



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İŞINLANMIŞ BAZI GIDALARIN ESR
TEKNİĞİ İLE İNCELENMESİ

Necati KAPLAN

YÜKSEK LİSANS

Fizik Anabilim Dalı

Ağustos-2015
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Necati KAPLAN tarafından hazırlanan “İşinlanmış bazı gıdaların ESR tekniği ile incelenmesi” adlı tez çalışması 31/08/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Doç.Dr. Ercan TÜRKKAN

Danışman

Yrd.Doç.Dr. M. Özgür SEZER

Üye

Doç.Dr. Ülkü SAYIN

İmza

.....


.....


.....


Yukarıdaki sonucu onaylarım.

.....

Prof. Dr. Aşır GENÇ
FBE Müdürü

Bu tez çalışması Selçuk Üniversitesi BAP tarafından 14201045 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza



Necati KAPLAN

Tarih: 03.09.2015

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

İŞINLANMIŞ BAZI GIDALARIN ESR TEKNİĞİ İLE İNCELENMESİ

Necati KAPLAN

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Yrd.Doç.Dr.M.Özgür Sezer

2015, 72 Sayfa

Jüri

Danışman Yrd.Doç.Dr.M.Özgür SEZER
Doç.Dr.Ülkü SAYIN
Doç.Dr.Ercan TÜRKKAN

Tüketicinin güvenini kazanmak için ışınlamanın gıdalara etkilerinin belirlenmesi gerekmektedir. Yapılan araştırmalar ESR spektroskopisi tekniğinin, hem organik hem inorganik örneklerde paramanyetik merkezleri tespit edebilen ve bu paramanyetik merkezlerin radyasyona duyarlılığını belirleyen tek ve önemli bir teknik olduğunu göstermiştir. Bu amaçla kişniş, üzüm çekirdeği ve aspir örneklerinin ESR tekniği ile araştırılması ve radikallerin spektroskopik, dozimetrik, kinetik, ve yapısal özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada, radyasyon nedeniyle oluşan radikaller tespit edilmiş ve bu radikallerin ESR parametreleri hesaplanmıştır. Farklı dozlarda ışınlanan örnekler kullanılarak ışınlanmamış örnek sinyali ile ışınlanmış örneklerde ışınlama sonucunda oluşan radikallerin doz-cevap eğrileri oluşturulmuştur. Ayrıca kinetik çalışmalarla bu radikallerin kararlılığı tespit edilmiştir. Son olarak oda sıcaklığında ışınlama etkisiyle oluşan uydu pikler ile merkezde oluşan merkezi sinyalin sönümü incelenmiştir. Mikrobiyolojik analiz yardımıyla ışınlanmanın hangi tür bakterileri inaktive edebildiği de araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Aspir, Elektron Spin Rezonans (ESR), gıda ışınlaması, kişniş, üzüm çekirdeği.

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF SOME IRRADIATED FOOD BY ESR TECHNIQUE

Necati KAPLAN

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
SELÇUK UNIVERSITY**

DEPARTMENT OF PHYSICS

Advisor: Ass.Prof.Dr. M.Özgür Sezer

2015, 72 Pages

Jury

**Advisor: Assist Prof.Dr. M. Özgür SEZER
Assoc.Prof.Dr.Ülkü SAYIN
Assoc.Prof.Dr.Ercan TÜRKKAN**

It is necessary to determine the impact on food irradiation to win the trust of the consumer. Studies of ESR spectroscopy, both organic and inorganic samples can detect the paramagnetic centers and determining the radiation sensitivity of these paramagnetic centers showed a significant and unique technique. For this purpose, coriander, grape seeds and safflower samples to be investigated by ESR spectroscopy and spectroscopic radicals, dosimetric, kinetics and structural characteristics determined. In this study, the radicals formed by irradiation were determined and the ESR parameters have been calculated. Moreover, stability of these radicals was determined with the kinetic studies. Then the damping of the center signal may occur at the center by satellite peaks due to irradiation of the samples were examined at the room temperature. Helping with the microbiological analysis, it was also examined which types of bacteria can be inactivated by irradiation.

Keywords: Aspen, Electron Spin Resonance (ESR), food irradiation, coriander, grape seed.

ÖNSÖZ

Elektron Spin Rezonans (*ESR*) tekniği paramanyetik maddelerin manyetik özelliklerini tespit etmek için kullanılan bir yöntemdir. İlk kez 1945 yılında Rus fizikçi Zavoisky tarafından ileri sürülmüştür. Radyasyonun yapılardaki hasarını tespit etmekte yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışma özellikle insan yaşamında hastalıkların tedavisinde veya yaşam içerisinde değişik durumlarda kullanılan maddeler seçilerek manyetik özellikleri *ESR* yöntemi ile incelenmiştir. Gıda ışınlanması ve ışınlanmış gıdaların *ESR* tekniği ile incelenmesi ve ışınlama sonucunda gıdada meydana gelen değişikliklerin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Bu tez çalışmasında kullanılan örnekler, malzemeler Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (*BAP*) Koordinatörlüğü tarafından desteklenen 14201045 numaralı Işınlanmış Gıdaların *ESR* Tekniği ile İncelenmesi konulu *BAP* Araştırma projesinin mali desteği ile satın alınmıştır. Ayrıca ışınlama giderleri bu projeden ödenmiştir.

Bu çalışmam süresince her türlü yardım ve fedakârlığı sağlayan, bilgi, tecrübe ve güler yüzü ile çalışmama ışık tutan, ayrıca bana bu çalışmayı vererek kendimi geliştirmeye yönelik de birkaç adım ileride olmamı sağlayan hocalarım Yrd.Doç.Dr. Mahmut Özgür SEZER ve Doç.Dr. Ülkü SAYIN'a,

Bu çalışmayı, yetiştirmemde emeği geçen ve benden maddi, manevi hiçbir desteği esirgemeyen eşim ve arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Necati KAPLAN
KONYA-2015

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	x
ŞEKİLLER VE RESİMLER	xi
ÇİZELGELER VE TABLOLAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. GIDA IŞINLANMASI.....	4
2.1 Gıda Işınlanmanın Avantajları.....	4
2.2 Gıda Işınlanmanın Tarihsel Gelişimi.....	5
2.3 Türkiye’de Gıda Işınlama.....	6
2.4 Türkiye’de Işınlama Yapılan Tesisler.....	8
2.4.1 Türkiye Atom Enerji Kurumu (TAEK).....	8
2.4.1.1 Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ÇNAEM).....	8
2.4.1.2 Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (SANAEM).....	9
2.4.1.3 Ankara Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ANAEM).....	10
2.4.2 Gamma-Pak Işınlama Tesisi.....	10
2.5 Gıda Işınlama Uygulamaları.....	12
2.5.1 Gamma Işınları.....	13
2.5.2 X-Işınları.....	15
2.5.3 Elektron Hızlandırıcılar.....	15
2.6 Gıda Işınlamada Doz Uygulamaları.....	16
2.6.1 “Düşük Doz Uygulamaları”, < 1 kGy.....	16

2.6.2 “Orta Düzeyde Doz Uygulamaları”, (1-10 kGy)	17
2.6.3 “Yüksek Doz Uygulamaları”, (10-50 kGy)	17
2.7 Işınlamanın Gıdalar Üzerine Etkisi.....	17
2.7.1 Işınlamanın Gıdalardaki Mikroorganizmalar Üzerine Etkisi.....	18
2.7.2 Işınlamanın Karbonhidratlar Üzerine Etkisi.....	19
2.7.3 Işınlamanın Yağlar Üzerine Etkisi.....	20
2.7.4 Işınlamanın Proteinler Üzerine Etkisi.....	20
2.7.5 Işınlamanın Vitaminler Üzerine Etkisi.....	21
2.7.2 Işınlamanın Gıdalardaki Besin Değeri Üzerine Etkisi.....	22
3. ELEKTRON SPİN REZONANS.....	23
3.1 Spektroskopik Yarımla Çarpanı.....	28
3.2 Aşırı İnce Yapı Etkileşmesi.....	29
3.3 Deneyde Kullanılan ESR Spektrometresi ve özellikleri.....	31
4. DENEYSEL ADIMLAR, TARTIŞMA VE SONUÇLAR.....	32
4.1 Örneklerin Hazırlanması.....	32
4.2 Örneklerin ışınlanması.....	34
4.3 ESR Analizi ve Paramanyetik Merkezlerin Belirlenmesi.....	35
4.3.1 Kişniş Örneğinin Analizi.....	36
4.3.2 Üzüm Çekirdeği Örneğinin Analizi.....	39
4.3.3 Aspir Örneğinin Analizi.....	40
4.3.4 Genel Değerlendirme.....	42
4.4 Mikrodalga Güç Çalışması.....	43
4.5 Doz - Cevap Eğrisi.....	48
4.6 Eş Süreli Isıtma Deneyi.....	52
4.7 Eş Isıl Isıtma Deneyi.....	55

4.8 ESR Sinyal Şiddetinin Oda Sıcaklığında Sönüm Bulguları	58
4.9 Mikrobiyolojik Analiz Kısmı.....	63
KAYNAKLAR	65
ÖZGEÇMİŞ.....	72

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Acıklama</u>
FDA	Food and Drug Administration (Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi)
Co ⁶⁰	Kobalt 60
Cs ¹³⁷	Sezyum 137
MeV	Milyon Elektron Volt
TAEK	Türkiye Atom Enerji Kurumu
ÇNAEM	Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi
SANAEM	Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi
ANAEM	Ankara Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi
OSL	Optik Uyarlamalı Lüminesans
TL	Termolüminesans
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
ESR	Elektron Spin Rezonans
kGy	Kilo Gray
PUFA	Çoklu Doymamış Yağ Asitleri
β	Bohr manyetonu
E	Enerji
g	Spektroskopik yarıma faktörü
\hbar	Planck sabiti
H	Hamiltoniyen
$\vec{\mu}$	Manyetik moment
B	Durgun manyetik alan
\vec{S}	Spin açısal momentum vektörü
$ \alpha\rangle$	Öz vektör
$ \beta\rangle$	Öz vektör
E_α	Serbest elektronun enerji öz değerleri
E_β	Serbest elektronun enerji öz değerleri
ν_o	Elektro manyetik dalganın frekansı

ŞEKİLLER ve RESİMLER DİZİNİ

Şekil 1.1	Gıda örneklerinin ışınlanmış olduğunu gösteren Radura sembolü.....	2
Şekil 2.1	Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi.....	8
Şekil 2.2	Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (SANAEM).....	9
Şekil 2.3	Ankara Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ANAEM).....	10
Şekil 2.4	Gamma-Pak Ürün Yükleme ve Boşaltma İşlemleri.....	11
Şekil 2.5	Gamma-Pak Dondurulmuş Ürünlerin Işınlanmaya Hazırlanması.....	11
Şekil 2.6	Gamma-Pak Işınlanma Tesisi Soğutucu.....	11
Şekil 2.7	Gamma-Pak Işınlanma Tesisi Depo Giriş Çıkışı Soğutucusu.....	12
Şekil 2.8	Kutu taşıyıcılı Co-60 ışınlama cihazı.....	14
Şekil 2.9	Gammaster Paletli Işınlama Cihazı.....	14
Şekil 2.10	IONISOS Askılı Işınlama Cihazı.....	14
Şekil 2.11	RHODOTRON Elektron Hızlandırıcı.....	15
Resim 3.1	ESR sisteminin genel görünümü	24
Şekil 3.1	ESR sisteminin blok diyagramı	26
Şekil 3.2	ΔE kadar enerji farkı olan enerji.....	28
Şekil 3.3	Dış manyetik alan içerisine yerleştirilmiş spin sisteminde soğurulan enerjinin manyetik alana bağlı değişimi ve soğurma eğrisinin birinci türevi.....	28
Şekil 3.4	C-CH ₂ serbest radikalın enerji seviyelerindeki yarılmalar, geçişler ve bu geçişlerin oluşturdukları ESR spektrumu.....	30
Şekil 3.5	Selçuk Üniv. İLTEK de bulunan JEOL JES-FA300 X-band ESR spektrometre.	31
Şekil 4.1	Öğütülmemiş doğal kişniş örneği	32
Şekil 4.2	Öğütülmemiş doğal üzüm çekirdeği örneği	33
Şekil 4.3	Öğütülmemiş doğal aspir örneği	33
Şekil 4.4	Agat havan ve farklı tane boyutlarındaki eleklerimiz	34
Şekil 4.5	Öğütülmüş ve paketlenmiş aspir örneği	34
Şekil 4.6	Gamma-Pak ışınlama tesisinde ışınlanan numuneler	35
Şekil 4.7	Hassas terazide tartılan ve ESR tüplerine konulan örnekler	35
Şekil 4.8	500 mT tarama aralığında alınmış doğal kişniş örneğinin ESR spektrumu.....	36

Şekil 4.9	500 mT tarama aralığında alınmış 12 kGy ışınlanmış kişniş örneğinin ESR spektrumu	36
Şekil 4.10	Doğal kişniş örneğinin 100 mT tarama aralığında alınmış ESR spektrumu	37
Şekil 4.11	10 mT tarama aralığındaki doğal kişniş örneği	37
Şekil 4.12	10 mT tarama aralığında 12 kGy ışınlanmış kişniş örneğine ait oda sıcaklığında alınmış ESR spektrumu	38
Şekil 4.13	Doğal üzüm çekirdeğinin 200 mT tarama aralığında alınan ESR spektrumu	39
Şekil 4.14	10 mT tarama aralığındaki doğal üzüm çekirdeği örneği	40
Şekil 4.15	10 mT tarama aralığındaki 12 kGy ışınlanmış üzüm çekirdeği örneğine ait oda sıcaklığında alınmış ESR spektrumu	40
Şekil 4.16	Doğal ve 7 kGy ışınlanmış aspir örneğinin 500 mT tarama aralığında ESR spektrumu	41
Şekil 4.17	Doğal aspir örneğinin 10 mT tarama aralığında alınan ESR spektrumu.	42
Şekil 4.18	7 kGy ışınlanmış aspir örneğinin 10 mT tarama aralığında alınmış ESR spektrumu	42
Şekil 4.19	7 kGy ışınlanmış kişniş örneklerinin $g=1,9849$ olan sağ uydu pikinin ESR sinyal şiddetinin mikrodalga gücüne bağlı değişimi	44
Şekil 4.20	7 kGy ışınlanmış kişniş örneklerinin $g=2,0045$ olan tekli merkezi sinyal piki ESR sinyal şiddetlerinin mikrodalga gücüne bağlı değişimleri.....	45
Şekil 4.21	7 kGy ışınlanmış üzüm çekirdeği örneklerinin $g=2,0044$ olan tekli merkezi sinyal piki ESR sinyal şiddetlerinin mikrodalga gücüne bağlı değişimleri.....	46
Şekil 4.22	7 kGy ışınlanmış üzüm çekirdeği örneklerinin $g=1,9858$ olan sağ uydu pikinin ESR sinyal şiddetlerinin mikrodalga gücüne bağlı değişimleri..	46
Şekil 4.23	7 kGy ışınlanmış aspir örneğinin $g=2,0211$ olan sol uydu pikinin ESR sinyal şiddetlerinin mikrodalga gücüne bağlı değişimleri.....	47
Şekil 4.24	7 kGy ışınlanmış aspir örneklerinin $g=2,0045$ olan tekli merkezi sinyal piki ESR sinyal şiddetlerinin mikrodalga gücüne bağlı değişimleri.....	48
Şekil 4.25	Kişniş örneğinde ışınlama ile oluşan sağ uydu pikinin doz cevap eğrisi.	49
Şekil 4.26	Üzüm çekirdeği örneğinde ışınlama ile oluşan sağ uydu pikinin doz cevap eğrisi.....	49
Şekil 4.27	Aspir örneğinde oluşan tekli merkezi sinyal pikinin doz cevap eğrisi...	51

Şekil 4.28	7 kGy dozda ışınlanmış kişniş örneğindeki merkezi pikin ESR sinyal şiddetinin sıcaklıkla değişimi.....	52
Şekil 4.29	7 kGy dozda ışınlanmış kişniş örneğindeki uydu piklerden sağ pikin ESR sinyal şiddetinin sıcaklıkla değişimi.....	53
Şekil 4.30	7 kGy dozda ışınlanmış üzüm çekirdeği örneğindeki merkezi orta pikin ESR sinyal şiddetinin sıcaklıkla değişimi.....	53
Şekil 4.31	7 kGy dozda ışınlanmış üzüm çekirdeği örneğindeki sağ uydu pikinin ESR sinyal şiddetinin sıcaklıkla değişimi.....	54
Şekil 4.32	7 kGy dozda ışınlanmış aspir örneğindeki ESR sinyal şiddetinin sıcaklıkla değişimi.....	54
Şekil 4.33	7 kGy doz değerinde ışınlanmış kişniş örneğinin sağ uydu sinyal şiddetinin yüksek sıcaklıklarda ısıtılma zamanına bağlı olarak değişimi.....	56
Şekil 4.34	Sağ uydu sinyali için reaksiyon hız sabitlerinin sıcaklığa bağlı değişimleri.....	57
Şekil 4.35	Oda sıcaklığında bekletilen 7 kGy dozda ışınlanmış kişniş örneğinin sağ uydu sinyalinin zamana bağlı değişimi.....	60
Şekil 4.36	Oda sıcaklığında bekletilen 7 kGy dozda ışınlanmış üzüm çekirdeği örneğinin sağ uydu sinyalinin zamana bağlı değişimi.....	60
Şekil 4.37	Laboratuar koşullarında bekletilen 7 kGy dozda ışınlanmış kişniş örneğinde merkezi sinyal şiddetinin zamana bağlı değişimi.....	62
Şekil 4.38	Laboratuar koşullarında bekletilen 7 kGy dozda ışınlanmış üzüm çekirdeği örneğinde merkezi sinyal şiddetinin zamana bağlı değişimi...	62
Şekil 4.39	Laboratuar koşullarında bekletilen 7 kGy dozda ışınlanmış aspir örneğinde merkezi sinyal şiddetinin zamana bağlı değişimi.....	63
Şekil 4.40	Bakteriyel üreme şekillenmeyen ve şekillenen örnek sulandırmasına ait Plate Count Agar besiyeri görüntüsü.....	64

ÇİZELGELER ve TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 2.1	Yönetmeliğe göre ışınlanmasına izin verilen gıda grupları, ışınlama amacı ve ışınlama değerleri.....	7
Çizelge 2.1	Farklı bir cins ve türde canlı mikroorganizmaları öldürmek için etkin ışınlama dozları.....	19
Çizelge 2.2	Su ve Yağda Çözünen Vitaminlerin Işınlanmaya Karşı Duyarlılıkları....	21
Tablo 4.1	Işınlama sonrası örneklerdeki aerobik total bakteri sayıları.....	64

1. GİRİŞ

Dünyada gıda ürünlerine olan ihtiyaç günden güne artmasına karşılık üretilen gıda maddelerinin yetersiz muhafaza ve işleme yöntemlerinden dolayı üçte biri çöpe atılmaktadır (Food and Agriculture Organization [FAO], 2011). İnsanlar zaman içerisinde gıdaların bozulması ve gıda kaynaklı hastalıkların önlenmesi için sürekli arayış içinde olmuşlar, bozulmaya sebep olan etmenleri (örn. biyolojik, kimyasal ve fiziksel etmenler) ortadan kaldırmaya yönelik çeşitli muhafaza yöntemleri geliştirmişlerdir. Bu çabalar sonucunda konserve, soğutma, dondurma, kurutma, tuzlama, dumanlama, kimyasal ve kimyasal olmayan koruyucu madde kullanımı gibi çeşitli muhafaza yöntemleri geliştirmişlerdir. Ancak bu yöntemler de yetersiz kalmakta ve bazı ürünlere uygulanamamaktadır. Gıda üretiminde kayıpları azaltan, raf ömrünü uzatan ve gıda güvenliğini sağlayan yeni metotların geliştirilmesi ile ilgili çalışmalar devam etmektedir. Son yıllarda üzerinde yoğun olarak çalışılan yöntemlerden biri olan gıda ışınlama bu beklentilere cevap verebilen bir yöntem olup kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır (Lacroix ve Ouattara, 2000; ACSH, 2003). Gıda ışınlama, mikroorganizmaların DNA'sını tahrip ederek mikrobiyel faaliyetleri kısıtlayan bir yöntemdir (Lacroix ve Ouattara,2000; Ashley ve ark., 2004; Villavicencio ve ark.,2004). Bu işlem gıda kaynaklı hastalıklara sebep olan patojenleri kontrol ederek, gıdaların güvenilirliğini artırmaktadır. Bunun yanı sıra ürüme ve bozulmadan kaynaklanan zararın azaltılmasında da rol oynamaktadır (Mason, 1992; Laoharanu, 1994; Satin, 1996; A.D.A., 2000;ACSH, 2003; Gunes ve Tekin, 2006). Bu işlem, ışınlamaya maruz bırakılan gıdanın ısısında önemli bir artışa sebep olmadığından dolayı soğuk bir işlem olarak tanımlanmaktadır (Webbve Penner, 2000; ACSH, 2003). Oldukça geniş bir uygulama alanına sahip olan ışınlamaya hiçbir mikroorganizma direnç geliştirememektedir. Gıda ışınlamanın ambalajlanmış son ürüne de uygulanabilir olması ve kimyasal kalıntı bırakmaması bu uygulamayı cazip kılan sebeplerdendir (Lacroix ve Ouattara, 2000). Bu yöntemin işletme maliyeti de nispeten düşüktür. Gıda ışınlama (örn. kırmızı ve kanatlı etleri, deniz ürünleri, baharatlar ve bazı katı gıdalarda) gıdalarda bozulmaya neden olan patojen bakterileri inaktive etmek için kullanılabilir. Bu yöntem ile taze sebze ve meyvelerde böceklerin yumurta ve larvaların öldürülebilir (Lacroix ve Ouattara, 2000; Webb ve Penner, 2000; Dogan,2007). Söz konusu işlem ışınlanan gıdaların duyuşal özelliklerinde ve kalitesinde değişiklik oluşturmaz. Gıda ışınlamanın donmuş gıdalardaki patojen bakterileri inaktive etme yeterliliği de oldukça

iyidir (Lacroix ve Ouattara, 2000). Işınlamaya maruz bırakılan gıda maddesi sahip olduğu fiziksel durumunu uygulamadan sonrada muhafaza eder (örn., dondurulmuş gıdanın yine donmuş durumda kalması, çiğ gıda maddesinin yine çiğ kalması) (Webb ve Penner, 2000; ACSH,2003). Işınlama FDA ve bazı ulusal gıda kontrolotoriteleri (örn., Dünya Sağlık Örgütü,Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu) tarafından çeşitli gıda maddeleri için güvenli bir işlem kabul edilmiştir (A.D.A., 2000; Lacroix ve Ouattara, 2000).

Işınlanmış gıdanın ticareti yapılırken ve piyasada satışına izin verilirken tüketiciyi bu konuda bilgilendirmek oldukça önemlidir. Bu amaç doğrultusunda ışınlanmış gıdalarda ışınlama işlemi yapıldığını belirten FDA tarafından onaylanan yeşil renkli uluslar arası gıda ışınlama sembolü ‘radura’ işareti konulmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri Gıda ve İlaç Dairesi (USFDA) ışınlanmış gıdaların ambalajlarında radura sembolü ile birlikte “Işınlanmıştır” veya “Işınlama İşlemi Yapılmıştır” ibarelerinin kullanılmasını şart koşmuştur (A.D.A., 2000; Webb ve Penner, 2000; Smith ve Pillai, 2004). Ülkemizde ışınlanmış besinler çiğ iken ışınlandıysa etikette dozu ile birlikte belirtilmesi ve ışınlanmış besinlerin üzerinde yeşil renkli ışınlama sembolünün bulundurulması zorunludur (Anon 1999. Türk Gıda Kodeksi. Gıda ışınlama Yönetmeliği. 6/11/1999 tarihli ve 23868 sayılı Resmi Gazete, Ankara.).



Şekil 1.1 Gıda örneklerinin ışınlanmış olduğunu gösteren Radura sembolü.

Gıda Işınlama Yönetmeliği'ne göre, gıdaların ışınlanmasında dikkat edilmesi gereken sınır doz değerleri vardır. Bu sınır doz değerleri, Dünya Sağlık Örgütü (WHO), Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) ve Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı'nın (IAEA)

oluşturduğu bir komite tarafından belirlenmiştir. Bu komitenin belirlediği sınır doz değerleri gıda grubuna bağlı olarak 0,2 – 10 kGy arasında değişmektedir.

Ticareti yapılan ve piyasaya sürülen gıdaların ışınlanıp ışınlanmadığını, ışınlandıysa hangi doz aralıklarında ışınlandığını belirlemek gıdanın uluslararası ticaretini kolaylaştırmak ve tüketicinin güvenini sağlamak için önemlidir. Bu nedenle ışınlamanın gıdalara etkilerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu denetimi yapabilmek için iki fiziksel teknik kullanılır. Bunlardan birisi Elektron Spin Rezonans (ESR) diğeri de Termolüminesans (TL) tekniğidir.

Elektron Spin Rezonans (ESR) spektroskopisi, 1944 yılında Sovyet fizikçi Yevgeny K. Zavoisky tarafından keşfedilmiştir (About the Museum, b.t.). ESR tekniği, hem organik hem inorganik örnekleri incelemeye yarayan ve örnek üzerinde ışınlama ile oluşan paramanyetik merkezleri doğrudan inceleme olanağı veren bir spektroskopi dalıdır (Engin, 1996). Örnek üzerinde oluşan paramanyetik merkezlerin radyasyona duyarlılığını belirleyen ve radyasyon sonucunda oluşan radikallerin yapıları, kinetik özellikleri ile radyasyona maruz kalan maddenin dozimetrik özelliklerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

ESR tekniğinin temelinde manyetik rezonans kavramı yatmaktadır. Sabit bir manyetik alan uygulandığında manyetik momentlerin her biri birer mıknatıs gibi davranır ve elektronların sahip oldukları spin değerlerine göre mümkün olan enerji seviyelerine yarıma gözlenir. Bu seviyeler arasındaki enerji farkı Larmor frekansıyla orantılıdır. ESR için uygulanan alternatif alanın frekansı elektromanyetik spektrumun mikrodalga bölgesindedir. Mikrodalga frekansı, Larmor frekansına eşit olduğunda rezonans gerçekleşir ve $h\nu$ enerjisi soğurularak enerji seviyeleri arasında geçiş meydana gelir. Bu durumdaki frekansa ‘rezonans frekansı’ ve buna karşılık gelen sabit manyetik alana da ‘rezonans alanı’ denir (Carrington ve McLachlan 1969, Weil ve ark. 1994).

Termolüminesans yönteminin radyasyon dozimetrisinde yeni bir teknik olarak kullanılabilmesi ilk kez Wisconsin Üniversitesi’nden Farrington Daniels ve araştırma grubu tarafından önerilmiştir (Daniels ve ark., 1953; Cameron ve ark., 1968). Işınlanmış bir materyal enerji depolar ve bu enerji, malzeme ısıtıldığı zaman tekrar açığa

çıkartılabilir. Yalıtkan kristaller için termal yolla uyarılmış yüklerin denge konumuna yeniden geçişleri sırasında ışımaya (lüminesans) meydana gelir. Fotokatlandırıcı tüpler çok düşük miktardaki ışığı bile ölçmeye yetecek hassasiyete sahiptirler. Bu sayede TL süreci kristalin radyasyon geçmişinin belirlenmesinde kullanılabilir olacak hassas bir metod olarak karşımıza çıkmaktadır.

