

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOZİMETRİ ADAYI BAZI MADDELERİN EPR TEKNİĞİ İLE İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Deniz KURT

Fizik Anabilim Dalı

**AĞUSTOS 2014
SAMSUN**



T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



FİZİK ANABİLİM DALI

DOZİMETRİ ADAYI BAZI MADDELERİ EPR TEKNİĞİ İLE İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Deniz KURT
(12210069)**

Tezin Savuma Tarihi :12 Ağustos 2014

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Recep TAPRAMAZ

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalında

Deniz KURT Tarafından Hazırlanan

DOZİMETRİ ADAYI BAZI MADDERİN EPR TEKNİĞİ İLE İNCELENMESİ

**başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından 12/08/2014 tarihinde yapılan sınav ile
YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.**

Başkan : Prof. Dr. Recep TAPRAMAZ

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Hümevra PAŞAOĞLU

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Doç. Dr. Erbil AĞAR

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

.../.../2014

Prof. Dr. Hüseyin DEMİR

Enstitü Müdürü

En büyük deęerlerim, annem Nuray KURT ve babam Zeki KURT'a,

ÖNSÖZ

Elektron Paramanyetik Rezonans (EPR) tekniği ile gama ışını ile ışınlanan kuru çay, $K_2S_2O_5$ ve $K_2S_2O_8$ maddeleri üzerinde çalışılmıştır. Literatürde kıyaslanacak bir çalışma henüz yoktur.

Bu yüksek lisans tezimin hazırlanmasında hiçbir desteğini esirgemeyip her türlü kaynak ve labaratuvar koşullarından yararlanmamda, bilgi ve birikimini paylaşan, ilgi ve önerileriyle üzerimde büyük emeği olan değerli danışman hocam sayın Prof.Dr.Recep TAPRAMAZ' a teşekkür ederim.

Tez dönemi boyunca imkanlarından yararlandığım Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne, ders aşamamda bilgilerini ve desteklerini esirgemeyen Fizik Anabilim Dalı Öğretim Üyelerine ve sayın hocalarıma teşekkür ederim.

Yüksek lisans dönemi boyunca labaratuvar çalışmalarında ve tez araştırmalarımın her aşamasında yardımcı olup desteğini esirgemeyen, moral ve desteğiyle her daim yanımda olan sayın Dr.Ümit Ceylan' a teşekkür ederim.

Kaynak sağlama ve labaratuvar çalışmalarına katkıda bulunan değerli hocam sayın Doç.Dr.Esat BOZKUT'a teşekkür ederim.

Maddelerin ışınlanması aşamasında olanaklarını ve yardımlarını esirgemeyen sayın Dr.Recep BIYIK' a teşekkür ederim.

Her daim yanımda olup destekleriyle yüksek lisansımı tamamlamamda beni yalnız bırakmayan annem Nuray KURT'a , babam Zeki KURT' a ve kız kardeşlerime teşekkürü bir borç bilirim.

Ağustos 2014

Deniz KURT

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xiii
KISALTMALAR	xv
DOZİMETRİ ADAYI BAZI MADDELERİN EPR TEKNİĞİ İLE İNCELENMESİ	xvii
ÖZET.....	xvii
ABSTRACT	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	3
2. GENEL BİLGİLER.....	5
2.1 Elektron Paramanyetik Rezonans	5
2.2 Elektromanyetik Spektrum	6
2.3 Radikal Tanımı ve Radikal Oluşturma Teknikleri.....	6
2.4 Radyasyon Tanımı ve Çeşitleri.....	7
2.4.1 İyonlaştırıcı radyasyon	7
2.4.1.1 Alfa parçacıkları (α)	7
2.4.1.2 Beta parçacıkları (β)	8
2.4.1.3 Gama ışınları (γ)	8
2.4.1.4 Nötron ışınları (n)	8
2.4.2 İyonlaştırıcı olmayan radyasyon.....	8
2.5 Radyasyon Kaynakları.....	9
2.5.1 Doğal radyasyon kaynakları	9
2.5.1.1 Kozmik ışınlar	10
2.5.1.2 Yerel kaynaklı radyasyonlar.....	10
2.5.2 Yapay radyasyon kaynakları	11
2.5.3 Fotoelektrik olay	12
2.5.4 Compton olayı	13
2.5.5 Çift oluşumu	13
2.6 Radyasyon Kaynakları.....	13
2.7 Işınlama Uygulamaları ve Uygulamaya Etki Eden Faktörler.....	16
2.8 Işınlanmış Gıdaların Teşhisinde Elektron Paramanyetik Rezonans Yöntemi..	18
2.9 Radyasyon Dozu.....	18
2.9.1 Doz limitleri.....	19
2.10 Dozimetri	19
2.11 Dozimetrelerin Sağlaması Gereken Özellikler.....	21
2.11.1 EPR spektroskopisinin doz ölçümünde kullanıldığı maddeler	21
2.12 Dozimetrenin Kullanım Alanları ve Radyoterapi	21
2.13 Biyolojik Dozimetre.....	23

3. DENEYSEL YÖNTEMLER	25
3.1 EPR Spektrometresi.....	25
3.2 EPR Çizgi Şekli	26
3.3 EPR Spektrometresi.....	28
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	31
4.1. Siyah Çay Yaprağı	31
4.1.1 Çay numunelerinin hazırlanması ve gama ışını ile ışınlanması.....	32
4.1.1.1 Kuru çayın hazırlanması ve ışınlanması.....	32
4.2. Potasyum Metabisülfite ($K_2S_2O_5$).....	36
4.2.1. Potasyum metabisülfite veya diğere bilinen adıyla potasyum piro-sülfite, $K_2S_2O_5$ özellikle gıda ve tekstil endüstrisinde yaygın kullanılan bir maddedir. Kullanıldığı yerlerden başlıcaları şunlardır:.....	36
4.3 Potasyum Persülfate ($K_2S_2O_8$).....	39
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	43
KAYNAKLAR	45
ÖZGEÇMİŞ	49

ÇİZELGELER LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Gıda gruplarında belirli teknolojik amaçlara göre uygulanmasına izin verilen ışınlama [16]	17
Çizelge 2.2. İyonize radyasyon birimleri [16]	19
Çizelge 2.3. Bazı Radyoizotopların yarı-ömürleri ve kullanılma yerleri.....	22
Çizelge 3.1. Farklı band aralıklarında çalışan EPR spektrometreleri	26
Çizelge 4.1. Gama Işını ile Işınlanan kuru çayın içinde gözlenen semikinon çizgisinin şiddetinin referans alınan Mn^{2+} iyonunun $M_s=1/2$ ve $M_s=-1/2$ çizgilerinin şiddetlerinin ortalamasına oranının 100'e normalize edilmiş bağlı değerleri örneği	35
Çizelge 4.2. Gama ışını ile ışınlanan $K_2S_2O_5$ içinde gözlenen SO_3 radikalinin çizgi şiddetinin referans alınan Mn^{2+} iyonunun $M_s=1/2$ ve $M_s=-1/2$ çizgilerinin şiddetlerinin ortalamasına oranının 100'e normalize edilmiş bağlı değerleri....	38
Çizelge 4.3. Gama Işını ile Işınlanan $K_2S_2O_8$ içinde gözlenen SO_4-SO_4 radikal çiftinin çizgisinin şiddetinin referans alınan Mn^{2+} iyonunun $M_s=1/2$ ve $M_s=-1/2$ çizgilerinin şiddetlerinin ortalamasına oranının 100'e normalize edilmiş bağlı değerleri	41

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Elektromanyetik spektrum	6
Şekil 2.2. Radyasyon çeşitleri	7
Şekil 2.3. α , β ve γ radyasyonlarının madde içine nüfuz etme derinliklerini gösterir şema	9
Şekil 2.4 Yapay Radyasyon Kaynakalarının UNSCEAR 2000 raporuna göre dünya insanların maruz kaldığı yapay radyasyon dozunun yıllık ortalamaları ve yapay radyasyon kaynakları	12
Şekil 2.5. Dozimetri Çeşitleri	20
Şekil 2.6. X-ışınları ve Co-60 gama radyasyonu ile oluşturulan kontrol-doza cevap eğrileri	24
Şekil 3.1. EPR spektrum çizgileri: (a) Lorentz ve Gauss eğrileri ile birinci türevleri, (b) çizgi genişlemesinin oluşumunun esas nedeni birbirine yakın çok sayıda çizginin üst üste gelerek geniş bir zarf oluşturmasıdır, (c) bir geçiş çizgisinin parametreleri	28
Şekil 3.2. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fizik Bölümü EPR laboratuvarında bulunan X-Band Varian Century Line Series E109 EPR spektrometresi	30
Şekil 3.3. EPR spektrometresinin blok şeması [6]	30
Şekil 4.1. Işınlanmamış kuru çayın EPR spektrumu	32
Şekil 4.2. Kuru çayın 1 kGy dozunda gama ışını ile ışınlanması sonucu elde edilen EPR spektrumu	34
Şekil 4.3. Kuru çayın 3 kGy dozunda gama ışını ile ışınlanması sonucu elde edilen EPR spektrumu	34
Şekil 4.4. Kuru çayın doz-bağılı şiddet eğrisi	36
Şekil 4.5. $K_2S_2O_5$ tozunun 1 kGy dozda gama ışını ile ışınlanması sonucu elde edilen EPR spektrumu	37
Şekil 4.6. $K_2S_2O_5$ tozunun 3 kGy dozda gama ışını ile ışınlanması sonucu elde edilen EPR spektrumu	38
Şekil 4.7. $K_2S_2O_5$ için doz-bağılı şiddet eğrisi	39
Şekil 4.8. $K_2S_2O_8$ in 1 kGy dozunda gama ışını ile ışınlanması sonucu elde edilen EPR spektrumu	40
Şekil 4.9. $K_2S_2O_8$ in 3 kGy dozunda gama ışını ile ışınlanması sonucu elde edilen EPR spektrumu	41
Şekil 4.10. $K_2S_2O_8$ için doz-bağılı şiddet eğrisi.	42

KISALTMALAR

EPR : Elektron Paramanyetik Rezonans
UV : Ultraviolet radyasyon
Gy : Gray (doz birimi)

DOZİMETRİ ADAYI BAZI MADDELERİN EPR TEKNİĞİ İLE İNCELENMESİ

ÖZET

İyonlaştırıcı radyasyona uzun süre maruz kalan insanların ve koruma amaçlı yapılan ışınlamalarda gıdaların aldığı dozun belirlenmesi için çeşitli teknikler kullanılmaktadır. Bunlardan önemli birisi de Elektron Paramanyetik Rezonans (EPR) spektroskopisi ile alınan dozun belirlenmesidir.

Bu çalışmada günümüzde sudan sonra en fazla tüketilen içecek olan çay ve çeşitli gıda ve endüstri de de yer alan maddelerden olan $K_2S_2O_5$ ve $K_2S_2O_8$ gama ışınına çeşitli dozlarda maruz bırakılarak oluşan paramanyetik bozuklukların ya da radikallerin konsantrasyonlarındaki artış EPR spektroskopisinde geçiş çizgilerinin şiddetlerinin artışı yoluyla gözlenmiştir.

Farklı dozlarda gama ışını ile ışınlanan kuru çay, $K_2S_2O_5$ ve $K_2S_2O_8$ EPR Spektrometresi yardımı ile oluşan serbest radikallerin spektrumları alınmıştır. Elde edilen bu veriler yardımıyla radyasyonun dozlarının yansıması olan EPR geçiş çizgilerinin şiddetinin ölçümü yapılarak adı geçen maddelerin dozimetre olarak kullanılabilirlikleri tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: EPR, Radyasyon, Dozimetri, Radyoterapi.

INVESTIGATION OF SOME DOZIMETRY CANDIDATE SUBSTANCES WITH EPR SPECTROSCOPY

ABSTRACT

Different techniques are utilized to determine the radiation dose of human exposed to ionizing radiation and the foods irradiated for conservation. Among them the Electron Paramagnetic Resonance (EPR) spectroscopy are one of the important and effective technique because of that the ionizing irradiation induces radicals in the materials which is the subject of the EPR spectroscopy.

In this work, the black tea which is the mostly produced beverage after water all over the world, the food additives and industrially important substances potassium metabisulfite, $K_2S_2O_5$ and potassium persulfate, $K_2S_2O_8$ were exposed to γ irradiation from ^{60}Co source at doses of 1 kGy to 10 kGy and the variation of radical concentrations were observed via line intensities.

The variation of radical concentrations with doses given, life of the radicals induced and availability of the substances indicate that there are good candidates to be dosimetry.

Keywords: EPR, radiation, dose, dosimetry, radiotherapy.

1. GİRİŞ

Yüksek enerjili iyonlaştırıcı radyasyonun günümüzde zararlı etkilerinin yanı sıra hastalık teşhis ve tedavisinde, endüstri ile sanayi gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Radyasyonun maddeler üzerindeki etkileri ayrıntılı biçimde EPR (Elektron Paramanyetik Resonans) tekniği ile incelenmekte, oluşan paramanyetik bozukluklar belirlenebilmektedir.

Radyasyonlu bir yerde alınan dozu belirlemek amacı ile hali hazırda kullanılmakta olan pek çok yöntem vardır. Örneğin radyasyonun hava içinde oluşturduğu iyonlaşmadan yararlanan iyon odaları yöntemi, radyasyonun soğurulması ile grafit veya metallerde ortaya çıkan sıcaklık artışını ölçmeye dayalı kalorimetrik yöntem, kimyasal çözeltilerin renklenmesi esasına dayalı Fricke yöntemi ya da termoluminesans, fotoluminesans esasına dayalı yöntemler sıklıkla kullanılmaktadır.

Nükleer enerji santralleri, hastanelerde röntgen, CT(Computed tomography), gibi radyolojik teşhis merkezleri, radyasyon onkoloji kliniklerinde kullanılan radyoterapi aygıtları (^{60}Co , ^{137}Cs ve linac), gıda koruma amaçlı ışınlama yapan tesisler gibi merkezlerde ortamda yayılan yüksek enerjili radyasyonun bu merkezlerde çalışanların vücutlarında biriken radyasyonun miktarının belirlenmesi için kullanılan bazı yöntem ve materyal bulunmaktadır. Dozimetre olarak kullanılan maddelerin, bu tez çalışması açısından gerekli özelliği, radyasyonun oluşturduğu paramanyetik merkez yoğunluğunun alınan doz ile orantılı artmasıdır. Diğer bir ifade ile, radyasyonun madde içinde oluşturduğu paramanyetik merkezin veya merkezlerin EPR spektrometresi ile gözlenebilir olmasıdır. Gözlenen spektrumun ayrıca anlaşılır ve çözümlenebilir olması, alınan doz ile olan orantıyı bozacak başka yapıların da oluşmamasıdır. Spektrumda gözlenen EPR geçiş çizgisi veya çizgilerinin şiddetleri (absorpsiyon eğrisinin altında kalan alan) oluşan paramanyetik merkez yoğunluğu ile doğru orantılı olacağından, bir referans çizgiye göre şiddet değişimi alınan dozu doğrudan gösterecektir. Bunların dışında dozimetre olarak kullanılacak maddenin kolay ve ucuz temin edilebilir olması, oluşan paramanyetik merkezlerin kararlı veya

uzun ömürlü olması mutlaka bulunması gereken diğer özelliklerdir. Alanin, diş minesini gibi kabul görmüş dozimetrelere yanında başka uygun maddeler araştırılmaktadır.

Bu çalışma ile radyasyonlu bir yerde çalışanların maruz kaldıkları dozların tespiti için, EPR spektrometresi ile kolayca değerlendirilebilecek bazı aday maddeler incelenecektir.

1.1 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında, radyasyonlu bir bölgede insan, gıda veya başka bir nesnenin belirli sürelerde aldığı doz miktarını belirlemek için dozimetre olarak kullanılacak bazı kolay elde edilebilir materyallerin doz-şiddet eğrileri elde edilerek kullanılabilirlikleri tartışılacaktır.

Dozimetre olarak kullanılacak materyalin doz aldıktan sonra kararlı olması, yani dozu muhafaza etmesi gerekmektedir. Ayrıca alınan dozun ölçümü de doz miktarını etkilememelidir. Bu hususta kimyasal madde olarak Alanin ve organ olarak diş minesini oldukça iyi sonuçlar vermiştir ve dozimetre olarak kullanılmaktadır. Bunların dışında benzer özellikte materyal arayışları da bir taraftan sürmektedir.

