

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

KİMYA ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SENTETİK ETANOL VE TARIMSAL ETANOL
SPEKTROSKOPİK VERİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

AHMET AKTAŞ

KOCAELİ 2021

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KİMYA ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SENTETİK ETANOL VE TARIMSAL ETANOL
SPEKTROSKOPİK VERİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

AHMET AKTAŞ

Doç. Dr. Selahaddin GÜNER
Danışman, Kocaeli Üniv.

.....

Doç. Dr. Yeşim Saniye KARA
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

.....

Doç. Dr. Zehra BOZKURT
Jüri Üyesi, Düzce Üniv.

.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 04.02.2021

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında etanolün tarımsal ve sentetik formlarının izotop atomlar sıvı sintilasyon sayım yöntemiyle, alkolün niteliği ve karışım oranlarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Tez çalışmam boyunca teorik- deneysel bilgi ve tecrübelerini paylaşan, destekleyen ve doğru yönlendirmeleriyle tezin hazırlanması ve sonlandırılması boyunca yanımda olan danışman hocam Doç. Dr. Selahaddin GÜNER'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca deneysel çalışma aşamalarında grafik okuma, yorumlama ve veri değerlendirme konusunda yardımlarını esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Uğur KAYA'ya (Kocaeli Üniversitesi Fizik Bölümü Öğretim Üyesi) teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmalarında kolaylık sağlayan ve yüksek lisans eğitimim boyunca verdiği destekler için, Kocaeli Dilovası Gümrük Laboratuvar Müdürü Özlem Akdeniz CAN'a ve cihazların kalibrasyon, metotların düzenlenmesi ve analiz sonuçların yorumlanması konusunda yardımlarını esirgemeyen kimyager Esra YILMAZ'a (Güm. Tic. Bakanlığı Personeli) ve laboratuvardaki tüm mesai arkadaşlarıma destekleri için teşekkürlerimi borç bilirim.

Eğitim ve öğretim hayatım boyunca her türlü desteğini sunan canım aileme ve eşim Sevda, çocuklarım Gökay ve Giray'a sonsuz sevgilerimi sunarım.

Ocak-2021

Ahmet AKTAŞ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT	ix
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER	2
1.1. Alkoller ve Yapıları.....	2
1.2. Alkollerin Genel Özellikleri.....	2
1.3. Etil Alkol	3
1.4. Etanol Üretim Yöntemleri	4
1.4.1. Dolaylı hidrasyon yöntemi	4
1.4.2. Etilen hidrasyon yöntemi	4
1.4.3. Fermantasyon yöntemi	4
2. RADYOAKTİFLİK (ATOM ÇEKİRDEK BOZUNUMU)	5
2.1. Radyoaktif Bozunma Türleri.....	6
2.2. Yapay Çekirdek Reaksiyonları.....	8
2.2.1. Filyon (bölünme)	8
2.2.2. Füzyon (kaynaşma)	9
2.3. Radyoaktiflikte Kullanılan Birimler.....	9
2.3.1. Enerji	9
2.3.2. Aktivite.....	9
2.3.3. Yarı ömür	10
2.3.4. Doğada ¹⁴ C	12
2.4. Radyoaktifliğin Uygulamaları.....	12
3. SIVI SİNTİLASYON SAYACI (LSC).....	14
3.1. Beta Taneciği ve Foton Üretimi	14
3.2. ³ H Radyoaktif Bozunumu	15
3.3. Foton Belirlenmesi	16
3.4. LSC Enstrüman Teknolojisi	17
3.5. Sönümlenme ve Verimlilik	19
3.5.1. Sönümlenmenin etkileri	19
3.5.2. Sönümlenme parametreleri (qıp).....	22
3.6. Örnek Spektrum QIP'leri.....	23
3.6.1. Örneğin spektral indeksi (SIS)	23
3.6.2. Örnek kanal oranı (SCR).....	25
3.6.3. İzotopun spektral söndürme parametresi (SQP (I)).....	26
3.7. Harici Standart QIP'ler	26
3.7.1. Harici standart sayım: ESC	26
3.7.2. Dış standart oran: ESR	27
3.7.3. H# veya compton kenarı	29

3.7.4. Ortalama atım yüksekliği hesaplamaları (SIE)	30
3.7.5. SQP (E) veya spektral bitiş noktası hesaplamaları.....	31
3.7.6. tSIE veya dönüştürülmüş spektral indeks hesaplamaları	32
3.8. İç Standardizasyon	37
3.9. Verimlilik İzleme	38
3.10. Örnek tSIE DPM Geri Kazanım Yüzdesi (% Recovery)	42
3.11. Beta Enerji Spektrumunun Kalitatif ve Kantitatif Analizi	44
3.11.1. Giriş.....	44
3.11.2. Beta spektrumu.....	44
3.11.3. Spektral şekil	45
3.12. Doğrusal ve Logaritmik Enerji Ölçeklerinin Karşılaştırılması	47
3.13. Spektrum Tanıma	48
3.13.1. Maksimum beta parçacık enerjisi: E_{max}	48
3.13.2. Pik şiddetinde atım yüksekliği: E_p	49
3.13.2.1. Üst kenarın dönüm noktası: $H \#$	49
3.13.3. Ortalama enerji (E_{av}) ve spektral indeks (SIS).....	50
3.13.4. Girişim ve spektrum analizi sayma	51
3.13.5. Kemilüminesans / fotolüminesans algılama ve düzeltme	52
3.13.5.1. Kemilüminesansın kökeni	52
3.13.5.2. Kemilüminesans kontrolü.....	53
3.13.5.3. Girişim sayma.....	53
3.13.5.4. Lüminesans düzeltme	54
3.13.5.5. Lüminesans ve örnek hazırlama	54
3.13.5.6. Fotolüminesans.....	55
4. MATERYAL VE YÖNTEM	56
4.1. Kullanılan Kimyasal Maddeler	56
4.1.1. Tarımsal etanol.....	56
4.1.2. Sentetik etanol	56
4.1.3. Ultima gold kokteyl.....	56
4.2. Kullanılan Cihazlar.....	57
4.2.1. Kırılma indisi cihazı	57
4.2.2. Dijital yoğunluk tayin cihazı	57
4.2.3. Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopi cihazı	58
4.2.4. Sıvı sintilasyon spektrometresi cihazı	59
4.3. Yöntem	60
4.3.1. Kırılma indisi.....	60
4.3.2. Yoğunluk	60
4.3.3. Ftr	60
4.3.4. Sintilasyon	61
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	62
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	69
KAYNAKLAR	70
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	72
ÖZGEÇMİŞ	72

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Alkol yapıları	2
Şekil 1.2.	Alkol ve su yapıları	2
Şekil 1.3.	Alkol tepkime grupları	3
Şekil 2.1.	Atom yapısı	7
Şekil 3.1.	β - Salınımı	14
Şekil 3.2.	Sintilasyon uyarımı	15
Şekil 3.3.	Basitleştirilmiş sıvı sintilasyon sistemi	17
Şekil 3.4.	PMT sayımı	18
Şekil 3.5.	Sönümleme ile enerji dönüşüm sürecinin gösterimi	19
Şekil 3.6.	Sönümlemenin enerji spektrumu üzerindeki etkisi	20
Şekil 3.7.	Sönümlemenin birikmiş spektrum üzerindeki etkisi	21
Şekil 3.8.	SIS'e dayalı verimlilik korelasyonu	22
Şekil 3.9.	SIS'i QIP olarak kullanan hacimden bağımsızlık	24
Şekil 3.10.	SIS'i QIP olarak kokteyl yoğunluğundan bağımsız hesaplanması	24
Şekil 3.11.	QIP yöntemi olarak örnek kanal oranı A/B veya B/A	25
Şekil 3.12.	Harici standart bölgesinde harici standart sayımların Compton spektrumu	26
Şekil 3.13.	ESR hesaplamaları için harici standart bölgeler. (^{137}Cs Compton spektrumu)	27
Şekil 3.14.	^{137}Cs dış standart spektrum (a) doğrusal veya (b) logaritmik ölçek Compton kenarı	30
Şekil 3.15.	^{226}Ra Harici Standart Spektrum Kullanılarak SQP (E) Belirleme	31
Şekil 3.16.	Duvar etkisi 400 kanalın üstündeki spektrumu da etkiler	32
Şekil 3.17.	^{133}Ba ve ESP ile (a) duvar etkisi (b) duvar etkili kontrol LSC	34
Şekil 3.18.	^{133}Ba (a) harici standart spektrum (b) dönüştürülmüş harici standart spektrum	34
Şekil 3.19.	TSIE kullanarak trityumun DPM geri kazanımında zamanın bir fonksiyonu olarak duvar etkisi	35
Şekil 3.20.	TSIE'yi QIP olarak kullanarak hacmin DPM kurtarma üzerindeki etkisi	36
Şekil 3.21.	^{14}C söndürülmemiş standart için tipik % verimlilik - BGBM	38
Şekil 3.22.	TSIE = 437 söndürme düzeyinde ^{59}Fe için verimlilik izleme eğrisi	40
Şekil 3.23.	TSIE = 204 söndürme düzeyinde ^{63}Ni için verimlilik izleme eğrisi	41
Şekil 3.24.	TSIE = 953 söndürme düzeyinde ^{38}Cl için verimlilik izleme eğrisi	41
Şekil 3.25.	Dört söndürme düzeyinde ^{63}Ni için verimlilik izleme eğrileri	42
Şekil 3.26.	100 DPM içeren ^{14}C numunenin verimlilik takibi ve dört numunenin istatistikleri	43
Şekil 3.27.	Saf beta yayıcılar	45
Şekil 3.28.	Atım yükseklik dağılımı	45
Şekil 3.29.	Teorik ve gerçek spektrum şekli	46

Şekil 3.30. Teorik ^{14}C beta parçacık enerji dağıtımı.....	48
Şekil 3.31. Eğilme noktaları	49
Şekil 3.32. Bileşke beta enerji spektrumları	50
Şekil 4.1. Anton paar abbemat 200 dijital refraktometre	57
Şekil 4.2. Anton Paar DMA 500 yoğunluk ölçer.....	58
Şekil 4.3. Perkin Elmer Spectrum Two FTIR cihazı	59
Şekil 4.4. Perkin elmer tr2900 LSC	59
Şekil 4.5. Lsc Tri-Carb 2900 cihazı	60
Şekil 5.1. ^{14}C sayım grafik eğrisi	63
Şekil 5.2. Kırılma indisi grafik eğrisi	64
Şekil 5.3. Yoğunluk grafik eğrisi	66
Şekil 5.4. FTIR spektrumu 450-4000 cm^{-1} aralığı	67
Şekil 5.5. FTIR Spektrumu 3280-3380 cm^{-1} aralığı.....	68
Şekil 5.6. FTIR Absorbans grafik eğrisi	68



TABLULAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Hidrojen ve karbon izotoplarının özellikleri	6
Tablo 2.2. Aktivite birimleri.....	10
Tablo 3.1. Çeşitli söndürme seviyelerinde çeşitli nükleitlerin verimlilik izleme sonuçları	39
Tablo 3.2. Sönümlenme verileri	40
Tablo 4.1. Kırılma indisi özellikleri	57
Tablo 4.2. Anton Paar DMA 500	58
Tablo 4.3. Perkin Elmer Spectrum Two FTIR cihaz özellikleri.....	59
Tablo 4.4. Yoğunluk % dağılımı	61
Tablo 5.1. ¹⁴ C Sayım değerleri	65
Tablo 5.2. Kırılma indisi değerleri	63
Tablo 5.3. Yoğunluk deney sonuçları.....	65

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

As	: Amper saniye
Bq	: Becquerel
C	: Coulomb
¹² C	: Karbon 12 izotopu
CO ₂	: Karbon dioksit
Ci	: Curie
ρ	: Yoğunluk, (g/cm ³)
J	: Joule
KeV	: Kilo elektron volt
nD	: Kırılma indisi
SI	: Uluslararası sistem
¹³³ Ba	: Baryum 133 izotopu
¹⁴ C	: Karbon 14 izotopu
²²⁶ Ra	: Radyum
³ H	: Tritiyum izotopu
n ⁰	: Nötrino
α	: Alfa ışınması
β	: Beta ışınması
γ	: Gama ışınması
λ	: Bozunma sabiti

Kısaltmalar

CPM	: Count Peer Minute (Dakikada ki Sayım Miktarı)
DPM	: Desintegrations Per Minute (Dakikadaki Parçalanma Sayısı)
E	: Enerji, (J)
ESC	: Harici Standart Sayımlar
ESP	: Harici Standart Atım
FTIR	: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
GC	: Gaz Kromatografisi
H#	: Dönüm Noktası Compton Kenarı
LSC	: Sıvı Sintilasyon Sayacı
ml	: Mililitre
PMT	: Foto Çoğaltıcı Tüp
QIP	: Sönümlenme Parametresi
SCR	: Örnek Kanal Oranı
SIE	: Spektral İndeks Harici Standart
SIS	: Spektral İndeks
SQP	: Harici Standardın Spektral Sönümlenme Parametresi
SQP	: İzotopun Spektral Söndürme Parametresi
tSIE	: Dış Standardın Dönüştürülmüş Spektral İndeksi

SENTETİK ETANOL VE TARIMSAL ETANOLÜN SPEKTROSKOPİK VERİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Bu çalışma doğada sabit oranda bulunan kararsız ^{14}C izotop atomunun sıvı sintilasyon yöntemi ile araştırılması ve etil alkolün tarımsal veya sentetik olup olmadığının tespiti üzerine oluşturulmuştur. Temel olarak sintilasyon yöntemi ^{14}C izotop sayımı yapar. Etil alkol, tarımsal ve sentetik kökenli olmak üzere iki farklı yolla üretilir. Sentetik etil alkol petrol, kömür ve gaz gibi kaynaklarından, çeşitli aşamalardan geçerken, tarımsal etil alkol ise şeker pancarı, mısır, incir, üzüm gibi tarım ürünlerinin çeşitli mayalanma aşamalarından geçerek elde edilmesi esasına dayanır. Bu çalışmamızda ^{14}C izotop atomlarını içeren tarımsal etanolün sıvı kokteyl uyarımı ile oluşan fotoluminesans ve kemilüminesans ışınımını yaparak sayım yaptığı ve sentetik etanolde bulunan ^{12}C izotop atomlarının ise etkilenmeden kaldığı görülmüştür. Bununla birlikte tarımsal ve sentetik etanolün FTIR spektroskopisi, kırılma indisi, yoğunluk gibi yöntemlerle aralarındaki belirgin farklar deneysel çalışmalarla gözlemlendi. Bunun sonucunda, bu çalışma bir etanol örneğinin köken itibarıyla tarımsal veya sentetik olduğu veya hangi oranda karışım içerdiği gibi sorunlara çözüm sunmuştur.

Anahtar Kelimeler: ^{14}C İzotop, Etil Alkol, Infrared, Kırılma İndisi, Sintilasyon.

COMPARISON OF SYNTHETIC ETHANOL AND AGRICULTURAL ETHANOL SPECTROSCOPIC DATA

ABSTRACT

This study was created by investigating the unstable ^{14}C isotope atom found in nature at a constant rate by liquid scintillation method and determining whether ethyl alcohol is agricultural or synthetic. Basically the scintillation method counts the ^{14}C isotope. Ethyl alcohol is produced in two different ways, agricultural and synthetic. While synthetic ethyl alcohol passes through various stages from resources such as oil, coal and gas, agricultural ethyl alcohol is based on the principle of obtaining agricultural products such as sugar beet, corn, fig, and grape through various fermentation stages. In this study, it was observed that agricultural ethanol containing ^{14}C isotope atoms counted by photoluminescence and chemiluminescence emitted by liquid cocktail stimulation, and the ^{12}C isotope atoms in synthetic ethanol remained unaffected. However, significant differences between agricultural and synthetic ethanol using methods such as FTIR spectroscopy, refractive index and density were observed in experimental studies. As a result, this study solved the problems such as whether an ethanol sample is agricultural or synthetic in origin or to what ratio it contains a mixture.

Keywords: ^{14}C Isotope, Ethyl Alcohol, Infrared, Refractive Index, Scintillation.

GİRİŞ

Günümüzde sağlık, gıda ve sanayi alanlarında kullanım ihtiyacı bulunan etil alkolün dünyada artan bir talebi olmuştur. Özellikle benzin ve dizel yakıtlarda katkı maddesi olarak kullanılması çevre kirliliğinin önlenmesi açısından önemlidir.

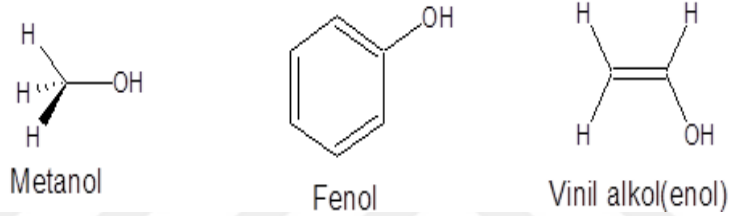
Bununla birlikte tüm dünyada ve ülkemizde de görülen korona virüs salgının ardından artan dezenfektan miktarı da etil alkolün üretim ve önemini bir kez daha göstermiştir. Etil alkolün içecek sektöründe de çok sık kullanıldığı ve bununla birlikte artan talep karşısında sağlıksız ortamlarda üretim yapıldığı ve sonucunda zehirlenme vakalarının artışına sebep olduğu görülmüştür. Etil alkolün tarımsal yollarla üretimi yapılan ve sentetik üretim içermeyen formunun kullanılması ve kontrolünün artması gerekmektedir.

Bu çalışmada etil alkolün sentetik veya tarımsal yollardan mı elde edildiği ve eğer varsa karışımlarının tespiti gibi çalışmalara ağırlık verilmiştir. Bunun için LSC ile ¹⁴C izotop sayımı yaparak tarımsal ayırımının yapılması ve FTIR, kırılma indisi ve yoğunluk farkları gibi analiz yöntemleriyle bu ayırımların yapılması amaçlanmıştır.

1. GENEL BİLGİLER

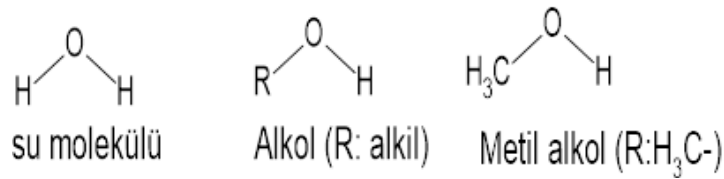
1.1. Alkoller ve Yapıları

Yapılarında hidroksil (OH) fonksiyonel grubu bulunduran sp^3 -melezleşmiş organik bileşikler alkol olarak adlandırılır. Bu tanım aromatik bileşiklerde hidroksil grubunun bağlı olduğu fenoller ve benzer şekilde iki katlı (C=C bağ) karbon atomlarından bir tanesine doğrudan bağlı hidroksil grubu bulunduran enollerin (vinil alkoller) alkol sınıfına dahil etmemektedir (Şekil 1.1.).



Şekil 1.1. Alkol yapıları

Şekil 1.1'deki üç bileşikte yapılarında hidroksil grubu içermesine rağmen, bu bileşikler farklı kimyasal özellikleri ile birbirinden oldukça farklıdır. Alkol su molekülündeki iki hidrojen atomundan bir tanesinin alkil (R) grubunun yer değiştirmesi ile oluşan türevi kabul edilebilir. Genel formülleri R-OH şeklindedir. Su ve alkolün kimyasal yapılarının karşılaştırılması verilmiştir.



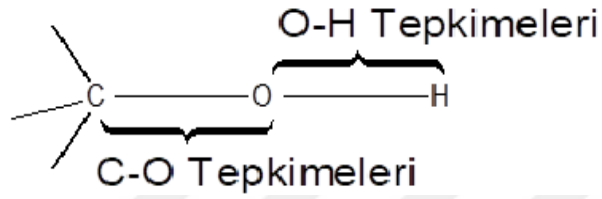
Şekil 1.2. Alkol ve su yapıları

1.2. Alkollerin Genel Özellikleri

Yapılarında elektronegatif oksijen atomu bulunduran polar hidroksil grubu nedeniyle alkan ve alkenlere karşılaştırıldıklarında çok daha polar bileşiklerdir. Metanol, etanol, propanol ve bütanol gibi küçük alkollerin suda iyi çözünmelerine rağmen, genelde karbon sayısı arttıkça alkollerin su içindeki çözünürlükleri azalır.

Alkollerin suda çözünmeleri, su molekülleri yaptıkları hidrojen bağının bir sonucudur. Diğer taraftan saf alkol molekülleri kendi molekülleri arasında hidrojen bağı yaparak kaynama sıcaklıkları aynı ya da yakın sahip molekül kütlesine hidrojen bağı yapamayan moleküllerden daha yüksektir.

Alkoller karbon-oksijen (C-O) ve oksijen-hidrojen (O-H) bağlarından olmak üzere iki tür tepkime verebilirler.



Şekil 1.3. Alkol tepkime grupları

1.3. Etil Alkol

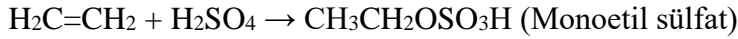
Renksiz, uçucu ve yanabilir bir sıvı olan Etil alkol, organik bileşikler içinde önemli bir bileşendir. Etil alkol ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) $78\text{ }^\circ\text{C}$ 'de sıcaklıkta kaynar ve $-114\text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta donar. Etil alkolün düşük donma sıcaklığına sahip olması nedeniyle $-40\text{ }^\circ\text{C}$ 'den daha küçük sıcaklıkları ölçebilen termometrelerde ve soğutma suyunun donmasını engellemek için otomobil radyatörlerinde antifriz olarak da kullanılmaktadır. Etanol, mikroplar öldürülmesinde doğrudan ya da %75 etanol içeren sulu çözeltileri antiseptik ve dezenfektan olarak kullanılır. Yanma tepkimesinden enerji açığa çıktığı için etil alkol ideal bir yakıttır. Etil alkol su ve birçok organik bileşenle karıştığı için çözücü olarak parfüm, boya, vernik ve patlayıcıların yapımında kullanılır. Fosil yakıt kaynaklarının giderek azaldığı kabul edilirse yenilebilir özelliğe tarımsal Etanolün biyolojik yakıt olarak kullanımını sağlamaktadır [1]. Yakıt etanolün en yaygın ilave oranı %10 etanol %90 benzindir. %10 etanol katkılı yakıtın kullanılması yayılan karbondioksit miktarını %6-10 düşürmektedir. Etanolün yüksek oksijen içeriğinden dolayı (%35 ağırlıkça), yüksek oktandır. Şeker içeren atıklar etanol üretiminde kullanılarak hızlı artan ihtiyacı karşılamakla ve maliyeti azaltmakla birlikte, tarımsal ve endüstriyel atıkları kullanmak ve çevreyi koruyarak, sonuçta ekonomik değeri olan bir ürün elde etmektir [2].

1.4. Etanol Üretim Yöntemleri

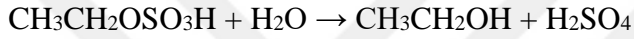
1.4.1. Dolaylı hidrasyon yöntemi

Üç aşamadan gerçekleşir;

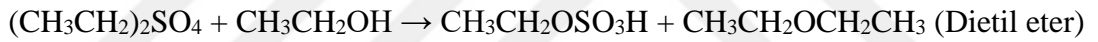
a) Etilenin mono ve dietil sülfatlardan konsantre edilmiş sülfürik aside absorbe edilmesi.



b) Etil sülfatların etil alkole hidrolizleri.



c) Seyreltik sülfürik asidin yoğunlaştırılması.



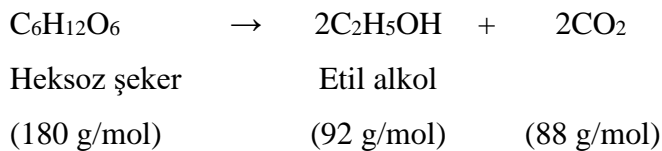
1.4.2. Etilen hidrasyon yöntemi

Yüksek basınç (1000 psi) ve yüksek sıcaklıkta (300 °C) gerçekleşen ısı salan (ekzotermik) bir tepkimedir.



1.4.3. Fermantasyon yöntemi

Fermantasyon, mikroorganizmaların işlevi ve etkisi ile, yüksek molekül ağırlığına sahip organik bileşiklerin, daha küçük ürünlere dönüşmesidir. Bu işlem ısı salan bir olaydır. Mekaniksel olarak fermantasyon ilk olarak Gay-Lussac tarafından çalışılmıştır. Gay-Lussac, şekerin etanol ve karbondioksit dönüşümünü stokiometrik olarak tanımlanmıştır [3].



2. RADYOAKTİFLİK (ATOM ÇEKİRDEK BOZUNUMU)

Radyoaktiflik (Atom çekirdek bozunumu), atom çekirdeğinin tanecik veya elektromanyetik ışına yaparak kendiliğinden parçalandığı bir enerji türüdür ve bu ışına radyasyon olarak adlandırılır. Çevremizde her zaman radyasyon bulunur insan sağlığına zarar verecek oranda değildir. Radyasyonun fazlası insan sağlığını tehdit eder ve ölüme yol açabilir. Doğal radyasyon bazı kimyasal elementler ile uzay boşluğundaki yıldızlar ve bazı nesnelere tarafından üretilir. Radyasyon, doğrusal hızlandırıcı veya parçacık hızlandırıcı adı verilen Siklotron (ivmeleyici) ile üretilir.

Atom çekirdeğinin kendiliğinden başka bir çekirdeğe değişmesi (parçalanma), temel özellikleri farklı başka bir çekirdeğin elde edilmesi trans mutasyon olarak tanımlanır. Çekirdek bozunumları, atom çekirdeklerinin kararsızlıklarının göstergesidir. Bir maddenin radyoaktiflik özelliği elementlerin katı, sıvı gaz ya da bileşik halinde olması etkilemez.

Bir atomun çekirdeği, sürekli hareket halinde sıkıca bağlı proton ve nötron gruplarından oluşur. Atom türleri, çekirdek içeriklerine göre belirlenir ve nüklit olarak adlandırılır. Nüklitler çekirdekteki proton sayısına göre gruplara ayrılabilir ve her grup kendisini oluşturan tek bir elementin kimyasal özelliklerine sahiptir: her grubun üyeleri o elementin izotopları olarak bilinir. Nüklit, bir atomik türü ifade ederken, izotop, tek bir elementin çeşitli formlarıyla sınırlıdır. İzotop atomlar tek bir elementin proton sayıları aynı nötron sayıları farklı atomlarıdır. Atomun çekirdeğinde bulunan temel tanecikler proton ve nötron olup bunlara nükleon (Nükleon = proton + nötron) adı verilir [3].