2. GIDA IŞINLANMASI

Dünyada gelişmiş veya gelişmekte olan birçok ülkede gıdaların korunması için geleneksel yöntemlere alternatif olarak gıda ışınlama teknolojisi kullanılmaya başlanmıştır. Şu anda ışınlanmış gıda miktarı toplam üretim içinde küçük bir oran olarak görülmesine rağmen hızla gelişmektedir. Otuz beş ülkede yüze yakın gıda ışınlama tesisi faaliyet göstermektedir. Elliden fazla ülkede gıda ışınlama bir veya birden fazla gıda için veya bir gıda sınıfı için kabul edilmiştir. Küresel olarak ışınlanmış gıdaların toplam miktarı yılda 500 000 ton'un üzerinde gerçekleşmektedir. Bunların; % 46'sı baharatlar ve kurutulmuş sebzeler, % 20'si hububat, % 22'si patates ve sarımsak (filizlenmeye karşı), % 8'i dondurulmuş balık ve su ürünleri, % 4'ü sağlık ürünleri (bal, mantar vb.) oluşturmaktadır. Türkiye'de ise yılda yaklaşık olarak 5000 ton gıda ışınlanmakta olup bunların %70'lik kısmını baharatlar teşkil etmekte, geriye kalan %30'luk kısmını dondurulmuş gıda, kırmızı et ve bitkisel çay gibi gıda grupları oluşturmaktadır.

2.1 Gıda Işınlamanın Avantajları

Gıda koruma yöntemi olarak ışınlama işlemi, halen kabul görmekte istenilen noktada değildir. Halbuki diğer gıda koruma yöntemleri, gıdada ışınlama işleminden çok daha fazla olumsuz etkiler yaratabilmektedir. Unutulmamalıdır ki, ısısal muamele sonucu oluşan olumsuzluklar, ışınlama sonucu oluşan olumsuzluklardan çok daha fazladır. 10 kGy' lik ışınlama dozuna karşı gelen enerji, gıdanın sıcaklığında yalnızca 2.4 K' lik bir artış oluşturur (Manuel, 1995; WHO, 1994).

Gıda ışınlama işleminin avantajları konusunda aşağıdaki genellemeler yapılabilir (Fellows, 1988):

- 1-) Bu yöntemle korunan gıdaların, bir daha ısısız muameleden geçmesine gerek yoktur. Bu nedenle gıdaların tat, koku, renk ve görünüşlerindeki değişiklikler yok denecek kadar azdır.
- 2-) Paketlenmiş ve dondurulmuş gıdalara da uygulanabilir bir yöntemdir.
- 3-) Taze gıdalara, hiç bir kimyasal koruyucu maddeye gereksinim duyulmaksızın uygulanabilir.
- 4-) Çok az miktarlarda enerjiye gereksinim duyulur.
- 5-) Gıdaların besin değerlerinde oluşan değişiklikler, diğer gıda koruma yöntemlerinde ortaya çıkanlar düzeyindedir.
- 6-) Herhangi bir anda otomatik olarak durdurulup kontrol edilebilir.

2.2. Gıda Işınlamanın Tarihsel Gelişimi

Gıda ışınlanmanın yaklaşık 50 yıllık tarihsel gelişimi vardır. İlk fikir Fransız bilim adamları tarafından 1920 yılında ışınlanmanın gıda muhafaza yöntemi olarak kullanılabilceği şeklinde ortaya çıkmış ve bu yöntem, uzun yıllar süren araştırmalar sonucunda kullanılmaya başlanan bir gıda işlem teknolojisidir (A.D.A., 2000; ACSH,2003).

Işınlama işleminin yeni bir gıda koruma tekniği olarak kabul edilmesinden önce, 10 kGy' lik doz değerinin altında kalındığı sürece, bu işlemin gıdalarda mikrobiyolojik, toksikolojik ve besin değeri yönünden olumsuz herhangi bir etkisinin olmadığı yapılan bilimsel çalışmalar sonunda kanıtlanmıştır. 1970 yılından itibaren geliştirilen Uluslararası Gıda Işınlama Projeleri çerçevesinde elde edilen bilgiler, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından derlenmiş ve Uluslararası Konferanslar adlı bir dergide yayınlanmıştır. 1980 yılında, WHO önderliğinde Genova' da toplanan FAO/IAEA/WHO birleşik komitesi, elde edilen bu bilgileri değerlendirmiş ve sonuçlarını bir rapor halinde yayınlamıştır (WHO, 1981). 1981 yılında yayınlanan bu raporda, adı geçen komite ortalama 10 kGy' lik doz değerinde ışınlanmış gıdaların toksikolojik olarak herhangi bir değişime uğramadığını ve bu nedenle 10 kGy' lik doz değerinin altında ışınlanmış gıdalar için toksikolojik testlerin yapılmasına gerek olmadığını bildirmiştir (WHO, 1981; Stevenson and Gray, 1989; Raffi et al., 1993).

Ayrıca, bu doz değerlerinde yapılan ışınlamaların gıdalarda mikrobiyolojik ve besin değeri açılarından da herhangi bir problem yaratmadığı belirtilmiştir (WHO, 1981; Fellows, 1988).

ABD’de bu metot 2.Dünya savaşından sonra ele alınmaya başlanmış ve NASA; 1970’li yılların başında astronotlarının tüketimine yönelik olarak hazırlanan gıda maddelerinin muhafazasında bu yöntemi kullanmıştır (A.D.A., 2000; ACSH, 2003). 1985 yılında FDA, Trichinosis 'i kontrol altına almak için domuz etlerinin ışınlama ile pastörizasyonunu onayladı (en az 0,3, en çok 1,0 kGy). 1986 yılında FDA, meyve, sebzeler ve diğer gıdalar için 1,0 kGy ışınlama dozuna izin verdi. 1990 yılında ABD, patojenlerin etkilerinin yok olması için piliçlerin ışınlanmasının uygun olacağını açıkladı (1,5-3,0 kGy). 1994 yılında USDA, kırmızı et ürünlerinde iyonize radyasyon dozunu, dondurulmamış etlerde en çok 4,5 dondurulmuş etlerde ise 7,5 kGy olarak belirledi. 1996’da dünyada ticari olarak gıdaları ışınlayan ülke sayısı 28 'e ve bir ya da daha fazla gıdanın ışınlanmasını onaylayan ülke sayısı 40'a çıktı. 1997 de FAO/IAEA/WHO, yüksek doz gıda ışınlama çalışma grubu her dozdaki gıda ışınlamanın güvenli olduğunu ancak yüksek doz ışınlamasına gerek olmadığını bildirdi. Yine 1997 de FDA, patojenlerin kontrolü için etlerin ışınlamasını onayladı ve aynı yıl ICGFI, Uluslararası Gıda Işınlama Danışma Grubu (International Consultative Group on Food Irradiation) üyesi ülke sayısı 45 'e çıktı (Molins, R.A. 2001). Türkiye’de 1999 yılında Gıda Işınlama Yönetmeliği yayımlanarak gıda ışınlama uygulamalarına onay verilmiştir (Resmi Gazete, 2003). Halen Dünya’da 180’den fazla Gamma ışınlama tesisi bulunmaktadır. Bunlardan 70 kadarı (40 ülkede) gıda ışınlaması yetkisi almıştır.

2.3. Türkiye’de Gıda Işınlama

Tarım ve Köy işleri Bakanlığı, Sağlık Bakanlığı ve Türkiye Atom Enerjisi Kurumu yetkililerinin birlikte yürüttüğü yoğun çalışmalar sonucunda Gıda Işınlama Yönetmeliği 6 Kasım 1999 tarihinde Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe girmiş ve yönetmeliğin bazı maddeleri Avrupa Birliği’ne uyum yasaları çerçevesinde revize edilerek, yapılan birinci değişiklikler 15 Ekim 2002 tarih ve 24907 sayılı Resmi Gazete’de ikinci değişiklikler 19 Aralık 2003 tarih ve 25321 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan düzenlemeler ile halen yürürlüktedir.

Gıda Işınlatma Yönetmeliği, ışınlatma tesisinin kurulması ile bu tesislere lisans verilmesini, gıda maddelerinin üretiminde kullanılan her türlü ham ve yardımcı maddeler ile mamul ve yarı mamul gıda maddelerinin tekniğine uygun ışınlanmasını, ışınlanmış gıdaların tüketime arzı, denetleme esas ve usullerini belirlemektir. Bu yönetmelik kapsamında 7 gıda gurubunun ışınlanmasına belirlenen doz aralıklarında izin verilmiştir (Demirci ve Güner, 2008)

Tablo 2.1. Yönetmeliğe göre ışınlanmasına izin verilen gıda grupları, ışınlatma amacı ve ışınlatma değerleri

Gıda Gruplarında Belirli Teknolojik Amaçlara Göre Uygulanmasına İzin Verilen Işınlatma Dozları		
Gıda grubu	Amaç	Maksimum Doz (kGy)
Grup 1- Soğanlar, kökler, yumrular	Depolama sırasında filizlenme, çimlenme ve tomurcuklanmayı önlemek	0,2
Grup 2- Taze sebze ve meyveler	-Olgunlaşmayı geciktirmek	1,0
	-Böceklenmeyi önlemek	1,0
	-Raf ömrünü uzatmak	2,5
	-Karantina kontrolü	1,0
Grup 3- Hububat, öğütülmüş hububat ürünleri, kabuklu yemişler, yağlı tohumlar, baklagiller, kurutulmuş sebze ve meyveler	- Böceklenmeyi önlemek	1,0
	- Mikroorganizmaları azaltmak	5,0
	- Raf ömrünü uzatmak	5,0
Grup 4- Çiğ balık, kabuklu deniz hayvanları ve bunların ürünleri (taze veya dondurulmuş)	-Patojenik mikroorganizmaları azaltmak	5,0
	- Raf ömrünü uzatmak	3,0
	- Paraziter enfeksiyonların kontrolü	2,0
Grup 5- Kanatlı, kırmızı et ve bunların ürünleri (taze veya dondurulmuş)	-Patojenik mikroorganizmaları azaltmak	7,0
	- Raf ömrünü uzatmak	3,0
	- Paraziter enfeksiyonların kontrolü	3,0
Grup 6- Kuru sebzeler, baharatlar, kuru otlar, çeşniler ve bitkisel çaylar	-Patojenik mikroorganizmaları azaltmak	10,0
	- Böceklenmeyi önlemek	1,0
Grup 7- Hayvansal orijinli kurutulmuş gıdalar	-Böceklenmeyi önlemek	1,0
	- Küflerin kontrolü	3,0

2.4. Türkiye’de Işınlama Yapılan Tesisler

Türkiye’de de biri ticari, diğeri araştırma amaçlı iki adet Gamma Işınlama Tesisi bulunmaktadır.

- 1-) Bunlardan ilki TAEK olup 1992 yılında daha ziyade araştırma amaçlı olarak Türkiye Atom Enerjisi bünyesinde Ankara Lalahan’ da kurulmuştur.
- 2-) Diğeri ise 1994 yılında ticari amaçlı ilk ışınlama tesisi olarak Tekirdağ’da kurulmuş ve hizmete sunulmuş olan GAMMA-PAK tır.

2.4.1. Türkiye Atom Enerji Kurumu (TAEK)

TAEK’in faaliyetleri, Başkanlık Teşkilatı bünyesinde bulunan daire başkanlıkları ile İstanbul ve Ankara’da bulunan araştırma ve eğitim merkezleri tarafından yürütülmektedir. Bunlar;

- Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ÇNAEM)
- Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (SANAEM)
- Ankara Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ANAEM)

2.4.1.1. Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ÇNAEM)

ÇNAEM görev, yetki ve sorumlulukları nükleer teknoloji ve teknikler kullanılarak yapılacak her türlü araştırma, geliştirme ve uygulamaları kapsamaktadır.



Şekil 2.1. Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi

Bu doğrultuda ÇNAEM’de verilen ölçme/uygulama işlemleri:

- ✓ Merkez içi ve İstanbul çevresinde sürekli radyasyon denetimleri,
- ✓ Her türlü radyoaktif madde analizleri,
- ✓ Gıda ürünlerinde radyoaktivite analizleri,
- ✓ Seramik malzeme test ve analizleri,
- ✓ Radyasyon ölçüm cihazlarının üretilmesi,
- ✓ Arkeolojik eserlerin tahribatsız muayene yöntemleri

2.4.1.2. Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (SANAEM)

SANAEM görev, yetki ve sorumlulukları nükleer teknoloji ve teknikler kullanılarak yapılacak her türlü araştırma, geliştirme ve uygulamaları kapsamaktadır.

Bu doğrultuda SANAEM’de verilen ölçme/uygulama işlemleri:

- ✓ Gıda ürünlerinin ışınlanıp, ışınlanmadığını ve malzemelerin steril olup olmadığını,
- ✓ Radyasyona maruz kalan organ veya tüm vücut dozunun hesaplanması,
- ✓ Kişisel dozimetri hizmeti verilmesi,
- ✓ ESR tekniği ile yaş tayini, gıdaların ışınlanıp ışınlanmadığının tespiti
- ✓ Optik Uyarımlı Lüminesans(OSL) ve Termolüminesans(TL) teknikleri ile arkeolojik ve jeolojik örneklerin yaş tayininin yapılması.
- ✓ Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) cihazı ve uygun örnek hazırlama laboratuvarında katı ve kuru örneklerin 500.000 kat büyütülmüş görüntülerinin alınabilmesi.
- ✓ 2 adet Cs-137 kaynağına sahip bir deneysel ışınlama laboratuvarında Kurum içi ve Kurum dışı deneysel amaçlı numunelere ışınlama hizmetinin verilmesi



Şekil 2.2. Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (SANAEM)

2.4.1.3. Ankara Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ANAEM)

ANAEM görev, yetki ve sorumlulukları TAEK Başkanlığı'nca belirlenmiş politika ve hedefler doğrultusunda ülkenin kalkınma planlarına uygun olarak nükleer alanda sürdürülecek eğitim ve kamuoyu bilgilendirme faaliyetlerini yürütmektir

Bu doğrultuda ANAEM'de tarafından sunulan hizmetler genel olarak dört ana sınıfa ayrılmaktadır:

1. Ulusal kurslar
2. Hizmet içi eğitimler
3. Kurum/Kuruluşlardan gelen taleplerin karşılanmasına yönelik eğitimler
4. Kamuoyu bilgilendirilmesine yönelik eğitim ve tanıtım hizmetleri

2.4.2. Gamma-Pak Işınlama Tesisi

Ticari amaçla 1994 yılında Tekirdağ-Çerkezköy'de kurulmuş ve hizmete sunulmuştur. Tesiste yürütülen uygulamalar.

- Medikal ürünlerin sterilizasyonları,
- Gıda ışınlanması,
- Kozmetik ürün sterilizasyonu,
- Hayvan yemi ve pet gıdaların mikroorganizmalardan arındırılması için ışınlanması,
- Ambalaj malzeme sterilizasyonu,



Şekil 2.3. Ankara Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi (ANAEM)



Şekil 2.4. Gamma-Pak Ürün Yükleme ve Boşaltma İşlemleri



Şekil 2.5. Gamma-Pak Dondurulmuş Ürünlerin Işınlanmaya Hazırlanması



Şekil 2.6. Gamma-Pak Işınlama Tesisi Soğutucu



Şekil 2.7. Gamma-Pak Işınlanma Tesisi Depo Giriş Çıkışı Soğutucusu

2.5. Gıda Işınlama Uygulamaları

Gıda ışınlama; gıdaların iyonize enerji olarak da adlandırılan iyonize ışınlarla maruz kalmasıdır (A.D.A., 2000; Lacroix ve Ouattara, 2000). Kullanılan ışın kaynağının nüfuz etme yeteneğine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Gıdaların muhafazasında gamma ışınları, X ışınları ve hızlandırılmış elektron ışınları kullanılmaktadır (Olson, 1998). Gıda Işınlaması için Codex Genel Standartları (Codex Alimentarius, 2003)'na göre sadece bu üç ışın türü ile gıda ışınlaması yapılabilir. Bunlardan endüstride en yaygın olarak kullanılanı gamma ışınlarıdır (WHO, 1983; Swallow, 1991; Diehl, 1995; A.D.A., 2000;).

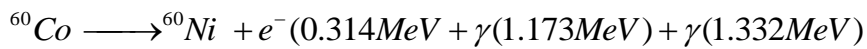
Işınlama işlemi uygulanan doza ve süreye bağlı olmaksızın gıdaların radyoaktivitesini artırmamaktadır. Çünkü işlem sırasında kaynak ile gıdanın temas etme şansı yoktur. Gıda da radyoaktivite ancak 10 MeV'un üzerinde bir enerji yüklemesi ile mümkün olabilir ki, buda gıda ışınlama tesislerinde kullanılan radyasyon kaynağının sağlayabildiği enerji değerinin çok üstünde bir değerdir (Anonymous 1995, Josephson ve Peterson 2000). Gıda ışınlamasında kullanılan ışınlarda gamma ışınları 1,25 MeV ve 0,622 MeV, x ışınları maksimum 5 MeV ve hızlandırılmış elektronlar maksimum 10 MeV enerji elde edilebilmektedir.

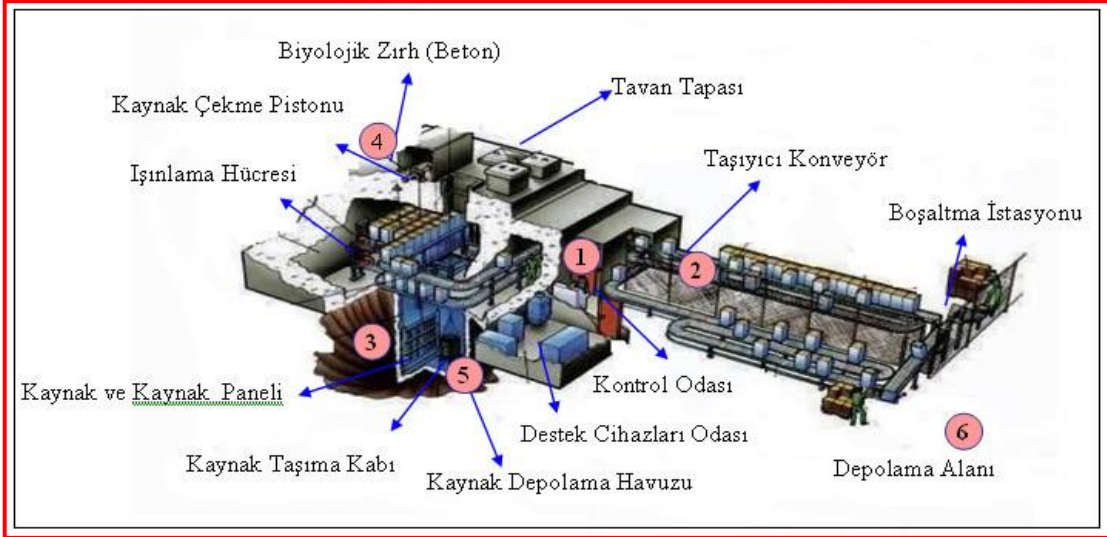
2.5.1. Gamma Işınları

Doğada bazı atomlar devamlı parçalanmakta ve çevreye radyant enerji (ışık enerjisi) yaymaktadır. Bu atomlara “radyoaktif atom” ya da “radyonükleid” denilmektedir. Gamma ışını ile birlikte alfa ve beta ışını da yayan bazı radyonükleidler doğal olarak bulunabildiği gibi (örn.Uranyum) bazıları da nötron bombardımanı ile yapay olarak elde edilebilmektedir. Bu atomlara “radyoizotop” denir. ^{60}Co ve ^{137}Cs bunlara örnektir (Cemeroğlu ve Acar 1986, Topal 1988, Venugopal vd 1999).

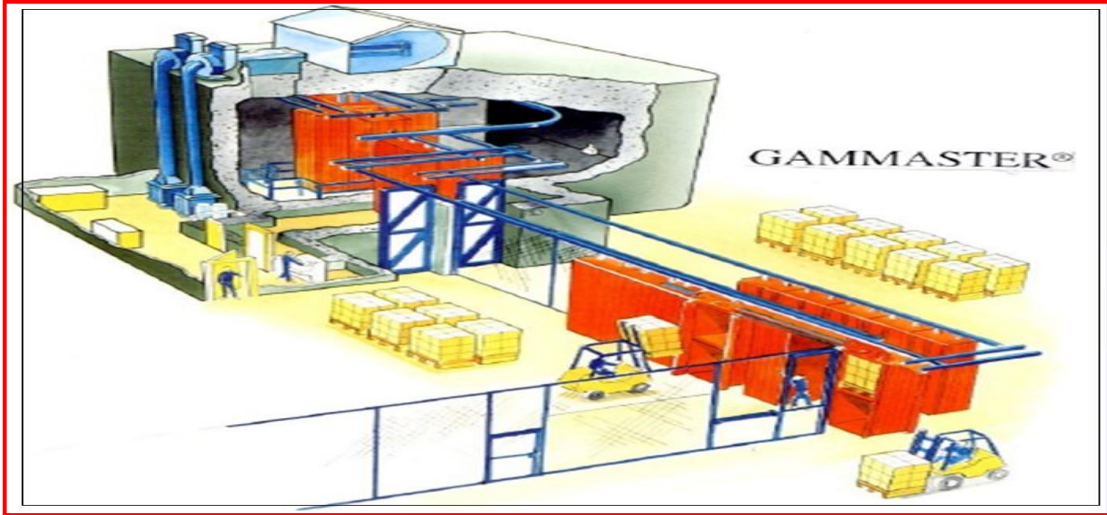
Gıdaların muhafazasında en yaygın kullanılan iyonize ışın gamma ışınları olup bu ışın radyonükleidlerin çekirdek bozulması sırasında ortaya çıkmaktadır. Gıda ışınlaması yapan tesislerde gamma ışın kaynağı olarak radyoaktif Kobalt-60 (^{60}Co) kullanılmakta olup, Sezyum-137 (^{137}Cs) gamma ışın kaynağı olarak bilinmektedir. Bunlar radyoaktif izotoplardır. Günümüzde Sezyum-137 üretimi sözkonusu olmadığı için gamma ışın kaynağı olarak bu alanda sadece Kobalt 59’ un nötron bombardımanına dayalı olarak yapay radyoaktivite kazandırılan ^{60}Co kullanılmaktadır. Kobalt-60’ ın kullanımının ön plana çıkmasındaki temel sebep ise yarılanma ömrünün 5,27 yıl olması ve Sezyum-137’ nin ise ancak 30 yılda bu yarılanma işlemini gerçekleştirebilmesidir (Kleeberg, 2002; Heis ve Eichner, 2002).

Radyoaktif izotopların yaydıkları alfa ışını yüksek hızlı yüklü parçacık, beta ışını yüksek hızlı elektron ve gamma ışını (foton) yüksek enerjili elektromanyetik ışına olup farklı düzeyde giriciliklere sahiptirler. Alfa ve beta parçacıklarını dalga boyları uzun ve enerjileri düşük parçacıklar olduğu için giricilikleri oldukça düşüktür. Bunlar ince bir alüminyum levhayı bile geçemezler. Bu özelliklerinden dolayı gıda ışınlamada fonksiyonel değildirler. Ancak gamma ışınları ise kısa dalga boyuna (100-120nm) ve yüksek enerji düzeyine sahip bir foton olduğu için giriciliği çok yüksektir gıdaya kolayca nüfus edebilir, 40 cm betondan bile geçebilmektedirler. (Fellow 1986, Mortimer 1987, Josephson ve Peterson 2000). Bu nedenle günümüzde gıda ışınlamasında en çok ^{60}Co izotopundan elde edilen gamma ışınları kullanılmaktadır (Kleeberg, 2002).





Şekil 2.8. Kutu taşıyıcı Co-60 Işınlama Cihazı



Şekil 2.9. Gammaster Paletli Işınlama Cihazı



Şekil 2.10. IONISOS Askılı Işınlama Cihazı

2.5.2. X- Işınları

Elektron hızlandırıcılarından üretilmiş yüksek enerjili elektronlar tungsten bir plakaya çarpıtılır ve bu çarpışma sonucu elektronlar durdurulurken elektronların kaybettiği enerji X ışınları olarak yayılır. Bu olaya Bremsstrahlung (Frenleme ısını) olayı, çıkan X-ışınlarının oluşturduğu sürekli spektruma da Bremsstrahlung (Frenleme ışını) denir. X- ışını üreten kaynaklar 5 MeV ve daha düşük enerjidedir. X ışınlarının malzemeye giriciliği ve doz hızı yüksek olduğu için ışınlama süresi kısadır (A.D.A., 2000). Gamma ışınlayıcıları gibi büyük paket/koli ve paletle işlem yapmaya uygun sistemlerdir. Harcanan elektrik gücüne göre elde edilen ışın gücü düşüktür. X ışınlarının, hızlandırılmış elektronlardan farklı olarak nüfuz yetenekleri çok fazladır ancak pahalı bir kaynak olduğu için genellikle tıbbi amaçla kullanılmaktadır.

2.5.3. Elektron Hızlandırıcıları

Hızlandırılmış elektronlar 10 MeV ve daha düşük enerjide çalışan jeneratörlerde üretilmektedir. Hızlandırılmış elektronların üretildiği bu makinelere "LINAC" (Linear Accelerator) denilmektedir. Bu ısın demeti jeneratörlerinde enerji kaynağı olarak şehir şebekesindeki enerji kullanılır. Radyoaktif kaynak içermezler. İşletilmeleri gamma tesislerine göre daha masraflı ve karmaşıktır. Gıdaya nüfuz etme düzeyi düşüktür. Bu nedenle küçük boyutlu ve yoğunluğu düşük olan ürünler ışınlanır. Doz hızı yüksek olduğu için ışınlama süresi kısadır. Çeşitli yoğunluktaki ürünler tek ve birbirinden bağımsız olarak ışınlanabilir. Son yıllarda özellikle küçük ambalajlar için elektron hızlandırıcılar kullanılmaya başlanmıştır (Demirezen ve Çetinkaya, 2006).



Şekil 2.11. RHODOTRON Elektron Hızlandırıcı

2.6. Gıda Işınlamada Doz Uygulamaları

Gıda ışınlamada doz gıda maddesine ilave edilen bir madde değildir. Doz; numunenin radyasyona maruz bırakıldığı süre içerisinde absorbe ettiği radyasyonun miktarı, örnek tarafından soğrulan enerjidir. Bu enerjinin miktarı ışınlama absorblama dozu olarak tanımlanır ve birimi rad veya gray olarak ifade edilir (Lagunas-Solar, 1995; Webb ve Penner, 2000). 1 Gy 100 rad'a eşit olup 1 kg gıda tarafından soğrulan 1 jul enerjiye eşittir.

Işınlamada gıdaya uygulanması gereken enerjinin dozunu; gıdayı iyonize enerjiye maruz bırakma süresi, gıdanın yoğunluğu, radyasyon kaynağı tarafından soğrulan enerji miktarı belirler (Morrison ve ark., 1992; Diehl, 1995; A.D.A., 2000).

Gıdalara uygulanacak radyasyonun dozu Gıda ve İlaç İdaresi (Food and Drug Administration, FDA) tarafından belirlenmektedir. FDA radyasyon seviyelerini 3 kategoriye ayırmıştır (Acar, 1999; A.D.A., 2000; ACSH, 2003).

2.6.1 “Düşük doz uygulamaları” , < 1 kGy

Düşük doz (<1 kGy) ışınlamaya radurizasyon denmektedir. Söz konusu doz seviyesi pastörizasyona eşdeğer ışınlama uygulamasıdır. Bu işlem ile gıdaların kalitesini olumsuz yönde etkileyen mikroorganizmaların ortamdaki sayılarının azaltılması amaçlanır. Taze et, meyve ve sebzeler için 0,75–2,5 kGy ışın dozu yeterlidir. Bu nedenle bu uygulama taze ve kurutulmuş meyve ve sebzelerin raf ömürlerinin uzatılmasında kullanılmaktadır. Kurutulmuş meyvelerde 0,15–1 kGy yeterli olduğu halde 2–3 kGy düzeyinde ışınlama dozu taze meyvelerin raf ömrünü en az 14 gün kadar uzatmaktadır (Lacroix ve Ouattara, 2000). Bu doz seviyesi domuz etinde *Trichinella* parazitini kontrol etmek için de uygulanmaktadır (Acar, 1999).

2.6.2. “Orta düzeyde doz uygulamaları” , (1-10 kGy)

Orta doz (<10 kGy) ışınlamaya radisidasyon denilmektedir. Bu işlem spor oluşturmeyen patojen mikroorganizma yükünün azaltılmasında kullanılmaktadır. Bu uygulama etkileri açısından sütün pastörizasyonuna benzetilebilmektedir. Radisidasyon viral patojenlerin öldürülmesinde yetersizdir. Tipik ışınlama dozu 2,5 kGy ile <10 kGy arasındadır. 2,5 kGy düzeyinde ışınlama *Vibrio parahaemolyticus* veya kanatlılarda *Salmonella* inaktivasyonu için yeterli olduğu halde aynı etki donmuş ürünlerde ancak 5 kGy ile sağlanmaktadır (Acar, 1999; ACSH, 2003).

