

T.C.
ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI
2017-YL-023

**İŞINLANMIŞ GIDALARIN ELEKTRON SPİN
REZONANS (ESR) TEKNİĞİ İLE BELİRLENMESİ**

Semih YURTSEVER

Tez Danışmanı
Yrd. Doç. Dr. Nuray HORASAN

AYDIN

T.C.
ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE
AYDIN

Fizik Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programı öğrencisi Semih Yurtsever tarafından hazırlanan Işınlanmış Gıdaların Elektron Spin Rezonans (ESR) Tekniği ile Belirlenmesi başlıklı tez, 13.07.2017 tarihinde yapılan savunma sonucunda aşağıda isimleri bulunan jüri üyelerince kabul edilmiştir.

	Ünvanı, Adı Soyadı	Kurumu	İmzası
Başkan	Yrd. Doç. Dr. Nuray HORASAN	Adnan Menderes Üniversitesi	
Üye	Prof. Dr. Birol ENGİN	Dokuz Eylül Üniversitesi	
Üye	Doç. Dr. Hüseyin DERİN	Adnan Menderes Üniversitesi	

Jüri üyeleri tarafından kabul edilen bu yüksek lisans tezi, Enstitü Yönetim KurulununSayılı kararıyla tarihinde onaylanmıştır.

Prof. Dr. Aydın ÜNAY

Enstitü Müdürü

T.C.
ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Bu tezde sunulan tüm bilgi ve sonuçların, bilimsel yöntemlerle yürütülen gerçek deney ve gözlemler çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, çalışmada bana ait olmayan tüm veri, düşünce, sonuç ve bilgilere bilimsel etik kuralların gereği olarak eksiksiz şekilde uygun atıf yaptığımı ve kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.

13/07/2017

Semih YURTSEVER

ÖZET

İŞINLANMIŞ GIDALARIN ELEKTRON SPİN REZONANS (ESR) TEKNİĞİ İLE BELİRLENMESİ

Semih YURTSEVER

Yüksek Lisans Tezi, Fizik Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Nuray HORASAN

2017, 107 sayfa

Günümüzde, gıdaların raf ömrünü arttırmak, israfını önlemek, bozulmalarını geciktirmek ve haşerelere karşı savaşmak için, gıdalarda pek çok uygulama yapılır. Bu uygulamalardan birisi de gıda ışınlama yöntemidir. Işınlanmış gıdaların tespiti ve etiketlenmesi, gıdayı alacak olan tüketicileri bilgilendirmek için önemlidir. Işınlanmış gıdaların tespiti için pek çok fiziksel, kimyasal ve biyolojik metot vardır. Işınlanmış gıdaları tespit etmedeki yöntemlerden birisi de Elektron Spin Rezonans (ESR) tekniğidir. Bu teknik ile ışınlanmış gıdalarda, ışınlama sonucu oluşan serbest radikaller tespit edilir. Bu araştırmada, gıdalarda, ışınlamayla oluşmuş selüloz radikallerinin yardımı ile ışınlanmış gıdaların ışınlanmamış olanlardan ayırt edilmesi amaçlanmıştır. Aydın'dan yerel bir marketten alınan arapsaçı, armut, ayva, iğde, kantaron, melisa, muşmula, nane ve papatya araştırma için seçilmiştir. Bu gıdalar 0,5, 1, 3, 5 ve 10 kGy dozunda ışınlandı. Oda sıcaklığında ESR sinyalleri kaydedilip, ışınlanmış gıdaların uydu sinyallerinin tespiti yapılmıştır. Her bir örnek için doz cevap grafiği çizilip, fit edilmiştir. 5 ve 10 kGy dozunda ışınlanan örnekler 120 gün boyunca farklı zaman aralıklarında ölçülerek uydu ve merkezi sinyallerindeki azalma tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektron Spin Rezonans (ESR), gıda ışınlaması, arapsaçı, armut, ayva, iğde, kantaron, melisa, muşmula, nane, papatya.

ABSTRACT

DETERMINATION OF IRRADIATED FOOD BY ELECTRON SPIN RESONANCE (ESR) TECHNIQUE

Semih YURTSEVER

Master Thesis, Physics

Supervisor: Yrd. Doç. Dr. Nuray HORASAN

2017, 107 pages

Nowadays so many treatments are applied on food; to increase the shelf-life, prevent food waste, delay food decay and fight against pests. One of these treatments is food irradiation. Detection and labeling of these irradiated food is crucial to be acknowledged the consumers. There are so many physical, chemical and biological methods that detect irradiated food. One of these methods to detect the irradiated food is Electron Spin Resonance (ESR). Trough this technique, free radicals due to irradiation can be detected. In this research, the aim is to distinguish the irradiated food from non-irradiated food with the help of cellulose radicals caused by irradiation. For the reseach; samples of wild fennel, pear, quince, oleaster, centaury root, balm, medlar, mint and daisy were purchased from a local mall in Aydın. The samples were irradiated at 0,5, 1, 3, 5 and 10 kGy. Detection of the irradiated samples were made trough the satellite signals, and the samples irradiated at 5, 10 kGy measured in different time periods for 120 days and deterioration in these signals were detected.

Key Words: Electron Spin Resonance (ESR), wild fennel, pear, quince, oleaster, centaury root, balm, medlar, mint and daisy

ÖNSÖZ

Bu çalışma sürecinde ilgi ve desteğini her zaman hissettiren, deneyimleriyle beni yönlendiren Sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Nuray HORASAN'a teşekkür ederim.

Tez kapsamında incelenen Elektron Spin Rezonans (ESR) ölçümleri için Dokuz Eylül Üniversitesi'ndeki laboratuvarlarımı bize açan Sayın Prof. Dr. Birol ENGİN'e ve ölçümlerin alınmasında yardımcı olan Sayın Arş. Gör. Ufuk PAKSU'ya teşekkür ederim.

Bütün hayatım boyunca bana destek olan ve bu araştırma süresi boyunca yanımda olan aileme teşekkür ederim.

Semih YURTSEVER

İÇİNDEKİLER

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI	v
ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	ix
ÖNSÖZ	xi
KISALTMALAR DİZİNİ	xvii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xxi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xxix
1. GİRİŞ	1
1.1. Gıda Işınlaması.....	1
1.1.1 Elektron Demeti	3
1.1.2. X-ışınları	3
1.1.3. Gama Işınları.....	3
2. KAYNAK ÖZETLERİ	5
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	9
3.1. Işınlanmış Gıdaların Belirlenmesi.....	9
3.1.1. Fiziksel Metotlar	10
3.1.1.1. Termolüminesans (TL).....	10
3.1.1.2. Işıklı Uyarılmış Lüminesans (PSL)	10
3.1.1.3. Elektron Spin Rezonans (ESR)	10
3.1.2. Kimyasal Metotlar.....	11
3.1.2.1. Hidrokarbonların Gaz Kromatografik Analizi (GC).....	11
3.1.2.2. Gaz Kromatografi – Kütle Spektroskopisi (GC-MS)	11
3.1.3. Biyolojik Metotlar.....	12
3.1.3.1. Doğrudan Epifloresans Filtre Tekniği /Aerobik Plak Sayımı (DEFT/APC)	12
3.1.3.2. DNA Comet Assay.....	13
3.1.3.3. LAL Kullanılarak Mikrobiyolojik Görüntüleme / GNB Prosedürleri....	13
3.2. Elektron Spin Rezonans (ESR)	14
3.2.1. Spektroskopi.....	14
3.2.2. Manyetik Rezonans (MR)	15

3.2.2.1. Manyetik Moment	15
3.2.2.2. Zeeman Olayı	17
3.2.2.3. Rezonans Koşulu	19
3.2.2.4. Spektroskopik Yarıma Çarpanı (g Faktörü)	20
3.2.2.5. Aşırı İnce Yapı Yarılmaması	21
3.2.2.6. Manyetik Rezonansta Deneysel Teknik	22
3.3. Örneklerin Hazırlanması	23
3.4. Örneklerin Işınlanması	23
3.5. ESR Ölçümü	26
4. BULGULAR	31
4.1. Arapsaçı	31
4.1.1. ESR Sinyalleri	31
4.1.2. Doz-Cevap Grafikleri	32
4.1.3. Zaman İncelemeleri	34
4.2. Armut	37
4.2.1. ESR Sinyalleri	37
4.2.2. Doz-Cevap Grafikleri	40
4.2.3. Zaman İncelemeleri	43
4.3. Ayva	48
4.3.1. ESR Sinyalleri	48
4.3.2. Doz-Cevap Grafikleri	51
4.3.3. Zaman İncelemeleri	54
4.4. İğde	60
4.4.1. ESR Sinyalleri	60
4.4.2. Doz-Cevap Grafikleri	61
4.4.3. Zaman İncelemeleri	62
4.5. Kantaron	65
4.5.1. ESR Sinyalleri	65
4.5.2. Doz-Cevap Grafikleri	67
4.5.3. Zaman İncelemeleri	69
4.6. Melisa	72

4.6.1. ESR Sinyalleri.....	72
4.6.2. Doz-Cevap Grafikleri.....	73
4.6.3. Zaman İncelemeleri.....	75
4.7. Muşmula.....	78
4.7.1. ESR Sinyalleri.....	78
4.7.2. Doz-Cevap Grafikleri.....	81
4.7.3. Zaman İncelemeleri	84
4.8. Nane	90
4.8.1. ESR Sinyalleri.....	90
4.8.2. Doz-Cevap Grafikleri.....	91
4.8.3. Zaman İncelemeleri	92
4.9. Papatya	94
4.9.1. ESR Sinyalleri.....	94
4.9.2. Doz-Cevap Grafikleri.....	95
4.9.3. Zaman İncelemeleri.....	96
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	100
5.1. Arapsaçı.....	100
5.2. Armut	100
5.3. Ayva	100
5.4. İğde.....	101
5.5. Kantaron.....	101
5.6. Melisa	102
5.7. Muşmula.....	102
5.8. Nane	102
5.9. Papatya	103
KAYNAKLAR	104
ÖZGEÇMİŞ	107

KISALTMALAR DİZİNİ

\vec{H}_D :	Dışarıdan uygulanan manyetik alan şiddeti
\vec{H}_T :	Toplam manyetik alan şiddeti
\vec{H}_Y :	Çekirdeğin oluşturduğu manyetik alan şiddeti
\vec{A} :	Yüzey vektörü
\vec{H} :	Manyetik alan
\vec{L} :	Yörünge açısal momentumu
\vec{S} :	Toplam açısal momentum
S_z :	Toplam açısal momentumun z yönündeki bileşeni
\bar{g} :	Yönser spektroskopik yarıлма çarpanı
m_s :	Spin kuantum sayısı
\hat{n} :	Yüzey normal
\vec{s} :	Spin açısal momentumu
$\vec{\mu}$:	Manyetik moment
ΔE :	Enerji farkı
A_1, A_2 ,	İki farklı sinyalin sinyal şiddetleri
APC:	Aerobik plak sayımı
Ci:	Curie
D:	Soğurulan doz
DEFT:	Doğrudan epifloresans filtre tekniği
DNA:	Deoksiribo nükleik asit
DPPH:	1,1-difenil-2-pikril-hidrazil
E:	Enerji
ESR:	Elektron Spin Rezonans
g:	Gram
g:	Spektroskopik yarıлма çarpanı
GC:	Hidrokarbonların gaz kromatografik analizi
GHz:	Gigahertz
GNB:	Gram negatif bakteri sayısı

Gy:	Grey
h:	Planck sabiti
\hbar :	Planck sabiti / 2π
H_z :	Manyetik alanın z yönündeki bileşeni
I:	Sinyal şiddeti
I_0 :	İlk doz değerine karşılık gelen sinyal şiddeti
İz:	Bir matrisin izi
J:	Joule
K:	Kelvin
k, k_1 , k_2 :	Denklem sabitleri
Kg:	Kilogram
kGy:	Kilogrey
kHz:	Kilohertz
LAL:	Limulus amöbosit lizat
m:	Elektronun kütlesi
MD:	Mikrodalga
MeV:	Mega elektron volt
mL:	Mililitre
MR:	Manyetik Rezonans
MS:	Kütle spektroskopisi
ms:	Milisaniye
mT:	Militesla
mW:	Miliwatt
PSL:	Işıklı Uyarılmış Lüminesans
q:	Elektronun yükü
r:	Dönme eksenine uzaklığı
s:	Manyetik kuantum sayısı
s:	Saniye
S:	Spin kuantum sayısı
t:	Zaman
TL:	Termolüminesans

γ :	Jiromanyetik oran sabiti
π :	Pi sayısı
i :	Akım
μ_B :	Bohr magnetonu
ν :	Frekans
v :	Çizgisel hız

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Işınlanmış gıda simgesi.....	9
Şekil 3.2. Elektromanyetik tayf.....	14
Şekil 3.3. Manyetik moment ve açısal momentumun gösterimi	16
Şekil 3.4. Zeeman yarılması.....	19
Şekil 3.5. Manyetik rezonans gösterimi	20
Şekil 3.6. Toz haline getirilmiş ve tüpe yerleştirilmiş melisa örnekleri.....	26
Şekil 3.7. Co-60 deneysel ışınlama cihazı.....	27
Şekil 3.8. Numune sepeti ve ışınlama hücresi.....	28
Şekil 3.9. Bruker e-scan X – Bant ESR Spektrometresi	29
Şekil 4.1. Işınlanmamış arapsaçı örneğinin ESR spektrumu.....	31
Şekil 4.2. 10 kGy dozunda ışınlanmış arapsaçı örneğinin ESR spektrumu (6 kez büyütülmüş).....	32
Şekil 4.3. Arapsaçının sol uydu sinyaline ait doz-cevap grafiği	33
Şekil 4.4. Arapsaçının merkezi sinyaline ait doz-cevap grafiği	33
Şekil 4.5. 10 kGy dozunda ışınlanmış arapsaçı örneğinin sol uydu sinyaline göre zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği.....	34
Şekil 4.6. 5 kGy dozunda ışınlanmış arapsaçı örneklerinin sol uydu sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği.....	35
Şekil 4.7. 10 kGy dozunda ışınlanmış arapsaçı örneklerinin merkezi sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği.....	36
Şekil 4.8. 5 kGy dozunda ışınlanmış arapsaçı örneklerinin merkezi sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği.....	36
Şekil 4.9. Işınlanmamış armudun iç kısmına ait ESR spektrumu	37
Şekil 4.10. Işınlanmamış armudun kabuk kısmına ait ESR spektrumu	38
Şekil 4.11. 10 kGy dozunda ışınlanmış armudun iç kısmına ait ESR spektrumu (4 kez büyütülmüş).....	39
Şekil 4.12. 10 kGy dozunda ışınlanmış armudun kabuk kısmına ait ESR spektrumu (5 kez büyütülmüş).....	39
Şekil 4.13. Armudun iç kısmının sol uydu sinyaline ait doz-cevap grafiği	40
Şekil 4.14. Armudun kabuk kısmının sol uydu sinyaline ait doz-cevap grafiği..	41
Şekil 4.15. Armudun iç kısmının merkezi sinyaline ait doz-cevap grafiği	42
Şekil 4.16. Armudun kabuk kısmının merkezi sinyaline ait doz-cevap grafiği ..	42

Şekil 4.17. 10 kGy dozunda ışınlanmış armut içinin sol uydu sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği	44
Şekil 4.18. 5 kGy dozunda ışınlanmış armut içinin sol uydu sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği	44
Şekil 4.19. 10 kGy dozunda ışınlanmış armut kabuğunun sol uydu sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği	45
Şekil 4.20. 5 kGy dozunda ışınlanmış armut kabuğunun sol uydu sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği	45
Şekil 4.21. 10 kGy dozunda ışınlanmış armut içinin merkezi sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği	46
Şekil 4.22. 5 kGy dozunda ışınlanmış armut içinin merkezi sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği	47
Şekil 4.23. 10 kGy dozunda ışınlanmış armut kabuğunun merkezi sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği	47
Şekil 4.24. 5 kGy dozunda ışınlanmış armut kabuğunun merkezi sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği	48
Şekil 4.25. Işınlanmamış ayva örneklerinin iç kısmına ait ESR spektrumu	49
Şekil 4.26. Işınlanmamış ayva örneklerinin kabuk kısmına ait ESR spektrumu	49
Şekil 4.27. 10 kGy dozunda ışınlanmış ayvanın iç kısmına ait ESR spektrumu (4 kez büyütülmüş)	50
Şekil 4.28. 10 kGy dozunda ışınlanmış ayvanın kabuk kısmına ait ESR spektrumu (4 kez büyütülmüş)	51
Şekil 4.29. Ayvanın iç kısmının sol uydu sinyaline ait doz-cevap grafiği	52
Şekil 4.30. Ayvanın kabuk kısmının sol uydu sinyaline ait doz-cevap grafiği ...	52
Şekil 4.31. Ayvanın iç kısmının merkezi sinyaline ait doz-cevap grafiği	53
Şekil 4.32. Ayvanın kabuk kısmının merkezi sinyaline ait doz-cevap grafiği	54
Şekil 4.33. 10 kGy dozunda ışınlanmış ayva içinin sol uydu sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği	55
Şekil 4.34. 5 kGy dozunda ışınlanmış ayva içinin sol uydu sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği	56
Şekil 4.35. 10 kGy dozunda ışınlanmış ayva kabuğunun sol uydu sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği	56
Şekil 4.36. 5 kGy dozunda ışınlanmış ayva kabuğunun sol uydu sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği	57
Şekil 4.37. 10 kGy dozunda ışınlanmış ayvanın iç kısmının merkezi sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği	58

Şekil 4.38. 5 kGy dozunda ışınlanmış ayvanın iç kısmının merkezi sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği.....	58
Şekil 4.39. 10 kGy dozunda ışınlanmış ayvanın kabuk kısmının merkezi sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği.....	59
Şekil 4.40. 5 kGy dozunda ışınlanmış ayvanın kabuk kısmının merkezi sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği.....	59
Şekil 4.41. Işınlanmamış iğde örneğine ait ESR spektrumu	60
Şekil 4.42. 10 kGy dozunda ışınlanmış iğde örneklerine ait ESR spektrumu.....	61
Şekil 4.43. İğde örneklerinin merkezi sinyaline ait doz-cevap grafiği.....	62
Şekil 4.44. 10 kGy dozunda ışınlanmış iğde örneklerinin sol uydu sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği.....	63
Şekil 4.45. 5 kGy dozunda ışınlanmış iğde örneklerinin sol uydu sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği.....	63
Şekil 4.46. 10 kGy dozunda ışınlanmış iğde örneklerinin merkezi sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği.....	64
Şekil 4.47. 5 kGy dozunda ışınlanmış iğde örneklerinin merkezi sinyaline zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği.....	65
Şekil 4.48. Işınlanmamış kantaron örneklerine ait ESR spektrumu.....	66
Şekil 4.49. 10 kGy dozunda ışınlanmış kantaron örneklerine ait ESR spektrumu (6 kez büyütülmüş).....	67
Şekil 4.50. Kantaron örneklerinin sol uydu sinyaline ait doz-cevap grafiği	68
Şekil 4.51. Kantaron örneklerinin merkezi sinyaline ait doz-cevap grafiği.....	68
Şekil 4.52. 10 kGy dozunda ışınlanmış kantaron örneklerine ait zaman-sinyal yüksekliği grafiği	69
Şekil 4.53. 5 kGy dozunda ışınlanmış kantaron örneklerine ait zaman-sinyal yüksekliği grafiği	70
Şekil 4.54. 10 kGy dozunda ışınlanmış kantaron örneklerinin merkezi sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği.....	71
Şekil 4.55. 5 kGy dozunda ışınlanmış kantaron örneklerinin merkezi sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği.....	71
Şekil 4.56. Işınlanmamış melisa örneklerine ait ESR spektrumu	72
Şekil 4.57. 10 kGy dozunda ışınlanmış melisa örneklerine ait ESR spektrumu (7 kez büyütülmüş)	73
Şekil 4.58. Melisa örneklerinin sol uydu sinyallerine ait doz-cevap grafiği	74
Şekil 4.59. Melisa örneklerinin merkezi sinyallerine ait doz-cevap grafiği.....	74

Şekil 4.60. 10 kGy dozunda ışınlanmış melisa örneklerinin sol uydu sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği	76
Şekil 4.61. 5 kGy dozunda ışınlanmış melisa örneklerinin sol uydu sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği	76
Şekil 4.62. 10 kGy dozunda ışınlanmış melisa örneklerinin merkezi sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği	77
Şekil 4.63. 5 kGy dozunda ışınlanmış melisa örneklerinin merkezi sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği	78
Şekil 4.64 Işınlanmamış muşmuların iç kısmına ait ESR spektrumu	79
Şekil 4.65. Işınlanmamış muşmuların kabuk kısmına ait ESR spektrumu	79
Şekil 4.66. 10 kGy dozunda ışınlanmış muşmula örneklerinin iç kısmına ait ESR spektrumu (4 kez büyütülmüş)	80
Şekil 4.67. 10 kGy dozunda ışınlanmış muşmula örneklerinin kabuk kısmına ait ESR spektrumu (5 kez büyütülmüş).....	81
Şekil 4.68. Işınlanmış muşmula içinin sol uydu sinyaline ait doz-cevap grafiği.	82
Şekil 4.69. Işınlanmış muşmula kabuğunun sol uydu sinyaline ait doz-cevap grafiği	82
Şekil 4.70. Işınlanmış muşmula içinin merkezi sinyaline ait doz-cevap grafiği .	83
Şekil 4.71. Işınlanmış muşmula kabuğunun merkezi sinyaline ait doz-cevap grafiği	84
Şekil 4.72. 10 kGy dozunda ışınlanmış muşmula içinin sol uydu sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği	85
Şekil 4.73. 5 kGy dozunda ışınlanmış muşmula içinin sol uydu sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği	85
Şekil 4.74. 10 kGy dozunda ışınlanmış muşmula kabuğunun sol uydu sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği	87
Şekil 4.75. 5 kGy dozunda ışınlanmış muşmula kabuğunun sol uydu sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği	87
Şekil 4.76. 10 kGy dozunda ışınlanmış muşmula içinin merkezi sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği	88
Şekil 4.77. 5 kGy dozunda ışınlanmış muşmula içinin merkezi sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği	88
Şekil 4.78. 10 kGy dozunda ışınlanmış muşmula kabuğunun merkezi sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği	89
Şekil 4.79. 5 kGy dozunda ışınlanmış muşmula kabuğunun merkezi sinyaline zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği	89

Şekil 4.80. Işınlanmamış nane örneklerine ait ESR spektrumu	90
Şekil 4.81. 10 kGy dozunda ışınlanmış nane örneğinin ESR spektrumu (8 kez büyütülmüş).....	91
Şekil 4.82. Nane örneğinin merkezi sinyaline ait doz-cevap grafiği.....	92
Şekil 4.83. 10 kGy dozunda ışınlanmış nane örneğinin zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği	93
Şekil 4.84. 5 kGy dozunda ışınlanmış nane örneğinin zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği	93
Şekil 4.85. Işınlanmamış papatyaya örneğinin ESR spektrumu	94
Şekil 4.86. 10 kGy dozunda ışınlanmış papatyaya örneğinin ESR spektrumu (4 kez büyütülmüş)	95
Şekil 4.87. Papatyanın merkezi sinyaline ait doz-cevap grafiği.....	96
Şekil 4.88. 10 kGy dozunda ışınlanmış papatyanın sol uydu sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği	97
Şekil 4.89. 5 kGy dozunda ışınlanmış papatyanın sol uydu sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği	98
Şekil 4.90. 10 kGy dozunda ışınlanmış papatyanın merkezi sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği	99
Şekil 4.91. 5 kGy dozunda ışınlanmış papatyanın merkezi sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği	99

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Gıda gruplarında belirli teknolojik amaçlara göre uygulanmasına izin verilen ışınlama dozları. (X) Minimum doz düzeyi belli bir zararlı organizma için belirlenebilir. (XX) Minimum doz düzeyi gıdanın hijyenik kalitesini temin edecek düzeyde belirlenebilir. (XXX) 10 kGy'in üzerindeki maksimum doz düzeyleri, gıdanın tümündeki minimum ve maksimum doz ortalaması 10 kGy'i aşmayacak şekilde uygulanır	2
Çizelge 3.1. Kurutma işlemi uygulandıktan sonra örneklerdeki nem miktarı.....	25
Çizelge 3.2. Deney ölçümleri için kullanılan parametreler	30

1. GİRİŞ

1.1. Gıda Işınlaması

Dünyada, her gün birçok gıda maddesi bozulma, böceklenme ve benzeri sebeplerden dolayı ziyan olmaktadır. Gıdalardaki bu israf, hem ülke ekonomisini hem de tüketiciyi etkilemektedir. Gıdalarda, yıllardır, birçok farklı yöntemler (kurutma, pastörizasyon, tuzlama, dondurma vb.) uygulanarak, gıdanın raf ömrünün artırılması ve sterilizasyon amaçlanmıştır. Gıda koruma yöntemlerinden birisi de gıda ışınlamasıdır. Gıda ışınlaması ile gıdalarda çimlenmeyi engelleme, böcek, parazitlerin ve patojenik bakterilerin yok edilmesi, flora bozulmasının azalması ve sterilizasyon sağlanabilir (WHO, 1999).

Gıdaların ışınlanması, gıdalara belirli radyasyon kaynaklarından, belirli dozlarda radyasyon verilmesidir. Burada verilen doz, maddenin birim kütlelerinin üzerine uygulanan enerji miktarıdır. Gıda ışınlama işlemlerinde doz birimi olarak *grey* (Gy) kullanılır ($Gy=J/kg$). Gıdalardaki ışınlama dozu, en yüksek 10 kGy olacak şekilde sınırlandırılmıştır (FAO/WHO, 1984; WHO, 1981). Gıdalardaki, bu ışınlama işlemindeki doz miktarı, gıdada yapılması istenilen işleme göre değişir ve üç sınıfa ayrılır:

- 0,1-1 kGy arası dozlar, gıdada çimlenmeyi engelleme, böcek ve parazitlerin yok edilmesinde kullanılır.
- 1-10 kGy arası dozlar, gıdanın raf ömrünü arttırmak, patojenik bakterilerin yok edilmesi ve flora bozulmasının azalması için kullanılır.
- 10 kGy dozu ise aromatik şifalı bitki türlerinin ve baharatların sterilizasyonu için kullanılır.

Ülkemizde, gıda ışınlama işlemi, Tarım Köy İşleri Bakanlığı Gıda Işınlama Yönetmeliğine bağlı olarak Gama Pak ve Türkiye Atom Enerjisi Kurumu tarafından yapılmaktadır. Gıda gruplarında, belirli teknolojik amaçlara göre uygulanmasına izin verilen ışınlama dozları Çizelge 1.1’de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Gıda gruplarında belirli teknolojik amaçlara göre uygulanmasına izin verilen ışınlama dozları. (X) Minimum doz düzeyi belli bir zararlı organizma için belirlenebilir. (XX) Minimum doz düzeyi gıdanın hijyenik kalitesini temin edecek düzeyde belirlenebilir. (XXX) 10 kGy'in üzerindeki maksimum doz düzeyleri, gıdanın tümündeki minimum ve maksimum doz ortalaması 10 kGy'i aşmayacak şekilde uygulanır.

Gıda Gruplarında Belirli Teknolojik Amaçlara Göre Uygulanmasına İzin Verilen Işınlama Dozları			
GIDA GRUBU	AMAÇ	DOZ(kGy)	
		Minimum	Maximum
Grup 1- Soğanlar, kökder ve yumrular	Depolama sırasında filizlenme, çimlenme ve tomurcuklanmayı önlemek		0,2
Grup 2- Taze meyve ve sebzeler (Grup 1'in dışındakiler)	a) Olgunlaşmayı geciktirmek b) Böceklenmeyi önlemek c) Raf ömrünü uzatmak d) Karantina kontrolü	(X)	1.0 1.0 2.5 1.0
Grup 3- Hububat, öğütülmüş hububat ürünleri, kabuklu yemişler, yağlı tohumlar, baklagiller, kurutulmuş sebzeler ve kurutulmuş meyveler	a) Böceklenmeyi önlemek b) Mikroorganizmaları azaltmak c) Raf ömrünü uzatmak		1.0 5.0 5.0
Grup 4- Çiğ balık, kabuklu deniz hayvanları ve bunların ürünleri (taze veya dondurulmuş), dondurulmuş kurbağa bacağı	a) Bazı patojenik mikroorganizmaları azaltmak b) Raf ömrünü uzatmak c) Paraziter enfeksiyonların kontrolü	(X) (XX)	5.0 3.0 2.0
Grup 5- Kanatlı, kırmızı et ile bunların ürünleri (taze veya dondurulmuş)	a) Bazı patojenik mikroorganizmaları azaltmak b) Raf ömrünü uzatmak c) Paraziter enfeksiyonların kontrolü	(X) (XX)	7.0 3.0 3.0
Grup 6- Kuru sebzeler, baharatlar, kuru otlar, çeşniler ve bitkisel çaylar	a) Bazı patojenik mikroorganizmaları azaltmak b) Böceklenmeyi önlemek	(X)	10.0(XXX) 1.0

Gıda ışınlama işlemi için üç farklı kaynak türü kullanılabilir.

1.1.1. Elektron Demeti

Hızlandırılmış elektron akımıdır. Herhangi bir malzemeyi ışınlamak için yüksek enerjili radyasyon yaratan bir demet haline getirebilirler. Enerjileri maksimum 10 MeV'dir. Uygulanan ışınlama doz değeri zamanla değişim göstermez. Uzun ömürlü bir sistemdir. Diğer yöntemlere göre daha masraflıdır. Küçük paket ve kolilerin ışınlanmasında kullanılır. Harcanan elektrik gücüne göre elde edilen ışın gücü düşüktür (Alkan, 2012).

1.1.2. X-ışınları

X ışınları hızlandırılmış elektronların bir metal plakaya çarptırılıp elektronların ivmelenmesi ya da enerjilerini başka elektronlara aktararak onları uyarması sonucunda oluşur. X ışınları gıda ışınlanmasında pek tercih edilen bir ışınlama türü değildir. Verilebilecek maksimum enerji değeri 5 MeV ile sınırlandırılmıştır. Daha yüksek dozlarda X ışınları gıda maddelerinin iyonize olmasını sağladığı için tercih edilmez (Alkan, 2012).

1.1.3. Gama Işınları

Gama ışınları radyoaktif kaynaklar tarafından üretilir. Kobalt-60 ve sezyum-137 radyoaktif kaynak olarak kullanılır. Genellikle kobalt-60 kaynağı tercih edilir. Kobalt-60 kaynağının 5,3 yıl, sezyum-137 kaynağının 30 yıl yarılanma süresi vardır. Her radyoaktif maddenin, kütesinin yarıya inmesi için geçen süreye yarılanma süresi denir. Radyoaktif kaynakların doz hızı, zamanla bir azalma gösterir. Bu nedenle değiştirilmeleri gerekir (Alkan, 2012).

Işınlanmış gıdaların tespit edilmesi ve etiketlenmesi, tüketiciyi bilgilendirmek için önemlidir. Işınlanmış gıdaların tespitinde, fiziksel, kimyasal ve biyolojik metotlar kullanılır. Bu metotlardan birisi de Elektron Spin Rezonans (ESR) tekniğidir. Elektron Spin Rezonans tekniğinde, örnekler çok güçlü bir manyetik alana yerleştirilirler. Daha sonra örneklerin üzerine dışarıdan bir mikrodalga uygulanır. Uygulanan mikrodalga enerjisindeki azalma tespit edilir ve ESR spektrumu oluşturulur. Işınlanmış gıda örneklerinde ışınlamaya bağlı olarak serbest radikaller oluşur. Bu serbest radikaller ESR tekniği ile tespit edilir.

Işınlanmış gıdaların ESR metoduyla tespiti için üç Avrupa standardı vardır. Bunlar, kemik içeren ışınlanmış örneklerin tespiti (EN 1786, 1996), selüloz içeren ışınlanmış

örneklerin tespiti (EN 1787, 2000) ve kristal şeker içeren ışınlanmış örneklerin tespitidir (EN 13708, 2002).

Bu araştırmada, selüloz içeren ışınlanmış gıda örneklerinin tespitinin yapılması amaçlanmıştır. Örneklerin ışınlanıp ışınlanmadığının belirlenmesi, ışınlama ile oluşan serbest radikallerin gözlemlenmesi ile olur. Bu serbest radikaller, ışınlanmamış örneğin ESR spektrumunun merkez sinyalinde bir artışa sebep olur. Fakat bu, örneğin ışınlanıp ışınlanmadığını tespit etmemizde bize yardımcı olmaz. Işınlanmış örneklerde, selüloz radikalinden kaynaklanan aşırı ince yapı yarılmaması nedeniyle merkezi sinyale katkı dışında ek olarak uydu sinyalleri oluşur. Bu uydu sinyalleri, merkezi sinyalin yaklaşık 3 mT solunda ve sağında gözlemlenebilir. Bu uydu sinyallerinin g değerlerine bakılarak da ışınlanmış örnekte selüloz radikallerinin oluştuğu anlaşılabilir. Örneklerdeki bu uydu sinyalleri ölçülebiliyorsa, örnekler ışınlanmıştır denir.

Bu araştırmada, Aydın'dan yerel bir marketten alınan arapsaçı, armut, ayva, iğde, zencefil kökü, melisa, muşmula, nane ve papatya kullanılmıştır. Örnekler 0,5, 1, 3, 5 ve 10 kGy dozlarında gama kaynağı ile ışınlanmıştır. Örneklerdeki ışınlamaya bağlı, ESR sinyalinin şiddetindeki artış incelenmiş ve doz-cevap grafikleri çizilmiştir. Bu grafikler uygun bir denklem ile fit edilmiştir. Elde edilen denklem yardımı ile birim doz başına oluşan radikal sayısının belirlenmesi amaçlanmıştır. 5 ve 10 kGy dozunda ışınlanan örneklerin merkezi ve uydu sinyalleri, 120 gün boyunca farklı günlerde ölçülüp, bu sinyallerdeki azalma miktarları tespit edilmiştir. Elde edilen ESR sinyallerinin şiddetlerinin zamana bağlı grafiği çizilmiş ve uygun bir denklem ile fit edilmiştir. Bu denklemler ile ESR sinyalindeki birim zamanda azalma sabitinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlarla, oluşabilecek radikal türü sayısı ve ışınlanmış örneklerin ne kadar süre ile tespit edilebileceği bulunmaya çalışılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Işınlanmış gıdaların belirlenmesi, gıda ticareti ve tüketicinin bilgilendirilmesi açısından önemlidir. Işınlanmış gıdaların belirlenmesinde başvurulacak yöntem, güvenilir ve ucuz olmalı, kısa zamanda sonuç vermeli, bütün gıdalar için kullanılabilir olmalı, çok küçük miktarlara uygulanabilmeli, gıda maddesince soğurulan radyasyon dozu hakkında bilgi verebilmelidir. ESR yönteminin, bu koşulları sağlayıp sağlamadığı birçok araştırma yapılarak incelenmiştir.

ESR çalışmalarında, örneklerin kurutulmasında kullanılan en iyi yöntemin tesbiti için, kivi, domates, papaya, çilek, ananas, elma, havuç ve balkabağı 0,2 kGy ile 1 kGy arasındaki dozlarda, Cs-137 kaynağı ile ışınlanmıştır. Ayrıca, çilek 0,9 ile 3 kGy arasında ışınlanmıştır. Işınlama işleminden sonra, meyveler, çekirdek ve kabuk kısımlarından ayrılmıştır. Örnekler, ESR sinyalleri alınmadan önce, iki farklı kurutma işleminden geçirilmiştir. Bunlar, alkol ve vakum ile kurutma işlemleridir. Daha sonra örneklerin ESR sinyalleri ölçülerek uydu sinyalleri tespit edilmiştir. Işınlanmamış örnekler $g=2,0040$ 'da, tekli sinyal vermiştir. Bu sinyalin şiddeti, ışınlama dozuna ve kurutma yöntemine göre artmıştır. Işınlanmış örneklerde, $g=2,02012$ ve $g=2,98516$ değerlerinde uydu sinyalleri gözlenmiştir. Alkol ile kurutma yöntemiyle hazırlanmış örneklerin sinyalleri, vakum ile kurutma yöntemine göre daha yüksektir. Daha sonra, bu örneklerin doz-cevap eğrileri çizilmiştir. Örnekler 6 hafta boyunca, 10°C sıcaklıkta saklanmış ve farklı zaman aralıklarında ESR sinyalleri ölçülmüştür. Bu veriler kullanılarak, zaman-sinyal şiddeti grafikleri çizilmiş ve sinyal şiddetinde azalış tespit edilmiştir. Selüloz içeren örnekler için en etkili sonucun, örneklerin iç kısımlarından alındığı görülmüştür. Örneklerin hazırlanma yöntemi ve nem miktarı ESR sonuçlarını etkilemektedir. Vakum ile kurutma yöntemi, düşük dozların ölçülmesinde etkili olmamıştır. 0,1 kGy dozunda ışınlanmış örnekler, alkol kurutma yöntemi ile ölçülebilmektedir. Sinyal şiddetinin azalışından kaçmak için, bu işlem oda sıcaklığında yapılmalıdır. (de Jesus, 2000)

Kurutma yönteminin tespiti için yapılan bir diğer çalışmada, kuru zerdeçal, kekik ve tarçın kullanılmıştır. Örnekler oda sıcaklığında Co-60 kaynağı ile 1-10 kGy arası dozlarda ışınlanmıştır. Işınlamadan sonra örnekler karanlıkta ve oda sıcaklığında saklanmıştır. Örnekler üç farklı kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Bunlar dondurarak kurutma, fırında kurutma, alkol ile kurutma işlemidir. Örneklerin daha sonra ESR sinyalleri incelenmiştir. Merkezi $g=2,006$ değerinde sinyal ölçülmüştür. Bu merkezi sinyalin şiddeti, ışınlama dozuna bağlı olarak artmıştır. Ayrıca,

ışınlanmış örneklerde bu sinyalin 3 mT sağ ve sol tarafında, selüloza ait uydu sinyalleri gözlenmiştir ($g=2,024$, $g=1,986$). Farklı kurutma yöntemlerine ait ESR spektrumları incelenerek hangi kurutma yönteminin sinyal şiddetini daha çok arttırdığı incelenmiştir. Tüm kurutma yöntemlerinde merkezi sinyal şiddetinin arttığı gözlenmiştir. Alkol ile kurutma işlemi diğer işlemlere göre daha iyi sonuç verdiği bulunmuştur. (Ahn, 2014)

Düşük dozlarda ışınlanan örneklerin ESR sinyallerini incelemek için, çilek, papaya, frenk soğanı, maydanoz, kekik, toz tarçın, toz kimyon, sarımsak, toz Hindistan cevizi, karabiber ve biber kullanılmıştır. Çilekler 0,1, 0,25, 0,5, 0,75, 1, 1,5, ve 3 kGy; papayalar 0,1, 0,25, 0,5, 1 ve 1,5 kGy dozlarında, diğer örnekler ise 2,5, 5 ve 10 kGy dozlarında ışınlanmıştır. Çilekler 1°C da %90 nem ile 22 gün, papayalar 15°C da %90 nem ile 21 gün saklanmıştır. Diğer örnekler oda sıcaklığında tutulmuştur. Nem içeren örnekler, alkol ile kurutma uygulanmıştır. Işınlanmış örnekleri tespit etmek için, ESR ve DNA Comet Assay yöntemi kullanılmıştır. Alkol ile kurutma işlemi, örneklerdeki sinyal şiddetini arttırmıştır. Çilek örneklerinin 0,5 kGy dozunda ışınlanmış olanları, 2-3 hafta boyunca ışınlanmamış olanlardan ayırt edilebileceği tespit edilmiştir. Papaya örnekleri için, daha önce de Jesus (1999) tarafından yapılan araştırmada olduğu gibi, ışınlamadan bir gün sonra alınan ölçümlerde, 0,25-0,5 dozunda ışınlanan örneklerin sinyalleri mükemmel şekilde gözlenmiştir. Bu araştırmada, ESR tarama sayısı 5'den 25'e çıkarılarak, daha yüksek şiddet alınmış ve 0,5 kGy dozunda bu örnekler kolayca incelenmiştir. Jesus (1999), 15 °C da saklanmış 0,6 kGy dozunda ışınlanmış papaya örneklerinin ESR sinyallerinin 3 hafta sonra ölçülebileceğini söylemiştir. Baharat ve otların selüloz sinyal şiddetlerini arttırmak için, %80 alkol kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Sarımsak ve maydanoz örneklerinde bu şiddet artışı gözlenirken, frenk soğanı, kekik, tarçın, kimyon ve karabiberde bu artış gözlenmemiştir. Hindistan cevizi ve beyaz biber örneklerinde ise selüloz sinyali gözlenmemiştir. Çilek ve papayanın 0,5 kGy ve üzerindeki dozlarda ışınlanmış örnekleri, DNA Comet Assay yöntemi ile kolayca ölçülebilir. Işınlanmamış örneklerde, belli belirsiz bir kuyruk gözükürken, ışınlanmış olanlarda daha belirgin bir kuyruk gözlemlenmiştir. DNA Comet Assay metodu da, ESR sonuçlarına benzer sonuçlar vermiştir. Alkol kurutma yöntemi, çilek ve papayanın iç kısmı ile maydanoz ve sarımsak örneklerinin ESR şiddetlerini arttırmıştır. 0,5 kGy dozunda ışınlanmış papaya ve çilek 2-3 hafta boyunca incelenebilir. (Delincee, 2002)