Bir element izotopları farklı fiziksel özellikler gösterir, çünkü bu özellikler her izotopta farklı olan nükleer kütle, nükleer hacim ve nükleer yükün yoğunluğuna bağlıdır. Örneğin, sadece tek proton içeren kararlı hidrojen (H) tek proton ve iki nötron içeren radyoaktif trityum (^3H) kütlelerinin 1/3 kadardır.

Tablo 2.1. Hidrojen ve karbon izotoplarının özellikleri

Sembol	Hidrojen			Karbon					
	¹ H	² H	³ H	¹⁰ C	¹¹ C	¹² C	¹³ C	¹⁴ C	¹⁵ C
Proton (Atom numarası, Z)	1	1	1	6	6	6	6	6	6
Nötronlar		1	2	4	5	6	7	8	9
Toplam tanecik (Kütle numarası, A)	1	2	3	10	11	12	13	14	15
Doğadaki bolluğu (%)	99,98	0,02	-	-	-	98,9	1,1	-	-
Yarı ömür	Kararlı	Kararlı	12,43 yıl	19 s	20 min.	Kararlı	Kararlı	5730 yıl	2,3 s
Yayınım	-	-	β^-	β^+	β^+	-	-	β^-	β^-
Maksimum yayınım enerjisi (MeV) β^+	-	-	0,018	1,9	0,96	-	-	0,156	4,3-9
γ	-	-	-	0,72-1,03	-	-	-	-	5,3
Çekirdek ürünü	-	-	⁴ He	¹⁰ B	¹¹ B	-	-	¹⁴ N	¹⁵ N

2.1. Radyoaktif Bozunma Türleri

Kararsız radyonüklit veya bir izotop söz konusu olduğunda, belirlenemeyen bir zamanda kendiliğinden yüklenir ya da bozunur. Bu bozunum, nüklitin yaydığı parçacıklar veya elektromanyetik radyasyonun saptanmasıyla gözlemlenir. İlişkili yayınımları ile bozunum radyoaktiflik olarak bilinir ve ortaya çıkan parçalanma ürününün (nüklit) nüklite kendisi de bozulabilir ve kararlı bir forma ulaşılmadan önce bir dizi radyoaktif nüklit üretilebilir.

Bir çekirdeğin kararlılığı, protonların ve nötronların göreceli oranlarına bağlıdır. Genel olarak, bu oranlar kararlı değerlerden ne kadar uzaklaşırsa, kararsızlık o kadar artar ve bozunum o kadar çabuk olur.

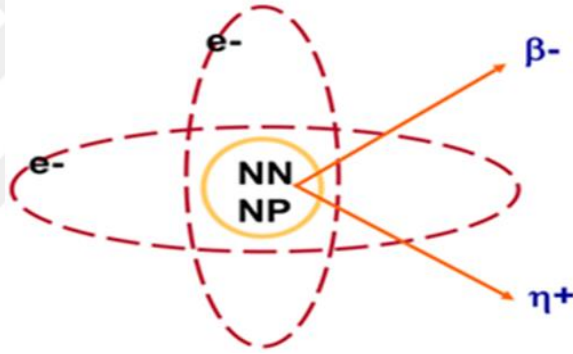
Radyoaktif bozunum sırasında saçılan radyasyon nötronlar, alfa parçacıkları, beta parçacıkları gibi parçacıklar şeklinde olabileceği gibi, gama ve X-ışını gibi saf enerji formunda da olabilir.

α (Alfa) ışıması: İki Nötron ve iki protondan meydana gelen, +2 yüklü bir Helyum çekirdeği yaymaktır. Bu ışıma sonucunda, proton ve nötron sayıları ikişer birim azalır.

Bu tanecikler +2 yüklü oldukları için elektromanyetik çekime de yakalanırlar. Bu ışımaların durdurulması çok kolaydır. Örneğin bir kâğıt yaprak bile yeterli olur.

β (Beta) ışınması: Pozitron veya elektron yayımıdır. Pozitron, elektronun anti maddesidir ve elektron yayımlamanın tam tersi olarak gerçekleşir. Beta ışınmaları alfa taneciklerine göre daha hızlıdır. Durdurulmaları daha zordur. Yüklü oldukları için manyetik alanda sapma gösterirler.

1 nötron, 1 protona dönüşürken 1 elektron ve 1 anti elektron nötrinosu fırlatır (Şekil 2.1.). Buna Beta ışınması denir. Proton sayısı 1 artar. Nötron sayısı 1 azalır. Kütle numarası değişmez. 1 proton; 1 nötrona dönüşürken 1 pozitron ve 1 elektron nötrinosu fırlatır. Buna Pozitron ışınması denir. Proton sayısı 1 azalırken, nötron sayısı 1 artar. Kütle numarası değişmez.



Şekil 2.1. Atom yapısı

γ (Gamma) ışınması: Bir çekirdeği uyarılmış bir halden, daha az uyarılmış veya kararlı hale getiren bir ışık ışınlarına benzeyen, yüksek frekanslı (yüksek enerjili), elektromanyetik radyasyon (parçacık olmayan) ışınlarıdır. Yüksüz oldukları için nerdeyse bütün maddelerin içerisinden geçebilirler ve manyetik alanda sapma göstermezler. Radyoaktif bozunumların çoğunda yayılabilirler ve diğer elektromanyetik ışımalarından farklılığı dalga boylarının kısa (yaklaşık 0,001-0,1 μm) olmasıdır.

X-ışını, iç orbitallerdeki bir elektronun kararsız çekirdek tarafından yakalanması ile oluşan iç kabuktaki boşluk yüksek enerjili kabuktaki bir elektron ile doldurulup yörünge elektronlarının yeniden düzenlenmesi sırasında üretilen ışınlarıdır. X-ışını yayımını bir protonun bir nötrona dönüşmesine neden olur X-ışınları genellikle γ -

ışınlarından daha düşük enerjili (<100keV, daha uzun dalga boyları) olduğu için, perdeleme daha kolaydır.

2.2. Yapay Çekirdek Reaksiyonları

Kararsız çekirdeğe sahip, radyoaktif bir atomun hiçbir dış etkiye bağlı kalmaksızın, kendiliğinden ışımlar yaparak başka çekirdeklere dönüşmesi olayına doğal radyoaktiflik denir.

Doğal radyoaktif çekirdek tepkimeleri;

$X \rightarrow Y + (\text{ışırma})$ şeklindedir.

Tepkimedeki X, doğal radyoaktif atomu, Y ise oluşan yeni atomu göstermektedir.

Radyoaktif olmayan bir atom çekirdeğinin, temel taneciklerle (alfa, nötron, proton) bombardıman edilerek kararsız çekirdek haline dönüştürülmesi olayına yapay radyoaktiflik denir.

Yapay radyoaktif çekirdek tepkimeleri,

$X + a \rightarrow Y + (\text{ışırma})$

X: kararlı çekirdeğe sahip atom

a: bombardımanda kullanılan tanecik

Y: tepkimede oluşan kararsız tanecik

Y çekirdeği, doğal radyoaktif bozunuma uğrayarak başka çekirdeklere dönüşür. Doğal radyoaktiflik olaylarında bozunum, ışıma ve fırlatma gibi ifadeler kullanılırken yapay radyo aktiflikte bombardıman ifadesi kullanılır. Bombardıman etme işlemlerinde kullanılan en uygun tanecik nötrondur. Çünkü nötron yüksüz olduğu için çekirdek tarafından itilmez ve böylelikle kolayca etkileşime girilebilir [4].

2.2.1. Filyon (bölünme)

Filyon, kütle numarası çok büyük bir atom çekirdeğinin parçalanarak kütle numarası küçük iki çekirdeğe dönüşmesi olayıdır. Filyon reaksiyonlarında radyoaktif elementler kullanılır ve tepkimeler için bir ilk enerjiye (aktifleşme enerjisi) ihtiyaç vardır.

Reaksiyon sonucunda kararsız çekirdekler ve nötron oluşur. Oluşan nötronların her biri yeni bir atom ile tepkimeye girer. Bu aşamada açığa çıkan nötronlar ortamdaki uzaklaştırılmazsa tepkime zincirleme olarak devam eder.

2.2.2. Füzyon (kaynaşma)

Nükleer füzyon, nükleer kaynaşma ya da kısaca füzyon; iki küçük kütleli element çekirdeklerinin nükleer tepkimeler ile birleşerek daha büyük kütleli bir element oluşturmasıdır. Çekirdek tepkimesi olarak da bilinen bu tepkimede açığa çıkan enerji miktarı oldukça fazladır. Kaynaşma tepkimesi ile oluşturulabilecek en büyük kütleli element demirdir.

2.3. Radyoaktiflikte Kullanılan Birimler

2.3.1. Enerji

SI birim sisteminde enerjinin birimi joule (J) olmasına rağmen radyasyon enerjisinin ölçülmesinde yaygın olarak kullanılan birim, elektron voltur (eV). Elektron volt (eV), bir elektronun 1 voltluk potansiyel farkla hızlandığında kazandığı kinetik enerji olarak tanımlanır. Kilo elektron volt (keV) ve mega elektron volt (MeV) katları, iyonlaştırıcı radyasyon enerjilerinin ölçülmesinde daha yaygındır.

Bir elektron volt, 1 voltluk bir potansiyel farkla taşındığında, bir elektron üzerinde yapılan çalışmadır (elektron üzerindeki yük = $1,602189 \times 10^{-19}$ C, C = Coulomb = Amper saniye, As), diğer bir deyişle

$$\begin{aligned} 1 \text{ eV} &= 1,602189 \times 10^{-19} \text{ CV [VAs = CV]} \\ &= 1,602189 \times 10^{-19} \text{ J (çünkü, 1J = 1 CV)} \end{aligned} \quad (2.1)$$

2.3.2. Aktivite

SI sisteminde kabul edilen basit aktivite birimi, Becquerel (Bq)'dir, 1Bq'nin saniyede tek bir tür dezintegrasyon (parçalanma) (dps) olduğu becquerel'dir (Bq).

Hala 1 curie (Ci)'nin saniyede $3,70 \times 10^{10}$ parçalanma (Bq) olduğu SI öncesi birim olan curie (Ci) kullanma konusunda güçlü bir gelenek vardır.

Tablo 2.2. Aktivite birimleri

1 Ci	=	37 GBq	=	2,2x10 ¹² DPM (dakikadaki parçalanma sayısı)
1 mCi	=	37 MBq	=	2,2x10 ⁹ DPM
1 µCi	=	37 kBq	=	2,2x10 ⁶ DPM
1 pCi	=	37 mBq	=	2,2 DPM
1 Bq	=	27 pCi	=	60 DPM
1 kBq	=	27 nCi	=	60x10 ³ DPM
1 MBq	=	27 µCi	=	60x10 ⁶ DPM

2.3.3. Yarı ömür

Bir radyoaktif kaynağın veya radyonüklit örneğinin aktivitesi, mukavemeti veya yoğunluğu veya başka bir deyişle birim zamanda bozulan çekirdek sayısıdır. Bir radyonüklit numunesinin aktivitesi zamanla azalır. Belirli bir miktarda radyonüklit için radyoaktivite oranında gözlenebilir bir değişikliğin olduğu bir zaman, saniyelerle çok hızlı veya yıllarla çok yavaş olabilir. Bazı nüklitlerin bozunum hızı o kadar yavaştır ki, radyoaktivitede herhangi bir değişiklik gözlemek imkânsızdır [4]. Radyonüklit bozunma hızları genellikle yarılanma ömrü olarak ifade edilir. Bu, belirli bir miktarda radyonüklitin aktivitesinin %50'sini kaybetmesi için gereken (t) zamanıdır. Radyonüklit bozunumu üstel bir ilişkidir ve en iyi şekilde matematiksel terimlerle tanımlanabilir. Birim zamanda (dt) parçalanmış olan atomların sayısı, (dN), radyoaktif atomların sayısı, (N) ile orantılıdır.

Bu ilişki şöyle yazılabilir:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

Burada λ orantı ya da bozunum katsayısıdır.

$$t = 0 \Rightarrow N = N_0 \text{ ve} \tag{2.2}$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \Rightarrow \frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t} \Rightarrow \text{Eşitliğin her iki tarafının doğal logaritması alınır.}$$

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t \text{ Ya da } \ln \frac{N_0}{N} = \lambda t \tag{2.3}$$

Bu zamana göre:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N_0 e^{-\lambda t} \quad (2.4)$$

Burada e doğal logaritmanın temelidir, λ bozunma sabiti ve $0, t$ zaman aralığıdır. Bu denklem, belirli bir zaman aralığında bir radyonüklit örneğinin bozunumunu belirlemek için kullanılır. Denklemin çözümünde, λ 'nın değeri bilinmelidir ve bu her radyonüklit için farklıdır. Belirli bir radyonüklit için, bozunum katsayısı ile yarılanma ömrü arasındaki ilişki denklem' den türetilebilir.

Yarılanma süresi için radyonüklit sayısı;

$$\begin{aligned} N_{1/2} &= \frac{1}{2} \times N_0 \\ \ln \frac{N_0}{N_{1/2}} &= \lambda T_{1/2} \\ \ln \frac{N_0}{N_{1/2}} = \lambda T_{1/2} &\Rightarrow \ln \frac{1}{1/2} = \lambda T_{1/2} \Rightarrow \ln 2 = \lambda T_{1/2} \end{aligned} \quad (2.5)$$

Burada N_0 'a birim değeri verilir ve $N_{1/2}$ değeri $\frac{1}{2} \times N_0$, $T_{1/2}$ yarılanma ömründen sonra kalan N_0 kısmını gösterir. Denklem (2.5) ayrıca şu şekilde de yazılabilir:

$$\ln 2 = \lambda T_{1/2} \rightarrow \lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \quad (2.6)$$

Denklem (2.6) şimdi şu şekilde yazılabilir:

$$N = N_0 e^{-\frac{\ln 2 t}{T_{1/2}}} \quad (2.7)$$

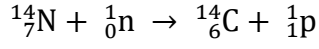
Burada N , t zamanından sonra kalan bozunmadan kalan atomların sayısıdır. Deneysel olarak ölçülen bir numunenin aktivitesidir ve aktivite (A) N ile doğru orantılı olduğundan, yukarıdaki denklem (2.7) şöyle olur:

$$A = A_0 e^{-\frac{\ln 2 t}{T_{1/2}}} = A_0 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}} \quad (2.8)$$

Burada A , t zamanından sonra kalan aktivitedir.

2.3.4. Doğada ^{14}C

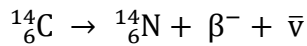
Kozmik radyasyon, nitrojenin nötron bombardımanı ile stratosferde ^{14}C (Radyo karbon) üretir [5].



^{14}C üretim hızı 7,5 kg/yıl'dır. ^{14}C derişimi, atmosferin hızlı karışması nedeniyle yaklaşık olarak sabit kalır, ancak kutuplarda kozmik yoğunluk, dünyanın manyetik alan çizgileri boyunca yüklü kozmik parçacıkların sapması nedeniyle daha yüksektir (Kutuplarda ve ekvatorlarda).

Sonuç olarak, ^{14}C atomları, "ağır" $^{14}\text{CO}_2$ oluşturmak üzere oksijenle birleşirler. Ağır CO_2 sıradan karbondioksitten ayırt edilemez. Denge halindeki yeryüzündeki toplam ^{14}C miktarı 62 ton olup, bu biyosfer, atmosfer ve okyanuslardaki tüm karbonun yüzde 10^{-10} dur.

CO_2 konsantrasyonu dünya üzerinde homojen olacak ve bitkiler tarafından kullanıldığı için tüm biyosferde tek olarak bulunacak ancak 5730 yıllık kısa yarı ömrü nedeniyle fosil materyallerde çürümüşür. ^{14}C , eşzamanlı olarak yayılan anti-nötrinin bozunma enerjisini paylaştığı ve bu nedenle beta parçacığının tek enerjili olmadığı, ancak maksimum enerji 156 keV ile uzun kuyruklu bir enerji spektrumuna sahip olduğu beta parçacık emisyonuyla bozunmaktadır.



2.4. Radyoaktifliğin Uygulamaları

Radyoaktiflik bilimsel ve teknik alanlarda geniş bir uygulama alanına sahiptir. Radyoaktif izotopların nükleer tepkimeleri endüstride kontrol aracı olarak kullanılır. Bu kullanımlarda radyoaktif bir element atomunun radyoaktiflik göstermeyen izotoplarıyla aynı özellikleri göstermesi özelliği kullanılır.

Kimyada radyoaktif uygulamalar Işınım Kimyası bilim dalında yeni kimyasal tepkimelerin incelenmesi amaçlı kullanılmaktadır. Bu amaçla ^{60}Co gibi radyoaktiflik derecesi çok yüksek radyoaktif kaynaklar kullanılır [6].

Radyoaktifliğin en geniş uygulaması biyoloji ve Tarım alanındadır. Bitkiye düşük miktarda karbon 14 verildiğinde, bitki yapısında karbon izlenebilir.

Radyoaktiflik canlı hücreler üzerinde büyük etki yapar. Canlı hücrelerini önce değişikliğe uğratar, sonra öldürür. Bu durum insan için çok zararlı iken tarımda yeni bir türün geliştirilmesine kullanılabilir. Tıp da kanser ve tümör tedavisinde ve görüntüleme işlemlerinde oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Çeliğin katılaşmasını, tepkimelerin kinetiğini vb. incelemekte metalürji bilim dalında radyoaktiviteden yararlanır. Karbon yöntemi ile ahşap ve kumaşların yapıldıkları tarihlerin belirlenmesinde Tarih, Arkeoloji ve Jeoloji bilimlerinde de radyo aktiflikten yararlanılmaktadır.

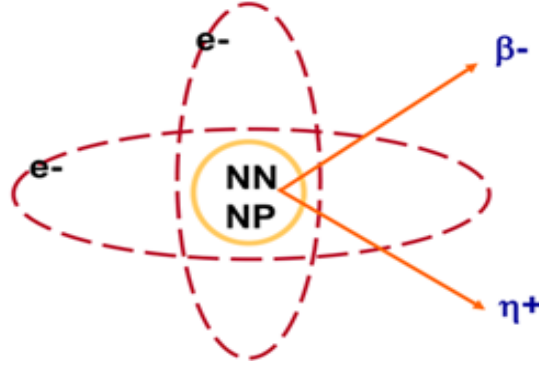


3. SIVI SİNTİLASYON SAYACI (LSC)

Sıvı sintilasyon sayacı (LSC) radyoaktifliğin hassas bir şekilde belirlenmesinde ve miktar belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. LSC ölçüm tekniği, bozunum yayınımlarına (α ve β tanecikleri elektron yakalama ve γ ışını yapan radyonüklitlerdir) uygulanabilmektedir. LSC sıvı örneklerde bulunan radyonüklitlerin ışık foton yayınımlarının ölçüldüğü analitik tekniktir [7]. LSC ölçüm tekniği temelde bilinen fiziksel olaylara dayanmaktadır. Bu fiziksel işlemler ve sınırlamaları bu kısımda incelenecektir.

3.1. Beta Taneciği ve Foton Üretimi

Çekirdekdeki proton ve nötron sayıları dengesiz olduğu zaman atom kararsız olur ve yeniden düzenlenme gerçekleşir. Bu düzenlenme bir bozunum ya da radyoaktif olayı gösterir ve radyasyon şeklinde enerji salınır [8].



Şekil 3.1. β^- Salınımı

Hidrojen ile aynı kimyasal özelliğe sahip ancak çekirdeğinde fazla nötron bulunduran trityum izotopu göz önüne alındığında, bu izotop bozunumu elektrona karşılık gelen (çekirdekte bulunduğu için β^- taneciği olarak adlandırılmıştır) β^- -taneciği ve nötrino olarak iki parçacık yayınımları verir (Şekil 3.1.).

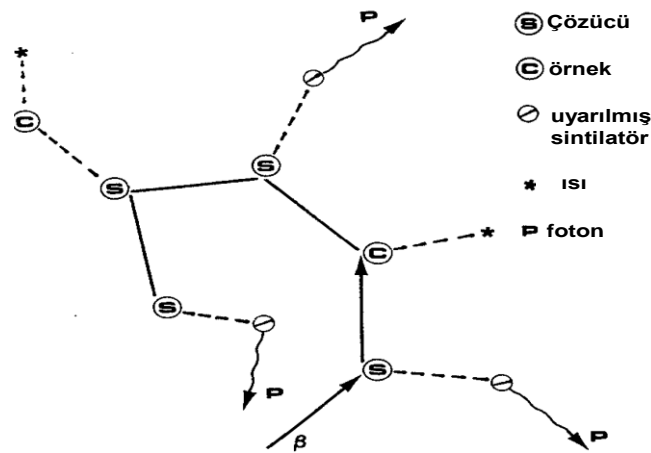
$$E = \beta^- + n^0$$
$$E_{\max} = 18,6 \text{ keV}$$
$$(\beta^- + n^0) \text{ ortak}$$

3.2. ³H Radyoaktif Bozunumu

Bu iki tanecik anlık olarak çekirdekten salındığında bozunum enerjisi taşırlar. Enerji radyonüklitin karakteristik özelliğidir. ve trityum için 18.6 keV tur. Nötrino LSC yi ilgilendirmez ve bozunum enerjisinin bir kısmını taşır. 18.6 keV karşılık gelen enerji β^- taneciği ve nötrino arasında rastgele paylaşılır. Bu nedenle β^- taneciği 0-18.6 keV arasındaki enerji değerinin herhangi birine sahip olabilir [8].

Enerji, hareketten kaynaklanan kinetik enerjidir. β^- taneciği enerjisini diğer kütle hareketinde olduğu gibi salındığı ortamdaki çarpışmalara harcar. Oldukça yoğun olan sıvı içerisinde trityum β^- taneciği bütün kinetik enerjisini harcamadan önce sadece kısa mesafeleri kat eder. β^- taneciğinin enerjisi bulunduğu ortamda ısı, iyonlaşma ve çözücü moleküllerinin uyarılması LSC yönteminin ilgisindedir. β^- tanecikleri ve çözücü molekülleri arasındaki etkili enerji aktarılması örnek maddelerin çözünmesi ile oluşan çözeltilerdir. Çözücü moleküllerin uyarılması tam olarak anlaşılması için sintilasyon çözeltileri ya da kokteyl çözücü karışımı ve çözüneni verir [8].

Uyarılmış çözücü molekülleri birbirine ve aynı zamanda çözünenin moleküllerine enerjilerini aktarabilirler. Çözücü moleküllerinin çözünen moleküllerine aktarırken çözünen molekülün orbital elektron bulutlarını rahatsız eder ve uyarılma durumunun artmasını sağlar. Uyarılmış orbital elektronları temel hale dönerken ışığın fotonları şeklinde radyasyon oluşturur. Sonuç olarak tek bir β^- taneciği çözücü molekülleri ile çarpışır ve çok sayıda sintilatör moleküllerinin uyarılmasını sağlar (Şekil 3.2.).



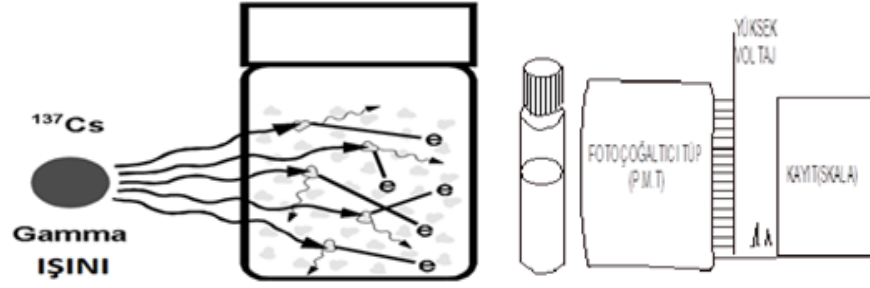
Uyarılan sintilator moleküllerinden kaynaklanan toplam foton sayısı sintilasyonu oluşturur. Bu durumda ilk yaklaşım enerjinin fotonlara dönüşümü doğrusaldır ve bu nedenle sintilasyonda oluşan ışığın şiddeti β - taneciğinin başlangıç enerjisi ile orantılıdır. Tekrar trityum göz önüne alındığında mümkün olan bir tanecik için sintilasyon şiddeti 0-18.6 keV aralığında olacaktır. Şekil 3.2. da bir miktar trityumlanmış foton enerji dağılımını göstermektedir. β - taneciklerinin kinetik enerjisi sintilasyon çözeltisini kinetik enerji ve ışık enerjisine dönüştürmüştür [9].

3.3. Foton Belirlenmesi

Radyo etiketlenmiş analit bulunan sintilasyon çözeltisinin bulunduğu cam ya da plastik şişe kapalı karanlık ortama konulduğunda foton şiddeti gözlemlenebilir. Bağlı foton şiddeti, sıvı-sintilasyon kokteyli, radyo-etiketli analit, analit ile diğer çözünenler, örnek şişesi materyali, radyo etiketli analit miktarı, yayınının maksimum enerjisi ve radyo kimyasal dağılımı etkileyen diğer ilgili kimyasal olaylar gibi etkenlere bağlıdır. Nükleer ve kimyasal etkileşimlerin yapısından yayımlanan fotonlar elektromanyetik spektrumun ultraviyole (mor ötesi) bölgesinde düşük şiddettedir. Yayımlanan fotonun etkin bir şekilde belirlenmesi için ışığı büyüten foto hassas cihaz ve belirlenen fotonu çalışabilir biçime dönüştüren cihaz gereklidir. Bu cihaz foto çoğaltıcı tüp (PMT) olarak bilinir. Günümüzde sintilasyon sayımları iki PMT sintilasyon şişesinde oluşan ışığı toplayarak iki fotokatoda düşürür, ya da fotokatotun her birine PMT ile arasında bulunan yansıtıcı ile yansıtılır.

PMT'lerin iç yüzeyleri foton (ışık) enerjisini negatif yüklü foto elektronların salınması ile elektrik enerjisine dönüştürebilen foto hassas malzemeler ile düzgün bir şekilde kaplanmıştır. Oluşan elektronlar pozitif yüklü elektrot tarafından çekilerek pozitif potansiyel oluşması ve daha çok elektron üretilmesi sağlanır. Elektron sayıları ikinci elektrotlarla daha da artırılır. Tüp belli sayıda elektrot bulundurur. Her bir elektrot basamağında bulunan ikincil elektron çoğaltıcıları son elektrotta elektron artışı maksimum olur. Fotonlardan kaynaklanan çoğaltılmış elektronlar elektriksel atımlar (pulse) oluştururlar.

PMT lineer bir cihaz olduğu için atım genlikleri foto katotta belirlenen foton sayısı ile doğrudan orantılıdır. Ölçüm süresince oluşan her bir atımın kaydedilmesi bu zaman aralığındaki sintilasyon sayısının gösterimini sağlar (Şekil 3.3.).



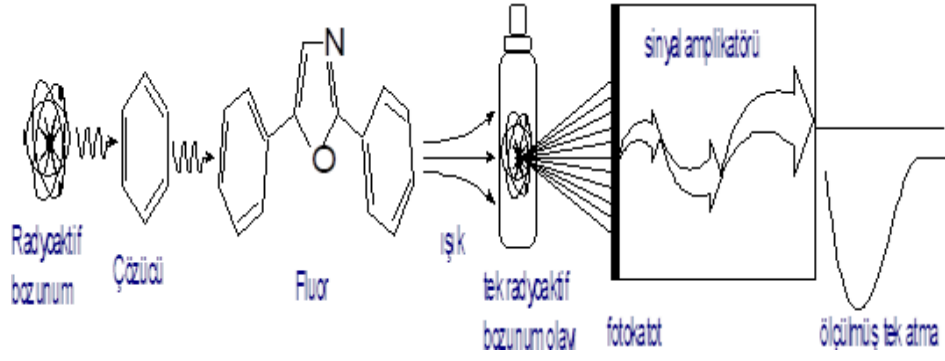
Şekil 3.3. Basitleştirilmiş sıvı sintilasyon sistemi

Eğer LSC'nin tamamı nükleer bozunum olayının sintilasyon çözeltisi ile etkileşiminden üretilen ışığın ölçümünden geliyorsa fazladan enstrüman bileşenlerine ihtiyaç yoktur. Ancak bu ilkeye uyan birkaç sintilasyon sayımı geliştirilmiştir. Bu ölçüm tekniğinin özünden bazı temel sınırlamalar vardır. Bu tekniğin temel sınırlaması ışık olmamasına rağmen PMT'nin kaçak atımlar oluşturmamasıdır. Bu cihaz öyle hassastır ki elektrotlar arasına uygulanan gerilim küçük gürültü atımlarının oluşması için yeterlidir.

Gürültü atımlarının oluşmasına diğer bir etken PMT işlemlerinde çevresindeki termal değişimlerdir. Foto çoğaltıcı tüplerin bilinen sınırlanması sıcaklığa bağlı olarak elektronların göçüne dayanan termo iyonik etkilerdir. Sonuç olarak gürültü atımları sıklıkla harici (ikincil) olabilir ve nükleer bozunum olayı fotonlarından oluşan elektronik atomlara benzerler. Şişe içindeki olayların konumuna bağlı olacak PMT atımlarının genlik farklılığı diğer bir sınırlamadır. Bir olay 100 foton üretecekse atım genliği PMT ve olay arasındaki uzaklıkla ters orantılıdır. Atım genliği özellikle şişe içerisinde birden fazla radyonüklit var olduğunda önemlidir [10].

3.4. LSC Enstrüman Teknolojisi

LSC iki özelliğe sahiptir. Çakışma (aynı anda olan) atımların belirlenmesi ve tamamen zıt foto çoğaltıcı iki tüpün kullanılmasıdır. Çakışma (concidence) atımın belirlenmesi elektronik mantık devresiyle yapılır (Şekil 3.4.). Bu devre her iki foto çoğaltıcı tüpten gelen sinyal çıktılarını karşılaştırır [10].



Şekil 3.4. PMT sayımı

Nükleer bozunum olayları her bir keV enerji için yaklaşık olarak 10 tane foton üretir. 5×10^{-9} s (5ns) zaman periyodunda enerji harcar. Sonunda β - bozunumu her iki PMT'yi aynı anlık zamanda uyararak fotonların çarpanlarını oluşturur. PMT den gelen sinyaller devreleri besler. Devrede 20×10^{-9} s (20ns) çözünürlük zamanında iki sinyal çıkışı beraber oluşur. Bu çakışım devresi olarak adlandırılır ve çakışım atımı oluşur. PMT'nin ürettiği elektriksel gürültü rastgele üretilir ancak çakışma devresinde yeterince düşük oranda oluşur (Şekil 3.4.).

Günümüzde en modern ticari LSC çakışma atım belirlenmesi ve sayım toplanması özelliklerine sahiptir. Nükleer olayların ve foton belirlenmesi yöntemleri temel olarak yıllarca kullanılmaktadır. Toplama çıktısı sinyalleri ve eşlik eden çalışma devresi sinyalleri kesikli gösterim biçiminde işlenerek olayların kaydını kolaylaştırır.

Temel olarak sayaç tasarımında üç farklı sayma penceresi ile doğrusal büyütme kullanırsa ve gözlenen sayımı ölçmesi için ayrı büyütücü, atım yükseklik analizörü ve her bir kanal skalası kullanır. Atım işlem tekniğinde bir seçenek logaritmik büyütme yöntemini içerir. Logaritmik büyüteçleri her bir kanal büyüteci için gerekliliği elimine edilmiştir.

LSC tekniğinde en anlamlı gelişme atım yükseklik enerji analizidir. Bu teknik penceresiz sayım yapabilme özelliğine sahiptir. Temel tasarımı 0-2000 keV enerji aralığının tamamını üzerinde kazanılan atım yükseklik enerjisi spektrumudur. Bu teknik kullanıcılara örnek ve eşzamanlı herhangi bir kısmını ya da başlangıcından itibaren sorgulayabildikleri spektrum elde etmektedir.

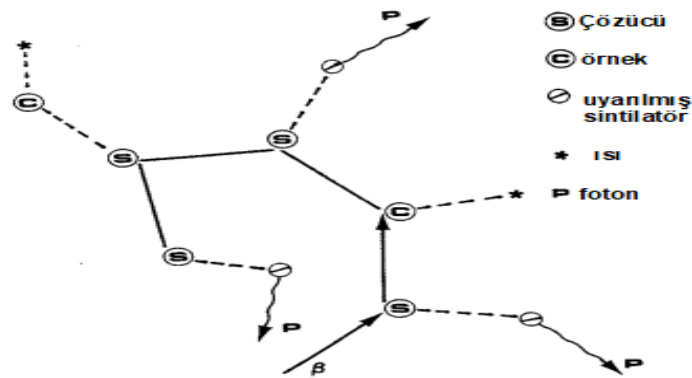
3.5. Sönümlenme ve Verimlilik

Sönümlenme, sıvı sintilasyon sayımında meydana gelen en önemli girişim olarak kabul edilir. Sönümlenme, dönüştürme işleminin verimliliğini etkiler; bu nedenle, beta parçacık enerjisi foto elektronda ölçülen sayımlar, yalnızca bu sönümlenme etkisi için düzeltildikleri takdirde, örneğin radyo aktifliğini temsil eder [11].

3.5.1. Sönümlenmenin etkileri

Numunenin tolüen içinde kolayca çözündüğünü varsayalım. Sayım şişesi çözücüyü, çözüneni ve örneği içerecektir. Bir radyoaktif bozunum, çarpışma yoluyla kinetik enerjisini dağıtacak bir beta parçacığının yayılmasına neden olacaktır. Numune molekülleri, beta parçacık enerjisini yakalamak için çözücü moleküller ile etkileşime girecektir. Numune moleküllerine verilen enerji kaybolur, çözünen maddeye enerji aktarımı yapamaz ve bu nedenle foton üretmez. Uyarılmış çözücü moleküller bile enerjilerini numune moleküllerine aktarabilir. Numune moleküllerinin derişimi ne kadar yüksekse, ışık üreten çarpışma olasılığı o kadar düşük olur ve dolayısıyla bozunum enerjisi başına daha az foton olur. Bu olay kimyasal sönümlenmedir [12].

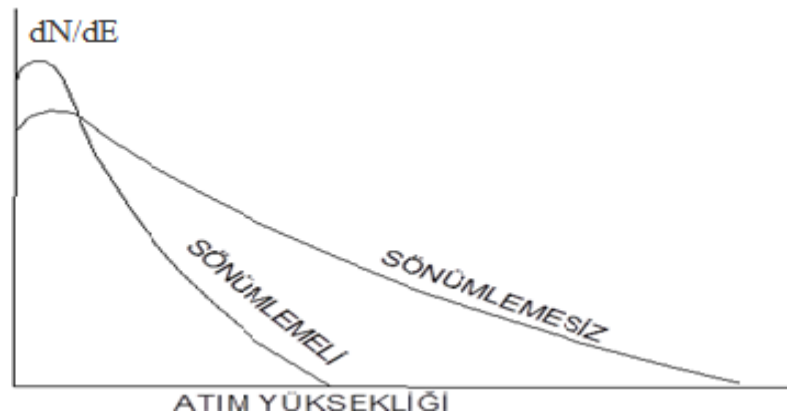
Tüm örnekler bir dereceye kadar sönümlenir, aslında sönümlenmemiş bir örnek üretmek imkansızdır. Şekil 3.5.'deki diyagram, bir foton üretimi ile enerjisini çözünen maddeye (c) aktaran bir çözücü moleküller (s) ile bir beta çarpışmasını göstermektedir. İkinci çarpışma, enerjinin ısı olarak kaybedildiği örnek bir molekülle olur. Enerjinin çözücüye ve ardından numune molekülüne aktarıldığı bir başka çarpışma daha gösteriliyor ve bu da ısıya neden oluyor ve foton yok oluyor.



Şekil 3.5. Sönümlenme ile enerji dönüşüm sürecinin gösterimi

Birçok örnekte başka bir sönümlenme şekli vardır. Bu form, enerji değişimiyle ilişkisizdir ve çarpışma sürecinden sonra ortaya çıkar. Ortamdan geçerken fotonlar emilebilir veya dağılılabılır. Çözelti renkliyse ışığın dalga boyu değiştirilebilir, PMT yanıtının azaldığı bir değere dönüştürülebilir. Yayılan ışığın bu sönümlenme biçimleri, optik sönümlenme olarak adlandırılır. En yaygın neden, örnekteki renk veya yanlış seçilmiş bir sintilasyon kokteyli nedeniyledir.

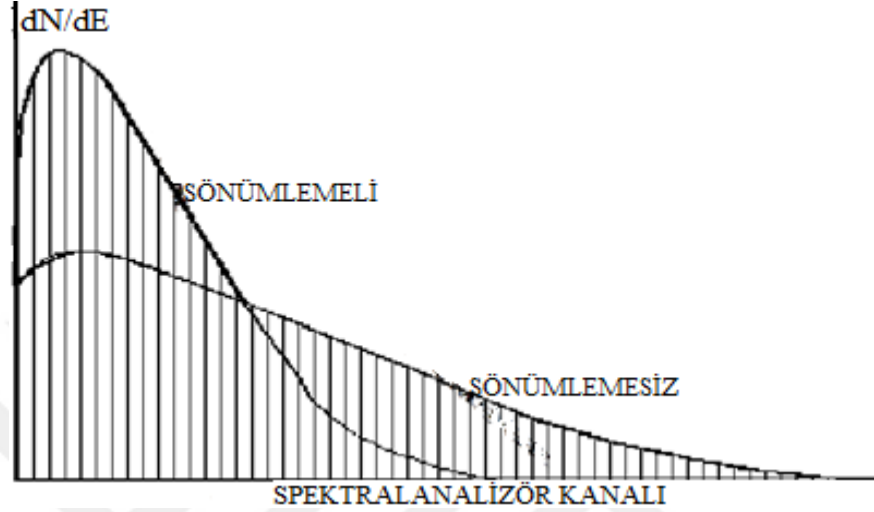
İlk yaklaşıma göre, tüm sönümlenme biçimleri, PMT'lere ulaşan beta parçacık enerjisinin keV'si başına foton sayısını azaltma etkisine sahiptir. Fotonlar, PMT'ler ile etkileşime girdiğinden, aynı enerji parçacığı için atım genliği azaltılır. Sonuç, atım yüksekliği spektrumunun daha düşük genliklerine kaymadır (Şekil 3.6.). Yüksek enerjili beta parçacıkları içeren radyonüklitler için, bu kaymanın sayma verimliliği üzerinde çok az etkisi olabilir veya hiç etkisi olmayabilir, ancak daha düşük enerjili radyonüklitlerle bu etki önemli olabilir. Tritiyum, sönümlenme işleminden etkilenir çünkü beta parçacık enerjisi o kadar düşüktür ki, sönümlenme olmadan bile nispeten az sayıda foton üretilir. Sönümlenme olmadan, 1 keV parçacığı çakışma eşiğini aşan 10'dan az foton üretecektir. Sönümlenme ile aynı sayıda foton üretmek için daha yüksek enerjili bir parçacık gerekecektir. Çakışma eşiğinin altındaki olaylar kaybolur ve farklı bir örnek hazırlama tekniği kullanılmadan geri kazanım yöntemi yoktur.



Şekil 3.6. Sönümlenmenin enerji spektrumu üzerindeki etkisi

Spektrum analizöründeki her bir kanalı sönümlenme derecesinden bağımsız olarak, sayım periyodu sırasında örnek etkileşimlerini toplayacaktır. Şekil 3.6. da gösterilen, sönümlenmemiş ve sönümlenmiş bir spektrumdur. Kanallardaki olayların dağılımı matematiksel olarak analiz edilebilir ve sönümlenme derecesinin bir indeksini sağlamak için sönümlenmemiş bir örneğin dağılımı ile karşılaştırılabilir (Şekil 3.7).

Bir ölçümün sonunda hassasiyet maksimumunda iken, dağılımın ilk anı indeksi olarak hesaplanabilir. Bilgi örnek katkısından türetildiği için, indekse Örneğin Spektral İndeksi (SIS) veya matematiksel olarak atım yükseklik dağılımının ilk momenti (ayrıca ortalama atım yüksekliği veya ağırlık merkezi) olarak anılır.



Şekil 3.7. Sönümlenmenin birikmiş spektrum üzerindeki etkisi

(1. dağılım anı, beta spektrumunun ortalama enerjisi ile orantılıdır): veya SIS = dağılımın 1. momenti x K (K = sabit bir faktör)

$$SIS = K \frac{\sum_{x=0}^u X n(x)}{\sum_{x=0}^u n(x)} \quad (3.1)$$

Tek bir ölçümde örnek, zamana bölünen örneğin cpm değerini veren her iki sayımı ve benzersiz bir sönümlenme parametresi olan SIS'i sağlamıştır. Bu bilgi, sönümlenme seviyelerine bakılmaksızın numune aktivitesini belirlemek için yeterlidir. Aktivite, radyoaktif örneğin bozunum sayısıdır, öyle ki;

Etkinlik DPM'si, CPM ile orantılıdır ve söndürme faktörü tarafından belirlenen sayma verimliliğinin tersidir:

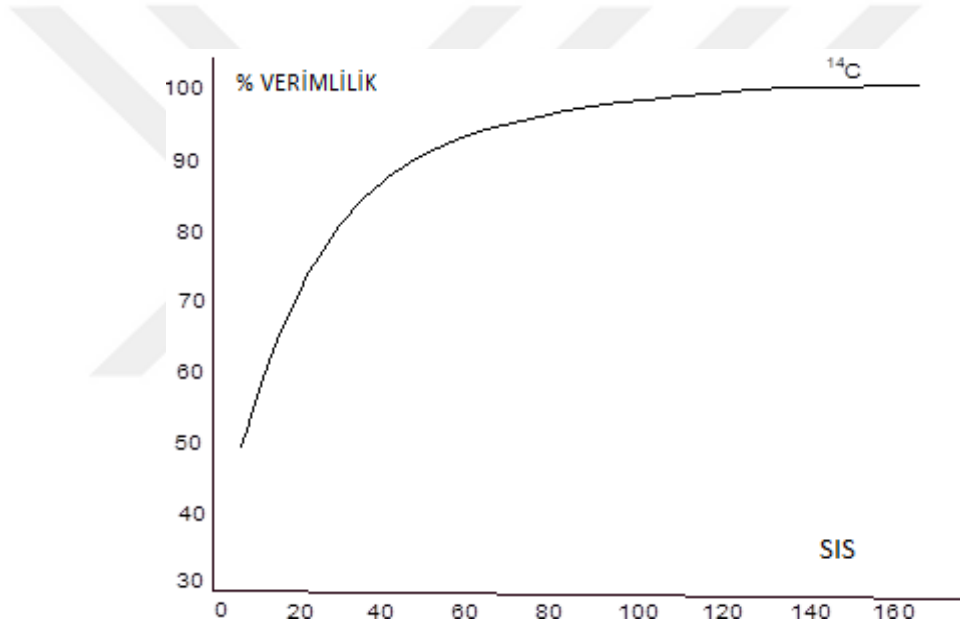
$$DPM = \frac{CPM}{(E) \text{ VERİMLİLİK}}$$

Veya yüzde olarak

$$DPM = \frac{CPM}{E\%} \times 100 \quad (3.2)$$

Hepsi aynı aktiviteye sahip, ancak farklı sönümlenme seviyelerine sahip bir dizi sönümlenmiş standardı ölçerek, SIS ile ölçüm verimliliği arasında bir ilişki belirlenebilir. Bu ilişki, bu standartlar için her bir standardın hesaplanan SIS'ine bir verimlilik korelasyonu sağlar, SIS ile bir ^{14}C verimlilik korelasyonunun bir grafiğidir. Bu ilişki kurulduktan sonra, bilinmeyen sönümlenme ve aktiviteye sahip bir örneğin ölçümü bir SIS değeri sağlar.

Grafik kullanılarak ölçümün etkinliği belirlenebilir. Makul bir ölçüm süresinde istatistiksel olarak güvenilir sonuçlar vermek için yeterli miktarda spektrumu kapsamaya koşuluyla ölçüm için ilgilenilen herhangi bir bölge seçilebilir. Numuneler standartlarla aynı bölgede ölçülmelidir.



Şekil 3.8. SIS'e dayalı verimlilik korelasyonu

3.5.2. Sönümlenme parametreleri (qip)

Sıvı sintilasyon sayımının tarihi boyunca çeşitli sönümlenme parametreleri tanıtılmıştır. Dört ana kategoriye ayrılabilirler:

1. Örnek Spektrum QIP'leri:

- SIS (Spektral İndeks Örneği)
- SCR (Örnek Kanal Oranı)
- SQP (I) (İzotopun Spektral Söndürme Parametresi)

2. Harici Standart Spektrum QIP'leri:

- ESC (Harici Standart Sayımlar)
- H # (Dönüm Noktası Compton Kenarı)
- ESP (Harici Standart Atım)
- SIE (Spektral İndeks Harici Standart)
- SQP (E) (Harici Standartın Spektral Sönümlenme Parametresi)
- tSIE (Dış Standartın Dönüştürülmüş Spektral İndeksi)

3. Dahili Standardizasyon

4. Verimlilik İzleme DPM'si

- Söndürme eğrileri olmayan DPM

3.6. Örnek Spektrum QIP'leri

3.6.1. Örneğin spektral indeksi (SIS)

Örneğin spektral indeksi (ortalama enerjiden türetilen), en hassas sönümlenme gösteren parametredir. Spektrum Analizi bölümünde, hesaplamalar ve uygulamalar kapsamlı bir şekilde tartışılmıştır [13].

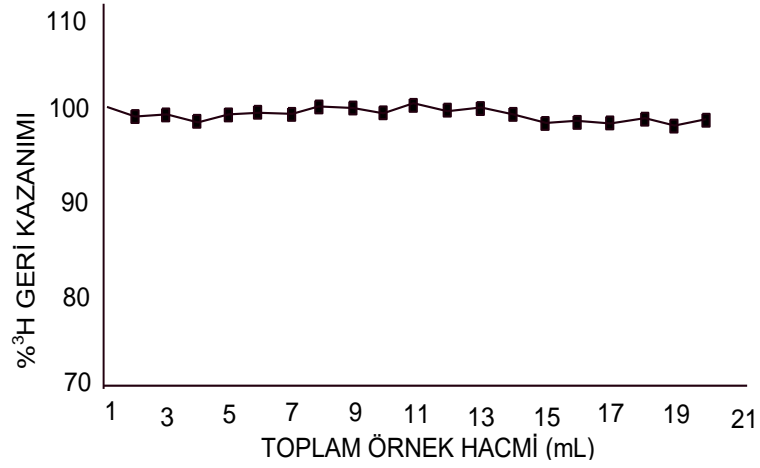
İndeksi hesaplamak için tüm spektrumun bütünleşmiş sayıları kullanıldığından, bir örnek spektrumundan maksimum doğruluk elde edilir.

$$SIS = K \frac{\sum_{x=0}^u Xn(x)}{\sum_{x=0}^u n(x)} \quad (3.3)$$

Manyetik özellik, bu endeksin sayım oranından bağımsız bağımsızdır. Aktivitenin artması veya azalmasıyla değişmez.

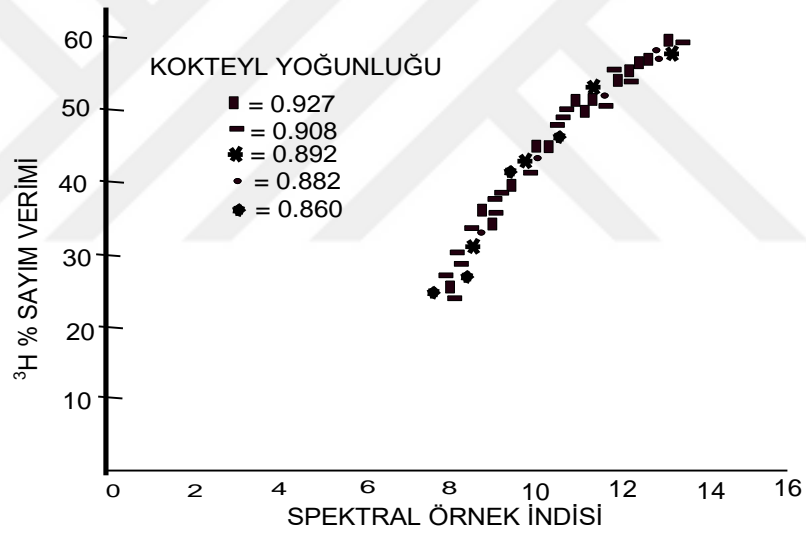
Avantajları:

- DPM sonuçları numune hacminden bağımsızdır (Şekil 3.5).



Şekil 3.9. SIS'i QIP olarak kullanan hacimden bağımsızlık

- DPM, duvar etkisinden bağımsız olarak sonuçlanır.
- Kokteyl yoğunluğundan bağımsızdır (Şekil 3.9.).



Şekil 3.10. SIS'i QIP olarak kokteyl yoğunluğundan bağımsız hesaplanması

- Beta enerji spektrumunun ortalama enerjisine orantılı. Bu karakteristik enerji, radyonükliti nitelemek için kullanılabilir.
- Yüksek dinamik aralıktadır.
- Cerenkov sayımı için benzersiz sönmüleme monitörü.
- Spektrumdaki yapıya duyarsız olup, yapılandırılmış spektrumların daha geleneksel yöntemler kullanılarak mümkün olandan daha geniş bir söndürme aralığında düzeltilmesine izin verir.
- Harici standart zaman gerektirmez ve SCR'den iki kat daha hızlı verimlidir.

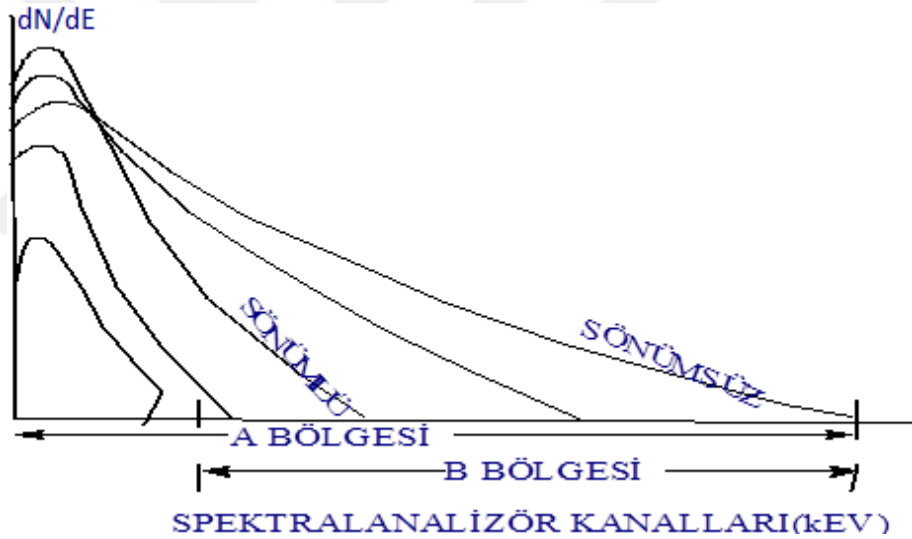
Dezavantajları:

İstatistiksel doğruluk, toplam birikmiş sayımların istatistiksel belirsizliği ile sınırlıdır. Bununla birlikte, doğru DPM hesaplamaları, makul sayım süreleri ile 1000 sayım/dakika etkinlik seviyelerinde hala elde edilebilir.

3.6.2. Örnek kanal oranı (SCR)

Bu teknik, spektral kaymayı tespit etmek ve böylece sönmülemek için enerji spektrumunun iki bölgesi arasındaki sayımların oranını hesaplar.

^3H durumunda, bölgeler tipik olarak A bölgesinde 0 ila 19 keV ve B bölgesinde 2 ila 19 keV olarak ayarlanır. Oran, A/B veya B/A olarak hesaplanır. Şekil 3.11. bu prensibi göstermektedir. SCR değeri, su verme seviyesine bağlı olarak değişir.



Şekil 3.11. QIP yöntemi olarak örnek kanal oranı A/B veya B/A

SCR'nin SIS'e göre avantajı:

- SCR hesaplaması, SIS için yüksek çözünürlüklü çok kanallı analizör yerine yalnızca iki sayma kanalı gerektirir.

SCR'nin SIS'e göre Dezavantajlar:

- Enerji spektrumu daha düşük enerji bölgesine kaydığı için yüksek su verilmiş numuneler için sınırlı su verme aralığı
- Hassasiyet, alet bölge ayarlarına bağlıdır.

- SIS'den daha az doğru, çünkü enerji spektrumunun yalnızca bir kısmı sayılıyor.
- Söndürme parametresi ile verimlilik arasındaki ilişki bölge ayarlarına bağlıdır. Bölgeleri optimize etmek çok zahmetli olabilir.
- SIS ile karşılaştırıldığında benzer hassasiyet elde etmek için daha uzun sayma süreleri gerekir.