Kolay elde edilebilir ve kararlı görülen materyallerden siyah çayın semikinon radikali, ışınlama sonucu $K_2S_2O_5$ içinde oluşan SO_3^- iyonik radikali, UV ile γ arası bölge radyasyonla ışınlanan $K_2S_2O_8$ içinde oluşan $SO_4^- - SO_4^-$ radikal çifti, dimetil sulfon içinde γ ile ışınlama sonucu oluşan kükürt merkezli radikal bu çalışmada incelenerek dozimetre olabirlikleri tartışılacaktır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Elektron Paramanyetik Rezonans

Madde ve ışığın etkileşimini inceleyen bilim dalına spektroskopi denir. Spektroskopi ilke olarak, dışarıdan uyarma sonundaki tepki radyasyonu veya kendiliğinden yayınladığı radyasyon yoluyla moleküllerin, iyonların ve çekirdeklerin kuantumlu enerji düzeylerini belirleyen bir yöntemdir [1,2].

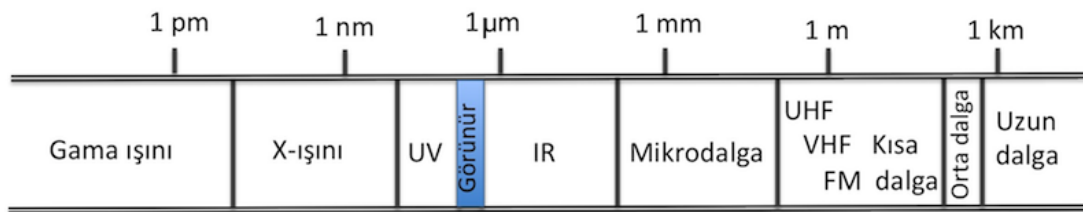
Elektron Paramanyetik Rezonans (EPR) spektroskopi tekniğinin temeli 1920'li yıllarda iki ünlü fizikçi tarafından yapılan Stern-Gerlach deneyine dayanır. Bu deneyde, manyetik alanda bulunan gümüş atomu elektronunun manyetik momentinin beklenmedik bir şekilde farklı yöneldiğini gözlemlediler. Sonrasında ise Unlenbeck ve Gaudsmith, elektronun manyetik momenti ile spin açısal momentum kavramlarını birleştirerek Stern-Gerlach deneyinin teorik altyapısını oluşturdular. Breit ve Rabi ise manyetik alanda hidrojen atomunun enerji düzeylerini belirledi ve ilk EPR spektrumu da 1945 yılında Rus bilim adamı Yevgeny Zavoisky tarafından CuCl_2 örneğine ait bir soğurma spektrumu ile gözlemlendi [3,4, 5].

Bir maddenin EPR spektroskopisiyle incelenebilmesi için eşlenmemiş bir elektrona sahip olması gerekir. Atomik veya moleküler orbitallerin birinde eşlenmemiş elektron bulunduran maddeler paramanyetik özellik gösterirler. Serbest bir ortamda rastgele yönelen eşlenmemiş elektronların spinleri bir manyetik alan içinde manyetik alana paralel ve antiparalel olarak yönelirler. Dış manyetik alan olmadığı durumda bu dipoller, termal uyarılar ve yerel manyetik alanlar nedeniyle gelişigüzel yönlere sahip olduğundan maddenin net mıknatıslanması gözlenmez. Manyetik alana paralel veya antiparalel olarak yönelen eşlenmemiş elektronların spinleri farklı enerjilere karşılık gelir ve sisteme bu iki durumun enerjilerinin farkı kadar bir enerji verilirse spin durumları arasında geçişler oluşur. Sisteme gönderilen elektromanyetik enerjideki değişimin gözlenmesiyle spin geçişleri izlenebilir. Elektron Spin Rezonans spektroskopisinin temelini bu işlem oluşturur [6, 7].

ESR spektroskopisi hakkında konu ile ilgili olan gerekli diğer bilgiler Bölüm 3'de verilmiştir.

2.2 Elektromanyetik Spektrum

Elektromanyetik spektrum (tayf), fizik kurallarınca mümkün kılınan tüm elektromanyetik radyasyonu ve farklı ışınım türlerinin dalga boyları veya frekanslarına göre bu spektrumda görece yerlerini ifade eden bir kavramdır. Herhangi bir cismin elektromanyetik spektrumu, o cisim tarafından çevresine yayılan karakteristik net elektromanyetik radyasyonu ifade etmektedir. Elektromanyetik spektrum dalga boylarına göre atom altı değerlerden başlayıp binlerce kilometre uzunlukta olabilecek radyo dalgalarına kadar birçok radyasyon tipi içerir [11].



Şekil 2.1. Elektromanyetik spektrum

2.3 Radikal Tanım ve Radikal Oluşturma Teknikleri

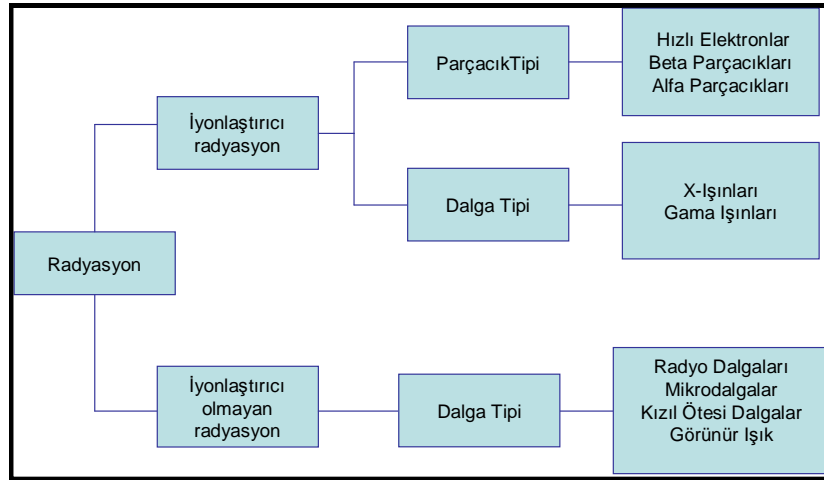
İyonlayıcı radyasyonun madde ile etkileşmesi sonucu Compton saçılmasından kaynaklanan elektronların enerjileri moleküllerin iyonlaşma ve uyarılma potansiyellerinden daha fazla enerjiye sahip olduğundan, yolları üzerindeki moleküllerin iyonlaşma ve uyarılmalarına ve bazı bağlarının kırılmalarına neden olurlar. Bu yolla ortaya çıkan molekül parçalarına ara ürün denir. Bunlar genellikle tepkimeye girme eğilimi yüksek olan molekül veya gruplardır ve bazıları eşlenmemiş elektrona sahiptir. Eşlenmemiş elektrona sahip bu yapılara kökçe ya da radikal denir [11]. Yüksek enerjili radyasyona maruz bırakma yanında radikali başka çeşitli yöntemlerle oluşturabiliriz. Bunlardan bazılarını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

- γ ve x ışınları ile iyonlaşmaya da radyoliz,
- Mor ötesi ışınlama ya da fotoliz,
- Yüksek enerjili parçacıklara karşı tutma,
- Gaz fazında elektrik boşalması,
- Değişik sıcaklık ve basınç uygulamakla,
- Yavaş oluşan kimyasal reaksiyonun basamakları,
- Hızlı oluşan reaksiyonlarda spin tuzaklama yöntemi,

- Büyük biyolojik moleküllerin incelenmesinde kullanılan spin etiketleme yöntemi.

2.4 Radyasyon Tanımı ve Çeşitleri

Dalga veya parçacık formu altındaki enerjinin bir kaynaktan başka yerlere taşınmasına radyasyon denilmektedir. Radyasyon, iyonlaştırıcı ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak ikiye ayrılır.



Şekil 2.2. Radyasyon çeşitleri

2.4.1 İyonlaştırıcı radyasyon

Yüksek enerjili parçacıkların atom yakınından geçerken oluşturdukları elektron yörüngesindeki değişimler ya da elektronun yörüngesinden çıkması iyonlaştırıcı radyasyon olarak bilinir. Elektromanyetik spektrumu oluşturan bütün radyasyonlarda enerji, yüksüz ve kütsüz fotonlar tarafından taşınmaktadır. Bu durumda iyonize edici radyasyon çekirdekten yayımlanıyorsa gama, yörüngeden yayımlanıyorsa x-ışını adını alır.

2.4.1.1 Alfa parçacıkları (α)

Alfa parçacıkları, helyum atomu çekirdeğidir ve 2 proton ve 2 nötron içerir. Bazı radyoaktif atomların çekirdeklerinden salınan alfa parçacıkları oldukça büyük kütleleri nedeniyle enerjilerini maddenin üst yüzeylerinde soğurularak yitirirler. Hızları 15.000 km/s kadar olan alfa parçacıkları bir kağıtta bile tutulabilir ve hava

ortamında moleküllerle çarpışma nedeniyle 10 cm kadar yol alabilirler (Şekil 2.8) [12].

2.4.1.2 Beta parçacıkları (β)

Atom çekirdeklerinden, nötronun protona dönüşümü (Beta Parçalanması) sırasında salınan yüksek enerjili elektronlara β parçacıkları denilmektedir. Çok küçük kütleleri nedeniyle bunlar, alfa parçacıklarına göre daha girici olduklarından madde içinde daha uzun yol alabilirler, yani dalma derinlikleri daha fazladır. Hızları sifira yakın değerlerle ışık hızı sınırı arasında olabilir. Havada birkaç metre yol alabilirler ve çarpışma sonunda durdurulurlar (Şekil 2.8) [12].

2.4.1.3 Gamaışınları (γ)

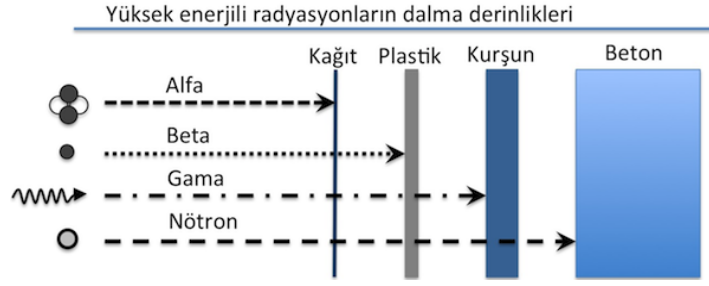
Atom çekirdeğinin bozunumu sırasında salınan yaklaşık 1 Mev veya daha yüksek enerjili elektromanyetik dalgalara ya da fotonlara γ ışını deilmektedir. Enerjileri çok yüksek olduğundan maddeye enerjilerini aktarana kadar madde içinde fazla yol alırlar, yani giricilikleri fazladır ve ancak kurşun (Pb) gibi ağır özgül kütleli maddelerle frenlenebilmektedirler (Şekil 2.6, 2.8) [12].

2.4.1.4 Nötron ışınları (n)

Atom çekirdeklerinin doğal bozunumu sırasında salınan, elektriksel olarak yüksüz/nötral parçacıkların oluşturduğu akımdır. Nötronun kütlesi, atom çekirdeğindeki artı yüklü protondan biraz daha büyüktür. Dalma derinlikleri fazla olmamakla birlikte enerjilerine bağlı olarak farklı etkiler oluşturabilirler.

2.4.2 İyonlaştırıcı olmayan radyasyon

İyonlaştırıcı olmayan radyasyon Bu tür radyasyona mikrodalga, görünür ışık, radyo ve kısmen ultraviyole (UV) dalgaları örnek olarak verilebilir. İyonlaştırıcı olmayan radyasyonların madde içine nüfuz etme derinlikleri enerjilerine ve hedef maddenin bu radyasyona göre saydamlığına bağlı olarak farklıdır (Şekil 2.8) [12].



Şekil 2.3. α , β ve γ radyasyonlarının madde içine nüfuz etme derinliklerini gösterir şema

2.5 Radyasyon Kaynakları

Evrenin oluşumundan itibaren var olan tüm organizmalar sürekli olarak Dünyamızı oluşturan maddelerin içinde bulunan radyoaktif elementler ile kozmik foton ve parçacıklardan kaynaklanan iyonlaştırıcı radyasyon etkisine maruz kalmaktadır. Doğanın oluşturmuş olduğu bu radyasyonun yanısıra teknolojinin getirmiş olduğu bu radyasyonun miktarı bazı bölgelerde artmıştır. Var olan bu radyasyon kaynakların doğal ve yapay kaynaklar olarak ikiye ayrılır.

2.5.1 Doğal radyasyon kaynakları

Doğal radyasyon kaynakları kozmik ışınlar, yerkürede bulunan radyoaktif elementlerden kaynaklanan gama ışınları, havadaki radon, yiyecek ve içeceklerdeki doğal radyonüklitlerdir. Doğal radyasyon seviyesinin büyüklüğünü belirleyen çeşitli nedenler vardır. Yaşanılan yerin jeolojik yapısı ve deniz seviyesinden yüksekliği, binalarda kullanılan malzemeler, mevsimler kutuplara olan uzaklık, meteorolojik şartlar gibi sıralayabiliriz.

Doğal kaynaklardan gelen radyasyon değerleri biyolojik etki açısından kayda değer olmamakla birlikte ciddi anlamda da değiştirilemez olarak kabul edilmekte olup, doğal fon radyasyonu olarak kabul adlandırılır. Uranyumun bozunum ürünü olan radon gazının bozunum ürünlerinden kaynaklanan radyasyon önemli ölçülerdedir. Ancak yaşadığımız mekan içerisinde basit bir havalandırma ile bu dozu azaltmak kendi elimizdedir [13].

2.5.1.1 Kozmik ışınlar

Kozmik ışınlar başta güneş olmak üzere, nebulalardan, yıldızlar ve galaksi merkezlerindeki oluşumlardan gelen yüksek enerjili foton ve parçacıklardır. Bu parçacıkların büyük bir çoğunluğu atmosfere ulaşırlar. Bunlar dünyanın dış atmosferindeki atomlarla çarpışarak, düşük enerjili parçacıklar oluştururlar. Oluşan düşük enerjili parçacıkların büyük bir çoğunluğu yeryüzünden kilometrelerce yüksekte bulunan atmosferin dış tabakasında soğurulurlar. Bunun anlamı deniz seviyesinden yükseldikçe kozmik ışınlardan kaynaklanan doz ve doz hızının yüksek olacağıdır. Ayrıca, güneşin aktif durumuna (güneş patlamalarına), yerin manyetik alanına bağlı olarak kozmik ışınların yoğunluğu değişir.

Protonların yüklü parçacıklar olmaları, atmosfere ulaştıklarında dünyanın manyetik alanın etkisine girmeleri nedeniyle, atmosferdeki proton yoğunluğu ekvatorlardan kutuplara gidildikçe artmaktadır. Böylece, radyasyon dozu dünya enlemi arttıkça artar. Bu ışınların büyük bir kısmı dünya atmosferinden geçmeye çalışırken soğurulurlar. Yani atmosferimiz kısmi olarak radyasyonu zırlamaktadır. Bu nedenle, deniz seviyesine yükseldikçe kozmik ışınların yoğunluğu dolayısıyla doz miktarında artmaktadır [13].

2.5.1.2 Yerel kaynaklı radyasyonlar

Bunlar, insanın çevresindeki toprak, su, hava ve yapı malzemesi gibi daha birçok ortamda doğal olarak bulunan radyoaktif maddelerden yayılan radyasyonlardır. Yeryüzündeki doğal radyoaktif maddelerin çoğunun yarılanma süreleri kabaca yerküresinin jeolojik yaşı kadar (10^9 yıldan çok) olmakla birlikte, bunlardan türeyen radyoizotoplar çok daha kısa yarılanma süreli dirler. Ayrıca, yüksek enerjili kozmik ışınlar, atmosferin yukarı tabakalarında sürekli olarak yeni radyoaktif maddeler de üretirler. Bunlar arasında özellikle trityum (^3H) ve karbon (^{14}C) radyoizotoplar hava akımlarıyla ve çeşitli yağışlarla yeryüzüne inerler.

Yer kabuğunda bulunan önemli radyoaktif maddeler olarak toryum, uranyum-aktinyum ve uranyum-radyum dizilerindeki radyoizotoplar sayılabilir ki bunların tümü bir dizi radyoaktif bozunma (parçalanma) sonucunda kurşuna (Pb) dönüşerek atom çekirdekleri kararlı duruma geçerek son bulurlar.

Kozmik ışınların etkisiyle havadaki azot, oksijen, argon ve CO_2 gibi maddelerden, trityum ve ^{14}C gibi radyoizotoplar oluşmakta; bunlar havadaki ta-

neciklerle (aerosollarla) birlikte yeryüzüne serpilerek bitkiler ve hayvanlar yoluyla ya da doğrudan insana ulaşmaktadır. Diğer yandan topraktaki doğal potasyumdaki ^{40}K radyoizotopu, besinler yoluyla insan vücuduna girerek vücudumuzu içeriden ışınlamaktadırlar. Ayrıca, yer kabuğundaki uranyum ve toryum dizilerinden radyoaktif bozunma yoluyla oluşan radon ve toron asal gazlar içindeki ^{222}Rn ve ^{220}Rn (Toron) radyoizotopları atmosferde yükselip yine radyoaktif bozunmayla kurşun ve bismut gibi uzun yarılanma süreli izotoplara dönüşmektedir. Bunlar da havadaki taneciklere tutunarak tekrar yer yüzüne yağış ya da kuru serpintilerle inerek besinler yoluyla ya da doğrudan insanı ışınlamaktadırlar.

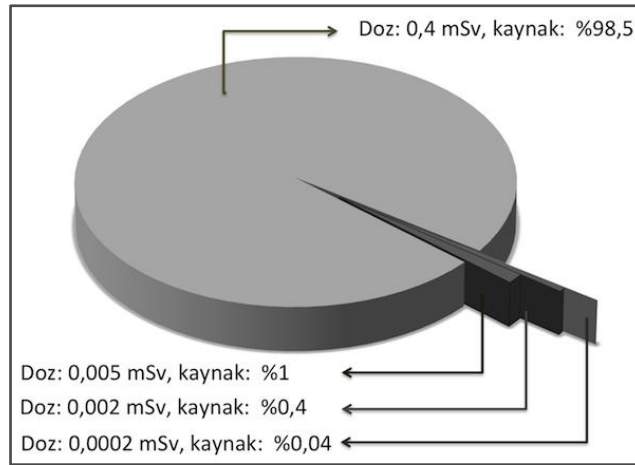
Evlerin tabanındaki çeşitli çatlak ve yarıklardan, boru kanallarından bodrum katına ve oradan da daha yukardaki katlara, topraktan sızıntılarla ulaşan radon gazı içindeki radyoizotoplar (^{222}Rn ve ^{220}Rn), özellikle havalandırması az olan evlerde oturanları solunum yoluyla ışınlar. Radonun katkısı insanın sürekli etkilendiği 'toplam doğal radyasyon dozunun' önemli bir bölümünü oluşturmaktadır [12].

2.5.2 Yapayradyasyonkaynakları

Yapay radyasyon kaynakları tıbbi, endüstriyel uygulamalar, nükleer enerji santralleri, nükleer silah denemeleri veya nükleer kazalar sonucundaki atmosferdeki radyoaktif serpintiler olarak sıralayabiliriz.

Kazalar haricinde yapay radyasyon kaynaklarının kontrolü, üretim işleminin durdurulabilir veya değiştirilebilir olması nedeniyle daha kolaydır. Önemli olan radyasyonun faydalı uygulamalarında daim fayda-zarar dengesini sağlamak gereklidir. Bu denge Radyasyondan Korunma Sisteminde yer alan optimizasyon ilkesinin uygulanması ile sağlanır. Dünyada gerçekleştirilmiş veya gerçekleştirilen nükleer silah denemelerinden kaynaklanan radyoaktif serpintinin sağlık etkilerini değerlendirmek için Birleşmiş Milletler Atomik Radyasyonun Etkileri Bilimsel Komitesi (UNSCEAR, The United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation) 1955 yılında kurulmuştur. Ülke bazında ve genel olarak tüm kaynaklardan alınan dozlara ilişkin veriler bu komite tarafından düzenli olarak değerlendirilmekte ve yayımlanmaktadır. UNSCEAR 2000 raporuna göre dünya nüfusuna bağlı ortalama yıllık dozlarda toplamda yaklaşık olarak 2,8 mSv'dir. Bu değer Şekil 2.9'da da görüldüğü gibi 2,4 mSv'i doğal radyasyon kaynaklarından, yaklaşık bunun yarısının büyük kısmı (%85'inden fazlası) doğal radyasyon kaynaklarında, diğer kısmı ise evlerdeki radon bozunum ürünlerinden

kaynaklanmaktadır. Tıbbi ışınlamalar ise %1 den daha küçük bir oran endüstri ve nükleer santraller ile nükleer denemeleri kapsamaktadır [13].



Şekil 2.4.Yapay Radyasyon Kaynaklarının UNSCEAR 2000 raporuna göre dünya insanların maruz kaldığı yapay radyasyon dozunun yıllık ortalamaları ve yapay radyasyon kaynakları

X ve γ ışınları, iyonlaştırıcı yeteneğe sahip enerjilik fotonlardan (enerji paketleri) oluşan elektromanyetik radyasyonlardır. Elektromanyetik radyasyon madde ile üç şekilde etkileşir. Fotoelektrik soğurma, Compton saçılması ve çift oluşum adı verilen . Fotoelektrik soğurma ve Compton saçılmasında foton, içinden geçtiği maddenin elektronları ile etkileşime girdiği halde, çift oluşumunda foton absorpsiyonu olayı, içinden geçtiği maddenin güçlü atom çekirdekleri alanı içinde oluşur [14, 15].

2.5.3 Fotoelektrik olay

Fotoelektrik olay , 0,5 MeV den daha düşük enerjili fotonların içinden geçtikleri ortamın atomları tarafından absorbe edilmesinde en yaygın görünen olaydır. Fotoelektrik olayda foton, enerjisinin tümünü, içinden geçtiği ortamın atomlarına bağlı elektronlardan birine verir ve kaybolur. Diğer bir deyişle foton enerjisinin tümü, elektron tarafından absorbe edilir. Bu olay sonunda, elektron bağlı olduğu yörüngeden kopar ve aşağıdaki formülde gösterilen enerji ile fırlar:

$$E_e = h\nu - E_b \quad (2.1)$$

Burada E_e , fırlayan elektronun kinetik enerjisi; $h\nu$, fotonun enerjisi; E_b ise, fırlayan elektronun bağ enerjisidir. Atomdan E_e , kinetik enerjisi ile fırlayan serbest elektron,

ortam içinde yoluna devam eder. Ortamdaki diğer elektronlarla reaksiyona girerek onları iyonlaştırır.

2.5.4 Compton olayı

Foton enerjisi, 0,5 MeV dan yaklaşık 10 MeV düzeyine doğru yükseldikçe fotonun içinden geçtiği madde tarafından daha çok Compton olayı ile açıklanan biçimde absorblanmaya başlar. Bu olayda foton, bağlanma enerjisi az olan atomun en dış elektronlarından birisi ile reaksiyona girer. Burada gelen foton enerjisinin bir kısmını elektronu yerinden koparıp ona kinetik enerji kazandırarak fırlatmada harcar. Geri kalan enerjisi ile de bir başka yönde yoluna devam eder. Compton olayında, foton ile elektronun çarpışması sonucunda hiçbir enerji kaybı olmaz.

2.5.5 Çiftoluşumu

Çift oluşum olayı Compton ve fotoelektrik olaydan daha ender görülen bir olaydır. Bu olayın oluşabilmesi için, gelen fotonun enerjisinin yüksek olması gerekir. Çift oluşumu, Einstein'ın kütle ve enerji eşitliğine ($E = mc^2$) göre meydana gelir. Eğer oluşan çift elektron–pozitron çifti ise gelen fotonun enerjisi en az 1,022 MeV olmalıdır. Bu enerji elektron ve pozitronun toplam kütle eşdeğeri enerjidir. Gelen yüksek enerjili foton kaybolarak bir elektron ve bir pozitron oluşur. Burada enerji kütleye dönüşmüştür. Eğer fotonun enerjisi bundan fazla ise bu fazla enerji elektron ve pozitrona kinetik enerji olarak aktarılacaktır.

Çift oluşum ile ortaya çıkan elektron çevresindeki atomları iyonlaştıracaktır. Pozitron ise eğer serbest bir elektron ile karşılaşarsa birbirlerinin antisimetrikleri olduklarından birbirlerini yok ederler. Bu yok olma olayı sonucunda her birinin enerjisi minimum 0,511 MeV olan iki γ ışını oluşur. Bunlara ‘Yok Olma’ radyasyonları adı verilir. Aslında elektron ve pozitronun birbirlerini yok ederek yok olma radyasyonlarının oluşması olayı bunların oluşumundaki olayın tersidir. Çünkü burada da kütleler foton haline dönüşmüşlerdir.

2.6 Radyasyon Kaynakları

Paramanyetik maddeler ve radikaller doğrudan EPR spektroskopisi ile incelenebilir. Eğer madde paramanyetik özellik göstermiyorsa bazı yöntemlerle paramanyetik hale getirilir. Bu yöntemler fiziksel ve kimyasal olmak üzere iki ana grupta toplanır.

A) Fiziksel Yöntemler

- 1-Yüksek enerjili parçacıklarla ışınlama (e, p, n)
- 2-Yüksek enerjili fotonlarla ışınlama (γ , x, UV)
- 3-Mekanik kuvvetler (öğütme, ezme, kırma..)
- 4-Isıtma

B) Kimyasal Yöntemler

- 1-Kimyasal reaksiyonlar
- 2-Spin etiketleme
- 3-Madde içine paramanyetik iyon katkılanması

Maddeler yüksek enerjili elektron, proton, nötron, α parçacığı veya yüksek enerjili fotonlar olan γ -ışını, x-ışını ve morötesi ışınla ışınlandıkları zaman; ışının enerjisine, maddenin yapısına, katı, sıvı veya gaz halinde bulunmasına, basınç ve sıcaklık gibi çevre etkenlerine bağlı olarak madde içinde çeşitli bozukluklar meydana gelebilir.

Işınlamanın doz ve süresi oluşan bozuklukları tekrar ikinci bir bozukluğa sebep verecek şekilde değiştirebilir. Hatta ışınlamada oluşan bozukluklar zamanla radikal olma özelliklerini tamamen kaybettikten sonra tekrar ışınlanmasıyla yeni radikaller bile oluşabilir.

Katı maddelerde ışınlama sonucu kimyasal bağlar kırılır. Bağların kırılması sonucu madde içindeki bazı atom ve atom grupları kristal örgü içinde bir bölgede tuzaklanabilir.

Tuzaklanan parçacıklar her zaman paramanyetik olmayabilir veya sürüklendikleri bölgelerde yeni bağlar oluşturarak diamanyetik duruma geçebilirler veya iyonik özelliklerini kaybederler. Işınlama sonucu kristal örgü bağları kopmak suretiyle çatlaklar oluşabilir ve bu çatlaklar arasında tek bir elektron veya tek bir atom, örneğin H veya atom grupları tuzaklanabilir. Katı örgüler içinde tuzaklanan parçacıklar ve paramanyetik merkezler, sıcaklık ve basınç gibi çevre etkenlerine bağlı olarak ya geri birleşerek ya da başka bağlar oluşturarak diamanyetik hale dönerler.

Radikal oluşumunda ve gözlenmesinde de sıcaklığın önemi büyüktür. Bazı radikaller oda sıcaklığında çok kısa ömürlüdür (CH_3 radikali 10-3 sn yaşar) ve EPR ile gözlenemez. Böyle durumlarda madde düşük sıcaklıklarda (sıvı azot veya helyum sıcaklığında) ışınlanmalı ve ışınlama esnasında spektrumları alınmalıdır. Sıcaklık

etkisi ile madde radikalik özellik kazanabileceği gibi bu özelliğini yine sıcaklık etkisiyle kaybedebilir.

Maddenin katı, sıvı veya gaz oluşu da oluşan radikali ve kararlılığını etkiler. Örneğin, katı halde gözlenen bir radikal, madde sıvı veya gaz haldeyken ışınlandığında gözlenemeyebilir. Çünkü katı halde radikal kristal içinde tuzaklanabilir. Sıvı ve gaz da ise hareketlilikten dolayı geri birleşebilir.

Katılarda maddenin kristal yapısı, birim hücre boyutları, oluşan bozukluğun tuzaklanmasını ve kararlılığını etkiler. Yani iki katı içinde aynı radikal gözlenmesine rağmen kristal yapıları ve kimyasal çevrelerinin etkisiyle bu ortamlardaki yaşama süreleri farklı olabilir.

Sıvı ve gaz ortamlarda ise, eğer ortamda serbest radikaller veya yavaş oluşan kimyasal reaksiyonlarda henüz bağ yapmamış radikal iyonlar yoksa atom ve moleküllerin sürekli ve hızlı hareketleri ve çarpışmalarından ötürü, ışınlamayla oluşturulmuş radikallerin yaşama süreleri EPR spektrometresiyle gözlenemeyecek kadar kısadır.

Parçacıklarla ışınlamada, parçacıklar maddenin yüzeyine yakın katmanlarda durdurulduklarından dolayı bozukluklar maddenin yüzeyinde oluşur. Işınlama işleminde kullanılan parçacıklar da madde içinde ve madde ile etkileşerek yeni yapı ve bozukluklar oluşabilir.

Fotonla ışınlamada ise bozukluk sadece yüzeyde değil, maddenin hemen hemen her bölgesinde oluşur. Ayrıca maddenin içine ilave parçacık sokulmadığından, maddenin doğal yapısı genellikle korunur. Parçacık ile ışınlamaya göre daha ucuzdur. γ kaynağı olarak ^{60}Co kullanılır.

Bazı maddelerde de γ , x ve uv ile ışınlamanın hepsi aynı radikali verebileceği gibi uv ile başka γ ile başka bir radikal de verebilir. Bunun için sistematik bir kural yoktur. Ancak bu ışınlar arasındaki tek farkın enerjileri olduğu gözönüne alınarak bazı açıklamalar getirilebilir. Örneğin, γ ışını ile koparılan bir grup uv ile koparılan gruptan daha uzağa sürüklenip orada tuzaklanabilir veya γ ile oluşturulan bir bozukluk uv bölgesinde uyarma ve iyonlaşma enerjisine sahip olup, uv ile ışınlandığında γ ile oluşturulan bozukluk diamanyetik hale dönebilir. γ ile ışınlamada radikal gözlenemiyorsa bunun en önemli nedenlerinden birisi oluşan bozukluğun diamanyetik veya kararsız olmasındandır.

Işınlamanın dozu önemli olduğu kadar, bu dozun ne kadar sürede alınacağı da önemlidir. Çoğu maddede ışınlama dozu ile şiddet önce artar, sonra belli bir maksimum değere ulaşır, ışınlamaya devam edilirse çizgilerin genişlediği şiddetin azaldığı gözlenir. Ayrıca yüksek doz, radikal konsantrasyonunu artırabilir bunun sonucu olarak da radikaller arasında iki kutuplu etkileşme başlar ve çizgiler üst üste gelerek bu çizgilerin zarfı olan sinyal gözlenir. Bu durumda çizgileri ayırt etmek mümkün değildir [1,2,4,6,7].

2.7 Işınlama Uygulamaları ve Uygulamaya Etki Eden Faktörler

Günümüzde kuru veya yaş bir çok gıda maddesi gıdanın bozulmasına yol açan bakterileri öldürmek ve böylece gıdanın tüketilmeden önce raf ömrünü uzatmak için yüksek enerjili fotonla ışınlanır. Işınlamada yaygın olarak kısmen düşük enerjili ⁶⁰Co veya ¹³⁷Cs kullanılmaktadır. Işınlama bakterileri öldürme yanında gıda veya hammadde içinde de bozukluklar oluşturacaktır.