2.6.3. “Yüksek doz uygulamaları” , (10-50 kGy)

Işınlamanın yüksek dozda (10 kGy üzeri) uygulamalarına radapertizasyon veya radyasyonla sterilizasyon denilmekte ve etkileri açısından ticari sterilizasyon uygulamasına benzetilmektedir. Bu amaçla kullanılan ışınlama dozları 10–45 kGy arasındadır. Örneğin ortamdaki 10¹² sayıdaki *Clostridium botulinum* sporunun öldürülmesi için 45 kGy düzeyinde bir ışınlama dozu gereklidir. Ancak böyle yüksek dozlarda gıdaların renk ve koku gibi duyuşal özellikleri olumsuz yönde etkilenmekte, hatta gıdalarda toksikolojik değişimlerde gözlenebilmektedir. Bu nedenle de gıdaların ışınlama ile sterilizasyonu yerine ışınlamanın (örn., ısı işlem, dondurma) diğer gıda muhafaza yöntemleri ile birlikte uygulanması önerilmektedir (Acar, 1999).

2.7. Işınlanmanın Gıdalar Üzerine Etkisi

Gıda ışınlama arzu edilen bir takım etkileri (örn., patojenleri öldürmek, raf ömrünü uzatmak, bozulmayı kontrol etmek, kimyasal madde kullanımını en aza indirmek) elde etmek için iyonize radyasyon ile gıdaların muamele edilmesini kapsar. Bu uygulama; gıdaların ısısında önemli bir artışa sebep olmadığından termal olmayan bir işlem olarak bilinir (A.D.A., 2000; Lacroix ve Ouattara, 2000; ACSH, 2003). Bu yüzden gıda ışınlama işlemi “soğuk sterilizasyon” ya da “soğuk pastörizasyon” olarak da tanımlanır. Işınlama gıdayı radyoaktif yapmaz. Gıdaya uygulanan radyasyonun miktarı gıdayı radyoaktif yapacak düzeyin çok altındadır. Röntgen filmi çektiildiğinde veya x-ışınları ile güvenlik taramasından geçildiğinde radyoaktif veya radyasyonlu hale gelinmiyorsa ışınlanan ürünlerde de bu oluşumlar gözlemlenmez. Gıda ışınlama işlemi

radioaktif atıklar oluşturmaz. İşlem kısaca gıdayı radyasyon kaynağına maruz bırakmaktır (A.D.A., 2000; ACSH, 2003)

2.7.1. Işınlanmanın Gıdalardaki Mikroorganizmalar Üzerine Etkisi

Farklı tip ve türdeki mikroorganizmalar ışınlamaya karşı değişik hassasiyet gösterirler. Gıda kaynaklı hastalığa ve bozuşmaya sebep olan birçok bakteri genellikle ışınlamaya duyarlı olup bu duyarlılığın türe ve çevresel koşullara (ortamın bileşimi, sıcaklık, oksijen konsantrasyonu, pH, su aktivitesi vb.) bağlı olduğu ortaya konulmuştur (Fellow 1986, Miaback 1993). Bu bakteriler 1 kGy ile 7 kGy arasındaki ortalama dozlarla inaktive edilebilirler. Bakteri sporları daha dirençli olup engellenebilmeleri için daha yüksek dozda (10 kGy) ışınlamaya ihtiyaç vardır. Genel olarak vejetatif bakteriler (kimyasal etkenlere karşı daha dayanıklı formu) spora göre, gram negatif bakteriler de gram pozitif bakterilere göre ışınlamaya daha duyarlıdır.

Bakterilerin radyasyona duyarlılığını belirleyen faktörlerin çoğu maya ve küfler için de geçerlidir. Bu organizmaların genleri büyük olduğundan bakterilere göre ışınlamaya daha hassas olup tahrip olmaları için en az 3 kGy radyasyon uygulamasına ihtiyaç vardır. Mayaların etkisiz hale getirilmesi küflere göre daha yüksek doz gerektirmektedir (Josephson ve Peterson 2000). Mayalar için öldürücü ışınlama dozu 4.65-20 kGy, küfler için 2.4-6.0 kGy arasındadır. Virüsler ve bakteri sporları ışınlamaya karşı çok dirençli olup etkisiz hale getirilmeleri için 20 kGy ile 50 kGy arasında dozlara ihtiyaç vardır. Bundan dolayı gıdalardaki virüslerin inaktivasyonları için ışınlama uygun bir yöntem değildir (Acar,1999; Lacroix ve Ouattara, 2000; ACSH, 2003). Topal (1996) tarafından bildirilen bir çalışmada bakteri, maya,küf, bakteri sporu ve virüsler için belirlenen gerekli dozlar çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Farklı bir cins ve türde canlı mikroorganizmaları öldürmek için etkin ışınlama dozları.

Mikroorganizmalar	Doz (kGy)
Gram negatif bakteriler	
<i>Escherichia coli</i>	2
<i>Solmonella enteritidis</i>	4
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	<1
<i>Moroxella spp.</i>	7
<i>Pseudoöomas fluorescens</i>	<1
Gram pozitif bakteriler	
<i>Micrococcus spp.</i>	4
<i>Staphylococcus aureus</i>	5-10
<i>Streptococcus faecalis</i>	5
<i>Leuconostoc sp.</i>	3
<i>Bacillus spp. (vejatatif hücreler)</i>	3
<i>Bacillus cereus (sporlar)</i>	25
<i>Clostridium perfringens (sporlar)</i>	25
<i>Clostridium botulinum A (sporlar)</i>	25
Küfler ve Mayalar	
<i>Aspergillus flavus</i>	3
<i>Candida spp.</i>	4
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	10
Virüsler	>30

2.7.2. Işınlanmanın Karbonhidratlar Üzerine Etkisi

Işınlama ile kompleks karbonhidratlar daha kolay sindirilebilen formlarına dönüşür (Machaiiah ve Pednekar, 2002). Işınlama sebze ve meyvelerde yumuşamaya neden olarak ışınlanmanın bu ürünlerde kullanımını önemli ölçüde kısıtlamaktadır (Güneş ve ark., 2001) Işınlama tahılların viskozite, çözünürlük, mekanik dayanım gibi bazı fiziksel özelliklerini değiştirirse de beslenme açısından bu değişimin herhangi bir önemi bulunmamaktadır (Siddhuraju, 2002).

Sonuç olarak: Işınlanmanın karbonhidratlar üzerindeki etkisi gıdaların kalitesini (rengi, görünüşü) etkilemekte, fakat karbonhidrat kaynaklı besin değerini etkilememektedir.

2.7.3. Işınlanmanın Yağlar Üzerine Etkisi

Işınlama sonucunda meydana gelen değişim ışınlama dozuna, sıcaklığa ve depolama koşullarına bağlı olduğu kadar gıdanın başlangıçtaki yağ içeriği ve kompozisyonuna da bağlıdır. Gıdada doymamış yağ asidi miktarı arttıkça, ışınlama işlemine karşı gösterdiği hassasiyette artmaktadır (Giroux ve Lacroix, 1998). Balık ürünleri, diğer et ürünlerine göre daha fazla doymamış yağ asidi içerdiklerinden ışınlamaya karşı daha hassastırlar. Yağ asitlerinin moleküler yapılarının değişmesiyle oluşan ürünlerden biri de trans yağ asitleridir. Trans yağ asitleri (margarinler), kandaki LDL (low density lipoproteins - kötü kolesterol) kolesterol seviyesini arttırmasının yanısıra HDL seviyesini (high density lipoproteins-iyi kolesterol) de azalttıklarından dolayı kalp rahatsızlığı riskini arttırır. (Ascherio, 2002; Oomen ve ark, 2001).4 ve 8 kGy dozlarda ışınlanmış sığır etindeki trans yağ asiti miktarı artmıştır (Brito ve ark, 2002). Daha düşük yağ içeriğine sahip pirinç, buğday ve çavdar 0.1-1 kGy doz aralığında ışınlandığı zaman, PUFA (çoklu doymamış yağ asitleri) içeriğinde bir azalma gözlenmemiştir, uygulanan en yüksek doz (çevre sıcaklığında ve hava varlığında) 63 kGy de çok az bir azalma gözlenmiştir

Sonuç olarak: Genellikle 50 kGy'in altındaki dozlar yağ kalitesinde çok büyük değişikliklere yol açmamaktadır. Çok yüksek sıcaklığa maruz kalan ışınlanmamış gıdalardaki yağlarda da bu değişikliklerin oluşması mümkündür. Yüksek oranda lipid içeren gıdaların oksijen içermeyen şartlarda ışınlanması ve depolanması tavsiye edilmektedir.

2.7.4. Işınlanmanın Proteinler Üzerine Etkisi

Proteinler vücut tarafından sentezlenemeyen aminoasitleri içerirler, bundan dolayı ışınlamanın gıda proteinlerinin sindirilmesi ve biyolojik değeri üzerine etkisi hakkında birçok çalışma yapılmıştır (WHO, 1999). Ticari dozlarda (2-7 kGy) ışınlama et proteinlerinin veya aminoasitlerinin besin değerini etkilememektedir. Kırmızı et 200 kGy doza kadar ışınlandığında aminoasit içeriğinin değişmediği, 500 kGy dozluk bir ışınlamada nitrojenin bir kısmında ve tüm amino asit içeriğinde %10-20 lik bir kayıp olduğu gözlenmiştir (Giroux ve Lacroix, 1998). Tahılların ve baklagillerin yüksek dozda ışınlanmasının besin değerlerini arttırdığı görülmüştür. Farag (1998) tarafından

yürütülen çalışmada, ışınlamanın fasulyelerin besin değerine olan etkisini incelemek için 5-60 kGy dozlarda ışınlanmış soya fasulyeler tavukların beslenmesinde test edilmiştir. Işınlama işlemi toplam yararlanılabilir protein (TPE) oranını ışınlanmamış olan fasulyelere göre %23 ten %95,7 ye kadar artırmıştır.

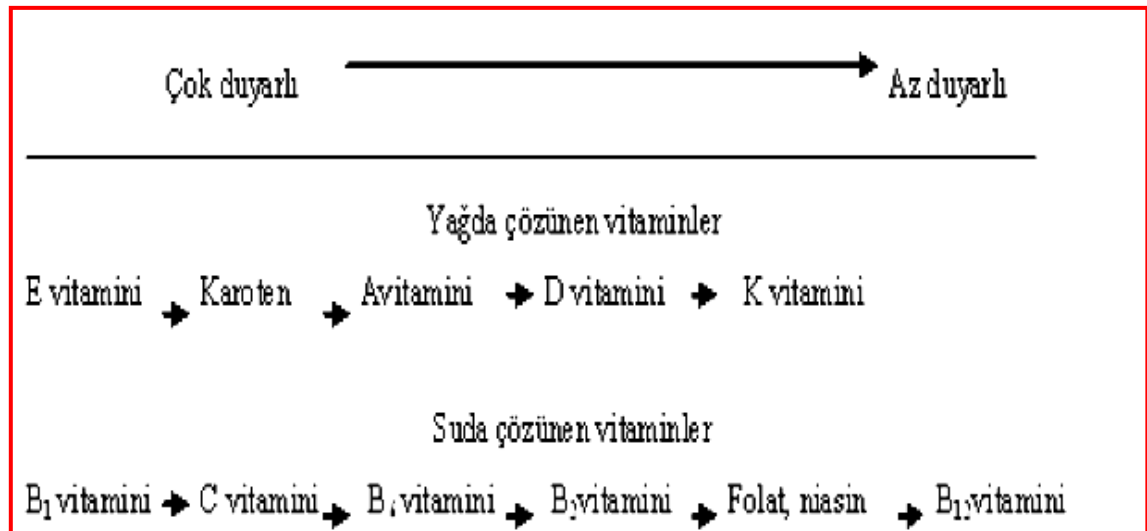
Sonuç olarak; ışınlama işlemi, proteinlerin yapısını değiştirebilmektedir. Ancak besin değeri ve sindirilebilirliği açısından herhangi bir problem söz konusu değildir. Çünkü amino asitler proteinin kompleks yapısı içerisinde korunabilmektedir.

Gıdalarda bulunan enzimler ışınlamaya karşı oldukça kararlıdır. Bu nedenle ışınlanarak sterilize edilen gıdalar eğer uzun süre depolanacaklarsa mikrobiyolojik olarak değil enzimatik olarak bozulabilirler (WHO, 1994).

2.7.5. Işınlanmanın Vitaminler Üzerine Etkisi

Vitaminler gıdalarda az bulunan önemli bileşenlerdir. Suda çözünenler ve yağda çözünenler olmak üzere iki ana gruba ayrılabilirler. Yağda çözünen vitaminler A, D, E, K ve suda çözünen vitaminler ise C vitamini, kolin, B vitaminleri ve folik asittir. Vitaminler ışınlama işlemine farklı hassasiyet gösterirler. Ancak bu hassasiyet paketleme atmosferi, ışınlama dozu, ışınlama ve depolama sıcaklığı gibi birçok faktörden etkilenir (WHO, 1999). Örneğin, 30 kGy dozda nitrojen atmosferi altında ışınlanmış kırmızı ette E vitamini kaybı gözlenmezken, hava atmosferinde ışınlanan ette kayıp %37 dir (Duodu ve ark, 1999).

Çizelge 2.2. Su ve Yağda Çözünen Vitaminlerin Işınlanmaya Karşı Duyarlılıkları



B1 vitamini suda çözünen vitaminler arasında ışınlanmaya karşı en hassas olanıdır. Buna rağmen B1 vitamini, ısıya karşı ışınlamadan daha hassastır, örneğin domuz ve sığır eti ışınlanarak sterilize edildiğinde ısı olarak sterilize edilen konserve üründen çok daha fazla B1 vitaminine sahiptir (Kilcast, 1994). E vitamini yağda çözünen vitaminler arasında ışınlama işlemine karşı en hassas olanıdır. E vitamini yüksek miktarda, ışınlamaya elverişli olmayan gıdalar olan margarin, tereyağı, sıvı yağlarda bulunduğundan genellikle ışınlanmış gıdalarda E vitamini kaybından pek söz edilmez (WHO, 1999). Karoten ve diğer bazı karotenoidler bitkisel kaynaklarda bulunurlar ve insan vücudunda A vitaminine dönüşürler. Bundan dolayı ışınlamanın karoten üzerine etkisi incelenmiş ancak farklı sonuçlar elde edilmiştir

Sonuç olarak: Vitamin kayıpları ısı işlem görmüş ürünlerle karşılaştırıldıklarında düşük dozda ışınlanmış gıdalarda daha azdır.

2.7.6. Işınlanmanın Gıdalardaki Besin Değeri Üzerine Etkisi

Işınlama gıdalarda geleneksel işlemlere alternatif olarak gıda güvenliği ve kalitesini sağlamak amacıyla kullanılan bir işlemdir. Işınlama gıdalarda bir takım kimyasal değişimlere neden olmakta, ancak bu değişimler sadece ışınlamaya özgü olmayıp diğer geleneksel gıda işleme süreçlerinde de gözlemlenmektedir. Söz konusu bu kayıplar her yöntemde farklı düzeyde olmaktadır. Işınlamanın gıdaların besin değeri üzerine olan etkisi ise pişirme, dondurma veya konservelemeden daha fazla değildir (Swallow, 1991; ICGFI, 1991; Diehl, 1995; A.D.A., 2000). Işınlamanın gıdanın besin değerinde yaptığı değişiklikler çok sayıda faktöre (örn., radyasyon dozu, gıdanın tipi, ısı, atmosfer (örn., oksijensiz ortam), ambalajlama, depolama süresi) bağlıdır. Bu yöntemin gıda bileşenleri üzerine olan etkisi ise farklılık arz etmektedir (Olson, 1998; A.D.A., 2000; ACSH, 2003). Şöyle ki; 10 kGy'dan daha fazla ışınlama dozları bile karbonhidratlar, yağlar ve proteinler gibi gıdaların ana bileşenlerini fazla etkilememektedir (Swallow, 1991; Thorne, 1991; Diehl, 1995; A.D.A., 2000). Benzer durum esansiyel amino asitler, mineraller, iz elementler ve çoğu vitaminler (riboflavin, niasin ve vitamin D) için de geçerlidir. A.D.A., 2000). Işınlama sonucu gıdalardaki bu kimyasal değişimler normal uygulama seviyesindeki dozlarda besin değerini etkilemeyip daha çok kaliteyi etkilemektedir. Diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında ışınlama gıdaların besin değerini olumsuz etkilemezken, bazı durumlarda daha az

değişime sebep olabilmektedir. Tüm bu bilgiler ışığında ışınlamanın gıdaların hijyenik, kalite ve raf ömrünü uzatan, gıda kaynaklı patojenlerin ve dolayısıyla sebep oldukları zehirlenme ve enfeksiyonların kontrol altına alınmasını sağlayan ve gıdaların besin değerinde önemli miktarda değişime sebep olmayan etkili bir muhafaza yöntemi olduğu söylenebilir. Genel olarak ışınlamanın gıdanın besin değeri üzerine etkisi düşük olarak kabul edilmektedir (ACSH, 2003).

3. ELEKTRON SPİN REZONANS

ESR tekniği, çiftlenimsiz elektrona sahip atom, molekül, iyon ve molekül parçalarını inceleyen bir spektroskopi dalıdır. Elektron spin rezonansın temelinde manyetik rezonans kavramı yatmaktadır. Manyetik rezonans spektroskopisi ise elektron kaynaklı olması durumuna göre “Elektron Spin Rezonans (ESR)” ya da “Elektron Paramanyetik Rezonans (EPR)”, çekirdek kaynaklı olması durumunda ise “Nükleer Manyetik Rezonans (NMR)” spektroskopisi olarak isimlendirilir.

ESR ilk kez deneysel olarak 1945 yılında Zavoyskiy tarafından uygulanmıştır (Zavoyskiy, Y.,1945). ESR spektroskopisi ile bir örneği inceleyebilmek için örneği oluşturan birimlerin manyetik momente sahip olması gerekir. Dolayısıyla her türlü sistem ESR ile incelenebilecek durumda değildir. ESR spektroskopisi ile incelenebilecek bazı sistemler şunlardır:

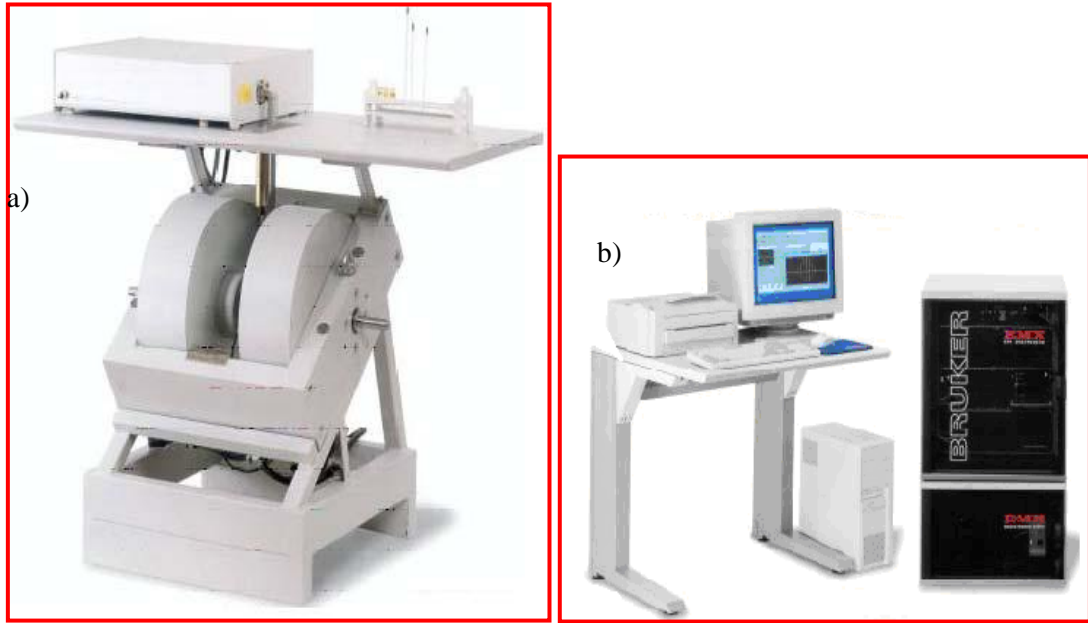
- Organik ve inorganik kökçeler,
- Yarı iletkenler,
- İletkenlik elektronları,
- Bazı geçiş elementi iyonları ve nadir toprak elementleri,
- Kristaldeki kusur merkezleri

ESR tekniği ile incelenen örnekler arasındadır.

ESR spektroskopisi tahribatsız ölçüme izin verir ve incelenen malzemelere hasar vermez olması, aynı örnekten birden fazla ölçüm yapılabilmesi, ölçüm için gerekli örnek miktarının az olması, geniş bir gıda profilini teşhis etmekte kullanılabilmesi (şeker, selüloz ve kemik içeren gıdalar), ölçüm işlemi kısa sürede tamamlanabilmesi gibi üstünlükleri nedeniyle ilk kez gözlemlendiği 1944 yılından bu yana değişik konularda geniş uygulama alanları bulmuştur. ESR spektroskopisi radikal tespitinde kullanılan tek

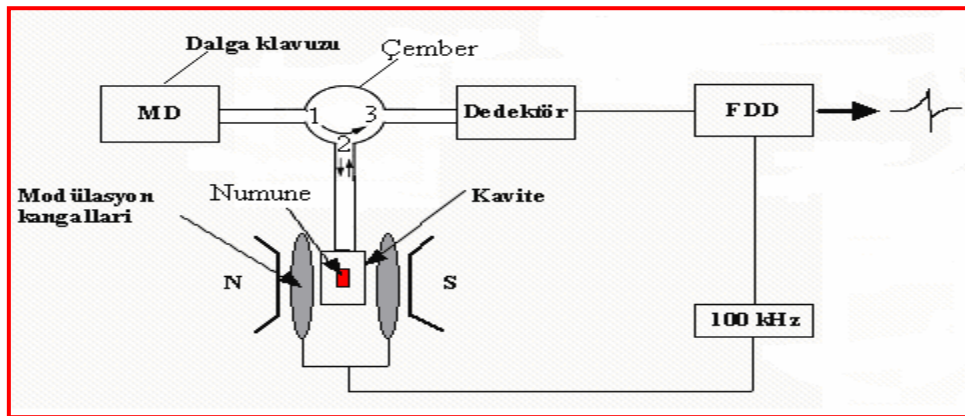
yöntemdir. Neredeyse tüm doğa bilimlerinde, uygulamalı bilimlerde, tıpta ve biyoteknolojide kullanılmaktadır. ESR spektroskopisi tekniği fizik, kimya biyoloji, malzeme araştırmaları, tıp, arkeoloji, jeoloji ve ziraat alanlarında da kullanılır.

En basit şekilde tanımlanan bir ESR spektrometresi üç ana bileşenden oluşmaktadır: ışınım kaynağı, numune ve dedektör'dür. Bazen de bu üç donanım mikrodalga, magnetler ve spektrometre olarak adlandırılır (Apaydın F,1991).



Resim 3.1. ESR sisteminin genel görünümü: a) Magnetler b) Spektrometre (Bruker, 2001).

Genel olarak bir ESR sistemi, güç kaynağı, spektrometre kısmı, magnetler, mikrodalga, kavite, sıcaklık kontrol ünitesi, bilgisayar ve soğutma ünitesinden oluşur. Bazı modellerde sistem bazı değişiklikler gösterebilir.



Şekil 3.1. ESR sisteminin blok diyagramı (Bruker, 2001).

Spektroskopi sistemini oluşturan ana unsurlardan biri mikrodalga kaynağıdır. Sabit frekansta ve değişen manyetik alan prensibine göre çalışan X-Band spektroskopisinde çalışma frekansı (9-10 GHz) bölgesindedir. Sistemi oluşturan ikinci ana unsur ise MD gücündeki değişimleri ölçebilen bir kristal dedektör ve bu dedektörün çıkış sinyalini kaydeden bir kaydediciyi içeren spektrometredir. Ana unsurlardan bir diğeri de, her bir değişimi lineer olarak 0,35T değişebilen, homojen bir manyetik alan sağlayabilme kapasitesine sahip manyetik kangallardır. Modülasyon frekansı 100 kHz' dir ve MD içerisinde sabit değerdedir. Manyetik alanı modüle ederek çıkış sinyaline katkıda bulunur.

Bunların yanı sıra sistemde düşük ve yüksek sıcaklık ölçümleri için bir sıcaklık kontrol ünitesi, spektrumların kaydedilmesi için bilgisayar, değişen çalışma şartlarına göre değişik geometrilerde kullanılabilen kaviteler mevcuttur. ESR sisteminde bunlara ek olarak; numunede (özellikle tek kristal numunelerinde) açığa bağlı değişimlerin ESR spektrumlarını almaya yarayan ganyometre ile sadece 77 K'de (sıvı azot sıcaklığı) ölçüm almamıza yarayan parmak sıvı azot kabı (finger dewar) bulunmaktadır. ESR sistemi ve temel bileşenlerinin genel görünümü Resim 3.1' de görülmektedir.

Manyetik alan içerisindeki spin açısız momentum vektörü \vec{S} olan çiftlenimsiz bir elektronun $\vec{\mu}$ manyetik moment vektörü

$$\vec{\mu} = -g \frac{\beta}{\hbar} \vec{S} \quad (3.1)$$

bağıntısıyla verilir. Burada g spektroskopik yarımla çarpanı , \hbar planc sabiti (1.0545×10^{-34} J/s), β Bohr magnetonudur (9.2740×10^{-24} J/T). g serbest elektron için $g= 2,002319$ olup manyetik alanları farklı olan çiftlenimsiz elektronlar için farklı g değerleri oluşmaktadır. Bu yüzden bir ESR sinyalinin g değeri çok önemli bir parametredir. g değeri, incelenen örneğin manyetik ve yapısal özellikleri hakkında bilgi verir.

Manyetik momenti $\vec{\mu}$ olan çiftlenimsiz bir elektronun B durgun manyetik alanında bulunması durumunda B ile $\vec{\mu}$ arasındaki etkileşme Hamiltoniyen olarak

$$H = -\vec{\mu} \cdot \vec{B} \quad (3.2)$$

$$H = g \frac{\beta}{\hbar} \vec{S} \cdot \vec{B} \quad (3.3)$$

şeklinde ifade edilebilir. Elektronik Zeeman etkileşmesi olarak ta bilinen bu ifade manyetik alan z yönünde ise

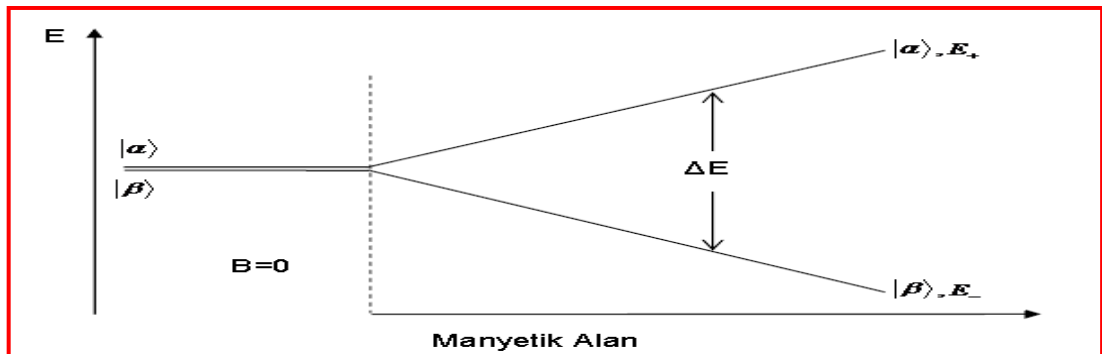
$$H = g\beta\vec{B} \cdot \vec{S}_z \quad (3.4)$$

şekline dönüşür (Poole and Farach, 1972). $S_z = \pm 1/2$ değerlerini alır ve öz vektörleri de $|\alpha\rangle$ ve $|\beta\rangle$ 'dir. (3.4) deki ifadedeki $g\beta B$ skaler bir nicelik olduğundan S_z 'nin vektörleri $|\alpha\rangle$ ve $|\beta\rangle$ aynı zamanda H hamiltoniyenin de öz vektörleri olurlar. Bu özvektörlerin özdeğerleri $\pm 1/2$ olduğundan, bir serbest elektronun enerji özdeğerleri,

$$E_\alpha = +1/2g\beta B \quad (3.5)$$

$$E_\beta = -1/2g\beta B \quad (3.6)$$

olarak bulunur. Yani, spini 1/2 olan bir elektronun üzerine uygulanan manyetik alan sonucunda elektron için mümkün olan iki yarıлма durumu vardır. Şekil 3.2'deki gibi aralarında ΔE kadar enerji farkı olan enerji düzeyleri yaratır. Bu durum Zeeman yarıłmasında E_+ için α , E_- için ise β olarak da gösterilebilir.