3.6.3. İzotopun spektral söndürme parametresi (SQP (I))

SQP (I), LKB tarafından Örnek Spektrum söndürme parametresi olarak kullanılır. Bu söndürme parametresi, Packard'ın SIS'ine benzer [13].

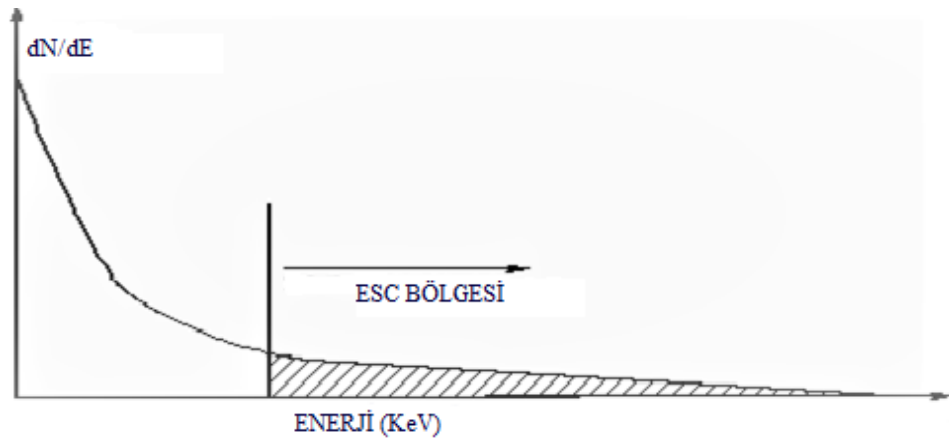
Doğrusal spektrumun ağırlık merkezini veya ilk momentini hesaplamak yerine, LKB, SQP (I) 'yi türetmek için logaritmik spektrumu kullanır.

SQP (I), radyonüklid spektral dağılımının ağırlık merkezinde bulunan kanal numarasını gösterir. Bu kanal, radyonüklidin logaritmik spektrumunun ortalama darbe yüksekliğini temsil eder.

3.7. Harici Standart QIP'ler

3.7.1. Harici standart sayım: ESC

Compton saçılma olaylarından kaynaklanan enerji spektrumu sönümlenme ile değiştiğinde, daha yüksek bir enerji bölgesinde biriken sayımlar artan sönümlenme ile azalacaktır (Şekil 3.12.). Sayım oranındaki bu azalma, bir sönümlenme düzeltme eğrisi oluşturmak için kullanılabilir.



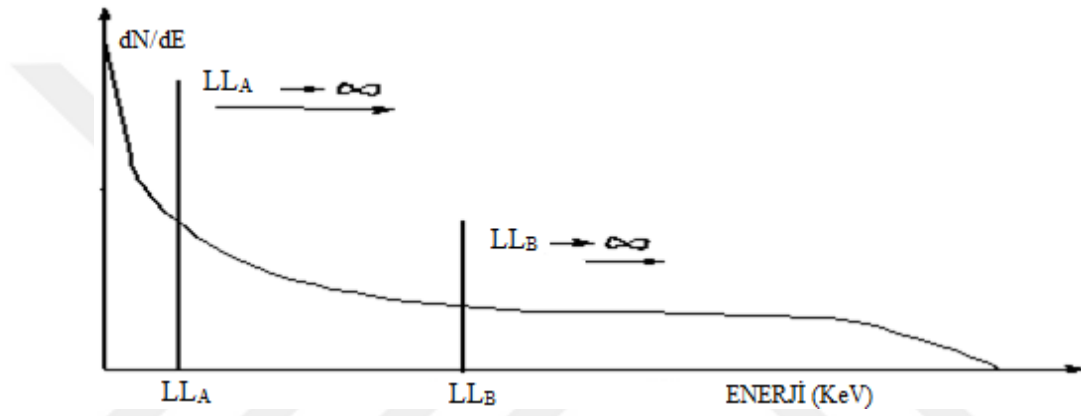
Şekil 3.12. harici standart bölgesinde harici standart sayımların Compton spektrumu

Bu yöntem hacme bağlıdır. Sayım oranı, örneğinin hacmiyle doğru orantılıdır. Bu ciddi sınırlama nedeniyle, artık bir sönümleme monitörü olarak kullanılmamaktadır.

3.7.2. Dış standart oran: ESR

ESC faktörü ile hacim bağımlılığı sorununu çözmek için, Dış Standart Oranı 1960'ların başlarında kullanılmaya başlandı.

Bu yöntem, SCR için kullanılan kanal oranı tekniğine dayanmaktadır. Sayaçtaki iki kanal genellikle harici standart olayları saymak için ayrılmıştır (Şekil 3.13.).



Şekil 3.13. ESR hesaplamaları için harici standart bölgeler (¹³⁷Cs Compton spektrumu)

ESR hesaplaması konsept olarak SCR'ye benzer:

$$ESR = k \frac{CNTS_B}{CNTS_A} \quad (3.4)$$

k: ölçekleme faktörü

CNTS: harici standart bölgelerde birikmiş sayımlar

Harici standart enerji spektrumu, örnek spektrumunun aksine her zaman aynı kaynak tarafından üretildiğinden, ESR'yi (fabrikada optimize edilmiş pencereler) hesaplamak için iki sabit ayırıştırıcı kullanılabilir. Bu, ölçüm ve belirlemeyi tamamen otomatik hale getirir ve optimum ayarları bulmak için gereken zahmetli işi ortadan kaldırır.

Bu, bu tekniğin bazı ciddi olumsuzluklarını en aza indirmek amacıyla yapılır:

1. Sınırlı dinamik aralık: artan söndürme seviyesi ile enerji spektrumu üst pencereden dışarı kayar. Bu, orta ve yüksek söndürme seviyelerinde ESR hesaplamasının istatistiksel kesinliğini azaltır.
2. Duvar etkisi: İstatistiksel kesinliği korumak için alt kanalın LL'sinin düşük bir enerji değerine ayarlanması gerekir. Bununla birlikte, duvar etkisi, Compton spektrumunun düşük enerji bölgesinde bir parazit spektrumu getirir. Bu, kanal A'da daha fazla sayıma ve dolayısıyla ESR'de bir azalmaya neden olur. CPM sabit kaldığından, duvar etkisi DPM hesaplamalarında ciddi hatalara neden olacaktır.
3. Hacim bağımlılığı: Düşük hacimlerde, düşük enerji bölgesinde spektral şekil değişir. Spektral şekil üzerindeki bu etki, duvar etkisine benzer. Sonuç olarak, DPM sonuçları hacme bağlıdır.

Bu nedenle düşük enerjili harici standart kaynaklar kullanıldığında bu üç ana eksiklik daha da belirginleşir. Düşük enerjili kaynaklar kullanan üreticiler, diğer söndürme gösteren parametreleri kullanmaya zorlandı.

- Nuclear Chicago (T.M. Analytic) bir ¹³³Ba kaynağı kullanır. ESP hesaplamasına geçti (tüm spektruma dayalı hesaplamalarla spektrumun ortalama enerjisi ile ters orantılı).
- Beckman, ¹³⁷Cs kaynağı kullanıyor ve plastik şişeler piyasaya sürüldüğünde ciddi sorunlarla karşılaştı H# veya Compton kenar konumunu kullanmaya başladı.
- Packard, LKB ve Philips harici standart kaynak olarak ²²⁶Ra kullanıyor. Kaynağın yüksek enerjisine bağlı olarak, alt sayma kanalının alt seviyesi, dinamik aralıktan ödün vermeden duvar etkisini ortadan kaldırmak için yeterli yüksek enerji seviyesine ayarlanabilir. Daha düşük maliyetli plastik şişelerin (çözücünün daha yüksek penetrasyon oranı) piyasaya sürülmesiyle ve mini şişelerin gelişimiyle, duvar etkisi giderek daha önemli hale geldi. Packard, duvar etkisini ortadan kaldırmak istediğinde ²²⁶Ra'nın üstün dinamik aralığından vazgeçilmesi gerektiğini fark etti. Bu yüzden, Packard, 1979'da SIE'yi (Spektral İndeks Harici Standardı) QIP faktörü olarak kullanmaya başladı.

Bugün yalnızca LKB, Kontron ve Philips, mevcut üretim modellerinde söndürme parametresi olarak harici standart oranı kullanmaya devam etmektedir.

- Tri-Carb 2000CA sıvı sintilasyon analizörünün 1985'te piyasaya sürülmesiyle Packard, harici standart kaynakları kullanarak su verme izlemesi için tamamen yeni bir yaklaşım benimsemiştir. ¹³³Ba, sintilatörü etkinleştirmek için düşük enerjili bir gama kaynağı olarak kullanılır ve tüm sayım girişimlerini filtrelemek için Compton spektrumuna bir spektral dönüşüm uygulanır. Spektral indeks şimdi dönüştürülmüş spektrumdan hesaplanır. Bu, sayım girişiminden bağımsız olarak yüksek kaliteli bir söndürme parametresi tSIE (Dönüştürülmüş Spektral İndeks Harici standardı) verir. Bu yaklaşım, düşük enerjili bir harici standart kaynak kullanmanın ek pratik avantajlarını sunar [13].

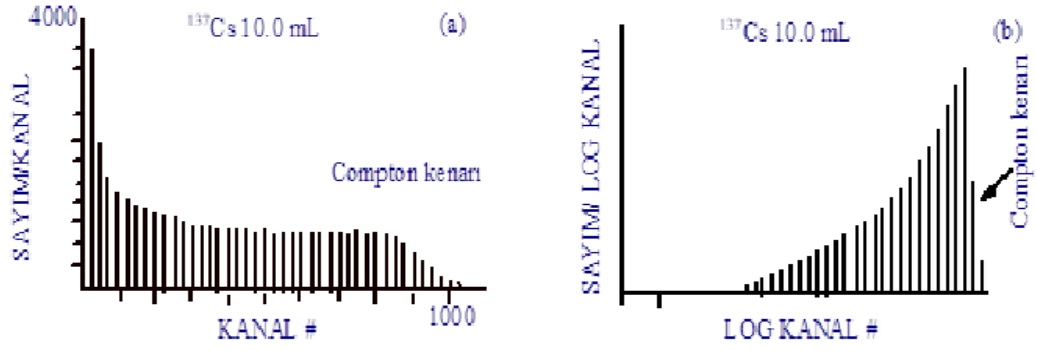
3.7.3. H# veya compton kenarı

Compton Kenarı belirleme Beckman tarafından tanıtıldı ve mucit Dr. Horrocks'tan sonra H# numarası olarak adlandırıldı.

Başlangıçta H#, yarı tepe yüksekliğinde Compton kenarı üzerinde bulunan noktanın log enerji ölçeğindeki izdüşümü olarak tanımlandı. Bu belirleme, Compton Kenarı yakınlardaki dar kanallarda biriken sayım oranlarına dayandığından çok doğru değildi. Hassasiyet, büyük ölçüde biriken sayılara ve kanalların enerji genişliğine bağlıydı. Makul derecede kesin cevaplar elde etmek için uzun sayma süreleri gerekiyordu.

Daha sonra 1980 yılında teknik doğruluğu ve tekrarlı bilirliliği geliştirmek amacıyla değiştirildi. Yarım atım yüksekliğinde konumu belirlemek yerine dönüm noktası kullanılır. Yine yöntem, son noktaya yakın dar kanallarda biriken sayılara ve bu kanallardaki sayımların doğruluğuna dayanır. Sayma hassasiyetini artırmak için daha yüksek aktiviteye sahip bir ¹³⁷Cs kaynağı kullanılır. Bu, Beckman'ın sayım süresini belirleme başına 6 saniyeye indirmesine izin verdi.

Bununla birlikte, doğruluğu iyileştirmek için daha fazla döngüye izin verilir. H#'nın bu tekrarlı bilirlilik sorunu, Compton kenarına doğrusal bir ölçekte bakıldığında açıklanabilir (Şekil 3.14.).



Şekil 3.14. ^{137}Cs dış standart spektrum (a) doğrusal veya (b) logaritmik ölçek Compton kenarı

Logaritmik bir ölçekte, spektrum belirgin, keskin bir kenar gösterir. Ancak bu sadece görsel bir yanılsamadır. Geometride bir noktanın kesin konumu yalnızca doğrusal ölçekler kullanıldığında değerlendirilebilir. Spektrumun doğrusal gösteriminde, Compton kenarının bükülme noktasının nerede bulunduğu daha az açıktır.

Kanal 900 ile 920 arasında herhangi bir yerde olabilir. 1000 ölçeğinde bu %2'lik bir hatayı temsil eder.

Azalan hacimle birlikte, harici standart sayımların toplam sayısı azalır. Bu, spektrumun Compton kenarında daha düz görüneceği ve doğru bir belirlemenin daha zor olacağı anlamına gelir. Tekrarlanabilir bir sonuç elde etmek için H# belirlemesinin birkaç kez tekrarlanması gerekir.

H# doğruluğu ile ilişkili diğer bir sorun, kimyasallara karşı renk söndürmedir. Bölüm 2'de tartışıldığı gibi, renk söndürme spektrumu düzleştirme eğilimindedir. Daha geniş bir darbe dağılımına daha az darbe yayılır. Bu düzleştirilmiş Compton spektrumu, H# tespitinin yanlışlığını artırır ve renkle söndürülmüş numunelerin DPM'si kimyasal söndürülmüş standartlar kullanılarak hesaplanırsa önemli bir hata ortaya çıkar.

3.7.4. Ortalama atım yüksekliği hesaplamaları (SIE)

Spektrum Analizinde, bir radyonüklit spektrumunun ortalama enerjisinin hesaplanmasına dayanan bir faktörün, darbe yüksekliği dağılımını ve spektral şekli tanımlamak için çok doğru bir faktördür. Bu faktör, toplam birikmiş sayımlardan hesaplandığı için oldukça doğrudur [14].

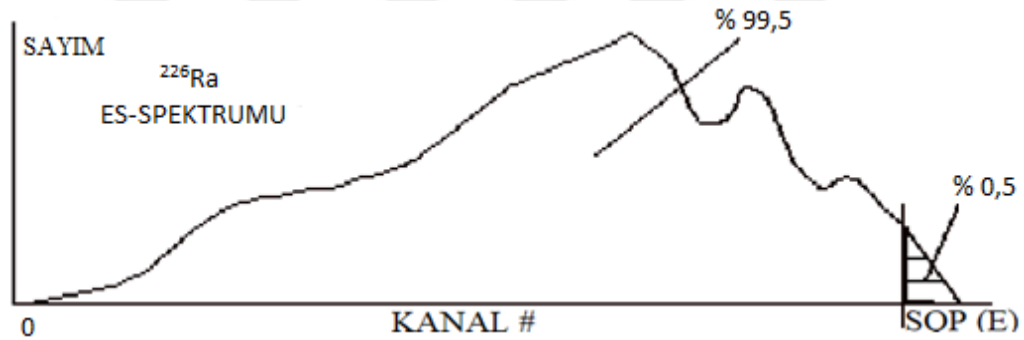
$$SIE = k \frac{\sum_{x=L}^u X N(x)}{\sum_{x=L}^u N(x)} \quad (3.5)$$

Plastik duvarlarda çözücü difüzyonunun Compton spektrum şekli üzerindeki etkisini ortadan kaldırmak için alt seviye (L) eklenir. Dolayısıyla SIE, duvar etkisinden neredeyse bağımsızdır.

Düşük enerji kaynaklarıyla bu etkiyi yalnızca bir spektrum dönüştürme tekniği ortadan kaldıracaktır. Spektrumun bozulmuş kısmını kesmek için daha düşük bir seviyenin kullanılması, ESP tekniğinin dinamik (söndürme) aralığını önemli ölçüde azaltacaktır.

3.7.5. SQP (E) veya spektral bitiş noktası hesaplamaları

SQP (E) veya Dış standartın Spektral Sönümlenme Parametresi, harici standart spektrumun tahmini son noktasıdır. Spektrum, bir MCA'nın 1024 logaritmik kanalında saklanır ve SQP (E), kanal numarasının, harici standart spektrumun toplam sayımlarının %99,5'i olduğunu gösterir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. ²²⁶Ra Harici Standart Spektrum Kullanılarak SQP (E) Belirleme

SQP (E) formülü şöyledir:

$$\sum_{j=i}^n R_j \geq (1 - r) \sum_{j=400}^n R_j > \sum_{j=i+1}^n R_j \quad (3.6)$$

$R_j = j$ kanalındaki harici standart sayım.

$r = 0.995$, $n = 1024$

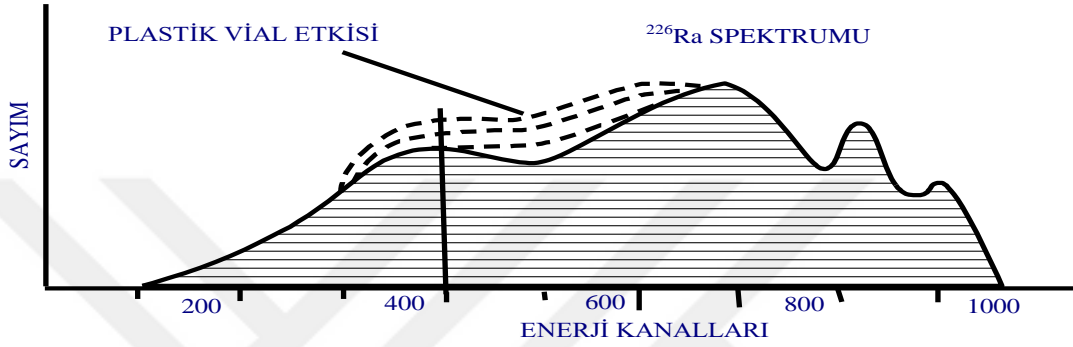
$\sum_{j=400}^n R_j =$ Kanal 400'ün üzerindeki toplam harici standart sayımlar.

$i = SQP(E)$

Bu formül, toplam 1024 kanalın ilk 400 kanalının hesaplamalardan çıkarıldığını gösterir. Bu, logaritmik atım yükseklik dağılımının kullanılmasının şüpheli

geçerliliğini tekrar göstermektedir. 400 kanal yaklaşık olarak 20 keV'ye karşılık gelir. Doğrusal bir 2000 keV ölçeğinde, görüntülenen spektrumun yalnızca %1'ini bozar.

Bu alt kısım, etkiyi azaltmak için elimine edilir. Sönümlenme parametresindeki çözücü difüzyonunun (duvar etkisi). Bununla birlikte, 400 kanalın ortadan kaldırılması, SQP'yi (E) duvar etkisinden bağımsız hale getirmek için kesinlikle yeterli değildir (Şekil 3.16.).



Şekil 3.16. Duvar etkisi 400 kanalın üstündeki spektrumu da etkiler

Renk sönümlenme, spektrumu daha geniş bir enerji aralığına yayarak düzleştirme eğiliminde olduğundan, bitiş noktası konumu renk sönümlenmeye çok duyarlıdır. Renk ve kimyasal sönümlenme arasındaki farkı azaltmak için, LKB'nin SQP (E) parametresinin matematiksel bir düzeltmesini yapması gerekiyordu. Belirli bir sayım verimliliğine sahip bir numunenin SQP'si (E) kimyasal veya renk sönümlenmeye ve cam veya plastik şişeye bağlı olduğundan, kullanıcı sisteme ne tür örneklerin ve ne tür şişelerin kullanıldığını bildirmelidir.

Logaritmik bir ölçeğin kullanılması nedeniyle, SQP (E) sönümlenme parametresi, sönümlenme değişikliklerine çok duyarlı değildir. SIE, SQP'den (E) üç kat daha hassas bir sönümlenme monitörüdür [14].

3.7.6. tSIE veya dönüştürülmüş spektral indeks hesaplamaları

Örnekte harici gama kaynağı tarafından üretilen düz Compton spektrumunu kullanmak yerine, dönüştürülmüş spektrum kullanılır. Spektral bozulmaları düzeltmek için enerji dağılımına matematiksel bir teknik uygulanır. Spektral bozulmalar, duvar efekti, hacim değişimi (daha düşük hacimlerde, düşük enerji bölgesinde daha fazla Compton

elektronu üretilir) ve renk söndürme gibi LSC işlem hataları ile ortaya çıkabilir. Spektrum düzleşir ve daha geniş enerji aralığına yayılır.

Geleneksel harici standart söndürme izleme tekniklerinde, bu spektral bozulmaların söndürme parametresi üzerindeki etkisi şu şekilde azaltılabilir:

1. Spektrumun bozuk kısmını ortadan kaldırmak.
2. Tüm spektral bilgileri kullanmak yerine spektrumdaki belirli bir noktaya bakmak.

İlk yaklaşım, söndürme monitörünün dinamik aralığını ve istatistiksel doğruluğu azaltır.

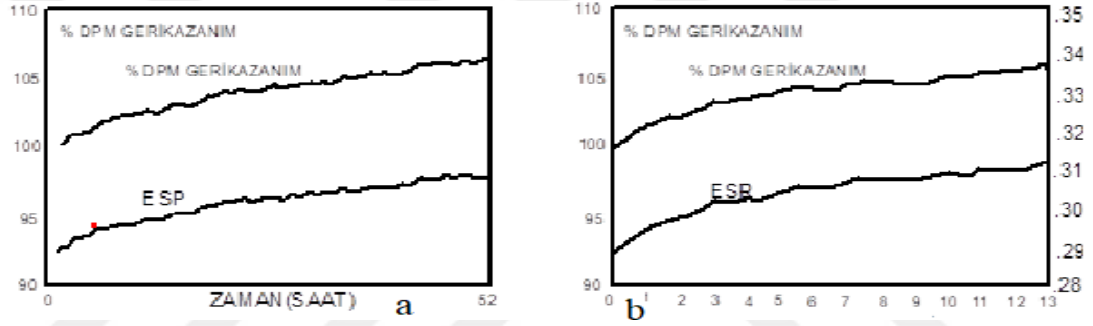
İkinci teknik, düşük istatistiksel kesinlikten mustarıdır. Ayrıca, spektrumun hem düşük enerji bölgesi hem de daha yüksek enerji kısmı bozulabilir, böylece spektrumun belirli bir noktasının izlenmesi tüm sayım yapaylıklarını ortadan kaldırmaz.

Reversed Spectrum Transform yöntemi, RST amacı ideal bir söndürme göstergesi parametresini (QIP) aşağıdaki kriterler kullanılarak geliştirmektir.

- 1) QIP, hacim değişiklikleri, renk söndürme, kokteyl yoğunluğu, duvar efekti, flakon tipi, flakon malzemesi vb. gibi işlem hatalarından bağımsız olmalıdır.
- 2) QIP yüksek bir dinamik aralığa sahip olmalıdır.
- 3) Harici standart kaynağın enerjisi, gama ışınlarının sayım odası çevresindeki malzeme ile etkileşiminin neden olduğu spektral bükülmeyi azaltmak veya hatta ortadan kaldırmak için yeterince düşük olmalıdır (PMT'lerin cam zarfındaki Cerenkov radyasyonu, flakon duvarları, sayma odası malzemesi, vb.).
- 4) Maksimum Compton enerjisi, ikili etiketli saymada en sık kullanılan radyonüklitler olan ^3H ve ^{14}C 'nin enerjisine olabildiğince yakın olmalıdır. Bu kriter, örnek spektrum uç noktaları ile harici standart spektrumun son noktası arasında, söndürmenin bir fonksiyonu olarak doğrusal bir ilişki sağlar. Bu, otomatik bölge izlemeyi optimize eder ve tüm söndürme seviyelerinde optimum çift etiket performansını garanti eder.
- 5) Düşük bir Emax, harici standart depolandığında arka plan seviyesinin etkisini ortadan kaldırmak için gereken koruma miktarını azaltır.
- 6) Katı radyasyon güvenliği düzenlemelerine tabi olmayan, düşük radyasyon tehlikesine sahip harici bir standart kaynak kullanılmalıdır.

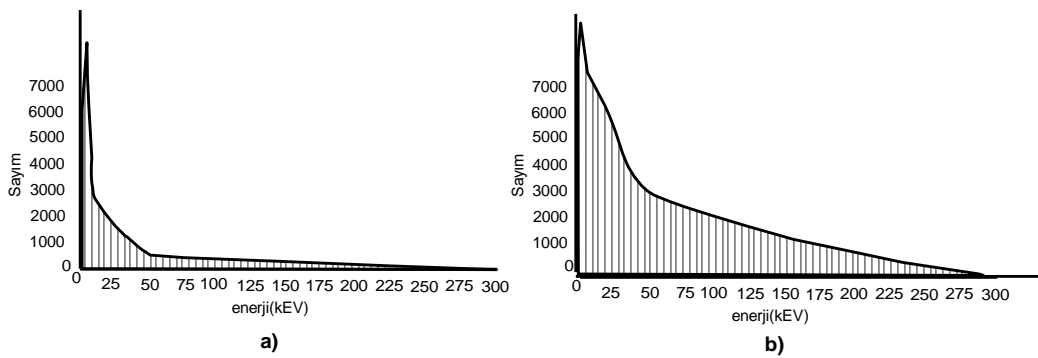
^{133}Ba , düşük enerjisi kriter 3, 4, 5 ve 6'yı karşıladığı için harici gama kaynağı olarak seçilmiştir. Ayrıca ^{133}Ba , daha geleneksel söndürme düzeltme parametreleri (ESR, ESP) ile uzun yıllardır kullanılmaktadır.

^{133}Ba 'yı geleneksel QIP hesaplamalarıyla kullanmanın en büyük dezavantajı, kriter 1 ve 2'nin tüm koşullarını karşılama becerisiydi. Duvar etkisini ve hacim bağımlılığını ortadan kaldırmak için, spektrumun düşük enerji kısmı kullanılamaz, dolayısıyla dinamik aralığı sınırlandırır. Geleneksel olarak baryum (T.M. Analytic ve Kontron) kullanan üreticiler, genellikle yüksek dinamik aralığı tercih ettiler. Sonuç olarak, plastik şişeleri sayarken bu sistemlerin performansı oldukça zayıftır (bkz. Şekil 3.17.a ve Şekil 3.17.b).



Şekil 3.17. ^{133}Ba ve ESP ile (a) duvar etkisi (b) duvar etkili kontron LSC

Ters Spektrum Dönüşümü, matematiksel bir spektral dönüşüm tekniğiyle spektral bozulmayı ortadan kaldırır ve maksimum dinamik aralıkla bu tür spektral bütünlüğü korur (Şekil 3.18.a ve Şekil 3.18.b).



Şekil 3.18. ^{133}Ba (a) harici standart spektrum (b) dönüştürülmüş harici standart spektrum

Ters Spektral Dönüşümün (RST) basitleştirilmiş matematiksel ifadesi (Şekil 3.18.b),

$$\int_{\hat{E}_{\max}}^{\hat{E}} N \hat{E} dE = \left(\int_{\hat{E}_{\max}}^{\hat{E}_2} n N(\hat{E}) dE - \int_{\hat{E}_{\max}}^{\hat{E}_1} N(\hat{E}) dE \right) \frac{\hat{E} - tSIE}{\hat{E}_2 - \hat{E}_1} \quad (3.7)$$

$$\int_{\hat{E}_{\max}}^{\hat{E}} N \hat{E} dE = \left(\int_{\hat{E}_{\max}}^{\hat{E}_2} n N(\hat{E}) dE - \int_{\hat{E}_{\max}}^{\hat{E}_1} N(\hat{E}) dE \right) \frac{\hat{E} - tSIE}{\hat{E}_2 - \hat{E}_1} \quad (3.8)$$

E: dönüştürülmüş enerji

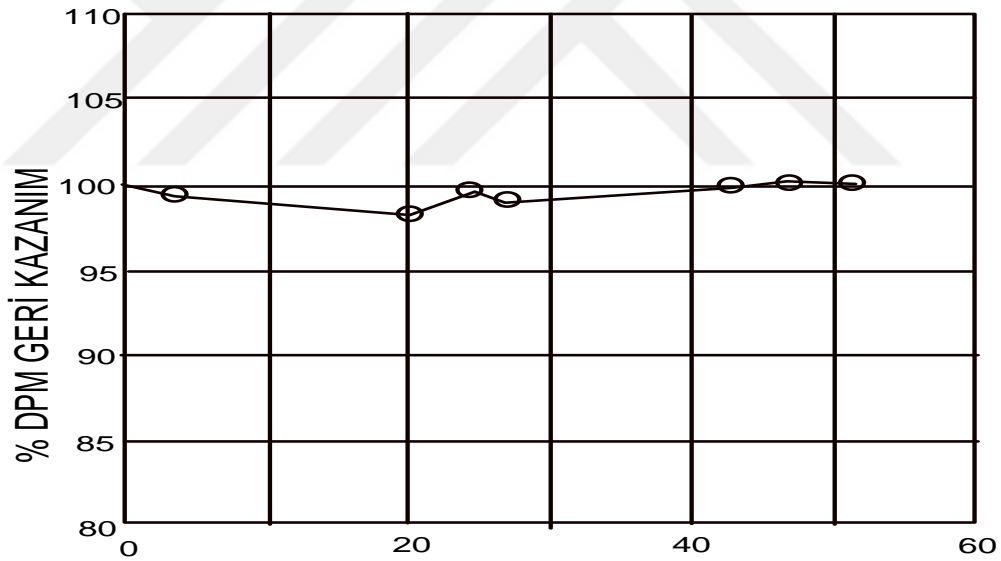
tSIE, bu RST işlevinin parametrelerinden biri olarak hesaplanır:

$$tSIE = (\hat{E}_2 - \hat{E}_1) \frac{\int_{\hat{E}_{\max}}^{\hat{E}} N(\hat{E}) d\hat{E}}{\int_{\hat{E}_{\max}}^{\hat{E}_2} N(\hat{E}) dE - \int_{\hat{E}_{\max}}^{\hat{E}_1} N(\hat{E}) dE} \quad (3.9)$$

tSIE, söndürülmemiş için 1000 olarak ifade edilir ve sayım oranından veya birikmiş sayımlardan bağımsızdır ($\int N(E) dE$ pay ve paydada görünür).

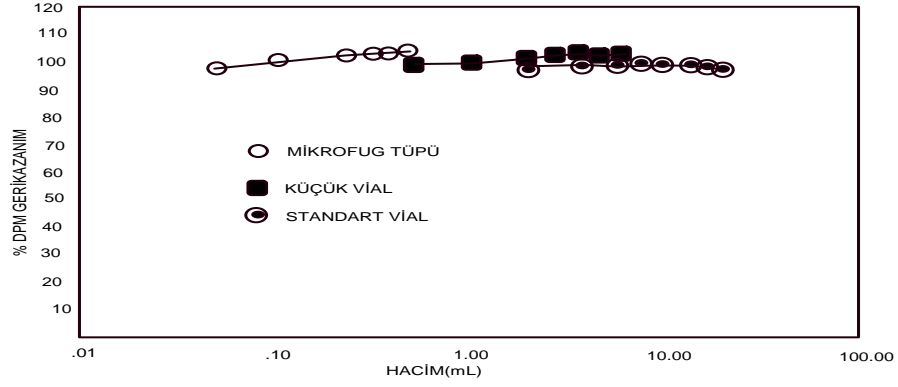
1) DPM sonuçları duvar etkisinden bağımsızdır (Şekil 3.19.).

"DUVAR" etkisinin olmamasının gösterilmesi ~ TRİTYUM QIP = tSIE



Şekil 3.19. TSIE kullanarak trityumun DPM geri kazanımında zamanın bir fonksiyonu olarak duvar etkisi

2) DPM sonuçları, 25µL'den 20mL'ye bağımsız hacimdir (Şekil 3.20.).



Şekil 3.20. TSIE'yi QIP olarak kullanarak hacmin DPM kurtarma üzerindeki etkisi

- 3) Optimum geometrik kaynak konumlandırmasına izin verir. ^{133}Ba kaynağı numunenin altında konumlandırılmıştır. Bu optimal geometrik yerleşim, radyoaktiviteyi flakonun uzunluğu boyunca paralel hale getirir ve maksimum Compton elektron oluşumu için daha uzun bir gama radyasyon yolu sağlar.

Flakonun alt malzemesinde (değişen kalınlıklarda), sedimantasyonda veya filtre kağıdında radyasyonun emilmesi, söndürme faktörünü etkilemeyecektir. tSIE yalnızca spektral dağılıma bağlıdır ve birikmiş sayım aktivitesine bağlı değildir. Absorpsiyon, Compton elektronlarının sayısını yalnızca biraz azaltacak, ancak spektral dağılımı değiştirmeyecektir.

- 4) Yüksek söndürme seviyelerinde veya aşırı düşük hacimlerde bile maksimum istatistiksel kesinlik sağlar. Spektrumdaki tüm sayımlar hesaplamalarda kullanılır.
- 5) Çok verimli söndürme izleme tekniği. En zorlu numuneleri bile saymak için gereken minimum ekstra sayım süresi.
- 6) LS kokteyli, söndürme maddesi, numune tipi veya hacmi, şişe tipi ve şişe boyutuna bakılmaksızın, her radyonüklid için yalnızca bir söndürme eğrisi kullanabilme özelliği.

Düşük enerjili bir harici standart kaynaktan Compton spektrumundan türetilen bir söndürme parametresinin mükemmel performansı, geleneksel ekipmanla imkânsız olurdu. Tüm Compton spektrumunun yüksek çözünürlüklü doğrusal bir Spektralizatör spektrum analizöründe depolanması, uygulanan spektrum analizinin yeteneklerinden tam olarak yararlanılmasına izin verir. Bu, önceki teknikler kullanılarak düşünülmemeyecek bir performansla sonuçlanır.

3.8. İç Standardizasyon

Bir numunenin sayım verimliliği, halihazırda şişede bulunan aktiviteye, aynı radyonüklitin bilinen bir aktivite miktarı eklenerek ve numune cpm'deki artış hesaplanarak belirlenebilir. Sayma verimliliğini hesaplamak için dahili standart teknik, üç aşamalı bir prosedürü içerir.

- 1) Numune sayılır ve cpm'si belirlenir.
- 2) Numuneye standart bir kaynaktan bilinen miktarda aktivite eklenir.
- 3) Örnek artı eklenen aktivite sayılır ve yeni cpm belirlenir.

Daha sonra sayma verimliliğini hesaplamak için aşağıdaki formül kullanılır:

$$E = \frac{C^2 - C^1}{D} \quad (3.10)$$

Burada;

C^1 , dahili standart olmaksızın numunenin net cpm'sidir.

C^2 , dahili standart D ile numunenin net cpm'si, dahili standardın dpm'sidir.

NOT: Net cpm, dakika başına brüt sayım oranı eksi arka plan sayım oranıdır.

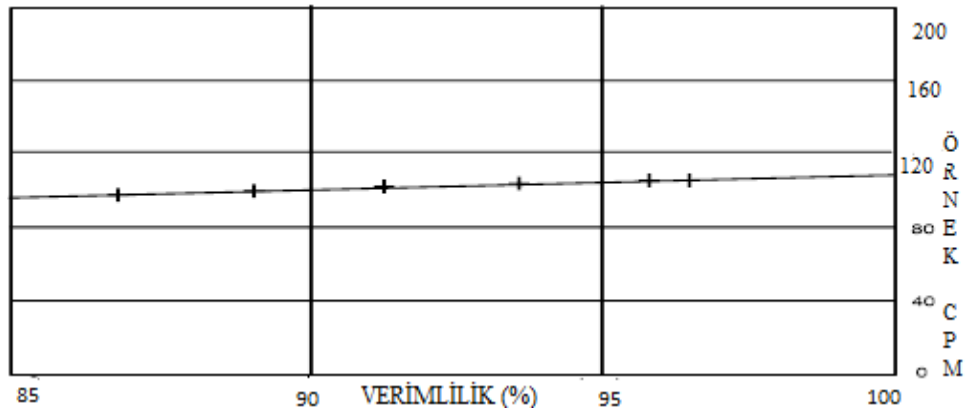
Bu verimlilik belirleme tekniğini gerçekleştirirken dikkate alınması gereken bir dizi husus vardır. Dahili standart kaynak, doğru bir verimlilik belirlemesi için aşağıdaki gereksinimleri karşılamalıdır.

1. Materyal, numune ile aynı materyal olmalıdır.
2. Radyoaktif etiket, numunedeki ile aynı olmalıdır.
3. Eklenen aktivite, numune aktivitesinden büyük veya ona eşit olmalıdır.
4. Dahili standart faaliyet doğru bir şekilde belirlenmelidir.
5. Eklenen faaliyet doğru bir şekilde bilinmelidir, yani dahili standardın uygulanmasındaki hata küçük olmalıdır

Numune sayımı artı dahili standart, standart Sayım koşullarının eklenmesinden sonra iki ölçümde aynı olmalıdır.

3.9. Verimlilik İzleme

Sıvı sintilasyon verimliliği izleme tekniği, bir sıvı sintilasyon analiz cihazında analiz edilen radyonüklitleri ölçmek için yeni ve güçlü bir yöntemdir. Bu tekniğin geleneksel DPM analizine göre birçok avantajı vardır. İlk olarak, analiz edilen her çekirdek için söndürme eğrisi (sönümlenmiş standart set) gerekmez. İkincisi, teknik neredeyse tüm saf beta ve beta-gama yayıcılar için etkili bir şekilde kullanılabilir. Üçüncüsü, DPM sonuçlarını hesaplamak için yalnızca tek bir söndürülmemiş ^{14}C numunesi (sıvı sintilasyon analizörünü normalleştirmek için kullanılanla aynı) gereklidir [15]. Dördüncü olarak, verimlilik izleme tekniği, numunedeki DPM'nin kantitasyonu için basit bir yöntem sağlar. Beşinci, nispeten küçük DPM'nin hesaplanmasındaki hatalar (%1-5) bu teknik kullanılarak elde edilebilir. Altıncı olarak, farklı radyonüklitler numune yığımında karıştırılabilir. Bu verimlilik izleme tekniği, çok kanallı bir analizör, gelişmiş bir veri azaltma sistemi ve bilinen mutlak aktiviteye sahip standart bir radyonüklit (kapalı kalibrasyon standardı) içeren bir sıvı sintilasyon analizörü gerektiren, patent bekleyen bir işleme dayanmaktadır. Verimlilik izleme prosedürü aşağıdaki şekilde gerçekleştirilir. İlk olarak, sistem, söndürülmemiş bir ^{14}C standardı ile standartlaştırılır (normalize edilir). Bu standardın referans spektrumu analiz edilir ve aynı anda altı ayrı bölgede sayım verimliliği belirlenir. İkinci olarak, altı bölgenin her birindeki % verimlilik hesaplanır ve her bölgedeki gerçek sayım sayısına göre grafiğe dökülür. Şekil 3.21.'de ^{14}C standardı için tipik bir % verimlilik ile CPM grafiğini göstermektedir.



Şekil 3.21. ^{14}C söndürülmemiş standart için tipik % verimlilik

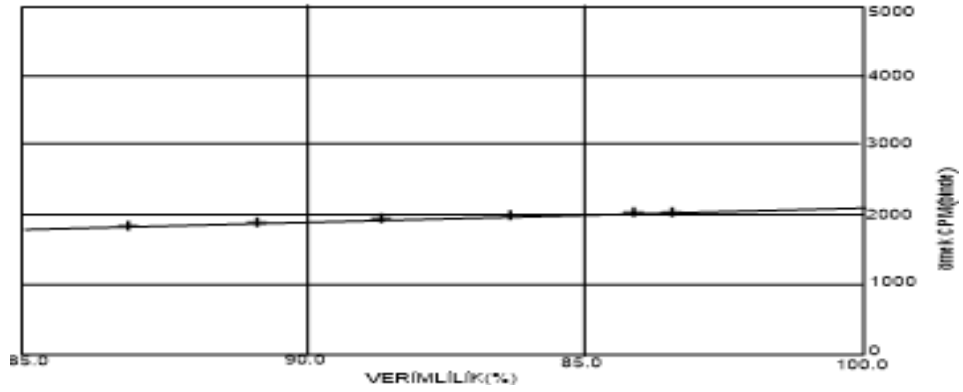
Üçüncüsü, en küçük kareler yöntemi ile analiz edilen sonuçtaki çizginin grafiğine dayalı olarak %100 verimlilik için tahmini bir CPM değeri belirlenir.

Dördüncüsü, bilinmeyen bir numune analiz edildiğinde, spektrumu aynı altı bölgede analiz edilir ve sonuçlar, ^{14}C standardı tarafından oluşturulan aynı x eksenini (% verimlilik) kullanılarak çizilir. Daha sonra ortaya çıkan noktalardan bir çizgi çizilir. Bu altı noktadan bir eğri oturtulur ve %100 verimliliğe eşleştirilir. Bu noktadaki tahmini CPM değeri, örnekteki DPM sayısına eşittir. Verimlilik izleme ile hesaplanan DPM ile numunenin mutlak aktivitesi arasında mükemmel istatistiksel sonuçlar ile bir düzineden fazla radyonüklit bu teknik kullanılarak test edilmiştir. Radyonüklitler için LSA Model 2000CA'da verimlilik izleme tekniği kullanılarak elde edilen DPM sonuçlarının spesifik örnekleri ^{36}Cl , ^{59}Fe , ^{63}Ni ve ^{14}C Tablo 3.1.'de gösterilmektedir.

Tablo 3.1. Çeşitli söndürme seviyelerinde çeşitli nüklitlerin verimlilik izleme sonuçları [15]

Radyonüklit	SIS	tSIE	DPM (ET)	OPM (GERCEK)	%KAYIT.
^{36}Cl	973	919	117,381	118,414	99,1
^{6}Cl	580	537	117,607	118,414	99,3
^{36}Cl	188	174	116,606	118,414	98,5
^{36}Cl	117	109	117,154	118,414	99,0
^{59}Fe	241	460	2.231,719	2,310,000	97,0
^{59}Fe	223	428	2.204,944	2.310,000	95,4
^{59}Fe	151	315	2.283,158	2.310,000	98,8
^{59}Fe	115	305	2.306,399	2.310,000	99,9
^{63}Ni	30	583	200,826	200,000	100,4
^{63}Ni	29	535	197,909	200,000	99,0
^{63}Ni	16	235	195,066	200,000	97,0
^{63}Ni	15	206	185,546	200,000	93,0
^{14}C	173	1.000	111,280	111,700	99,6
^{14}C	86	505	112,603	111,700	100,8
^{14}C	39	209	116,373	111,700	104,1
^{14}C	24	120	125,131	111,700	112,0

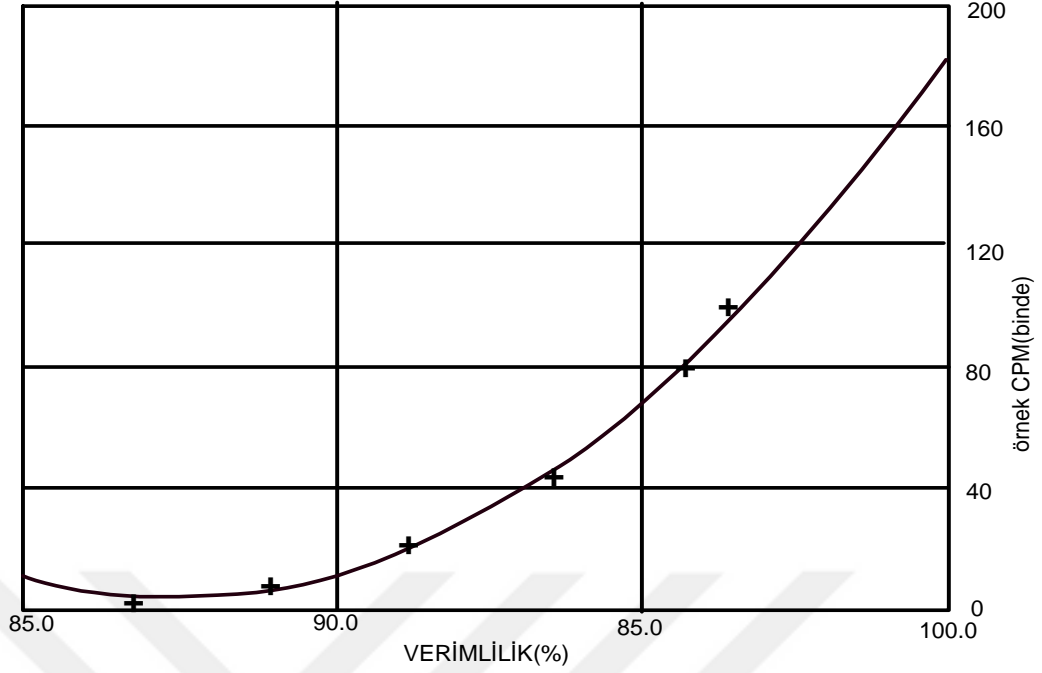
Verilerin gerçek verimlilik izleme grafiklerinin spesifik örnekleri, mükemmel istatistiksel sonuçlar verir. % Geri kazanım, sayıların $\%100 \pm \%2$ 'sine karşı ^{36}Cl , ^{59}Fe ve ^{63}Ni için yukarıda Tablo 3.1 ile aşağıda Şekil 3.22.'de gösterilmektedir.



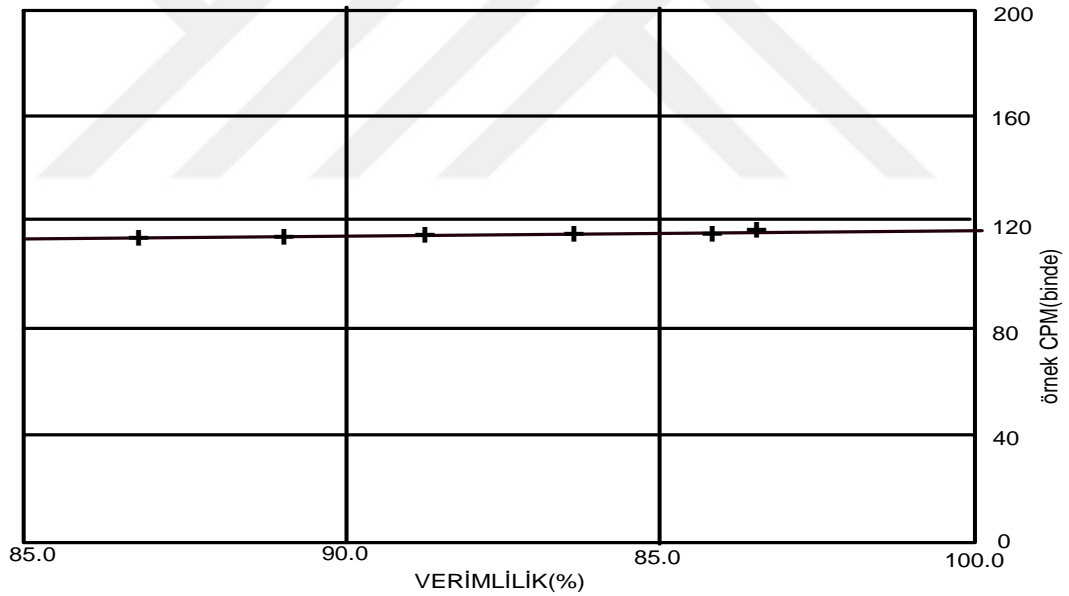
Şekil 3.22. TSIE = 437 söndürme düzeyinde ⁵⁹Fe için verimlilik izleme eğrisi

Tablo 3.2. Sönümlenme verileri [15]

1.	Std. vial renk sönümlenme	625	143,457	144,000	99,6
2.	Mini vial	644	144,020	144,000	100,0
3.	Stdvial (2,0 ml)	576	128,536	129,500	99,3
4.	Std. vial (8,0 ml)	967	127,808	129,500	98,7
5.	Std. vial (15,0 ml)	959	128,432	129,500	99,2
6.	Mini vial (0,5 ml)	608	128,608	129,500	99,3
7.	Mini vial (2,0 ml)	776	128,099	129,500	98,9
8.	Mini vial (5,0 ml)	862	128,768	129,500	99,4
9.	Std. vial renk sönümlenme	690	142,734	144,000	99,1
10.	Mini vial renk sönümlenme	653	143,072	144,000	99,4
11.	Std. vial Bray's kokteyli	207	119,173	120,800	98,7
12.	Mikro hacim 400 ul	739	10,992	10,760	102,1
13.	Mikro hacim 200 ul	693	11,209	11,080	101,1
14.	Mikro hacim 100 ul	643	11,043	10,860	101,7
15.	Mikro hacim 50 ul	590	10,747	10,650	100,9
16.	Mikro hacim 25ul	548	10,715	10,460	102,4
17.	Std. vial renk sönümlenme	989	110,129	111,700	98,6
18.	Std. vial renk sönümlenme	785	111,312	111,700	99,7
19.	Std. vial renk sönümlenme	281	112,279	111,700	100,5
20.	Mini vial No	862	132,904	133,500	99,6



Şekil 3.23. TSIE = 204 söndürme düzeyinde Ni için verimlilik izleme eğrisi



Şekil 3.24. TSIE = 953 söndürme düzeyinde ³⁸Cl için verimlilik izleme eğrisi

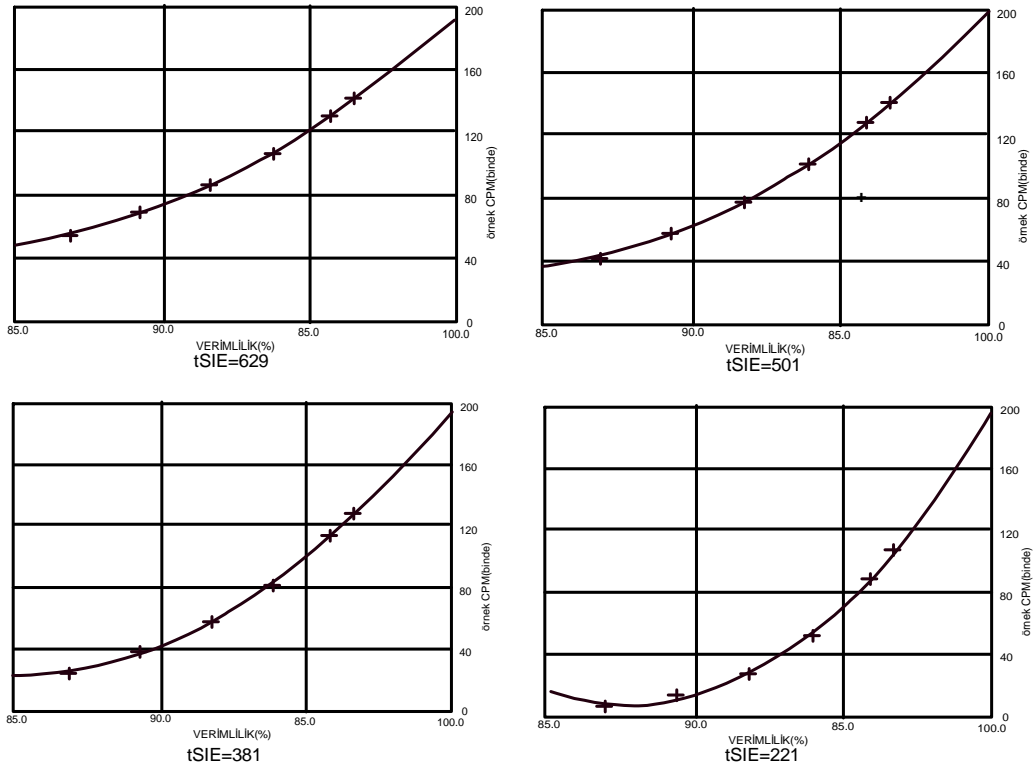
Önceki tablodan ve sonuçlardan görülebileceği gibi, 60-1700 keV enerji aralığında Ni'den ³²P'ye kadar değişen radyonüklitler için mükemmel DPM değerleri elde edilebilir. DPM değerlerini belirlemenin güvenilirliğini ve doğruluğunu daha fazla değerlendirmek için, çeşitli sayım şişeleri, sintilasyon kokteylleri, numune hacmi, mikro hacim numuneleri ve renk derecesi veya kimyasal söndürme içeren bir dizi numune, verimlilik izleme tekniği kullanılarak nicelendirildi [15].

