mekanik dayanım göstermesinin yanı sıra esnek olup 260°C sıcaklığa kadar yapısı bozulmamaktadır.

Sintilatörün yüzeylerini parlattıktan sonra oluşan fotonun sintilatörden çıkarak fotoçoğaltıcı tüpün yüzeyine ulaşmasını sağlamak adına sintilatör ile fotoçoğaltıcı tüp arasına optik gres veya optik yağ diye isimlendirilen ve kırılma indeksi sayesinde bu geçişi sağlayan bir malzeme sürülmektedir. Kuplaj bu şekilde yapılmazsa sintilatör içerisinde oluşan fotonların verimli bir şekilde fotoçoğaltıcı tüpe aktarımı mümkün olmayacağından ölçüm yapılamayacaktır.

Tablo 3.7: Optik gresin özellikleri.

Işık geçirgenliği	>%98 (400 nm ve üzerinde)
Refraktif indeks	1,465 (25°C'de)
Çalışma sıcaklığı aralığı	-60 – 400 °C

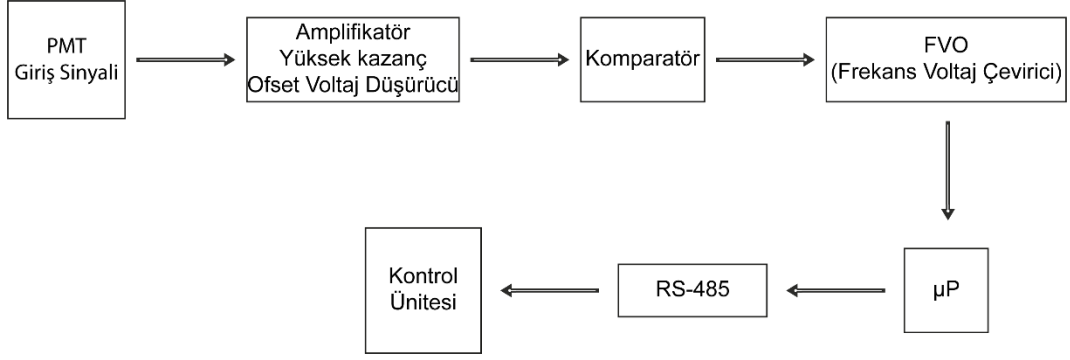
3.1.2 Dedektör Elektroniği

Tasarımı yapılan elektroniğin ana görevi fotoçoğaltıcının çıkışından aldığı analog sinyali işlemek ve algoritmada belirlenen kriterler ışığında saniyede kaç sayım alındığını hesaplayarak kontrol ünitesine iletmektir.

Bu tez çalışmasında plastik sintilatör detektörlere kuple edilmiş fotoçoğaltıcılardan çıkan ilk elektrik sinyali iki farklı şekilde tasarlanan yükseltici katlarıyla işlenmiştir. Sinyal işleme kartı birinci versiyonda yüksek kazançlı, ofset voltajı düşürücülü bir önyükseltici dizaynı tercih edilmiş, ikinci versiyon sinyal işleme kartında ise transempedeans ve şekillendirici önyükseltici mantığı kullanmıştır. Bu katlardan sonra sinyale bir komparatör yardımıyla eşik değeri ayarlaması yapılmıştır. Dizayn edilen veri işleme kartlarından birincisi, komparatör çıkışını kullanan bir voltaj frekans çevirici katı yardımıyla, mikroişlemciye veri göndermektedir. Bu tasarımda son kat olarak kullanılan frekans voltaj çeviriciden mikroişlemciye gönderilen analog veri, gelen radyasyonun şiddetini temsil etmektedir.

3.1.2.1 Birinci versiyon sinyal işleme kartı

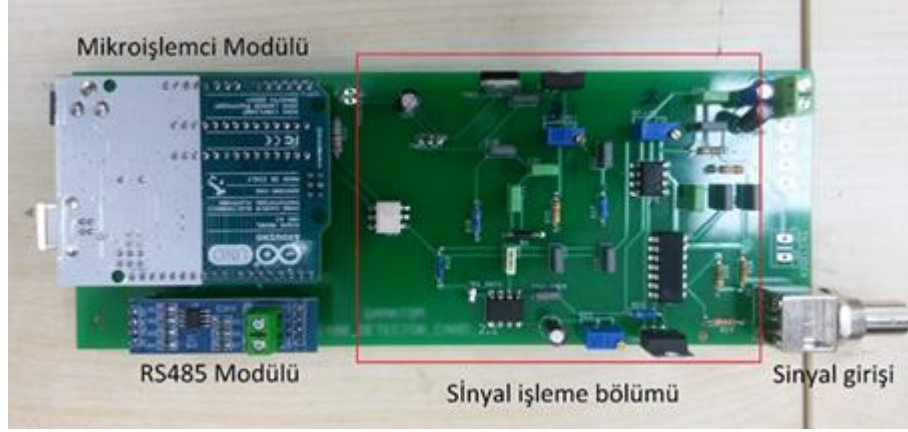
Alan monitörleri için tercih edilen fotoçoğaltıcılarda gözlenen çıkış sinyalinin 1-1.5 volt mertebesinde olmasından ötürü bu sinyali direkt olarak yüksek kazançlı bir yükseltici dizaynla şekillendirmek birinci versiyon işleme kartında tercih edilmiştir. Fotoçoğaltıcı çıkışından direkt olarak alınan sinyal yükseltilirken gürültü bileşenlerinin de bertaraf edilmesi gerekmektedir. Aksi halde, sinyal ile birlikte yükseltilen gürültü saturasyona sebep olmaktadır. Bu sebepten dolayı birinci sinyal işleme kartı için, kullanılan opamp ofset voltaj ayarlı olarak seçilmiştir. Sinyal işleme kartının şematik çizimi Şekil 3.12’de, bir fotoğrafı ise Şekil 3.13’de görünmektedir.



Şekil 3.12: Birinci versiyon sinyal işleme kartı şematik çizimi.

Komparatör katında, referans ayağı ayarlanabilir tasarlanarak sinyal işleme kartının eşik değer ayarlamalı özellikte olması sağlanmıştır. Fotoçoğaltıcı çalışma voltajının değiştirildiği farklı durumlara göre bu eşik değeri değiştirilerek uygun komparatör çıkışı sağlanabilmektedir. Farklı coğrafi bölgelerde alınan fon radyasyonu ölçümlerinde ortalama sayım değerlerinin farklılık gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle sayım sistemini bir optimum sayım ortalamasında tutmak için fotoçoğaltıcı voltaj ayarlaması, yükseltici kazanç ayarı, komparatör eşik değer ayarlaması yapılması gerekli görülmüştür. Komparatör katı çıkışı TTL sinyaller olarak seçilmiş olup gelen radyasyona göre çıkışın tetiklenme frekansı değişecek bir tasarım seçilmiştir.

Sinyal işleme kartının son katı, frekans voltaj çeviriciden oluşmaktadır. Burada temel prensip, komparatörden gelen frekans bilgisine göre 0-3.3V aralığında değişecek DC sinyal üretmektir. Frekans voltaj çevirici katının minimum değeri değişken seçilerek, mikro işlemciye gidecek olan veri aralığı daraltılabilmektedir. Böylece hassas ya da kaba olarak sayım skalası analog olarak ayarlanabilmektedir. Şekilde birinci sinyal işleme kartı ve bölümleri gösterilmiştir.

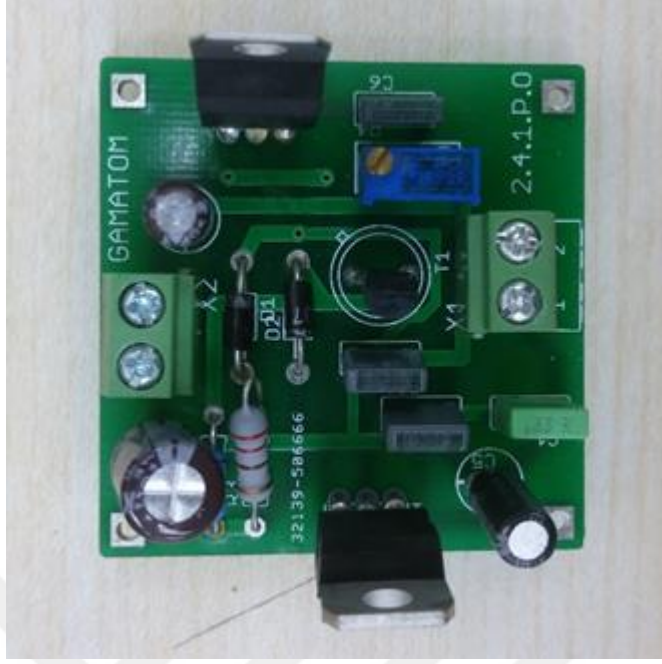


Şekil 3.13: Birinci versiyon sinyal işleme kartı: sinyal işleme kartı, RS485 veri iletişim modülü ve mikroişemci modülü.

Baskılı devre dizaynı Eagle 7.6.0 Professional devre çizim programı kullanılarak yapılmıştır. Fotoçoğaltıcıdan gelen sinyal, sinyal işleme kartından alınan sinyaller ATMEGA328P mikroişlemcisinin analog girişleri yardımıyla 10 bit olarak dijitalize edilmiştir. Dijital hale getirilen veri, kullanıcı tarafından seçilebilecek aralıkta sayım ortalaması alacak şekilde ya da anlık sayım değerlerini uzak bilgisayara gönderecek şekilde mikroişlemci yardımıyla programlanmıştır. Sintilatör panel, portal monitör olarak dizayn edilecek bir sisteme entegre olacağından, paneller arasından bir araç geçtiğinde, bu durumu algılayan bir engel sensörü, mikroişlemciye giriş olarak tanımlanmıştır. Uzak bilgisayara gönderilen veri, engel sensörü aktif olduğunda farklı bir formatta gönderilmiştir.

Uzak bilgisayara, sintilatör detektörlerdeki sayım bilgisi Modbus RTU protokolü kullanılarak RS485 seri gönderim standardı ile aktarılmıştır. RS485'in avantajı, km mertebesinde uzaklıklara yapılan veri transferine izin vermesi ve gerektiğinde çift taraflı iletişime olanak sağlamasıdır.

Fotoçoğaltıcı voltajı genellikle 700-900 V aralığında kullanılabilir. Bu yüksek voltaj değerinin fotoçoğaltıcıya aniden uygulanması fotoçoğaltıcı tüpe zarar vermektedir. Elektrik kesintisinin sık yaşandığı durumlarda bu ani ve yüksek gerilim farkı uygulanması fototüpün ömrünü azaltacaktır. Bu sorunu aşmak amacıyla, fototüp voltajının sıfırdan istenilen değere kadar, düzenli artışlarla uygulanmasına sağlayan Şekil 3.14'de gösterilen "yavaş voltaj" modülü dizayn edilmiştir.

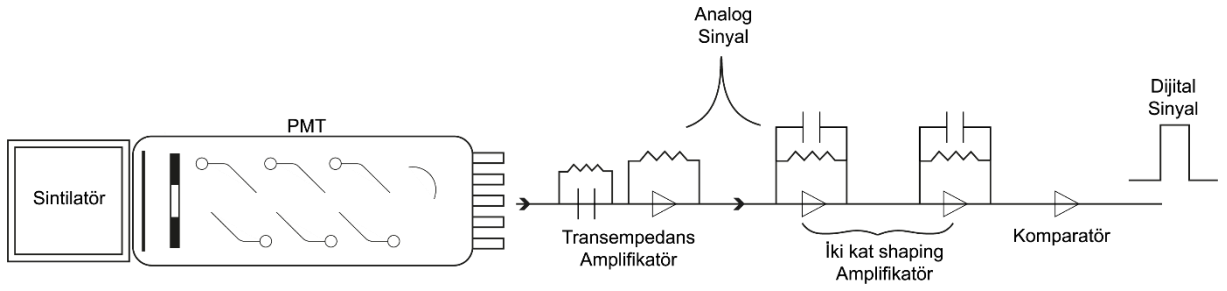


Şekil 3.14: Yavaş voltaj modülü.

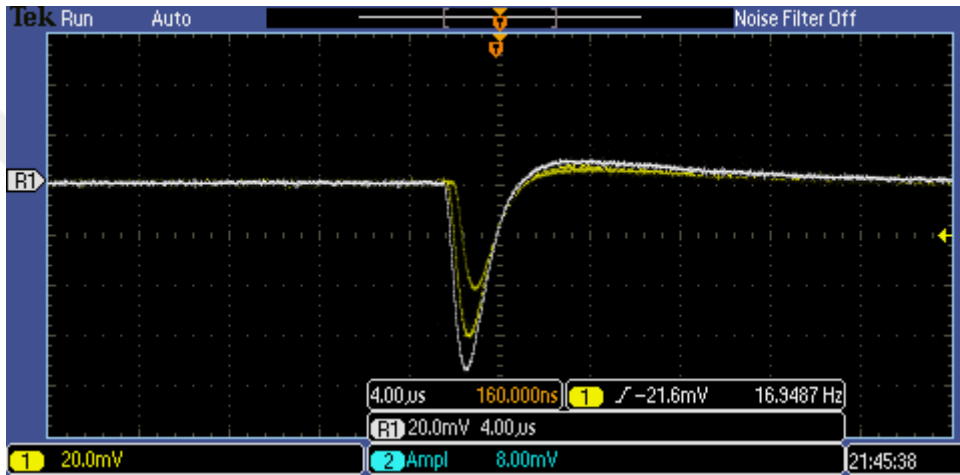
Birinci sinyal işleme kartı, mikroişlemci ve RS485 modülü ve yavaş voltaj modülü tek bir anakart haline getirilerek Detektör Anakart Birimi oluşturulmuştur. Bu birim, Fotoçoğaltıcı sinyal girişi, yüksek gerilim çıkışı ve RS485 sinyal çıkışı giriş/çıkışlarına sahiptir.

3.1.2.2 İkinci versiyon sinyal işleme kartı

Bu kart dizayn edilirken, fotoçoğaltıcıdan gelen darbe formatlı yük toplamları, transempedans ve şekillendirici katlarından oluşan bir dizayn yardımıyla işlenmiştir. Tasarım esasının şematik gösterimi Şekil 3.15’de verilmiştir. Fotoçoğaltıcıdan çıkan sinyal, dinotlarda çoklanarak gelen yük birikimidir. 800 V için fotoçoğaltıcının çıkış sinyali Şekil 3.16’da verilmiştir. Bu yük birimi, uygun olarak optimize edilen transempedans önyükseltici katında voltaja çevrilmiştir. Şekil 3.16’da bulunan sinyal şekli, fotoçoğaltıcıdan alınan ve transempedans önyükselticiye girilen, dizayn edilen karta giren ilk sinyaldir.

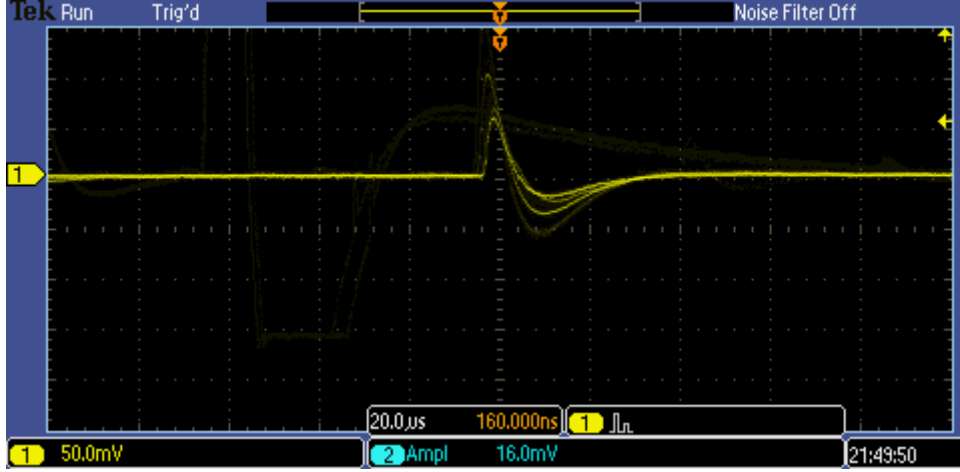


Şekil 3.15: İkinci versiyon sinyal işleme kartı şematik çizimi.



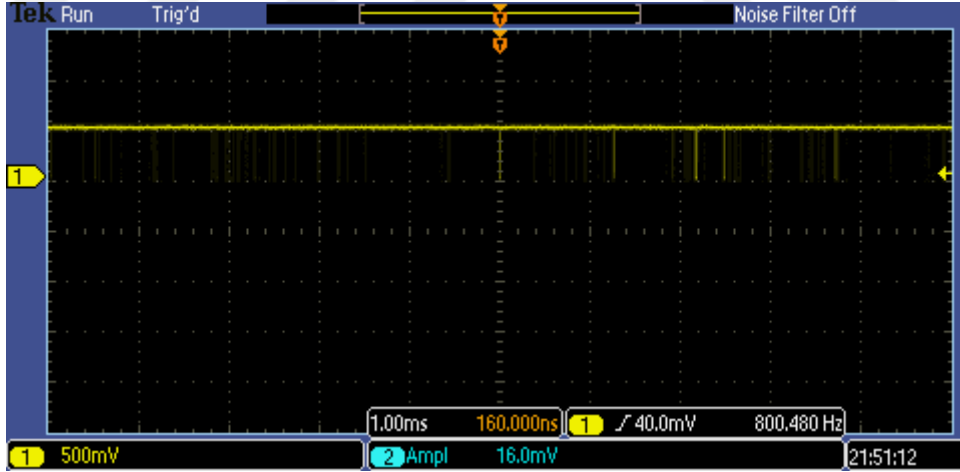
Şekil 3.16: Fotoçoğaltıcı çıkış sinyali. (Çalışma Gerilimi 800V).

Sonrasında, şekillendirici olarak kullanılan katlarda ise sinyal formu ve gürültüden arındırma işlemleri ve sinyalin zaman ve yüksek ayarları yapılmıştır. İkinci sinyal işleme kartı için hazırlanan devre kartında, iki kat şekillendirici kullanılarak, Fotoçoğaltıcı gürültü seviyesinin azaltılması sağlanmıştır. Fotoçoğaltıcıdan gelen parazitlerin şekillendirici katında yok olduğu Şekil 3.17’de görülmektedir.



Şekil 3.17: Şekillendirici yükselticiden alınan sinyal çıkışı.

İkinci Sinyal İşleme kartında, birincisinden farklı olarak, şekillendirici katından sonra kullanılan Şekil 3.15’de gösterilen komparatör katı çıkışı, mikroişlemciye direkt olarak puls olarak gönderilmiştir. Gönderilen sinyal Şekil 3.18’de verilmiştir. Böylece birinci dizayndaki ek komponent kullanılmasından vazgeçilmiştir.



Şekil 3.18: İkinci sinyal işleme kartı için komparatör çıkışı.

Bu kartın, birinci dizayna göre en temel farkı ve gücü, mikroişlemci yerine bir SoC (System on Chip) çip kullanılmasıdır. SoC çipler, bir bilgisayarın çalışabilmesi için gereken tüm bileşenlerin tek bir küçük çip üzerinde toplanmış halidir. Bu çalışmada kullanılan mikroişlemci kartında, dört adet 1.2 GHz ARM Cortex-A53 işlemci çekirdekli Video Core IV grafik işlemcili

ve 1GB LPDDR2 hafıza madüllü olan Broadcom BCM2837 marka SoC çip bulunmaktadır. Ayrıca USB ve ethernet modülleri yardımıyla veri transferi ek bir RS485 modülü gerektirmeden, SMSC LAN9514 entegre çipi sayesinde ethernet portundan TCP/IP protokolü kullanılarak sağlanmıştır. Şekil 3.19'da gösterilen 2. sinyal geliştirme kartı, Raspberry Pi 3 modülüne entegre edilmek üzere tasarlanmış ve üretimi yapılmıştır. Bu kart sayesinde, detektörün yüksek gerilim voltajı, komparatör eşik değeri uzak bilgisayardan değiştirilebilmektedir. Ayrıca ek olarak karta eklenen sıcaklık sensörü ile ortam sıcaklığı kaydedilebilmektedir. Detektörde oluşabilecek donanımsal hataları gözlemleyebilmek için, yüksek gerilim voltajı sürekli kontrol edilmekte, olası voltaj değişimlerinde sisteme uzaktan erişimle müdahale olanağı sağlanmaktadır. Geliştirilen 2. versiyon sinyal işleme kartı Şekil 3.19'da gösterilmiştir.



Şekil 3.19 : Geliştirilen 2. Versiyon sinyal işleme kartı.

3.2 KONTROL ÜNİTESİ (ALGORİTMA)

Hazırlanan plastik sintilatörler ile üretilecek olan dedektörlerin bir sistem olarak çalışması için detektörlerden çıkan verilerin bir kontrol ünitesine aktarılması ve bu üniteye bir algoritma yardımı ile değerlendirilmesi gerekmektedir. RS485 protokolü ile detektörlerden gelen veriler kontrol ünitesine ulaşmakta ve burada bulunan bir yazılım ile işlenmektedir.

Sistemin kullanım amaçlarına göre gelen verinin maruz kalacağı hesaplama metodu ve kontrolleri değişmektedir. Örneğin ilgili sistem bir alan monitörü olarak kullanıldığı durumda gelen sayım sonuçları kontrol sisteminde herhangi bir hesaplama maruz kalmadan direkt olarak cps değeri olarak gösterilmektedir. En karmaşık kullanım olarak; bu sistem, plastik sintilatörün portal monitör olarak kullanılacağı bir durumda ise kontrol ünitesi doğal fon radyasyonu ortalamasının hesaplanması, gelen anlık veri ile doğal fon radyasyonunu karşılaştırma, dedektörün karşısına bir cisim geldiğinde ortalama almayı keserek ölçüm modunu başlatma gibi işlemleri yapmak durumunda olmalıdır. Olası durumlar Tablo 3.8’de verilmiştir.

Tablo 3.8: Algoritma koşulları.

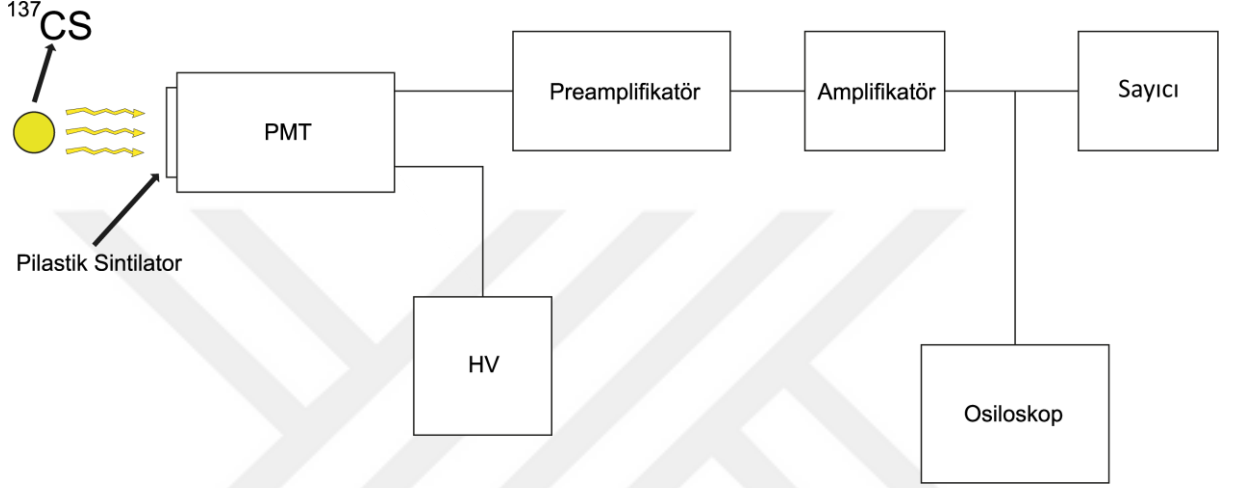
Koşul	Durum
Dedektörün önünde cisim yok	Dedektörlerden gelen veriler doğal fon radyasyonunu hesaplamak için kullanılır. Bu durumda algoritmada belirlenmiş geriye dönük bir zaman süreci kadarlık bir veri kümesiyle bu ortalama devamlı olarak hesaplanır. Doğal fon radyasyonu gelen verilere göre devamlı olarak değişir. Böylece mevsime, sıcaklığa, coğrafi konuma vb. dış etkenlere bağlı olan değişkenlere göre bir ortalama hesabı yapılmış olur. Bu şekilde çok daha hassas bir ölçüm sistemi tasarımlanmış olacaktır.
Dedektörün önüne bir cisim geldi	Bu durumda kontrol ünitesi algoritması ölçüm modunu başlatır. Ölçüm modunda dedektörden gelen veriler doğal fon radyasyonunun hesaplanmasına katılmaz ve anlık olarak gelen veriler önceden hesaplanan doğal fon radyasyonu ile kıyaslanır. Doğal fon radyasyonundan 1σ daha fazla sayım gösteren değerler olası radyoaktif madde / nükleer madde olarak değerlendirilir.
Hatalı tespitlerin azaltılması	Sistemin hatalı alarmlarının azaltılması için algoritma içinde belirlenen bir süre boyunca anlamlı bir şekilde yükselen sayım sonuçlarının takibi yapılmaktadır. Bu süreçte 1σ ’dan daha yüksek bir sayım görüldüğü durumlarda hatalı tespit yapılmaması için sayımların artan bir trend ile 1σ ’yı geçtiği kontrol edilmektedir. Eğer elektronik gürültü veya başka nedenlerle birkaç milisaniyelik geçici bir artış söz konusu ise bu sayede bu gürültü değerlendirme dışı bırakılır.

Kontrol ünitesince çalışması için hazırlanan Visual C#.NET yazılım kodları ise Ek-1, Ek-2, Ek-3 ve Ek-4’de verilmiştir.

4. BULGULAR

4.1 ÜRETİLEN DEDEKTÖRLERİN SAYIM SİSTEMİ OLARAK HAZIRLANMASI

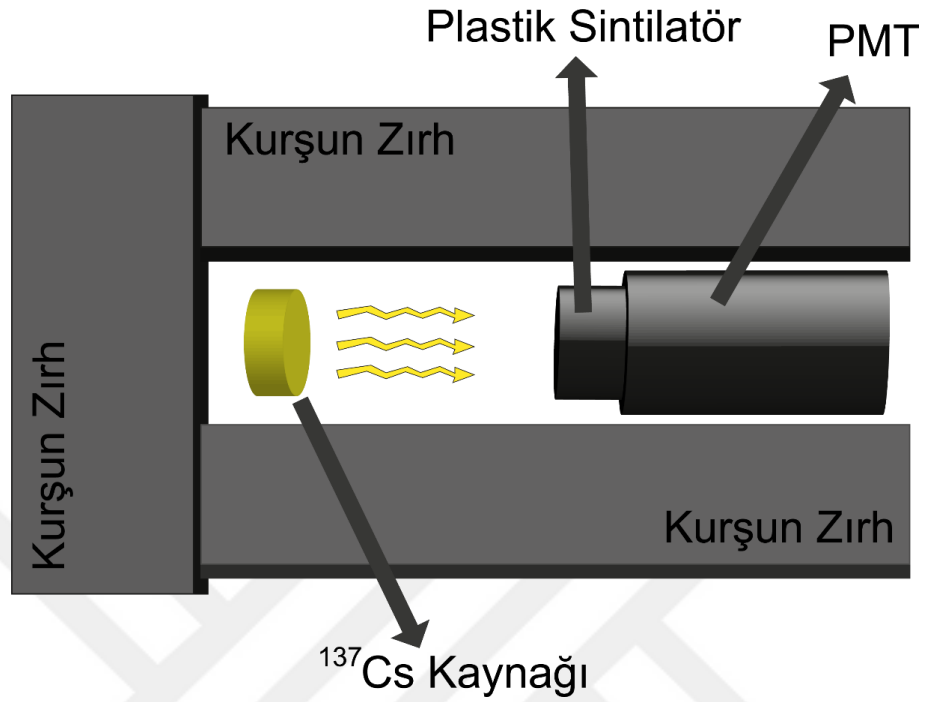
Üretilmiş olan sintilatörlerle yapılan dedektörler sayım sistemi oluşturmak üzere bir düzenek haline getirilmiştir. İlgili düzeneğin şematik görüntüsü Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1: Sayım elektroniği şematik görüntüsü.

4.1.1 Deney Düzeneği

Üretilen sintilatörlerin standart ürünlerle karşılaştırılmaları için Şekil 4.2’de şematiği verilen deney düzeneği oluşturulmuştur.



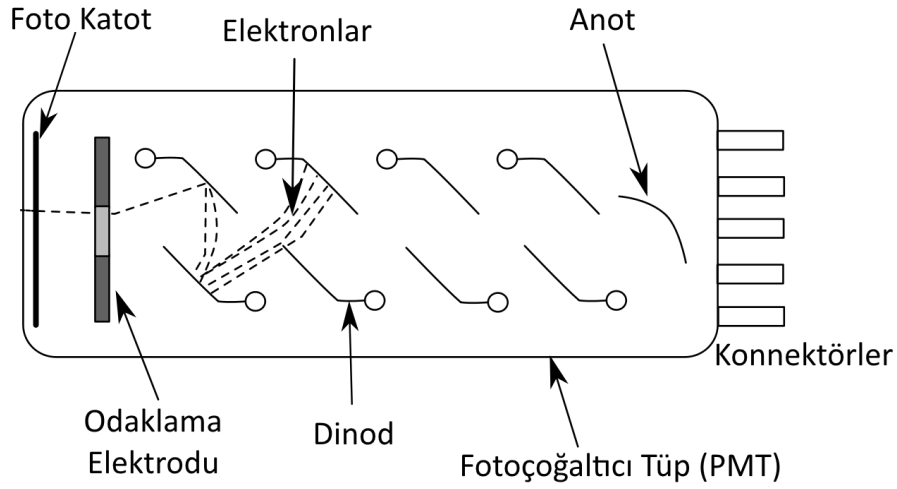
Şekil 4.2: Deney düzeneği.

4.1.2 Deney Düzeneği Bileşenleri

Oluşturulan deney düzeneği başlıca fotoçoğaltıcı tüp, yüksek voltaj kaynağı ve sayıcıdan oluşmaktadır.

4.1.2.1 Fotoçoğaltıcı Tüp (PMT)

Fotoçoğaltıcı tüp temel olarak fotonların elektrik sinyaline çevrilmesi için kullanılan bir araçtır. Giriş penceresinden giren foton fokatot yüzeye çarparak buradan bir elektron sökülmesini sağlamaktadır. Bu elektronlar elektrik alan nedeniyle dinodlara doğru hızlanarak sürüklenir ve dinodlara çarparak daha fazla elektronun ortaya çıkmasına neden olur. Tipik bir fotoçoğaltıcı tüpün kazancı 10^6 mertebesindedir. Yani fotokatot yüzeyde oluşan bir tane elektron çıkış konnektörlerine 10^6 elektron olarak ulaşır. Bu seviye ise oluşan analog sinyalin elektronikler ile ölçülebilmesi ve işlem görebilmesi için yeterlidir. (Photonics, 2007)



Şekil 4.3: Fotoçoğaltıcı tüp şematik çizimi.

Testlerin yapılması aşamasında fotoçoğaltıcı tüp olarak R1924A model kullanılmıştır. Bu fotoçoğaltıcının özellikleri Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1: Fotoçoğaltıcı tüp teknik özellikleri.

Parametre	Açıklama / Değer	Birim
Tipi	Head-on	
Aktif yüzey çapı	25	mm
Spektral Cevap Aralığı	300 – 600	Nm
Pik dalgaboyu	420	Nm
Fotokatot yüzey	Bialkali	
Pencere Materyali	Borasilikat cam	
Besleme voltajı	1250	V
Kazanç	2×10^6	
Rise time	1,5	ns

4.1.2.2 Yüksek Voltaj Kaynağı

Yüksek voltaj kaynağı fotoçoğaltıcı tüpte bulunan dinodların beslemesini yapmaktadır. Tüpün özelliklerine göre değişmekle beraber genel itibari ile bu kaynak 1000 ile 3000 V arasında gerilim üretmektedir. Test aşamasında yüksek voltaj kaynağı olarak C9773 modeli kullanılmıştır. Bu kaynağın özellikleri Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2: Yüksek voltaj kaynağı teknik özellikleri.

Parametre	Açıklama / Değer	Birim
Giriş voltajı	+15	V
Giriş akımı	50	mA
Çıkış akımı	90	μ A
Çıkış gerilimi	0 – 1250	V
Dalgalanma Gürültüsü	1	mV

4.1.2.3 Sayaç

Deney düzeneğinde fotoçoğaltıcıdan çıkan analog sinyaller bir Ortec 871 sayım modülü ile sayılmıştır. Sayım modülünün fotoğrafı Şekil 4.4’de, teknik özellikleri ise Tablo 4.3’de verilmiştir.

**Şekil 4.4:** Sayım modülü.**Tablo 4.3:** Sayım modülü teknik özellikleri.

Parametre	Açıklama / Değer
Sayım hızı	25 MHz
Puls rezolüsyonu	40 ns
Sayım kapasitesi	8 karakter
Giriş limitleri	1,5 – 25 V
Giriş tipi	BNC
Fiziksel boyutlar	Çift NIM modül

4.2 RADYOAKTİF KAYNAKLARA KARŞI SİNTİLATÖRÜN TEPKİSİ VE BUNUN STANDART ÜRÜNLERLE KARŞILAŞTIRILMASI

Üretilen plastik sintilatörler sektörde standartları oluşturan EJ-200 ve BC-412 model numaralı plastik sintilatörler ile çapraz test edilmiştir. Hem üretilen sintilatör hem de hazır alınmış olan EJ-200 ve BC-412 sintilatörler parlatılmış ve aynı geometrilere getirilmiştir. Kullanılan EJ-200 ve BC-412 sintilatörlerinin teknik özellikleri Tablo 4.4’de verilmiştir.

Tablo 4.4: EJ-200 ve BC-412 teknik özellikleri.

Özellik	EJ-200	BC-412
Işık çıkış yüzdesi	%68	%60
Rise Süresi, ns	0,7	1,0
FWHM	2,2	4,2
Maksimum Emisyon, nm	408	434
Işık yolu, cm	160	400
Plastik bazı	Poliviniltoluen	Poliviniltoluen
Yoğunluk	1,023	1,023
Refraktif index	1,58	1,58

Tablo 4.5: Sayım sonuçları.

	Sintilatör-1	Sintilatör-2	EJ-200	BC-412
Sayım 1, cps	207	197	219	223
Sayım 2, cps	204	209	208	221
Sayım 3, cps	198	205	211	215
Sayım 4, cps	203	205	208	217
Sayım 5, cps	210	213	220	222
Sayım 6, cps	201	216	217	218
Sayım 7, cps	197	210	205	227
Sayım 8, cps	203	217	218	213
Sayım 9, cps	194	194	216	216
Sayım 10, cps	194	213	221	226
Ortalama Sayım	201,1	207,9	214,3	219,8
Standart Sapma	5,34	7,71	5,77	4,73

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışması kapsamında farklı uygulamalara temel olmak üzere radyasyonu tespit ve takip eden bir prototip geliştirmesi yapılmıştır. Edinilen bilgi birikimi ile İstanbul Üniversitesi kapsamında Teknokente geliştirilen projeye prototip üzerinde geliştirmeler yapılarak son kullanıcı ürünü haline getirilmiş ve ülkenin önemli sanayi kuruluşlarına kurulumlar yapılmıştır.

Üretilen plastik sintilatörler ve geliştirilen elektronik daha sonrası için planlanan farklı ölçüm sistemlerinin geliştirilmesi ve müon çalışmaları başta olmak üzere birçok çalışma açısından önem arz etmektedir.

Tez kapsamında bir dedektörün ana malzemesi olan radyasyon algılayan kısım (algaç) üretilmiş ve üretim sürecinde farklı teknikler denenerek hem bu teknikler konusunda uygulama bilgisi elde edilmiş hem de tekniklerin üstünlükleri, kolaylık ve zorlukları tecrübe edilmiştir. Algaç kısmı için hazırlanan sintilatörün çapraz testleri sonucunda standardı belirleyen ve dünyanın önde gelen araştırma kuruluşları ve birçok sanayi kuruluşunun kullandığı ticari ürünlerle benzer sonuçlar vermesi memnuniyet vericidir. (Collaboration *et al.*, 2008)

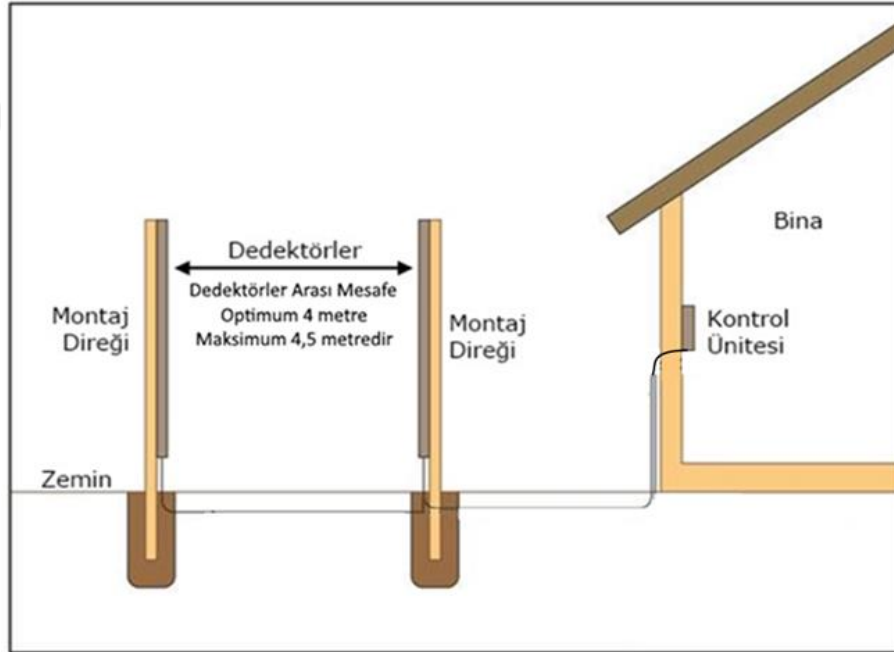
An itibari ile yerli üretim olarak plastik sintilatör üretimi bulunmamaktadır. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu bünyesinde ekstrüde metod ile üretim denemeleri olsa da bant üretimi haline gelmiş bir üretim ne yazık ki gerçekleşmemiştir. Polimerizasyon metodu ile üretime dair hiçbir yayın, makale veya ticari ürün bulunamamıştır. Bu tez sürecinde edinilen en büyük kazanım ise nasıl üretileceği bilgisinin edinilmiş olmasıdır. Bu bilgilerin özellikle yerli üretim imkânlarının artırılması noktasında önemli bir kaynak olacağı değerlendirilmektedir.

Çalışma kapsamında edinilen bilgiler ışığında daha büyük ölçülerde sintilatörler hazırlamak geleceğe bırakılan en büyük hedefdir. Bu hedefin gerçekleştirilebilmesi için ilgili ölçüleri üretebilecek makine parkının kurulması gerekmektedir.

Ek fayda olarak algoritma içerisine eklenen database üzerine dedektörlerden gelen anlık veriler kaydedilmektedir. Sahada kurulum yapılmış olan dedektör sistemlerinin oluşturduğu veri kümeleri zamana, mevsime, sıcaklıklara, hava durumuna göre doğal fon radyasyonun nasıl değiştiği verisini sağlamaktadır.

Edinilen bilgi ile Türkiye Atom Enerjisi Kurumu ve T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığının yayınlamış olduğu “Çevrenin Korunması Yönünden Kontrol Altında Tutulan Metal Hurdaların İthalat Denetimi Tebliği ile Kıyı Tesislerine İşletme İzni Verilmesine İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik” ve 29959 sayılı “Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği” çerçevesinde istenen büyük hacimli plastik sintilatör detektörlere sahip portal monitör sistemlerin tasarımları yapılmıştır. İlgili modelin tasarım parametreleri oluşturulurken hem ülkemizde bulunan mevzuat dikkate alınmış hem de konu hakkında Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA, 2002), Avrupa Birliği müktesebatı ve Amerikan standartları (ANSI, 2006) da göz önüne alınmıştır. (Alemberti *et al.*, 2014) Bu sistemlerde kullanılan plastik sintilatörler ebatları gereği yurtdışından temin edilmiş olup diğer tüm işlemler ve gereçler tez çalışması kapsamında edinilen bilgi ile yerli imkânlarla gerçekleştirilmiştir.

Bu kapsamda üretilen sistemin teknik özellikleri Tablo 5.1’de, şematik görüntüsü Şekil 5.1’de sahada kurulmuş örneklerinin fotoğrafları ise Ek 5 ve Ek 6’da verilmiştir.



Şekil 5.1 : Portal monitör sistem şematik montajı.

Tablo 5.1: Portal monitör teknik özellikleri

Özellik	Açıklama
Radyasyon dedektörü	2 adet 5000 cm ³ hacimli plastik sintilatör
Operasyon türleri	Yaya kontrolü, Araç kontrolü, Alan monitörü
Sesli alarm	Alarm durumunda sesli ikaz
Gösterge	Dokunmatik lcd ekran
Dedeksiyon hızı	1 saniyeden az
Besleme	220 V
Background düzeltme	Otomatik background çıkarma özelliği
Rapor	Kontrol ünitesi üzerinden tek tuş ile rapor alma özelliği. Rapor İçeriği: Tarih, Saat , Dedektör 1 Anlık Sayım değeri, Dedektör 2 Anlık Sayım değeri, Background Ortalaması
Hassasiyet	Dedektörler arası mesafe 2 m olarak ayarlandığında < 2 µCi Cs-137
Çalışma koşulları	-20° C / 60° C.
Yüksek Voltaj	5 - 95% bağıl nem 1250 VDC +- 1% regüleli, Slow Turn On özelliği
Araç / Malzeme geçiş kontrolü	Sisteme gömülü olan infrared sensörü ile araç / malzeme geçişini anlar ve ölçüm modunda gerekli değişiklikleri otomatik olarak yapar.

Sonuç olarak, bu tez kapsamında gerçek zamanlı radyasyon ölçüm sistemi geliştirilmesinin ardından prototip üretimi yapılması ve prototipin seri üretime geçirilmesi esnasında edinilen bilgiler ülkemizde başta savunma sanayi olmak üzere bir çok sanayi kuruluşunun ihtiyaçlarının çözümünde kullanılabilir önemli parametreler olması açısından kıymetli olduğu değerlendirilmiştir.

KAYNAKLAR

Barton, H. A., 1952, *AIP annual report 1952*, American Institute of Physics.

Akazu, A. K., 2011, Fabrication and testing system for plastic scintillator muon counters used in cosmic showers detection 1 Introduction 2 The scintillator modules', *32nd International Cosmic Ray Conference*, Beijing.

Alemberti, A. *et al.*, 2014, SCINTILLA: A European project for the development of scintillation detectors and new technologies for nuclear security, *Astroparticle, Particle, Space Physics and Detectors for Physics Applications*, 10, 659–663.

ANSI, 2006, *American National Standard for Evaluation and Performance of Radiation Detection Portal Monitors for Use in Homeland Security*, American National Standards Institute, 978-1-5044-2238-3.

Bell, P. R., 1948, The use of anthracene as a scintillation counter, *Phys Rev*, 73, 1405–1406.

Birks, J. D., 1964, *Theory and Practice of Scintillation Counting*, Pergamon Press, London.

Chang, S. H. *et al.*, 2008, Production of Extruded Fine Scintillator Strips, *Journal of the Korean Physical Society*, 53(6), 3178.

Clark, G. W., Scherb, F. and Smith, W. B., 1957, Preparation of large plastic scintillators, *Review of Scientific Instruments*, 28(6), 433–437.

Collaboration, T. Lhc. *et al.*, 2008, The LHCf detector at the CERN Large Hadron Collider, *Journal of Instrumentation*, 3(08), S08006–S08006.

Coltman JW, M. F., 1947, Some characteristics of the photo-multiplier radiation detector, *Phys Rev*, 72, 528.

IAEA, Detection of radioactive materials at borders, *IAEA TecDoc Series 1312*, 38. http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1312_web.pdf. [Ziyaret tarihi : 16 Ocak 2019]

Kallmann H., 1949, Quantitative measurements with scintillation counters, *Phys Rev*, 75, 623–626.

Kamal, A., 2014, *Nuclear Radiation Detectors BT - Particle Physics*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1–78.

Kandemir, M. and Cakir, A., 2018, Simulation and efficiency studies of optical photon transportation and detection with plastic antineutrino detector modules, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*. Elsevier Ltd, 898(April), 30–39.

Knoll, G. F., 1989, *Radiation detection and measurement*, Wiley, New York, 9780470131480.

- Korjik, M. V. *et al.*, 2015, Distribution of luminescent centers in Ce³⁺-ion doped amorphous stoichiometric glass BaO–2SiO₂ and dedicated glass ceramics', *Optical Materials*. North-Holland, 47, 129–134.
- Lee, C. H. *et al.*, 2017, Characteristics of Plastic Scintillators Fabricated by a Polymerization Reaction, *Nuclear Engineering and Technology*. Elsevier B.V, 49(3), 592–597.
- Marshall F. H., C. J., 1947, The photo-multiplier radiation detector, *Phys Rev*, 72, 528.
- Moon R. J., 1948, Inorganic crystals for the detection of high energy particles and quanta, *Phys Rev*, 73:1210.
- Nelson, G. and Reilly, D., 1909, Gamma-ray interactions with matter, *Passive Nondestructive Analysis of Nuclear Materials*, 27–42.
- Photonics. H., 2007, *Photomultiplier Tubes Basics and Applications*. 3a edn, Hamamatsu Photonics K.K., .
- Pla-Dalmau, A., Bross, A. D. and Mellott, K. L., 2001, Low-cost extruded plastic scintillator, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 466(3), 482–491.
- Pla-Dalmau, A., Bross, A. D. and Rykalin, V. V., 2003, Extruding plastic scintillator at Fermilab, 2003 *IEEE Nuclear Science Symposium. Conference Record (IEEE Cat. No.03CH37515)*, 10(April), 102–104.
- Ros, G. *et al.*, 2018, On the design of experiments based on plastic scintillators using GEANT4 simulations, *Radiation Physics and Chemistry*, Elsevier Ltd., 140–151.
- Yang, S., Shin, T. J. and Park, S., 2019, Luminescent-center tuning for Ba₆Ca₃YAlSi₆O₂₄:Ce³⁺, Na⁺ orthosilicate phosphors, *Journal of Alloys and Compounds*, Elsevier, 572–577.

EKLER

Ek 1. Bilgisayar Kodu Örneği -1

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Configuration;
using System.Linq;
using OsClassDal;

namespace IzlemeYazilimi.Common
{
    public class Sabitler
    {
        public static string AppName = "IzlemeYazilimi";
        public static string Versiyon = "3.03";
        public static string ProgramTitle = "";
        public static frmGetData frmGetData = new frmGetData();
        public static int VeriBlok1;
        public static int VeriBlok2;
        public static Queue<Objects.ObjChartItem> ChartItems = new
        Queue<Objects.ObjChartItem>();
        public static Queue<int> veriLogs = new Queue<int>();
        public static Queue<int> blokVerilerTemp = new Queue<int>();
        public static bool IsSoundMuted = false;

        public static string VeriBlokAlarmAltUstSeviye = "";

        public static bool IsInfraredActive { get; set; }
        public static int ToplamDeger
        {
            get
            {
                int toplam = 0;
                try
                {
                    toplam = VeriBlok1 + VeriBlok2;
                }
                catch (Exception)
                {
                }
            }
            return toplam;
        }
    }
    public static int AlarmSeviyesi
    {

```

```

get
{
    int ortalama = 0;
    try
    {
        ortalama
        SQLHelper.GetDataColumnValue_Int(Common.Sabitler.veriLogs.Average());
    }
    catch (Exception)
    {
    }
    return ortalama;
}
}
public static int AlarmSeviyesiHassasiyet
{
    get
    {
        decimal a = 1 + (Convert.ToDecimal(Common.Sabitler.Ayar.Hassasiyet) / 100);
        int alarmseviyesi = (int)(Convert.ToDecimal(Common.Sabitler.AlarmSeviyesi) *
(a));
        return alarmseviyesi;
    }
}
public static Objects.ObjAyar Ayar = new Objects.ObjAyar();
public static Objects.ObjVeri Veri = new Objects.ObjVeri();
public static bool AlarmVarmi;

```

```

public static bool TestModu
{
    get
    {
        return Convert.ToBoolean(ConfigurationSettings.AppSettings["TestModu"]);
    }
    set
    {
        ConfigurationSettings.AppSettings.Set("TestModu", value.ToString());
    }
}
public static bool Loglama
{
    get
    {
        return Convert.ToBoolean(ConfigurationSettings.AppSettings["Loglama"]);
    }
    set
    {

```

```

        ConfigurationSettings.AppSettings.Set("Loglama", value.ToString());
    }
}
public static bool DataLog
{
    get
    {
        return Convert.ToBoolean(ConfigurationSettings.AppSettings["DataLog"]);
    }
    set
    {
        ConfigurationSettings.AppSettings.Set("DataLog", value.ToString());
    }
}
public static void AddThermalPrinter(string value)
{
    var configSettings = ConfigurationSettings.AppSettings;
    ConfigurationManager.OpenExeConfiguration(ConfigurationUserLevel.None);
    var settings = configSettings.Settings;
    if (settings["ThermalPrinter"] == null)
    {
        settings.Add("ThermalPrinter", value);
    }
    else
    {
        settings["ThermalPrinter"].Value = value;
    }
    configSettings.Save(ConfigurationSaveMode.Full, true);
    ConfigurationManager.RefreshSection("appSettings");
}
public static bool ThermalPrinter
{
    get
    {
        bool sonuc = false;
        try
        {
            if (ConfigurationSettings.AppSettings["ThermalPrinter"] == null)
            {
                AddThermalPrinter("True");
            }
        }
        catch
        {
            sonuc = false;
        }
        return Convert.ToBoolean(ConfigurationSettings.AppSettings["ThermalPrinter"]);
    }
}

```

```

        //System.Configuration.Configuration          config          =
ConfigurationManager.OpenExeConfiguration(ConfigurationUserLevel.None);
        //config.AppSettings.Settings.Add("ThermalPrinter", "True");
        //config.Save(ConfigurationSaveMode.Modified, true);
        //ConfigurationManager.RefreshSection("appSettings");
        //ConfigurationManager.AppSettings.Set("ThermalPrinter", "True");
    }
    return sonuc;
}
}

public Sabitler()
{
}

public static string ConnectionString
{
    get
    {
        return
System.Configuration.ConfigurationManager.ConnectionStrings["conn"].ConnectionString;
    }
}

public static bool IsInfrared
{
    get
    {
        bool sonuc = false;
        try
        {
            if (ConfigurationSettings.AppSettings["IsInfrared"] == null)
            {
                AddIsInfrared("True");
            }
            sonuc = Convert.ToBoolean(ConfigurationSettings.AppSettings["IsInfrared"]);
        }
        catch
        {
        }
        return sonuc;
    }
}

public static void AddIsInfrared(string value)
{
    var          configSettings          =
ConfigurationManager.OpenExeConfiguration(ConfigurationUserLevel.None);
    var settings = configSettings.AppSettings.Settings;
    if (settings["IsInfrared"] == null)

```

```

    {
        settings.Add("IsInfrared", value);
    }
    else
    {
        settings["IsInfrared"].Value = value;
    }
    configSettings.Save(ConfigurationSaveMode.Full, true);
    ConfigurationManager.RefreshSection("IsInfrared");
}
}
}

```

Ek 2. Bilgisayar Kodu Örneği -2

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.IO.Ports;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Timers;
using IzlemeYazilimi.Objects;
using OsClassDal;
using System.Net.Http;
using System.Threading.Tasks;
using System.Net;
using System.IO;

namespace IzlemeYazilimi.Business
{
    public class DataWatcher
    {
        private Timer timer = new Timer();
        public ObjDataWatcherResult Result { get; set; }
        private string apiUrl = "";
        private string komut = "";
        private bool aktifFlg = false;
        HttpClient client = new HttpClient();
        private int cihazId = 0;
        public DataWatcher()
        {
            Result = new ObjDataWatcherResult();
        }

        public DataWatcher(string _apiUrl, string _komut, int _cihazId)
        {
            komut = _komut;

```

```

    apiUrl = _apiUrl;
    cihazId = _cihazId;
    timer.Interval = 1000;
    timer.Elapsed += new System.Timers.ElapsedEventHandler(timer_Elapsed);
    Result = new ObjDataWatcherResult();
}

void timer_Elapsed(object sender, ElapsedEventArgs e)
{
    try
    {
        aktifFlg = Common.Sabitler.Ayar.Cihaz1AktifFlg;
        if(cihazId==2)
            aktifFlg = Common.Sabitler.Ayar.Cihaz2AktifFlg;
        if (!aktifFlg)
        {
            switch (cihazId)
            {
                case 1:
                    Common.Sabitler.VeriBlok1 = 0;
                    Common.Sabitler.Veri._Veri1 = new ObjApiGet();
                    Common.Sabitler.Veri.BeslemeGerilimi1 = 0;
                    Common.Sabitler.Veri.Deger1 = 0;
                    Common.Sabitler.Veri.Deger1Min = 0;
                    Common.Sabitler.Veri.Deger1Max = 0;
                    Common.Sabitler.Veri.HV_Read1 = 0;
                    Common.Sabitler.Veri.Sicaklik1 = 0;
                    Common.Sabitler.Veri.Threshold_Read1 = 0;
                    break;
                case 2:
                    Common.Sabitler.VeriBlok2 = 0;
                    Common.Sabitler.Veri._Veri2 = new ObjApiGet();
                    Common.Sabitler.Veri.BeslemeGerilimi2 = 0;
                    Common.Sabitler.Veri.Deger2 = 0;
                    Common.Sabitler.Veri.Deger2Min = 0;
                    Common.Sabitler.Veri.Deger2Max = 0;
                    Common.Sabitler.Veri.HV_Read2 = 0;
                    Common.Sabitler.Veri.Sicaklik2 = 0;
                    Common.Sabitler.Veri.Threshold_Read2 = 0;
                    break;

                default:
                    break;
            }
            return;
        }
        string url = "";
        if (Common.Sabitler.TestModu == true)

```

```

    {
        url = apiUrl + "/data?dataType=" + cihazId;
    }
    else
        url = apiUrl + "/data?dataType=" + komut;

    string sonuc = "";
    HttpWebRequest request = (HttpWebRequest)WebRequest.Create(url);
    request.Method = "Get";
    request.ContentType = "application/json; charset=utf-8";

    HttpResponseMessage response = (HttpResponseMessage)request.GetResponse();
    using (StreamReader reader = new StreamReader(response.GetResponseStream()))
    {
        sonuc = reader.ReadToEnd();
    }
    Result.Set(sonuc, "");
    request = null;
    response = null;
}
catch (Exception ex)
{
    LogManager.WriteToLog("Err: timer_Tick: " + ex.Message);
}
}

public void Start()
{
    try
    {
        timer.Enabled = true;
        timer.Start();
    }
    catch (Exception ex)
    {
        LogManager.WriteToLog("Err: Start: " + ex.Message);
    }
}

public void Stop()
{
    try
    {
        timer.Enabled = false;
        timer.Stop();
    }
}

```

```

        catch (Exception ex)
        {
            LogManager.WriteToLog("Err: Stop: " + ex.Message);
        }
    }
}
}

```

Ek 3. Bilgisayar Kodu Örneği -3

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.IO;
using System.Text;
using IzlemeYazilimi.Objects;
using OsClassDal;
using OsClassDalProvider;
using System.Net.Http;
using System.Net.Http.Headers;
using System.Threading.Tasks;

namespace IzlemeYazilimi.Business
{
    public class AlarmManager
    {
        public static void AddOkuma(int deger)
        {
            if (Common.Sabitler.AlarmVarmi == true)
                return;
            if (Common.Sabitler.VeriBlokAlarmAltUstSeviye != "")
                return;

            if (Common.Sabitler.veriLogs.Count > 600)
                Common.Sabitler.veriLogs.Dequeue();
            Common.Sabitler.veriLogs.Enqueue(deger);
        }

        public static void SaveToFile()
        {
            StreamWriter log;
            try
            {
                if (!File.Exists("alarmverileri.txt"))
                {
                    log = new StreamWriter("alarmverileri.txt");
                }
            }
            catch { }
        }
    }
}

```



```

else
{
    log = File.AppendText("alarmverileri.txt");
}

StringBuilder sb = new StringBuilder();
foreach (int item in Common.Sabitler.veriLogs)
{
    sb.Append(item.ToString() + ";");
}
log.WriteLine(sb.ToString());
log.Close();
}
catch (Exception)
{
}
}

public static void DeleteFile()
{
    try
    {
        if (File.Exists("alarmverileri.txt"))
        {
            File.Delete("alarmverileri.txt");
        }
    }
    catch (Exception)
    {
    }
}

public static void ReadFromFile()
{
    try
    {
        string text = System.IO.File.ReadAllText(@"alarmverileri.txt");
        string[] degerler = text.Split(';');
        Business.LogManager.WriteToLog("Kayıt Adedi:" + degerler.Length.ToString());
        foreach (string item in degerler)
        {
            Common.Sabitler.veriLogs.Enqueue(SQLHelper.GetDataColumnValue_Int(item));
        }
    }
}

```

```

    }
    catch (Exception)
    {

    }
}

public static void CheckAlarm()
{

    if (Common.Sabitler.blokVerilerTemp.Count > 20)
        Common.Sabitler.blokVerilerTemp.Dequeue();
    Common.Sabitler.blokVerilerTemp.Enqueue(Common.Sabitler.ToplamDeger);

    int alarmAdedi = 0;
    int alarmseviyesi = Common.Sabitler.AlarmSeviyesiHassasiyet;
    Queue<int> blokVerilerTemps = Common.Sabitler.blokVerilerTemp;
    foreach (int item in blokVerilerTemps)
    {
        if (item > alarmseviyesi)
        {
            alarmAdedi++;
            if (alarmAdedi >= Common.Sabitler.Ayar.TetiklemeSekansi)
            {

                AlarmiTetikle();

            }
            else AlarmDurdur();
        }
        else
        {
            alarmAdedi = 0;
        }
    }
}

private static void AlarmDurdur() { Common.Sabitler.AlarmVarmi = false; }
private static void AlarmiTetikle()
{
    if (Common.Sabitler.Ayar.TetiklemeSekansi == 999)
        return;

    if (Common.Sabitler.AlarmVarmi == false)

```

```

    {
        if (Common.Sabitler.IsInfrared == true)
        {
            if (Common.Sabitler.IsInfraredActive == true)
            {
                Common.Sabitler.AlarmVarmi = true;
                Common.Sabitler.Veri.DurumFlg = 1;
                new ObjectManager(false).UpdateObject(new ObjAlarmDurum { DurumId = 1,
DurumTarihi = DateTime.Now });
                CihazAlarmDurumuSet(true);
            }
        }
        else
        {
            Common.Sabitler.AlarmVarmi = true;
            Common.Sabitler.Veri.DurumFlg = 1;
            new ObjectManager(false).UpdateObject(new ObjAlarmDurum { DurumId = 1,
DurumTarihi = DateTime.Now });
            CihazAlarmDurumuSet(true);
        }
    }
}

public static void CihazAlarmDurumuSet(bool AlarmVarmi)
{
    CihazAlarmDurumuSet(AlarmVarmi, 1);
    CihazAlarmDurumuSet(AlarmVarmi, 2);
}

private static async void CihazAlarmDurumuSet(bool AlarmVarmi, int CihazId)
{
    try
    {
        string url = "";
        if (CihazId == 1)
            url = Common.Sabitler.Ayar.Cihaz1ApiUrl;
        else url = Common.Sabitler.Ayar.Cihaz2ApiUrl;

        string alarmDurumu = "0";
        if (AlarmVarmi == true)
            alarmDurumu = "1";

        using (var client = new HttpClient())
        {
            client.BaseAddress = new Uri(url);
            client.DefaultRequestHeaders.Accept.Clear();
            client.DefaultRequestHeaders.Accept.Add(new
MediaTypeWithQualityHeaderValue("application/json"));

```

```

        var s = "{\"dataKey\": \"Alarm\", \"value\": \"" + alarmDurumu + "\"}";

        StringContent content = new StringContent(s, Encoding.UTF8,
"application/json");

        HttpResponseMessage response = await client.PostAsync("config", content);
    }

    }
    catch (Exception ex)
    {
    }
    }
}
}
}
}
}

```

Ek 4. Bilgisayar Kodu Örneği -4

```

using IzlemeYazilimi.Objects;
using Newtonsoft.Json;
using OsClassDal;
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;

namespace IzlemeYazilimi.Common
{
    public class ApiTempVeri
    {
        public string Data { get; set; }
        public string Status { get; set; }
    }

    public class ApiManager
    {
        public static ObjApiGet ParseApiString(string veri)
        {
            ObjApiGet obj = new ObjApiGet();
            //sample Data = "2018-11-20 13:53:45 100 98 750 749 27.6 5.17 0 0 1479\n";

```

```

//template
....Saat...Threshold_Set..Threshold_Read...HV_Set...HV_read...Sıcaklık...Besleme
Gerilimi...INFRARED - ON / OFF...ALARM - ON / OFF...SAYIM
    ApiTempVeri objTemp = JsonConvert.DeserializeObject<ApiTempVeri>(veri);
    string[] _veri =objTemp.Data.Replace("\n", "").Split(' ');
    try
    {
        string tarihSaat = _veri[0].Substring(8, 2) + "." + _veri[0].Substring(5, 2) + "." +
        _veri[0].Substring(0, 4) + " " + _veri[1];
        obj.TarihSaat = Convert.ToDateTime(tarihSaat);
        obj.Threshold_Set = Convert.ToInt32(_veri[2]);
        obj.Threshold_Read = Convert.ToInt32(_veri[3]);
        obj.HV_Set = Convert.ToInt32(_veri[4]);
        obj.HV_Read = Convert.ToInt32(_veri[5]);
        obj.Sicaklik = Convert.ToDecimal(_veri[6].Replace('.', ','));
        obj.BeslemeGerilimi = Convert.ToDecimal(_veri[7].Replace('.', ','));

        obj.Infrared = true;
        if (_veri[8] == "0")
            obj.Infrared = false;

        obj.Alarm = true;
        if (_veri[9] == "0")
            obj.Alarm = false;

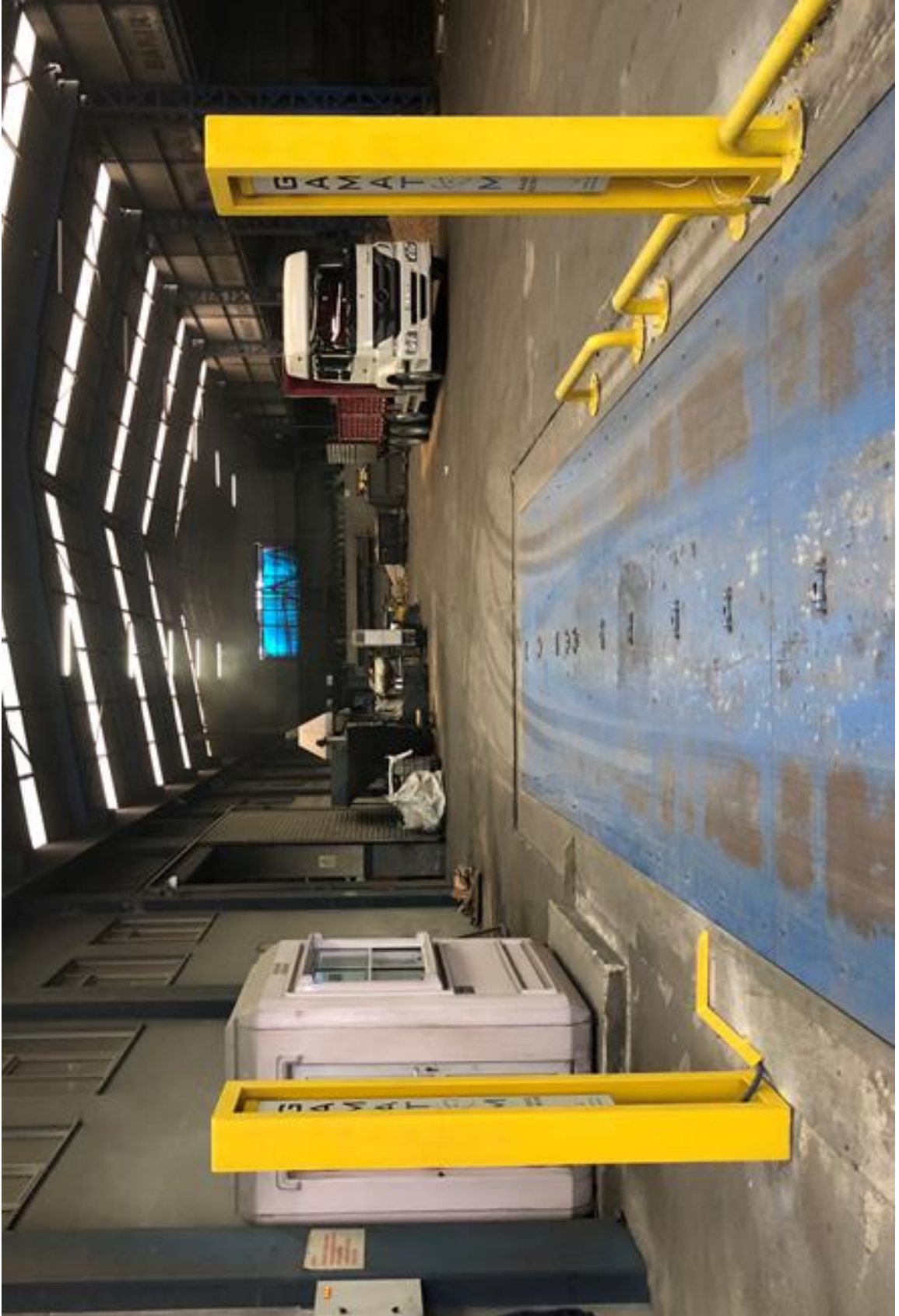
        obj.Sayim = SQLHelper.GetDataColumnValue_Int(_veri[10]);

    }
    catch (Exception ex)
    {
        obj.IsValid = false;
        obj.ErrorText += " (" + ex.Message + ")";
    }

    return obj;
}
}
}

```

Ek 5. Portal sistemi saha kurulum fotoğrafı



Ek 6. Dedektör ünitesi saha kurulum fotoğrafı



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Özgür AYTAN
Doğum Yeri	Ardahan
Doğum Tarihi	25.07.1977
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	0 212 455 57 00 / 15432
E-Posta Adresi	ozgur@aytan.net
Web Adresi	www.aytan.net



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Ege
Fakülte	Fen
Bölümü	Fizik
Mezuniyet Yılı	02.08.2002

Yüksek Lisans	
Üniversite	Muğla
Enstitü Adı	Fen Bilimleri
Anabilim Dalı	Fizik
Programı	Fizik

Doktora	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Fizik Anabilim Dalı
Programı	Nükleer Fizik Programı

Makale ve Bildiriler	
Aytan, Ö., and Büke, T., 2011, Sipping tests for the irradiated fuel elements of the TR-2 research reactor, <i>Kerntechnik</i> . Hanser Verlag, 76(2), 121–125.	