Farklı ışınlama kaynaklarının, saklama koşullarının ve nem oranının ESR çalışmalarına etkisini araştırmak için, portakal kullanılmıştır. Kore’de yerel bir marketten alınan Portakallar, ışınlanmadan önce buzdolabında saklanmıştır. Örnekler 0,4, 1 ve 2 kGy dozunda elektron demeti, X-ışınları ve gama ışınları (Co-60) ile ışınlanmış ve karanlıkta 4 °C’da, florasan ışığı altında 20°C’da ve doğal ışık altında saklanmıştır. Portakallar, kabuk ve iç kısmı olmak üzere iki kısımda incelenmiştir. Örnekler; fırında kurutma, su-çıkarma kurutma ve alkol ile kurutma gibi üç farklı yöntemle kurutulmuştur. Örneklerin içerdikleri nem miktarları ölçülerek, nem miktarı ile ESR sinyali arasındaki ilişki incelenmiştir. Nem miktarı azaldıkça, ESR sinyalinin arttığı görülmüştür. %60’dan fazla lif içeren örnekler-için ESR sinyalli görülebilmektedir ve lif miktarı arttıkça, ESR sinyal şiddeti artmıştır. Işınlanmış portakallarda uydu sinyalleri gözlenmiştir. Farklı saklama koşulları ve farklı ışınlama kaynakları için, 6 hafta boyunca ESR sinyalleri ölçülmüştür. Farklı ışınlama kaynaklarının kullanılması, ESR sinyallerinde bir farklılık oluşturmamıştır. Karanlıkta saklanan örnekler, diğer örneklerle göre daha hızlı bir sinyal azalışı göstermiştir. Portakalın kabuk kısmı daha az nem oranına sahip olması ve daha fazla lif içermesi sebebiyle daha iyi sonuç vermiştir. (Jo, 2016)

Sıcaklığın ve mikrodalga gücünün ESR spektrumlarına etkisini incelenmek için, Ankara’da bir yerel marketten alınmış incirler kullanılmıştır. Çekirdeklerini çıkarabilmek için, su banyosunda ve daha sonra kuruması için bir hafta oda sıcaklığında bekletilmiştir. Örnekler 0,3, 0,6, 1, 1,5, 2, 2,5, 3, 4, 5 ve 6 kGy dozlarında Co-60 gama kaynağı ile oda sıcaklığında ışınlanmıştır. Örnekler, ışınlama ve taşıma işlemleri sırasında, ışıktan uzak tutulmuş ve oda sıcaklığında plastik poşetlerde saklanmıştır. Örnek hazırlama sırasında yapılan mekanik işlemler, ESR sinyallerini etkilememiştir. Tüm ışınlanmış ve ışınlanmamış örneklerde, tekli ESR sinyal gözlenmiştir ($g=2,0052$). Işınlama dozuna bağlı olarak tekli sinyalde artış meydana gelmiştir. Oda sıcaklığında, ışınlanmamış ve 3 kGy dozunda ışınlanmış örneklerin mikrodalga doyum karakteristiği incelenmiştir. 3 kGy dozunda ışınlanmış örnekler, 30 mW mikrodalga güç değerine kadar doyuma ulaşmamıştır. Işınlanmamış örnekler ise 1 mW mikrodalga güç değerinde doyuma ulaşmıştır. ESR çalışmalarında mikrodalga gücünün, doyum noktasından daha düşük bir değerde alınması gerekir. Bu nedenle, bu çalışma için, mikrodalga güç değeri 0,5 mW alınmıştır. Ayrıca 130 K değerinde, mikrodalga güç çalışması yapılmıştır. Işınlanmış örneklerin ESR sinyalleri 0,5 mW değerine kadar artmış fakat 10 mW değerinden sonra azalmıştır. Işınlanmamış örneklerin ESR sinyalleri 0,1 mW değerine kadar

yavaşça artmış ve 10 mW değerine kadar değişmemiştir. Düşük sıcaklıkta ışınlanmış örneklerin, ışınlanmamış olanlardan ayırt edilmesi mikrodalga doyum değerlerine bakılarak yapılabilir. Örneğe verilen doz ile sinyal şiddetinin artışı arasında bir bağıntı bulmak için doz-cevap grafiği çizilmiş ve uygun bir denklem ile fit edilmiştir. 3 kGy dozunda ışınlanmış ve ışınlanmamış örnekler, belirli sıcaklıklarda ısıtılmış ve ardından soğumaya bırakılmıştır. Farklı sıcaklık değerleri için ESR sinyalleri incelenmiştir. Isınan örnekler, soğumaya bırakılınca farklı ESR sinyal şiddetleri vermiştir. Işınlanmış ve ışınlanmamış örneklerdeki bu sinyal şiddetindeki azalma, yüzde olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan yüzdelerin birbirine yakın olması nedeniyle ışınlanmış örnekler, ışınlanmamış olanlardan ayırt edilememiştir. 3 kGy dozunda ışınlanmış örnekler 80 gün boyunca laboratuvar şartlarında saklanmış ve farklı zaman aralıklarında ESR sinyalleri incelenmiştir. Radikallerdeki azalmanın hesaplanması için, zaman-ESR sinyal şiddeti grafiği çizilmiş ve bu grafik uygun bir denklem ile fit edilmiştir. İlk 17 günde ESR sinyal şiddetinde hızlı bir azalma olmuş, daha sonraki günlerde ise bu azalış yavaşlamıştır. 80 gün boyunca sinyal şiddeti %30 oranında azalmıştır. Selüloz veya şeker içeren örneklerin gösterdiği ESR sinyalleri, incir çekirdeği için gözlemlenmemiştir. (Engin, 2011)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Işınlanmış Gıdaların Belirlenmesi

1900'lü yıllardan bu yana, gıda ışınlanmasının tespiti yapılabilmektedir. Işınlama sonucu toksin maddeler oluşup oluşmayacağı ve ışınlanmış gıdaların sağlığa zararlı olup olmadığı araştırılmıştır. 1980'de Gıda ve Tarım örgütü (FAO), Uluslararası Atom Enerji Kurumu (IAEA), Dünya Sağlık Örgütü (WHO)'nün oluşturduğu ortak eksperler komitesi, gıdaların ışınlanmasının teknolojik olarak tehlikeli olmayacağı kabul etmiştir. Avrupa birliği Gıda Bilimsel Komitesi ve çoğu ülkedeki sağlık otoriteleri, gıdalar için 10 kGy doz miktarının üzerindeki dozlarda çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmalar sonucunda ışınlanmış gıdaların 10 kGy geçmeyecek dozlarda ışınlanmasına izin verilmiştir. Sonuç olarak, çeşitli gıdaların ışınlanması yasallaştırılmıştır ve çoğu ülke tarafından kabul edilmiştir. Işınlanmış gıdaların ticaretini kolaylaştırmak amacıyla, tüm ülkelerdeki düzenleyici otoriteler basit ve etkili bir metoda yönelip ışınlanmış yiyeceklerin tespiti ve etiketleme yöntemlerinde uyumluluk yoluna gitmiştir. Işınlanmış gıdalar Şekil 3.1'deki simge ile gösterilmektedir. Işınlanmış gıdaların yasal kontrolü, gıda güvenliği ve tüketicuyu bilgilendirme için önemlidir. Işınlama sonucunda, gıdalarda fiziksel, kimyasal ve biyolojik değişiklikler meydana gelir. Bu değişikliklere bağlı olarak, üç farklı yöntemle ışınlanmış gıdalar tespit edilebilir. (Raffi, 1998)



Şekil 3.1. Işınlanmış gıda simgesi

3.1.1. Fiziksel Metotlar

3.1.1.1. Termolüminesans (TL)

Bu metot silikat minerali içeren örnekler için kullanılabilir. İşlem yeterli miktarda silikat mineralinin ayrılabilirdiği örnekler için yapılabilir. Gıda örneklerine yapışan silikat mineralleri radyasyona maruz kalmanın sonucu olarak, yük tuzaklama yoluyla enerjiyi hapseder. Bu enerjiyi hapseden silikat minerallerinin kontrollü olarak ısıtılması bu enerjinin serbest kalmasını ve örnekte oluşan TL ışıma sinyalinde bir artış oluşmasını sağlar. Silikat mineralleri gıdalardan yoğunluk ayırıştırma yöntemi sırasında ayırıştırılır. Ayırma işleminden sonra minerallerin ilk ışımaları kaydedilir (ışıma 1). Çeşitli miktarlarda mineral türleri (kuvars, feldispat vb.), ışınlama sonrasında çok değişken TL yoğunlukları sergilediğinden, sabit bir dozda radyasyona maruz bırakıldıktan sonra aynı numunenin ikinci bir TL ışıma (ışıma 2) değerinin ölçülüp normalize edilmesi gerekir. Böylece elde edilen TL ışıma oranı, gıdanın ışınlama işlemini tanımlamak için kullanılır, çünkü ışınlanmış örnekler prensip olarak ışınlanmamış örneklerinkinden daha yüksek TL ışıma oranları üretir. Farklı bir metot ile karşılaştırma gerektirmez. (EN 1788, 2001)

3.1.1.2. Işıkla Uyarılmış Lüminesans (PSL)

Mineral atıkları, tipik olarak silikatlar, kabuklardan veya dış iskeletlerden kaynaklanan kalsit, kemiklerden veya dişlerden hidroksiapatit gibi biyoinorganik materyaller çoğu gıdada bulunabilir. Bu materyaller ışınlandıklarında, yapısal olarak tuzaklanmış yük taşıyıcılarında, çatlaklarda ve saf olmayan alanlarda enerji depolar. Dışarıdan uygulanan ışık enerjisi maddenin enerji seviyeleri arasında bir geçişe sebep olur. Bu enerji geçişleri sırasında bir ışıma meydana gelir. PSL metodu ile bu ışıma tespit edilerek örnek incelemesi yapılabilir. PSL ölçümleri numuneye zarar vermez, bu nedenle bütün numuneler veya organik ve inorganik materyalin diğer karışımları tekrar tekrar ölçülebilir. Ancak, aynı numune tekrar tekrar ölçülürse PSL sinyalleri azalır. PSL işleminde alınan sonuçlar farklı bir yöntemle karşılaştırma gerektirmektedir. (EN 13751, 2002)

3.1.1.3. Elektron Spin Rezonans (ESR)

Gıda ışınlama işlemi ile gıdalarda serbest radikaller meydana gelir. Işınlama dozuna bağlı olarak, bu serbest radikaller atom veya moleküllerin, dış yörüngelerindeki elektronlarının ışınlama enerjisi sayesinde koparılmasıyla oluşur. Koparılan bu

elektronlar, basitçe küçük bir mıknatıs gibi davranırlar ve manyetik alandan etkilenirler.

ESR spektroskopisi paramanyetik merkezleri ölçer (serbest radikal gibi). Yoğun bir dış manyetik alan elektron spin enerji seviyeleri arasında bir yarılmaya sebep olur. Spektrometreden uygulanan mikrodalga ışını bir rezonans soğurmasına yol açar. ESR spektrumları emilen enerjinin birinci türevi ile gösterilir ve radikal sayısı ile artış gösterir. Manyetik alan ve mikrodalga frekans değerleri deneysel düzeneğe bağlı, g değeri paramanyetik merkezin esas karakteristiğine bağlıdır. Işınlanmış örneklerin tanımlanmasında, g değeri kullanılır ve ESR sinyali kullanılarak hesaplanır. Farklı bir yöntemle onaylanmaya ihtiyaç duymaz. (EN 1786, 1996; EN1787, 2000; EN 13708, 2002)

3.1.2. Kimyasal Metotlar

3.1.2.1. Hidrokarbonların Gaz Kromatografik Analizi (GC)

Bu metot yağ içeren gıda örneklerinde kullanılabilir. Işınlanmış gıdalardaki hidrokarbonların gaz kromatografisi ile tespitine dayanır. Işınlama sırasında birincil ve ikincil kimyasal bağlar kopar. Yağ asitlerinin karbonil grubuna yakın α ve β kırılmanın sonucunda hidrokarbonlar oluşur. Başlıca radyolitik ürünleri tahmin etmek için örnek içindeki yağ asiti kısımları hakkında bilgi edinmek gerekir. Hidrokarbonların bulunması için yağ eritilerek ya da çözücü madde içinde çözünerek örnekten ayrılması gerekir. Hidrokarbon fraksiyonu, Gaz kromatografisiyle ölçülmeden önce adsorpsiyon kromatografisiyle ve bir alev iyonizasyon dedektörü (FID) veya bir kütle spektrometresi ile tespit edilir. Alternatif olarak hidrokarbonlar sıvı kromatografi ve gaz kromatografi çifti (LC-GC) kullanılarak da tespit edilebilir. (EN 1784, 2003)

3.1.2.2. Gaz Kromatografi – Kütle Spektroskopisi (GC-MS)

Bu metot yağ içeren gıda örneklerinde kullanılabilir. Gaz kromatografisi ayrışmasından sonra ışınlanmış yağ asitlerinden oluşan 2-alkilsiklobütanonları (2-ACB) kütle spektroskopisi ile tespit etmeye dayanır. Işınlama esnasında, trigliseridlerdeki açıl-oksijen bağları ayrılır ve bu reaksiyon, ana yağ asidi ile aynı sayıda karbon atomu içeren 2-alkilsiklobütanonların oluşumuyla sonuçlanır ve alkil grubu, halka pozisyonu 2'de bulunur. Dolayısıyla, eğer yağ-asit bileşimi biliniyorsa, oluşan 2-alkilsiklobütanonlar öngörülebilir. Bugüne kadar, 2-alkilsiklobütanonların,

ışınlanmamış gıdalarda saptanabileceğine dair bir kanıt bulunmamaktadır. 2-Alkil siklobütanon yağ ile birlikte n-heksan veya n-pentan kullanılarak çıkarılır. Bu çıkmış madde gaz kromatografisi ile ayrılmadan önce adsorpsiyon kromatografisi kullanılarak fraksiyon elde edilir ve kütle spektroskopisi ile tespit edilir. (EN 1785, 2003)

3.1.3. Biyolojik Metotlar

3.1.3.1. Doğrudan Epifloresans Filtre Tekniği /Aerobik Plak Sayımı (DEFT/APC)

Işınlanmış ot ve baharatların tespiti için, doğrudan epifloresan filtre tekniği (DEFT) ve aerobik plak sayısı (APC) birlikte kullanılır. Bu metotlar doğrudan radyasyonla alakalı olmadığı için alınan sonuçların diğer tekniklerden biriyle doğrulanması gerekir. Yöntem DEFT kullanılarak elde edilen sayıyla APC'nin karşılaştırılmasına dayanır. APC, olası bir ışınlama sonrasında numunedeki canlı mikroorganizma sayısını verir ve DEFT sayısı, numunede bulunan canlı olmayan hücreler de dahil olmak üzere toplam mikroorganizma sayısını gösterir. Örneğin belli bir hacmi, konsantrasyon haline getirilmek için, düşük basınçta filtrelendir. Mikroorganizmalar, bir florokrom, akridin orange ile lekelenir ve 450 nm ila 490 nm aralığında dalga boyuna sahip mavi ışıkla aydınlatıldığında turuncu ve turuncu-sarı bir flüoresans elde edilir. Bu mikroorganizmalar, bir DEFT sayısını elde etmek için, epifloresan mikroskop kullanılarak sayılır. Bununla birlikte, ışınlama öncesinde canlı olmayan mikroorganizmalar yeşil flüoresan gösterirler ve sayılmazlar. Buna paralel olarak, APC, aynı test örneğinin ikinci bir bölümünden tespit edilir. Işınlanmamış örneklerde DEFT ve APC sayıları birbirine yakındır. 5 kGy ile 10 kGy arasında ışınlanan baharatlarda, DEFT sayısı ve APC sayısı arasındaki fark genellikle 3 ila 4 log biriminden fazladır. Bu sonuçlar sadece radyasyona bağlı olmadığı için alınan sonuçların diğer tekniklerden biriyle doğrulanması gerekir. DEFT ve APC sayımları arasındaki benzer farklar gıdalar üzerinde yapılan farklı işlemler ile de oluşabilir. Bu nedenle olumlu sonuçlar doğrulanmalıdır. (EN 13783, 2001)

3.1.3.2. DNA Comet Assay

DNA içeren gıda örnekleri için kullanılabilir. Tek hücre veya çekirdeklerde, ışınlama işlemine bağlı olarak DNA parçalanmasını saptamaya yönelik mikrojel elektroforezine dayanır. DNA parçalanması sadece radyasyonla değil çeşitli kimyasal veya fiziksel işlemlerle de olabildiği için, başka bir yöntemle doğrulanması gerekir. DNA içeren gıda, iyonlaştırıcı radyasyona maruz kaldığında DNA zincirlerinden birinde veya ikisinde kopma, DNA'da kayıp veya zarar oluşur. Bu parçalanma tekli hücrelerin veya çekirdeklerin mikrojel elektroforezi ile incelenebilir. Bunlar, mikroskop lamalarında agaroz içine gömülür, zarların yıkanması için bir deterjan kullanılarak eritilir ve ayarlanan bir voltajda elektroforez uygulanır. Hasarlı DNA parçaları, anoda doğru hareket ederek, hücrelere uzanır veya göç eder ve anot yönünde bir kuyruk oluşturarak hasarlı hücreler, kuyruklu yıldız benzer bir şekil alır. Çeşitli koşullar altında DNA hasarını ölçmek için bu kuyruklu yıldız benzer hücrelere bakılabilir. Alkali durumlar altında DNA'nın tekli ve çiftli sarmalı kırılır ve alkali-kararsız alanlar gözlemlenir. Nötr koşullarda ise DNA da yalnızca çift sarmallar kırılır ve gözlemlenir. Bununla birlikte, nötr koşullar kullanılarak, çekirdekte süper-sargılı DNA'nın gevşemesi nedeniyle tekli tel kopmaları da kuyruklu yıldız görünümünde bir etki yaratmaktadır. Işınlanan hücrelerde, DNA'nın çekirdekten anota doğru uzantısı doz miktarıyla doğru orantılı olarak artacak ve böylece ışınlanmamış hücrelere nazaran oldukça daha uzun kuyruklu yıldızlar (daha fazla parçalanma) gösterecektir. Işınlanmamış hücreler neredeyse dairesel veya hafif kuyruklarla görünürler. (EN 13784, 2001)

3.1.3.3. LAL Kullanılarak Mikrobiyolojik Görüntüleme / GNB Prosedürleri

Bu yöntemde iki paralel prosedür kullanılır. Bunlardan birincisi, test örneğinde toplam Gram negatif bakteri sayısının (GNB) belirlenmesi, ikincisi ise, limulus amöbosit lizat (LAL) testi kullanılarak test örneğindeki endotoksinlerinde bulunan lipopolisakkaritlerin konsantrasyonunun tayinidir. Eğer bu sayılar arasındaki fark fazla ise bu örnek ışınlanmıştır denilebilir. Fakat bu fark yalnızca ışınlama ile oluşmadığından farklı bir metotla da doğrulanması gerekir. (EN 14569, 2004)

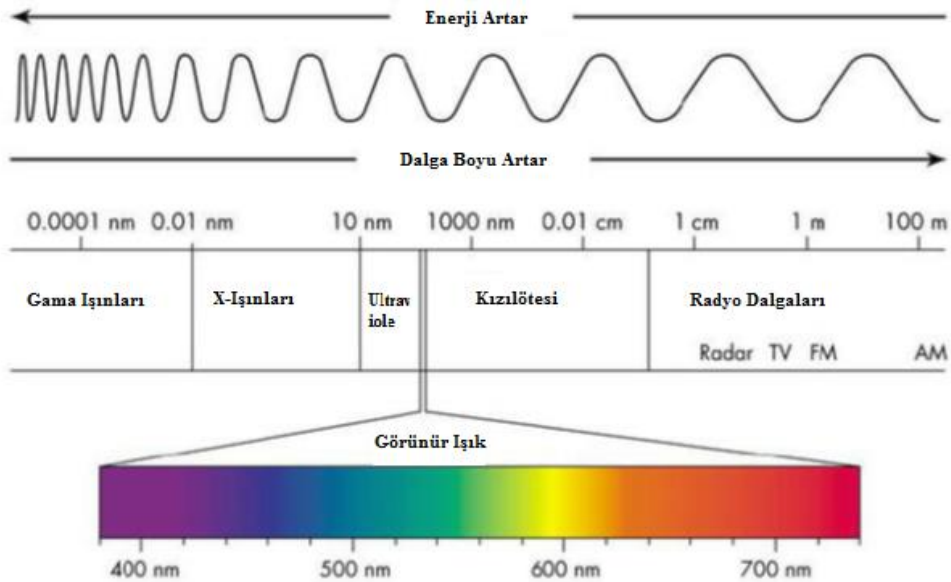
3.2. Elektron Spin Rezonans (ESR)

3.2.1. Spektroskopi

Spektroskopi, atom veya moleküllerdeki enerji düzeylerini belirler. Deneysel olarak frekans ölçümü yardımıyla yapılır. Bu yöntemde, İki enerji seviyesi arasındaki geçişlerdeki soğurma veya ışınım enerjileri incelenir.

Bu soğurma veya ışımaya karşılık gelen enerji bir spektral çizgi veya spektrum oluşturur. Spektroskopide enerji seviyelerindeki geçiş frekanslarına karşılık gelen enerji değerleri ölçülür. Spektrumların yeri, enerji seviyelerindeki geçiş frekanslarına bağlıdır.

Farklı atom veya moleküllerin farklı yapıları olması nedeniyle farklı enerji seviyelerine sahiptirler. Bundan dolayı enerji seviyeleri arasındaki geçişlere karşılık gelen frekans değerleri elektromanyetik spektrumun farklı bölgelerine düşer ve farklı spektroskopi yöntemleriyle incelenebilir.



Şekil 3.2. Elektromanyetik tayf

Gama – ışınları: Elektromanyetik spektrumun yüksek enerjili kesimine denk gelir. Çekirdeğin enerji durumları hakkında bilgi verir. Dalga boyu küçük olduğu için enerjisi yüksektir.

X-ışınları: γ -ışınlarının hemen sağında yer alır. Çekirdeğe yakın elektronlar arasındaki etkileşimleri inceler. Enerji bakımından γ -ışınlarından daha az enerjiye sahiptir.

Mor Ötesi: Sistemdeki dış elektronlar arası etkileşmeyi inceler.

Kızılötesi: Moleküller arasındaki etkileşimleri inceler ve molekülleri oluşturan kimyasal bağlar hakkında bilgi verir.

Mikrodalga: Katılarda kristal örgü etkileşimlerini inceler.

Radio frekans: Çekirdek spinleri ile onlara uygulanan manyetik alan arasındaki etkileşimleri inceler. Enerji bakımından çok zayıftır.(Apaydın F., 1996)

3.2.2. Manyetik Rezonans (MR)

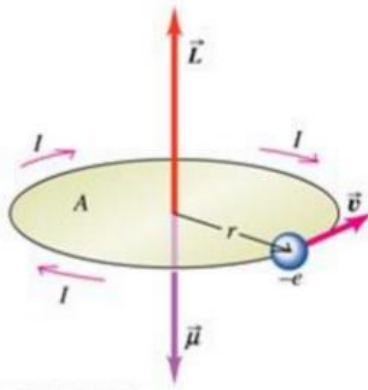
Çekirdek ve elektronların, manyetik alanla etkileşmelerini inceleyen spektroskopiye *Manyetik Rezonans* denir ve iki kısma ayrılır. Elektron Spin Rezonans (ESR), atom veya moleküldeki çiftlenimsiz elektronları, Nükleer Manyetik Rezonans (NMR) çekirdekleri inceler. MR, dışarıdan uygulanan çok güçlü bir manyetik alana yerleştirilmiş örnekler üzerine mikrodalga gönderilmesi sonucu soğurulan enerjiyi ölçer. Bu olayı incelemek için öncelikle *Manyetik Moment* kavramı ve *Zeeman Olayı* 'nı anlamalıyız.

3.2.2.1. Manyetik Moment

Bir elektronun çekirdek etrafında dairesel hareketinin manyetik özelliklerini inceleyelim. Dönen bir yük, bir akım halkası oluşturur. Klasik elektromanyetik teoriye göre her akım halkası bir manyetik moment oluşturur ve dış manyetik alandan etkilenir. Manyetik moment,

$$\vec{\mu} = i\vec{A} \quad (3.2.2.1.1)$$

ile tanımlanır. Burada i akım, \vec{A} da akım halkasının yüzey vektörüdür.



Şekil 3.3. Manyetik moment ve açısal momentumun gösterimi

Böyle bir parçacığın, yükü q , kütlesi m , dönme eksenine uzaklığı r , yüzey normalinin yönü \hat{n} ve çizgisel hızı v ise,

$$i = \frac{qv}{2\pi r} \quad (3.2.2.1.2)$$

$$\vec{A} = \pi r^2 \hat{n} \quad (3.2.2.1.3)$$

olmak üzere bu değerler 3.2.2.1.1 denklemde yerine yazılırsa,

$$\vec{\mu}_1 = \frac{1}{2} qur \hat{n} \quad (3.2.2.1.4)$$

ya da,

$$\vec{\mu}_1 = \frac{q}{2m} mvr \hat{n} \quad (3.2.2.1.5)$$

elde edilir. Burada,

$$\vec{L} = mvr \hat{n} \quad (3.2.2.1.6)$$

İfadesi parçacığın dönme eksenine göre açısal momentumudur. Denklem 3.2.2.1.5'de bu kısaltma yapılırsa,

$$\vec{\mu}_1 = \frac{q}{2m} \vec{L} \quad (3.2.2.1.7)$$

bulunur. Bu denklem, açısal momentum ile manyetik moment arasındaki ilişkiyi gösterir. Bu orantı katsayısına *jiromanyetik oran* denir ve,

$$\gamma = \frac{q}{2m} \quad (3.2.2.1.8)$$

ile gösterilir. Bu tanımlamadan sonra denklem 3.2.2.1.7,

$$\vec{\mu} = \gamma \vec{L} \quad (3.2.2.1.9)$$

halini alır. Elektronun yükünün negatif olduğu düşünüldüğünde eşitliğin sağ tarafı “-” işareti ile çarpılır.

$$\vec{\mu} = -\gamma \vec{L} \quad (3.2.2.1.10)$$

Elektronun, yörünge ve spin hareketinden dolayı, yörünge açısal momentumuna ve spin açısal momentumuna sahiptir. Elektronun spin açısal momentumuna karşılık gelen manyetik moment,

$$\vec{\mu}_s = -\gamma \vec{S} \quad (3.2.2.1.11)$$

İle verilir. Bir sistemde birden fazla elektron bulunabileceği için bunların spin ve yörünge hareketleri toplam açısal momentum vektörü ile gösterilir. Bu vektörü \vec{S} ile ifade edersek,

$$\vec{\mu} = -g \gamma \vec{S} \quad (3.2.2.1.12)$$

ifadesi elde edilir. Burada g değerine spektroskopik yarıлма çarpanı denir.

Kuantum mekaniği gereğince \vec{S} toplam açısal momentum vektörü kesikli değerler alır. Başka bir deyişle kuantlanmıştır. Büyüklüğü $|\vec{S}| = \sqrt{S(S+1)}\hbar$ değeri ile sınırlandırılmış olan \vec{S} açısal momentumun yalnızca bir bileşeni kesin olarak bilinebilir. S_z ile gösterilen bu bileşen $2S + 1$ tane değer alır ($-S, -S+1, \dots, 0, \dots, S-1, S$). Bu bileşenin öz değeri ise,

$$S_z |s, m_s\rangle = \hbar m_s |s, m_s\rangle \quad (3.2.2.1.13)$$

ile elde edilir. (Apaydın F., 1996, Taylor J. ve diğerleri, 2008)

3.2.2.2. Zeeman Olayı

Atom veya moleküllerde bulunan serbest elektronların $\vec{\mu}$ manyetik momentleri vardır. Manyetik alana yerleştirilen bu moment ile manyetik alan arasında bir

etkileşme olur. Başlangıçta çakışık enerji düzeylerine sahip elektronlar, dışarıdan uygulanan bir \vec{H} manyetik alanı olduğunda, bu çakışık enerji düzeylerinde $E = -\vec{\mu} \cdot \vec{H}$ kadarlık bir değişim gözlenir. Enerji düzeyi manyetik alanın uygulanması ile yarılmalar gösterir (Şekil 3.4). Bunu ilk kez 1896 yılında Zeeman gözlemiştir. Bu *Zeeman Olayı* adını alır. Bu enerjideki değişim ifadesini açıkça yazmak gerekirse,

$$E = -\vec{\mu} \cdot \vec{H} \quad (3.2.2.2.1)$$

$$E = g \gamma \vec{S} \cdot \vec{H} \quad (3.2.2.2.2)$$

olur. \vec{S} açısal momentum vektörünün yalnızca bir bileşeni kesin olarak belirlenebilir. Bu durumda \vec{H} manyetik alanı z-yönünde seçilirse,

$$E = g \gamma S_z H_z \quad (3.2.2.2.3)$$

denklemini elde edilir. γ terimi açıkça ifade edilir ve S_z 'nin değeri yerine yazılırsa,

$$E = g \frac{e\hbar}{2m_e} m_s H_z \quad (3.2.2.2.4)$$

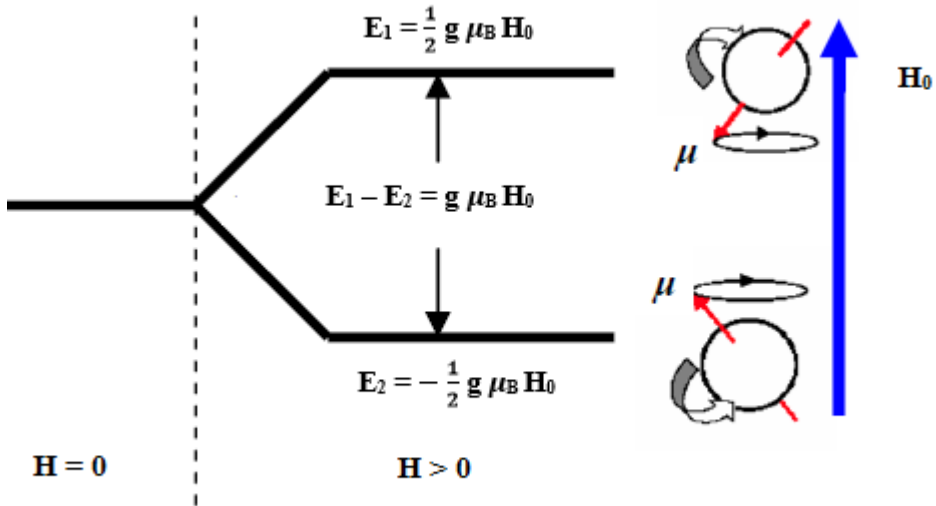
bulunur. Buradaki $\frac{e\hbar}{2m_e}$ terimine *Bohr magnetonu* adı verilir ve μ_B ile gösterilir. Enerjideki değişmeyi Bohr magnetonu cinsinden yazmak istersek,

$$E = g \mu_B m_s H_z \quad (3.2.2.2.5)$$

olur. Spin kuantum sayısı $S = \frac{1}{2}$ olan elektronlar başlangıçta rastgele yöneline sahiptirler. Dışarıdan uygulanan bir manyetik alan ile spin kuantum sayısı $S = \frac{1}{2}$ olan elektronlar manyetik alan ile aynı ($m_s = \frac{1}{2}$) ve zıt ($m_s = -\frac{1}{2}$) yönde yönelirler. Bu durumda iki farklı enerji seviyesi ortaya çıkar ($2S+1$ kuralı gereği).

$$E_1 = \frac{1}{2} g \mu_B H_z \quad (3.2.2.2.6)$$

$$E_2 = -\frac{1}{2} g \mu_B H_z \quad (3.2.2.2.7)$$



Şekil 3.4. Zeeman yarılmaması

(Apaydın F., 1996, Taylor J. ve diğerleri, 2008)

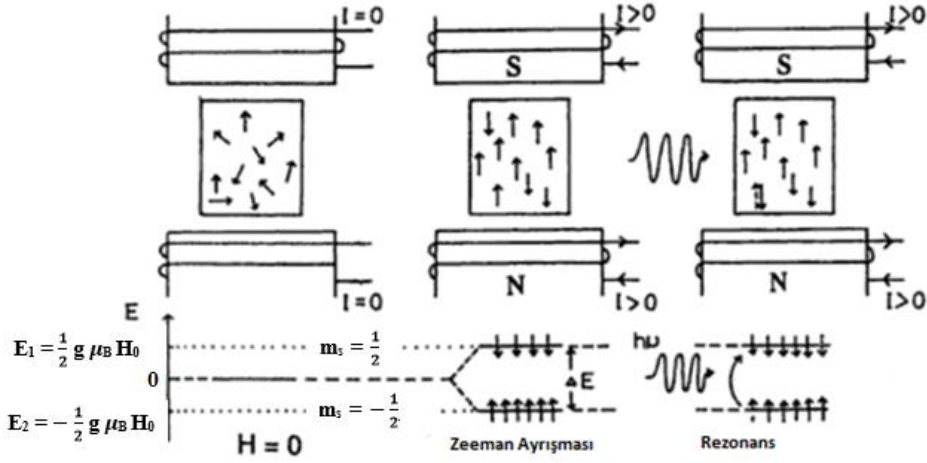
3.2.2.3. Rezonans Koşulu

Zeeman olayında rastgele yönetime sahip elektronlar üzerine bir manyetik alan uygulandığında bu elektronların çakışık enerji düzeylerinde bir yarıma ve ΔE kadarlık bir enerji farkı olan iki enerji seviyesi meydana gelir. Bu enerji seviyesine eşit miktarda dışarıdan bir mikrodalga uygulanırsa, sistem enerjisi soğurur ve buna *rezonans koşulu* denir. Bu koşul,

$$h\nu = \Delta E \quad (3.2.2.3.1)$$

$$h\nu = E_1 - E_2 = g \mu_B H \quad (3.2.2.3.2)$$

bağıntıları ile tanımlanır (3.5). Buradaki ν 'ye *rezonans frekansı*, uygulanan manyetik alan H 'ye de *rezonans alanı* denir. (Apaydın F., 1996)



Şekil 3.5. Manyetik rezonans gösterimi

3.2.2.4. Spektroskopik Yarılma Çarpımı (g Faktörü)

g değerine *spektroskopik yarılma çarpımı* denir. Bu değer, serbest bir elektron için $g=2,0023$ 'tür. g değerini serbest bir elektron için aldığımızda aynı rezonans alanında aynı spektrumun oluşması beklenir. Yapılan deneylerde farklı örnekler için farklı manyetik alan değerlerinde farklı spektrumların oluştuğu gözlemlenmiştir. Böyle bir farkın sebebi serbest elektronun manyetik momentinin, örnek içerisindeki elektronun manyetik momentine eşit olmamasıdır. Yapı içinde bulunan elektron çevresindeki diğer elektron ve çekirdekler ile etkileştiği için serbest elektronun g değerinden farklı bir değer görülür.

g değeri, katılarda yönelime bağlıdır. Uygulanan manyetik alanın yönü değiştirilirse farklı rezonans alanlarında çizgileri oluşur. g katılarda bir tensör olarak yazılır. Bunun sebebi, birçok örnek içindeki elektronların manyetik moment vektörünün, spin açılal momentum vektörüne paralel olmamasıdır. Bundan dolayı, manyetik moment vektörü sistem üzerine uygulanan dış manyetik alanın yönelmesine bağlı olarak değişir.

Burada \bar{g} , gerçek, simetrik, ikinci dereceden 3×3 biçiminde bir tensördür. Bu tensörü,

$$\bar{g} = \begin{vmatrix} g_{xx} & g_{xy} & g_{xz} \\ g_{yx} & g_{yy} & g_{yz} \\ g_{zx} & g_{yz} & g_{zz} \end{vmatrix} \quad (3.2.2.4.1)$$

şeklinde tanımlayabiliriz. Burada \bar{g} 'ye *yönser spektroskopik yarıлма çarpanı* denir.

Bu matrisin izi, manyetik alanın farklı yönlerde alınması durumunda değişmez. Bu durumdan dolayı oluşacak rezonans çizgileri bu g tensörünün köşegen elemanlarının ortalaması ile belirlenebilir.

Sıvılarda g değeri yönelime bağlı değildir. Buradaki g değerine *yönsemez spektroskopik yarıлма çarpanı* denir. Sıvılardaki manyetik sistemin hızlı değişimi ve gelişigüzel hareketlerinin olması uygulanan manyetik alanın yönelime bağlılığını ortadan kaldırır. Bu durumdan dolayı oluşacak rezonans çizgileri, bu g tensörünün köşegen elemanlarının ortalaması ile belirlenebilir. g değeri skaler bir sayı olarak alınır.

$$g = \frac{1}{3} \text{İz} (\bar{g}) \quad (3.2.2.4.2)$$

ile verilir.

g değerinin hesaplanması için referans örneği olarak DPPH (1,1-difenil-2-pikrilhidrazil) seçilmiştir. Bu örneğin g değeri $g=2,0036$ 'dır. Diğer örneklerin g değerleri de bu standarda göre hesaplanabilir. Dışarıdan uygulanan aynı MD değeri için rezonans koşulu

$$h\nu = g \mu_B H \quad (3.2.2.4.3)$$

ifadesinin sağ tarafı birbirine eşitlenir. DPPH'nin g değerine g_S ve H değerine H_S , g değeri bulunmasını istediğimiz örneğin g değerine g_0 ve H değerine de H_0 dersek,

$$g_S \mu_B H_S = g_0 \mu_B H_0 \quad (3.2.2.4.4)$$

bulunur. Bu denklemlerde μ_B terimi sadeleşir ve denklem,

$$g_S H_S = g_0 H_0 \quad (3.2.2.4.5)$$

şeklini alır (Apaydın F., 1996).

3.2.2.5. Aşırı İnce Yapı Yarıłması

Serbest elektron bir kristal örgü içinde bulunur. Bu nedenle ona eşlik eden bir çekirdek vardır. Bu çekirdeğin spin kuantum sayısı sıfırdan farklı olduğunda serbest

elektron ile çekirdek arasında bir etkileşme doğar. Bu da elektronun enerji seviyelerinde ek bir yarılmaya daha sebep olur. Bu etkileşmeye *aşırı ince yapı yarılmaları* denir. Bu yarılmalar, elektronun manyetik momenti ile çekirdeğin oluşturduğu manyetik alan etkileşimi ile açıklanabilir. Zeeman olayında yalnızca dışarıdan uygulanan manyetik alan vardı. Şimdi çekirdekten kaynaklı ek bir manyetik alan daha oluşmuş oldu. Çekirdekten kaynaklanan yerel manyetik alana \vec{H}_Y , dış manyetik alana ise \vec{H}_D dersek, toplam manyetik alan,

$$\vec{H}_T = \vec{H}_D + \vec{H}_Y \quad (3.2.2.5.1)$$

şeklinde yazılır. Çekirdeğin manyetik kuantum sayısı $2I+1$ tane değer aldığı için yerel manyetik alanda $2I+1$ değer alır. Burada I çekirdek spin kuantum sayısıdır. Bunun sonucunda da spektrum ek olarak $2I+1$ çizgiye daha yarılr. Bu yarıma ile oluşan spektrum çizgilerine *aşırı ince yapı çizgileri* denir.

Aşırı ince yapı yarılmalarının iki kaynağı vardır. Bunlar,

- **Yönsemez Aşırı İnce Yapı Yarılmaları:** Fermi etkileşmesi sonucu ortaya çıkan aşırı ince yapı yarılmalarına denir. Fermi etkileşmesi olabilmesi için elektronun çekirdek yanında bulunma olasılığının sıfırdan farklı olması gerekir. Bu durumu da s yörüngesi sağlar.
- **Yönser Aşırı İnce Yapı Yarılmaları:** Çiftlenimsiz elektron ile çekirdek arasındaki dipol-dipol etkileşmesi sonucu oluşan aşırı ince yapı yarılmalarına denir. Çekirdeğin manyetik momentinin, elektronun bulunduğu yerde bir manyetik alan oluşturması ve bu alanın elektronun manyetik momenti ile etkileşmesi sonucu oluşur. Aşırı ince yapı terimi yönelime bağlıdır ve ikinci dereceden bir tensörle gösterilir. Sıvılarda bu tensörün izi sıfır olduğundan yönser aşırı ince yapı sıvılarda gözlenmez (Apaydın F., 1996).

3.2.2.6. Manyetik Rezonansta Deneysel Teknik

Manyetik rezonansta deneysel teknik üç temel üzerine kurulur. Bunlar,

- Sistem üzerine şiddetli bir manyetik alan uygulama,
- Enerji seviyeleri arasında geçiş oluşturacak büyüklükte mikrodalga uygulama,

- Mikrodalga enerjisindeki soğurulmayı ölçecek bir düzenek,

şeklinde tanımlanabilir. Sistem üzerine sürekli ya da atmalı olmak üzere iki farklı şekilde mikrodalga uygulanabilir. Bu farklılık deney düzeneklerine göre değişir.

Manyetik rezonans ölçümleri iki farklı şekilde yapılır. Ya Manyetik alan sabit tutup, uygulanan MD alanı değiştirilerek ya da MD sabit tutularak manyetik alan değeri değiştirilerek yapılır. Genellikle manyetik alanı değiştirmek daha kolaydır. Örnek ölçüm yuvasına yerleştirildikten sonra üzerine MD uygulanır ve manyetik alan değeri yavaşça arttırılır. Rezonans koşulunun gerçekleştiği sırada sistem bir enerji soğurur ve uygulanan dalga enerjisinde bir azalma oluşur. Bu azalma deney düzeneğindeki soğurmayı ölçecek düzenek tarafından ölçülür ve bir spektrum olarak gözlemlenir. Ölçülen değerlerin hassasiyetini arttırmak için genellikle soğurma spektrumunun birinci türevi kullanılır. (Apaydın F., 1996)

Yapılan deneylerde, deney düzeneklerinde oluşan elektromanyetik dalgaların örnek sinyalinin ayırt edilmesi gerekir. Deney düzeneğinden kaynaklanan dalgaların rastgele değerlere sahiptir. Örneklerin oluşturduğu sinyal her zaman sabit ve aynı değere sahiptir. Sinyal/gürültü oranını arttırmak için birçok kez ölçüm alınır. Çıkan spektrumların üst üste bindirilmesi ile deney düzeneğinden kaynaklanan sinyaller birbirini yok edebilir ve örnek tarafından oluşturulan sinyalin sabit olması sebebiyle bu sinyaller üst üste gelerek sinyal oranını da artmış olur. Sinyal/gürültü oranının artması spektrumun duyarlılığını artırır. (Apaydın F., 1996)

3.3. Örneklerin Hazırlanması

Deneyde kullanılmak üzere çeşitli örnekler (arapsaçı, armut, ayva, iğde, kantaron, melisa, muşmula, nane ve papatya) Aydın'daki yerel bir marketten alındı. Günümüzde yapılan birçok araştırmada, örnekler bir kurutma işleminden geçirilir. Bu kurutma yöntemlerinden bazıları; dondurarak kurutma, fırında kurutma, alkol ile kurutma ve vakum kurutmadır (Ahn J. ve diğerleri, 2014; Akram K. ve diğerleri, 2013). ESR ölçümlerinde örneklerden nemin uzaklaştırılması sinyal şiddetini artırır (Jo Y., 2016). Örneklerin kurutulması aynı zamanda onların kolayca toz haline getirilmesini sağlar. Örnekleri toz haline getirdiğimizde, katı örneklerdeki manyetik alan yönelmesine bağlı farklı sinyal oluşumunu önleyebiliriz. Toz haline gelen örnekler rastgele dağıldığı için her biri manyetik alanla farklı etkileşir. Bir bakıma burdaki yönelme sıvılardaki gibi olmuş olur.

Deneyde armut, armut kabuğu, ayva, ayva kabuğu, muşmula, muşmula kabuğu ve arapsacı kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Diğer alınan örnekler kuru halde alınmiştır. Örnek kurutma işlemi için alkol ile kurutma işlemi seçilmiştir (Jesus E. ve diğerleri, 1999). Alkolle kurutma diğer kurutma yöntemlerine göre daha basit ve en çok tercih edilen yöntemdir. Jesus tarafından tanımlanamam işleme göre;

- Meyvenin kurutulmak istenen kısmı diğer kısımlarından ayrıldıktan sonra filtre kâğında konur ve suyu ezilerek çıkartılır.
- Suyu çıkartılan örneklerin 6 gramı 40 mL %80 etil alkol-saf su karışımına konur. Örnekler bir cam çubuk ile karıştırıldıktan sonra yarım saat oda sıcaklığında karışım içinde bekletilir.
- Karışım içinde çözünmeyen örnek kısmı filtre edilerek karışımından ayrılır ve tekrar filtre kâğında ezilerek kadar suyu çıkarılır.
- Örnek bir saat oda sıcaklığında kurumaya bırakılır.
- Deney tüpüne yerleştirilir.

Yaptığımız araştırmada, örnekler bu yöntem ile hazırlanmış fakat oda sıcaklığında bir saat kurumaya bırakma işlemi yetersiz görüldüğünden örnekler bir gün bekletilmiştir. Kurutulmuş örneklerin içerdikleri nem yüzdeleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kurutma işlemi uygulandıktan sonra örneklerdeki nem miktarı

120 derece ısıtma sonucu ile	%
Arapsacı	6,83
Armut içi	9,8
Armut kabuğu	7,14
Ayva içi	9,26
Ayva kabuğu	9,82
Havlıcan	9,6
İğde	16,09
Kantaron	9,05
Melisa	9,02
Muşmula içi	7,44
Muşmula kabuğu	9,17
Nane	8,65
Papatya	9,91

Kurumuş ve daha önceden kuru alınan örnekler havanda dövülerek toz haline getirilip ışınlama işlemi için tüplere yerleştirilmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Toz haline getirilmiş ve tüpe yerleştirilmiş melisa örnekleri

3.4. Örneklerin Işınlanması

Gıda ışınlama işlemi Ankara’da Sarayköy Nükleer Araştırma Merkezi deneysel ışınlama laboratuvarında yapıldı.

Bu laboratuvarda “İzotop” marka, “Ob-Servo Sanguis Co-60 Research Irradiator” model gama ışınlama cihazı kullanılıdı (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Co-60 deneysel ışınlama cihazı

Maksimum aktivitesi 12000 Ci olan cihazın doz hızı kapasitesi %100, %20, %2 olarak ayarlanabilmektedir. Işınlama esnasında kaynak sabit tutularak, numune sepetinin döndürülmesiyle doz dağılımı homojen olarak elde edilmektedir (Şekil 3.8).

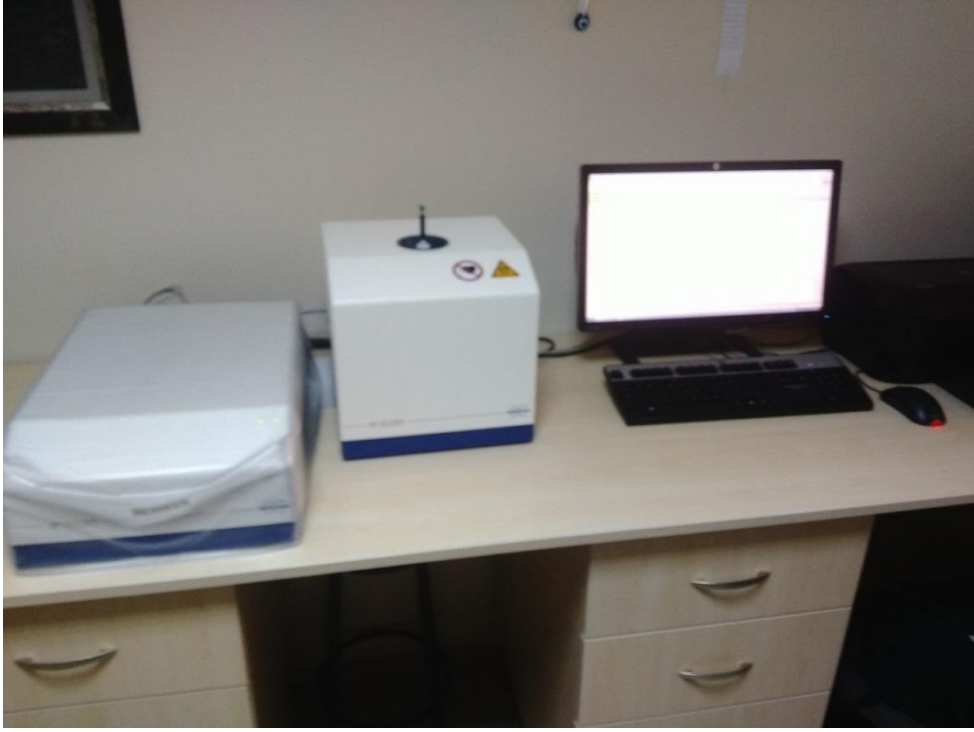


Şekil 3.8. Numune sepeti ve ışınlama hücresi

İşılancak örnekler numune sepetine yerleştirildikten sonra ışınlama hücresine konur ve istenilen doz ayarlanır. Yapılan araştırmada kullanılan gama kaynağının 1 saatte verdiği doz 1780 kGy'dir. Bu araştırmada kullanılan örnekler 0,5, 1, 3, 5 ve 10 kGy dozlarında işılanmıştır.

İşılama işleminden sonra örnekler ESR ölçümü için belirli miktarlarda tartılarak ESR tüplerine yerleştirilmiştir. ESR ölçümleri için deney tüplerine belirli bir hacimde örnek yerleştirilmesi gerekir. Arapsaçı, armut, ayva, kantaron, melisa, muşmula ve nane $0,1000 \pm 0,0002$ gram ölçülmüştür. İğde $0,1500 \pm 0,0002$ ve papatya $0,0500 \pm 0,0003$ gram olarak ölçülmüştür.

3.5. ESR Ölçümü



Şekil 3.9. Bruker e-scan X – Bant ESR Spektrometresi

ESR ölçümü İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü'ndeki Manyetik Rezonans laboratuvarında yapıldı. Ölçümler, örnekler ışılandıktan yaklaşık 12 saat sonra oda sıcaklığında alınmıştır. Örneklerdeki sinyal/gürültü oranını arttırmak için ölçümler 5 kez tekrarlanmıştır. ESR ölçümlerinde Bruker e-scan X – Bant ESR Spektrometresi kullanılmıştır (Şekil 3.9). Deney ölçümlerinde kullanılan parametreler Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Deney ölçümleri için kullanılan parametreler

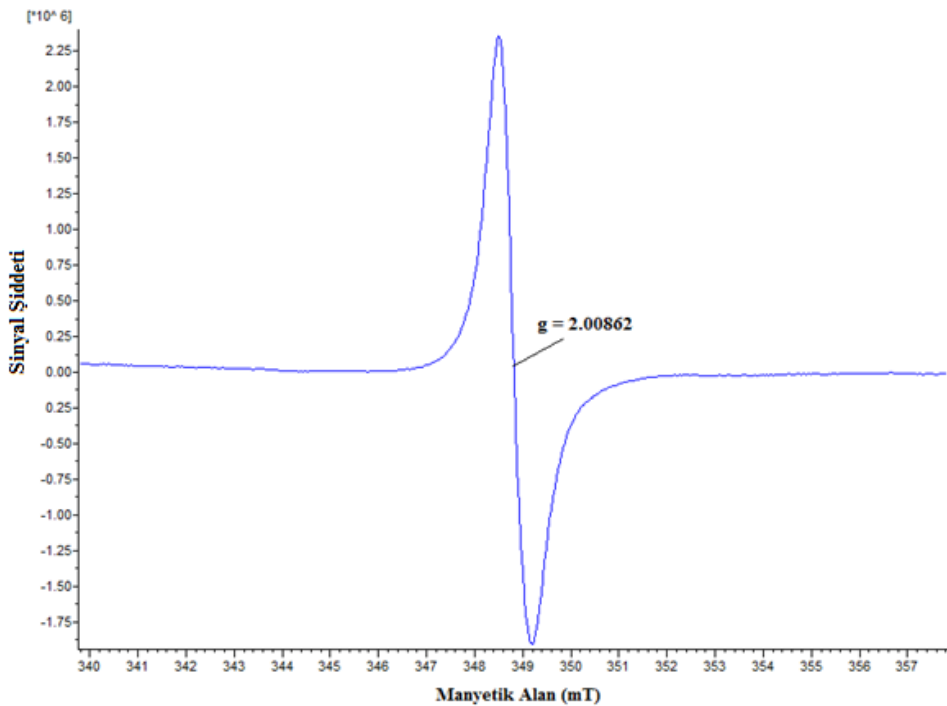
Manyetik Alan	348 mT
Manyetik Alan Tarama Aralığı	100mT, 400 mT
Modülasyon Alanı Genliği	1,05 mT
Modülasyon Alanı Frekansı	86 kHz
Tarama Zamanı	41,94 s
Zaman Sabiti	81,92 ms
Mikrodalga Gücü	1 mW
Algıç Kazancı	3,17x10 ²
Mikrodalga Frekansı	9,803770 GHz

4. BULGULAR

4.1. Arapsaçı

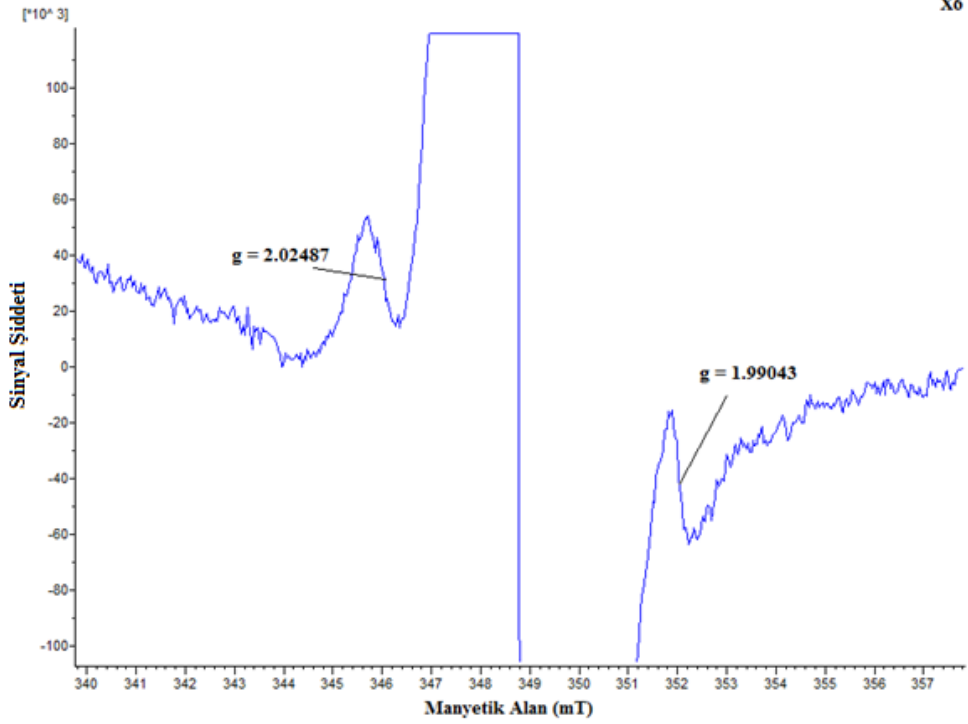
4.1.1. ESR Sinyalleri

Arapsaçının ışınlanmamış örnekleri, $g=2,00862$ değerinde tekli bir sinyal vermiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Işınlanmamış arapsaçı örneğinin ESR spektrumu

Işınlanmış örneklerde, merkezi sinyale ek olarak $g=2,02487$ değerinde sol uydu sinyali, $g=1,99043$ sağ uydu sinyali gözlenmiştir (Şekil 4.2).

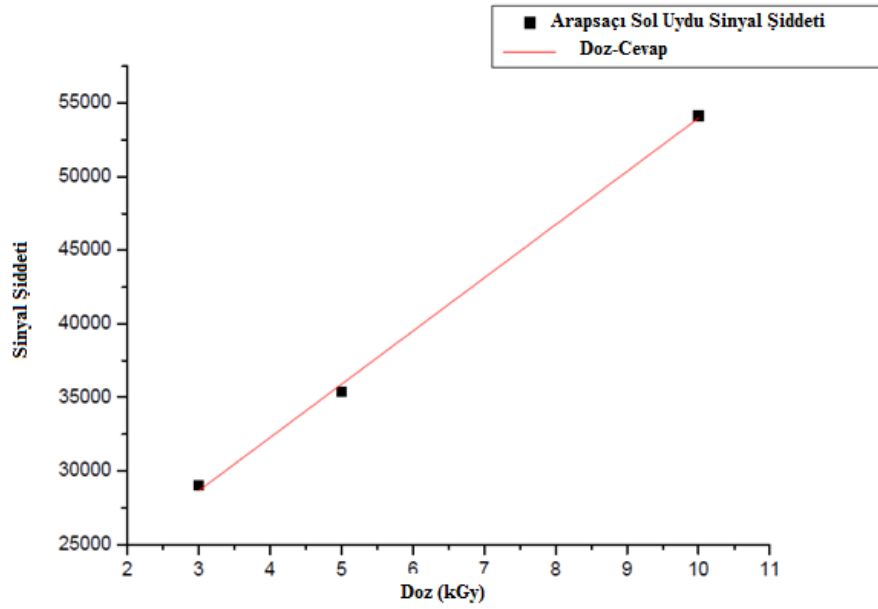


Şekil 4.2. 10 kGy dozunda ışınlanmış arapsaçı örneğinin ESR spektrumu (6 kez büyütülmüş)

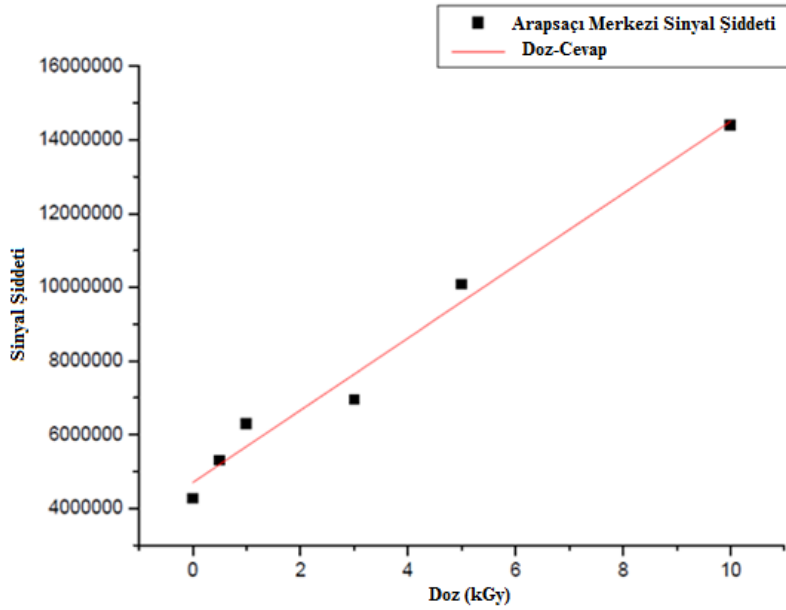
Uygulanan ışınlama dozuna göre, sinyal şiddetleri artmıştır, fakat g değerlerinde bir değişim olmamıştır. Uydu sinyalleri 0.5 ve 1 kGy ışınlama dozunda gözlenmemiştir.

4.1.2. Doz-Cevap Grafikleri

Işınlama dozuna karşı ESR sinyal şiddetlerinin grafiği çizilmiştir. Bu grafikler, sol uydu sinyali için Şekil 4.3’de ve merkezi sinyal için Şekil 4.4’de gösterilmiştir. Elde edilen doz-cevap grafikleri $I=I_0+k*D$ şeklinde bir doğru denklemi ile fit edilmiştir. Burada, I ESR sinyal şiddeti, I_0 ışınlanmamış örneğin sinyal şiddeti, k birim doz başına radikal oluşma verimliliği ve D örneğe verilen doz miktarıdır. Sol uydu sinyalinin korelasyon sabiti $r^2=0,9976$ ve k sabit değeri $k=3617,634 \text{ kGy}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Merkezi uydu sinyalinin korelasyon sabiti ise $r^2=0,9769$ ve k sabit değeri ise $k=980354,782 \text{ kGy}^{-1}$ ’dir.



Şekil 4.3. Arapsaçının sol uydu sinyaline ait doz-cevap grafiği

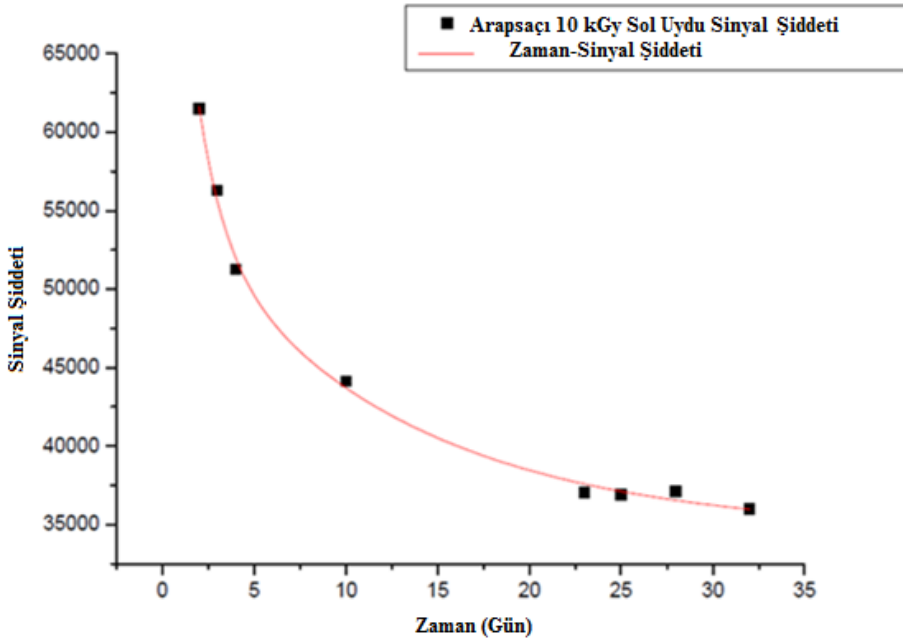


Şekil 4.4. Arapsaçının merkezi sinyaline ait doz-cevap grafiği

4.1.3. Zaman İncelemeleri

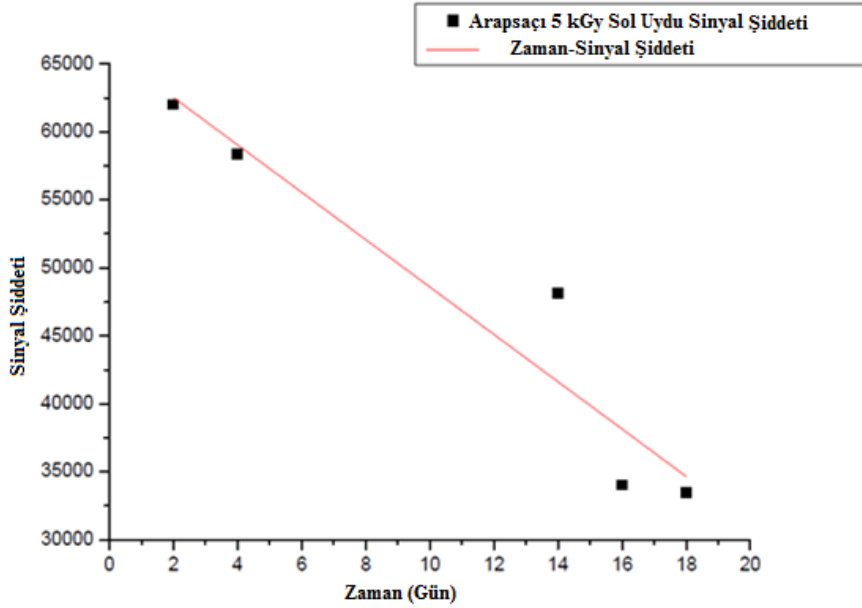
Arapsaçı örneklerinin ESR şiddetleri, 120 gün boyunca, değişik zaman aralıklarında ölçülmüştür. Örnekler, bu zaman süresi boyunca oda sıcaklığında ve karanlık ortamda saklanmıştır. Zaman incelemesi için, 5 kGy ve 10 kGy dozunda ışınlanmış örnekler kullanılmıştır.

Arapsaçının 10 kGy dozunda ışınlanmış örneği için, uydu sinyalleri 32. Günden sonra gözlenmemiştir (Şekil 4.5). Bu grafik $I=I_0+A_1*\exp(-t*j_1)+A_2*\exp(-t*j_2)$ gibi üstel olarak azalan iki fonksiyonun toplamı şeklinde bir denklem ile fit edilmiştir. I herhangi bir andaki sinyal şiddeti, I_0 ışınlanmamış örneğin ESR sinyal şiddeti, A_1 ve A_2 , $t=0$ anındaki iki farklı sinyalin sinyal şiddetleri, j_1 ve j_2 radikallerin sönmülme hız sabitleri ve t de zamandır. Bu grafiğe göre $A_1=37207,429$, $A_2=21344,719$, $j_1=0,7067$ gün⁻¹, $j_2=0,0854$ gün⁻¹ olarak bulunmuştur. Bu eğrinin korelasyon sabiti $r^2=0,994$ olarak bulunmuştur.



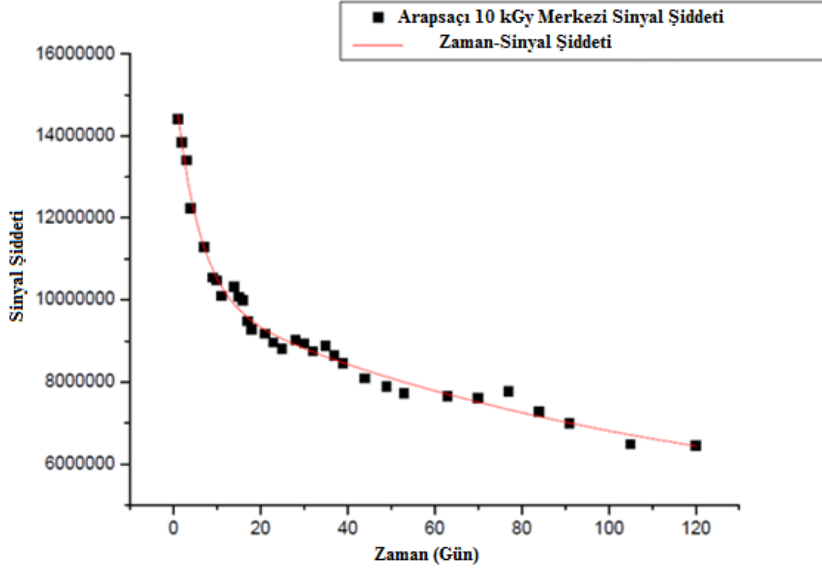
Şekil 4.5. 10 kGy dozunda ışınlanmış arapsaçı örneğinin sol uydu sinyaline göre zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği

Arapsaçının 5 kGy dozunda ışınlanmış örnekleri için, uydu sinyalleri 18. günden sonra gözlenmemiştir (Şekil 4.6). Bu grafik $I=I_0 \cdot j \cdot t$ şeklinde bir doğru denklemi ile fit edilmiştir. Bu denklemde, I herhangi bir andaki sinyal şiddeti, I_0 örneğin ölçülen ilk ESR sinyal şiddeti, j birim zamanda radikallerin sönümlenme hız sabiti, t zamandır. j sabitinin değeri $j=5,7406 \cdot 10^{-4}$ gün⁻¹'dir. Bu doğrunun korelasyon sabiti $r^2=0,8835$ olarak bulunmuştur.

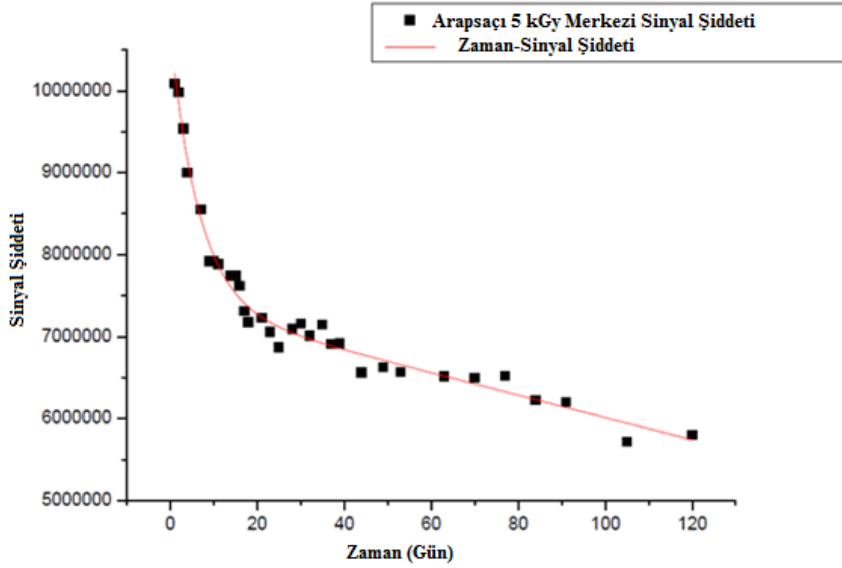


Şekil 4.6. 5 kGy dozunda ışınlanmış arapsaçı örneklerinin sol uydu sinyallerine ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği

Arapsaçı örneklerinin merkezi sinyallerinin zamana bağlı sinyal şiddeti grafikleri 10 kGy için Şekil 4.7 ve 5 kGy için Şekil 4.8'de verilmiştir. Bu grafikler $I=I_0+A_1 \cdot \exp(-t \cdot j_1)+A_2 \cdot \exp(-t \cdot j_2)$ gibi üstel olarak azalan iki fonksiyonun toplamı şeklinde bir denklem ile fit edilmiştir. Arapsaçının 10 kGy dozunda ışınlanmış örneklerinin merkezi sinyal grafiğine göre $A_1=5,328 \cdot 10^6$, $A_2=5,525 \cdot 10^6$, $j_1=0,1798$ gün⁻¹, $j_2=9,1622 \cdot 10^3$ gün⁻¹ olarak bulunmuştur. Arapsaçının 5 kGy dozunda ışınlanmış örneklerinin merkezi sinyal grafiğine göre $A_1=3,304 \cdot 10^6$, $A_2=4,117 \cdot 10^{10}$, $j_1=0,1499$ gün⁻¹, $j_2=3,3234 \cdot 10^{-7}$ gün⁻¹ olarak bulunmuştur. 10 kGy dozunda ışınlanan örneklerin korelasyon sabiti $r^2=0,9869$ ve 5 kGy dozunda ışınlanan örneklerin korelasyon sabiti $r^2=0,9818$ olarak bulunmuştur.



Şekil 4.7. 10 kGy dozunda ışınlanmış arapsaçı örneklerinin merkezi sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği



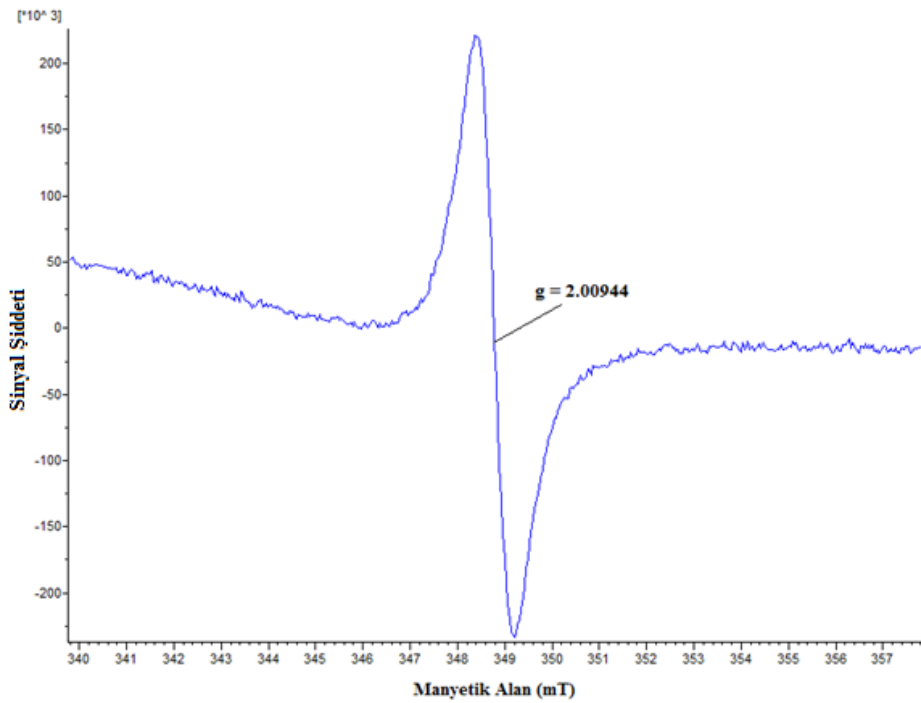
Şekil 4.8. 5 kGy dozunda ışınlanmış arapsaçı örneklerinin merkezi sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği

4.2. Armut

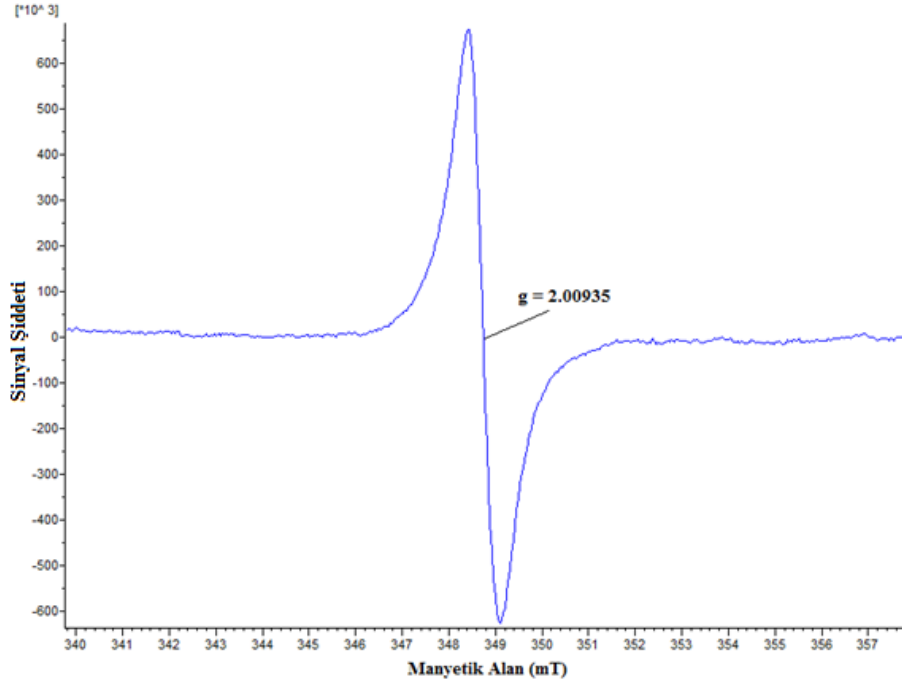
Armut örnekleri iç ve kabuk kısımları olmak üzere iki farklı şekilde incelenmiştir.

4.2.1. ESR Sinyalleri

Armut örneklerinin ışınlanmamış iç ve kabuk kısımları $g=2,00944$ ve $g=2,00935$ değerlerinde tekli sinyal vermiştir (Şekil 4.9, Şekil 4.10).

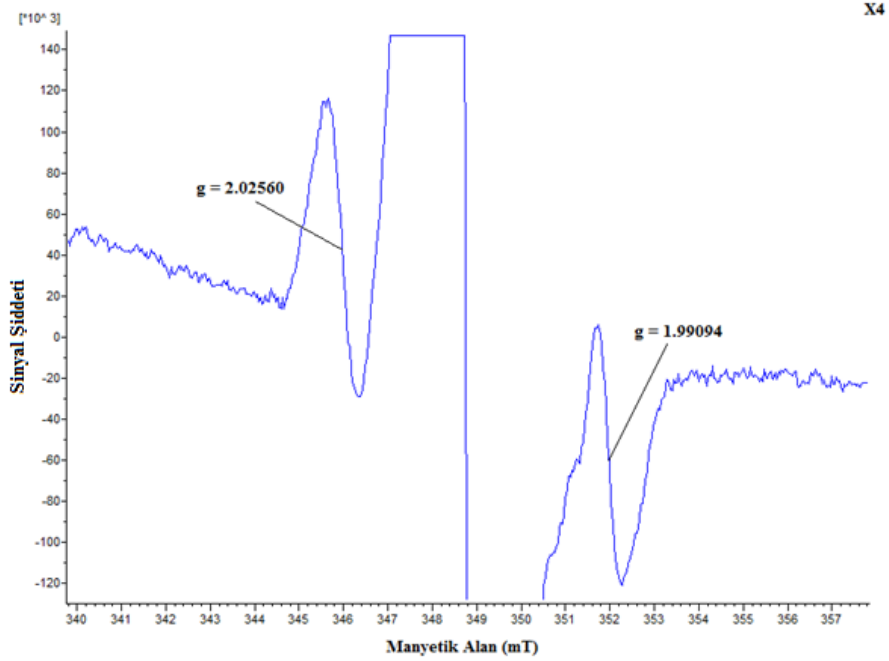


Şekil 4.9. Işınlanmamış armudun iç kısmına ait ESR spektrumu

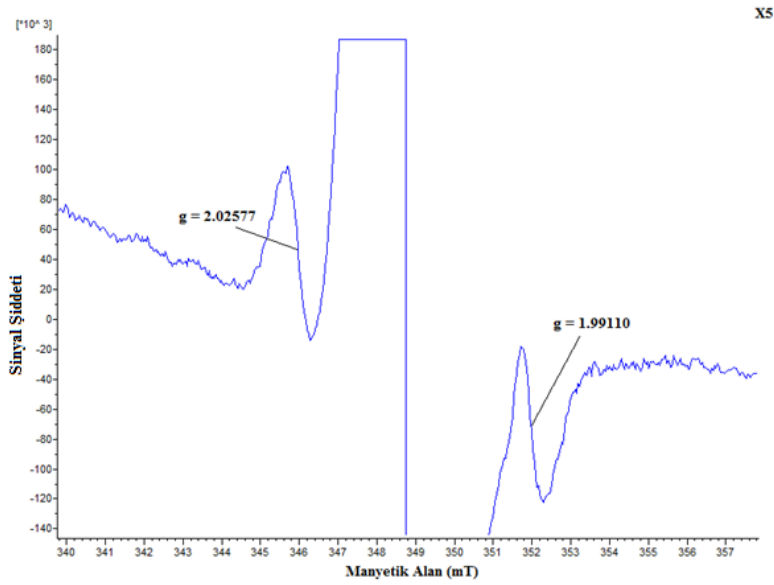


Şekil 4.10. Işınlanmamış armudun kabuk kısmına ait ESR spektrumu

Armutun ışınlanmış iç ve kabuk kısımlarında merkezi sinyalin dışında uydu sinyalleri de gözlemlenmiştir. İç kısma ait uydu sinyallerinin g değerleri $g=2,02560$ sol uydu sinyali için ve $g=1,99094$ olarak gözlemlenmiştir (Şekil 4.11). Kabuk kısmına ait uydu sinyallerinin g değerleri ise $g=2,02577$ sol uydu sinyali için ve $g=1,99110$ sağ uydu sinyali için gözlemlenmiştir (Şekil 4.12).



Şekil 4.11. 10 kGy dozunda ışınlanmış armudun iç kısmına ait ESR spektrumu (4 kez büyütülmüş)

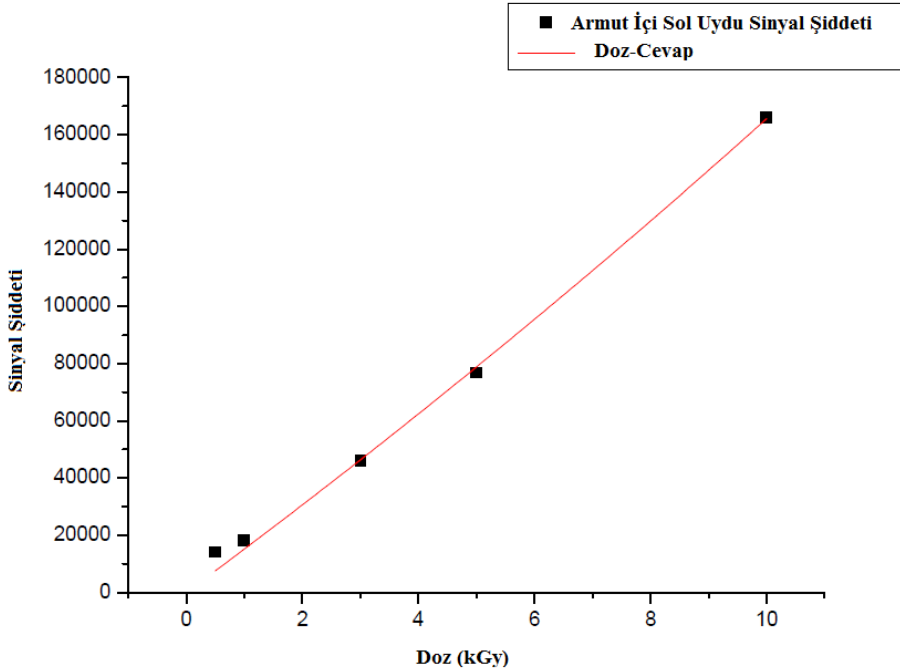


Şekil 4.12. 10 kGy dozunda ışınlanmış armudun kabuk kısmına ait ESR spektrumu (5 kez büyütülmüş)

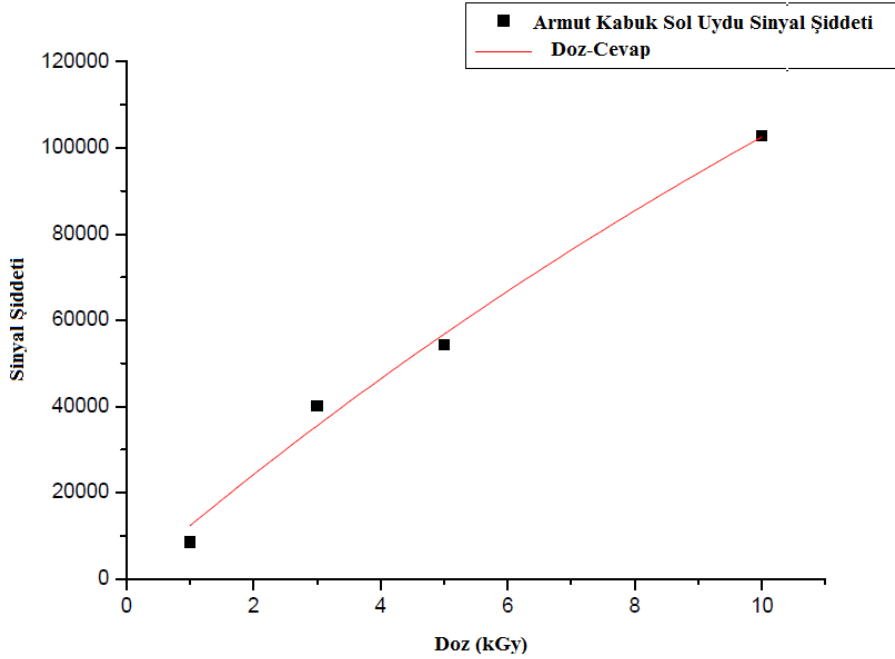
Uygulanan ışınlama dozuna göre, sinyal şiddetleri artmıştır, fakat g değerlerinde bir değişim olmamıştır. Armudun iç kısmı ile yapılan ölçümlerde sol uydu sinyali tüm doz değerleri için gözlemlenmiştir. Armut kabuğu ile yapılan ölçümlerde 0,5 kGy dozunda uydu sinyali gözlemlenmemiştir.

4.2.2. Doz-Cevap Grafikleri

Armudun iç ve kabuk kısımlarının sol uydu sinyaline ait doz-cevap grafikleri Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'de verilmiştir. Armudun iç ve kabuk kısmına sol uydu sinyaline ait doz-cevap grafiği $I=I_0*(1-\exp(-k*D))$ gibi üstel olarak doygunluğa erişen bir fonksiyon ile fit edilmiştir. Burada I ESR sinyal şiddeti, I_0 doyumdaki ESR sinyal şiddeti, k birim doz başına radikal oluşma verimliliği ve D de örneğe verilen doz miktarıdır. Armudun iç kısmının sol sinyaline ait grafiğe göre $I_0=775592,8121$, $k=0,0193 \text{ kGy}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Armudun kabuk kısmının sol sinyaline ait grafiğe göre ise $I_0=290739,2009$, $k=0,0434 \text{ kGy}^{-1}$ olarak bulunmuştur. İç kısmına ait eğrinin korelasyon sabiti $r^2=0,9952$ ve kabuk kısmına ait eğrinin korelasyon sabiti $r^2=0,9868$ olarak bulunmuştur.

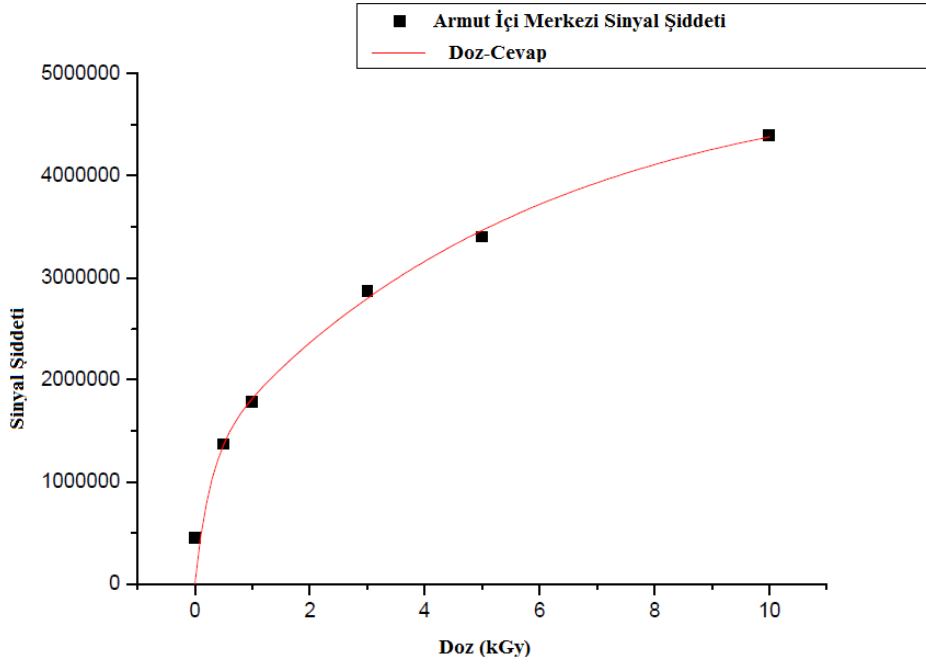


Şekil 4.13. Armudun iç kısmının sol uydu sinyaline ait doz-cevap grafiği

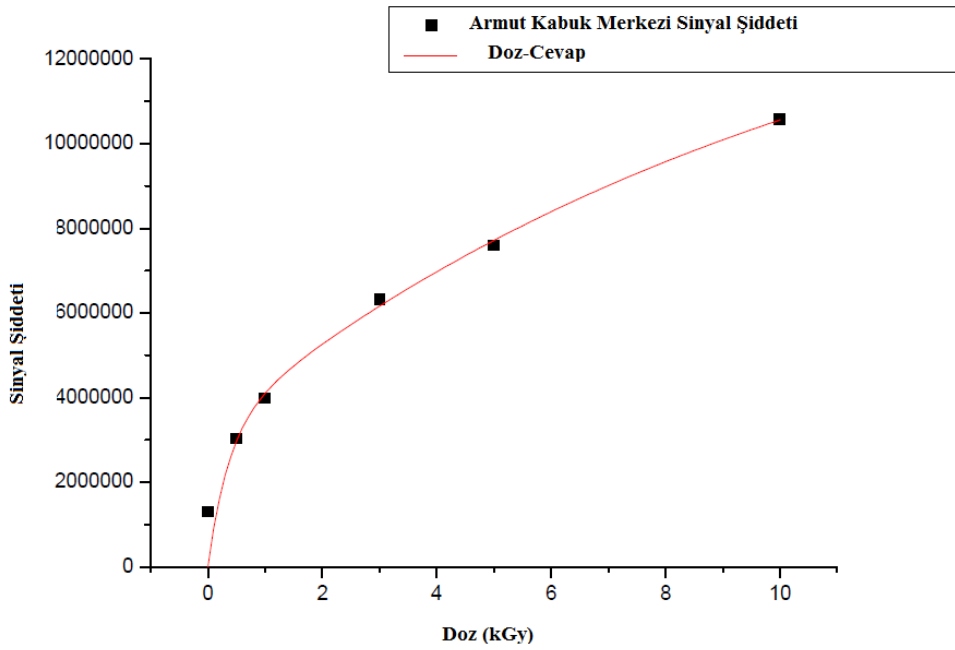


Şekil 4.14. Armudun kabuk kısmının sol uydu sinyaline ait doz-cevap grafiği

Armudun iç ve kabuk kısımlarının merkezi sinyallerine ait doz cevap eğrileri Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'de verilmiştir. Bu grafikler $I=I_{01}*(1-\exp(-k_1*D))+ I_{02}*(1-\exp(-k_2*D))$ gibi üstel olarak doygunluğa erişen iki fonksiyonun toplamı şeklinde bir denklem ile fit edilmiştir. Armudun iç kısmına ait grafiğe göre $I_{01}=1,2208.10^6$, $I_{02}=3,7939.10^6$, $k_1=3,8011 \text{ kGy}^{-1}$ ve $k_2=0,1789 \text{ kGy}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Armudun kabuk kısmına ait grafiğe göre ise $I_{01}=1,2273.10^7$, $I_{02}=3,2321.10^6$, $k_1=0,0908 \text{ kGy}^{-1}$ ve $k_2=2,7735 \text{ kGy}^{-1}$ olarak bulunmuştur. İç kısmının merkezi sinyaline ait grafiğin korelasyon sabiti $r^2=0,9479$ ve kabuk kısmının merkezi sinyaline ait eğrinin korelasyon sabiti $r^2=0,92306$ olarak bulunmuştur.



Şekil 4.15. Armutun iç kısmının merkezi sinyaline ait doz-cevap grafiği

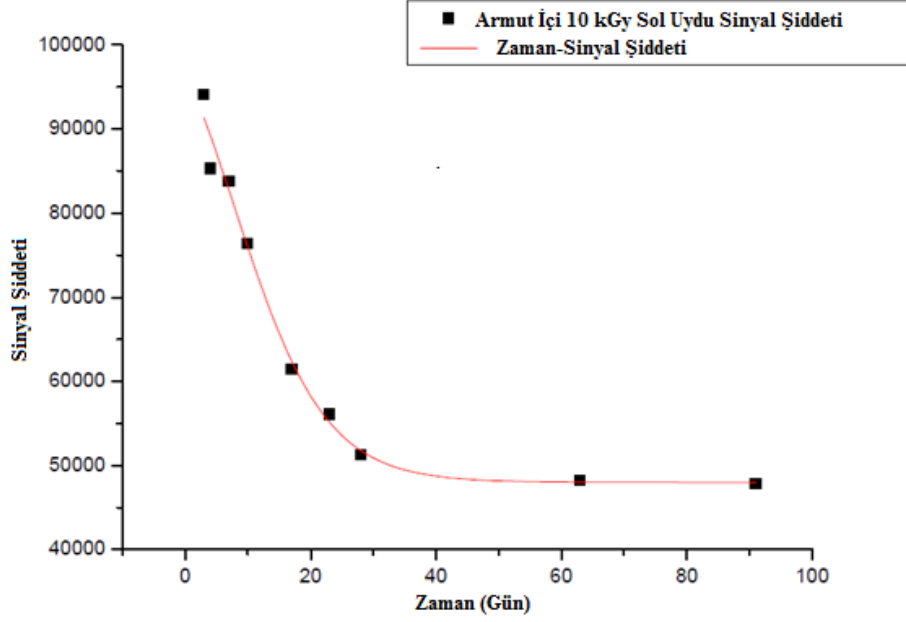


Şekil 4.16. Armutun kabuk kısmının merkezi sinyaline ait doz-cevap grafiği

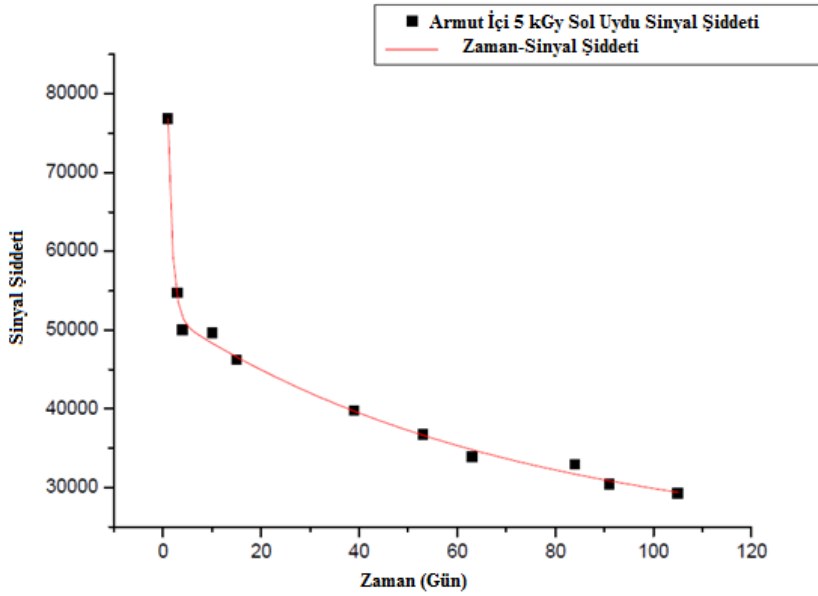
4.2.3. Zaman İncelemeleri

Armut örneklerinin ESR şiddetleri, 120 gün boyunca, değişik zaman aralıklarında ölçülmüştür. Örnekler bu zaman süresi boyunca oda sıcaklığında ve karanlık ortamda saklanmıştır. Zaman incelemesi için, 5 kGy ve 10 kGy dozunda ışınlanmış örnekler kullanılmıştır.

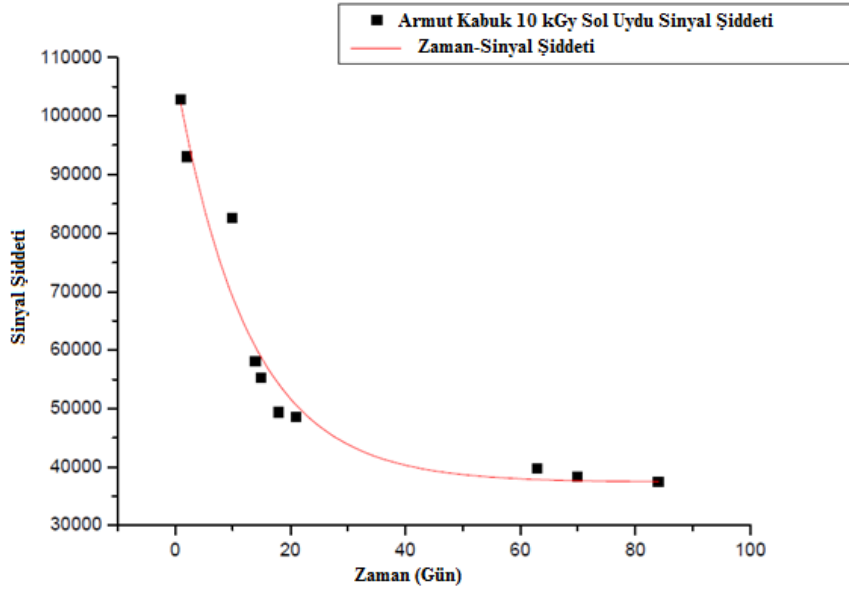
Armut içi ve kabuğunun 5 kGy ve 10 kGy dozunda ışınlanmış örneklerinin sol uydu sinyalleri 120. günün sonunda dahi gözlemlenebilir. Armut içi ve kabuğuna ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafikleri Şekil 4.17, Şekil 4.18, Şekil 4.19 ve Şekil 4.20'de verilmiştir. Bu grafikler armut kabuğunun ve içinin 5 kGy dozunda sol uydu sinyaline göre $I=I_0+A_1*\exp(-t*j_1)+A_2*\exp(-t*j_2)$ gibi üstel olarak azalan iki fonksiyonun toplamı şeklinde bir denklem ile fit edilmiştir. Armutun 5 kGy dozunda iç kısmına ait grafiğe göre $A_1=29432,908$, $A_2=73805,294$, $j_1=0,0143$ gün⁻¹ ve $j_2=1,0823$ gün⁻¹ olarak bulunmuştur. Armutun 5 kGy dozunda kabuk kısmına ait grafiğe göre ise $A_1=201911,224$, $A_2=32111,151$, $j_1=0,2590$ gün⁻¹ ve $j_2=7,7052.10^{-3}$ gün⁻¹ olarak bulunmuştur. Armutun kabuk ve iç kısmının 10 kGy dozundaki sol uydu sinyalleri ise $I=I_0+A_1*\exp(-t*j_1)$ gibi üstel olarak azalan bir fonksiyon ile fit edilmiştir. Armutun 10 kGy dozunda iç kısmına ait grafiğe göre $A_1=69970,930$ ve $j_1=0,0792$ gün⁻¹ olarak bulunmuştur. Armutun 10 kGy dozunda kabuk kısmına ait grafiğe göre ise $A_1=58125,19012$ ve $j_1=0,0775$ gün⁻¹ olarak bulunmuştur. Armut içine ait sol uydu sinyalinin 10 kGy dozundaki grafiğinin korelasyon sabiti $r^2=0,9830$ ve 5 kGy dozundaki grafiğinin korelasyon sabiti $r^2=0,9936$ olarak bulunmuştur. Armut kabuğuna ait sol uydu sinyalinin 10 kGy dozundaki grafiğinin korelasyon sabiti $r^2=0,9372$ ve 5 kGy dozundaki grafiğinin korelasyon sabiti $r^2=0,9821$ olarak bulunmuştur.



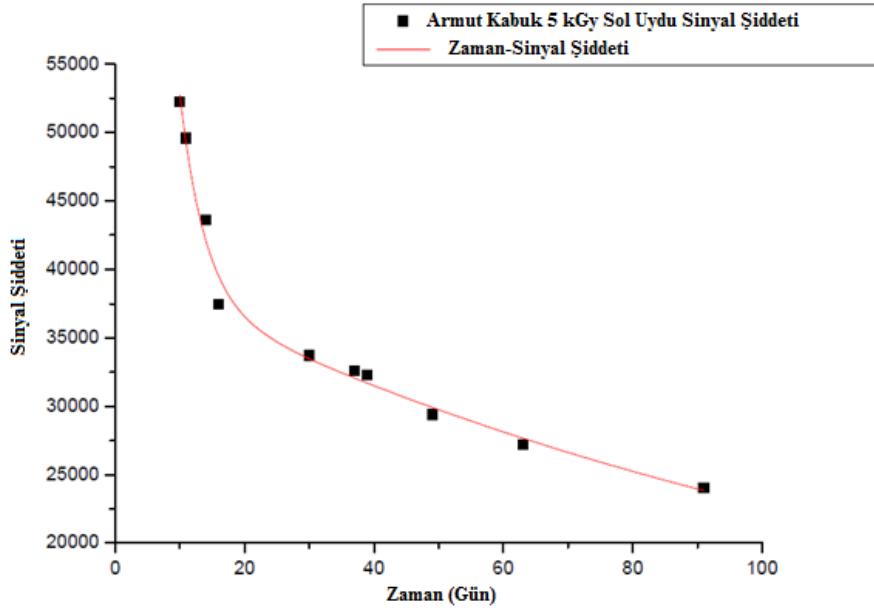
Şekil 4.17. 10 kGy dozunda ışınlanmış armut içinin sol uydu sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği



Şekil 4.18. 5 kGy dozunda ışınlanmış armut içinin sol uydu sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği

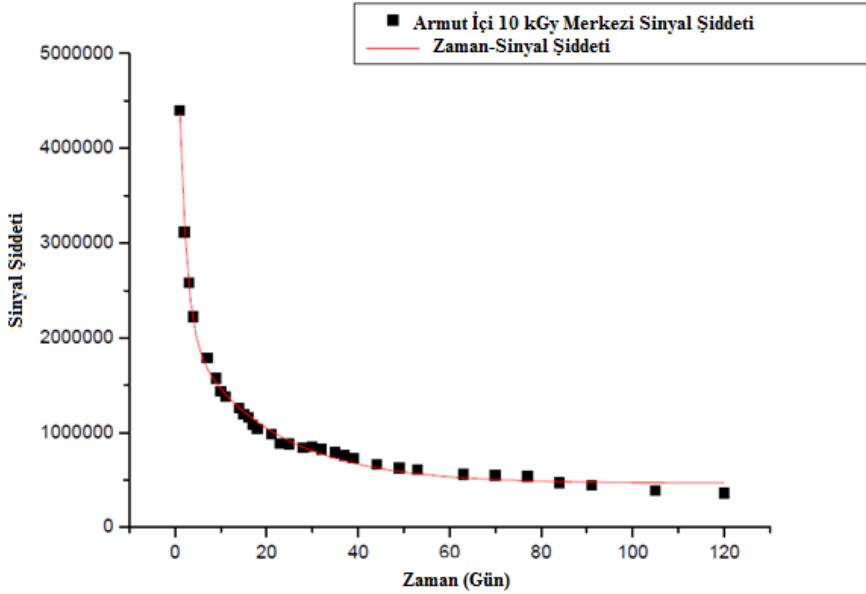


Şekil 4.19. 10 kGy dozunda ışınlanmış armut kabuğunun sol uydu sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği

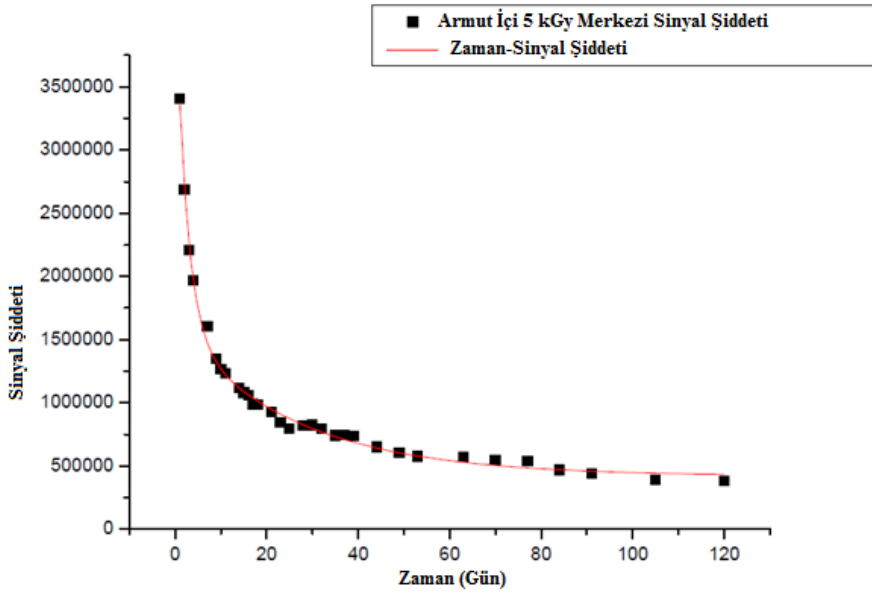


Şekil 4.20. 5 kGy dozunda ışınlanmış armut kabuğunun sol uydu sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği

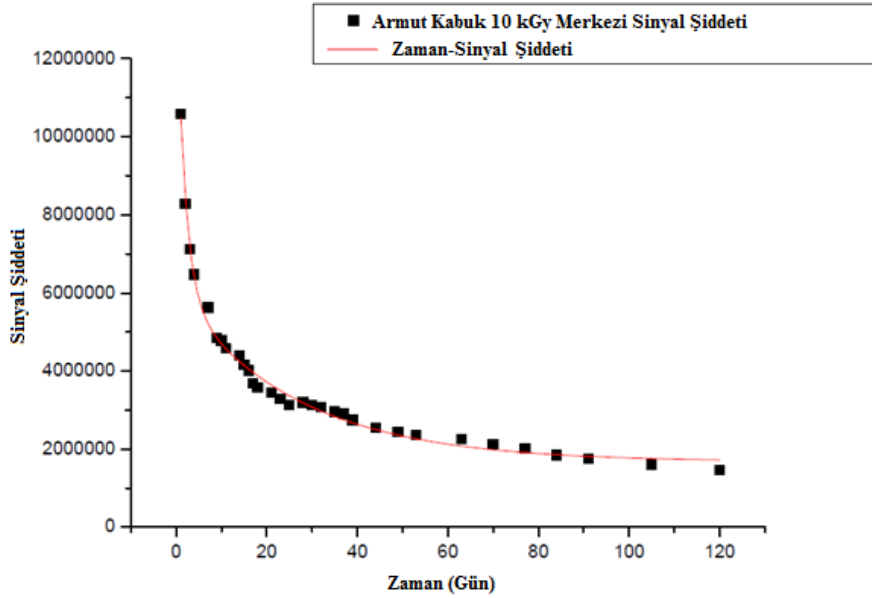
Armut içi ve kabuğunun merkezi sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafikleri armut içinin 10 kGy dozunda ışınlanmış örnekleri için Şekil 4.21, 5 kGy dozunda ışınlanmış örnekleri için Şekil 4.22, armudun kabuk kısmının 10 kGy dozunda ışınlanmış örnekleri için Şekil 4.23, ve 5 kGy dozunda ışınlanmış örnekleri için ise Şekil 4.24'de verilmiştir. Bu grafikler $I=I_0+A_1*\exp(-t*j_1)+A_2*\exp(-t*j_2)$ gibi üstel olarak azalan iki fonksiyonun toplamı şeklinde bir denklem ile fit edilmiştir. Armutun 10 kGy dozunda iç kısmına ait grafiğe göre $A_1=4,293.10^6$, $A_2=1,675.10^6$, $j_1=0,6215 \text{ gün}^{-1}$ ve $j_2=0,0527 \text{ gün}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Armutun 5 kGy dozunda iç kısmına ait grafiğe göre ise $A_1=2,733.10^6$, $A_2=1,165.10^6$, $j_1=0,4052 \text{ gün}^{-1}$ ve $j_2=0,0378 \text{ gün}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Armutun 10 kGy dozunda kabuk kısmına ait grafiğe göre $A_1=7,723.10^6$, $A_2=4,339.10^6$, $j_1=0,5136 \text{ gün}^{-1}$ ve $j_2=0,03775 \text{ gün}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Armutun 5 kGy dozunda kabuk kısmına ait grafiğe göre ise $A_1=5,335.10^6$, $A_2=2,995.10^6$, $j_1=0,5007 \text{ gün}^{-1}$ ve $j_2=0,0376 \text{ gün}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Armut içine ait merkezi sinyalinin 10 kGy dozuna ait grafiğin korelasyon sabiti $r^2=0,9954$ ve 5 kGy dozundaki grafiğinin korelasyon sabiti $r^2=0,9954$ olarak bulunmuştur. Armut kabuğuna ait merkezi sinyalinin 10 kGy dozuna ait grafiğin korelasyon sabiti $r^2=0,9929$ ve 5 kGy dozundaki grafiğinin korelasyon sabiti $r^2=0,9953$ olarak bulunmuştur.



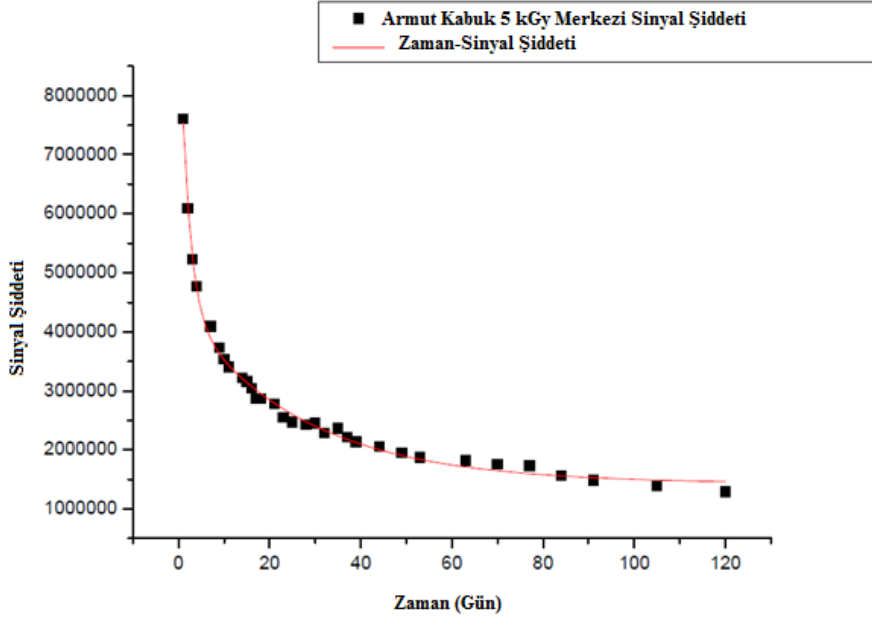
Şekil 4.21. 10 kGy dozunda ışınlanmış armut içinin merkezi sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği



Şekil 4.22. 5 kGy dozunda ışınlanmış armut içinin merkezi sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği



Şekil 4.23. 10 kGy dozunda ışınlanmış armut kabuğunun merkezi sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği



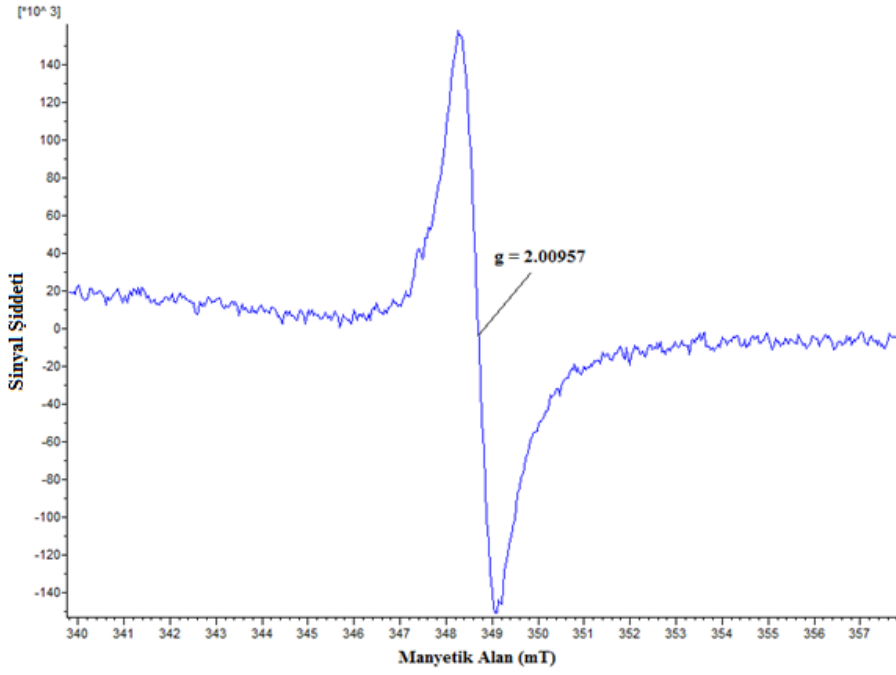
Şekil 4.24. 5 kGy dozunda ışınlanmış armut kabuğunun merkezi sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği

4.3. Ayva

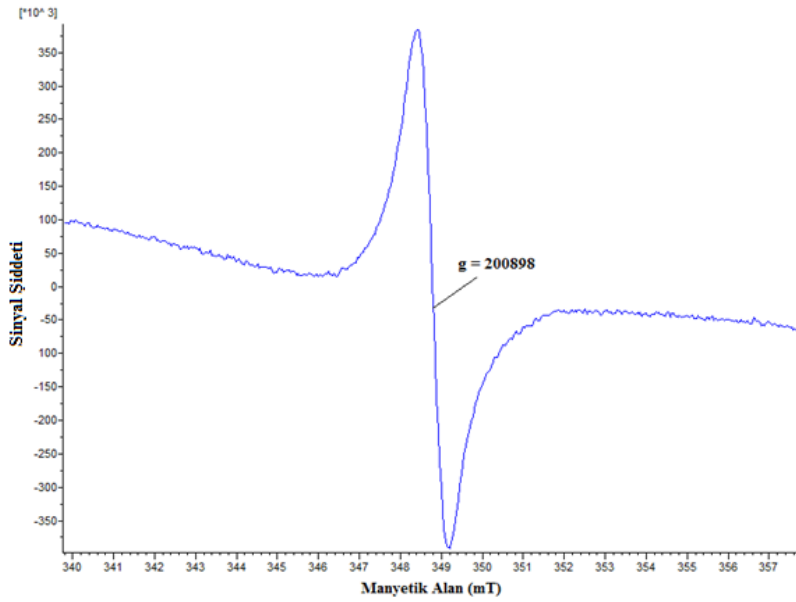
Ayva örnekleri iç ve kabuk kısmı olarak iki farklı şekilde incelenmiştir.

4.3.1. ESR Sinyalleri

Ayva örneklerinin ışınlanmamış iç ve kabuk kısımları $g=2,00957$ ve $g=2,00898$ değerlerinde tekli sinyal vermiştir (Şekil 4.25, Şekil 4.26).

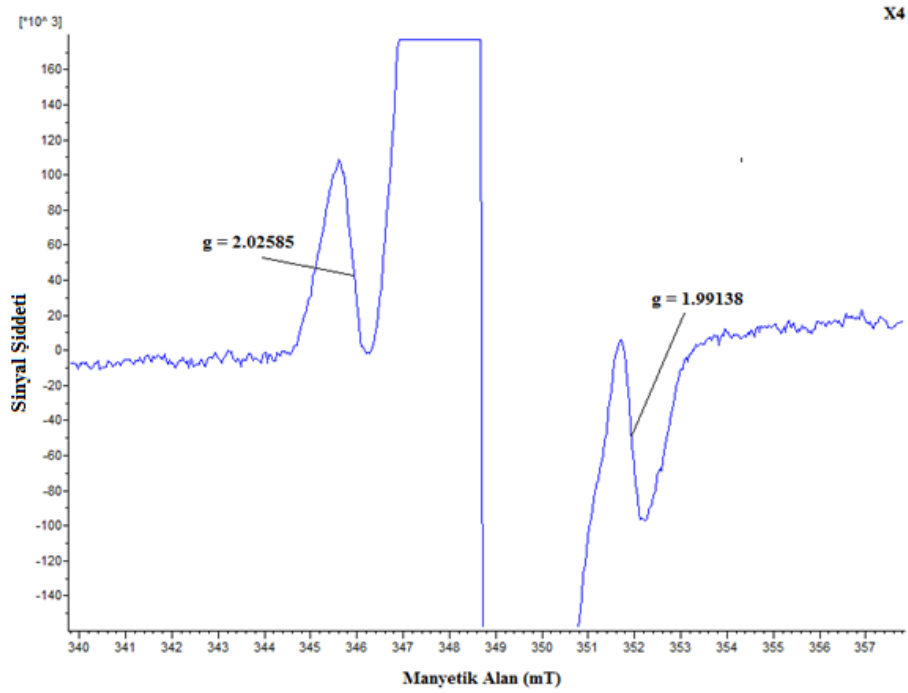


Şekil 4.25. Işınlanmamış ayva örneklerinin iç kısmına ait ESR spektrumu

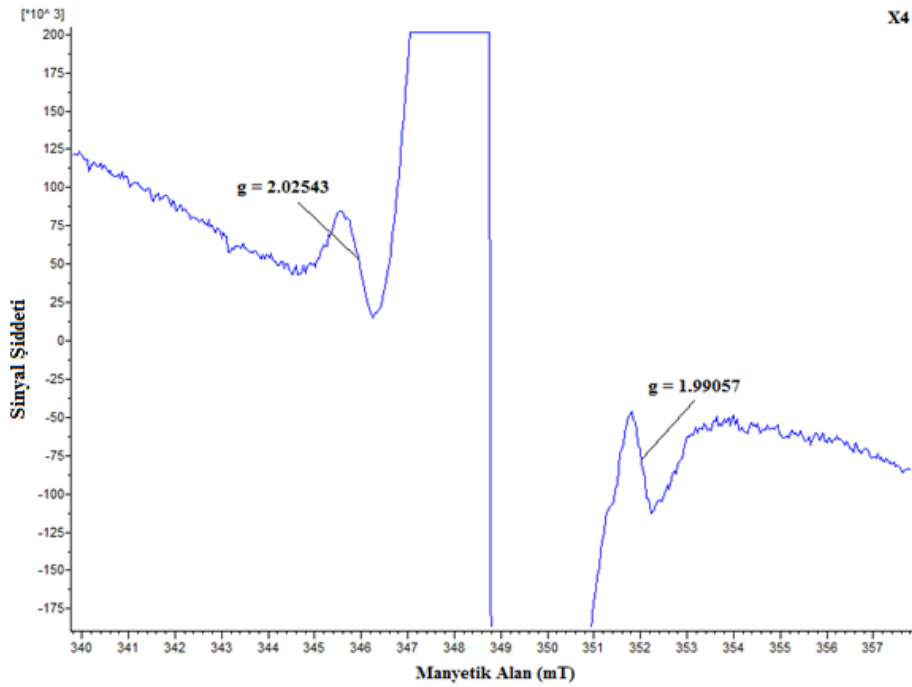


Şekil 4.26. Işınlanmamış ayva örneklerinin kabuk kısmına ait ESR spektrumu

Ayvanın ışınlanmış iç ve kabuk kısımlarında merkezi sinyalin dışında uydu sinyalleri de gözlemlenmiştir. İç kısma ait uydu sinyallerinin g değerleri $g=2,02585$ sol uydu sinyali için ve $g=1,99138$ olarak gözlemlenmiştir (Şekil 4.27). Kabuk kısmına ait uydu sinyallerinin g değerleri ise $g=2,02543$ sol uydu sinyali için ve $g=1,99057$ sağ uydu sinyali için gözlemlenmiştir (Şekil 4.28).



Şekil 4.27. 10 kGy dozunda ışınlanmış ayvanın iç kısmına ait ESR spektrumu (4 kez büyütülmüş)

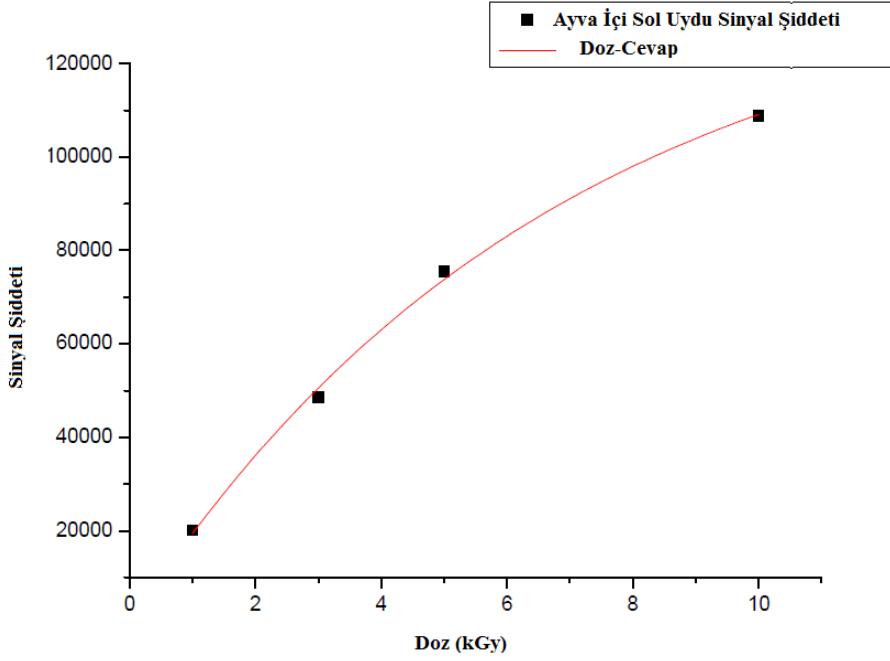


Şekil 4.28. 10 kGy dozunda ışınlanmış ayvanın kabuk kısmına ait ESR spektrumu (4 kez büyütülmüş)

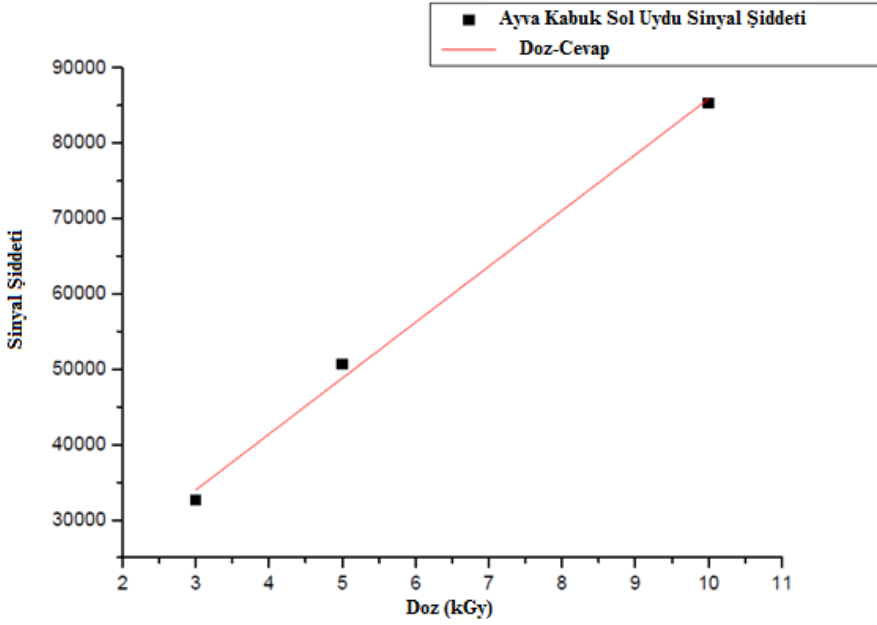
Uygulanan ışınlama dozuna göre, sinyal şiddetleri artmıştır, fakat g değerlerinde bir değişim olmamıştır. Işınlanmış ayva içi örneklerinde 0,5 kGy dozunda uydu sinyali ve kabuk örneklerinde ise 0,5 ve 1 kGy dozunda sol uydu sinyali gözlenmemiştir.

4.3.2. Doz-Cevap Grafikleri

Ayvanın iç kısmının sol uydu sinyaline ait grafik (Şekil 4.29) $I=I_0*(1-\exp(-k*D))$ gibi üstel olarak doygunluğa erişen bir denklem ile fit edilmiştir. Ayvanın iç kısmına ait grafiğe (Şekil 4.30) göre $I_0=141680,6056$ ve $k=0,14714 \text{ kGy}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Kabuk kısmının sol uydu sinyaline ait grafik ise $I=I_0+k*D$ şeklinde bir doğru denklem ile fit edilmiştir. Burada I ESR sinyal şiddeti, I_0 ışınlanmamış örneğin sinyal şiddeti, k birim radyasyon başına radikal oluşma hızı ve D örneğe verilen doz miktarıdır. Ayvanın kabuk kısmına ait grafiğe göre $k=7417,424 \text{ kGy}^{-1}$ olarak bulunmuştur. İç kısmına ait grafiğin korelasyon sabiti $r^2=0,9972$ ve kabuk kısmına ait grafiğin korelasyon sabiti $r^2=0,9922$ olarak bulunmuştur.

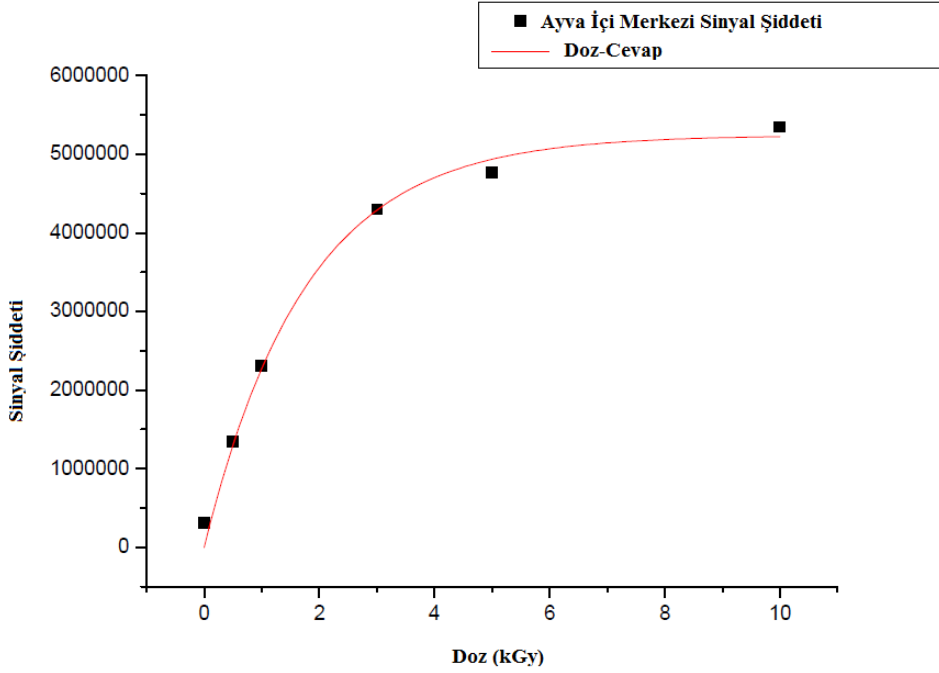


Şekil 4.29. Ayvanın iç kısmının sol uydu sinyaline ait doz-cevap grafiği

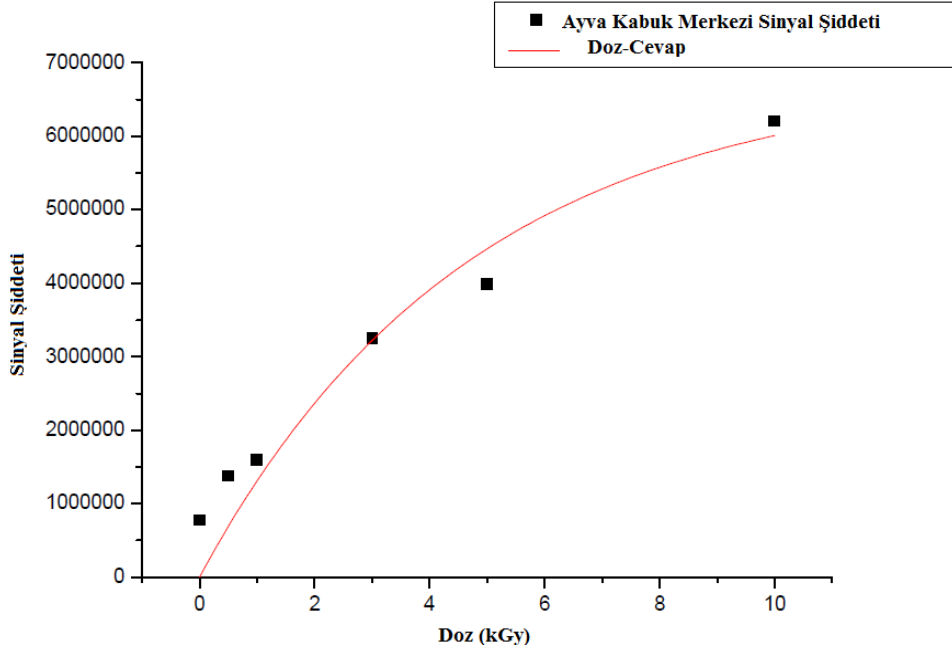


Şekil 4.30. Ayvanın kabuk kısmının sol uydu sinyaline ait doz-cevap grafiği

Ayvanın iç ve kabuk kısımlarının merkezi sinyaline ait doz-cevap eğrileri Şekil 4.31, Şekil 4.32’ de verilmiştir. Bu grafikler $I=I_0*(1-\exp(-k*D))$ gibi üstel olarak doygunluğa erişen bir denklem ile fit edilmiştir. Ayvanın iç kısmına ait grafiğe göre $I_0=5,2428.10^6$ ve $k=0,5679 \text{ kGy}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Ayvanın kabuk kısmına ait grafiğe göre ise $I_0=6,8189.10^6$ ve $k=0,2129 \text{ kGy}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Ayvanın iç kısmının merkezi sinyaline ait grafiğin korelasyon sabiti $r^2=0,9912$ ve kabuk kısmının merkezi sinyaline ait grafiğinin korelasyon sabiti $r^2= 0,9139$ olarak bulunmuştur.



Şekil 4.31. Ayvanın iç kısmının merkezi sinyaline ait doz-cevap grafiği



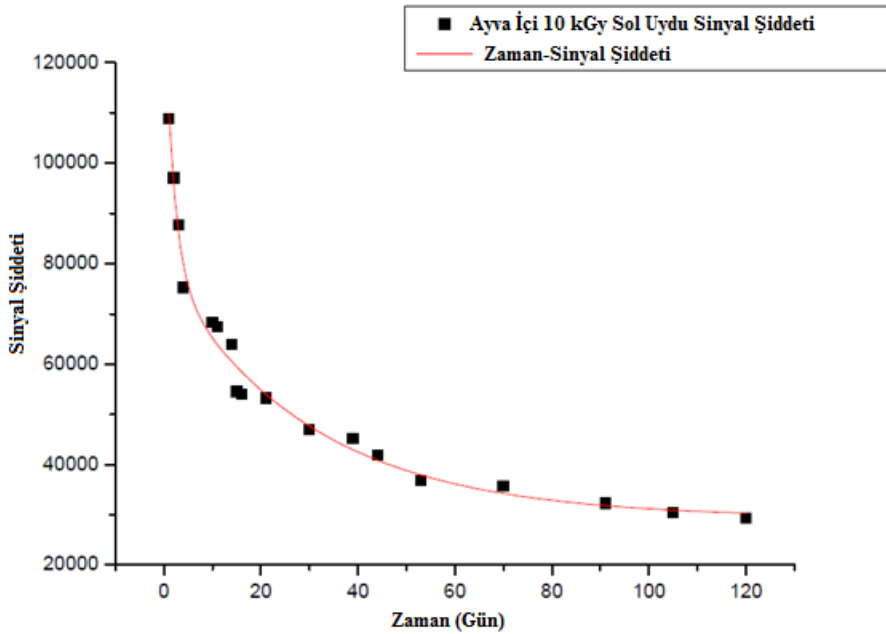
Şekil 4.32. Ayvanın kabuk kısmının merkezi sinyaline ait doz-cevap grafiği

4.3.3. Zaman İncelemeleri

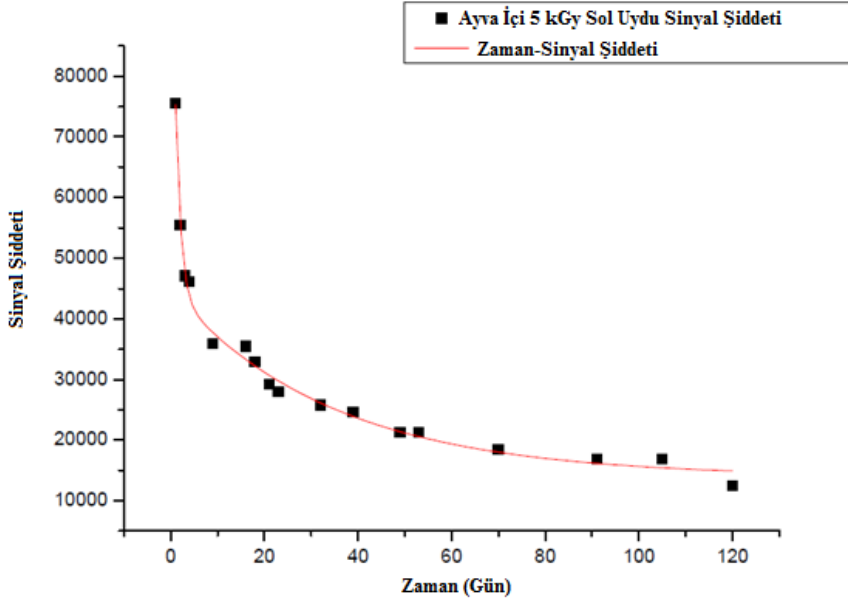
Ayva örneklerinin ESR şiddetleri, 120 gün boyunca, değişik zaman aralıklarında ölçülmüştür. Örnekler bu zaman süresi boyunca oda sıcaklığında ve karanlık ortamda saklanmıştır. Zaman incelemesi için, 5 kGy ve 10 kGy dozunda ışınlanmış örnekler kullanılmıştır.

Ayva içinin 10 kGy ve 5 kGy ışınlanmış dozlarında 120 günün sonunda dahi uydu sinyalleri gözlemlenebilir. (Şekil 4.33, Şekil 4.34). Ayva kabuğunun 10 kGy dozunda ışınlanmış örneklerinde 120 gün boyunca uydu sinyalleri gözlenirken 5 kGy dozunda ışınlanmış örneklerinde 49. günden sonra uydu sinyalleri gözlemlenmemiştir (Şekil 4.35, Şekil 4.36). Bu grafikler $I=I_0+A_1*\exp(-t*j_1)+A_2*\exp(-t*j_2)$ gibi üstel olarak azalan iki fonksiyonun toplamı şeklinde bir denklem ile fit edilmiştir. Ayvanın 10 kGy dozunda iç kısmına ait grafiğe göre $A_1=49386,916$, $A_2=53896,561$, $j_1=0,0332$ gün⁻¹ ve $j_2=0,5066$ gün⁻¹ olarak bulunmuştur. Ayvanın 5 kGy dozunda iç kısmına ait grafiğe göre ise $A_1=30811,759$, $A_2=75187,635$, $j_1=0,0291$ gün⁻¹ ve $j_2=0,8726$ gün⁻¹ olarak bulunmuştur. Ayvanın 10 kGy dozunda kabuk kısmına ait grafiğe göre

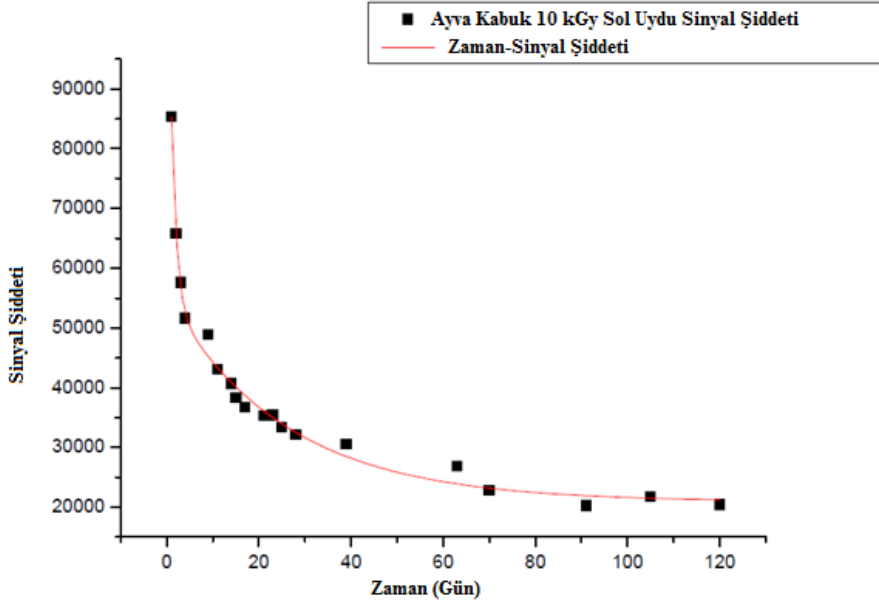
$A_1=34410,778$, $A_2=75148,740$, $j_1=0,3886$ gün⁻¹ ve $j_2=0,8734$ gün⁻¹ olarak bulunmuştur. Ayvanın 5 kGy dozunda kabuk kısmına ait grafiğe göre ise $A_1=6,224.10^7$, $A_2=17378,813$, $j_1=8,4034$ gün⁻¹ ve $j_2=0,1480$ gün⁻¹ olarak bulunmuştur. Ayva içine ait sol uydu sinyalinin 10 kGy dozundaki grafiğinin korelasyon sabiti $r^2=0,9833$ ve 5 kGy dozundaki grafiğinin korelasyon sabiti $r^2=0,9904$ olarak bulunmuştur. Ayva kabuğuna ait sol uydu sinyalinin 10 kGy dozundaki grafiğinin korelasyon sabiti $r^2=0,9899$ ve 5 kGy dozundaki grafiğinin korelasyon sabiti $r^2=0,9885$ olarak bulunmuştur.



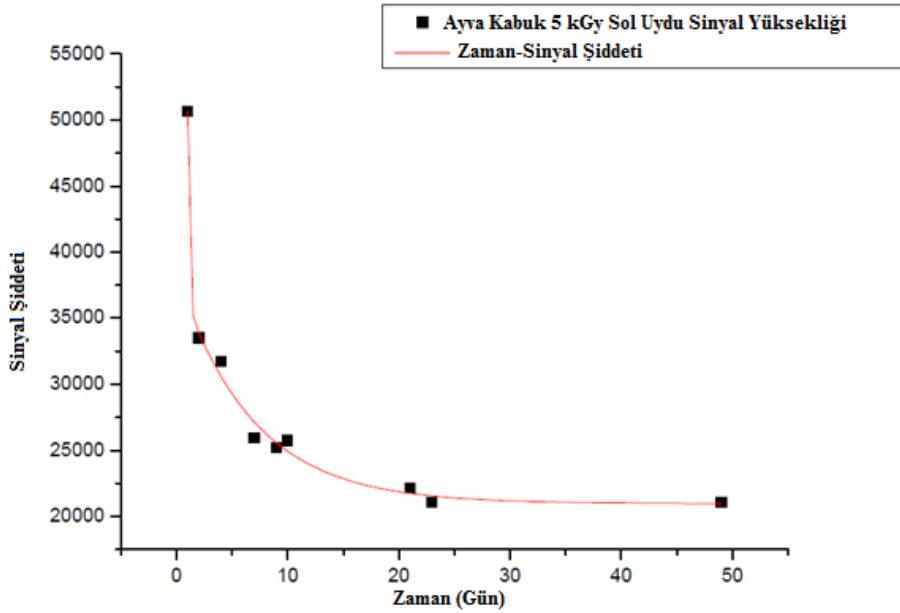
Şekil 4.33. 10 kGy dozunda ışınlanmış ayva içinin sol uydu sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği



Şekil 4.34. 5 kGy dozunda ışınlanmış ayva içinin sol uydu sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği



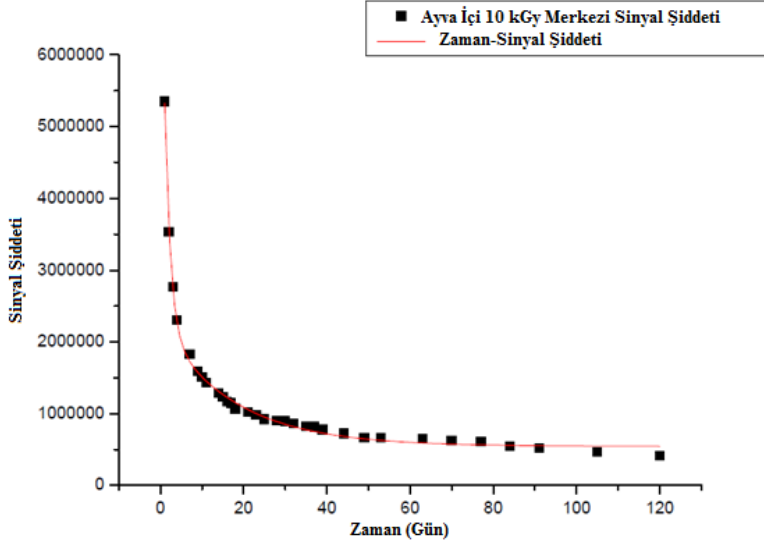
Şekil 4.35. 10 kGy dozunda ışınlanmış ayva kabuğunun sol uydu sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği



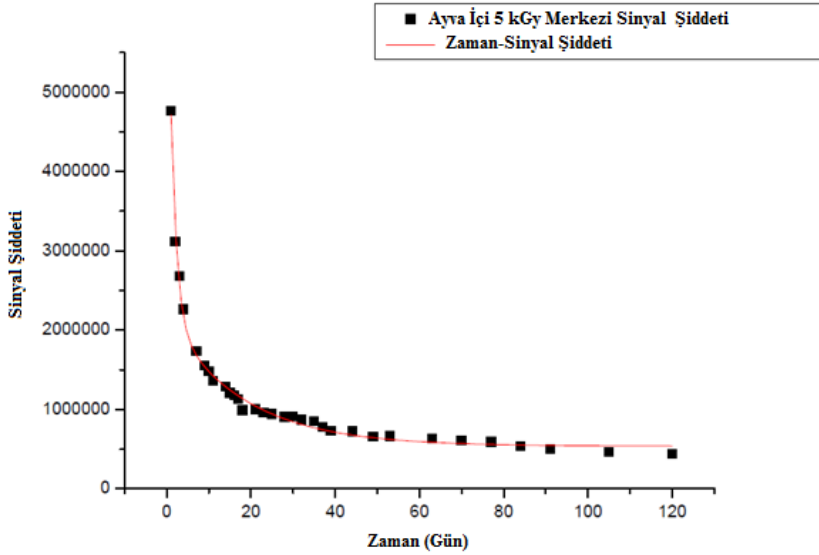
Şekil 4.36. 5 kGy dozunda ışınlanmış ayva kabuğunun sol uydu sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği

Ayva içinin merkezi sinyallerine ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafikleri 10 kGy dozunda ışınlanmış örnekleri için Şekil 4.37 ve 5 kGy dozunda ışınlanmış örnekleri için Şekil 4.38' de verilmiştir. Ayvanın kabuk kısmının 10 kGy dozunda ışınlanmış örnekleri için Şekil 4.39 ve 5 kGy dozunda ışınlanmış örnekleri için ise Şekil 4.40' de verilmiştir. Bu grafikler $I=I_0+A_1*\exp(-t*j_1)+A_2*\exp(-t*j_2)$ gibi üstel olarak azalan iki fonksiyonun toplamı şeklinde bir denklem ile fit edilmiştir. Ayvanın 10 kGy dozunda iç kısmına ait grafiğe göre $A_1=1,699.10^6$, $A_2=6,515.10^6$, $j_1=0,0570$ gün⁻¹ ve $j_2=0,7184$ gün⁻¹ olarak bulunmuştur. Ayvanın 5 kGy dozunda iç kısmına ait grafiğe göre ise $A_1=1,636.10^6$, $A_2=5,287.10^6$, $j_1=0,0558$ gün⁻¹ ve $j_2=0,7003$ gün⁻¹ olarak bulunmuştur. Ayvanın 10 kGy dozunda kabuk kısmına ait grafiğe göre $A_1=2,149.10^6$, $A_2=5,108.10^6$, $j_1=0,0363$ gün⁻¹ ve $j_2=0,4659$ gün⁻¹ olarak bulunmuştur. Ayvanın 5 kGy dozunda kabuk kısmına ait grafiğe göre ise $A_1=1,367.10^6$, $A_2=2,905.10^6$, $j_1=0,0331$ gün⁻¹ ve $j_2=0,4355$ gün⁻¹ olarak bulunmuştur. Ayva içinin merkezi sinyalinin 10 kGy dozundaki grafiğinin korelasyon sabiti $r^2=0,9968$ ve 5 kGy dozundaki grafiğinin korelasyon sabiti $r^2=0,9937$ olarak bulunmuştur. Ayva kabuğunun merkezi sinyalinin 10 kGy dozundaki grafiğinin korelasyon sabiti

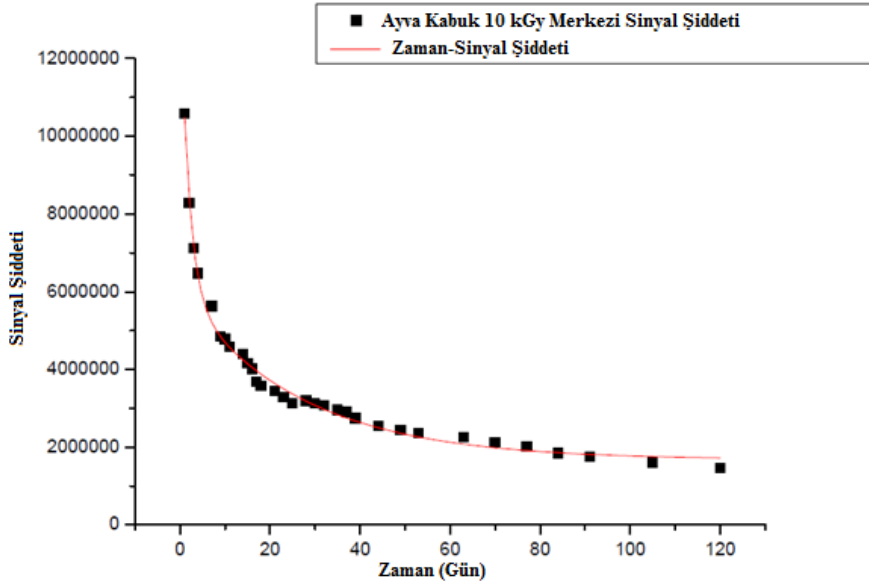
$r^2=0,9929$ ve 5 kGy dozundaki grafiğinin korelasyon sabiti $r^2=0,9953$ olarak bulunmuştur.



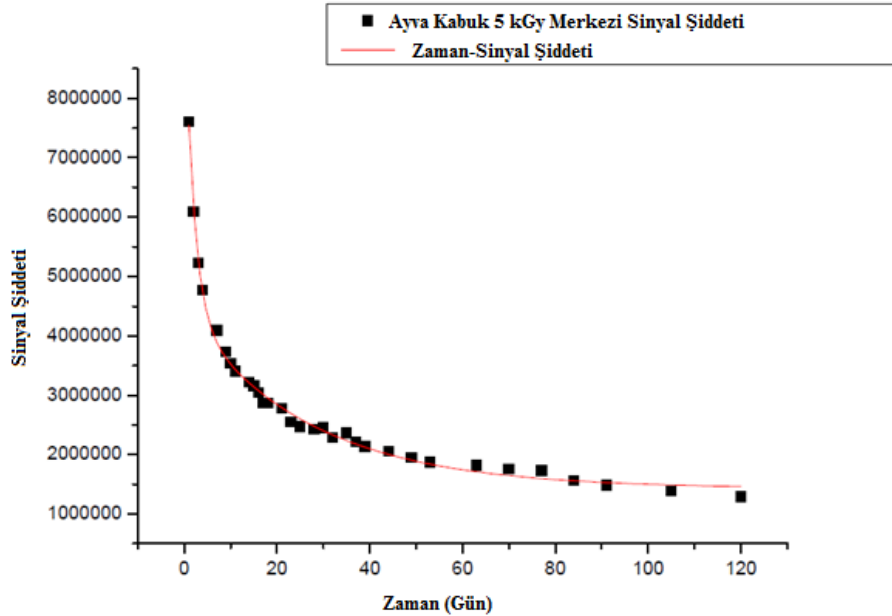
Şekil 4.37. 10 kGy dozunda ışınlanmış ayvanın iç kısmının merkezi sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği



Şekil 4.38. 5 kGy dozunda ışınlanmış ayvanın iç kısmının merkezi sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği



Şekil 4.39. 10 kGy dozunda ışınlanmış ayvanın kabuk kısmının merkezi sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği

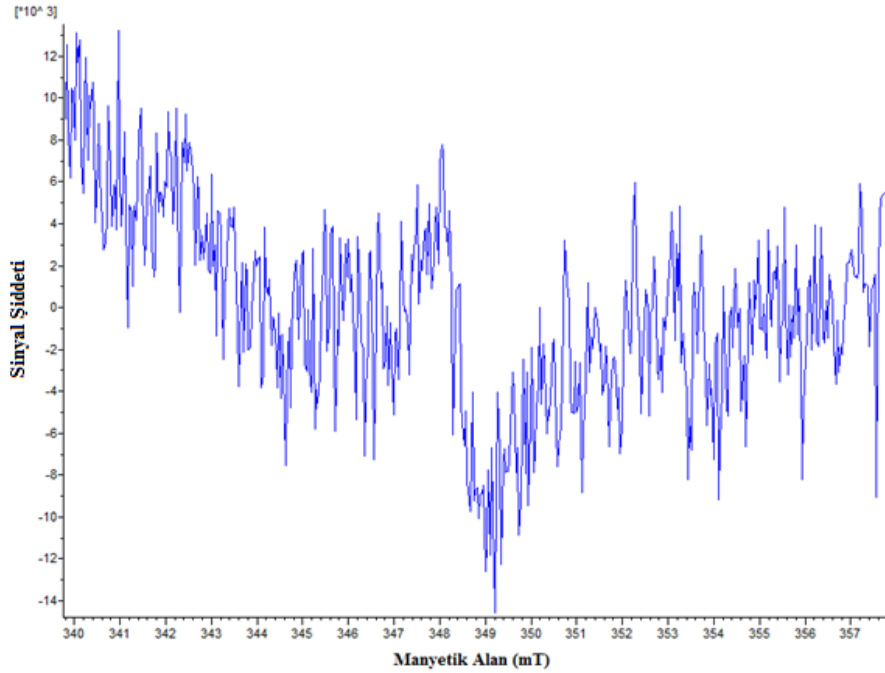


Şekil 4.40. 5 kGy dozunda ışınlanmış ayvanın kabuk kısmının merkezi sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği

4.4. İğde

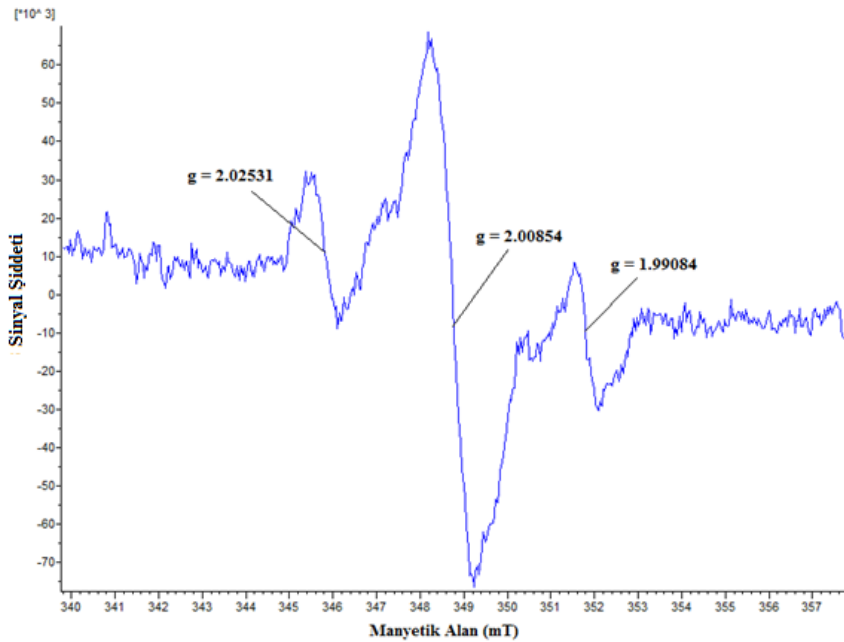
4.4.1. ESR Sinyalleri

İğdenin ışınlanmamış örneklerinin g değeri merkezi sinyal değerinin çok düşük olması ve gürültüye karışması nedeniyle ölçülememiştir (Şekil 4.41).



Şekil 4.41. Işınlanmamış iğde örneğine ait ESR spektrumu

Işınlanmış iğde örnekleri merkezi sinyalin yanında uydu sinyalleri de göstermiştir. Merkezi sinyalinin g değeri $g=2,00854$ ve sol uydu sinyali için $g=2,02531$ ve sağ uydu sinyali için $g=1,99084$ olarak gözlemlenmiştir (Şekil 4.42).

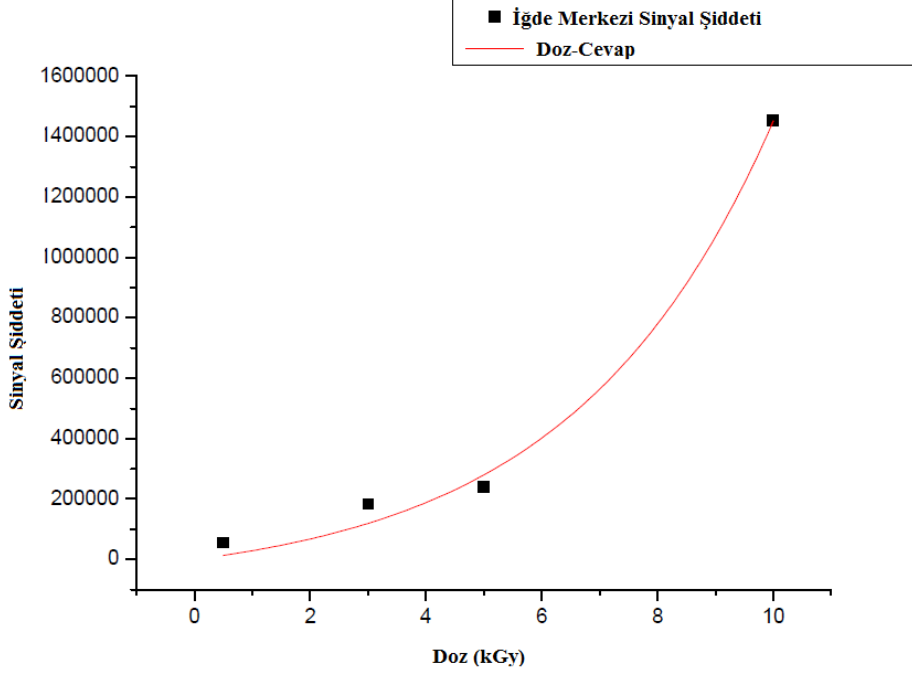


Şekil 4.42. 10 kGy dozunda ışınlanmış iğde örneklerine ait ESR spektrumu

Uygulanan ışınlama dozuna göre, sinyal şiddetleri artmıştır, fakat g değerlerinde bir değişim olmamıştır. 0,5 kGy dozunda ve 5 kGy dozundaki sol uydu sinyalleri ölçülememiştir.

4.4.2. Doz-Cevap Grafikleri

İğdenin sol uydu sinyali için alınan değerler grafik çizmeye uygun olmadığı için grafiği çizilmemiştir. Merkezi sinyale ait 1 kGy dozundaki değer de ayrıca ölçülememiştir. Merkezi sinyale ait doz-cevap grafiği Şekil 4.43’de verilmiştir. Bu grafik $I=I_0*(1-\exp(-k*D))$ gibi üstel olarak doygunluğa erişen bir denklem ile fit edilmiştir. İğdeye ait grafiğe göre $I_0=-87824,4596$ ve $k=-0,2863 \text{ kGy}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Bu grafiğin korelasyon sabiti $r^2=0,9911$ olarak bulunmuştur.



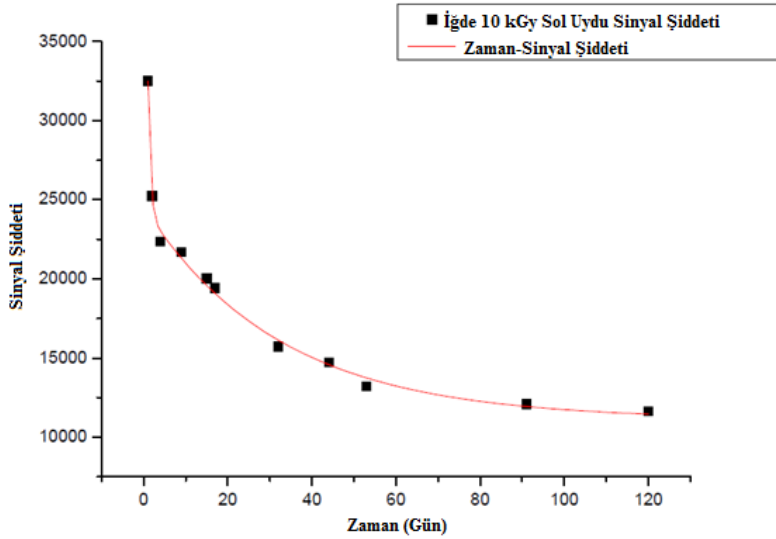
Şekil 4.43. İğde örneklerinin merkezi sinyaline ait doz-cevap grafiği

4.4.3. Zaman İncelemeleri

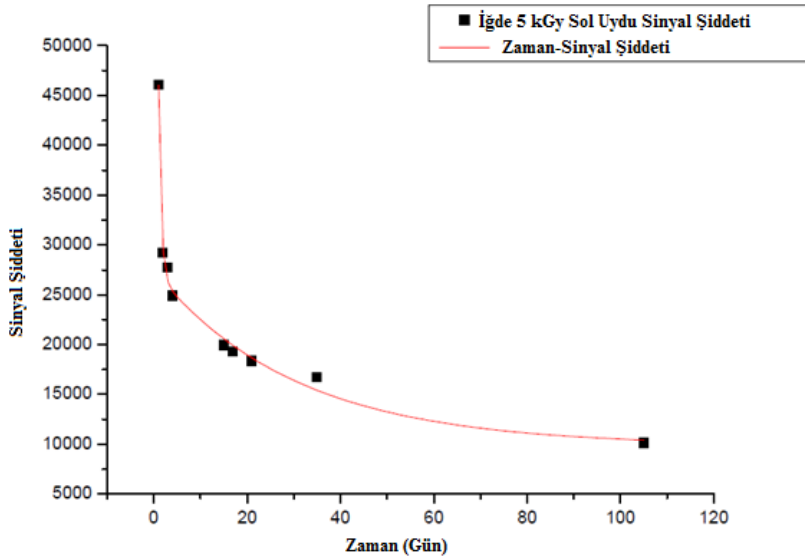
İğde örneklerinin ESR şiddetleri, 120 gün boyunca, değişik zaman aralıklarında ölçülmüştür. Örnekler bu zaman süresi boyunca oda sıcaklığında ve karanlık ortamda saklanmıştır. Zaman incelemesi için, 5 kGy ve 10 kGy dozunda ışınlanmış örnekler kullanılmıştır.

İğdenin 10 kGy dozunda ışınlanmış örnekleri için 120. günün sonunda uydu sinyalleri gözlemlenebilir. 5 kGy dozunda ışınlanmış örneklerin uydu sinyalleri 105. günden sonra gözlemlenmemiştir. Bu örneklere ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafikleri 10 kGy dozunda ışınlanmış örnekler için Şekil 4.44 ve 5 kGy dozunda ışınlanmış örnekler için ise Şekil 4.45’de verilmiştir. Bu grafikler $I=I_0+A_1*\exp(-t*j_1)+A_2*\exp(-t*j_2)$ gibi üstel olarak azalan iki fonksiyonun toplamı şeklinde bir denklem ile fit edilmiştir. İğdenin 10 kGy dozundaki örneğine ait grafiğe göre $A_1=13424,981$, $A_2=49374,400$, $j_1=0,0308$ gün⁻¹ ve $j_2=1,7761$ gün⁻¹ olarak bulunmuştur. İğdenin 5 kGy dozundaki örneğine ait grafiğe göre ise $A_1=17583,558$, $A_2=111092,206$, $j_1=0,0329$ gün⁻¹ ve $j_2=1,7575$ gün⁻¹ olarak bulunmuştur. İğdenin 10 kGy dozunda ışınlanmış örneklerinin sol uydu sinyaline ait grafiğin korelasyon

sabiti $r^2=0,9938$ ve 5 kGy dozunda ışınlanmış örneklerinin sol uydu sinyaline ait grafiğinin korelasyon sabiti $r^2=0,9881$ olarak bulunmuştur.

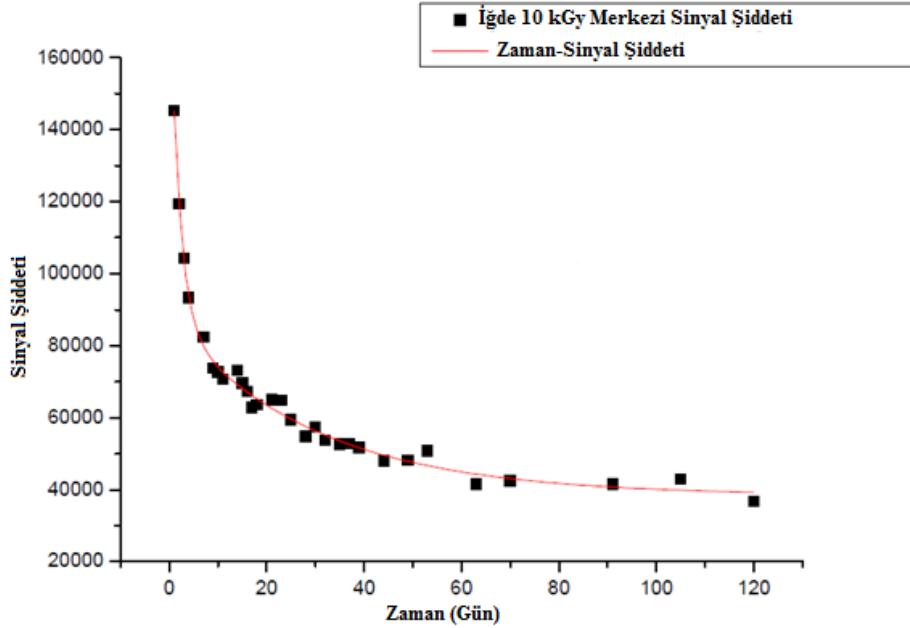


Şekil 4.44. 10 kGy dozunda ışınlanmış iğde örneklerinin sol uydu sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği

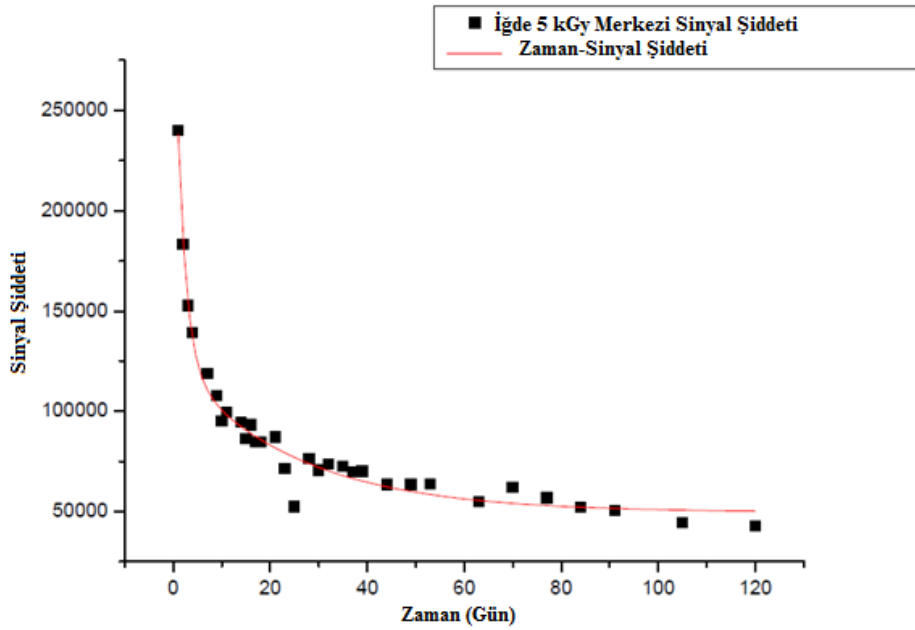


Şekil 4.45. 5 kGy dozunda ışınlanmış iğde örneklerinin sol uydu sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği

İğdenin 10 kGy ve 5 kGy dozunda ışınlanmış örneklerinin merkezi sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği 10 kGy dozunda ışınlanmış örnekleri için Şekil 4.46 ve 5 kGy dozunda ışınlanmış örnekleri için ise Şekil 4.47’de verilmiştir. Bu grafikler $I=I_0+A_1*\exp(-t*j_1)+A_2*\exp(-t*j_2)$ gibi üstel olarak azalan iki fonksiyonun toplamı şeklinde bir denklem ile fit edilmiştir. İğdenin 10 kGy dozundaki örneğine ait grafiğe göre $A_1=49061,131$, $A_2=99319,198$, $j_1=0,0336$ gün⁻¹ ve $j_2=0,5149$ gün⁻¹ olarak bulunmuştur. İğdenin 5 kGy dozundaki örneğine ait grafiğe göre ise $A_1=74839,852$, $A_2=199886,528$, $j_1=0,0403$ gün⁻¹ ve $j_2=0,5417$ gün⁻¹ olarak bulunmuştur. 10 kGy dozunda ışınlanmış örneklere ait grafiğin korelasyon sabiti $r^2=0,9913$ ve 5 kGy dozunda ışınlanmış örneklere ait grafiğin korelasyon sabiti ise $r^2=0,9751$ olarak bulunmuştur.



Şekil 4.46. 10 kGy dozunda ışınlanmış iğde örneklerinin merkezi sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği

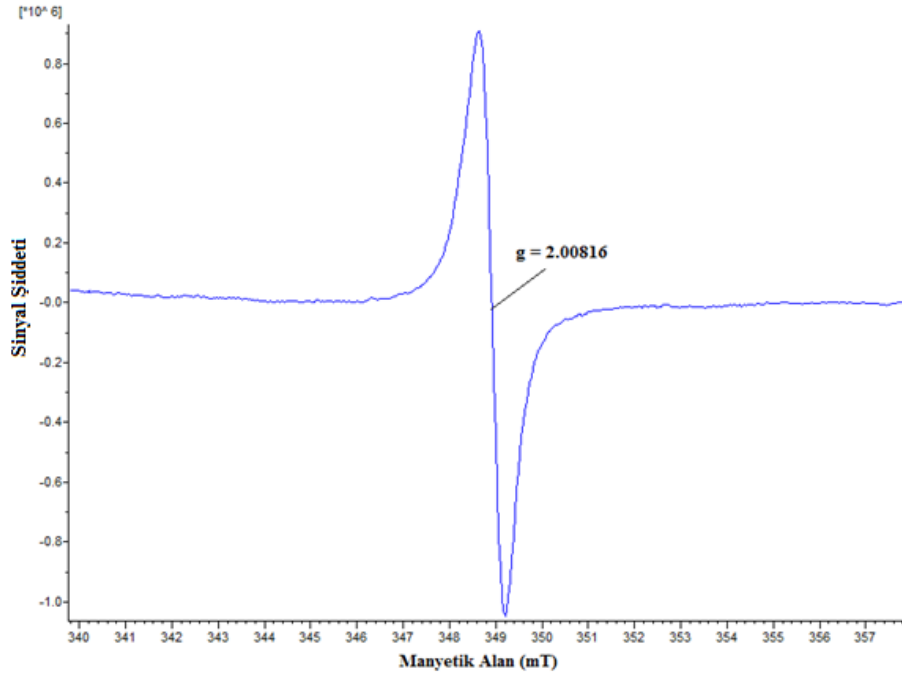


Şekil 4.47. 5 kGy dozunda ışınlanmış iğde örneklerinin merkezi sinyaline zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği

4.5. Kantaron

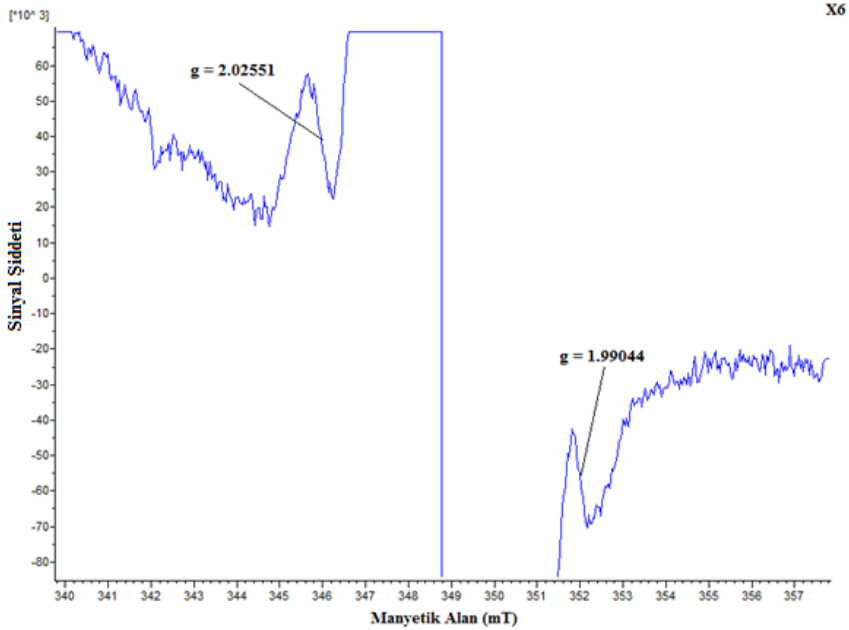
4.5.1. ESR Sinyalleri

Kantaronun ışınlanmamış örnekleri $g=2,00816$ değerinde tekli bir sinyal vermiştir (Şekil 4.48).



Şekil 4.48. Işınlanmamış kantaron örneklerine ait ESR spektrumu

Işınlanmış örneklerde merkezi sinyale ek olarak ise $g=2,02551$ değerinde sol uydu sinyali $g=1,99044$ sağ uydu sinyali gözlemlenmiştir (Şekil 4.49).

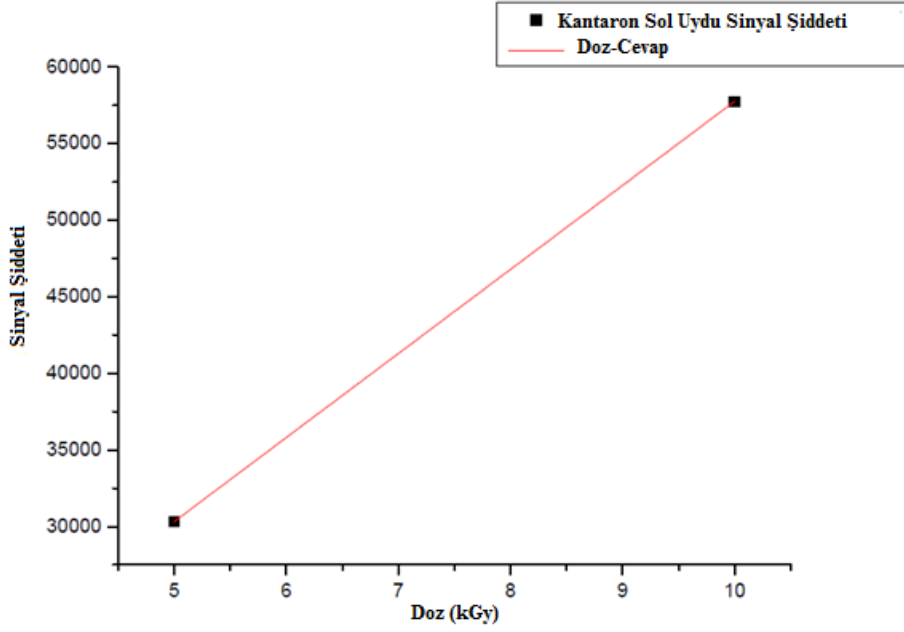


Şekil 4.49. 10 kGy dozunda ışınlanmış kantaron örneklerine ait ESR spektrumu (6 kez büyütülmüş)

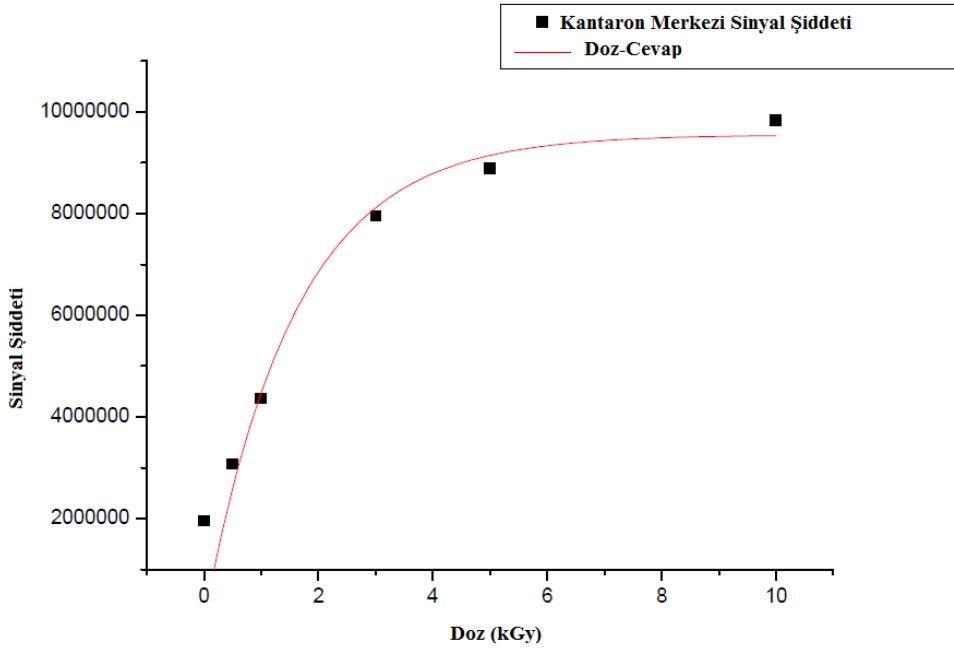
Uygulanan ışınlama dozuna göre, sinyal şiddetleri artmıştır, fakat g değerlerinde bir değişim olmamıştır. Işınlanmış kantaron örneklerinin 0,5, 1 ve 3 kGy dozunda sol uydur sinyali gözlemlenmemiştir.

4.5.2. Doz-Cevap Grafikleri

Sol uydur sinyaline ait doz cevap grafiği Şekil 4.50’de verilmiştir. Işınlanmış kantaron örneklerinin merkezi sinyaline ait grafik Şekil 4.51’de verilmiştir. Bu grafik $I=I_0*(1-\exp(-k*D))$ gibi üstel olarak doygunluğa erişen bir denklem ile fit edilmiştir. Kantarona ait grafiğe göre $I_0=9,5507.10^6$ ve $k=0,6314 \text{ kGy}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Bu grafiğin korelasyon sabiti $r^2=0,9018$ olarak bulunmuştur.



Şekil 4.50. Kantaron örneklerinin sol uydu sinyaline ait doz-cevap grafiği

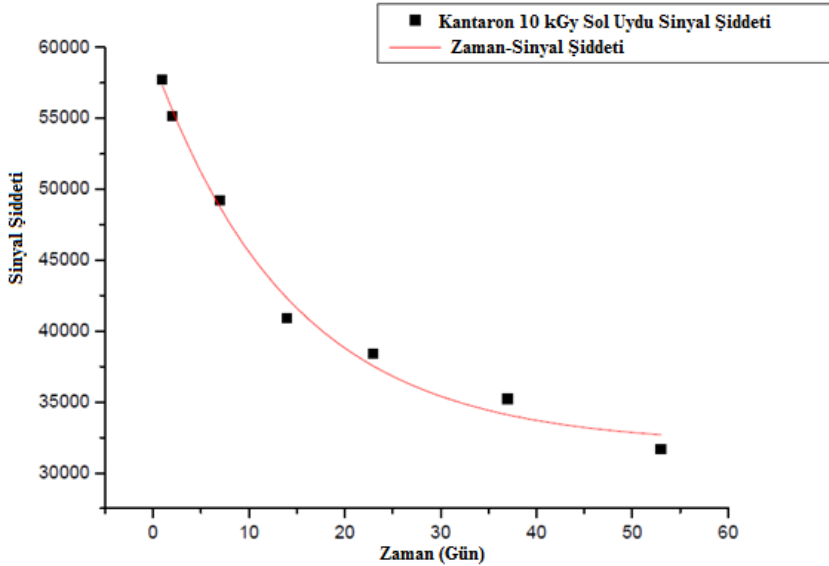


Şekil 4.51. Kantaron örneklerinin merkezi sinyaline ait doz-cevap grafiği

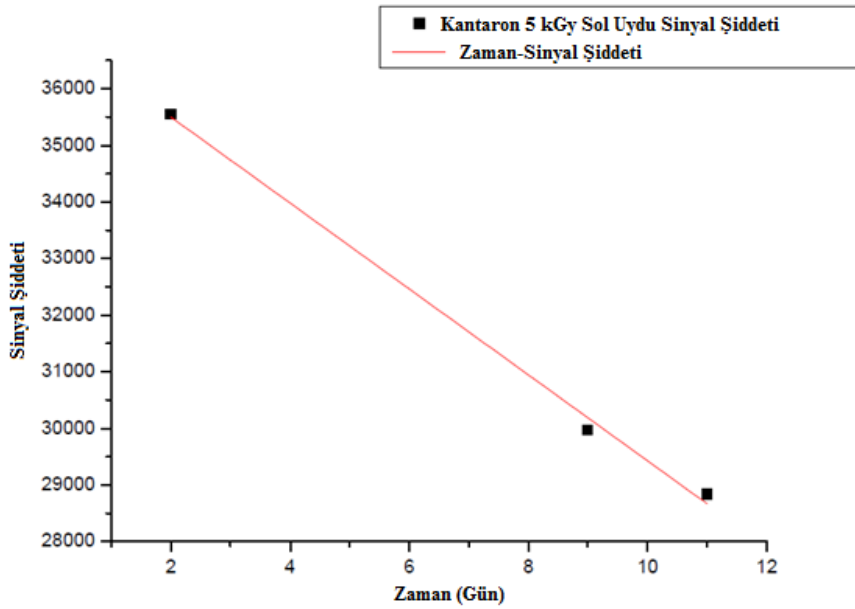
4.5.3. Zaman İncelemeleri

Kantaron örneklerinin ESR şiddetleri, 120 gün boyunca, değişik zaman aralıklarında ölçülmüştür. Örnekler bu zaman süresi boyunca oda sıcaklığında ve karanlık ortamda saklanmıştır. Zaman incelemesi için, 5 kGy ve 10 kGy dozunda ışınlanmış örnekler kullanılmıştır.

Kantaronun 10 kGy dozunda ışınlanmış örneklerinin uydu sinyalleri 53. günden sonra gözlemlenmemiştir. 5 kGy dozunda ışınlanmış örneklerin uydu sinyalleri ise 11. günden sonra gözlemlenmemiştir. 10 kGy dozuna ait örneklerin grafiği $I=I_0+A_1 \cdot \exp(-t \cdot j_1)$ gibi üstel olarak azalan bir fonksiyon ile fit edilmiştir (Şekil 4.52). Kantarona ait grafiğe göre $A_1=27124,523$ ve $j_1=0,0690$ gün⁻¹ olarak bulunmuştur. Bu grafiğin korelasyon sabiti $r^2=0,9862$ olarak bulunmuştur. 5 kGy dozuna ait örneklerin grafiği $I=I_0 \cdot j \cdot t$ şeklinde bir denklem ile fit edilmiştir (Şekil 4.53). k sabitinin değeri $j=1,3176 \cdot 10^{-3}$ gün⁻¹'dir. Bu grafiğin korelasyon sabiti $r^2=0,9941$ olarak bulunmuştur.

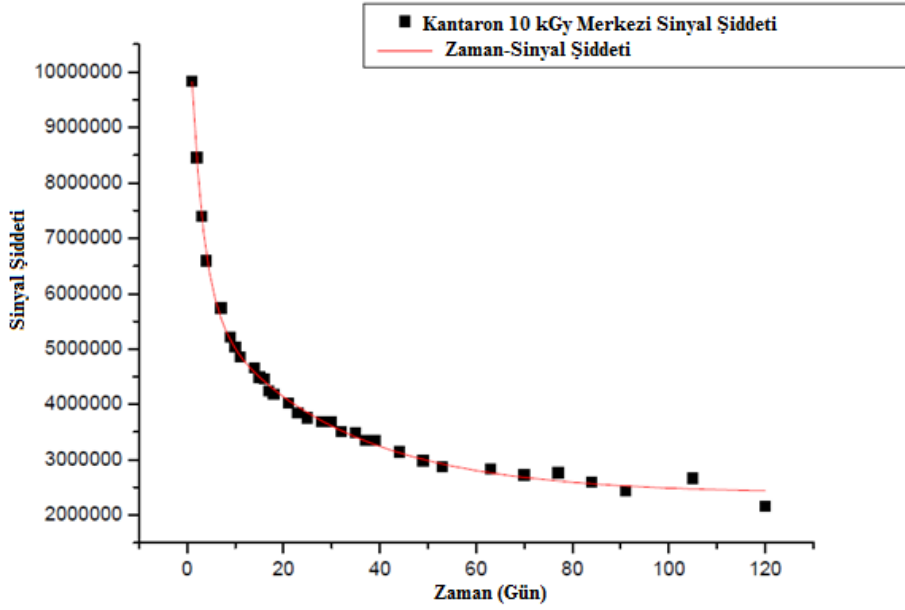


Şekil 4.52. 10 kGy dozunda ışınlanmış kantaron örneklerine ait zaman-sinyal yüksekliği grafiği

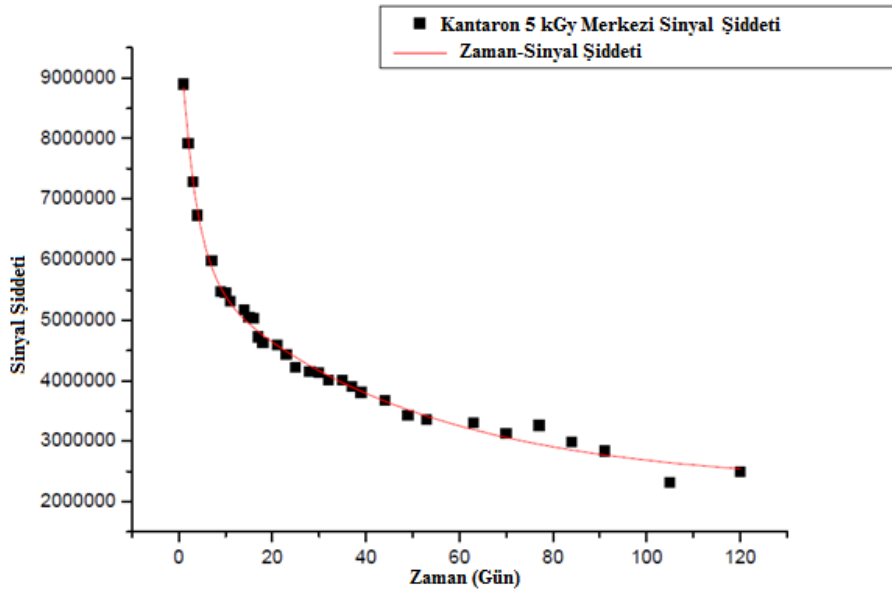


Şekil 4.53. 5 kGy dozunda ışınlanmış kantaron örneklerine ait zaman-sinyal yüksekliği grafiği

Işınlanmış kantaron örneklerinin merkezi sinyallerine ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafikleri 10 kGy dozunda ışınlanmış örnekleri için Şekil 4.54 ve 5 kGy dozunda ışınlanmış örnekleri için ise Şekil 4.55’de verilmiştir. Bu grafikler $I=I_0+A_1*\exp(-t*j_1)+A_2*\exp(-t*j_2)$ gibi üstel olarak azalan iki fonksiyonun toplamı şeklinde bir denklem ile fit edilmiştir. Kantaronun 10 kGy dozundaki örneğine ait grafiğe göre $A_1=3,569.10^6$, $A_2=5,874.10^6$, $j_1=0,0359 \text{ gün}^{-1}$ ve $j_2=0,3882 \text{ gün}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Kantaronun 5 kGy dozundaki örneğine ait grafiğe göre ise $A_1=4,064.10^6$, $A_2=3,647.10^6$, $j_1=0,3094 \text{ gün}^{-1}$ ve $j_2=0,0222 \text{ gün}^{-1}$ olarak bulunmuştur. 10 kGy dozunda ışınlanmış örneklere ait grafiğin korelasyon sabiti $r^2=0,9967$ ve 5 kGy dozunda ışınlanmış örneklere ait grafiğin korelasyon sabiti ise $r^2=0,9935$ olarak bulunmuştur.



Şekil 4.54. 10 kGy dozunda ışınlanmış kantaron örneklerinin merkezi sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği

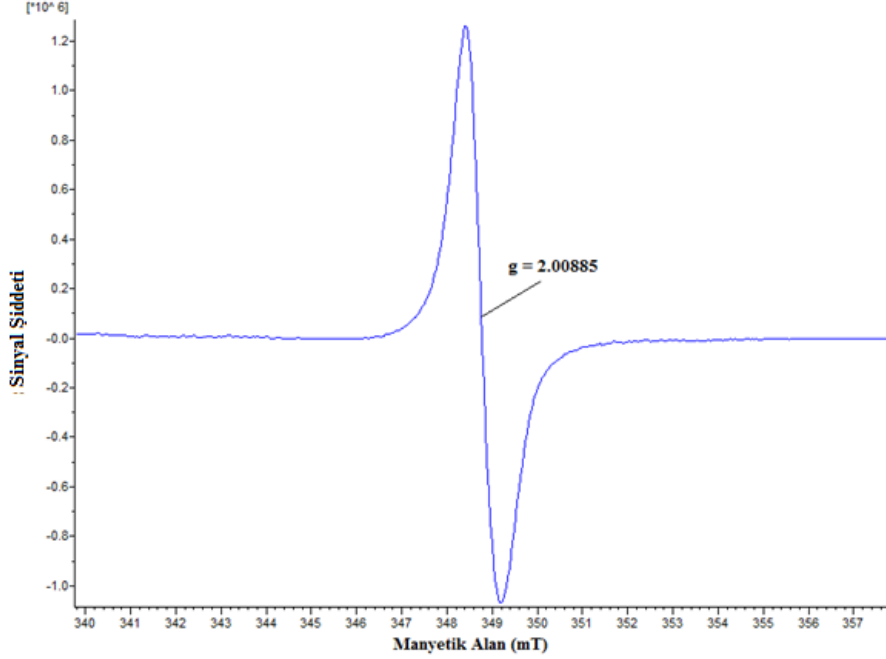


Şekil 4.55. 5 kGy dozunda ışınlanmış kantaron örneklerinin merkezi sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği

4.6. Melisa

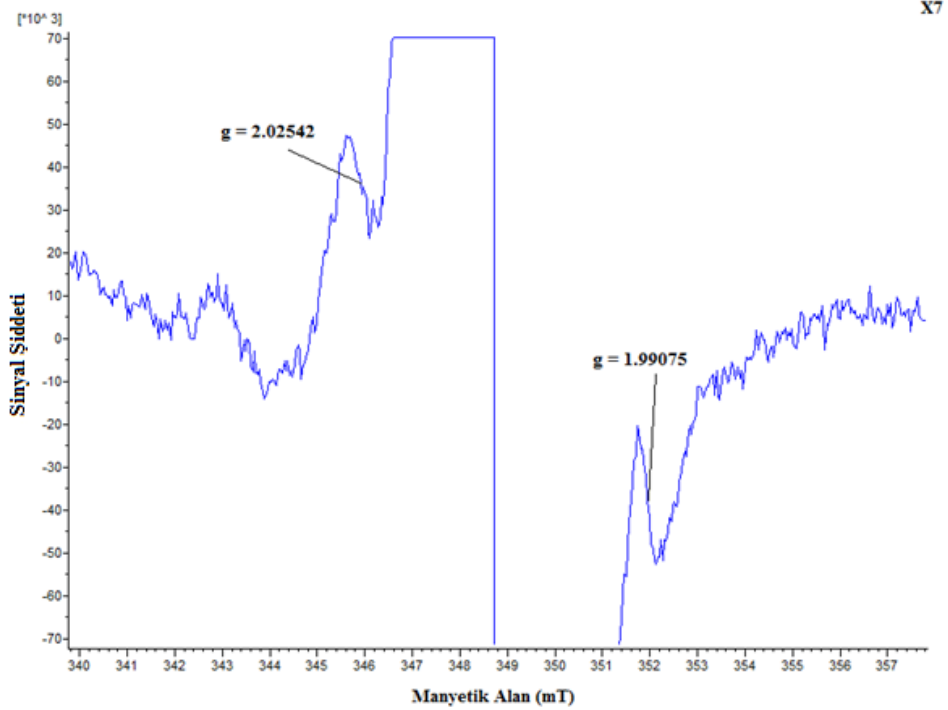
4.6.1. ESR Sinyalleri

Melisanın ışınlanmamış örnekleri $g=2,00885$ değerinde tekli bir sinyal vermiştir (Şekil 4.56).



Şekil 4.56. Işınlanmamış melisa örneklerine ait ESR spektrumu

Işınlanmış örneklerde merkezi sinyale ek olarak ise $g=2,02551$ değerinde sol uydu sinyali $g=1,99044$ sağ uydu sinyali gözlemlenmiştir (Şekil 4.57).

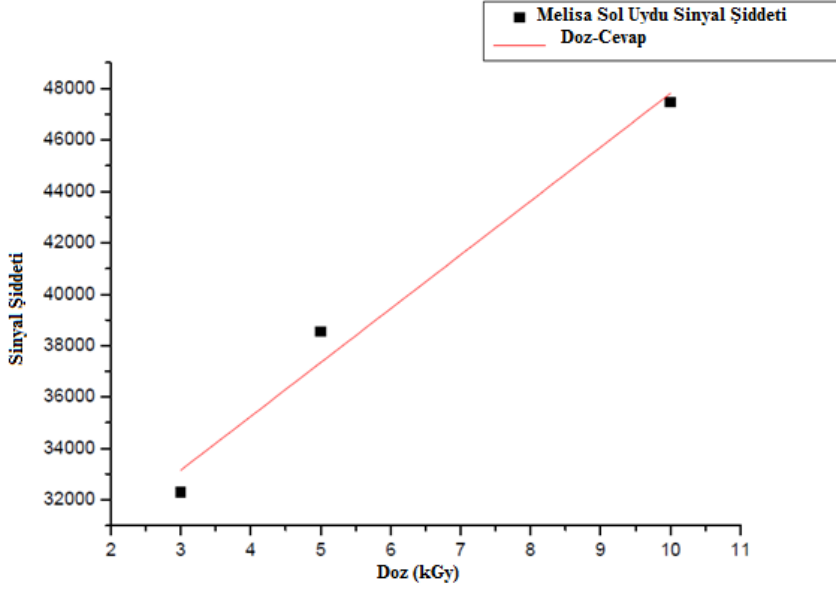


Şekil 4.57. 10 kGy dozunda ışınlanmış melisa örneklerine ait ESR spektrumu (7 kez büyütülmüş)

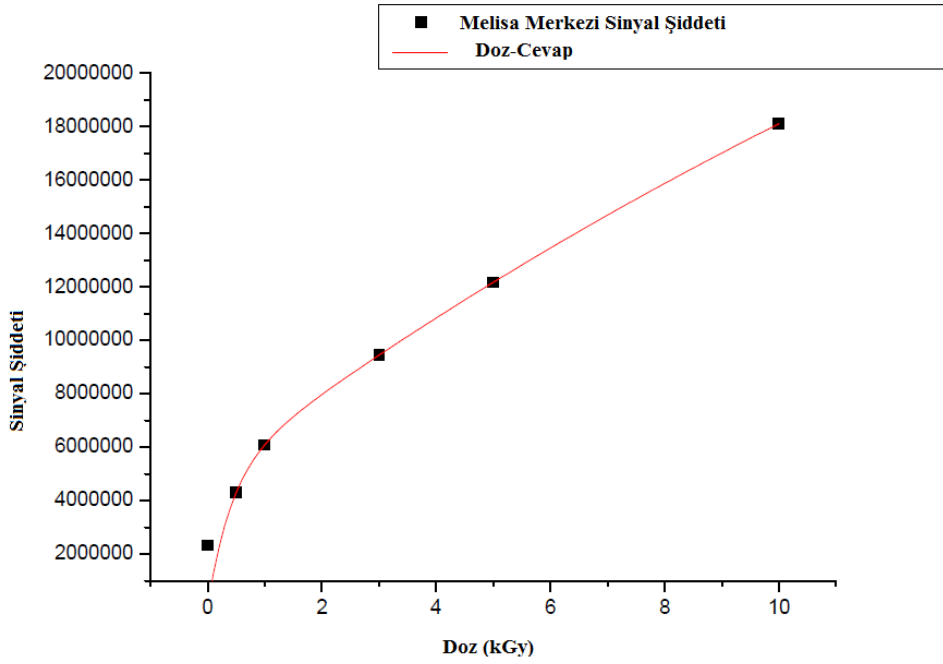
Uygulanan ışınlama dozuna göre, sinyal şiddetleri artmıştır, fakat g değerlerinde bir değişim olmamıştır. Işınlanmış melisa örnekleri 0,5 ve 1 kGy doz değerinde uydu sinyalleri göstermemiştir.

4.6.2. Doz-Cevap Grafikleri

Melisa örneklerinin doz-cevap grafiği Şekil 4.58.'de verilmiştir. Bu grafik $I=I_0+k*D$ şeklinde bir denklem ile fit edilmiştir. Bu grafiğe göre $k=2093,636 \text{ kGy}^{-1}$ olarak bulunmuş ve bu grafiğin korelasyon sabiti de $r^2=0,9608$ olarak bulunmuştur. Merkezi sinyallerine ait grafik Şekil 4.59.'de verilmiştir. Bu grafik $I=I_{01}*(1-\exp(-k_1*D))+ I_{02}*(1-\exp(-k_2*D))$ gibi üstel olarak doygunluğa erişen iki fonksiyonun toplamı şeklinde bir denklem ile fit edilmiştir. Melisa örneğine ait grafiğe göre $I_{01}=4,0309.10^7$, $I_{02}=4,9373.10^6$, $k_1=0,0395 \text{ kGy}^{-1}$ ve $k_2=2,4807 \text{ kGy}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Bu grafiğin korelasyon sabiti $r^2=0,9189$ olarak bulunmuştur.



Şekil 4.58. Melisa örneklerinin sol uydu sinyallerine ait doz-cevap grafiği

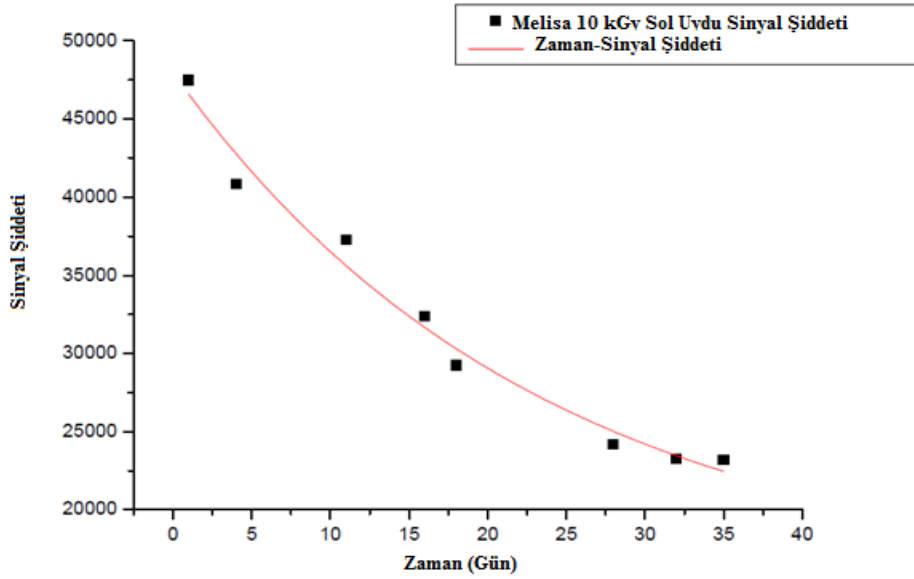


Şekil 4.59. Melisa örneklerinin merkezi sinyallerine ait doz-cevap grafiği

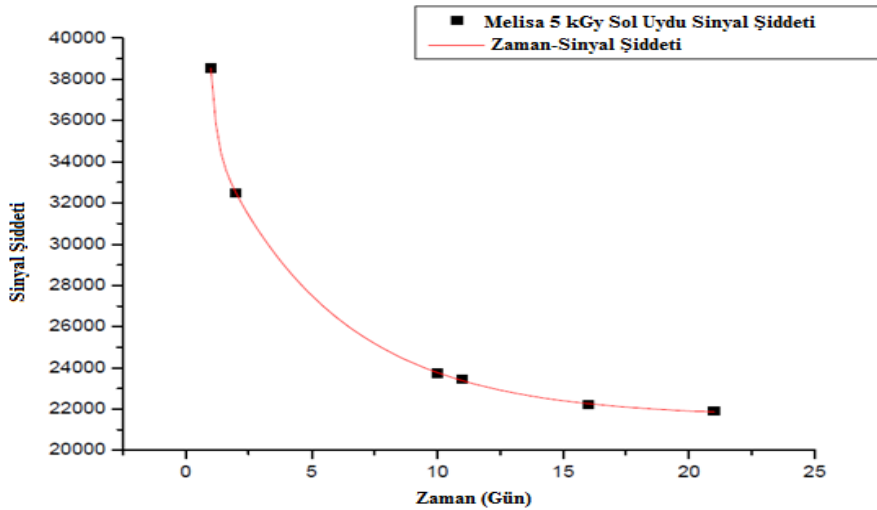
4.6.3. Zaman İncelemeleri

Melisa örneklerinin ESR şiddetleri, 120 gün boyunca, değişik zaman aralıklarında ölçülmüştür. Örnekler bu zaman süresi boyunca oda sıcaklığında ve karanlık ortamda saklanmıştır. Zaman incelemesi için, 5 kGy ve 10 kGy dozunda ışınlanmış örnekler kullanılmıştır.

Melisanın 10 kGy dozunda ışınlanmış örneklerinin uydu sinyalleri 35. günden sonra gözlemlenmemiştir. Melisanın 5 kGy dozunda ışınlanmış örneklerinin uydu sinyalleri ise 21. günden sonra gözlemlenmemiştir. Işınlanmış melisa örneklerinin zamana bağlı sinyal şiddeti grafikleri 10 kGy dozunda ışınlanmış örnekler için Şekil 4.60 ve 5kGy dozunda ışınlanmış örnekler için ise Şekil 4.61'de verilmiştir. Bu grafiklerden 10 kGy için olanı $I=I_0+A_1*\exp(-t*j_1)$ gibi üstel olarak azalan bir fonksiyon ile fit edilmiştir. ve 5 kGy için olanı ise $I=I_0+A_1*\exp(-t*j_1)+A_2*\exp(-t*j_2)$ gibi üstel olarak azalan iki fonksiyonun toplamı şeklinde bir denklem ile fit edilmiştir. Melisanın 10 kGy dozundaki örneğine ait grafiğe göre $A_1=32817,505$ ve $j_1=0,0429$ gün⁻¹ olarak bulunmuştur. Melisanın 5 kGy dozundaki örneğine ait grafiğe göre ise $A_1=337468,249$, $A_2=16207,869$, $j_1=4,5249$ gün⁻¹ ve $j_2=0,2023$ gün⁻¹ olarak bulunmuştur. 10 kGy dozunda ışınlanmış örneklere ait grafiğin korelasyon sabiti $r^2=0,9747$ ve 5 kGy dozunda ışınlanmış örneklere ait grafiğin korelasyon sabiti ise $r^2=0,9998$ olarak bulunmuştur.

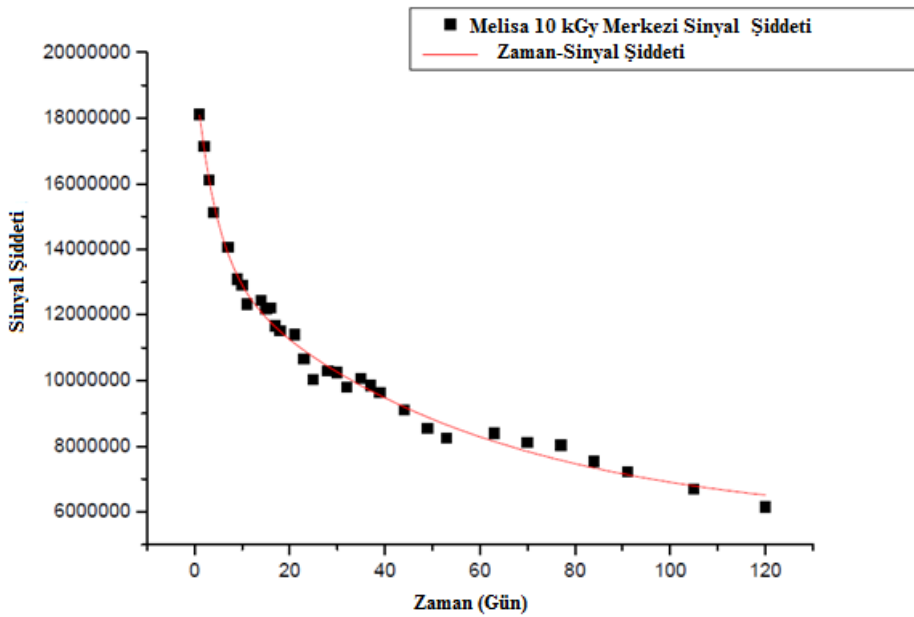


Şekil 4.60. 10 kGy dozunda ışınlanmış melisa örneklerinin sol uydu sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği

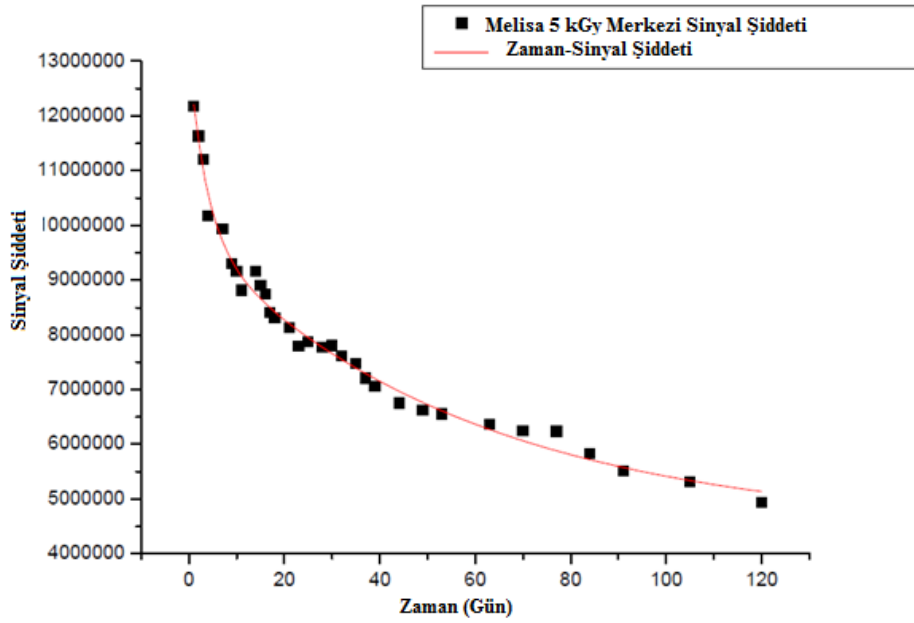


Şekil 4.61. 5 kGy dozunda ışınlanmış melisa örneklerinin sol uydu sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği

İşinlanmış melisa örneklerinin merkezi sinyallerine ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği 10 kGy dozunda işinlanmış örnekleri için Şekil 4.62 ve 5 kGy dozunda işinlanmış örnekleri için ise Şekil 4.63'de verilmiştir. 10 kGy ve 5 kGy dozunda işinlanan melisa örneklerinin merkezi sinyaline ait grafik $I=I_0+A_1*\exp(-t*j_1)+A_2*\exp(-t*j_2)$ gibi üstel olarak azalan iki fonksiyonun toplamı şeklinde bir denklem ile fit edilmiştir. Melisanın 10 kGy dozundaki örneğine ait grafiğe göre $A_1=8,032.10^6$, $A_2=5,716.10^6$, $j_1=0,0185$ gün⁻¹ ve $j_2=0,2265$ gün⁻¹ olarak bulunmuştur. Bu grafiğin korelasyon sabiti $r^2=0,9904$ olarak bulunmuştur. Melisanın 5 kGy dozundaki örneğine ait grafiğe göre ise $A_1=5,359.10^6$, $A_2=3,232.10^6$, $j_1=0,0172$ gün⁻¹ ve $j_2=0,2653$ gün⁻¹ olarak bulunmuştur. Bu grafiğin korelasyon sabiti $r^2=0,9879$ olarak bulunmuştur.



Şekil 4.62. 10 kGy dozunda işinlanmış melisa örneklerinin merkezi sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği



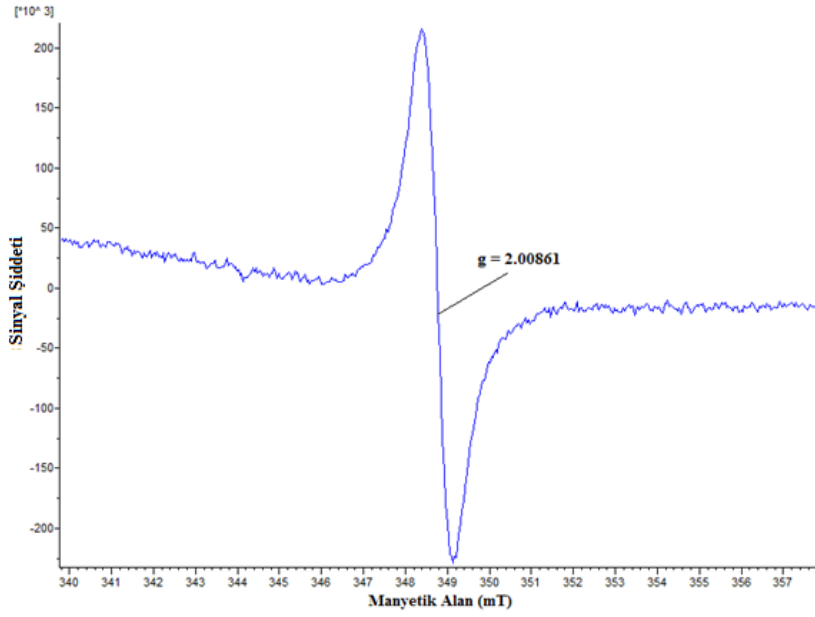
Şekil 4.63. 5 kGy dozunda ışınlanmış melisa örneklerinin merkezi sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği

4.7. Muşmula

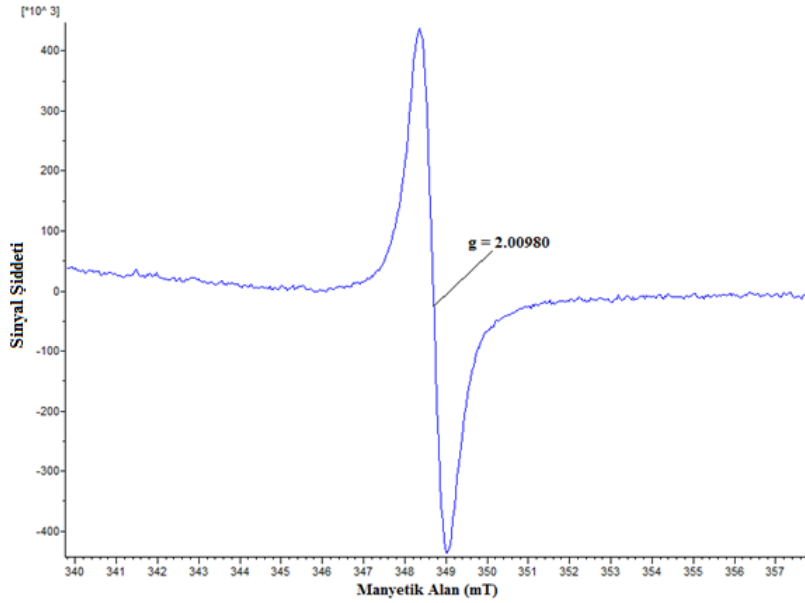
Muşmula örnekleri iç ve kabuk kısmı olarak iki farklı şekilde incelenmiştir.

4.7.1. ESR Sinyalleri

Muşmula örneklerinin ışınlanmamış iç ve kabuk kısımları $g=2,00861$ ve $g=2,00980$ değerlerinde tekli sinyal vermiştir (Şekil 4.64, Şekil 4.65).

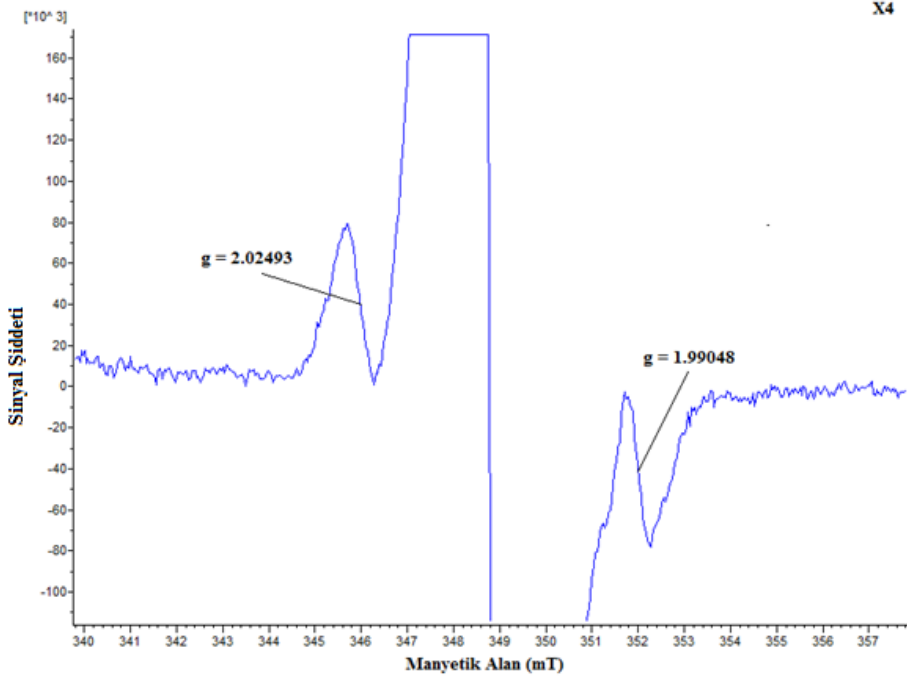


Şekil 4.64. Işınlanmamış muşmulanın iç kısmına ait ESR spektrumu

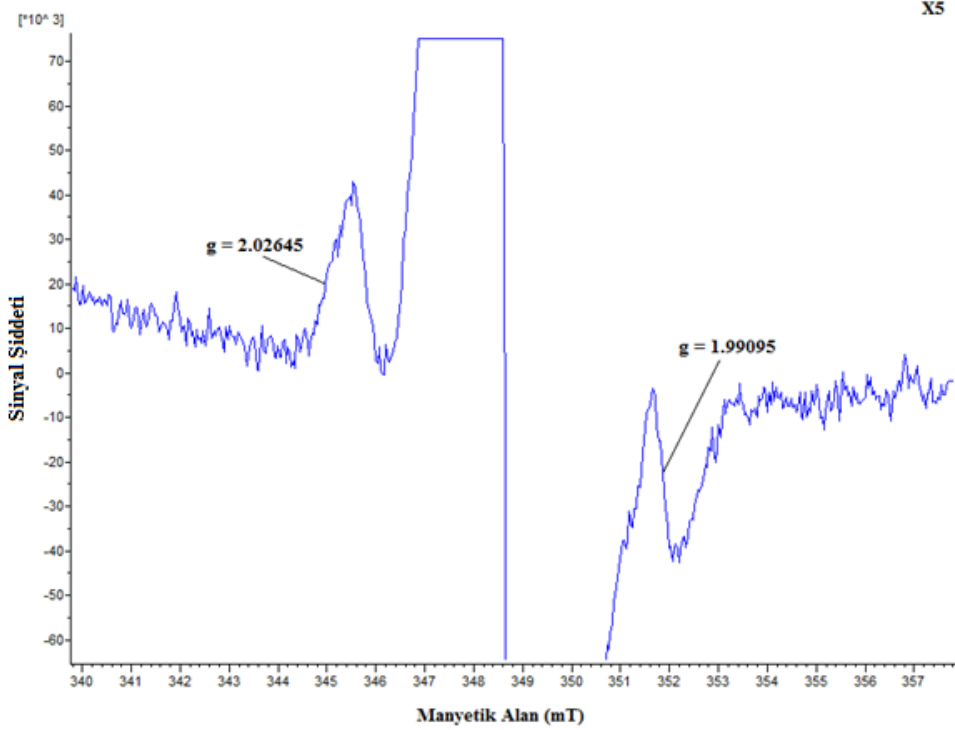


Şekil 4.65. Işınlanmamış muşmulanın kabuk kısmına ait ESR spektrumu

Muşmuların ışınlanmış iç ve kabuk kısımlarında merkezi sinyalin dışında uydu sinyalleri de gözlemlenmiştir. İç kısma ait uydu sinyallerinin g değerleri $g=2,02493$ sol uydu sinyali için ve sağ uydu sinyali için $g=1,99048$ olarak gözlemlenmiştir (Şekil 4.66). Kabuk kısmına ait uydu sinyallerinin g değerleri ise $g=2,02645$ sol uydu sinyali için ve $g=1,99095$ sağ uydu sinyali için gözlemlenmiştir (Şekil 4.67).



Şekil 4.66. 10 kGy dozunda ışınlanmış muşmula örneklerinin iç kısmına ait ESR spektrumu (4 kez büyütülmüş)

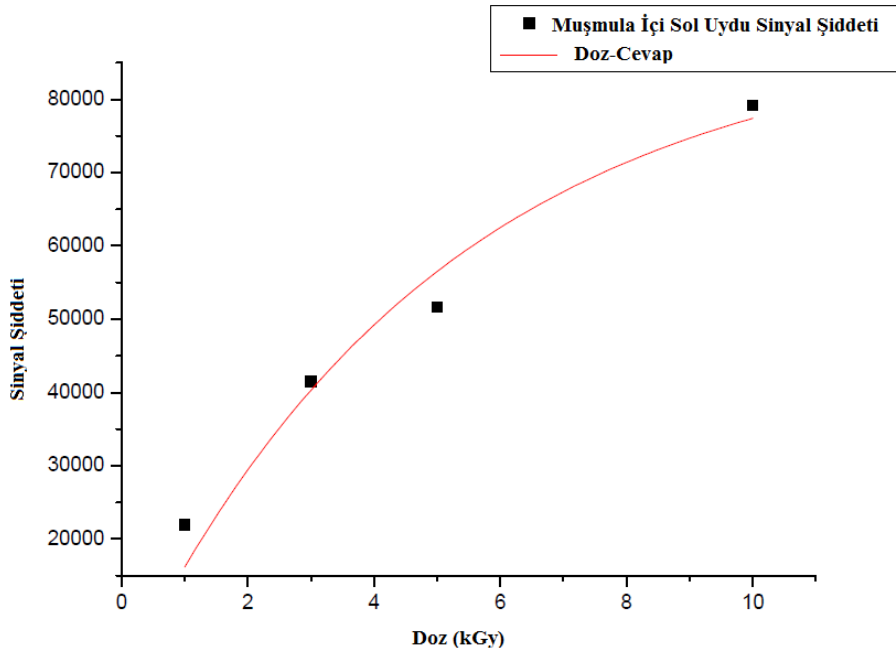


Şekil 4.67. 10 kGy dozunda ışınlanmış muşmula örneklerinin kabuk kısmına ait ESR spektrumu (5 kez büyütülmüş)

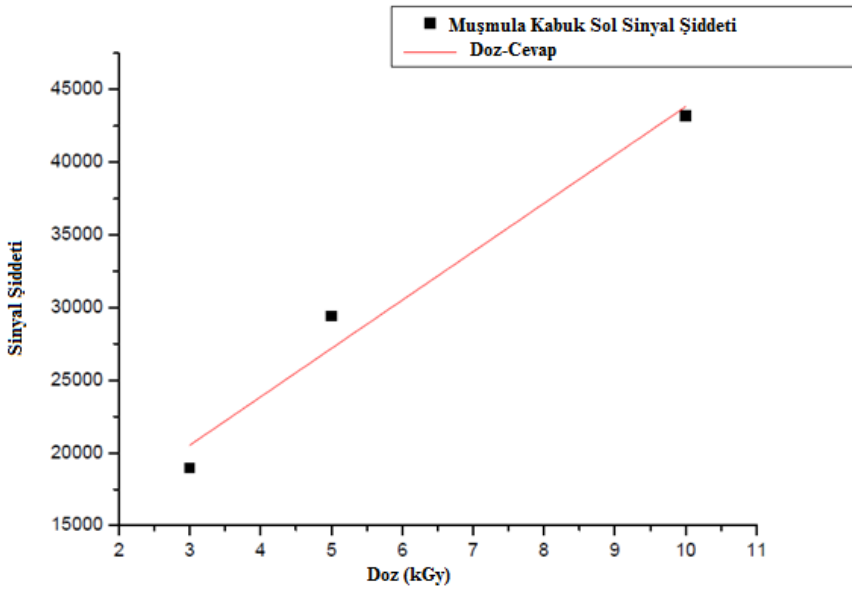
Uygulanan ışınlama dozuna göre, sinyal şiddetleri artmıştır, fakat g değerlerinde bir değişim olmamıştır. Işınlanmış muşmula içi örneklerinde 0,5 kGy dozunda uydu sinyali ve kabuk örneklerinde ise 0,5 ve 1 kGy dozunda sol uydu sinyali gözlemlenmemiştir.

4.7.2. Doz-Cevap Grafikleri

Muşmulanın iç kısmının sol uydu sinyaline ait grafik (Şekil 4.68) $I=I_0*(1-\exp(-k*D))$ gibi üstel olarak doyuma erişen bir denklem ile fit edilmiştir. Bu grafiğe göre $I_0=89631,2539$ ve $k=0,19919$ kGy⁻¹ olarak bulunmuştur. Kabuk kısmının sol uydu sinyaline ait grafik (Şekil 4.69) ise $I=I_0+k*D$ şeklinde bir denklem ile fit edilmiştir. k sabitinin değeri $k=3329,320$ kGy⁻¹ olarak bulunmuştur. İç kısmına ait grafiğin korelasyon sabiti $r^2=0,9459$ ve kabuk kısmına ait grafiğin korelasyon sabiti $r^2=0,9466$ olarak bulunmuştur.

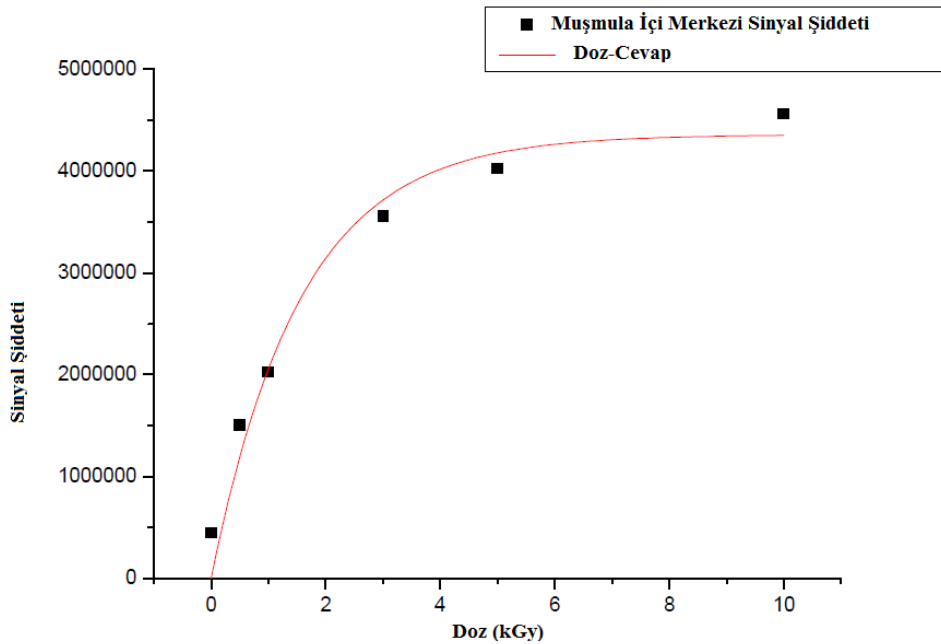


Şekil 4.68. Işınlanmış muşmula içinin sol uydu sinyaline ait doz-cevap grafiği

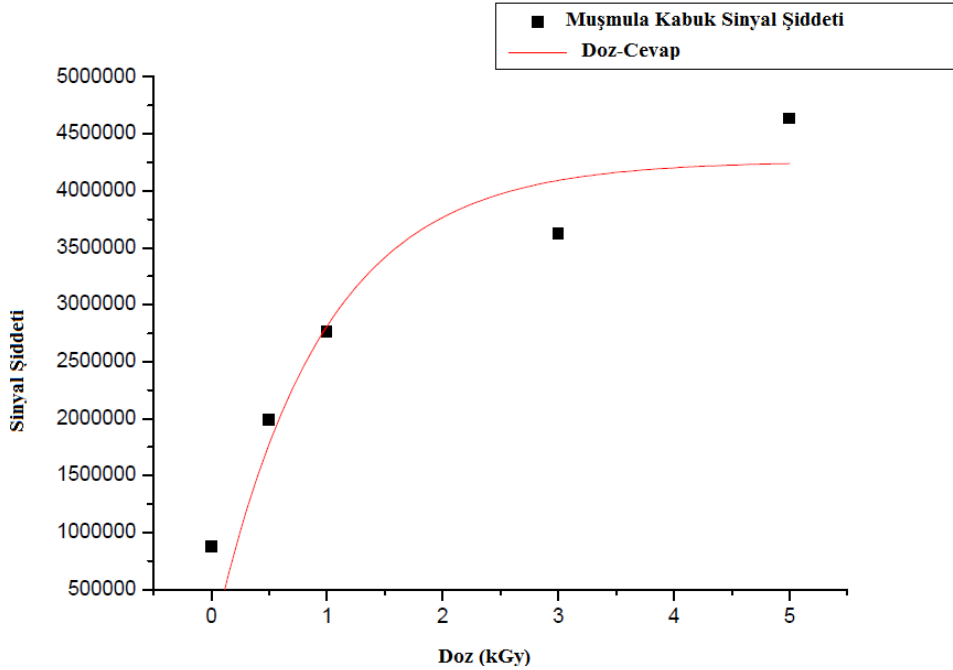


Şekil 4.69. Işınlanmış muşmula kabuğunun sol uydu sinyaline ait doz-cevap grafiği

Muşmulanın merkezi sinyaline ait doz-cevap eğrileri muşmula içinin merkezi sinyali için Őekil 4.70 ve muşmulanın kabuk kısmının merkezi sinyali için Őekil 4.71’de verilmiştir. Bu grafikler $I=I_0*(1-\exp(-k*D))$ gibi űstel olarak doyuma erişen bir denklem ile fit edilmiştir. Muřmula içine ait grafiğe gore $I_0=4,3573.10^6$ ve $k=0,6381$ kGy^{-1} olarak bulunmuştur. Muřmula kabuğuna ait grafiğe gore ise $I_0=4,2581.10^6$ ve $k=1,0789$ kGy^{-1} olarak bulunmuştur. Muşmulanın iç kısmının merkezi sinyaline ait grafiğin korelasyon sabiti $r^2=0,9620$ ve kabuk kısmının merkezi sinyaline ait grafiğinin korelasyon sabiti $r^2=0,8110$ olarak bulunmuştur.



Şekil 4.70. Işınlanmış muşmula içinin merkezi sinyaline ait doz-cevap grafiği



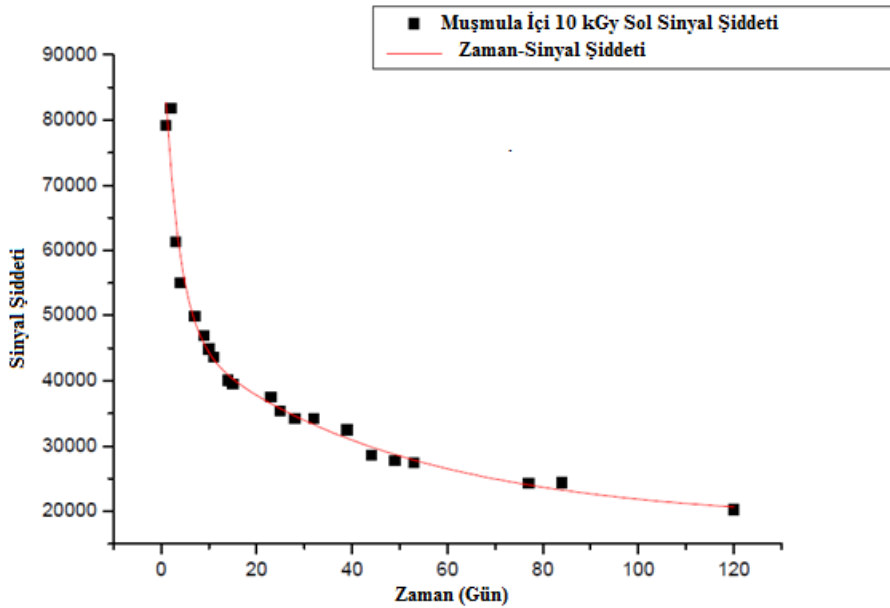
Şekil 4.71. Işınlanmış muşmula kabuğunun merkezi sinyaline ait doz-cevap grafiği

4.7.3. Zaman İncelemeleri

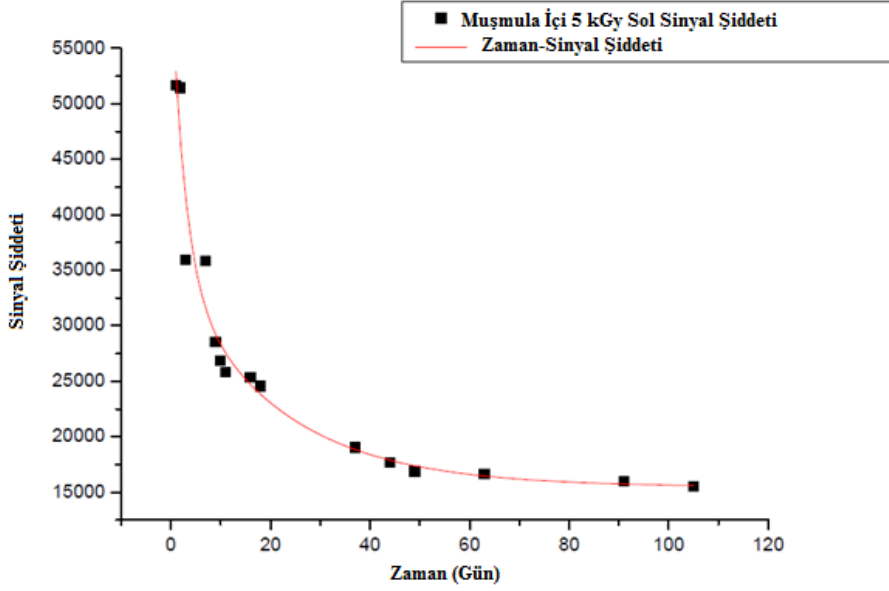
Muşmula örneklerinin ESR şiddetleri, 120 gün boyunca, değişik zaman aralıklarında ölçülmüştür. Örnekler bu zaman süresi boyunca oda sıcaklığında ve karanlık ortamda saklanmıştır. Zaman incelemesi için, 5 kGy ve 10 kGy dozunda ışınlanmış örnekler kullanılmıştır.

Muşmula içinin 10 kGy ve 5 kGy dozunda ışınlanmış örnekleri 120. günün sonunda uydu sinyalleri göstermiştir. Muşmula kabuğunun 10 kGy dozunda ışınlanmış örnekleri 105. günden sonra uydu sinyali göstermemiştir. 5 kGy dozunda ışınlanan muşmula kabukları ise 44. günden sonra uydu sinyalleri göstermemiştir. Bu örneklere ait zaman-sinyal yüksekliği grafikleri muşmula içinin 10 kGy dozunda ışınlanmış örnekleri için Şekil 4.72, 5 kGy dozunda ışınlanmış örnekleri için Şekil 4.73, muşmulanın kabuk kısmının 10 kGy dozunda ışınlanmış örnekleri için Şekil 4.74 ve 5 kGy dozunda ışınlanmış örnekleri için ise Şekil 4.75’de verilmiştir. Tüm örneklere ait grafikler $I=I_0+A_1*\exp(-t*j_1)+A_2*\exp(-t*j_2)$ gibi üstel olarak azalan iki fonksiyonun toplamı şeklinde bir denklem ile fit edilmiştir. Muşmula içinin 10 kGy dozundaki örneğine ait grafiğe göre $A_1=48525,179$, $A_2=29680,079$, $j_1=0,3206$ gün⁻¹

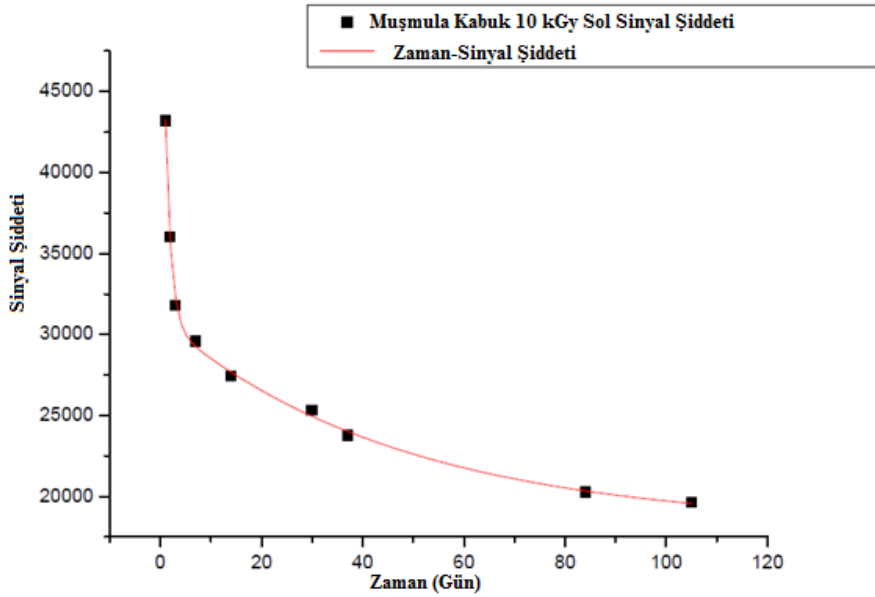
ve $j_2=0,0218 \text{ gün}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Muşmula içinin 5 kGy dozundaki örneğine ait grafiğe göre ise $A_1=27151,322$, $A_2=19573,744$, $j_1=0,3683 \text{ gün}^{-1}$ ve $j_2=0,0458 \text{ gün}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Muşmula kabuğunun 10 kGy dozundaki örneğine ait grafiğe göre $A_1=12769,689$, $A_2=30623,607$, $j_1=0,0212 \text{ gün}^{-1}$ ve $j_2=0,8889 \text{ gün}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Muşmula kabuğunun 5 kGy dozundaki örneğine ait grafiğe göre ise $A_1=1,386.10^6$, $A_2=15443,243$, $j_1=5,2910 \text{ gün}^{-1}$ ve $j_2=0,0163 \text{ gün}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Muşmulanın iç kısmına ait grafiklerin korelasyon sabiti 10 kGy sol uydu sinyali için $r^2=0,9683$, 5 kGy sol uydu sinyali için $r^2=0,9412$ ve kabuk kısmına ait grafiklerin korelasyon sabiti 10 kGy sol uydu sinyali için $r^2=0,9966$, 5 kGy sol uydu sinyali için $r^2=0,9953$ olarak bulunmuştur.



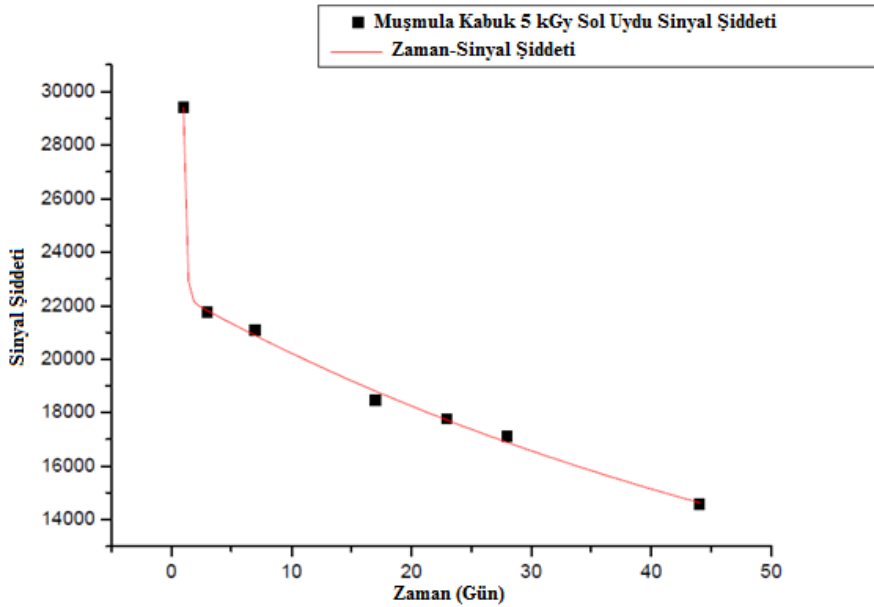
Şekil 4.72. 10 kGy dozunda ışınlanmış muşmula içinin sol uydu sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği



Şekil 4.73. 5 kGy dozunda ışınlanmış muşmula içinin sol uydu sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği

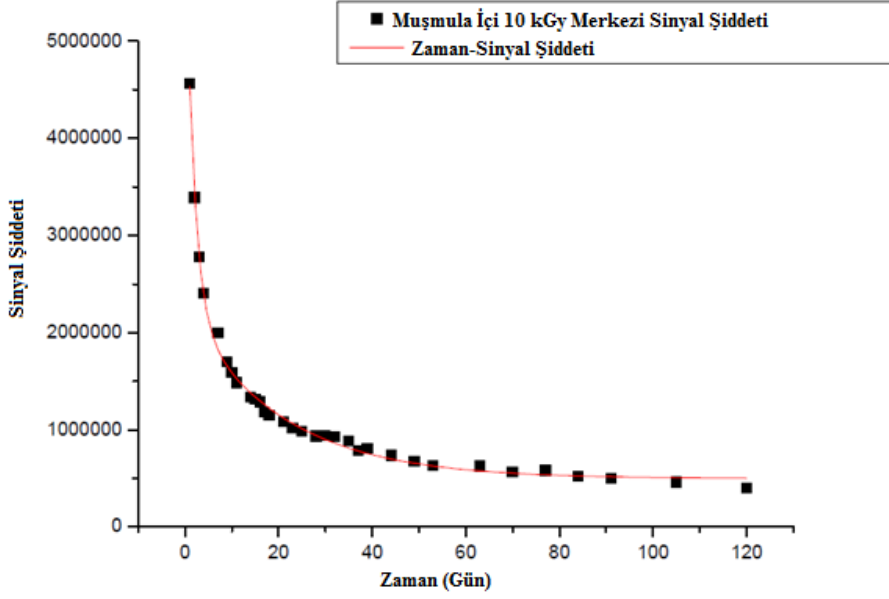


Şekil 4.74. 10 kGy dozunda ışınlanmış muşmula kabuğunun sol uydu sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği

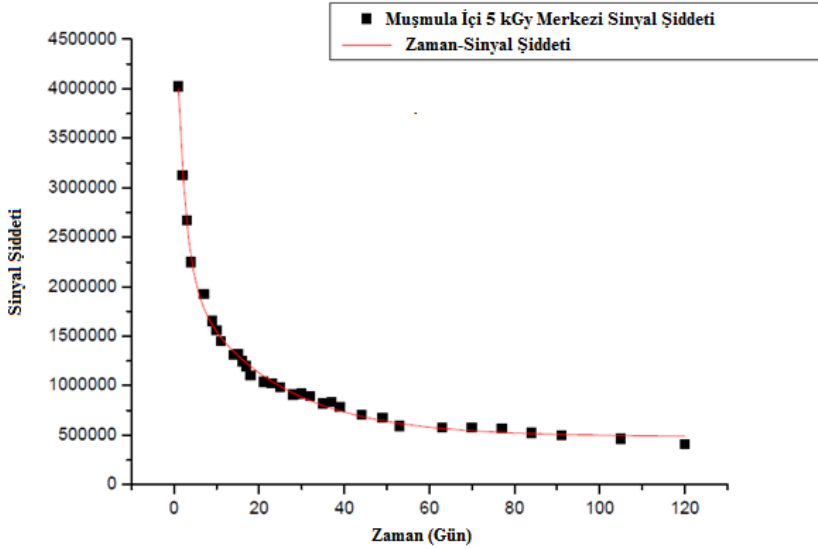


Şekil 4.75. 5 kGy dozunda ışınlanmış muşmula kabuğunun sol uydu sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği

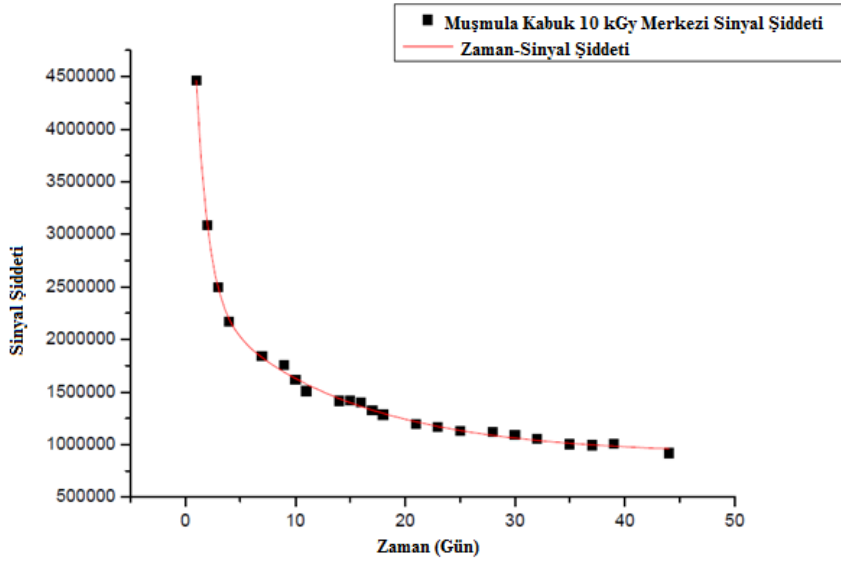
Muşmula örneklerinin merkezi sinyallerinin zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği muşmula içinin 10 kGy dozunda ışınlanmış örnekleri için Şekil 4.76, 5 kGy dozunda ışınlanmış örnekleri için Şekil 4.77, muşmula kabuğunun 10 kGy dozunda ışınlanmış örnekleri için Şekil 4.78 ve 5 kGy dozunda ışınlanmış örnekleri için ise Şekil 4.79'da verilmiştir. Tüm örneklere ait grafikler $I=I_0+A_1 \cdot \exp(-t \cdot j_1)+A_2 \cdot \exp(-t \cdot j_2)$ gibi üstel olarak azalan iki fonksiyonun toplamı şeklinde bir denklem ile fit edilmiştir. Muşmula içinin 10 kGy dozundaki örneğine ait grafiğe göre $A_1=4,104.10^6$, $A_2=1,753.10^6$, $j_1=0,5509 \text{ gün}^{-1}$ ve $j_2=0,0491 \text{ gün}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Muşmula içinin 5 kGy dozundaki örneğine ait grafiğe göre ise $A_1=1,67173.10^6$, $A_2=3,15356.10^6$, $j_1=0,0477 \text{ gün}^{-1}$ ve $j_2=2,015 \text{ gün}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Muşmula kabuğunun 10 kGy dozundaki örneğine ait grafiğe göre $A_1=5,048.10^6$, $A_2=1,459.10^6$, $j_1=0,7496 \text{ gün}^{-1}$ ve $j_2=0,0431 \text{ gün}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Muşmula kabuğunun 5 kGy dozundaki örneğine ait grafiğe göre ise $A_1=4,643.10^6$, $A_2=1,559.10^6$, $j_1=0,6720 \text{ gün}^{-1}$ ve $j_2=0,0354 \text{ gün}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Muşmulanın iç kısmına ait grafikleri korelasyon sabiti 10 kGy merkezi sinyali için $r^2=0,9961$ 5 kGy merkezi sinyali için $r^2=0,9964$ ve kabuk kısmına ait grafiklerin korelasyon sabiti 10 kGy merkezi sinyali için $r^2=0,9985$, 5 kGy merkezi sinyali için $r^2=0,9971$ olarak bulunmuştur.



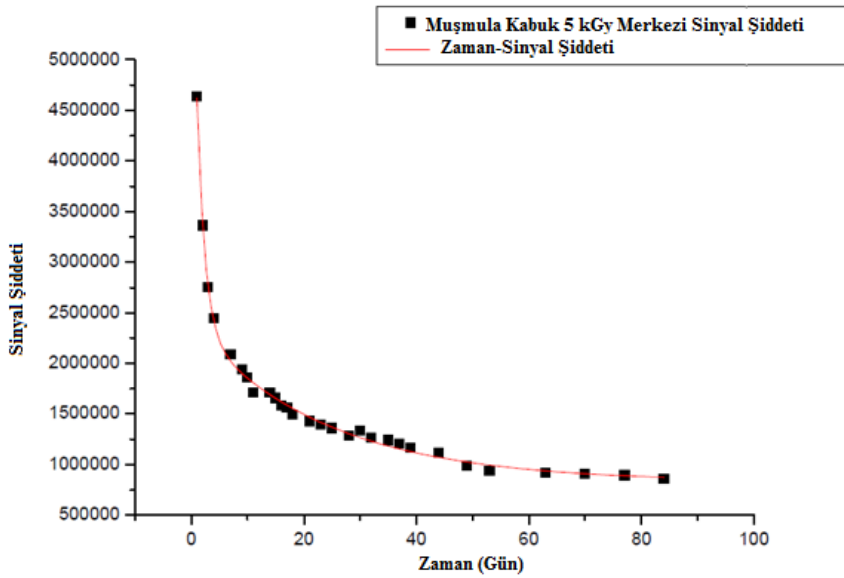
Şekil 4.76. 10 kGy dozunda ışınlanmış muşmula içinin merkezi sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği



Şekil 4.77. 5 kGy dozunda ışınlanmış muşmula içinin merkezi sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği



Şekil 4.78. 10 kGy dozunda ışınlanmış muşmula kabuğunun merkezi sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği

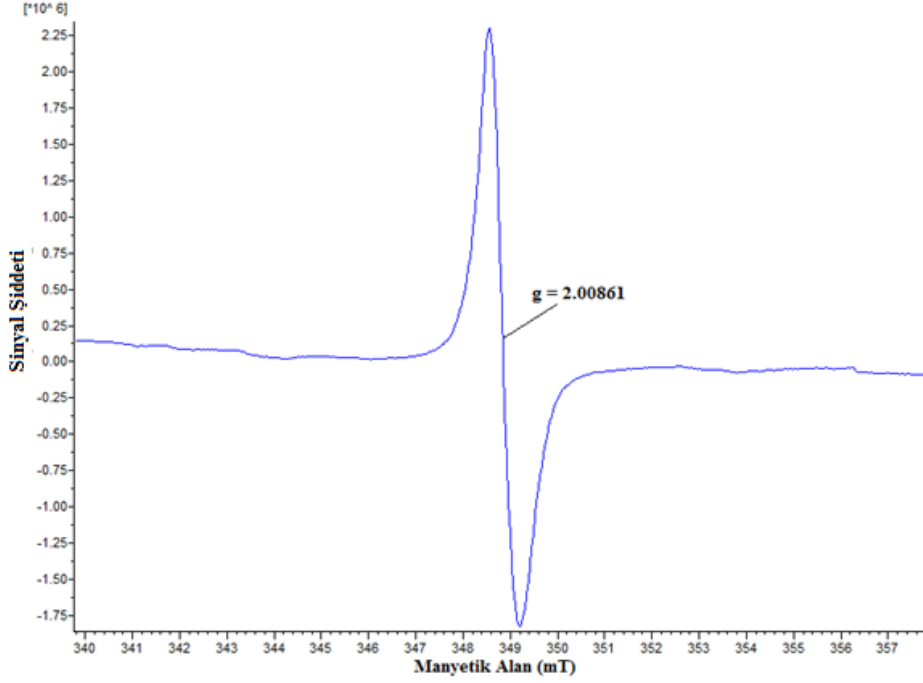


Şekil 4.79. 5 kGy dozunda ışınlanmış muşmula kabuğunun merkezi sinyaline zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği

4.8. Nane

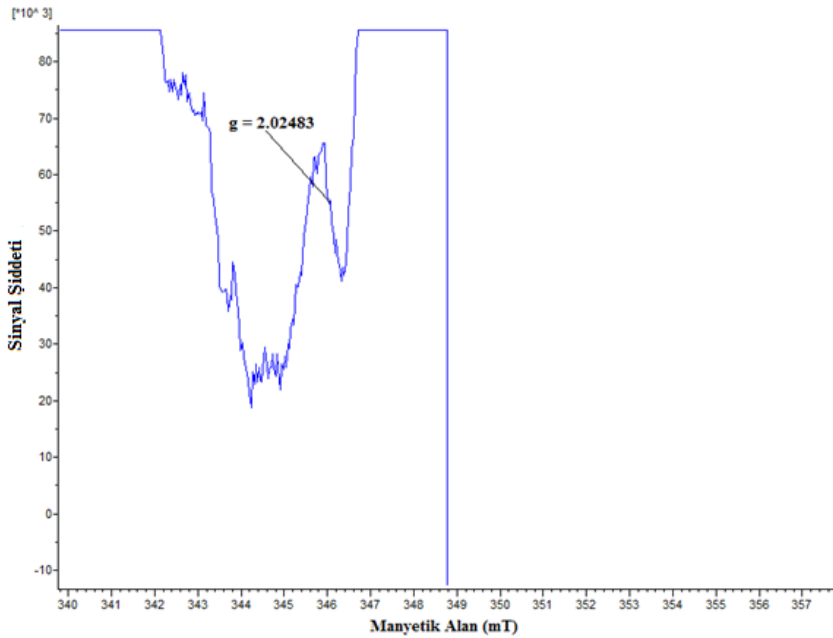
4.8.1. ESR Sinyalleri

Nanenin ışınlanmamış örnekleri $g=2,00861$ değerinde tekli bir sinyal vermiştir (Şekil 4.80).



Şekil 4.80. Işınlanmamış nane örneklerine ait ESR spektrumu

Nanenin ışınlanmış örnekleri merkezi sinyale ek uydu sinyalleri de göstermiştir. Sol uydu sinyali $g=2.02483$ ve sağ uydu sinyali $g=1.99039$ değerindedir. Sağ uydu sinyali şekilde gösterilememektedir (Şekil 4.81).

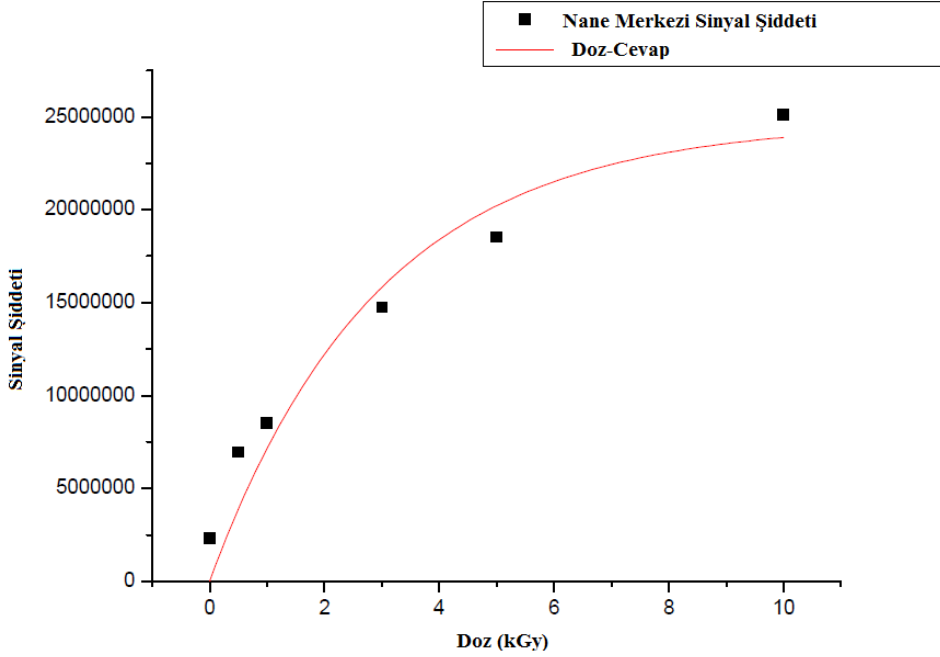


Şekil 4.81. 10 kGy dozunda ışınlanmış nane örneğinin ESR spektrumu (8 kez büyütülmüş)

Uygulanan ışınlama dozuna göre, sinyal şiddetleri artmıştır, fakat g değerlerinde bir değişim olmamıştır.

4.8.2. Doz-Cevap Grafikleri

Nane örneğindeki uydu sinyallerinin yetersizliği sebebiyle nane örneklerinin sol uydu sinyaline ait doz-cevap eğrisi çizilememektedir. Merkezi sinyallerine ait grafik Şekil 4.82’de verilmiştir. Bu grafik $I=I_0*(1-\exp(-k*D))$ gibi üstel olarak doygunluğa erişen bir denklem ile fit edilmiştir. Nane örneğine ait grafiğe göre $I_0=2,47169.10^7$ ve $k=0,3407 \text{ kGy}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Bu grafiğin korelasyon sabiti $r^2=0,9209$ olarak bulunmuştur.



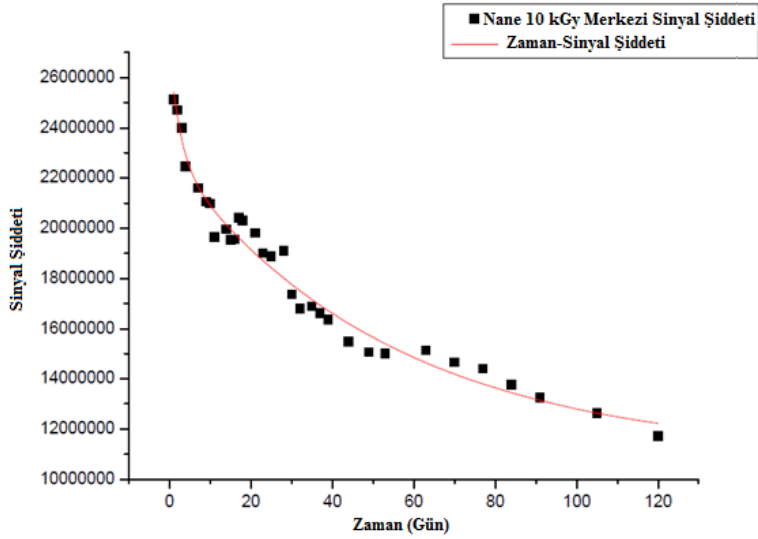
Şekil 4.82. Nane örneğinin merkezi sinyaline ait doz-cevap grafiği

4.8.3. Zaman İncelemeleri

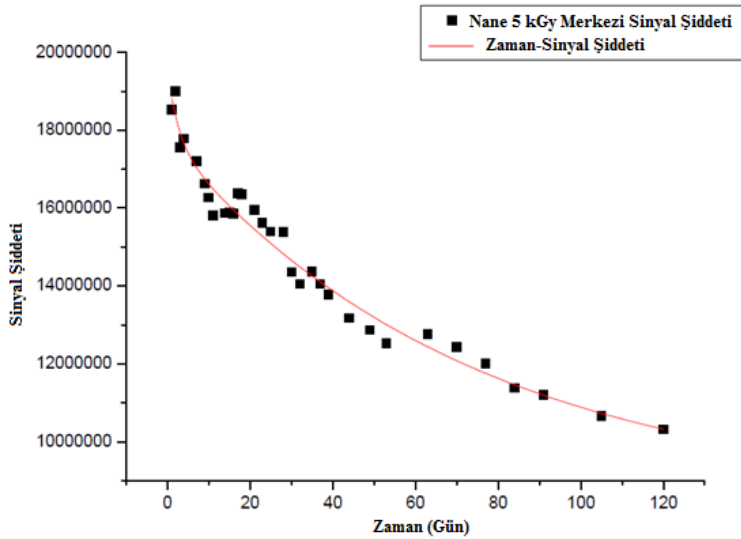
Nane örneklerinin ESR şiddetleri, 120 gün boyunca, değişik zaman aralıklarında ölçülmüştür. Örnekler bu zaman süresi boyunca oda sıcaklığında ve karanlık ortamda saklanmıştır. Zaman incelemesi için, 5 kGy ve 10 kGy dozunda ışınlanmış örnekler kullanılmıştır.

5 kGy dozunda ışınlanan nane örneği uydu sinyalleri göstermemiştir. 10 kGy dozunda ışınlanan nane örnekleri ise 10. günün sonunda uydu sinyalleri göstermemiştir. 10 gün içinde alınan değerlerle zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği çizilememiştir. Nane örneklerinin merkezi sinyallerinin zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği 10 kGy dozunda ışınlanmış örneklerin sinyali için Şekil 4.83 ve 5 kGy dozunda ışınlanmış örneklerin sinyal için Şekil 4.84'de verilmiştir. Tüm örnekler için $I=I_0+A_1 \cdot \exp(-t \cdot j_1)+A_2 \cdot \exp(-t \cdot j_2)$ gibi üstel olarak azalan iki fonksiyonun toplamı şeklinde bir denklem ile fit edilmiştir. Nananın 10 kGy dozundaki örneğine ait grafiğe göre $A_1=4,125 \cdot 10^6$, $A_2=1,189 \cdot 10^7$, $j_1=0,3755 \text{ gün}^{-1}$ ve $j_2=0,0184 \text{ gün}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Nananın 5 kGy dozundaki örneğine ait grafiğe göre ise $A_1=9,240 \cdot 10^6$, $A_2=1,741 \cdot 10^6$, $j_1=0,0136 \text{ gün}^{-1}$ ve $j_2=0,3768 \text{ gün}^{-1}$ olarak

bulunmuştur. Naneeye ait grafiklerin korelasyon sabiti 10 kGy merkezi sinyali için $r^2=0,9737$ ve 5 kGy merkezi sinyali için $r^2=0,9718$ olarak bulunmuştur.



Şekil 4.83. 10 kGy dozunda ışınlanmış nane örneğinin zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği

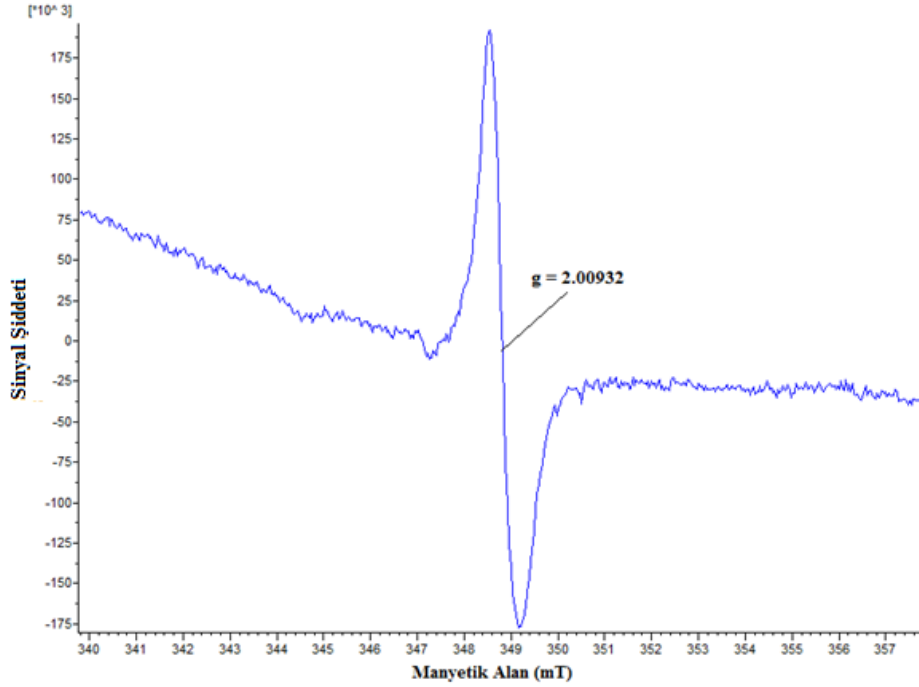


Şekil 4.84. 5 kGy dozunda ışınlanmış nane örneğinin zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği

4.9. Papatya

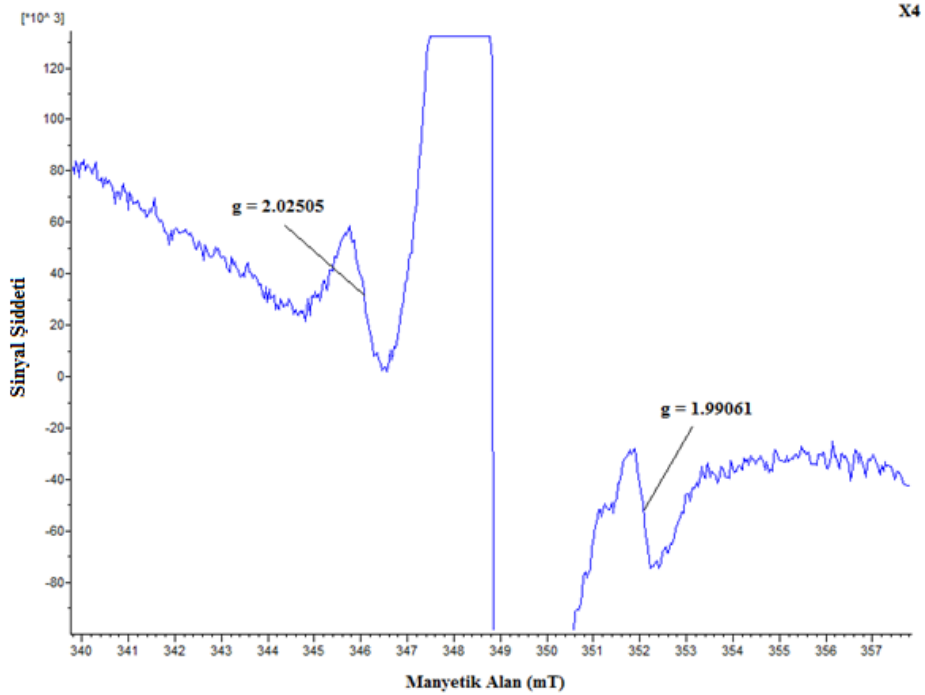
4.9.1. ESR Sinyalleri

Papatyanın ışınlanmamış örnekleri $g=2,00861$ değerinde tekli bir sinyal vermiştir (Şekil 4.85).



Şekil 4.85. Işınlanmamış papatya örneğinin ESR spektrumu

Işınlanmış örneklerde merkezi sinyale ek olarak ise $g=2,02505$ değerinde sol uydu sinyali $g=1,99061$ sağ uydu sinyali gözlemlenmiştir (Şekil 4.86).

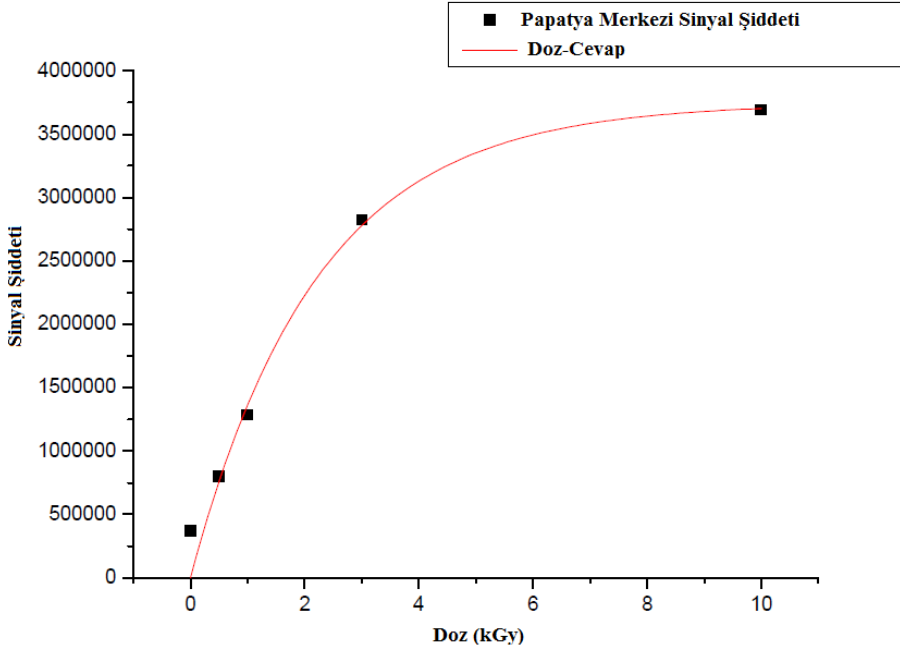


Şekil 4.86. 10 kGy dozunda ışınlanmış papatya örneğinin ESR spektrumu (4 kez büyütülmüş)

Uygulanan ışınlama dozuna göre, sinyal şiddetleri artmıştır, fakat g değerlerinde bir değişim olmamıştır. Papatyanın 0,5 kGy dozunda ışınlanmış örneğinde uydu sinyalleri gözlemlenmemiştir.

4.9.2. Doz-Cevap Grafikleri

Papatya örneğindeki uydu sinyallerinin yetersizliği sebebiyle papatya örneklerinin sol uydu sinyaline ait doz-cevap eğrisi çizilememektedir. Merkezi sinyallerine ait grafik Şekil 4.87'de verilmiştir. Bu grafik $I=I_0*(1-\exp(-k*D))$ gibi üstel olarak doygunluğa erişen bir denklem ile fit edilmiştir. Papatya örneğine ait grafiğe göre $I_0=3,7439.10^6$ ve $k=0,4517 \text{ kGy}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Bu grafiğin korelasyon sabiti $r^2=0,9753$ olarak bulunmuştur.



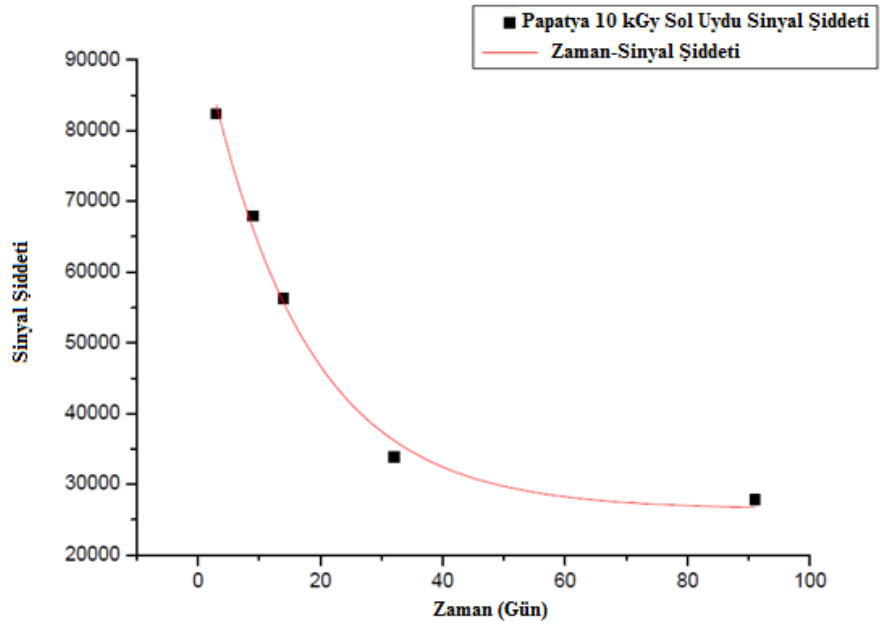
Şekil 4.87. Papatyanın merkezi sinyaline ait doz-cevap grafiği

4.9.3. Zaman İncelemeleri

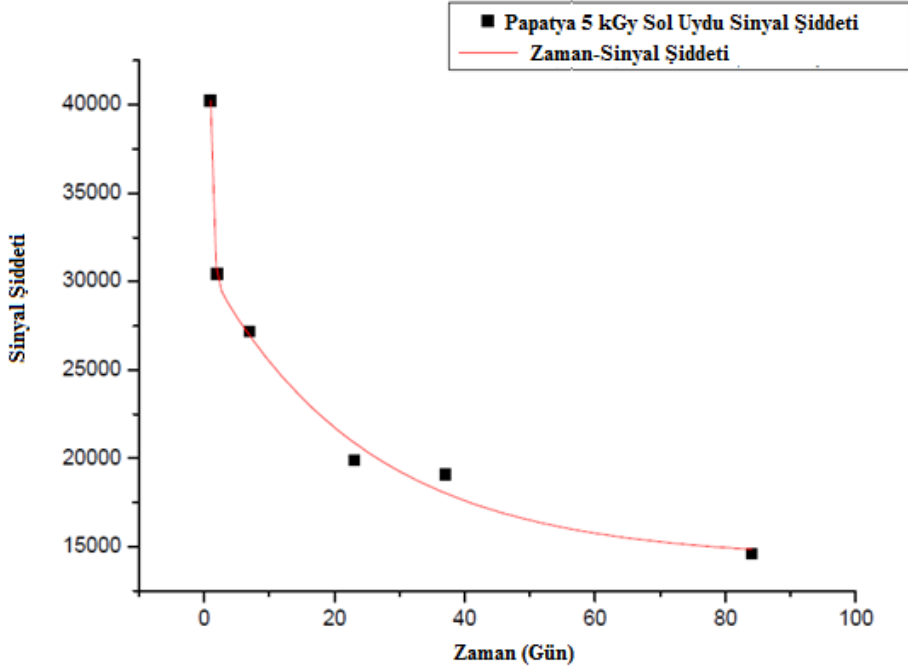
Papatya örneklerinin ESR şiddetleri, 120 gün boyunca, değişik zaman aralıklarında ölçülmüştür. Örnekler bu zaman süresi boyunca oda sıcaklığında ve karanlık ortamda saklanmıştır. Zaman incelemesi için, 5 kGy ve 10 kGy dozunda ışınlanmış örnekler kullanılmıştır.

Papatyanın 10 kGy dozunda ışınlanmış örneklerinde uydu sinyalleri 91. güne kadar gözlemlenebilir. 5 kGy dozunda ışınlanmış örneklerinde ise 84. güne kadar uydu sinyalleri gözlemlenebilir. Papatya örneklerinin uydu sinyallerine ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafikleri 10 kGy dozunda ışınlanmış örnekler için Şekil 4.88 ve 5 kGy dozunda ışınlanmış örnekler için ise Şekil 4.89'da verilmiştir. Papatyanın 5 kGy dozunda ışınlanmış örneğine ait grafik $I=I_0+A_1*\exp(-t*j_1)+A_2*\exp(-t*j_2)$ gibi üstel olarak azalan iki fonksiyonun toplamı şeklinde bir denklem ile fit edilmiştir. Papatyanın 5 kGy dozundaki örneğine ait grafiğe göre $A_1=16794,723$, $A_2=148483,815$, $j_1=0,0407$ gün⁻¹ ve $j_2=2,7174$ gün⁻¹ olarak bulunmuştur. Bu grafiğin korelasyon sabiti $r^2=0,9741$ olarak bulunmuştur. Papatyanın 10 kGy dozunda ışınlanmış örneğine ait grafik $I=I_0+A_1*\exp(-t*j_1)$ şeklinde bir denklem ile fit

edilmiştir. Papatya örneğine ait grafiğe göre $A_1=68572,592$ ve $j_1=0,0610$ gün⁻¹ olarak bulunmuştur. Bu grafiğin korelasyon sabiti $r^2=0,9885$ olarak bulunmuştur.

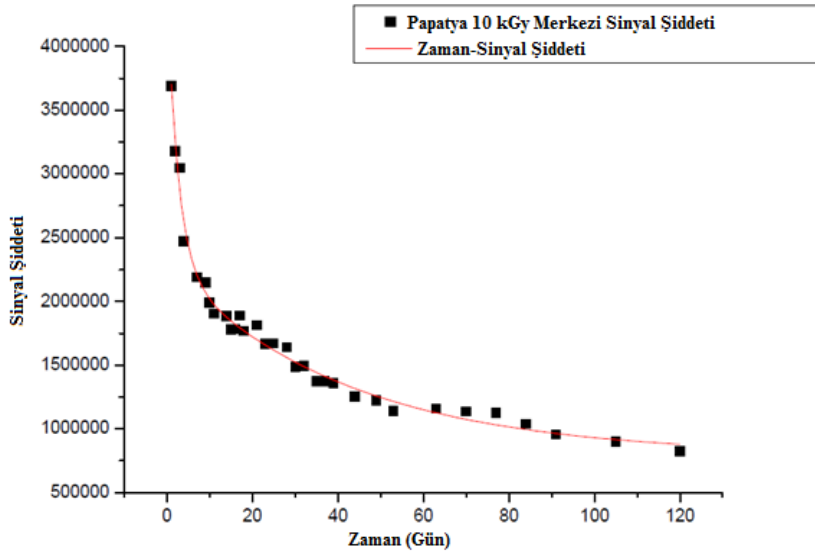


Şekil 4.88. 10 kGy dozunda ışınlanmış papatyanın sol uydu sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği

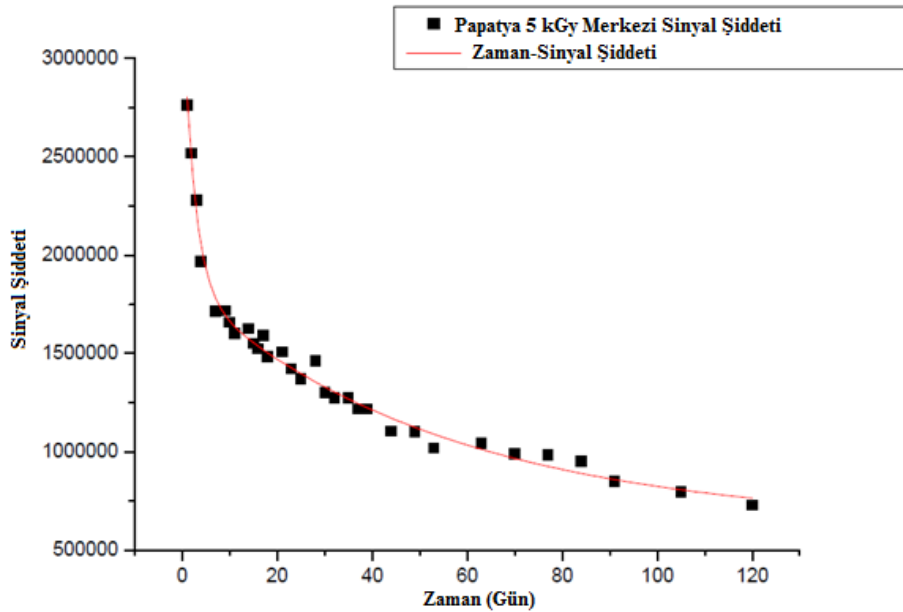


Şekil 4.89. 5 kGy dozunda ışınlanmış papatyanın sol uydu sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği

Papatya örneklerinin merkezi sinyallerinin zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği 10 kGy dozunda ışınlanmış örnekleri için Şekil 4.90 ve 5 kGy dozunda ışınlanmış örnekleri için Şekil 4.91’de verilmiştir. Tüm örneklere ait grafikler $I=I_0+A_1*\exp(-t*j_1)+A_2*\exp(-t*j_2)$ gibi üstel olarak azalan iki fonksiyonun toplamı şeklinde bir denklem ile fit edilmiştir. Papatyanın 10 kGy dozundaki örneğine ait grafiğe göre $A_1=1,497.10^6$, $A_2=2,119.10^6$, $j_1=0,0239 \text{ gün}^{-1}$ ve $j_2=0,3807 \text{ gün}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Papatyanın 5 kGy dozundaki örneğine ait grafiğe göre ise $A_1=1,213.10^6$, $A_2=1,480.10^6$, $j_1=0,0183 \text{ gün}^{-1}$ ve $j_2=0,4077 \text{ gün}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Papatyaya ait grafiklerin korelasyon sabiti 10 kGy merkezi sinyali için $r^2=0,9880$ ve 5 kGy merkezi sinyali için $r^2=0,9886$ olarak bulunmuştur.



Şekil 4.90. 10 kGy dozunda ışınlanmış papatyanın merkezi sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği



Şekil 4.91. 5 kGy dozunda ışınlanmış papatyanın merkezi sinyaline ait zamana bağlı sinyal şiddeti grafiği

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

5.1. Arapsacı

Arapsacının ışınlanmamış örnekleri $g=2,00862$ değerinde tekli bir sinyal vermiştir. Işınlanmış örneklerde merkezi sinyale ek olarak ise $g=2,02487$ değerinde sol uydu sinyali $g=1,99043$ sağ uydu sinyali gözlemlenmiştir. Uydu sinyalleri 0,5 ve 1 kGy ışınlama dozunda gözlemlenmemiştir. 120 gün boyunca alınan ölçümler sonucunda arapsacının 10 kGy dozunda ışınlanmış örneği için uydu sinyalleri 32. günden sonra gözlemlenmemiştir. Arapsacının 5 kGy dozunda ışınlanmış örnekleri için uydu sinyalleri 18. günden sonra gözlemlenmemiştir.

5.2. Armut

Armut örnekleri iç ve kabuk kısmı olmak üzere iki farklı şekilde incelenmiştir. Armut örneklerinin ışınlanmamış iç ve kabuk kısımları $g=2,00944$ ve $g=2,00935$ değerlerinde tekli sinyal vermiştir. Armutun ışınlanmış iç ve kabuk kısımlarında merkezi sinyalin dışında uydu sinyalleri de gözlemlenmiştir. İç kısmına ait uydu sinyallerinin g değerleri $g=2,02560$ sol uydu sinyali için ve sağ uydu sinyali için $g=1,99094$ olarak gözlemlenmiştir. Kabuk kısmına ait uydu sinyallerinin g değerleri ise $g=2,02577$ sol uydu sinyali için ve $g=1,99110$ sağ uydu sinyali için gözlemlenmiştir. Armutun iç kısmı ile yapılan ölçümlerde sol uydu sinyali tüm doz değerleri için gözlemlenmiştir. Fakat armut kabuğu ile yapılan ölçümlerde 0,5 kGy dozunda uydu sinyali görülmemiştir. 120 gün boyunca alınan ölçümler sonucunda armut içi ve kabuğunun 5 kGy ve 10 kGy dozunda ışınlanmış örneklerinin sol uydu sinyalleri 120. günün sonunda dahi gözlemlenebilir. Işınlanmış armut örneklerinin tümü 120 gün boyunca ışınlanmamış örneklerden ayırt edilebilir. Işınlanmamış armut örneklerinin sinyalleri ışınlamış örneklerle karşılaştırıldığında armudun kabuk kısmı iç kısmına göre daha iyi sonuç vermiştir.

5.3. Ayva

Ayva örnekleri iç ve kabuk kısmı olarak iki farklı şekilde incelenmiştir. Ayva örneklerinin ışınlanmamış iç ve kabuk kısımları sırasıyla $g=2,00957$ ve $g=2,00898$ değerlerinde tekli sinyal vermiştir. Ayvanın ışınlanmış iç ve kabuk kısımlarında merkezi sinyalin dışında uydu sinyalleri de gözlemlenmiştir. İç kısmına ait uydu sinyallerinin g değerleri $g=2,02585$ sol uydu sinyali için ve $g=1,99138$ olarak gözlemlenmiştir. Kabuk kısmına ait uydu sinyallerinin g değerleri ise $g=2,02543$ sol

uydu sinyali için ve $g=1,99057$ sağ uydu sinyali için gözlemlenmiştir. Işınlanmış ayva içi örneklerinde 0,5 kGy dozunda uydu sinyali ve kabuk örneklerinde ise 0,5 ve 1 kGy dozunda sol uydu sinyali gözlemlenmemiştir. 120 gün boyunca alınan ölçümler sonucunda ayva içinin 10 kGy ve 5 kGy ışınlanmış dozlarında 120 günün sonunda dahi uydu sinyalleri gözlemlenebiliyordu. Armut kabuğunun 10 kGy dozunda ışınlanmış örneklerinde 120 gün boyunca uydu sinyalleri gözlenirken 5 kGy'de ışınlanmış örneklerde 49. günden sonra uydu sinyalleri gözlemlenmemiştir. Işınlanmamış ayva örneklerinin sinyalleri ışınlanmış örneklerle karşılaştırıldığında ayvanın iç kısmının kabuk kısmına göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

5.4. İğde

İğdenin ışınlanmamış örneklerinin g değeri merkezi sinyal değerinin çok düşük olması ve gürültüye karışması nedeniyle ölçülemediği. Işınlanmış iğde örnekleri merkezi sinyalin yanında uydu sinyalleri de göstermiştir. Merkezi sinyalinin g değeri $g=2,00854$ ve sol uydu sinyali için $g=2,02531$ ve sağ uydu sinyali için $g=1,99084$ olarak gözlemlenmiştir. İğdenin sol uydu sinyali için alınan değerler grafik çizmeye uygun olmadığı için doz-cevap grafiği çizilmemiştir. 0,5 kGy dozunda ve 5 kGy dozundaki sol uydu sinyalleri ölçülemediği. Merkezi sinyale ait 1 kGy dozundaki değer de ayrıca ölçülemediği. İğde örneklerindeki nem oranının yüksek olması düzgün ESR sinyali alınmamasına sebep olmuş olabilir. Daha sonraki araştırmalarda iğde örneklerinin de kurutma işlemine tabi tutulup deneyin tekrarlanması ile bu anlaşılabilir. 120 gün boyunca alınan ölçümler sonucunda iğdenin 10 kGy dozunda ışınlanmış örnekleri için 120. günün sonunda dahi uydu sinyalleri gözlemlenebiliyordu. 5 kGy dozunda ışınlanmış örneklerin uydu sinyalleri 105. günden sonra gözlemlenmemiştir.

5.5. Kantaron

Kantaronun ışınlanmamış örnekleri $g=2,00816$ değerinde tekli bir sinyal vermiştir. Işınlanmış örneklerde merkezi sinyale ek olarak ise $g=2,02551$ değerinde sol uydu sinyali $g=1,99044$ sağ uydu sinyali gözlemlenmiştir. Işınlanmış kantaron örneklerinin 0,5, 1 ve 3 kGy dozunda sol uydu sinyali gözlemlenmemiştir. 120 gün boyunca alınan ölçümler sonucunda kantaronun 10 kGy dozunda ışınlanmış örneklerinin uydu sinyalleri 53. günden sonra gözlemlenmemiştir. 5 kGy dozunda ışınlanmış örneklerin uydu sinyalleri ise 11. günden sonra gözlemlenmemiştir.

5.6. Melisa

Melisanın ışınlanmamış örnekleri $g=2,00885$ değerinde tekli bir sinyal vermiştir. Işınlanmış örneklerde merkezi sinyale ek olarak ise $g=2,02551$ değerinde sol uydu sinyali $g=1,99044$ sağ uydu sinyali gözlemlenmiştir. Işınlanmış melisa örnekleri 0,5 ve 1 kGy doz değerinde uydu sinyalleri göstermemiştir. 120 gün boyunca alınan ölçümler sonucunda melisanın 10 kGy dozunda ışınlanmış örneklerinin uydu sinyalleri 35. günden sonra gözlemlenmemiştir. Melisanın 5 kGy dozunda ışınlanmış örneklerinin uydu sinyalleri ise 21. günden sonra gözlemlenmemiştir.

5.7. Muşmula

Muşmula örnekleri iç ve kabuk kısmı olarak iki farklı şekilde incelenmiştir. Muşmula örneklerinin ışınlanmamış iç ve kabuk kısımları $g=2,00861$ ve $g=2,00980$ değerlerinde tekli sinyal vermiştir. Muşmulanın ışınlanmış iç ve kabuk kısımlarında merkezi sinyalin dışında uydu sinyalleri de gözlemlenmiştir. İç kısmına ait uydu sinyallerinin g değerleri $g=2,02493$ sol uydu sinyali için ve sağ uydu sinyali için $g=1,99048$ olarak gözlemlenmiştir. Kabuk kısmına ait uydu sinyallerinin g değerleri ise $g=2,2645$ sol uydu sinyali için ve $g=1,99095$ sağ uydu sinyali için gözlemlenmiştir. Işınlanmış muşmula içi örneklerinde 0,5 kGy dozunda uydu sinyali ve kabuk örneklerinde ise 0,5 ve 1 kGy dozunda sol uydu sinyali gözlemlenmemiştir. 120 gün boyunca alınan ölçümler sonucunda Muşmula içinin 10 kGy ve 5 kGy dozunda ışınlanmış örnekleri 120. günün sonunda uydu sinyalleri göstermiştir. Muşmula kabuğunun 10 kGy dozunda ışınlanmış örnekleri 105. günden sonra uydu sinyali göstermemiştir. 5 kGy dozunda ışınlanan muşmula kabukları ise 44. günden sonra uydu sinyalleri göstermemiştir. Işınlanmamış muşmula örneklerinin sinyalleri ışınlanmış örneklerle karşılaştırıldığında muşmulanın iç kısmının kabuk kısmına göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

5.8. Nane

Nanenin ışınlanmamış örnekleri $g=2,00861$ değerinde tekli bir sinyal vermiştir. Nanenin ışınlanmış örnekleri merkezi sinyale ek uydu sinyalleri de göstermiştir. Sol uydu sinyali $g=2,02483$ ve sağ uydu sinyali $g=1,99039$ değerindedir. Nane örneğindeki uydu sinyallerinin yetersizliği sebebiyle nane örneklerinin sol uydu sinyaline ait doz-cevap eğrisi çizilememektedir. 120 gün boyunca alınan ölçümler sonucunda 5 kGy dozunda ışınlanan nane örneği uydu sinyalleri göstermemiştir. 10

kGy dozunda ışınlanan nane örnekleri ise 10. günün sonunda uydu sinyalleri göstermemiştir. 10 gün içinde alınan değerlerle zaman-sinyal yüksekliği grafiği çizilememiştir.

5.9. Papatya

Papatyanın ışınlanmamış örnekleri $g=2,00861$ değerinde tekli bir sinyal vermiştir. Işınlanmış örneklerde merkezi sinyale ek olarak ise $g =2,02505$ değerinde sol uydu sinyali $g=1,99061$ sağ uydu sinyali gözlemlenmiştir. Papatyanın 0,5 kGy dozunda ışınlanmış örneğinde uydu sinyalleri gözlemlenmemiştir. Papatya örneğindeki uydu sinyallerinin yetersizliği sebebiyle nane örneklerinin sol uydu sinyaline ait doz-cevap eğrisi çizilememektedir. 120 gün boyunca alınan ölçümler sonucunda papatyanın 10 kGy dozunda ışınlanmış örneklerinde uydu sinyalleri 91. güne kadar gözlemlenebilir. 5 kGy dozunda ışınlanmış örneklerinde ise 84. güne kadar uydu sinyalleri gözlemlenebilir.

Bu tez çalışmasında, ESR tekniği ile ışınlanmış gıdaların tespiti yapılmıştır. Bu teknik ile başka bir yönteme ihtiyaç duymadan ışınlanmış gıda örnekleri ışınlanmamış olanlardan ayırıt edilmiştir. Işınlanmış örneklerin ESR spektrumlarında oluşan uydu sinyalleri, ışınlanmamış örneklerde gözlemlenmemiştir. Uygulanan ışınlama dozunun arttırılması ESR sinyal şiddetini arttırmış fakat g değerlerinde bir değişikliğe sebep olmamıştır. Alınan ESR sinyallerindeki uydu sinyallerinin g değerlerine bakılarak bu uydu sinyallerinin selüloz radikalinden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Uydu sinyalleri farklı zaman aralıklarında incelenerek ışınlanmış gıdaların ışınlama gününden sonra kaç güne kadar tespit edilebileceği bulunmuştur.

KAYNAKLAR

- Ahn, J., Sanyal, B., Akram, K., Kwon, J. 2014. Alcoholic Extraction Enables EPR Analysis To Characterize Radiation-Induced Cellulosic Signals in Spices. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 62: 11089-11098.
- Alkan, H., Behcan, H., Kavzak, B. 2012. Işınlana Yöntemi ile Gıdaların Korunması ve Gıda Kaynaklı Hastalıkların Önlenmesi. Türkiye 11. Gıda kongresi. Mustafa Kemal Üniversitesi. Hatay. [<http://www.gidadernegi.org/TR/Genel/dg.ashx?DIL=1&BELGEANAH=5740&DOSYASIM=ALKAN+H.pdf>]
- Apaydın, F. 1996. Magnetik Rezonans. Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Ders Kitapları No:3, ISBN-975-491-019-7, Beytepe, Ankara.
- Atasever, M., Atasever, M. 2007. Işınlamanın Gıda Teknolojisinde Kullanımı. **Atatürk Üniversitesi Vet. Bil. Derg.**, 2: 107-116.
- de Jesus, E. Rossi, A. Lopes, R. 1999. An ESR study on identification of gamma-irradiated kiwi, papaya and tomato using fruit pulp. **International Journal of Food Science Technology**. 34: 173-178.
- del Mastro, N. 2009. Detection Of Irradiated Food. Nuclear and Energy Research Institute IPEN-CNEN/SP, Sao Paulo, Brezilya.
- Delincee, H. 2002. Improvement of the ESR detection of irradiated food containing cellulose employing a simple extraction method. **Radiation Physics and Chemistry**, 63: 437-441.
- EN 13708. 2002. Detection of irradiated food containing crystalline sugar by ESR spectroscopy. European Committee for Standardization, Brussels.
- EN 13751. 2002. Detection of irradiated food using photostimulated luminescence. European Committee for Standardization, Brussels.
- EN 13783. 2001. Detection of irradiated food using Direct Epifluorescent Filter Technique/Aerobic Plate Count (DEFT/APC) — Screening method. European Committee for Standardization, Brussels.
- EN 13784. 2001. DNA Comet Assay for the detection of irradiated foodstuffs— Screening method. European Committee for Standardization, Brussels.
- EN 14569. 2004. Microbiological screening for irradiated food using LAL/GNB procedures. European Committee for Standardization, Brussels.

- EN 1784. 2003. Detection of irradiated food containing fat-Gas chromatographic analysis of hydrocarbons. European Committee for Standardization, Brussels.
- EN 1785. 2003. Detection of Irradiated food containing fat – GC/MS analysis of 2-Alkylcyclobutanones. European Committee for Standardization, Brussels.
- EN 1786. 1996. Detection of irradiated food containing bone Method by ESR spectroscopy European Committee for Standardization, Brussels.
- EN 1787. 2000. Detection of irradiated food containing cellulose Method by ESR spectroscopy. European Committee for Standardization, Brussels.
- EN 1788. 2001. Thermoluminescence detection of irradiated food from which silicate minerals can be isolated. European Committee for Standardization, Brussels.
- Engin, B., Aydaş, C., Polat, M. 2011. Detection of gamma irradiated fig seeds by analysing electron spin resonance. **Food Chemistry**, 126: 1887-1882.
- Jo, Y., Sanyal, B., Park, H., Kwon, J. 2016. Ethanol extraction-based drying enhanced ESR radical detection in oranges irradiated to different ionizing radiations during storage. **Postharvest Biology and Technology**. 112: 170-175.
- Korkmaz, M., Polat, M. 2001. Radical kinetics and characterization of the free radicals in gamma irradiated red pepper. **Radiation Physics and Chemistry**. 62. 411-421.
- Kwon, J., Chung, H., Byun, M. 2000. ESR spectroscopy for detecting gamma-irradiated dried vegetables and estimating absorbed doses. **Radiation Physics and Chemistry**, 57: 319-324.
- Marin-Huachaca, N., Lamy-Freund, M., Mancini-Filho, J., Delincee, H., Villavicencio, A. 2002. Detection of irradiated fresh fruits treated by e-beam or gamma rays. **Radiation Physics and Chemistry**, 63: 419-422.
- Raffi, F. 1998. Identifying irradiated foods. *Trends in Analytical Chemistry* 17.
- Resmi Gazete 2003. T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Gıda İşinlanma Yönetmeliği Sayı, 25321.
- Taylor, J., Zafiratos C., Dubson, M. 2008. Fen ve Mühendislikte Modern Fizik.

- WHO. 1981. Wholesomeness of irradiated food. Report of Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee. Technical Report Series 659, World Health Organisation, Geneva. World Health Organization.
- WHO. 1999. High dose irradiation: Wholesomeness of food irradiated with dose above 10 kGy. WHO technical report series 890. Geneva, Switzerland: World Health Organization.
- Yamaoki, R., Kimura, S., Ohta, M. 2015. Evaluation of absorbed dose in irradiated sugar-containing plant material (peony roots) by an ESR method. **Radiation and Chemistry**, 117: 41-47.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Semih Yurtsever

Doğum Yeri Ve Tarihi :Aydın 15.02.1991

EĞİTİM DURUMU

Lisans Öğrenimi : Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü

Yüksek Lisans Öğrenimi : Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı

Yabancı Diller : İngilizce

İLETİŞİM

E-Posta Adresi : semihyurtsever@outlook.com

Tarih :13./07/2017