3.10. Örnek tSIE DPM Geri Kazanım Yüzdesi (% Recovery)

Ortalama geri kazanım yüzdesi, sadece 1,15'lik çok küçük bir standart sapma ile %99,91'dir. Bu sonuçlar kesin olarak, verimlilik izleme tekniğini kullanmanın aşağıdakilerden bağımsız DPM sonuçları ürettiğini göstermektedir:

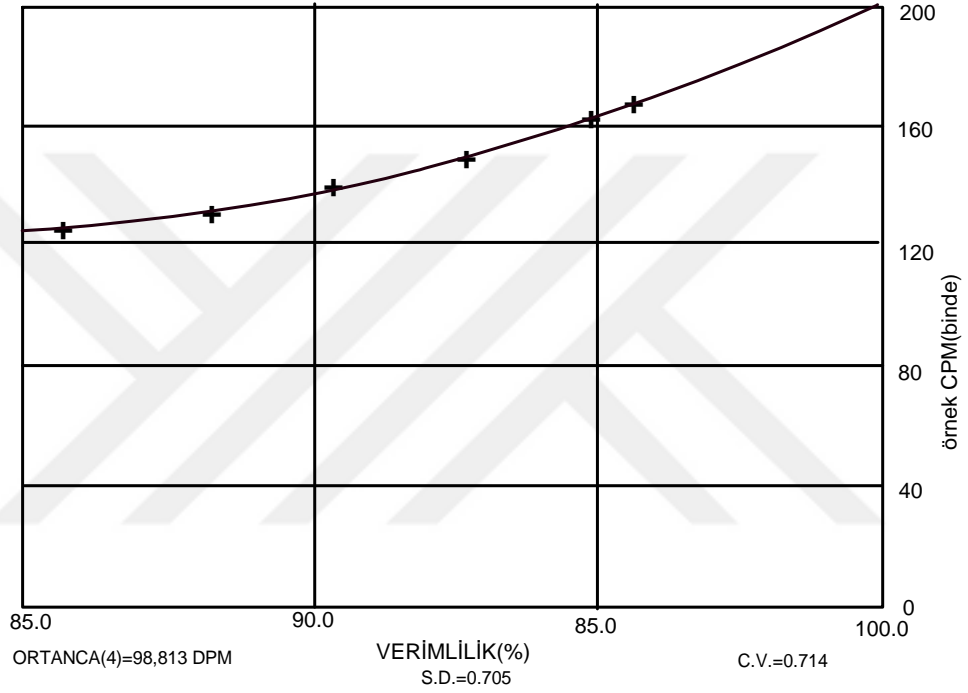
- Kokteyl yoğunluğu değişimi
- Farklı flakon boyutları
- Renk söndürme
- Kimyasal su verme
- Flakon bileşimi

DPM değerlerinin numunenin kimyasal sönümlenme seviyesindeki bağımsızlığı, Şekil 3.25.'de çizilen çeşitli sönümlenme seviyelerinde (629,501,381,221) ⁶³Ni kullanılarak daha fazla gösterilebilir. Çizim, her bir verimlilik izleme grafiğinin (farklı tSIE değerleri) farklı bir eğime sahip olduğunu, ancak hepsinin yaklaşık 197.000 DPM'de %100 aktivite çizgisiyle kesiştiğini gösterir. Bu, nihai DPM sonuçlarının örneğin renk veya kimyasal sönümlenme seviyesinden bağımsız olduğunu açıkça gösterir.



Şekil 3.25. Dört söndürme düzeyinde ⁶³Ni için verimlilik izleme eğrileri

Ek olarak, düşük seviyeli DPM numuneleri için verimlilik izleme kullanılıyorsa, Şekil 3.26'da gösterilenlere benzer sonuçlar beklenebilir. Bu teknikle 100 DPM içeren bir dizi örnek analiz edildi ve benzer şekilde Japonya'daki Dr. Ishikawa'dan 0,714 varyasyon katsayısına sahip 98,813 DPM elde edildi, bir dizi düşük seviye örnek için $22,53 \pm 1,11$ kadar düşük DPM elde edildi. Bu sonuçlar, verimlilik izleme yönteminin düşük seviyeli örneklerde DPM'yi belirlemek için doğru bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir [15].



Şekil 3.26. 100 DPM içeren ^{14}C numunenin verimlilik takibi ve dört numunenin istatistikleri

Bu teknik, çoğu saf beta ve beta-gama yayıcılar için kullanılabilir. Tek istisna, yüksek derecede su verilmiş numune için verimlilik izleme grafiği büyük hatalara (%25'e kadar) neden olabilen trityumdur. Ek olarak, verimlilik izleme tekniği, izometrik geçişler ve elektron yakalama ile bozulan radyonüklitler için geçerli değildir. Bunun nedeni, elektron yakalama ile bozulan radyonüklitlerin ardından bir x-ışını veya Auger elektronu emisyonununun gelmesidir. Bu, bu tekniği kullanarak bu radyonüklitlerin gerçek mutlak aktivitesini bulmayı zorlaştırır.

Özetle, verimlilik izleme tekniği, çoğu saf beta ve saf beta-gama yayıcılar (minimum enerji = 60 keV) için DPM'yi (mutlak aktivite) hesaplamının doğru ve güvenilir bir yöntemidir. Bu yöntem, yalnızca bilinen aktivitenin söndürülmemiş bir ^{14}C

standardının sayılmasını gerektirir ve her bir radyonüklit için söndürülmüş bir eğri setinin hazırlanmasını gerektirmez.

Her numune için nihai DPM, standart ile karşılaştırıldığında her numunenin spektrumundan hesaplanır. Altı ayrı spektral bölge kullanılarak söndürülmemiş numune Veriler (DPM), numunenin mutlak aktivitesini (DPM) belirlemek için özel bir eğri uydurma rutini ve ekstrapolasyon tekniği kullanılarak hesaplanır.

3.11. Beta Enerji Spektrumunun Kalitatif ve Kantitatif Analizi

3.11.1. Giriş

Beta radyasyonunu saymanın amacı, her bir radyonüklite sahip olduğu aktivite miktarını ölçmektir [15].

Sıvı sintilasyon (parıltı) sayacında (LSC) yapılan nitel veya nicel analizin temeli, belirli koşullarda gerçekleşen uygun beta spektrumunun (izgesinin) davranışının incelenmesidir. Geleneksel yöntem, spektrumun atım yükseklik analizine ile birlikte seçilen pencerelerin veya sayma kanallarının kullanımına dayanır.

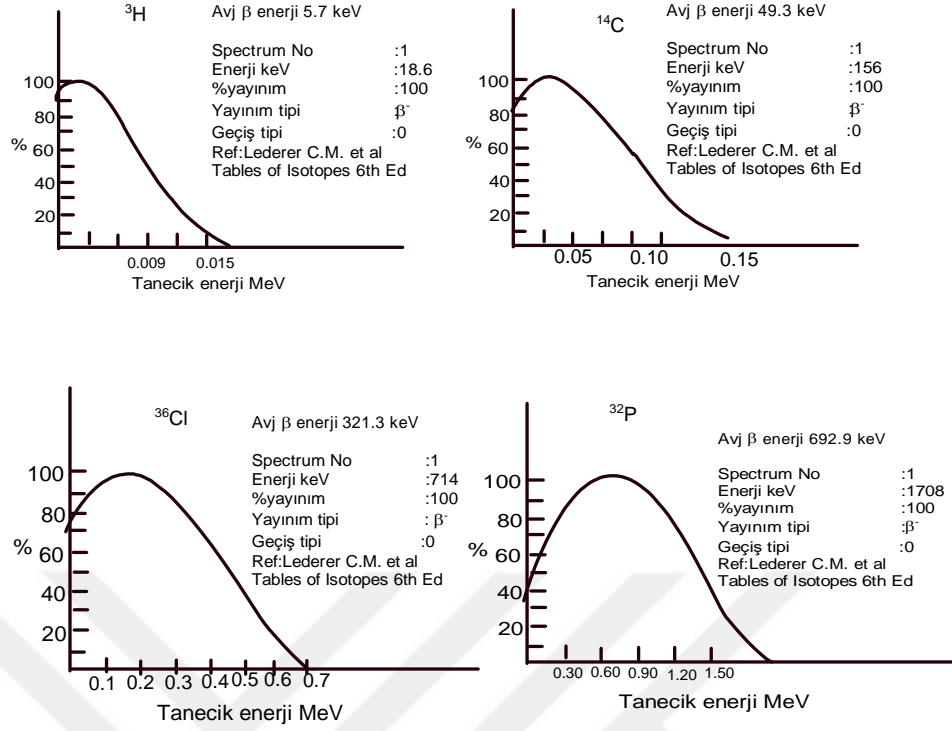
Son zamanlarda, tam spektrum analizine dayanan bir yaklaşım kullanılıp kabul görmeye başlandı. Bu yeni yöntem temel olarak penceresiz sayımı içerir ve kullanılan geleneksel yöntemlere göre bir gelişme göstermiştir.

Bu bölümde kullanılan radyoaktivitenin niteliği(kalitesi) terimi, beta enerji kullanılarak bir radyonüklitin tanımlanmasıdır [15].

3.11.2. Beta spektrumu

Bir çekirdek tarafından yayılan beta parçacıkları, sıfırdan maksimum değere kadar sürekli bir enerji spektrumu üretir. Bu maksimum enerji, ölçülen radyonüklit için karakteristiktir. Soğurulan enerjinin hesaplanmasında kullanılan enerji, maksimum enerjinin ve çekirdeğin atom numarasının bir fonksiyonu olan ortalama enerjidir. Aynı şekilde bilinen bir radyonüklitin karakteristik enerji özelliğidir.

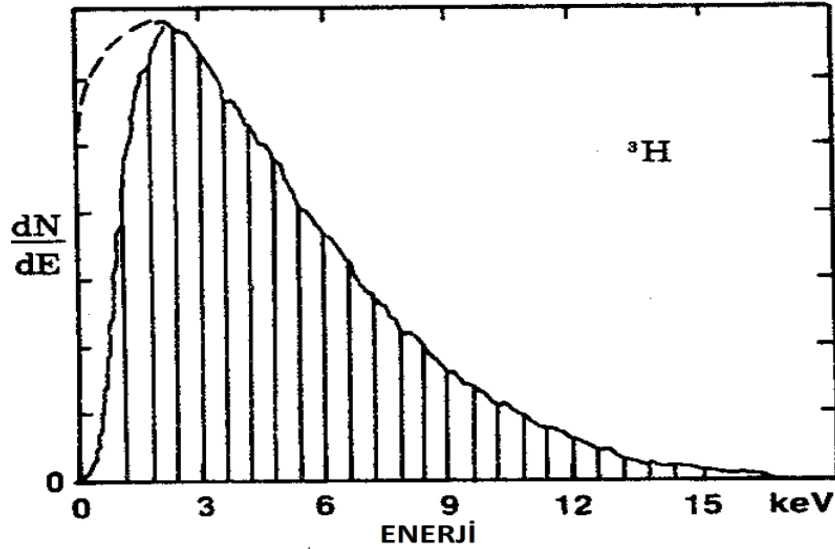
Yaygın olarak kullanılan bazı saf beta yayıcılar için tipik teorik spektrumlar Şekil 3.27.'de gösterilmektedir [16].



Şekil 3.27. Saf beta yayıcılar [16]

3.11.3. Spektral şekil

Sıvı sintilasyon sayacı ile elde edilen atım yükseklik dağılım spektrumu Şekil 3.28'de gösterildiği gibidir. Atım yüksekliği, enerji birimleri (keV) cinsinden kalibre edilir.



Şekil 3.28. Atım yükseklik dağılımı

Bu atım yükseklik dağılımı aşağıdaki nedenlerden dolayı teorik beta spektrumundan sapmaktadır.

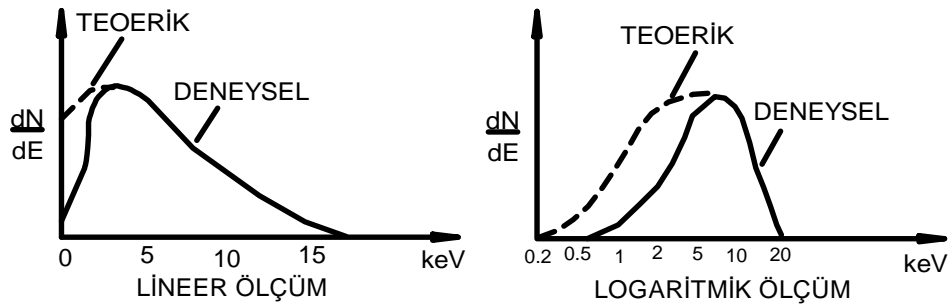
1. Düşük enerjiler için, atım yükseklik dağılımı, çakışma koşulu, yani toplam (teorik) spektrumundan tek foton (ışınçık) atımlarının çıkarılması nedeniyle bilinen biçimde değildir. Çakışma spektrumunda bir foto elektron üretmek için (bir sayımı kaydetmek için) gereken ortalama enerji 0,7-1 keV'dir.
2. Foto katot un kuantum eşiği ve atım toplamı nedeniyle, atım yükseklik ölçeği, düşük enerji aralığındaki elektron enerjisi ile doğrusal orantılı değildir.

Kuantum Eşiği %30'luk bir katot kuantum verimliliği sahip olduğunda, 1000 foton sintilasyonundan gelen atım yüksekliği 300 foto elektrona eşittir. Ancak, tespit edilebilen tek bir fotonun atım yüksekliği, tek bir foto elektronun atım yüksekliğine eşittir. Tespit edilebilmesi de %30'dur, ancak tespit edildiğinde tek bir foto elektron olarak kaydedilecektir.

Sonuç olarak, bağıl olarak 1000'e 1 foton girdisi ile göreceli atım yüksekliği çıkışı sadece 300/1'dir. Atım yükseklik dağılımındaki bu doğrusal olmama, 3 keV'ye kadar olan sintilasyonlarla sınırlıdır.

Atım Toplamı- Düşük enerjiler için atım yükseklik dağılımı, toplama kavramı ile daha da değiştirilir. Bir foto tüpte zayıf bir sintilasyonu kaydetme yeteneği, ikinci foto tüpte aynı olayın algılama olasılığına ve atım yüksekliğine bağlıdır. Bu, atım yükseklik dağılımının doğrusallığını daha da bozar (3.5-4.0 keV'ye kadar).

Sonuç: Modern sıvı sintilasyon sayaçları tarafından kaydedilen beta spektrumu, düşük enerji ucundaki teorik spektrum gibi görünmüyor. Dahası, şekil cihaza bağlıdır. Çakışma eşiği, foto çoğaltıcı kuantum verimliliği, toplama devresi ve detektör odası optiği, spektral şekli etkileyecektir (Şekil 3.29).



Şekil 3.29. Teorik ve gerçek spektrum şekli [16]

3.12. Doğrusal ve Logaritmik Enerji Ölçeklerinin Karşılaştırılması

Logaritmik ölçeğin dezavantajları:

1. Enerji ölçeğinin kaynağı 0 keV değildir. Logaritmik büyültmeye sahip çoğu ticari enstrüman, enerji seviyesini işaretlemek için keV birimleri yerine kanal numaralarını kullanmalıdır.
2. Logaritmik ölçeklendirme kullanıldığında trityum spektrumunun yarısından fazlasının çoğu bozular. Teorik ve deneysel olarak doğru olan yüksek atım yükseklik dağılım noktasının vurgulanmasından ziyade, spektrumun hatalı ve cihaza bağlı kısmı üzerinedir. Doğrusal ölçekte, trityum spektrumunun yalnızca altıda biri hafifçe bozular.
3. Tipik spektral enerjilerin doğru bir şekilde belirlenmesi, ölçek daha yüksek enerji seviyelerinde giderek daha fazla sıkıştırıldığı için zordur.
4. Bazı ticari cihazlarda, logaritmik yanıt, logaritmik foto çoğaltıcı yükseltilmesi (amplifikasyonu) ile elde edilir. Bu, toplamadan önce logaritmik bir yanıtla sonuçlanır. Toplanan atım: $\log A + \log B = \log AB$. Bu, her iki foto çoğaltıcıdan gelen atım çıkışı yüksekliklerinin toplanmak yerine çarpılması anlamına gelir. Toplam bozunum enerjisinin iki foto çoğaltıcı arasındaki eşit olmayan dağılımının toplanmasını düzeltirken, çarpma, enerji ölçeği boyunca atımların istatistiksel olmayan bir dağılımına neden olur ve bu da ^1H kanalında daha yüksek ^{14}C katkısı ile sonuçlanır. Pik çözünürlüğü ve kötü izotop ayrımı karakteristiktir.
5. Logaritmik kazanç yükselteçlerinin stabilize edilmesi zordur (kazanç kararlılığı için doğrusal geri besleme mümkün değildir) ve pencere seçimi, enerji seviyelerinden ziyade kanal numaralarına göre yapılmalıdır. Bu genellikle, pencereleri doğru şekilde ayarlamak için spektrum arama yetenekleri veya canlı spektrum görüntüleri gerektirir.
6. Bir logaritmik spektrumun ortalama atım yüksekliğinin hesaplanması, radyonüklitin karakteristik ortalama enerjisi ile ilgili olmayan bir rakam verir. Fiziksel bir anlamı yoktur.

Doğrusal ölçekleme yitimleri:

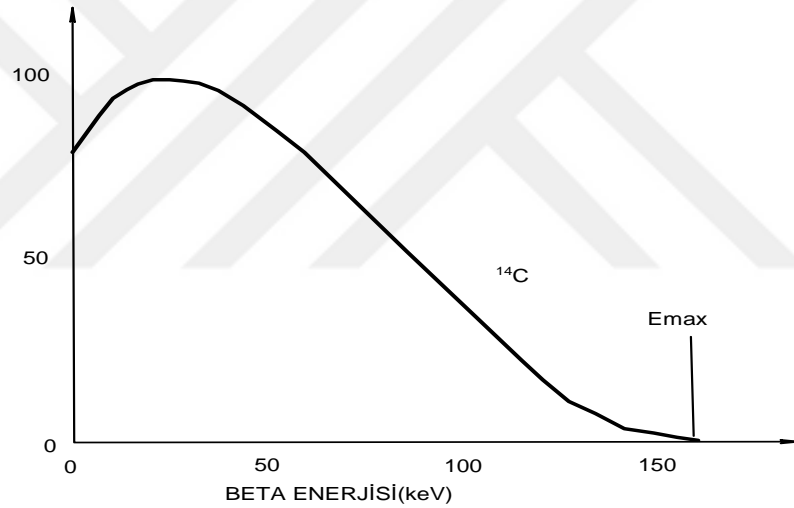
1. Spektrumu yeterli yüksek çözünürlükte depolamak için yüksek dinamik aralığa sahip bir yükselteç ve çok sayıda kanala sahip çok kanallı bir analiz cihazı gerekir.

Modem elektronikte bu, teknolojik bir yitimden çok bir maliyet yitimidir. Tüm enerji aralığını logaritmik yükselteçle 256 veya 1024 kanalda depolamak, doğrusal yükselteçli 4096 kanaldan kesinlikle daha ucuzdur.

3.13. Spektrum Tanıma

Bir beta enerji spektrumunun tanınması (Şekil 3.30.) genellikle atım yükseklik dağılımının aşağıdaki özelliklerinden birine dayanır:

- Maksimum beta parçacık enerjisi (E_{max})
- En yüksek enerjide atım yüksekliği (5) (E_p)
- Üst aralığın dönüm noktası (4) (H-sayı kavramı)
- Ortalama atım yüksekliği (1) veya spektral indis (6) (E_{av} , SIS)



Şekil 3.30. Teorik ¹⁴C beta parçacık enerji dağıtımı

3.13.1. Maksimum beta parçacık enerjisi: E_{max}

Maksimum enerji, atım yükseklik dağılımının bitiş noktası olarak belirlenir. Ölçme ve hesaplama doğruluğu çok kesin değildir, çünkü sayılan parçacık sayısının enerji seviyesi başına düşük olduğu spektrumun sonuna bakılır.

Son nokta tahminini iyileştirmek için regresyon teknikleri uygulanabilir. Bitiş noktası, atım yükseklik dağılımının teorik denklemini tanımlayan eğrinin kesişimi olarak hesaplanır. Ancak, bu denklemler yalnızca saf beta yayıcılar incelendiğinde geçerlidir. Bileşke beta yayıcı spektrumlarına uygulanamazlar.

3.13.2. Pik şiddetinde atım yüksekliği: E_p

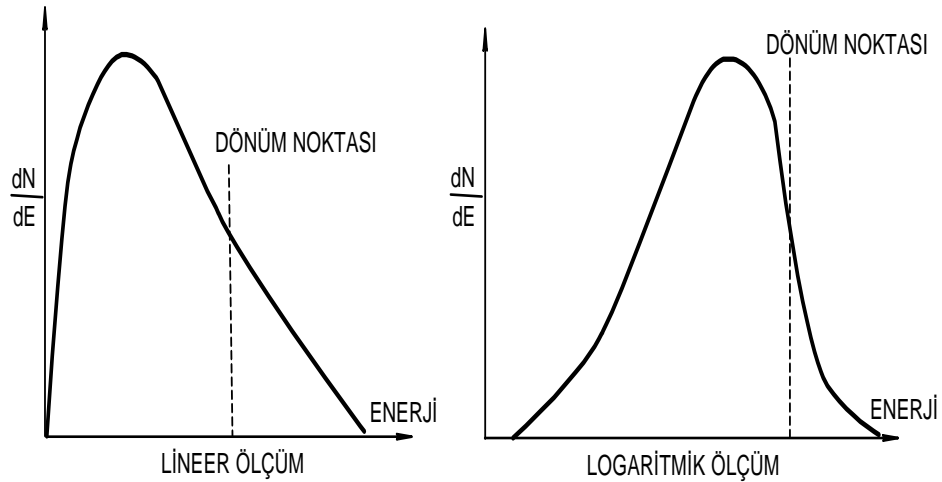
Maksimum bozunum hızındaki enerji, beta ışını spektrumunun başka bir tipik noktasıdır.

Yine, kesin tespit çok zordur. Pikler geniştir ve tespit, pik regresyonuyla elde edilen bir fonksiyonun maksimumunun hesaplanmasına dayanmalıdır (birinci türev sıfıra eşittir). Spektrumun bu bölgesinde daha fazla sayım birikmesine rağmen, geniş şekli nedeniyle kesin konum imkansızdır.

3.13.2.1. Üst kenarın dönüm noktası: $H \#$

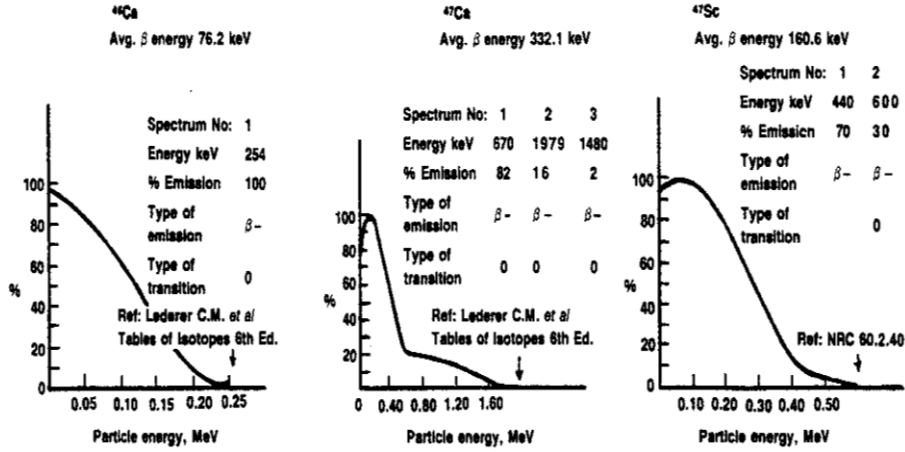
Dönüm noktasının konumu, radyonükliti karakterize etmek için kullanılabilir. Bu yöntem aynı zamanda spektrumun belirli bir bölgesini içerir ve hesaplamalar, bu bölgede bulunan dar kanallarda sayılarak elde edilen noktalarla uydurulan eğrinin ikinci türevine dayanır.

Bir logaritmik atım yükseklik dağılımında dönüm noktası hesaplanırken hassasiyet daha iyi görünür (Şekil 3.31). Logaritmik ölçekte azaltılmış spektrum çözünürlüğü nedeniyle hesaplamalar kesinlikle daha kolaydır.



Şekil 3.31. Eğilme noktaları

Eğilim noktası hesaplamaları genellikle çok zordur ve karakteristik olmayan atım yükseklik dağılımları veya bileşik beta spektrumları ile karşılaşıldığında hemen hemen kullanılamaz (Şekil 3.31.).



Şekil 3.32. Bileşke beta enerji spektrumları [16]

⁴⁷Ca ve ⁴⁷Sc için bileşke spektrumlarına bakın Şekil (3.32.). Her ikisinin birden fazla beta grubu mevcuttur.

3.13.3. Ortalama enerji (E_{av}) ve spektral indeks (SIS)

Mantel, tıp ve biyolojide ilgilenilen 59 izotopun ortalama enerjisini hesapladı. Her bir radyonüklit, ortalama enerjisi ile benzersiz bir şekilde tanımlanabilir.

Ortalama kinetik enerji E_{av} aşağıdaki ilişkiden hesaplanır:

$$E_{av} = \frac{\int_0^{E_{max}} E x N(E) dE}{\int_0^{E_{max}} N(E) dE} \quad (3.11)$$

E_{av} : ortalama kinetik enerji

$N(E)$: E enerjisine sahip parçacıklarının sayısı

E : bir parçacığın enerjisi

Hesaplanan değer, beta enerji spektrumunun ilk anıdır ve ağırlık merkezi olarak da adlandırılır. Packard, yüksek çözünürlüklü doğrusal bir spektrum analizörünün uygulanmasıyla, bu formülü SIS (Örneğinin Spektral İndeksi) hesaplamasına uygulayabilir.

$$SIS = K \frac{\sum_{x=0}^u x n(x)}{\sum_{x=0}^u n(x)} \quad (3.12)$$

Bu, ΔX genişliğine sahip ayırık enerji kanallarını kullanan belirli integrale dayanan normalleştirilmiş (normalleştirme faktörü K) ortalama enerji hesaplamasıdır.

$n(x) = X$ ve $X + \Delta X$ arasında atım yüksekliğine sahip sayım sayısı X (beta parçacıklarının sayısıyla orantılı).

x : atım yüksekliği (beta parçacık enerjisi ile orantılı).

SIS : Örneğin Spektral İndeksi.

u : Atım yükseklik dağılımının üst seviyesi (bitiş noktası).

SIS ve Eav arasındaki benzersiz ilişkiye dayanarak, izotop spektrumunu nitelendirmek mümkündür. Bu indis, bir spektrumun dört karakteristik parametresinden en doğru olanıdır, çünkü tüm spektrumu ve dolayısıyla indisi hesaplamak için maksimum sayma doğruluğunu kullanır. Bu hesaplamayı gerçekleştirmek için büyük miktarda teknolojik alet gereksinimi karşılanmalıdır:

1. Geniş bir dinamik aralıkla doğrusal yükseltilmesi (bir logaritmik spektrumun ortalama enerjisi, bir radyonüklit spektrumunu nitelemek için hiçbir zaman literatürde yayınlanmamıştır).
2. Yüksek çözünürlüklü spektrum analizi Mantel denklemine dayalı olarak, ortalama atım yüksekliği ancak enerji çözünürlüğü çok yüksek olduğunda (teorik olarak sonsuz) doğru bir şekilde hesaplanabilir. Bu nedenle Packard, ticari sıvı sintilasyon sayaçlarında (4000'den fazla kanal) bulunan en yüksek çözünürlüklü MCA'yı kullanır.

3.13.4. Girişim ve spektrum analizi sayma

Spektrum analizinin kullanılması sayesinde, modern sıvı sintilasyon sayacı artık bu sayma tekniğinin tanıtılmasından bu yana LSC kullanıcılarını rahatsız eden bir dizi sayma girişimini düzeltebilmektedir. Aşağıdaki girişimler sıvı sintilasyon işleminin doğasında vardır:

- Sönümlenme
- Kemilüminesans
- Statik elektrik
- Duvar etkisi
- Sintilasyon hacmi varyasyonları
- Heterojen örnekler
- Arka Plan

3.13.5. Kemilüminesans / fotolüminesans algılama ve düzeltme

Kemilüminesans, kimyasal bir reaksiyonun sonucu olarak ışık üretimidir. Bu, en tipik haliyle, alkalın pH örneklerinde ve/veya emülgatör tipi sintilasyon kokteylleri ile karıştırıldığında, peroksit içeren örneklerde cereyan etmektedir.

Fotolüminesans, kokteylin ve/veya şişenin ultraviyole ışıkla aktivasyonu ile sonuçlanır. Bu, laboratuvarında kullanılan güneş ışığına veya UV ışınlarına maruz kalmasıyla meydana gelebilir.

Kemilüminesans ve fotolüminesans arasında, kimyasal ışıldamanın oldukça yavaş bir bozulma hızına sahip olması (sıcaklığa bağlı olarak 0,5 saatten bir günden fazlasına), fotolüminesans genellikle birkaç dakika içinde azalması bakımından bir fark vardır.

Spektrum ile ilgili olarak, kemilüminesans ve fotolüminesans arasında belirgin bir fark yoktur. Lüminesans, tek bir foton olayıdır ve yüksek lüminesans aktivitede çakışma olaylara sahip olma olasılığı nedeniyle bir sayım olarak kaydedilir. Atım yükseklik dağılımı reaksiyonun yoğunluğuna çok az bağlıdır. Spektrum, ^3H spektrumuyla örtüşen bir atım yükseklik dağılımına sahiptir.

Maksimum atım yüksekliği yaklaşık 6 keV'ye karşılık gelir ve spektrum kimyasal sönmüleden bağımsızdır (çünkü olaylar beta parçacıklarının fotonlara dönüştürülmesiyle değil, reaksiyonun kendisi tarafından üretilir).

Lüminesans spektrumunun bu karakteristik özellikleri, spektrum analizi kullanılarak bir beta enerji spektrumundan ayırt edilmesini kolaylaştırır. Bileşke spektrumun SIS'si, artan ışıldama aktivitesi ile azalacaktır. Tipik spektral şekil, Spektralizatör spektrum analizöründe saklanabilir, böylece sayım sonuçları, spektral şekil ve fraksiyon çıkarmaya dayalı olarak girişim olayları için düzeltilebilir. SIS ne kadar düşükse, toplam düzeltilmemiş spektruma lüminesans katkısı o kadar yüksek olur.

3.13.5.1. Kemilüminesansın kökeni

Sıvı sintilasyon sayımında birçok foton üreten girişim, öncelikle farklı örnek türleri için kullanılan değişik örnek hazırlama yöntemlerinden kaynaklanır. Kemilüminesans, sintilasyon örneğinin bileşenleri arasındaki kimyasal reaksiyonlardan üretilen ışıktır.

Genellikle analit içindeki analit veya çözünen maddeler, birbirleriyle veya sintilasyon kokteyli ile reaksiyona girerek kimyasal uyarımlardan kaynaklanan ışık yayılmasına neden olabilir. Radyoaktif bozunum ile başlatılan önceki bölümlerde anlatılan enerji dönüştürme işlemine benzer şekilde, kemilüminesans, elektronik uyarma enerjisine ve ışık yayımına dönüştürülebilen kimyasal uyarma enerjisinden kaynaklanır. Kemilüminesans tipik olarak, bazik doku çözünürleştiriciler emülsiyonlaştırıcı tipi sintilasyon kokteyllerine eklendiğinde ortaya çıkar. Diğer bir yaygın kemilüminesans kaynağı, örnekteki oksitleyici ajanların varlığıdır.

Reaksiyonlar genellikle ekzotermiktir ve çok sayıda tekli foton üretimiyle sonuçlanır. Kemilüminesans, tek bir foton olayıdır. Bir sıvı sintilasyon sayacının bu ışıldayan olayları gözlemlemesi için, fotonlar, sıvı sintilasyon sayacının çakışma geçiş süresi içinde birden fazla foton verecek kadar bir hızda üretilmelidir. Lüminesansın atım yükseklik enerji dağılım spektrumunun büyük ölçüde trityum dağılım spektrumuyla örtüştüğü gösterilmiştir. Lüminesans olayları, kanal oranı yöntemi veya eşik ayırıcılığı ayarlayarak hariç tutulamaz. Kemilüminesans girişimi sergileyen örneklerin ölçümü testi geçersiz kılar.

3.13.5.2. Kemilüminesans kontrolü

Arka plan seviyelerinde ışıldamayı kontrol etmek için iki temel yol vardır;

- 1) Yerleşik sintilasyon sayaçlarında elektronik mantık kullanarak veya
- 2) Ek numune hazırlama yöntemleriyle Packard, 1979'da modern sıvı sintilasyon sayaçlarında ilk lüminesans algılama ve düzeltme devresini ekledi. Lüminesans algılama ve düzeltme özelliği ile donatılmış her bir Packard sintilasyon spektrometresi, birikmiş lüminesans olaylarını izleme ve gerçek radyoaktivite miktarının istatistiksel sınırları dahilinde paraziti düzeltme yeteneğine sahiptir.

3.13.5.3. Girişim sayma

Sıvı sintilasyon sayacının sayım sonuçlarını etkileyen ciddi girişim süreçlerinden biri, örnek maddelerinden veya örnek hazırlama yönteminden kaynaklanmaktadır. Etkileşimler, molekülleri uyaran sintilasyon çözeltileri içinde gerçekleşir. Kimyasal olarak indüklenen bu uyarımlar fotonlar üretir. Tek bir uyarılmış molekül, tek bir foton üretecektir. Çakışma gerekliliği normalde bunların sayımları etkilemesini

engellemesine rağmen, tek fotonların üretim hızı yeterince yüksekse, her bir PMT, bunu var olan bir olay olarak gösteren çakışma devresinin çözümü süresi içinde uyarılabilir. Radyoaktivite ile ilişkili olmayan sayımlar toplanacaktır. Bu olay kemilüminesans olarak adlandırılır.

3.13.5.4. Lüminesans düzeltme

Tri-Carb analizörü;

Kemilüminesans için düzeltmeler

Biyolüminesans düzeltmeleri

Fotolüminesansı (ultraviyole ışık nedeniyle oluşan) düzeltme işlemleri yapar.

Sayım şişesinde meydana gelebilecek iki ana olay türü vardır; biri beta partikülü nedeniyle, diğeri ise ölçülen radyoaktivite ile ilişkili olmayan kimyasal olarak indüklenmiş olaylar nedeniyle.

Çakışma gerekliliği, olayların bir PMT'den kabul edilmesini engeller. Elektronik gürültü veya tek fotonlardan kaynaklanan tek olaylar genellikle her PMT'den kaynaklanan çakışma değildir. Bu kısıtlamalarla, kemilüminesans hakkında neden bu kadar çok endişe olduğunu sormak meşrudur.

Sorun, tekli fotonların üretimi, ayrı lüminesans olaylarının, çakışma ve toplama devrelerinin çözülme süresi içinde her bir PMT'yi uyarmasına yetecek kadar büyük bir oranda gerçekleştiğinde ortaya çıkar [17].

3.13.5.5. Lüminesans ve örnek hazırlama

Lüminesansın kontrol edilebildiği başka bir yöntem, ek örnek hazırlama adımları veya alternatif hazırlama protokolleridir. Lüminesans oranı sıcaklıktan etkilenir. Lüminesans sintilasyon örneğinin ısıtılması, reaksiyon hızını ivmeler ve genellikle sintilasyon sayacı, lüminesans saptama düzeltme özelliğine sahip olmadığında önerilir.

Beyazlatma için örnek hazırlama işlem akışlarında peroksitler kullanıldığında, kemilüminesansın yüksek sıcaklıklarda inkübe edilerek bozunumuna izin verilmelidir. Yükseltgenme-indirgeme reaksiyonlarından üretilen kemilüminesans, örnek

karışımına bir indirgeme reaktifi eklenerek bir son noktaya zorlanabilir. Asit baz kemilüminesansın da örnek ortamını bir asitle nötralize etmek de reaksiyonu son noktaya yönlendirecektir. Örnek çok asidik hale gelirse birçok etiketlenmiş protein çökelebileceğinden nötralizasyona dikkatli bir şekilde yaklaşılmalıdır.

Sintilasyon kokteyline yapılan eklemeler, örnek tutma kapasitesini değiştirebilir ve bu da sayım sonuçlarını etkileyebilir. Sıvı sintilasyon kokteyli tasarımındaki son gelişmeler, sıvı radyo etiketli malzemeyi barındırırken parlaklığı önleyen ve azaltan bir kokteyl üretildi. Hionic-Fluor™ yöntemi, lüminesansı nominal arka plan seviyelerine kadar kontrol etmek için tasarlanmış benzersiz bir sıvı radyo etiketli sintilasyon kokteyli olarak tasarlandı [17].

3.13.5.6. Fotolüminesans

Bazı malzemeler ultraviyole ışıkla uyarılabilir; normalde görünür bölgede uyarı enerjisini ışık olarak bırakırlar. Bu sürece fotolüminesans denir. Sintilasyon kokteylleri, fotolüminesans özelliklere sahiptir. Sintilasyon şişesini ve şişe kapağını yapmak için kullanılan malzemeler fotolüminesans özellikli olabilir.

Fotolüminesans normalde hızla bozulur; Fotolüminesansın önemsiz bir seviyeye düşmesi için sayıçta yarım ila bir saat karanlık adaptasyon normalde yeterlidir. Arka plana yakın ölçümlerin önemli olduğu deneyler için 24 saat kadar karanlık adaptasyon gerekli olabilir.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Kullanılan Kimyasal Maddeler

4.1.1. Tarımsal etanol

Görünüm:	Renksiz berrak sıvı
Kaynama Noktası:	78,4 °C
Kimyasal Formülü:	C ₂ H ₅ OH
Parlama Noktası:	13 °C
Saflık (%):	96,0
Yoğunluk (g/cm ³):	0,8059

4.1.2. Sentetik etanol

Kimyasal Formülü:	C ₂ H ₅ OH
Görünüm:	Renksiz berrak sıvı
Saflık (%):	99,99
Yoğunluk (g/cm ³):	0,789
Parlama Noktası:	13 °C
Kaynama Noktası:	78,44 °C

4.1.3. Ultima gold kokteyl

Alkil fenol poly glycol ether CAS: 9016-45-9

Alkyl poly ethylene glycol ether

Refractive index (nD): 1,529 (20°C)

Yoğunluk (g/cm³): 0,986 (20 °C)

Sulu ve susuz numuneler için evrensel bir kokteyldir

Çok yüksek sayma verimliliği (%55)

Yüksek su verme direnci

Polietilen şişelerde difüzyon yok

Biyo bozunur

Yüksek parlama noktası (~ 150 ° C)

Kemilüminesans dirençli

Di isopropil naftelen isomerleri CAS: 38640-62-9

4.2. Kullanılan Cihazlar

4.2.1. Kırılma indisi cihazı

Anton paar abbemat 200 dijital refraktometre cihazı, çalışmada kullanılan etanol karışımlarının kırılma indisi belirlenmesinde kullanıldı.



Şekil 4.1. Anton paar abbemat 200 dijital refraktometre

Abbemat 200 teknik özellikleri

Tablo 4.1. Kırılma indisi özellikleri

Parametreler	Kırılma indisi [nD]	Brix (çözünen kuru madde)
Aralık	1,30 ile 1,72	0 ile 100
Çözünürlük	± 0,0001	0,01
Doğruluk	± 0,0001	0,05
Sıcaklık aralığı [°C]		10 ile 60

4.2.2. Dijital yoğunluk tayin cihazı

Anton Paar DMA 500 yoğunluk ölçer Cihazı, çalışmada kullanılan etanol karışımlarının yoğunluklarının belirlenmesinde kullanıldı.



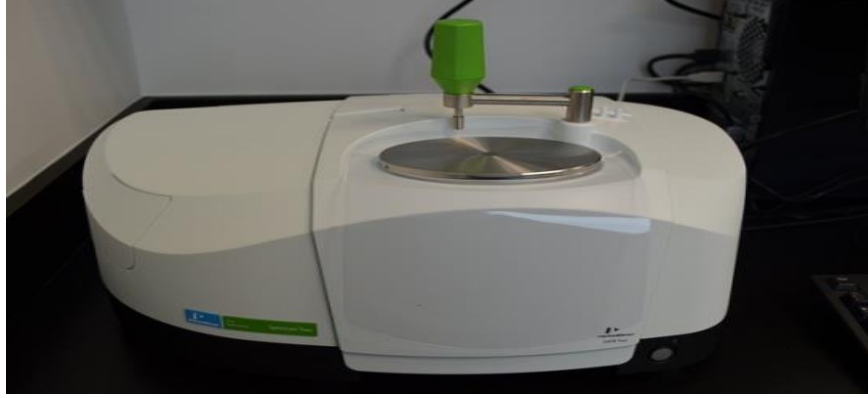
Şekil 4.2. Anton Paar DMA 500 yoğunluk ölçer

Tablo 4.2. Anton Paar DMA 500

Ölçüm aralığı	<ul style="list-style-type: none">• Yoğunluk: 0 g/cm³ ila 3 g/cm³• Sıcaklık: 0 °C ila 100 °C (32 °F ila 212 °F)• Basınç: 10 Bar'a kadar (145psi)
Tekrarlına bilirlilik	<ul style="list-style-type: none">• Yoğunluk: 0,000001 g/cm³• Sıcaklık: 0,001°C/0,002°F
Örnek başına ölçüm süresi	<ul style="list-style-type: none">• 40 saniye
Doğruluk	<ul style="list-style-type: none">• Yoğunluk: 0,000007 g/cm³• Sıcaklık: 0,01 °C/0,02 °F
Dijital Çözünürlük	<ul style="list-style-type: none">• 0,000001 g/cm³
Entegre tablolar ve fonksiyonlar	<ul style="list-style-type: none">• Alkol tabloları• Ekstrakt /şeker tabloları• API fonksiyonları• Asit/baz tabloları
Minimum örnek miktarı	<ul style="list-style-type: none">• Yaklaşık 1 mL

4.2.3. Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopi cihazı

Perkin Elmer Spectrum Two cihazı, çalışmada kullanılan etanol karışımlarının FTIR spektrumlarının belirlenmesinde kullanıldı.



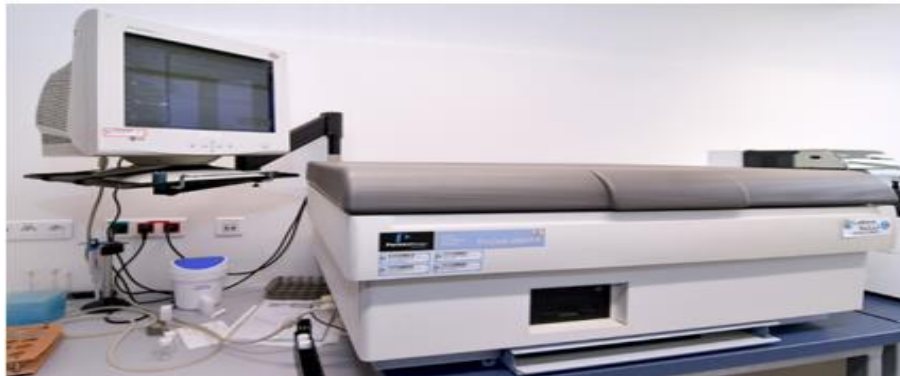
Şekil 4.3. Perkin Elmer Spectrum Two FTIR cihazı

Tablo 4.3. Perkin Elmer Spectrum Two FTIR cihaz özellikleri

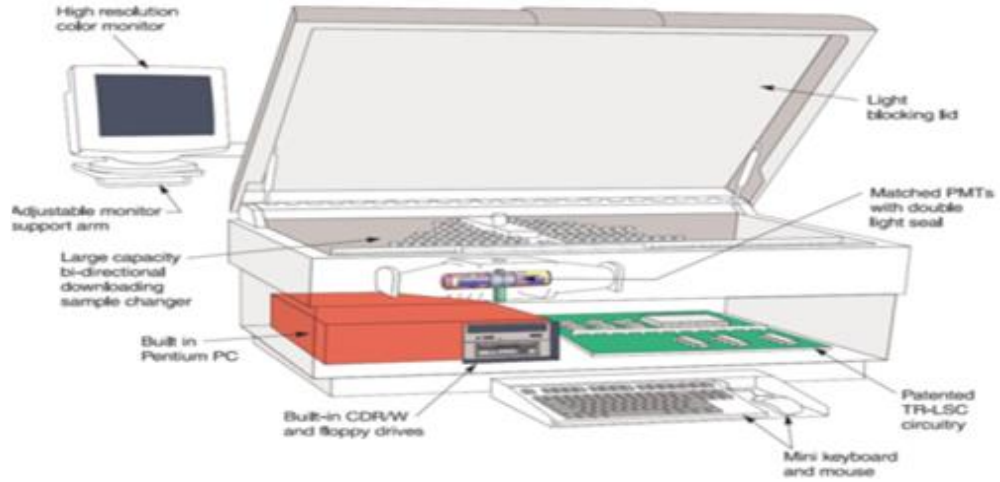
Marka	Perkin Elmer
Model	Spektrum two
Hassasiyet	32,000:1 dk da taranılan alan
Çözünürlük	0,5 cm ⁻¹
Tarama aralığı	8,300-350 cm ⁻¹ çözünürlük 0,5cm ⁻¹
ATR aksesuarı	Elmas
Optik	KBr
Yazılım	Spectrum 10 software

4.2.4. Sıvı sintilasyon spektrometresi cihazı

Sıvı sintilasyon spektrometresi cihazı, çalışmada kullanılan etanol karışımlarında ¹⁴C belirlenmesinde kullanıldı. Temel olarak ¹⁴C atom yapısından β- koparması ve bunun sayımı esasına dayanır.



Şekil 4.4. Perkin Elmer tr2900 Lsc



Şekil 4.5. Lsc tri-carb 2900 cihazı

4.3. Yöntem

Deneysel çalışmalar karışımların hazırlanması ve ölçümlerin alınması şeklinde iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Öncelikle GC saflıkta sentetik ve tarımsal alkoller belirli oranlarda karıştırılmak üzere otomatik pipet ile örnek kaplarına alındı ve tabloda görüleceği üzerine düşünülen oranlarda tarımsaldan sentetiğe doğru bir karışım demeti halinde hazırlandı.

4.3.1. Kırılma indisleri

Örnekler 3 defa ölçüm yapılarak 20 °C de kırılma indisleri ölçüldü ve sonuçlar kayıt altına alındı.

4.3.2. Yoğunluk

Örnek etanol karışımları otomatik pipetlerle şişelerine 5'er ml alınıp, 21 tane %5 ile %95 arasında değişen oranlarda örnekler hazırlandı. Bunlar iyice çalkalanıp iyice karışması sağlandı. Ölçüm alınmak üzere oda sıcaklığında bekletildi. Bu karışımlar tam otomatik yoğunluk ölçer cihazı Anton Paar DMA 5000M ile ölçüldü.

4.3.3. Ftır

Örnek etanol karışımları örnek şişelerine 10'ar ml alınıp, örnekler hazırlandı. Bunlar iyice çalkalanıp iyice karışması sağlandı. Tek kullanımlık cam pipetlerle her seferinde arka planları alınarak ölçümler 450-4000cm⁻¹ aralığında ölçümler yapıldı.

4.3.4. Sintilasyon

Sentetik standart etanol, tarımsal standart etanol ve örnek etanol karışımları otomatik pipetlerle şişelerine 10'ar ml alınıp, üzerlerine 10'ar ml ultima gold kokteyl çözeltisi eklendi. Bunlar iyice çalkalanıp karışması sağlandı. İlk vial'e sentetik etanol standart çözeltisi, 2. Örnek şişesine (vial) tarımsal etanol standardı yerleştirildi ve diğer örnekler sırayla çoklu örnek haznelere koyularak analiz yapıldı.

GC saflıkta sentetik ve tarımsal alkoller polietilen örnek şişelerine aşağıda verilen miktarlarda hazırlanır.

Tablo 4.4. Yoğunluk % dağılımı

%100 Tarımsal etil alkol	10 ml tarımsal etanol
%100 Sentetik etil alkol	10 ml sentetik etanol
%5 Sentetik etil alkol	0,5 ml sent. + 9,5 ml tarımsal
%10 Sentetik etil alkol	1 ml sent. + 9 ml tarımsal
%15 Sentetik etil alkol	1,5 ml sent. + 8,5 ml tarımsal
%20 Sentetik etil alkol	2 ml sent. + 8 ml tarımsal
%25 Sentetik etil alkol	2,5 ml sent. + 7,5 ml tarımsal
%30 Sentetik etil alkol	3 ml sent. + 7 ml tarımsal
%35 Sentetik etil alkol	3,5 ml sent. + 6,5 ml tarımsal
%40 Sentetik etil alkol	4 ml sent. + 6 ml tarımsal
%45 Sentetik etil alkol	4,5 ml sent. + 5,5 ml tarımsal
%50 Sentetik etil alkol	5 ml sent. + 5 ml tarımsal
%75 Sentetik etil alkol	7,5 ml sent. + 2,5 ml tarımsal
%90 Sentetik etil alkol	9 ml sent. + 1 ml tarımsal

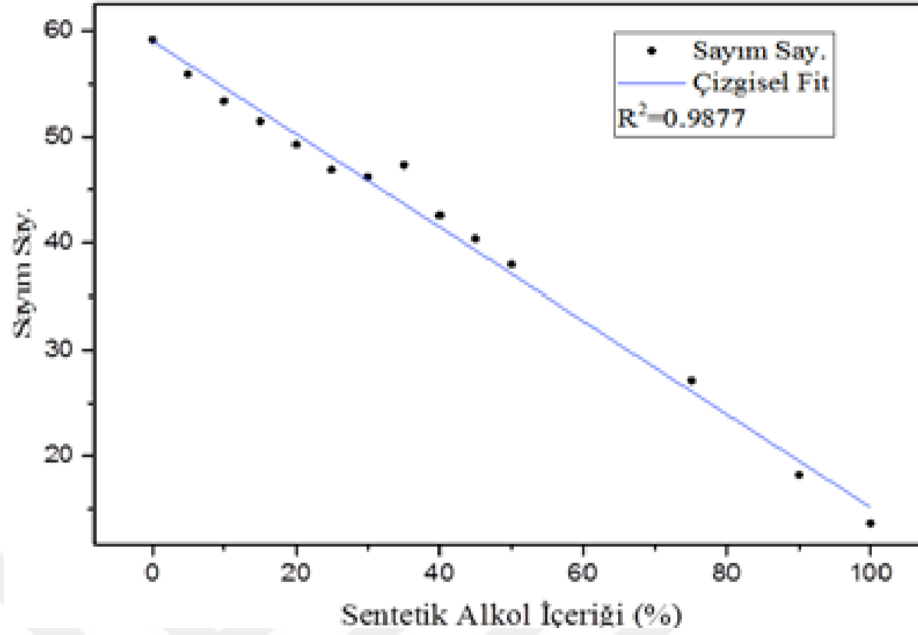
5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Günümüzde tarımsal kaynaklı etanol gıda, sağlık ve tıbbi amaçlı kullanılmaktadır. Aynı zamanda etanol, sentetik olarak petrol yan ürünü olarak sanayi tesisleri için büyük bir hammadde kaynağı amacıyla üretilmektedir. Bununla birlikte safsızlıklar içerebilmekte ve insan sağlığına zararlı olabilecek durumlarla karşılaşa bilinmektedir. Bu gibi durumlarda alkollü içkilere daha ucuz, bulunması kolay ve zararlı olan metanol ile birlikte sentetik üretimli biyogaz ürünü olarak sentetik etanol karıştırılmaktadır. Bu çalışmada bir etanol örneğinin tarımsal kaynaklı mı sentetik kaynaklı mı olduğunun belirlenmesi için tarımsal ve sentetik kaynaklı etanol standartları kullanılarak maksimum ve minimum izotop sayımları alınmış olup grafiği çizilmiştir. Çalışmamızda standart ve standartların kullanılması ile saf ve karışım örnekleri hazırlandı. Hazırlanan örnekler ve standartlar sıvı sintilasyon sayacı cihazı ile ¹⁴C izotop sayımı yapılmış ve aşağıdaki tablo oluşturulmuştur.

Tablo 5.1. ¹⁴C Sayım değerleri

	Time	CPMA	A:2S%	CPMB	B:2S%	CPMC	C:2S%	SIS	tSIE
SENTETİK STD.	10	13,66	17,11	9,81	20,19	19,45	14,34	83,34	64,18
TARIMSAL STD.	10	59,14	8,22	42,56	9,69	66,65	7,75	49,87	132,26
%5 SENT.	10	55,92	8,46	38,96	10,13	63,38	7,94	49,5	135
%10 SENT.	10	53,39	8,66	35,21	10,66	60,55	8,13	53,57	136,55
%15 SENT.	10	51,45	8,82	36,61	10,45	61,89	8,04	54,95	146,39
%20 SENT.	10	49,27	9,01	33,77	10,88	58,27	8,28	56,15	139,3
%25 SENT.	10	46,89	9,24	33,39	10,95	54,91	8,53	61,29	142,71
%30 SENT.	10	46,19	9,31	31,49	11,27	54,83	8,54	58,21	146,41
%35 SENT.	10	47,35	9,19	31,63	11,25	56,44	8,42	60,24	136,9
%40 SENT.	10	42,59	9,69	29,24	11,7	50,45	8,9	68,28	144,06
%45 SENT.	10	40,39	9,95	26,46	12,12	50,29	9,23	70,03	147,38
%50 SENT.	10	37,98	10,26	27,21	12,29	46,94	8,92	72,44	150,17
%75 SENT.	10	27,13	18	34,73	11,64	44,52	8,46	76,26	149,54
%90 SENT.	10	18,23	16,54	22,43	11,52	40,36	8,16	79,73	141,57

Bu tablodaki veriler kullanılarak aşağıdaki grafik elde edilmiştir.



Şekil 5.1. ¹⁴C Sayım grafik eğrisi

Grafikte görüldüğü gibi karışımda bulunan sentetik etanol miktarı arttıkça buna bağlı olarak ¹⁴C izotop miktarı ve sayım sayısı doğrusal olarak azalmıştır. Doğrusal grafiğin regresyonunun 0,9877 olması yapılan ölçümün doğruluğunu göstermektedir.

Bir ışık demetinin bir ortamdan, farklı başka bir ortama geçerken kırınımına uğraması ya da yön değiştirmesi olayı ışığın kırılmasıdır. Kırılma değeri her madde için spesifik bir özelliktir. Ancak, sıcaklıkla değişim göstermesi nedeniyle ölçümler kesinliği hatalı olabilir.

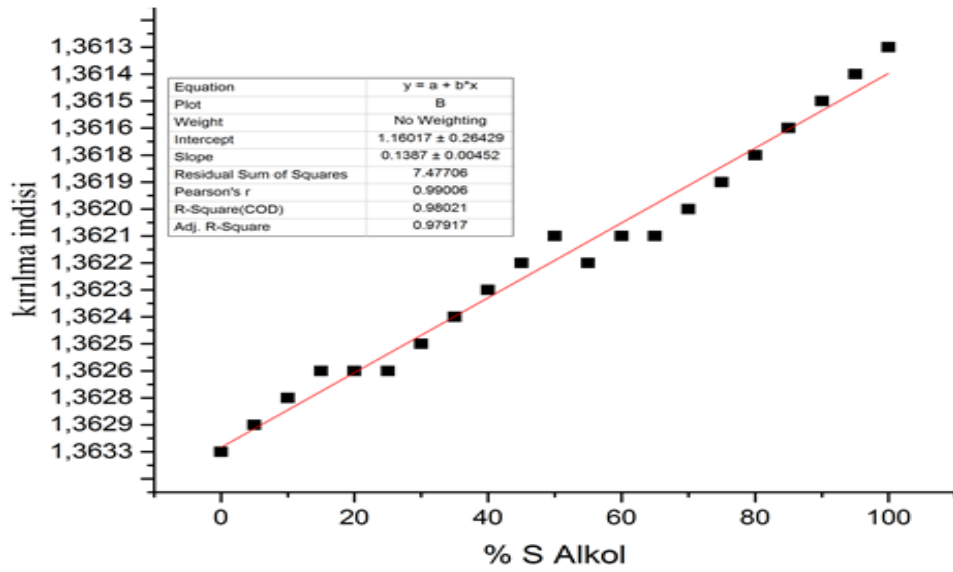
Bu nedenle çalışmamızda ölçüm yaptığımız örneklerin kapalı kaplarda ve oda sıcaklığında 2 saat bekletilerek örnek sıcaklıkları kararlı hale getirildi.

Hızlı ve hassas ölçüm yapabilen dijital cihazın örnek haznesine tek kullanımlık plastik pipetlerle 5 ml'ler halinde örnek konulup hazne kapağı hızlı bir şekilde kapatılıp buharlaşmaya izin vermeden saniyeler içerisinde ölçüm yapıldı. Her örnek 3 defa arka arkaya tekrarlanarak ortalama değerler alındı.

Bu ölçümlerden elde edilen sonuçlar kaydedilerek, aşağıdaki tabloya eklendi ve grafik eğrisi çizilerek eğim hesaplandı.

Tablo 5.2. kırılma indisi değerleri

% karışım	İndis1	İndis2	İndis3	İndis Ort.
%100 tarımsal etil alkol	1,3633	1,3633	1,3633	1,3633
%5 sentetik etil alkol	1,3629	1,3629	1,3629	1,3629
%10 sentetik etil alkol	1,3628	1,3628	1,3628	1,3628
%15 sentetik etil alkol	1,3627	1,3626	1,3626	1,3626
%20 sentetik etil alkol	1,3626	1,3626	1,3627	1,3626
%25 sentetik etil alkol	1,3626	1,3626	1,3626	1,3626
%30 sentetik etil alkol	1,3625	1,3625	1,3625	1,3625
%35 sentetik etil alkol	1,3624	1,3624	1,3624	1,3624
%40 sentetik etil alkol	1,3623	1,3623	1,3623	1,3623
%45 sentetik etil alkol	1,3622	1,3622	1,3622	1,3622
%50 sentetik etil alkol	1,3621	1,3621	1,3621	1,3621
%55 sentetik etil alkol	1,3623	1,3622	1,3622	1,3622
%60 sentetik etil alkol	1,3621	1,3621	1,3621	1,3621
%65 sentetik etil alkol	1,3621	1,362	1,362	1,3621
%70 sentetik etil alkol	1,362	1,362	1,362	1,362
%75 sentetik etil alkol	1,3619	1,3619	1,3619	1,3619
%80 sentetik etil alkol	1,3618	1,3618	1,3618	1,3618
%85 sentetik etil alkol	1,3616	1,3616	1,3616	1,3616
%90 sentetik etil alkol	1,3616	1,3615	1,3615	1,3615
%95 sentetik etil alkol	1,3614	1,3614	1,3614	1,3614
%100 sentetik etil alkol	1,3613	1,3613	1,3613	1,3613

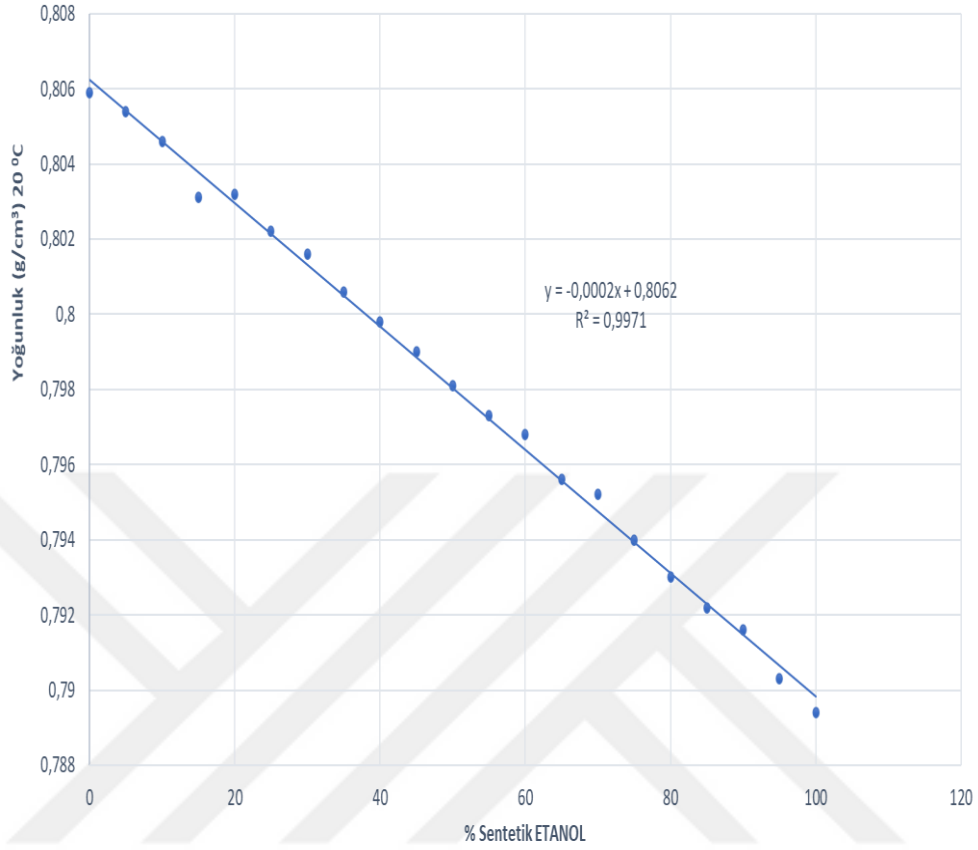


Şekil 5.2. Kırılma indisi grafik eğrisi

Grafik, karışımda bulunan sentetik etanol miktarı arttıkça karışımın kırılma indis değerinin doğrusal olarak azaldığı görülmüştür. Doğrusal grafiğin regresyonunun 0,98021 olması yapılan ölçümün doğruluğunu ifade etmektedir. Basınç ve sıcaklığa bağlı olarak bir maddenin birim hacmindeki madde miktarı yoğunluk (öz kütle) olarak bilinir. Her element/bileşik gibi saf maddeler için karakteristiktir. Ancak, sıcaklık ve basınç, değişim göstermesi nedeniyle ölçümlerin doğruluğu tartışılır. Bu çalışmamızda ölçüm yaptığımız örneklerin kapalı kaplarda oda sıcaklığında kararlı hale getirildi. Bu ölçüm sonuçları aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.

Tablo 5.3. Yoğunluk deney sonuçları

% KARIŞIM (Sentetik-Tarımsal etanol)	d (g/cm ³)
%100 tarımsal etil alkol	0,8059
%5 sentetik etil alkol	0,8054
%10 sentetik etil alkol	0,8046
%15 sentetik etil alkol	0,8031
%20 sentetik etil alkol	0,8032
%25 sentetik etil alkol	0,8022
%30 sentetik etil alkol	0,8016
%35 sentetik etil alkol	0,8006
%40 sentetik etil alkol	0,7998
%45 sentetik etil alkol	0,7990
%50 sentetik etil alkol	0,7981
%55 sentetik etil alkol	0,7973
%60 sentetik etil alkol	0,7968
%65 sentetik etil alkol	0,7956
%70 sentetik etil alkol	0,7952
%75 sentetik etil alkol	0,7940
%80 sentetik etil alkol	0,7930
%85 sentetik etil alkol	0,7922
%90 sentetik etil alkol	0,7916
%95 sentetik etil alkol	0,7903
%100 sentetik etil alkol	0,7894

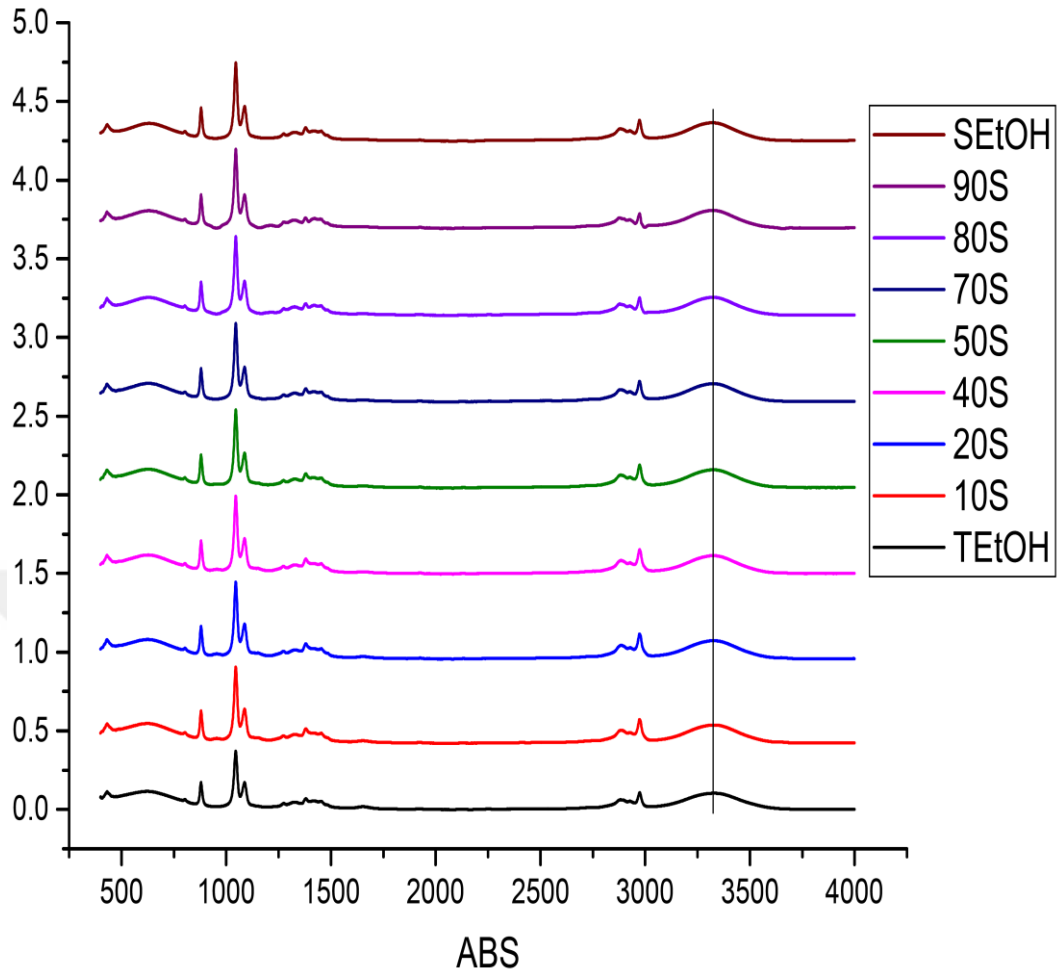


Şekil 5.3. Yoğunluk grafik eğrisi

Grafik, karışımda bulunan sentetik etanol miktarı arttıkça karışımın yoğunluk değerinin doğrusal olarak azaldığı görülmüştür. Doğrusal grafiğin regresyonunun 0,9971 olması yapılan ölçümün doğruluğunu mükemmel olduğunu gösterir.

FTIR (Fourier dönüşümlü kızılötesi) spektroskopisi, molekül yapılarındaki bağların kızılötesi ışın (infrared) etkisiyle, molekül atomlarının veya atom gruplarının bir takım dönme, gerilme, bükülme ve titreşim gibi hareketlerin sonucu dipol momente sahip yapıların fonksiyonel grupları hakkında fikir verirler. İnfrared görüntüleme numunenin kimyasal bileşenleri, içeriği hakkında özel bilgiler verebilirler.

FTIR-ATR de GC saflıkta sentetik etanol ve %96'lık tarımsal etanolün belirli dalga boylarının ölçümleri alınıp ilgili tarama alanlarında karşılaştırma yapıldı. Belirli oranlarda karıştırılan alkollerde pik kaymaları ve alan genişlemeleri gözlemlendi. Doğrudan cihazdan alınan Etanol karışım spektrumları aşağıda verilmiştir.

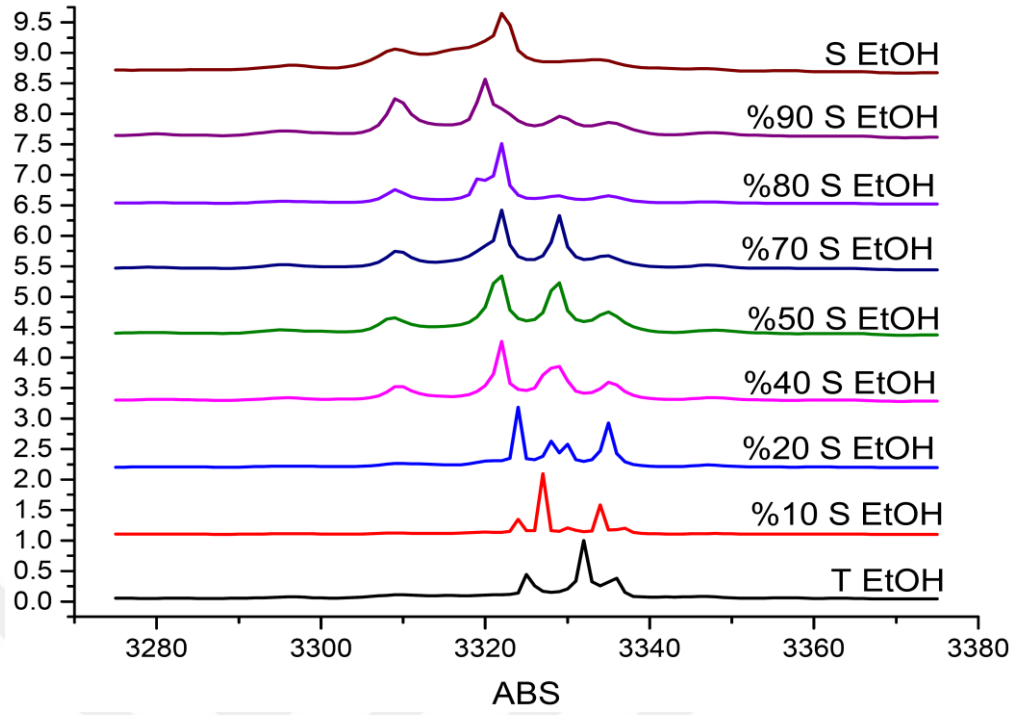


Şekil 5.4. FTIR spektrumu 450-4000 cm^{-1} aralığı

Spektrumda görüldüğü gibi pikler bütün karışımlar için aynı görülmektedir. Bununla birlikte, maddelerin, karışımların ve malzemelerin spektral analizi, oldukça örtüşen ve gizli piklerin varlığı nedeniyle sıklıkla zayıf bir şekilde çözülmüş bir spektrum oluşturur.

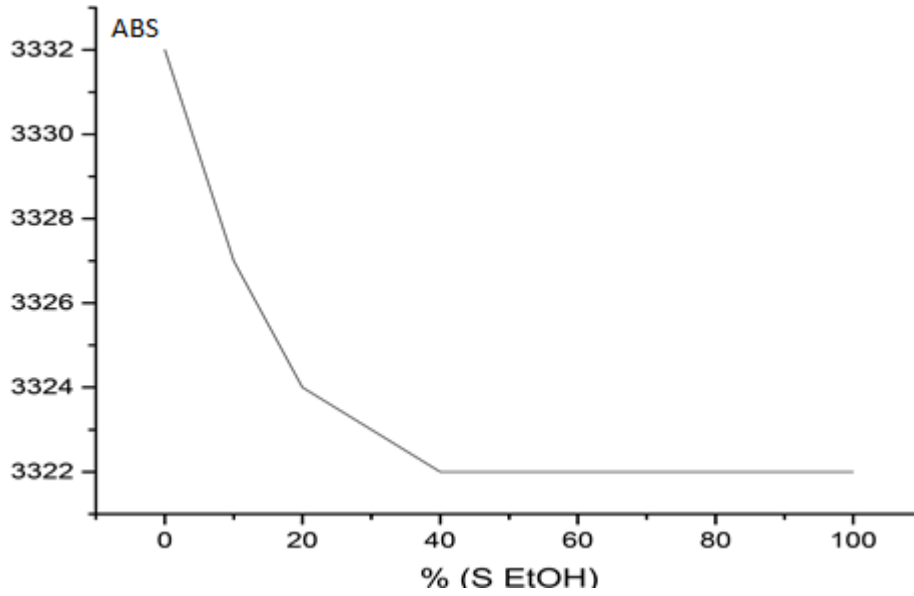
Spektral sinyal örtüşmesi (SSO), ölçüm cihazının sonlu çözünürlüğü ile üretilir ve spektral çizgi bozulmasına neden olur. SSO, araştırılan materyalin kendine özgü fiziksel faktörleriyle ilişkili olmadığında araşsal çözünürlüğü artırarak çözülebilir.

Bu doğrultuda ilgili spektrumlar çizildi ve sadece 3300cm^{-1} civarındaki OH piklerinin farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir. Bu farklılıklar aşağıdaki spektrumda gösterilmiştir.



Şekil 5.5. FTIR Spektrumu 3280-3380 cm^{-1} aralığı

Spektrumda görüldüğü gibi sentetik ve tarımsal etanol pikleri birbirinden farklılık göstermektedir. Sentetik alkol ve absorpsiyon grafiği aşağıda verilmiştir.



Şekil 5.6. FTIR Absorpsiyon grafik eğrisi

Grafikte görüldüğü gibi %40 sentetik etanol içeren karışıma kadar absorpsiyon değerlerini değiştirdiği %40-%90 sentetik etanol içeren karışım arasında değişmediği gözlemlenmiştir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada tarımsal ve sentetik etanol karışımlarında sentetik etanol miktarı LSC spektroskopisi, kırılma indisi, yoğunluk tayin cihazı ve FTIR spektrumları kullanılarak belirlenmeye çalışıldı.

Sentetik etanol içeren tarımsal etanolün, içerdiği sentetik etanol oranı LSC tekniğinde ¹⁴C izotop sayımı ile yüksek doğrulukta belirlenmiştir. Bu yöntemi desteklemek için kırılma indisi, yoğunluk belirlenmesinde doğrusal bir ilişki gözlemlenmiştir.

FTIR analizi ile yapılan karşılaştırmalarda OH bandlarının bulunduğu noktalardaki farkların oluşturduğu veriler ile grafik eğrisi elde edilmiştir. Kırılma indisi, yoğunluk belirlenmesi sentetik etanol değişimi ile bütün oranlarda oldukça uyumludur. FTIR analizlerinde 0-%40 sentetik etanol karışımlarının uyumluluk gözlenmiştir.

Sonuç olarak su içermeyen etanol karışımları için sadece yoğunluk ve kırılma indisleri kullanılarak tarımsal ve sentetik etanol karışım oranları belirlenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Adigüzel A. O., Biyoetanolün Genel Özellikleri ve Üretimi İçin Gerekli Hammadde Kaynakları, *General Characteristics and Necessary Feedstock Sources for The Production of Bioethanol*, 2013, **2**(2), 204–20.
- [2] Sarıkaya A., Fermantasyonla Etil Alkol Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1998, 76248.
- [3] Çöpür Y, Tozluoğlu A, Özyürek Ö., Selülozik Biyoetanol Üretim Teknolojisi, *Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Ormancılık Dergisi*, 2011, **7**(1), 10-37.
- [4] Dijs I. J., ve diğ., Quantitative Determination by ¹⁴C Analysis of the Biological Component in Fuels, *Radiocarbon*, 2006, **48**(3), 315–23, DOI:10.1017/S0033822200038777.
- [5] Ronald E., Kaihola L. Differentiation between Fossil and Biofuels by Liquid Scintillation Beta Spectrometry- Direct Method. *Nukleonika*, 2010, **55**(1), 127–31.
- [6] Donald H. L., Studier M. H. Determination of the Absolute Disintegration Rates of Low Energy Beta Emitters in a Liquid Scintillation Spectrometer, *Analytical Chemistry*, 1961, **33**(4), 615-20, DOI:10.1021/ac60172a042.
- [7] Henry J., Alvarez J., Liquid Scintillation Counting of Carbon-14, 1967.
- [8] Henry J., Alvarez J., Liquid Scintillation Counting of Carbon-14: Use of Ethanolamine-Ethylene Glycol Monomethyl Ether-Toluene. *Analytical Chemistry*, 1961, **33**(4), 612–15, DOI:10.1021/ac60172a041.
- [9] Bush E. T., General Applicability of the Channels Ratio Method of Measuring Liquid Scintillation Counting Efficiencies, *Analytical Chemistry*, 1963, **35**(8), 1024–29, DOI:10.1021/ac60201a032.
- [10] Seung-Soo K., Jinsoo K., Seong-Cheol S., Agblevor F.A., Distinction between Bioethanol and Synthetic Ethanol in a Mixture of Gasoline Using Low Level Liquid Scintillation Counting, *Chemistry Letters*, 2009, **38**(8), 850–51, DOI:10.1246/cl.2009.850.
- [11] Koziol P., ve diğ., Comparison of Spectral and Spatial Denoising Techniques in the Context of High Definition FT-IR Imaging Hyperspectral Data, *Scientific Reports*, 2018, **8**(1), 1–11, DOI:10.1038/s41598-018-32713-7.
- [12] Romana K., Logar J. K., Liquid Scintillation Spectrometry as a Tool of Biofuel Quantification, *Frontiers in Bioenergy and Biofuels*, 2017, DOI:10.5772/65549.

- [13] Martin G.E., ve diğ., Liquid Scintillation Counting of ^{14}C for Differentiation of Synthetic Ethanol from Ethanol of Fermentation, *Journal of AOAC INTERNATIONAL*, 1981, **64**(5), 1142–44, DOI:10.1093/jaoac/64.5.1142.
- [14] Palencia M., Functional Transformation of Fourier-Transform Mid-Infrared Spectrum for Improving Spectral Specificity by Simple Algorithm Based on Wavelet-like Functions, *Journal of Advanced Research*, 2018, **14**, 53–62, DOI: 10.1016/j.jare.2018.05.009.
- [15] Povinec P., ve diğ., Seasonal Variations of Anthropogenic Radiocarbon in the Atmosphere, *Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, B*, 1986, **17**(5–6), 556–59, DOI:10.1016/0168-583X(86)90212-0.
- [16] Baillie L. A., Determination of Liquid Scintillation Counting Efficiency by Pulse Height Shift, *The International Journal Of Applied Radiation And Isotopes*, 1960, **8**(1), 1-7, DOI:10.1016/0020-708X (60)90153-8.
- [17] Schonhofer F., Determination Of ^{14}C In Alcoholic Beverages, *radiocarbon*, 1989, **31**(3), 777-784, DOI: 10.1017/S003382220001239X

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] **Aktaş A.**, Güner S., Kaya A.U., Halosit Katkılanmasının Polietilen Yumuşama Sıcaklığına Etkisinin İncelenmesi, *18. Ulusal Kil Sempozyumu*, Kocaeli, Türkiye, 25-28 Eylül 2019.



ÖZGEÇMİŞ

Ahmet AKTAŞ lise öğrenimini Tarsus Endüstri Meslek Lisesi'nde tamamladı. Ön lisans eğitimini Gazi Üniversitesi Kimya MYO'da yaptı. Lisans eğitimini Kocaeli Üniversitesi Kimya Bölümünde bitirmiştir. 2006 yılında MTA Genel Müdürlüğünde Teknisyen olarak atanıp 4 yıl süre ile bu görevi sürdürmüş daha sonra 2010 yılında Ticaret Bakanlığı Kocaeli Dilovası Gümrük Laboratuvar Müdürlüğünde laborant kadrosuna atanmış ve 11 yıldır bu görevi sürdürmektedir. 2017 Yılında başladığı Yüksek lisans çalışmasını da Kocaeli üniversitesinde sürdürmektedir.