Şekil 3.2. ΔE kadar enerji farkı olan enerji

Eğer bu enerji farkına eşit bir elektromanyetik dalga enerjisi verilirse, elektron bu enerjiyi soğurur ve bir üst enerji seviyesine çıkar. Soğurulan mikrodalga enerjisi ile ΔE arasında ki

$$h\nu_o = \Delta E \quad (3.7)$$

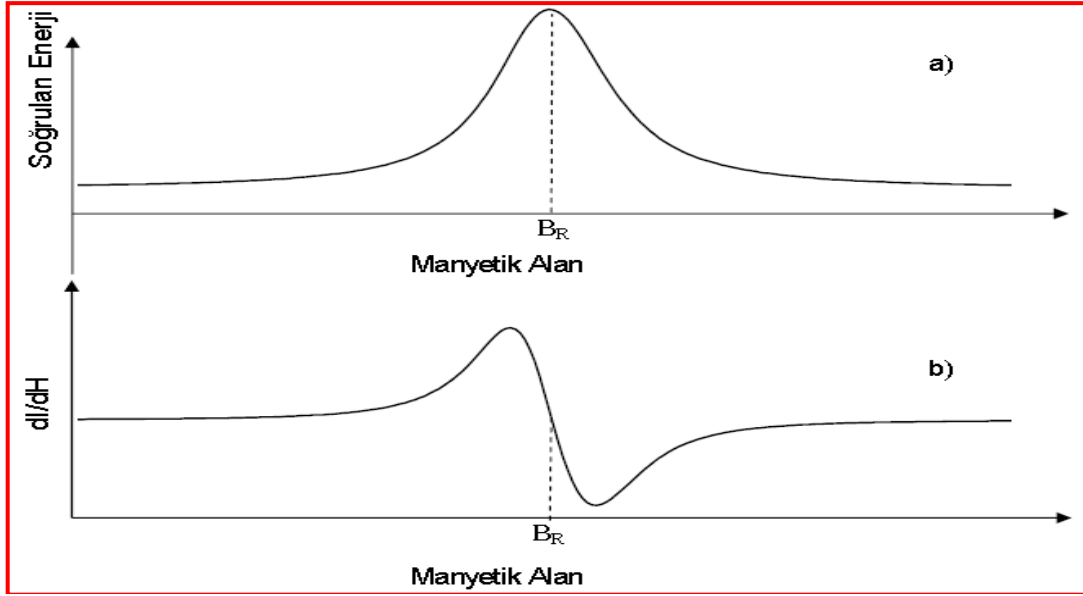
eşitliği ile verilen bağıntıya **rezonans koşulu** denir. Burada h Planck değişmezi (6,626 x 10⁻³⁴ J.s) ve ν_o da elektromanyetik dalganın frekansıdır.

Manyetik alan bir H_o değerinde iken (3.7) eşitliği ile verilen rezonans koşulu

$$h\nu_o = g\beta H_o \quad (3.8)$$

biçimini alır. Bu bağıntıya uyacak şekilde spin sisteminin soğurduğu net enerji ESR spektrumu olarak gözlenir. Burada H_o , rezonans alanı ν_o da rezonans frekansı adını alır (Apaydın, 1996).

Çiftlenimsiz elektronlar dış manyetik alan etkisiyle aynı manyetik alan değerinde rezonansa girmezler. Rezonansa giren çiftlenimsiz elektronların sayısı belirli bir dağılım gösterir. Rezonansa giren çiftlenimsiz elektronların sayısının manyetik alanla değişimi, örneğin ESR soğurma spektrumunu verir. Bir ESR spektrumu, rezonans koşulu dikkate alınarak, ya manyetik alan sabit tutulup uygulanan elektromanyetik alanın frekansı değiştirilerek alınır (frekans taramalı) ya da elektromanyetik alanın frekansı sabit tutulup uygulanan manyetik alan değiştirilerek alınır (alan taramalı). Pratikte çözünürlüğün artırılması, gürültü düzeyinin düşürülmesi gibi nedenlerden ötürü, ESR spektrumları elektromanyetik alanın frekansı sabit tutulup, manyetik alan değiştirilerek soğurma eğrisinin birinci türevi olarak elde edilir (Pilbrow, 1996). Bu şekilde elde edilen soğurma ve birinci türev eğrisi örnekleri Şekil 3.3 'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Dış manyetik alan içerisinde yerleştirilmiş spin sisteminde, a) Soğurulan enerjinin manyetik alana bağlı değişimi, b) Soğurma eğrisinin birinci türevi.

3.1. Spektroskopik Yarıma Çarpanı

ESR spektroskopisinde tanımlı g değeri karakteristik bir büyüklük olup incelenen örneğin elektriksel, manyetik ve yapısal özellikleri hakkında bilgi verir. Bu yüzden ESR sinyalinin g değeri çok önemli bir parametredir. **Rezonans şartı** denklemi kullanılarak teorik g -değeri ve referans olarak kullanılan standardın bilinen g -değeri kullanılarak da numunenin g -değeri teorik olarak hesaplanabilir.

H_0 rezonans alanında gözlenen tek rezonans geçişinden kaynaklanan bir ESR sinyalinin g değeri,

$$g = h\nu / \beta H_0 \quad (3.9)$$

bağıntısı ile verilir. Örneğin spektroskopik yarıma çarpanı olarak g_0 ve standart örneğin spektroskopik yarıma çarpanı olarak g_s temel alınarak,

$$g_0 = h\nu / \beta H_0 \quad (3.10)$$

veya

$$g_0 = g_s H_s / H_0 \quad (3.11)$$

bağıntısı yardımıyla hesaplanır. Bağıntıda geçen H_s standardın, H_0 ise incelenen örneğin rezonans manyetik alan değerleridir. Bu çalışmada örneklere ait ESR sinyallerinin spektroskopik yarıma çarpanlarının (g_0) belirlenmesinde spektroskopik yarıma çarpanı $g_s=2,0036$ olan DPPH (1,1-diphenyl-2-picryl-hydrazyl) standardı kullanılmıştır.

3.2.Aşırı İnce Yapı Etkileşmesi

Aşırı ince yapı etkileşmesi çiftlenimsiz elektronun spini sıfırdan farklı olan tek bir çekirdekle etkileşmeye girmesi sonucunda manyetik alan değerlerinde ortaya çıkan iki rezonans çizgisine yarılmasına neden olur. Bu olay çiftlenimsiz elektronun manyetik momentini ile bağlı bulunduğu çekirdek ve/veya komşu çekirdekle olan etkileşmeleri sonucu ortaya çıkar.

Çiftlenimsiz elektronun bağlı bulunduğu çekirdek veya komşu çekirdeklerin spin kuantum sayılarının sıfırdan farklı olması durumunda, elektronun manyetik momentini dış manyetik alanın yanı sıra çekirdek ve komşu çekirdeklerin oluşturduğu manyetik alanın etkisi altında kalır. Bu etkileşmeler sonucu enerji düzeylerindeki yarılmalara, *aşırı ince yapı yarılmaları* denir. Aşırı ince yapı etkileşmesi, yönser (izotropik) ve yönsemez (izotropik olmayan) aşırı ince yapı etkileşmeleri olarak iki grupta incelenir (Apaydın, 1996).

Yönser aşırı ince yapı etkileşmesi, çiftlenimsiz elektron ile çekirdek arasındaki dipol-dipol etkileşmelerinden kaynaklanır ve dış manyetik alan ile çekirdek-elektron konum vektörü arasındaki açığa bağlıdır. Yönsemez aşırı ince yapı etkileşmesi ise elektronun, çekirdek üzerindeki bulunma olasılığının bir ölçüsüdür (Fermi Değme Etkileşmesi) (Wiel ve Bolton, 2006; Pembegül, 1996). Tez çalışmasına konu olan baharatların selüloz içeren ışınlanmış gıda örneklerinde gamma ışınlanması sonucunda \dot{C} -CH₂ gibi serbest radikallerin oluştuğu bildirilmiştir (Kameya, Ukai ve Shimoyama, 2012).

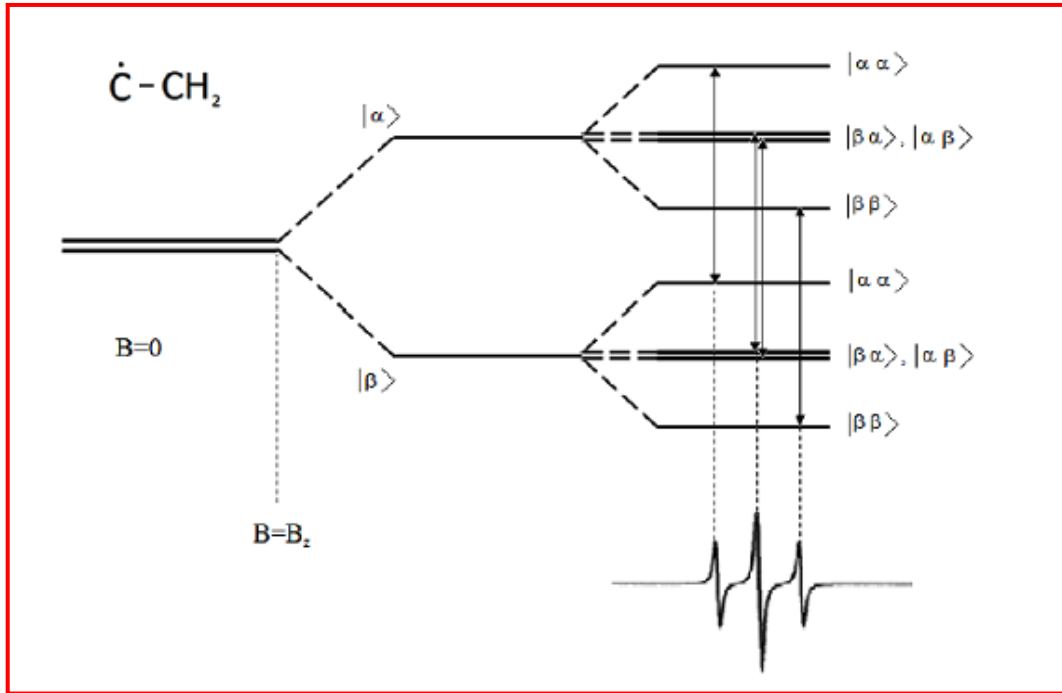
Basit bir örnek olarak, çiftlenimsiz bir elektron ile spin kuantum sayısı $I=1/2$ olan özdeş iki protonun etkileştiği bir sistem ele alınırsa bu durumda Zeeman enerji terimine ilave olarak Hamiltoniyen'e uygun terimler eklenir. Eğer spektroskopik yarıma çarpanı (g) ve aşırı ince yapı (A) tensörleri izotropik ve dış manyetik alan (B) doğrultusu kuantumlanma doğrultusu olarak alınırsa çalışmada incelenen örnekler için Hamiltoniyen,

$$H = g\mu_B H S_z + Ah I_z S_z \quad (3.12)$$

biçiminde yazılır. Burada μ_B , Bohr magnetonu, h Plank sabiti, S_z ve I_z ise sırasıyla elektronun ve onun etkileştiği çekirdeğin spin operatörleridir. Böyle bir Hamiltoniyen'in enerji özdeğerleri ise,

$$H = g\mu_B H M_S + AhM_I M_S \quad (3.13)$$

şeklinde verilir. Burada A , çiftlenimsiz elektron ile proton arasındaki aşırı ince yapı etkileşmesini belirleyen bir değişmez M_S elektronik, M_I çekirdek spin kuantum sayılarını temsil etmektedir. Alan taramalı bir spektrometrede gözlenebilecek ESR spektrumları enerji düzeyleri arasındaki izinli geçişler $\Delta M_S = \pm 1$ ve $\Delta M_I = 0$ şartlarında olur. Çiftlenimsiz elektronun spini $I=1/2$ olan iki özdeş protonla etkileşmesi durumunda enerji düzeylerinde ortaya çıkan yarılmalar, bunlara karşılık gelen elektronik geçişler ve olası ESR spektrumu şekil 3.2.1'de toplu olarak verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi yaklaşık 1:2:1 şiddet oranlarında üç çizgili bir ESR spektrumu elde edilmektedir.



Şekil 3.4. C-CH₂ serbest radikalın enerji seviyelerindeki yarılmalar, geçişler ve bu geçişlerin oluşturdukları ESR spektrumu

3.3.Deneyde Kullanılan ESR Spektrometresi ve Özellikleri

ESR spektrumlarının alımı için, Selçuk Üniversitesi İleri Araştırma Teknoloji ve Uygulama Merkezi (İLTEK)' nde bulunan JEOL JES-FA300 X-band ESR spektrometresi kullanılmıştır. Şekil 3.5 da gösterilen ESR spektrometresinin özellikleri aşağıdaki gibidir.

Frekans: 8.75-9.65 GHz

Duyarlılık: 7×10^9 spin / 0.1 mT

Çözünürlük: 2.35×10^{-6} T veya daha iyi

Mod: TE011 silindirik

Q: 18.000 veya üzeri

Manyetik alan mod. genliği: 0,0002-2 mT (100 kHz), 0,0002-1 mT (50 kHz), 0,0002-0,2 mT (25 kHz)

Manyetik alan tarama genişliği: 0 - (\pm 500 mT)

Manyetik alan tarama zamanı: 0,1 s – 12 saat

Manyetik alan değişim aralığı: -10 – 1400 mT



Şekil 3.5. Selçuk Üniv. İLTEK de bulunan JEOL JES-FA300 X-band ESR spektrometresi

4. DENEYSEL ADIMLAR, TARTIŞMA VE SONUÇLAR

4.1.Örnek Hazırlanması

Bu çalışmada radyasyonun örnekler e etkisi ESR tekniği kullanılarak araştırılmıştır. Bu kapsamda ışınlanmış ve ışınlanmamış örneklerin farklı şartlarda spektrumları alınmış ve analiz edilmiştir. Örneklerin yapısındaki paramanyetik merkezlerin radyasyon dozuna bağlılığını incelemek için doz-ekleme yöntemiyle doz-cevap eğrisi oluşturulmuştur. Bu paramanyetik merkezlerin ısıl kararlılığını belirlemek için eş-ısl ve eş-sürel i tavlama çalışmaları yapılmış ve merkezlerin ısıl kinetik davranışı belirlenmiştir. Ayrıca oda sıcaklığı kararlılıklarını belirlemek için oda sıcaklığı kinetiği deneyi yapılmıştır.

Bu tez kapsamında daha önce herhangi bir kimyasal veya fiziksel işlemden geçmemiş olan örnekler Konya'da yerel bir aktardan satın alınmıştır. Öğütölmemiş doğal örneklerimiz şekil 4.1, şekil 4.2 ve şekil 4.3 de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Öğütölmemiş doğal kişniş örneği



Şekil 4.2. Öğütülmemiş doğal üzüm çekirdeği örneği



Şekil 4.3. Öğütülmemiş doğal aspir örneği

Alınan tüm örnekler öncelikle saf su ile yıkanmış, oda sıcaklığında karanlık bir ortamda, tozlardan korunması sağlanarak 5-10 gün süre içinde kurutulmuştur. Örneklerin minimum nem içeriğine sahip olmaları sağlanmıştır.

Kurutma işleminin ardından örnekler Şekil 4.4 de gösterildiği gibi agat havanda yavaş vurma adımlarıyla öğütülmüş ve farklı tane boyutlu elekler yardımıyla 125-250 μm tane boyu aralığına getirilmiştir.



Şekil 4.4. Agat havan ve farklı tane boyutlarında eleklerimiz

Uygun tane boyu aralığında öğütülen örneklerin herbirinden (Şekil 4.5) eşit kütlelerde eppendorf tüplere konularak toplam 6 paket (1 adet doğal, 5 adet farklı dozlarda ışınlanacak) hazırlanmıştır.



Şekil 4.5. Öğütülmüş ve paketlenmiş aspir örneği

4.2.Örneklerin Işınlanması

Işınlama işlemlerinin tamamı ticari amaçla 1994 yılında Tekirdağ-Çerkezköy’de kurulmuş olan Gamma-Pak ışınlama tesisinde bulunan radyoaktif ^{60}Co gama ışınlama kaynağında atmosferik şartlar altında gerçekleştirilmiştir.

Eppendorf tüplere konulan örnekler Şekil 4.6 gösterildiği gibi paketlenerek her biri gıda ışınlama prosedürüne uygun olarak 3, 5, 7, 10 ve 12 kGy doz değerlerinde ışınlanmıştır.



Şekil 4.6. Gamma-Pak ışınlama tesisinde ışınlanan numuneler

4.3.ESR Analizi ve Paramanyetik Merkezlerin Belirlenmesi

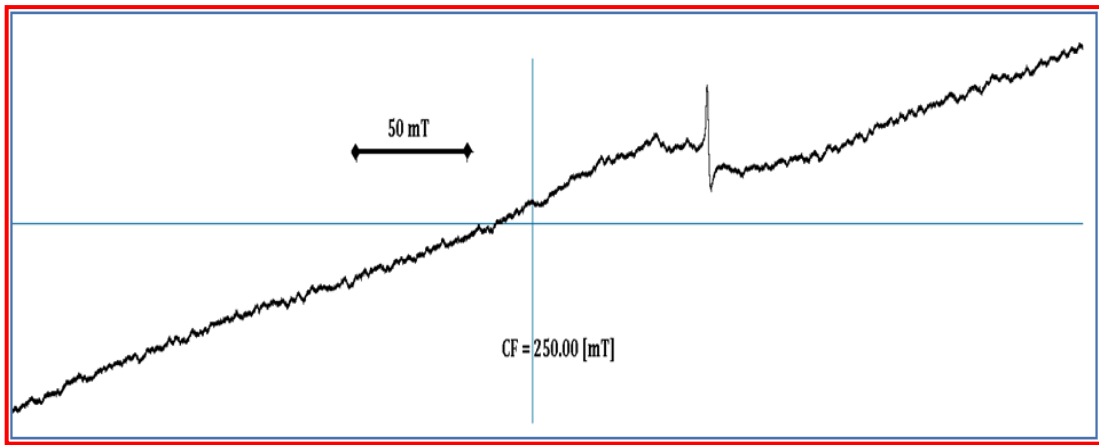
Işınlama işleminin ardından Şekil 4.5 de gösterildiği gibi farklı dozlarda ışınlanan örneklerin her biri Precissa model hassas teraziye tartılarak eşit kütlelerde kuvars ESR tüplerine yerleştirilmiştir.



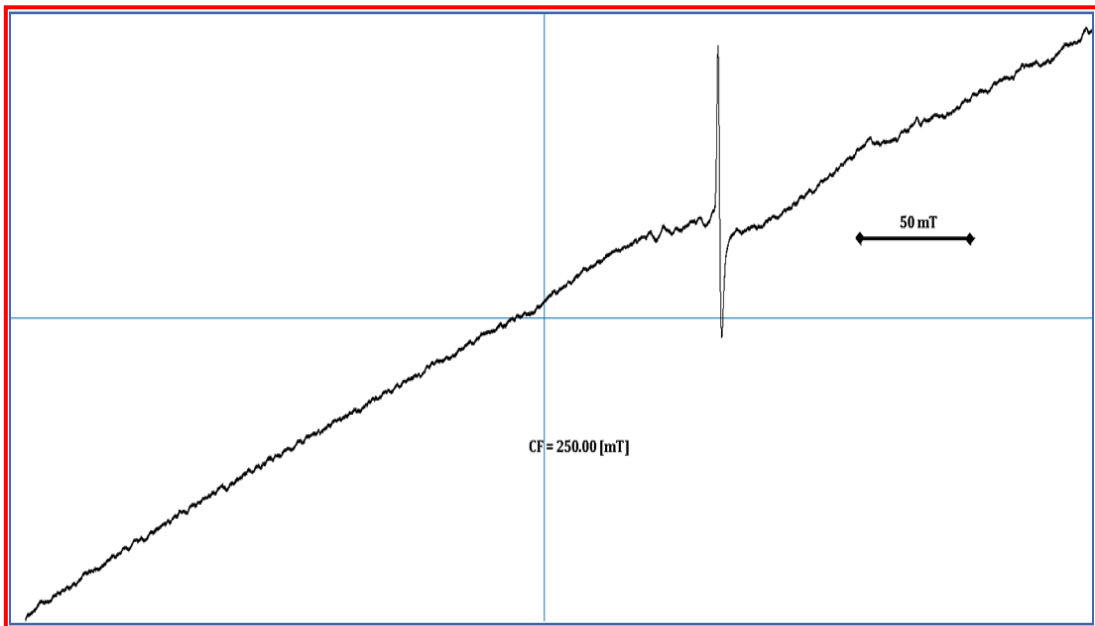
Şekil 4.7. Hassas teraziye tartılan ve ESR tüplerine konulan örnekler

4.3.1. Kışniş Örneğinin Analizi

Işınlamanın etkisini inceleyebilmek için öncelikle ışınlanmamış (doğal) ve 12 kGy ışınlanmış kışniş örneğinin ESR spektrumu şekil 4.8 da gösterildiği gibi oda sıcaklığında 500 mT tarama aralığında kaydedilmiştir. Doğal örnekte spektroskopik yarıлма çarpanı $g=2,0$ olan selüloz pikinin ışınlama sonrası sinyal şiddetinin arttığı görülmektedir. Ayrıca ESR spektrumu taban çizgisi (baseline) düz değildir bu durum ise örneğin yapısında demir olduğunu gösterir.

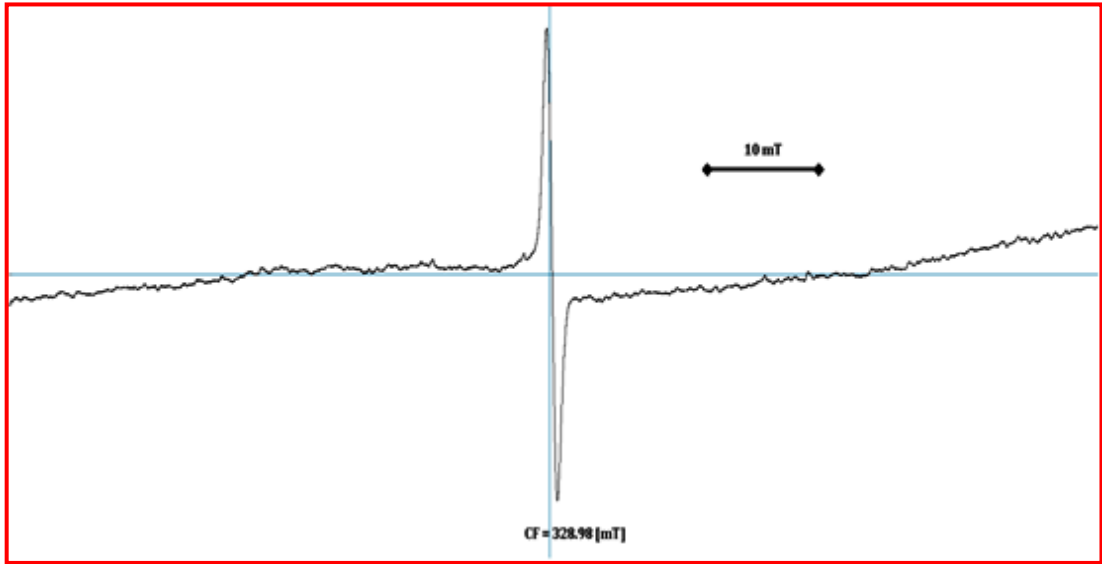


Şekil 4.8. 500 mT tarama aralığında alınmış doğal kışniş örneğinin ESR spektrumu

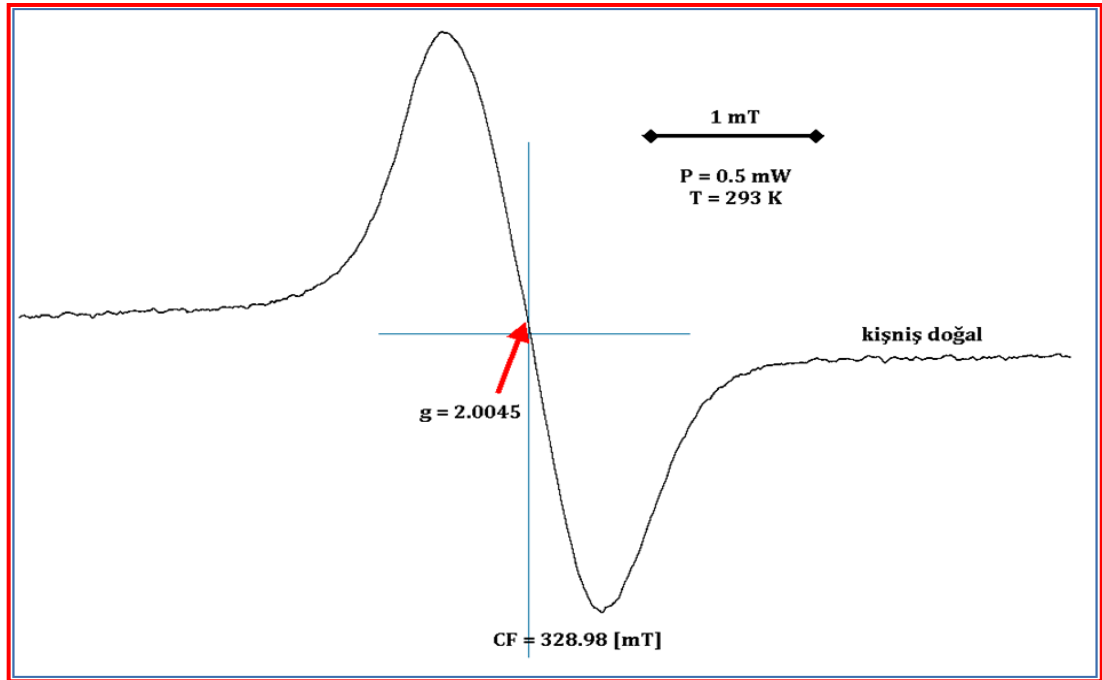


Şekil 4.9. 500 mT tarama aralığında alınmış 12 kGy ışınlanmış kışniş örneğinin ESR spektrumu

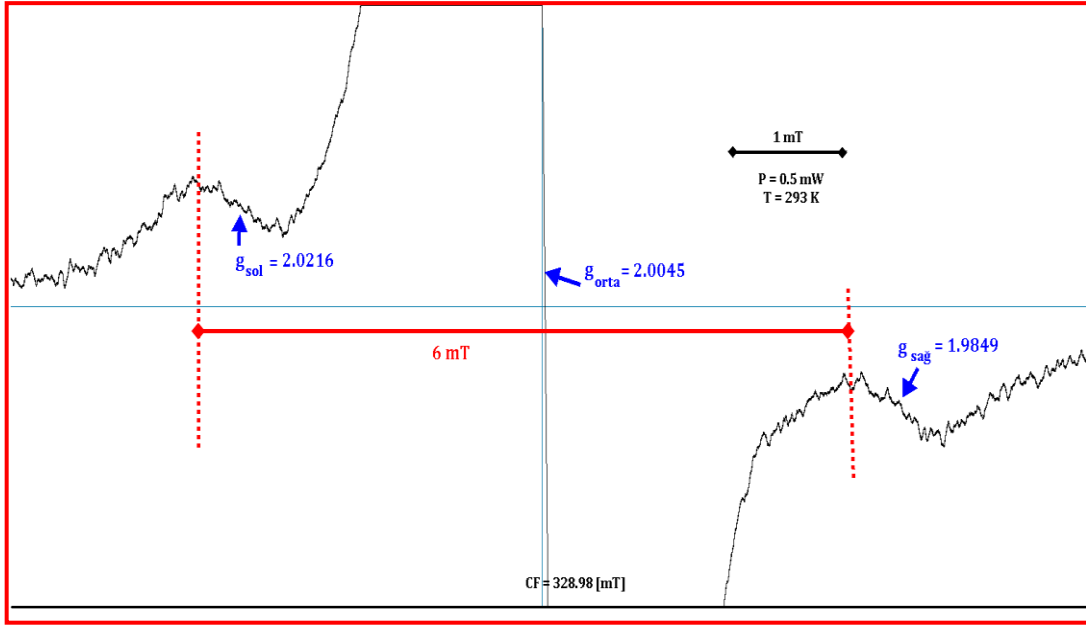
Işınlama ile oluşabilecek uydu piklerinin varlığını veya herhangi başka bir paramanyetik merkezi gözlemleyebilmek için daha dar manyetik alan tarama aralıklarında spektrumlar kaydedilmiştir. Şekil 4.9 de 100mT ve Şekil 4.10 de 10 mT tarama aralığında oda sıcaklığında alınan spektrumlar verilmiştir. Şekil 4.12 da ışınlama sonucu gözlenen uydu pikler gözlemlenmiştir.



Şekil 4.10. Doğal kişniş örneği 100 mT tarama genişliğinde alınmış ESR spektrumu



Şekil 4.11. 10mT tarama aralığındaki doğal kişniş örneği

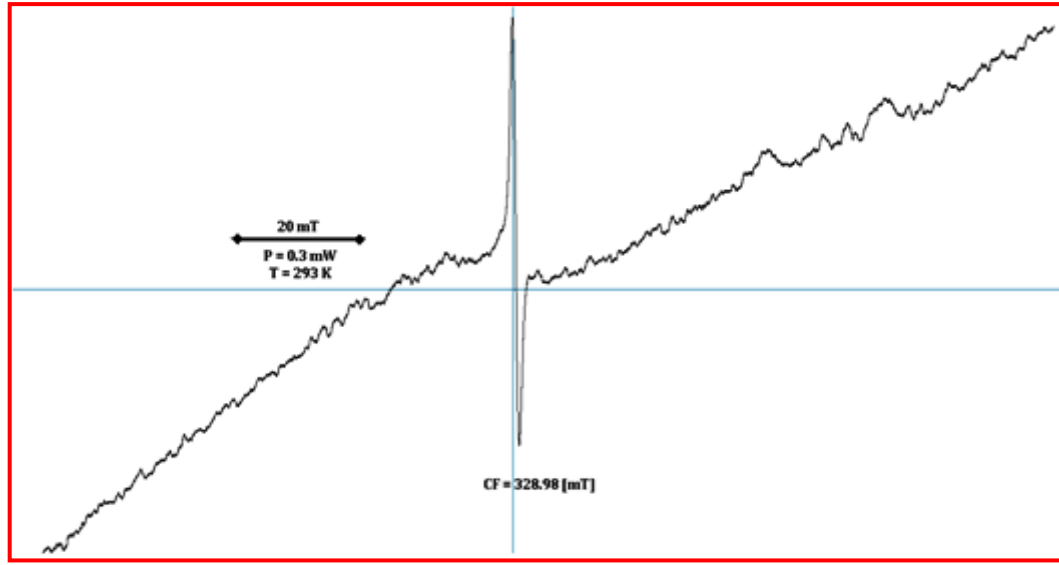


Şekil 4.12. 10mT tarama aralığındaki 12 kGy ışınlanmış kişniş örneğine ait oda sıcaklığında alınmış ESR spektrumları

Bu ölçüm koşullarında doğal kişniş örneğinde $g = 2,0045$ değerinde tekli bir sinyal görülmektedir. Bu sinyal literatürde selüloz piki olarak tanımlanmıştır. Tez çalışmasına konu olan kişniş, üzüm çekirdeği ve aspir gibi selüloz içeren ışınlanmış gıda örneklerinde gama ışınlaması sonucunda $\dot{C}\text{-CH}_2$ gibi serbest radikallerin oluştuğu bildirilmiştir (Kameya, Ukai ve Shimoyama, 2012). Örneklerin 12 kGy doz alacak şekilde ışınlanmaları ile bu tekli sinyalin şiddetinin önemli bir biçimde artış gösterdiği buna karşılık spektroskopik yarıma çarpanı (g) değerinin ışınım dozundan etkilenmediği gözlenmiştir. Örneklerin 12 kGy ışınlanması ile bu tekli sinyale ilave olarak bu sinyalin her iki yanında spektroskopik yarıma çarpanları $g_{\text{sol}} = 2,0216$ ve $g_{\text{sag}} = 1,9849$ olan iki ayrı ESR sinyali (uydu pikleri) gözlenmiştir (Şekil 4.12). Merkezi pikin ($g = 2,0045$) sol ve sağ yanında ışınlama ile oluşan bu iki sinyal arasındaki aşırı ince yapı yarılmaları 6 mT olarak ölçülmüştür. Uydu piklerinin bulunduğu manyetik alan bölgesinde bu piklerinin sinyal şiddetini veya g değerinin ölçülmesini zorlaştıracak herhangi başka bir sinyal gözlenmemiştir, bu durum bu piklerin doza bağlı davranışlarının incelenebilmesi açısından olumludur.

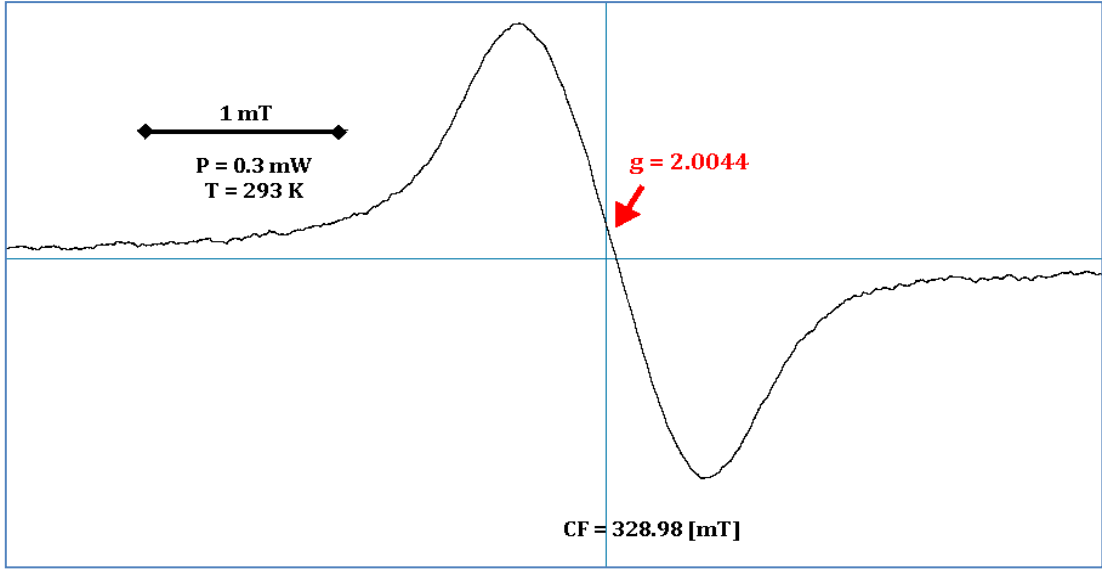
4.3.2. Üzüm Çekirdeği Örneğinin Analizi

Doğal ve 12 kGy ışınlanmış üzüm çekirdeği örneklerinin ESR spektrumları oda sıcaklığında 500 mT, 200 mT ve 10 mT tarama aralıklarında kaydedilmiştir. Şekil 4.13 da verilen doğal üzüm çekirdeğinin 200 mT tarama aralığında alınmış ESR spektrumunda $g=2$ bölgesinde keskin ve şiddetli selüloz piki gözlenmektedir. Spektrumda kişniş örneğinde olduğu gibi demir sinyali nedeniyle ESR taban çizgisi düz değildir.

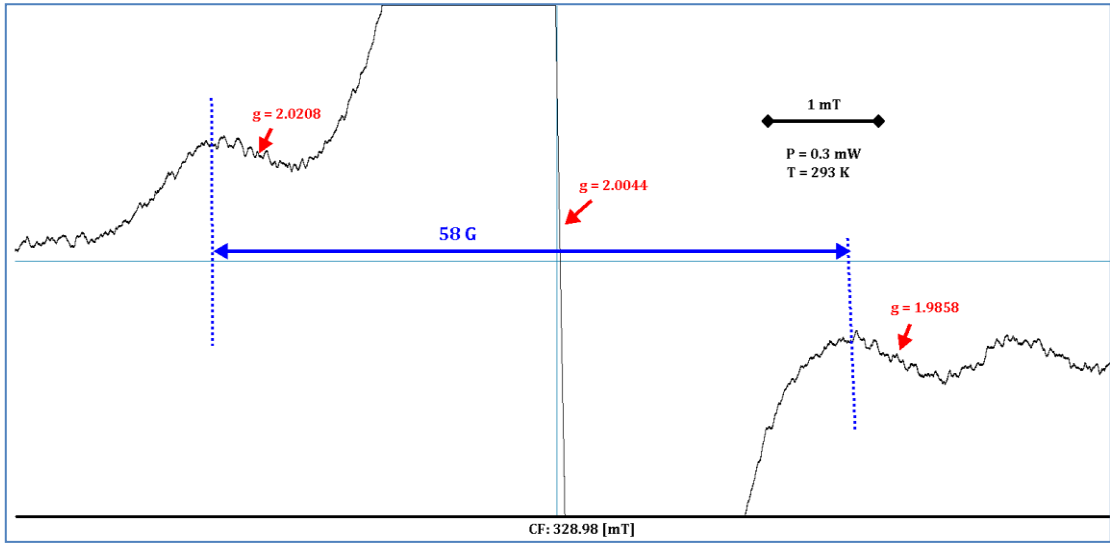


Şekil 4.13. Doğal üzüm çekirdeği 200 mT tarama aralığında alınan ESR spektrumu

Şekil 4.13 da verilen 10 mT tarama aralığında kaydedilen ESR spektrumunda doğal üzüm çekirdeği örneğinde $g=2,0044$ değerinde tekli merkezi sinyal ve 12 kGy ışınlanmış örnekte bu sinyale ilave olarak sinyalin sağında ve solunda spektroskopik yarımla çarpanları $g_{sol} = 2,0208$ ve $g_{sağ} = 1,9858$ olan iki ayrı ESR sinyali gözlenmiştir. Tekli merkezi pikin ($g=2,0044$) sol ve sağ yanında ışınlama ile oluşan bu iki sinyal arasındaki mesafe yaklaşık 5.8 mT olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.14. 10mT tarama aralığındaki doğal üzüm çekirdeği örneği



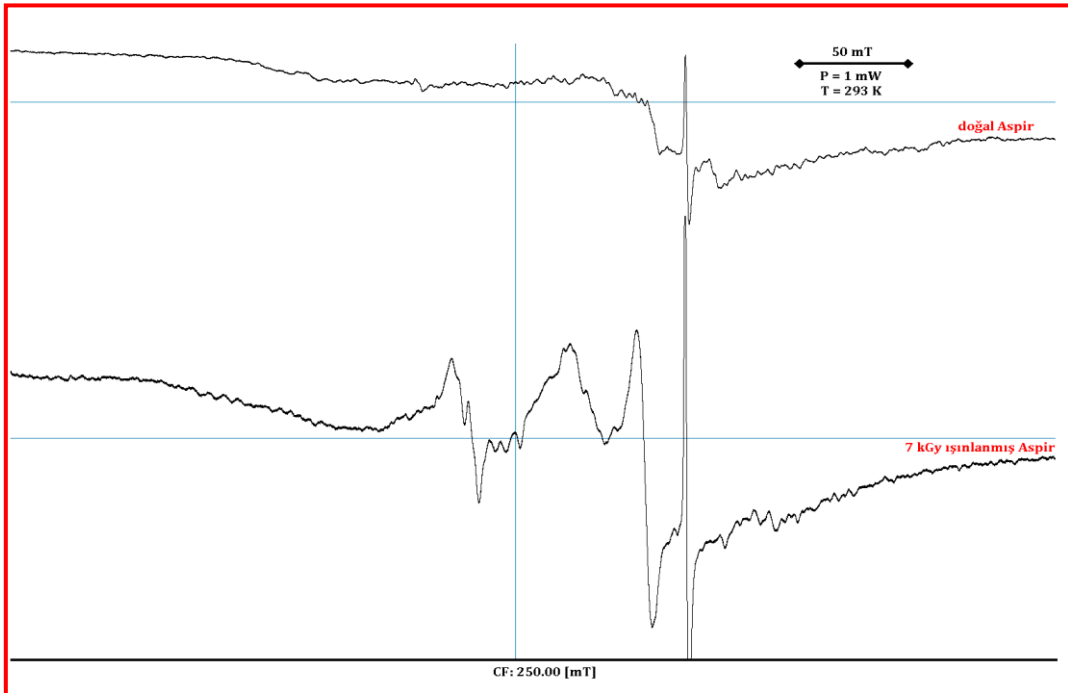
Şekil 4.15. 10mT tarama aralığındaki 12 kGy ışınlanmış üzüm çekirdeği örneğine ait oda sıcaklığında alınmış ESR spektrumları

4.3.3. Aspir Örneğinin Analizi

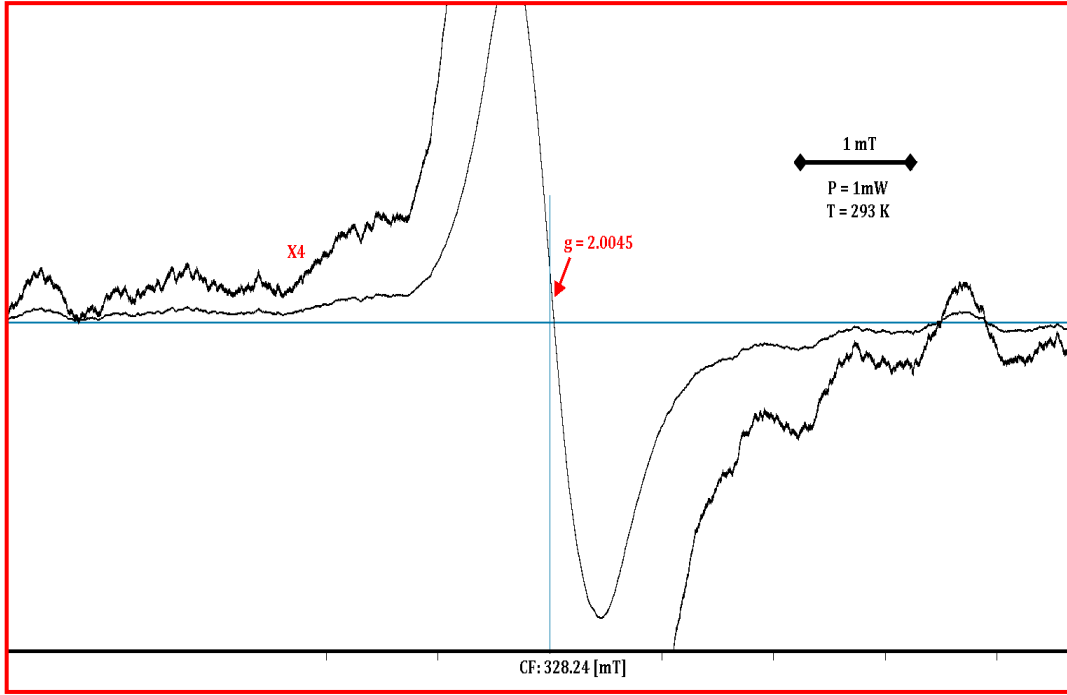
Şekil 4.16 da verilen doğal aspir örneğinin 500 mT manyetik alan tarama aralığında kaydedilen ESR spektrumu 7 kGy dozda ışınlanmış aspir örneğinin ESR spektrumu ile kıyaslandığında doğal örnekte selüloz pikinin bulunduğu bölgede gürültüyle karışan küçük sinyallerin ve demir pikinin olduğu, ışınlanmış örnekte ise geniş bir manyetik alan bölgesinde çok sayıda pikin ortaya çıktığı gözlenmektedir. Işınlama ile oluşan bu tanımlanamayan sinyaller aktardan satın alınan aspir baharatı içinde bulunabilecek olası safsızlıklar nedeniyle olabilir. Bu safsızlıkların radyasyona

duyarlı olduğunu ve ESR sinyal şiddetlerinin soğurulan gamma dozu ile arttığını söylemek mümkündür.

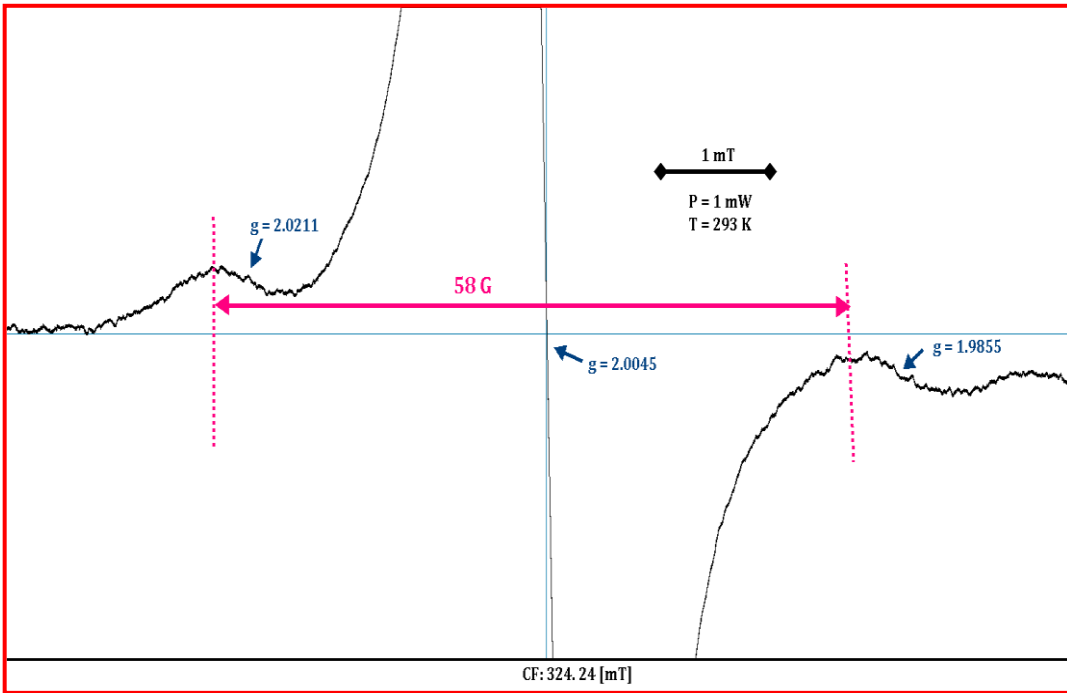
Kişniş ve üzüm çekirdeği örneklerinde de gözlemlediğimiz selüloz piki aspir örneğinde de $g=2,0045$ bölgesinde gözlemlenmiştir. Fakat diğerlerinden farklı olarak doğal aspir örneğinde selüloz pikinin bulunduğu manyetik alan bölgesinde safsızlığa ait ESR sinyallerine rastlanmıştır, 10 mT tarama aralığında kaydedilen ilgili spektrum Şekil 4.17 de gösterilmiştir. Bu bölge selüloz içeren gıdalarda ışınlama ile oluşan uydu piklerinin ortaya çıkacağı manyetik alan bölgesidir. Şekil 4.18 de gösterilen 7 kGy ışınlanmış aspir örneğinin ESR spektrumunda $g_{sol}= 2,0211$ ve $g_{sağ}=1,9855$ spektroskopik yarıma çarpanı değerlerine sahip uydu piklerinin ortaya çıktığı gözlenmektedir. Uydu pikleri arası üzüm çekirdeği ve kişniş örneği ile uyumlu olarak 58 G değerindedir. Fakat farklı dozlarda ışınlanmış aspir örneklerinde uydu pikleri ile safsızlık pikleri birbiri üstüne gelmekte ve uydu piklerinin tespit edilmesi zorlaşmaktadır. Bu nedenle aspir örneği için örnek saflaştırılmadıkça ışınlama ile uydu piklerinin nasıl değiştiğini takip etmek güçtür.



Şekil 4.16. Doğal ve 7 kGy ışınlanmış Aspir örneği 500 mT tarama aralığında ESR spektrumları



Şekil 4.17. Doğal Aspirin örneği 10 mT tarama aralığında alınan ESR spektrumu



Şekil 4.18. 7 kGy ışınlanmış Aspirin örneği 10 mT tarama aralığında alınmış ESR spektrumu

4.3.4. Genel Değerlendirme

Kışniş, üzüm çekirdeği ve aspirin örnekleri spektroskopik yarıma çarpanı yaklaşık $g=2,0$ bölgesinde selüloz piki olarak da tanımlanan tekli merkezi sinyal içermektedir. Birçok baharat ve şifalı otlarda gözlenen bu tekli ESR sinyalinin kökeni kesin olarak

bilinmemekle birlikte, bu sinyalin bitkilerin yapılarında bulunan çoklu fenolik bileşiklerin oksidasyonu sonucunda oluşabilen semikinon tipindeki serbest radikallerden kaynaklanmış olabileceği belirtilmektedir (Raffi ve Agnel, 1989; Raffi ve Stocker, 1996). Işınlanmış kişniş, üzüm çekirdeği ve aspir örneklerinin ESR spektrumlarında bu tekli merkezi sinyale ek olarak merkezi sinyalin sağında ve solunda ışınlama ile oluşan uydu pikleri ortaya çıkmıştır. Selüloz içeren örneklerde ışınlama sonucunda oluşan bu iki uydu pikinin, çiftlenimsiz elektronun eşdeğer iki proton ile aşırı ince yapı etkileşmesi sonucunda oluşan ve aşırı ince yapı sabiti yaklaşık $3 \pm 0,1$ mT olarak verilen üç çizgili ESR spektrumunun bileşenleri olduğu rapor edilmektedir (Raffi ve Agnel 1989; Raffi et al. 2000; Yordanov ve Gancheva 2000; Yordanov et al. 2009). Selüloz içeren ışınlanmış gıda örneklerinde gözlenen bu üçlü ESR sinyal yapısının, ışınlama ile selüloz içerisinde oluşan ortorombik ve aksenel simetri özelliği gösteren serbest radikallerden kaynaklandığı bildirilmektedir (Kameya et al., 2012). Selüloz içeren ışınlanmış gıda örneklerinin tespiti ile ilgili günümüzde bir Avrupa standardı mevcuttur (EN 1787, 2000). Bu Avrupa standardı temel alındığında, ışınlanmamış (kontrol) örnek spektrumlarının yaklaşık 3 mT sol ve sağ yanlarında ışınlama sonucunda gözlenen ESR sinyallerinin varlığı örneklerinin ışınlanmış olduklarının kesin kanıtıdır. Diğer bir deyişle selüloz içeren ışınlanmış gıda örneklerinde merkezi sinyalin sol ve sağ yanlarında gözlenen iki uydu sinyalinin varlığı örneklerin ışınlanmış olduklarının bir göstergesidir.

4.4. Mikrodalga Güç Çalışması

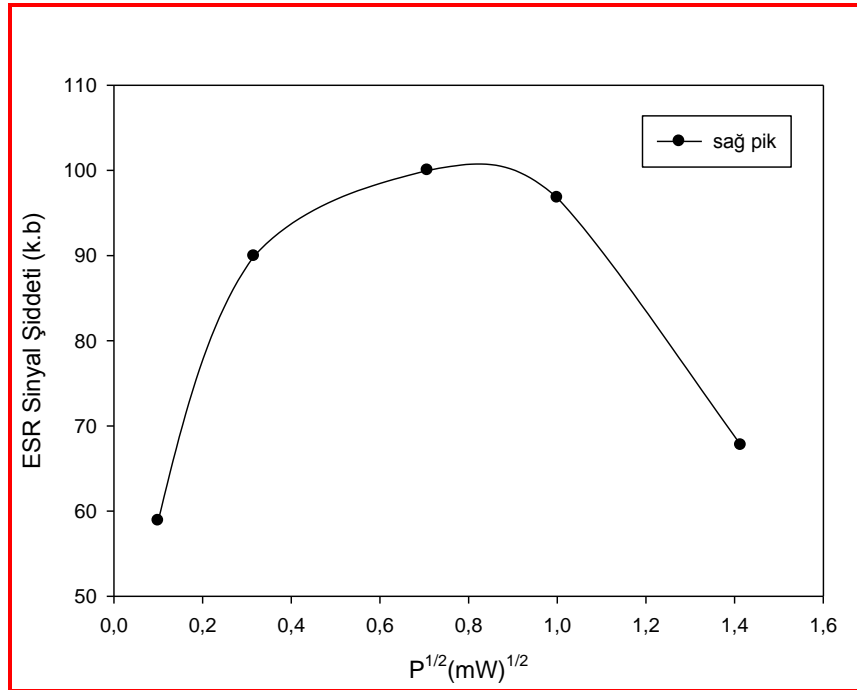
Bu çalışmanın amacı doğal numunelerde ve ışınlanmış örneklerde gözlenen ESR sinyallerinin mikrodalga gücüne bağlı değişimlerini inceleyip hangi mikrodalga güç değerinde doyuma ulaştıklarını belirlemektir. Bu tez çalışmasında özellikle ESR spektrumu sinyal şiddeti göz önüne alınarak değerlendirmeler yapıldığı için ESR spektrumları doyumdan uzak mikrodalga güç değerlerinde alınmalıdır. Aksi takdirde doyum nedeniyle ESR sinyalin radyasyon dozu, sıcaklık vs. gibi diğer etkilere karşı değişimini incelemek mümkün olmayacaktır.

Bu aşama spektrometrenin ayarlanabildiği en düşük güç değerinden başlanarak, mikrodalga gücü artırılarak yürütülmüştür. Kişniş, üzüm çekirdeği ve aspir gibi farklı numuneler için mikrodalga doyum davranışlarının farklı olabileceği düşüncesinden

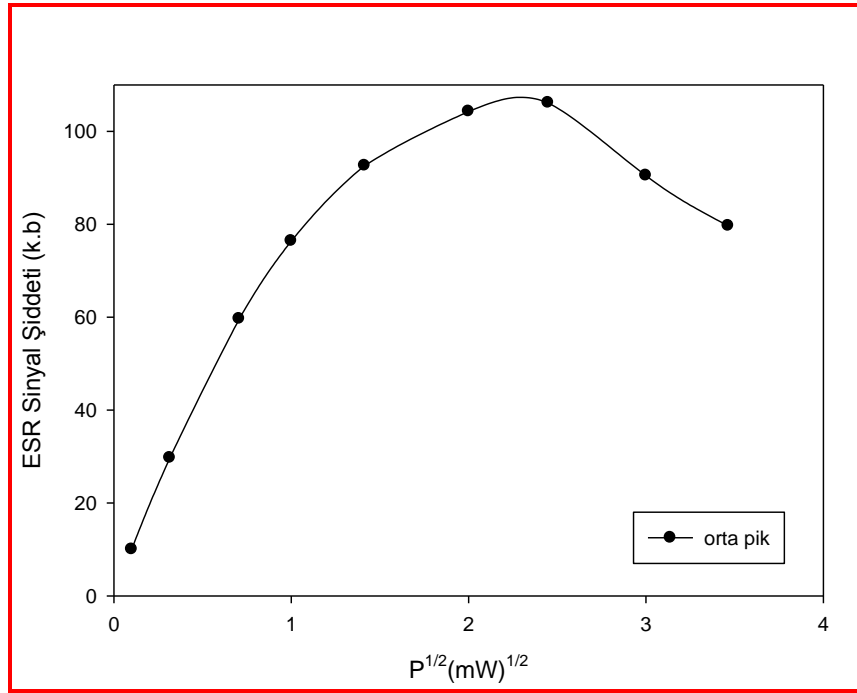
hareketle ışınlanmış toz halindeki numuneler 0,01 ile 48 mW aralığında incelenmiş, mikrodalga gücüne bağlı olarak ortaya çıkan değişimler her bir örnek için ayrı ayrı gözlemlenmiştir.

İşinlanmış **kişniş** örneklerindeki sinyallerin mikrodalga gücüne bağlı değişimi 7 kGy ışınlanmış örnekler kullanılarak, spektroskopik yarıлма çarpanı $g=2,0045$ olan tekli merkezi sinyal ve $g=1,9849$ olan sağ uydu piki incelenmiştir.

7 kGy dozda ışınlanmış kişniş örneğinde ESR sinyal şiddetlerinin 0,01-12 mW mikrodalga gücü aralığındaki değişimleri izlenmiştir. Sağ uydu pikinde çabuk doyuma ulaşıldığı için örnekler 0,01-2 mW aralığında incelenirken, tekli merkezi sinyal pikinde 0,01-12 mW aralığında değişimler gözlemlenmiş ve sinyal şiddetlerindeki değişimler mikrodalga gücünün kareköküne bağlı olarak çizdirilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar Şekil 4.19 ve Şekil 4.20 'de gösterilmiştir. ESR deneylerinde doyumdan uzak mikrodalga güçlerinde çalışmak genel bir kuraldır. Grafikler dikkate alındığında özellikle sağ uydu piki için doyumdan uzak olan 0,5 mW mikrodalga gücünün seçilmesi gerektiği görülmektedir. Bu nedenle tez çalışması kapsamındaki tüm kişniş örneği ESR ölçümlerinde mikrodalga gücü 0,5 mW olarak seçilmiştir.



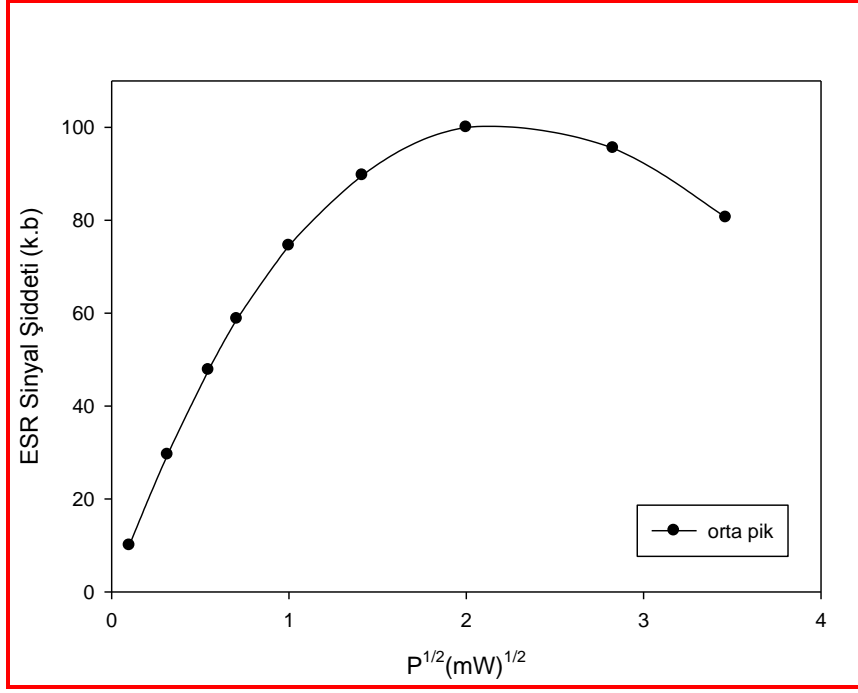
Şekil 4.19. 7 kGy ışınlanmış kişniş örneklerinin $g=1,9849$ olan sağ uydu pikinin ESR sinyal şiddetinin mikrodalga gücüne bağlı değişimleri.



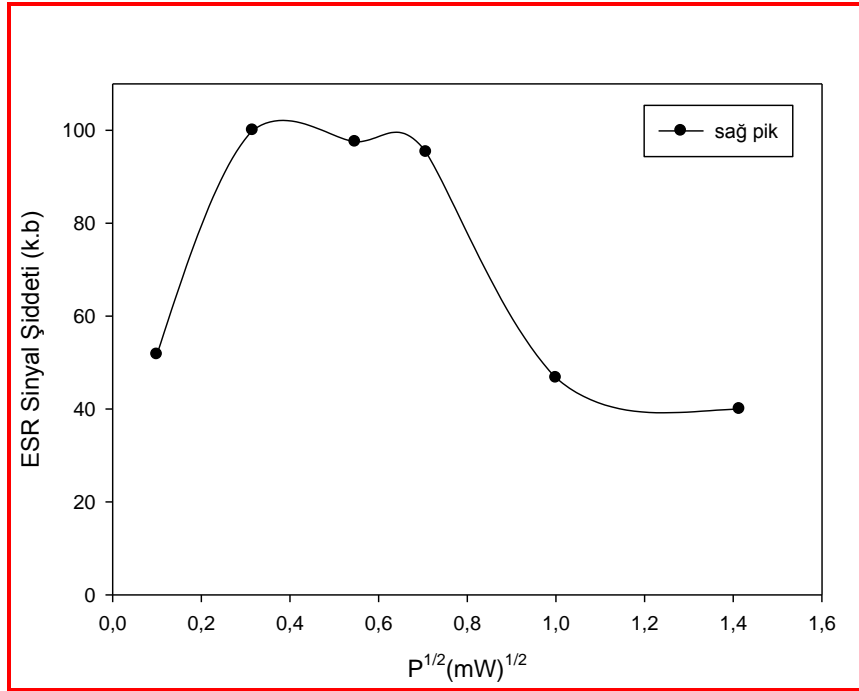
Şekil 4.20. 7 kGy ışınlanmış kişniş örneklerinin $g=2,0045$ olan tekli merkezi sinyal piki ESR sinyal şiddetlerinin mikrodalga gücüne bağlı değişimleri

Aynı şekilde ışınlanmış **üzüm çekirdeği** örneklerindeki sinyallerin mikrodalga gücüne bağlı değişimi izlenirken 7 kGy ışınlanmış örnekler kullanılmış ve oluşan uydu piklerinden spektroskopik yarımla çarpanı $g=1,9858$ olan sağ uydu piki ile spektroskopik yarımla çarpanı $g=2,0044$ olan tekli merkezi sinyal seçilmiştir.

7 kGy dozda ışınlanmış üzüm çekirdeği örneğinde tekli merkezi sinyal ESR sinyal şiddetinin 0,01-12 mW mikrodalga gücü aralığındaki değişimleri izlenmiştir. Sağ uydu piki çabuk doyuma ulaştığı için 0,01-2 mW aralığı grafiklendirilmiştir. Her iki pik için güç grafikleri sırasıyla Şekil 4.21 ve Şekil 4.22 de verilmiştir. Sağ uydu piki 0,3 mW mikrodalga gücünden sonra doyuma ulaşmaktadır, bu nedenle üzüm çekirdeği örneklerinin ESR ölçümlerinde mikrodalga güç değeri 0,3 mW olarak seçilmiştir.



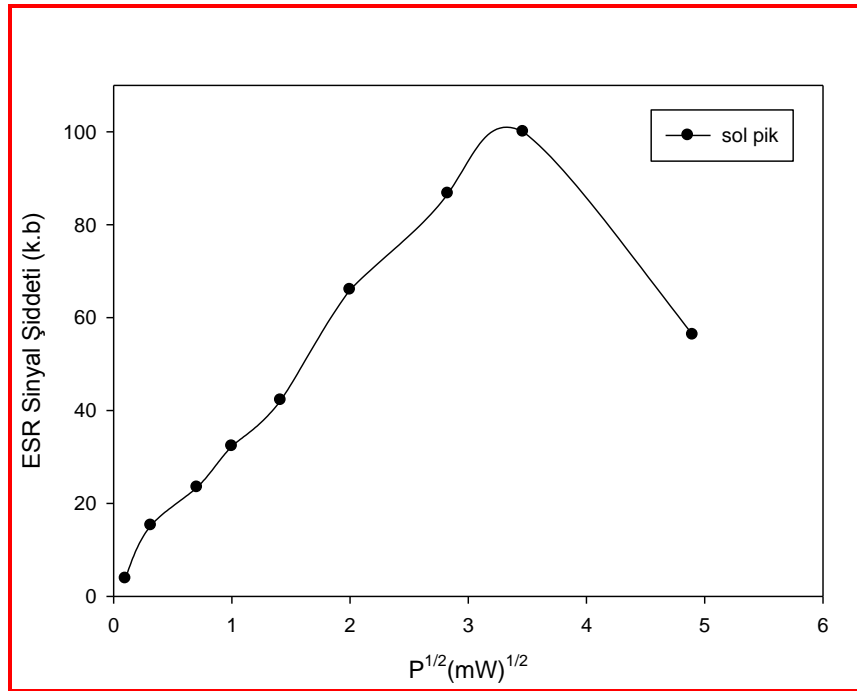
Şekil 4.21. 7 kGy ışınlanmış üzüm çekirdeği örneklerinin $g=2,0044$ olan tekli merkezi sinyal piki ESR sinyal şiddetlerinin mikrodalga gücüne bağlı değişimleri



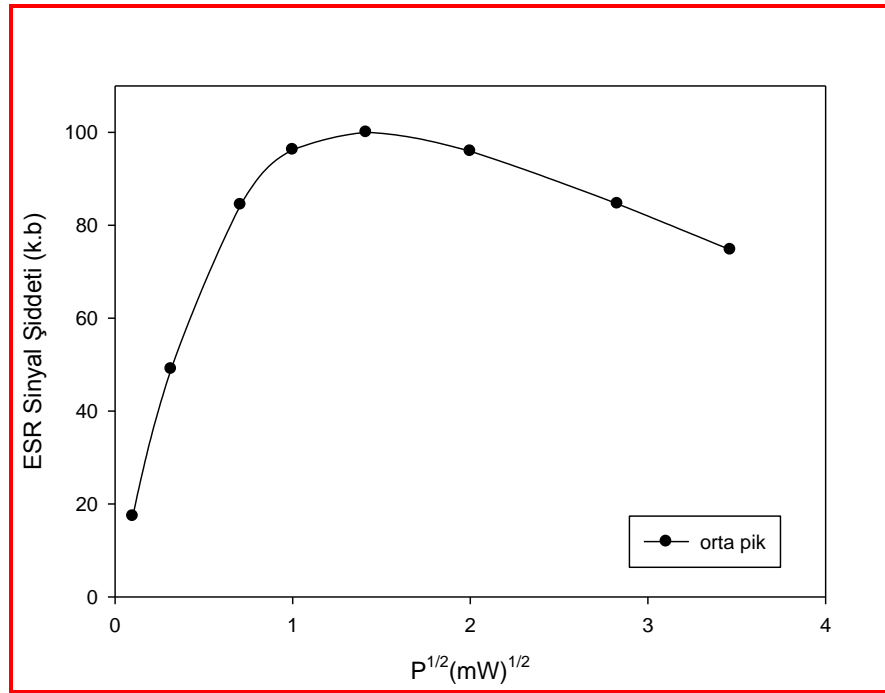
Şekil 4.22. 7 kGy ışınlanmış üzüm çekirdeği örneklerinin $g=1,9858$ olan sağ uydur pikinin ESR sinyal şiddetinin mikrodalga gücüne bağlı değişimleri.

Farklı bir yapıya sahip olup üzerinde bulunan safsızlıktan dolayı incelenmesi biraz zor olan ışınlanmış **aspir** örneklerindeki sinyallerin mikrodalga gücüne bağlı değişimi izlenirken de 7 kGy ışınlanmış örnekler kullanılmıştır. Oluşan uydu piklerinden spektroskopik yarıma çarpanı $g=2,0211$ olan sol uydu piki ile spektroskopik yarıma çarpanı $g=2,0045$ olan tekli merkezi sinyal piki seçilmiştir.

7 kGy dozda ışınlanmış aspir örneğinde ESR sinyal şiddetinin 0,01-24 mW mikrodalga gücü aralığındaki değişimleri izlenmiştir. İncelemeler sonucunda aspir örneğinde sol uydu pikinde 12 mW' a kadar herhangi bir doyum eğilimi gözlenmezken 24 mW değerinde keskin bir düşüş gözlenmiştir. Tekli merkezi sinyal pikinde 0,01- 12 mW aralığında değişimler gözlemlenmiş ve yaklaşık 1mW değerinde doyum gözlenmiştir. Her bir pik için sinyal şiddetinin mikrodalga gücünün kareköküne bağlı değişimi Şekil 4.23 ve Şekil 4.24' de verilmiştir. Tez çalışması kapsamındaki tüm aspir örneği ESR ölçümlerinde doyumdan uzak olan 1 mW mikrodalga gücü kullanılmıştır.



Şekil 4.23. 7 kGy ışınlanmış aspir örneğinin $g=2,0211$ olan sol uydu pikinin ESR sinyal şiddetinin mikrodalga gücüne bağlı değişimleri.



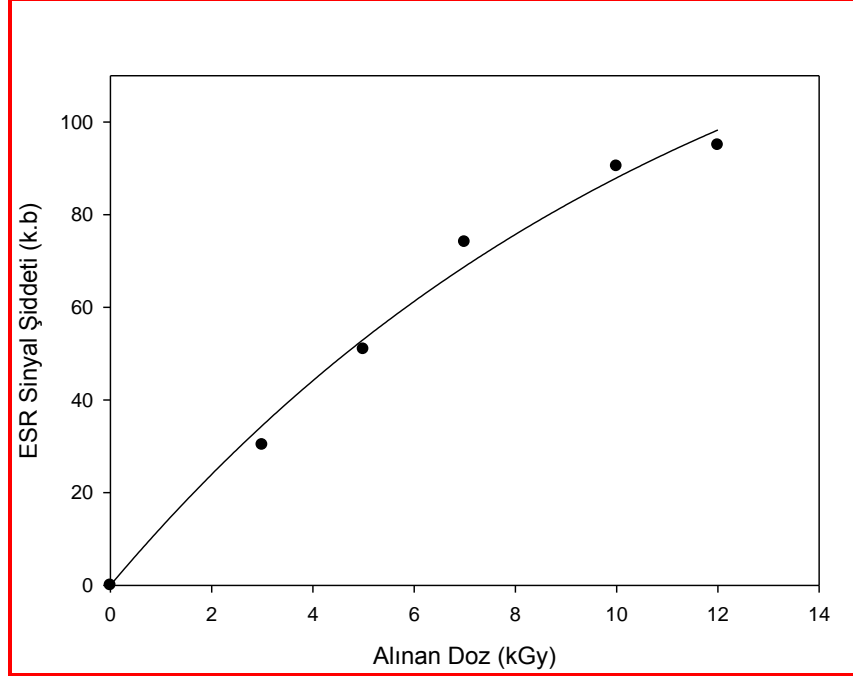
Şekil 4.24. 7 kGy ışınlanmış aspir örneklerinin $g=2,0045$ olan tekli merkezi sinyal piki ESR sinyal şiddetlerinin mikrodalga gücüne bağlı değişimleri

4.5. Doz – Cevap Eğrileri

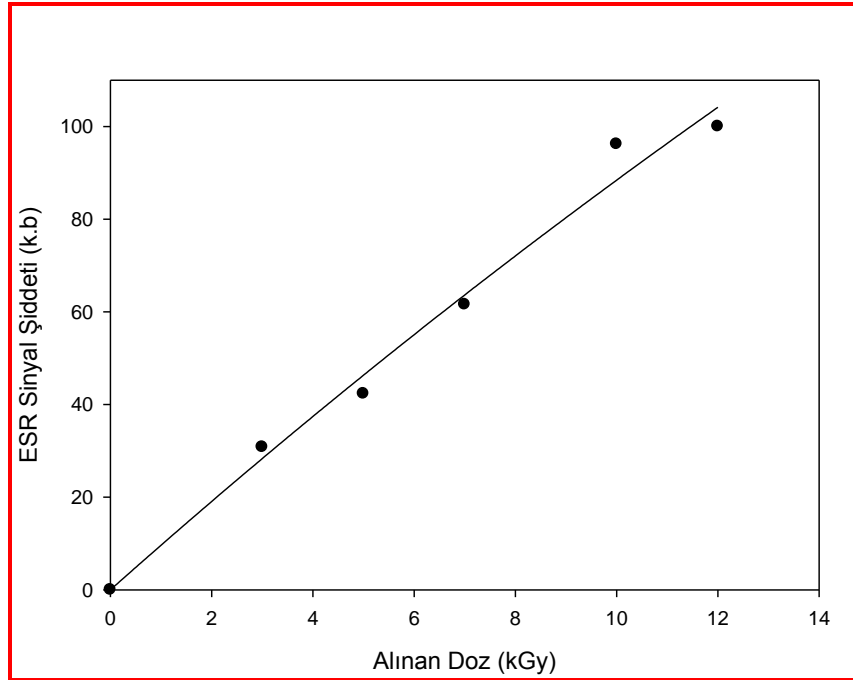
Baharat ışınlanırken mikroorganizma inaktivasyonu en yüksek seviyede sağlanmaya çalışırken ışınlanmanın olumsuz etkileri en alt seviyede tutulmaya çalışılmaktadır. Çünkü ışınlama sonrası baharatta serbest radikaller, radyolitik ürünler ve bazı istenmeyen bileşikler oluşabilmektedir. Dolayısıyla ışınlama ile örnek içerisinde ortaya çıkan serbest radikallerin ışınlama dozuna bağlı davranışlarını belirlemek önemlidir. Bunun için baharat örneklerimiz (kişniş, üzüm çekirdeği ve aspir) ticari amaçla 1994 yılında Tekirdağ-Çerkezköy’de kurulmuş GAMMA-PAK bünyesinde bulunan 0.69 kGy/saat doz hızına sahip ^{60}Co gamma kaynağında 3, 5, 7, 10 ve 12 kGy doz değerlerinde ışınlanmıştır.

Işınlama işlemi yapılan örnekler hassas terazide eşit kütlelerde tartılarak kuvars ESR tüplerine yerleştirilmiş ve spektrumları alınmıştır. Belirlenen doz değerlerinde ışınlanan örneklerin doz-cevap eğrilerinin çizimi için kişniş örneğinde spektroskopik yarıma çarpanı $g=1,9849$ olan sağ uydu piki, üzüm çekirdeğinde $g=1,9858$ olan sağ uydu piki ve aspir örneğinde $g=2,0045$ olan tekli merkezi sinyal seçilmiştir. Belirlenen uydu ve merkez piklerinin tepeden tepeye pik yükseklikleri ölçülmüş ve örneklerin

kütlesi ve ESR spektrum genliği göz önüne alınarak ESR sinyal şiddetinin ışınlama dozuna bağlı grafikleri çizilmiştir. Bu doz-cevap eğrileri kışniş, üzüm çekirdeği ve aspir örneği için sırasıyla Şekil 4.25, Şekil 4.26 ve Şekil 4.27 de verilmiştir.



Şekil 4.25. Kışniş örneğinde ışınlama ile oluşan sağ uydu pikinin ($g=1,9849$) doz cevap eğrisi



Şekil 4.26. Üzüm çekirdeği örneğinde ışınlama ile oluşan sağ uydu pikinin ($g=1,9858$) doz cevap eğrisi

Yapılan eğri benzetişim hesaplamaları ile deneysel verilere en iyi uyan matematiksel fonksiyon belirlenmeye çalışılmıştır. Deneysel verilere en iyi şekilde uyan fonksiyonun Denklem (4.1) de verildiği gibi tek üstel fonksiyon biçiminde ifade edilebileceği belirlenmiştir.

$$I=I_{01}(1 - \exp (-bD)) \quad (4.1)$$

Bu eşitlikte I; herhangi bir radyasyon doz değerinde ESR sinyal şiddetini, D; örneklere verilen gamma doz miktarının kGy cinsinden değerini, I_{01} ise ESR sinyalinin doyumdaki sinyal şiddetini ifade etmektedir. Eşitlikteki b katsayısı ise oda sıcaklığında birim doz başına radikal oluşturma hızı ve/veya radyasyon verimine karşılık gelmektedir.

Fonksiyonunun tek üstel bileşenden oluşuyor olması, ışınlanmış örneklerin (kişniş ve üzüm çekirdeği) spektrumundaki sağ uydu sinyallerinin tek sinyal bileşeninden meydana geldiğini gösterir.

En küçük kareler benzetişim yöntemi ile deneysel verilere yapılan benzetişim işlemiyle; I_{01} ve b parametreleri kişniş örneği için sırasıyla 154,7007 ve 0,0840 değerleri üzüm çekirdeği örneği için ise 506,1618 ve 0,0192 değerleri elde edilmiştir. Deneysel veriler ile kuramsal matematiksel fonksiyonun uyumunu belirten korelasyon katsayısı ise kişniş örneği için $r^2 = 0,9902$ ve üzüm çekirdeği örneği için ise $r^2 = 0,9862$ olarak elde edilmiştir. r^2 değerleri deneysel değerler ile kuramsal eğri arasındaki uyumun oldukça iyi olduğunu göstermektedir.

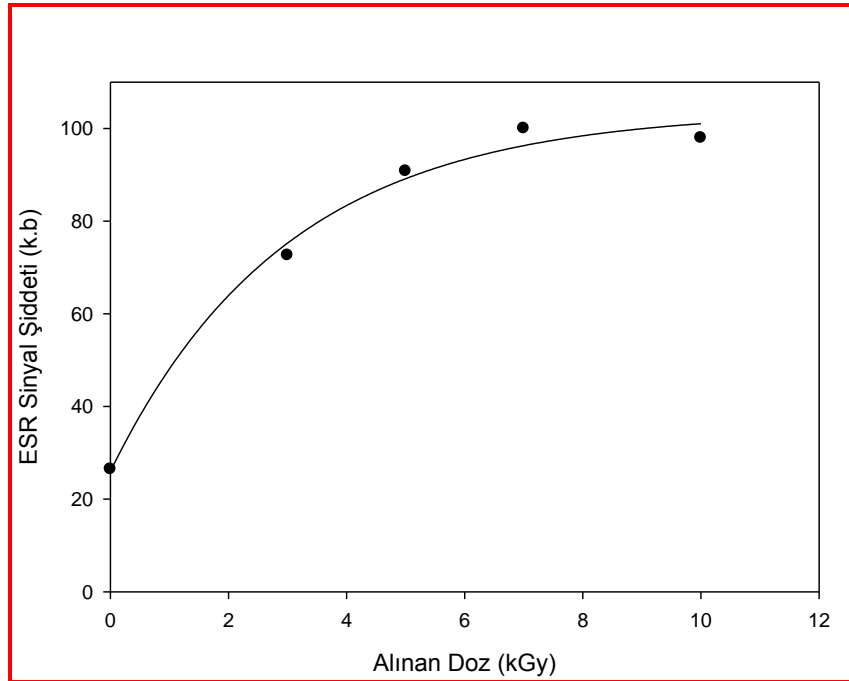
Aspir yapraklarında spektroskopik yarıma çarpanı $g=2,0045$ olan tekli merkezi sinyalin 3-12 kGy gamma dozu aralığında doza bağlı değişimleri incelenmiştir. Aspir örneğinde ışınlama sonucu oluşan uydu piklerinin doza bağlı değişimi buldukları manyetik alan bölgesinde ortaya çıkan safsızlıktan kaynaklı pikler nedeniyle incelenememiştir. Şekil 4.27 de görüleceği gibi tekli merkezi sinyal şiddeti artan ışınım dozu ile artış göstermekte ve 10 kGy doz değerinden sonra doyuma gitmektedir. Bu artışı en iyi ifade eden matematiksel fonksiyonun kişniş ve üzüm çekirdeği sağ uydu pikleri için yazılan fonksiyonla aynı biçimde olan Denklem (4.2) ile verilen fonksiyon olduğu belirlenmiştir.

$$I= a + I_{01}(1 - \exp (-bD)) \quad (4.2)$$

Bu fonksiyondaki tek fark ışınlanmamış doğal numunede gözlenen tekli merkezi sinyalin (selüloz piki) varlığı nedeniyle “a” gibi sabit bir parametrenin fonksiyonda yer almasıdır. Denklem (4.2) de I, herhangi bir D dozunda ESR sinyal şiddetini, D; kGy mertebesinde örneğin aldığı radyasyon dozunu, I_{01} ; $g=2,0045$ değerindeki sinyalin doyumdaki şiddet değerini, b parametresi ise oda sıcaklığında birim radyasyon başına radikal oluşma hızı ve/veya radyasyon verimine karşılık gelmektedir. Denklemdeki a parametresi ise incelenen pikin ışınlanmamış örnekteki ESR sinyal şiddetini göstermektedir.

Denklem (4.2) ile verilen kuramsal fonksiyonun en küçük kareler yöntemi ile deneysel noktalara fit edilmesiyle hesaplanan parametreleri sırasıyla $a=26,0208$; $I_{01}= 77,7586$ ve $b=0,3343$ olarak bulunmuştur.

Şekil 4.27 incelendiğinde deneysel noktalar ile Denklem (4.2) kullanılarak çizdirilen kuramsal eğrinin oldukça uyumlu olduğu görülmektedir. Deneysel noktalar ile hesaplanan kuramsal eğri arasındaki uyumunun bir ölçüsü olan korelasyon katsayısı $r^2 = 0,9911$ olarak hesaplanmıştır.



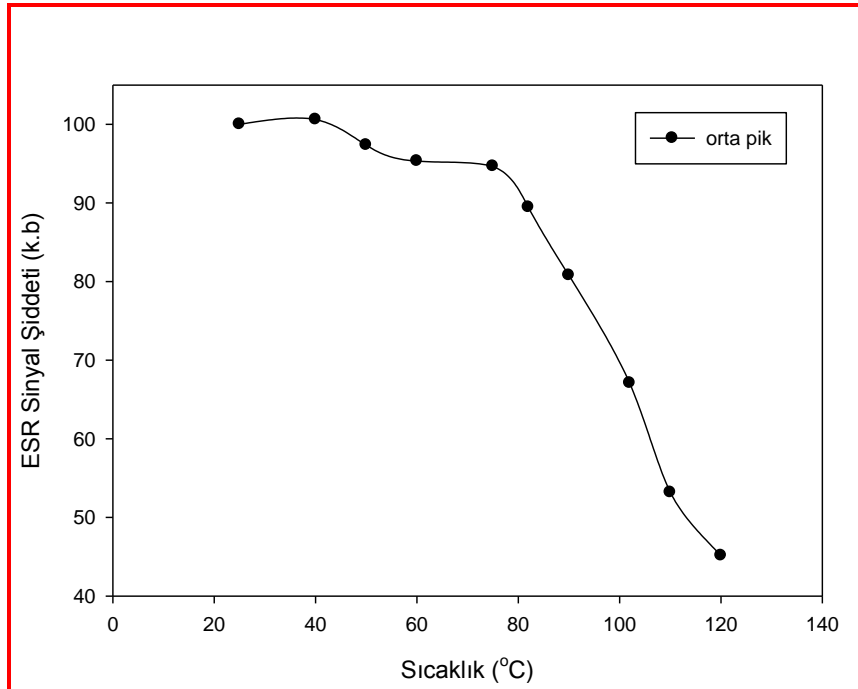
Şekil 4.27. Aspir örneğinde oluşan tekli merkezi sinyal pikinin ($g=2,0045$) doz cevap eğrisi

4.6. Eş Süreli Isıtma Deneyi

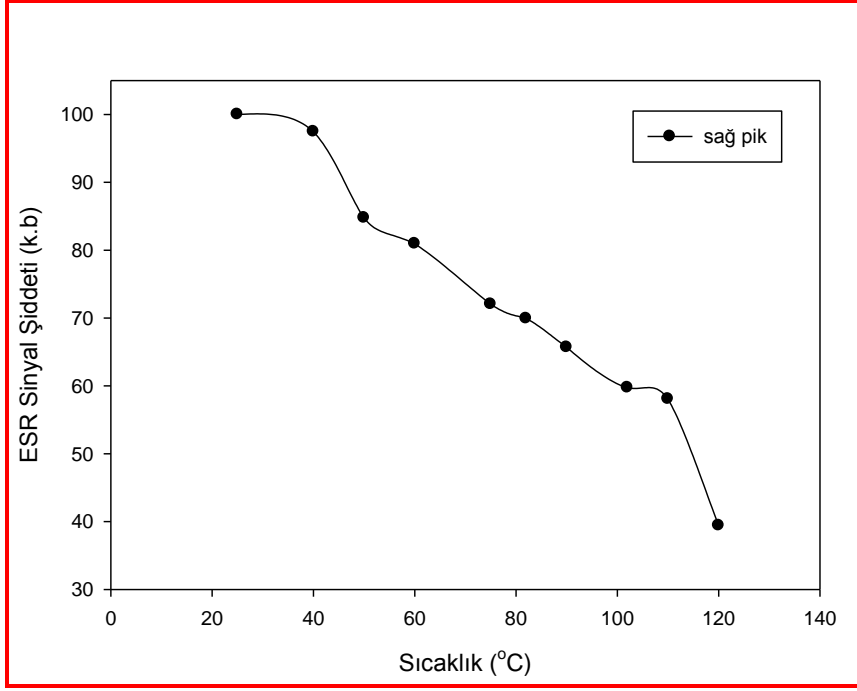
Sıcaklık paramanyetik merkezlerin türlerini ve özelliklerini belirlemede kullanılan önemli bir parametredir. Bunun yanı sıra ısıl ömür ve aktivasyon enerjisi değerleri bu merkezlerin kararlılığını temsil eder.

Bu çalışmada; baharat örneklerindeki paramanyetik merkezlerin ısıl kararlılığını belirlemek için örnekler farklı tavlama sıcaklıklarında (25, 40, 50, 60, 75, 85, 95, 110, 120 °C) eşit sürelerde tavlansak ESR sinyal şiddetlerinin tavlama sıcaklığına bağlı değişimi incelenmiştir.

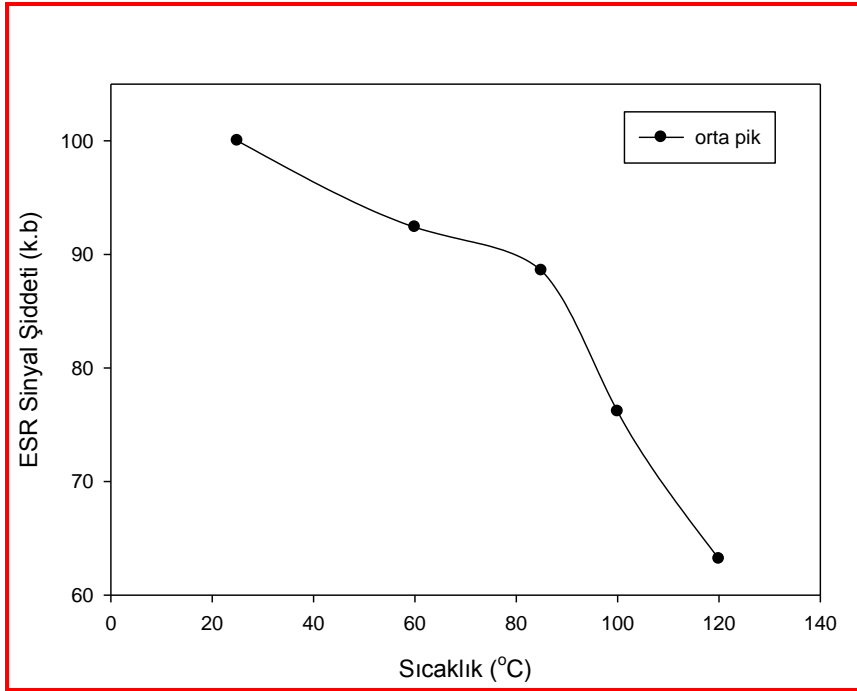
Tavlama çalışmalarında 1100 °C sıcaklığa kadar çıkabilen kül fırın kullanılmıştır. Farklı sıcaklıklarda eşit sürelerde tavlansak örneklerin her adımda oda sıcaklığında ESR spektrumu kaydedilmiştir. İncelenen örneklerin ESR sinyal şiddetlerinin ısıtma sıcaklığına bağlı değişimleri Şekil 4.28, 4.29, 4.30, 4.31 ve 4.32' de gösterilmiştir.



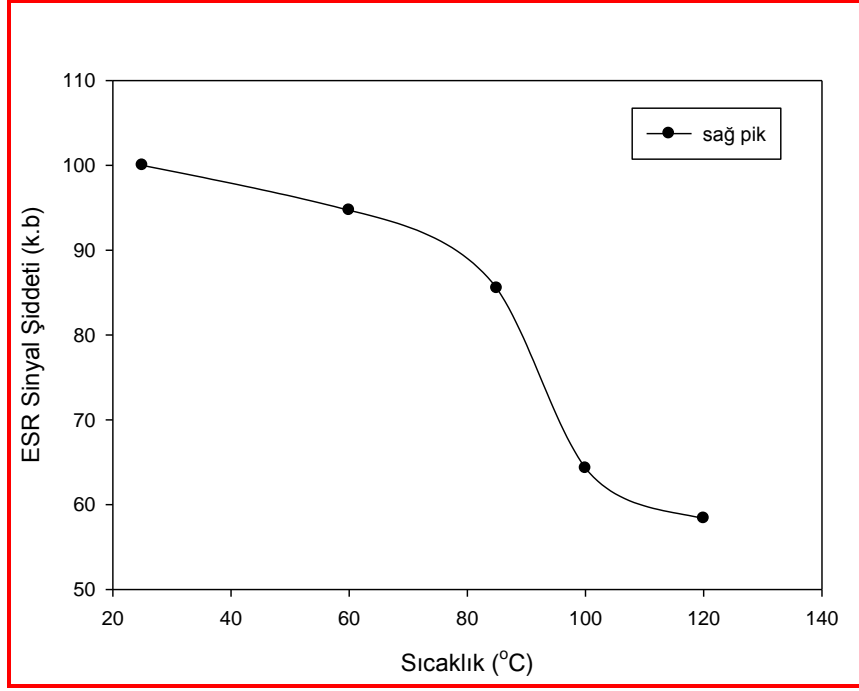
Şekil 4.28. 7 kGy ışınlanmış kişniş örneği orta pikin ESR sinyal şiddetinin tavlama sıcaklığıyla değişimi



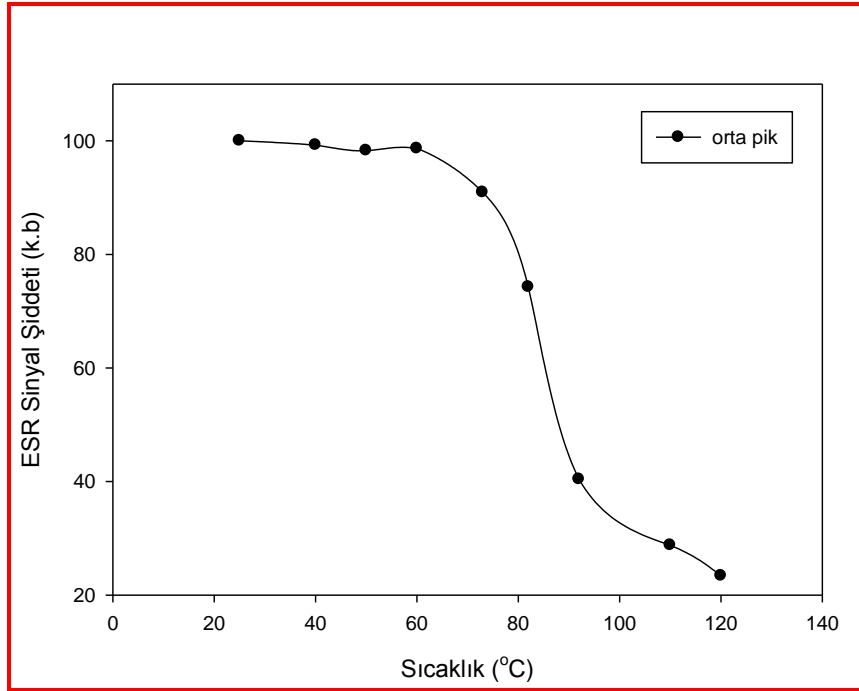
Şekil 4.29. 7 kGy ışınlanmış kişniş örneği sağ pikin ESR sinyal şiddetinin tavlama sıcaklığıyla değişimi



Şekil 4.30. 7 kGy ışınlanmış üzüm çekirdeği orta pik ESR sinyal şiddetinin tavlama sıcaklığıyla değişimi



Şekil 4.31. 7 kGy ışınlanmış üzüm çekirdeği sağ pik ESR sinyal şiddetinin tavlama sıcaklığıyla değişimi



Şekil 4.32. 7kGy ışınlanmış aspirin orta pik ESR sinyal şiddetinin tavlama sıcaklığıyla değişimi

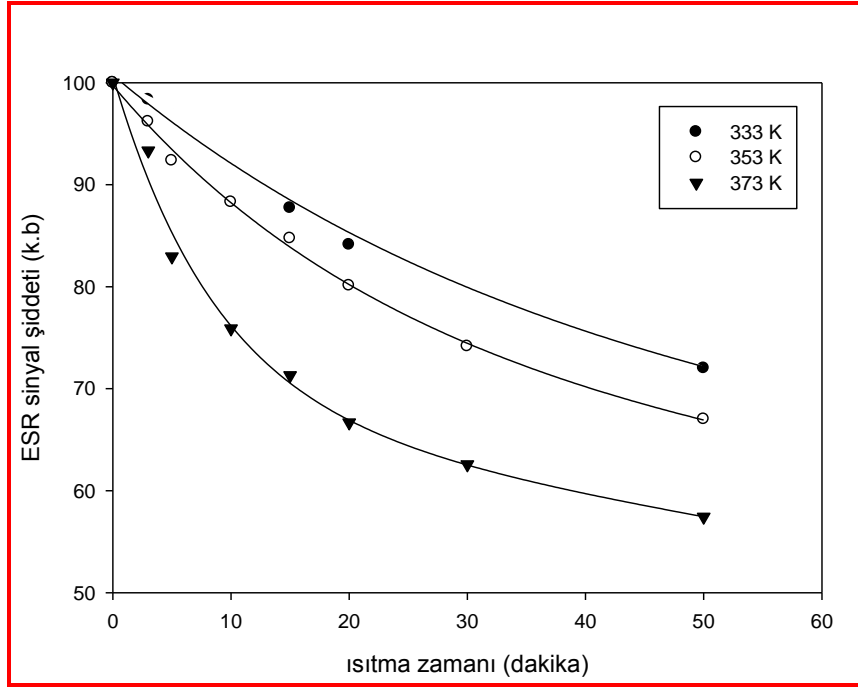
ESR sinyal şiddetinin tavlama sıcaklığına bağlı grafikleri incelendiğinde her örnekteki orta pikin uydu piklerine göre daha kararlı olduğu ve daha büyük sıcaklıklarda sönmeye uğradığı görülmektedir. Fakat üzüm çekirdeğinde orta pikin 120 °C tavlama sıcaklığına kadar % 40 azalmasına rağmen bu azalmanın kişniş örneğinde %60 aspir örneğinde %80 olduğu belirlenmiştir. Ayrıca üzüm çekirdeğinde ışınlama yolu ile oluşan sağ uydu pikin kişniş örneği sağ uydu pikine göre daha kararlı olduğu ve üzüm çekirdeğinde 120 °C ye kadar %40 azalma gözlenirken kişniş örneğinde yaklaşık %65 azalma olduğu anlaşılmıştır. Bu durum üzüm çekirdeğinin sert yapıda olması ve paramanyetik merkezin hareketliliğinin kısıtlı olması sebebiyle daha uzun ömürlü olması ile açıklanabilir. Işınlanmış gıda dedeksiyonu çalışmalarında gıda örneklerinin sert kısımlarının seçilmesinin sebebi budur.

Bunun yanı sıra, eş süreli ısıtma deneyinden elde edilen sonuçlara göre paramanyetik merkezlerin ısıl ömür ve aktivasyon enerjisi değerlerinin belirlenmesi için eş ısıtma deneyinde sağ uydu pikin azaldığı sıcaklık aralığı olan 60-100 °C nin seçilmesi gerektiği belirlenmiştir.

Aspir örneğindeki sağ uydu pikinin ısıl davranışı yapıda bulunan safsızlıklar nedeniyle incelenememiştir.

4.7. Eş Isıl Isıtma Deneyi

Işınlama sonucu oluşan radikalın sayısının sıcaklığa bağlı azalması, seçilen sıcaklık değerinde serbest radikallerin sönmü kinetiği ili ilgili bilgi edinmemizi sağlar. Bunun için 7 kGy dozda ışınlanmış kişniş örneği T=60 °C, T=80 °C ve T=100 °C sabit ısıtma sıcaklıklarında 0-60 dakika zaman aralığında kül fırında tavllanmış ve ışınlama sonucu oluşan g=1,9849 sağ uydu pikinin tavlama süresine bağlı değişimi incelenmiştir. ESR sinyal şiddetinin belirlenen sabit sıcaklıklarda tavlama süresine bağlı değişimi Şekil 4.33' de verilmiştir.



Şekil 4.33. 7 kGy ışımlanmış kişniş sağ uydu pikinin ($g=1,9849$) tavlama zamanına bağlı değişimi

Şekil 4.33' den anlaşıldığı gibi yüksek tavlama sıcaklığında sinyal şiddetinin azalma hızı artmaktadır. ESR sinyal şiddetlerinin tavlama zamanına göre üstel olarak azaldığı görülmektedir. Bu üç farklı sıcaklık değerinde ESR sinyal şiddetinin tavlama zamanına bağlı değişimini veren matematiksel fonksiyonun denklem 4.3' de verildiği gibi iki adet birinci dereceden azalan fonksiyonun toplamı olarak ifade edilebileceği belirlenmiştir.

$$I = I_{01}(\exp(-k_1 t)) + I_{02}(\exp(-k_2 t)) \quad (4.3)$$

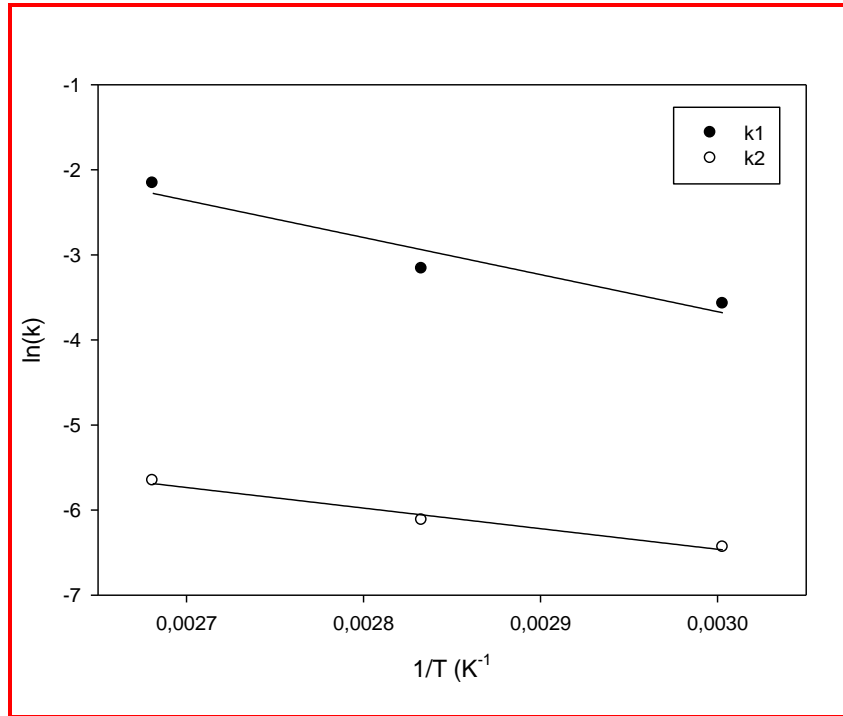
Işımlama ile oluşan $g=1,9849$ olan sağ uydu sinyaline ait her bir izoterm eğrisinin denklem 4.3' de verilen fonksiyona fit edilmesi ile her bir sıcaklık için ışımlama sonucu oluşan iki tür serbest radikale ait k_1 ve k_2 reaksiyon hız sabiti değerleri belirlenmiştir. Reaksiyon hız sabiti (k) ile sıcaklık arasında (Arrhenius eşitliği) (Mesterton ve Slowinski, 1969):

$$k = k_o \exp(-E/k_B T) \quad (4.4)$$

eşitliği ile verilen bir ilişki vardır. Bu eşitlikte, E; aktivasyon enerjisini, k_B , Boltzmann sabitini ve T; Kelvin cinsinden ortamın sıcaklığını göstermektedir. Bu denklemin e tabanlı logaritması (ln) alınır.

$$\ln(k) = \ln(k_o) - E / k_B T \quad (4.5)$$

Denklem 4.5' deki bağıntının $\ln(k)$ 'ya karşı $1/T$ grafiği çizilirse elde edilen doğrunun eğimi aktivasyon enerjisini (E) verir. Şekil 4.33' deki eğrilerin birinci dereceden azalan fonksiyona fit edilmesiyle elde edilen hız sabiti değerleri, üç ayrı sıcaklık değeri için $\ln(k)$ 'ya karşı $1/T$ grafiği olarak Şekil 4.34' de verilmiştir. Buradan eğimleri farklı iki doğru elde edilmiştir.



Şekil 4.34. Sağ uydu piki ($g=1,9849$) için reaksiyon hız sabitlerinin tavlama sıcaklığına bağlı değişimleri

Doğruların eğimlerinden, ışınlanmış kişniş örneklerinin ESR spektrumlarında sağ uydu sinyaline ($g=1,9849$) ait iki sinyal bileşenini oluşturan serbest radikallerin aktivasyon enerjileri, $E_1 = 36,2$ kJ/mol (k_1 için) ve $E_2 = 20,8$ kJ/mol (k_2 için) olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, gama ışınları ile ışınlanmış kişniş örneklerinin selüloz yapısında iki farklı serbest radikal oluştuğunu göstermektedir. Ayrıca oda sıcaklığında (25 °C = 298 K) kişniş örneğinin ışınlama sonucunda oluşan sağ uydu pikinin denklem

4.3 de verilen fonksiyona fit edilmesi ile reaksiyon hız sabiti değerleri $k_1=0,0046$ ve $k_2=0,0073$ elde edilmiştir. Literatürde kişniş örnekleri ile aynı kategoride olan, ışınlanmış rezene örnekleri için yapılan bilgisayar simülasyonu çalışması ile $g=2,02$ bölgesindeki sol uydu sinyalinin iki farklı serbest radikalden kaynaklanan iki sinyal bileşeni içerdiği gösterilmiştir (Yamaoki, Kimura ve Ohta, 2008). Yapılan bu simülasyon çalışmalarına göre rezene ve ihlamur gibi selüloz içeren ışınlanmış gıda örneklerinin selüloz yapısında ışınlama sonucunda eksenel ve ortorombik gibi iki farklı yerel simetride bulunabilen $\dot{C}-CH_2$ biçiminde serbest radikallerin oluştuğu belirtilmektedir (Kameya ve diğerleri 2012). Aktivasyon enerjilerinin farklı olması selülozik yapı içerisinde oluşan $\dot{C}-CH_2$ serbest radikalının termal kararlılıklarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Işınlama sonucunda kişniş örnekleri yapısında oluşan $\dot{C}-CH_2$ tipindeki serbest radikallerde çiftlenimsiz elektron karbon atomu üzerindedir. Karbon atomu üzerindeki bu çiftlenimsiz elektronun komşuluğundaki iki proton ile olan aşırı ince yapı etkileşmesi sonucunda üç çizgili ve şiddet oranları yaklaşık 1:2:1 olan sinyaller gözlenir. Benzer durum incelenen kişniş örneği için de söz konusudur.

4.8. ESR Sinyal Şiddetinin Oda Sıcaklığında Sönüm Bulguları

Çalışmanın bu aşamasında ışınlamadan sonra oluşan serbest radikallerin oda sıcaklığında zamana bağlı değişimleri incelenmiştir. Bu amaçla 7 kGy dozda ışınlanmış üzüm çekirdeği, kişniş ve aspir örnekleri kullanılmıştır. Işınlanmış örnekler ESR tüpüne konularak laboratuvar ortamında ağzı kapalı bir şekilde muhafaza edilerek 77 gün boyunca değişik zaman aralıklarında aynı spektrometre koşullarında ESR spektrumları kaydedilmiştir.

Kişniş örneğinde ışınlamadan sonra oluşan spektroskopik yarıma çarpanları $g=1,9849$ olan sağ uydu pikleri ile merkezde oluşan tekli merkezi $g=2,0045$ sinyalleri incelenmiş aynı şekilde üzüm çekirdeği örneği için $g=1,9858$ olan sağ uydu pikleri ile merkezde oluşan tekli merkezi $g=2,0044$ sinyaller incelenmiştir. Aspir örneğinde ise safsızlıktan kaynaklanan sebeplerden dolayı uydu piklerini gözlemlemek çok güç olduğundan merkezde oluşan ve spektroskopik yarıma çarpanı $g=2,0045$ olan tekli merkezi sinyal incelenmiştir.

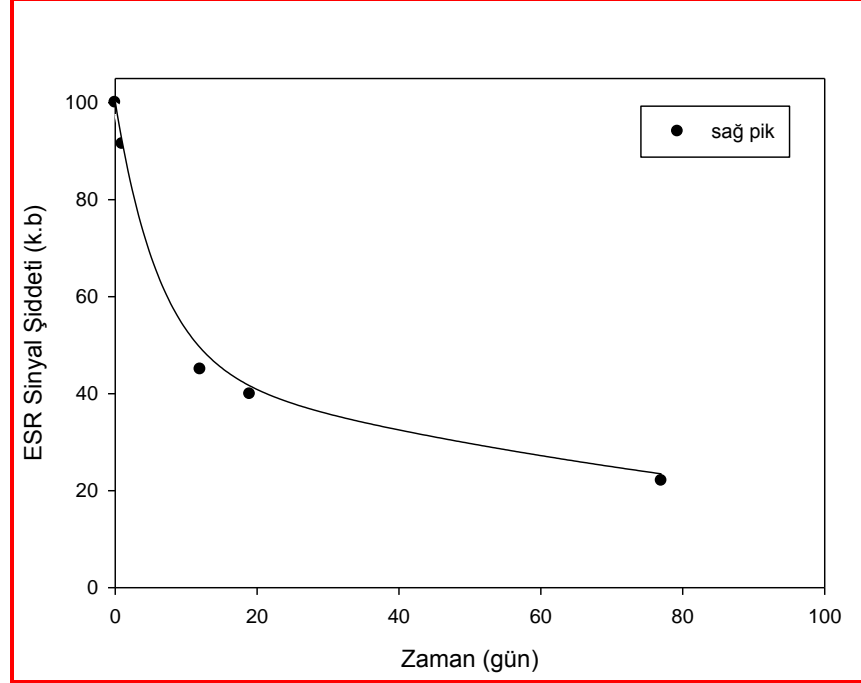
Kişniş ve üzüm çekirdeği örneklerinde ışınlama etkisiyle oluşan sağ uydu piklerinin zamana bağlı değişimleri Şekil 4.35 ve Şekil 4.36' da verilmiştir. Şekil 4.35' de görüldüğü gibi kişniş örneğinde ışınlamadan sonraki ilk 20 gün içerisinde sağ uydu piki sinyal şiddetinde %60' lık bir düşüş gözlemlenirken bu azalma eğimi yavaşlayarak devam etmiş 77 günün sonunda sinyal şiddetinin başlangıç değerinin %20 mertebesine inmiştir. Sağ uydu sinyali için yapılan en küçük kareler benzetişim çalışmaları ile 77 günlük bekleme süresi içinde şiddet değişimini en iyi şekilde ifade edebilen matematiksel fonksiyonun Denklem 4.6' da verildiği gibi iki tane birinci dereceden kinetik fonksiyonun toplamı biçiminde olduğu belirlenmiştir. Bu durum bu sinyale iki ayrı radikalın katkı sağladığını göstermektedir.

$$I = I_{01}(\exp(-k_1t)) + I_{02}(\exp(-k_2t)) \quad (4.6)$$

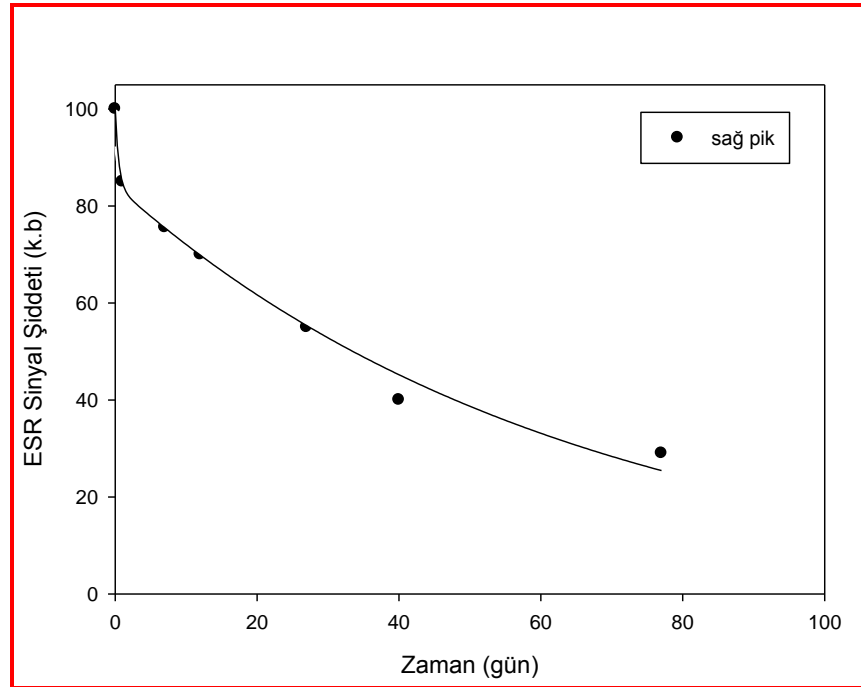
Denklemden I, herhangi bir t anındaki ESR sinyal şiddetini, I_{01} ve I_{02} parametreleri $t = 0$ (başlangıç) anında iki sinyal bileşenine ait ESR sinyal şiddeti değerlerini göstermektedir. Fonksiyondaki k_1 ve k_2 parametreleri ise her bir radikalın reaksiyon hız sabitlerini göstermektedir. Deneysel noktalar ile Denklem 4.6 kullanılarak çizilen kuramsal eğri arasındaki uyumu gösteren korelasyon katsayısı $r^2=0,9910$ olarak hesaplanmış ve oldukça iyi bir uyum olduğu görülmüştür. En küçük kareler yöntemi ile hesaplanan I_{01} ; I_{02} ; k_1 ve k_2 değerleri sırasıyla 54,2364; 46,0043; $0,1592$ (gün)⁻¹ ve $0,0087$ (gün)⁻¹ olarak bulunmuştur. Bu sonuç, oda sıcaklığında sağ uydu sinyalini oluşturan serbest radikallerin birinci dereceden kinetiğe göre birisi hızlı ($k_1= 0,1592$ gün⁻¹) diğeri daha yavaş ($k_2=0,0087$ gün⁻¹) olan iki reaksiyon adımı ile sönüme uğradığını göstermektedir.

Üzüm çekirdeği için Şekil 4.36' da verilen oda sıcaklığı kinetiği grafiği incelendiğinde kişniş örneğinde olduğu gibi ilk 20 günlük süreç içerisinde sinyal şiddetinin %40' kadar azaldığı ve 77 günün sonunda başlangıç seviyesinin %25' lik kısmına kadar düştüğü görülmektedir. Üzüm çekirdeğinin kişnişe göre biraz daha kararlı olduğu ve ışınlama sonucunda oluşan uydu sinyalinin daha geç sönüme uğradığı belirlenmiştir. Deneysel olarak elde edilen ESR sinyali şiddetleri Denklem 4.6' da verilen iki üstel fonksiyonun toplamına uymaktadır ve deneysel bulgular ile kuramsal eğri arasındaki uyumu gösteren korelasyon katsayısı $r^2=0,9880$ olarak hesaplanmıştır. En küçük kareler yöntemi ile hesaplanan I_{01} ; I_{02} ; k_1 ve k_2 değerleri sırasıyla 15,8181;

84,1819; 2,0115 (gün)⁻¹ ve 0,0155 (gün)⁻¹ olarak bulunmuştur. Kişniş örneğinde olduğu gibi üzüm çekirdeğinde de sağ uydu sinyalini oluşturan serbest radikallerden birisi hızlı ($k_1= 2,0115$ gün⁻¹) diğeri ise daha yavaş ($k_2=0,0155$ gün⁻¹) olan iki reaksiyon adımı ile sönüme uğradığını göstermektedir.



Şekil 4.35. Oda sıcaklığında bekletilen 7kGy dozda ışınlanmış kişniş örneğinin sağ uydu sinyalinin ($g=1,9849$) zamana bağlı değişimi



Şekil 4.36. Oda sıcaklığında bekletilen 7kGy dozda ışınlanmış üzüm çekirdeği örneğinin sağ uydu sinyalinin ($g=1,9858$) zamana bağlı değişimi

Sağ uydu sinyali için yapılan deneyler laboratuvar koşullarında spektroskopik yarıma çarpanı $g = 2,0045$, $g=2,0044$ ve $g=2,0045$ olan kişniş, üzüm çekirdeği ve aspir örneklerinde merkezdeki tekli sinyaller için de gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerde de 7 kGy dozda ışınlanmış örnekler 77 gün boyunca izlenmiş ve farklı zamanlarda ESR spektrumları kaydedilerek piklerin sinyal şiddetleri ölçülmüştür. Her örnek için merkezi pik ESR sinyal şiddetlerinin zamana bağlı değişimleri Şekil 4.37, 4.38 ve 4.39' da verilmiştir. Geçen zamanla birlikte sağ uydu sinyallerinde olduğu gibi merkezi sinyallerin de zamanla azaldığı görülmüştür. Bu azalma sırasıyla Şekil 4.37 ve Şekil 38' de gösterilen kişniş ve üzüm çekirdeği örnekleri için yaklaşık %65 mertebesinde iken Şekil 4.39' da gösterilen aspir örneğinde %80 mertebesinde dir. Üzüm çekirdeği ve kişniş örneklerindeki merkezi sinyalin aspir örneğine göre daha kararlı olduğu görülmüştür.

Örneklere oluşan merkezi sinyal şiddet değerinin zamana bağlı azalmalarını en iyi şekilde temsil eden matematiksel fonksiyonun Denklem 4.7 biçiminde iki tane birinci dereceden kinetik fonksiyonun toplamı olduğu belirlenmiştir.

$$I=I_{\infty}+ I_{01}(\exp (-k_1t)) + I_{02}(\exp (-k_2t)) \quad (4.7)$$

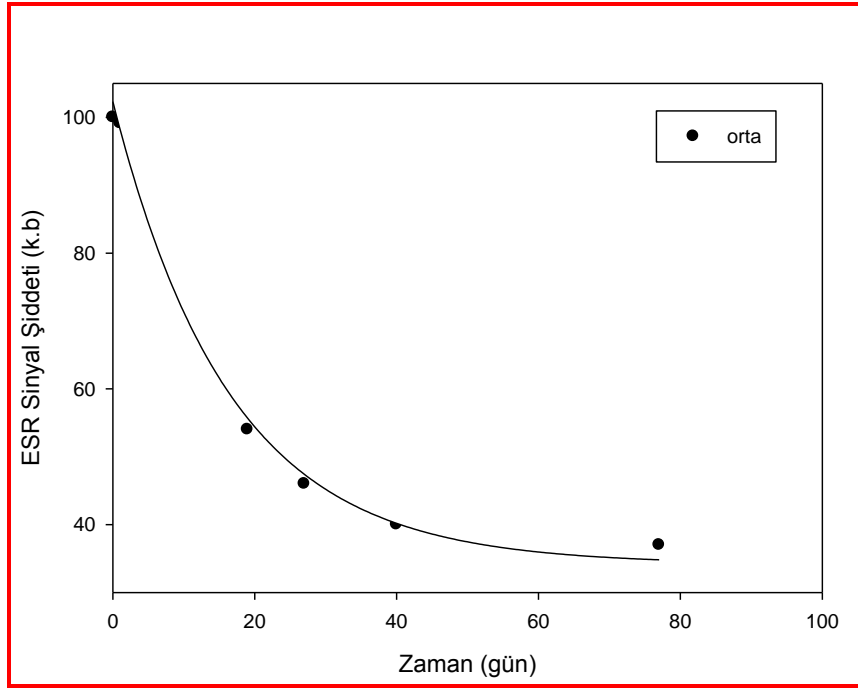
Kişniş örneğini için elde edilen deneysel veriler Denklem 4.7 fonksiyonuna uyarlandığında deneysel veriler ile kuramsal eğri arasındaki uyumu gösteren korelasyon katsayısı $r^2=0,9945$ olarak hesaplanmıştır. Bu denklemde yer alan I_{∞} ; I_{01} ; I_{02} ; k_1 ve k_2 parametreleri sırasıyla 34,1880; 26,6653; 38,4661; 0,0607 gün⁻¹ ve 0,0607 gün⁻¹ şeklindedir.

Kinetik fonksiyonun üzüm çekirdeğine uyarlanmasıyla elde edilen uyum $r^2=0,9998$ olarak hesaplanmıştır. Denklemde yer alan I_{∞} ; I_{01} ; I_{02} ; k_1 ve k_2 parametreleri ise sırasıyla 31,0099; 40,7411; 28,4224; 0,0305 (gün)⁻¹ ve 0,3453 (gün)⁻¹ şeklindedir.

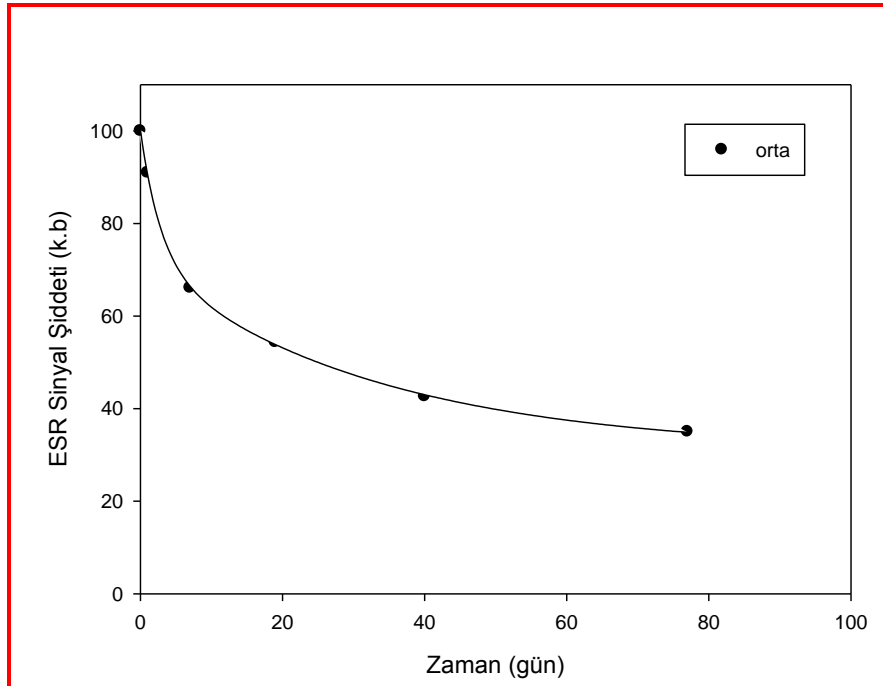
Aspir örneğinde ise uyum $r^2=0,9980$ olup I_{∞} ; I_{01} ; I_{02} ; k_1 ve k_2 parametreleri sırasıyla 9,8906; 47,1970; 43,2016; 0,0279 (gün)⁻¹ ve 0,0279 (gün)⁻¹ şeklindedir.

Literatürde, ışınlanmış selüloz içeren değişik baharat örneklerinde gözlenen bu merkezi sinyal için oda sıcaklığında zamana bağlı olarak gözlenen sinyal şiddeti

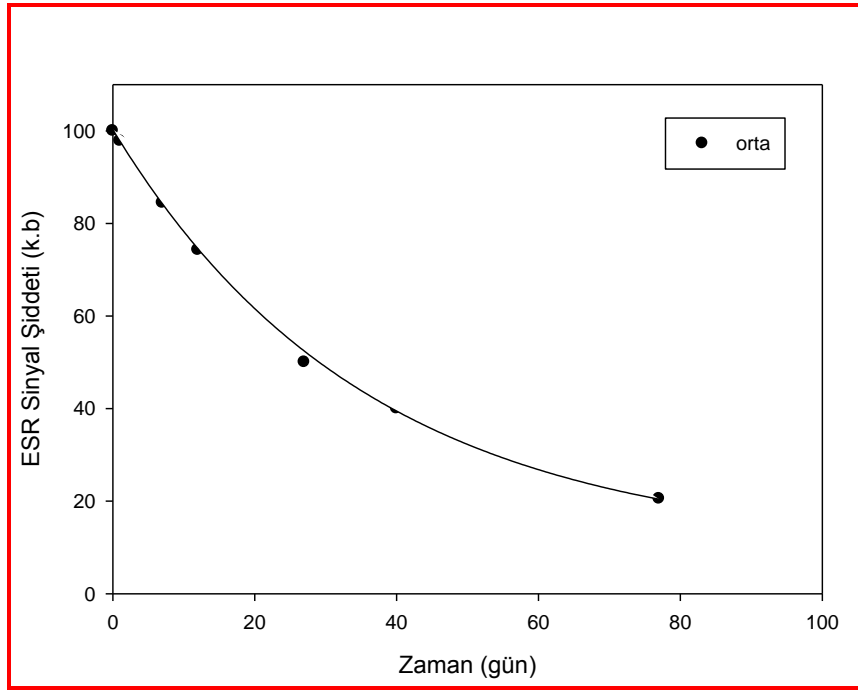
azalmalarının da benzer biçimde olduğu rapor edilmektedir (Bortolin, Griffin, Cruz-Zaragoza, De Costa, ve Onori, S. 2006).



Şekil 4.37. Laboratuvar koşullarında bekletilen 7 kGy ışınlanmış kişniş örneğinde merkezi sinyal ($g=2,0088$) şiddetinin zamana bağlı değişimi.



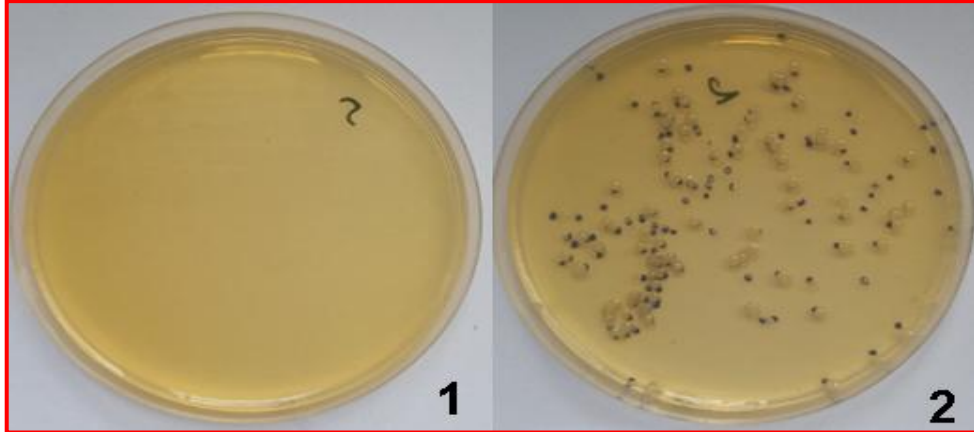
Şekil 4.38. Laboratuvar koşullarında bekletilen 7 kGy ışınlanmış üzüm çekirdeği örneğinde merkezi sinyal ($g=2,0088$) şiddetinin zamana bağlı değişimi.



Şekil 4.39. Laboratuvar koşullarında bekletilen 7 kGy ışınlanmış aspirin örneğinde merkezi sinyal ($g=2,0045$) şiddetinin zamana bağlı değişimi.

4.9.Mikrobiyolojik analiz kısmı

Örneklerimizin mikrobiyolojik analiz kısmı Selçuk üniversitesi veterinerlik fakültesi mikrobiyoloji bölümünde yapılmıştır. Üzüm çekirdeği, kişniş ve aspirin örneklerinde ışınlama öncesi ve 3, 5, 7, 10 ve 12 kGy dozlarında ışınlama sonrasında gözlemlenen aerobik (oksijenli ortamda üreyebilen) bakteri sayısını belirleyebilmek için örneklerimiz 1 gr örnek + 9 ml PBS (Fosfat Buffer Solüsyonu) oranında karıştırılarak +4°C'de 1 saat bekletildi. Örneklerin, PBS solüsyonu içinde 10'ar katlı 10⁻⁹'a kadar sulandırılmaları yapıldı. Her sulandırmadan, 0,1 ml, 3'er adet Plate Count Agar (Oxoid, CM0325) besiyerine ekimler yapılarak 37 °C'de 24-48 saat inkübe edildi. (Şekil4.40) Süre sonunda bakteri kolonileri sayılarak, 1 gr örnekteki total aerobik bakteri sayısı belirlendi (Carter, 1984; Collins ve ark., 1995).



Şekil 4.40. 1) Bakteriyeel üreme şekillenmeyen 2) Bakteriyeel üreme şekillenen örnek sulandırmasına ait Plate Count Agar besiyeri görüntüsü

Işınlamadan önce ve ışınlamadan sonra oluşan aerobik total bakteri sayısı tablo 4.1 de verilmiştir. Tablodan da görülebileceği gibi üzüm çekirdeği örneklerindeki bakteriler 10 kGy doz değerinde aspir örneklerinde ise 3 kGy doz değerinde engellenebilmektedir. Bu ışınlama aralığı (1-10 kGy) orta düzeyde doz uygulama aralığına girmekte olup etkileri açısından sütün pastörizasyonuna benzetilebilmektedir. Kişniş örneği ise bakteriler açısından son derece dayanıklı olarak göze çarpmakta, üzerinde bakteri birikmemektedir.

Tablo 4.1. Işınlama sonrası örneklerdeki aerobik total bakteri sayıları

No	Örnek	Aerobik total bakteri sayısı (bakteri/gr)
1	Üzüm çekirdeği	Sayılamayacak kadar çok
2	Üzüm çekirdeği-3kGy	2,79x10 ⁴ bak/gr
3	Üzüm çekirdeği-5kGy	3x10 ⁴ bak/gr
4	Üzüm çekirdeği-7kGy	8,2x10 ³ bak/gr
5	Üzüm çekirdeği-10kGy	0
6	Üzüm çekirdeği-12kGy	0
7	Kişniş	0
8	Kişniş-3kGy	0
9	Kişniş-5kGy	0
10	Kişniş-7kGy	0
11	Kişniş-10kGy	0
12	Kişniş-12kGy	0
13	Aspir	Sayılamayacak kadar çok
14	Aspir-3kGy	1,8x10 ³ bak/gr
15	Aspir-5kGy	0
16	Aspir-7kGy	0
17	Aspir-10kGy	0
18	Aspir-12kGy	0

KAYNAKLAR

- A.D.A., 2000, Position of the American Dietetic Association: Food Irradiation. ADA Reports. 100, 246-252.
- Acar, J. 1999, Mikroorganizmaların öldürülmesi. "Alınmıştır: Gıda Mikrobiyolojisi. (ed) Ünlütürk, A., Turantaş, F., Mangi Tan Basımevi, İzmir, 241-246."
- Akdemir, B., Güneş, S. and Genç, A., 2009, Artificial neural network training models in prediction of concrete compressive strength using euclidean normalization method, 3rd Int. Conf. on Complex Systems and Applications-ICCSA, Le Havre-France, 160-165.
- American Council On Science And Health. 2003, http://www.acsh.org/docLib/20040331_irradiated.pdf
- Anonymous 1995, Fact about food irradiation. A series of Fact Sheets from the International Colcultative Group on Food Irradiation. CTP Book Printers Ltd., Vienna, Austria 38 pp.
- Apaydın, F. 1996, Magnetik Rezonans, H.Ü. Mühendislik Fakültesi Ders Kitapları, Ankara.
- Apaydın, F. 2002, "Magnetik Rezonans", Hacettepe Üniv. Yay., Ankara, 2-27 (1991).
- Ascherio, A. Epidemiologic studies on dietary fats and coronary heart disease. The American Journal of Medicine, 113(9B), 9S-12S.
- Ashley, B C., Birchfield, P T., Chamberlain, B.V., Kotwal, R. S., McClellan, S. F., Moynihan, S., Patni, S. B., Salmon, S A. and Au, William W. 2004, Health concerns regarding consumption of irradiated food. International Journal of Hygiene and Environmental Health, 207, 493-50

- Bortolin, E., Griffin, E. B., Cruz-Zaragoza, E., De Costa, V. ve Onori, S. (2006). Electron paramagnetic resonance detection of Mexican irradiated spices. *International Journal of Food Science ve Technology*. 41, 375-382.
- Brito, M.S., Villavicencio, A.L.C.H, Mancini-Filho, J., 2002. Effects of irradiation on trans fatty acids formation in ground beef. *Radiat. Phys. Chem.*, 63, 337-340
- Bruker, "EPR Basics", Bruker Analytik GmbH, Karlsruhe, 80 (2001).
- Carter GR. 1984, *Diagnostic Procedures in Veterinary Bacteriology and Mycology*, 4th Ed., C.C.Thomas Publisher, USA.
- Cemeroğlu B. Ve Acar J. 1986, *Meyve ve sebze işleme teknolojisi*. Literatür Yayıncılık Dağıtım Pazarlama Sanayi ve Tic. Ltd. Şti. Ankara, 496 ss
- Collins CH, Lyne PM, Grange JM 1995, *Microbiological Methods*, 7th Ed, Butterworth-Heinemann Ltd., GB.
- Ü.Çetinkaya, N. 2006, *Gıda ısınlama ve önemi*. http://kutuphane.taek.gov.tr/internet_tarama/dosyalar/cd/4115/pdf/171.pdf. (http://tarimsal.com/tarimhaberleri/gida_ısınlama.htm).
- Diehl JF. *Safety of Irradiated Foods*. New York, NY: Marcel Dekker, 1995.
- Dogan, M., Kayacier, A and Ic, E. 2007, Rheological characteristics of some food hydrocolloids processed with gamma irradiation. *Food Hydrocolloids* 21, 392-396.
- Duodu, K.G., Minaar, A., Taylor J.R.N., 1999, Effect of cooking and irradiation on the labile vitamins and antinutrient content of traditional African sorghum porridge and spaniac relish. *Food Chemistry*, 66, 21-27
- Engin, B. 1996, *Doğal kalsit minerallerinin termoluminesans ve ESR yöntemleriyle incelenmesi ve tarihlendirilmesi*. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Ankara.

- EN 1787 2000, Determination of Irradiated Food Containing Cellulose: Analysis by EPR. European Committee for Standardization, Brussels.
- Farag, M.D.El-Din H.,1998. The nutritive value for chicks of full-fat soybeans irradiated at up to 60 kGy. *Animal Food Science and Technology*,, 73, 319-328
- FDA 1997, Irradiation in the production, processing and handling of food. 62 Federal Register 232, 64107-64121).
- Fellow, P. 1986, Food processing technology. Camelout Press, Southampton, UK.
- Food and Drug Administration. 2000, <http://www.cfsan.fda.gov/~dms/qa-irr1.html>.
- Giroux, M., and Lacroix, M., 1998, Nutritional adequacy of irradiated meat- a review. *Food Research Int.*,, 31, 257-264
- Gunes, G. and Tekin, M. D. 2006, Consumer awareness and acceptance of irradiated foods: Results of a survey conducted on Turkish consumers. *LWT - Food*
- Gunes, G., Hotchkiss J.H., and Watkins, C.B. 2001, Effects of gamma irradiation on the texture of minimally processed apples. *Journal of Food Science*, 66(1): 63-67.
- Heiss, R., Eichner, K. 2002, *Haltbarmachen Von Lebensmitteln: Chemische, Physikalische Und Mikrobiologische Grundlagen Der Qualitätserhaltung*. 4., Überarb. Und Erw. Aufl.. Berlin; Heidelberg; New York; Barcelona; Hongkong; London; Mailand; Paris; Tokio: Springer Verlag S.281-296. ISBN: 3-540-43137-3.
- International Consultative Group on Food Irradiation. 1991, *Facts About Food Irradiation*. Vienna, Austria: International Atomic Energy Agency.
- Josephson, E.S. and Peterson, M.S. 2000, *Preservation of food by ionizing radiation*. Volume I. CRC Press. Inc. Boca Raton, Florida, 378 ss.

- Kameya, H., Ukai, M. ve Shimoyama, Y. 2012, An ESR study of radiation induced radicals in glucose polymers. *Radiation Physics and Chemistry*. 84,232-234.
- Kilcast, D., 1994, Effect of irradiation on vitamins. *Food Chemistry*,, 49, 157-164
- Kleeberg, K.K. 2002, Identifizierung von Aminosäure-Radiolyseprodukten und sensorische Veränderungen in γ -bestrahlten Nordseegarnelen (*Crangon crangon*) und anderen eiweißreichen Lebensmitteln. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades des Fachbereichs Chemie der Universität Hamburg Abteilung für Lebensmittelchemie Hamburg 2002, s. 7-8.
- Lacroix, M. and Ouattara B. 2000, Combined industrial processes with irradiation to assure innocuity and preservation of food products — a review. *Food Research International*, 33,719-724.
- Lagunas-Solar, M.C. 1995, Radiation processing of foods: An overview of scientific principles and current status. *Journal of Food Protection*, 58, 186-192. Loaharanu, P. 1994, Status and prospects of food irradiation. *Food Technology*, 48, 124-130.
- Machaiah, J.P., & Pednekar, M.D. 2002, Carbohydrate composition of low dose radiation-processed legumes and reduction in flatulence factors. *Food Chemistry*, ,79, 293-301.
- Mason, J. 1992, Food irradiation-promising technology for public health. *Public Health Rep.*, 107, 489-490.
- Masterton, W. L. ve Slowinski, E. J. 1969, *Chemical principles* (2) Philadelphia, Toronto, London, W. B. Saunders Company.
- Miebach, E.M. 1993, Food irradiation a means of controlling pathogenic microorganisms in food. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 26: 493-497.

- Molins, R.A., Motarjemi, Y., Kaferstein, F.K. 2001, Irradiation: a critical control point in ensuring the microbiological safety of raw foods. *Food Control*, 12:347-356.
- Morrison RM, Roberts T, Witucki L. 1992, Irradiation of US poultry-benefits, costs, and export potential. *Food Review*; 15, 16- 21.
- Mortimer, C.E. 1987, *Chemistry*. Wadsworth Puplicing Company Belmont, California, 902 ss. Olson, DG. 1998, Scientific Status Summary, Irradiation of Food. A Publication of the IFT Expert Panel on Food Safety and Irradiation. *Food Technology*, 52, 56-62.
- Oomen, C.M., Ocké, M.C., Feskens, J.M., 2001. Association between trans fatty acid intake and 10-year risk of coronary heart disease in the Zutphen elderly study: a prospective population-based study. *The Lancet*, 357, 746-751.
- Pilbrow, J.R., 1996, ESR fundamentals, *Appl. Radiat. Isot.*, 47(11-12), 1465-1470.
- Poole, C.P. and Farach, H.A., 1972, *The Theory of Magnetic Resonance*, John Wiley, New York.
- Raffi, J. ve Agnel, J. L. 1989, Electron spin resonance identification of irradiated fruits. *Radiation Physics and Chemistry*. 34 891-894.
- Raffi, J. ve Stocker, P. 1996, Electron paramagnetic resonance detection of irradiated food stuffs. *Applied Magnetic Resonance*. 10,357-373.
- Raffi, J., Yordanov, N. D., Chabane, S., Douifi, L., Gancheva, V. ve Ivanova, S. 2000, Identification of irradiation treatment of aromatic herbs, spices and fruits by electron paramagnetic resonance and thermoluminescence. *Spectrochimica Acta Part(A)* 56, 409-416
- Resmi Gazete 2003, T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Gıda İşınlanma Yönetmeliği Sayı, 25321.

- Satin, M. 1996, Food irradiation a guidebook. (second edition). CRC Pres., books.google.com. (Erişim Tarihi:01 02 2008).
- Siddhuraju, P., Makkar, H.P.S., Becker, K., 2002, the effect of ionizing radiation on antinutritional factors and nutritional value of plant materials with reference to human and animal food. Food Chemistry,, 78, 187-205.
- Smith, J.S. and Pillia, S. 2004, Irradiation and food safety. Food Technology, 58, 48-55
- Swallow AJ. Wholesomeness and safety of irradiated foods. In: Friedman M, ed. Nutritional and Toxicological Consequences of Food Processing. NewYork, NY: Plenum Press; 1991:11-31.
- Swallow AJ. Wholesomeness and safety of irradiated foods. In: Friedman M, ed. Nutritional and Toxicological Consequences of Food Processing. NewYork, NY: Plenum Press; 1991:11-31.
- Thorne S., 1991, Food Irradiation., NY: Elsevier Science Publishers, New York. Topal, Ş. 1996, Gıda güvenliği ve kalite yönetim sistemleri. Tubitak-Marmara Araştırma Merkezi Matbaası, Gebze, 225 ss.
- Topal, Ş. 1988, Işınlama tekniği ve gıda sanayiinde kullanım olanakları. Gıda, 13(6), 417-423.
- Venugopal, V., Doke S, N. And Thomas, P.1999, Radiation processing to improve the quality of fishery products. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 39 (5), 391-440.
- Villavicencio, A. L. C. H., Araújo, M., Marin-Huachaca, M. N. S. J., Mancini-Filho and Delincée H. 2004, Identification of irradiated refrigerated poultry with the DNA comet assay. Radiation Physics and Chemistry, 71, 189-191.

- Webb, M., Penner, K. 2000, Food Irradiation, Kansas State University, February, http://www.oznet.ksu.edu/library/fntr2/mf24_26.pdf. [Erişim 05.02.2008]
- Webb, M., Penner, K. 2000, Food Irradiation, Kansas State University, February, http://www.oznet.ksu.edu/library/fntr2/mf24_26.pdf. [Erişim 05.02.2008]
- Weilmeier, D. M., Regenstein J. M. 2004, Cooking Enhances the Antioxidant Properties of Polyphosphates. *Journal of Food Sciences*, 69(1): 16-23.
- Weil, J.,A and Bolton, J.,R. 2007, Electron Manyetik Resonance – Elementary Theory and Practical Applications, Second Edition, Published by John Wiley and Sons. Inc. Hoboken, New Jersey.
- WHO, 1994, Safety and nutritional adequacy of irradiated food. Geneva WHO, 1999. High dose irradiation: Wholesomeness of food irradiated with doses above 10kGy. Technical Report Series 890, Geneva
- World Health Organisation 1983, <http://www.euro.who.int/document.pdf>. (Erişim Tarihi: 01 02 2008).
- Yamaoki, R., Kimura, S. ve Ohta, M. 2008, Free radical kinetics on irradiated fennel. *Radiation Physics and Chemistry*. 77,1057-1061
- Yordanov, N. D. ve Gancheva, V. 2000, A new approach for extension of the identification period of irradiated cellulose-containing foodstuffs by EPR spectroscopy. *Applied Radiation and Isotopes*. 52, 195-198
- Yordanov, N. D., Lagunov, O. ve Dimov, K. 2009, EPR spectra induced by gamma-irradiation of some dry medical herbs. *Radiation Physics and Chemistry*. 78, 277-280
- Zavoisky, E., 1945, Spin magnetic resonance in paramagnetic substances, *J.Phys. (USSR)*, 9:245-7

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Necati KAPLAN
Uyruğu : T.C
Doğum Yeri ve Tarihi : Afyonkarahisar / 16.05.1986
Telefon : 0506 986 21 29
Faks :
e-mail : nctkaplan@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Sandıklı Lisesi, Sandıklı, Afyonkarahisar	2004
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	2008
Yüksek Lisans	: Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
-----	-------	--------

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR