

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

FİZİK ANABİLİM DALI

**HİDEX 300SL VE HİDEX TRIATHLER DETEKTÖRLERİNİN PULS AYRIM
KAPASİTELERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatih ÖZKALAYCI

HAZİRAN 2011

TRABZON

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

FİZİK ANABİLİM DALI

**HİDEX 300SL VE HİDEX TRIATHLER DETEKTÖRLERİNİN PULS AYRIM
KAPASİTELERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

Fatih ÖZKALAYCI

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"YÜKSEK LİSANS (FİZİK)"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20.05.2011
Tezin Savunma Tarihi : 13.06.2011**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Uğur ÇEVİK

Trabzon 2011

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalında

Fatih ÖZKALAYCI tarafından hazırlanan

**HİDEX 300SL VE HİDEX TRIATHLER DETEKTÖRLERİNİN PULS AYRIM
KAPASİTELERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 24 / 05 / 2011 gün ve 1406 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından 13 / 06 / 2011 tarihinde yapılan sınavda**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

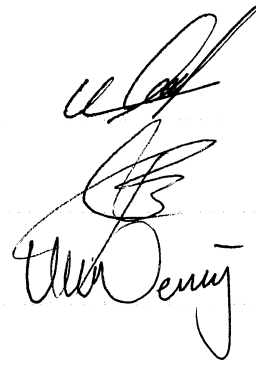
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Uğur ÇEVİK

Üye : Doç. Dr. Celal DURAN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Muhammed DENİZ



Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Ultima Gold F kokteylinin sarı gıda boyası renk kuenç maddesi ve nitrometan kimyasal kuenç maddesi üzerindeki Hidex Triathler ve Hidex 300SL detektörlerinin puls ayırım kapasitesinin belirlendiği ve karşılaştırıldığı bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak gerçekleştirildi.

Deneysel çalışmalar, Clemson Üniversitesi Çevre Mühendisliği ve Yer Bilimleri Bölümü laboratuvarlarında gerçekleştirildi.

Yüksek Lisans tezimde ve çalışmalarımnda deneysel ve teorik bilgi yönünden yararlandığım, Yüksek Lisans öğrenciliğimin her aşamasında bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren değerli hocam Sayın Prof. Dr. Uğur ÇEVİK ve Sayın Prof. Dr. Timothy A. DeVol'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca yurtdışında benden desteklerini esirgemeyen Çevre Mühendisliği ve Yer Bilimleri Bölümü akademik kadrosu, çalışanları ve öğrencileri başta olmak üzere Amerika Birleşik Devleti'ndeki arkadaşlarıma, Bingöl Üniversitesi akademik ve idari kadrosuna teşekkürlerimi sunarım.

Bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi olan, maddi ve manevi desteklerini esirgememiş başta rahmetli babam Yusuf ÖZKALAYCI olmak üzere aileme en içten saygı ve şükranlarımı sunarım.

Fatih ÖZKALAYCI

Trabzon 2011

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Hidex 300SL ve Hidex Triathler Detektörlerinin Puls Ayrım Kapasitelerinin Karşılaştırılması” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Uğur ÇEVİK’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.20/05/2011

Fatih ÖZKALAYCI

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VII
SUMMARY.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Background (Temel Sayım).....	1
1.3. Background Kaynakları.....	2
1.4. Background Azaltılması.....	3
1.4.1. Pasif Background Azaltılması.....	3
1.4.1.1. Yer Altı Laboratuvarlar.....	4
1.4.1.2. Zırhlama.....	4
1.4.2. Background Azaltılmasının Aktif Yöntemleri.....	5
1.4.2.1. Tahliye (Havasını Alma).....	5
1.4.2.2. Sıcaklık Kontrolü.....	5
1.4.2.3. Statik.....	6
1.4.2.4. Detektör Yapı Malzemesinin Seçimi.....	7
1.5. Sintilasyon.....	8
1.6. Sıvı Sintilasyon.....	9
1.6.1. Sıvı Sintilasyon Kokteyl Bileşenleri.....	10
1.6.1.1. Çözücüler.....	10
1.6.1.2. Birincil Çözünen.....	12
1.6.1.3. İkincil Çözünen.....	12
1.5. Verim.....	12
1.8. Verimi Etkileyen Faktörler.....	13
1.8.1. Sıvı Sintilasyon Kokteylinin Türü.....	13
1.8.2. Kokteyl Hacmi (Numune: Kokteyl Hacim Oranı).....	14

1.8.3.	Numune Türü	15
1.8.4.	Ölçüm Kabı Boyutu ve Türü.....	15
1.8.5.	Ölçüm Süresi.....	17
1.8.6.	Foto Çoğaltıcı Tüp	18
1.8.7.	Kuence Seviyesi.....	18
1.8.7.1.	Sıvı Sintilasyonda Kuence	18
1.8.7.2.	Kimyasal Kuence.....	19
1.8.7.3.	Renk Kuence.....	20
1.8.7.4.	Öz Soğurma.....	20
1.9.	Sıvı Sintilasyon Ölçümlerinde Kuence Düzeltme Yöntemleri.....	24
1.9.1.	Dahili Standart Kaynak Metodu	24
1.9.2.	Numune Spektrum Kaynak Metodu	25
1.9.3.	Harici Standart Kaynak Metodu	26
1.9.4.	Doğrudan DPM Metodu.....	28
1.10.	Puls Şekil Ayrımı	28
1.10.1.	Alfa/Beta Ayrımı.....	28
1.10.2.	Taşma ve Çalışma Taşması.....	32
1.10.3.	Puls Şekli Ayrım Elektronikleri.....	35
1.10.4.	Başarım Katsayısı	36
1.11.	Çakışma Deteksiyonu	38
1.12.	Üçlünün İkiliye Çakışma Oranı (TDCR).....	39
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	41
2.1.	Hidex 300SL ve Hidex Triathler Detektörlerinin Özellikleri, Avantajları, Dezavantajları	41
2.2.	Kalibrasyon	43
2.3.	Detekte Edilebilen En Düşük Aktivite (MDA).....	43
2.3.	Alfa/Beta Puls Ayrımı.....	43
3.	BULGULAR.....	46
3.1.	Alfa ve Beta Background Sayımları	46
3.2.	Detekte Edilebilen En Düşük Aktivite (MDA).....	46
3.3.	Alfa/Beta Puls Ayrımı.....	47
4.	SONUÇLAR	50
5.	ÖNERİLER.....	53
6.	KAYNAKLAR	54

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

HİDEX 300SL VE HİDEX TRIATHLER DETEKTÖRLERİNİN PULS AYRIM
KAPASİTELERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Fatih ÖZKALAYCI

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Uğur ÇEVİK
2011, 55 Sayfa

Kokteyl olarak Ultima Gold F, kimyasal kuenç olarak nitrometan (CH_3NO_2) ve renk kuenç maddesi olarak da sarı gıda boyası kullanılan bu çalışmada, Hidex 300SL ve Hidex Triathler detektörlerinin ^{222}Rn miktarının belirlenmesinde puls ayırım kapasiteleri karşılaştırılmıştır. Başarım katsayısı ve % taşma değerlerinin eklenen kuenç miktarına, cinsine ve kullanılan detektöre göre farklılık gösterdiği saptanmıştır. Ayrıca ilave edilen kuenç miktarına göre puls ayırımının 300SL detektöründe Triathler detektörüne göre daha hassas sonuçlar verdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Radon, Puls Şekil Ayrımı, Sıvı Sintilasyon Sayımı, Kuenç, Taşma, Ultima Gold F

Master Thesis

SUMMARY

COMPARISON OF PULS SHAPE DISCRIMINATION CAPABILITIES OF HIDEX
300SL AND HIDEX TRIATHLER

Fatih ÖZKALAYCI

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Physics Graduate Program

Supervisor: Prof. Uğur ÇEVİK
2011, 55 Pages

In this study that used Ultima Gold F as a cocktail, nitrometan (CH_3NO_2) as a chemical quench and yellow dye as a colour quench, puls shape capabilities of Hidex 300SL and Hidex Triathler detectors were compared for the quantification of ^{222}Rn . Figure of merit and % spillover values were seen to differ with added quench level, quench type and the detector used. Moreover, with added quench volume, puls discrimination capability of 300SL was seen to show better results compared with Triathler.

Key Words: Radon, Pulse Shape Discrimination, Liquid Scintillation Counting, Quench, Spillover, Ultima Gold F

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.	Sintilasyonun ve foto çoğaltıcı tüpteki artmaların basitçe resmedilmesi 9
Şekil 2.	Sıvı sintilasyon kokteylinde enerji iletim şeması 12
Şekil 3.	⁴⁰ K numune hacminin bir fonksiyonu olarak gross beta aktivitesi için elde edilebilecek en düşük aktivite (MDA)'nin numune hacmine göre değişim grafiği (toplam hacim 20 mL'de sabit tutulmuştur)..... 14
Şekil 4.	Bir foto çoğaltıcı tüpün yüzey hassasiyeti 18
Şekil 5.	Kimyasal kuenç etkisinin gösterimi..... 19
Şekil 6.	Renk kuenç etkisinin gösterimi 20
Şekil 7.	Öz soğurma etkisinin gösterimi 21
Şekil 8.	Kuenç türleri ve gerçekleştiği adımlar..... 21
Şekil 9.	Eşit aktivite ve değişik hacimlerde 0.5 M nitrik asit barındıran 7 ³ H numunesinin puls yükseklik spektrumları 22
Şekil 10.	Eşit aktivite ve değişik hacimlerde 0.5 M nitrik asit barındıran 11 ²⁴¹ Am numunesinin puls yükseklik spektrumları 22
Şekil 11.	³ H, ¹⁴ C ve ³² P için kuenç düzeltme eğrileri 27
Şekil 12.	²²² Rn ölçümünde alfa ve beta pulslarının tek kanallı analizörde üst üste gelmesinin gösterimi..... 29
Şekil 13.	³⁶ Cl foto çoğaltıcı tüp anodundaki puls şekli..... 30
Şekil 14.	²⁴¹ Am foto çoğaltıcı tüp anodundaki puls şekli 31
Şekil 15.	Sıvı sintilatördeki alfa ve beta pulsunun bozunumu..... 31
Şekil 16.	Bir sıvı sintilasyon detektöründe alfa ve beta pulslarının ayırım netliğinin gösterimi..... 33
Şekil 17.	Bir sıvı sintilasyon detektöründe alfa ve beta pulslarının ayırımının net olmadığının gösterimi..... 33
Şekil 18.	Ultima Gold AB kokteylindeki ²³⁹ Pu ve ⁹⁰ Sr için % taşma ve çalışma puls şekil ayırmacısının grafiksel gösterimi 34
Şekil 19.	²³³ U ve ⁴⁵ Ca için (a) CaF ₂ :Eu (b) cam sintilatör (GS-20) ve (c) BaF ₂ akış hücresinde puls şekil dağılımı ve başarımlar katsayısı değerleri 37
Şekil 20.	Çakışma devre sürecinin şematik gösterimi 39
Şekil 21.	Üç foto çoğaltıcı tüpe sahip sıvı sintilasyon sayıcısının diagramı..... 40
Şekil 22.	Hidex Triathler detektörü, haznesi ve iki çeşit numune kabı tutacağı..... 41
Şekil 23.	Hidex 300SL detektörü, numune tepsisi ve numuneler..... 42
Şekil 24.	Alfa/Beta puls ayırımının detektörlerde 2D grafiğindeki şekil ile gösterimi 44

Şekil 25.	Net gerçekleştirilememiş alfa/beta puls ayrımının detektörün 2D grafiğindeki görünümü	45
Şekil 26.	MDA'in çakışma zamanına göre değişimi	47
Şekil 27.	300SL ve Triathler detektörlerinde başarımların katsayısı değerlerinin kimyasal kuenç (nitrometan) miktarına göre değişimi	48
Şekil 28.	300SL ve Triathler detektörlerinde başarımların katsayısı değerlerinin renk kuenç (sarı gıda boyası) miktarına göre değişimi.....	48
Şekil 29.	300SL ve Triathler detektörlerinde % taşma değerlerinin kimyasal kuenç (nitrometan) miktarına göre değişimi	49
Şekil 30.	300SL ve Triathler detektörlerinde % taşma değerlerinin renk kuenç (sarı gıda boyası) miktarına göre değişimi	49

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Yaygın yapı malzemelerindeki doğal kaynaklar ve aktiviteleri	7
Tablo 2. Sintilasyon çözücülerinin güvenlik karakteristikleri	11
Tablo 3. Yaygın olan kokteyller ve etkin oldukları radyonüklidler.....	13
Tablo 4. Ultima Gold LLT sintilasyon kokteylindeki trityumlu su numunesinin ölçüm kabı ve türü açısından kıyaslanması	16
Tablo 5. Eşit miktarlarda aktivite ve değişik miktarlarda 0.5 M nitrik asit barındıran $7 \text{ }^3\text{H}$ numunesinin sayım oranı ve % veriminin kuenç miktarına göre değişimi	23
Tablo 6. Eşit miktarlarda aktivite ve değişik miktarlarda 0.5 M nitrik asit barındıran $11 \text{ }^{241}\text{Am}$ numunesinin sayım oranı ve % veriminin kuenç miktarına göre değişimi	23
Tablo 7. Detektörler için α -background ve β - background sayım oranları.....	46
Tablo 8. Detektörler için $\text{MDA}(\alpha)$ ve $\text{MDA}(\beta)$ değerleri.....	46

SEMBOLLER DİZİNİ

^{14}C	: Karbon-14
^{222}Rn	: Radon-222
^{32}P	: Fosfor-32
^3H	: Tritiyum
^{40}K	: Potasyum-40
A_0	: Alfa MCA'sında gözlemlenen sayım oranı
A_T	: Alfa parçalanmalarından kaynaklanan gerçek sayım oranı
B	: Background sayım oranı
BGO	: Bizmut Germanat
B_0	: Beta MCA'sında gözlemlenen sayım oranı
B_T	: Beta parçalanmalarından kaynaklanan gerçek sayım oranı
$CICM$: Geleneksel integral sayma yöntemi
CPM	: Numune sayım oranı
CPM_{bkg}	: Background sayım oranı
CPM_{net}	: Net sayım oranı
CPM_s	: Numunenin sayım oranı
C_s	: Dahili standart eklenmeden önceki numune sayım oranı
C_{s+i}	: Dahili standart eklenmesinden sonraki numune sayım oranı
DIN	: Diizoprofilnaftalin
DOT	: Dijital üst üste gelme tekniği
DPM	: Numunenin bozunma oranı
DPM_s	: Numunedeki parçalanma sayısı
D_s	: Dahili standart'ın parçalanma oranı
E	: % Verim
ET	: ^{14}C ile verim izleme
FOM	: Başarım katsayısı
$H\#$: Horrock numarası
$IC\#$: İzotop merkez sayısı
LAB	: Dodesilbenzen
LSA	: Sıvı sintilasyon analizi (analizörü)

LSC	: Sıvı sintilasyon sayımı (sayıcısı)
MDA	: Elde edilebilecek en düşük aktivite
MICM	: Modifiye edilmiş integral sayma yöntemi
PAC	: Puls genlik kıyaslaması
PDA	: Puls bozunum analizi
PDD	: Puls bozunum ayırıcısı
PSA	: Puls şekil analizi
PSD	: Puls şekil ayırıcısı
PXE	: Fenilksiletan
QIP	: Kuenç belirten parametre
SCR	: Numune kanal oranı
SIS	: Numunenin spektral indeksi
SQP(E)	: Harici standart'ın spektral kuenç parametresi
SQP(I)	: Spektral bitiş enerjisi
S_{αβ}	: Alfa bölgesindeki beta taşması
S_{βα}	: Beta bölgesindeki alfa taşması
TR-LSC	: Zaman çözömlü sıvı sintilasyon sayımı
TR-PDA	: Zaman çözömlü puls bozunma analizi
tSIE	: Harici kayağın dönüştürölmüş spektral indeksi
X_α	: Beta diye yanlış sınıflandırılan alfalar
X_β	: Alfa diye yanlış sınıflandırılan betalar

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Su kalitesinin belirlenmesi, çevre çalışmalarında en önemli konulardan bir tanesi olmuştur. Sebebi, insanların suya olan ihtiyacı ve doğada suyun kirletici maddeleri taşımadaki kabiliyeti şeklinde ifade edilebilir. Birçok şey insanoğlu için önemlidir fakat konu radon olunca daha bir dikkatli olunmalıdır. Çünkü toprağın yapısında bulunan ^{238}U serisinin bozunumundan açığa çıkan, renksiz, kokusuz ve tatsız bir radyoaktif element olan radon vücuda solunum ya da sindirim gibi yollara alınmasından sonra gerçekleşecek olan radyoaktif bozunmalarda açığa çıkan enerji kanser riskini daha da arttıracaktır.

Radon yeraltındaki çatlaklardan, yarıklardan yeraltı sularına, kuyu sularına sızarak insan yaşamını tehdit etmektedir.

Radon seviyesinin belirlenmesi için birçok yöntem mevcuttur. 1950'li yıllarda sıvı sintilasyon sayım yönteminin geliştirilmesiyle de sıvıdaki radyoaktivite seviyesinin belirlenmesi sıvı sintilasyon detektörleri sayesinde mümkün olmuştur.

Radon radyoaktif bir element olduğundan radyoaktivite ile ilgili bazı temel terimlerin ifade edilmesinde yarar vardır.

1.2. Background (Temel Sayım)

Background radyasyonu, doğada sürekli olarak bulunan birçok doğal ya da yapay kaynaklardan meydana gelen radyasyon olarak tanımlanabilir. Başka bir ifadeyle, dünyanın atmosferini sürekli olarak bombardıman eden kozmik radyasyondan ve çevredeki doğal radyoaktivitenin varlığından dolayı bütün radyasyon detektörleri bir miktar background sinyal kaydederler. Bu backgroundun doğası geniş ölçüde detektör tipine, boyutuna ve detektörün etrafına yerleştirilmiş zırhlamanın ölçüsüne bağlı olarak değişir. Background sayım oranı geniş hacimli sintilatörler için saniyede binlerce sayım kadar yüksek olabileceği gibi bazı özelleştirilmiş uygulamalardaki gibi günde birkaç sayım da olabilmektedir. Nihayetinde background seviyesi detekte edilebilen minimum radyasyon seviyesini belirlediğinden, düşük aktiviteli radyasyon kaynaklarını içeren uygulamalarda

bu çok önemlidir. Ancak, radyasyon detektörlerinin çoğunluğu background seviyesini azaltmak için ve günlük rutin kullanımlar için bir dereceye kadar zırhlamayla donatılmıştır. Detektör zırhlamanın diğer bir amacı ise ölçüm alınması sürecinde diğer radyasyon kaynaklarının kullanılabileceği laboratuarlarda bir derece izolasyon sağlamaktır [1].

1.3. Background Kaynakları

Background katkıları birçok kaynaktan gelir. Kaynaklar aşağıdaki gibi 5 gruba ayrılabilir [1]:

1. Detektörün kendisini oluşturan madde ya da maddelerin doğal radyoaktivitesi
2. Yan ekipmanların ve detektör civarına yerleştirilmiş zırhlamanın doğal radyoaktivitesi
3. Dünyanın yüzeyinin aktivitesinden, laboratuvarın inşaat malzemesinden veya diğer uzak yapılardan gelen radyasyonlar
4. Detektörü çevreleyen ortamdaki (havadaki) radyoaktivite
5. Kozmik radyasyonun birincil ve ikincil bileşenleri

Eğer bu sınıflandırma sıvı sintilasyon için basitleştirilmek istenirse, kaynaklar sıvı sintilatörde ve numunede olan ve sintilatör çözeltisinin dışındaki olaylar sonucu gerçekleşen kaynaklar olarak sınıflandırılabilirler. Sıvı sintilatör kokteylinden kaynaklanan backgroundu bastırılabilen, kokteyl dışından kaynaklananlar ise bastırılmayan adı verilir [2].

Numune sayım oranından (CPM_s) numunenin bozunma oranını (DPM_s) belirlenirken, background sayım oranı (CPM_{bkg})'nın doğru bir ölçüsünün elde edilmesi önemlidir. Background sayım oranları boş bir sayım kabının ki bu kap radyonüklidin kendisinin dışında numunenin hazırlanmasında kullanılan sintilasyon flor kokteyli ile diğer bütün kimyasal bileşenlerle ölçülmesiyle belirlenir. Diğer bir ifadeyle, boş kap analiz edilecek olan radyoaktif numune seviyesindeki gibi aynı kuenç seviyesine sahip olmalıdır. Örneğin, %50'si su olan numune-flor kokteyl karışımında ölçülecek olan radyoaktif numune için, background sayım oranı 1:1 su-flor kokteyl karışımında belirlenmelidir. İdeal olarak, numunede bulunması ihtimal olan diğer kuenç etkenleri de background boş sayım kabında bulunmalıdır. Boş sayım kabı hazırlandıktan sonra background sayım oranının hassas bir şekilde belirlenebilmesi için yeterli süre ölçüm alınmalıdır.

Background sayım oranı belirlendiğinde, çoğu modern sıvı sintilasyon analizörleri background puls yükseklik spektrumunu bilgisayar hafızasında depolarlar. Denklem (1)'de de gösterildiği üzere net sayım oranı elde etmek için puls yükseklik spektrumun düzenlenmiş herhangi sayım bölgesi için background sayımları daha sonra numune sayım oranlarından çıkarılır.

$$CPM_{net} = CPM_s - CPM_{bkg} \quad (1)$$

Background sayım oranı (CPM_{bkg}) numunenin sayım oranı (CPM_s)'dan denklem (1)'e göre çıkarılması zorunludur. Daha sonrasında net sayım oranı (CPM_{net}) denklem (2)'ye göre bozunum oranını belirlemek üzere kullanılır.

$$DPM_s = \frac{CPM_{net}}{E} \quad (2)$$

Background sayımlarının büyük çoğunluğu sıvı sintilasyon puls yükseklik spektrumunun 0-2000 keV enerji bölgesinde kalibre edilmiş puls yükseklik spektrumlarındaki aletler gibi 0-5,0 keV düşük ucunda bulunur [3].

1.4. Background Azaltılması

Sıvı sintilasyon sayım performansını optimize etmek için en basit yol backgroundun azaltılmasıdır. Ancak background azaltılması zor ve hassas bir olaydır. Background azaltmada bölge optimizasyonu, kap boyutu ve kap malzemesi kontrol edilmesi gereken önemli değişkenler arasındadır. Optimum zırhlamada ölçülecek olan izotopları, arzu edilen enerji aralığını ve en düşük deteksiyon limiti dikkate alınmalıdır. Backgroundu azaltmak için kullanılan metotlar aynı zamanda sıvı sintilasyon analizinin performansını da artırır. Background azaltılması iki grupta incelenmelidir. Bunlardan biri pasif background azaltılması bir diğeri ise aktif background azaltılmasıdır [3].

1.4.1. Pasif Background Azaltılması

Pasif background azaltımı, istenmeyen gama ışınlarının detektör ve background kaynağı arasına yerleştirilmiş bir soğurucu tarafından soğurulması temeline dayanır [3].

1.4.1.1. Yer Altı Laboratuvarlar

Background azaltılmasının bu metodu çok düşük seviye ölçümleri için çok kullanışlı olabilmektedir ve yer altı sularındaki ^3H ve ^{14}C tarihleme gibi doğal radyonüklidlerin çok düşük seviyelerinin belirlenmesinde geçmişte oldukça kullanılmıştır. Bu, sıvı sintilasyon sayıcısında background sayımlarında artışa sebep olabilecek yüksek enerji radyasyonu (kozmetik, gama ve x ışınları) azaltmak için zeminden aşağı kurulması gereken özel bir sayım odasını kasıt eder. Ancak, modern puls ayırım elektronik devreleri alet backgroundunu yer altı laboratuvarlara genelde ihtiyaç duyulmayacak derecelere kadar azaltır.

1.4.1.2. Zırlama

Pasif zırlamada, zırlama materyali detektör ile background kaynak arasında yerleştirilir. d kalınlığındaki bir zırlama malzemesinden iletilen şiddet denklem (3) tarafından verilir.

$$I = I_0 e^{-0.693d/d_{1/2}} \quad (3)$$

I_0 ilk akıyı, $d_{1/2}$ zırlamanın yarı kalınlığını ifade etmektedir [3].

Aleti dışsal radyasyona karşı zırlamak backgroundu azaltır. Pasif zırlama “brute force” yaklaşımıdır ki bu backgroundu azaltmak için çok çok fazla kurşuna (1000 kg’a kadar) ihtiyaç duyar. Ekstra kurşun yapı malzemeleriyle ve aletin yapım malzemeleriyle ilişkili olan çevresel gama fotonlarından gelen backgroundu azaltır. Ek olarak, bu ekstra kurşun backgroundun zayıf kozmik müon bileşenlerini de azaltır. Kurşun kaplama ikincil x ışınlarını ve kozmik bileşenleri soğurmak için genellikle içten kadmiyum ve/veya bakır ile desteklenir. Çelik, tungsten ve beton da zırlama malzemeleridir.

1.4.2. Background Azaltılmasının Aktif Yöntemleri

1.4.2.1. Tahliye (Havasını Alma)

^{222}Rn ve onun ürünlerinin kapalı alanda ve özellikle detektörün zırhlamasının içinde biriktiği gözlenir. Havanın ^{222}Rn içermeyen N_2 ya da Ar gibi bir gaz ile tahliye edilmesi, buralarda çok miktarda birikimini azaltmaya yardımcı olur [3].

Foto çoğaltıcı tüpler üzerindeki ve/veya ölçüm kabındaki statik yükler ölçüm öncesinde elimine edilmelidir. Bazen ölçüm kaplarının detektöre yerleştirilmesi sırasında yükler oluşabilmektedir. Bunun çözümünün en basit yolu ise foto çoğaltıcı tüpte ya da kapta oluşacak olan bu yükleri yok edecek olan bir sistemin detektöre monte edilmesidir.

1.4.2.2. Sıcaklık Kontrolü

Sıcaklık, geçmiş sıvı sintilasyon sayıcıların çalıştırılmasında önemli rol oynar. Geçmiş foto çoğaltıcı tüplerin gürültü oranı bugünkülerden oldukça fazlaydı ve bu oran çalıştırılma sıcaklığına bağlıydı. Bu sebeple, bazı modern aletlerde bulunan çakışma devresi background sayım oranına katkıda bulunan bu gürültünün miktarını azaltırken, eski aletler gürültüyü azaltmak için soğutulurlardı. Sıcaklık kontrolü hem özel numune hazırlanması hem de çalıştırma şartları için gereklidir.

Sıcaklık kontrolünün asıl amacı ya da sıvı sintilasyon sayımının önceki yıllarındaki soğutma, foto çoğaltıcı tüplerden gelen background ısı gürültüsünü azaltmaktır. Foto tüp üretimindeki gelişmeler ve bialkali tüplerin kullanılmaya başlanmasıyla modern aletlerde soğutma işleminin önemi kalmamıştır. Oda sıcaklığında daha düşük gürültü oluşturan modern bialkali foto çoğaltıcı tüpler üretilmektedir. Güncel sıvı sintilasyon ölçümlerinde sıcaklık kontrolünün amacı, kontrol ve numunenin sıcaklığını sabit tutmanın yanı sıra bazen de numune kimyasının dış ortamın yüksek sıcaklıklarında optimizasyonunu sağlamaktır. Numune kimyası bazı kokteyllerde daha fazla numune barındırabilmesi için gereklidir. Bundan dolayıdır ki detektörlerde sıcaklık kontrol birimine ihtiyaç duyulur [3].

1.4.2.3. Statik

Statik elektrik iki madde arasındaki basınçtan ya da sürtünmeden dolayı oluşabilir. Statik elektriğin boşalması rastgele bir olaydır. Fakat hadise, sayım için numunelerin hazırlanmasında sintilasyon sayım kabı gibi kullanıcının temas edebileceği birçok materyalde gerçekleşir. Durgun elektrik düşük nemli ortamlarda kolayca oluşur. Durgun elektriğin ortak bir karakteristiği onun kararlılığıdır. Nispeten uzun periyotlu ölçümlerde sintilasyon sayım kaplarının yüzeylerinde birikebilir. Sintilasyon kabı sayım kabı haznesine yerleştirilirken elektrostatik boşalma gerçekleşebilir, o da içerde bir elektrik şimşek fırtınası gibi sintilasyon kabı yüzeyinde rastgele puls olayları oluşturabilir. Sıvı sintilasyon ölçümlerinde statik yükleri azaltmak ya da yok etmek için başlıca 4 yöntem vardır.

1. Elektrostatik kontrolör kullanılması
2. Ölçüm kabı seçimi
3. Antistatik temizleyiciler
4. Numune hazırlanan ortamı ve ölçüm ortamını nemlendirme

Günümüzdeki sıvı sintilasyon analizörleri bir elektrostatik kontrolör ile donatılmışlardır. Eğer bir sıvı sintilasyon analizörü elektrostatik kontrolör ile donatılmış ise numuneleri sıvı sintilasyon analizörü içindeki numune değiştiricisine yerleştirmeden önce sayım kaplarının üzerinde birikebilecek olan durgun yükleri kontrol etmek için diğer adımların yapılması gerekli değildir.

Elektrostatik kontrolör mevcut değil ise, sayım kabı yüzeylerinde durgun yük toplanmasını azaltmak için diğer adımlar itinayla uygulanmalıdır. Yukarıda sıralanmış yöntemlerin ikincisi, sayım kabı tipini daha az statik yük oluşacak şekilde belirlemektir. Çünkü plastik, cama göre daha fazla statik yük tutmaya meyillidir, cam kapların kullanımı birçok numune için statik yükleri azaltmaya yardımcı olur. Plastik kaplar kullanmanın dezavantajları pahalı olmaları ve imhalarının çok zor olmalarıdır. Plastik kapların alternatifi özel antistatik plastik kaplardır. Bu kaplar standart plastik kaplara göre kap yüzeylerinde daha az statik yük biriktirmesini sağlayan özel plastik işlemeyle üretilirler. Diğer yöntem ise kabı sıvı sintilasyon sayıcısının numune değiştiricisine yerleştirilmeden hemen önce antistatik temizleyici ya da nemli bez ile iyice temizlemektir. Bu, yüzeydeki yükleri çabucak elimine eder. Statik yükleri azaltmak için son adım olarak numunelerin

ölçüldüğü ortam gibi numunelerin hazırlandığı laboratuvar odasının nem oranının artırılmasıdır [3].

1.4.2.4. Detektör Yapı Malzemesinin Seçimi

Ön yükselticinin elektronik bileşenlerindeki gibi detektörü çevreleyen malzemelerde kullanılan materyaller arzu edilmeyen background kaynağı oluşturan uranyum izleri taşıyan Al, Be ve Sn gibi elementleri barındırabilirler.

İlginçtir ki, kozmik ışıklardan veya tabii radyasyondan gelen backgroundu azaltmak için detektör etrafına yerleştirilen zırhlama ya da detektör malzemesinin kendisinin backgroundunda katkıda bulunduğu da görülebilmektedir. Zırhlama yüzeyleri havayla taşınan parçacıkların birikmesi ya da kazara yüzey kirlenmesi önemli aktivitelerin kaynağı olabilmektedir. Bundan dolayı montaj işleminden önce düşük background zırhının iç tarafındaki yüzey herhangi bir yüzey radyoaktivitesini gidermek için kumlanır [1].

Yaygın yapı malzemelerindeki doğal kaynakların aktivitelerinin seviyelerinin birkaç tanesi Tablo 1’de gösterilmektedir.

Tablo 1. Yaygın yapı malzemelerindeki doğal kaynaklar ve aktiviteleri [4].

Materyal	Maddenin gramı başına dakikadaki bozunmalar (bozunma/dakika/g)		
	²³² Th (583 keV)	²³⁸ U	⁴⁰ K
Aluminyum (6061 Harshaw’dan)	0.42	0.04	< 0.05
Aluminyum (1100 Harshaw’dan)	0.24	< 0.017	< 0.06
Aluminyum (1100 ALCOA’dan)	0.08	< 0.026	< 0.11
Aluminyum (3003 ALCOA’dan)	0.10	< 0.026	0.56
Paslanmaz çelik (304)	< 0.006	< 0.007	< 0.06
Paslanmaz çelik (304-L)	< 0.005	< 0.005	< 0.02
Magnezyum (çubuk)	0.06	< 0.04	0.1
Magnezyum (külçe)	< 0.01	< 0.002	< 0.02
Magnezyum (4 in. Ø x 4 in. Dow’dan)	< 0.005	< 0.002	< 0.02
Magnezyum (PGT’dan)	< 0.05	< 0.03	< 0.05
Berilyum bakır alaşımı	< 0.02	< 0.06	< 0.2
Bakır (yaprak)	< 0.05	< 0.06	< 0.2
Borcam pencere	0.45	0.27	3.8
Kuartz pencere	< 0.018	< 0.018	< 0.07
Moleküler elek	4.4	3.0	9.0
Suni kauçuk	< 0.008	< 0.01	0.36
Lastik	0.12	1.0	2.0

Tablo 1'in devamı

Apiezon Q	4.5	4.5	2.7
Kablo sarma teybi-3M	< 0.04	< 0.06	< 0.1
Çimento (Portland)	0.25	1.3	4.5
Sentetik yapıştırıcı	0.006	0.01	0.19
Vernik	0.002	0.005	0.04

Sonuç olarak, deteksiyon ekipmanının kullanımı da background radyasyonunun potansiyel bir kaynağıdır. Bu kaynak pratik uygulamalarda bazen önemsiz denecek kadar düşüktür fakat bu doğada radyoaktivitenin her yerde ve daim bulunduğunu gösterir.

1.5. Sintilasyon

Basitçe sintilasyon, saydam bir materyalde iyonizasyon olayı tarafından oluşturulan ışık parıldaması olarak tanımlanır. Sintilasyon, radyasyonun soğurulmasının takibinde bir karakteristik spektrum ışığının salınması sonucundaki lüminesans sürecidir. Salınan radyasyon genellikle soğurulmuş olandan daha düşük enerjiye sahiptir. Sintilasyon birleşik ve aromatik organik moleküllerde olan yapısal bir moleküler özelliktir ve ifade edilen moleküllerdeki elektronik geçişler sonucu meydana gelir. Sintilasyon tuz, gaz ve sıvı gibi birçok inorganik materyallerde de meydana gelir.

Belirli materyallerde üretilen sintilasyon ışığının iyonlaştırıcı radyasyonunun deteksiyonu en eski tekniklerden bir tanesidir. Sintilasyon yöntemi radyasyonların belirlenmesinin geniş bir spektroskopisinde ve deteksiyonunda halen mümkün kullanışlı metotlardan bir tanesidir [1].

İdeal sintilasyon materyalleri aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır:

1. Yüklü parçacıkların kinetik enerjisini, yüksek sintilasyon verimli detekte edilebilen ışığa dönüştürebilmelidir.
2. Ortam, yüksek ışık toplanması için salınan ışığın dalga boyuna geçirgen (saydam) olmalıdır.
3. Süratli sinyal pulsları üretilebilmesi için indüklenen lüminesansın bozunma zamanı kısa olmalıdır.
4. Materyalin optik kalitesi iyi olmalı ve pratik bir detektör olarak kullanılabilmesi için mümkün olduğunca geniş boyutlarda üretilmelidir.

5. Materyalin optik kalitesi iyi olmalı ve pratik bir detektör olarak kullanılabilmesi için mümkün olduğunca geniş boyutlarda üretilmelidir.
6. Işığın kırma gücünün indeksi sintilasyon ışığının etkin çiftlenmesinin diğer ışık sensörleri ya da bir foto çoğaltıcı tüpe geçişine izin vermesi için camın kırma indeksi ($\sim 1,5$) yakın olmalıdır.

Hiçbir materyal aynı anda bütün bu kriterleri sağlamayabilir, bunun sonucu olarak belirli bir sintilatörün seçimi her zaman ödün vermek olmuştur. Sintilatörler organik sintilatörler ve inorganik sintilatörler olmak üzere kabaca ikiye ayrılabilir. En geniş ölçüde başvurulan sintilatörler inorganik alkali halojenür kristalleri, organik tabanlı sıvıları ve plastikleri içerir [1]. Organik sintilatör tipleri saf organik kristalleri, sıvı organik çözeltileri, plastik sintilatörler, ince film sintilatörleri ve yüklenmiş organik sintilatörler olmak üzere 5'e ayrılabilir. İnorganik sintilatörler genellikle alkali metal halojenürleri gibi sıkça küçük bir miktar aktivatör safsızlığıyla yüksek sıcaklık fırınlarında büyütülen kristallerdir. En yaygın kullanılanı NaI(Tl) (talyum ile katkılanmış sodyum iyodür)'dür.

1.6. Sıvı Sintilasyon

Sıvı sintilasyon sayımı (LSC) ya da sıvı sintilasyon analizi (LSA) 1950'lerin başlarından itibaren radyoaktivitenin kantitatif ölçümleri ve radyoaktivite deteksiyonu için oldukça popüler bir tekniktir [3].



Şekil 1. Sintilasyonun ve foto çoğaltıcı tüpteki artmaların basitçe resmedilmesi

Birbirinden bağımsız olarak 1950 yılında yaptıkları çalışmalarda Kallman [5] ve Reynolds ve ark. [6] belli organik kimyasalların nükleer radyasyonla bombardıman edildiklerinde flüoresans ışık yaydığını gözlemişlerdir. Organik bileşikler tarafından yayılan foton ya da flüoresans, uyarımın bir sonucu olarak bir foto çoğaltıcı tüp kullanımıyla kolayca elektron artmalarına dönüştürülebilir ve sonrasında bir elektrik pulsu olarak ölçülebilir [3].

Sıvı sintilasyon sayım tekniği, radyoaktiviteyi barındıran numunenin sintilasyon kabı adı verilen bir cam ya da plastik kap içine konulmasını ve özel bir sintilasyon kokteylinin eklenmesini kapsar. Sintilatör solüsyonu ya da kokteyl, radyasyon enerjisini daha sonra sintilasyon spektrometrelerinin foto çoğaltıcı tüpleri tarafından detekte edilecek olan fotonlara dönüştüren bir sintilatör (flor ya da çözücü) ihtiva eden bir çözücü moleküle sahiptir.

1.6.1. Sıvı Sintilasyon Kokteyl Bileşenleri

1.6.1.1. Çözücüler

Sintilatör solüsyonlarının geniş bir silsilesi modern radyokimyasal laboratuvarlarda mevcuttur. Belirli bir uygulamada mantıklı bir seçim yapmak için solüsyonun bileşenlerinin fonksiyonları bilinmelidir. Sintilatör solüsyonları bir çözücü, bir birincil çözücü (ki bu sintilatör materyalidir) barındırır ve ikincil çözücü de barındırabilir. Her bir bileşenin doğası ve fonksiyonları aşağıda belirtilmektedir.

Çözücünün ismine rağmen, çözücünün fonksiyonu radyoaktif numuneyi sadece sıvı içinde eritmek, çözmek değildir. Çözücünün fonksiyonları sintilatörü veya çözüneni solüsyon içinde tutmak ve radyoizotopun bozunma enerjisini bir sonraki çözüneneye transfer etmek için soğurmaktır.

Sıvı sintilasyon ölçümünde kullanılan geleneksel veya klasik aromatik çözücüler toluen, psödökümen (1,2,4-trimetilbenzen)'dir. Bunlar bu çözücülere eşlik eden π elektronlarının yüksek yoğunluğundan dolayı etkili olan sıvı sintilasyon çözücüleridir.

Hala popüler olmalarına rağmen zehirli olmalarından, tutuşabilmelerinden, yüksek buhar basınçlarından, koku ve plastiklere nüfuz edebilme özelliklerinden dolayı toluen, ksilen ve psödökümen'in kullanımı zamanla azalmaktadır. Bu çözücüler büyük ölçüde yerlerini daha güvenli diizoprolnaftalin (DIN), fenilksiletan (PXE) ve dodesilbenzen

(LAB) gibi yeni nesil çözücülere bırakmıştır. Bu çözücüler yüksek alev alma sıcaklığı (>145 C), düşük buhar basıncı (<1 mm Hg 20 C'de), düşük toksikliklerinden (ortalama öldürücü doz, LD₅₀ > 3000 mg/kg), daha az koku ve plastiklere nüfuz etmemeleriyle karakterize edilirler.

Tablo 2. Sintilasyon çözücülerinin güvenlik karakteristikleri

Çözücü	Kaynama sıcaklığı (°C)	Parlama sıcaklığı (°C)	Buhar basıncı (mm Hg) 25 °C'de	Sınıflandırma	Zararları
Toluen	110	4	28	Alevlenebilir	Solunma Deri soğurması Cildi ve/veya gözü tahriş
Ksilen	138	25	8	Alevlenebilir	Solunma Deri soğurması Cildi ve/veya gözü tahriş
Kümen	152	31	5	Alevlenebilir	Solunma Cildi ve/veya gözü tahriş
Psödökümen	168	50	2	Alevlenebilir	Solunma Cildi ve/veya gözü tahriş
LAB	300	149	< 1	Zararsız	-
PXE	305	149	< 1	Zararsız	-
DIN	300	140	< 1	Zararsız	-
Benzil toluen	290	135	< 1	Zararsız	-
Difeniletan	290	135	< 1	Zararsız	-

Sintilasyon çözücülerinin güvenlik karakteristikleri Tablo 2'de gösterilmektedir. Ek olarak, hem DIN hem de PXE, klasik çözücülere göre yüksek sayım verimi sergiler. Artan verimin çözücülere göre değişimi şu sırada verilebilir:

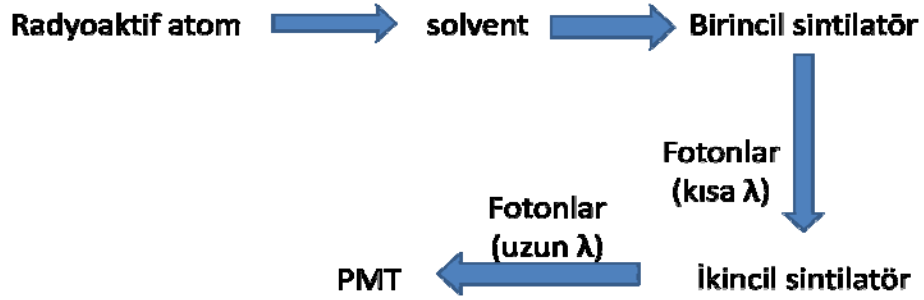
Benzene → LAB → Toluen → Ksilen → Psödökümen → PXE → DIN.

1.6.1.2. Birincil Çözünen

Bu, çözeltideki sintilatör materyaline verilen bir addır. Çözünen, ilk olarak çözücü molekülleri tarafından elektronik uyarım enerjisine dönüştürülecek olan radyoaktif bozunma enerjisi için bir tuzak vazifesi görür.

1.6.1.3. İkincil Çözünen

Numuneden yayılmış fotonlar 300-400 nm dalga boylarına sahiptir, bu da modern foto çoğaltıcı tüpler tarafından detekte edilebilmeleri için ideal bir aralıktır. Ne yazık ki, çok sayıda molekül, spektrumun bu aralığında istenmeyen foton soğurmalarına sahiptir, özellikle biyokimyanın ve medikal kimyasının bu sahasındaki moleküllerde ve bu molekülleri içiren numunelerde düşük sayım verimiyle detekte edilmektedir. Yüksek sayım verimi önemli olduğu zaman ise görevi birincil çözünenden gelecek olan uyarım enerjisini tuzaklamak olan ikincil bir çözünen kullanımıyla numunenin ya da birincil çözünenin soğurması azaltılabilir ve ikincil çözünen uzun dalga boyunda fotonlar yayar.



Şekil 2. Sıvı sintilasyon kokteylinde enerji iletim şeması

1.5. Verim

Sıvı sintilasyon sistemlerinde verim, kısaca detektör tarafından işlenen sayım oranının (CPM) sintilasyon kokteylinin içinde gerçekleşen bozunmalara (DPM) oranı olarak tanımlanır. Denklem (4)'deki gibi formüle edilir.

$$Verim (E) = \frac{Destekte\ edinilen\ sayımlar\ (CPM)}{Numunedeki\ parçalanma\ sayısı\ (DPM)} \times 100 \quad (4)$$

1.8. Verimi Etkileyen Faktörler

1.8.1. Sıvı Sintilasyon Kokteylinin Türü

Sıvı sintilasyon kokteylleri klasik veya güvenli olarak sınıflandırılırlar. Klasik kokteyllerinin hepsi toluen, ksilen ya da prödokümen'e dayanır; güvenli kokteyller ise DIN, PXE, LAB, benzil toluen ve 2-feniletan'a dayanır.

Bir kokteylin kullanılıp kullanılmayacağına, saf olması, sintilasyon verimi, maliyeti ve geniş ölçüde kullanılır olup olmaması etkenleriyle karar verilir. Ultima Gold gibi DIN tabanlı kokteyller renk ve kimyasal kuençe karşı koymasından yüksek ^3H verimi sağlarlar. DIN tabanlı diğer güvenli kokteyller Optiphase Hi-Safe, AquaSafe ve Quickszint kokteylleridir.

Aşağıda Tablo 3'de bazı kokteyller ve onların etkin radyonüklidleri kuenç malzemesiyle birlikte verilmektedir.

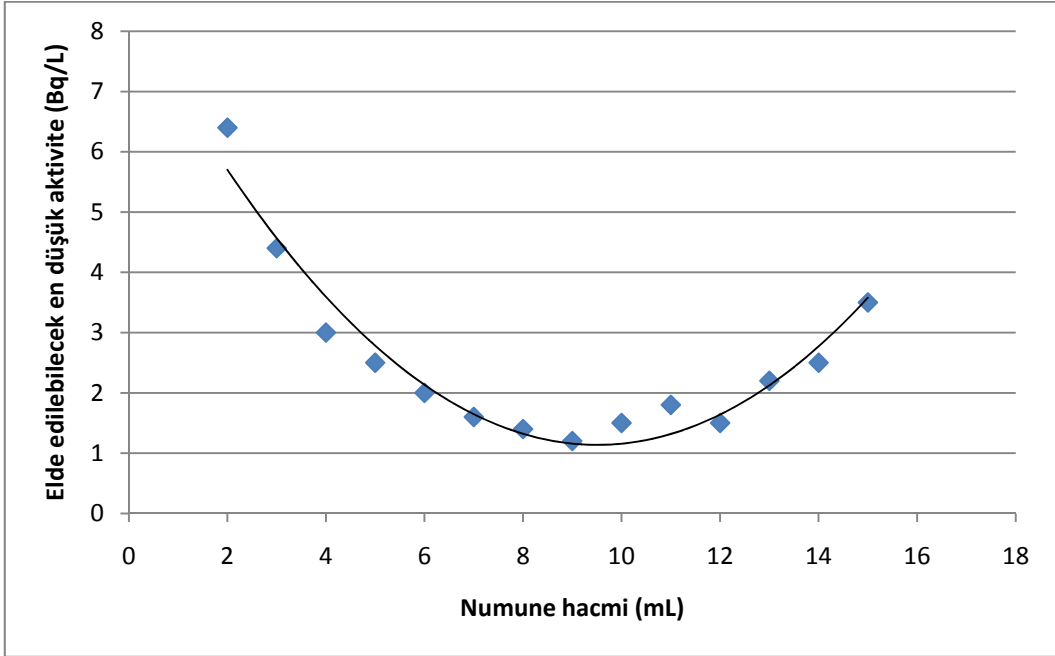
Tablo 3. Yaygın olan kokteyller ve etkin oldukları radyonüklidler

Kokteyl	Radyonüklid	Kuenç Maddesi
Ultima Gold (UG)	^{60}Co	Nitrik asit
Ultima Gold AB (UG AB)	^{63}Ni	Sarı boya
%20 UG F, %80 UG AB (F/5)	$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$	Nitrometan
%25 UG F, %75 UG AB (F/4)	^{99}Tc	Freon
%33 UG F, %67 UG AB (F/3)	^{137}Cs	İyonsuzlaştırılmış su
Ultima Gold LLT (LLT)	^{233}U	NaF
Optiphase Hisafe 2 (HS2)	^{238}Pu	NaCl
Optiphase Hisafe 3 (HS3)	^{239}Pu	KBr
Ready Safe (RS)	^{241}Am	KI

Sıvı sintilasyon flor kokteylinin doğru seçimi sayım performansını da optimize eder. Numunenin sayım süresi kısa olduğunda, oldukça fazla radyoaktif olayı tutabilecek ve minimum backgroundta sahip maksimum verim sağlayan bir kokteyl seçimi en doğru seçim olacaktır.

1.8.2. Kokteyl Hacmi (Numune: Kokteyl Hacim Oranı)

Ölçüm kabında maksimum numune barındırmak için optimum numune/sintilatör oranı önemlidir. Polietilen ölçüm kabı ve OptiPhase Hisafe 3 kokteyl kullanılarak yapılan bir çalışmada ^3H için optimum numune kokteyl oranının 1:1 olduğu verilmektedir. Elde edilebilecek en düşük aktivitenin numune hacminin bir fonksiyonu olarak Şekil 3'te 4-15 mL bölgesinde optimum numune hacminin 9 mL civarında olduğu gösterilmektedir. Bu OptiPhase Hisafe 3 sintilasyon kokteylinin saf su için yaklaşık en yüksek kapasitesidir [7]. Konsantrasyon sürecinde kuenç etkisinin artacağı ve çözülmüş minerallerin varlığından dolayı faz ayrımının azalabileceğinden, daha korunumlu olan 8 mL su: 12 mL sintilatör kullanılması uygunluğu 20 mL'lik toplam hacme sahip olan ölçüm kabıyla belirlenmiştir [8]. Elde edilebilecek en düşük aktivite (MDA), içerisinde yüksek enerji beta yayıcısı (^{40}K) bulunan su ve sintilasyon kokteyli ile farklı oranların kullanılmasıyla minimize edilmiştir [9]. Deney trityum için de gerçekleştirilmiş ve benzer sonuçlar elde edilmiştir [10, 11].



Şekil 3. ^{40}K numune hacminin bir fonksiyonu olarak gross beta aktivitesi için elde edilebilecek en düşük aktivite (MDA)'nin numune hacmine göre değişim grafiği (toplam hacim 20 mL'de sabit tutulmuştur) [8].

Sıvı sintilatörler doğal radyoaktivitede az rastlanan ayıraçlar ile hazırlanmalıdır. Tabii ki, sıvı numunelerle ilgilenirken deteksiyon limiti yüklenen kapasiteden etkilenir. Seçilmiş kokteyl ya da kokteyller en iyi performansı verecek olan numune kokteyl karışımı belirlenerek hazırlanmalıdır. Kokteyl, toplam hacim sabit kalacak şekilde değişik numune yüklemelerinde test edilmelidir. Bir background standart çifti kullanılarak her bir karışım için optimum aralık ve en düşük deteksiyon limiti belirlenmelidir. Yukarıda da belirtildiği gibi toplam hacim ve geometriye bakılmaksızın numune toplam karışım oranının 1/2 olduğunda sistemin en düşük deteksiyon limiti vereceği belirlenmiştir [3].

1.8.3. Numune Türü

Kuenç bölüm 3.2 de incelenecektir. Fakat kısaca kuenç, sintilasyon foton şiddetini ve sıvı sintilatör flor kokteyl içindeki radyonüklidin deteksiyon verimini azaltan bir etkidir. Kuenç ölçülen enerji değeri ile gerçek enerji değeri arasındaki orana denir. Yaygın kimyasal kuenç maddeleri alkol, kloroform, karbon tetraklorür, asitler, bazlar ve tuz çözeltileridir. Bu kuenç seviyesi numuneden numuneye değişebilmektedir. Böylece, değişik kuenç seviyesi verimi farklı etkilemektedir. Radyonüklidin radyasyon enerjisi ne kadar düşük ise numune verimi üzerine kuençin etkisi o kadar fazla olacaktır.

1.8.4. Ölçüm Kabı Boyutu ve Türü

Sıvı sintilasyon sayımlarında performansın optimize edilmesi doğru bir ölçüm kabı türü ve boyutunun belirlenmesiyle de başarılabilir. Tablo 4'de trityumlu su numunesinin verim, background ve başarımlar katsayısı (E^2/B)'nin hem Standart sayım bölgesindeki hem de optimize edilmiş sayım bölgesindeki değişimi verilmektedir.

Tablo 4. Ultima Gold LLT sintilasyon kokteylindeki trityumlu su numunesinin ölçüm kabı ve türü açısından kıyaslanması [3].

			Sayım bölgesi (0-18,6 keV)			Sayım bölgesi (0,5-5,0 keV)		
Ölçüm kabı hacmi (mL)	Ölçüm kabı materyali	Su (%)	Verim (%)	Background (CPM)	E ² /B	Verim (%)	Background (CPM)	E ² /B
20	Cam	0,5	30,95	16,87	56,8	28,91	8,04	103,9
20	Plastik	0,5	31,71	10,15	99,1	29,31	3,88	221,1
7	Cam	0,5	29,55	12,81	68,1	27,75	5,92	130,1
7	Plastik	0,5	30,10	7,82	115,8	28,10	2,58	306,1

Tablo 4'deki veriler sayım performansını optimize ederken dikkate alınması gerekenlerin bir delili şeklindedir. İlki, plastik ölçüm kapları cam olanlarına oranla daha az background oluşturur. İkincisi, küçük kaplarda düşük hacimli numuneler için büyük hacimli numuneler gibi aynı verim sağlarken daha az background sayımı elde edilir. Optimize edilmiş sayım bölgesi standart sayım bölgesine oranla daha iyi bir performans sağlamaktadır. Küçük kaplar için tek problem numune kapasitesinin az olmasıdır. Eğer maksimum numune kullanılması gerektiğinde ise daha büyükçe ölçüm kaplarının kullanılması gerekir [3].

Ölçüm kaplarının duvarlarındaki ya da kapağındaki radyoaktivite, background sayım oranını arttırır. Bu sebepten, düşük miktarda ⁴⁰K içeren cam ölçüm kapları arzu edilir. Fakat bazen araştırmacılar düşük seviye radyonüklidlerin ölçümünü gerçekleştirirken background o kadar önemlidir ki, plastik ölçüm kaplarının kullanımı daha mantıklı olmuştur. Ya da maliyetlerinin yüksek olmasına rağmen çok düşük background sayım oranı barındıran bazı özel cam ölçüm kapları kullanılabilir [3].

Numuneler geleneksel kokteyllerde ölçüldüğünde organik sintilatör kokteylden plastik ölçüm kabının duvarlarına nüfuz edebilir. Bu, harici standart kuenç düzeltme metodu kullanıldığında probleme sebep olabilir. Çünkü çözücünün nüfuz etmesiyle plastik kaptaki sintilasyon gerçekleştirilebilir ve "yüzey etkisi" adı verilen harici standart puls yükseklik spektrumunda bozulmaya yol açar. Sonuçta yanlış sayım verimi verecek olan doğru olmayan bir kuenç belirten parametre elde edilmiş olunur ki bu parametreden de numunenin hatalı bir bozunum sayım oranı elde edilir. Bu problemin her zaman çevreci,

güvenilir olan kokteyller kullanılmasıyla üstesinden gelinir. Diizoprofilnaftalin ve lineer alkilbenzen gibi yenice, daha çevreci, güvenilir kokteyl çözücüleri plastik kabın duvarlarına nüfuz etmeyecek ve yüzey etkisine sebep olmayacaktır. Genel bir kural olarak, geleneksel sintilasyon kokteylleriyle çalışıldığında her zaman cam kaplar kullanılmalı, çevreci, güvenilir kokteyller kullanıldığında ise plastik ya da cam kap kullanılabilir [3].

Diğer önemli bir adım ise üzerinde statik elektrik bulundurmaya meyilli olmayan ölçüm kaplarının kullanılmasıdır. Çünkü plastik, cam kaplara oranla daha fazla statik elektrik biriktirmeye meyillidir. Plastik kap kullanmanın dezavantajları pahalı ve imhalarının zor olmalarıdır. Bölüm 1.4.2.3’de de bahsedildiği gibi plastik kapların alternatifi özel antistatik plastik kaplardır. Bu kaplar standart plastik kaplara göre kap yüzeylerinde daha az statik yük biriktirmesini sağlayan özel plastik işlemeyle üretilirler [3].

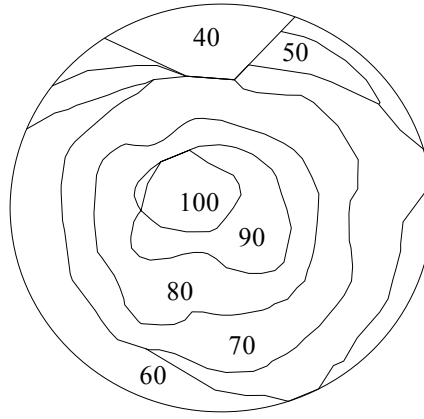
Soğutulmuş cam kaplar, numuneden gelen içerde yansıtılmış ışığın miktarını azaltarak alfa beta ayırımını arttırmaktadırlar. Plastik kaplar için optimum olanı Teflon kaplanmış plastik kaplardır. Standart plastik kaplarda kokteylin duvarlara nüfuz etmesi alfa backgroundunu arttırmaktadır. Bunun sebebi duvara nüfuz etmiş olan kokteyille etkileşen kozmik parçacıkların oluşturduğu alfa pulslarının sanki numune içinde oluşmuş gibi detektör tarafından işlenmesidir.

1.8.5. Ölçüm Süresi

Numune sayımı ve sayım oranıyla buna eşlik eden hata payı, sayım süresinin bir fonksiyonudur. Toplam sayımın standart sapması ve sayım oranının hesaplanması sayım süresine göre azalır. Numune sayım oranı eğer background değerine yakın ise sayım süresi daha da önemli olmaktadır ve numune ve background sayımlarının doğru ölçüsü makul hata limitleri çerçevesinde çıkarılır. Böylece sıvı sintilasyon performansı numune ve background sayım sürelerinin artırılmasıyla optimize edilebilir. Denklem (14)’den de görüleceği üzere, daha uzun ölçüm süresinde düşük deteksiyon limiti ya da diğer bir ifadeyle düşük elde edilebilen en düşük aktivite (MDA) sağlanır.

1.8.6. Foto oğaltıcı Tüp

Foto oğaltıcı tüp, ışık hassasiyeti bulunan yüzeyine çarpan ışık fotonlarını fotoakıma dönüştürerek ışığı ölçmek için kullanılan elektronik bir aygıttır. Foto oğaltıcı tüp tarafından oluşturulan elektrik pulsunun büyüklüğü foto çoğaltıcı tüpün ışık hassasiyeti bulunan yüzeyine çarpan ışığın şiddetinin bir fonksiyonudur [3]. Foto oğaltıcı tüpün yüzeyinde merkezden dışarı doğru gidildikçe oraya çarpan ışığı toplamadaki hassasiyeti azalır.



Şekil 4. Bir foto çoğaltıcı tüpün yüzey hassasiyeti

1.8.7. Kuen Seviyesi

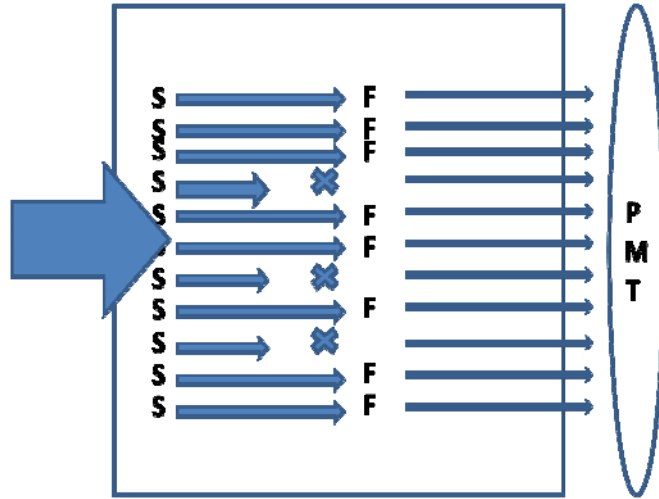
1.8.7.1. Sıvı Sintilasyonda Kuen

Sintilasyon sayımında numune ya sıvı sintilatör kokteyl içinde çözülür ya da numune kabındaki katı sintilatör üzerinde soğurulur. Dakikadaki bozunum (DPM) cinsinden nükleer olaylar aktivite cinsinden belirlenmek istenildiğinde, sıvı sintilasyon sayıcısı belirlenmiş sayım süresinde bir sayım oranı (CPM) elde etmek için ışığın parıldama sayılarını kayıt eder. Numunenin sayım oranı sıvı sintilasyon sayıcısı tarafından detekte edilen ve miktarı belirlenen nükleer olayların ne kadar verimle ışık sintilasyonlarına dönüştürüldüğüne bağlıdır. Çünkü özelti sintilasyon kokteylinde üretilen ışık fotonlarını ya da nükleer bozunum enerjisini soğurur [3]. Diğer bir ifadeyle, foto çoğaltıcı tüpe ulaşan ışıktaki azalmaya ya da numuneden salınmış olan fotonların bozunum enerjisine dönüşümünde gerçekleşen olaya denir. Üç tür kuen vardır:

- ✓ Kimyasal kuenç
- ✓ Renk kuenç
- ✓ Öz soğurma.

1.8.7.2. Kimyasal Kuenç

İlk ve en yaygın kuenç mekanizması kimyasal kuençtir. Kimyasal kuenç sintilasyon sayım sürecinde numunedeki enerjiyi bir veya birçok kimyasal madde tarafından soğurur. Böylece nükleer bozunum enerjisinin sıvı sintilasyon kokteyl çözücüsüne aktarımını belirli bir dereceye kadar engellemiş olur. Kimyasal kuenç neredeyse bütün sıvı sintilasyon numunelerinde bir derece mevcuttur [3].

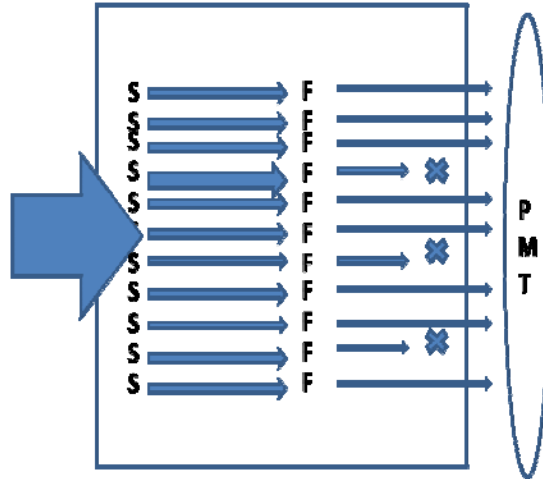


Şekil 5. Kimyasal kuenç etkisinin gösterimi

Su, alkol, asitler, bazlar, kloroform, tuz çözeltileri, karbon tetraklorür ve yağ bilinen kimyasal kuenç maddelerinden birkaçıdır [12].

1.8.7.3. Renk Kuenç

Kuençin ikinci mekanizması renk kuençidir ve ölçülecek olan numunenin içinde renk maddesi gözlemlendiğinde meydana gelir. Renk kuenç hadisesi sintilasyon kabında ışık fotonlarının foto çoğaltıcı tüp tarafından detekte edilmeden hemen önce soğrulmasıyla gerçekleşir [3].



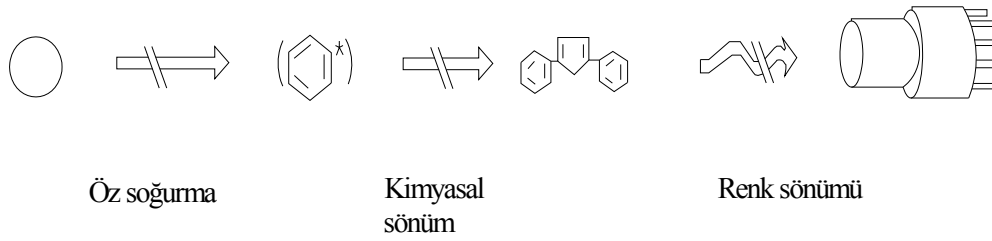
Şekil 6. Renk kuenç etkisinin gösterimi

1.8.7.4. Öz Soğurma

Numunede spektrum kaymasına ya da çıkış ışığında bir azalmaya sebep olan bir girişim veya müdahaledir. Öz soğurma kuenç sintilasyon olmayan ortamdaki tuzaklamalardan dolayı numuneden yayılan radyasyonun detekte edilememesi şeklinde gerçekleşir.



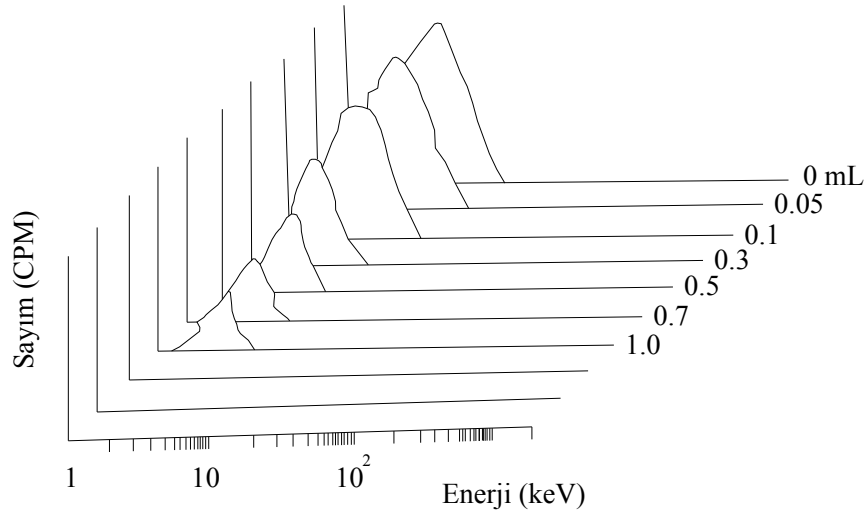
Şekil 7. Öz soğurma etkisinin gösterimi



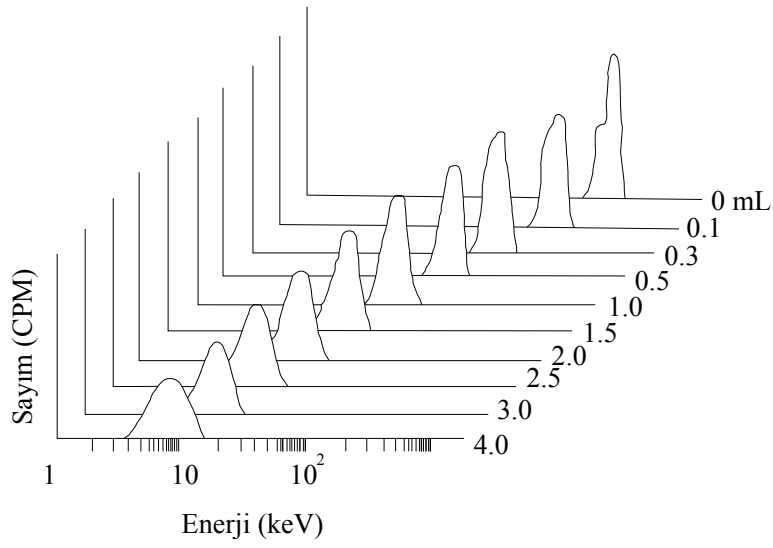
Şekil 8. Kuenç türleri ve gerçekleştiği adımlar

Kimyasal kuenç nükleer bozunum enerjisini soğurur iken, renk kuençi ışığın fotonlarını soğurur. Bu hadise sıvı sintilasyon analizörü tarafından detekte edilecek olan numunenin dakikadaki sayım sayısını azaltır [3].

Beta yayan çekirdekler için verim açısından düşük bozunum enerjisinde yüksek kuenç etkisinin gözlemlendiği söylenebilir. Alfa yayan radyonüklidler için bu hadise şekil 9 ve 10, tablo 5 ve 6'dan görüleceği üzere verimi çok fazla etkilememektedir.



Şekil 9. Eşit aktivite ve değişik hacimlerde 0.5 M nitrik asit barındıran ^7H numunesinin puls yükseklik spektrumları



Şekil 10. Eşit aktivite ve değişik hacimlerde 0.5 M nitrik asit barındıran ^{241}Am numunesinin puls yükseklik spektrumları

Tablo 5. Eşit miktarlarda aktivite ve değişik miktarlarda 0.5 M nitrik asit barındıran ^3H numunesinin sayım oranı ve % veriminin kuenç miktarına göre değişimi

HNO_3 (0.5M) (mL)	^3H (CPM)	^3H (DPM)	^3H (%E)
0.00	126.287	210.000	60.1
0.05	115.834	210.000	55.1
0.10	102.218	210.000	48.7
0.30	61.211	210.000	29.1
0.50	39.846	210.000	19.0
0.70	25.239	210.000	12.0
1.00	16.091	210.000	7.7

Tablo 6. Eşit miktarlarda aktivite ve değişik miktarlarda 0.5 M nitrik asit barındıran ^{241}Am numunesinin sayım oranı ve % veriminin kuenç miktarına göre değişimi

HNO_3 (0.5M) (mL)	^{241}Am (CPM)	^{241}Am (DPM)	^{241}Am (%E)
0.00	46.660	46.700	100
0.05	46.632	46.700	100
0.10	46.692	46.700	100
0.30	46.149	46.700	99
0.50	46.234	46.700	99
0.70	46.371	46.700	99
1.00	46.394	46.700	99
1.50	46.448	46.700	99
2.00	46.256	46.700	99
3.00	46.148	46.700	99
4.00	46.080	46.700	99

Numunenin kuenç miktarı arttırıldığında tek enerjili alfa piki basitçe düşük puls yüksekliklerine doğru kayar fakat puls yükseklik spektrum altındaki toplam alan ya da deteksiyon verimi önemli ölçüde değişmez.

Analiz edilecek olan numune içindeki kuenç maddesi ihmal edilemez ve bir çok radyonüklid için kuençin deteksiyon verimi üzerine etkisi oldukça önemlidir. Kuenç barındıran numune analiz edilirken kuenç düzeltme yöntemlerinin kullanılması numunenin doğru bir DPM aktivitesinin bulunması açısından gerekli olan bir adımdır [3].

1.9. Sıvı Sintilasyon Ölçümlerinde Kuenç Düzeltme Yöntemleri

Kuençin bazı tipleri sıvı sintilasyon tarafından analiz edilecek olan neredeyse bütün numune türlerinde mevcuttur. Bu açıdan, kuençi düzeltmek için kullanılacak olan yöntemlerin anlaşılması çok önemlidir. Bu yöntemler araştırmacılara numunenin sayım oranı (CPM)'ni gerçek nükleer bozunum oranı (DPM) ile ilişkilendirmelerine hatta dönüştürmelerine olanak sağlar. Bu aşağıdaki yöntemlerden birinin kullanılmasıyla gerçekleştirilir.

1. Dahili standart kaynak metodu
2. Numune spektrum metodu
3. Harici standart kaynak metodu
4. Doğrudan DPM metodu.

Her biri değişik numune tipleri ve/veya radyonüklidler için avantajlıdır. Düzeltme işlemi gerçekleştirilirken kuenç düzeltme eğrisi oluşturulmalıdır. Kuenç düzeltme eğrisi hazırlama işleminde, kuenç standartlarının numune ile aynı kokteyl, kap boyutu, kuenç seviyesi ve toplam hacme sahip olması gerektiği unutulmamalıdır.

1.9.1. Dahili Standart Kaynak Metodu

Bu metot en eski ve en meşakkatli olanıdır. Bu teknik bir çok seri adım içerir. İlk olarak her bir numune doğru bir sayım oranı elde etmek için ölçülmelidir. Sonrasında numuneler sıvı sintilasyon sayıcısından alınır ve numunelere aktivitesi bilinen radyoaktif standart eklenir ve böylece dahili standart bu tekniğe uygulanmış olur. Dahili kaynaklar eklendikten sonra numunelerin dahili kaynaklı aktiviteleri tekrar sintilasyon detektörü tarafından belirlenir. Numunenin aktivitesi ve numunenin dahili kaynaklı olan aktivitesi belirlendikten sonra numunenin sayım veriminin belirlenebilmesi için denklem (5) uygulanır.

$$E = \frac{C_{s+i} - C_s}{D_i} \quad (5)$$

C_{s+i} dahili standart eklenmesinden sonraki numunenin sayım oranı, C_s standart eklenmeden önceki numunenin sayım oranı ve D_i ise dahili standartın parçalanma oranıdır. Numunenin parçalanma oranı D_s ile verilir.

$$D_s = \frac{C_s}{E} \quad (6)$$

Bu yöntemde bir çok kabul ve kısıtlamalar yapılır. Dahili kaynak numune radyonüklidinin aynısı olmalıdır. Dahası, numuneye müdahil edilen dahili kaynağın sayım oranı en azından numunenin 100 katı olmalıdır. Ekleneyecek olan dahili kaynak ilk numunenin kuenç seviyesini az da olsa değiştirmemelidir. Ayrıca ekleneyecek olan dahili standartın aktivitesi (DPM) yüksek doğrulukta bilinmelidir. Bu metot ile numune aktivitesini belirlerken hassas pipetleme yöntemine başvurulur, bu da çok fazla numune ve küçük hacimli dahili kaynaklarla çalışıldığında oldukça zahmetlidir.

Gereken hassasiyetle uygulandığında diğer metotlara göre en iyi sonuç veren metottur. Başlıca dezavantajı her bir numune için gerekli zamanın uzun olması ve numune sayısının artırılmış olmasıdır.

1.9.2. Numune Spektrum Kaynak Metodu

Kuenç düzeltmenin numune spektrum metodu, numunedeki kuençin bir ölçüsü olarak numune spektrumunun bazı karakteristiklerinin kullanımını içerir. Bu metodun ilk uygulaması numune kanal oranı (SCR) metodu olarak bilinir. Bu metot sıvı sintilasyon sayıcılarında veri depolamada ve analizinde sadece puls yükseklik analizi ya da tek kanallı analizör kullandıklarından uygulandı. Metot numuneyi düşük ayırıcı seviyesi ve yüksek ayırıcı seviyesi ayarlarıyla belirlenen iki bölgede numunenin sayım oranlarının belirlenmesini kapsar. Her bir bölgedeki sayım oranı numunedeki kuenç seviyesine göre büyük değerlerden küçük değerlere doğru puls yükseklik spektral kaymadan dolayı değişir. Bu yöntem sayım veriminin bir kuenç düzeltme eğrisinin her bir bölgedeki (SCR) sayım oranına karşı grafiğinin hazırlanmasını gerektirir.

Kuenç belirten parametreleri (QIP) numune spektrum karakterizasyonu tarafından kuençi ölçmek için yaygınca kullanılır. Bu parametreler SIS, IC# ve SQP(I)'dır. Numunenin spektral indeksi (SIS), numune spektrumunun bitiş enerjisini temsil etmek için hesaplanmış numunenin ortalama enerjisinin bir ölçüsüdür. IC# de bir sayı olarak ifade edilmiş numune spektrumunun ortalama enerjisidir. SQP(I) ise izotop spektrumunun spektral kuenç parametresi olarak söz edilen toplam numune spektrumunun % 99.75'indeki spektrumun bitiş enerjisidir [12]. Numunedeki kuençin seviyesini belirlemek için kullanılan numune spektrumunu karakterize eden bu yöntem parametrelerin hepsi,

standart bir kuenç düzeltme eğrisinin hazırlanması için kuenç standartlarının kullanımını zorunlu kılar.

1.9.3. Harici Standart Kaynak Metodu

Bu yöntem, numunedeki kuenç ölçümünü harekete geçirmek için bir alet gibi sintilasyon kokteylinin içinde Compton spektrumu oluşturan rölatif zayıf harici gama kaynağı kullanır. Sintilasyon kabında ve flor kokteylinin içinde bulunan numune harici gama ışını kaynağı varlığında ve yokluğunda ölçülür. Bu harici gama ışını kaynağı aletin içine ölçüm kabının yakınına yerleştirilir. Gama ışınlarının sintilasyon kap maddesi ve kokteyl ile genel etkileşimi Compton olayı yoluyla olur. Harici gama kaynağı sintilasyon kokteylinin içinde Compton olayı ile Compton elektronlarının geniş bir enerji spektrumunu oluşturur. Bu Compton elektronları flor kokteylinde sintilasyon etkisi ve karakteristik bir puls yükseklik spektrumu oluşturur. Harici kaynak tarafından oluşturulan puls yükseklik spektrumu flor kokteyli içinde bulunan homojen numunelerdeki kuenç ölçümünde kuenç belirten parametre oluşturmak için kullanılır. Bir seri kuenç standartları hazırlanmalı ve yüzde verimin harici gama ışını kaynağı tarafından oluşturulan kuenç belirten parametrelere karşı grafiği çizilir. Kuenç seviyeleri ve numunelerin aktiviteleri sıvı sintilasyon analizörleri tarafında belirlenir. Detektör numunenin sayım oranını belirler ve sonrasında numunenin kuenç belirten parametresini ölçmek için harici gama ışını kaynağını kullanır. Kuenç belirten parametrenin değeri sonra kuenç düzeltme eğrisinden radyonüklidin sayım verimini belirlemek için kullanılır. Sonrasında denklem (6)'da sayım verimi ve numunenin sayım oranının yerine yerleştirilmesiyle numunenin parçalanma oranı bulunur.

Harici gama ışını standart kaynaklarının modern sıvı sintilasyon analizörlerde yaygın olarak kullanılanları ^{133}Ba , ^{137}Cs ve ^{152}Eu 'dür. Kuenç parametrelerinin isimleri ölçümde hangi harici kaynağın kullanıldığına bağlı olarak farklılık gösterir.

Harici standardın spektral kuenç parametresi (SQP(E)) yöntemi harici gama kaynağı (yaklaşık olarak 40 keV ile 1408 keV enerjileri arasında değişik olasılıklarda 50 gama ışını üretilir) olarak ^{152}Eu kullanır ve harici standart spektrumunun bitiş noktasının %99.75'i belirlenir ve SQP(E) olarak tanımlanır.

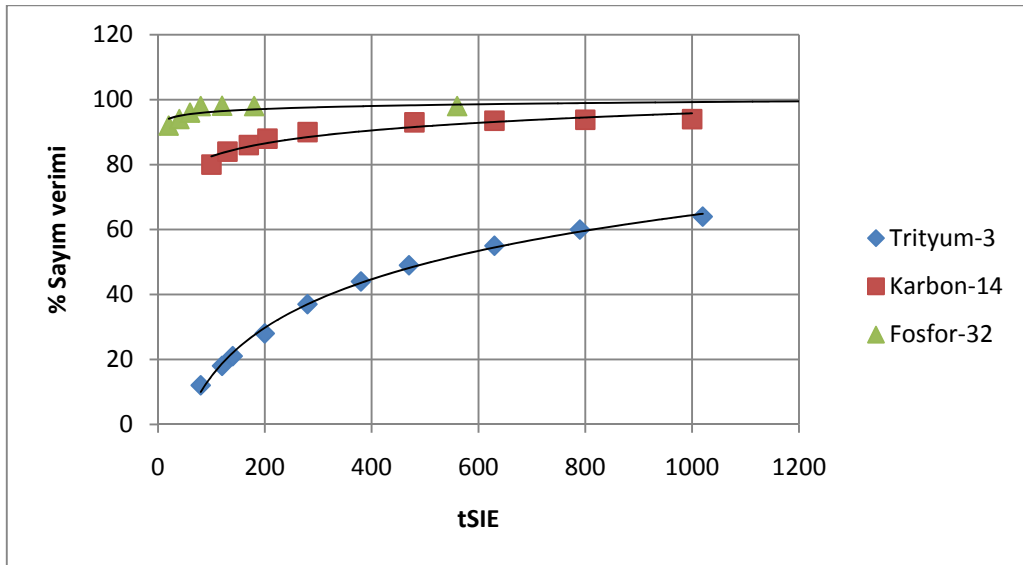
H# metodu gama kaynağı (661 keV'de başlıca 5 gama ışını) olarak ^{137}Cs ($^{137\text{m}}\text{Ba}$) kullanır. Kuenç belirten parametresi (QIP) (H#) harici standart spektrumunun Compton

kenarından belirlenir. H#, harici standart spektrumunun logaritmik kanal numarası ayarında çizildiğinde azalan kenarının bükülme noktası (eğimdeki değişme) olarak belirlenir.

tSIE (harici kaynağın dönüştürülmüş spektral indeksi) gama kaynağı (80 keV, 302 keV ve 356 keV’de birincil salımlarla 13 gama ışını yayarak) olarak ^{133}Ba kullanır. Bu harici standardın Compton spektrumu elde edilir ve dönüştürülmüş spektrumu elde etmek için ters geri toplam sergileyerek dönüştürülür.

Harici standardı numunenin altına yerleştirme numune hacmindeki değişimleri telafi edebilecek olan bir kuenç ölçüsü oluşturur.

Harici kaynak kullanmanın başlıca avantajı şekil 11’de ^3H , ^{14}C ve ^{32}P için aynı grafikte çizilmiş olan kuenç düzeltme eğrilerini gösteren grafikten belirlenebilir.



Şekil 11. ^3H , ^{14}C ve ^{32}P için kuenç düzeltme eğrileri [3].

Şekil 11, üç radyoizotop için kuenç belirten parametrenin dinamik bölgesinin kuençsiz kokteyl karışımları için 1000 den bayağı kuenç eklenmiş numuneler için 100’den daha az olan bölgeye uzandığını göstermektedir. Belirli bir kuenç seviyesinde yüksek enerji beta parçacıkları yayan radyonüklidler için verimlerin yüksek olduğu ve kuençin yüksek enerji beta parçacıkları yayan radyonüklidlerin sayım verimleri üzerine olan etkisinin az olduğu anlaşılmaktadır. tSIE’nin radyoizotoptan bağımsız olduğunun hatırlanması önemlidir; tSIE kalite ya da flor kokteylinin kuenç seviyesinin bir

fonksiyonudur. Bu metodun kuenç belirten parametrenin belirlenmesi için numune spektrum karakterize etme metodu üzerindeki avantajı, harici kaynak metodunun numune sayım oranından bağımsız olmasıdır. Harici standart kuenç parametresi numunenin sayım oranına bağlı değildir fakat harici gama ışını kaynağı tarafında oluşturulmuş olan sayımlara ve sonuçta ortaya çıkan sintilasyon flor kokteyli ile etkileşen Compton elektronlarına bağlıdır. Harici standart yöntem tarafından hazırlanan kuenç düzeltme eğrisi numune aktivite (DPM) değerinin numune hacminden, ölçüm kabı boyutundan ve ölçüm kabı materyalinden bağımsızdır. Bu, çoklu radyonüklid barındıran numunelerin aktivitelerinin kaba ölçümünün kullanılabilmesi için tek bir yöntemdir. Bu yöntemin tek dezavantajı numunenin tek başına ölçülmesi sonrasında ise harici standart ile tekrar ölçülmesi zorunluluğudur.

1.9.4. Doğrudan DPM Metodu

Doğrudan DPM yöntemi sıvı sintilasyon analizörüne değişik kuenç seviyelerinde kuenç düzeltme eğrisi hazırlamaya ihtiyaç duymaksızın, radyonüklidlerin parçalanma oranlarının mutlak aktivitelerinin, özellikle beta salıcıların ölçümüne olanak sağlar. Birkaç doğrudan DPM yöntemi mevcuttur. Bunlar:

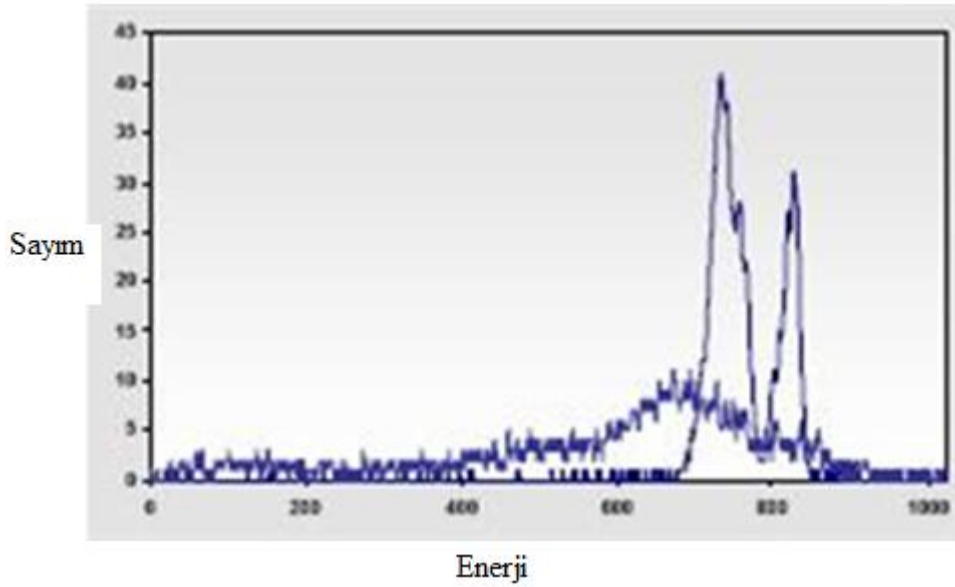
1. Geleneksel integral sayma yöntemi (CICM)
2. Modifiye edilmiş integral sayma yöntemi (MICM)
3. ^{14}C ile verim izleme (ET)
4. Dijital üst üste gelme tekniği (DOT)
5. Çok değişkenli kalibrasyon
6. Diğer DPM yöntemleri.

1.10. Puls Şekil Ayrımı

1.10.1. Alfa/Beta Ayrımı

Alfa parçacıkları sıvı sintilasyon kokteylinde beta parçacıklarının parçacık enerjisinin birimi başına şiddetinin yaklaşık $1/10'$ unda ışık üretirler [13]. Böylece tek enerjili olan alfa parçacıklarının her bir parçalanmada tek bir puls yükseklik piki her bir alfa bozunumu için

alfa parçacığının orijinal nükleer parçalanma enerjisinin yaklaşık 1/10'u olan puls yüksekliğinde gözlenir. Sıvı sintilasyon kokteylinde 5 MeV enerjiye sahip bir alfa parçacığı böylece yaklaşık olarak 500 keV'de detekte edilir. Sonuç olarak, aynı numunedeki alfa parçacıklarının ve beta parçacıklarının puls yüksekliklerinin, belirli radyoaktif nüklidlerden salınan alfa parçacıklarının enerjisi aynı numunedeki diğer radyonüklidlerden salınan beta parçacıklarının maksimum enerjinin yaklaşık 10 katı bile olsa üst üste geldiği görülür.



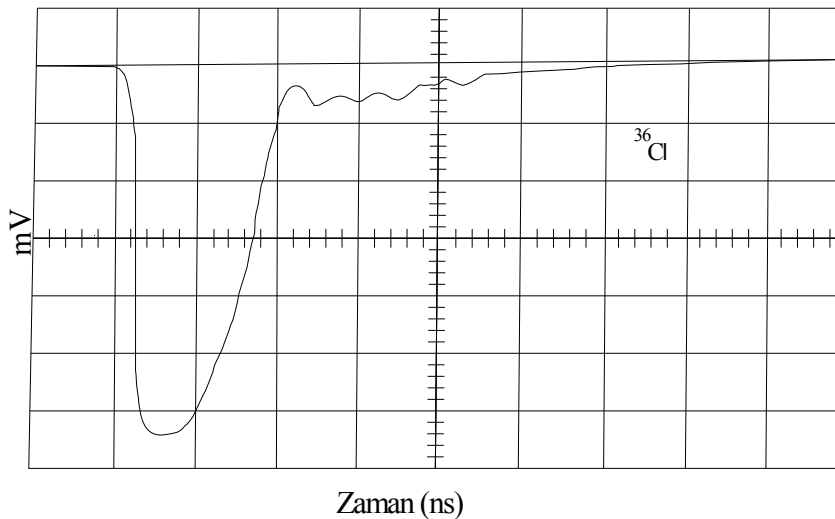
Şekil 12. ^{222}Rn ölçümünde alfa ve beta pulslarının tek kanallı analizörde üst üste gelmesinin gösterimi

Ancak, birçok modern sıvı sintilasyon analizörü aynı numunede α ve β yayan radyonüklidleri analiz etme kabiliyetine sahip elektronik devrelere sahiptirler. Bu aletler puls bozunum analizi (PDA) ya da puls şekil analizi (PSA)'ni kullanır. Puls parçalanma analizinde puls bozunum ayırıcı (PDD) olarak bahsedilen puls bozunum zaman ayırıcısı, bozunmadan gelen bir foton yayılımı sonucu oluşan bir puls olayı için zaman uzunluğunu denetler. Şekil 13, 14 ve 15'de de görüleceği gibi sıvı sintilasyon kokteylindeki alfa etkileşimlerinden kaynaklanan olaylar beta etkileşimlerinden kaynaklanan olaylardan 35-40 ns daha fazla bozunum süresine sahiptirler. Bu, sintilasyon florlarında alfa parçacık etkileşimlerinden sonra ışık yayım sürecinden ve daha uzun deeksitasyondan dolayıdır. Alfa ve beta olaylarındaki yaşam ömür sürelerindeki asıl fark kullanılan sintilasyon flor kokteylinin kimyasal kompozisyonuna bağlıdır [3].

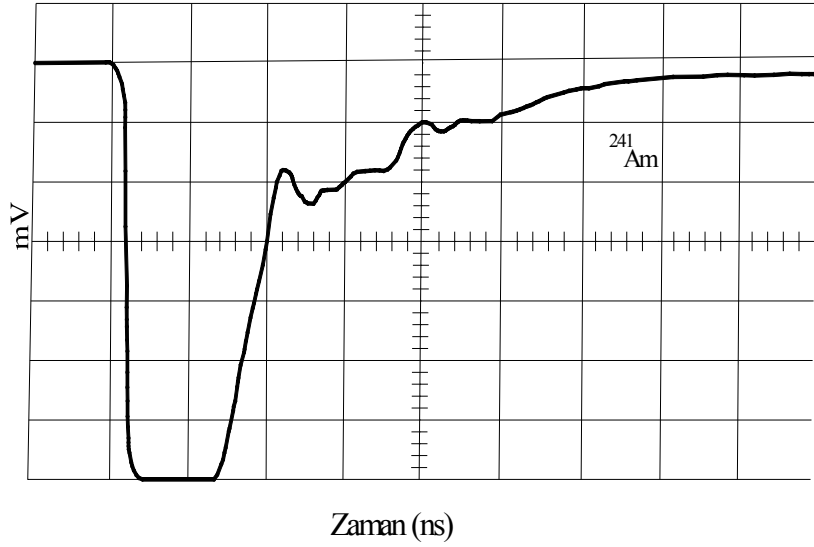
Alfa/beta analizi için puls parçalanma ayırıcı ile donatılmış olan sıvı sintilasyon analizörü iki MCA bulunduran bir alettir. PDD değerinden büyük parçalanma zamanından kaynaklanan sintilasyon foton yayımından olan bütün puls olayları alfa MCA'sına, bu PPD ayırıcıdan düşük zamanlarda oluşan bütün puls olayları da beta MCA'sına gönderilir. Böylece α ve β radyonüklid aktivitelerinin farklı MCA'larda depo edilmesi ve en iyi ayırımının gerçekleştirilebilmesi için optimum PDD ayarı bulunmalıdır [3].

Aynı numunedeki α ve $\beta(\gamma)$ yayan radyonüklidlerin analizine radyoaktivitenin çevre uygulamalarında oldukça sık rastlanır. Çünkü radyonüklidler genellikle karışım halindedirler [3].

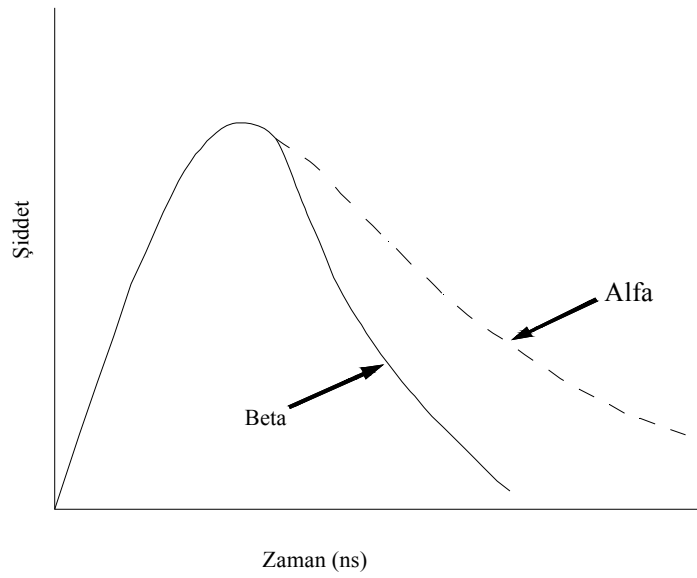
Sıvı sintilasyon detektörleriyle alfa yayan radyonüklidlerin aktivite ölçüm kabiliyetleri yıllardır bilinir. Alfa ve beta yayan radyonüklidler foto çoğaltıcı tüpün anodunda farklı şekil oluştururlar ve bu bazda birbirlerinden ayrılırlar [15, 16]. Alfa olaylarının beta olaylarından nasıl ayrıldığını kavramak için süreci moleküler seviyede incelemek gerekir. Alfa ve beta olayları sıvı sintilatörde detektörün anodunda oluşmuş olan pulsların elektronik incelenmesiyle birbirinden ayrılabilir. Bu pulslar hızlı bileşen ve yavaş bileşen adı verilen iki bileşenden oluşmaktadır. [13]. Alfa pulslarının beta pulslarından daha uzun olmaları sonucuyla, bu bileşenler alfa ve beta pulslarında farklı oranlarda gerçekleşir [3].



Şekil 13. ^{36}Cl foto çoğaltıcı tüp anodundaki puls şekli



Şekil 14. ^{241}Am foto çoğaltıcı tüp anodundaki puls şekli



Şekil 15. Sıvı sintilatördeki alfa ve beta pulsunun bozunumu

Puls şekil ayırım teknikleri detektör üreticileri tarafından literatürde ya puls şekil ayırıcı, ya puls şekil analizi ya da puls bozunum analizi diye anılır. Değişik isimlerin ortaya çıkması puls şekil ayırım tekniğinin farklı olmasındandır. Fakat bunların hepsi puls parçalanma zamanını ölçen elektronik devreler temeline dayalıdır [3].

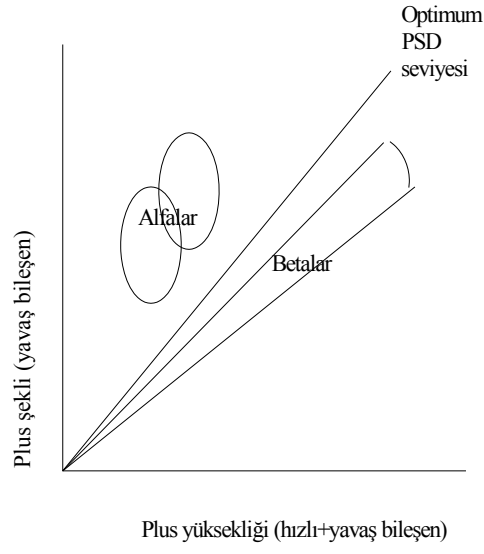
Foto çoğaltıcı tüpün katoduna gelen fotonların triplet durumda, flor molekülünün uyarılmış triplet durumlarının ve uyarılmış singlet durumlarının radyoaktif parçalanmasından daha uzunca bir yaşama sonuçlanmasıyla kaynaklanır ve bu yavaş

bileşeni oluşturur [16]. Alfa parçacıklarının yüksek spesifik iyonizasyonu, uyarılmış durumdaki moleküllerin büyük çoğunluğunun triplet durumda olmasına sebep olur ve böylece alfa pulsları daha uzun süreye sahiptir. Alfa pulslarının uzun süreye sahip olmaları puls şekil ayırımında alfa/beta ayırımının temelini oluşturur. Şekil 13 ve 14’de %20 ağırlık/hacim oranında naftalin eklenmiş olan Insta-Gel kokteyli içindeki beta salıcı ^{36}Cl ile alfa salıcı ^{241}Am pulslarının şekillerindeki farkı göstermektedir. Bu puls şekilleri Packard Tri-Carb 2500TR/AB’nin foto çoğaltıcı tüpünün anodunda ortalama bir puls şekli elde etmek için depolama osiloskop’u genel modunda çalıştırılmasıyla elde edilmiştir [17].

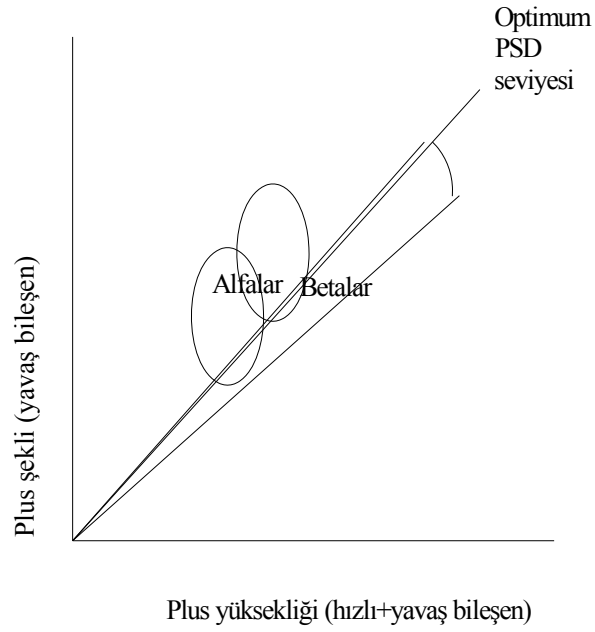
1.10.2. Taşma ve Çalışma Taşması

Kelime anlamı dağılma olan taşma, sıvı sintilasyon sistemlerinde alfa aktivitelerinin beta kısmında ya da beta aktivitelerinin alfa kısmında yer alması olarak ifade edilebilir.

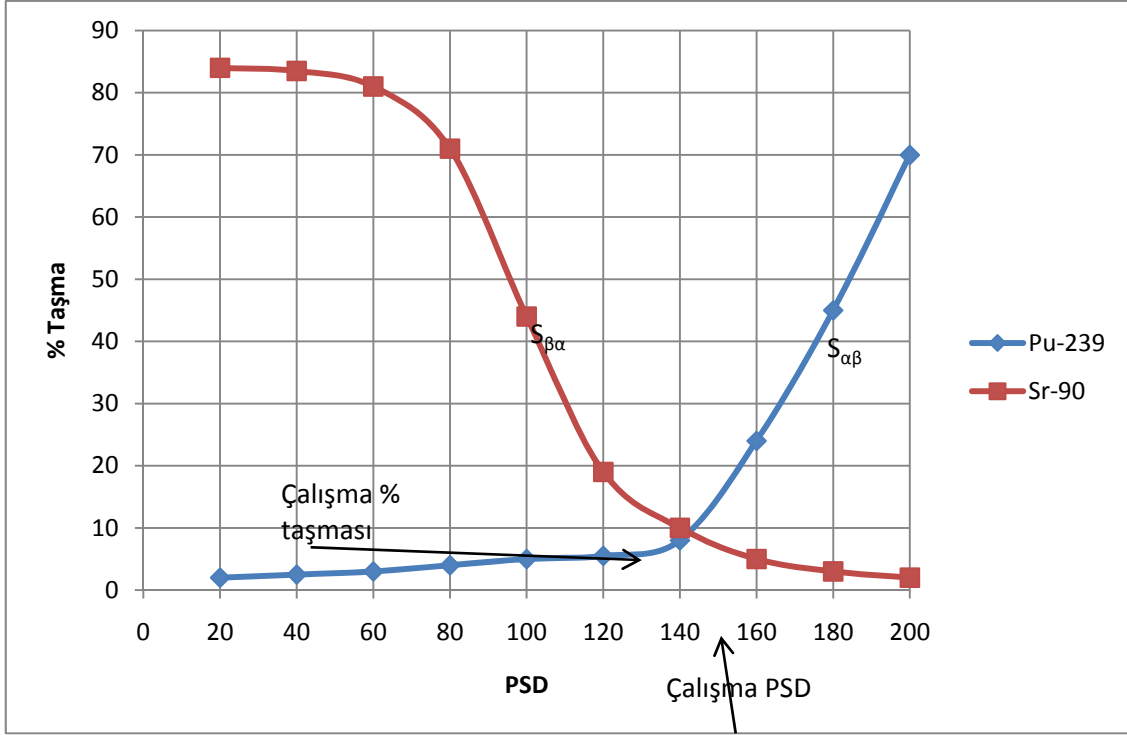
Organik bir sintilatörden gelen tipik sintilasyon pulsu, gelen radyasyonun bir fonksiyonu olarak değişmesiyle bir hızlı bir de yavaş bileşenden oluşur. Bir çok elektronik puls işleme tekniğinde [19, 20] yüksek alfa ve düşük beta ya da gama lineer enerji transferinin sonucu sintilasyon pulsları birbirinden ayrılabilir. Ne yazık ki bu ayırım özellikle düşük enerji birikimlerinde taşma sebebiyle çoğu zaman mükemmel olamayabilmektedir. Bu problemi ortadan kaldıracak sistem mümkün olan sıvı sintilasyon sayıcılarında mevcut değildir. Bundan dolayı araştırmacılar taşmayı kuenç parametresi gibi diğer sistem parametrelerinin bir fonksiyonu olarak belirlemelidirler [18].



Şekil 16. Bir sıvı sintilasyon detektöründe alfa ve beta pulslarının ayırım netliğinin gösterimi



Şekil 17. Bir sıvı sintilasyon detektöründe alfa ve beta pulslarının ayırımının net olmadığı gösterimi



Şekil 18. Ultima Gold AB kokteylindeki ^{239}Pu ve ^{90}Sr için % taşma ve çalışma puls şekil ayrımıcısının grafiksel gösterimi

Beta bölgesindeki alfaların yüzdesi ve alfa bölgesindeki betaların yüzdesi belirli bir puls ayırım değerinde birbirlerine eşit olmaktadır. Şekil 18'den de görüleceği üzere bu eşit taşmaya çalışma taşması, bu çalışma taşmasına denk gelen puls ayırım değerine de çalışma puls ayırım değeri denir.

Doğru bir CPM değeri elde etmek için ikili analiz çalışmalarında olduğu gibi hesaplamalar yapılmalıdır.

X_α = beta diye yanlış sınıflandırılan alfalar

X_β = alfa diye yanlış sınıflandırılan betalar

A_T = alfa parçalanmalarından kaynaklanan gerçek sayım oranı

B_T = beta parçalanmalarından kaynaklanan gerçek sayım oranı

A_0 = alfa MCAsında gözlemlenen sayım oranı

B_0 = beta MCAsında gözlemlenen sayım oranı

Denklem (7)'de formüle edildiği gibi, alfa standart kaynağı kullanarak beta olarak kayıt edilmiş alfa sayımları beta MCA'sına toplanmış alfa sayımlarının hem alfa hem de beta MCA'sındaki alfa sayımlarının toplamına oranı olarak tanımlanır [3].

$$X_\alpha = \frac{B_0}{A_0 + B_0} \quad (7)$$

Benzer şekilde, beta standart kaynağı kullanarak alfa sayımları olarak kayıt edilmiş beta sayımları denklem (8)'deki gibi tanımlanır [3].

$$X_{\beta} = \frac{A_o}{A_o + B_o} \quad (8)$$

Her bir MCA'da gözlenen sayım oranının yanlış sınıflandırmanın varlığından dolayı hem alfa hem de beta parçalanmalarının bir fonksiyonunun olduğunu kavramak önemlidir. Bu bağıntı denklem (9) ve (10)'da verilir [3].

$$A_o = A_T - A_T X_{\alpha} + B_T X_{\beta} \quad (9)$$

$$B_o = B_T - B_T X_{\beta} + A_T X_{\alpha} \quad (10)$$

A_T B_T ' de ya da tersine B_T A_T 'de yerine yazıldığında A_T ve B_T için denklem (11) ve (12) elde edilir [3].

$$A_T = \frac{A_o - A_o X_{\beta} - B_o X_{\beta}}{1 - X_{\beta} - X_{\alpha}} \quad (11)$$

$$B_T = \frac{B_o - B_o X_{\alpha} - A_o X_{\alpha}}{1 - X_{\alpha} - X_{\beta}} \quad (12)$$

1.10.3. Puls Şekli Ayrım Elektronikleri

Başlıca puls şekli ayırım elektronikleri puls şekil analizi (PSA), puls bozunma analizi (PDA), puls genlik kıyaslaması (PAC), puls şekil ayırımı (PSD) ve zaman çözümlü puls bozunma analizi (TR-PDA)'dir.

Puls şekil analizi (PSA) gerçek nükleer bozunma sinyalinin sıvı sintilasyon sayıcısında hızlı bir puls bileşeni oluşturmasına dayanır. Oysa background olayları daha uzun bir sürede puls oluşturur. Detektör ayarları şekilleri baz alan pulsları ayıracak şekilde düzenlendiğinde background sayımları gerçek nükleer olay sinyalinin ayırt edilebilirler. Bu ayırım spesifik ve her bir ölçüm kabı materyali, boyutu ve numune-kokteyl kimyası için optimize edilmelidir.

Elektronik puls ayırım devrelerinde ikinci bir yöntem ise iki foto çoğaltıcı tüpten gelen her bir pulsun genliğini kıyaslayan elektronik düzeneğidir. Eğer olay sintilasyon kabının içerisinde gerçekleşmiş ise yaklaşık olarak fotonların aynı şiddete sahip oldukları görülür. Fakat eğer olay numune dışından kaynaklanıyorsa foto çoğaltıcı tüplerde farklı puls yüksekliklerine sahip pulslar üretilir. Eğer PAC birim değerinden çok fazla sapıyorsa puls background pulsu olarak algılanır ve işlem dışı tutulur.

Üçüncü bir yöntem ise belirli bir zamanda ilk pulsu takiben oluşmuş pulsların ayırımını temel alan ve background sayımını azaltıcı patentli bir yöntem olan zaman çözümü puls bozunma analizi (TR-PDA)'dır. İlk pulstan sonra oluşacak olan sintilasyon kabının dışından kaynaklanan olayların pulsları background olayları arasında bir hayli fazla iken sintilasyon kokteylinin içinden kaynaklanan olaylarda oldukça azdır. İlk pulstan sonraki pulsları değişik hassasiyetle saymayla background sayımlarını belirleyebilen ve puls indeks ayırıcısı olarak bilinen TR-LSC tekniği ile sıvı sintilatör analizörleri bu sonraki pulsları sayabilecek şekilde programlanır ve üretilirler. Böylece, background sayımlarını elimine etmek için kullanılan puls indeks ayırıcısının değeri kullanılan programa ve alete göre farklılık gösterebilir (yüksek hassasiyetli sayım modu, düşük seviye sayım modu ve BGO detektöründe olduğu gibi ultra düşük seviye sayım modu, vs.).

Sonuç olarak, düşük seviye numunelerinde sıvı sintilasyon detektörünün performansını optimize etmek için optimum numune boyutu, kap boyutu ve kap materyali gibi sayım geometrisini optimize etmek, sayım süresini arttırmak, sayım bölgesini optimize etmek, kokteyl seçiminin optimizasyonu, elektronik ayırım sisteminin kullanımı olduğu söylenebilir.

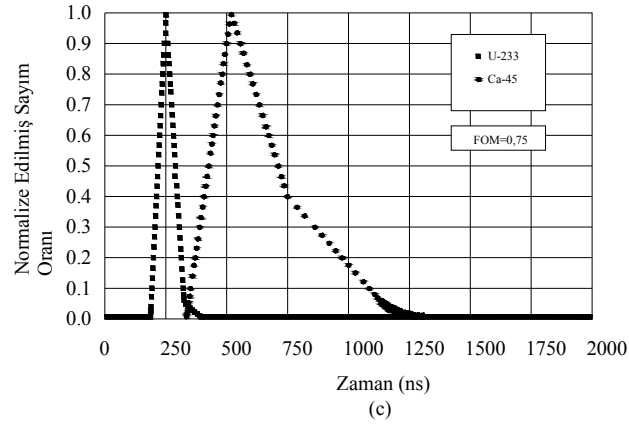
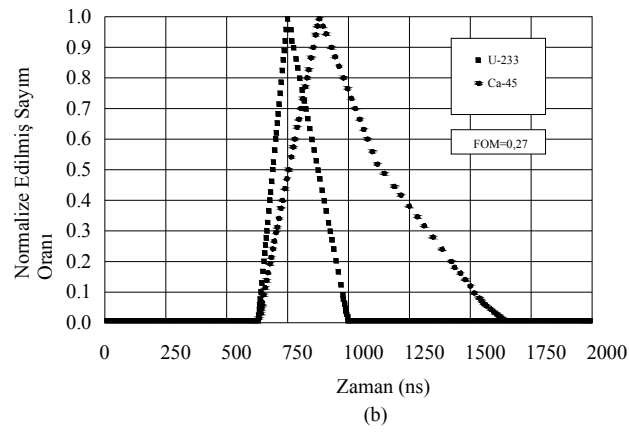
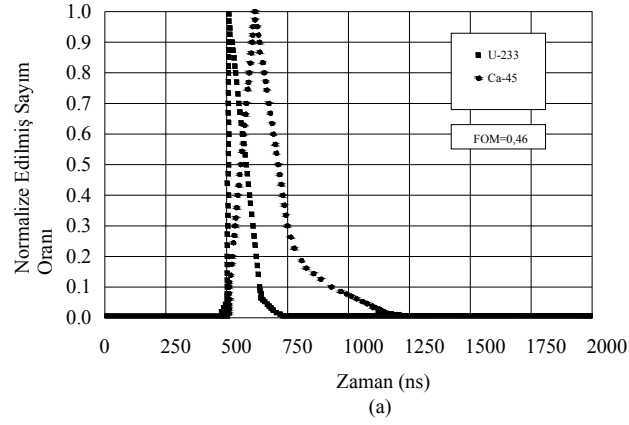
1.10.4. Başarım Katsayısı

Sıvı sintilasyon sayımında bir aletin güvenilirliğini ve performansını belirler iken başarım katsayısı (FOM) ve ki-kare değerleri dikkate alınır. Başarım katsayısı sistemin hassasiyetini karakterize etmek için kullanılan bir terimdir. Backgroundun önemsiz olduğu yüksek numune aktivitesinde iki sıvı sintilasyon sayım sistemini kıyaslar iken verim performansının bir ölçüsüdür [3].

Mühendislikte başarım katsayısı genellikle bir uygulama için belirli materyaller ya da aletlerin rölatif kullanılabilirliğini belirlemede tanımlanır. Sıvı sintilasyon sayımında ise, denklem (13)' de gösterildiği gibi, puls şekli spektrumundaki alfa ve beta pikleri arasındaki rezolüsyon başarım katsayısı olarak ifade edilir.

$$FOM = \frac{|T_{\alpha} - T_{\beta}|}{W_{\alpha} + W_{\beta}} \quad (13)$$

Bir α ve β puls şekli spektrum pikleri için T_{α} ve T_{β} sırasıyla α ve β 'nin pik zamanlarını ve W_{α} ve W_{β} 'da α ve β 'nin yarı maksimumdaki pik genişliğidir [19].



Şekil 19. ^{233}U ve ^{45}Ca için (a) $\text{CaF}_2:\text{Eu}$ (b) cam sintilatör (GS-20) ve (c) BaF_2 akış hücresinde puls şekil dağılımı ve başarımlar katsayısı değerleri

Ayrıca sıvı sintilasyon sistemlerinde başarımlar katsayısı radyonüklidin yüzde veriminin karesinin CPM cinsinden background sayım oranına bölümü olarak da ifade edilir.

Sıvı sintilasyon sayımında, sinyalin backgrounda oranı deteksiyon veriminin karesinin backgrounda oranı (E^2/B) olarak ifade edilir. Numune aktivite piki sinyalin kendisi ve background radyoaktivitesi azaltılması gereken gürültüye eşit olduğundan başarımlı katsayısı terimi sinyalin gürültüye oranına benzerdir.

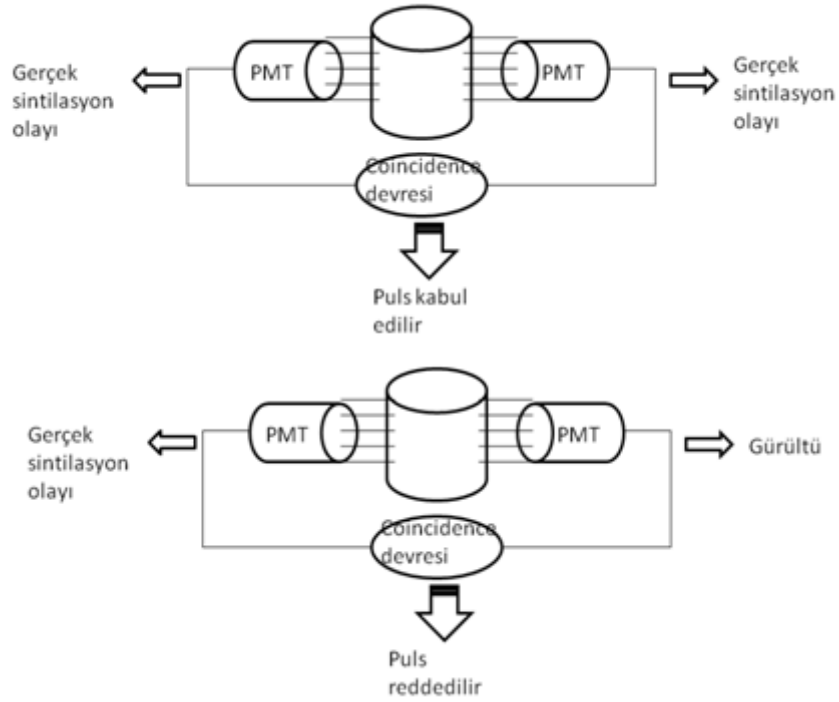
Düşük bir deteksiyon limiti elde etmede ve sayım bölgesinin optimizasyonunda başarımlı katsayısının maksimize edilmesi önemlidir.

1.11. Çakışma Deteksiyonu

Tüm foto çoğaltıcı tüplerin sintilasyon sürecinin bir sonucu olmayan gürültü pulsaları oluşturmaları bir problemdir. Bu pulsalar background ya da gürültü pulsu olarak tanımlanırlar. Yüzey yarıçapı 2 inç olan bir foto çoğaltıcı tüpün background oranı 10,000 CPM'den daha fazladır. Özellikle düşük aktiviteli numuneler ile çalışırken 10,000 CPM gibi bir background sayımı kabul edilemez bir değerdir. Bu değeri azaltmak için temeli 1953 yılına dayanan ikinci bir foto çoğaltıcı tüp kullanılır. Böylece bir çakışma devresi oluşturulmuş olunur. Çakışma devresinin kendisi bir bakıma gerçek nükleer olay ile gürültüyü ayırıcı devre gibi davranır.

Gerçek bir sintilasyon olayında fotonlar yönden bağımsız olarak salınırlar. Böylece, ışık her iki foto katot yüzeyine aynı anda çarpacaktır. Akabinde, her bir foto çoğaltıcı tüp aynı anda puls üretecektir. Her ne kadar radyoaktif olayların teorik olarak aynı anda detektörlere çarpmasından bahsedilse de pulsaların detektöre aynı anda çarptığından emin olmak zordur. Aslında pulsaların program tarafından işlenip işlenmeyeceğine karar veren küçük bir zaman aralığından bahsetmek daha uygun düşer ki bu zamanın optimum değeri 10-30 ns civarındadır. İşte bu zaman aralığı çakışma devre kapısı ya da yalnızca çakışma devresi olarak adlandırılır.

Çakışma devresi, çakışma devre kapısı zaman aralığında her bir iki tüpte bir puls kaydeder ise bu gerçek puls olarak dikkate alınır ve sonrasında program tarafından işlenir. Gerçek bir sintilasyon olayının aksine foto çoğaltıcı tüplerden gürültü pulsaları rastgele oluşurlar. Her iki detektörde aynı anda gürültü pulsunun oluşma ihtimali oldukça düşüktür. Eğer çakışma devresi spesifik bir zaman aralığında bir detektörden puls kaydettiği halde diğerinde gözlemlenmiyor ise detektör pulsu background olarak algılar ve belleğinde gerçek bozunma olarak dikkate almaz.



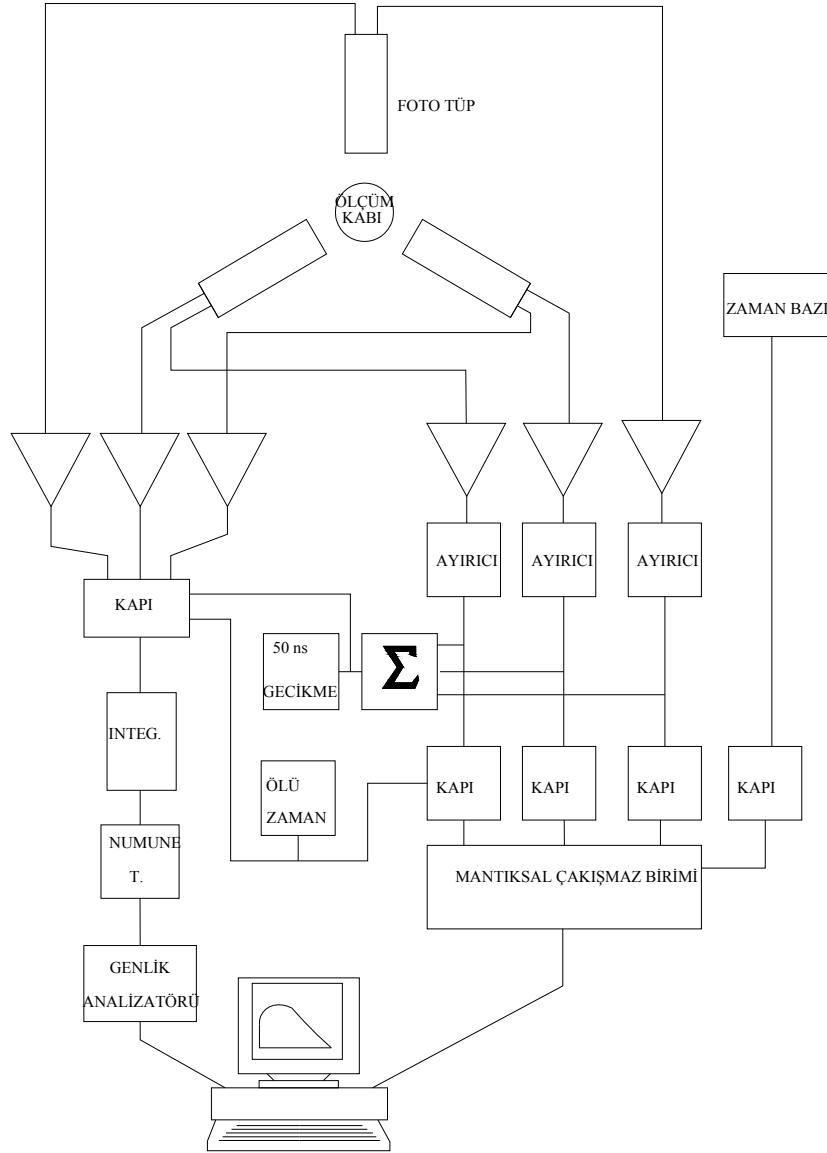
Şekil 20. Çakışma devre sürecinin şematik gösterimi

Bir puls deteksiyonu yukarıda belirtildiği gibi gerçekleşir. Fakat, gürültü pulsuları her iki detektöre bu çakışma devresi zaman aralığında çarpabilir. Bunun sonucunda bu gürültü pulsuları da gerçek bir puls gibi algılanır. Bu olaya şans çakışması adı verilir.

1.12. Üçlünün İkiliye Çakışma Oranı (TDCR)

İki farklı çakışma devresi çıkışlı elektronik devreye ve ilk üç foto çoğaltıcı tüpe sahip sıvı sintilasyon sayım sistemini Schwerdtel [21, 22, 23] ortaya koymuştur. Yeni bir üçlü foto çoğaltıcı detektör tasarımı ve radyonüklid standardizasyon yönteminin orijinal versiyonu üçlünün ikiliye olan çakışma oranı verim hesaplama tekniği (TDCR) Pochwalski ve arkadaşları [24] tarafından 1988 yılında uluslararası bir dergide yayınlanmıştır.

TDCR verim hesaplama tekniği üç foto çoğaltıcı tüp ve iki farklı çakışma çıkışıyla donatılmış bir sıvı sintilasyon analizine ihtiyaç duyar.



Şekil 21. Üç foto çoğaltıcı tüpe sahip sıvı sintilasyon sayıcısının diagramı

Detektör 7 veya 20 mL'lik numuneyi birbirine 120° açıyla yerleştirilmiş üç foto çoğaltıcı tüpün ortasına her birine eşit mesafedeki detektör haznesine yerleştirir. Bu düzenlemeyle ikili ve üçlü foto tüp çakışma çıkışlarından yararlanmak amaçlanmıştır [3].

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

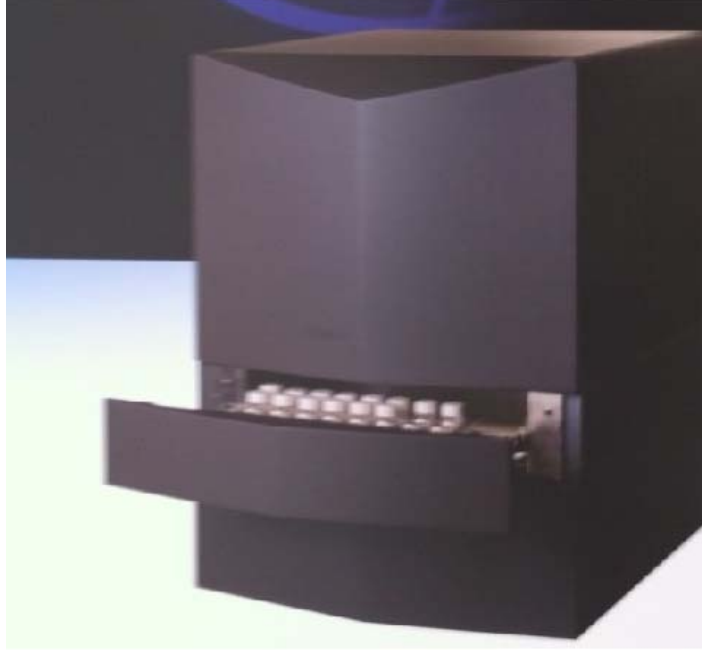
2.1. Hidex 300SL ve Hidex Triathler Detektörlerinin Özellikleri, Avantajları, Dezavantajları

Triathler küçük boyutu ve hafif olmasından dolayı arazide kullanmaya imkan tanırken, 300SL içerisindeki zırhlama kalınlığı, birbirine 120°'lik açılarla yerleştirilmiş 3 foto çoğaltıcı tüpe sahip olmasından dolayı 130 kg civarındadır. Bu nedenle laboratuvar ortamı gibi sabit bir noktada kullanılması gereken bir cihazdır.

300SL 7 mL'lik 96'lı ve 20 mL'lik 40'lı olmak üzere 2 adet numune tepsisine sahip iken, Triathler sadece bir numune haznesine sahiptir. Triathler detektörünü kullanan bir araştırmacı bir numunenin ölçülmesinin ardından ikinci bir numune ölçmek istiyorsa fiziksel olarak numuneyi değiştirmelidir. 300SL'in birden fazla numune barındıran tepsiye sahip olmasından ve programlanıp çalıştırılabilme özelliğinden dolayı bir kerede 96 adet 7 mL'lik ya da 40 adet 20 mL'lik numune ölçülebilmektedir.



Şekil 22. Hidex Triathler detektörü, haznesi ve iki çeşit numune kabı tutacağı



Şekil 23. Hidex 300SL detektörü, numune tepsisi ve numuneler

Her iki detektör α ve β MCA'sı kullanarak spektrum analizi yapabilme özelliğine sahiptir. Bu detektörler α/β ayırım özelliğine sahip olduklarından ^{222}Rn gibi alfa izotoplarını detekte etmek için idealdirler.

Triathler küçük olması hasebiyle zırhlama kalınlığı 300SL'e oranla azdır.

Triathler detektörünün herhangi bir sıcaklık sabitleme özelliği bulunmaz iken, 300SL'in bir opsiyon olarak ölçümün ortam sıcaklığından birkaç derece düşük sıcaklıklarda bile gerçekleştirilebilmesini sağlayan sıcaklık sabitleme özelliği bulunmaktadır. Bu sıcaklığın azalması foto çoğaltıcı tüplerden gelen gürültüyü azaltmaya yardımcı olur. Detektörün bu özelliği aktif background azaltımı yöntemi olarak ta düşünülür [3]. Ayrıca numunelerin detektör haznesine yerleştirilme aşamasında oluşabilecek, foto çoğaltıcı tüp üzerinde ya da ölçüm kabı üzerinde birikebilecek olan statik yükleri elimine etme özelliği ve verimi doğrudan hesaplayan TDCR metodu kullanması hasebiyle Triathler detektörüne bir üstünlük sağlamaktadır.

300SL ve Triathler detektörleri radyasyon güvenliği, ulusal güvenlik, silerek temizleme testlerinde, canlı biliminde, molekül biyolojisi, deniz biyolojisi ve çevresel testler gibi alanlarda kullanılırlar.

2.2. Kalibrasyon

Hidex 300SL ve Hidex Triathler detektörleri kendi sistemlerinde çakışma zamanı, iyonlaştırma gecikmesi, gecikme zamanı, “tail offset”, y kazancı, puls uzunluk indeksi, y konumu gibi parametrelere sahiptirler. Bu parametrelerin herhangi bir radyoaktif element ölçümü için saf element kullanılarak optimum değerlerinin bilinmesi gereklidir. Bu nedenle ^{222}Rn ölçümü için optimum sistem parametrelerini belirlemek amacıyla her iki detektör %71.6, %28.3, %0.1 ve % 0.003 olasılıklarında sırasıyla 5.50 MeV, 5.46 MeV, 5.36 MeV, 5.19 MeV enerji yayması ve ^{222}Rn enerji değerine en yakın α salıcı saf bir kaynak olması sebebiyle ^{238}Pu kaynağına numuneler ile aynı koşullarda UGF (Ultima Gold F) kokteyli eklenmiş standart kullanarak birer saatlik ölçümlerle kalibre edilmiştir.

2.3. Detekte Edilebilen En Düşük Aktivite (MDA)

Deteksiyon sistemleri genelde deteksiyon verimi (E), ve background sayım oranı (CPM_{bkgd}) ya da alternatif olarak en düşük deteksiyon limiti (LLD) [10] ile karakterize edilir. LLD detektörün hassaslığının bir ölçüsünü verir.[20]

Detektörlerin kalibrasyon işleminden sonra, araziden elde edilmiş 10 mL su numunesine 10 mL UGF kokteyl eklenerek ^{222}Rn 'nin ürünleriyle radyoaktif dengeye gelmesi için 4 saat beklenmiştir. Bu kokteyl-numune karışım yardımıyla birer saatlik ölçümlerle Triathler ve 300SL için α ve β background sayım oranları elde edilmiştir.

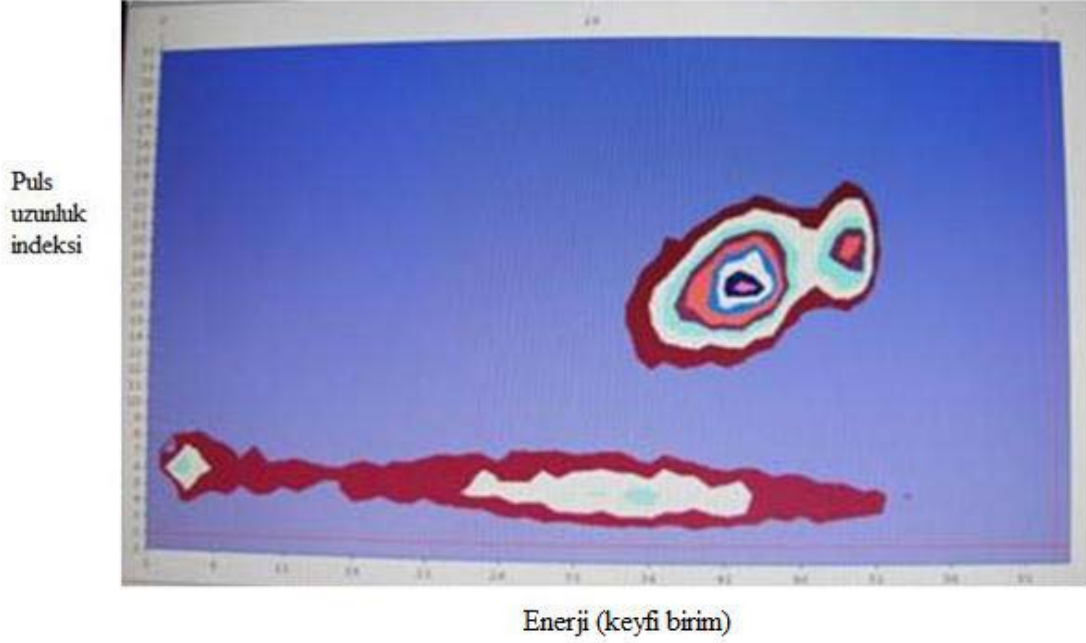
Bu α ve β background sayım oranlarının denklem (14)' de yerine yazılmasıyla MDA değerleri elde edilmiştir.

$$MDA \left(\frac{Bq}{L} \right) = \frac{2.71+4.65\sqrt{B}}{E \times V \times T \times X} \quad (14)$$

2.3. Alfa/Beta Puls Ayrımı

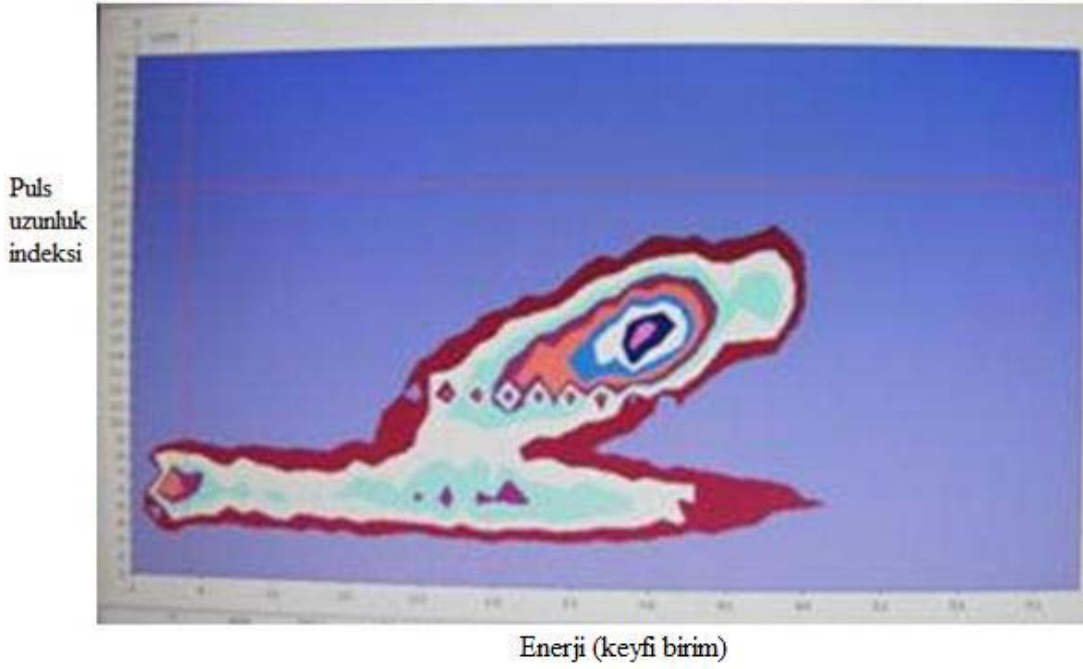
300SL ve Triathler detektöründe puls ayrımı bölüm 1.10.1'de verildiği gibi alfa pulslarının oluşumunun beta pulslarının oluşumuna oranla daha uzun zaman alması temeline dayanır. Detektörlerde puls ayrımı şekil 24'de olduğu gibi 1024'lük puls yüksekliğinin 64 birimlik x ekseninde ve 1024'lük puls uzunluğunun 32 birimlik y

ekseninde gösterildiği gibi çıktı verir. Bu şekil iyi bir puls ayrımının gerçekleştiğini gösterir.



Şekil 24. Alfa/Beta puls ayrımının detektörlerde 2D grafiğindeki şekil ile gösterimi

Fakat şekil 25'ya bakıldığında iyi bir puls ayrımının gerçekleşmediği, alfa pulslarının beta pulslarına karıştığı ya da beta pulslarının alfa pulslarına taşıdığı görülmektedir.



Şekil 25. Net gerçekleştirilememiş alfa/beta puls ayrımının detektörün 2D grafiğindeki görünümü

Bu çalışmada renk kuenç maddesi olarak McCormik üreticisinden sağlanan içerisinde su, propilen glikol, FD& Sarı 5, Propil parafen (koruyucu olarak) ve FD& Kırmızı 40 bulunan sarı gıda boyası ve kimyasal kuenç maddesi olarak da PerkinElmer tarafından üretilmiş 152 °C parlama sıcaklığına sahip olan Nitrometan (CH_3NO_2) kullanılmıştır.

Her iki kuenç maddesi için kullanıp atılabilen 20 mL'lik cam ölçüm kapları kullanılmıştır. Numune hazırlanırken 20 mL'lik kaba 10 mL kokteyl eklenir. Ardından 10 mL su numunesi kokteylin altına enjekte edilir ve kapak sıkıca kapatılır. Kabın radyoaktivite sızdırmazlığından emin olduktan sonra numunedeki radon gazı ile sintilasyon kokteylinin temasını sağlamak için 20 mL'lik ölçüm kabı yaklaşık bir dakika boyunca çalkalanır. Çalkalamanın ardından ^{222}Rn 'nin ürünleriyle radyoaktif dengeye ulaşabilmesi için numune 4 saat bekletilir. Bu süre sonunda numune ölçüm için hazırdır ve ölçüm işlemine geçilmiştir.

3. BULGULAR

3.1. Alfa ve Beta Background Sayımları

Ölçülecek olan numune ile aynı hacimde iyonlarından ayrılmış su ve kokteyle karıştırılarak ve numunelerdeki gibi aynı işlemlere tabi tutulan blank (boş kap) ölçümleri alınmıştır. Bu yapılan çalışma sonucunda tablo 7 edilmiştir.

Tablo 7. Detektörler için α -background ve β - background sayım oranları

HIDEX 300SL		HIDEX TRIATHLER	
α -background sayım oranı (Bq)	β -background sayım oranı (Bq)	α -background sayım oranı (Bq)	β -background sayım oranı (Bq)
0,02	1,22	0,14	2,83

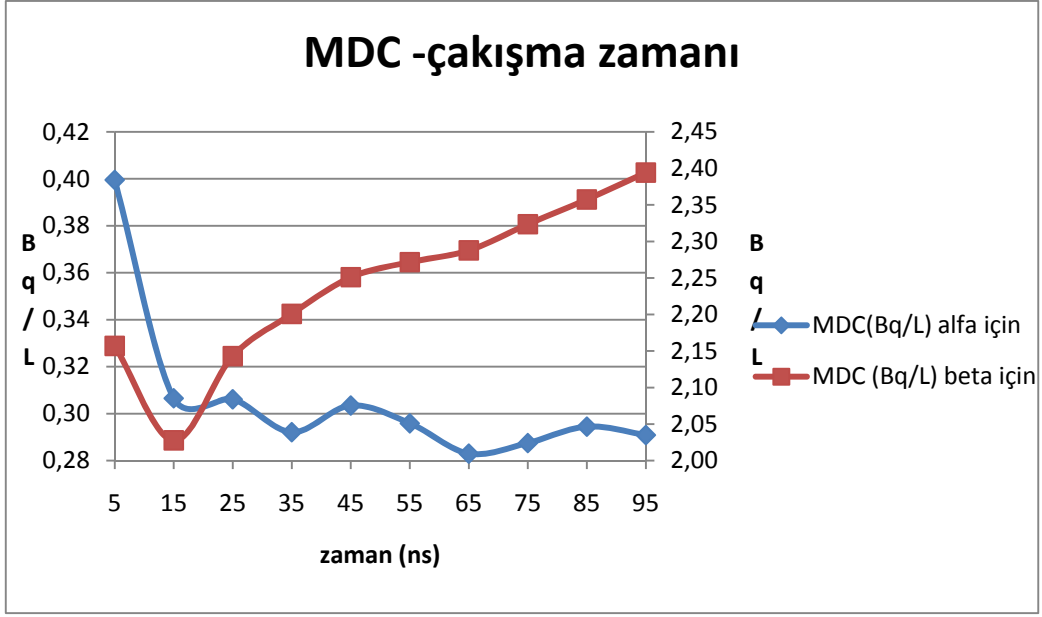
Tablo 7'deki α ve β background değerleri denklem (14)'de kullanılmasıyla tablo 8 elde edilmiştir.

Tablo 8. Detektörler için MDA(α) ve MDA(β) değerleri

HIDEX 300SL		HIDEX TRIATHLER	
MDA(α) (Bq/L)	MDA(β) (Bq/L)	MDA(α) (Bq/L)	MDA(β) (Bq/L)
0,43	3,92	0,94	6,12

3.2. Detekte Edilebilen En Düşük Aktivite (MDA)

300SL detektöründe çakışma zamanının değişiminin alfa ve beta background değerlerini nasıl değiştirdiği gözlenmiş ve bu background değerlerinin kullanılmasıyla MDA değerlerinin çakışma zamana göre değişimi gözlenmiştir.



Şekil 26. MDA'in çakışma zamanına göre değişimi

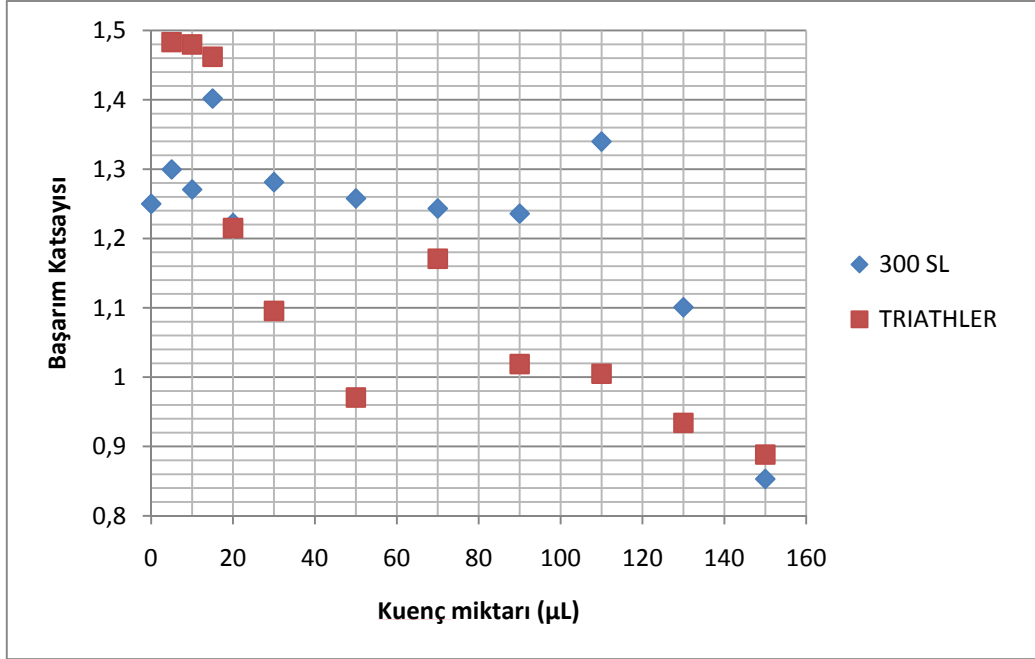
Şekil 26'ye göre 300SL detektöründe ^{222}Rn seviyesini belirlerken çakışma zamanı için optimum aralığının 15-35 ns olduğu görülmektedir. Üretici firmanın çakışma zamanı için verdiği optimum değeri 35 ns olmasına rağmen bu çalışmada optimum değer 25 ns olarak belirlenmiştir.

3.3. Alfa/Beta Puls Ayrımı

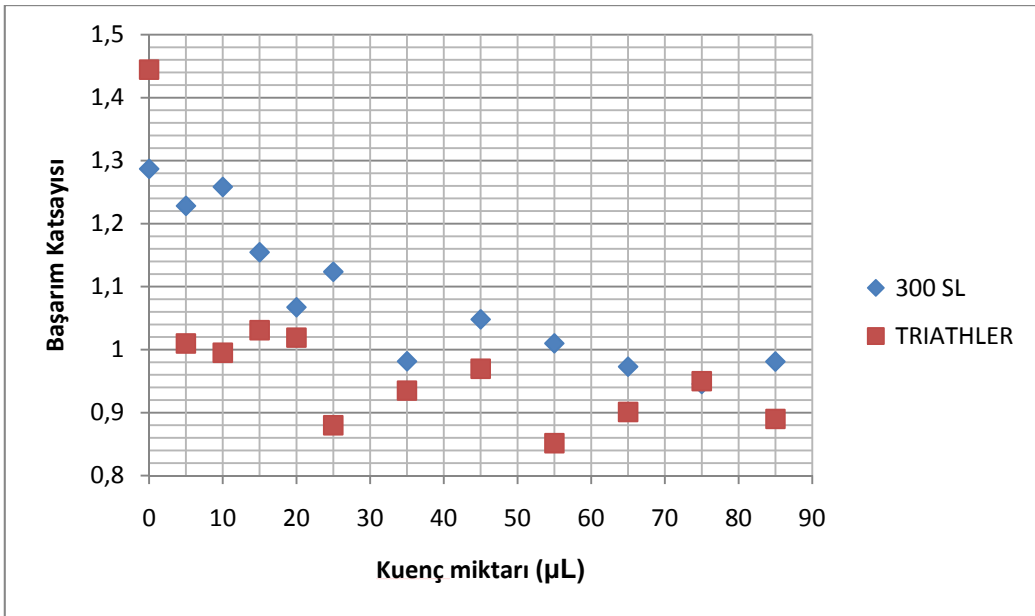
Belirtildiği gibi UGF, Mineral Oil ve Mineral Oil Old kokteylleri ve numune karışımı kullanılarak kuenç eklenmemiş durumlar için ölçümler alınmıştır. Sıfır kuenç eklenmiş numunelerde talihsizliktir ki Mineral Oil ve Mineral Oil Old için bir ayırım gözlenememiş, UGF kokteyli için net bir ayırım gözlenebilmiştir. Bundandır ki kimyasal ve renk kuenç madde miktarlarının 152 °C parlama sıcaklığına sahip, bakterilerle ayrışabilen, yüksek verim sağlayan güvenli UGF kokteylinde α/β puls ayrımı üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Sırayla 0, 5, 10, 15, 20, 25, 35, 45, 55, 65, 75, 85 μL 'lik renk kuenç eklenmiş ve yine sırayla 0, 5, 10, 15, 20, 30, 50, 70, 90, 110, 130, 150 μL 'lik kimyasal kuenç eklenmiş numuneler bir dakikalık çalkalama sürelerinden sonra 4 saatlik beklemeye bırakılmışlardır. Ve sonrasında Hidex 300SL ve Hidex Triathler detektörlerinde 60 dakikalık ölçüm işlemine tabi tutulmuşlardır. Bu ölçümler sonrasında puls ayrımı gözlenmiş, detektör

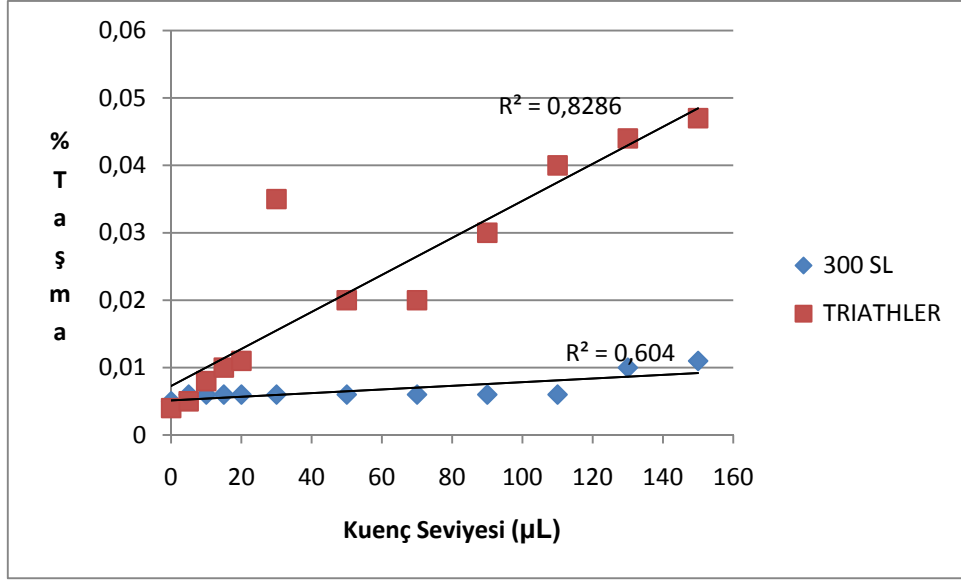
sistemindeki veriler yardımıyla başarımları katsayıları ve % taşma değerleri belirlenmesiyle aşağıdaki şekil 27, 28, 29 ve 30 elde edilmiştir.



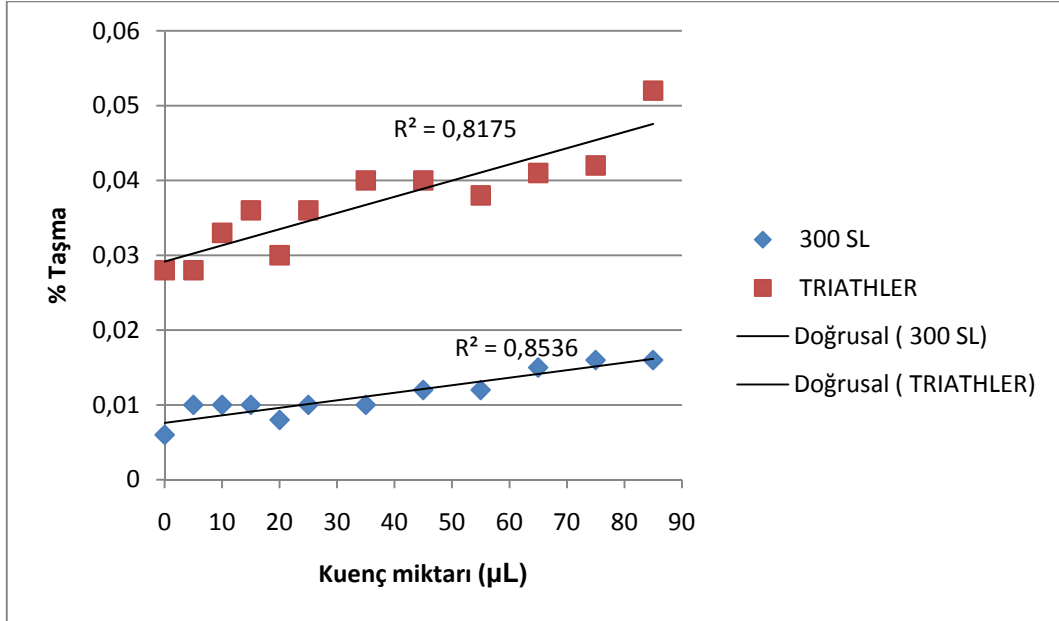
Şekil 27. 300SL ve Triathler detektörlerinde başarımları katsayısı değerlerinin kimyasal kuenç (nitrometan) miktarına göre değişimi



Şekil 28. 300SL ve Triathler detektörlerinde başarımları katsayısı değerlerinin renk kuenç (sarı gıda boyası) miktarına göre değişimi



Şekil 29. 300SL ve Triathler detektörlerinde % taşma değerlerinin kimyasal kuenç (nitrometan) miktarına göre değişimi



Şekil 30. 300SL ve Triathler detektörlerinde % taşma değerlerinin renk kuenç (sarı gıda boyası) miktarına göre değişimi

4. SONUÇLAR

Kuenç maddesi olarak sarı boya ve Nitrometan (CH_3NO_2), kokteyl olarak da Ultima Gold F kullanılan çalışmada, Hidex 300SL ve Hidex Triathler detektörlerinde α ve β background değerleri, bu background değerlerinin denklem (14)'de yerine yazılarak her iki detektör için detekte edilebilecek en düşük konsantrasyon değerleri 1'er saatlik ölçümler alınmasıyla belirlenmiştir.

Triathler detektöründe belirlenen $\text{MDA}(\alpha)$ ve $\text{MDA}(\beta)$ değerleri sırasıyla 0,94 ve 6,12 Bq/L iken 300SL detektöründe belirlenen $\text{MDA}(\alpha)$ ve $\text{MDA}(\beta)$ değerleri 0,43 ve 3,92 Bq/L bulunmuştur.

300SL detektöründe belirlenen α background değeri Triathler detektöründe belirlenen α background değerinden 6 kat daha düşük çıkmıştır. Aynı şekilde 300SL detektöründe belirlenen β background değerleri Triathler detektöründe belirlenen β background değerlerinin % 40'ı kadardır.

Bu α background değerlerine bakıldığında 300SL detektörü Triathler detektörüne göre α background belirlemede 6 kat daha hassas davranış sergilemiş, β background değerinin belirlenmesinde ise yaklaşık olarak bir kat daha hassas bir davranış sergilemiştir. ^{222}Rn ölçümlerinde olduğu gibi α sayımlarının önemli olduğu ölçümlerde 300SL detektöründe background değerinin daha hassas belirlenmesi MDA değerinin daha hassas belirlenmesine imkan tanıyacak ve düşük aktivite ölçümlerinde daha net sonuçlar verecektir.

3 adet foto çoğaltıcı tüpe sahip olan 300SL detektörünün çakışma zaman devresini kullandığından, ^{222}Rn ölçümleri için optimum çakışma zaman aralığı araştırılmıştır. İdeal aralığın 15-35 ns olduğu gözlemlenmiştir. Bu aralıkta optimum değer ise 25 ns olarak belirlenmiştir.

Yapılan çalışmada, nitrometan (kimyasal kuenç) eklenmemiş durumda Triathler detektöründe başarımlı katsayısı 1.48 elde edilmiş fakat 300SL detektöründe 1.25 elde edilmiştir. Kuenç miktarının artırılmasıyla Triathler detektöründe elde edilen başarımlı katsayısı değerleri şekil 27'de de görüleceği üzere bu değerlerin azalışı 300SL detektöründekine göre daha fazla olmuştur. 110 μL kuenç eklendiğinde 300SL detektöründe 1.34 başarımlı katsayısı elde edilirken Triathler detektöründe bu değer 1.00 olduğu görülmektedir. Maksimum nitrometan yani 150 μL kuenç maddesi eklendiğinde ise

başarım katsayısı değerlerinin 0.89 ve 0.85 değerleriyle birbirlerine neredeyse eşdeğer sonuçlar verdiği görülmektedir. Şekil 27'e bakıldığında 300SL detektöründe 90 µL nitrometan miktarından sonra başarım katsayısı değerinde düşüş gözlenmektedir. Triathler detektöründe ise 15 µL nitrometan eklenmesinden sonra başarım katsayısından hızlı bir düşüş görülmektedir.

Benzer şekilde şekil 28'dan görüleceği üzere renk kuenç maddesi eklenmemiş durumda 1.44 ile Triathler detektörü en yüksek başarım katsayısı değerine sahip olurken 300SL detektöründe bu katsayının 1.29 olduğu görülmektedir. Kuenç miktarı arttırıldığında 300SL detektöründe gözlenmiş başarım katsayısı değerlerinin Triathler detektöründe gözlenmiş değerlere göre değişimi daha fazla olmuştur. 300SL detektöründe 10 µL sarı gıda boya kuenç maddesi eklenmesinden sonra başarım katsayısının 1.23 ten 1.16 ya azaldığı görülmektedir. Triathler detektöründe ise 0 µL kuenç eklendiğinde başarım katsayısı 1.44 iken 5 µL kuenç eklendiğinde ise başarım katsayısı hızlı bir şekilde 1.00 değerine düşerek kabaca 1.00 seviyelerinde değişmektedir. Sonuç olarak Triathler detektöründe başarım katsayısı değerlerine bakıldığında 5 µL sarı gıda boya kuenç miktarı α/β ayırımını oldukça fazla etkilemekteyken, nitrometan kimyasal kuenç maddesi için α/β ayırımını oldukça etkileyen miktar ise 15 µL'dir. 300SL detektöründe başarım katsayısı değerlerine bakıldığında 90 µL nitrometan kimyasal kuenç miktarı α/β ayırımını oldukça etkiler iken, sarı gıda boya renk kuenç maddesi için 10 µL çıkmıştır. Ayrıca şekil 19'da CaF_2 Eu akış hücresi, cam sintilatör (GS-20) akış hücresi ve BaF_2 akış hücresindeki başarım katsayısı değerlerine bakıldığında 0,46, 0,27 ve 0,75 değerleri mevcuttur. Bu değerler sıvı sintilasyonda kuençsiz numunelerde belirlediğimiz değerlere göre daha düşüktür. Sonuç olarak, sıvı sintilasyonda ^{222}Rn ölçümlerinde başarım katsayısı değerleri ^{233}U ve ^{45}Ca elementlerinin CaF_2 Eu, cam sintilatör ve BaF_2 akış hücrelerindeki başarım katsayılarına göre daha yüksek sonuçlar vermiştir.

Şekil 29 ve 30'deki nitrometan kuenç maddesindeki % taşma değerlerine bakıldığında kuençsiz numunede taşma hem Triathler hem de 300SL için 0.004 civarındayken, sarı gıda boya kuenç maddesindeki % taşma değeri 300SL için 0.006 iken Triathler için 0.028 dir. Nitrometan kuenç miktarı adım adım arttırıldığında 300SL detektöründeki taşma değerlerinin Triathler detektöründeki taşma değerlerine göre az değiştiği görülmüştür. Sarı gıda boyası kuenç miktarı adım adım arttırıldığında ise 300SL ve Triathler detektörlerindeki taşma değeri yaklaşık olarak eşit değişmesine rağmen,

300SL detektöründeki taşma değerleri Triathler detektörlerindeki kabaca 3 kat daha azdır.

Ultima Gold F kokteyli yardımıyla araziden alınan numuneler alfa ve beta puls ayırımıyla radyoaktivite seviyeleri belirlenmiştir. Kuyu suyundan ve ulusal bir parktaki musluk suyundan temin edilen numuneler sırayla 573 Bq/L ve 366 Bq/L aktivitelere sahip oldukları belirlendi. Daha önce aynı kuyu suyundan temin edilen ve Mineral Oil Old ve Mineral Oil kokteyl karışımında 60 dakika sayımlar olarak ölçülen numunelerde sırasıyla 629 Bq/L ve 529 Bq/L aktiviteleri gözlenmiştir. Kuyu suyundan alınan ve UGF kokteyl karışımında saydırılan numune aktivitesi daha önceden bulunmuş olan aktiviteye göre %19 düşük çıkmasına rağmen, bu yüksek aktivite değerlerinden dolayı bu bölgenin toprak yapısının uranyum içeriği bakımından zengin olduğu sonucu çıkarılmıştır.

Bu verilerin ışığında görülmektedir ki, 300SL detektörü Triathler detektörüne göre α/β puls ayırımında daha etkili bir alettir. Bunu bölüm 2.1'de verildiği gibi 300SL detektörünün 3 foto çoğaltıcı tüp kullanması ve TDCR yöntemi kullanması olduğu söylenebilir.

5. ÖNERİLER

^{222}Rn seviyesinin belirlenmesinde puls ayrımı Ultima Gold F kokteyli, CH_3NO_2 (nitrometan) ve sarı gıda boyası kullanılan bu çalışma, tek foto çoğaltıcı ve 3 foto çoğaltıcı tüpe sahip detektörlerde araştırılmıştır. Sonraki çalışmalarda kokteyl sayısı ve çeşidini arttırarak, farklı ölçüm kapları da kullanarak, 2 foto çoğaltıcı tüpe sahip bir detektör de kullanarak ^{222}Rn miktarının belirlenmesinde puls ayrımının ne şekilde etkilendiği literatüre katılabilir.

Ayrıca doğadan elde edilmiş herhangi bir numunede genel manada kuençin mevcut olduğu söylenebilse de, kimyasal kuenç ve renk kuenç yüzdesi bilinmemektedir. İleriki çalışmalarda herhangi bir numunedeki kimyasal ve renk kuenç yüzdesi ya da miktarı puls ayırım kapasitesinin belirlenmesi yoluyla gözlemlenebilir.

6. KAYNAKLAR

1. Knoll, G., F., Radiation Detection and Measurement, Fourth Edition, 779, Wiley, Michigan, 2010.
2. Horrocks, D., L., Studies of Background Sources in Liquid Scintillation Counting, The International Journal of Applied Radiation and Isotopes, 36,8 (1985) 609-617.
3. L'Annunziata, M., F., Handbook of Radioactivity Analysis, First Edition, Academic Press, California, 1998.
4. Camp, D., C., Gatrousis, C., ve Maynard, L., A., Nucl. Instrum. Meth. 135, 559 (1974).
5. Kallman, H. (1950). Scintillation Counting with Solutions. Phys. Rev. 78(5), 621–622.
6. Reynolds, G. T., Harrison, F. B. and Salvini, G. 1950. Liquid scintillation counters. Phys. Rev. 78, 4, 488.
7. Kaihola, L., Ultra Low Background Liquid Scintillation Spectrometry of Alpha Particles, 14th International Seminar on Low-level Counting in Environmental Radioactivity Monitoring, Mayıs 1990, Tallinn, Estonya, Presentation.
8. Sanchez-Cabeza, J., A. ve Pujol, L., L., A Rapid Method for the Simultaneous Determination of Gross Alpha and Beta Activities in Water Samples Using a Low Background Liquid Scintillation Counter, Health Physics, 68, 5 (1995) 674-682.
9. Currie, L., A., Limits for Qualitative Detection and Quantitative Determination: Application to Radiochemistry, Anal. Chem., 40 (1968) 586-593.
10. Pujol, L., L., Estudi del sistema detector de centelleig liquid Quantulus 1220 per a la mesura de l'activitat de triti, alfa global i beta global en mostres d'aigua, Yüksek lisans, Universitat Autònoma de Barcelona, Catalan, 1992.
11. Sanchez-Cabeza, J., A., Pujol, L., L., Merino, J., Molero, J., Vidal-Quadras, A., Schell, W., R. and Mitchell, P., I., Optimization and Calibration of a Low Background Liquid Scintillation Counter for the Simultaneous Determination of Alpha and Beta Emitters in Aqueous Samples In: Noakes, J., E., Schönhofer, F., Polach, H., A., eds., Advances in liquid scintillation spectrometry, (1993) 43-50.
12. Rundt, K. ve Lehtinen, H., The Effect of Scintillation Pulse Shape on the Photomultiplier Response Curve, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 312, 1-2 (1992) 104-108.

13. Horrocks, D., L., Applications of Liquid Scintillation Counting, 340, Academic Press, New York, 1974.
14. Thorngate, J., H., McDowell, W., J. and Christian, D., J., An Application of Pulse Shape Discrimination to Liquid Scintillation Counting, Health Phys., 27 (1974) 123-126.
15. McKlveen, J., W. ve Johnson, W., R., Simultaneous Alpha and Beta Particle Assay Using Liquid Scintillation Counting With Pulse Shape Discrimination, Health Phys., 28 (1975), 5-11.
16. Brooks, F., D., Development of Organic Scintillators, Nuclear Instrum. Methods Phys. Res., 162 (1979), 477-505.
17. Oikari, T., Kojola, H., Nurmi, J. and Kaihola, L., Simultaneous Counting of Low alpha and Beta Particle Activities with Liquid Scintillation Spectrometry and Pulse Shape Analysis, Journal of Applied Radiation and Isotopes, 38 (1987) 875-878.
18. DeVol, T., A., Brown, D., D., Leyba, J., D. ve Fjeld, R., A., A Comparison of Four Aqueous-Miscible Liquid scintillation Cocktails With an Alpha/Beta Discriminating Wallac 1415 Liquid Scintillation Counter, Health Phys., 70, 1 (1996) 41-46.
19. DeVol, T., A. ve Fjeld, R., A., Development of an On-line Scintillation Flow-Cell Detection System with Pulse Shape Discrimination for Quantification of Actinides at Environmental Levels, IEEE Trans. Nucl. Sci., 42 (1995) 959-963.
20. DeVol, T., A., Egorov, O., B., Roane, J., E., Paulenova, A. ve Grate, J., W., Extractive Scintillating Resin for ⁹⁹Tc Quantification in Aqueous Solutions, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 249,1 (2001) 181-189.
21. Schwerdtel, E. Fachzeitschrift für das Laboratorium 9, (1965), 881.
22. Schwerdtel, E. Recent developments in liquid scintillation counting. Kerntechnik 8, (1966a), 517-520.
23. Schwerdtel, E. Simple method for an exact efficiency determination in liquid scintillation counting of low-energy β emitters. Atomkernenergie 11, (1966b), 324-325.
24. Pochwalski, K., Broda, R., ve Radoszewski, T. Standardization of pure beta emitters by liquid-scintillation counting. Appl. Radiat. Isot. 39, (1988), 165-172.

ÖZGEÇMİŞ

15 Mart 1985 Trabzon Merkez’de doğdu. 1996 yılında Namık Kemal İlköğretim okulundan, 2002 yılında Affan Kitapçıoğlu Lisesinden mezun oldu. 2003 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fizik Bölümüne kayıt yaptırmış olup, 2003-2004 yılları arasında Karadeniz Teknik Üniversitesi Yabancı Diller Yüksek okulunda bir yıl İngilizce hazırlık okudu ve başarıyla bu yabancı dil eğitimimi tamamladı. 2008 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fizik Bölümünden 2. olarak mezun oldu. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında yüksek lisansa kayıt yaptırdı.

2009 yılının Ocak ayında Bingöl Üniversitesi Fizik Bölümüne Araştırma Görevlisi olarak atandı. 2010 yılında Yüksek Öğretim Kurulu tarafından desteklenen bir burs çerçevesinde tez çalışması üzerine araştırma yapmak için Amerika Birleşik Devletleri’nde 6 ay bulundu. Halen yüksek lisans eğitimime devam etmekte ve iyi derecede İngilizce bilmektedir.