Radyasyon dozu, gıda veya gıda hammaddesi tarafından soğurulan radyasyon enerjisi miktarıdır. Her gıda türü için uygun miktarda dozun verilmesi çok önemlidir. Gıdaya verilmesi gereken uygun doz miktarı aralığının çok daha üzerinde doz verilmesi gıdaya veya gıda hammaddesine zarar vererek kalitesini, yapısını veya besleme özelliğini bozabilir. Soğurulan doz birimi için kullanılan birim Gray (Gy)'dir. 1 Gy, kilogram başına soğurulan 1 Joule' lük enerjidir. Şu anda gıda ışınlamasında uygulanmak üzere FAO/WHO Codex Alimentarius Komisyonu (FAO, 1983), tarafından tavsiye edilen ortalama radyasyon dozu olan 10 kGy'i geçemez. Gıda ışınlamada doz grupları, düşük (0 ile 1 kGy), orta (1 ile 10 kGy) ve yüksek (10 kGy'den fazla) olarak sınıflandırılmaktadır. Gıda ışınlama yönetmeliğine göre bazı ürün grupları için ışınlama dozları ve ışınlamadaki amaçlar Çizelge 2.1' de özetlenmiştir [16].

Çizelge 2.1. Gıda gruplarında belirli teknolojik amaçlara göre uygulanmasına izin verilen ışınlama [16]

GIDA GRUBU	AMAÇ	DOZ (kGy)
Soğanlar, kökler ve yumrular	Depolama sırasında filizlenme, çimlenme ve tomurcuklanmayı önlemek	0.2
Taze meyve ve sebzeler	a) Olgunlaşmayı geciktirmek	1.0
	b) Böceklenmeyi önlemek	1.0
	c) Raf ömrünü uzatmak	2.5
	d) Karantina kontrolü	1.0
Hububat, öğütülmüş hububat ürünleri, kabuklu yemişler, yağlı tohumlar, baklagiller, kurutulmuş sebzeler ve kurutulmuş meyveler	a) Böceklenmeyi önlemek	1.0
	b) Mikroorganizmaları azaltmak	5.0
	c) Raf ömrünü uzatmak	5.0
Çiğ balık, kabuklu deniz hayvanları ve bunların ürünleri (taze veya dondurulmuş), dondurulmuş kurbağa bacağı	a) Bazı patojenik mikroorganizmaları azaltmak	5.0
	b) Raf ömrünü uzatmak	3.0
	c) Paraziter enfeksiyonların kontrolü	2.0
Kanatlı, kırmızı et ile bunların ürünleri (taze veya dondurulmuş)	a) Bazı patojenik mikroorganizmaları azaltmak	7.0
	b) Raf ömrünü uzatmak	3.0
	c) Paraziter enfeksiyonların kontrolü	3.0
Kuru sebzeler, baharatlar, kuru otlar, çeşniler ve bitkisel çaylar	a) Bazı patojenik mikroorganizmaları azaltmak	10.0
	b) Böceklenmeyi önlemek	1.0
Hayvansal orijinli kurutulmuş gıdalar	a) Böceklenmeyi önlemek	1.0
	b) Küflerin kontrolü	3.0

Gıdaya uygulanan ışınlama doğrudan veya dolaylı olarak mevcut mikroorganizmaların sayılarını azaltmayı veya tamamen yok etmeyi hedeflemektedir. Doğrudan etkide ışınlama hücre bileşenleriyle reaksiyona girmekte, hücrenin yaşamını sürdürmesi için gerekli olan bazı bileşenlerde hasar yaratmakta, DNA gibi moleküllere enerjisini aktararak iyonize olmalarına veya parçalanmalarına neden olmakta ve hücre çoğalmasını önlemektedir. Dolaylı etkide ise, hücrenin yaklaşık %70 ile %90 oranını oluşturan suyun parçalanması sonucu H ve OH⁻ radikalleri oluşmakta ve bu radikaller hücrede yükseltgenme ve indirgenme etkisi yapmakta, dolayısıyla hücre etkisiz hale gelmektedir [17,18,19,20].

2.8 Işınlanmış Gıdaların Teşhisinde Elektron Paramanyetik Rezonans Yöntemi

İyonize edici yüksek enerjili radyasyona maruz kalan bir maddenin, burada gıda, gıda hammaddesi veya insan, soğurduğu doz miktarı ve ışınlama sonucunda oluşan radikallerin miktarları, yapıları ve kararlılıkları Elektron Paramanyetik Rezonans (EPR) spektroskopisi yardımı ile belirlenebilir [21,28]. EPR spektroskopisi ile yapılan ölçümlerle, ışınlanmış ve ışınlanmamış ürünlerin ayrımını yapmak ve ışınlanmış ise hangi doz değerinde ışınlandığının belirlenmesi mümkündür. Radikal miktarı, kaydedilen EPR spektrumunun soğurma eğrisi altında kalan alan ile orantılıdır. Bazı örnek türlerinde, 1 Gy'den daha düşük doz değerlerini bile ölçmek EPR yöntemi ile mümkündür [22,25]. Oluşturulan doz–tepki eğrileri kullanılarak ışınlama dozu oldukça hassas belirlenebilmektedir. Işınlama dozunun belirlenebilmesi için ışınlama tarihinin de bilinmesi gerekir. EPR ölçümlerinde çok az miktarda örneğe (50 mg'dan daha az) gereksinim duyulur [29]. Çalışma sıcaklığı düşürüldükçe EPR sinyal şiddetinin artması ile sinyallerin daha kolay algılanabiliyor olması da başka bir yöntemde olmayan bir ayrıcalıktır. Bu avantajlarıyla EPR yöntemi ışınlanmış yiyeceklerin kontrolü, arkeolojik ve antropolojik tarihlemeye, radyasyonun etkileri ve zararlarını belirlemeye ve görüntülemeye yaygın olarak kullanılmaktadır [30].

2.9 Radyasyon Dozu

Doz, herhangi bir maddenin belli bir zaman içinde kullanılan veya tüketilen miktarıdır. Radyasyon dozu ise hedef ortam tarafından, belli bir sürede, soğurulan veya alınan radyasyon miktarıdır.

Radyasyon dozunun hedef ortamda meydana getiracağı etki, radyasyonun çeşidine, doz hızına ve doza maruz kalış süresine bağlıdır. İyonlaştırıcı radyasyonla yapılan çalışmalarda verimli şekilde sonuca ulaşabilmek, zararlı biyolojik etkileri belirleyebilmek ve öncelikli olarak korunabilmek için radyasyon dozunun bilinmesi gerekir. Maruz kalan radyasyon miktarının ölçülmesi konusu, radyasyonla çalışırken dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardan birisidir. Bunun için de öncelikle radyasyon ölçüm birimlerini ve nicelikleri bilmek gereklidir [13]. Radyasyon ölçüm birimleri Çizelge 2.2 de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. İyonize radyasyon birimleri [16]

Terim	Birimi		Dönüşüm
	Eski	Yeni	
Aktivite	Curie (Ci) ; 3.7x10 ¹⁰ parçalanma/saniye	Becquerel (Bq); 1 parçalanma/sn	1 Ci=3.7x10 ¹⁰ Bq 1 Ci=37 GBq
Işınlama Birimi	Röntgen (R)	Coulomb / kilogram (C/kg)	1 C/kg=3876 R 1 R=2.58x10 ⁻⁴ C/kg
Soğurulmuş Doz	Radiation doz (rad); ışınlanan maddenin 1 kg'ında 10 ⁻² Joule'lük enerji soğurulması meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarıdır.	Gray (Gy)	1 Gy=100 rad 1 rad=0.01 Gy
Doz Eşdeğeri	Röntgen equivalentman (Rem); 1 Röntgenlik X veya γ ışını ile aynı biyolojik etkiyi oluşturan herhangi bir radyasyon miktarıdır. rem=(rad)x(W _R)	Sievert (Sv) ; 1 Gy'lık X ve γ ışını ile aynı biyolojik etkiyi meydana getiren herhangi bir radyasyon miktarıdır. Sv= (Gy)x(W _R)	1 Sv=100 rem 1 rem=0.01 Sv Alfa için W _R =20 Beta, γ , X ışını için için W _R =1

Çizelge 2.2. de verilen iyonize radyasyon birimleri arasında yer alan soğurulmuş doz biriminin diğer birimlerden farkı; radyasyon tipi farklılığı, herhangi bir iyonize radyasyon içermesi, ilgili radyasyon tarafından absorblanan enerjinin bir ölçüsü olması, radyasyonun miktarı ve şiddeti ile direkt ilgili olmamasıdır [34].

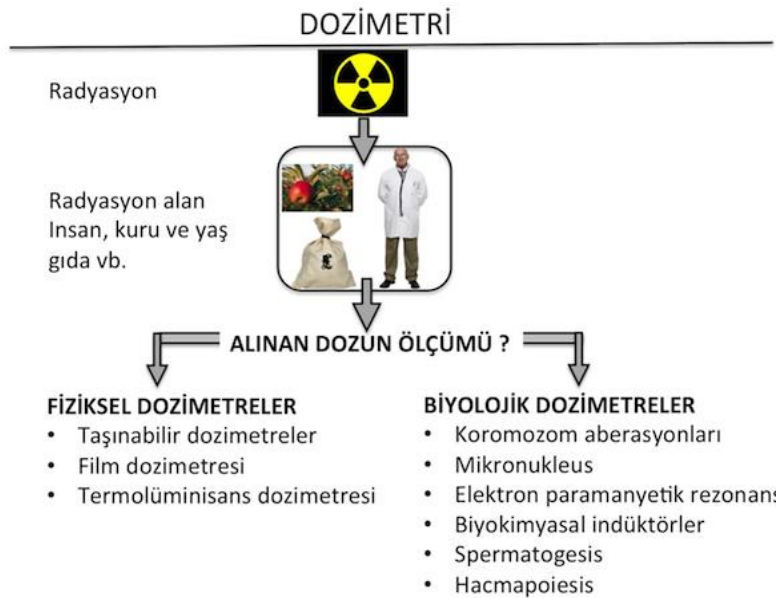
2.9.1 Dozlimitleri

İyonlaştırıcı radyasyonla çalışanların mesleki ışınlama maruziyetine yönelik dozları aşağıda verilen sınır değerleri aşmamalıdır (ICRP 60; International Commission on Radiological Protection, 60 numaralı tavsiye bildirisi) [13].

2.10 Dozimetri

Herhangi bir radyasyonun madde üzerinde gözlenebilir ve ölçülebilir belli bir etki doğuran miktarına radyasyonun dozu, bu etkilerin ölçülmesi ve değerlendirilmesi işleminde dozimetri denilmektedir [32].

Radyasyonlu Ortamda Çalışanların Maruz Kalabilecekleri Sınır Dozlar	
Etkin doz (Tüm vücut)	: 50 mSv/Yıl (Tek yıl için öngörülen sınır değer) 20 mSv/yıl (Ardışık 5 yılın ortalaması)
Eşdeğer doz	: 150 mSv/yıl (Göz için) 500 mSv/yıl (Cilt, el ayak için)
Diğer İnsanların Maruz Kalabilecekleri Sınır Dozlar	
Etkin Doz (Tüm vücut)	: 5 mSv/yıl (Tek yıl için öngörülen sınır değer) 1 mSv/yıl (Ardışık 5 yılın ortalaması)
Eşdeğer Doz	: 15 mSv/yıl (Göz için) 50 mSv/yıl (cilt, el, ayak için)



Şekil 2.5. Dozimetri Çeşitleri

Radyasyonun ölçülmesi ve değerlendirme sırasında kullanılan SI birim sisteminde yer alan bazı iyonize radyasyon eski ve yeni birimleri Çizelge 2.2. de verilmiştir. Çizelgede verilen birimler arasında yer alan soğrulmuş doz biriminin diğer birimlerden farkları, radyasyon tipindeki farklıklar, herhangi bir iyonize radyasyon içerip içermemesi, ilgili radyasyon tarafından absorplanan enerjinin bir ölçüsünün olması, radyasyonun miktarı ve şiddeti ile doğrudan ilgili olmamasıdır.

2.11 Dozimetrelerin Sağlaması Gereken Özellikler

- Dozimetri malzemesi çevrede bol bulunabilecek, ucuz, kalibrasyonu basit, ölçüm duyarlılığı ve tekrarlanabilirliği yüksek olmalıdır.
- Basit ve çubuk ölçüm yapmaya olanak vermelidir.
- Farklı radyasyon türleri ve doz hızlarında doğru ve pratik ölçme imkanı sağlamalıdır.
- Çevresel koşullardan etkilenmeyen, üzerinde radyasyonun oluşturduğu uzun süre saklayabilen, taşınabilir boyutlardaki doku eşdeğerinde olan malzemelerden seçilmelidir.
- Ölçüm yöntemi radyasyona özgün olmalıdır [35].

2.11.1 EPR spektroskopisinin doz ölçümünde kullanıldığı maddeler

- Yumurta kabuğu,
- Pencere camı,
- Diş minesini,
- Saç, tırnak, saat, gözlük ve cep telefonu camları,
- Tekstil ürünleri,
- Telefon sim kartı...vb.
- Seramikler,
- Alçı,
-

2.12 Dozimetrenin Kullanım Alanları ve Radyoterapi

Biyolojik yarı ömür; fiziksel yarı ömürden farklıdır:

- a) canlının türüne,
- b) ilgili organa, fonksiyonuna ve zamana bağlıdır.

Örneğin hidrojenin radyoizotopu olan trityumun biyolojik yarı ömrü 7 ile 11 gün arasında olmasına karşın, fiziksel yarı ömrü 13 yıldır. Bazı radyoizotopların fiziksel yarılanma ömürleri ve uygulama yerleri Çizelge 2.3'de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Bazı Radyoizotopların yarı-ömürleri ve kullanılma yerleri

Radyo izotop Yarılanma süresi	(y: yıl, g: gün, s: saat)	Uygulama yerleri
Teknesyum – 99m	6.02 s	Tıbbi teşhis, görüntüleme
Iyot – 131	8.1 g	Tıbbi teşhis-tedavi
Fosfor – 32	14.3 g	Tıbbi tedavi
Kobalt – 60	5.25 y	Tıbbi tedavi, Endüstriyel ölçüm-radyografi
Sezyum – 137	30 y	Tıbbi tedavi (vücuda geçici yerleştirme) Endüstriyel ölçüm-radyografi
Stronsiyum – 90	28 y	Endüstriyel ölçüm
İridyum – 192	74 g	Endüstriyel ölçüm
Radyum – 226	1602 y	Tıbbi tedavi (vücuda geçici yerleştirme)
İyot – 125	60 g	Endüstriyel radyografi
Amerisyum – 241	458 y	Endüstriyel ölçüm
Hidrojen – 3	12.3 y	Endüstriyel ölçüm
İtriyum – 169	32 g	Endüstriyel radyografi
Prometyum – 147	2.7 y	Endüstriyel ölçüm
Talyum – 204	3.8 y	Endüstriyel ölçüm
Altın – 198	2.7 g	Tıbbi tedavi
Tulyum - 170	127 g	Endüstriyel radyografi
Teknesyum - 99m	6.02 s	Tıbbi teşhis, görüntüleme

Gerek bireysel (nükleer tesislerde, endüstrinin ilgili alanlarında ve tıpta radyasyonla çalışanlar) ve gerekse toplumsal radyasyon kazası durumlarında (Çernobil, Giona gibi nükleer reaktörlerin bulunduğu merkezlerdeki kazalar) Hiroşima ve Nagazaki'ye atılan atom bombaları gibi askeri amaçlarla kullanıldıkları durumlarda absorbe edilen radyasyon dozunun bilinmesi yani radyasyonun izlenmesi halk sağlığı açısından önemlidir. Ayrıca radyasyon kazası sonucunda fazla doza maruz kalan bireylerin tedavi planlarının yapılabilmesi için, kaza sürecinde absorbe edilen radyasyon dozunun bilinmesi gereklidir. Uluslararası Radyasyondan Koruma Komisyonu (ICRP), maksimum müsaade edilen doz seviyelerini radyasyon ile

çalışan bireyler için 5 rem (mSv), radyasyonla çalışmayan bireyler radyasyonla çalışmayan bireyler için 0.5 rem (mSv) olarak belirlemiştir [36].

2.13 Biyolojik Dozimetre

Biyolojik Dozimetri için ideal koşullar;

- Dozları tahmin etmek için seçilen etkiler iyonizan radyasyonlara özgü olmalı (disentrik aberasyonları gibi),
- Radyasyona maruz kalma sonucu oluşan etki kalıcı olmalı, eğer kalıcı değilse zamana bağlı olarak oluşan değişiklikler bilinmeli,
- Oluşturulan kontrol doz-cevap eğrilerinde dozların aralığı mesleki ışınlamalarda olduğu gibi çok küçük dozlar ve kaza durumlarında olduğu gibi birkaç Gy'e varan dozları da içermeli,
- Farklı radyasyon kalitelerinde uygulanabilmeli (Co, X-ışını, nötron v.b),
- Biyolojik materyal kolay elde edilebilmeli (kan gibi),
- Ölçümler kolay ve hızlı olmalı kısa sürede sonuç elde edilmeli,
- Kronik ve homojen olmayan ışınlamalara da uygun olmalı [37].

Yukarıdaki özellikleri taşıyan ideal bir biyolojik dozimetri yöntemi bilinmemektedir. Fakat, insan periferik kanından lenfosit kültüründen kromozom analizinin yapılması bugün için bilinen en iyi biyolojik dozimetri yöntemidir [38,39,40,41].

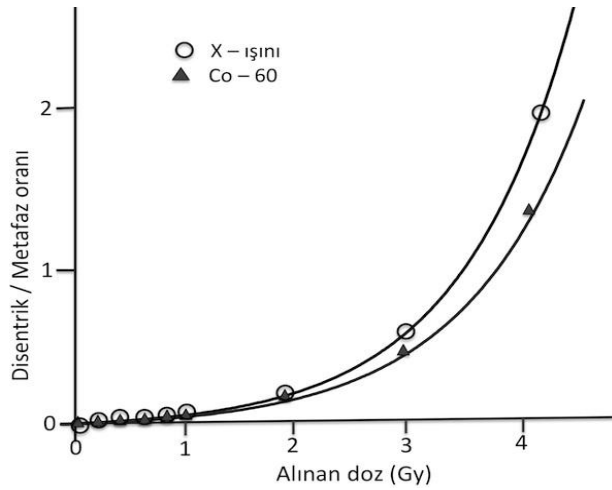
Biyolojik dozimetri çeşitlerinden olan kromozom dozimetrisi (sitogenetik dozimetri), kişilerin absorbe ettikleri radyasyon dozu ile insan lenfositlerinde oluşan kromozom aberasyonları arasındaki kantitatif ilişki esasına dayanır.

İyonizan radyasyonların kromozomlarda oluşturdukları hasar 20.yy başlarından beri bilinmektedir. İlk olarak X-ışınlarının *Drosophila*'da kromozom aberasyonu oluşturduğunun bulunması ve takip eden yıllarda araştırmacıların yaptıkları çalışmalar sonucunda ilk olarak 1962 yılında kromozom aberasyonları, radyasyona maruz kalan bireylerde absorbe edilen radyasyon miktarını tespit etmek için kullanılmıştır [38,39,42].

Kromozom aberasyonlarının absorbe radyasyon dozunun belirlenmesinde kantitatif biyolojik indikatör olarak kullanılmasından bu yana radyasyon kazaları

sonunda absorbe edilmiş olan doz tayininde standartlaşmış bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Radyasyonun canlılarda oluşturduğu etkileri değerlendirmek için başka biyolojik indikatör sistemler de geliştirilmiştir.

(EPR)Elektron Paramanyetik Rezonans, Biyokimyasal indikatörler (kıl, tükürük, saç, sperm vs), Retikülosit sayımı, Mutasyon noktalarının analizi, Monoklonalantibodyler vs. Bu tür sistemlerin çoğu örnek almadaki güçlükler, hücrelerin asenkron popülasyon (hücre siklusunun farklı evrelerinde) şeklinde bulunması ve hücrelerin yaşam sürelerinin kısa olması, yöntemin belli dozlarda etkili olması ve bazen de ışınlanma süresinin önemi nedeniyle dozimetri amacıyla rutin olarak kullanılamazlar[36].



Şekil 2.6. X-ışınları ve Co-60 gama radyasyonu ile oluşturulan kontrol-doz cevap eğrileri

Radyasyona maruz kalmış kişinin radyasyon dozunun belirlenmesinde Grafik 2.1’de verilen kontrol–doz cevap eğrilerine benzer eğriler kullanılmaktadır. Kontrol–doz-cevap eğrileri daha önce radyasyonla çalışmamış ya da herhangi bir şekilde radyasyona maruz kalmamış sağlıklı bireylerden alınan kan örneklerinin homojen ışınlanmaları sonucunda elde edilir. Dozimetri amacıyla yapılan kontrol– doz cevap eğrileri, canlının yapısına bağlı olarak genellikle 50 mGy ile 4 Gy arasında yapılır. Nükleer santral kazaları gibi radyasyon içerikli kazalarda alınan dozlar 0 ile 1 Gy arasında gözlendiğinden kontrol–doz eğrilerinin 0 ve 1 Gy arası bölgede en az 5 verinin olması istenir. Şekil 2.1, Röntgen (x-ışını) ve ⁶⁰Co kaynağından gelen γ radyasyonu için her bir doz alındıktan sonra oluşan anormal kromozom sayısının hücrenin metafaz aşamasındaki sayısına oranının (disentrik / metafaz oranı) değişimini göstermektedir [36,38,39].

3. DENEYSEL YÖNTEMLER

3.1 EPR Spektrometresi

EPR spektrometresi oldukça az miktardaki numune içinde eser miktarlardaki paramanyetik merkezlerin türünü, yapısını ve özelliklerini belirlemeye yarayan bu alanda oldukça etkili bir spektroskopik tekniktir. 1946 yılında kazan Üniversitesi profesörü olan YevgenyZavoiskybu spektroskopik tekniği ortaya koymuş, kısa sürede bilim dünyasında kabul görmüş ve çok sayıda ev yapımı spektrometrelerle çalışmalar yapılmıştır. Daha sonra bu cihazlar ticari amaçla da üretilmeye başlanmıştır ve halen sürmektedir.

EPR spektroskopisi eşlenmemiş elektron bulunduran yapıların, yani kimyasal radikallerin, bazı geçiş metal iyon komplekslerinin ya da benzeri paramanyetik merkezlerin yapılarını etkin biçimde belirler. Bunun için eşlenmemiş elektronun spinini esas alır. Eşlenmemiş bir elektron spini için ZeemanHamiltonianı, dışarıdan uygulanan sabit manyetik alan \mathbf{B} ve skaler g değeri için

$$H = g\beta B \cdot S \quad (3.1)$$

ifadesiyle verilir. İfadede g paramanyetik merkez için karakteristik elektron- g değeridir ve tek başına elektron için değeri $g=2,0023$ olarak bilinir. $\beta = 9,2740 \times 10^{-1} J/T$ sabiti ile elektron için Bohrmagnetonudur. S elektron spinidir ve değeri $S = \frac{1}{2}$ dir. Dış manyetik alan içinde elektron spininin manyetik kuantum değerleri $M_s = +\frac{1}{2}$ ve $M_s = -\frac{1}{2}$ olacaktır. Buna göre, eğer manyetik alan doğrultusu z eksenini alınırsa, elektron spini $\pm \frac{1}{2}$ değerlerini alacaktır ve enerji öz durumları

$$E_{1/2} = \frac{1}{2} g\beta B_z \text{ ve } E_{-1/2} = -\frac{1}{2} g\beta B_z \quad (3.2)$$

olacaktır. Eğer bu durumda spin üzerine frekansı ν olan elektromanyetik dalga gönderilirse iki enerji durumu arasında geçiş olacaktır. Bunu ifadesi

$$\Delta E = E_{1/2} - E_{-1/2} = g\beta B_z = h\nu \quad (3.3)$$

olarak verilir. Bu ifade ESR spektroskopisinin rezonans koşuludur. Örnek olarak eğer 9.5 GHz frekanslı elektromanyetik dalga, yani X bant mikrodalga gönderilirse uygulanması gereken manyetik alan

$$B_z = \frac{h\nu}{g\beta} = 0,3389T = 338,9mT = 2289 \quad (3.4)$$

olacaktır. Rezonans koşulunu sağlamak için mikrodalgaların frekanslarını değiştirmek teknik açıdan zorluklar içerdiğinden uygulamalarda mikrodalga frekansları belirli bantlarda sabit tutularak manyetik alan değiştirilir. Uygulamada kullanılan bazı mikrodalga bandları Çizelge 3.1 'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Farklı band aralıklarında çalışan EPR spektrometreleri

Band	S	X	K	Q	E	W
Frekans(GHz)	3	9,5	24	35	70	95
Dalgaboyu(cm)	9	3	1,2	0,8	0,4	0,3

ESR spektroskopisi temel olan Elektron Zeeman etkileşmesi yanında eşlenmemiş elektronun bağlı bulunduğu çekirdek Zeeman etkileşmesi ve çekirdek spini ile olan aşırı ince yapı etkileşmesi, bu atoma bağlı olan diğer çevre atomların çekirdek spinleri ile olan aşırı ince yapı etkileşmesi, spin-yörünge etkileşmesi, kristal alan etkileşmesi, çekirdek dört kutup etkileşmesi (quadrupolar etkileşme) gibi diğer etkileşmeleri de gösteren güçlü bir tekniktir, Denklem (3.5). Ancak bu çalışmada tek bir geçiş çizgisi üzerinden adiyabatik durumda bağlı şiddet değişimi ölçümü yapılacağından bu etkileşmeler dikkate alınmayacaktır.

$$H = g\beta\mathbf{B} \cdot \mathbf{S} - g_N\beta_N \mathbf{B} \cdot \mathbf{I} + \mathbf{S} \cdot \mathbf{A} \cdot \mathbf{I} + H_{Cryts} + H_{Quad} \quad (3.5)$$

3.2 EPR ÇizgiŞekli

EPR spektroskopisinde spektrumu oluşturan geçişler çizgi (line) terimi ile belirtilmektedir. Denklem 3.3 'ta verilen rezonans şartında tek bir frekans için tek bir

manyetik alan bulunacaktır. Gerçekte ise geçişler bir bant şeklindedir. Şekil Çizgi’de örnek geçiş çizgileri verilmiştir.

EPR spektroskopisinde numune gaz, sıvı ve katı olabilir. Gaz numunelerde tam dönme yapılabildiğinden EPR spektrumu yanında dönü geçişleri de gözlenir. Eğer numune sıvı ise, ki bu çözücü içinde çözülmüş paramanyetik bir madde olacaktır; hızlı hareketler nedeniyle dipolar etkileşme ortalanır, yani sıfırlanır; sonuçta çizgi dar olacaktır. Gaz ve sıvı numunelerde çizgi şekli yaklaşık Lorentz eğrisidir.

Numune katı ise elektronun çevresinde bulunan yerel manyetik alanlar, titreşimler, engelli dönmeler, uzakta duran başka spinler gibi etkiler nedeniyle yan yana bir çok çizginin bir araya gelmesi sonunda çizgi genişleyecek ve sonuçta çizgi şekli yaklaşık Gauss eğrisi olacaktır, Şekil 3.1,

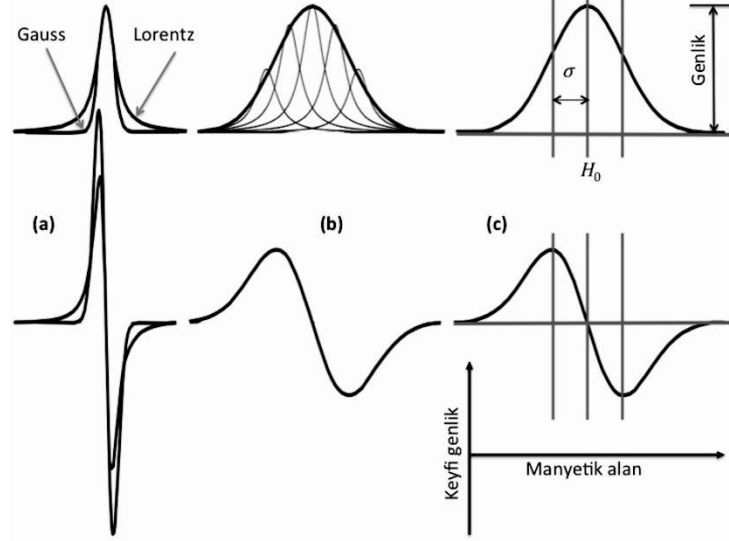
EPR spektroskopisinde, özellikle de sürekli dalga spektroskopisinde teknik nedenlerden ve çözünürlük ve gürültü gidermeye katkısından ötürü çizgiler Lorentz veya Gauss eğrilerinin birinci türevleri olarak alınır. Bu durum zamanla EPR spektroskopisinin özelliği haline gelmiştir. Ancak istenirse spektrum Lorentz veya Gauss eğrileri, ya da bunların ikinci türev eğrileri olarak da çizilebilir.

Lorentz eğrisinin etekleri daha yayvandır ve yavaş sönerken Gauss eğrisi daha çabuk söner ve diktir. Türev, eğrinin eğimi ile orantılı olduğundan çizgi dar olduğunda türev daha yüksek olacaktır; buna bir de Gauss eğrisinin daha dik olduğu eklenirse, Gauss eğrisinin türevinin genliği daha fazla olacaktır; bu durum Şekil 3.1 (a)’ da gösterilmiştir. Çizgi genişlemesinin nedenlerinden önemlileri titreşim, engelli dönü ve komşu spinlerle dipolar etkileşme sonunda birbirine yakın bir çok geçiş çizgisinin toplanarak bir zarf oluşturmasıdır; bu durum Şekil 3.1 (b)’ de temsili olarak gösterilmiştir. Şekil 3.1 (c)’ de bir geçiş çizgisinin parametreleri ve eksenler gösterilmiştir.

Bir geçiş çizgisinin genişliği belirsizlik, spin–spin ve spin–örgü durulmaları, sıcaklık, paramanyetik merkez konsantrasyonu, engelli dönü gibi etkilere bağlı olarak değişir. Bu çalışma adiyabatik şart altında ve aynı numune ile yapılacağından çizgi genişliğinin sabit kaldığı kabul edilecektir.

Bu çalışmada ölçülecek olan çizgi şiddeti spin yoğunluğu ile doğru orantılıdır. Öte yanda adiyabatik şart altında bir çizgi şiddetinin verdiği bilgi, yani spin yoğunluğu mutlak değil bağlıdır. Bu yüzden çizgi şiddetinin değişiminin ölçümünde paramanyetik olmayan CaCO_3 içinde safsızlık olarak bulunan MnCO_3 referans

olarak kullanılacaktır. Paramanyetik Mn^{2+} iyonunun çekirdek spini 5/2 spektrumunda 6 çizgi verir. Şekil 4.2 ile Şekil 4.8 spektrumlarında görüldüğü üzere radyasyona maruz bırakılan dozimetre adaylarının çizgileri Mn^{2+} iyonunun $M_s=1/2$ ile $M_s=-1/2$ çizgileri arasındadır.



Şekil 3.1. EPR spektrum çizgileri: (a) Lorentz ve Gauss eğrileri ile birinci türevleri, (b) çizgi genişlemesinin oluşumunun esas nedeni birbirine yakın çok sayıda çizginin üst üste gelerek geniş bir zarf oluşturmasıdır, (c) bir geçiş çizgisinin parametreleri

3.3 EPR Spektrometresi

Bir EPR spektrometresi Denklem 3.3'de verilen rezonans şartını sağlayacak biçimde tasarlanmış olmalıdır. Geçişlerin hepsini gözlemek için ya sürekli dalga NMR spektrometrelerinde olduğu gibi manyetik alan sabit tutulup frekans belirli aralıkta yavaşça değiştirilir ya da frekans sabit tutulup manyetik alan değiştirilir. Ancak mikrodalga bölgesinde frekansın sürekli ve kararlı değiştirilebilmesi teknik olarak zorluklar içermekte iken manyetik alanın değiştirilmesi daha kolaydır. Bu yüzden sabit frekansta mikrodalga üreten bir kaynak (klystron veya Gunn diyodu) ile değişken manyetik alan üreten elektromıknatıs temelde bir EPR spektrometresini oluşturan temel elemanlardır. Bunu dışında diğer gerekli işlemleri yapmak için bir takım elektronik devreler spektrometrenin diğer elemanlarıdır. Temel elemanlar özetle şunlardır, Şekil 3.2.

Elektromıknatıs Sistemi: Dış manyetik alanı oluşturmak için gereklidir. N ve S kutuplarını oluşturan iki bobin ve bu bobini besleyen son derece kararlı ve hassas

akım üreten güç kaynağından oluşur. Üretilen manyetik alan EPR spektroskopisinde gözlenebilecek bütün spektrumları kapsayacak tarama alanına sahip olmalıdır. Örneğin bir X-Bant EPR spektrometresinde bu alan 0 mT ile en az 500 mT arasında olmalıdır.

Mikrodalga Sistemi: Rezonans için gerekli sabit frekansta mikrodalgayı üreten ve yönlendiren sistemdir. Bir mikrodalga kaynağı (klystron veya Gunn diyonu), kılavuz ve kavite takımından oluşan sistemdir. Üretilen mikrodalgayı numuneye taşıyan ve numune ile etkileştikten sonra mikrodalga detektörüne taşıyan kılavuz, tek yönlü iletici ve dalga döndürücülerden oluşur.

Otomatik Frekans Kontrol Sistemi (AFC): Klystron veya Gunn diyonunun ürettiği mikrodalga frekansının sabit olması gereklidir. AFC üretilen mikrodalgayı radyo frekansı bölgesinde mikrodalga ile girişim yapmayacak bir frekansta modüle eder. Bir faz duyarlı detektör devresi frekanstaki küçük kaymaları algılayarak düzeltir.

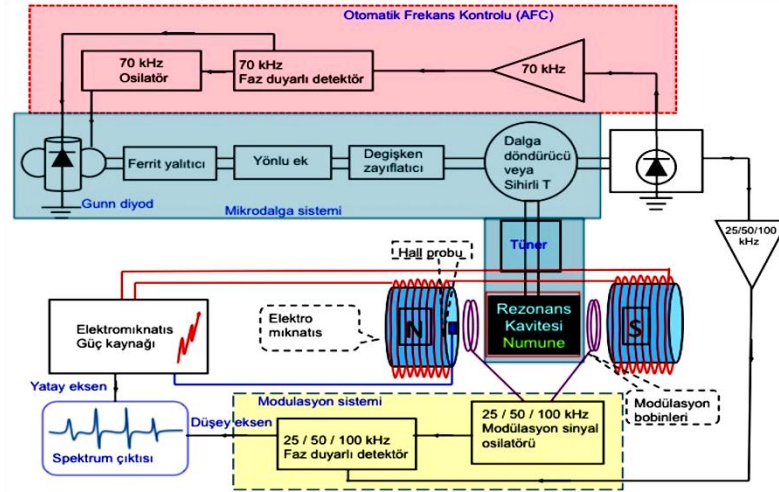
Modülasyon Sistemi: Mikrodalga frekansı ile girişim yapmayacak başka bir radyo frekansı ile mikrodalga modüle edilir. Mikrodalga numune ile etkileştikten sonra detektörde modüle edilen radyo frekansı süzülerek ayrılır ve bir faz duyarlı detektör (FDD) numune ile etkileşen ve etkileşmeyen mikrodalgadaki faz kaymalarını algılayarak bunu çıkış sinyaline çevirir. Faz duyarlı detektör sisteminin çıkışı spektrum olarak çizilir.

Çıkış Sistemi: Faz duyarlı detektörden gelen sinyal spektrum olarak bir yazıcıdan, grafik çiziciden veya bilgisayarda sayısallaştırılarak çizilir.

Bu çalışmada EPR spektrumları Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü EPR laboratuvarında bulunan X Band Varian Century Line Series E-109 spektrometresi kullanılarak alınmıştır.



Şekil 3.2. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fizik Bölümü EPR laboratuvarında bulunan X-Band Varian Century Line Series E109 EPR spektrometresi



Şekil 3.3. EPR spektrometresinin blok şeması [6]

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada dozimetre olarak değerlendirilebilecek maddelerin özellikleri Kesim 2.11 ile 2.13'te özetlenmiştir. Adiyabatik koşullarda bu maddelerin içinde oluşan radikallerin yoğunluğu alınan doz ile belirli bir aralıkta doğrusal olmalı, radikal oluşuktan sonra geri birleşme olmamalıdır, yani radikallerin ömürleri ölçüm zamanına göre uzun olmalıdır. Örneğin bir dozimetre bir aylık sürede alınan dozu ölçmek için kullanılacaksa radikalın ömrü bunun en az beş katı olmalıdır. Aksi halde bir taraftan radikal oluşurken diğer taraftan radikalın hızla sönmesi ölçümlerin sağlıklı olmasını engelleyecektir.

Dozimetre adayı maddelerin birincisi fermente olmuş kuru siyah çay yaprağıdır. Kuru çayda doğal olarak düşük miktarda bulunan semikinon radikali üzerinde çalışma yapılmıştır. Potasyum metabisülfid ismiyle bilinen $K_2S_2O_5$ 'tir. Bu madde içinde γ radyasyonu sonunda oluşan SO_3 radikali de kararlı yapısıyla dozimetre adayı olarak önerilmiştir. Potasyum Piro-sulfid olarak bilinen $K_2S_2O_8$, UV ile γ arası radyasyonda kararlı SO_4-SO_4 radikal çifti üretmektedir ve bu radikal çifti ya da biradikal diğer dozimetre adayıdır.yerdeğiştirmesinin sayısal değerini veren sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır

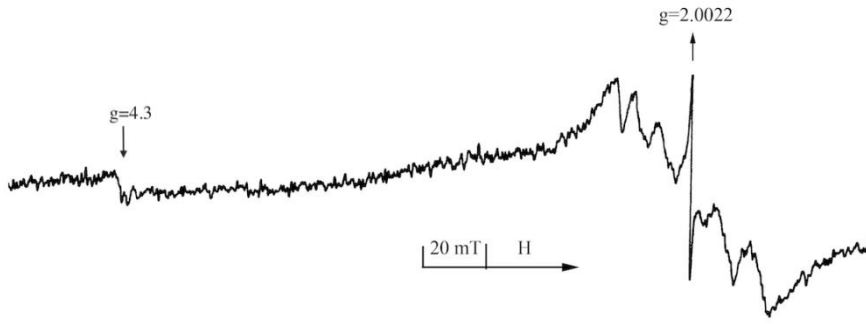
4.1. SiyahÇayYaprağı

Siyah çay, *Camellia Sinensis*, sudan sonra en fazla tüketilen içecek olarak bilinmektedir. Sıcak su ile demlendikten sonra çaya lezzetini veren polifenoller suya geçer. Aynı zamanda hem fermente olmuş siyah çay yaprağında ve hem de suya geçen dem içinde düşük oranda semikinon radikali vardır. Eğer çay fazla bekletilirse semikinon miktarı artarak çaya acılık verir.

Fermente edilmiş kuru siyah çay yaprağının EPR spektrumu Şekil 4.1 de verilmiştir. Spektrumda $g=4.3$ civarında geniş ve zayıf vir çizgi vardır ve bu çizgi bir tür Mn^{2+} içeren bileşiğe ya da çay içinde eser miktarda bulunan Fe^{3+} iyonuna aittir. Spektrumda yine $g=2.00$ civarında geniş bir zarf bulunmaktadır. Bu zarf simetrisi

oktahedral yapıdan bozulmuş bir Mn^{2+} kompleksine atfedilmiştir. Bu zarfın üzerinde aşırı ince yapı yarılması yaklaşık 9,4 mT olan ve 6 çizgiden oluşan Mn^{2+} spektrumu ve bunun üzerinde $g=2.0022$ değerinde keskin bir tek çizgi bulunmaktadır [44, 45]. Bu spektrum fermente olmak dışında işlem görmemiş kuru çay yaprağının karakteristik spektrumu olarak bilinir, Şekil 4.1.

Kuru çay yaprağı γ radyasyonuna maruz bırakıldığında keskin semikinon çizgisinin şiddetinin alınan doz ile orantılı arttığı ve artan bu şiddetin uzun zaman sabit kaldığı gözlenmiştir. Bu durum kuru çay yaprağının dozimetre olarak kullanılabilceğini düşündürmüştür. Buradan yola çıkarak siyah ve kuru çay yaprağı bu çalışmada ele alınmıştır.



Şekil 4.1. Işınlanmamış kuru çayın EPR spektrumu

3.1.1 Çay numunelerinin hazırlanması ve gama ışını ile ışınlanması

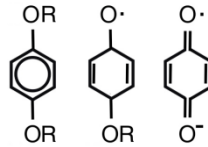
3.1.1.1 Kuru çayın hazırlanması ve ışınlanması

Toz halindeki kuru çay 0.1 gram miktarlarında farklı kaplara konularak ^{60}Co kaynağından çıkan gama ışını ile ayrı ayrı 1 kGy, 2 kGy, 3 kGy, 4 kGy, 5 kGy, 6 kGy, 7 kGy, 8 kGy, 9 kGy, dozlarında ışınlanmıştır. $CaCO_3$ içinde eser miktarda bulunan Mn^{2+} iyonunun çizgileri sabit kaldığı için referans olarak ışınlanmış çay ile birlikte EPR spektrumları alınmıştır. Işınlamadan sonra semikinon radikalinin çizgi şiddeti fazla arttığından çayın doğal halinde bulunan Mn^{2+} spektrumu, Şekil 4.1, çok zayıf kalmakta ve spektrumlarda sadece semikinon çizgisi ile referans alınan $CaCO_3$ içindeki Mn^{2+} çizgileri gözlenmektedir, Şekil 4.2, Şekil 4.3. Bu yolla 1 kGy ile 9 kGy arası her bir doz için alınan spektrumlar semikinon çizgisinin bağıl şiddetleri ölçülmüştür. Semikinon radikalinin bağıl şiddet değişimi Çizelge 4.1da verilmiştir. Bağıl şiddetler, referans alınan Mn^{2+} iyonunun $M_S = 1/2$ ve $M_S = -1/2$ çizgilerinin

şiddetlerinin ortalaması alınmış ve semikinon çizgisinin şiddeti buna bölünerek bulunmuş ve 100 üzerinden verilmiştir.

Çay sudan sonra en fazla içecektir ve antioksidan özelliği göstermektedir. Bu yüzden araştırmacıların ilgisini çekmiş ve üzerinde çok sayıda çalışma yapılmıştır [6, 44–49]. Çay, büyük oranda tadını ve rengini veren kateçinler ya da polifenoller ve eser miktarlarda Mg, Mn, Fe gibi metaller içermektedir.

Radyasyona maruz kalmamış kuru siyah çay üzerinde yapılan EPR spektroskopik çalışmalarının hepsi ortak özellik taşıyan bir spektrum vermektedir, Şekil 4.1. Bu çalışmayla ilgili olan husus $g=2.0022$ değerindeki keskin semikinon radikalinin çizgisidir. Semikinon radikali, kinoid yapıya bağlı R atom veya grubunun birisinin sıcaklık, radyasyon gibi etki sonucu kopmasıyla oluşur. Eğer R yerine H atomu bağlı ise yapı hidrosemiquinon ismini almaktadır. Aşağıda kinoid yapıdan (solda) bir R atom veya grubun kopması sonucu oluşan semikinon (ortada) ve her iki R grubunun kopmasıyla oluşan kinonik iyon (sağda) verilmiştir. Fermente olmuş siyah çay yaprağının doğal yapısında az bir konsantrasyonda semikinon radikali bulunmaktadır. Ancak çay yaprağı aşırı ısıtılırsa veya yüksek enerjili radyasyona maruz bırakılırsa semikinon konsantrasyonu alınan doza bağlı olarak artmakta ve buna bağlı olarak EPR spektrumunda görünen çizgi şiddeti artmaktadır. Bu özelliği ile birlikte bol bulunması fermente olmuş kuru çay yaprağının dozimetre olmaya aday olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.2ve Şekil 4.3sırasıyla 1 kGy ve 3 kGy doza maruz kalmış çayın EPR spektrumlarını göstermektedir. Dikkat çeken husus, radyasyona maruz kalmamış çayda gözlenen semikinon çizgisi yanında Mn^{2+} spektrumunun da dikkate değer ölçüde görünmesidir. Ancak radyasyona maruz kalmış çayda semikinon çizgi şiddetinin artması nedeniyle Mn^{2+} spektrumu zayıf kaldığından gözlenmemektedir, Şekil 4.2ve Şekil 4.3.

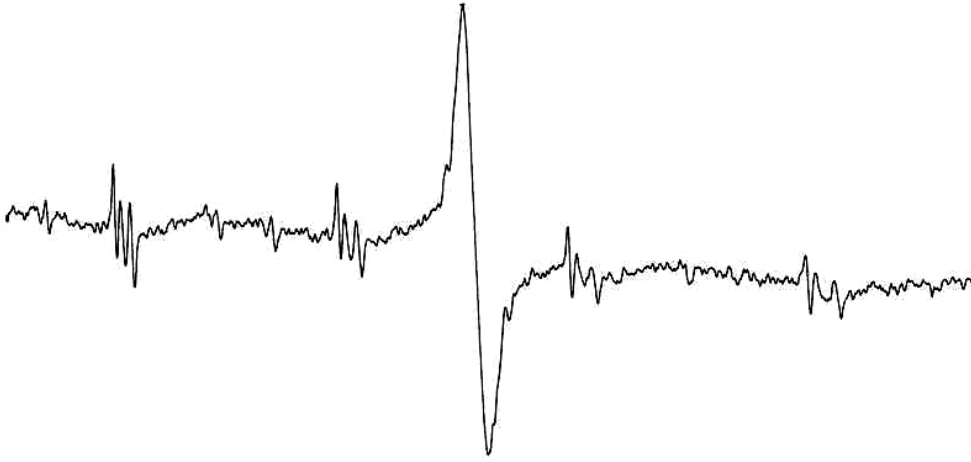
Çizelge 4.1ve Şekil 4.4, 1 kGy ile 9 kGy arası dozlarda radyasyona maruz bırakılan fermente olmuş kuru çay yaprağında gözlenen semikinon radikal çizgisinin bağlı şiddet değişimini vermektedir. 1 kGy ile 3 kGy arasında şiddet artışı yavaş iken

bunun üzerindeki dozlarda hızla artmaktadır. 1 kGy ile 9 kGy arası dozlarda şiddet değişimi ikinci dereceden bir denklem ile ifade edilebilmektedir.

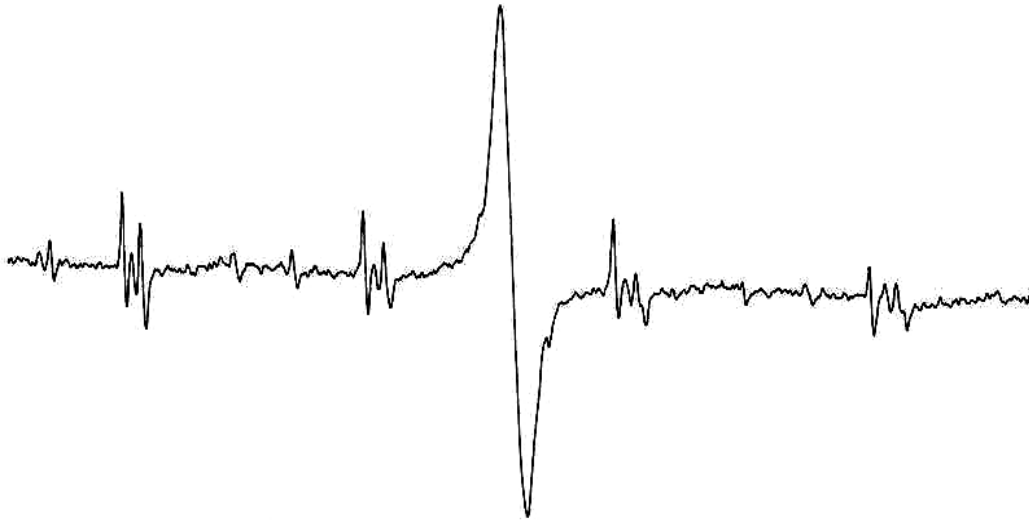
$$I(d) = \alpha d^2 + \beta d + \gamma \quad (4.1)$$

Denklem 4.1 deki α , β ve γ katsayıları seçilen bağıl ölçüğe göre değişecektir. Bu denklem aynı zamanda seçilen ölçüğe göre kalibrasyon denklemi olarak değerlendirilebilir.

Elde edilen sonuca göre kuru çay yaprağı dozimetre olmaya iyi bir adaydır.



Şekil 4.2. Kuru çayın 1 kGy dozunda gama ışını ile ışınlanması sonucu elde edilen EPR spektrumu

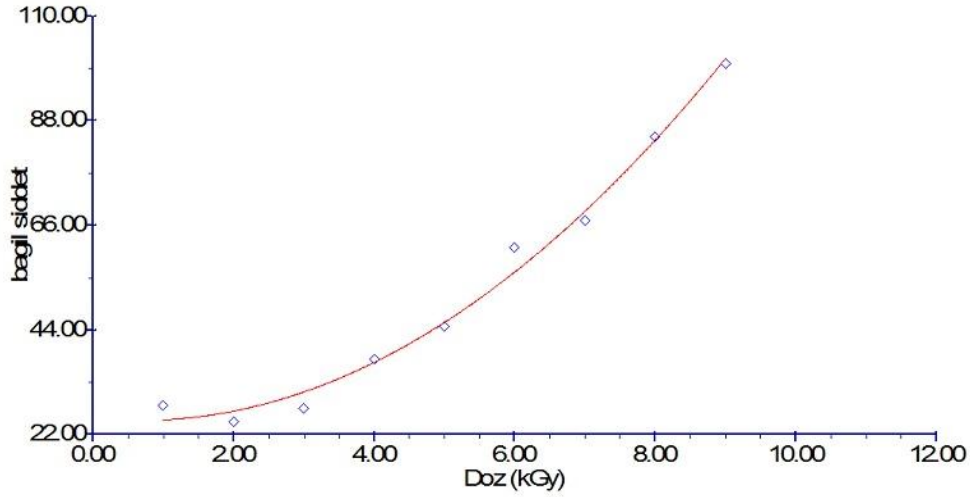


Şekil 4.3. Kuru çayın 3 kGy dozunda gama ışını ile ışınlanması sonucu elde edilen EPR spektrumu

Çizelge 4.1.Gama Işını ile Işınlanan kuru çayın içinde gözlenen semikinon çizgisinin şiddetinin referans alınan Mn²⁺ iyonunun Ms=1/2 ve Ms=-1/2 çizgilerinin şiddetlerinin ortalamasına oranının 100'e normalize edilmiş bağlı değerleriörneği

Alınan Doz (kGy)	Kuru çay/Mn ²⁺ (şiddet, keyfi birim)	Çay/Mn ²⁺ bağlı oranları
1	5,5555 (183/36,25)	28,05
2	5,5555 (169/35,37)	26,54
3	5,5555 (190/38,75)	27,24
4	5,5555 (187/27,50)	37,77
5	5,5555 (196/24,37)	44,67
6	5,5555 (217/18,00)	61,42
7	5,5555 (180/15,75)	69,05
8	5,5555 (162/10,63)	84,70
9	5,5555 (216/12,00)	100,00

Bu çalışmada potasyum metabisülfıt kristali, spektrumların yönelimden bağımsız olması için toz haline getirilmiştir. Şekil 4.5 ve Şekil 4.6 referans alınan Mn²⁺ çizgileri ile birlikte iki farklı dozda gama radyasyonuna maruz kalmış potasyum metabisülfıt spektrumları gözlenmektedir. Beklendiği gibi toz spektrumlarında her iki radikalın eksensel simetriye sahip olması nedeniyle paralel ve dik bileşenleri, üst üste gelmiş olmakla birlikte, açıkça gözlenmektedir. Bu çalışmanın konusu sadece şiddet ölçümü olduğundan, merkezde gözlenen bütün çizgilerin şiddetleri üzerine yoğunlaşılacaktır.



Şekil 4.4. Kuru çayın doz–bağıl şiddet eğrisi

4.2. Potasyum Metabisülfite ($K_2S_2O_5$)

4.2.1. Potasyum metabisülfite veya diğer bilinen adıyla potasyum piro-sülfite, $K_2S_2O_5$ özellikle gıda ve tekstil endüstrisinde yaygın kullanılan bir maddedir. Kullanıldığı yerlerden başlıcaları şunlardır:

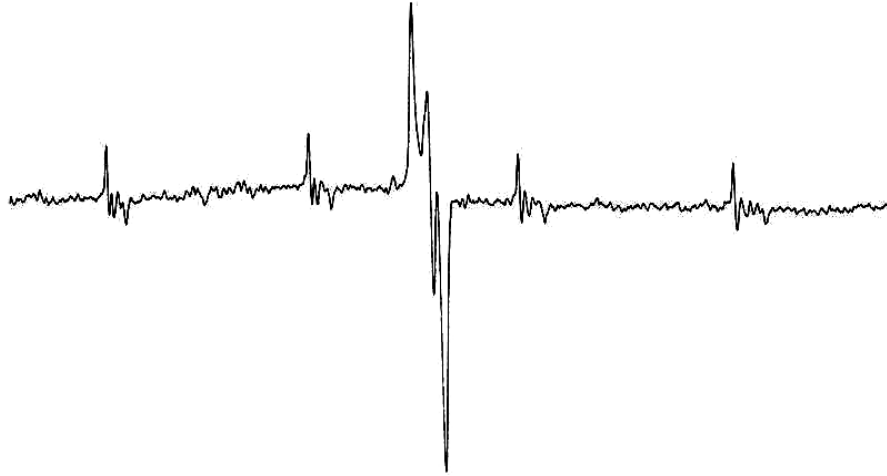
- Meyve sularında (özellikle limon suyunda) koruyucu katkı olarak,
- Sodyum sülfite alternatif olarak kral suyundan altın çöktürmeye,
- Fotoğrafçılıkta film banyosunda,
- Tekstil boyacılığında,
- Turşu yapımında koruyucu madde olarak,
- Kakao kreminin üretiminde.

Bunların yanında, yüksek enerjili radyasyona maruz bırakıldığında oluşan radikal şiddetinin aldığı doza duyarlılığı dikkate alındığında dozimetre olarak kullanılma potansiyeli de bulunmaktadır.

^{60}Co izotopundan yayılan γ radyasyonuna maruz bırakılan potasyum metabisülfite tek kristalinin EPR spektroskopik incelemesi yapılmış ve radyasyonun SO_3^- ve SO_2^- radikallerini oluşturduğu gözlenmiştir [6]. Buna benzer olan $K_2S_2O_6$ ve $(NH_4)_2S_2O_6$ tek kristalleri üzerine çalışma Klimova ve arkadaşları tarafından yapılmış ve benzer sonuçlar bulunmuştur [50]. Bu radikalın doğal bolluğu yüksek olan atomlarının her ikisinin de (^{32}S , ^{34}S ve ^{16}O) çekirdek spini sıfırdır. Dolayısıyla

^{16}O , ^{32}S ve ^{32}S çizgileri üstüste gelerek tek bir geçiş çizgisi verecektir. Spektrumlarında oldukça şiddetli gözlenen bu çizgiler tek kristal spektrumlarında site (yer) yarılması nedeniyle her iki radikal için ikişer tane çizgi gözlenmektedir. ^{16}O izotopunun doğal bolluğu %99,96 ve geriye kalan çok az miktar diğer izotoplaradağılmaktadır. Bu yüzden oksijen spektrumunda spini sıfırdan farklı izotoplarını gözlemek çoğu zaman mümkün değildir. Spini 0 olan ^{32}S izotopunun doğal bolluğu %96 ve ^{34}S izotopunun doğal bolluğu %4,22 olarak bulunmuştur. Fakat spini 3/2 olan ^{33}S izotopunun aşırı ince yapı yarılmaları, spektrometre kazancı yeteri kadar arttırıldığında gözlenebilmektedir. Dört çizgiden oluşan $^{33}\text{SO}_3^-$ ve $^{33}\text{SO}_2^-$ spektrumlarından her iki iyonik radikale ait aşırı ince yapı yarılmaları ölçülebilmekte ve radikallerin yapıları daha kesin belirlenebilmektedir.

Bu çalışmada potasyum metabisülfite kristali, spektrumların yönelimden bağımsız olması için toz haline getirilmiştir. Şekil 4.5 ve Şekil 4.6 referans alınan Mn^{2+} çizgileri ile birlikte iki farklı dozda gama radyasyonuna maruz kalmış potasyum metabisülfite spektrumları gözlenmektedir. Beklendiği gibi toz spektrumlarında her iki radikalın eksensel simetriye sahip olması nedeniyle paralel ve dik bileşenleri, üst üste gelmiş olmakla birlikte, açıkça gözlenmektedir. Bu çalışmanın konusu sadece şiddet ölçümü olduğundan, merkezde gözlenen bütün çizgilerin şiddetleri üzerine yoğunlaşılacaktır.



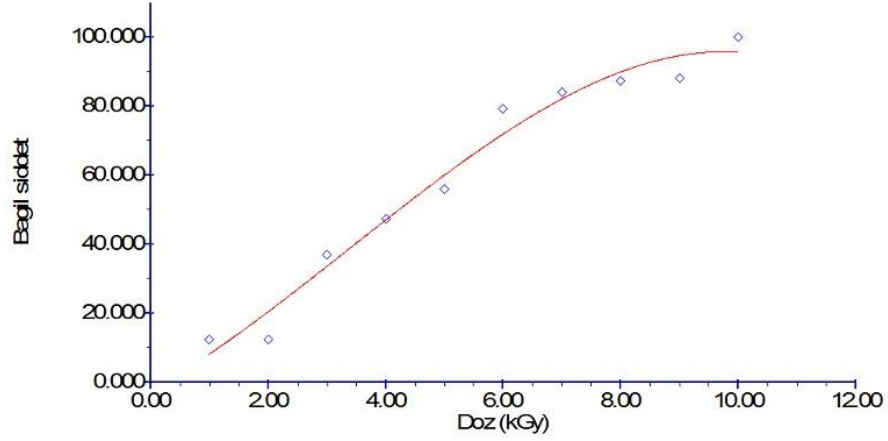
Şekil 4.5. $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$ tozunun 1 kGy dozda gama ışını ile ışınlanması sonucu elde edilen EPR spektrumu



Şekil 4.6. $K_2S_2O_5$ tozunun 3 kGy dozda gama ışını ile ışınlanması sonucu elde edilen EPR spektrumu

Çizelge 4.2. Gama ışını ile ışınlanan $K_2S_2O_5$ içinde gözlenen SO_3 radikalinin çizgi şiddetinin referans alınan Mn^{2+} iyonunun $M_s=1/2$ ve $M_s=-1/2$ çizgilerinin şiddetlerinin ortalamasına oranının 100'e normalize edilmiş bağıl değerleri

Işınlanan Doz(kGy)	Toz $K_2S_2O_5/Mn^{2+}$ (şiddet, keyfi birim)	Toz $K_2S_2O_5/Mn^{2+}$ bağıl oranları
1	1,91 (211/32,63)	12,32
2	1,91 (218/33,75)	12,31
3	1,91 (230/11,87)	37,00
4	1,91 (245/9,87)	47,39
5	1,91 (232/12,00)	56,03
6	1,91 (239/5,75)	79,39
7	1,91 (211/6,37)	82,18
8	1,91 (245/6,00)	87,53
9	1,91 (226/5,63)	88,18
10	1,91 (236/4,50)	100,00

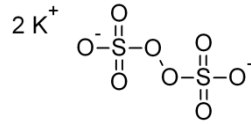


Şekil 4.7. K₂S₂O₅ için doz-bağıl şiddet eğrisi

3.2 PotasyumPersülfat(K₂S₂O₈)

Potasyum persülfat veya diğer bilinen adıyla potassium peroxydisulfate, K₂S₂O₈ gıda koruyucu katkısı, ticari öneme sahip polimerlerin üretiminde polimerleşme başlatıcı olarak, organik kimyada oksitleyici ajan olarak ve saç boyama işleminde saç rengini açmada hidrojen peroksit ile birlikte kullanılmaktadır.

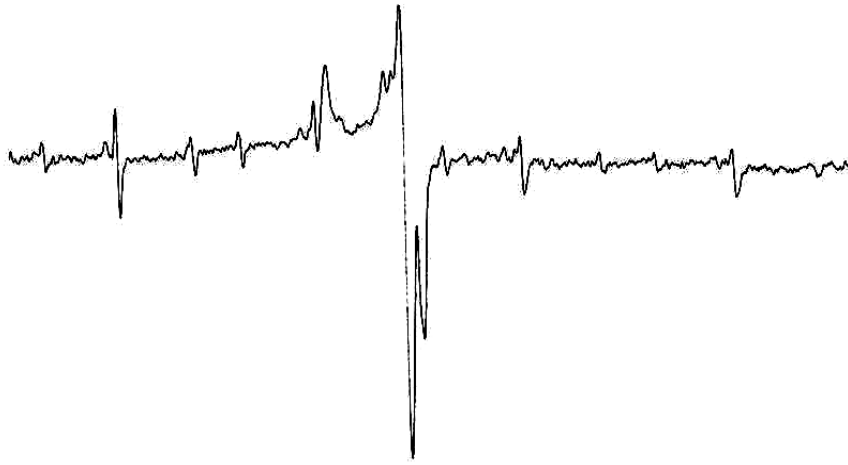
Potassium persülfatın açık formülü



biçimindedir. Yapıdaki iki potasyum iyon tamamlayıcıdır. Potasyum atomu yerine amonyum grubu da aynı işlevi görmektedir.

Potasyum persülfat ve benzer yapıdaki amonyum persulfat kristallerinin yüksek enerjili γ radyasyonuna ve UV fotolizine maruz bırakıldıktan sonra EPR spektroskopisi ile çalışması daha önce yapılmıştır [6, 51, 52]. Hem γ radyasyonu ve hem de UV fotolizi potasyum persülfat içinde $\text{SO}_4^- - \text{SO}_4^-$ radikal çifti, biradikal, oluşmaktadır. radikal çiftinin en fazla kısmını oluşturan ³²S ve ¹⁶O izotoplarının çekirdek spinleri sıfır olduğundan dipolar yarılmadan dolayı sadece iki çizgi gözlenecektir. Bu iki çizgi arasındaki yarıma tek kristalin manyetik alana göre yönelimine bağlı değişecektir, yani yarıma anizotropdur. Fakat manyetik alan içindeki yönelime göre değişim aşırı ince yapı yarılmalarının değişiminden farklıdır. Aşırı ince yapı yarılmaları birbiri ile asla kesişmezken dipolar yarıma kesişir. Ayrıca dipolar yarıma her zaman eksensel simetriye sahiptir. Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'de

gözlenen radikal çiftinin spektrumunda (merkezdeki şiddetli iki çizgi) şiddeti fazla olan çizgi, manyetik alan radikal–radikal arası doğrultu dik olan, zayıf olan çizgi ise paralel olan bileşendir. Biradikal için $g=2.015$ olarak bulunmuştur. İki çizgi arası sabit yarıлма değeri yaklaşık 6,5 Gauss olarak bulunmuştur; buradan iki radikal arası uzaklık yine yaklaşık 1,6 nm olarak bulunmuştur. Ayrıca radikal çiftinin çizgi şiddetleri sıcaklığa bağlı olarak değişim gösterir; başka bir ifadeyle çizgi şiddeti sıcaklıkla orantılı olarak hızla artmakta ve bir T_C sıcaklığından sonra şiddet sabit kalmaktadır. Bu özelliği nedeniyle radikal çiftleri dozimetre olarak değerlendirilecekse bu değerlendirme adiyabatik şartlarda yapılmalıdır.



Şekil 4.8. $K_2S_2O_8$ in 1 kGy dozunda gama ışını ile ışınlanması sonucu elde edilen EPR spektrumu

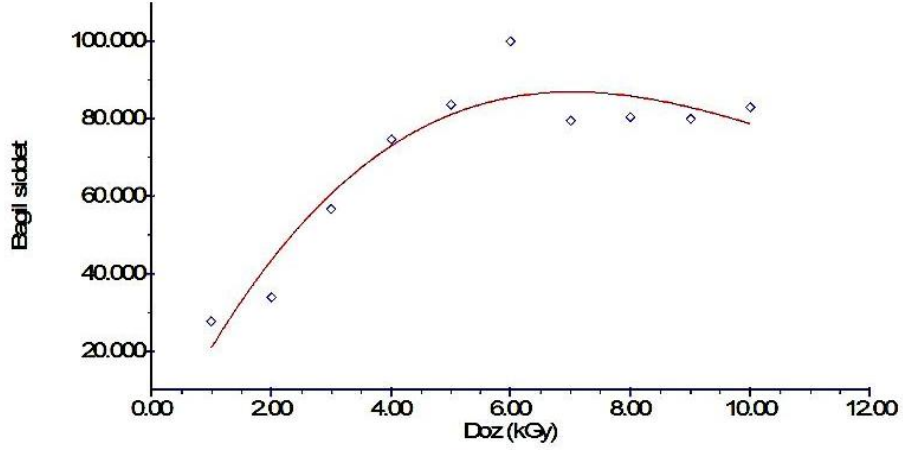
Çizelge 4.3 ve Şekil 4.10 sırasıyla toz haline getirilen potasyum persülfat içinde gözlenen $SO_4^- - SO_4^-$ radikal çiftinin adiyabatik şart altında alınan spektrumlarından 100 üzerinden değerlendirilen bağıl doz–şiddet değerlerini ve bu değişimin grafiğini vermektedir. Grafikten, radikal çiftinin 1 kGy ile 10 kGy arası doz tepkisinin oda sıcaklığında 1 ile 5 kGy arasında doğrusala yakın arttığını, bunun üstünde artışın yavaşladığını, daha yüksek dozlarda ise muhtemelen ikincil reaksiyonlar sonucunda azaldığını göstermektedir.



Şekil 4.9. $K_2S_2O_8$ in 3 kGy dozunda gama ışını ile ışınlanması sonucu elde edilen EPR spektrumu

Çizelge 4.3. Gama Işını ile Işınlanan $K_2S_2O_8$ içinde gözlenen SO_4-SO_4 radikal çiftinin çizgisinin şiddetinin referans alınan Mn^{2+} iyonunun $M_s=1/2$ ve $M_s=-1/2$ çizgilerinin şiddetlerinin ortalamasına oranının 100'e normalize edilmiş bağlı değerleri

Toz $K_2S_2O_8$	Toz $K_2S_2O_8/Mn^{2+}$ (şiddet, keyfi birim)	Toz $K_2S_2O_8/Mn^{2+}$ bağlı oranları
1kGy	4,91 (201/35,63)	27,70
2 kGy	4,91 (211/28,75)	36,04
3 kGy	4,91 (218/18,87)	56,72
4 kGy	4,91 (217/14,25)	74,77
5 kGy	4,91 (213/15,20)	83,66
6 kGy	4,91 (219/10,75)	100,00
7 kGy	4,91 (170/10,50)	79,50
8 kGy	4,91 (213/13,00)	80,45
9 kGy	4,91 (173/10,63)	80,00
10kGy	(186/11,00)*4,91	83,00



Şekil 4.10.K₂S₂O₈ için doz–bağıl şiddet eğrisi

İncelenen bu davranışı potasyum persülfatın ve buna benzeyen amonyum persülfatın 0 ile 5 kGy doz arasında γ radyasyonu için dozimetre olarak değerlendirilmeye aday bir madde olduğunu göstermektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Elektromanyetik radyasyon maddeler üzerindeki tahrip etkisi bakımından iki ana bölgeye ayrılabilir. İyonlaştırma etkisi olmayan düşük enerjili radyasyon, radyo dalgası bölgesinden uzun dalgaboylu UV bölgesine kadar olan elektromanyetik radyasyon maddelerin içinde bozukluk, molekülleri parçalama veya iyonlaştırma etkisi yapamaz. Fakat uzak UV bölgesi olan 200 nm dalgaboyu ($\sim 6,2$ eV) ile vakul UV bölgesi olan 10 nm (~ 124 eV), bunun üzerinde keV mertebesinde enerjiye sahip X-ışını bölgesi ile MeV mertebesinde enerjiye sahip γ ışını iyonlaştırıcı radyasyondur.

Nükleer enerji santralleri, hastanelerde radyoloji, radyasyon onkolojisi, nükleer fizik veya benzer mekanlarda, koruma amaçlı gıda ışınlama merkezlerinde iyonlaştırıcı radyasyonlu ortamlarda çalışan personelin, radyasyona maruz kalan gıdaların veya diğer insanların maruz kaldığı radyasyon dozunun belirlenmesi sağlık açısından önemlidir. Dozun belirlenmesinde dozimetre olarak kullanılan ve farklı ilkelere göre çalışan bir çok madde ve aygıt bulunmaktadır. Öte yanda yeni, etkili, ucuz ve kolay bulunabilen maddeler üzerinde çalışmalar da sürdürülmektedir. Günümüzde bir aminoasit olan alanin EPR spektroskopisi ile birlikte standart dozimetre olarak kullanılmaktadır.

EPR spektroskopisinin uygulama alanlarının başında yüksek enerjili radyasyona ya da diğer ifadeyle iyonlaştırıcı radyasyona maruz kalan maddelerde oluşan ve tuzaklanan radikallerdir. Bu alanda EPR spektroskopisi son derece güçlüdür. Bu özelliğine dayanarak EPR spektroskopisi sağlık, arkeolojik veya jeolojik yaş tayini gibi alanlarında dozimetri olarak etkin kullanılmaktadır.

Bu çalışmada radyasyona duyarlılığı, oluşan radikallerin konsantrasyonlarının doza bağlı artması, radikallerin uzun ömürlü olmaları, kolay bulunabilirlikleri, EPR spektroskopisinde geçiş çizgilerinin karmaşık olmaması gibi nedenlerle kuru siyah çay yaprağı, potasyum metabisülfat ve potasyum persülfat 1 kGy ile 10 kGy arası dozlarda γ radyasyonuna maruz bırakılarak oluşan radikallerin konsantrasyonlarının

yansıması olan EPR çizgi şiddetleri ölçülerek dozimetre olarak değerlendirilebilirlikleri incelenmiştir.

Kuru çay yaprağındaki semikinon radikalinin konsantrasyonu 1 ile 3 kGy arası dozlarda yavaş artarken bunun üzerindeki dozlarda oldukça hızlı artmaktadır.

Potasyum metabisülfat, $K_2S_2O_5$, içinde oluşan SO_3^- ve SO_4^- radikal konsantrasyonları 1 ile 7 kGy arası dozlarda yaklaşık doğrusal artarken bunun üzerinde doyuma gitmektedir.

Son madde olan potasyum persülfat, $K_2S_2O_8$, içinde oluşan SO_4-SO_4 radikal çiftinin ya da biradikalinin konsantrasyonu 1 ile 5 kGy arası dozlarda yaklaşık doğrusal artarken bunun üzerinde doyuma gitmektedir. Potasyum persülfat ayrıca UV radyasyonu ve üzeri radyasyonlara da duyarlıdır.

Bu özellikleri nedeniyle her üç madde de dozimetre olmaya aday görünmektedirler.

KAYNAKLAR

- [1] Apaydın, F.,Magnetik Rezonans. Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Ders Kitapları, No:3, 2. Baskı, Ankara, 1996.
- [2] Ölmez H., Yılmaz V.T., Anorganik Kimya, Temel Kavramlar, 4. Baskı, Marmara Kitap Merkezi Yayın ve Dağıtım Ltd. Şti., Bursa, 2008.
- [3] Abragam, A.,Bleaney, B., ElectronParamagneticResonance of TransitionIons, CleredonPress-Oxford, 456p, 1970.
- [4] Atherton, N. M.,Electron Spin ResonanceTheoryand Applications, John-WileyandSons- New York, 1973.
- [5] Weil, J.A.,Bolton, J.R. andWertz, J.E., ElectronParamagneticResonance, John Wiley&SongsInc., New York, 495p, 1994.
- [6] Tapramaz R., Kükürt-Oksi, Metil Sulfinil ve Arsenat Radikallerinin Elektron Spin Rezonans Spektroskopisi ile İncelenmesi, Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, 1991.
- [7] Karacan N., Gürkan P., İnorganik Kimya, 2. Baskıdan Çeviri, Palme Yayıncılık, Ankara, 2002.
- [8] Wertz, J.E.,Bolton, J.R., Electron Spin Resonance: ElementaryTheoryandPractical Applications. New York: McGraw-Hill, 1972.
- [9] Apaydın. F.,1991.Manyetik Rezonans ‘Temel İlkeler Deney Düzenekleri Ölçme Yöntemleri’, Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Ders Kitapları, No: 3, Ankara..
- [10] Tabner, B.J., 1976. Electron Spin Resonance(EPR) Spectroscopy. Ed. ByStraughan. B.F andWalkers. S.,ChapmanandHall, London, 209.
- [11] Gopal, N.G.S. (1978). Radiationsterilization of pharmaceuticalsandpolymers.Radiat. Phys. Chem., 12, 35-50.
- [12] Atakan, Bilim ve Teknik Dergisi, Ek: İyonlayıcı Radyasyon, Nisan 2006.
- [13] Zeyrek, T., Ankara Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi, Türkiye Atom Enerji Kurumu, Uygulamalı Dozimetri ve Tarihlendirme (Lüminesans ve ESR) Yaz okulu,2013.
- [14] Gülsoy, U.,K, Oyar, O., Yeşildağ, A., Baykal, B., Köroğlu, M. ‘Tıbbi Görüntüleme Fiziği’ Nobel Tıp Kitapevi, 7-25, (2003).
- [15] Wang, C.H.,andWills, D.L., ‘RadiationMethodology in BiologicalSciences’, Prentice-Hall, New Jersey USA, 45-81, (1965).
- [16] Anonim, (1999). Gıda İşinlama Yönetmeliği, Resmi Gazete, 23868, Ankara.
- [17] Ahn, D. U.,Olson, D. G., Lee, J. I., Jo, C., Wu, C. ve Chen, X. (1998). Packagingandirradiationeffects on lipidoxidationandvolatile in porkpatties. J. FoodSci., 63, 15-19.
- [18] Buchalla, R.,Schuttler, C. andBögl, K. W. (1993). Effects of ionizingradiation on plasticfoodpackagingmaterials: a review. J. FoodProt., 56, 991-997.
- [19] Çopur, U. ve Tamer, C. E. (1998). Gıdaların Radyasyonla Muhafazaları. Gıda Muhafaza, Ocak, 40-45.

- [20] Topal, Ş. (1988). Işınlama tekniği ve gıda sanayiinde kullanım olanakları. *Gıda*, 13(6), 417-423.
- [21] Dood, N.J.F., Swallow, A.J. and Lea, F.J. (1985). Use of ESR to identify irradiated food. *Radiat. Phys. Chem.*, 26, 451-453.
- [22] Basly, J.P., Longy, I. and Bernard, M. (1998b). Electron Spin Resonance Identification of Irradiated Ascorbic Acid: Dosimetry and Influence of Powder Fineness. *Anal. Chim. Acta*, 372, 373-378.
- [23] Polat, M., Korkmaz, M., Dulkan, B. And Korkmaz, Ö. (1997). Detection of Irradiated Chicken and Dosimetric Properties of Drumstick Bones, *Radiat. Phys. Chem.*, 49, 363-369.
- [24] Polat, M. and Korkmaz, M. (2002). Kinetics of the radicals induced in gamma-irradiated naproxen sodium and paracetamol. Applicability of ESR technique to monitor radiosterilization of naproxen sodium-containing drugs. *Int. J. Pharmaceut.*, 244, 169-179.
- [25] Onori, S., Pantoloni, M., Fattibene, P., Ciranni Signoretti, E., Valvo, L. and Santucci, M. (1996). ESR identification of irradiated antibiotics: cephalosporins. *Appl. Radiat. Isotopes*, 47, 1569-1572.
- [26] Desrosiers, M.F. and Simic, M.G. (1988). Post irradiation dosimetry of meat by electron spin resonance spectroscopy of bones. *J. Agric. Food Chem.*, 36, 601-603.
- [27] Raffi, J.J. (1992). Electron spin resonance intercomparison studies on irradiated foodstuffs., Commission of the European Communities, Luxemburg, Belgium, EUR 13630 EN.
- [28] Bögl, K.W. (1989). Identification of Irradiated Foods—Methods, Development and Concept., *Appl. Radiat. Isotopes*, 40, 1203-1210.
- [29] Basly, J.P., Basly, I. and Bernard, M. (1998a). ESR spectroscopy applied to study of pharmaceuticals radiosterilization: Cefoperazone. *J. Pharmaceut. Biomed.*, 17, 871-875.
- [30] Scharmann, A. (1996). Past and present of ESR in radiation applications. *Appl. Radiat. Isotopes*, 47, 1151-1153.
- [31] Göksu, H., Y., *Bilim ve Teknik Dergisi*, Anılarla Çernobil Kazası sonrası-İzleri, Aralık 2005.
- [32] Pehlivan, F., *Biyofizik*, Hacettepe –Taş Yayınları, ANKARA).
- [33] http://www.taek.gov.tr/ogrenci/bolum4_03.html#1, (Ziyaret tarihi: 10 Haziran 2014).
- [34] Koçuş İ., 2009. Geçmişten Günümüze Ölçü Birimleri ve Metrolojisi. *Bilim ve Teknik Aylık Popüler Bilim Dergisi*, V ol. 42 Sayı 503, 28-33.
- [35] Engin, B., *Elektron Spin Rzonans (ESR) Spektroskopisi, Uygulamalı Dozimetri ve Tarihlendirme (Lüminesans ve ESR) Yaz okulu*, 2013.
- [36] Coşkun M, Coşkun M. Biological dosimeter and related developments. *Cerrahpaşa J Med* 2003; 34: 207-218.
- [37] Müller W.U. and Streffer C., Biological indicators for radiation damage. *Int. J. Radiat. Biol.* 1991; 59: 863-873.

- [38] IAEA-VIENNA, Biological Dosimetry: Chromosomal Aberration for Dose Assessment. Technical Report. No.260. International Atomic Energy, Vienna, 1986.1
- [39] Bauchinger M. Quantification of Low-Level Radiation Exposure by Conventional Chromosome Aberration Analysis. *Mutat. Res.* 1995; 339:177-89.2
- [40] Lloyd D.C. Biological Dosimetry in Radiological Protection: Recent Developments *J. Soc. Prot.* 1984; 4:216-230.3
- [41] Wolf, S Biological dosimetry with cytogenetic endpoints. *Progress in clinical and Biological Research.* 1991; 372:351-362.5
- [42] Zoetelief J. and Broerse J J. Dosimetry for Radiation Accidents: Present Status and Prospects for Biological Dosimeters. *Int. J. Radiat. Biol.* 1990; 57: 737-750.6
- [43] Zoetelief J. and Broerse J J. Dosimetry for Radiation Accidents: Present Status and Prospects for Biological Dosimeters. *Int. J. Radiat. Biol.* 1990; 57: 737-750.6
- [44] Wheeler, D. S., Wheeler, W.J., *The Medicinal Chemistry of Tea.* *Drug Development Res.* 2004, 61, 45-65.
- [45] Chen, L., Yang, X., Jiao, H., Zhao, B., Tea Catechins Protect against Lead-Induced cytotoxicity, Lipid Peroxidation, and Membrane Fluidity in HepG2 Cells. *Toxicol. Sci.* 2002, 69, 149-156.
- [46] Kumamoto, M., Sonda, T., Nagayama, k., Tabata, M., Effects of pH and Metal Ions on Antioxidative Activities of Catechins. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 2001, 65(1), 126-132.
- [47] Bıyık R. and Tapramaz R., Transition metal ions in black tea: an electron paramagnetic resonance study, *Transition Met Chem.* 2010 35:27–31
- [48] Bıyık R. and Tapramaz R., An EPR study on tea: Identification of paramagnetic species, effect of heat and sweeteners, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, *Spectrochimica Acta Part A* 74 2009 767–770.
- [49] Ferrara, L., Montesano, D., & Senatore, A. (2001). The Distribution of Minerals and Flavonoids in the Tea Plant (*Camellia Sinensis*). *Il Farmaco*, 56, 397–401.
- [50] Klimova, A. Y., Perekalina, Z. B. and Khramtsov, V., Color Centers in $K_2S_2O_6$ and $Rb_2S_2O_6$ Crystals, *Fiz. Tverd. Tela*, (Leningrad), 25, 610, (1983).
- [51] Barnes, S. B. and Symons, M. C. R., Unstable Intermediates, Part XXXV: Pairwise Trapping of Radicals in Photolysed Potassium Persulphate, *J. Chem. Soc. (A)*, 66, (1966).
- [52] Atkins P. W.; Symons, M. C. R. and Trevalion, P. A., Evidence for Pairwise Trapping of Photolytic Free Radicals, *Proc. Chem. Soc.* 222, July 1963.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Deniz KURT

Doğum Yeri ve Tarihi : ANKARA-26/08/1985

Nüfusa Bağlı Olduğu Yer : TRABZON

E-Posta : fizikcideniz@hotmail.com

Lisans : Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü

