

ÖNSÖZ

Öğrenim hayatım boyunca her zaman yanımda olan ve her konudaki destekleri için aileme öncelikle teşekkür ederim.

Yüksek lisans öğrenimim sırasında ve tez çalışmam boyunca gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı danışmanım Prof. Dr. İnci ÇİLESİZ ‘e teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını esirgemeyen Sait IŞIK ‘a teşekkürü borç bilirim.

Nisan 2006

Zihni HACIOĞLU

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	xi
ÖZET	xiii
SUMMARY	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Giriş	1
1.2. OCT ile Ultrason 'un Karşılaştırılması	1
1.3. Düşük Faz Uyumlu ile Girişim Ölçümü (LCI)	3
2. OCT 'de GÖRÜNTÜLEME	6
2.1. Giriş	6
2.2. OCT 'de Kullanılan Teknolojiler	9
2.2.1. Optik Kaynak	9
2.2.2. Çift Geçişli Fourier Boyutu Optik Geciktirme Hattı (DP-FD-ODL)	10
2.2.3. DP-FD-ODL 'de Işığın İzlediği Yol	11
2.3. OCT işaretinin Frekans Spektrumu	13
2.4. Teorik yorumlar	15
3. PROGRAMLAMA	21
3.1. Programlamada Kullanılan Mantık	21
3.2. OCT 'de Gerçekleşen Olayın Bilgisayar Programına Uyarlanması	23
3.3. Programlamada Kullanılan Değişkenlere İlişkin Değerler	26
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	27
4.1. Bulgular	27
4.2. Tartışma	27
4.2.1. Program1' e Ait Bulguların Değerlendirilmesi	27
4.2.1.1. $ \gamma_0 $, 'x', 'p', 'f _m ', 'l _f ', 'm' Değişkenlerinin, OCT işaretine Etkileri ve Değerlendirilmesi	27
4.2.1.2. $ \gamma_0 $, 'x', 'p', 'f _m ', 'l _f ', 'm' Değişkenlerinin, 'Δz' 'ye Etkileri ve Değerlendirilmesi	32
4.2.1.3. 'V _φ ', 'V _g ' 'nin OCT İşaretine Etkileri ve Değerlendirilmesi	35
4.2.2. Program2 'ye Ait Bulguların Değerlendirilmesi	37

4.2.3. Program3 'e Ait Bulguların Değerlendirilmesi	38
4.2.3.1. Eski ' $ \gamma_0 $ ', ' x ', ' p ', ' f_m ', ' l_f ', ' m ' Değerleri İçin Değerlendirme	38
4.2.3.2. Yeni ' $ \gamma_0 $ ', ' x ', ' p ', ' f_m ', ' l_f ', ' m ' Değerleri İçin Değerlendirme	38
4.2.3.3. Yeni Değerler ile ' Δz ' 'nin Belirlenmesi	38
4.2.4. Program4 'e Ait Bulguların Değerlendirilmesi	39
4.2.4.1. Eski ' $ \gamma_0 $ ', ' x ', ' p ', ' f_m ', ' l_f ', ' m ' Değerleri İçin Değerlendirme	39
4.2.4.2. Yeni ' $ \gamma_0 $ ', ' x ', ' p ', ' f_m ', ' l_f ', ' m ' Değerleri İçin Değerlendirme	39
4.2.4.3. Yeni Değerler ile ' Δz ' 'nin Belirlenmesi	39
5. SONUÇ	40
KAYNAKLAR	42
EKLER	44
ÖZGEÇMİŞ	129

KISALTMALAR

OCT	: Optical Coherence Tomography
LCI	: Low Coherence Interferometry
DP-FD-ODL	: Double Pass Fourier Domain Optical Delay Line
MI	: Michelson Interferometer
LCL	: Low Coherence Light
HCL	: High Coherence Light
BS	: Beam Splitter
SNR	: Signal to Noise Ratio

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.2.1 : Farklı pozisyonlardan gelen eko zaman gecikmeleri ölçümü ile OCT görüntülemesi.....	3
Şekil 1.3.1 : (a)Michelson Girişimmetresi (MI), (b)HCL için girişim şiddet değişim, (c) LCL için girişim şiddet değişimi.....	4
Şekil 1.3.2 : Kaynak İşareti.....	5
Şekil 2.1.1 : OCT 'de düşük ve yüksek nümerik açıklık odaklaması.....	8
Şekil 2.1.2 : OCT için görüntü oluşturma yöntemi.....	9
Şekil 2.2.2.1 : Çift Geçişli Fourier Boyutu Optik Geciktirme Hattı (DP-FD-ODL) 'nın şeması.....	10
Şekil 3.2.1 : ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu.....	25
Şekil A.1.5.1.1 : Kaynak işaretinin güç spektrumu.....	51
Şekil A.1.5.2.1 : Kaynak işaretinin güç spektrumu.....	52
Şekil A.1.5.3.1 : Kaynak işaretinin güç spektrumu.....	52
Şekil B.1.1.1.1 : ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu.....	53
Şekil B.1.1.1.2 : OCT işareti.....	54
Şekil B.1.1.1.3 : OCT işaretinin frekans spektrumu.....	54
Şekil B.1.1.1.4 : ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu.....	55
Şekil B.1.1.1.5 : OCT işareti.....	55
Şekil B.1.1.1.6 : OCT işaretinin frekans spektrumu.....	55
Şekil B.1.1.1.7 : ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu.....	56
Şekil B.1.1.1.8 : OCT işareti.....	56
Şekil B.1.1.1.9 : OCT işaretinin frekans spektrumu.....	56
Şekil B.1.1.2.1 : ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu.....	57
Şekil B.1.1.2.2 : OCT işareti.....	57
Şekil B.1.1.2.3 : OCT işaretinin frekans spektrumu.....	57
Şekil B.1.1.2.4 : ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu.....	58
Şekil B.1.1.2.5 : OCT işareti.....	58
Şekil B.1.1.2.6 : OCT işaretinin frekans spektrumu.....	58
Şekil B.1.1.2.7 : ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu.....	59
Şekil B.1.1.2.8 : OCT işareti.....	59
Şekil B.1.1.2.9 : OCT işaretinin frekans spektrumu.....	59
Şekil B.1.1.3.1 : ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu.....	60
Şekil B.1.1.3.2 : OCT işareti.....	60
Şekil B.1.1.3.3 : OCT işaretinin frekans spektrumu.....	60
Şekil B.1.1.3.4 : ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu.....	61
Şekil B.1.1.3.5 : OCT işareti.....	61
Şekil B.1.1.3.6 : OCT işaretinin frekans spektrumu.....	61
Şekil B.1.1.3.7 : ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu.....	62
Şekil B.1.1.3.8 : OCT işareti.....	62

Şekil B.1.1.3.9	: OCT işaretinin frekans spektrumu.....	62
Şekil B.1.1.4.1	: ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu.....	63
Şekil B.1.1.4.2	: OCT işareti.....	63
Şekil B.1.1.4.3	: OCT işaretinin frekans spektrumu.....	63
Şekil B.1.1.4.4	: ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu.....	64
Şekil B.1.1.4.5	: OCT işareti.....	64
Şekil B.1.1.4.6	: OCT işaretinin frekans spektrumu.....	64
Şekil B.1.1.4.7	: ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu.....	65
Şekil B.1.1.4.8	: OCT işareti.....	65
Şekil B.1.1.4.9	: OCT işaretinin frekans spektrumu.....	65
Şekil B.1.1.5.1	: ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu.....	66
Şekil B.1.1.5.2	: OCT işareti.....	66
Şekil B.1.1.5.3	: OCT işaretinin frekans spektrumu.....	66
Şekil B.1.1.5.4	: ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu.....	67
Şekil B.1.1.5.5	: OCT işareti.....	67
Şekil B.1.1.5.6	: OCT işaretinin frekans spektrumu.....	67
Şekil B.1.1.5.7	: ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu.....	68
Şekil B.1.1.5.8	: OCT işareti.....	68
Şekil B.1.1.5.9	: OCT işaretinin frekans spektrumu.....	68
Şekil B.1.1.6.1	: ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu.....	69
Şekil B.1.1.6.2	: OCT işareti.....	69
Şekil B.1.1.6.3	: OCT işaretinin frekans spektrumu.....	69
Şekil B.1.1.6.4	: ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu.....	70
Şekil B.1.1.6.5	: OCT işareti.....	70
Şekil B.1.1.6.6	: OCT işaretinin frekans spektrumu.....	70
Şekil B.1.1.6.7	: ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu.....	71
Şekil B.1.1.6.8	: OCT işareti.....	71
Şekil B.1.1.6.9	: OCT işaretinin frekans spektrumu.....	71
Şekil B.1.2.1.1	: OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	72
Şekil B.1.2.1.2	: OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	72
Şekil B.1.2.1.3	: OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	73
Şekil B.1.2.1.4	: OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	73
Şekil B.1.2.1.5	: OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	73
Şekil B.1.2.1.6	: OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	74
Şekil B.1.2.1.7	: OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	74
Şekil B.1.2.1.8	: OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	75
Şekil B.1.2.1.9	: OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	75
Şekil B.1.2.1.10	: OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	75
Şekil B.1.2.1.11	: OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	76
Şekil B.1.2.1.12	: OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	76
Şekil B.1.2.1.13	: OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	77
Şekil B.1.2.1.14	: OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	77
Şekil B.1.2.1.15	: OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	77
Şekil B.1.2.2.1	: OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	78
Şekil B.1.2.2.2	: OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	78
Şekil B.1.2.2.3	: OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	79
Şekil B.1.2.2.4	: OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	79
Şekil B.1.2.2.5	: OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	79
Şekil B.1.2.2.6	: OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	80

Şekil B.1.2.5.11 : OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	100
Şekil B.1.2.5.12 : OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	100
Şekil B.1.2.5.13 : OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	101
Şekil B.1.2.5.14 : OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	101
Şekil B.1.2.5.15 : OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	101
Şekil B.1.2.6.1 : OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	102
Şekil B.1.2.6.2 : OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	102
Şekil B.1.2.6.3 : OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	103
Şekil B.1.2.6.4 : OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	103
Şekil B.1.2.6.5 : OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	103
Şekil B.1.2.6.6 : OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	104
Şekil B.1.2.6.7 : OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	104
Şekil B.1.2.6.8 : OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	105
Şekil B.1.2.6.9 : OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	105
Şekil B.1.2.6.10 : OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	105
Şekil B.1.2.6.11 : OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	106
Şekil B.1.2.6.12 : OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	106
Şekil B.1.2.6.13 : OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	107
Şekil B.1.2.6.14 : OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	107
Şekil B.1.2.6.15 : OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	107
Şekil B.1.3.1 : ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu.....	108
Şekil B.1.3.2 : OCT işareti.....	108
Şekil B.1.3.3 : OCT işaretinin frekans spektrumu.....	108
Şekil B.1.3.4 : ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu.....	109
Şekil B.1.3.5 : OCT işareti.....	109
Şekil B.1.3.6 : OCT işaretinin frekans spektrumu.....	109
Şekil B.1.3.7 : ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu.....	110
Şekil B.1.3.8 : OCT işareti.....	110
Şekil B.1.3.9 : OCT işaretinin frekans spektrumu.....	110
Şekil B.2.1 : MR görüntüsü.....	111
Şekil B.2.2 : Doku olarak düşünülen görüntü.....	111
Şekil B.2.3 : Program çıktısı olarak elde edilmesi beklenen OCT görüntüsü	111
Şekil B.3.1.1 : ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu.....	112
Şekil B.3.1.2 : OCT işareti.....	112
Şekil B.3.1.3 : OCT işaretinin frekans spektrumu.....	112
Şekil B.3.2.1 : ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu.....	113
Şekil B.3.2.2 : OCT işareti.....	113
Şekil B.3.2.3 : OCT işaretinin frekans spektrumu.....	113
Şekil B.3.3.1 : OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	114
Şekil B.3.3.2 : OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	114
Şekil B.3.3.3 : OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	115
Şekil B.3.3.4 : OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	115
Şekil B.3.3.5 : OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	115
Şekil B.4.1.1 : ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu.....	116
Şekil B.4.1.2 : OCT işareti.....	116
Şekil B.4.1.3 : OCT işaretinin frekans spektrumu.....	116
Şekil B.4.2.1 : ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu.....	117
Şekil B.4.2.2 : OCT işareti.....	117

Şekil B.4.2.3	: OCT işaretinin frekans spektrumu.....	117
Şekil B.4.3.1	: OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	118
Şekil B.4.3.2	: OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	118
Şekil B.4.3.3	: OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	119
Şekil B.4.3.4	: OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	119
Şekil B.4.3.5	: OCT işareti (Derinlik taraması (A taraması)).....	119
Şekil C.1	: Fraunhofer kırınımında kırınım tipine bağlı girişim şiddeti genlik değişimi.....	120
Şekil C.2	: Kırınım grating’ inde ışığın açısal dağılımı.....	121
Şekil D.2.1.1.1	: ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu.....	123
Şekil D.2.1.1.2	: OCT işareti.....	123
Şekil D.2.1.1.3	: OCT işaretinin frekans spektrumu.....	123
Şekil D.2.1.1.4	: ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu.....	124
Şekil D.2.1.1.5	: OCT işareti.....	124
Şekil D.2.1.1.6	: OCT işaretinin frekans spektrumu.....	124
Şekil D.2.1.2.1	: ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu	125
Şekil D.2.1.2.2	: OCT işareti	125
Şekil D.2.1.2.3	: ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu	126
Şekil D.2.1.2.4	: OCT işareti	126
Şekil D.2.2.1	: OCT işareti.....	127
Şekil D.2.2.2	: OCT işareti.....	127
Şekil D.2.2.3	: OCT işareti.....	128

SEMBOL LİSTESİ

$E_R(t), E_S(t)$	: Referans ve doku koluna giden demetler
$E_0(t)$	: Girişimölçer çıkışındaki elektrik alan
E_R, E_S	: Referans ve doku koluna giden işaretlerin genlikleri
l_R	: Referans demetin referans kolda aldığı yol
l_S	: Ölçüm demetin ölçüm kolunda aldığı yol
Δl	: Referans ve ölçüm kolları arasındaki yol farkı
$I_0(t)$	: Girişim şiddeti
l_C	: Uyum uzunluğu
Δz	: Eksensel çözünürlük
$\lambda_0, \Delta \lambda$	: Kaynağın merkez dalga boyu ve dalga boyu bant genişliği
P_s	: Örnek doku üzerine gönderilen güç
R_s	: Örnek dokunun güç yansıtıcılığı
e	: Elektron yükü
B	: Algılama bant genişliği
ρ	: Detektörün cevap verebilirliği
η	: Detektör kuantum verimi
h	: Planck sabiti
c	: Işık hızı
k	: Yayılma sabiti
w_0	: Kaynak işaretinin merkez açısal optik frekansı
L_r	: Ayna düz konumda iken referans kolda alınan yol
L_s	: Dokuda seçilen referans nokta için doku kolunda alınan yol
$\varphi_r(k)$	: Referans olan aynanın düz olma konumuna göre referans koldaki işarete binen faz
$\varphi_s(k)$	: Referans olarak dokuda seçilen sıfır noktası için doku kolundaki işarete binen faz
x	: Aynanın döndürülme noktası ile optik eksen arasındaki mesafe
l_f	: Merceğin odak uzaklığı
p	: Grating pitch (kırınım ızgarası yiv periyodu)
m	: Kırınım tipi
$\sigma(t)$	: Aynanın dönüşünü temsil eden fonksiyon
$ \gamma_o $	: Aynanın yapabileceği maksimum açı

$\varphi(\lambda), \varphi(k)$	: Dalga boyu ve yayılma sabitinin fonksiyonu olarak faz kayması
$\varphi(w)$	: Açısal optik frekansın fonksiyonu olarak faz kayması
t_{φ}	: Faz gecikmesi
Δl_{φ}	: Faz yol farkı
V_{φ}	: Faz gecikmesinin tarama hızıdır
t_g	: Grup gecikmesi
Δl_g	: Grup yol farkı
V_g	: Grup gecikme tarama hızı
f_m	: Aynanın dönüş frekansı
f_0	: OCT işaretinin merkez frekansı
Δf	: OCT işaretinin frekans bant genişliği
$U(k)$	: Referans ve doku koluna giden işaretlerin Fourier dönüşümü
$u_r^{bas}(z), u_s^{bas}(z)$	; Referans ve doku koluna giden işaretler
$A_r u^{ref}(z)$	: Referans kolundan geri gelen işaret
$A_s u^{sa\zeta}(z)$	: Doku kolundan geri gelen işaret
A_r, A_s	: Referans ve doku kolundan gelen işaretlerin genlikleri
$2\delta_{z_r}$	: Referans koldaki işarete bindirilen yol farkı
$2\delta_{z_s}$	: Doku kolundaki işarete binen yol farkı
$Y_r(k), Y_s(k)$	: Referans ve doku kolundan geri gelen işaretlerin konum ve genlik bilgileri
I_{det}	: Referans ve doku kolundan gelen işaretlerin girişim şiddeti
$\rho(k)$	: Girişim şiddetindeki belirleyici terim
I_{oct}	: OCT işareti
$S(k)$	: Kaynak işaretinin spektral güç yoğunluğu
A	: Güç spektrumunun genliği
β	: Tek yarıktan gelen ışınların birbiri arasındaki faz farkı
α	: Farklı iki yarıktan gelen ışınların birbiri arasındaki faz farkı
$\tilde{\alpha}, \tilde{\beta}$	: Kırınım ızgarası 'ndan yansıyan ışınların kırınım ızgarası normali ile yaptıkları açılar

OPTİK UYUM TOMOGRAFİSİ (OCT) İŞARETİNİN BENZETİMİ

ÖZET

Bu tezde, optik uyum tomografisi (optical coherence tomography, OCT) işaretinin benzetimi yapılmaktadır. OCT’de kullanılan düzenler: 1- Geniş bantlı ışık kaynağı, 2- Michelson Girişimölçeri, 3- Çift Geçişli Fourier Boyutu Optik Geciktirme Hattı (DP-FD-ODL), ve gerektiğinde 4- Optik fiberler. Kaynak tarafından üretilen ışığın faz uyum uzunluğu, OCT görüntüsünde eksensel görüntü çözünürlüğünü belirler. Referans ve doku kolundan gelen yansıma işaretleri arasındaki yol farkı uyum uzunluğundan büyük ise iki işaret arasında bir girişim gözlenmez. OCT’de ışık kaynağının merkez dalgaboyu seçimi önemlidir, çünkü bazı dalgaboyları dokular tarafından oldukça fazla miktarda emilir ve bu görüntüleme derinliğini olumsuz etkiler. Ayrıca kaynakta üretilen işaretin merkez dalgaboyu ile bant genişliği arasındaki oran iyi seçilmelidir, çünkü bu oran uyum uzunluğunu ve dolayısıyla görüntü çözünürlüğünü belirler. Michelson Girişimölçeri ’nde ışık kaynağından gelen ışık, demet bölücüde ikiye bölünür. Bunun amacı birbiri ile faz uyumlu iki işaret üretmektir. Referans ve doku kolundan geri gelen demetler arasındaki yol farkı uyum uzunluğundan küçük ise demet bölücüde girişim olur. Referans kolda bulunan DP-FD-ODL, doku kolundaki işaretin uğradığı faz kaymasına eşit bir faz kaymasını referans koldaki işarete bindirir. Frekans boyutundaki lineer faz rampası zaman boyutunda gecikmeye karşı gelir. Grup yol farkı tarama derinliğini belirler. Grup hızı, OCT işaretinin frekans bant genişliğini ve dolayısıyla SNR ve görüntü kalitesini belirler. Faz hızı ise OCT işaretinin merkez frekansını belirler. Göz dışındaki dokularda optik saçılmadan dolayı görüntülenebilir derinlik 2-3 mm ’ye kadar düşer. Görüntülemeye kullanılan sinyal ışık olduğu için optik fiber iletim hattı da kullanılabilir. Bu OCT görüntülemesinin endoskopik uygulamalarda kullanılmasına izin verir.

SIMULATION OF OPTICAL COHERENCE TOMOGRAPHY

SUMMARY

In this thesis, optical coherence tomography (OCT) is simulated. Devices used in OCT are: 1- Broadband (low coherence) light source, 2- Michelson Interferometer, 3- Double Pass Fourier Domain Optical Delay Line (DP-FD-ODL), and if needed, 4- Optical Fibers. Coherence length of the low coherent light source determines the axial resolution of an OCT image. If the path length difference between signals that come back from the reference and the sample arm is more than coherence length, these signals do not interfere. The selection of center wavelength of the light source is important because some wavelengths are much absorbed by tissues decreasing the penetration depth. Also the ratio between the center wavelength and wavelength bandwidth must be selected properly because this ratio determines coherence length and image resolution. In Michelson Interferometer, the light beam from the light source is split into two at the beam splitter to obtain two beams that have equal phase. If the path length difference between signals that are reflected back from the reference and sample arms is less than coherence length, interference occurs. This interference signal's intensity is measured by detector. DP-FD-ODL at the reference arm of the Michelson Interferometer imposes a phase shift on the reference beam equal to the phase shift of the sample beam. DP-FD-ODL's operation is based on the time-shifting property of the Fourier Transform, i.e. , a linear phase ramp in the frequency domain corresponds to a delay in the time domain. Group path length difference determines the scanning depth-length. Group velocity determines frequency bandwidth of OCT signal and because of that it determines SNR and image quality. Phase velocity determines center frequency of OCT signal. In tissues other than the eye, optical scattering limits the image penetration depth to 2-3 mm. OCT can be adapted to endoscopical applications using fiber optics.

1. GİRİŞ:

1.1. Çalışmanın Amacı ve Giriş:

Bu çalışmanın amacı, OCT işaretinin benzetimini yaparak OCT 'de kullanılan ışık kaynağının ve Çift Geçişli Fourier Boyutu Optik Geciktirme Hattının (DP-FD-ODL) karakteristik özelliklerinin OCT işaretine olan etkilerini gözlemlemektir.

Optik uyum tomografisi (OCT), metallerde ve biyolojik dokularda mikron mertebesinde çözünürlük sağlayan bir görüntüleme teknolojisidir. OCT 'de 1µ ile 15µm arasında bir çözünürlük elde edilmektedir ve gerçek zamanlı görüntüleme yapılabilir.

OCT, ultrason 'un optik benzeridir, optik ekoları ölçerek görüntüleme yapar. OCT 'de kaynaktan gelen ışık demeti görüntülenecek olan dokuya yönlendirilir ve geri yansıyan veya geri saçılan ışığın gecikme süresi ve genliği girişim yöntemlerinden faydalanılarak eksensel olarak belirlenir. Şekil 1.2.1'de gösterildiği gibi doku taramakta ve hızlı ve başarılı eksensel taramalar gerçekleştirilmektedir. Sonuç iki boyutlu bir görüntüdür, bu metal veya doku içinden olan optik geri yansıma veya saçılmaları temsil eder. OCT uygulaması ilk önce retina üzerinde yapılmıştır. Retinada zayıf geri saçılmalar gerçekleşmektedir.([1]).

1.2. OCT ile Ultrason 'un Karşılaştırılması :

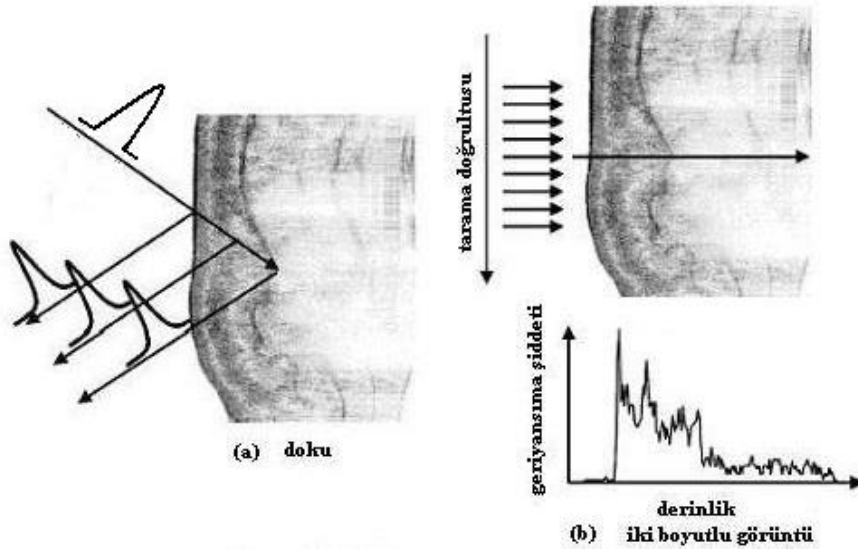
OCT, ultrason 'a benzerdir yalnızca OCT 'de ses yerine ışık kullanılır. OCT 'de geri yansıyan veya saçılan ışığın gecikme süresi ve şiddeti belirlenerek görüntüleme yapılır. Işık demeti veya ses demeti dokuya gönderildiğinde bu demet , farklı optik veya akustik özelliklere sahip olan doku içindeki yapılardan geri yansır veya saçılır. Böylece farklı derinlik ve konumdaki, farklı boyutlardaki yapılar görüntülenebilir.

Ultrason ile optik görüntüleme arasındaki birincil fark, ışık hızının sesten çok daha büyük oluşudur. Su içindeki ses hızı 1500m/s iken ışık hızı 3×10^8 m/s 'dir.

Ultrason 'da 100 μm 'lik çözünürlük ile mesafe veya boyut ölçümü zamanda 100ns 'lik çözünürlük gerektirir. Ultrason 'daki bu zaman çözünürlüğü elektronik detektörlerle karşılanabilir. Ultrason 'da ses dalgaları kullanıldığı için görüntülenecek olan doku ile doğrudan temas gerekir veya ses dalgalarının geçişini kolaylaştıracak bir ara madde (jel) kullanılır. OCT 'de ise doğrudan temasa veya ara maddeye gerek kalmadan görüntüleme yapılır. Ultrason 'dan farklı olarak OCT 'de zaman çözünürlüğü oldukça büyüktür. 10 μm 'lik bir çözünürlüğün OCT 'de zaman olarak karşılığı 30fs 'lik çözünürlüktür. Bu zaman çözünürlüğü doğrudan elektronik algılama ile karşılanamaz. Bu yüzden OCT 'deki gecikme süreleri girişim ölçümü kullanılarak veya geri yansıyan veya saçılan ışığın belli bir yol almış referans ışık sinyali ile karşılaştırılmasına dayanan ilinti teknikleri kullanılır.

Ultrason görüntülemesinde çözünürlük , ses dalgasının frekansına veya dalga boyuna doğrudan bağlıdır. Tipik klinik ultrason uygulamalarında ses dalga frekansı 10MHz civarındadır ve bu 150 μm lik çözünürlüğe karşılık gelir. Ultrason görüntülemesinin avantajı ; bu frekansa sahip ses dalgaları çok az zayıflamalarla doku içinde ilerleyebilir. Böylece vücut içinde birkaç 10cm 'lik derinlikli taramalar yapılarak ultrason ile görüntü elde edilebilir. Ultrason 'da laboratuvar çalışmalarında 100MHz 'lik ses dalgası ile 15-20 μm 'lik çözünürlüğe ulaşılabilmiştir. Fakat yüksek frekanslı ses dalgaları frekansla doğru orantılı olarak doku içinde oldukça büyük zayıflamaya uğramaktadır. Bu yüzden yüksek frekanslı çalışmada tarama derinliği birkaç mm 'lere kadar düşer.

Günümüzde kullanılan OCT görüntüleme teknolojileri 1 μm ile 15 μm arasında çözünürlüğe sahiptir. Bu da standart ultrason çözünürlüğünün 10 ile 100 katına karşılık gelir. OCT 'deki eksensel çözünürlük ışık kaynağının uyum uzunluğu tarafından belirlenir. Optik görüntülemenin birincil dezavantajı ışığın biyolojik dokuların büyük çoğunluğu tarafından çok fazla saçılmaya uğratılmasıdır. Bu da tarama derinliğini azaltmaktadır. Göz haricindeki dokularda tarama derinliği 2 ile 3 mm 'ye kadar düşer. Bu görüntüleme derinliği ultrason ile karşılaştırıldığında oldukça sığ kalır. Fakat birçok biyopsi çalışması için yeterli bir derinliktir. OCT, fiber optikler kullandığı için birçok görüntüleme cihazına uyarlanabilir. Vücut içindeki dokuların görüntülenmesinde kullanılabilir.([1])



Şekil 1.2.1 : Farklı pozisyonlardan gelen eko zaman gecikmeleri ölçümü ile OCT görüntülemesi. (a) Işığın dokudan geri saçılması. (b) Dokudan gelen geri saçılmaları temsil eden iki boyutlu görüntü.([1])

1.3. Düşük Faz Uyumu ile Girişim Ölçümü (LCI) :

Girişim ölçüm yöntemi ile algılama, geri yansıyan veya saçılan ışığın gecikme süresi ölçümü için güçlü bir yaklaşımdır. OCT, klasik optik ölçüm tekniği olan düşük faz uyumu ile girişim ölçümü (LCI) üzerine temellendirilmiştir.

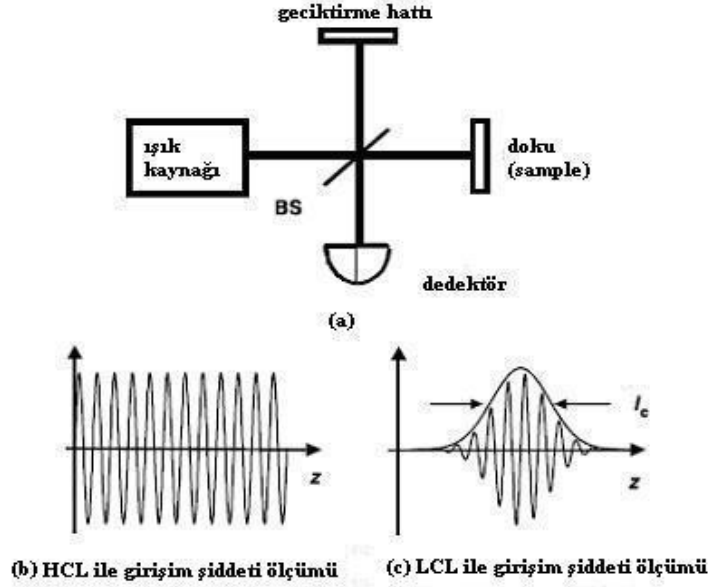
LCI , optik demetin şiddetinden çok alanını ölçer. Şekil 1.3.1 'de OCT 'de kullanılan basit bir Michelson Girişimölçeri (MI) gösterilmektedir. Başlangıç optik dalgası demet bölücüye (BS) gönderilir ve başlangıç demeti ikiye bölünür. Bu demetlerden biri referans demeti olarak diğeri ise ölçüm demeti olarak görev yapar. Bu demetler girişimölçerin iki kolunda verilen mesafeleri kat ederler. Referans demeti ' $E_R(t)$ ', referans aynadan geri yansır. Ölçüm demeti olan ' $E_S(t)$ ' ise görüntülenecek olan dokudan geri yansır. Daha sonra demetler demet bölücüde toplanıp girişime uğratılır. Girişimölçer çıkışı, referans koldaki referans aynadan yansıtılarak gelen elektromanyetik alan ile ölçüm kolundaki dokudan yansıtılarak (saçılarak) gelen elektromanyetik alanın toplamıdır. Girişimölçer çıkışındaki elektrik alan ;

$$E_0(t) \approx E_R(t) + E_S(t) \quad (1.3.1)$$

olur. Detektör, çıkış optik demetinin şiddetini ölçer. Bu elektromanyetik alanın karesi ile orantılıdır. Basit bir analiz için ölçüm kolundaki demetin doku içerisindeki bilinen tek bir noktadan (birden çok nokta yerine) yansıtılarak geri geldiği düşünölsün.

Referans demetin referans kolda aldığı yol ' l_R ' ise ve ölçüm kolundaki o bilinen noktadan yansıyan ölçüm demetinin aldığı yol ' l_S ' ise , girişimölçer çıkışındaki sinyalin şiddeti $\Delta l = l_R - l_S$ 'nin fonksiyonu olarak salınır (girişim etkilerinden dolayı). ' E_s ', ' E_r ' ve ' Δl ' 'nin fonksiyonu olarak şiddet şöyle verilebilir.

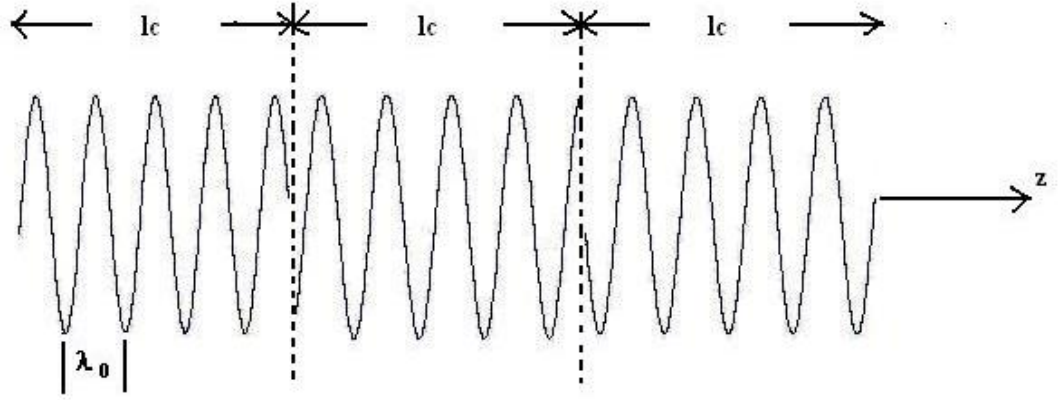
$$I_0(t) \approx (1/4)|E_r|^2 + (1/4)|E_s|^2 + (1/2)E_s E_r \cos\{2(2\pi/\lambda)\Delta l\} \quad (1.3.2)$$



Şekil 1.3.1: (a) Michelson Girişimölçeri (MI). (b) Yüksek uyum ışığı (HCL) ile elde edilen girişim şiddetinin değişimi. (c) Düşük uyum ışığı (LCL) ile elde edilen girişim şiddetinin değişimi.([1])

Şekil 1.3.1 'de gösterildiği gibi , girişimölçerin şiddet çıkışındaki girişim , bağıl yol uzunluklarının referans ayna taraması ile değiştirildiğinde gözlemlenecektir. Eğer ışık oldukça uyumlu bir yapıya sahip ise (dar bant genişliğine sahip) yani büyük bir uyum uzunluğuna sahip ise (HCL), Şekil 1.3.1. (b) 'de gösterildiği gibi referans ve ölçüm kolları arasındaki yol farkının büyük değerleri için bile girişim saçakları gözlenecektir. Fakat OCT uygulamalarında doku içindeki yapının derinliğinin ve boyutunun oldukça doğru bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir ve bundan dolayı düşük uyum uzunluklu (geniş bant genişliğine sahip) ışık (LCL) kullanılmaktadır. Düşük uyum ışığı (LCL) elektromanyetik alanların bileşiminden oluşan, fazında süreksizlikler olan bir işarettir. Yani uyum uzunluğu boyunca değişmeyen bir faza sahip , ama bir sonraki uyum uzunluğu boyunca bir öncekine göre farklı ve yine değişmeyen bir faza sahiptir. Uyum uzunluğu fazın değişmeden kalabilme uzunluğudur (Şekil 1.3.2). Işık tek bir dalga boyundan (veya frekanstan) değil de

birçok dalga boyu veya frekansın bileşiminden oluşur. LCL, uyum uzunluğu olarak bilinen ' l_c ' ile karakterize edilmektedir. Uyum uzunluğu, frekans bandı veya dalga boyu bandı genişliği ile ters orantılıdır.



Şekil 1.3.2: Kaynak İşareti

LCL kullanıldığında referans kolda referans demetin aldığı yol ile, ölçüm kolunda ölçüm demetinin aldığı yol arasındaki fark uyum uzunluğundan küçük olduğunda ancak ve ancak girişim gözlenebilir. Yani $\Delta l > l_c$ ise girişim gözlenmez. Eğer alınan yollar arasındaki fark uyum uzunluğundan büyük ise referans ve ölçüm kolundan gelen demetler arasında girişim gözlenmez. Girişimölçer ışığın alan özilintisini ölçer. Işığın uyum uzunluğu görüntü çözünürlüğünü belirler. Gecikme süresi referans aynanın pozisyonu değiştirilerek elde edilir.([1])

2. OCT ‘ de GÖRÜNTÜLEME :

2.1. Giriş:

OCT, video gibi görüntü alınmasını sağlar. Sistemde yüksek güçlü geniş bantlı LCL üreten bir kaynak , gerçek zamanlı görüntü sağlayan bir donanım kullanılmaktadır. Sistemin önemli bir ögesi de; referans kolda bulunan, Fourier dönüşümü darbe şekillendirilmesi üzerine temellendirilmiş yüksek hızlı tarama geciktirme hattıdır.

OCT, biyolojik dokuların görüntülenmesini sağlayan sağlığa zararsız bir teknolojidir. Cihaz ile doku arasında temas olmasına gerek yoktur. Üç boyutta uzaysal olarak 10µm ‘lik çözünürlük sağlar ve hassastır. OCT görüntüsü (B-taraması) birbirine bitişik alt derinlik taramalarından (A-taraması) oluşur. Michelson girişimölçerinin bir kolunda doku ve diğer kolunda ise optik geciktirme hattı vardır. OCT, alt tabaka doku morfolojisinin gerçek dokusal çözünürlüğe yakın görüntülenmesini sağlar. OCT ile yüksek hızlı çalışma için bazı teknolojilere ihtiyaç vardır ; 1- kısa zamanda yeterli aydınlatma sağlayan yüksek güçlü bir kaynak, 2- görüntü verilerini hızlı bir şekilde üretebilmek için referans kolda yüksek hızlı tarama geciktirme hattı (girişimölçerin referans kolunda).

Algılanan işaretin gürültüye oranı optik güç ile doğru, algılama bant genişliği ile ters orantılıdır.

$$SNR = \frac{\rho P_s R_s}{2eB} \quad (2.1.1)$$

Burada ' P_s ' örnek doku üzerine gönderilen güç, ' R_s ' örnek dokunun güç yansıtıcılığı, ' e ' elektron yükü ($e = 1.6 \times 10^{-19} \text{C}$), ' B ' algılama bant genişliği, ' ρ ' detektörün cevap verebilirliği ($\rho = \eta \lambda_0 e / h c$), ' η ' detektör kuantum verimi, ' λ_0 ' optik kaynağın merkez dalga boyu, ' h ' Planck sabiti ($h = 6.63 \times 10^{-34} \text{Js}$), ' c ' ışık hızıdır ($c = 3 \times 10^8 \text{m/s}$). OCT ‘de algılanan sinyalin bant genişliği ' Δf ', görüntü elde etme hızı ile doğru orantılıdır. Bu yüzden görüntü elde etme hızı artıkça, ' Δf ' bant genişliği de artacaktır. OCT işaretinin bandının tamamı algılanırken SNR 'ın

değişmeden kalmasını sağlamak için, görüntü elde etme hızındaki herhangi bir artışa eşdeğer oranda optik güç artışı eşlik etmelidir.

OCT 'nin referans kolundaki optik tarama geciktirme hattı hızlı görüntü elde etmek için gereklidir. A taramalarının süresi, örnek olarak saniyede 4 görüntü (B taraması) elde edilecekse ve bir görüntüde 250 tane A taraması var ise, gecikme hattı saniyede 1000 tarama yapmalıdır. Video görüntüsü için saniyede 30 görüntü, çerçeve başına 100 A taraması yani saniyede 3000 taramaya ihtiyaç vardır. Yeterli derinlikte doku görüntüsü elde edebilmek için taramalar yeterince uzun olmalıdır. Serbest uzayda 3mm 'lik tarama için, 1300nm merkez dalga boylu aydınlatmada (ışınlama, ışıma) tahmini olarak 10ps'lik bir gecikmeye karşılık gelir. Tarama doğrusal olmadığında, OCT işaretinin merkez frekansı ve frekans bant genişliği değişime uğrar. Burada uygulanan geciktirme hattı femto saniyelik darbelerin ölçümünü sağlayabilir ve OCT' de bu kullanılmaktadır. Bu geciktirme hattı birkaç mm 'lik tarama sağlar , ayrıca OCT işaretinin merkez frekansı ve bant genişliğinin kontrolünde etkili olan faz ve grup hızlarını birbirinden ayırabilmekte ve değişikliğe uğratabilmektedir. Bazı uygulamalarda ayrık adımlarla tarama yapılmaktadır. Gecikme hattındaki ayna sürekli olarak değil de ayrık adımlarla döndürülmektedir.

OCT görüntülemesinde eksensel çözünürlük ışık kaynağının uyum uzunluğu tarafından belirlenir. Uyum uzunluğu, girişimölçer tarafından üretilen alan özilintisinin genişliğidir. Alan özilintisinin zarfı güç spektrumunun Fourier dönüşümüne eşittir. Böylece özilinti fonksiyonunun genişliği veya eksensel çözünürlük, güç spektrumunun genişliği ile ters orantılıdır. Gauss spektral dağılımına sahip bir kaynak için eksensel çözünürlük ' Δz ' ise

$$\Delta z = \frac{2 \ln 2}{\pi} \frac{\lambda_0^2}{\Delta \lambda} = l_c \quad (2.1.2)$$

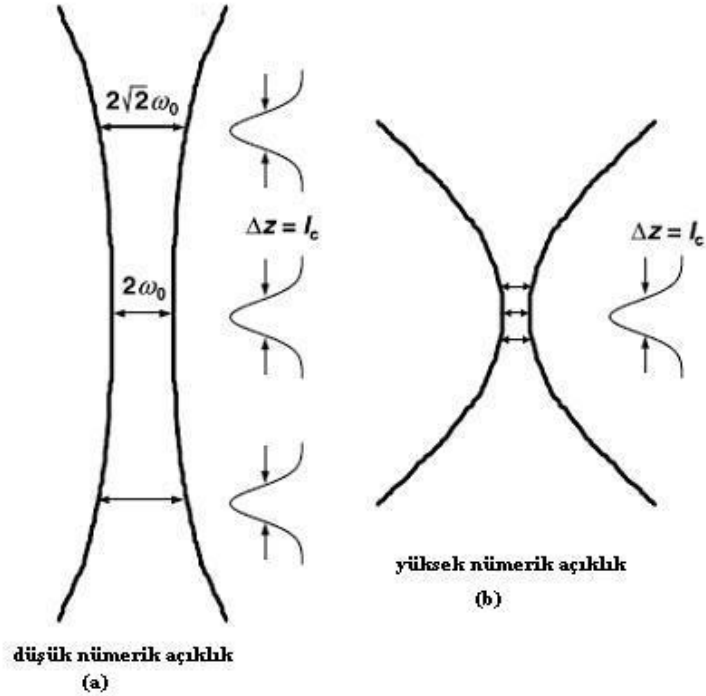
' Δz ', özilinti fonksiyonunun yarı genlikteki tam genişliğidir. ' $\Delta \lambda$ ', güç spektrumunun yarı genlikteki tam genişliğidir. ' λ_0 ', kaynağın merkez dalga boyudur. Eksensel çözünürlük ışık kaynağının bant genişliği ile ters orantılı olduğu için , geniş bant genişlikli optik kaynaklar yüksek çözünürlük elde etmek için gereklidir.

OCT 'de enine çözünürlük optik demetin kırınım limitli odaklaması ile belirlenir. Optik demetin odaklanabileceği nokta büyüklüğü (spot size) , nümerik açıklık veya demetin odak açısı ile ters orantılıdır.

Enine çözünürlüğü arttırmak için büyük nümerik açıklık ile, demet küçük bir noktaya odaklanabilir. Enine çözünürlük arttırıldığında odaklama derinliği azalır.

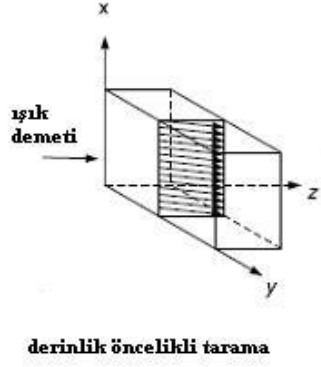
Şekil 2.1.1’de küçük ve büyük nümerik açıklıklar için odaklama şekilleri şematik olarak gösterilmektedir. OCT görüntülemesi küçük nümerik açıklık odaklaması ile gerçekleştirilmektedir. Böylece odaklama derinliği büyük tutulmaktadır.

OCT, görüntülemeye büyük bir hassaslık sağlar. Çünkü girişimölçer ışığın şiddetinden çok alanını ölçer. Bu etki girişimölçerin çıkış işaret şiddetini tanımlayan (1.3.2) numaralı eşitlikte görülebilir. Girişim terimi, referans koldan gelen elektrik alan ile dokudan geri yansıyan elektrik alanın çarpımıdır. Referans koldan gelen demetin genliği büyük olduğu için dokudan gelen zayıf elektrik alan, bu büyük alan ile çarpılmakta ve böylelikle girişim teriminin genliği artmaktadır. Bu yüzden Michelson girişimölçeri zayıf optik işaretler için kuvvetlendirme sağlar.([1,2])



Şekil 2.1.1:(a)Düşük nümerik açıklık ile ışık demeti odaklama yöntemi.(b) Yüksek nümerik açıklık ile ışık demeti odaklama yöntemi. Pek çok OCT uygulamasında düşük nümerik açıklık odaklaması kullanılmaktadır. (tarama derinliği $> l_c$) ([1]).

OCT ‘de görüntü elde etme (tarama) yöntemi Şekil 2.1.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1.2: OCT için görüntü oluşturma yöntemi. ([1]).

2.2. OCT ‘de Kullanılan Teknolojiler:

OCT ‘de yüksek hız ile görüntü elde edimi için çeşitli teknolojiler kullanılmaktadır; 1- Kısa zaman aralığında yeterli aydınlatma sağlayabilen, geniş bant genişlikli (kısa uyum uzunluğuna sahip) yüksek güçlü optik kaynak, 2- Görüntü verilerini hızlı bir şekilde üretmek amacı ile girişimölçerin referans kolunda yüksek hızlı tarama geciktirme hattı (Çift Geçişli Fourier Boyutu Optik Geciktirme Hattı), 3- Görüntü verisi elde edildikten sonra hızlı bir şekilde işlenip gerçek zamanlı olarak gösterilebilmelidir (fiber optik kablolar ve bilgisayar).([2])

2.2.1. Optik kaynak:

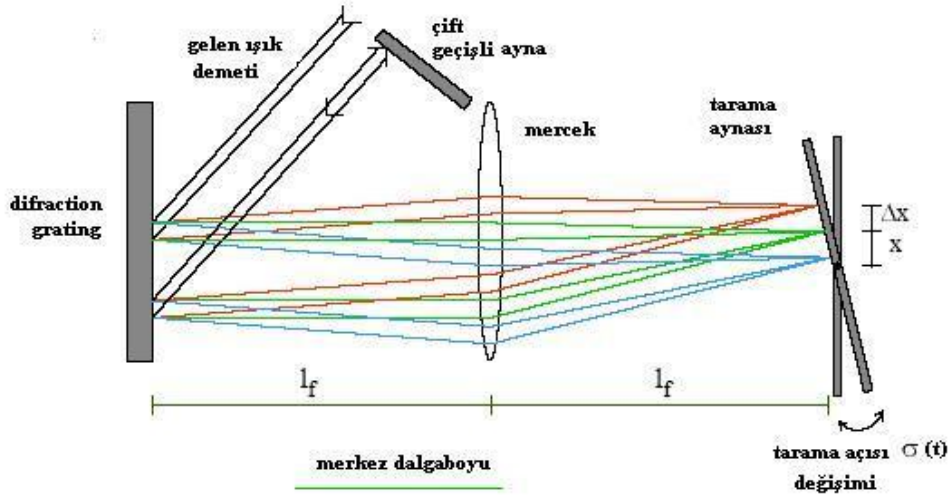
Optik kaynağın ürettiği dalga trenleri tek bir dalga boyundan değil de pek çok dalga boyunun bileşiminden oluşur. İşaretin güç spektrumu Gauss eğrisi ile temsil edilir. Kaynağın aynı fazlı işaret üretebilme uzunluğu, uyum uzunluğudur (l_c). Her l_c ‘den sonra işaretin fazı rastgele değişir.([2])

2.2.2. Çift Geçişli Fourier Boyutu Optik Geciktirme Hattı (DP-FD-ODL) :

DP-FD-ODL 'de gerçekleşen işlem Fourier Dönüşümünün zaman kaydırma özelliği üzerine temellendirilmiştir. Yani Fourier boyutunda işarete bindirilen doğrusal faz rampası zaman boyutunda gecikmeye karşı gelir.

$$x(t - t_0) \xrightarrow{FD} X(w)e^{-iwt_0}$$

DP-FD-ODL, kırınım ızgarası (grating), mercek ve döndürülebilir aynadan oluşur. DP-FD-ODL içerisinde Fraunhofer kırınımı gerçekleşir. Fraunhofer kırınımı, uzak alan kırınımı olarak bilinir. Hem ışık kaynağı hem de gözlem noktası kırınım ızgarasından yeterince uzak olmalıdır. Böylece hem kırınım ızgarasına hem de gözlem noktasına (aynaya) gelen dalgaların düz bir şekilde geldiği kabul edilir. Işık kaynağının uzakta olma durumu, ışık kaynağının pozitif merceğin odağına konulması ile gerçekleştirilir. Benzer olarak gözlem noktasının da sonsuzdaymış gibi olabilmesi için, kırınım ızgarasının diğer tarafında yine bir mercek kullanılır. Sıralama ; kaynak , 1.mercek , kırınım ızgarası , 2.mercek , döndürülebilir ayna.



Şekil 2.2.2.1:Çift Geçişli Fourier Boyutu Optik Geciktirme hattının şeması. Gelen geniş bantlı ışık kırınım ızgarasında kırınıma uğrar ve spektral olarak dağılmaya uğrar. Merceğe gelen dağılmış spektrum, mercekte paralelleştirilerek tarama aynası üzerine odaklanır. Tarama aynası bu dağılmış spektruma doğrusal bir faz rampası bindirerek merceğe geri yönlendirir. Mercek, ışığı tekrar paralelleştirir ve spektrumunu kırınım ızgarası üzerine yönlendirir. Kırınım ızgarasında kırınıma uğrayan ışık çift geçişli aynaya doğru ilerler (paralel ve dağılmamış bir şekilde). Çift geçişli ayna bilinen yoldan ışığı geri döndürür.([2])

2.2.3 DP-FD-ODL 'de Işığın İzlediği Yol :

Düzleştirilmiş demet, kırınım ızgarası üzerine gelir ve burada dağılmaya uğrar öyle ki ' λ_0 ' merkez dalga boyu bileşeni kırınım ızgarasının normali boyunca (optik eksen boyunca) ilerler. Mercek, kırınım ızgarasından gelen dağılmış ışığı düzleştirerek merceğin arka odağında bulunan döndürülebilir ayna üzerine gönderir. Ayna dönüş açısının oldukça küçük olduğu kabul edilir ve aynanın döndürülme noktası optik ekseninden ' x ' kadar mesafededir. Döndürülebilir ayna, demetin spektral bileşenlerine ilave edilecek bir faz rampası yaratır. Yani işaretin spektral bileşenlerine dönüş açısı ile artan bir faz bindirir. Küçük dönüş açıları için bu faz, dönüş açısı ile doğrusal olarak orantılıdır. Ayrıca ' x ' ile de doğru orantılıdır. Aynadan yansıyan dağılmış ışık mercek tarafından toplanarak kırınım ızgarası üzerine gönderilir. Kırınım ızgarası, dağılmış ışığı farklı faz ve grup gecikmeleri ile bir demet halinde (dağılmamış halde) çift geçişli aynaya gönderir. Çift geçişli ayna, bilinen yoldan ışığı tekrar geri döndürür.

En başta kırınım ızgarası üzerine gelen demetin geliş açısı öyle seçilir ki , kırınıma uğramış demetin merkez dalga boyu ' λ_0 ' kırınım ızgarası normali boyunca ilerler.

Burada amaç istenmeyen grup hızı dağılmasından kaçınmaktır.

Doku üzerinde görüntülenecek bir nokta referans olarak kabul edilirse; ışığın, demet bölücünden sonra doku kolunda bu referans noktaya gelmek için kat ettiği yol , yani demet bölücü ile bu referans nokta arasındaki yol farkı veya mesafe öyle ayarlanır ki ; referans koldaki ışığın aynanın düz olduğu durum için referans kolda aldığı yola eşit olsun. Yani referans kolda ayna düz iken alınan yol ' L_r ' ise ve doku kolunda belirlenen referans nokta için kat edilen yol ' L_s ' ise $L_r = L_s$ olmak zorundadır. Bu sağlandıktan sonra doku içindeki referans noktanın sağ ve solundaki noktaların taranması , aynanın düz konumdan sağa ve sola döndürülmesi ile gerçekleştirilir. $L_r \neq L_s$ durumu için doğru tarama yapılamaz. Aynanın düz olması açının sıfır olması demektir. Bu durum için doku ve referans koldaki işaretlerin fazları ; $\varphi_s(k) = 2kL_s$, $\varphi_r(k) = 2kL_r + \varphi(k)$, ayna düz iken $\varphi(k) = 0$ 'dır ve $\varphi_s(k) = \varphi_r(k)$ 'dır. Bu sağlandıktan sonra, aynanın döndürülmesi sonucu, ayna dönüş açısı ile doğru orantılı olarak demetin spektral bileşenlerine ilave edilecek bir faz rampası yaratılır. Buna faz kayması denir (' $\varphi(k)$ ', ' $\varphi(\lambda)$ ' veya ' $\varphi(w)$ ').

$$\varphi(\lambda) = \frac{8\pi x \sigma(t)}{\lambda} + m \frac{8\pi \sigma(t) l_f (\lambda - \lambda_0)}{p \lambda} \quad (2.2.3.1)$$

DP-FD-ODL şeklinde (Şekil 2.2.2.1) aynanın döndürülme noktası ile merkez dalga boyu ' λ_0 ' 'ın çarptığı nokta arasındaki mesafe farkı ' x ' 'tır. Buradaki ' $\sigma(t)$ ', aynanın dönüş açısının değişimini temsil eder (referans kabul edilmiş olan aynanın düz olma konumuna göre). ' l_f ', merceğin odak uzaklığını, ' p ' ise kırınım ızgarasındaki pitch 'i yani kırınım ızgarası üzerindeki yivler arasındaki mesafeyi temsil eder. ' m ', kırınım tipini gösterir (burada $m=1$ alınmaktadır). (2.2.3.1) eşitliği, kırınım ızgarası (grating) eşitliği kullanılarak ve ayna dönüş açısının çok küçük olması durumu için elde edilmiştir ($\tan|\gamma_0| \approx |\gamma_0|$). Burada ' λ ' dalga boyunun kat ettiği yol hesaplanmış ve bu $\frac{2\pi}{\lambda}$ ile çarpılarak faz kayması elde edilmiştir.

(2.2.3.1) eşitliği ile ifade edilen faz kayması açısal optik frekans olan ' w ' 'nın fonksiyonu olarak (2.2.3.2) eşitliğinde ifade edilmiştir.

$$\varphi(w) = \frac{4xw \sigma(t)}{c} - m \frac{8\pi \sigma(t) l_f (w - w_0)}{p w_0} \quad (2.2.3.2)$$

' w_0 ', merkez açısal optik frekanstır. Faz gecikmesi tanımı $t_\varphi = \frac{\varphi(w_0)}{w_0}$ ise

(veya $t_\varphi = \left(\frac{\varphi(k_0)}{k_0} \right) / c$ şeklinde de hesaplanabilir.)

$$t_\varphi = \frac{4x \sigma(t)}{c} \quad (2.2.3.3)$$

mesafe olarak faz gecikmesi veya faz yol farkı ($\Delta l_\varphi = \frac{\varphi(k_0)}{k_0}$)

$$\Delta l_\varphi = 4\sigma(t)x \quad (2.2.3.4)$$

Faz hızı, $V_\varphi = \frac{d\Delta l_\varphi}{dt}$ ise

$$V_\varphi = 4x \frac{d\sigma(t)}{dt} \quad (2.2.3.5)$$

Grup gecikme tanımı $t_g = \frac{\partial \varphi(w)}{\partial w}$ ise (veya $t_g = \left(\frac{\partial \varphi(k)}{\partial k} \right) / c$)

$$t_g = \frac{4x \sigma(t)}{c} - m \frac{4\sigma(t) l_f \lambda_0}{c p} \quad (2.2.3.6)$$

Buradan grup yol farkı (dalga grubunun aldığı ortalama yol $\Delta l_g = \left(\frac{\partial \varphi(k)}{\partial k} \right)$)

$$\Delta l_g = 4\sigma(t)x - m \frac{4\sigma(t)l_f \lambda_0}{p} \quad (2.2.3.7)$$

Grup hızı, $V_g = \frac{d\Delta l_g}{dt}$ ise

$$V_g = \left(4x - 4m \frac{l_f \lambda_0}{p} \right) \frac{d\sigma(t)}{dt} \quad (2.2.3.8)$$

Burada saat yönündeki ayna taramasının pozitif olduğu kabul edilmiştir. Grup yol farkı, faz yol farkına ilaveten bir terime sahiptir. Bu terim mercek, kırınım ızgarası ve ışık kaynağının özelliklerine bağlı bir fonksiyondur. Hem ' Δl_φ ' hem de ' Δl_g ' aynanın dönüş açısına bağlıdır. Yani açısal tarama bunların her ikisini de etkiler. Grup yol farkı, büyük tutularak aynanın küçük bir dönüşü ile büyük grup yol farkı taramaları yapılmaktadır. Yani tarama derinliği arttırılmaktadır. ([2,4])

2.3. OCT İşaretinin Frekans Spektrumu :

OCT işaretinin merkez frekansı ' f_0 ' ve frekans bant genişliği ' Δf ', optik kaynağın merkez dalga boyu ' λ_0 ' ve dalga boyu bant genişliği ' $\Delta \lambda$ ' ile DP-FD-ODL 'nin karakteristik özelliklerine bağlı olarak değişir. $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ yayılma sabitidir.

OCT işaretinin ' f_0 ' merkez frekansı, optik kaynak spektrumunun merkez terimlerine ve faz gecikmesinin tarama hızına bağlıdır.

' V_φ ', ' λ_0 ' merkez dalga boyuna geciktirme hattı tarafından yol bindirme hızı veya OCT işaretinin ' λ_0 ' merkez dalga boyu tarafından elde edilme hızı ya da ' λ_0 ' merkez dalga boyunun OCT işareti içerisindeki salınım hızı olarak tanımlanır. En güçlü dalga boyu bileşeni ' λ_0 ', OCT işaretinin en güçlü frekans bileşeni ' f_0 ' 'ı belirler. Bu durumda OCT işaretinin merkez frekansı;

$$f_0 = \frac{V_\varphi}{\lambda_0} \quad (2.3.1)$$

şeklinde hesaplanır.

Kaynak işareti pek çok dalga boyundan oluşan bir dalga grubu paketi olarak düşünüldüğünde ' V_g ' grup hızı bu dalga grubu paketine geciktirme hattı tarafından yol bindirme hızı veya OCT işaretinin bu dalga grubu paketi tarafından elde edilme hızı olarak tanımlanır. Dalga grubu paketi içerisindeki her dalga boyunun geciktirme hattı içerisinde aynı yolu aldığı düşünülmüştür, faz kaymasının türevi alınarak bu sağlanmıştır. OCT işaretinin frekans bant genişliği ' Δf ' ;

$$\Delta f = \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0} \right) V_g \quad (2.3.2)$$

(2.3.2) eşitliği; detektör cevabı (OCT işareti) 'nın bant genişliği hakkında, dalga boyu bant genişliği ' $\Delta \lambda$ ' 'ya bağlı olarak bilgi verir ve yaklaşık olarak;

$$\Delta f = \frac{\Delta \lambda V_g}{\lambda_0^2} \quad (2.3.3)$$

şeklinde hesaplanabilir. Eğer tarama doğrusal olarak yapılıyorsa, ' V_ϕ ' ve ' V_g ' sabit olurlar. Doğrusal olmayan taramada ise ' V_ϕ ' ve ' V_g ' zamanla değişen fonksiyonlardır.

Kaynak işaretinin spektrumu Gauss eğrisi olarak düşünüldüğünde; (2.1.1) ve (2.3.3) eşitliklerinden, OCT işaretinin sinyal bölü gürültü oranı;

$$SNR = \frac{\rho P_s R_s}{4e \Delta f} = \frac{\rho P_s R_s \lambda_0^2}{4e \Delta \lambda V_g}, (B = 2 \Delta f) \quad (2.3.4)$$

olur. Eğer OCT sinyalinin bant genişliği hızlı tarama yapılarak arttırılırsa, SNR 'ı sabit tutmak için kaynak gücü aynı oranda arttırılmalıdır.

(2.2.3.4) eşitliğinin zamana bağlı türevi alınıp , (2.3.1) eşitliği kullanılarak; DP-FD-ODL kullanarak yapılan OCT işaret ölçümünün merkez frekansı ;

$$f_0 = \frac{4x}{\lambda_0} \frac{\partial \sigma(t)}{\partial t} \quad (2.3.5)$$

olur.

Benzer şekilde (2.2.3.7) eşitliğinin zamana bağlı diferansiyeli alınarak ve (2.3.3) eşitliği kullanılarak; DP-FD-ODL ile elde edilen OCT işaretinin bant genişliği;

$$\Delta f = \frac{2 \Delta \lambda}{\lambda_0^2} \left(2x - m \frac{2l_f \lambda_0}{p} \right) \frac{\partial \sigma(t)}{\partial t} \quad (2.3.6)$$

olur.

$\sigma(t) = |\gamma_0| \times$ üçgen dalga 'dır. (üçgen dalganın frekansı $f_m = 25\text{Hz}$)

' $|\gamma_0|$ ', aynanın yapabileceği en büyük açıdır. Ayna doğrusal bir şekilde döndürüldüğünde, OCT işaretinin merkez frekansı ' f_0 ' ve bant genişliği ' Δf ' zamandan bağımsız hale getirilmektedir. Eğer ayna sinüzoidal olarak ($\sigma(t) = |\gamma_0| \times \sin(2\pi f_m t)$) hareket ettirilirse ' f_0 ' ve ' Δf ' zamana bağımlı olacaktır.

$\sigma(t) = |\gamma_0| \times \sin(2\pi f_m t)$ ise;

$$f_0(t) = \frac{4x}{\lambda_0} |\gamma_0| 2\pi f_m \cos(2\pi f_m t) \quad (2.3.7)$$

$$\Delta f(t) = \frac{2\Delta\lambda}{\lambda_0^2} \left(2x - m \frac{2l_f \lambda_0}{p} \right) |\gamma_0| 2\pi f_m \cos(2\pi f_m t) \quad (2.3.8)$$

$\sigma(t) = |\gamma_0| \times$ üçgen dalga işareti ise;

$$f_0 = \frac{4x}{\lambda_0} |\gamma_0| \times \text{turev} \quad (2.3.9)$$

$$\Delta f = \frac{2\Delta\lambda}{\lambda_0^2} \left(2x - m \frac{2l_f \lambda_0}{p} \right) |\gamma_0| \times \text{turev} \quad (2.3.10)$$

Burada ' turev ', üçgen dalga fonksiyonunun türevidir ($\text{turev} = 4 f_m$).

$$V_\varphi = 4x |\gamma_0| \times 4 f_m \quad (2.3.11)$$

$$V_g = \left(4x - m \frac{4l_f \lambda_0}{p} \right) |\gamma_0| \times 4 f_m \quad (2.3.12)$$

([2])

2.4. Teorik Yorumlar :

Faz gecikmesi ' t_φ ', merkez dalga boyu ' λ_0 ' 'ın (referans olan aynanın düz olma konumuna göre) geciktirme hattında uğradığı zaman gecikmesini ifade eder. Faz yol farkı ' Δl_φ ', merkez dalga boyu ' λ_0 ' 'ın (referans olan aynanın düz olma konumuna göre) geciktirme hattında aldığı yolu ifade eder. Faz hızı ' V_φ ', merkez dalga boyu ' λ_0 ' 'ın (referans olan aynanın düz olma konumuna göre) geciktirme hattındaki yol

alma hızı veya geciktirme hattı tarafından ' λ_0 ' 'a yol bindirme hızı olarak ifade edilebilir. Bu yüzden OCT işaretinin merkez frekansı ' f_0 ' ' belirlemek için ' V_ϕ ' kullanılır, ayna tarama hızı ile doğru orantılı olarak değişir.

Işık, pek çok dalga boyundan oluşan bir dalga grubu paketi şeklinde düşünülürse; grup gecikmesi ' t_g ', dalga paketinin (referans olan aynanın düz olma konumuna göre) geciktirme hattında uğradığı zaman gecikmesini ifade eder. Grup yol farkı ' Δl_g ', dalga paketinin (referans olan aynanın düz olma konumuna göre) geciktirme hattında aldığı yolu ifade eder. ' Δl_g ' dalga boyundan bağımsızdır yani dalga paketine katkıda bulunan her bir dalga boyu aynı yolu almaktadır. Fakat gerçekte, kaynak tarafından üretilen işarete katkıda bulunan her bir dalga boyu geciktirme hattında veya dokuda farklı yollar alır (referans olan aynanın düz olma konumuna göre geciktirme hattındaki bu yol= $\varphi(\lambda)/k$ 'dır yani dalga boyuna bağımlıdır). Grup hızı ' V_g ', dalga paketinin (referans olan aynanın düz olma konumuna göre) geciktirme hattındaki yol alma hızı veya geciktirme hattı tarafından dalga paketine yol bindirme hızı olarak ifade edilebilir. Ayrıca ' V_g ', OCT işaretinin elde edilme hızı olarak tanımlanabilir, dolayısıyla OCT görüntüsünün elde edilme hızını belirler. Bu yüzden OCT işaretinin frekans bant genişliği ' Δf ' 'i belirlemek için ' V_g ' kullanılır, ayna tarama hızı ile doğru orantılı olarak değişir.

DP-FD-ODL 'de oluşturulan faz kayması iki ayrı sebepten kaynaklanmaktadır. Birincisi, aynada oluşturulan faz kaymasıdır. Bu, faz kayması ifadesinin ilk terimine karşı gelir. İkincisi ise kırınım ızgarasında oluşturulan faz kaymasıdır. Bu da faz kayması ifadesinin ikinci kısmına tekabül eder.

Kırınım tipi $m = 0$ iken kırınım ızgarasından kaynaklanan bir faz kayması yoktur. Kırınım ızgarası bir ayna gibi davranır yani kırınım ızgarasına gelen işaret dağılmaya uğramaz. Faz kaymasının ikinci kısmı sıfırlanır. Grup hızı artar ve faz hızına eşit olur, OCT işaretinin frekans bant genişliği artar, SNR azalır, görüntü kalitesi düşer.

Kırınım tipi $m \neq 0$ olduğunda ise faz kaymasının ikinci kısmı ' m ' 'nin katları şeklinde ortaya çıkar. Grup hızı ile faz hızı arasında eşitlik bozulur ve grup hızındaki ikinci terim ortaya çıkar. Grup hızı azalır dolayısıyla frekans bant genişliği azalır.

$m = 0,1,2,3$ şeklinde arttırılabilir. Fraunhofer kırınımı sonucu ayna üzerinde oluşan girişim şiddet eğrisine bakıldığında (Şekil C.1) girişim şiddetinin (ayna üzerine gelen işaret miktarı), kırınım zarfı tarafından sınırlandırıldığı görülür. Yani girişim

maksimumlarının genlikleri (girişim şiddetleri) ' m ' değeri arttıkça azalmaktadır. Bunun anlamı; kırınım ızgarasına gelen işaretin kırınım ızgarası tarafından daha fazla dağılmaya uğratılması (Şekil C.2), ayna üzerine gelen ışık miktarının azalması yani geciktirme hattından çıkan işarete katkıda bulunan dalga boylarının sayısının azalmasıdır. Bu olumlu bir durumdur, çünkü dokuda da derinlik arttıkça dağılma ve soğurulmadan dolayı ve bazı dalga boyları (düşük güçlü dalga boyları) geri dönemez. Ayrıca dokuya gönderilen kaynak işareti içerisindeki her bir dalga boyu dokudaki dağılmadan dolayı farklı yollar almaktadır. Geciktirme hattındaki dağılma ile dokudaki gibi her bir dalga boyuna farklı yollar aldırılmaktadır, çünkü bir dalga boyu kendisinden farklı bir dalga boyu ile girişim göstermez. Geciktirme hattından gelen dalga boylarına dokudan gelenlerle eşit yollar aldırılıp, BS 'de işaretler arasında daha güçlü bir girişim ve dolayısıyla SNR 'ı artmış bir OCT işareti elde edilmeye çalışılmaktadır. Böylece ' m ' değerinin artışı ile OCT işaretinin frekans bant genişliği daraltılmış, SNR 'ı arttırılmış olur. Fakat ' m ' değerinin artışı ile ' Δl_g ' azalır ve dolayısıyla tarama derinliği azalır. Merkez (sıfırıncı) girişim maksimumu $m=0$ 'a, birinci prensipsel girişim maksimumu $m=1$ 'e , ikinci prensipsel girişim maksimumu $m=2$ 'ye . karşılık gelir.

Kırınım ızgarası, $m \neq 0$ değerleri için gelen ışık demetini dalga boylarına ayırmaktadır. Ek.C 'deki Şekil C.2 'de, görünür ışığın sürekli spektrumunun açılal yayılımı (dağılımı) görülmektedir. Ayrıca ' m ' değerinin artışı ile dağılmanın da arttığı görülür.

$m \neq 0$ değerleri için grup yol farkı azalmaktadır. Halbuki, grup yol farkı mümkün olduğunca büyük tutularak, aynı ' $|\gamma_0|$ ' ve ' x ' değerleri için tarama derinliği arttırılmak istenmektedir (veya aynı tarama derinliği için daha küçük ' $|\gamma_0|$ ' ve ' x ' değerleri kullanılarak ' Δf ' azaltılmakta ve dolayısı ile SNR arttırılmaktadır).

Sonuç olarak, görülmüştür ki $m=2$ veya $m=3$ alınmasının sakıncaları vardır. $m=0$ alındığında grup hızı faz hızına eşit olur yani ' Δf ' artar, kırınım ızgarası özelliğini kaybederek ayna gibi davranır (dağılma olmaz), bu durumda en mantıklı seçim $m=1$ alınmasıdır.

Pitch 'in, OCT işaretinin frekans bant genişliği ile ilişkisine bakılırsa ; Ek. C 'deki Şekil C.1 'e bakıldığında, ayna üzerine gelen işaret miktarının ' N^2 ' ile doğru orantılı olduğu görülmektedir. Burada ' N ', kırınım ızgarasındaki yiv sayısıdır. ' p ' kırınım

ızgarasındaki yivler arasındaki mesafeyi göstermektedir. Yani bir şekilde yiv periyodudur. Ayna üzerine gelen işaret miktarını arttırmak için, kırınım ızgarasındaki yiv sayısını (N) arttırmak yani yiv periyodu olan pitch (veya p) 'i azaltmak gerekir. Diğer bir deyişle; p ' arttıkça ayna üzerine gelen işaret miktarı azalır bu durumda SNR azalır. SNR 'ın azalması için Δf ' artmalı, Δf ' 'in artması için p ' artmalı. Sonuç: p ' artışı Δf ' 'i artırır, SNR 'ı azaltır (2.3.10 eşitliği). Ayrıca p ' artışı grup hızını artırır dolayısıyla Δf ' 'i artırır. Bunun nedeni kırınım ızgarası üzerine gelen ışığın kırınım ızgarasındaki yivler sayesinde aynaya yönlendirilmesidir. Pitch arttıkça ayna üzerine gelen işaret miktarı azalacak dolayısıyla taramaya katılan işaret miktarı azalacak ve sonuç olarak OCT işaretinin SNR 'ı azalacaktır.

Sonuç olarak p ' arttığında geciktirme hattından çıkan işaret zayıflamaktadır, Δf ' artar ve SNR azalır. $m \neq 0$ için; geciktirme hattından çıkan işarete katkıda bulunan merkez dalga boyu haricindeki güçsüz dalga boyları atılmakta, dokudakine benzer bir dağılma geciktirme hattında sağlanarak dokudan ve geciktirme hattından gelen dalga boyları arasında daha güçlü bir girişim sağlanmaktadır. Δf ' azalır ve SNR artar.

Küçük ayna açısı $|\gamma_0|$ ' ve x ' ile tarama yapıp görüntü oluşturulmak istenilmesinin sebebi OCT işaretinin sinyal bölü gürültü oranını (SNR) arttırmaktır.

Döndürülebilir ayna merceğin odağında bulunmaktadır. Fakat büyük ayna açıları $|\gamma_0|$ ' ve büyük x ' değerleri ile tarama yapıldığında merceğin odağından uzaklaşmış olur ve OCT işaretinin hem merkez frekansı hem de bant genişliği artar. Bu özellik, faz kayması ifadesinde ayna açısının çok küçük olduğu düşünülerek burada ihmal edilmiştir. Frekans bant genişliği ile SNR ters orantılı olduğu için büyük $|\gamma_0|$ ' ve x ' değerleri için SNR azalmaktadır. Yani görüntü kalitesi düşmektedir.

Sabit tarama süresi için $|\gamma_0|$ ' ve x ' artması demek ayna tarama hızının artması demektir çünkü sabit ayna tarama süresi ile daha büyük bir bölge taranmaktadır yani tarama hızı artmaktadır, dolayısıyla faz hızı ve grup hızı artar ve OCT işaretinin hem merkez frekansı hem de frekans bant genişliği artmaktadır. Ayrıca ayna tarama hızı arttıkça dalga boyu bileşenleri daha hızlı bir şekilde hareket eden aynaya çarparak geciktirme hattından çıkmaktadır oysa dokuya giden işaret neredeyse hareketsiz olan doku bileşenlerine çarparak geri döner. Bu yüzden daha kısa sürede OCT görüntüsü elde etmek amacı ile ayna tarama hızının artırılması görüntü kalitesine bozucu yönde etki yapar.

Burada kullanılan aynanın hareketini temsil eden üçgen dalga işareti için; aynanın, merceğin odağından uzaklaşması ile elde edilen OCT işaretlerinin ' f_0 ' ve ' Δf ' 'leri aynı olur yani sabittir. Fakat gerçekte; aynanın hareketi üçgen dalga ile temsil edildiğinde, ayna merceğin odağından uzaklaştıkça ortaya çıkan bozulma nedeni ile ' f_0 ' ve ' Δf ' artışı gözlenir. Pratikte gerçekleşen bu olayı teoriye uyarlamak için, aynanın referans konumdan uzaklaşması ile (merceğin odağından uzaklaşması ile) türevi sabit olan üçgen dalga yerine türevi giderek artan bir işaret ile ayna hareketi temsil edilmelidir.

' x ', ' l_f ' ve ' p ' değerleri öyle seçilmelidir ki; ' Δf ' negatife düşmemeli ve grup yol

$$\text{farkı mümkün olduğunca büyük olmalıdır.} (x > \frac{l_f \lambda_0}{p}, m=1)$$

Kırınım ızgarası üzerine gelen ışık demeti, dalga boylarına ayrılır. Yani dağılmaya uğrar. Bu dağılma kontrol edilemediği sürece OCT işaretine bozucu yönde etki yapar. Bazı uygulamalarda, doku içinde gerçekleşen ışık dağılmasına eşdeğer bir dağılmayı DP-FD-ODL 'de gerçekleştirmek amacı ile kırınım ızgarası, mercek odağından uzaklaştırılmakta ve döndürülmektedir.

' l_f ' azaldıkça grup hızı artmakta, ' Δf ' artmakta ve dolayısı ile SNR azalmaktadır.

' f_0 ' ve ' Δf ', ' λ_0 ' ile ters orantılı olarak değişir.

' λ_0 ' merkez dalga boyunun daima eksen boyunca hareket etmesi sağlanmaktadır.

Yani ' λ_0 ' 'ın aldığı yol veya ' λ_0 ' 'a geciktirme hattı tarafından bindirilen faz ' m ', ' l_f ', ' p ' parametrelerinin değişiminden etkilenmemektedir ve dolayısıyla OCT işaretinin merkez frekansı ' f_0 ' 'da ' m ', ' l_f ', ' p ' parametrelerinin değişiminden etkilenmemektedir.

Grup yol farkı ile frekans bant genişliği doğru orantılıdır, dolayısıyla tarama derinliği ile frekans bant genişliği doğru orantılıdır.

$x = 0$ için geciktirme hattı tarafından ' λ_0 ' 'a yol bindirilmemektedir, $V_\phi = 0$, $f_0 = 0$ olur. ' λ_0 ' 'ın OCT işaretine katkısı yoktur, dolayısıyla ' f_0 ' 'ın OCT işaretine katkısı sıfırdır. OCT işareti ' λ_0 ' haricindeki dalga boylarından oluşur ($V_g \neq 0$ için).

$V_g = 0$ için OCT işareti sadece ve sadece ' λ_0 ' tarafından oluşturulmaktadır. ' λ_0 ' haricindeki dalga boylarının OCT işaretine katkıları yoktur $\Delta f = 0$ olur ($V_\phi \neq 0$ için).

Faz kayması ifadesinin temel amacı; DP-FD-ODL 'da hareketini tamamlamış olan sinyalin farklı dalga boyu bileşenlerine aksettirilecek (ilave edilecek) fazı belirlemektir.

Faz kayması ifadesindeki ilk terim ayna hareketinden kaynaklanmaktadır. Ayna hareketi ile geciktirme hattındaki sinyale aksettirilecek faz kaymasını belirler.

Optik geciktirme hattında kırınım ızgarasındaki dağılmadan dolayı her bir dalga boyu ' λ_0 ' merkez dalga boyuna göre farklı yollar almaktadır ($m \neq 0$ için her bir dalga boyu ayna üzerinde farklı noktalara çarpmaktadır). Amaç her bir dalga boyunun optik geciktirme hattında tıpkı dokuda olduğu gibi farklı yollar alması ve dolayısıyla optik geciktirme hattından gelen ışık ile dokudan gelen ışık arasında daha güçlü bir girişim sağlanarak daha büyük bir SNR 'a daha küçük bir ' Δf ' 'e sahip OCT işareti elde etmektir. Bu durum faz kaymasında ikinci terimdeki $m(\lambda - \lambda_0)$ ifadesi ile sağlanmaktadır.

' λ_0 ' merkez dalga boyunun optik geciktirme hattında daima optik eksen boyunca hareket etmesi sağlanmaktadır yani ' λ_0 ' merkez dalga boyunun optik geciktirme hattında aldığı yol ' m ', ' l_f ', ' p ' parametrelerinin değişiminden bağımsızdır. Bu durum faz kaymasında ikinci terimdeki $(\lambda - \lambda_0)$ ifadesi ile sağlanmaktadır ($m \neq 0$ ve $\lambda = \lambda_0$ için faz kaymasındaki ikinci kısım sıfır olur).

' l_f ' mercek odak uzaklığı azaldıkça optik geciktirme hattında ışığın odaklanması zorlaşır, ' Δf ' artar SNR azalır. Bu doğrultuda ' l_f ', faz kayması ifadesinin ikinci kısmında paya yerleştirilmiştir.

' p ' yiv periyodu arttıkça ayna üzerine gelen (tarama işlemine katılan) işaret miktarı azalmakta dolayısıyla SNR azalmakta ve ' Δf ' artmaktadır. Bu doğrultuda ' p ' faz kayması ifadesinin ikinci kısmında paydaya yerleştirilmiştir.

Faz kayması ifadesinde $m = 0$ için faz kayması ifadesinin ikinci kısmı sıfırlanmaktadır (' l_f ' ve ' p ' 'in etkileri sıfırlanmaktadır). Ancak $m = 0$ olduğunda yani kırınım ızgarasında ışık dağılmaya uğramadığında, geciktirme hattındaki ışığın odaklanması ile ilgili ' l_f ' 'nin ve ayna üzerine gönderilen işaret miktarı ile ilgili ' p ' 'in ışık üzerindeki etkileri hala devam etmektedir. Bu eksikliğin giderilebilmesi için faz kaymasının ikinci kısmı ' m ' yerine $(m + ?)$ şeklinde bir ifade ile çarpılmalıdır, $0 < ? < 1$ olmalıdır. ([2,4,5])

3. PROGRAMLAMA :

3.1. Programlamada Kullanılan Mantık :

Burada, doku ve referans kolda yol alan işaretlerin güç spektrumlarının hiçbir şekilde değişime uğramadığı farz edilmektedir. İşaretler zaman boyutunda değil de uzay boyutunda ele alınmaktadır. Fourier dönüşümünün özelliğine göre ;

$$\begin{aligned} f(t) &\xrightarrow{F.D.} F(f) \\ f(z) &\xrightarrow{F.D.} F(k) \end{aligned} \quad (3.1.1)$$

dır.

Referans ve doku koluna giden işaretler ' $u_r^{bas}(z)$ ', ' $u_s^{bas}(z)$ ' ise bunların Fourier dönüşümleri ;

$$\begin{aligned} u_r^{bas}(z) &\xrightarrow{F.D.} U(k) \\ u_s^{bas}(z) &\xrightarrow{F.D.} U(k) \end{aligned} \quad (3.1.2)$$

dır.

Referans ve doku kolundan gelen işaretler ' $A_r u^{ref}(z)$ ', ' $A_s u^{saç}(z)$ ' ise bunların Fourier dönüşümleri;

$$\begin{aligned} A_r u^{ref}(z) &\xrightarrow{F.D.} A_r U(k) e^{-2k\delta_{z_r}} \\ A_s u^{saç}(z) &\xrightarrow{F.D.} A_s U(k) e^{-2k\delta_{z_s}} \end{aligned} \quad (3.1.3)$$

Buradaki 2 çarpanı, işaretlerin gidip geri dönmesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca aynanın düz konumu için ($\sigma(t)=0$) referans kolda alınan yolun, doku içindeki referans nokta için dokun kolunda alınan yola eşit olduğu kabul edilir ($L_r = L_s$). Bu eşitlikten dolayı bu yollar burada hesaba katılmamaktadır (zaten yapılmak istenilen yolları eşitlemek). Aynanın düz konumuna göre, aynanın döndürülmesi ile referans koldaki işarete bindirilen yol farkı ' $2\delta_{z_r}$ ' 'dir. Dokudaki referans noktaya göre, farklı konumlardaki noktalar için doku kolundaki işarete binen yol farkı ' $2\delta_{z_s}$ ' 'dir. $2k\delta_{z_r} = \varphi_r(k) + \varphi(k)$, dokuda referans olarak kabul edilen

sıfır noktasından l_c kadar uzaklıktaki nokta için $2k\delta_{z_s} = \varphi_s(k) + 2kl_c$ 'dir. Programlamada $\varphi_r(k) = \varphi_s(k)$ olduğu kabul edilir ve etkileri ihmal edilir. Bu durumda $2k\delta_{z_r} = \varphi(k)$, $2k\delta_{z_s} = 2kl_c$ olur.

$$\begin{aligned} e^{-2k\delta_{z_r}} &= A_r Y_r(k) \\ e^{-2k\delta_{z_s}} &= A_s Y_s(k) \end{aligned} \quad (3.1.4)$$

ise

$$\begin{aligned} A_r u^{ref}(z) &\xrightarrow{F.D.} U(k) Y_r(k) \\ A_s u^{sa\zeta}(z) &\xrightarrow{F.D.} U(k) Y_s(k) \end{aligned} \quad (3.1.5)$$

olur.

Girişim şiddeti ;

$$\begin{aligned} I_{det} &= \langle [A_r u^{ref}(z) + A_s u^{sa\zeta}(z)] \times [A_r u^{ref}(z) + A_s u^{sa\zeta}(z)]^* \rangle_z \\ &= \langle A_r u^{ref}(z) A_r u^{ref}(z)^* + \\ &\quad A_s u^{sa\zeta}(z) A_s u^{sa\zeta}(z)^* + \\ &\quad A_r u^{ref}(z) A_s u^{sa\zeta}(z)^* + \\ &\quad A_s u^{sa\zeta}(z) A_r u^{ref}(z)^* \rangle_z \end{aligned} \quad (3.1.6)$$

dir.

Parseval teoremine göre $\langle f(t) f(t)^* \rangle_t = \langle F(f) F(f)^* \rangle_f$ ve $S(f) = F(f) F(f)^*$ veya $\langle f(z) f(z)^* \rangle_z = \langle F(k) F(k)^* \rangle_k$ ve $S(k) = F(k) F(k)^*$ 'dir.

Bu durumda

$$\begin{aligned} I_{det} &= \langle U(k) Y_r(k) U(k)^* Y_r(k)^* + U(k) Y_s(k) U(k)^* Y_s(k)^* + \\ &\quad U(k) Y_r(k) U(k)^* Y_s(k)^* + U(k) Y_s(k) U(k)^* Y_r(k)^* \rangle_k \\ &= \langle A_r^2 U(k) U(k)^* + A_s^2 U(k) U(k)^* + \\ &\quad U(k) U(k)^* Y_r(k) Y_s(k)^* + U(k) U(k)^* Y_s(k) Y_r(k)^* \rangle_k \\ &= \langle U(k) U(k)^* [A_r^2 + A_s^2 + Y_r(k) Y_s(k)^* + Y_s(k) Y_r(k)^*] \rangle_k \\ &= \langle S(k) [A_r^2 + A_s^2 + Y_r(k) Y_s(k)^* + Y_s(k) Y_r(k)^*] \rangle_k \end{aligned} \quad (3.1.7)$$

Burada 'S(k)' kaynak işaretinin spektral güç yoğunluğudur.

OCT işaretindeki belirleyici kısım;

$$I_{oct} = \langle S(k) [Y_r(k) Y_s(k)^* + Y_s(k) Y_r(k)^*] \rangle_k \quad (3.1.8)$$

dir.

$$\rho(k) = [Y_r(k) Y_s(k)^* + Y_s(k) Y_r(k)^*]$$

$$\rho(k) = A_r e^{-2\delta_{z_r}} A_s e^{2\delta_{z_s}} + A_s e^{-2\delta_{z_s}} A_r e^{2\delta_{z_r}} \quad (3.1.9)$$

ise

$$I_{oct}(\sigma(t)) = \int_{-\infty}^{\infty} S(k) \rho(k) dk \quad (3.1.10)$$

olur.

Yol farkı ile faz farkı arasındaki ilişki; faz farkı = $\frac{2\pi}{\lambda} \times \text{yol farkı} = k \times \text{yol farkı}$ ise;

$$\phi(k) = k \times 2\delta_{z_r}$$

ve

$$2\delta_{z_r} = \frac{\phi(k)}{k} \quad (3.1.11)$$

dır.

([3,4])

3.2. OCT’de Gerçekleşen Olayın Bilgisayar Programına Uyarlanması :

$$S(k) = A \exp\left[-\left(2\sqrt{\log 2} \left(\frac{k - k_0}{\Delta k}\right)\right)^2\right] \quad (3.2.1)$$

$$A = \frac{4\sqrt{\pi \log 2}}{\Delta k} \quad (3.2.2)$$

'S(k)', kaynak işaretinin güç spektrumunu temsil eder.

$$\sigma(t) = |\gamma_0| \times \text{üçgen dalga} \quad (3.2.3)$$

$$\text{üçgen dalga} = \text{turev}\left\{t - \left(\frac{2}{\text{turev}}\right) \text{floor}\left[\left(t + \frac{1}{\text{turev}}\right) / \left(\frac{2}{\text{turev}}\right)\right]\right\} (-1)^{\text{floor}\left[\left(t + \frac{1}{\text{turev}}\right) / \left(\frac{2}{\text{turev}}\right)\right]}$$

$$(\text{turev} = 4f_m) \quad (3.2.4)$$

$$2\delta_{z_r} = 4 \times \sigma(t) + 8\pi \sigma(t) \frac{l_f}{p} \left(\frac{1}{k} - \frac{1}{k_0}\right) \quad (3.2.5)$$

$$Y_r(k) = A_r e^{-2ki\delta_{z_r}} \quad (3.2.6)$$

$$Y_s(k) = A_s e^{-2ki\delta_{z_s}} \quad (3.2.7)$$

δ_{z_r} : referans koldaki işarete bindirilen yol farkıdır.

δ_{z_s} : doku kolundaki işarete binen yol farkı

$Y_r(k)$: referans koldan geri gelen işaretin genlik ve konum bilgisini temsil eder.

$Y_s(k)$: dokudan gelen (saçılan) işaretin genlik ve konum bilgisini temsil eder.

A_r : referans koldan geri gelen işaretin genliğidir.

A_s : dokudan geri gelen işaretin genliğidir.

Dokudan, l_c kadar aralıklarla geri saçılan işaretler olduğu düşünülürse

$$Y_s(k) = A_{s0} + A_{s1} e^{-2ki(l_c)} + A_{s2} e^{-2ki(2l_c)} + A_{s-2} e^{-2ki(-2l_c)} + A_{s-3} e^{-2ki(-3l_c)} \quad (3.2.8)$$

$$\rho(k) = [A_r Y_r(k) A_s Y_s(k)^* + Y_s(k) A_r Y_r(k)^*] \quad (3.2.9)$$

Sonuç olarak OCT çıkış işareti;

$$I_{oct}(\sigma(t)) = \int_{-\infty}^{\infty} S(k) \rho(k) dk \quad \text{'dır.} \quad (3.2.10)$$

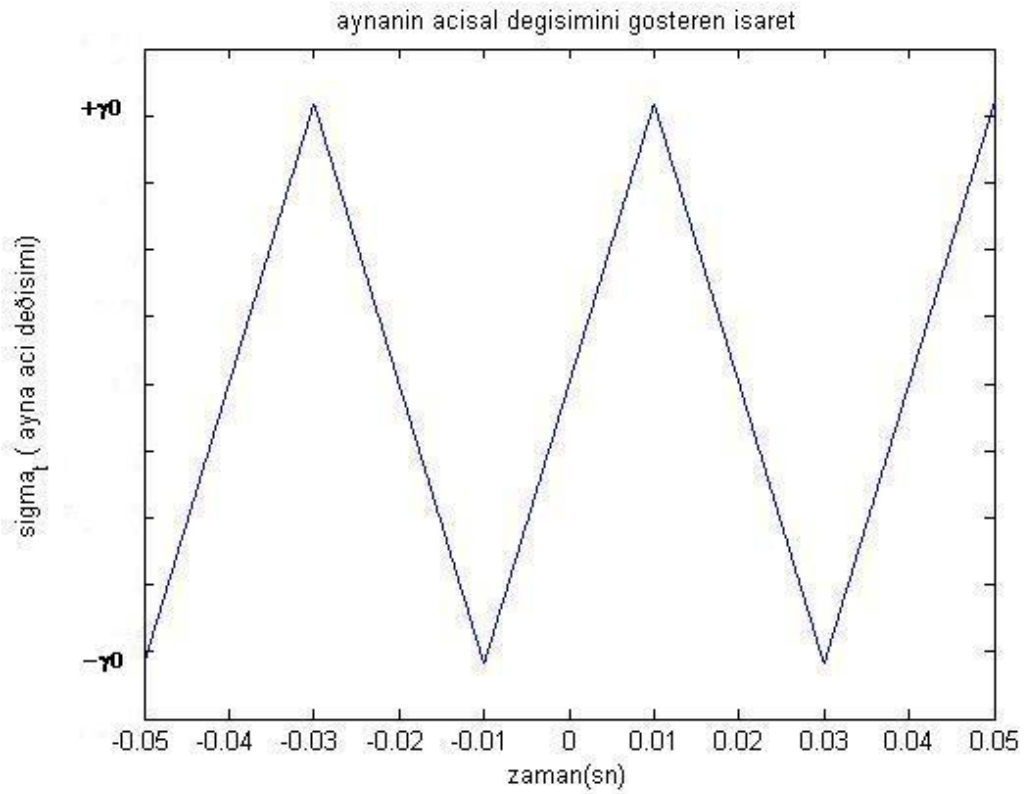
Burada ayna hareketini temsil eden ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonunun ifade edilme şekli çok önemlidir. Ayna ilk önce sağa sonra sola döner ve bu hareketi tekrarlar. Bu durumda ayna hareketinde bir periyodiklik söz konusudur. Ayna doğrusal olarak döndürüldüğü için ayna hareketi periyodik üçgen dalga ile temsil edilir.

' $\sigma(t)$ ' fonksiyonundaki zaman (' t ') sadece ve sadece aynanın bir tam dönüşünü tamamlama süresini ve dolayısıyla aynanın dönme hızını belirler. Yani aynanın referans konumu olan düz (dik $t=0$, $\sigma(0)=0$) konumuna göre yapılabilecek en büyük açı ' $|\gamma_0|$ ' ise ' t ' zaman değişimi, aynanın ' $-\gamma_0$ ' 'dan ' $+\gamma_0$ ' 'a olan tarama süresini belirler. Aynanın yapabileceği en büyük açı olan ' $|\gamma_0|$ ' zamandan bağımsız olmalıdır.

Aynanın tarama süresi ne kadar arttırılırsa arttırılsın, ayna ' $-\gamma_0$ ' ile ' $+\gamma_0$ ' en büyük açı değerleri aralığında tarama yapmalıdır. Bu olay ancak ve ancak periyodik üçgen dalga ile temsil edilebilir.

' $\sigma(t)$ ' fonksiyonunun eksi ve artıdaki en büyük genlikleri aynanın yapabileceği en büyük açılar olan ' $-\gamma_0$ ' ile ' $+\gamma_0$ ' değerlerini belirler. ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonunun periyodu (veya frekansı) ise aynanın tarama hızını (veya tarama süresini) belirler.

' $\sigma(t)$ ' fonksiyonunun frekansı ayna tarama hızını belirler. Hızlı ayna taramaları için ' $\sigma(t)$ ' 'nin frekansının arttırılması gerekir. Fakat frekans fazla arttırılmamalıdır çünkü frekans ne kadar çok arttırılırsa grup ve faz hızı o kadar çok artar ve OCT çıkış sinyalinin bant genişliği ve merkez frekansı artar. Bilindiği gibi işaret bölü gürültü oranı bant genişliği ile ters orantılıdır. Bu durumda ' Δf ' artışı SNR'ı düşürür. Yani ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonunun frekansının arttırılması (aynanın tarama hızının arttırılması) çıkış OCT işaretine bozucu yönde etki yapar.



Şekil 3.2.1: Aynanın açısai deðişimini temsil eden ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu. (program çıktısıdır.)

Bilgisayar programında yapılan işlemin doğruluğunu ölçmek için, elde edilen ' I_{oct} ' sinyalinin frekans spektrumu ile teoride elde edilen ' f_0 ' ve ' Δf ' ((2.3.9) (2.3.10) eşitlikleri) değerleri karşılaştırılmaktadır.

$$l_c = \frac{2 \ln 2}{\pi} \frac{\lambda_0^2}{\Delta \lambda} \quad (3.2.11)$$

([2,3,4,6])

3.3. Programlamada Kullanılan Değişkenlere İlişkin Değerler:

$$|\gamma_0| = 8.36 \text{ mrad}$$

$$f_m = 25 \text{ Hz}$$

$$\Delta\lambda = 110 \times 10^{-9} \text{ m}$$

$$\lambda_0 = 800 \times 10^{-9} \text{ m}$$

$$x = 3.7 \text{ mm}$$

$$l_f = 40 \text{ mm}$$

$$p = 10^{-5} \text{ m}$$

$$m = 1$$

$$([6])$$

4. BULGULAR VE TARTIŞMA:

4.1. Bulgular:

Programlar ile ilgili açıklamalar Ek.A 'da, program çıktıları Ek.B 'dedir.

4.2. Tartışma :

4.2.1. Program 1 'e Ait Bulguların Değerlendirilmesi:

4.2.1.1. ' $|\gamma_0|$ ', ' x ', ' p ', ' f_m ', ' l_f ', ' m ' Değişkenlerinin, OCT İşaretine Etkileri ve Değerlendirilmesi:

Burada, ' $|\gamma_0|$ ', ' x ', ' p ', ' f_m ', ' l_f ', ' m ' değişkenlerinin OCT işaretine olan etkileri değerlendirilmekte ve teori ile pratik (program çıktıları) karşılaştırılmaktadır.

Aynanın yapabileceği en büyük açı olan ' $|\gamma_0|$ ' değerinin arttırılması sonucu; aynanın daha büyük bir bölgeyi aynı tarama süresi ile taramasından dolayı ayna tarama hızı ve dolayısıyla faz ve grup hızları artmaktadır. Dolayısıyla OCT işaretinin merkez frekansı ' f_0 ' ve frekans bant genişliği ' Δf ', ' $|\gamma_0|$ ' ile doğrusal olarak artmaktadır (OCT işaretinin işaret bölü gürültü oranı azalmaktadır). Program çıktılarına bakıldığında ' f_0 ' ve ' Δf ' in, ' $|\gamma_0|$ ' artışı ile doğrusal olarak arttığı görülecektir. Yani teori ile pratik uyum içerisinde.

$|\gamma_0| = 8.36 \text{ mrad}$, $x = 3.7 \text{ mm}$, $\text{pitch} = 10^{-5} \text{ m}$, $f_m = 25 \text{ Hz}$, $l_f = 40 \text{ mm}$, $m = 1$, $\lambda_0 = 800 \text{ nm}$,
 $\Delta \lambda = 110 \text{ nm}$ için

teorik sonuçlar : $f_0 = 1.5466 \times 10^3 \text{ Hz}$, $\Delta f = 287.3750 \text{ Hz}$

program çıktıları : $f_0 = 1.5 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 300 \text{ Hz}$

$|\gamma_0| = 16.72 \text{ mrad}$, $x = 3.7 \text{ mm}$, $\text{pitch} = 10^{-5} \text{ m}$, $f_m = 25 \text{ Hz}$, $l_f = 40 \text{ mm}$, $m = 1$,
 $\lambda_0 = 800 \text{ nm}$, $\Delta\lambda = 110 \text{ nm}$ için

teorik sonuçlar : $f_0 = 3.0932 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 574.7500 \text{ Hz}$

program çıktıları : $f_0 = 3.0 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 600 \text{ Hz}$

$|\gamma_0| = 25.08 \text{ mrad}$, $x = 3.7 \text{ mm}$, $\text{pitch} = 10^{-5} \text{ m}$, $f_m = 25 \text{ Hz}$, $l_f = 40 \text{ mm}$, $m = 1$, $\lambda_0 = 800 \text{ nm}$,
 $\Delta\lambda = 110 \text{ nm}$ için

teorik sonuçlar : $f_0 = 4.6398 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 862.1250 \text{ Hz}$

program çıktıları : $f_0 = 4.5 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 900 \text{ Hz}$

Referans koldaki ışık demetinin merkez dalga boyu olan λ_0 'ın aynaya çarpma noktasının eksenden olan uzaklığı olan 'x' değerinin artırılması sonucu; aynanın daha büyük bir bölgeyi aynı tarama süresi ile taramasından dolayı ayna tarama hızı ve dolayısıyla faz ve grup hızları artmaktadır. Dolayısıyla OCT işaretinin merkez frekansı ' f_0 ' ve frekans bant genişliği ' Δf ', 'x' ile doğrusal olarak artmaktadır (OCT işaretinin işaret bölü gürültü oranı azalmaktadır). Program çıktılarına bakıldığında ' f_0 ' ve ' Δf ' 'in 'x' artışı ile doğrusal olarak arttığı görülecektir. Yani teori ile pratik uyum içerisinde dir.

$|\gamma_0| = 8.36 \text{ mrad}$, $x = 3.7 \text{ mm}$, $\text{pitch} = 10^{-5} \text{ m}$, $f_m = 25 \text{ Hz}$, $l_f = 40 \text{ mm}$, $m = 1$, $\lambda_0 = 800 \text{ nm}$,
 $\Delta\lambda = 110 \text{ nm}$ için

teorik sonuçlar : $f_0 = 1.5466 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 287.3750 \text{ Hz}$

program çıktıları : $f_0 = 1.5 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 300 \text{ Hz}$

$|\gamma_0| = 8.36 \text{ mrad}$, $x = 7.4 \text{ mm}$, $\text{pitch} = 10^{-5} \text{ m}$, $f_m = 25 \text{ Hz}$, $l_f = 40 \text{ mm}$, $m = 1$, $\lambda_0 = 800 \text{ nm}$,
 $\Delta\lambda = 110 \text{ nm}$ için

teorik sonuçlar : $f_0 = 3.0932 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 2.4139 \times 10^3 \text{ Hz}$

program çıktıları : $f_0 = 3.0 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 2.5 \times 10^3 \text{ Hz}$

$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}$, $x=11.1\text{mm}$, $\text{pitch}=10^{-5}\text{m}$, $f_m=25\text{Hz}$, $l_f=40\text{mm}$, $m=1$, $\lambda_0=800\text{nm}$,
 $\Delta\lambda=110\text{nm}$ için

teorik sonuçlar : $f_0 = 4.6398 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 4.5405 \times 10^3 \text{ Hz}$

program çıktıları : $f_0 = 4.5 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 5.0 \times 10^3 \text{ Hz}$

Kırınım ızgarasında yiv periyodu olarak bilinen pitch değerinin arttırılması sonucu, teoride OCT işaretinin işaret bölü gürültü oranının azaldığı bilinmektedir. Program çıktılarına bakıldığında pitch artışı ile OCT işaretinin frekans bant genişliği olan ' Δf ' 'in arttığı gözlenmektedir. Sinyal bölü gürültü oranı (SNR), ' Δf ' ile ters orantılı olduğu bilindiğine göre, ' Δf ' artışı SNR' ı azaltmalıdır. Sonuç olarak pitch artışı ' Δf ' 'i arttırır ve dolayısı ile SNR 'ı azaltır. Yani teori ile pratik uyum içerisinde. Pitch artışı grup hızını arttırır, faz hızını değiştirmez. Bu yüzden ' Δf ' artar ' f_0 ' değişmez.

$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}$, $x=3.7\text{mm}$, **pitch** $=10^{-5}\text{m}$, $f_m=25\text{Hz}$, $l_f=40\text{mm}$, $m=1$, $\lambda_0=800\text{nm}$,
 $\Delta\lambda=110\text{nm}$ için

teorik sonuçlar : $f_0 = 1.5466 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 287.3750 \text{ Hz}$

program çıktıları : $f_0 = 1.5 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 300 \text{ Hz}$

$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}$, $x=3.7\text{mm}$, **pitch** $=10^{-4}\text{m}$, $f_m=25\text{Hz}$, $l_f=40\text{mm}$, $m=1$, $\lambda_0=800\text{nm}$,
 $\Delta\lambda=110\text{nm}$ için

teorik sonuçlar : $f_0 = 1.5466 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 1.9427 \times 10^3 \text{ Hz}$

program çıktıları : $f_0 = 1.5 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 2.0 \times 10^3 \text{ Hz}$

$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}$, $x=3.7\text{mm}$, **pitch** $=5 \times 10^{-4}\text{m}$, $f_m=25\text{Hz}$, $l_f=40\text{mm}$, $m=1$,
 $\lambda_0=800\text{nm}$, $\Delta\lambda=110\text{nm}$ için

teorik sonuçlar : $f_0 = 1.5466 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 2.0898 \times 10^3 \text{ Hz}$

program çıktıları : $f_0 = 1.5 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 2.0 \times 10^3 \text{ Hz}$

Teoride, ' f_m ' değerinin artması ile doğru orantılı olarak hem faz hızı hem de grup hızı artmakta ve dolayısıyla OCT işaretinin merkez frekansı ' f_0 ' ve frekans bant genişliği ' Δf ' artmaktadır. Program çıktılarına bakıldığında ' f_0 ' ve ' Δf ' 'in ' f_m ' artışı ile doğrusal olarak arttığı görülecektir. Yani teori ile pratik uyum içerisinde. ' f_m ' değerinin artması demek aynanın tarama süresini azalması ve dolayısı ile tarama hızının artması demektir (' f_0 ' ve ' Δf ', ' f_m ' artışı ile doğrusal olarak artar). Yani görüntü elde etme hızının artması demektir. Görüntü elde etme hızı ile SNR ters orantılıdır. Bir derinlik taramasından (A taraması) diğerine geçilebilmesi için bir süre beklenmesi gerekir. A taramasının tamamlanabilmesi için belli bir eşik derinlik tarama süresi vardır (3mm 'lık doku taraması için yaklaşık olarak 10psn).

$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}$, $x=3.7\text{mm}$, $\text{pitch}=10^{-5}\text{ m}$, $f_m=25\text{Hz}$, $l_f=40\text{mm}$, $m=1$, $\lambda_0=800\text{nm}$, $\Delta\lambda=110\text{nm}$ için

teorik sonuçlar : $f_0 = 1.5466 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 287.3750 \text{ Hz}$

program çıktıları : $f_0 = 1.5 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 300 \text{ Hz}$

$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}$, $x=3.7\text{mm}$, $\text{pitch}=10^{-5}\text{ m}$, $f_m=50\text{Hz}$, $l_f=40\text{mm}$, $m=1$, $\lambda_0=800\text{nm}$, $\Delta\lambda=110\text{nm}$ için

teorik sonuçlar : $f_0 = 3.0932 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 574.7500 \text{ Hz}$

program çıktıları : $f_0 = 3.0 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = \text{yoruma açık}$

$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}$, $x=3.7\text{mm}$, $\text{pitch}=10^{-5}\text{ m}$, $f_m=100\text{Hz}$, $l_f=40\text{mm}$, $m=1$, $\lambda_0=800\text{nm}$, $\Delta\lambda=110\text{nm}$ için

teorik sonuçlar : $f_0 = 6.1864 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 1.1495 \times 10^3 \text{ Hz}$

program çıktıları : $f_0 = 6.0 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = \text{yoruma açık}$

' l_f ' mercek odak uzaklığının azalması faz hızını etkilemez grup hızını artırır ve dolayısıyla ' f_0 ' değişmez, ' Δf ' artar. Program çıktılarına bakıldığında, ' l_f ' 'nin azalması ile ' Δf ' 'in arttığı görülecektir. Teori ile pratik uyum içerisinde.

$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}$, $x=3.7\text{mm}$, $\text{pitch}=10^{-5}\text{ m}$, $f_m=25\text{Hz}$, $l_f=40\text{mm}$, $m=1$, $\lambda_0=800\text{nm}$,
 $\Delta\lambda=110\text{nm}$ için

teorik sonuçlar : $f_0 = 1.5466 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 287.3750 \text{ Hz}$

program çıktıları : $f_0 = 1.5 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 300 \text{ Hz}$

$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}$, $x=3.7\text{mm}$, $\text{pitch}=10^{-5}\text{ m}$, $f_m=25\text{Hz}$, $l_f=20\text{mm}$, $m=1$, $\lambda_0=800\text{nm}$,
 $\Delta\lambda=110\text{nm}$ için

teorik sonuçlar : $f_0 = 1.5466 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 1.2070 \times 10^3 \text{ Hz}$

program çıktıları : $f_0 = 1.5 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 1.1 \times 10^3 \text{ Hz}$

$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}$, $x=3.7\text{mm}$, $\text{pitch}=10^{-5}\text{ m}$, $f_m=25\text{Hz}$, $l_f=10\text{mm}$, $m=1$, $\lambda_0=800\text{nm}$,
 $\Delta\lambda=110\text{nm}$ için

teorik sonuçlar : $f_0 = 1.5466 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 1.6668 \times 10^3 \text{ Hz}$

program çıktıları : $f_0 = 1.5 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 1.5 \times 10^3 \text{ Hz}$

Optik geciktirme hattında kırınım tipi $m \neq 0$ için dağılma gerçekleştirilmektedir. Amaç; dokuda gerçekleşen ışık dağılmasına benzer bir dağılmayı optik geciktirme hattında gerçekleştirerek, dokuda olduğu gibi her bir dalga boyunun farklı yol almasını sağlayarak geciktirme hattından ve dokudan gelen ışık demetleri arasında daha güçlü bir girişim (daha fazla dalga boyunun girişimini) sağlamaktır. Böylece OCT işaretinin SNR oranı arttırılmaya çalışılmaktadır. Program çıktılarına bakıldığında, ' m ' değeri arttıkça OCT işaretinin frekans bant genişliği ' Δf ' 'in azaldığı ve dolayısıyla OCT işaretinin SNR oranının arttığı görülecektir.

$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}$, $x=3.7\text{mm}$, $\text{pitch}=10^{-5}\text{ m}$, $f_m=25\text{Hz}$, $l_f=10\text{mm}$, $m=1$, $\lambda_0=800\text{nm}$,
 $\Delta\lambda=110\text{nm}$ için

teorik sonuçlar : $f_0 = 1.5466 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 1.6668 \times 10^3 \text{ Hz}$

program çıktıları : $f_0 = 1.5 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 1.5 \times 10^3 \text{ Hz}$

$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}$, $x=3.7\text{mm}$, $\text{pitch}=10^{-5}\text{ m}$, $f_m=25\text{Hz}$, $l_f=10\text{mm}$, $m=2$, $\lambda_0=800\text{nm}$,
 $\Delta\lambda=110\text{nm}$ için

teorik sonuçlar : $f_0 = 1.5466 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 1.2070 \times 10^3 \text{ Hz}$

program çıktıları : $f_0 = 1.5 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 1.1 \times 10^3 \text{ Hz}$

$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}$, $x=3.7\text{mm}$, $\text{pitch}=10^{-5}\text{ m}$, $f_m=25\text{Hz}$, $l_f=10\text{mm}$, $m=3$, $\lambda_0=800\text{nm}$,
 $\Delta\lambda=110\text{nm}$ için

teorik sonuçlar : $f_0 = 1.5466 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 747.1750 \text{ Hz}$

program çıktıları : $f_0 = 1.5 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 800 \text{ Hz}$

Sonuç olarak ' $|\gamma_0|$ ', ' x ', ' pitch ', ' f_m ', ' l_f ', ' m ' değerlerinin, teoride OCT işaretine olan etkileri pratikte de gözlenmiştir.

Not: Bu bölüm ile ilgili program çıktıları Ek.B 'de B.1.1 'dedir.

4.2.1.2. ' $|\gamma_0|$ ', ' x ', ' p ', ' f_m ', ' l_f ', ' m ' Değişkenlerinin, ' Δz ' 'ye Etkileri ve Değerlendirilmesi :

Programlama ile elde edilen iki noktaya ait OCT işaretleri en fazla, maksimum genliklerinin yarı değerleri birbiri ile çıkışacak kadar birbirine yaklaştıklarında OCT görüntüsünde bir belirleyicilik sağlanabilir (daha fazla yaklaştıklarında belirleyicilik ortadan kalkar). Eksensel görüntü çözünürlüğü bu doğrultuda belirlenmektedir.

Eksensel görüntü çözünürlüğü ' Δz ', ' $|\gamma_0|$ ' 'nin artan değerleri için artmaktadır.
($l_c=2.5674 \times 10^{-6} \text{ m}$)

$|\gamma_0|=\mathbf{8.36mrad}$, $x=3.7\text{mm}$, $\text{pitch}=10^{-5}\text{ m}$, $f_m=25\text{Hz}$, $l_f=40\text{mm}$, $m=1$, $\lambda_0=800\text{nm}$,
 $\Delta\lambda=110\text{nm}$ için $f_0 = 1.5466 \times 10^3 \text{ Hz}$, $\Delta f = 287.3750 \text{ Hz}$

Eksensel görüntü çözünürlüğü yaklaşık olarak $0.8 l_c$ 'dir.

$|\gamma_0|=\mathbf{16.72mrad}$, $x=3.7\text{mm}$, $\text{pitch}=10^{-5}\text{ m}$, $f_m=25\text{Hz}$, $l_f=40\text{mm}$, $m=1$,
 $\lambda_0=800\text{nm}$, $\Delta\lambda=110\text{nm}$ için $f_0 = 3.0932 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 574.7500 \text{ Hz}$

Eksensel görüntü çözünürlüğü yaklaşık olarak $0.9 l_c$ 'dir.

$|\gamma_0|=\mathbf{25.08mrad}$, $x=3.7\text{mm}$, $\text{pitch}=10^{-5}\text{ m}$, $f_m=25\text{Hz}$, $l_f=40\text{mm}$, $m=1$, $\lambda_0=800\text{nm}$,
 $\Delta\lambda=110\text{nm}$ için $f_0 = 4.6398 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 862.1250\text{Hz}$

Eksensel görüntü çözünürlüğü yaklaşık olarak $1.0 l_c$ 'dir.

Eksensel görüntü çözünürlüğü ' Δz ', ' x ' 'in artan değerleri için artmaktadır.

$$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}, x=\mathbf{3.7mm}, \text{pitch}=10^{-5}\text{ m}, f_m=25\text{Hz}, l_f=40\text{mm}, m=1, \lambda_0=800\text{nm}, \\ \Delta\lambda=110\text{nm} \text{ için } f_0 = 1.5466 \times 10^4 \text{ Hz}, \Delta f = 287.3750 \text{ Hz}$$

Eksensel görüntü çözünürlüğü yaklaşık olarak $0.8 l_C$ 'dir.

$$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}, x=\mathbf{7.4mm}, \text{pitch}=10^{-5}\text{ m}, f_m=25\text{Hz}, l_f=40\text{mm}, m=1, \lambda_0=800\text{nm}, \\ \Delta\lambda=110\text{nm} \text{ için } f_0 = 3.0932 \times 10^4 \text{ Hz}, \Delta f = 2.4139 \times 10^3 \text{ Hz}$$

Eksensel görüntü çözünürlüğü yaklaşık olarak $1.6 l_C$ 'dir.

$$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}, x=\mathbf{11.1mm}, \text{pitch}=10^{-5}\text{ m}, f_m=25\text{Hz}, l_f=40\text{mm}, m=1, \lambda_0=800\text{nm}, \\ \Delta\lambda=110\text{nm} \text{ için } f_0 = 4.6398 \times 10^4 \text{ Hz}, \Delta f = 4.5405 \times 10^3 \text{ Hz}$$

Eksensel görüntü çözünürlüğü yaklaşık olarak $2.6 l_C$ 'dir.

Eksensel görüntü çözünürlüğü ' Δz ', ' p ' 'nin artan değerleri için artmaktadır.

$$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}, x=3.7\text{mm}, \mathbf{pitch=10^{-5}m}, f_m=25\text{Hz}, l_f=40\text{mm}, m=1, \lambda_0=800\text{nm}, \\ \Delta\lambda=110\text{nm} \text{ için } f_0 = 1.5466 \times 10^4 \text{ Hz}, \Delta f = 287.3750 \text{ Hz}$$

Eksensel görüntü çözünürlüğü yaklaşık olarak $0.8 l_C$ 'dir.

$$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}, x=3.7\text{mm}, \mathbf{pitch=10^{-4}m}, f_m=25\text{Hz}, l_f=40\text{mm}, m=1, \lambda_0=800\text{nm}, \\ \Delta\lambda=110\text{nm} \text{ için } f_0 = 1.5466 \times 10^4 \text{ Hz}, \Delta f = 1.9427 \times 10^3 \text{ Hz}$$

Eksensel görüntü çözünürlüğü yaklaşık olarak $1.0 l_C$ 'dir.

$$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}, x=3.7\text{mm}, \mathbf{pitch=5 \times 10^{-4}m}, f_m=25\text{Hz}, l_f=40\text{mm}, m=1, \\ \lambda_0=800\text{nm}, \Delta\lambda=110\text{nm} \text{ için } f_0 = 1.5466 \times 10^4 \text{ Hz}, \Delta f = 2.0898 \times 10^3 \text{ Hz}$$

Eksensel görüntü çözünürlüğü yaklaşık olarak $1.0 l_C$ 'dir.

Eksensel görüntü çözünürlüğü ' Δz ', ' f_m ' 'in artan değerleri için artmaktadır.

$$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}, x=3.7\text{mm}, \text{pitch}=10^{-5}\text{m}, f_m=\mathbf{25Hz}, l_f=40\text{mm}, m=1, \lambda_0=800\text{nm},$$

$$\Delta\lambda=110\text{nm} \text{ için } f_0 = 1.5466 \times 10^4 \text{ Hz}, \Delta f = 287.3750 \text{ Hz}$$

Eksensel görüntü çözünürlüğü yaklaşık olarak $0.8 l_C$ 'dir.

$$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}, x=3.7\text{mm}, \text{pitch}=10^{-5}\text{m}, f_m=\mathbf{50Hz}, l_f=40\text{mm}, m=1, \lambda_0=800\text{nm},$$

$$\Delta\lambda=110\text{nm} \text{ için } f_0 = 3.0932 \times 10^4 \text{ Hz}, \Delta f = 574.7500 \text{ Hz}$$

Eksensel görüntü çözünürlüğü yaklaşık olarak $0.9 l_C$ 'dir.

$$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}, x=3.7\text{mm}, \text{pitch}=10^{-5}\text{m}, f_m=\mathbf{100Hz}, l_f=40\text{mm}, m=1, \lambda_0=800\text{nm},$$

$$\Delta\lambda=110\text{nm} \text{ için } f_0 = 6.1864 \times 10^4 \text{ Hz}, \Delta f = 1.1495 \times 10^3 \text{ Hz}$$

Eksensel görüntü çözünürlüğü yaklaşık olarak $1.1 l_C$ 'dir.

Eksensel görüntü çözünürlüğü ' Δz ', ' l_f ' 'nin azalan değerleri için artmaktadır.

$$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}, x=3.7\text{mm}, \text{pitch}=10^{-5}\text{m}, f_m=25\text{Hz}, l_f=\mathbf{40mm}, m=1, \lambda_0=800\text{nm},$$

$$\Delta\lambda=110\text{nm} \text{ için } f_0 = 1.5466 \times 10^4 \text{ Hz}, \Delta f = 287.3750 \text{ Hz}$$

Eksensel görüntü çözünürlüğü yaklaşık olarak $0.8 l_C$ 'dir.

$$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}, x=3.7\text{mm}, \text{pitch}=10^{-5}\text{m}, f_m=25\text{Hz}, l_f=\mathbf{20mm}, m=1, \lambda_0=800\text{nm},$$

$$\Delta\lambda=110\text{nm} \text{ için } f_0 = 1.5466 \times 10^4 \text{ Hz}, \Delta f = 1.2070 \times 10^3 \text{ Hz}$$

Eksensel görüntü çözünürlüğü yaklaşık olarak $1.0 l_C$ 'dir.

$$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}, x=3.7\text{mm}, \text{pitch}=10^{-5}\text{m}, f_m=25\text{Hz}, l_f=\mathbf{10mm}, m=1, \lambda_0=800\text{nm},$$

$$\Delta\lambda=110\text{nm} \text{ için } f_0 = 1.5466 \times 10^4 \text{ Hz}, \Delta f = 1.6668 \times 10^3 \text{ Hz}$$

Eksensel görüntü çözünürlüğü yaklaşık olarak $1.1 l_C$ 'dir.

Eksensel görüntü çözünürlüğü ' Δz ', ' m ' 'nin artan değerleri için azalmaktadır.

$$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}, x=3.7\text{mm}, \text{pitch}=10^{-5} \text{ m}, f_m=25\text{Hz}, l_f=10\text{mm}, m=1, \lambda_0=800\text{nm}, \\ \Delta\lambda=110\text{nm} \text{ için } f_0 = 1.5466 \times 10^4 \text{ Hz}, \Delta f = 1.6668 \times 10^3 \text{ Hz}$$

Eksensel görüntü çözünürlüğü yaklaşık olarak $1.1 l_C$ 'dir.

$$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}, x=3.7\text{mm}, \text{pitch}=10^{-5} \text{ m}, f_m=25\text{Hz}, l_f=10\text{mm}, m=2, \lambda_0=800\text{nm}, \\ \Delta\lambda=110\text{nm} \text{ için } f_0 = 1.5466 \times 10^4 \text{ Hz}, \Delta f = 1.2070 \times 10^3 \text{ Hz}$$

Eksensel görüntü çözünürlüğü yaklaşık olarak $1.0 l_C$ 'dir.

$$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}, x=3.7\text{mm}, \text{pitch}=10^{-5} \text{ m}, f_m=25\text{Hz}, l_f=10\text{mm}, m=3, \lambda_0=800\text{nm}, \\ \Delta\lambda=110\text{nm} \text{ için } f_0 = 1.5466 \times 10^4 \text{ Hz}, \Delta f = 747.1750 \text{ Hz}$$

Eksensel görüntü çözünürlüğü yaklaşık olarak $0.9 l_C$ 'dir.

Sonuç olarak ' Δf ' ve ' f_0 ' artışı ile eksensel çözünürlük ' Δz ' artmaktadır.

Not: Bu bölüm ile ilgili program çıktıları Ek.B 'de B.1.2 'dedir.

4.2.1.3. ' V_φ ', ' V_g ' 'nin OCT İşaretine Etkileri ve Değerlendirilmesi:

$$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}, x=0\text{mm}, \text{pitch}=10^{-5}\text{m}, f_m=25\text{Hz}, l_f=40\text{mm}, m=1, \lambda_0=800\text{nm}, \\ \Delta\lambda=110\text{nm} \text{ için } (V_\varphi=0, V_g \neq 0)$$

$$\text{teorik sonuçlar : } f_0 = 0 \text{ Hz}, \Delta f = -1.8392 \times 10^3 \text{ Hz}$$

$$\text{program çıktıları : } f_0 = 0 \text{ Hz}, \Delta f = \text{yoruma açık}$$

$x=0\text{mm}$ alındığında, $V_\varphi=0$ olmaktadır. Yani ' V_φ ' 'nin dolayısıyla ' λ_0 ' 'ın OCT işareti üzerindeki etkisi sıfırlanmaktadır. OCT işaretine sadece ve sadece ' V_g ' etki etmektedir. ' λ_0 ' merkez dalga boyunun OCT işaretine katkısı sıfırdır bundan dolayı ' f_0 ' merkez frekansının OCT işaretine katkısı da sıfırdır. OCT işareti, ' λ_0 ' merkez dalga boyu haricindeki dalga boyları tarafından oluşturulmaktadır. OCT işaretine bakıldığında; sadece OCT işaretinin zarfı görülmektedir, içerisindeki dalgalanma kaybolmuştur. Bu durumda ' V_g ' OCT işaretinin zarfına ait bilgiyi temsil eder. OCT

işaretinin frekans spektrumuna bakıldığında, $V_\varphi=0$ 'dan dolayı merkez frekans ' f_0 ' 'ın sıfır olduğu görülecektir. Yani ' V_φ ' 'nin, OCT işaretinin merkez frekansı ' f_0 ' 'ı belirlediği bir kez daha ortaya çıkmıştır.

$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}$, $x=3.7\text{mm}$, $\text{pitch}=10^{-5}\text{m}$, $f_m=25\text{Hz}$, $l_f=3.7/80\text{m}$, $m=1$, $\lambda_0=800\text{nm}$, $\Delta\lambda=110\text{nm}$ için ($V_\varphi \neq 0$, $V_g = 0$)

teorik sonuçlar : $f_0 = 1.5466 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 2.4926 \times 10^{-13} \text{ Hz}$

program çıktıları : $f_0 = 1.5466 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 0 \text{ Hz}$

$l_f=3.7/80\text{m}$ alındığında $V_g=0$ olmaktadır. Yani ' V_g ' 'nin OCT işareti üzerindeki etkisi sıfırlanmaktadır. OCT işaretine sadece ve sadece ' V_φ ' etki etmektedir. OCT işareti sadece ve sadece ' λ_0 ' merkez dalga boyu tarafından oluşturulmaktadır, ' λ_0 ' haricindeki dalga boylarının OCT işaretine katkıları sıfırdır. OCT işaretine bakıldığında, OCT işaretinin zarfının artık olmadığı görülecektir yalnızca içerisindeki dalgalanma kalmıştır. Bu durumda ' V_φ ' OCT işaretinin içerisindeki dalgalanmaya ait bilgiyi temsil eder. OCT işaretinin frekans spektrumuna bakıldığında $V_g=0$ 'dan dolayı frekans bant genişliği ' Δf ' 'in yaklaşık olarak sıfır olduğu görülecektir. Yani ' V_g ' 'nin, OCT işaretinin frekans bant genişliği ' Δf ' 'i belirlediği bir kez daha ortaya çıkmıştır.

$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}$, $x=3.7\text{mm}$, $\text{pitch}=10^{-5}\text{m}$, $f_m=25\text{Hz}$, $l_f=40\text{mm}$, $m=0$, $\lambda_0=800\text{nm}$, $\Delta\lambda=110\text{nm}$ için ($V_g = V_\varphi$)

teorik sonuçlar : $f_0 = 1.5466 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 2.1266 \times 10^3 \text{ Hz}$

program çıktıları : $f_0 = 1.53 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 2.0 \times 10^3 \text{ Hz}$

Burada kırınım ızgarasının ayna gibi davranmasını sağlamak, yani kırınım ızgarasına gelen ışığın dağılmasını engellemek amacı ile $m=0$ alınmıştır. Program çıktılarına bakıldığında frekans bant genişliği ' Δf ' 'in arttığı gözlenmektedir. DP-FD-ODL 'de kırınım ızgarasının görevi; kaynak işaretinin dokuda uğradığı modülasyona benzer bir modülasyonu DP-FD-ODL 'de gerçekleştirmektir. Yani

dokudan ve DP-FD-ODL 'den gelen işaretleri özdeş yapmaktır. $m=0$ alındığında kırınım ızgarası bir ayna gibi davranır ve DP-FD-ODL 'de gerekli modülasyon gerçekleşmez. Bu yüzden OCT işaretinin frekans bant genişliği ' Δf ' artar ve dolayısıyla SNR azalır. Ayrıca $m=0$ için ' V_g ' artar dolayısıyla ' Δf ' artar.

Sonuç olarak; $V_\phi=0$ için OCT işaretinin merkez frekansı ' f_0 ' sıfır olur yani ' V_ϕ ' OCT işaretinin merkez frekansı ' f_0 ' 'a ait bilgiyi taşır, $V_g=0$ için OCT işaretinin frekans bant genişliği ' Δf ' sıfır olur yani ' V_g ' OCT işaretinin frekans bant genişliği ' Δf ' 'e ait bilgiyi taşır, $m=0$ için $V_g = V_\phi$ olur kırınım ızgarası ayna gibi davranır (üzerine gelen ışık demetini dağılmaya uğratmaz) ' Δf ' artar OCT işaretinin SNR 'ı azalır.

Not: Bu bölüm ile ilgili program çıktıları Ek.B 'de B.1.3 'tedir.

4.2.2. Program 2 'ye Ait Bulguların Değerlendirilmesi:

Program 2 'de, bir MR görüntüsünün orta kısmı doku olarak kabul edilmektedir. Bu dokuya ait derinlik taramaları (görüntü matrisindeki satırlar) yapılmakta ve bu derinlik taramaları birleştirilerek (matris) dokuya ait OCT görüntüsü elde edilmektedir.

Doku içerisinde ilerleyen ışığın, derinliğe bağlı olarak (satırlar boyunca) zayıfladığı görülecektir.

Bu program, günümüz teknolojisindeki sanal bellek boyutu yetersizliği sebebi ile çalıştırılmamaktadır. Doku olarak kabul edilen görüntü, derinliğe bağlı olarak soldurulmuştur. Burada amaç; OCT 'de, iki boyutlu görüntünün nasıl elde edileceğini ve dokuda ilerleyen işaretin uğradığı zayıflamanın görüntüye olan etkisini göstermektir (ışığın soldan geldiği farz edilmiştir).

Not: Bu bölüm ile ilgili program çıktıları Ek.B 'de B.2 'dedir.

4.2.3. Program 3 'e Ait Bulguların Değerlendirilmesi:

4.2.3.1. Eski ' $|\gamma_0|$ ', ' x ', ' p ', ' f_m ', ' l_f ', ' m ' Değerleri İçin Değerlendirme:

$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}$, $x=3.7\text{mm}$, $\text{pitch}=10^{-5}\text{m}$, $f_m=25\text{Hz}$, $l_f=40\text{mm}$, $m=1$, $\lambda_0=1300\text{nm}$,
 $\Delta\lambda=50\text{nm}$ için

teorik sonuçlar : $f_0 = 9.5175 \times 10^3 \text{ Hz}$, $\Delta f = -148.4024 \text{ Hz}$

Görüldüğü gibi ' Δf ' negatife düşmüştür. Bu yüzden bu sonuçlar yanlıştır. ' Δf ' pozitif olacak şekilde ' $|\gamma_0|$ ', ' x ', ' p ', ' f_m ', ' l_f ', ' m ' değerler yeniden ayarlanmalıdır.

4.2.3.2. Yeni ' $|\gamma_0|$ ', ' x ', ' p ', ' f_m ', ' l_f ', ' m ' Değerleri İçin Değerlendirme:

$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}$, $x=7.4\text{mm}$, $\text{pitch}=10^{-5}\text{m}$, $f_m=25\text{Hz}$, $l_f=40\text{mm}$, $m=1$, $\lambda_0=1300\text{nm}$,
 $\Delta\lambda=50\text{nm}$ için

teorik sonuçlar : $f_0 = 1.9035 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 217.6568 \text{ Hz}$

program çıktıları : $f_0 = 1.86 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = \text{yoruma açık}$

Görüldüğü gibi ' Δf ' artık pozitiftir. Yeni ' $|\gamma_0|$ ', ' x ', ' p ', ' f_m ', ' l_f ', ' m ' değerleri için program çıktıları ile teorik değerler (' f_0 ' ve ' Δf ') uyum içerisindedir.

4.2.3.3. Yeni Değerler ile ' Δz ' 'nin Belirlenmesi:

$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}$, $x=7.4\text{mm}$, $\text{pitch}=10^{-5}\text{m}$, $f_m=25\text{Hz}$, $l_f=40\text{mm}$, $m=1$, $\lambda_0=1300\text{nm}$,
 $\Delta\lambda=50\text{nm}$ için ($l_c=14.915 \times 10^{-6} \text{ m}$)

Eksensel görüntü çözünürlüğü yaklaşık olarak $1.0 l_c$ 'dir.

Not: Bu bölüm ile ilgili program çıktıları Ek.B 'de B.3 'tedir.

4.2.4. Program 4 'e Ait Bulguların Değerlendirilmesi:

4.2.4.1. Eski ' $|\gamma_0|$ ', ' x ', ' p ', ' f_m ', ' l_f ', ' m ' Değerleri İçin Değerlendirme:

$|\gamma_0| = 8.36 \text{ mrad}$, $x = 3.7 \text{ mm}$, $\text{pitch} = 10^{-5} \text{ m}$, $f_m = 25 \text{ Hz}$, $l_f = 40 \text{ mm}$, $m = 1$,
 $\lambda_0 = 1500 \text{ nm}$, $\Delta\lambda = 30 \text{ nm}$ için

teorik sonuçlar : $f_0 = 8.2485 \times 10^3 \text{ Hz}$, $\Delta f = -102.5493 \text{ Hz}$

Görüldüğü gibi ' Δf ' negatife düşmüştür. Bu yüzden bu sonuçlar yanlıştır. ' Δf ' pozitif olacak şekilde ' $|\gamma_0|$ ', ' x ', ' p ', ' f_m ', ' l_f ', ' m ' değerler yeniden ayarlanmalıdır.

4.2.4.2. Yeni ' $|\gamma_0|$ ', ' x ', ' p ', ' f_m ', ' l_f ', ' m ' Değerleri İçin Değerlendirme:

$|\gamma_0| = 16.72 \text{ mrad}$, $x = 7.4 \text{ mm}$, $\text{pitch} = 10^{-5} \text{ m}$, $f_m = 25 \text{ Hz}$, $l_f = 40 \text{ mm}$, $m = 1$,
 $\lambda_0 = 1500 \text{ nm}$, $\Delta\lambda = 30 \text{ nm}$ için

teorik sonuçlar : $f_0 = 3.2994 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 124.8427 \text{ Hz}$

program çıktıları : $f_0 = 3.29 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = \text{yoruma açık}$

Görüldüğü gibi ' Δf ' artık pozitiftir. Yeni ' $|\gamma_0|$ ', ' x ', ' p ', ' f_m ', ' l_f ', ' m ' değerleri için program çıktıları ile teorik değerler (' f_0 ' ve ' Δf ') uyum içerisindedir.

4.2.4.3. Yeni Değerler ile ' Δz ' 'nin Belirlenmesi

$|\gamma_0| = 16.72 \text{ mrad}$, $x = 7.4 \text{ mm}$, $\text{pitch} = 10^{-5} \text{ m}$, $f_m = 25 \text{ Hz}$, $l_f = 40 \text{ mm}$, $m = 1$,
 $\lambda_0 = 1500 \text{ nm}$, $\Delta\lambda = 30 \text{ nm}$ için ($l_c = 33.095 \times 10^{-6} \text{ m}$)

Eksensel görüntü çözünürlüğü yaklaşık olarak $0.8 l_c$ 'dir.

Not: Bu bölüm ile ilgili program çıktıları Ek.B 'de B.4 'tedir.

5. SONUÇ:

Aynanın yapabileceği en büyük açısı olan $|\gamma_0|$ ' değerinin artırılması sonucu; aynanın daha büyük bir bölgeyi aynı tarama süresi ile taramasından dolayı ayna tarama hızı ve dolayısıyla faz ve grup hızları artmaktadır. Dolayısıyla OCT işaretinin merkez frekansı f_0 ' ve frekans bant genişliği Δf ', $|\gamma_0|$ ' ile doğrusal olarak artmaktadır (OCT işaretinin işaret bölü gürültü oranı azalmaktadır). OCT işaretinin merkez frekansı f_0 ' ve frekans bant genişliği Δf ', $|\gamma_0|$ ' ile doğrusal olarak arttığı için eksensel görüntü çözünürlüğü Δz ', $|\gamma_0|$ ' 'nin artan değerleri için artmaktadır.

Referans koldaki ışık demetinin merkez dalga boyu olan λ_0 'ın aynaya çarpma noktasının eksenden olan uzaklığı olan x ' değerinin artırılması sonucu; aynanın daha büyük bir bölgeyi aynı tarama süresi ile taramasından dolayı ayna tarama hızı ve dolayısıyla faz ve grup hızları artmaktadır. Dolayısıyla OCT işaretinin merkez frekansı f_0 ' ve frekans bant genişliği Δf ', x ' artışı ile artmaktadır (OCT işaretinin işaret bölü gürültü oranı azalmaktadır). OCT işaretinin merkez frekansı f_0 ' ve frekans bant genişliği Δf ', x ' artışı ile arttığı için eksensel görüntü çözünürlüğü Δz ', x ' 'in artan değerleri için artmaktadır.

Kırınım ızgarasında yiv periyodu olarak bilinen pitch değerinin artırılması sonucu ayna üzerine gelen işaret miktarının azalması dolayısıyla OCT işaretinin işaret bölü gürültü oranının azalmaktadır (Δf ' artar). Sonuç olarak pitch artışı Δf ' 'i artırır ve dolayısı ile SNR 'ı azaltır. Pitch artışı grup hızını artırır, faz hızını değiştirmez. Bu yüzden Δf ' artar f_0 ' değişmez. Δf ' artışından dolayı eksensel görüntü çözünürlüğü Δz ', p ' 'nin artan değerleri için artmaktadır.

f_m ' değerinin artması ile doğru orantılı olarak hem faz hızı hem de grup hızı artmakta ve dolayısıyla OCT işaretinin merkez frekansı f_0 ' ve frekans bant genişliği

' Δf ' artmaktadır (SNR azalır). ' f_m ' değerinin artması demek aynanın tarama süresini azalması ve dolayısı ile tarama hızının artması demektir (' f_0 ' ve ' Δf ', ' f_m ' artışı ile doğrusal olarak artar). Yani görüntü elde etme hızının artması demektir. Görüntü elde etme hızı ile SNR ters orantılıdır. ' f_0 ' ve ' Δf ', ' f_m ' artışı ile doğrusal olarak arttığı için eksensel görüntü çözünürlüğü ' Δz ', ' f_m ' 'in artan değerleri için artmaktadır.

' l_f ' mercek odak uzaklığının azalması sonucu odaklama problemleri yaşanır, faz hızı etkilenmez grup hızı arttır ve dolayısıyla ' f_0 ' değişmez, ' Δf ' artar, SNR azalır. ' Δf ' arttığında SNR azaldığı için eksensel görüntü çözünürlüğü ' Δz ', ' l_f ' 'nin azalan değerleri için artmaktadır.

Optik geciktirme hattında kırınım tipi $m \neq 0$ için dağılma gerçekleştirilmektedir. Amaç; dokuda gerçekleşen ışık dağılmasına benzer bir dağılmayı optik geciktirme hattında gerçekleştirerek, dokuda olduğu gibi her bir dalga boyunun farklı yol almasını sağlayarak geciktirme hattından ve dokudan gelen ışık demetleri arasında daha güçlü bir girişim (daha fazla dalga boyunun girişimini) sağlamaktır. Böylece OCT işaretinin SNR oranı arttırılmaya çalışılmaktadır. Program çıktılarına bakıldığında, ' m ' değeri artıkça OCT işaretinin frekans bant genişliği ' Δf ' 'in azaldığı ve dolayısıyla OCT işaretinin SNR oranının arttığı görülecektir. ' Δf ' azaldığı içine eksensel görüntü çözünürlüğü ' Δz ', ' m ' 'nin artan değerleri için azalmaktadır.

Işık kaynağında üretilen ışığın ' λ_0 ' merkez dalga boyu bazı dokularda çok çabuk zayıflamakta ve tarama derinliğini azaltmaktadır, bu yüzden ' λ_0 ' seçimi çok önemlidir. Ayrıca; $\frac{\lambda_0^2}{\Delta \lambda}$ oranı uyum uzunluğu ' l_c ' 'yi ve dolayısıyla OCT işaretinin eksensel görüntü çözünürlüğünü doğrudan belirlediği için ' $\Delta \lambda$ ' dalga boyu bant genişliğinin seçimi de çok önemlidir.

KAYNAKLAR:

- [1] **James, G. F.**, 2003, Optical Coherence Tomography, by Marcel Dekker,DOI: 10.1081/E-EOE120009713
- [2] **Andrew, M. R., Manish, D. K., Siavash, Y., Rujchai, U., and Joseph, A. I.**, 1998, In vivo video rate optical coherence tomography, OPTICS EXPRES, Vol. 3, No.6
- [3] **Bruno, O. and Chaubell, J. ,** 2005, One-dimensional inverse scattering problem for optical coherence tomography, IOP Publishing Ltd.,doi:10.1088/0266-5611/21/2/006, Online at tacks.iop.org/IP/21/499
- [4] **Andrei, V. Z., Elwyn, D. J. S., and David, D. S.**, 2003,Delay and Dispersion Characteristics of a Frequency-Domain Optical Delay Line for Scanning Interferometry, Optical Society of America, Vol 20 No.2
- [5] **Frank, L. P., S.J., Leno, S. P.**, 1993, Introduction to Optics, Second Edition, Prentice-Hall International, Inc
- [6] **Çilesiz, İ.**, 2005, Kişisel Görüşme
- [7] **Jurgen, R. M. – Arendt, M.D.**, 1995, Introduction to Classical and Modern Optics, Fourth Edition, Prentice-Hall, Inc

- [8] **Julian, C. M.**, 2004, Low-Coherence Interferometric Imaging: Solution of the One-Dimensional Inverse Scattering Problem, In Partial Fullfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy, California Institute of Technology Pasadena, California
- [9] **James, G. F.**, 2001, Optical coherence tomography, C. R. Acad. Sci. Paris,t. 2, Serie 4
- [10] **Siavash, Y., Manish, D. K., and Joseoh, A. I.**, 1997, High resolution imaging of in vivo cardiac dynamics using color doppler optical coherence tomography, OPTICS EXPRESS, Vol. 1, No. 13
- [11] **Feldchtein, F. I., Gelikonov, G. V., Gelikonov, V. M., Kuranov, R. V., Sergeev, A. M., Gladkova, N. D. , Shakov, A. V., Shakova, N. M., Snopova, L.B., Terent'eva, A.B., Zagainova, E.V., Chumakov, Yu. P., Kuznetzova, I.A.**, 1998, Endoscopic applications of optical coherence tomography, OPTICS EXPRESS, Vol. 3, No. 6
- [12] **Francis, A. J., Harvey, E. W.**, 1976, Fundamentals of Optics, Fourth Edition, Mc Graw-Hill International Editions, Physics Series
- [13] **Born, M., Wolf, E.**, 1999, Principles of Optics, Seventh Edition, Cambridge University Press

EKLER:

Ek.A.

A.1. Programlara Ait Açıklamalar:

Not: Program kodları diskettedir.

A.1.1. Program 1'e Ait Açıklama:

A.1.1.1. Programda Yapılan İşlemler:

Program 1 'de ilk olarak; $|\gamma_0|$, x , p , f_m , l_f , m değişkenlerinin farklı değerleri için $\sigma(t)$ fonksiyonu çizdirilmekte, OCT işareti ve OCT işaretinin Fourier Spektrumu elde edilmektedir. ($\lambda_0=800\text{nm}$, $\Delta\lambda=110\text{nm}$)

Bu kısımda, doku içindeki tek bir noktadan (sıfırdaki referans nokta, $\Delta z_s = 0$) olan geri saçılma için OCT işareti elde edilmekte ve bu işaretin frekans spektrumu bulunmaktadır.

Not: Bu bölüm ile ilgili program çıktıları Ek.B 'de B.1.1 'dedir.

Program 1 'de ikinci olarak; $|\gamma_0|$, x , p , f_m , l_f , m değişkenlerinin farklı değerleri için eksensel görüntü çözünürlüğü Δz program çıktıları ile belirlenmektedir. ($\lambda_0=800\text{nm}$, $\Delta\lambda=110\text{nm}$) ($l_c=2.5674 \times 10^{-6} \text{ m}$)

Bu kısımda, doku içerisinde bulunan iki nokta arasındaki mesafe l_c 'nin katları şeklinde arttırılmakta ve elde edilen çıktılarına göre eksensel görüntü çözünürlüğü Δz belirlenmektedir. ($\Delta z_s \neq 0$, $Y_s(k) = A_{s-1} e^{-2ki(-l_c)} + A_{s1} e^{-2ki(l_c)}$)

Not: Bu bölüm ile ilgili program çıktıları Ek.B 'de B.1.2 'dedir.

Program 1' de üçüncü olarak; ilk aşamada ' V_{ϕ} ' 'yi sıfırlamak amacı ile $x=0\text{mm}$ alınmaktadır ve ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu çizdirilmekte, OCT işareti ve OCT işaretinin Fourier Spektrumu elde edilmektedir, ikinci aşamada ' V_g ' 'yi sıfırlamak amacı ile $l_f=3.7/80\text{m}$ alınmaktadır ve ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu çizdirilmekte, OCT işareti ve OCT işaretinin Fourier Spektrumu elde edilmektedir, üçüncü aşamada kırınım ızgarasının bir ayna gibi davranmasını sağlamak (dağılmayı sıfırlamak) amacı ile kırınım tipi $m=0$ alınmaktadır ve ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu çizdirilmekte, OCT işareti ve OCT işaretinin Fourier Spektrumu elde edilmektedir. ($\lambda_0=800\text{nm}$, $\Delta\lambda=110\text{nm}$)

Bu kısımda, doku içindeki tek bir noktadan (sıfırdaki referans nokta, $\Delta z_s = 0$) olan geri saçılma için OCT işareti elde edilmekte ve bu işaretin frekans spektrumu bulunmaktadır.

Not: Bu bölüm ile ilgili program çıktıları Ek.B 'de B.1.3 'tedir.

A.1.1.2. Program Algoritması:

- 1- ' $S(k)$ ', güç spektrumunun belirlenmesi
- 2- ' $\sigma(t)$ ' 'nin elde edilip örnekleme ve ekrana bastırılması
- 3- ' Δz_r ', (referans koldaki işarete bindirilen yol farkı) 'nin belirlenmesi
- 4- ' $\rho(k)$ ' 'nin belirlenmesi
- 5- ' I_{oct} ' işaretinin elde edilmesi ve ekrana bastırılması
- 6- ' I_{oct} ' işaretinin frekans spektrumunun elde edilip ekrana bastırılması

Burada ' $\sigma(t)$ ' 'nin zaman örnekleme anlama aynanın küçük adımlarla hareket ettirilmesidir.

A.1.2. Program 2 'ye Ait Açıklama:

A.1.2.1. Programda Yapılan İşlemler:

Bu programda bir MR görüntüsünün orta bölümü alınır ve doku olarak kabul edilir. Bu görüntünün satırları boyunca derinlik taramaları (A taraması) yapılır. Bu taramalar sonucunda elde edilen satır verileri birleştirilip iki boyutlu OCT görüntüsü (B taraması) elde edilmektedir. ($\lambda_0=800\text{nm}$, $\Delta\lambda=110\text{nm}$)

İki piksel arasındaki mesafenin ' l_c ' kadar olduğu düşünülmüştür. Yani derinlik taramasının çözünürlüğü ' l_c ' kadardır (Doku içinde görüntüsü alınacak noktalar arasındaki mesafe ' l_c ' kadardır). ($l_c=2.5674\times 10^{-6}\text{ m}$)

'veri' matrisi iki boyutlu bir matristir. Birinci boyutta dokudaki noktalardan gelen saçılmaların genlik bilgisi yer almaktadır (saçılmalara bağlı olarak derinlik arttıkça doku içinde ilerleyen işaret zayıflamaktadır). İkinci boyutta ise doku içindeki noktaların konum bilgileri yer almaktadır (ışığın soldan geldiği farz edilmiştir).

Doku tarama derinliğini arttırmak için ' $|\gamma_0|$ ' ve ' x ' değerleri arttırılmıştır.

Not: Bu bölüm ile ilgili program çıktıları Ek.B 'de B.2 'dedir.

A.1.2.2. Program Algoritması:

- 1- MR görüntüsünün ekrana bastırılması ('G1' matrisi)
- 2- MR görüntüsünün doku olarak kullanılacak orta kısmının alınıp bastırılması ('G' matrisi)
- 3-Dokudan olan geri saçılma genlik bilgilerinin, MR görüntüsündeki gri seviye şiddetlerine bağlı olarak belirlenmesi ve 'veri' matrisinin birinci boyutuna yüklenmesi
- 4- Geri saçılmaların konum bilgilerinin, 'veri' matrisinin ikinci boyutuna yüklenmesi
- 5- 'G' matrisindeki her bir satır için derinlik taraması yapılır
- 6- Satırlar (derinlik taramaları) birleştirilip iki boyutlu OCT görüntüsü elde edilir ve bastırılır ('Ioct_im' matrisi)

NOT: Bu program, mevcut bilgisayarlardaki sanal bellek boyutu yetersizliği sebebi ile çalıştırılamamaktadır.

A.1.3. Program 3'e Ait Açıklama:

A.1.3.1. Programda Yapılan İşlemler:

Program 3' te ilk olarak, ' $|\gamma_0|$ ', ' x ', ' p ', ' f_m ', ' l_f ', ' m ' değişkenlerinin eski değerleri için ($|\gamma_0|=8.36\text{mrad}$, $x=3.7\text{mm}$, $\text{pitch}=10^{-5}\text{m}$, $f_m=25\text{Hz}$, $l_f=40\text{mm}$, $m=1$) ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu çizdirilmekte, OCT işareti ve OCT işaretinin Fourier Spektrumu elde edilmektedir. ($\lambda_0=1300\text{nm}$, $\Delta\lambda=50\text{nm}$)

Bu kısımda, doku içindeki tek bir noktadan (sıfırdaki referans nokta, $\text{delta_}z_s = 0$) olan geri saçılma için OCT işareti elde edilmekte ve bu işaretin frekans spektrumu bulunmaktadır.

Program 3' te ikinci olarak, ' $|\gamma_0|$ ', ' x ', ' p ', ' f_m ', ' l_f ', ' m ' değişkenlerinin yeni değerleri için ($|\gamma_0|=8.36\text{mrad}$, $x=7.4\text{mm}$, $\text{pitch}=10^{-5}\text{m}$, $f_m=25\text{Hz}$, $l_f=40\text{mm}$, $m=1$) ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu çizdirilmekte, OCT işareti ve OCT işaretinin Fourier Spektrumu elde edilmektedir. ($\lambda_0=1300\text{nm}$, $\Delta\lambda=50\text{nm}$)

Bu kısımda, doku içindeki tek bir noktadan (sıfırdaki referans nokta, $\text{delta_}z_s = 0$) olan geri saçılma için OCT işareti elde edilmekte ve bu işaretin frekans spektrumu bulunmaktadır.

Program 3 'te üçüncü olarak, ' $|\gamma_0|$ ', ' x ', ' p ', ' f_m ', ' l_f ', ' m ' değişkenlerinin yeni değerleri için ($|\gamma_0|=8.36\text{mrad}$, $x=7.4\text{mm}$, $\text{pitch}=10^{-5}\text{m}$, $f_m=25\text{Hz}$, $l_f=40\text{mm}$, $m=1$) eksensel görüntü çözünürlüğü ' Δz ' program çıktıları ile belirlenmektedir. ($\lambda_0=1300\text{nm}$, $\Delta\lambda=50\text{nm}$) ($l_C=14.915 \times 10^{-6}\text{m}$)

Bu kısımda, doku içerisinde bulunan iki nokta arasındaki mesafe ' l_C ' 'nin katları şeklinde arttırılmakta ve elde edilen çıktılarına göre eksensel görüntü çözünürlüğü ' Δz ' belirlenmektedir. ($\text{delta_}z_s \neq 0$, $Y_s(k) = A_{s-1} e^{-2ki(-l_C)} + A_{s1} e^{-2ki(l_C)}$)

Not: Bu bölüm ile ilgili program çıktıları Ek.B 'de B.3 'tedir.

A.1.3.2. Program Algoritması:

- 1- ' $S(k)$ ', güç spektrumunun belirlenmesi
 - 2- ' $\sigma(t)$ ' 'nin elde edilip örneklenmesi ve ekrana bastırılması
 - 3- ' δz_r ', (referans koldaki işarete bindirilen yol farkı) 'nin belirlenmesi
 - 4- ' $\rho(k)$ ' 'nın belirlenmesi
 - 5- ' I_{oct} ' işaretinin elde edilmesi ve ekrana bastırılması
 - 6- ' I_{oct} ' işaretinin frekans spektrumunun elde edilip ekrana bastırılması
- Burada ' $\sigma(t)$ ' 'nin zaman örnekleme anlama aynanın küçük adımlarla hareket ettirilmesi.

A.1.4. Program 4'e Ait Açıklama:

A.1.4.1. Programda Yapılan İşlemler:

Program 4' te ilk olarak, ' $|\gamma_0|$ ', ' x ', ' p ', ' f_m ', ' l_f ', ' m ' değişkenlerinin eski değerleri için ($|\gamma_0|=8.36\text{mrad}$, $x=3.7\text{mm}$, $\text{pitch}=10^{-5}\text{m}$, $f_m=25\text{Hz}$, $l_f=40\text{mm}$, $m=1$) ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu çizdirilmekte, OCT işareti ve OCT işaretinin Fourier Spektrumu elde edilmektedir. ($\lambda_0=1500\text{nm}$, $\Delta\lambda=30\text{nm}$)

Bu kısımda, doku içindeki tek bir noktadan (sıfırdaki referans nokta, $\delta z_s = 0$) olan geri saçılma için OCT işareti elde edilmekte ve bu işaretin frekans spektrumu bulunmaktadır.

Program 4' te ikinci olarak, ' $|\gamma_0|$ ', ' x ', ' p ', ' f_m ', ' l_f ', ' m ' değişkenlerinin yeni değerleri için ($|\gamma_0|=16.72\text{mrad}$, $x=7.4\text{mm}$, $\text{pitch}=10^{-5}\text{m}$, $f_m=25\text{Hz}$, $l_f=40\text{mm}$, $m=1$) ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu çizdirilmekte, OCT işareti ve OCT işaretinin Fourier Spektrumu elde edilmektedir. ($\lambda_0=1500\text{nm}$, $\Delta\lambda=30\text{nm}$)

Bu kısımda, doku içindeki tek bir noktadan (sıfırdaki referans nokta, $\delta z_s = 0$) olan geri saçılma için OCT işareti elde edilmekte ve bu işaretin frekans spektrumu bulunmaktadır.

Program 4 'te üçüncü olarak, ' $|\gamma_0|$ ', ' x ', ' p ', ' f_m ', ' l_f ', ' m ' değişkenlerinin yeni değerleri için ($|\gamma_0|$ =**16.72mrad**, x =**7.4mm**, $pitch = 10^{-5}m$, f_m =25Hz, l_f =40mm, $m=1$) eksensel görüntü çözünürlüğü ' Δz ' program çıktıları ile belirlenmektedir. (λ_0 =1500nm, $\Delta\lambda$ =30nm) (l_C = $33.095 \times 10^{-6} m$)

Bu kısımda, doku içerisinde bulunan iki nokta arasındaki mesafe ' l_C ' 'nin katları şeklinde arttırılmakta ve elde edilen çıktıları göre eksensel görüntü çözünürlüğü ' Δz ' belirlenmektedir. ($\Delta z \neq 0$, $Y_s(k) = A_{s-1} e^{-2ki(-l_C)} + A_{s1} e^{-2ki(l_C)}$)

Not: Bu bölüm ile ilgili program çıktıları Ek.B 'de B.4 'tedir.

A.1.4.2. Program Algoritması:

- 1- ' $S(k)$ ', güç spektrumunun belirlenmesi
- 2- ' $\sigma(t)$ ' 'nin elde edilip örnekleme ve ekrana bastırılması
- 3- ' Δz ', (referans koldaki işarete bindirilen yol farkı) 'nin belirlenmesi
- 4- ' $\rho(k)$ ' 'nin belirlenmesi
- 5- ' I_{oct} ' işaretinin elde edilmesi ve ekrana bastırılması
- 6- ' I_{oct} ' işaretinin frekans spektrumunun elde edilip ekrana bastırılması

Burada ' $\sigma(t)$ ' 'nin zaman örnekleme anlama aynanın küçük adımlarla hareket ettirilmesidir.

A.1.5. Program 5'e Ait Açıklama:

A.1.5.1. λ_0 =800nm, $\Delta\lambda$ =110nm İçin Işık Kaynağının Güç Spektrumunun Elde Edilmesi :

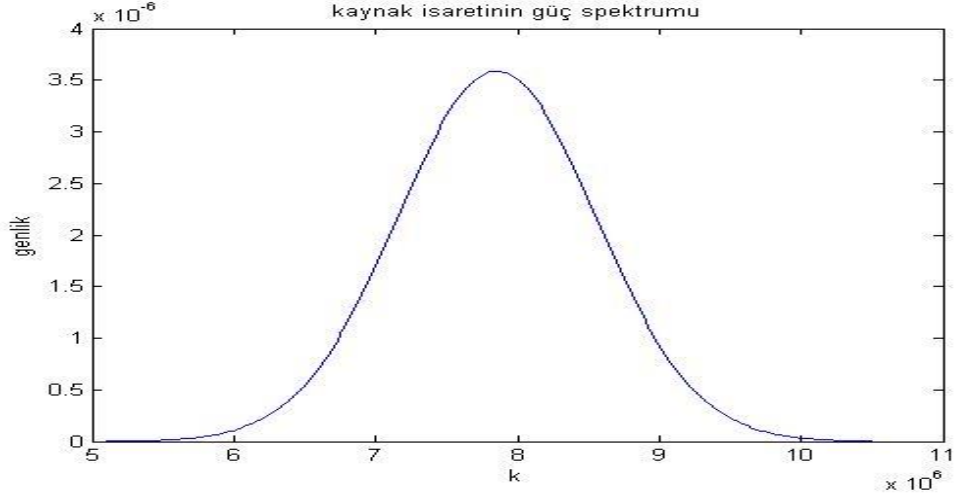
$$S(k) = A \exp \left[- \left(2\sqrt{\log 2} \left(\frac{k - k_0}{\Delta k} \right) \right)^2 \right] \quad (A.1.5.1.1)$$

$$A = \frac{4\sqrt{\pi \log 2}}{3.5284\Delta k} \quad (A.1.5.1.2)$$

' $S(k)$ ', kaynak işaretinin güç spektrumunu temsil eder.

Burada 3.5284 değeri güç spektrumunun altındaki alanı 1 'e eşitlemek için kullanılmıştır.

$$I_C = \frac{2 \ln 2}{\pi} \frac{\lambda_0^2}{\Delta \lambda} = 2.5674 \times 10^{-6} \text{ m 'dir.} \quad (\text{A.1.5.1.3})$$



Şekil A.1.5.1.1: Optik Kaynağın Güç Spektrumu

A.1.5.2. $\lambda_0 = 1300\text{nm}$, $\Delta \lambda = 50\text{nm}$ İçin Işık Kaynağının Güç Spektrumunun Elde Edilmesi :

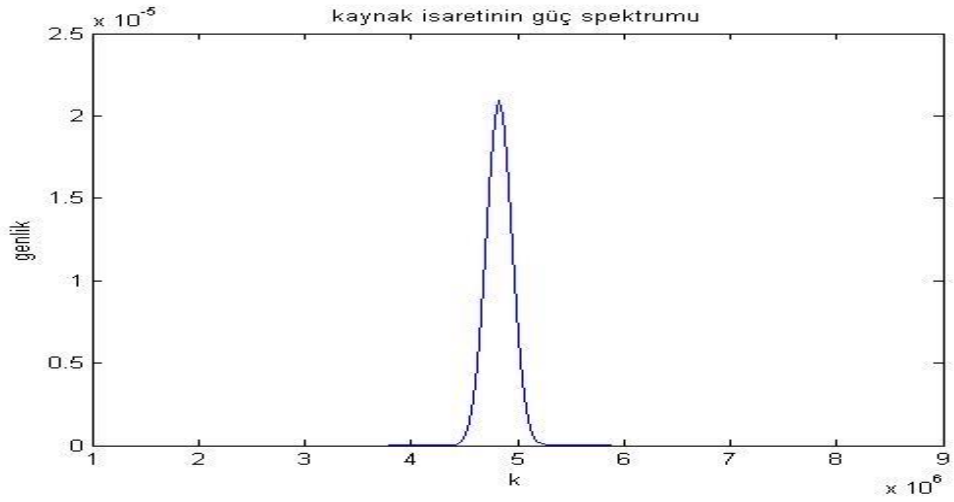
$$S(k) = A \exp \left[- \left(2\sqrt{\log 2} \left(\frac{k - k_0}{\Delta k} \right) \right)^2 \right] \quad (\text{A.1.5.2.1})$$

$$A = \frac{4\sqrt{\pi \log 2}}{3.5321 \Delta k} \quad (\text{A.1.5.2.2})$$

'S(k)', kaynak işaretinin güç spektrumunu temsil eder.

Burada 3.5321 değeri güç spektrumunun altındaki alanı 1 'e eşitlemek için kullanılmıştır.

$$I_C = \frac{2 \ln 2}{\pi} \frac{\lambda_0^2}{\Delta \lambda} = 14.915 \times 10^{-6} \text{ m 'dir.} \quad (\text{A.1.5.2.3})$$



Şekil A.1.5.2.1: Optik Kaynağın Güç Spektrumu

A.1.5.3. $\lambda_0=1500\text{nm}$, $\Delta\lambda=30\text{nm}$ İçin Işık Kaynağının Güç Spektrumunun Elde Edilmesi :

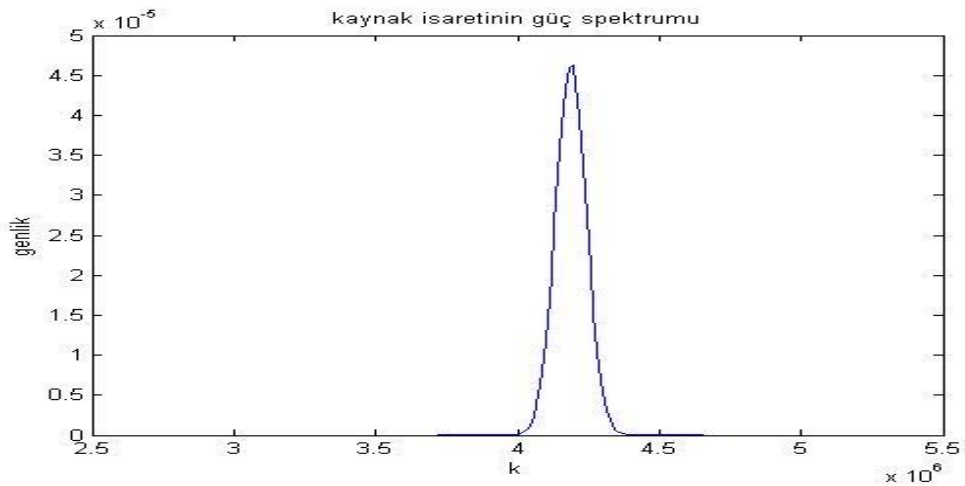
$$S(k) = A \exp \left[- \left(2\sqrt{\log 2} \left(\frac{k - k_0}{\Delta k} \right) \right)^2 \right] \quad (\text{A.1.5.3.1})$$

$$A = \frac{4\sqrt{\pi \log 2}}{3.5324 \Delta k} \quad (\text{A.1.5.3.2})$$

' $S(k)$ ', kaynak işaretinin güç spektrumunu temsil eder.

Burada 3.5324 değeri güç spektrumunun altındaki alanı 1 'e eşitlemek için kullanılmıştır.

$$l_c = \frac{2 \ln 2}{\pi} \frac{\lambda_0^2}{\Delta \lambda} = 33.095 \times 10^{-6} \text{ m 'dir.} \quad (\text{A.1.5.3.3})$$



Şekil A.1.5.3.1: Optik Kaynağın Güç Spektrumu

Ek.B

B. BULGULAR :

B.1. PROGRAM 1 'e Ait Bulgular:

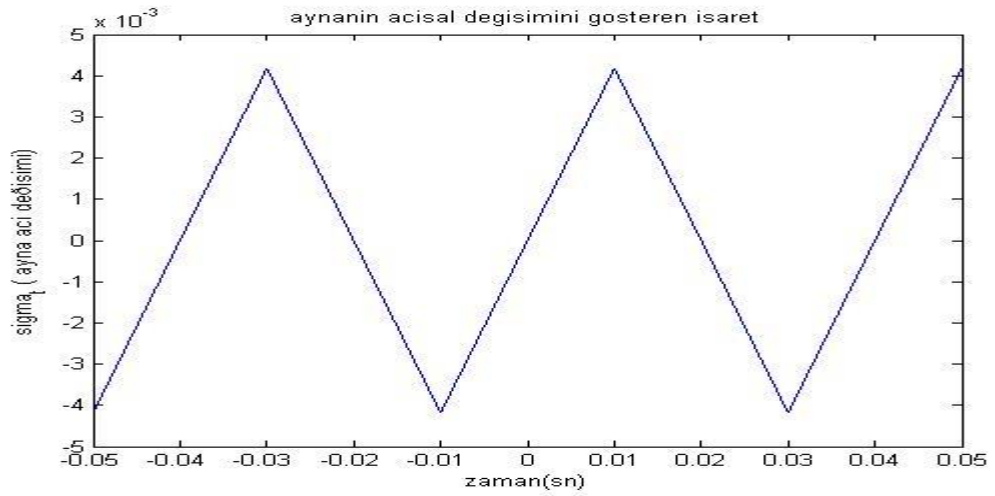
B.1.1. ' $|\gamma_0|$ ',' x ',' p ',' f_m ',' l_f ',' m ' Değerlerinin Değiştirilmesi:

B.1.1.1 Farklı ' $|\gamma_0|$ ' Değerleri İçin Elde Edilen Bulgular:

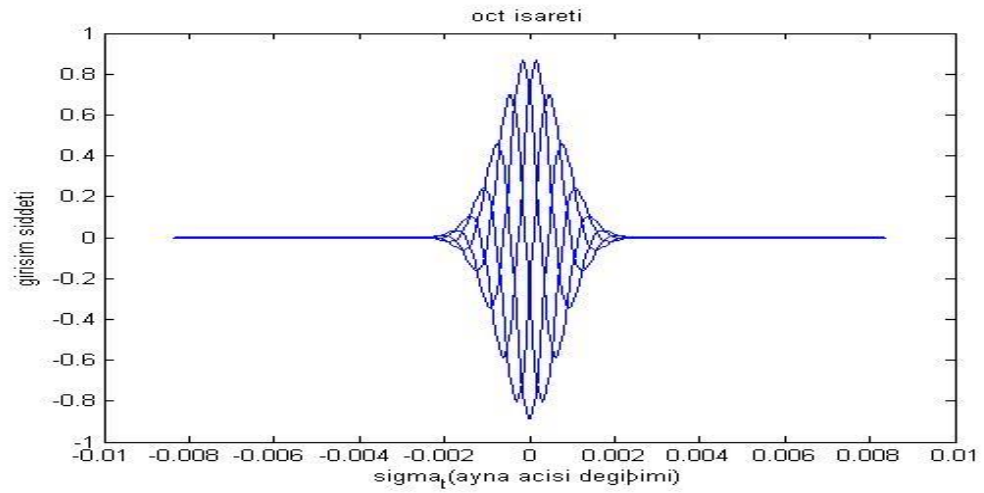
$|\gamma_0| = 8.36 \text{ mrad}$, $x = 3.7 \text{ mm}$, $\text{pitch} = 10^{-5} \text{ m}$, $f_m = 25 \text{ Hz}$, $l_f = 40 \text{ mm}$, $m = 1$, $\lambda_0 = 800 \text{ nm}$,
 $\Delta\lambda = 110 \text{ nm}$ için

teorik sonuçlar : $f_0 = 1.5466 \times 10^3 \text{ Hz}$, $\Delta f = 287.3750 \text{ Hz}$

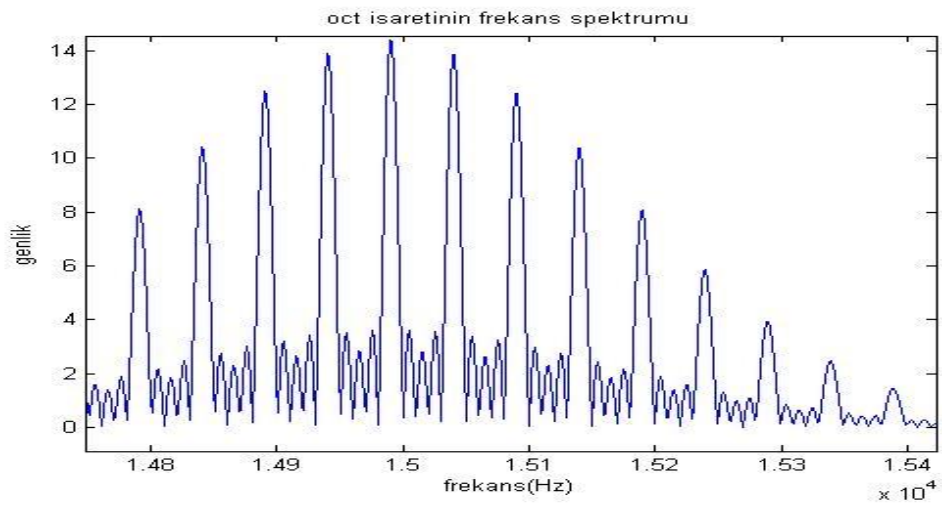
program çıktıları :



Şekil B.1.1.1.1: ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu



Şekil B.1.1.1.2: OCT işareti (' $\sigma(t)$ ' 'ye bağlı olarak değişir)

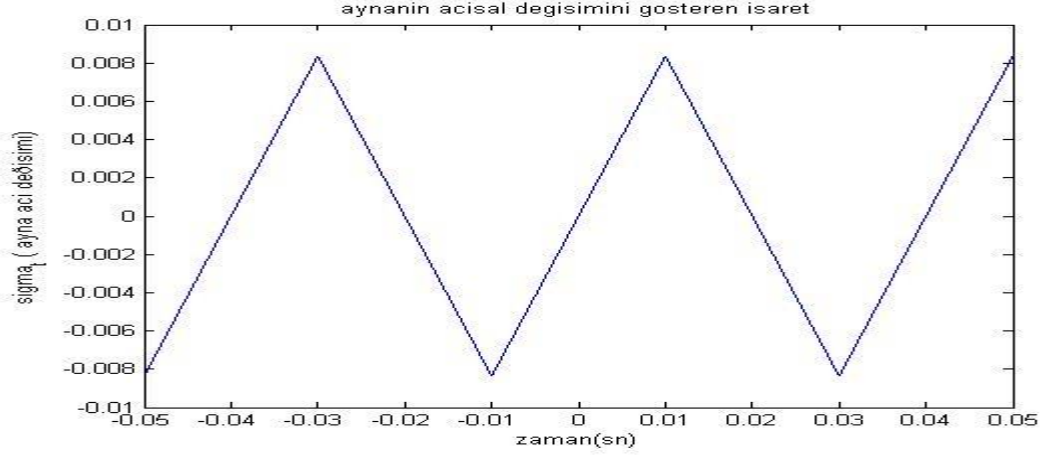


Şekil B.1.1.1.3: OCT işaretinin Frekans Spektrumu

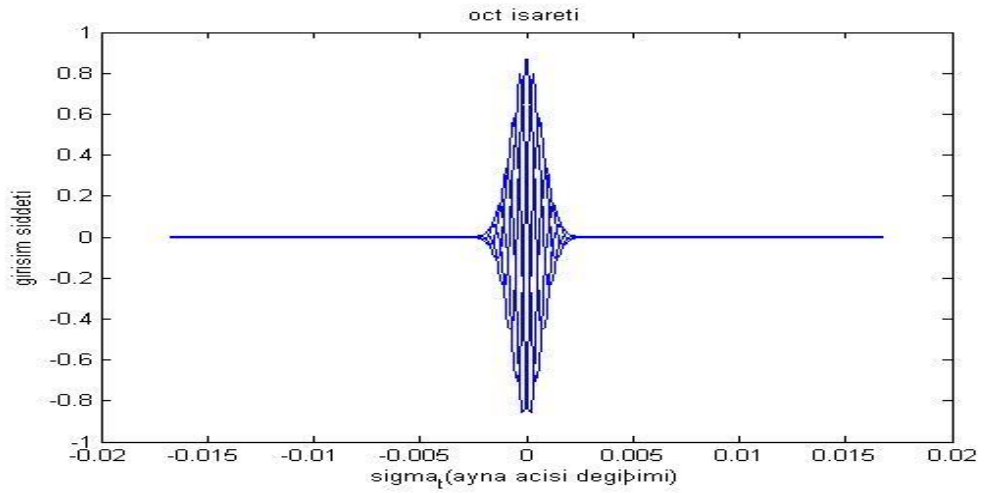
$|\gamma_0| = 16.72 \text{ mrad}$, $x = 3.7 \text{ mm}$, $\text{pitch} = 10^{-5} \text{ m}$, $f_m = 25 \text{ Hz}$, $l_f = 40 \text{ mm}$, $m = 1$,
 $\lambda_0 = 800 \text{ nm}$, $\Delta\lambda = 110 \text{ nm}$ için

teorik sonuçlar : $f_0 = 3.0932 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 574.7500 \text{ Hz}$

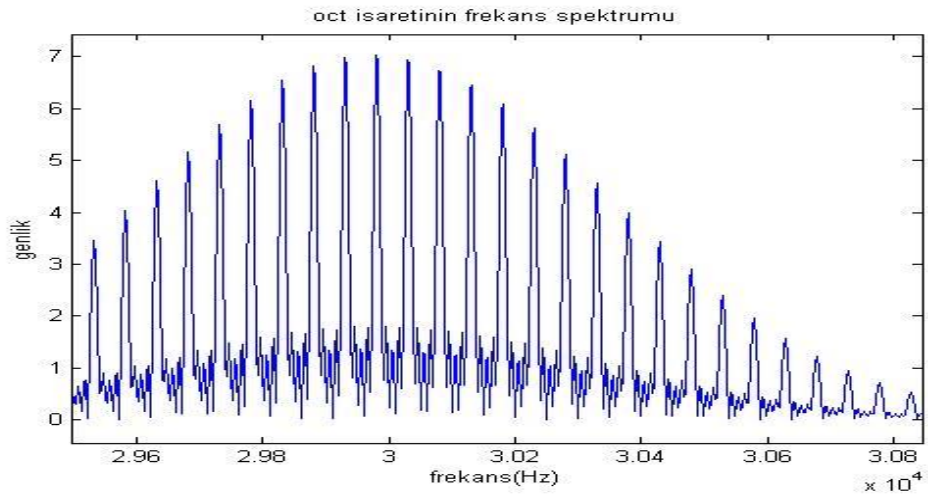
program çıktıları :



Şekil B.1.1.1.4: ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu



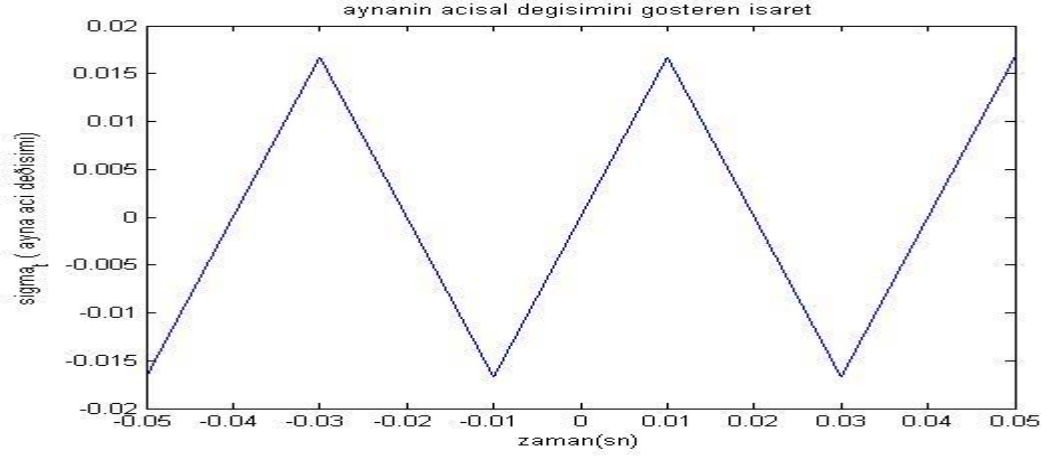
Şekil B.1.1.1.5: OCT işareti (' $\sigma(t)$ ' 'ye bağlı olarak değişir)



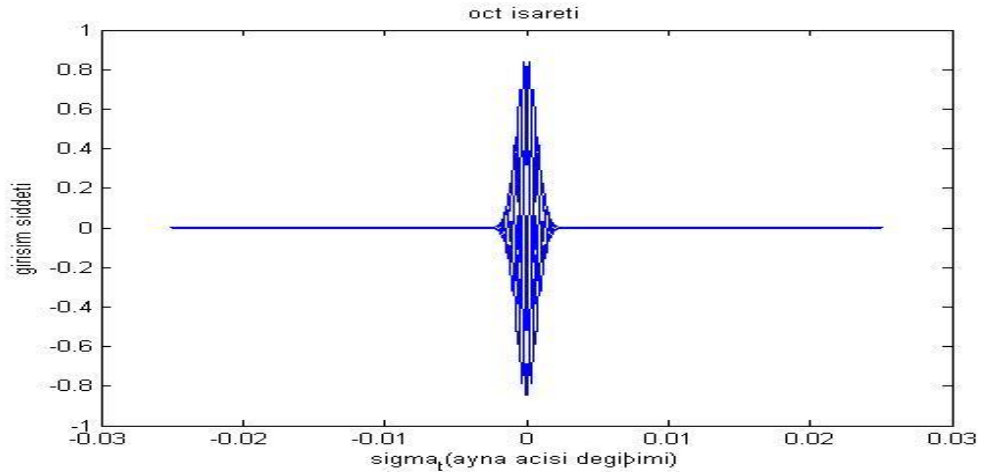
Şekil B.1.1.1.6: OCT işaretinin Frekans Spektrumu

$|\gamma_0| = 25.08 \text{ mrad}$, $x = 3.7 \text{ mm}$, $\text{pitch} = 10^{-5} \text{ m}$, $f_m = 25 \text{ Hz}$, $l_f = 40 \text{ mm}$, $m = 1$, $\lambda_0 = 800 \text{ nm}$,
 $\Delta\lambda = 110 \text{ nm}$ için
teorik sonuçlar : $f_0 = 4.6398 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 862.1250 \text{ Hz}$

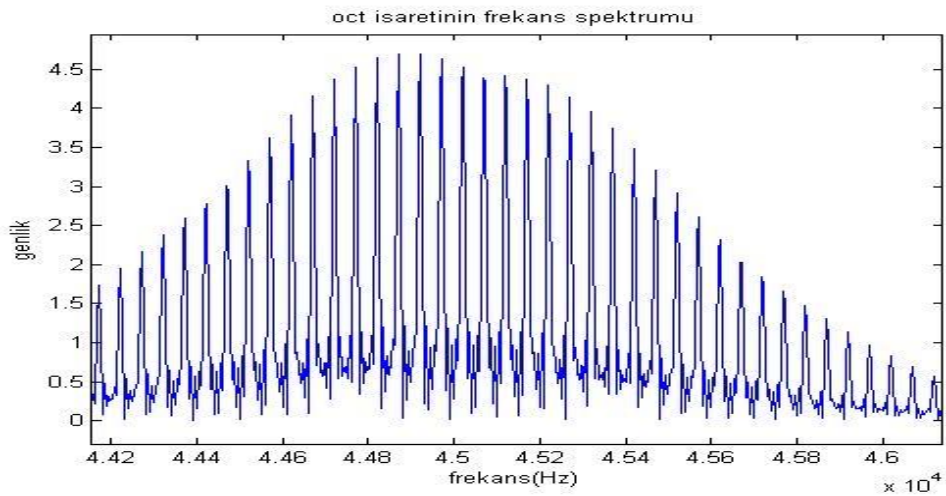
program çıktıları :



Şekil B.1.1.1.7: ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu



Şekil B.1.1.1.8: OCT işareti (' $\sigma(t)$ ' 'ye bağlı olarak değişir)



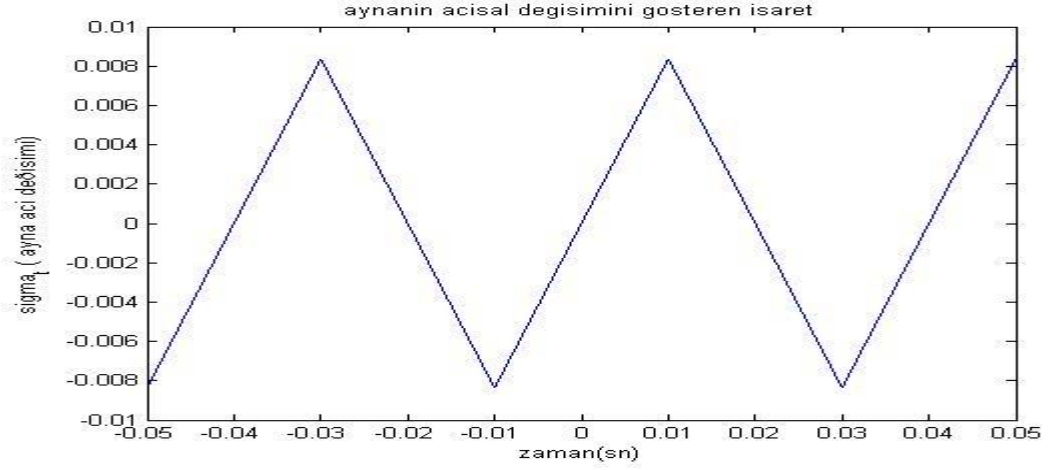
Şekil B.1.1.1.9: OCT işaretinin Frekans Spektrumu

B.1.1.2 Farklı 'x' Değerleri İçin Elde Edilen Bulgular:

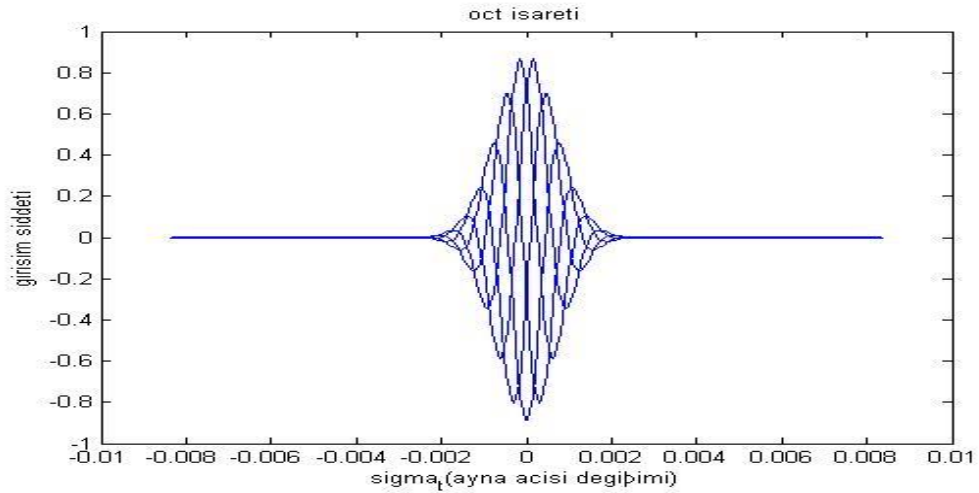
$|\gamma_0| = 8.36 \text{ mrad}$, $x = 3.7 \text{ mm}$, $\text{pitch} = 10^{-5} \text{ m}$, $f_m = 25 \text{ Hz}$, $l_f = 40 \text{ mm}$, $m = 1$, $\lambda_0 = 800 \text{ nm}$, $\Delta\lambda = 110 \text{ nm}$ için

teorik sonuçlar : $f_0 = 1.5466 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 287.3750 \text{ Hz}$

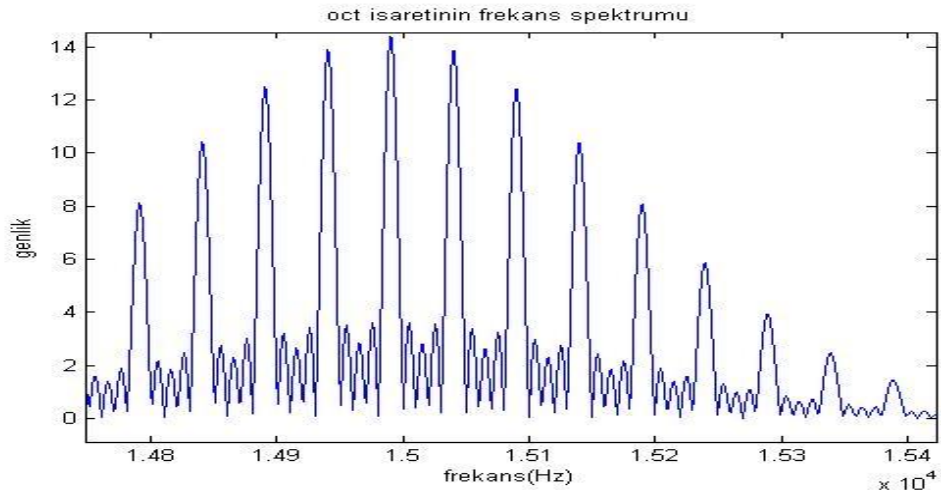
program çıktıları :



Şekil B.1.1.2.1: ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu



Şekil B.1.1.2.2: OCT işareti (' $\sigma(t)$ ' 'ye bağlı olarak değişir)

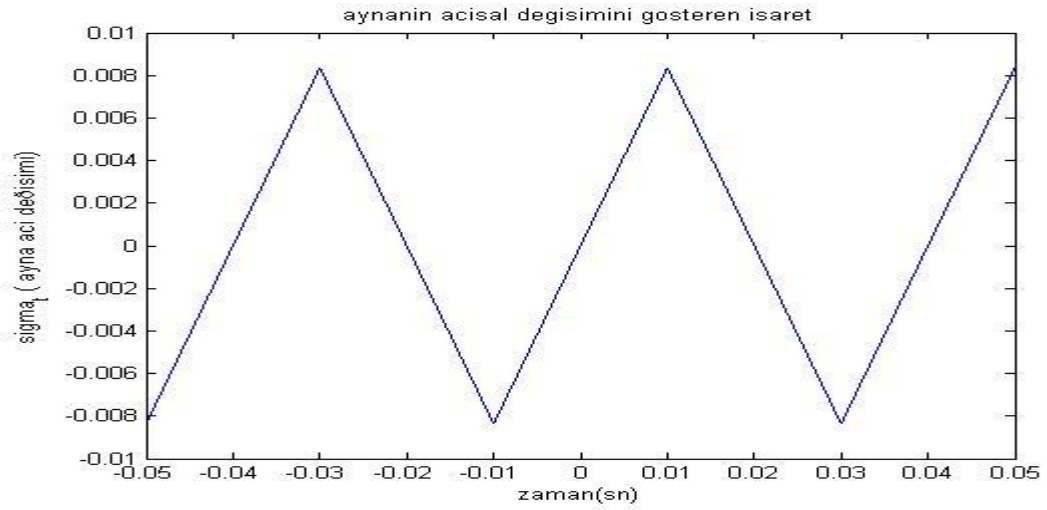


Şekil B.1.1.2.3: OCT işaretinin Frekans Spektrumu

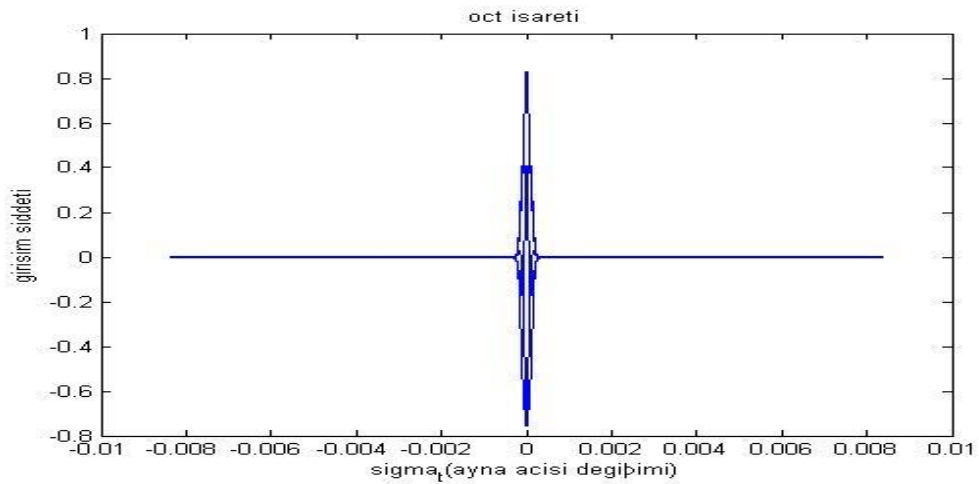
$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}$, $x=7.4\text{mm}$, $\text{pitch}=10^{-5}\text{m}$, $f_m=25\text{Hz}$, $l_f=40\text{mm}$, $m=1$, $\lambda_0=800\text{nm}$,
 $\Delta\lambda=110\text{nm}$ için

teorik sonuçlar : $f_0 = 3.0932 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 2.4139 \times 10^3 \text{ Hz}$

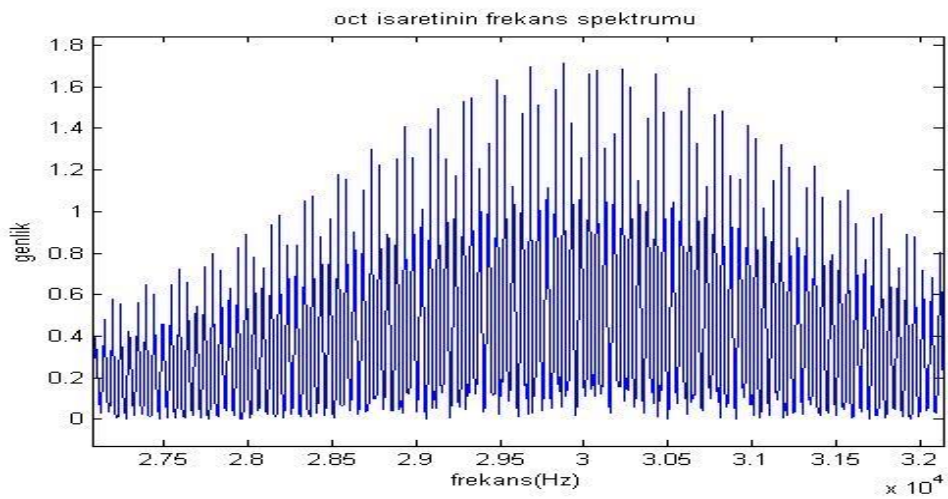
program çıktıları :



Şekil B.1.1.2.4: ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu



Şekil B.1.1.2.5: OCT işareti (' $\sigma(t)$ ' 'ye bağlı olarak değişir)



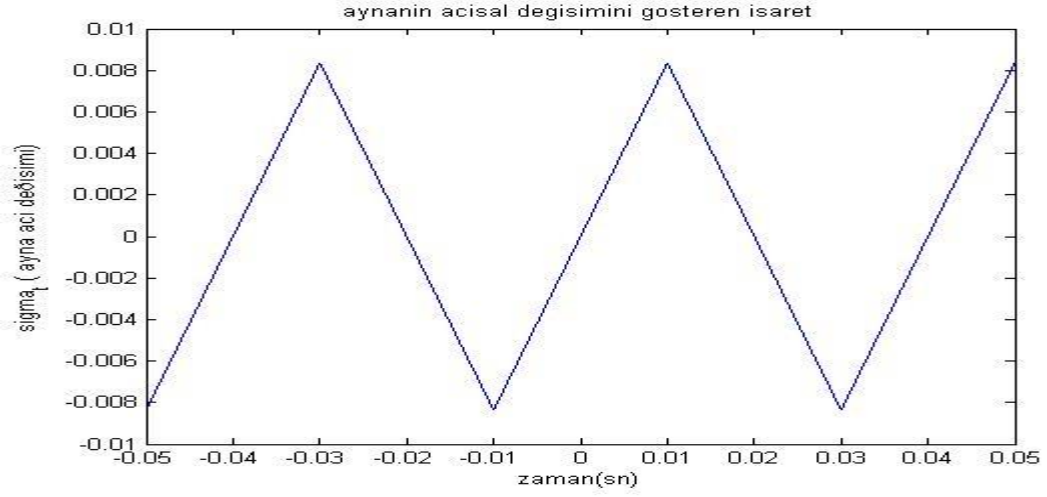
Şekil B.1.1.2.6: OCT işaretinin Frekans Spektrumu

$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}$, $x=11.1\text{mm}$, $\text{pitch}=10^{-5}\text{m}$, $f_m=25\text{Hz}$, $l_f=40\text{mm}$, $m=1$, $\lambda_0=800\text{nm}$,

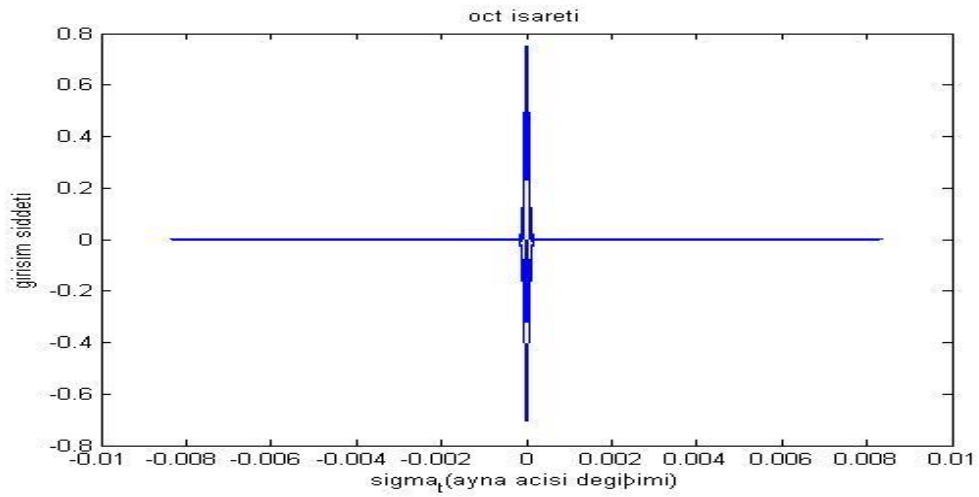
$\Delta\lambda=110\text{nm}$ için

teorik sonuçlar : $f_0 = 4.6398 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 4.5405 \times 10^3 \text{ Hz}$

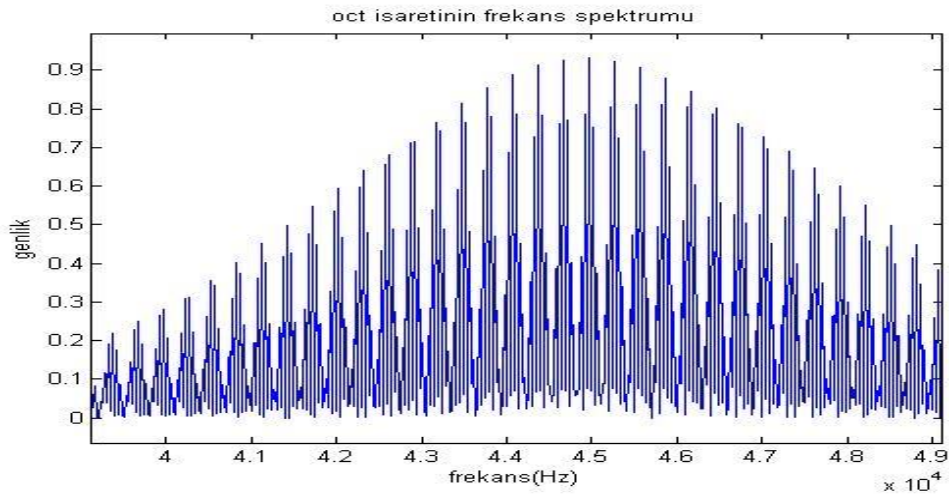
program çıktıları :



Şekil B.1.1.2.7: ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu



Şekil B.1.1.2.8: OCT işareti (' $\sigma(t)$ ' 'ye bağlı olarak değişir)



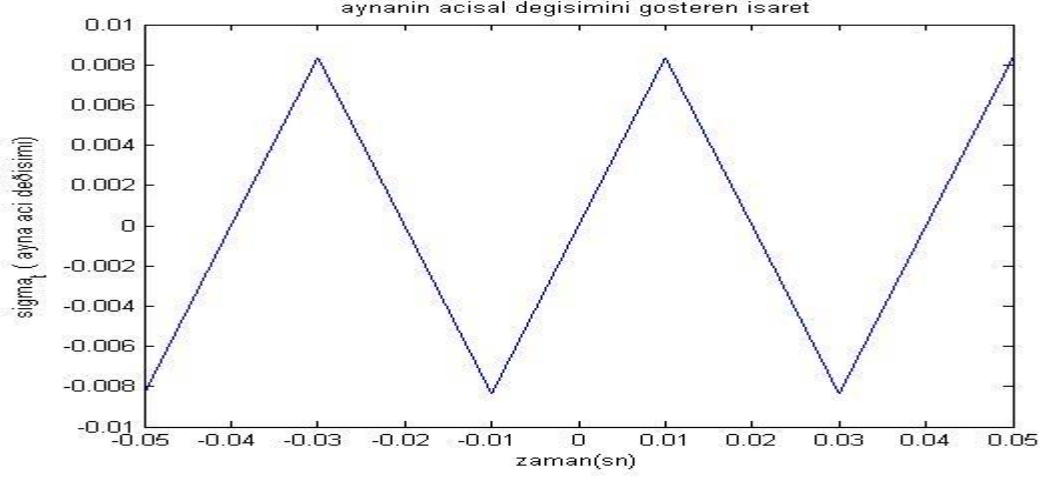
Şekil B.1.1.2.9: OCT işaretinin Frekans Spektrumu

B.1.1.3 Farklı 'pitch' Değerleri İçin Elde Edilen Bulgular:

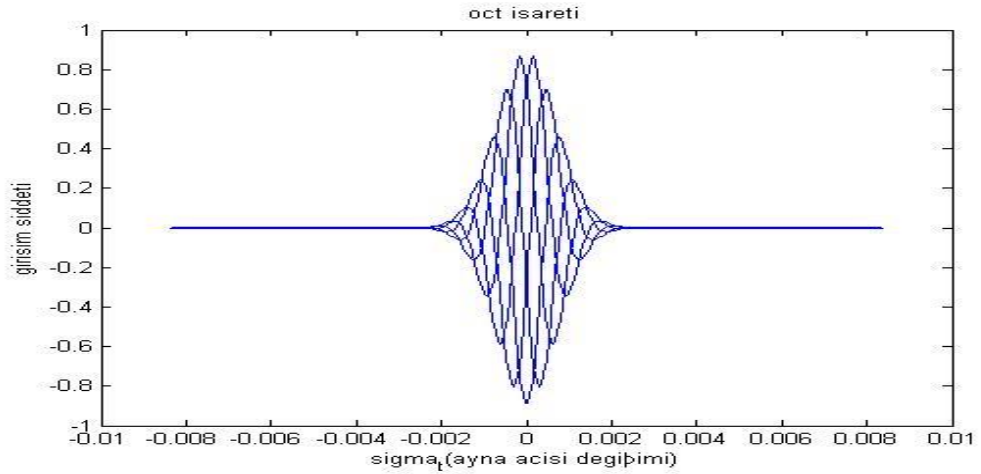
$|\gamma_0| = 8.36 \text{ mrad}$, $x = 3.7 \text{ mm}$, **pitch** = 10^{-5} m , $f_m = 25 \text{ Hz}$, $l_f = 40 \text{ mm}$, $m = 1$, $\lambda_0 = 800 \text{ nm}$, $\Delta\lambda = 110 \text{ nm}$ için

teorik sonuçlar : $f_0 = 1.5466 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 287.3750 \text{ Hz}$

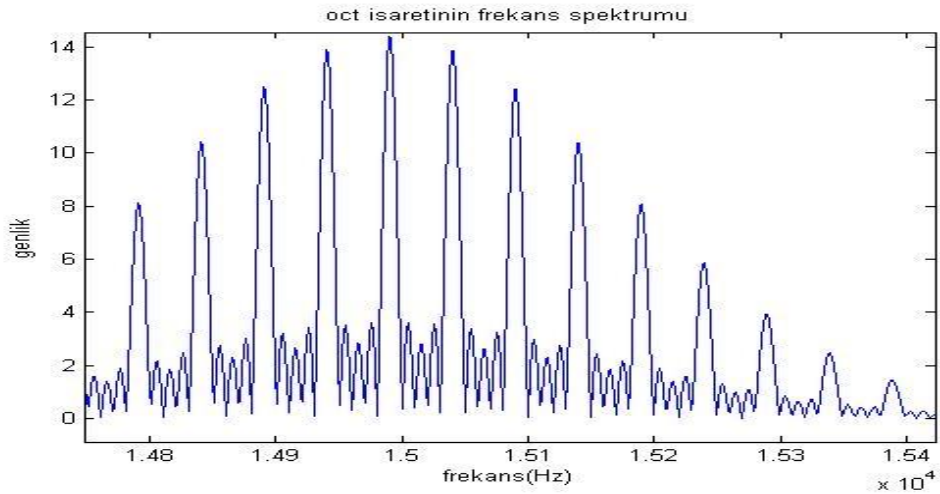
program çıktıları :



Şekil B.1.1.3.1: ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu



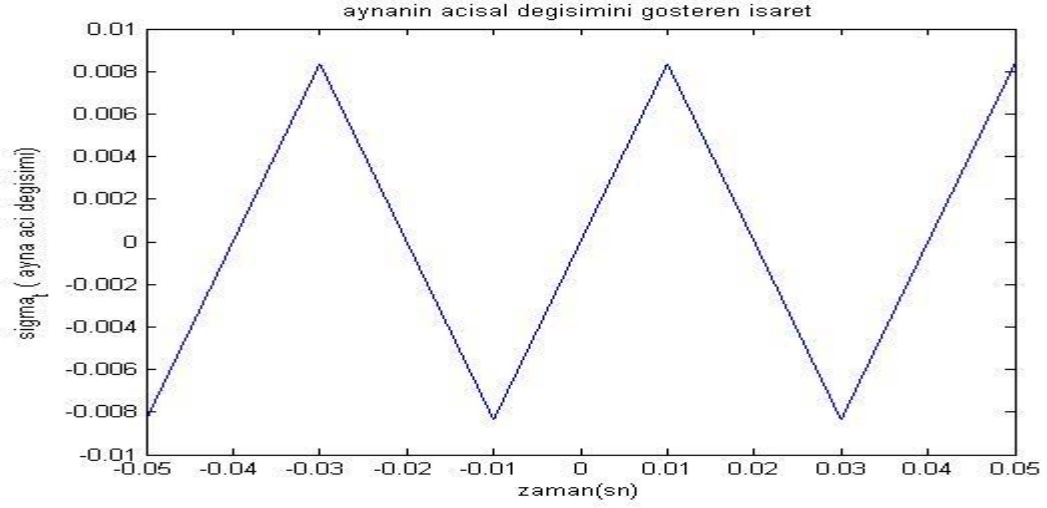
Şekil B.1.1.3.2: OCT işareti (' $\sigma(t)$ ' 'ye bağlı olarak değişir)



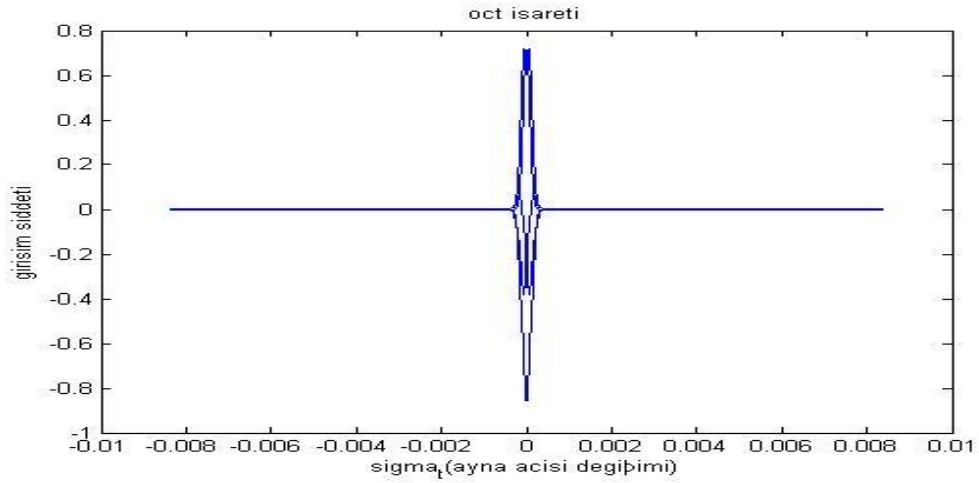
Şekil B.1.1.3.3: OCT işaretinin Frekans Spektrumu

$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}$, $x=3.7\text{mm}$, **pitch** $=10^{-4}\text{m}$, $f_m=25\text{Hz}$, $l_f=40\text{mm}$, $m=1$, $\lambda_0=800\text{nm}$,
 $\Delta\lambda=110\text{nm}$ için
teorik sonuçlar : $f_0=1.5466\times 10^4\text{ Hz}$, $\Delta f=1.9427\times 10^3\text{ Hz}$

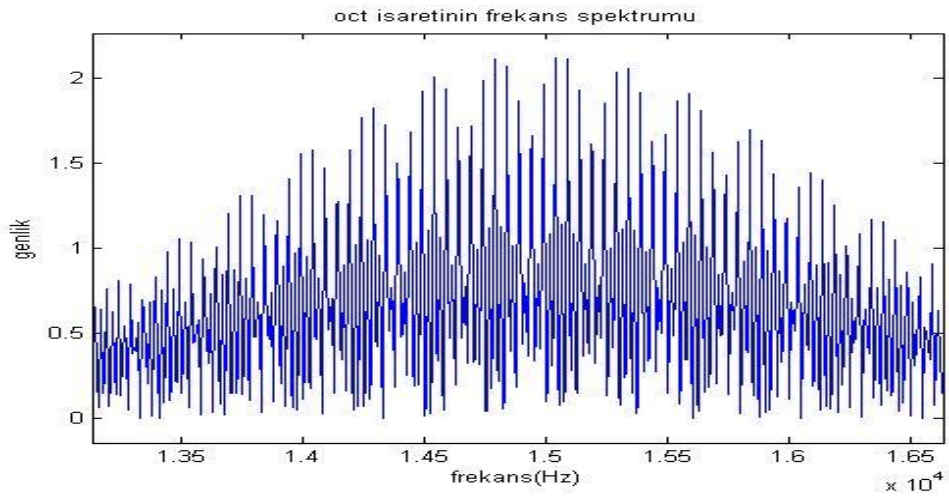
program çıktıları :



Şekil B.1.1.3.4: ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu



Şekil B.1.1.3.5: OCT işareti (' $\sigma(t)$ ' 'ye bağlı olarak değişir)

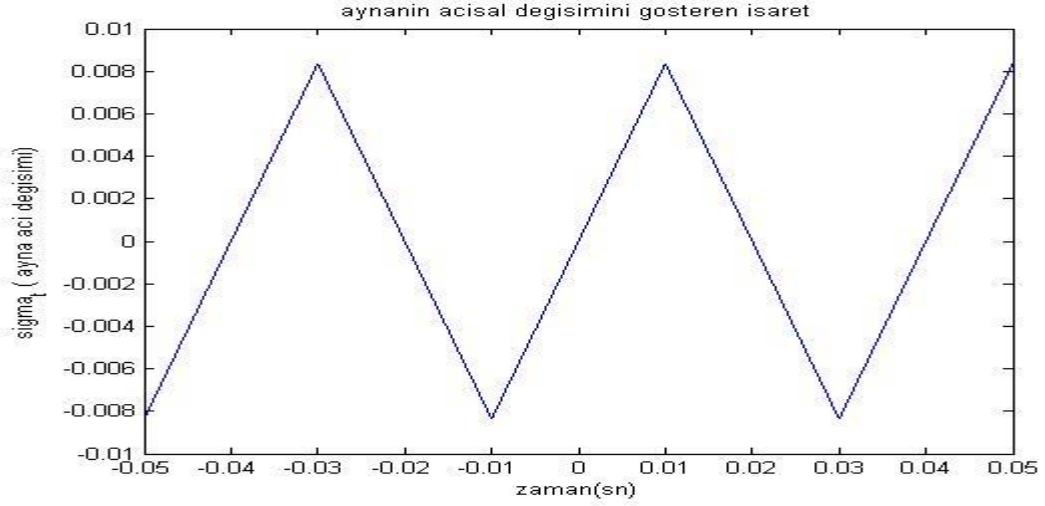


Şekil B.1.1.3.6: OCT işaretinin Frekans Spektrumu

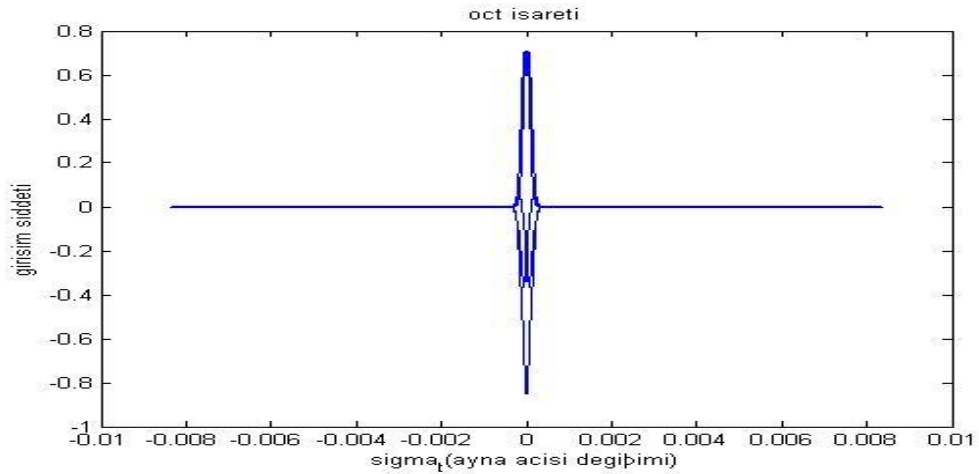
$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}$, $x=3.7\text{mm}$, **pitch** $=5\times 10^{-4}\text{m}$, $f_m=25\text{Hz}$, $l_f=40\text{mm}$, $m=1$,
 $\lambda_0=800\text{nm}$, $\Delta\lambda=110\text{nm}$ için

teorik sonuçlar : $f_0 = 1.5466\times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 2.0898\times 10^3 \text{ Hz}$

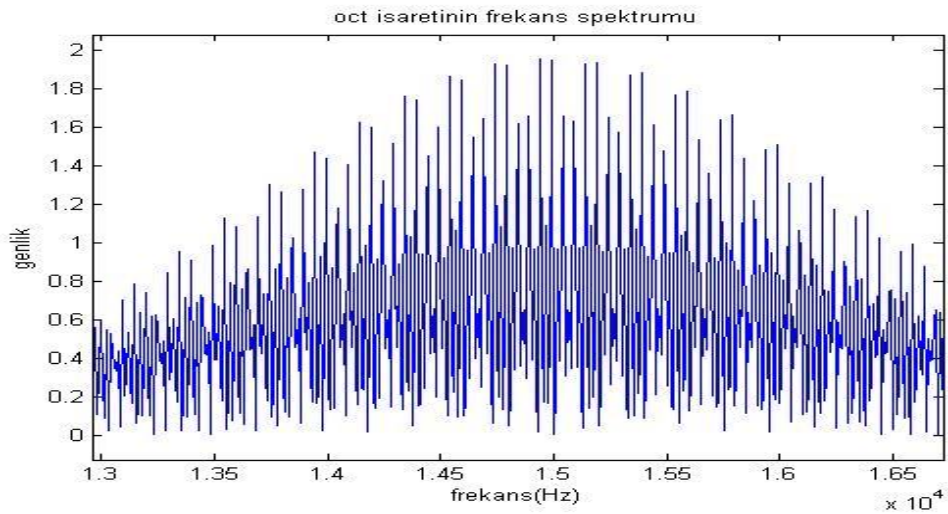
program çıktıları :



Şekil B.1.1.3.7: ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu



Şekil B.1.1.3.8: OCT işareti (' $\sigma(t)$ ' 'ye bağlı olarak değişir)



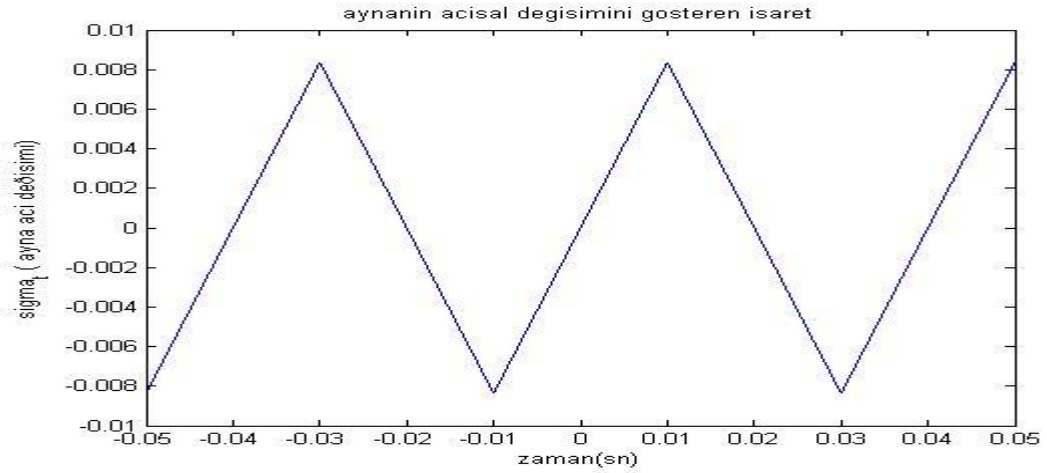
Şekil B.1.1.3.9: OCT işaretinin Frekans Spektrumu

B.1.1.4 Farklı ' f_m ' Değerleri İçin Elde Edilen Bulgular:

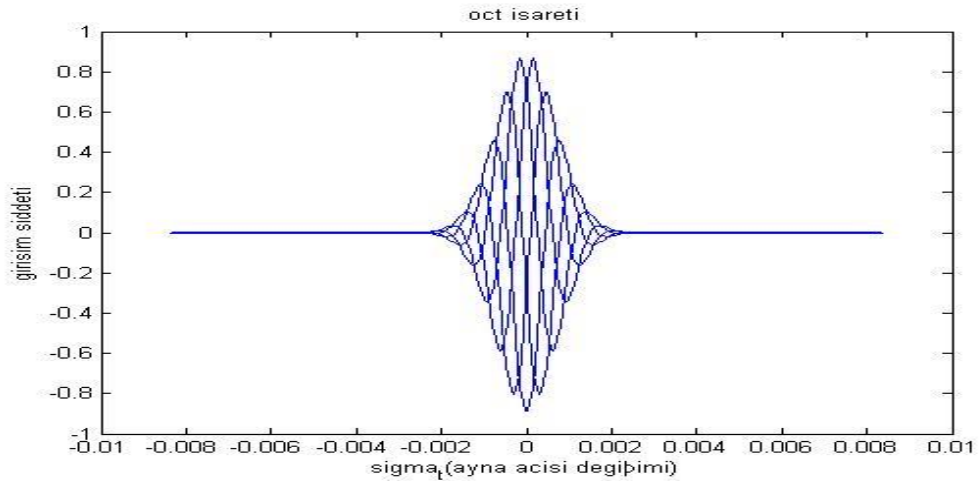
$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}$, $x=3.7\text{mm}$, $\text{pitch}=10^{-5}\text{ m}$, $f_m=25\text{Hz}$, $l_f=40\text{mm}$, $m=1$, $\lambda_0=800\text{nm}$,
 $\Delta\lambda=110\text{nm}$ için

teorik sonuçlar : $f_0 = 1.5466 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 287.3750 \text{ Hz}$

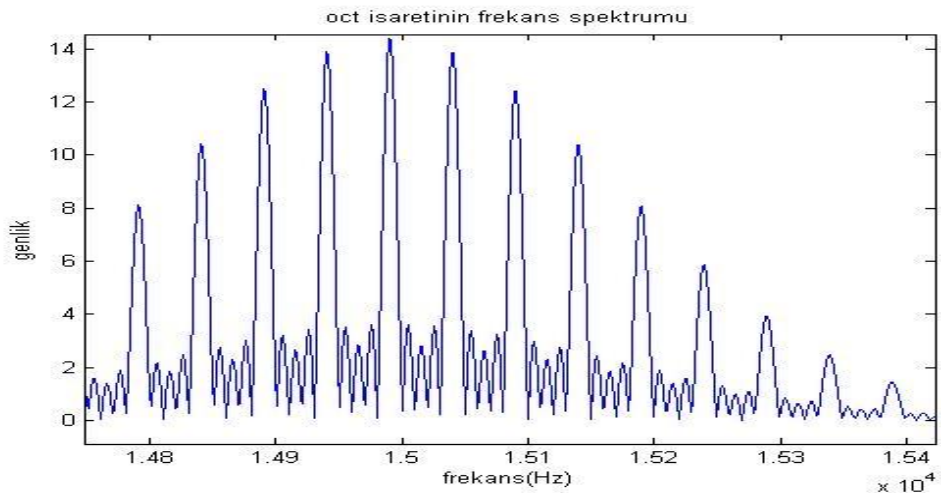
program çıktıları :



Şekil B.1.1.4.1: ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu



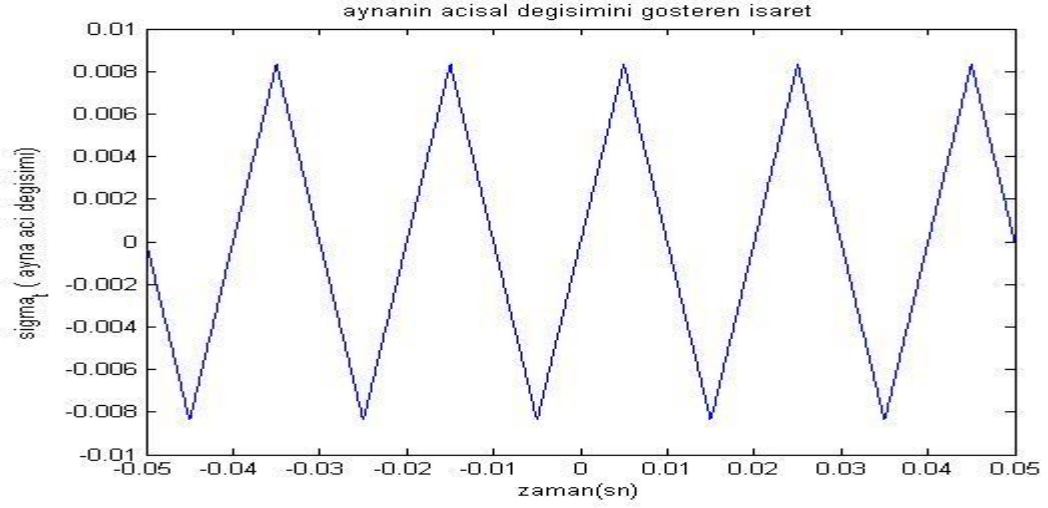
Şekil B.1.1.4.2: OCT işareti (' $\sigma(t)$ ' 'ye bağlı olarak değişir)



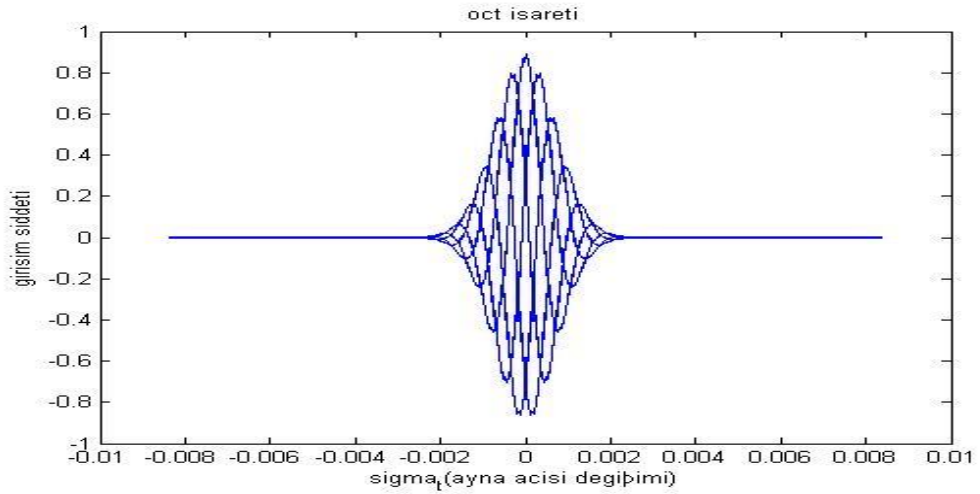
Şekil B.1.1.4.3: OCT işaretinin Frekans Spektrumu

$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}$, $x=3.7\text{mm}$, $\text{pitch}=10^{-5}\text{ m}$, $f_m=50\text{Hz}$, $l_f=40\text{mm}$, $m=1$, $\lambda_0=800\text{nm}$,
 $\Delta\lambda=110\text{nm}$ için
teorik sonuçlar : $f_0 = 3.0932 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 574.7500 \text{ Hz}$

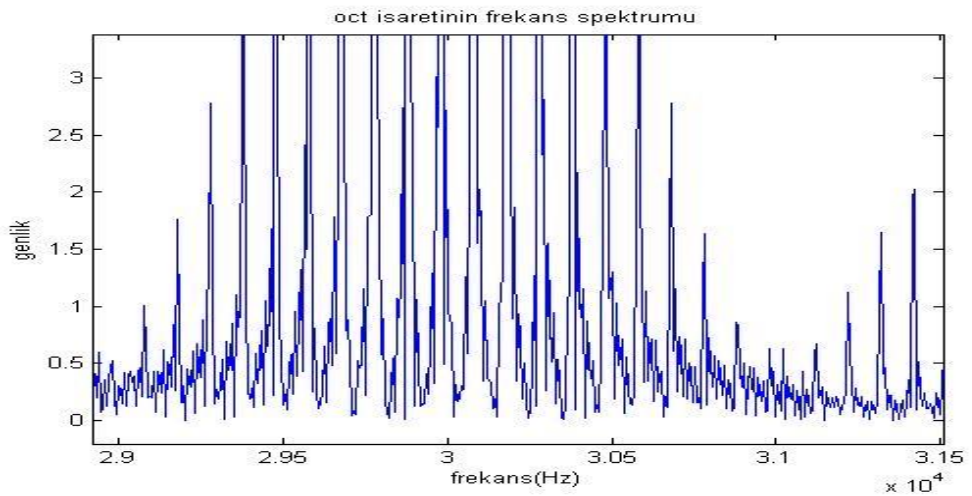
program çıktıları :



Şekil B.1.1.4.4: ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu



Şekil B.1.1.4.5: OCT işareti (' $\sigma(t)$ ' 'ye bağlı olarak değişir)



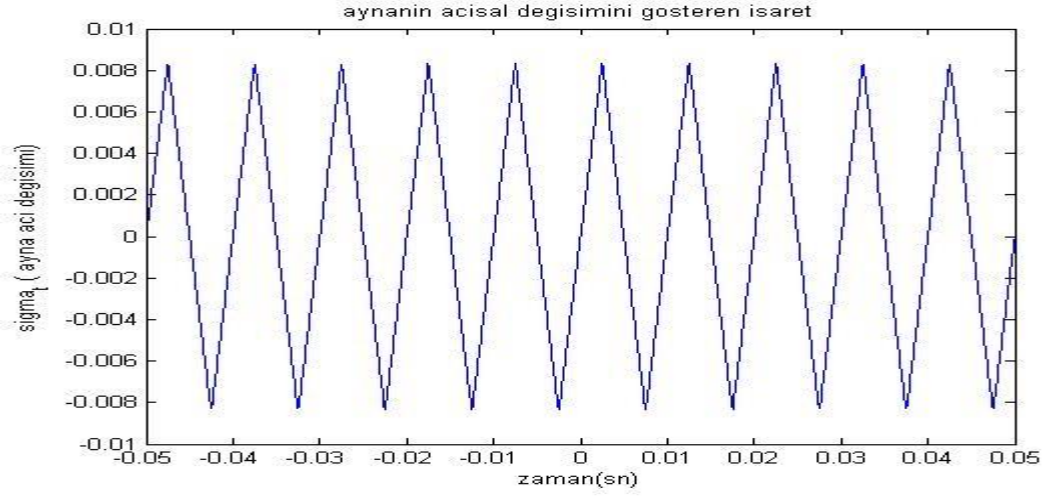
Şekil B.1.1.4.6: OCT işaretinin Frekans Spektrumu

$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}$, $x=3.7\text{mm}$, $\text{pitch}=10^{-5}\text{ m}$, $f_m=100\text{Hz}$, $l_f=40\text{mm}$, $m=1$, $\lambda_0=800\text{nm}$,

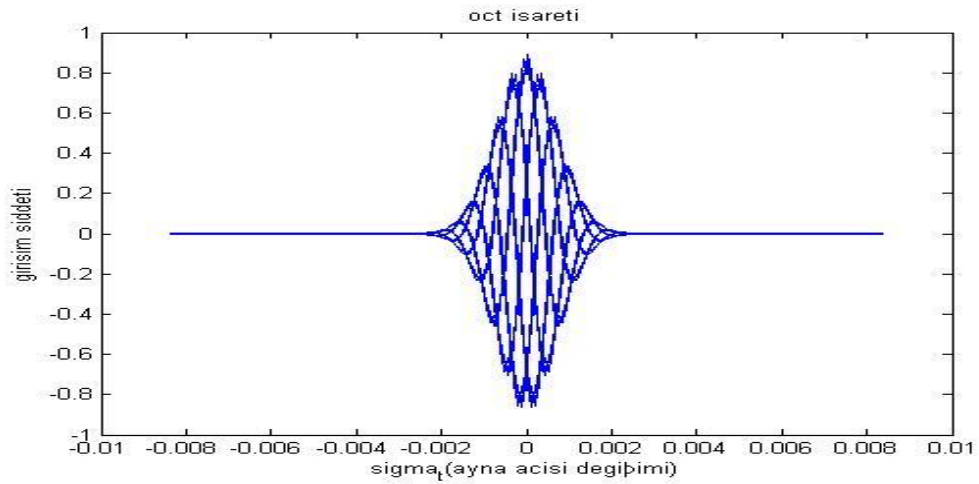
$\Delta\lambda=110\text{nm}$ için

teorik sonuçlar : $f_0=6.1864\times 10^4\text{ Hz}$, $\Delta f=1.1495\times 10^3\text{ Hz}$

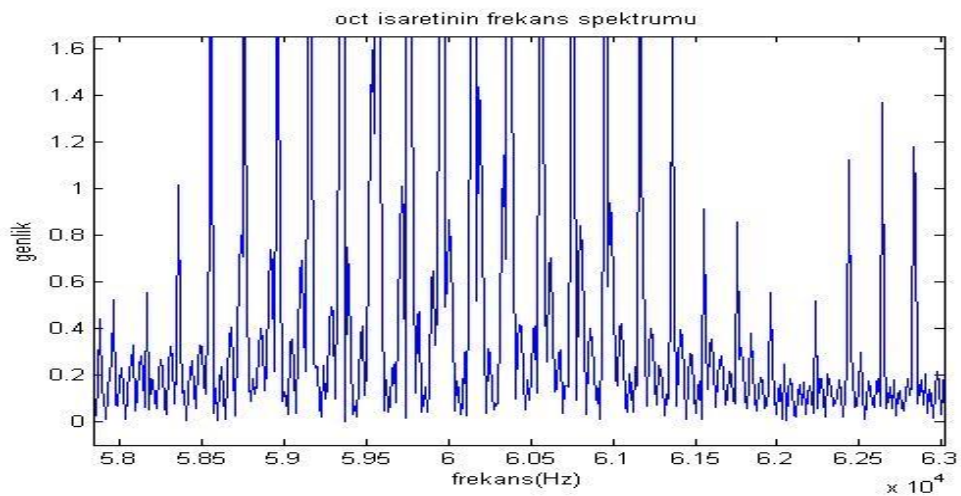
program çıktıları :



Şekil B.1.1.4.7: ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu



Şekil B.1.1.4.8: OCT işareti (' $\sigma(t)$ ' 'ye bağlı olarak değişir)



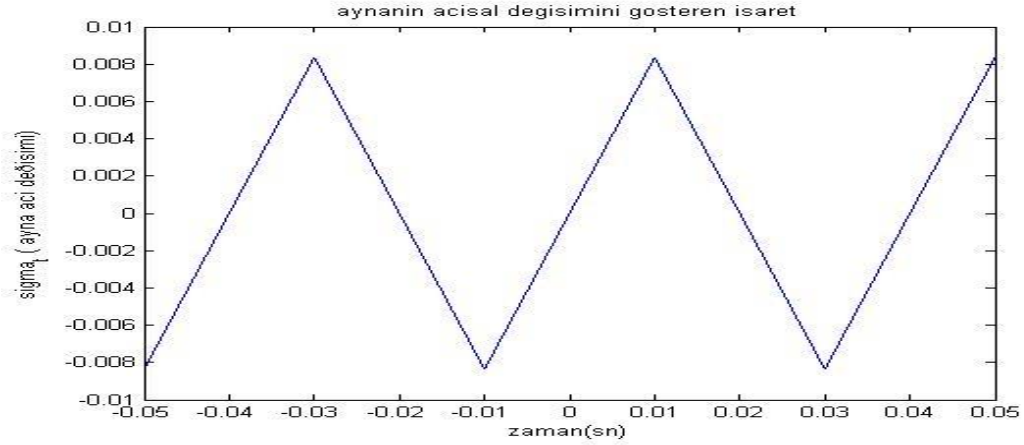
Şekil B.1.1.4.9: OCT işaretinin Frekans Spektrumu

B.1.1.5 Farklı ' l_f ' Değerleri İçin Elde Edilen Bulgular:

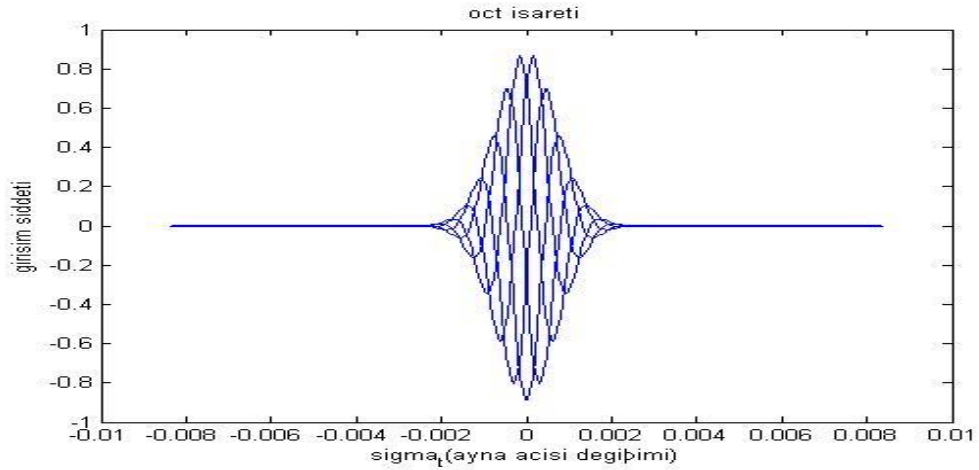
$|\gamma_0| = 8.36 \text{ mrad}$, $x = 3.7 \text{ mm}$, $\text{pitch} = 10^{-5} \text{ m}$, $f_m = 25 \text{ Hz}$, $l_f = 40 \text{ mm}$, $m = 1$, $\lambda_0 = 800 \text{ nm}$,
 $\Delta\lambda = 110 \text{ nm}$ için

teorik sonuçlar : $f_0 = 1.5466 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 287.3750 \text{ Hz}$

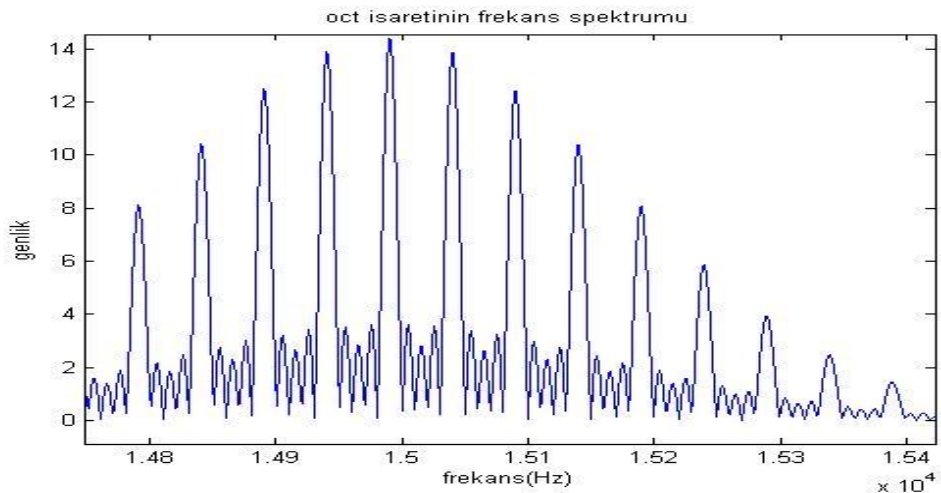
program çıktıları :



Şekil B.1.1.5.1: ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu



Şekil B.1.1.5.2: OCT işareti (' $\sigma(t)$ ' 'ye bağlı olarak değişir)

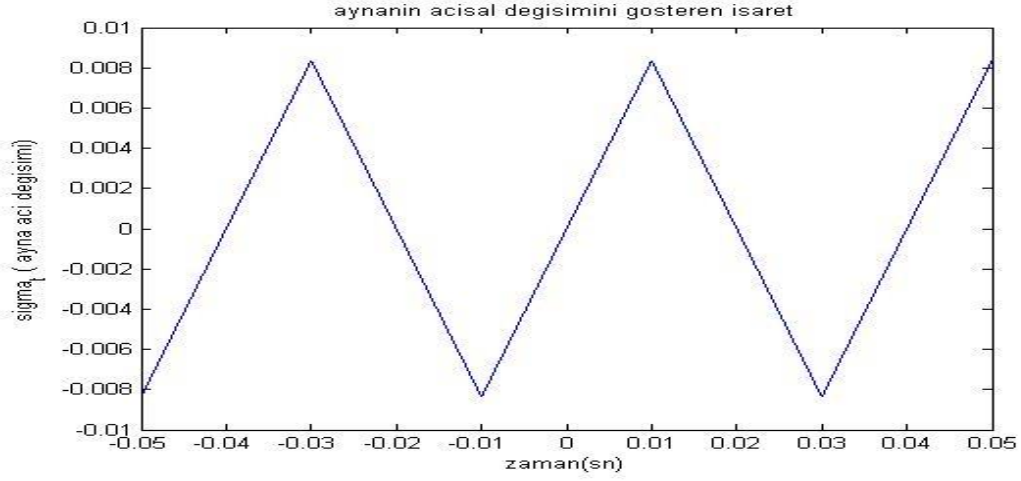


Şekil B.1.1.5.3: OCT işaretinin Frekans Spektrumu

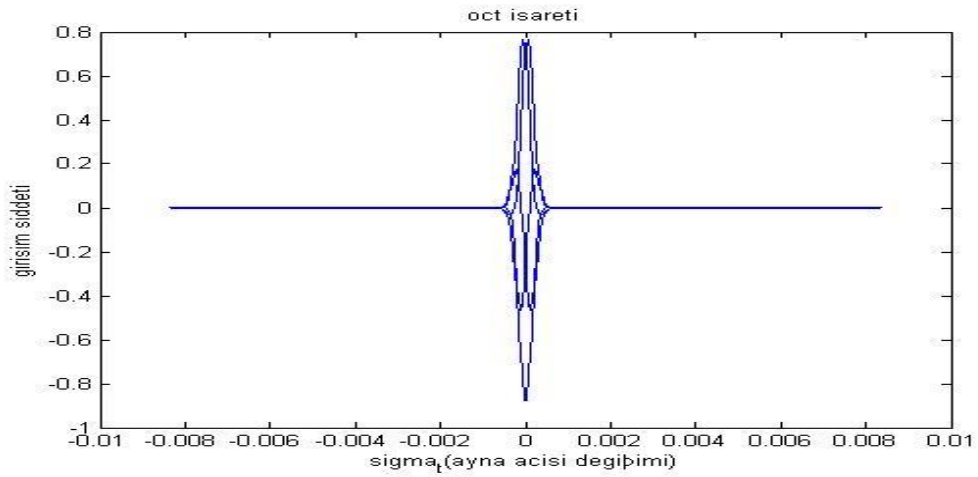
$|\gamma_0| = 8.36 \text{ mrad}$, $x = 3.7 \text{ mm}$, $\text{pitch} = 10^{-5} \text{ m}$, $f_m = 25 \text{ Hz}$, $l_f = 20 \text{ mm}$, $m = 1$, $\lambda_0 = 800 \text{ nm}$,
 $\Delta\lambda = 110 \text{ nm}$ için

teorik sonuçlar : $f_0 = 1.5466 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 1.2070 \times 10^3 \text{ Hz}$

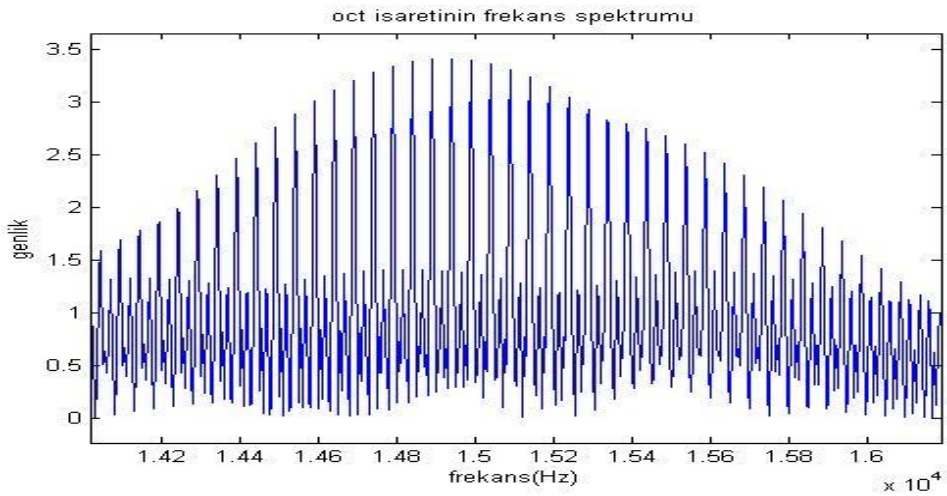
program çıktıları :



Şekil B.1.1.5.4: ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu



Şekil B.1.1.5.5: OCT işareti (' $\sigma(t)$ ' 'ye bağlı olarak değişir)

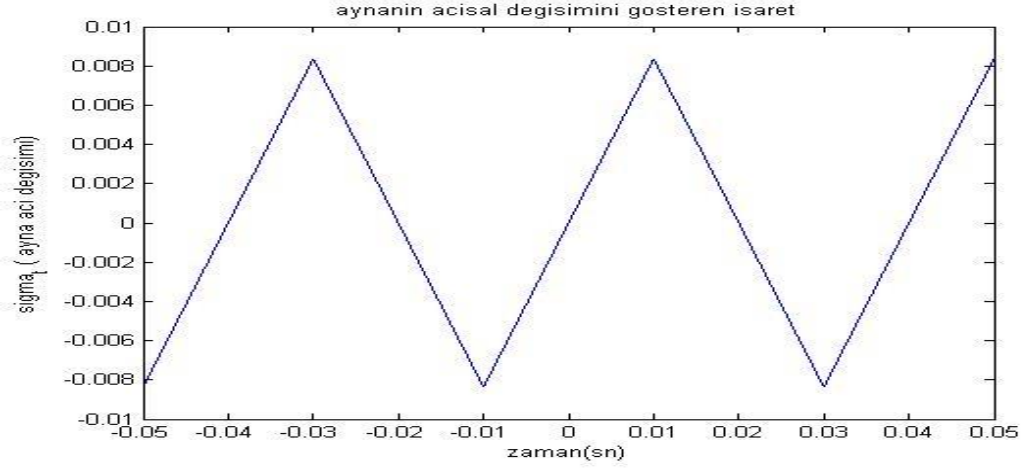


Şekil B.1.1.5.6: OCT işaretinin Frekans Spektrumu

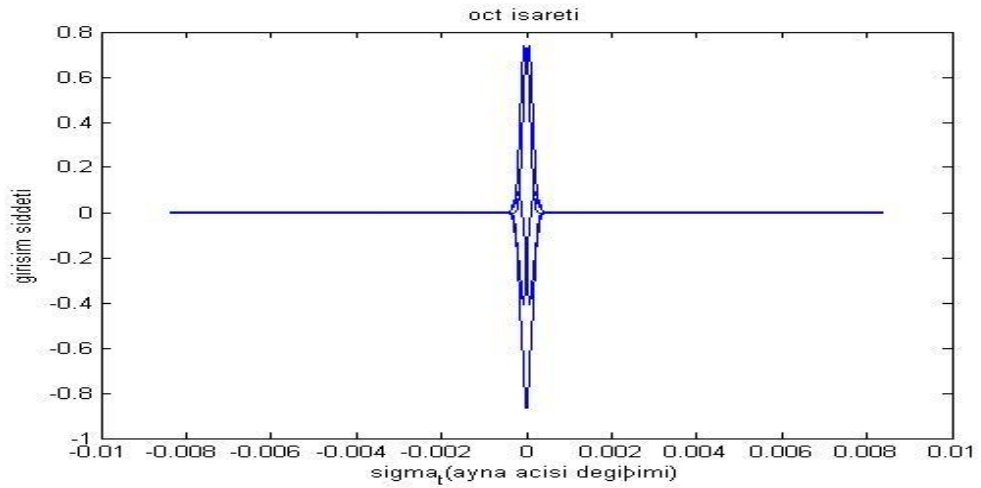
$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}$, $x=3.7\text{mm}$, $\text{pitch}=10^{-5}\text{ m}$, $f_m=25\text{Hz}$, $l_f=10\text{mm}$, $m=1$, $\lambda_0=800\text{nm}$,
 $\Delta\lambda=110\text{nm}$ için

teorik sonuçlar : $f_0 = 1.5466 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 1.6668 \times 10^3 \text{ Hz}$

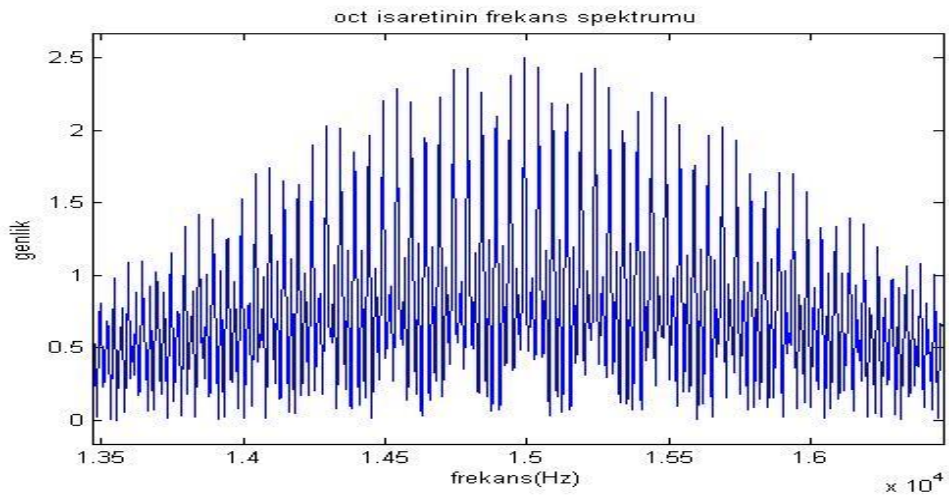
program çıktıları :



Şekil B.1.1.5.7: ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu



Şekil B.1.1.5.8: OCT işareti (' $\sigma(t)$ ' 'ye bağlı olarak değişir)



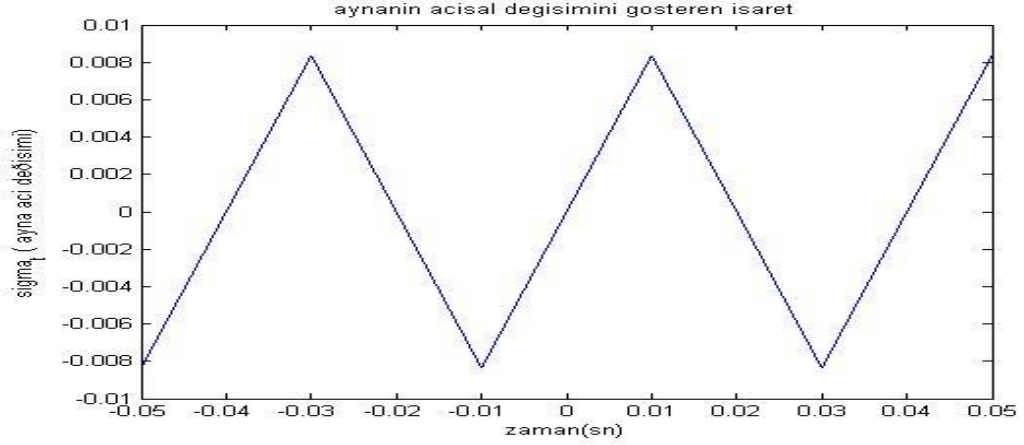
Şekil B.1.1.5.9: OCT işaretinin Frekans Spektrumu

B.1.1.6 Farklı 'm' Değerleri İçin Elde Edilen Bulgular:

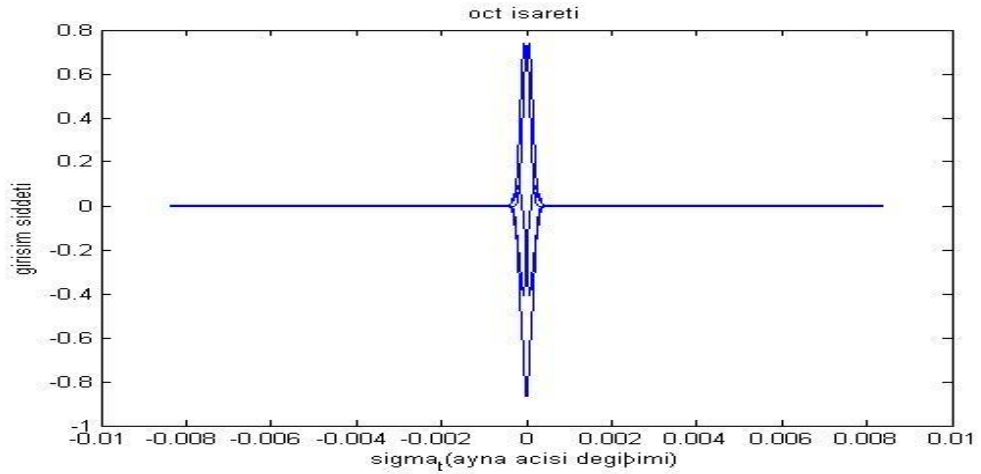
$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}$, $x=3.7\text{mm}$, $\text{pitch}=10^{-5}\text{ m}$, $f_m=25\text{Hz}$, $l_f=10\text{mm}$, $m=1$, $\lambda_0=800\text{nm}$, $\Delta\lambda=110\text{nm}$ için

teorik sonuçlar : $f_0 = 1.5466 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 1.6668 \times 10^3 \text{ Hz}$

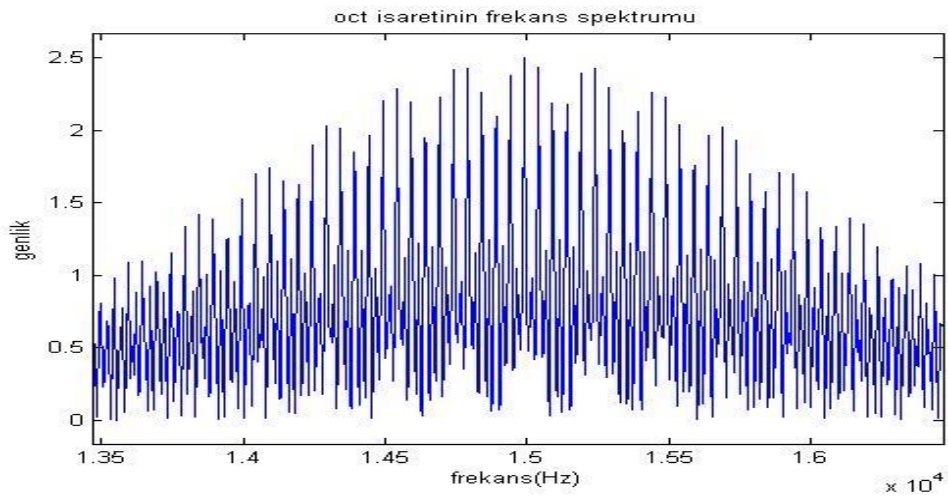
program çıktıları :



Şekil B.1.1.6.1: ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu



Şekil B.1.1.6.2: OCT işareti (' $\sigma(t)$ ' 'ye bağlı olarak değişir)

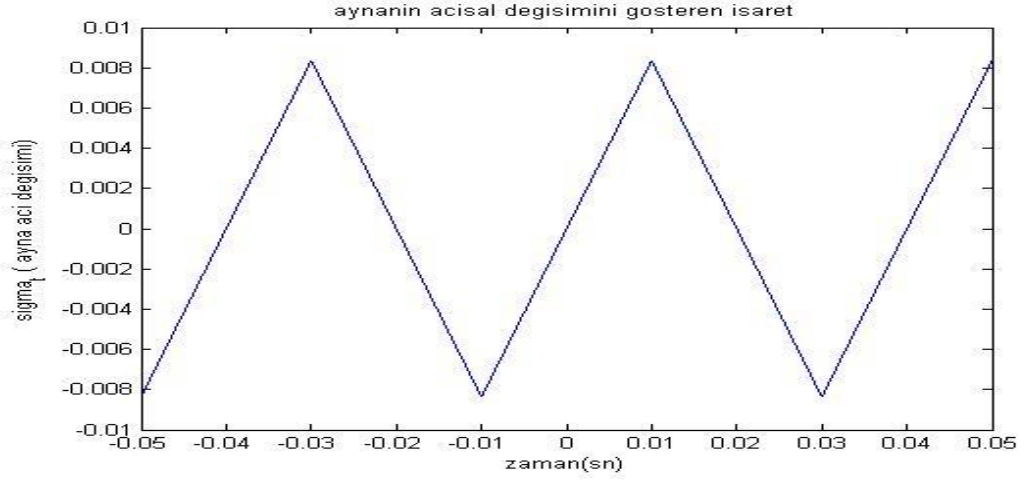


Şekil B.1.1.6.3: OCT işaretinin Frekans Spektrumu

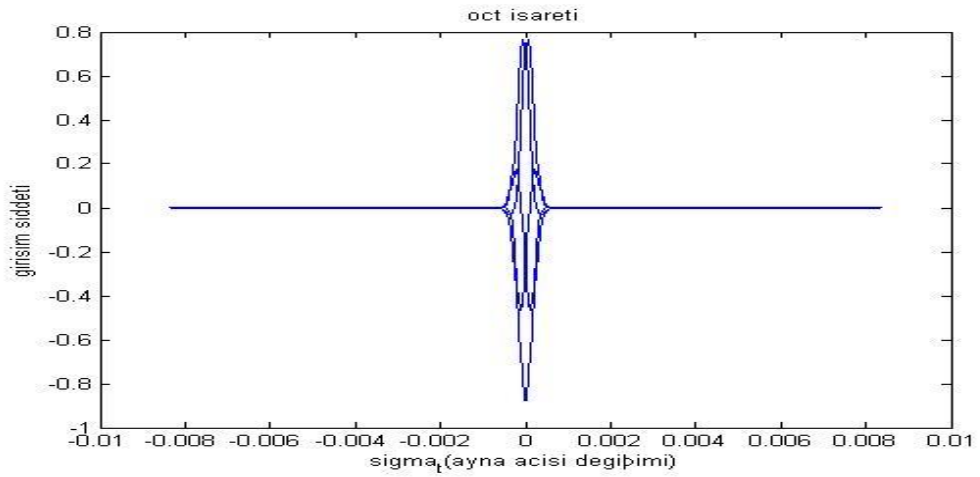
$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}$, $x=3.7\text{mm}$, $\text{pitch}=10^{-5}\text{ m}$, $f_m=25\text{Hz}$, $l_f=10\text{mm}$, $m=2$, $\lambda_0=800\text{nm}$,
 $\Delta\lambda=110\text{nm}$ için

teorik sonuçlar : $f_0 = 1.5466 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 1.2070 \times 10^3 \text{ Hz}$

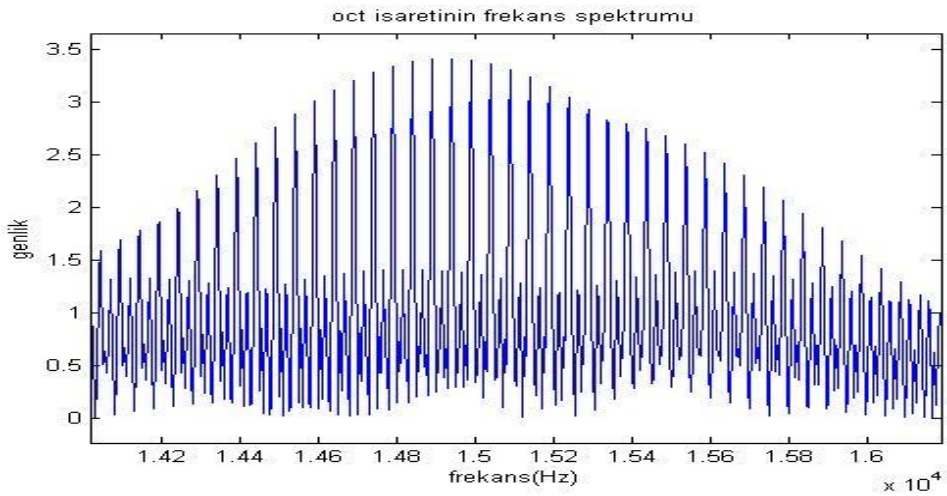
program çıktıları :



Şekil B.1.1.6.4: ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu



Şekil B.1.1.6.5: OCT işareti (' $\sigma(t)$ ' 'ye bağlı olarak değişir)

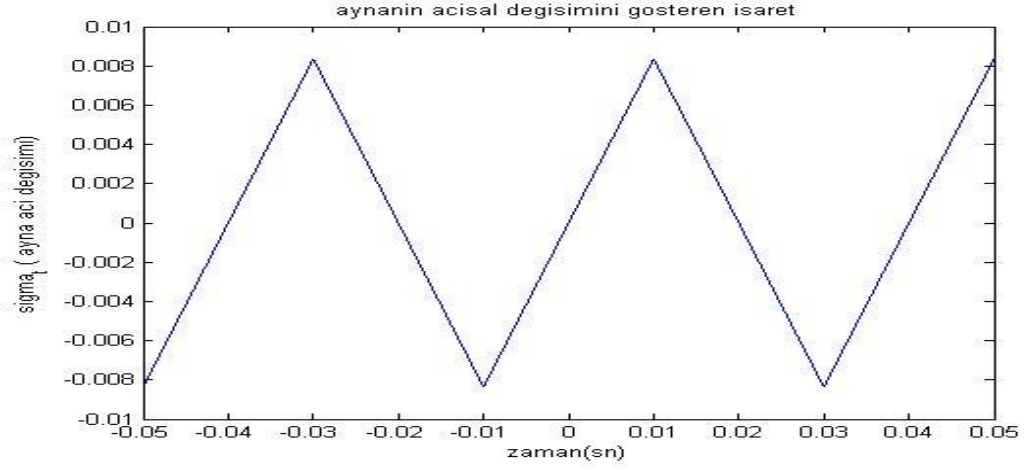


Şekil B.1.1.6.6: OCT işaretinin Frekans Spektrumu

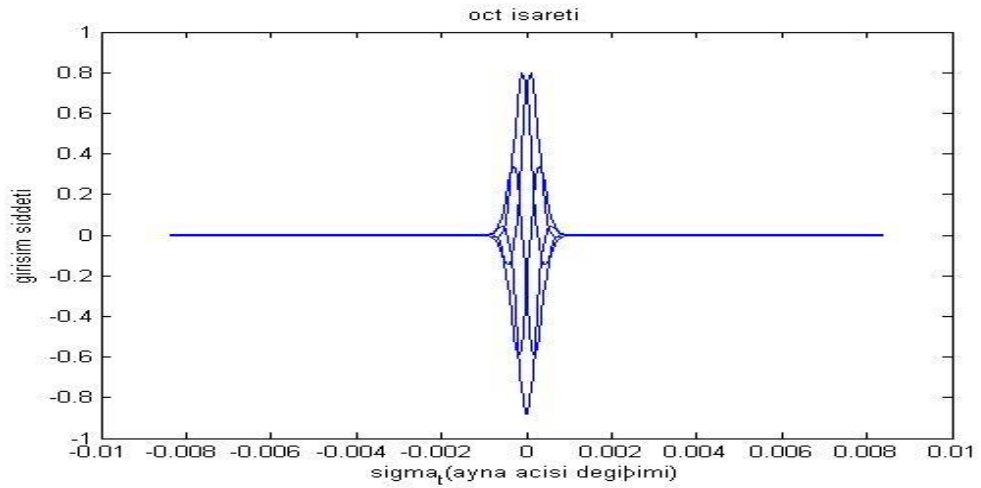
$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}$, $x=3.7\text{mm}$, $\text{pitch}=10^{-5}\text{ m}$, $f_m=25\text{Hz}$, $l_f=10\text{mm}$, $m=3$, $\lambda_0=800\text{nm}$,
 $\Delta\lambda=110\text{nm}$ için

teorik sonuçlar : $f_0 = 1.5466 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 747.1750 \text{ Hz}$

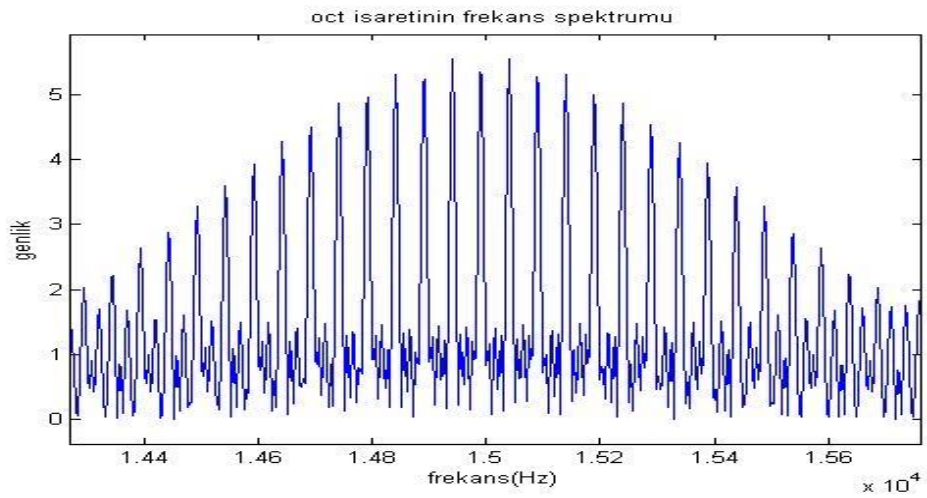
program çıktıları :



Şekil B.1.1.6.7: ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu



Şekil B.1.1.6.8: OCT işareti (' $\sigma(t)$ ' 'ye bağlı olarak değişir)



Şekil B.1.1.6.9: OCT işaretinin Frekans Spektrumu

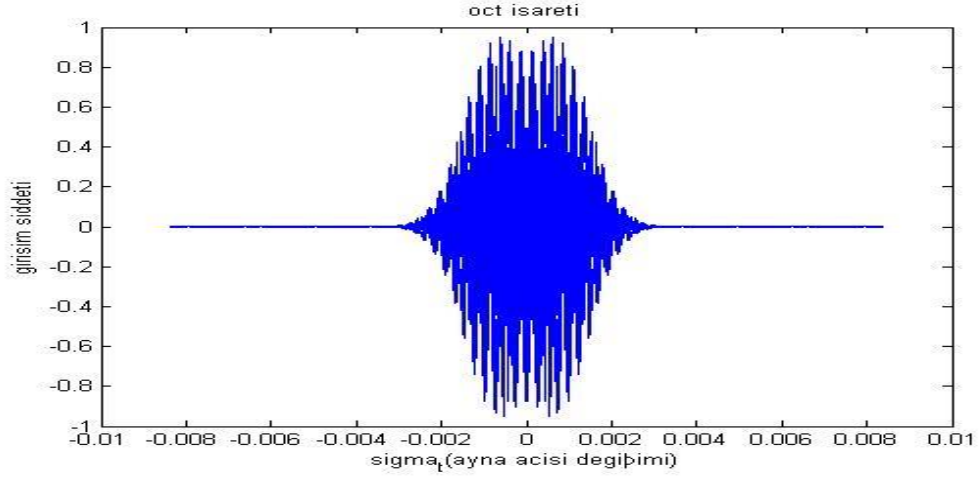
B.1.2. Eksensel Görüntü Çözünürlüğü ' Δz ' 'nin Belirlenmesi:

B.1.2.1 Farklı ' $|\gamma_0|$ ' Değerleri İçin Elde Edilen Bulgular:

$|\gamma_0| = 8.36 \text{ mrad}$, $x = 3.7 \text{ mm}$, $\text{pitch} = 10^{-5} \text{ m}$, $f_m = 25 \text{ Hz}$, $l_f = 40 \text{ mm}$, $m = 1$, $\lambda_0 = 800 \text{ nm}$,

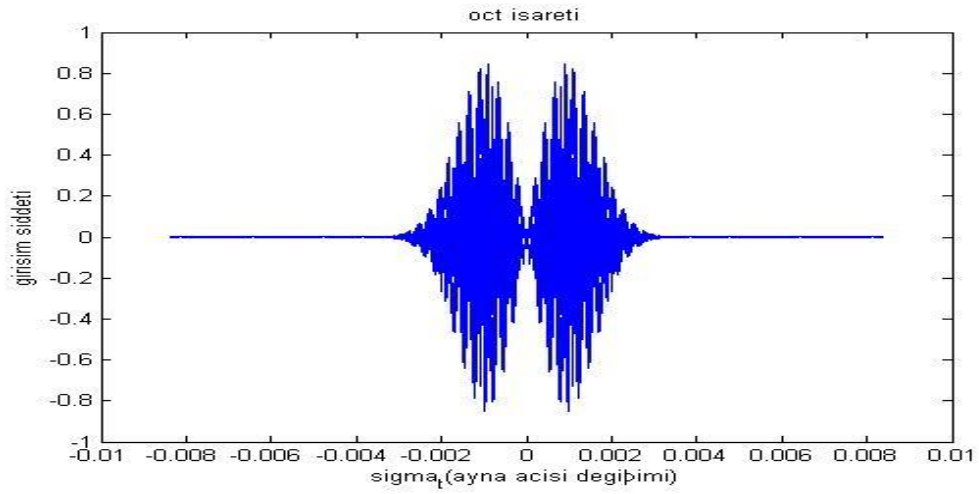
$\Delta\lambda = 110 \text{ nm}$ için

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.6 l_c$ ise;



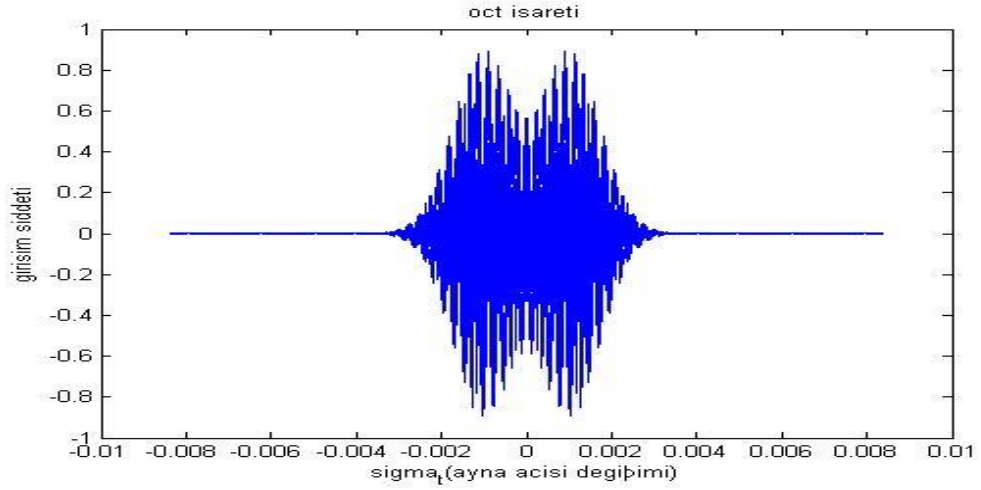
Şekil B.1.2.1.1: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.7 l_c$ ise;



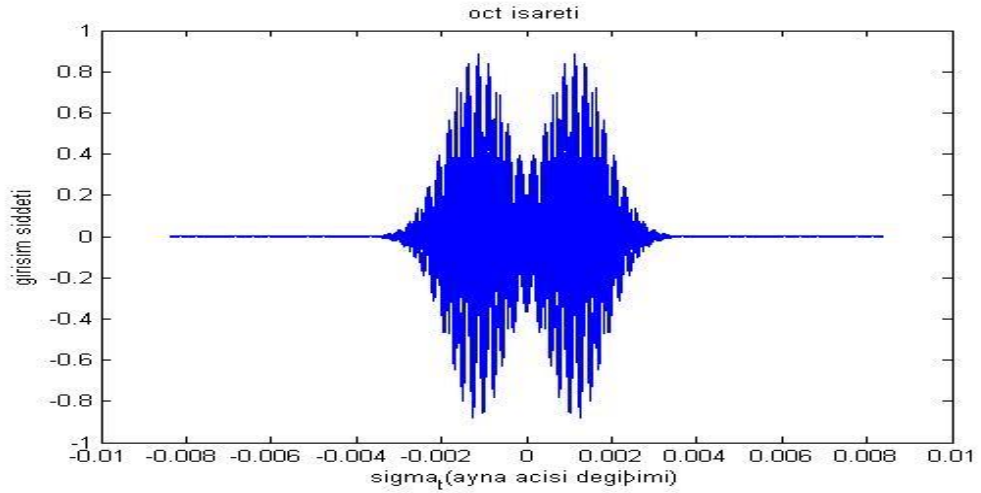
Şekil B.1.2.1.2: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.8l_C$ ise;



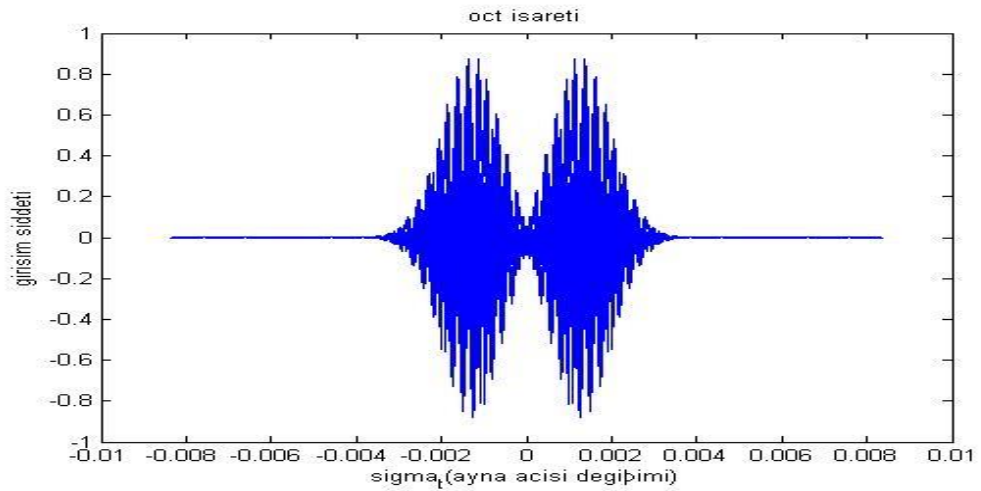
Şekil B.1.2.1.3: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.9l_C$ ise;



Şekil B.1.2.1.4: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

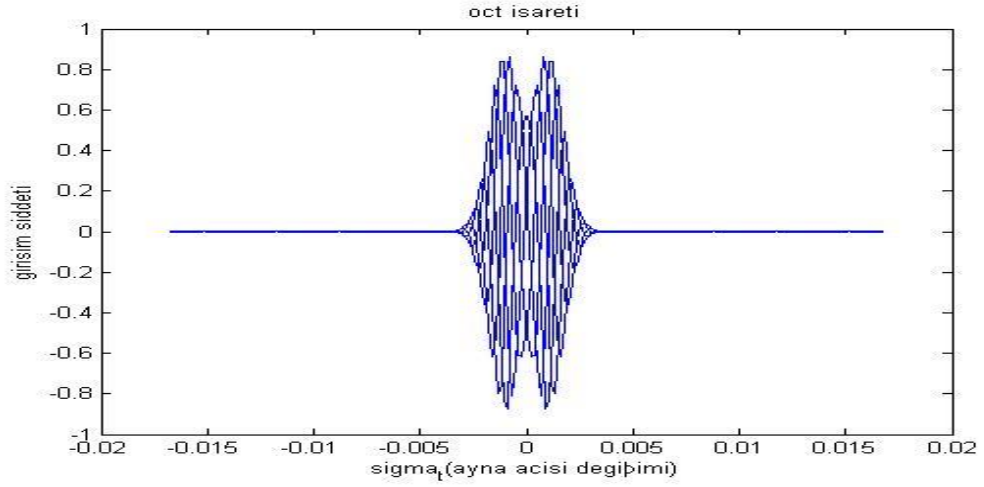
İki nokta Arasındaki Mesafe $1.0l_C$ ise;



Şekil B.1.2.1.5: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

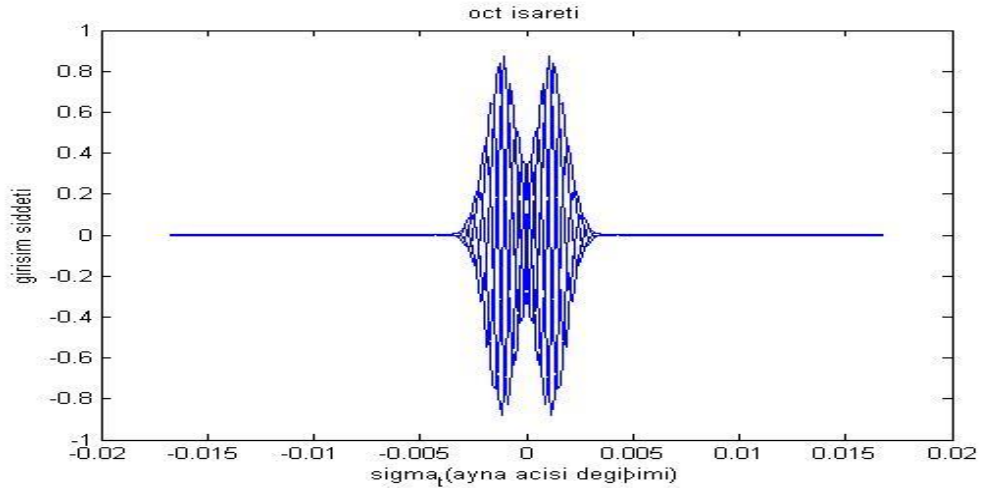
$|\gamma_0| = 16.72 \text{ mrad}$, $x = 3.7 \text{ mm}$, $\text{pitch} = 10^{-5} \text{ m}$, $f_m = 25 \text{ Hz}$, $l_f = 40 \text{ mm}$, $m = 1$,
 $\lambda_0 = 800 \text{ nm}$, $\Delta\lambda = 110 \text{ nm}$ için

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.8 l_C$ ise;



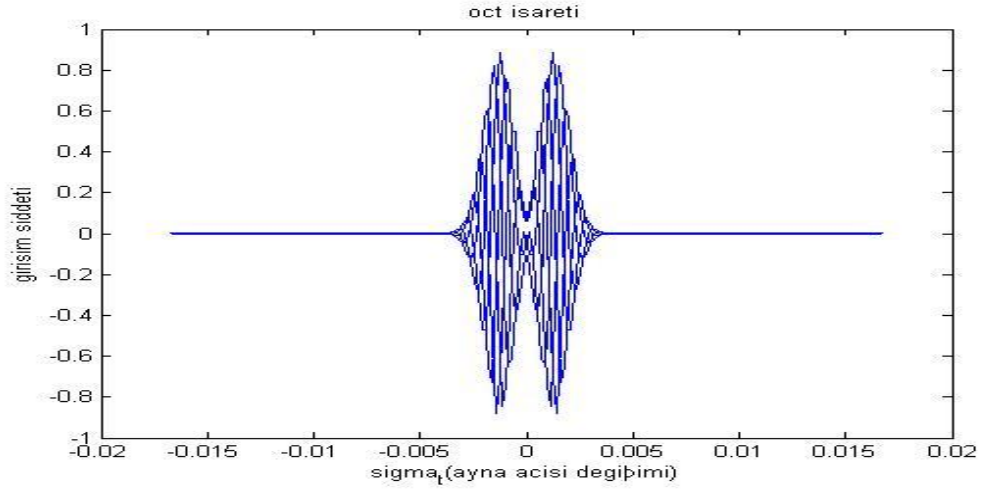
Şekil B.1.2.1.6: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.9 l_C$ ise;



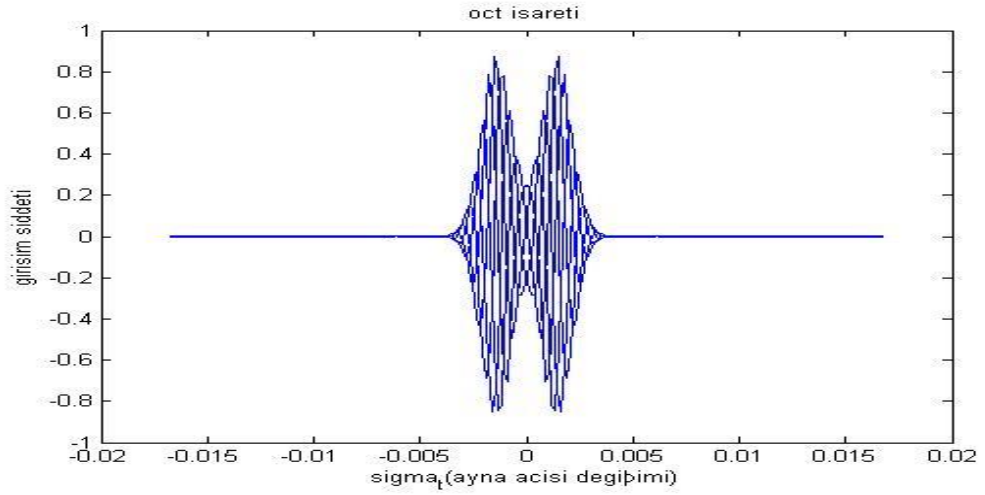
Şekil B.1.2.1.7: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $1.0l_C$ ise;



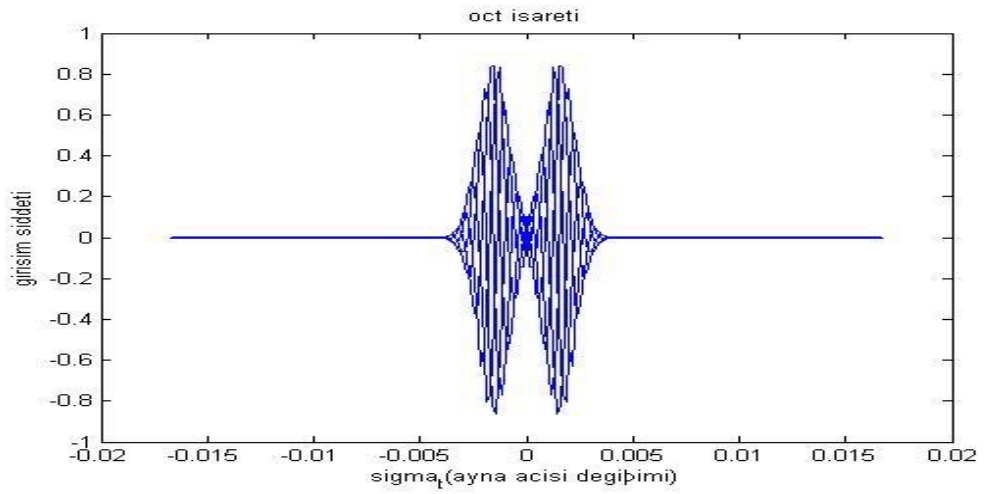
Şekil B.1.2.1.8: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $1.1l_C$ ise;



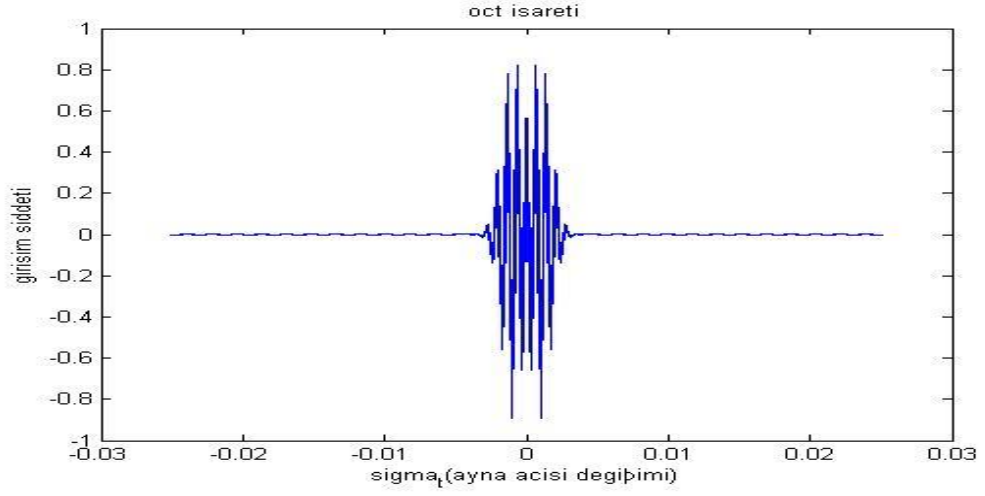
Şekil B.1.2.1.9: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $1.2l_C$ ise;



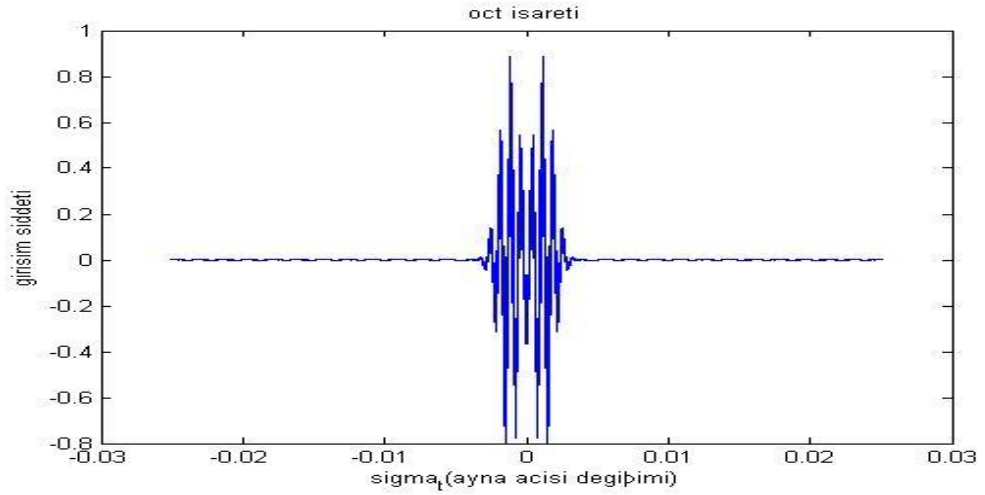
Şekil B.1.2.1.10: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

$|\gamma_0| = 25.08 \text{ mrad}$, $x = 3.7 \text{ mm}$, $\text{pitch} = 10^{-5} \text{ m}$, $f_m = 25 \text{ Hz}$, $l_f = 40 \text{ mm}$, $m = 1$, $\lambda_0 = 800 \text{ nm}$,
 $\Delta\lambda = 110 \text{ nm}$ için
İki nokta Arasındaki Mesafe $0.8 l_c$ ise;



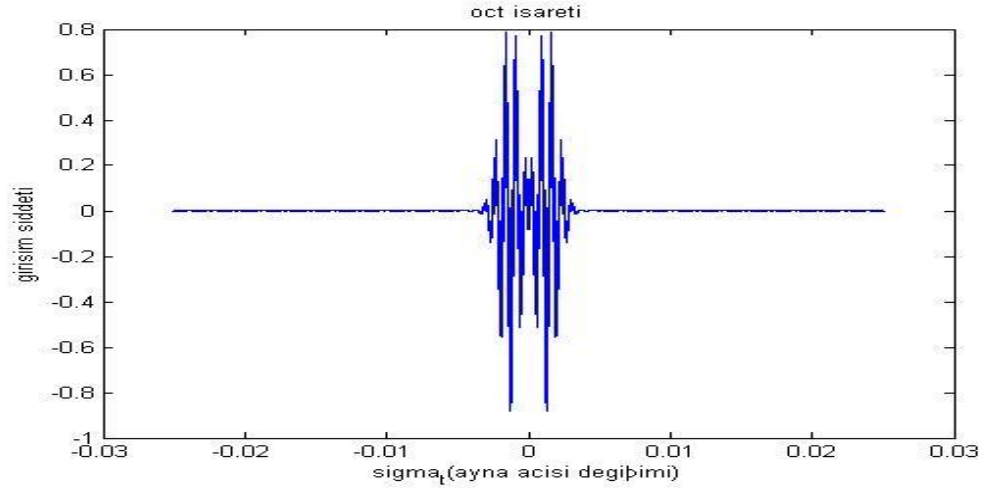
Şekil B.1.2.1.11: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.9 l_c$ ise;



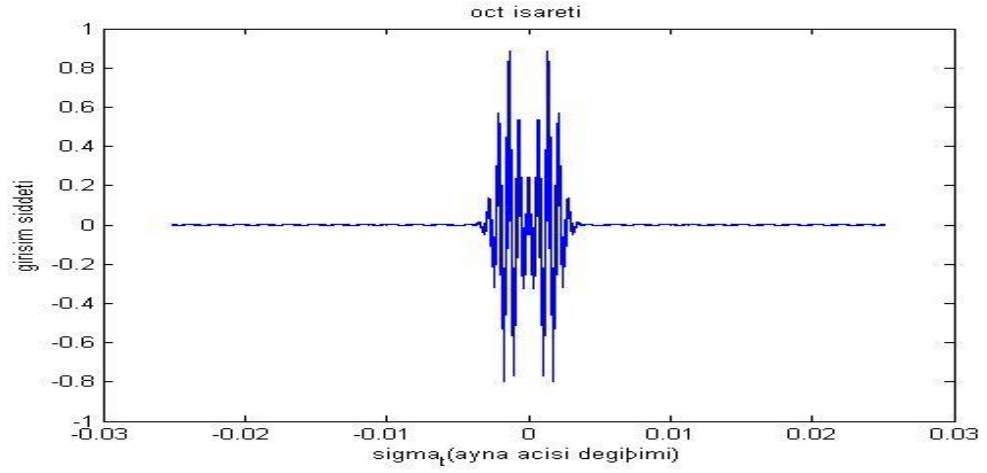
Şekil B.1.2.1.12: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $1.0l_C$ ise;



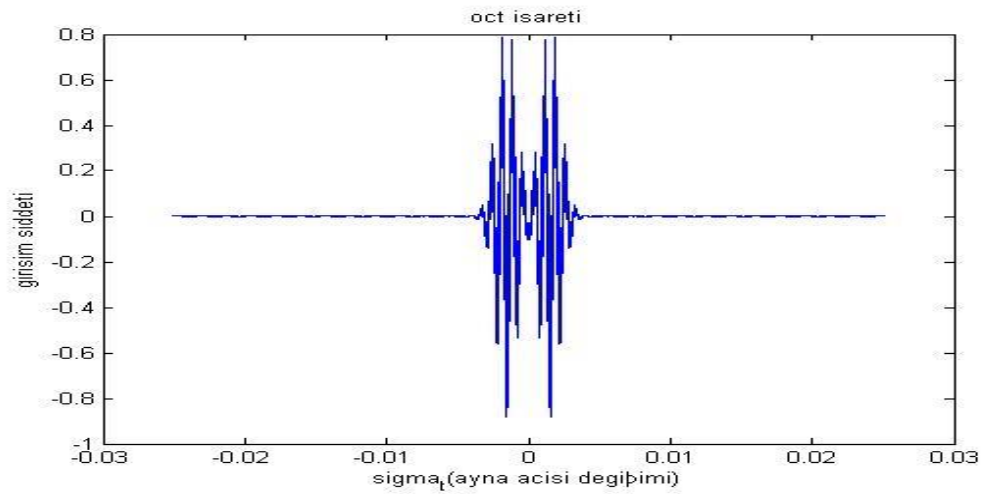
Şekil B.1.2.1.13: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $1.1l_C$ ise;



Şekil B.1.2.1.14: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $1.2l_C$ ise;

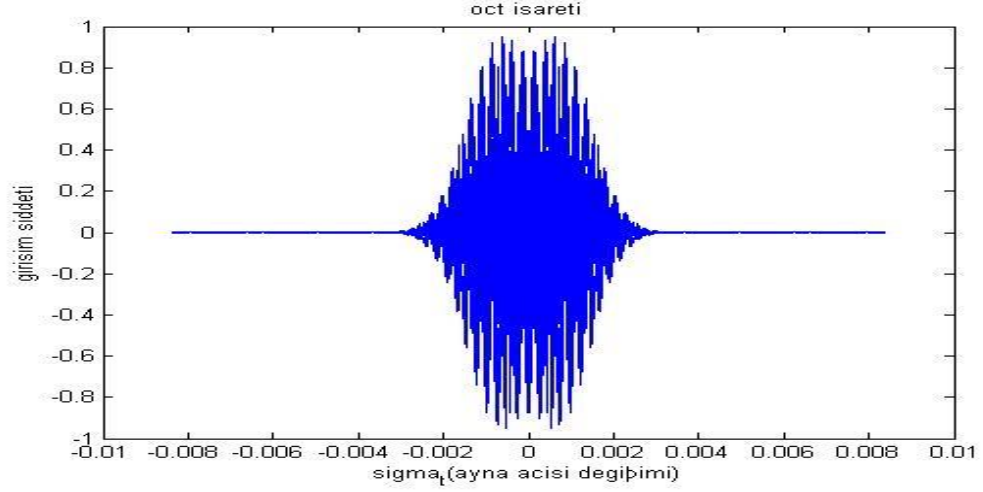


Şekil B.1.2.1.15: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

B.1.2.2 Farklı 'x' Değerleri İçin Elde Edilen Bulgular:

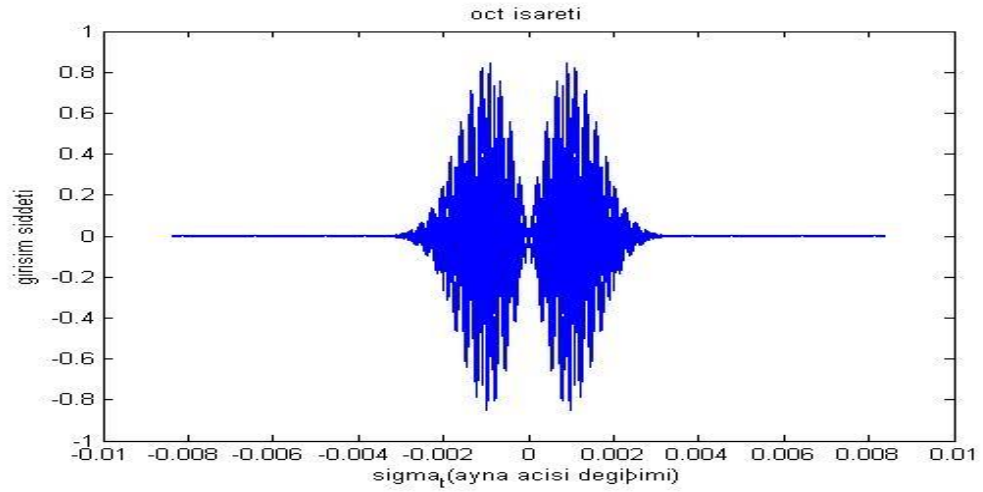
$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}$, $x=3.7\text{mm}$, $\text{pitch}=10^{-5}\text{ m}$, $f_m=25\text{ Hz}$, $l_f=40\text{mm}$, $m=1$, $\lambda_0=800\text{nm}$,
 $\Delta\lambda=110\text{nm}$ için

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.6l_C$ ise;



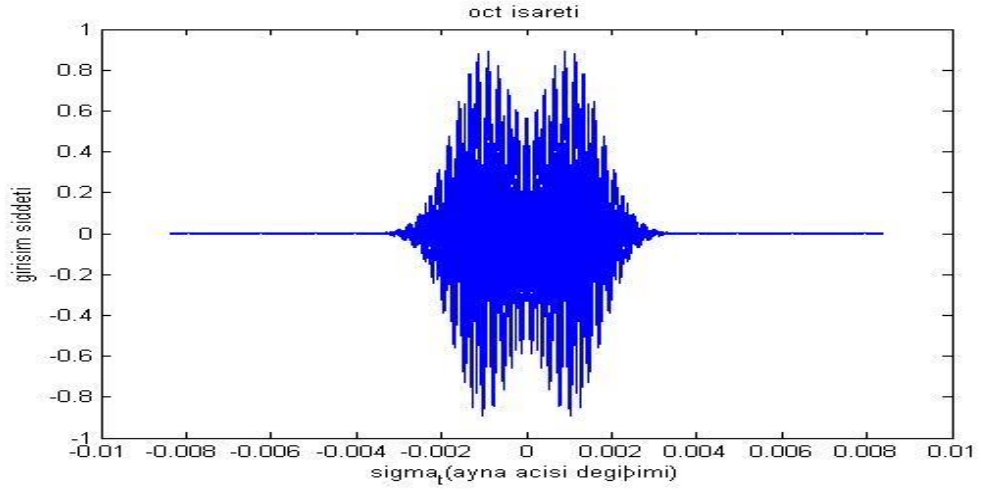
Şekil B.1.2.2.1: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.7l_C$ ise;



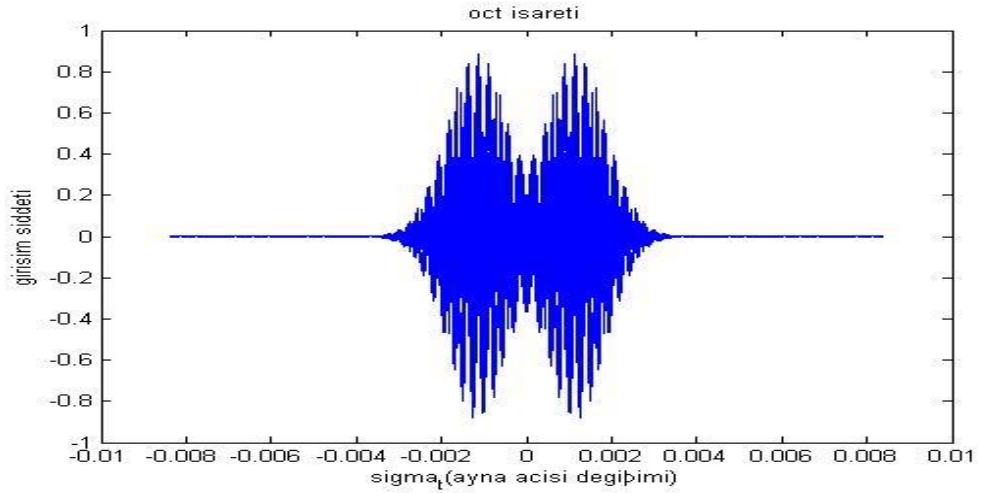
Şekil B.1.2.2.2: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.8l_C$ ise;



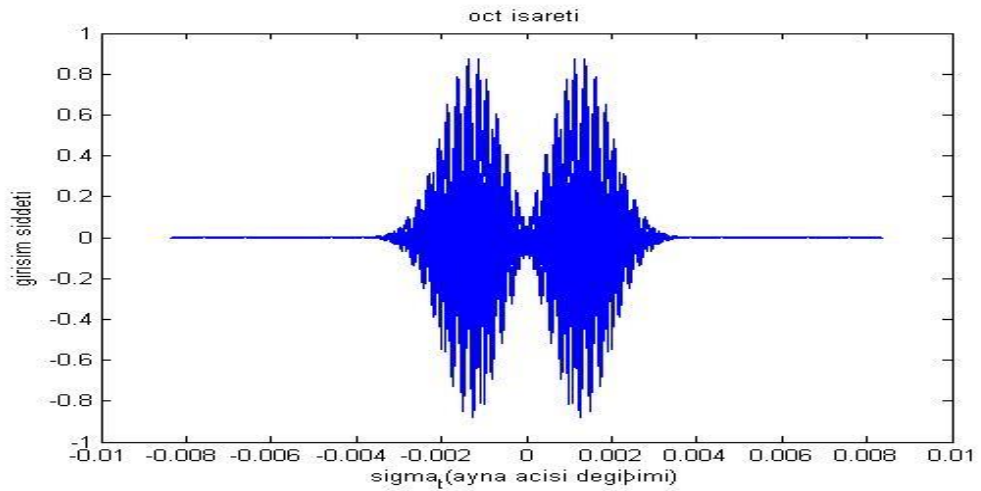
Şekil B.1.2.2.3: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.9l_C$ ise;



Şekil B.1.2.2.4: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

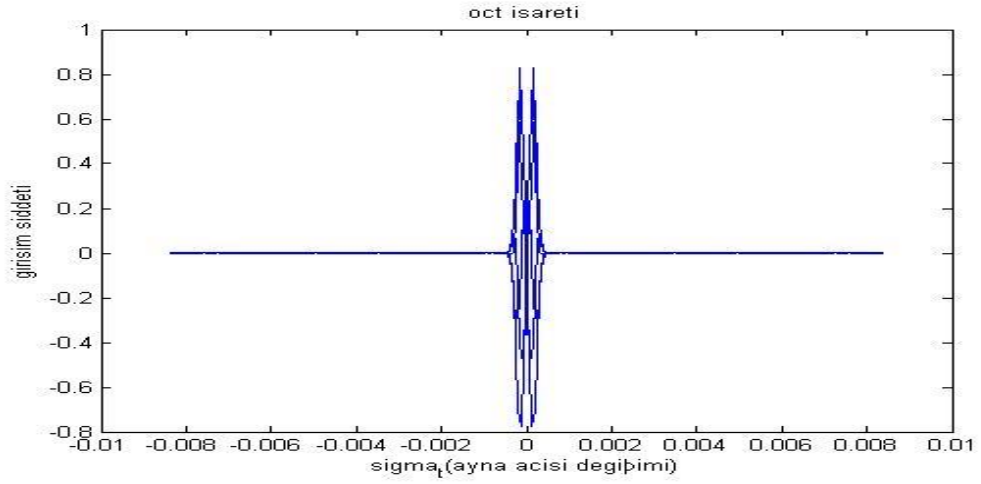
İki nokta Arasındaki Mesafe $1.0l_C$ ise;



Şekil B.1.2.2.5: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

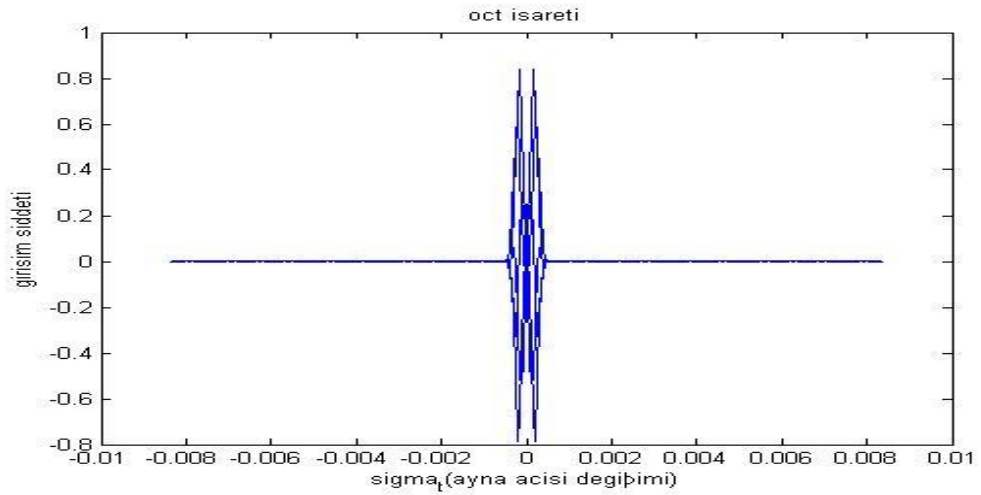
$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}$, $x=7.4\text{mm}$, $\text{pitch}=10^{-5}\text{m}$, $f_m=25\text{Hz}$, $l_f=40\text{mm}$, $m=1$, $\lambda_0=800\text{nm}$,
 $\Delta\lambda=110\text{nm}$ için

İki nokta Arasındaki Mesafe $1.0l_C$ ise;



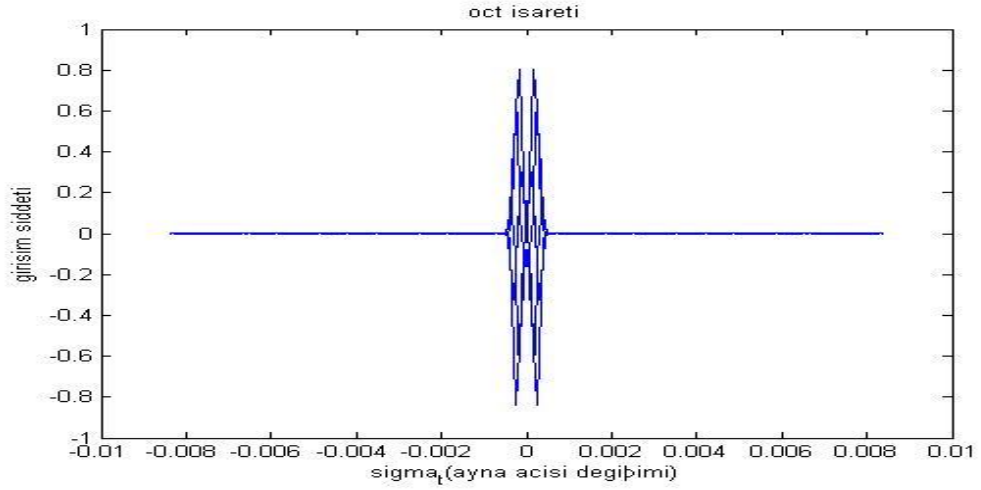
Şekil B.1.2.2.6: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $1.2l_C$ ise;



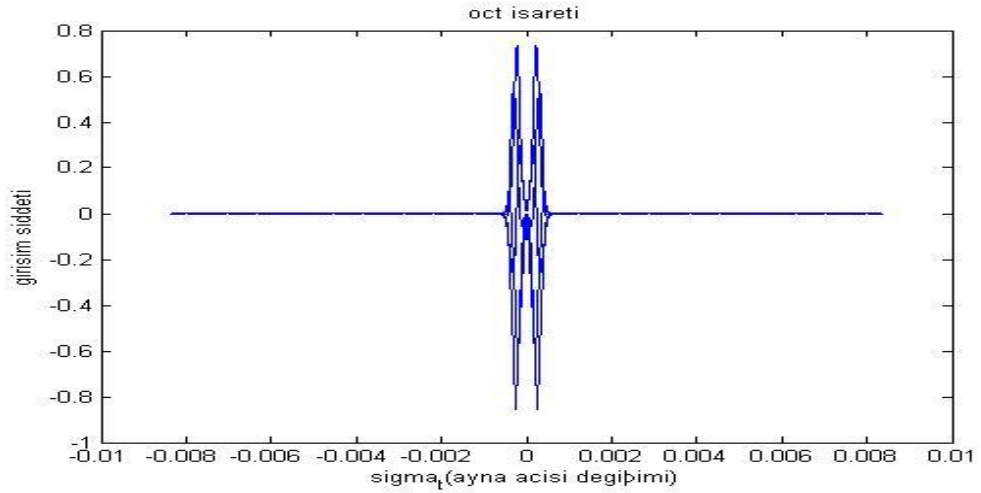
Şekil B.1.2.2.7: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $1.4l_C$ ise;



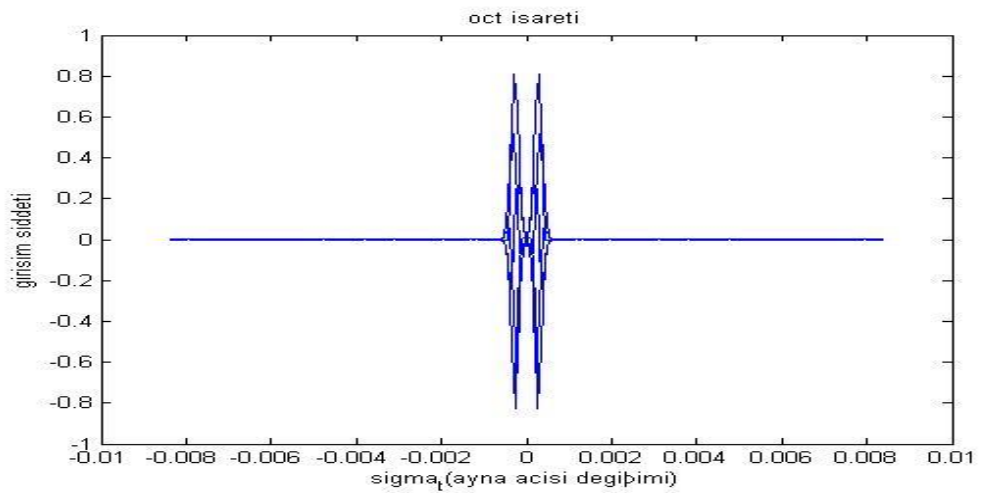
Şekil B.1.2.2.8: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $1.6l_C$ ise;



Şekil B.1.2.2.9: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

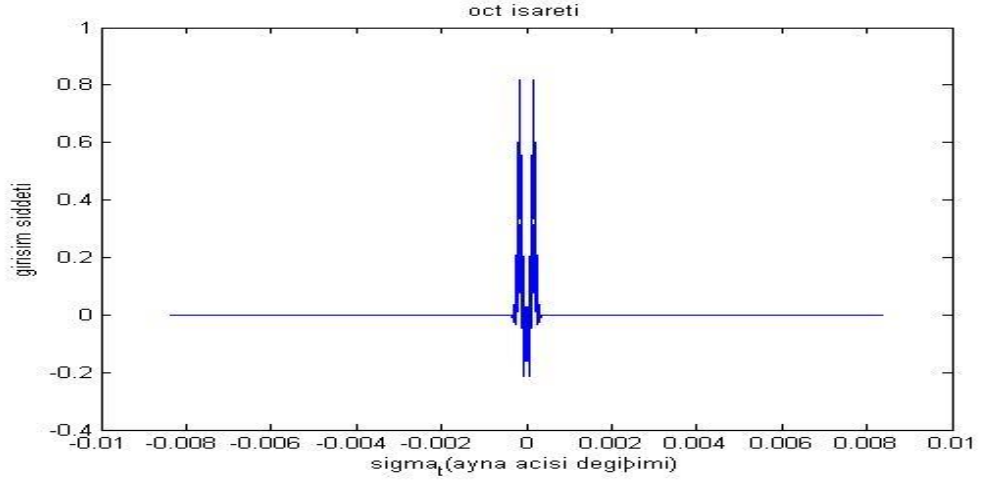
İki nokta Arasındaki Mesafe $1.8l_C$ ise;



Şekil B.1.2.2.10: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

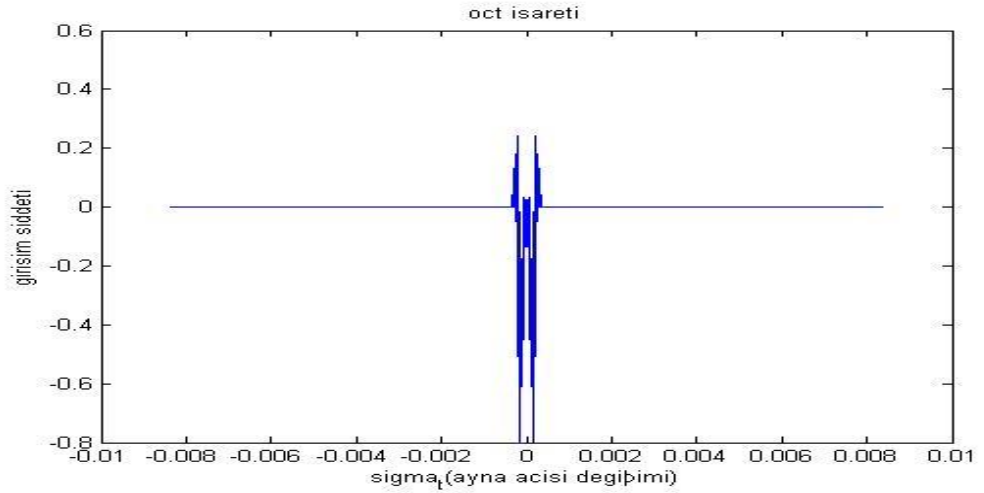
$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}$, $x=11.1\text{mm}$, $\text{pitch}=10^{-5}\text{m}$, $f_m=25\text{Hz}$, $l_f=40\text{mm}$, $m=1$, $\lambda_0=800\text{nm}$,
 $\Delta\lambda=110\text{nm}$ için

İki nokta Arasındaki Mesafe $1.8l_C$ ise;



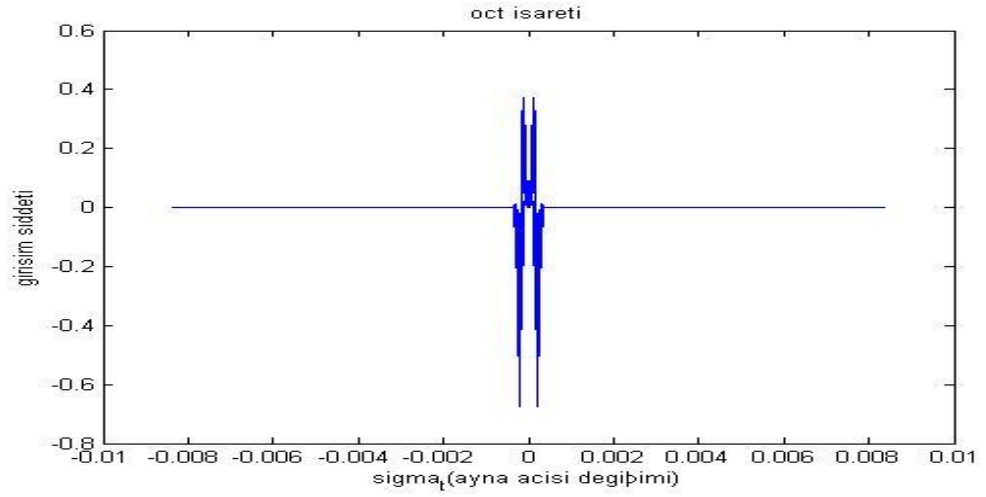
Şekil B.1.2.2.11: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $2.0l_C$ ise;



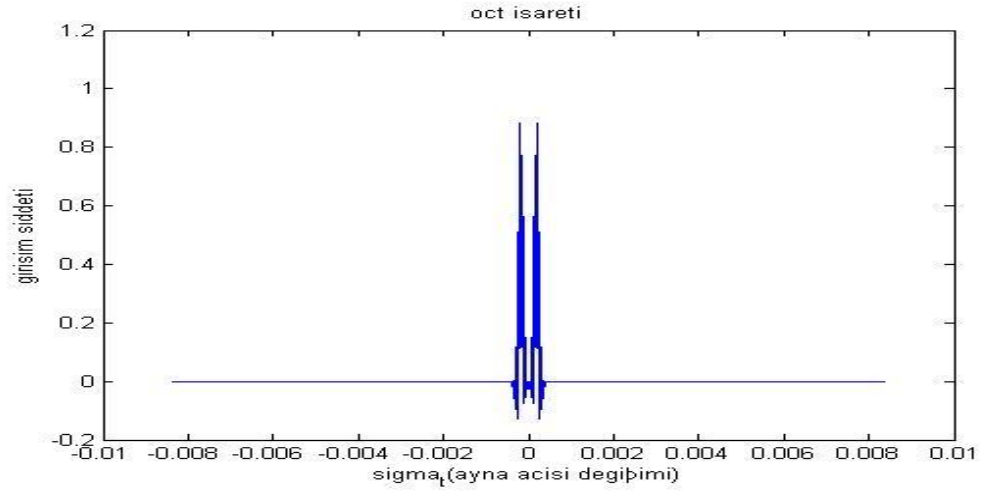
Şekil B.1.2.2.12: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $2.2l_c$ ise;



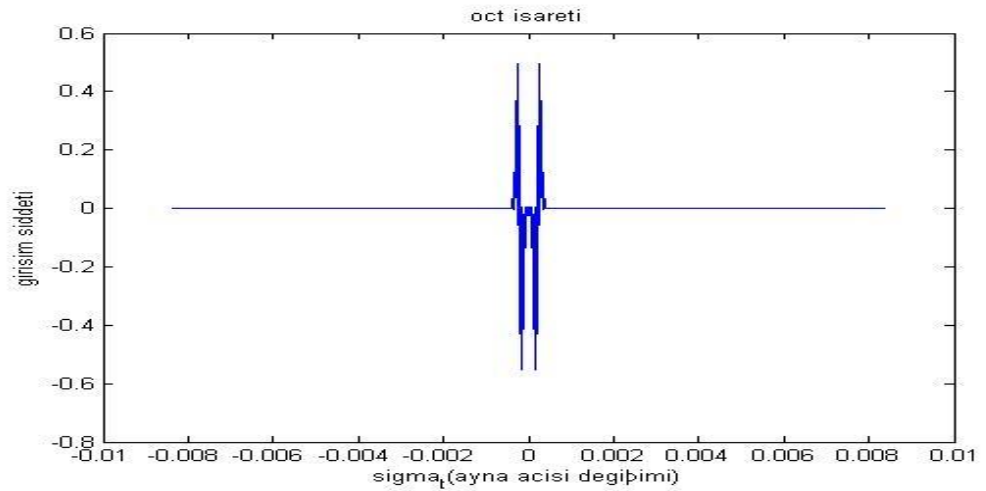
Şekil B.1.2.2.13: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $2.4l_c$ ise;



Şekil B.1.2.2.14: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $2.6l_c$ ise;

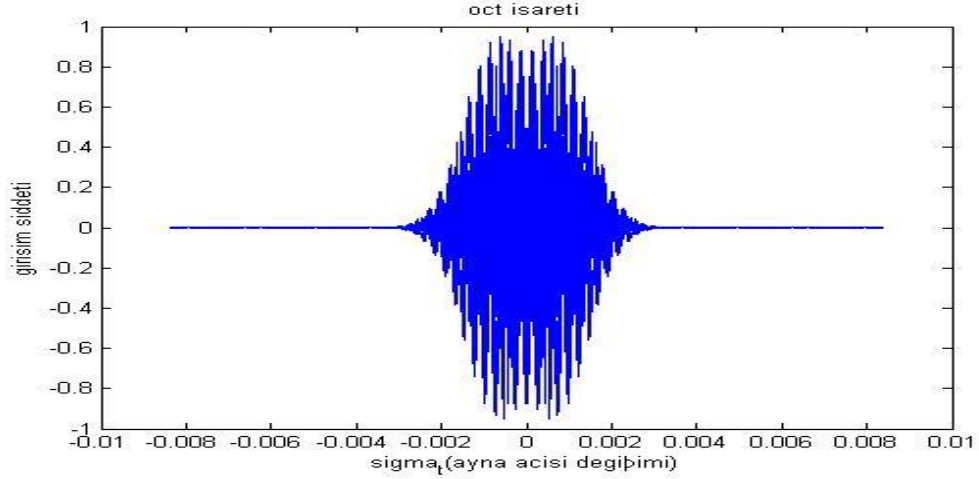


Şekil B.1.2.2.15: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

B.1.2.3 Farklı 'pitch' Değerleri İçin Elde Edilen Bulgular:

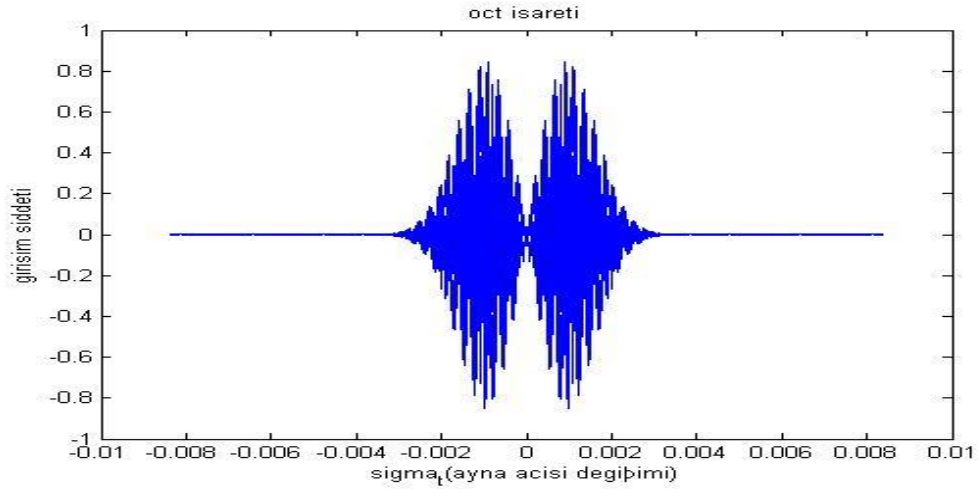
$|\gamma_0| = 8.36 \text{ mrad}$, $x = 3.7 \text{ mm}$, **pitch** = 10^{-5} m , $f_m = 25 \text{ Hz}$, $l_f = 40 \text{ mm}$, $m = 1$, $\lambda_0 = 800 \text{ nm}$,
 $\Delta\lambda = 110 \text{ nm}$ için

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.6 l_C$ ise;



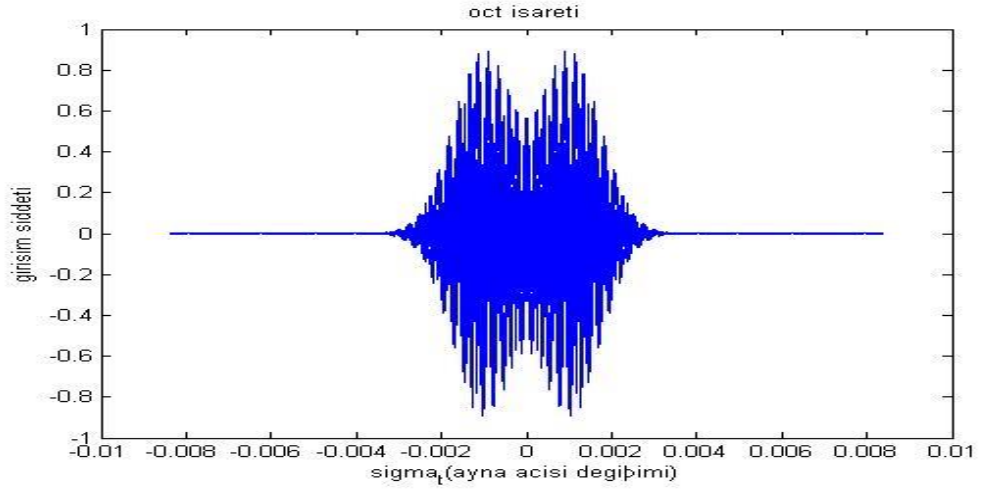
Şekil B.1.2.3.1: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.7 l_C$ ise;



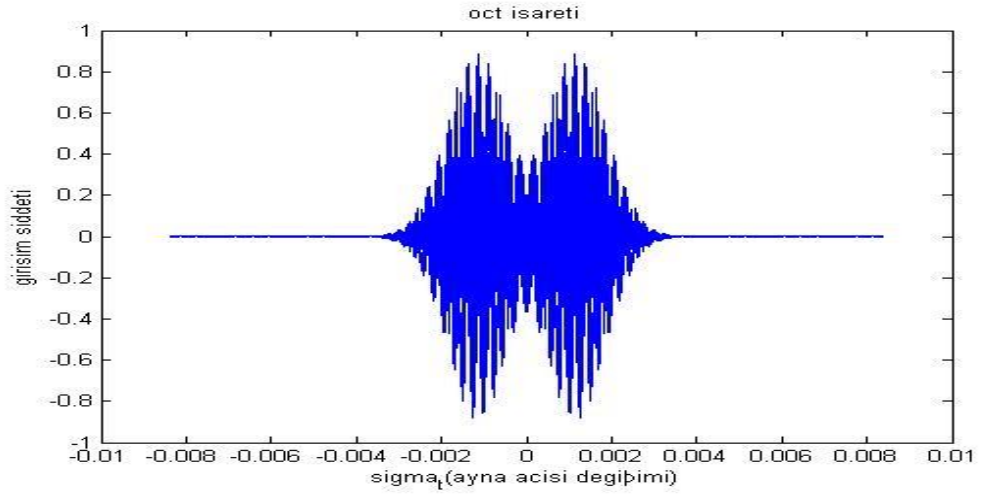
Şekil B.1.2.3.2: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.8l_C$ ise;



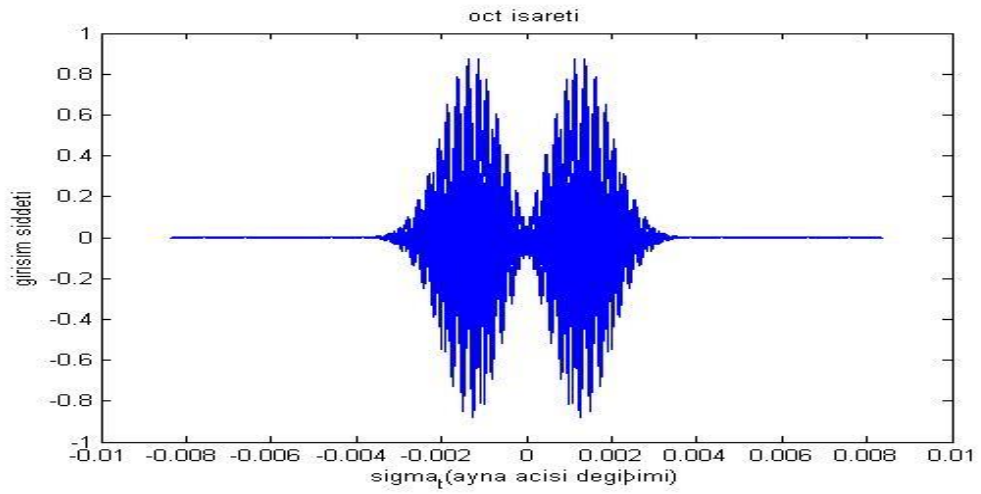
Şekil B.1.2.3.3: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.9l_C$ ise;



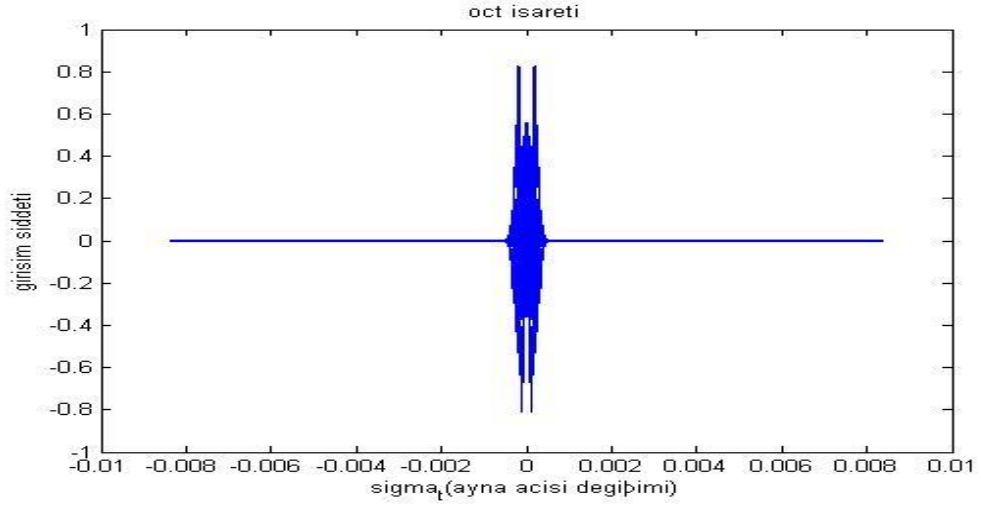
Şekil B.1.2.3.4: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $1.0l_C$ ise;



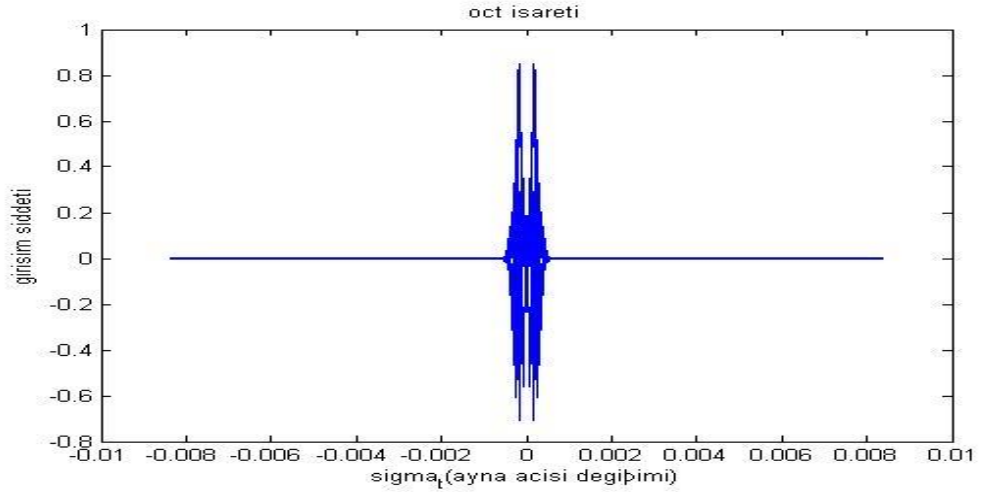
Şekil B.1.2.3.5: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}$, $x=3.7\text{mm}$, **pitch** $=10^{-4}\text{m}$, $f_m=25\text{Hz}$, $l_f=40\text{mm}$, $m=1$, $\lambda_0=800\text{nm}$,
 $\Delta\lambda=110\text{nm}$ için
İki nokta Arasındaki Mesafe $0.8l_c$ ise;



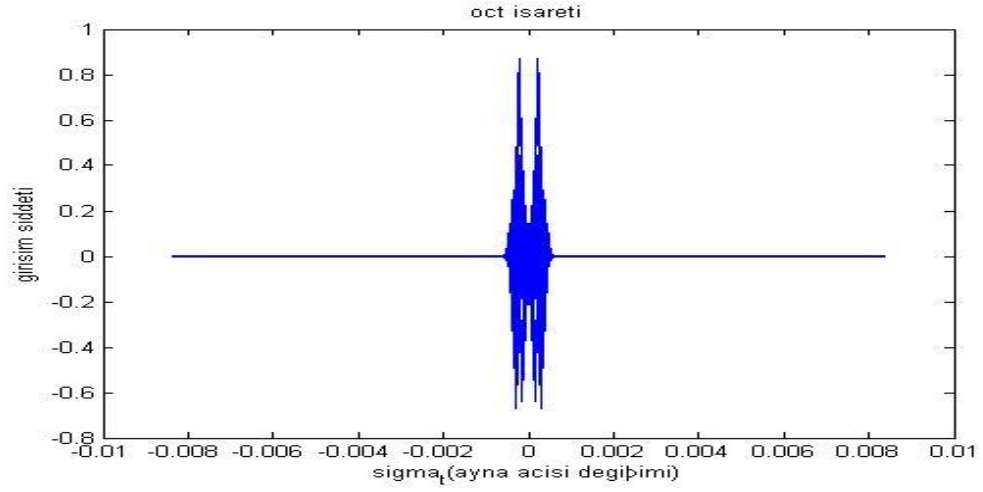
Şekil B.1.2.3.6: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $1.0l_c$ ise;



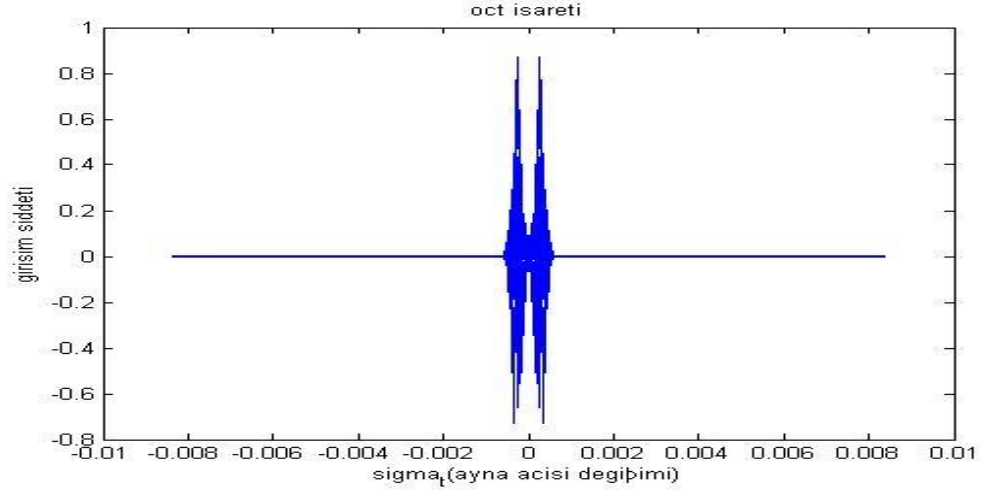
Şekil B.1.2.3.7: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $1.2l_C$ ise;



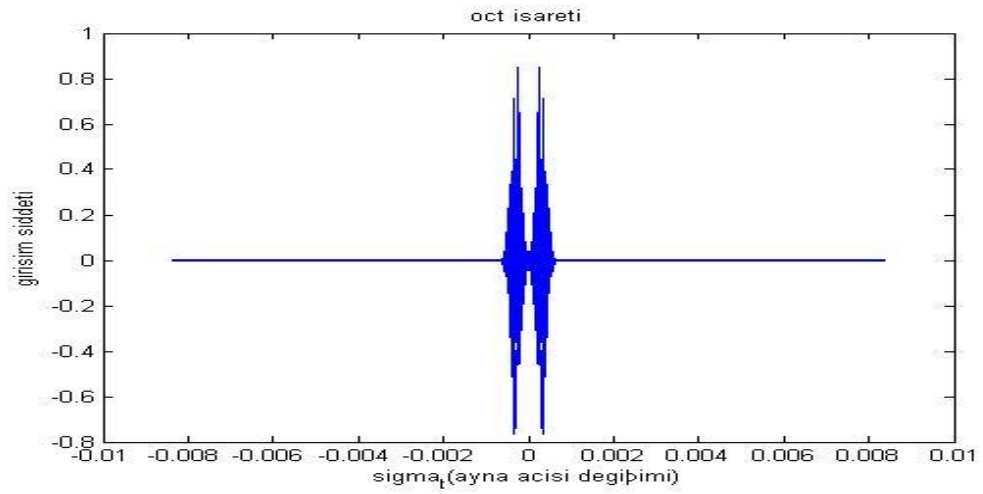
Şekil B.1.2.3.8: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $1.4l_C$ ise;



Şekil B.1.2.3.9: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $1.6l_C$ ise;

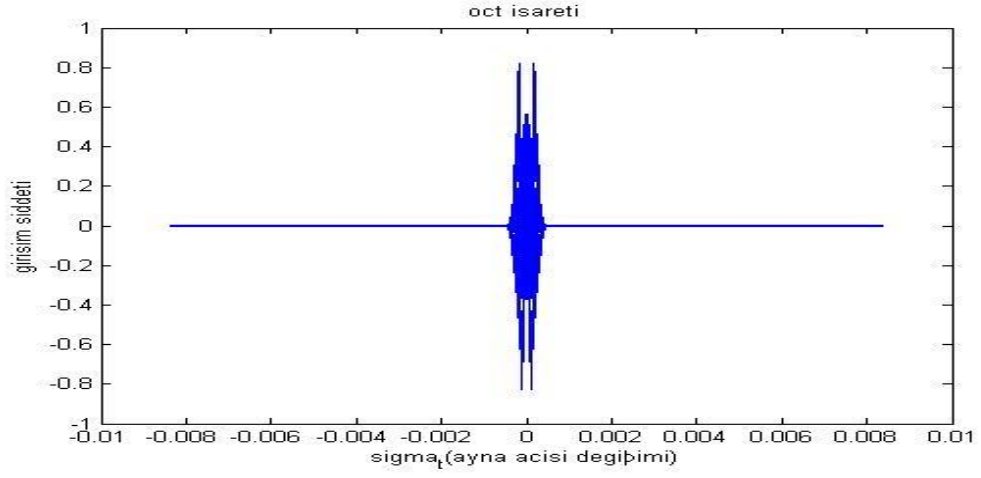


Şekil B.1.2.3.10: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}$, $x=3.7\text{mm}$, **pitch** $=5\times 10^{-4}\text{m}$, $f_m=25\text{Hz}$, $l_f=40\text{mm}$, $m=1$,

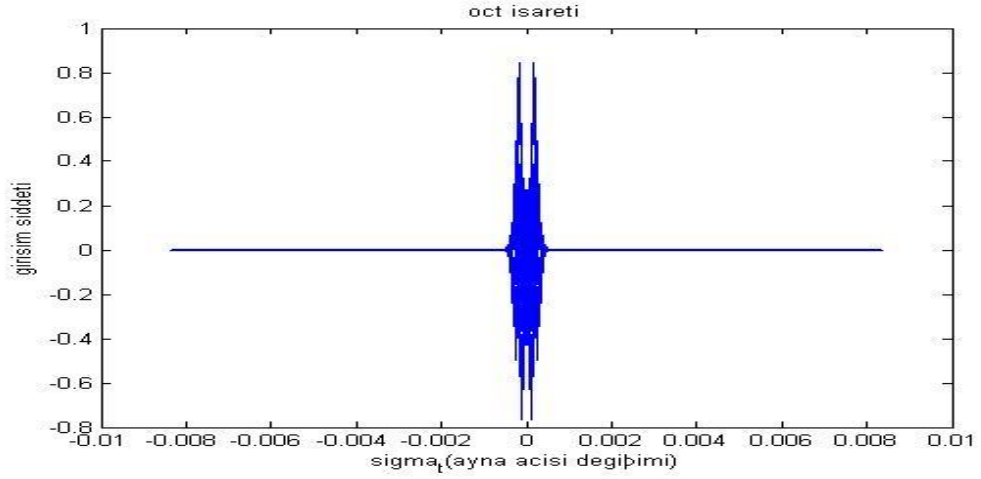
$\lambda_0=800\text{nm}$, $\Delta\lambda=110\text{nm}$ için

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.8l_C$ ise;



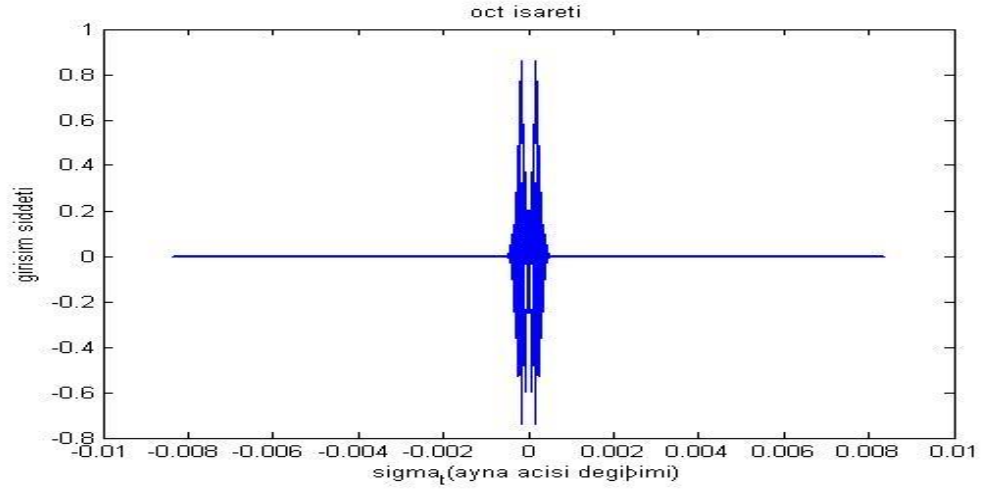
Şekil B.1.2.3.11: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.9l_C$ ise;



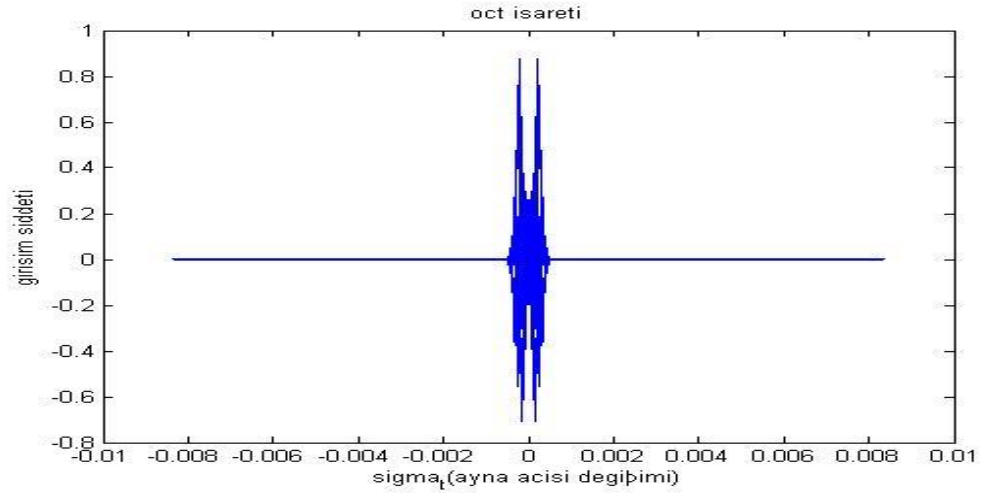
Şekil B.1.2.3.12: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $1.0l_C$ ise;



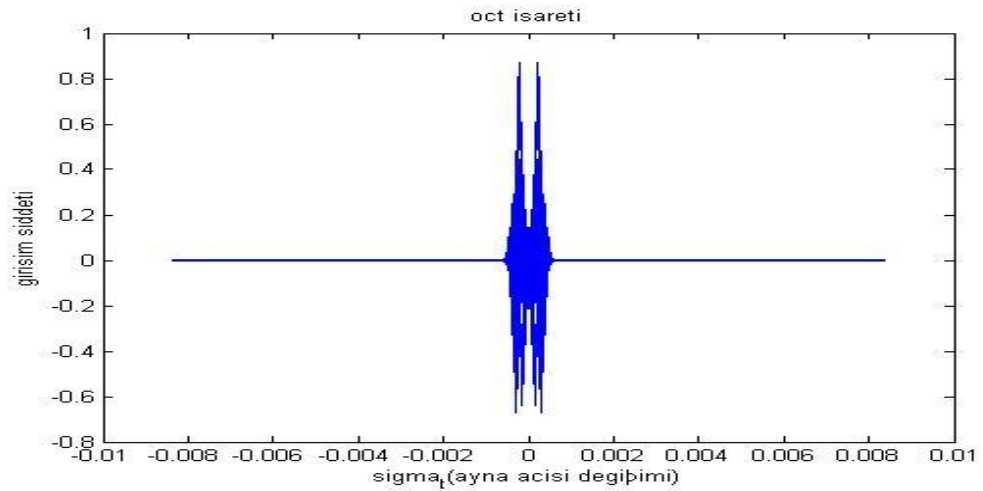
Şekil B.1.2.3.13: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $1.1l_C$ ise;



Şekil B.1.2.3.14: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $1.2l_C$ ise;

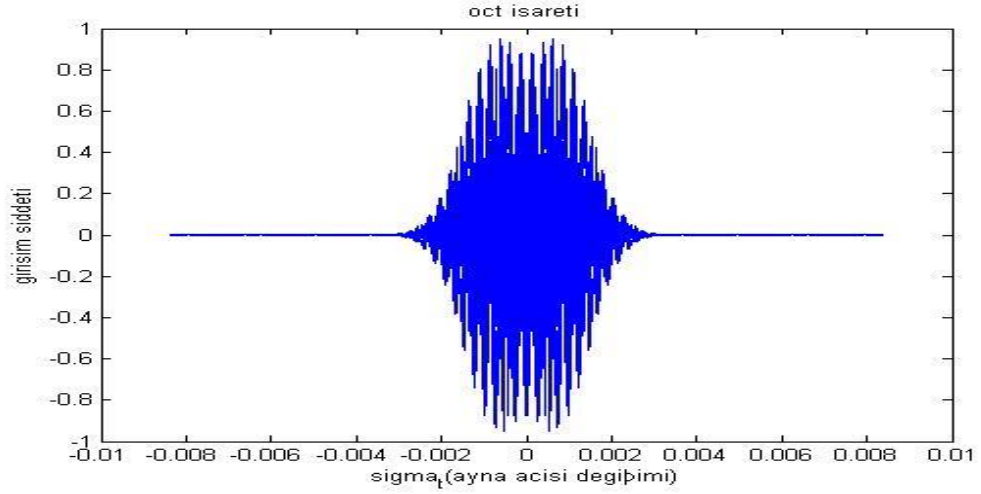


Şekil B.1.2.3.15: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

B.1.2.4 Farklı ' f_m ' Değerleri İçin Elde Edilen Bulgular:

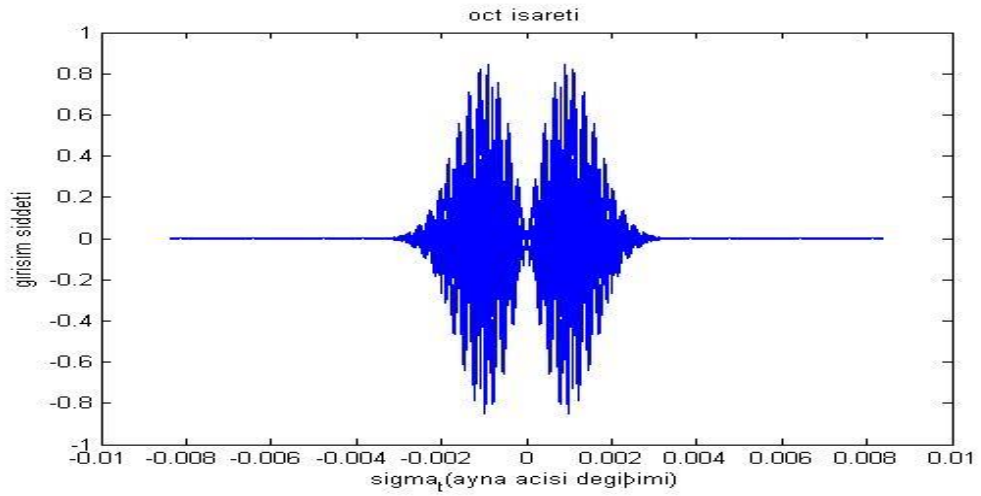
$|\gamma_0| = 8.36 \text{ mrad}$, $x = 3.7 \text{ mm}$, $\text{pitch} = 10^{-5} \text{ m}$, $f_m = 25 \text{ Hz}$, $l_f = 40 \text{ mm}$, $m = 1$, $\lambda_0 = 800 \text{ nm}$,
 $\Delta\lambda = 110 \text{ nm}$ için

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.6 l_C$ ise;



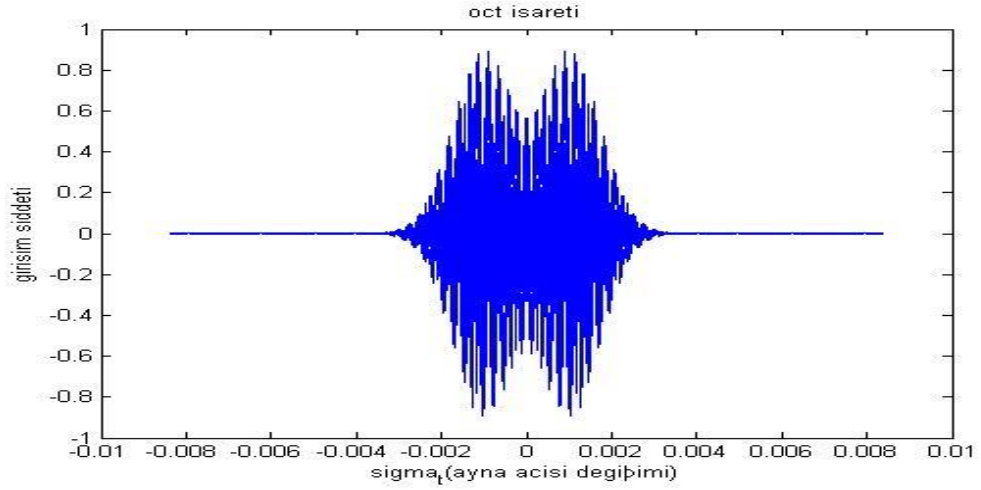
Şekil B.1.2.4.1: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.7 l_C$ ise;



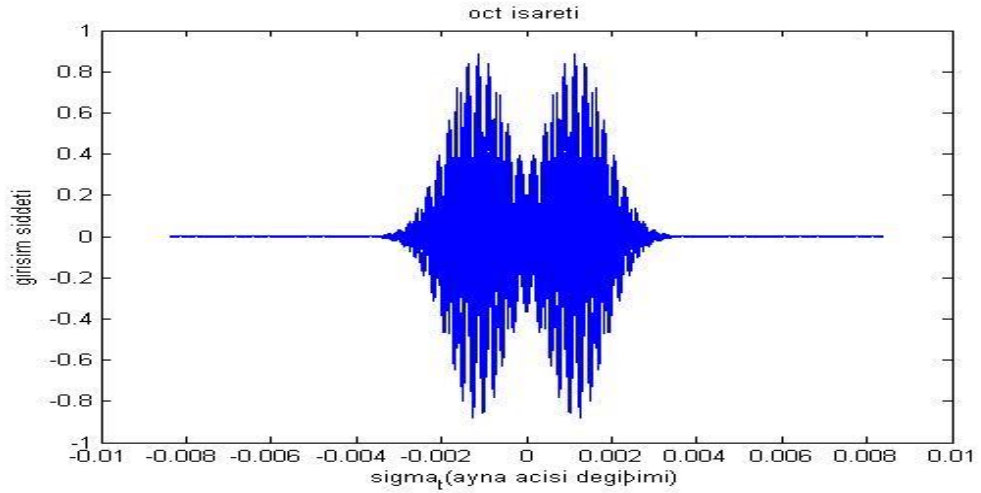
Şekil B.1.2.4.2: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.8l_C$ ise;



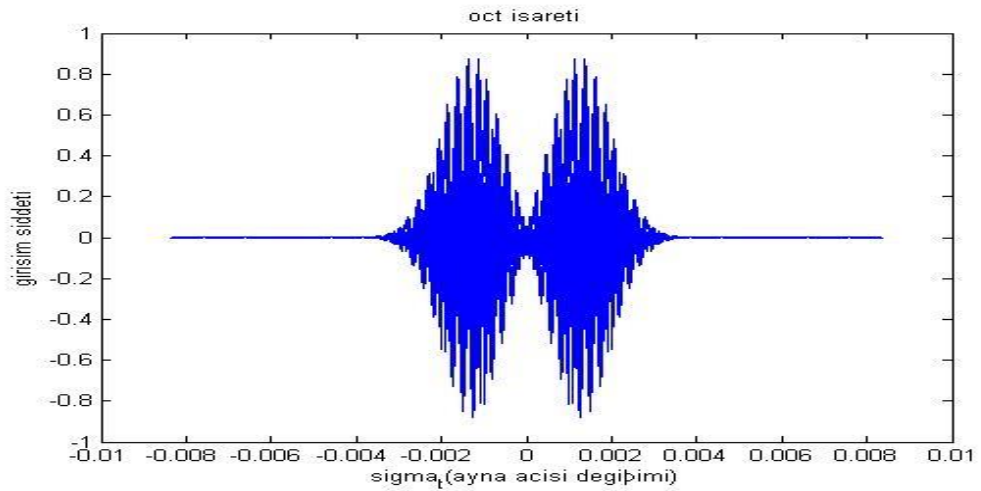
Şekil B.1.2.4.3: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.9l_C$ ise;



Şekil B.1.2.4.4: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

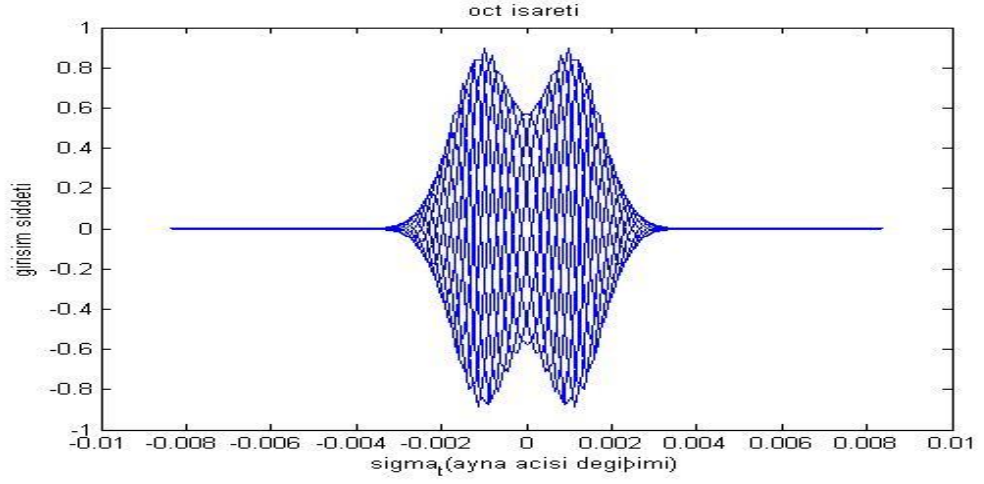
İki nokta Arasındaki Mesafe $1.0l_C$ ise;



Şekil B.1.2.4.5: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

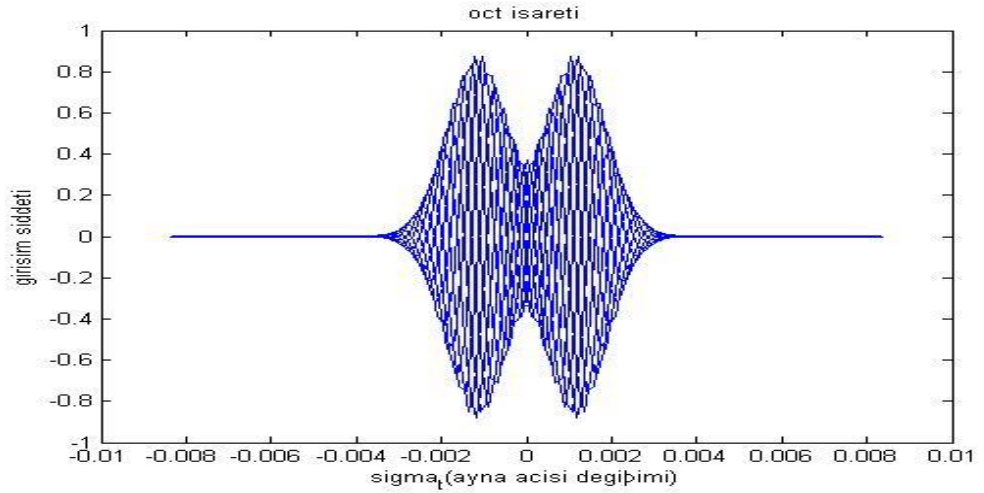
$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}$, $x=3.7\text{mm}$, $\text{pitch}=10^{-5}\text{ m}$, $f_m=50\text{Hz}$, $l_f=40\text{mm}$, $m=1$, $\lambda_0=800\text{nm}$,
 $\Delta\lambda=110\text{nm}$ için

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.8l_c$ ise;



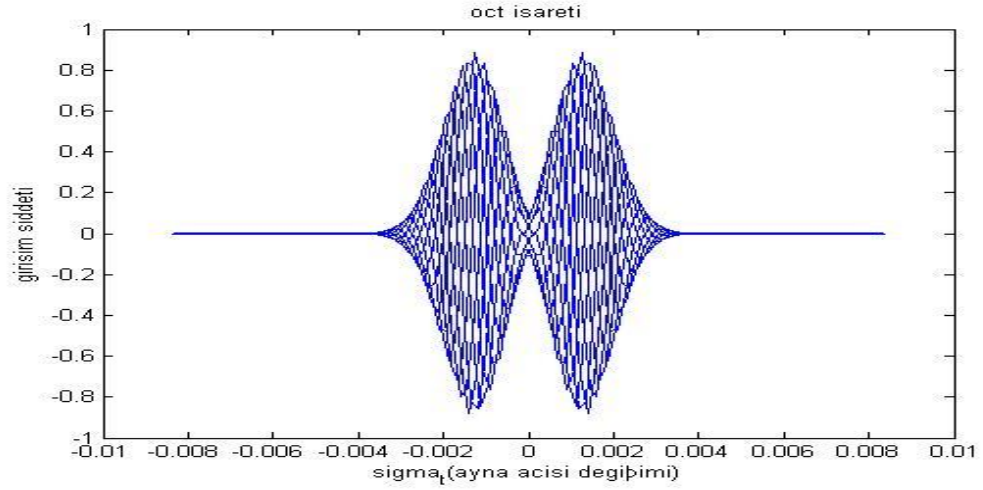
Şekil B.1.2.4.6: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.9l_c$ ise;



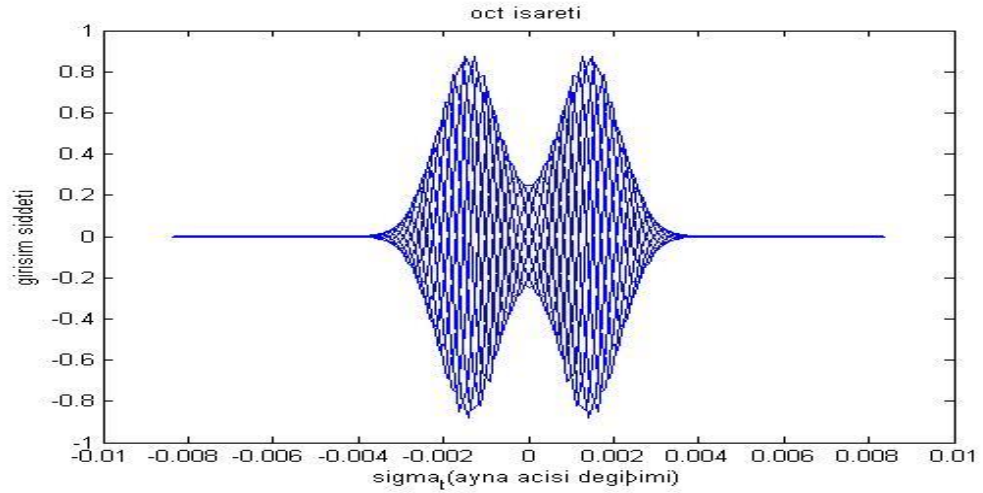
Şekil B.1.2.4.7: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $1.0l_C$ ise;



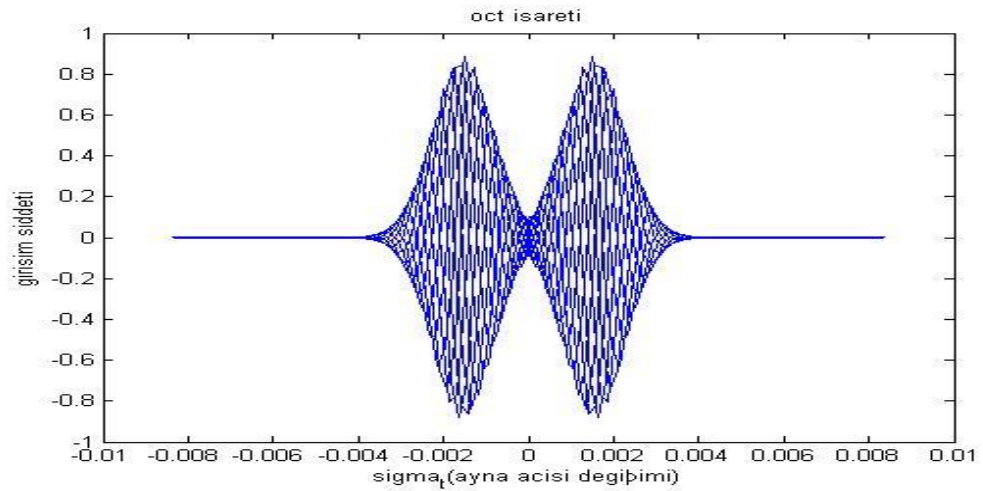
Şekil B.1.2.4.8: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $1.1l_C$ ise;



Şekil B.1.2.4.9: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

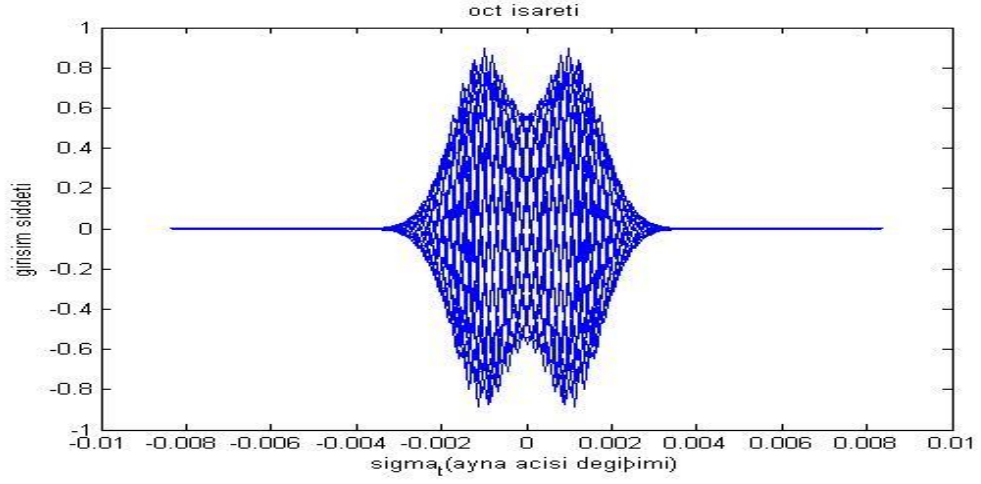
İki nokta Arasındaki Mesafe $1.2l_C$ ise;



Şekil B.1.2.4.10: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

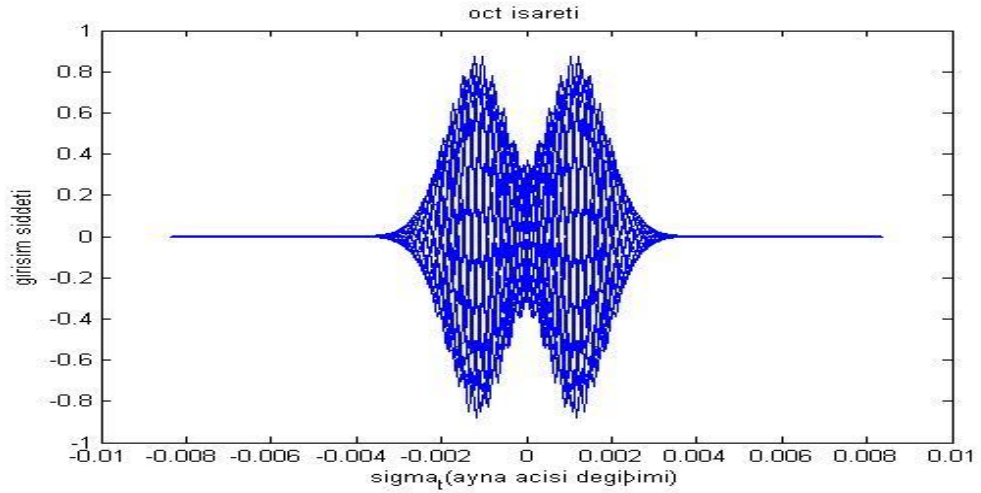
$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}$, $x=3.7\text{mm}$, $\text{pitch}=10^{-5}\text{ m}$, $f_m=100\text{Hz}$, $l_f=40\text{mm}$, $m=1$, $\lambda_0=800\text{nm}$,
 $\Delta\lambda=110\text{nm}$ için

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.8l_c$ ise;



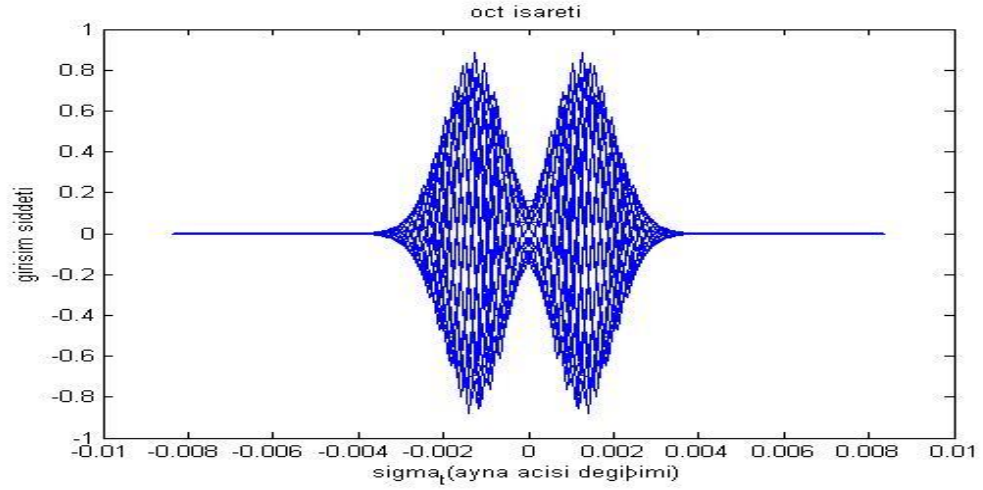
Şekil B.1.2.4.11: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.9l_c$ ise;



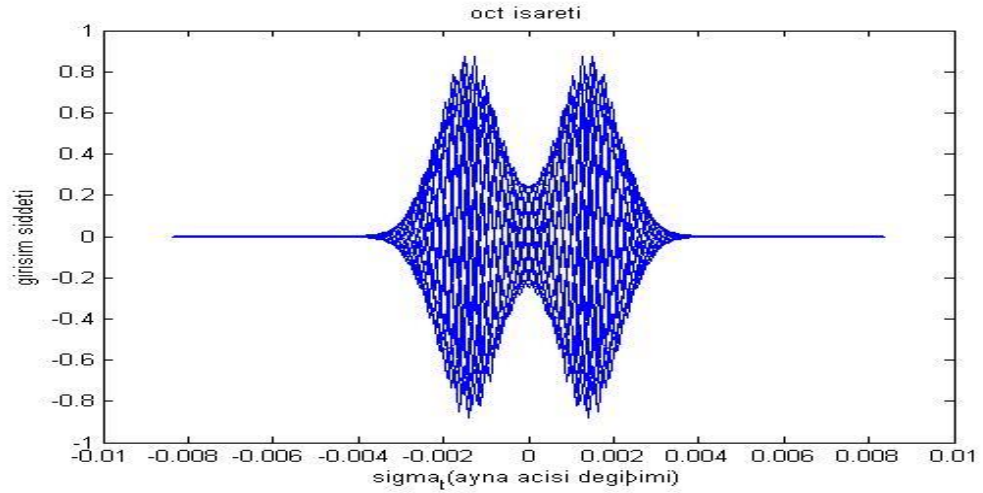
Şekil B.1.2.4.12: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $1.0l_C$ ise;



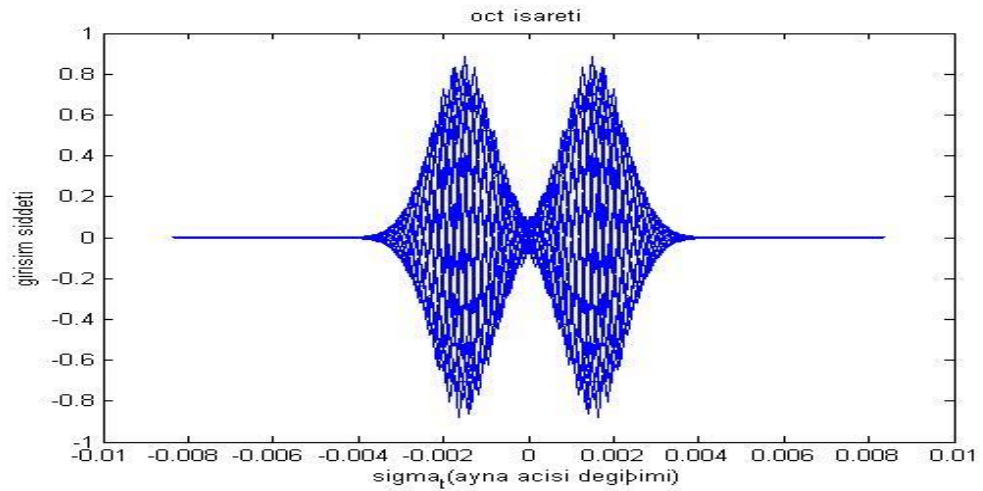
Şekil B.1.2.4.13: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $1.1l_C$ ise;



Şekil B.1.2.4.14: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $1.2l_C$ ise;

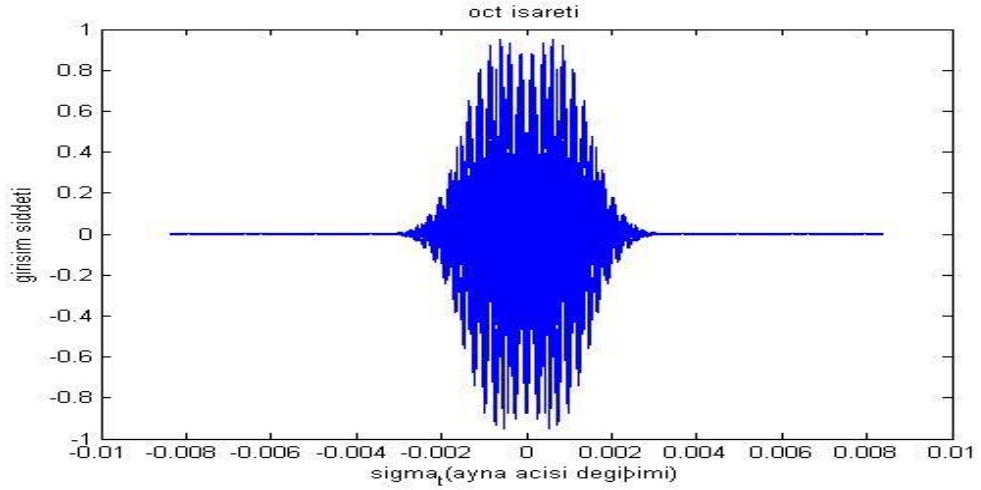


Şekil B.1.2.4.15: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

B.1.2.5 Farklı ' l_f ' Değerleri İçin Elde Edilen Bulgular:

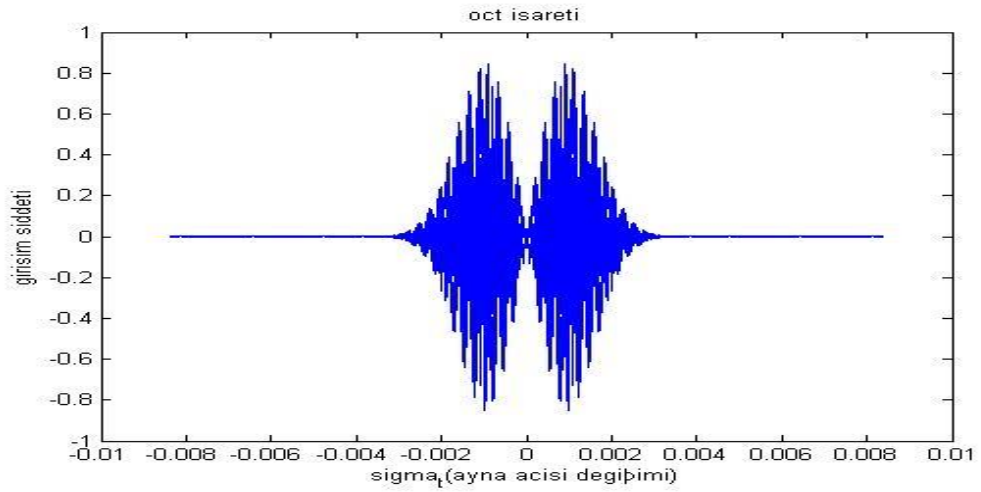
$|\gamma_0| = 8.36 \text{ mrad}$, $x = 3.7 \text{ mm}$, $\text{pitch} = 10^{-5} \text{ m}$, $f_m = 25 \text{ Hz}$, $l_f = 40 \text{ mm}$, $m = 1$, $\lambda_0 = 800 \text{ nm}$,
 $\Delta\lambda = 110 \text{ nm}$ için

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.6 l_C$ ise;



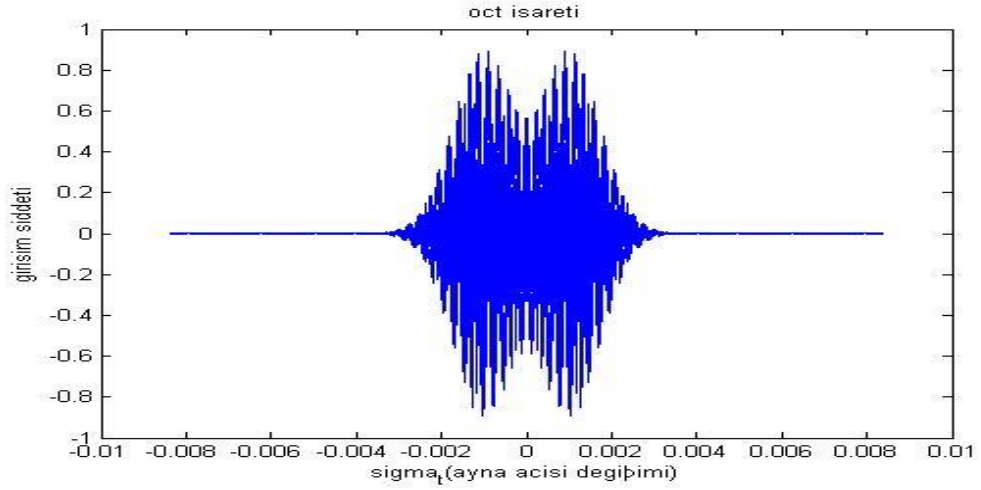
Şekil B.1.2.5.1: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.7 l_C$ ise;



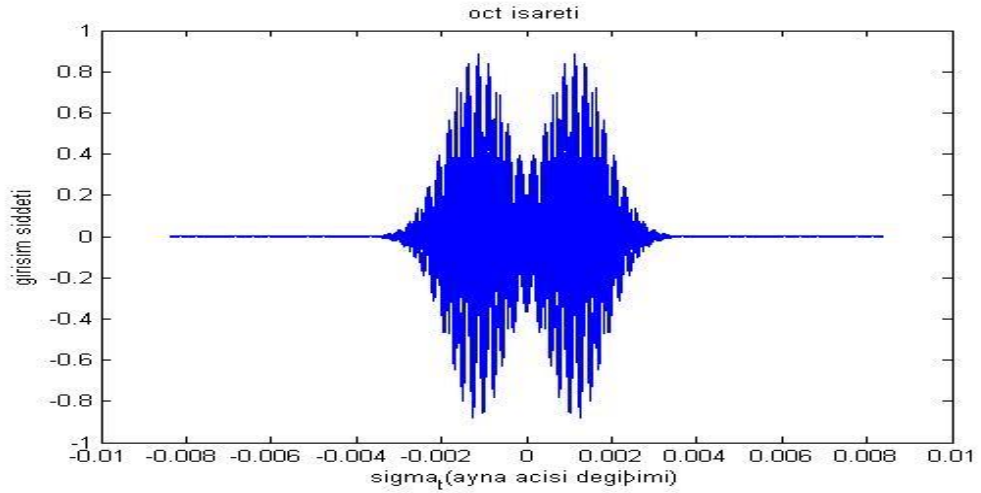
Şekil B.1.2.5.2: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.8l_C$ ise;



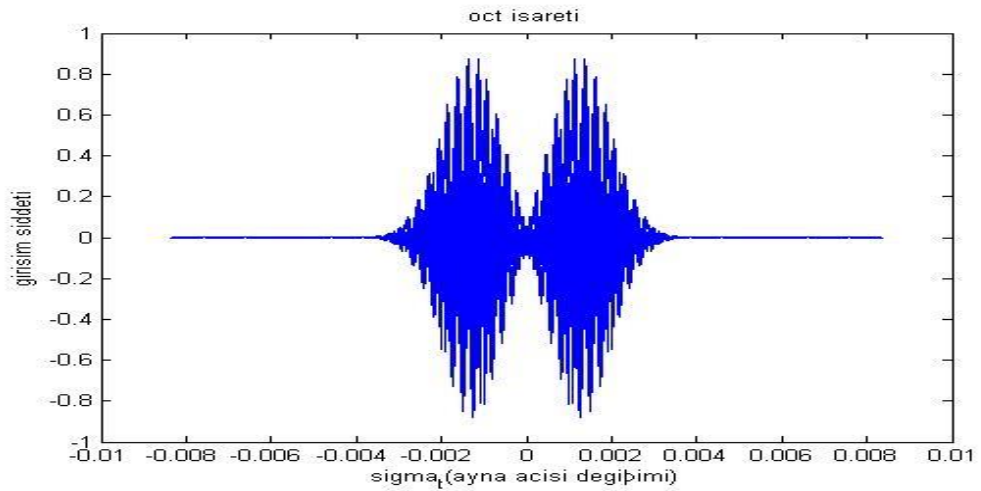
Şekil B.1.2.5.3: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.9l_C$ ise;



Şekil B.1.2.5.4: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

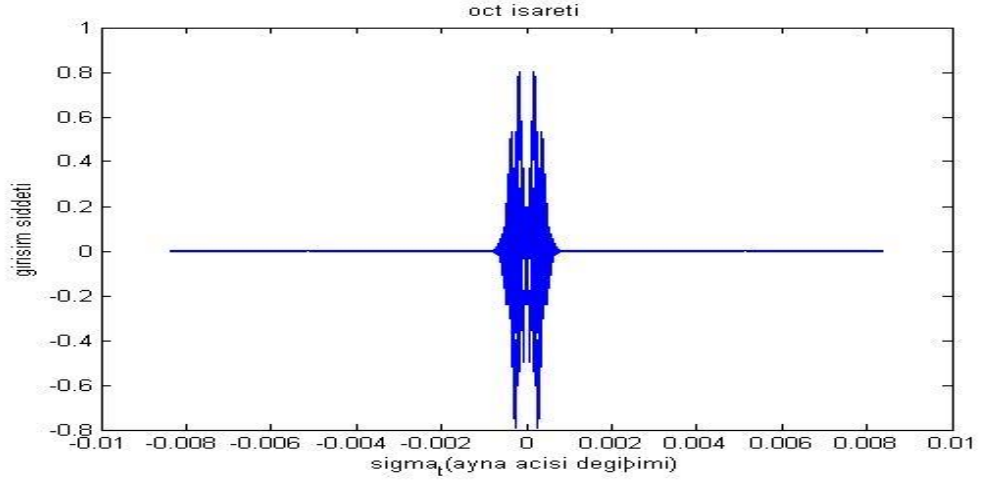
İki nokta Arasındaki Mesafe $1.0l_C$ ise;



Şekil B.1.2.5.5: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

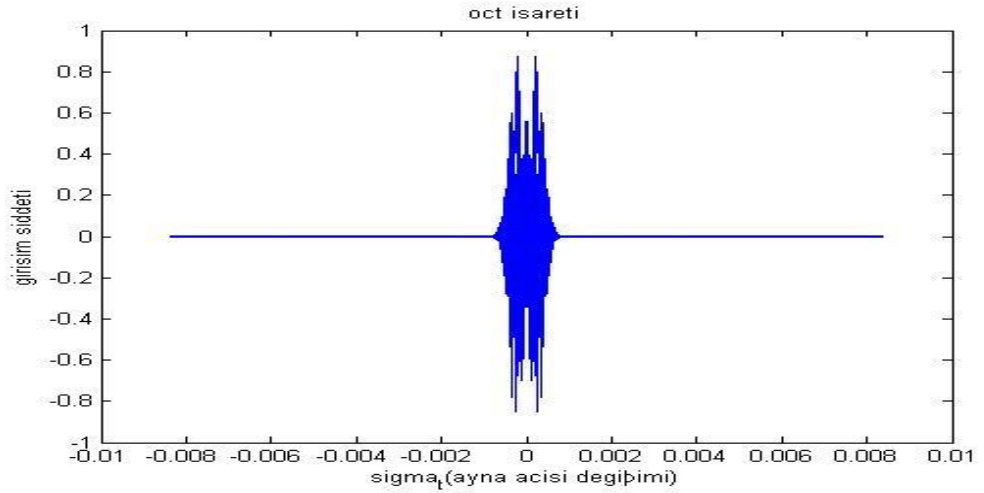
$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}$, $x=3.7\text{mm}$, $\text{pitch}=10^{-5}\text{ m}$, $f_m=25\text{Hz}$, $l_f=20\text{mm}$, $m=1$, $\lambda_0=800\text{nm}$,
 $\Delta\lambda=110\text{nm}$ için

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.7l_c$ ise;



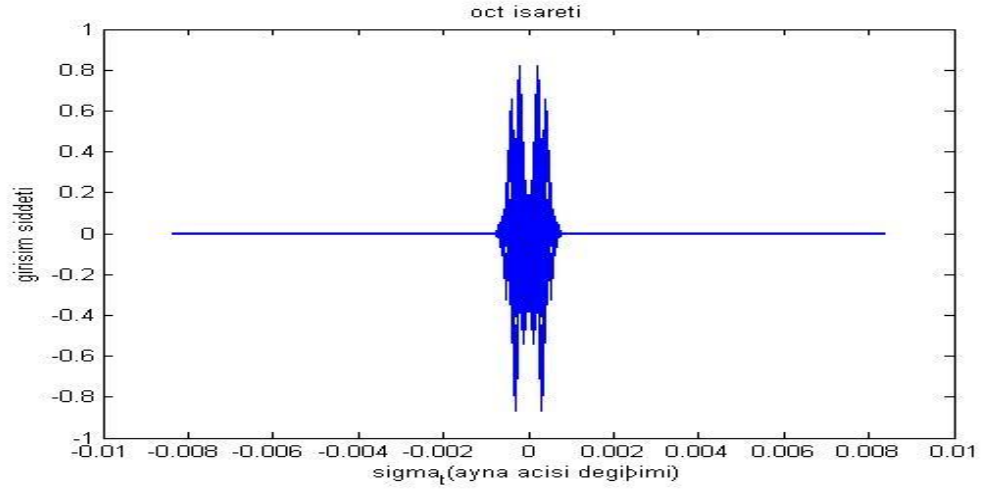
Şekil B.1.2.5.6: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.8l_c$ ise;



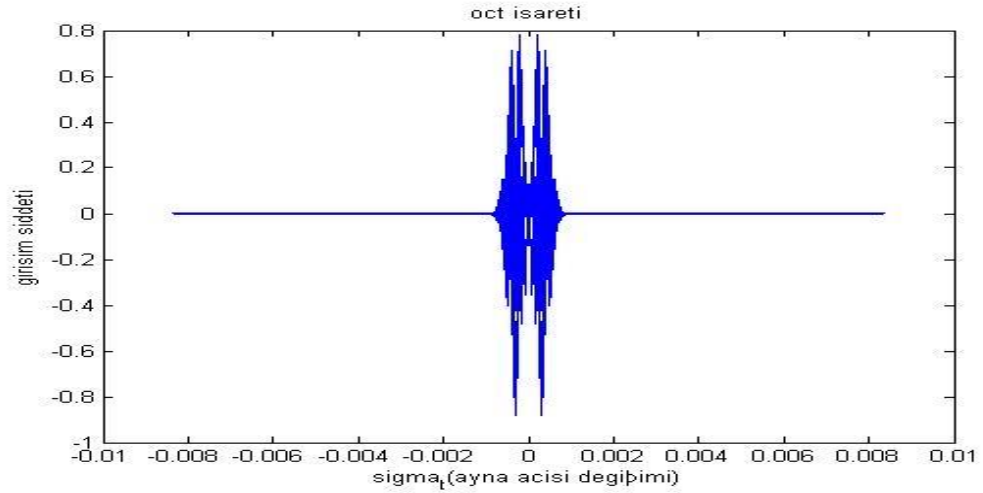
Şekil B.1.2.5.7: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.9l_C$ ise;



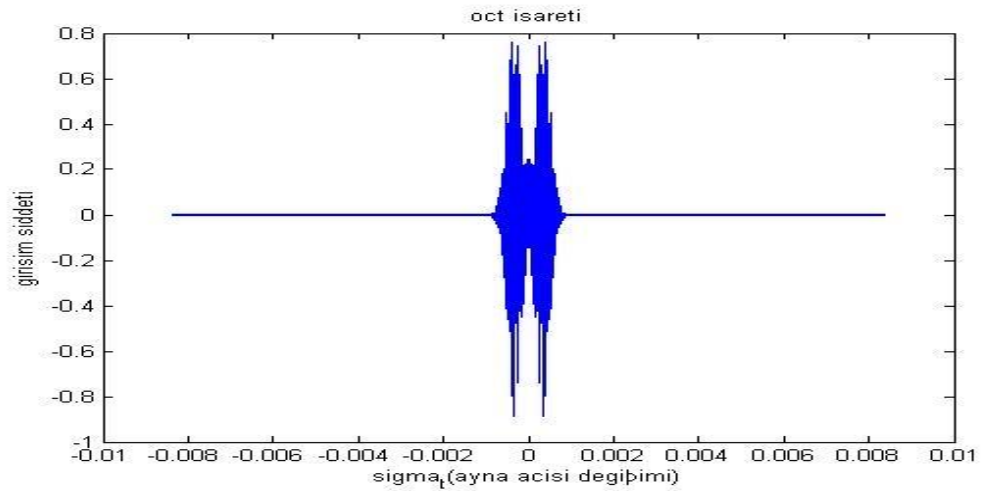
Şekil B.1.2.5.8: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $1.0l_C$ ise;



Şekil B.1.2.5.9: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

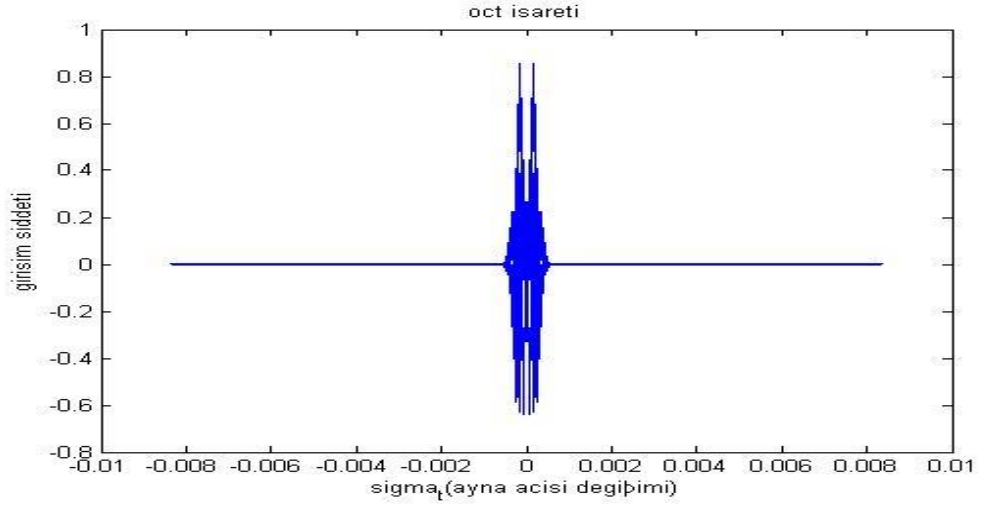
İki nokta Arasındaki Mesafe $1.1l_C$ ise;



Şekil B.1.2.5.10: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

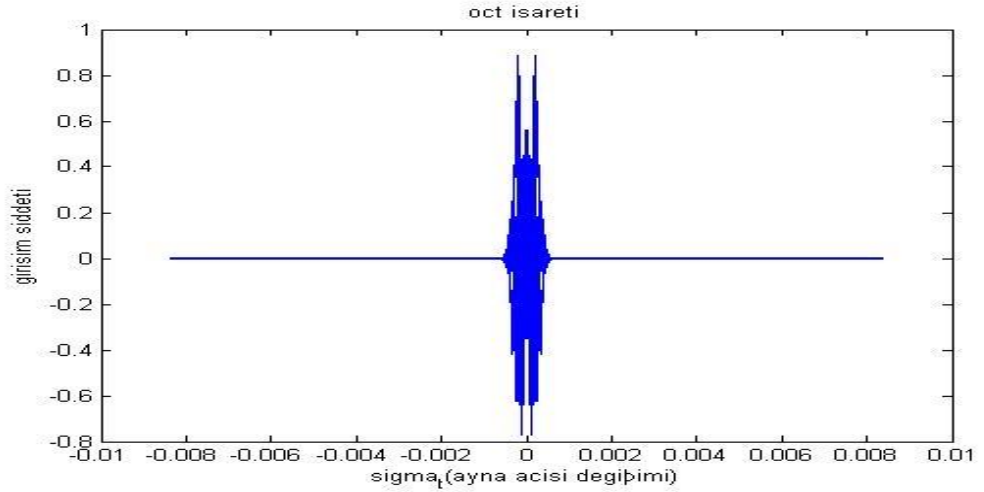
$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}$, $x=3.7\text{mm}$, $\text{pitch}=10^{-5}\text{ m}$, $f_m=25\text{Hz}$, $l_f=10\text{mm}$, $m=1$, $\lambda_0=800\text{nm}$,
 $\Delta\lambda=110\text{nm}$ için

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.7l_c$ ise;



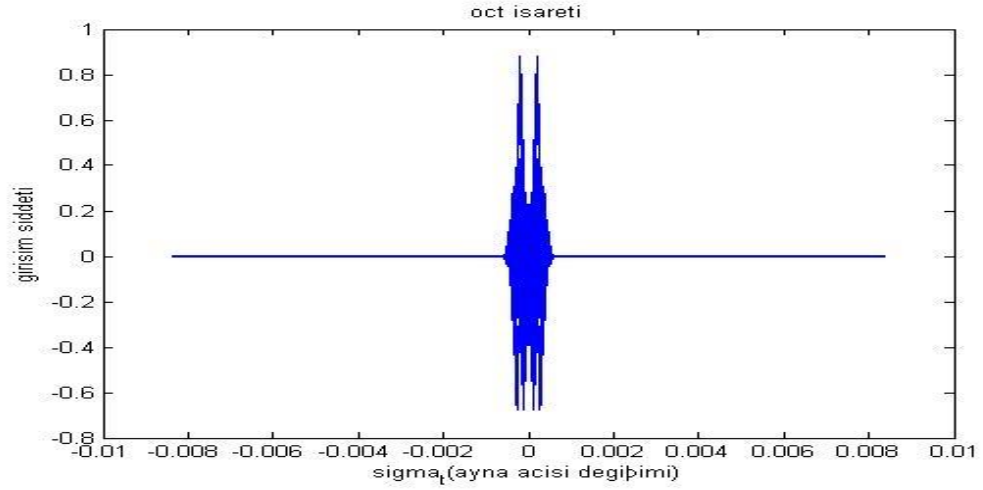
Şekil B.1.2.5.11: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.8l_c$ ise;



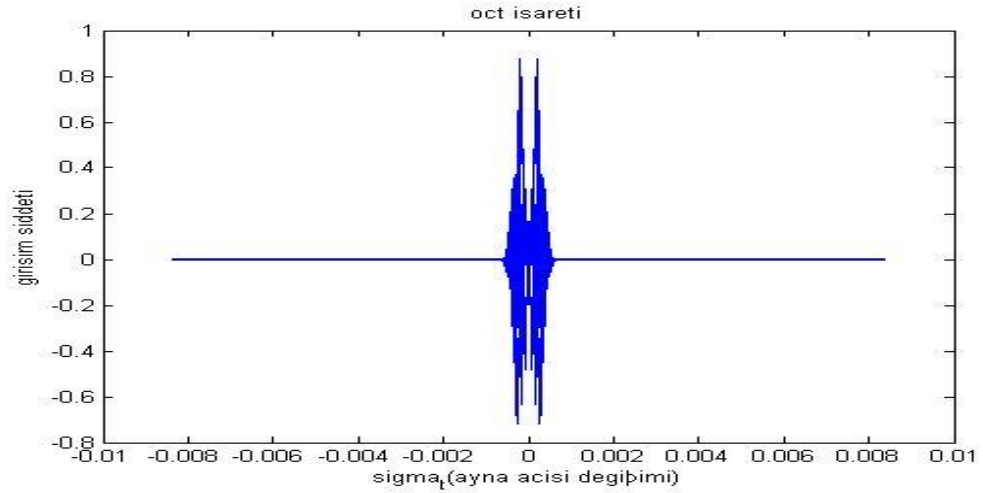
Şekil B.1.2.5.12: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.9l_C$ ise;



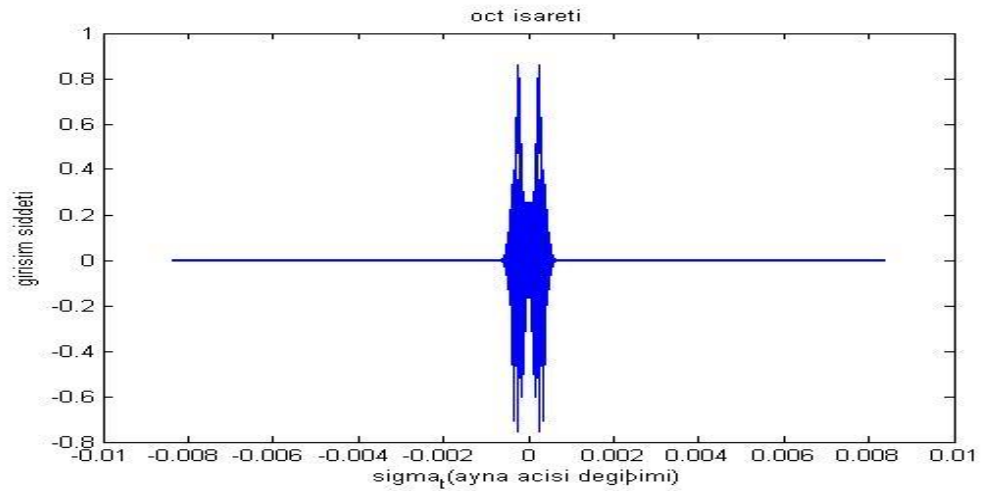
Şekil B.1.2.5.13: OCT işaretleri (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $1.0l_C$ ise;



Şekil B.1.2.5.14: OCT işaretleri (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $1.1l_C$ ise;

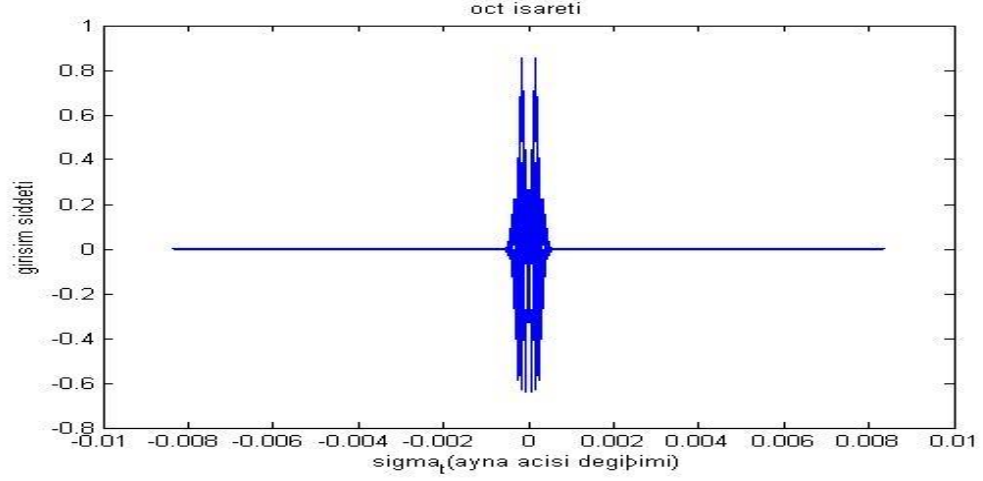


Şekil B.1.2.5.15: OCT işaretleri (derinlik taraması (A taraması))

B.1.2.6 Farklı 'm' Değerleri İçin Elde Edilen Bulgular:

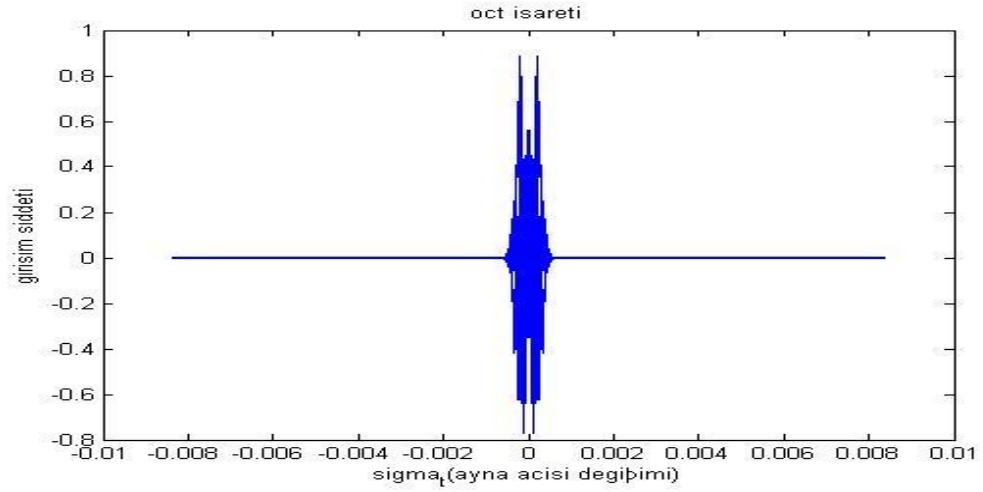
$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}$, $x=3.7\text{mm}$, $\text{pitch}=10^{-5}\text{ m}$, $f_m=25\text{Hz}$, $l_f=10\text{mm}$, $m=1$, $\lambda_0=800\text{nm}$,
 $\Delta\lambda=110\text{nm}$ için

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.7l_c$ ise;



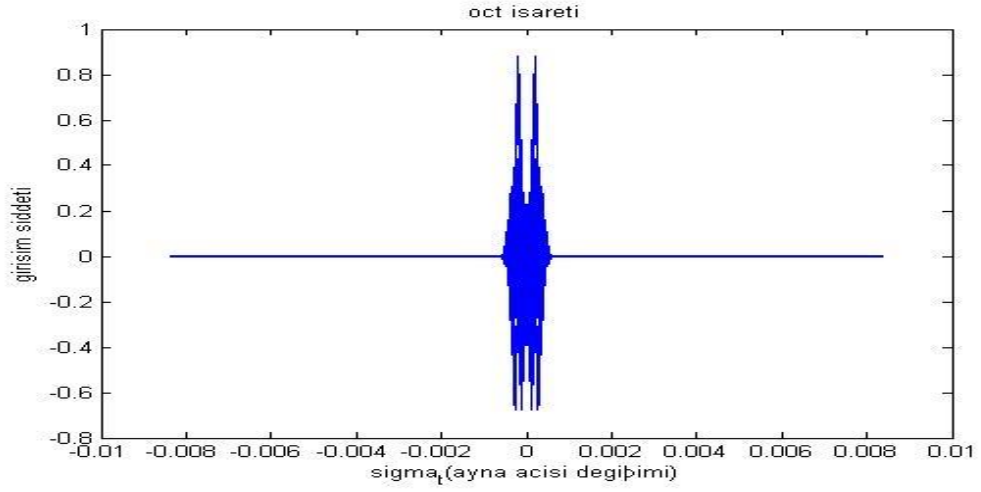
Şekil B.1.2.6.1: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.8l_c$ ise;



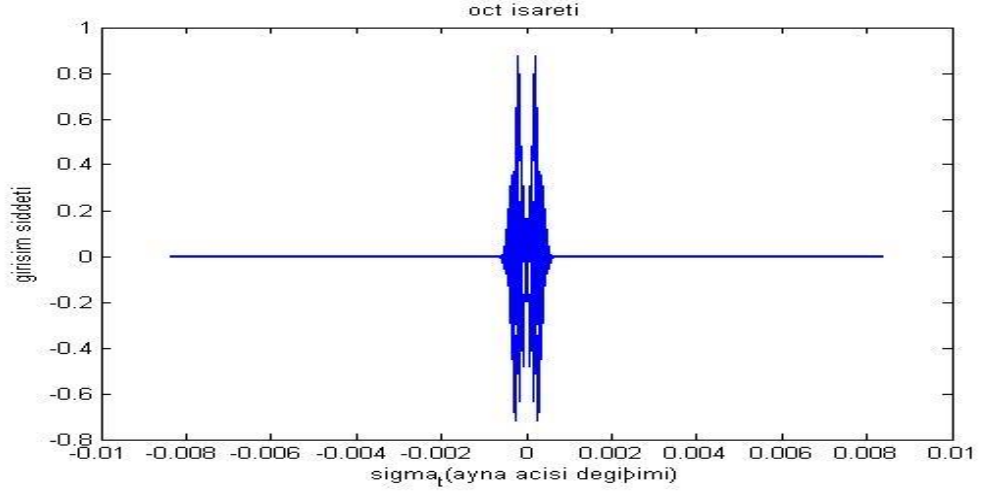
Şekil B.1.2.6.2: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.9l_C$ ise;



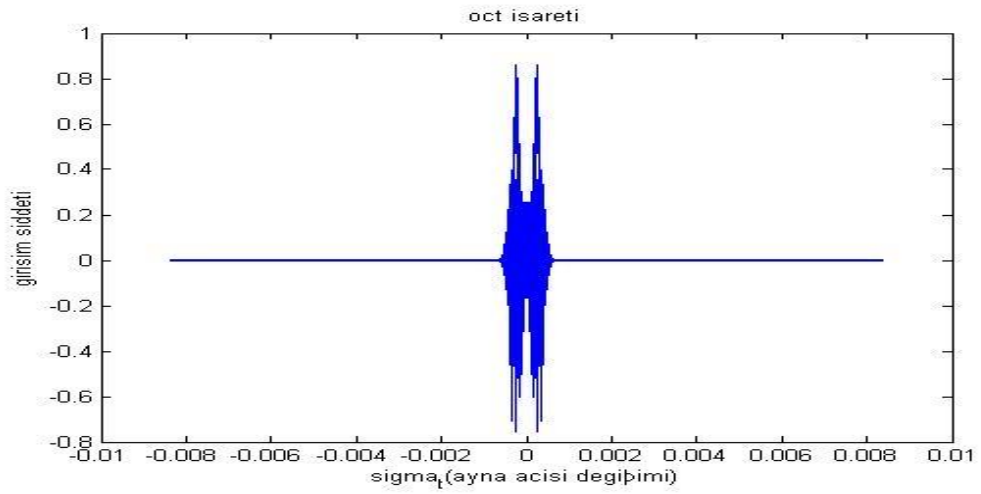
Şekil B.1.2.6.3: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $1.0l_C$ ise;



Şekil B.1.2.6.4: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

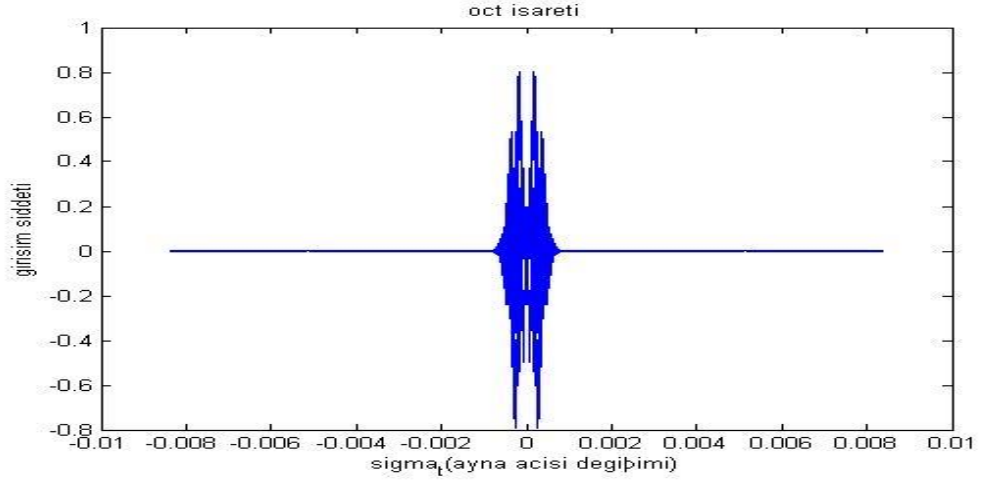
İki nokta Arasındaki Mesafe $1.1l_C$ ise;



Şekil B.1.2.6.5: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

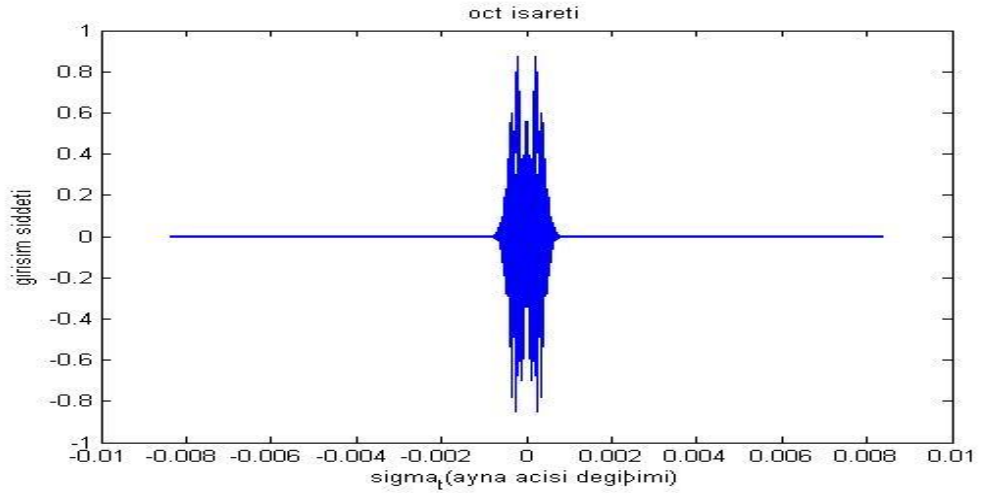
$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}$, $x=3.7\text{mm}$, $\text{pitch}=10^{-5}\text{ m}$, $f_m=25\text{Hz}$, $l_f=10\text{mm}$, $m=2$, $\lambda_0=800\text{nm}$,
 $\Delta\lambda=110\text{nm}$ için

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.7l_c$ ise;



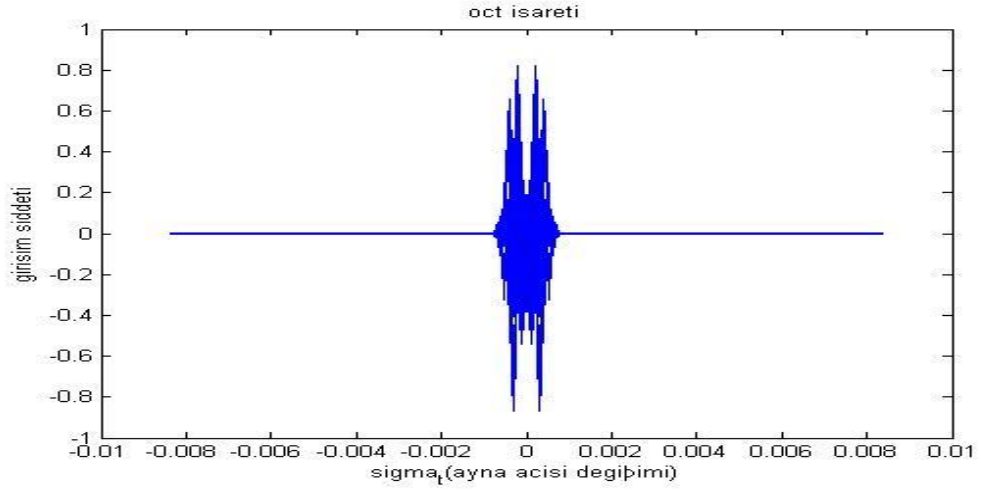
Şekil B.1.2.6.6: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.8l_c$ ise;



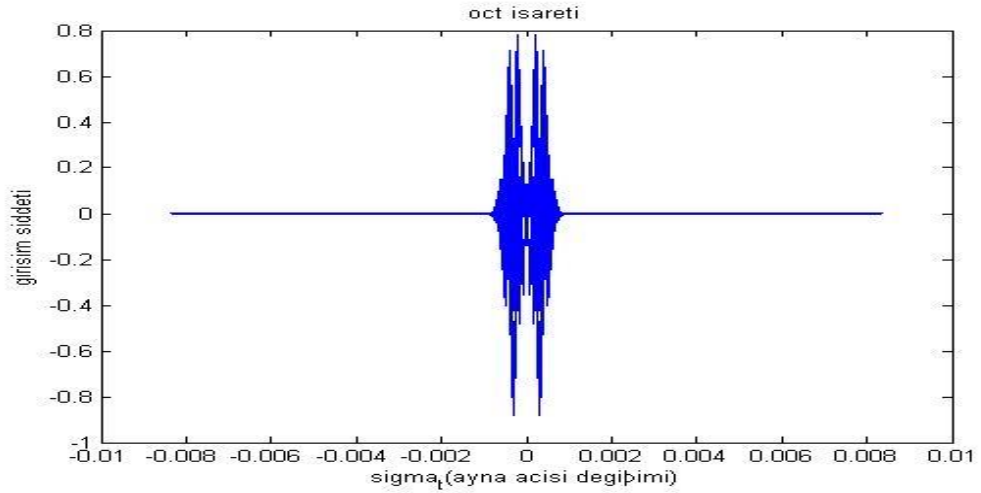
Şekil B.1.2.6.7: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.9l_C$ ise;



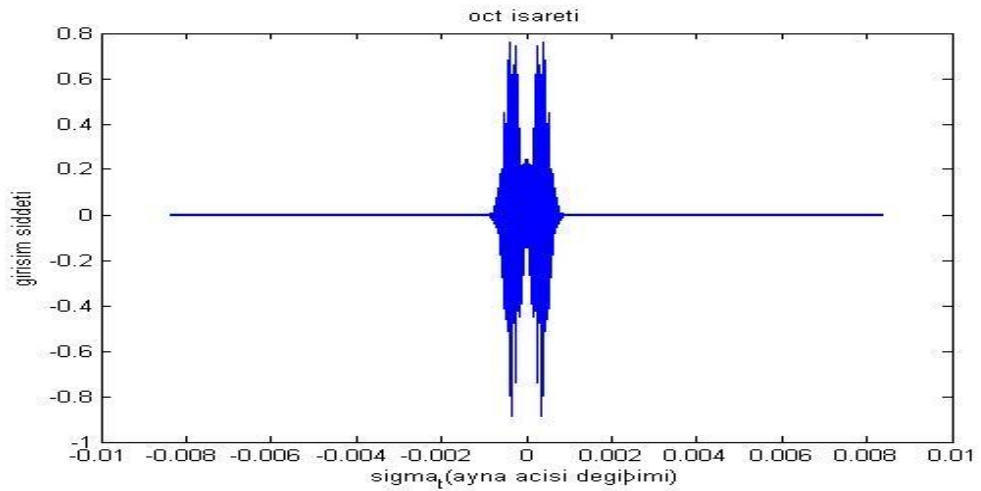
Şekil B.1.2.6.8: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $1.0l_C$ ise;



Şekil B.1.2.6.9: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

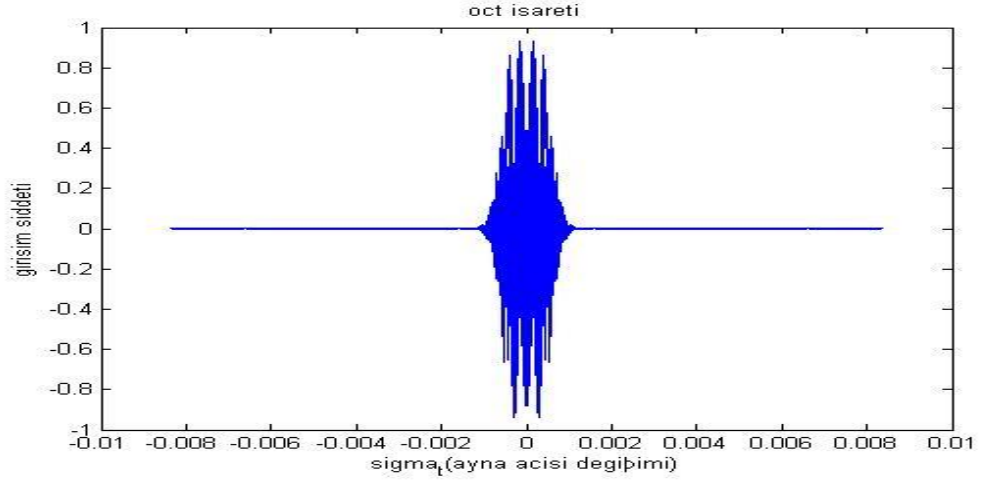
İki nokta Arasındaki Mesafe $1.1l_C$ ise;



Şekil B.1.2.6.10: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

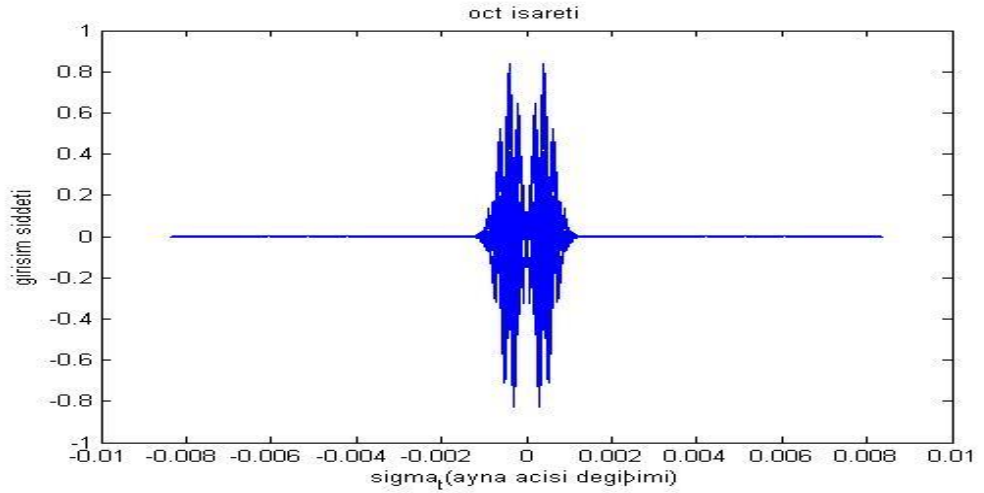
$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}$, $x=3.7\text{mm}$, $\text{pitch}=10^{-5}\text{ m}$, $f_m=25\text{Hz}$, $l_f=10\text{mm}$, $m=3$, $\lambda_0=800\text{nm}$,
 $\Delta\lambda=110\text{nm}$ için

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.6l_C$ ise;



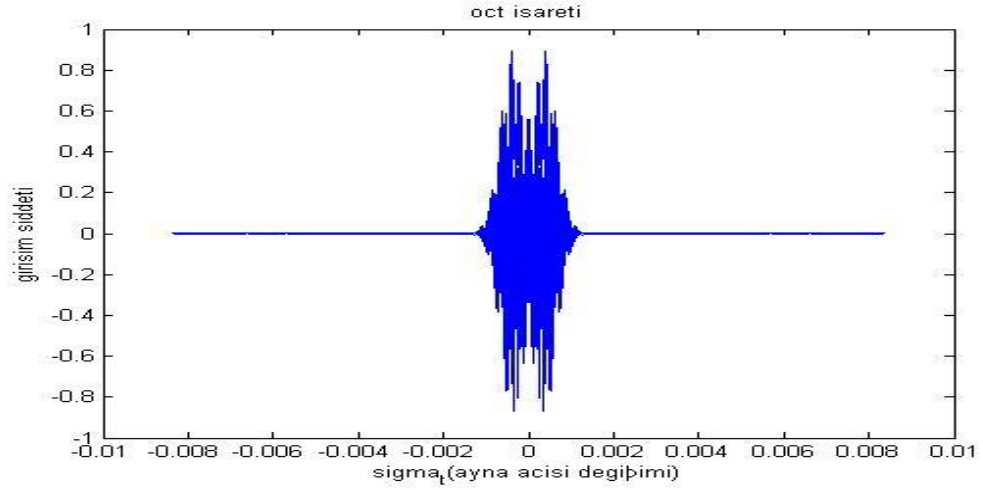
Şekil B.1.2.6.11: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.7l_C$ ise;



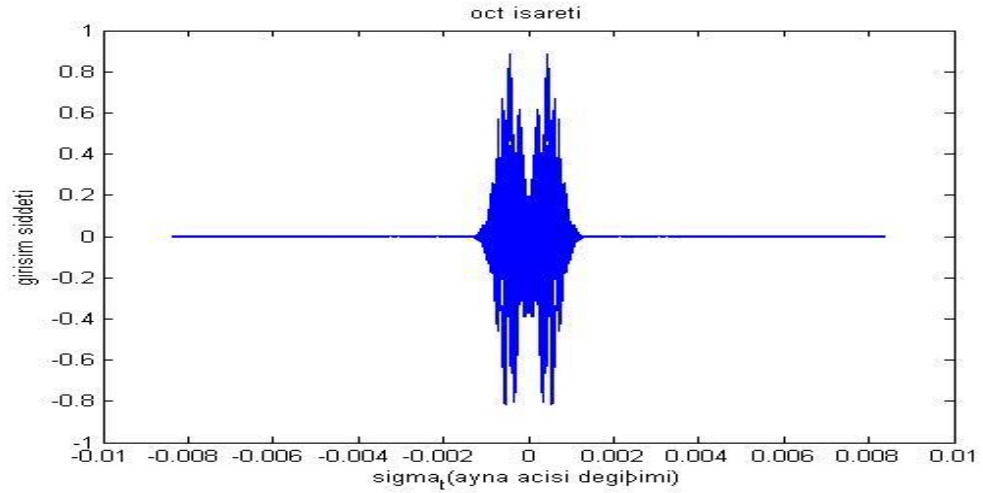
Şekil B.1.2.6.12: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.8l_C$ ise;



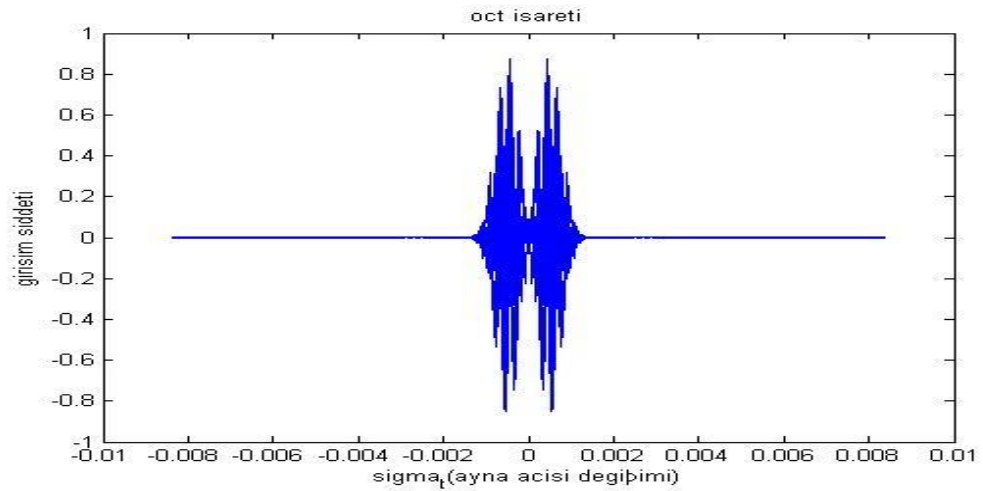
Şekil B.1.2.6.13: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.9l_C$ ise;



Şekil B.1.2.6.14: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $1.0l_C$ ise;



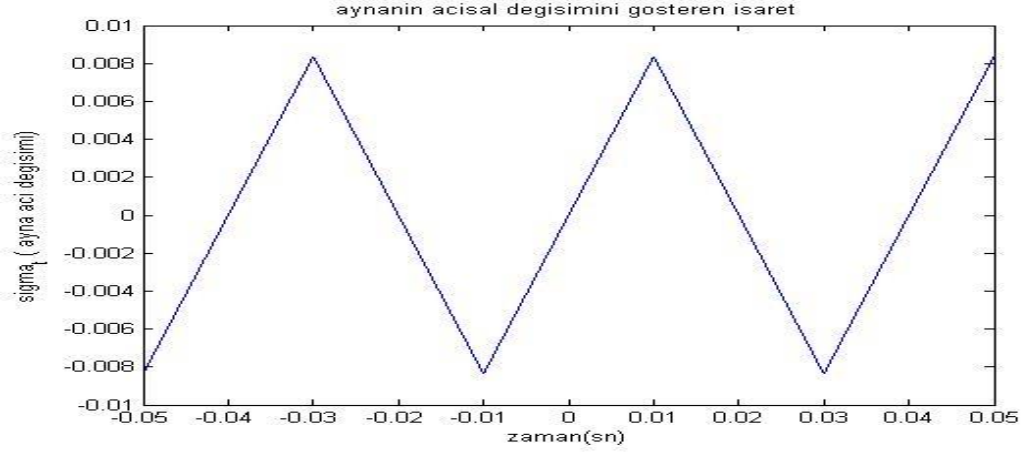
Şekil B.1.2.6.15: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

B.1.3. Farklı ' V_ϕ ', ' V_g ' Değerleri için Program Çıktıları:

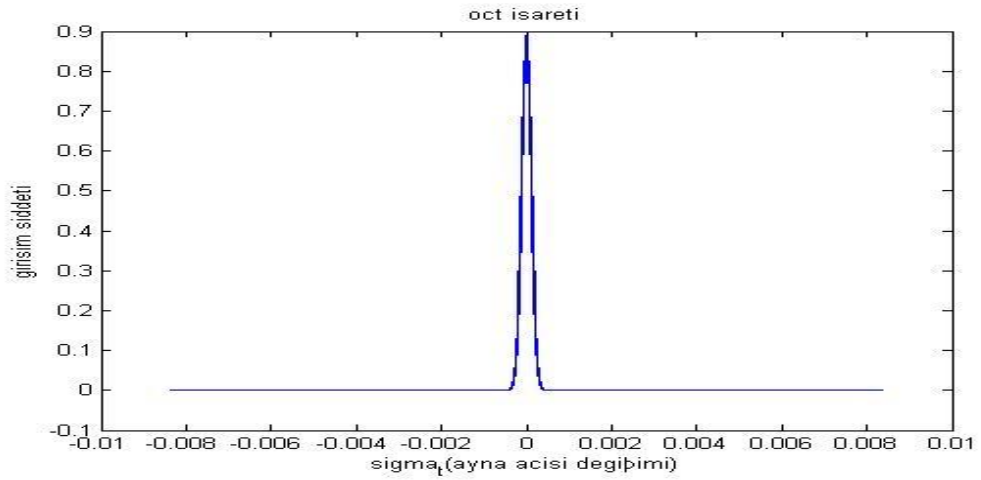
$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}$, $x=0\text{mm}$, $\text{pitch}=10^{-5}\text{m}$, $f_m=25\text{Hz}$, $l_f=40\text{mm}$, $m=1$, $\lambda_0=800\text{nm}$,
 $\Delta\lambda=110\text{nm}$ için ($V_\phi=0$, $V_g \neq 0$)

teorik sonuçlar : $f_0 = 0 \text{ Hz}$, $\Delta f = -1.8392 \times 10^3 \text{ Hz}$

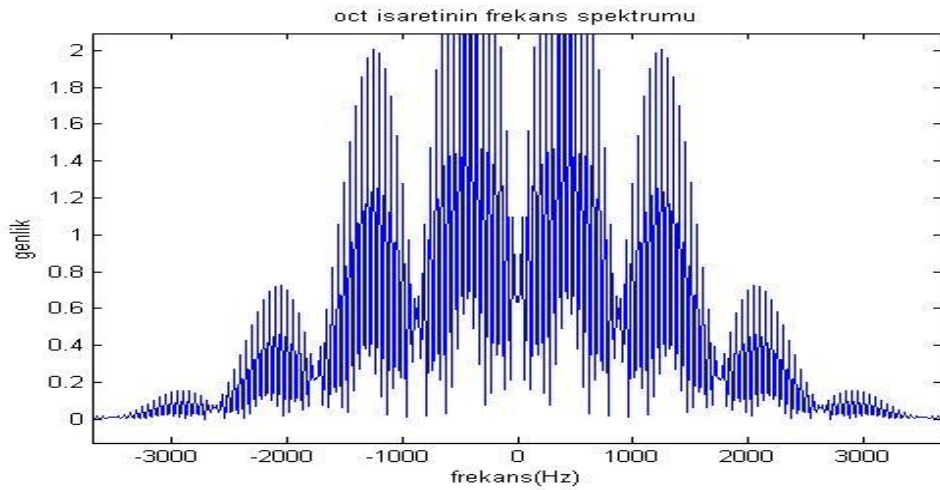
program çıktıları :



Şekil B.1.3.1: ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu



Şekil B.1.3.2: OCT işareti (' $\sigma(t)$ ' 'ye bağlı olarak değişir)

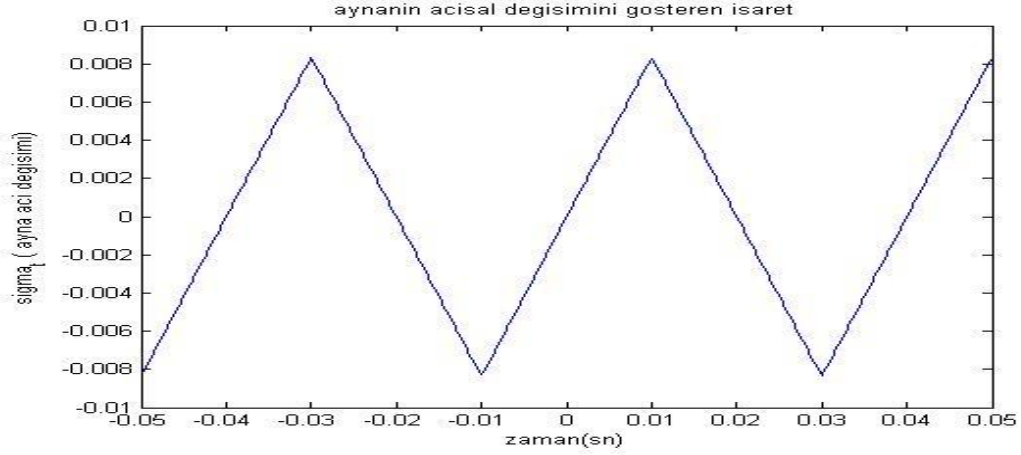


Şekil B.1.3.3: OCT işaretinin Frekans Spektrumu

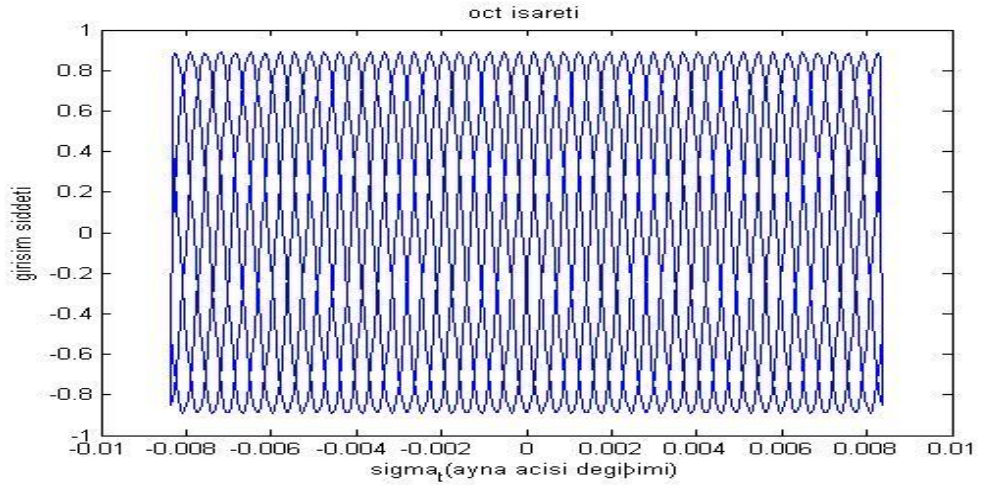
$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}$, $x=3.7\text{mm}$, $\text{pitch}=10^{-5}\text{m}$, $f_m=25\text{Hz}$, $l_f=3.7/80\text{m}$, $m=1$, $\lambda_0=800\text{nm}$,
 $\Delta\lambda=110\text{nm}$ için ($V_\phi \neq 0$, $V_g = 0$)

teorik sonuçlar : $f_0 = 1.5466 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 2.4926 \times 10^{-13} \text{ Hz}$

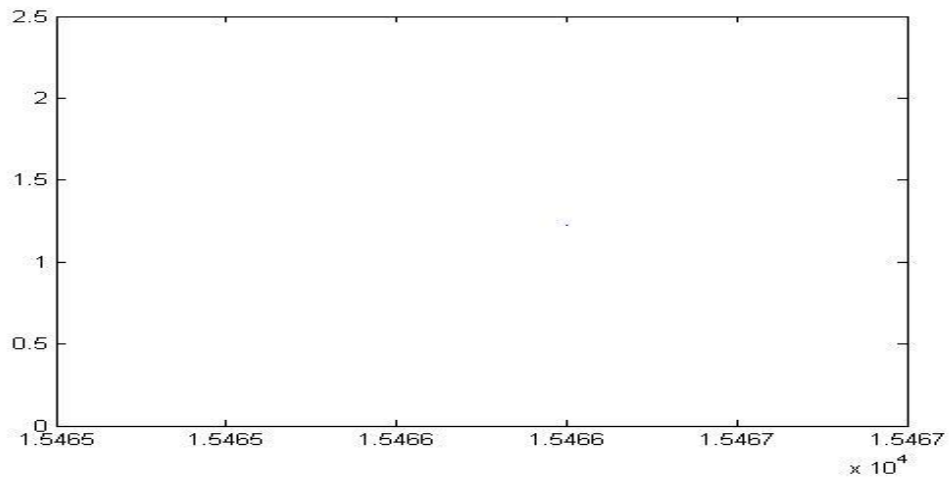
program çıktıları:



Şekil B.1.3.4: ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu



Şekil B.1.3.5: OCT işareti (' $\sigma(t)$ ' 'ye bağlı olarak değişir)

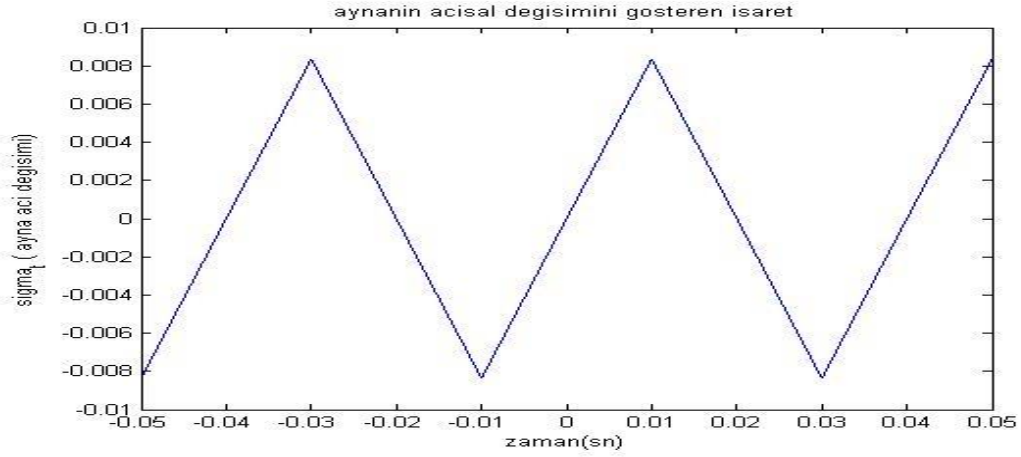


Şekil B.1.3.6: OCT işaretinin Frekans Spektrumu

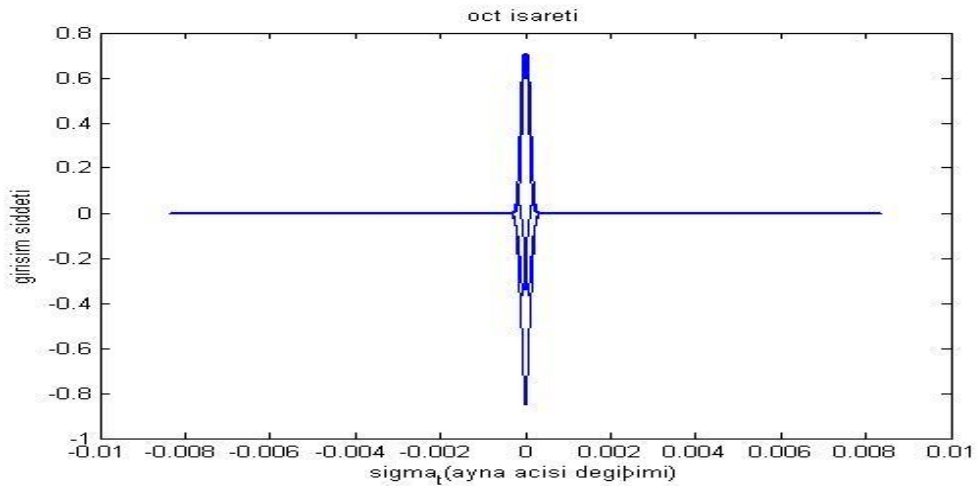
$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}$, $x=3.7\text{mm}$, $\text{pitch}=10^{-5}\text{m}$, $f_m=25\text{Hz}$, $l_f=40\text{mm}$, $m=0$, $\lambda_0=800\text{nm}$,
 $\Delta\lambda=110\text{nm}$ için ($V_g = V_\phi$)

teorik sonuçlar : $f_0 = 1.5466 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 2.1266 \times 10^3 \text{ Hz}$

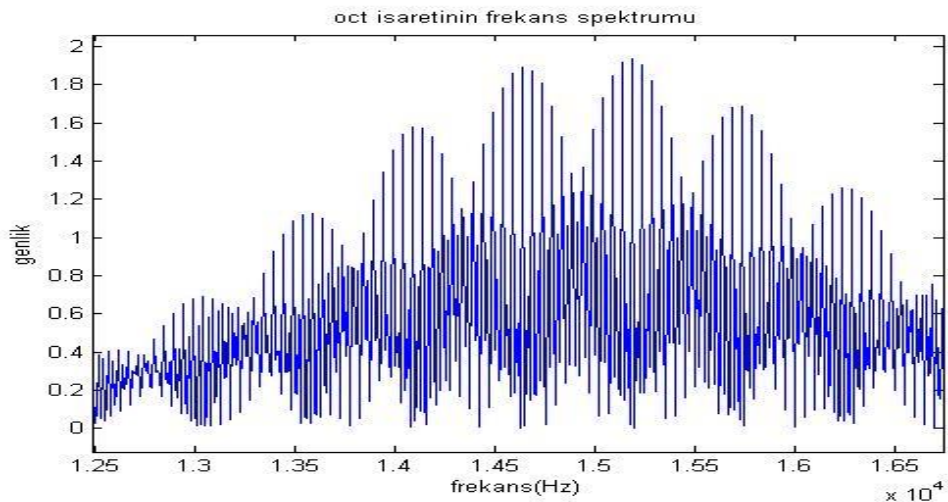
program çıktıları:



Şekil B.1.3.7: ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu



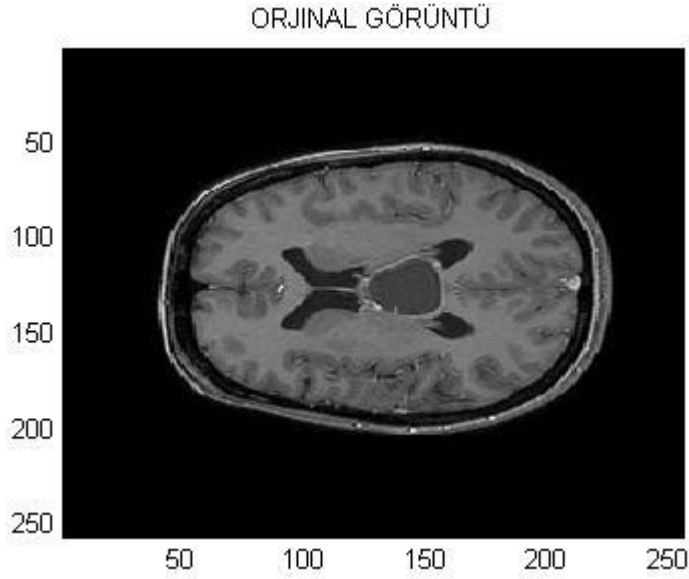
Şekil B.1.3.8: OCT işareti (' $\sigma(t)$ ' 'ye bağlı olarak değişir)



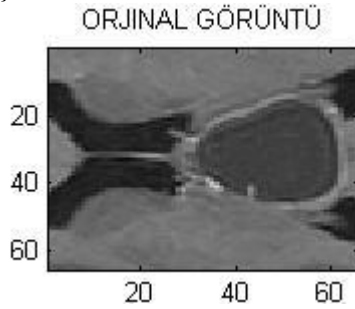
Şekil B.1.3.9: OCT işaretinin Frekans Spektrumu

B.2. PROGRAM 2 ‘ye Ait Bulgular:

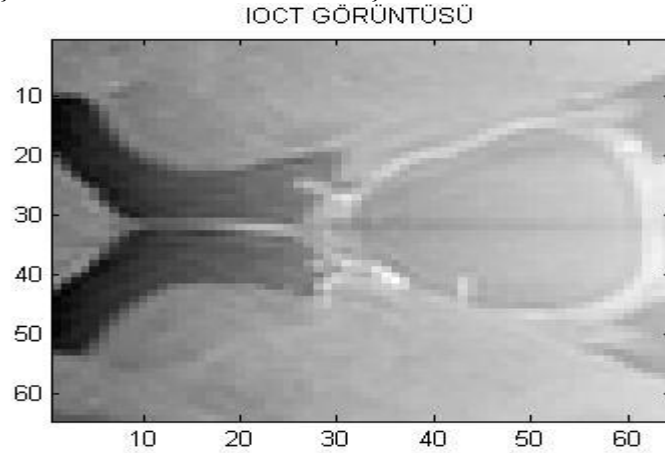
$|\gamma_0| = 5 \times 8.36 \text{ mrad}$, $x = 5 \times 3.7 \text{ mm}$, $\text{pitch} = 10^{-5} \text{ m}$, $f_m = 25 \text{ Hz}$, $l_f = 40 \text{ mm}$, $m = 1$,
 $\lambda_0 = 800 \text{ nm}$, $\Delta\lambda = 110 \text{ nm}$ için



Şekil B.2.1: MR Görüntüsü



Şekil B.2.2: Doku Olarak Düşünülen Görüntü:



Şekil B.2.3: Program Çıktısı Olarak Elde Edilmesi Beklenen OCT Görüntüsü.
(Derinlik arttıkça doku içinde ilerleyen işaret geri saçılma ve emilmeden dolayı zayıflar)

NOT: Bu program, mevcut bilgisayarlardaki sanal bellek boyutu yetersizliği sebebi ile çalıştırılmamaktadır.

B.3. PROGRAM 3 'e Ait Bulgular:

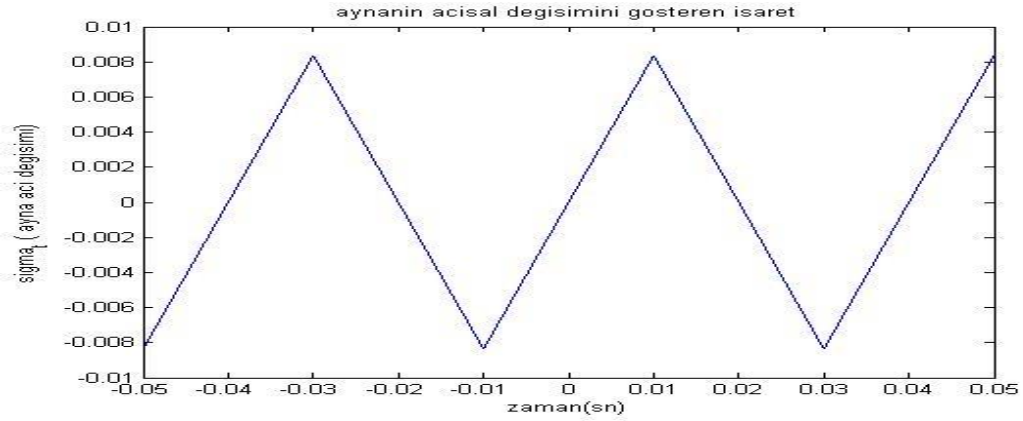
B.3.1. Eski ' $|\gamma_0|$ ', ' x ', ' p ', ' f_m ', ' l_f ', ' m ' Değerleri İçin Program Çıktıları:

$|\gamma_0| = 8.36 \text{ mrad}$, $x = 3.7 \text{ mm}$, $\text{pitch} = 10^{-5} \text{ m}$, $f_m = 25 \text{ Hz}$, $l_f = 40 \text{ mm}$, $m = 1$, $\lambda_0 = 1300 \text{ nm}$,

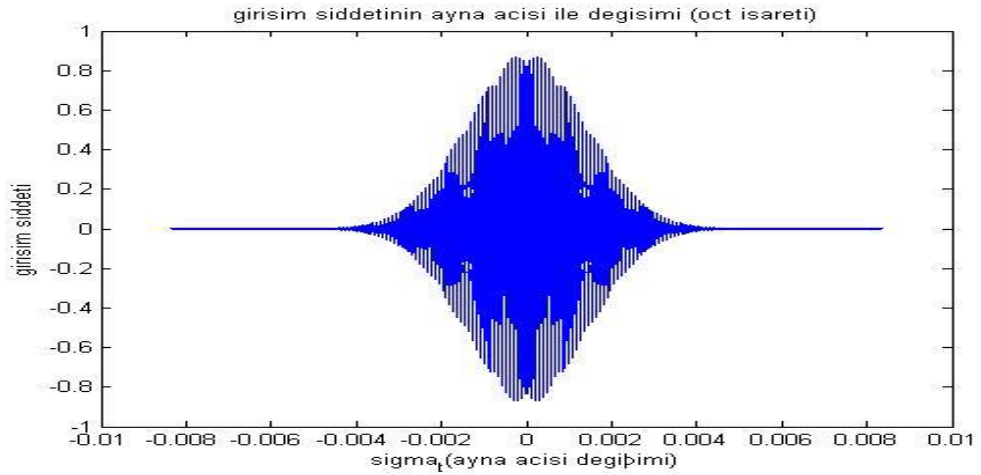
$\Delta\lambda = 50 \text{ nm}$ için

teorik sonuçlar : $f_0 = 9.5175 \times 10^3 \text{ Hz}$, $\Delta f = -148.4024 \text{ Hz}$

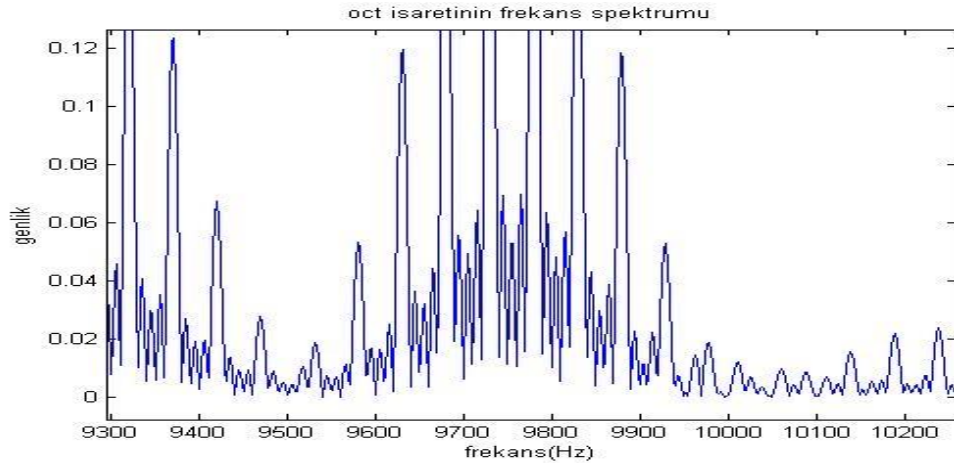
program çıktıları :



Şekil B.3.1.1: ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu



Şekil B.3.1.2: OCT işareti (' $\sigma(t)$ ' 'ye bağlı olarak değişir)



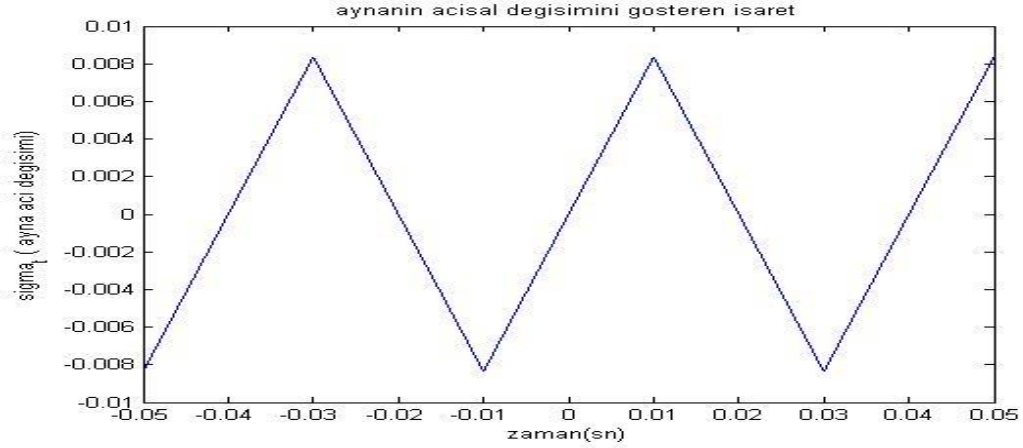
Şekil B.3.1.3: OCT işaretinin Frekans Spektrumu

B.3.2. Yeni ' $|\gamma_0|$ ', ' x ', ' p ', ' f_m ', ' l_f ', ' m ' Değerleri İçin Program Çıktıları:

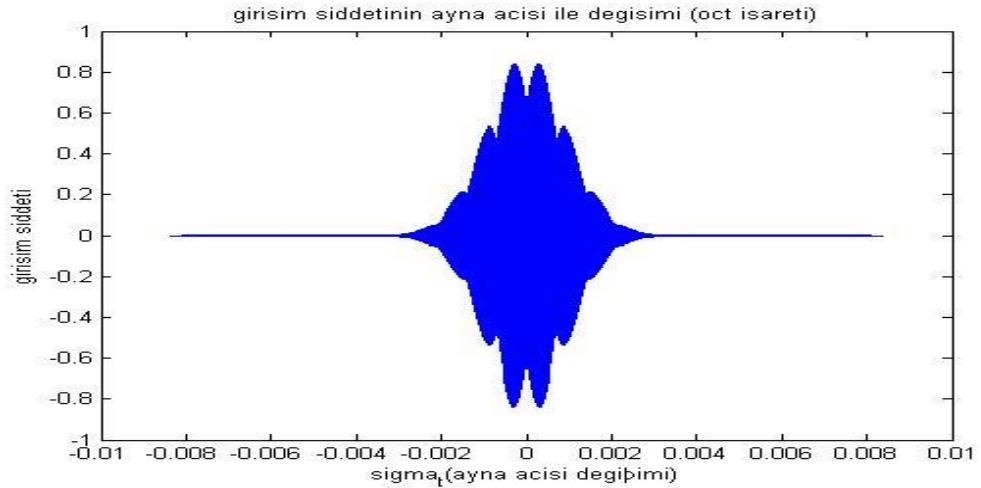
$|\gamma_0| = 8.36 \text{ mrad}$, $x = 7.4 \text{ mm}$, $\text{pitch} = 10^{-5} \text{ m}$, $f_m = 25 \text{ Hz}$, $l_f = 40 \text{ mm}$, $m = 1$, $\lambda_0 = 1300 \text{ nm}$,
 $\Delta\lambda = 50 \text{ nm}$ için

teorik sonuçlar : $f_0 = 1.9035 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 217.6568 \text{ Hz}$

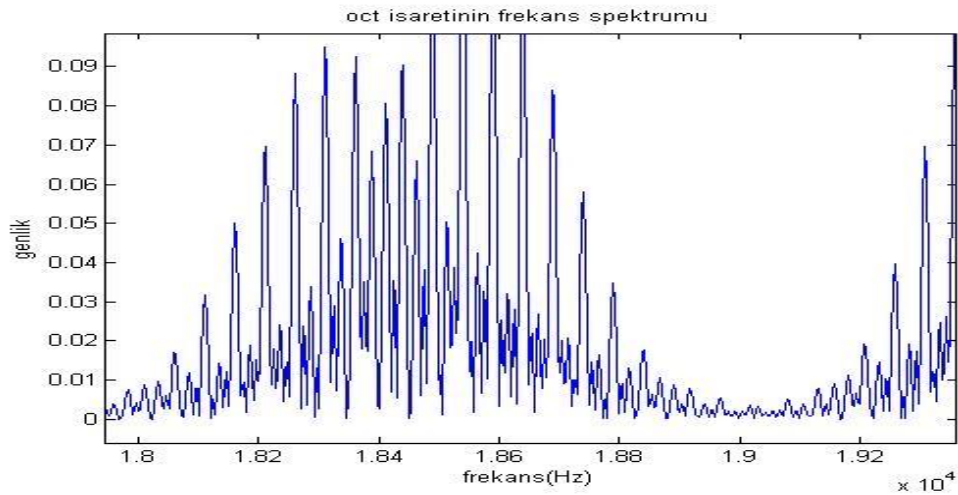
program çıktıları :



Şekil B.3.2.1: ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu



Şekil B.3.2.2: OCT işareti (' $\sigma(t)$ ' 'ye bağlı olarak değişir)

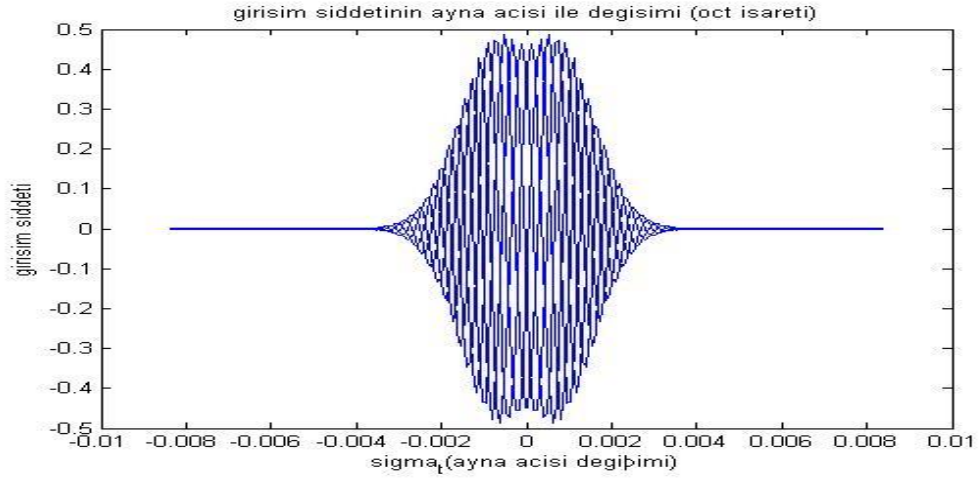


Şekil B.3.2.3: OCT işaretinin Frekans Spektrumu

B.3.3. Yeni Değerler ile ' Δz ' 'nin Belirlenmesi

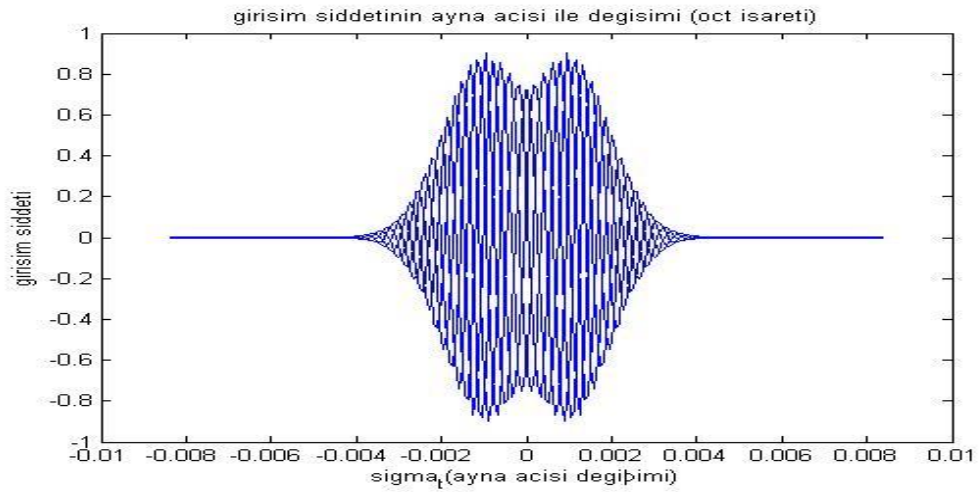
$|\gamma_0| = 8.36 \text{ mrad}$, $x = 7.4 \text{ mm}$, $\text{pitch} = 10^{-5} \text{ m}$, $f_m = 25 \text{ Hz}$, $l_f = 40 \text{ mm}$, $m = 1$, $\lambda_0 = 1300 \text{ nm}$, $\Delta\lambda = 50 \text{ nm}$ için

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.2l_c$ ise;



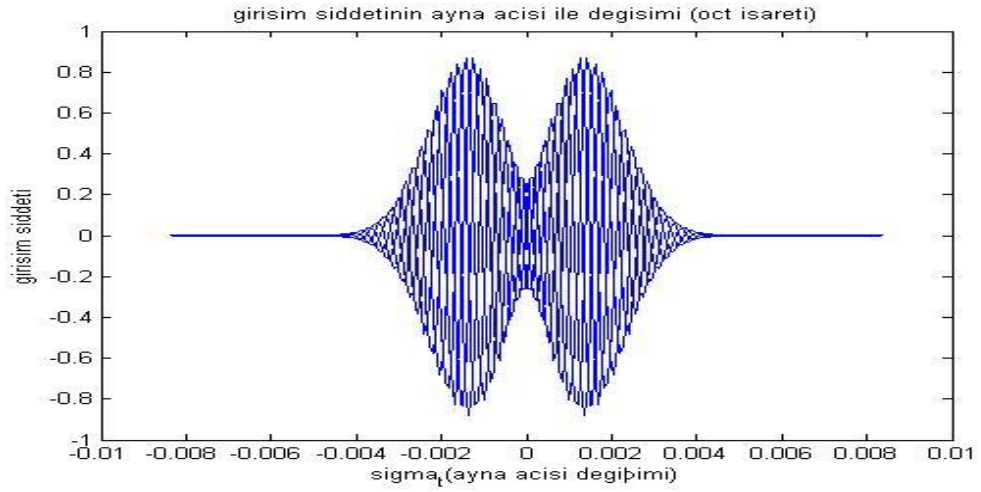
Şekil B.3.3.1: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.6l_c$ ise;



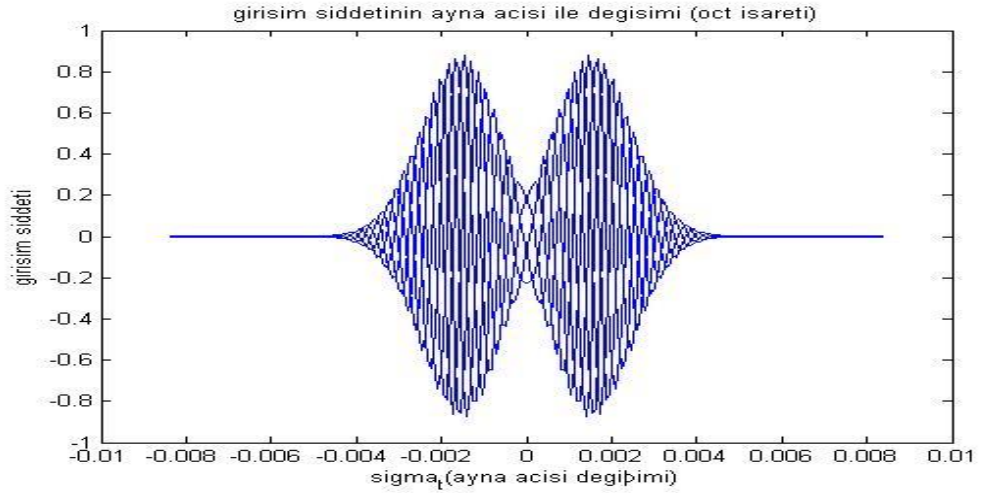
Şekil B.3.3.2: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.8l_c$ ise;



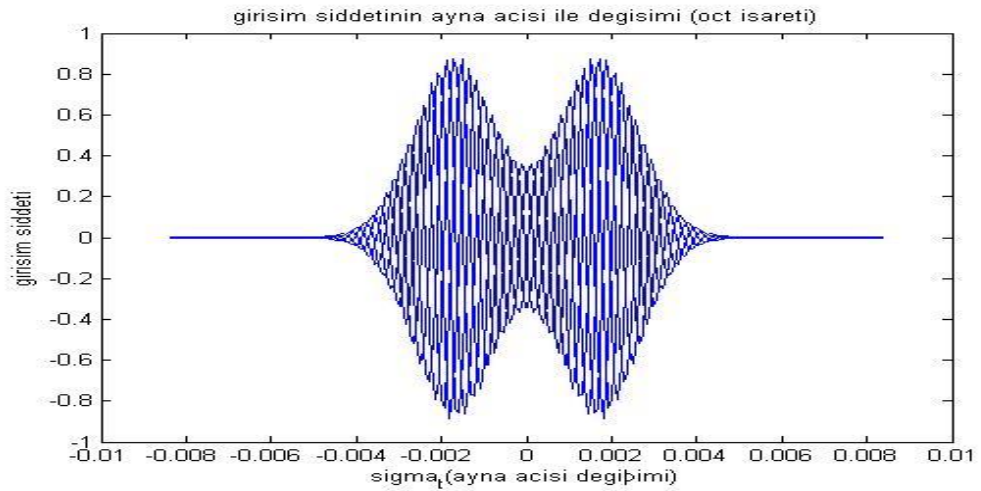
Şekil B.3.3.3: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.9l_c$ ise;



Şekil B.3.3.4: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $1.0l_c$ ise;



Şekil B.3.3.5: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

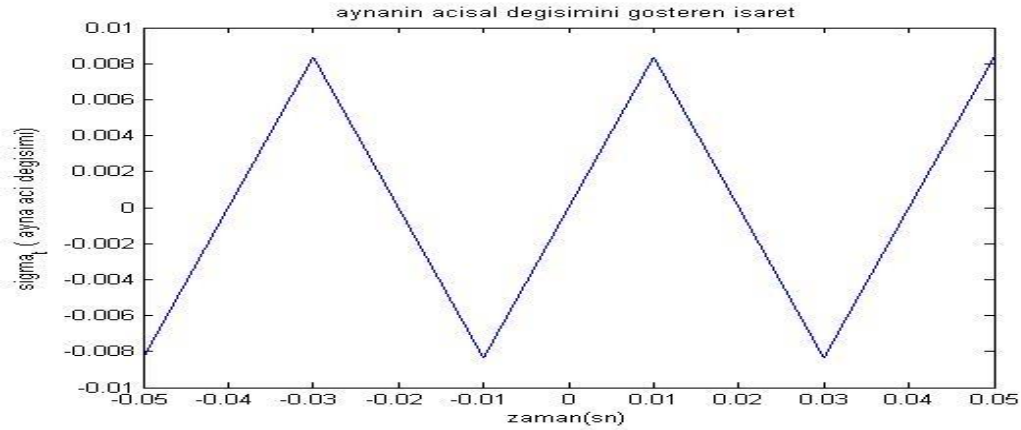
B.4. PROGRAM 4 'e Ait Bulgular:

B.4.1. Eski ' $|\gamma_0|$ ', ' x ', ' p ', ' f_m ', ' l_f ', ' m ' Değerleri İçin Program Çıktıları:

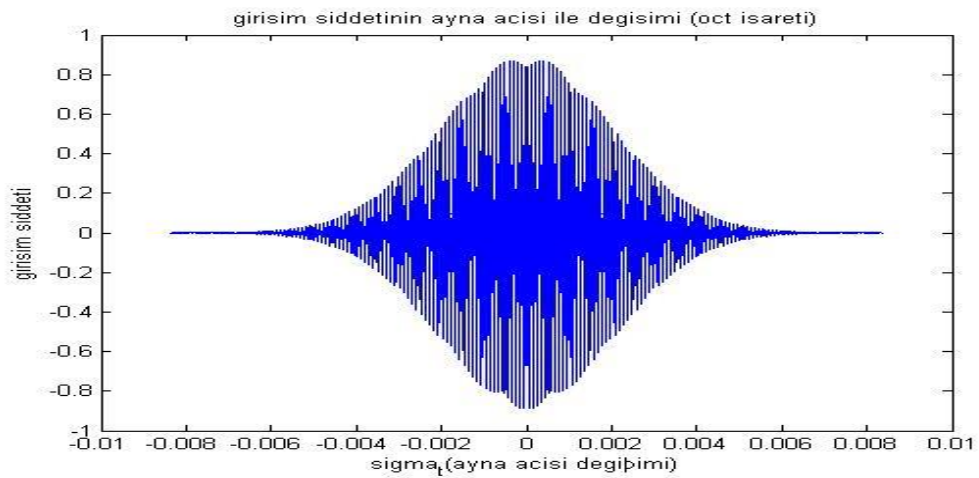
$|\gamma_0| = 8.36 \text{ mrad}$, $x = 3.7 \text{ mm}$, $\text{pitch} = 10^{-5} \text{ m}$, $f_m = 25 \text{ Hz}$, $l_f = 40 \text{ mm}$, $m = 1$,
 $\lambda_0 = 1500 \text{ nm}$, $\Delta\lambda = 30 \text{ nm}$ için

teorik sonuçlar : $f_0 = 8.2485 \times 10^3 \text{ Hz}$, $\Delta f = -102.5493 \text{ Hz}$

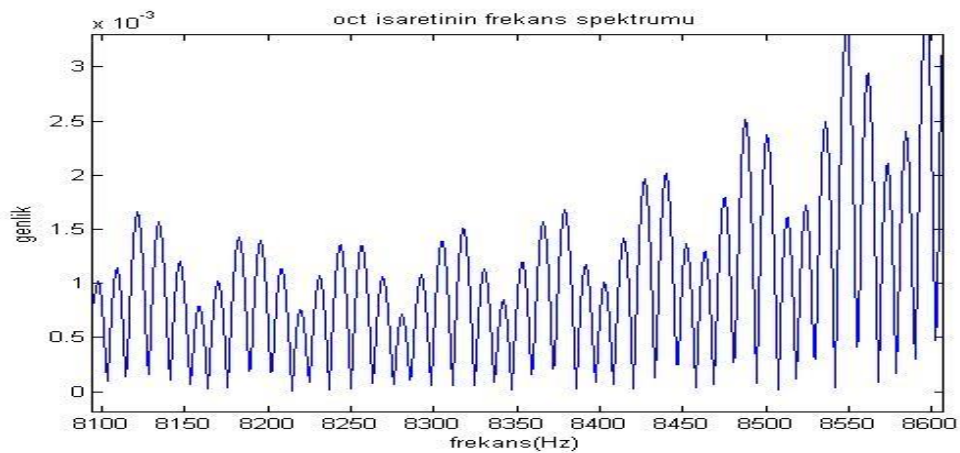
program çıktıları :



Şekil B.4.1.1: ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu



Şekil B.4.1.2: OCT işareti (' $\sigma(t)$ ' 'ye bağlı olarak değişir)



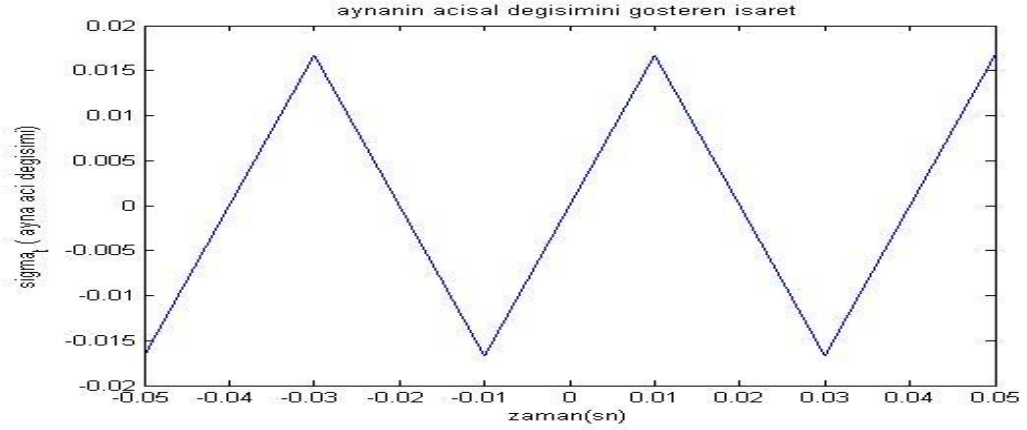
Şekil B.4.1.3: OCT işaretinin Frekans Spektrumu

B.4.2. Yeni ' $|\gamma_0|$ ', ' x ', ' p ', ' f_m ', ' l_f ', ' m ' Değerleri İçin Program Çıktıları:

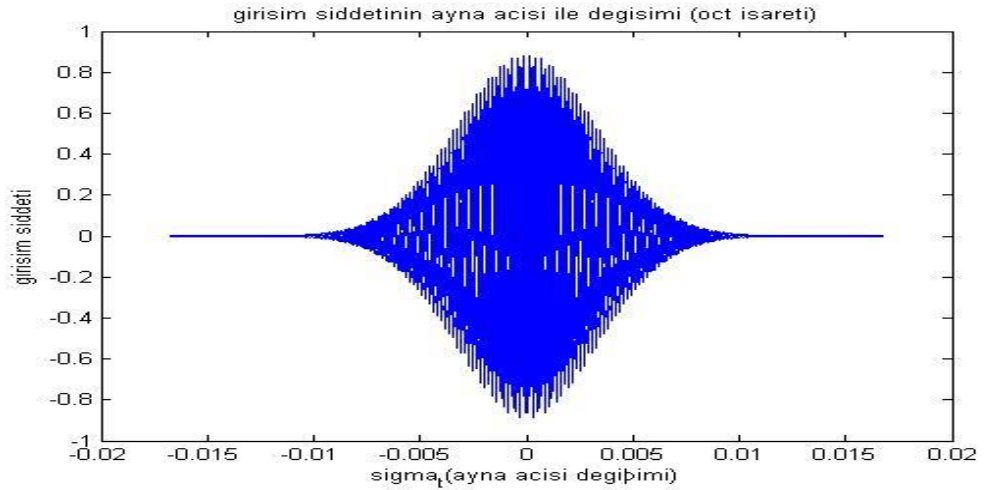
$|\gamma_0| = 16.72 \text{ mrad}$, $x = 7.4 \text{ mm}$, $\text{pitch} = 10^{-5} \text{ m}$, $f_m = 25 \text{ Hz}$, $l_f = 40 \text{ mm}$, $m = 1$,
 $\lambda_0 = 1500 \text{ nm}$, $\Delta\lambda = 30 \text{ nm}$ için

teorik sonuçlar : $f_0 = 3.2994 \times 10^4 \text{ Hz}$, $\Delta f = 124.8427 \text{ Hz}$

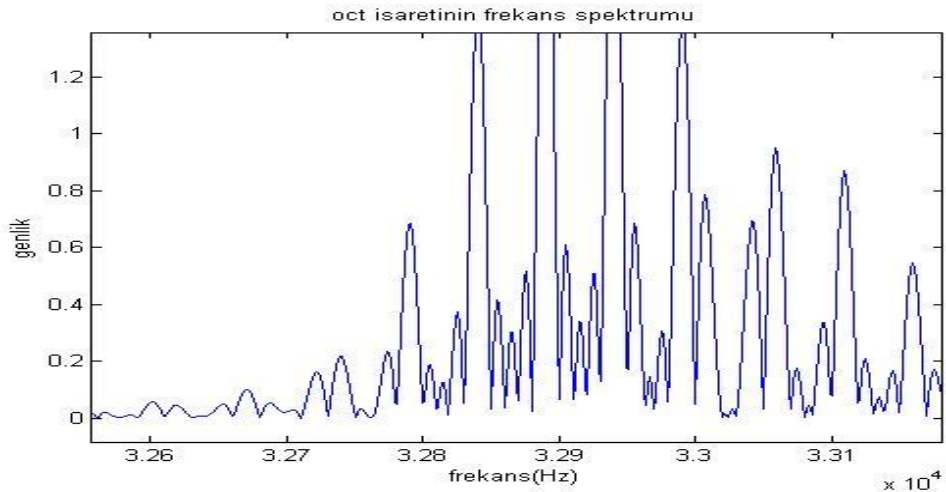
program çıktıları :



Şekil B.4.2.1: ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu



Şekil B.4.2.2: OCT işareti (' $\sigma(t)$ ' 'ye bağlı olarak değişir)

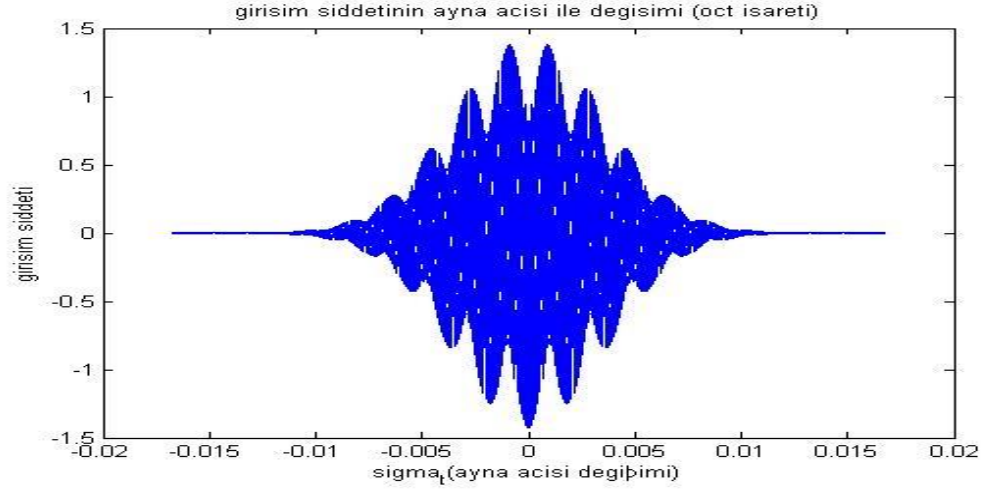


Şekil B.4.2.3: OCT işaretinin Frekans Spektrumu

B.4.3. Yeni Değerler ile ' Δz ' 'nin Belirlenmesi

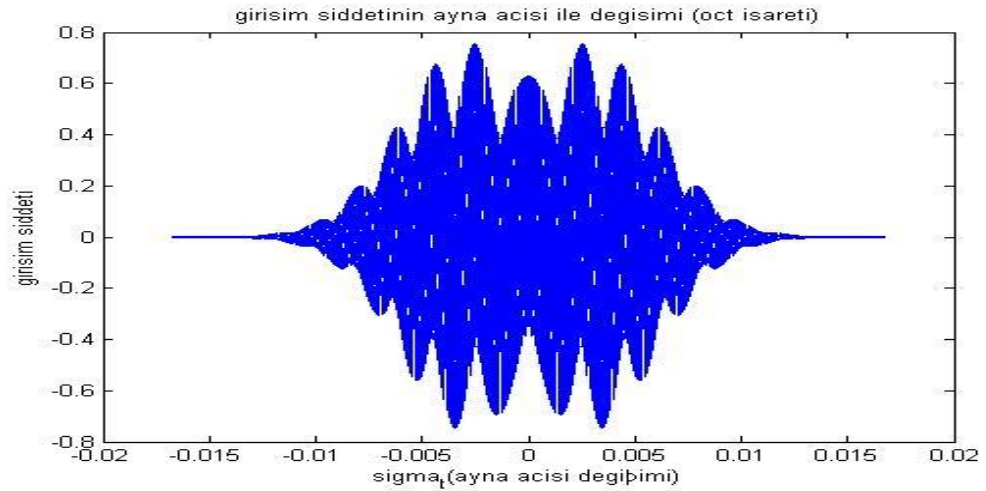
$|\gamma_0| = 16.72 \text{ mrad}$, $x = 7.4 \text{ mm}$, $\text{pitch} = 10^{-5} \text{ m}$, $f_m = 25 \text{ Hz}$, $l_f = 40 \text{ mm}$, $m = 1$,
 $\lambda_0 = 1500 \text{ nm}$, $\Delta\lambda = 30 \text{ nm}$ için

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.2 l_C$ ise;



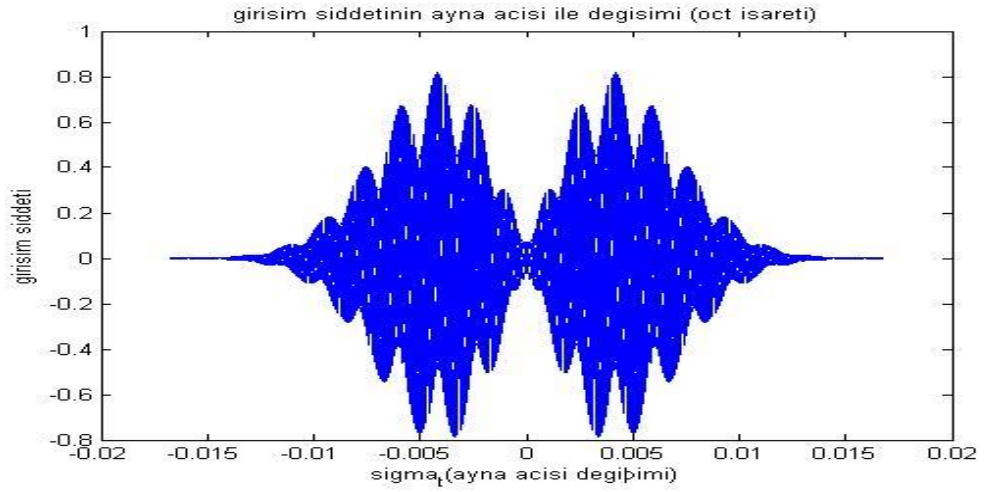
Şekil B.4.3.1: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.4 l_C$ ise;



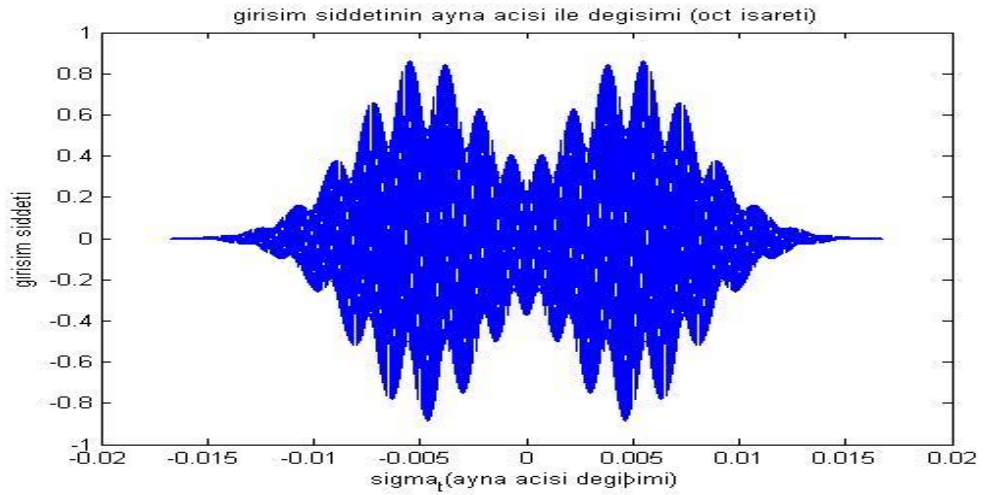
Şekil B.4.3.2: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.6l_C$ ise;



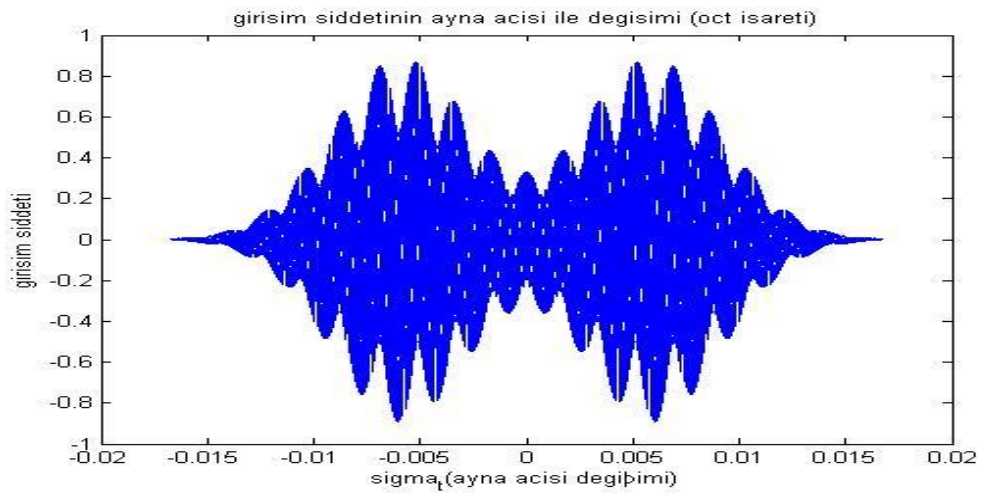
Şekil B.4.3.3: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

İki nokta Arasındaki Mesafe $0.8l_C$ ise;



Şekil B.4.3.4: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

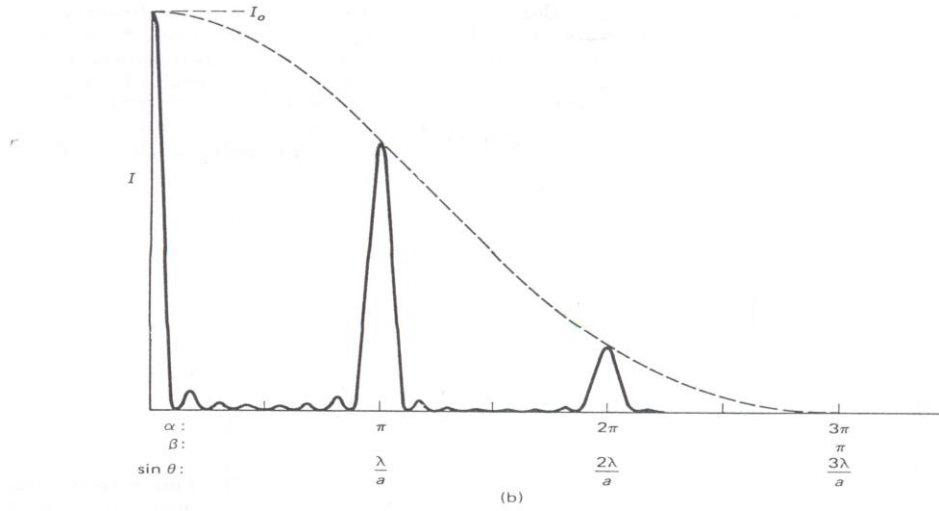
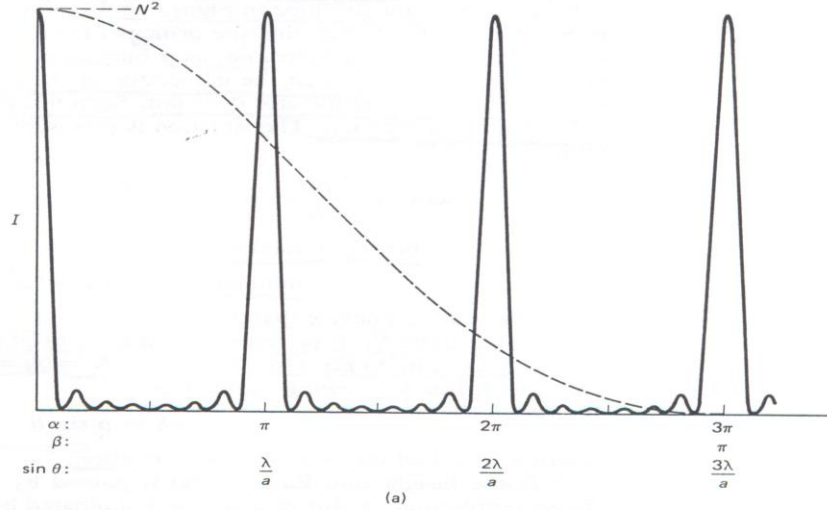
İki nokta Arasındaki Mesafe $1.0l_C$ ise;



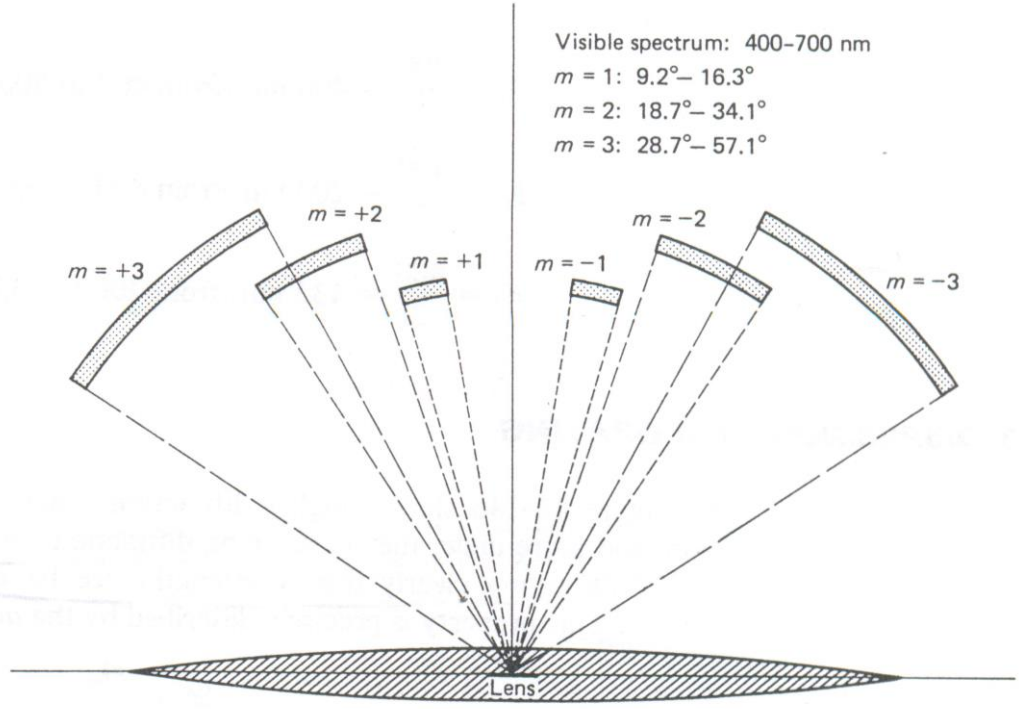
Şekil B.4.3.5: OCT işareti (derinlik taraması (A taraması))

Ek.C.

Fraunhofer Kırınımı İçin Şiddet Eğrisi ve Grating'de m'ye Bağlı Dalga Boylarına Ayırma Grafiği:



Şekil C.1 : a) Girişim (düz çizgi) ve kırınım (kesikli çizgi) fonksiyonları , çok yarıklı Fraunhofer kırınımı için çizilmiştir.(a) 'da düz çizgili girişim değişimi farklı yarıklardan gelen ışınların birbiri arasındaki faz farklarına (' α ') bağlı olarak girişim şiddetlerini temsil eder. Kesikli çizgi ise tek yarıktan çıkan ışınların birbiri arasındaki faz farklarına (' β ') bağlı olarak girişim şiddetini temsil eder.($\alpha=\pi, 2\pi, 3\pi \equiv m=1, 2, 3$) ([5] numaralı kaynak sayfa 343)



Şekil C.2 : Görünür spektrumun ilk üç tipinin açısal dağılımı (400 yiv/mm 'lik kırınım ızgarası (grating) için).([5] numaralı kaynak sayfa 351).

Ek.D.

D.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı:

[4] numaralı makalede kırınım ızgarası (grating) eşitliği, $p(\sin \tilde{\alpha} + \sin \tilde{\beta}) = m\lambda$ olarak alınmıştır. Fakat geciktirme hattında kullanılan kırınım ızgarası bir yansıtma kırınım ızgarasıdır ve yansıtma kırınım ızgarası için grating eşitliği, $p(\sin \tilde{\alpha} - \sin \tilde{\beta}) = m\lambda$ şeklindedir. Bu değişiklik yapıldığında faz kayması ifadesi için 2.2.3.1 eşitliğindeki doğru olan sonuca ulaşılmaktadır (yalnızca burada kullanılan geciktirme hattı çift geçişli olduğu için makaledeki faz kayması ifadesini iki ile çarpmak gerekir). Ayrıca bu makalede saat yönündeki ayna taramasının negatif olduğu kabul edilmiştir. Fakat saat yönündeki taramanın negatif veya pozitif olması OCT işaretini hiçbir şekilde değişikliğe uğratmaz.

Buradaki çalışmanın amacı; 1- Saat yönündeki yana taraması negatif kabul edildiğinde OCT işaretinde hiçbir şekilde değişiklik meydana gelmeyeceğini ortaya koymak, 2- Grup yol farkı ' Δl_g ' 'nin tarama derinliğine olan etkisini gözlemlemektir.

D.2. Bulgular:

D.2.1. Ayna Taramasının Yönünün Değiştirilmesi ile Elde Edilen Bulgular:

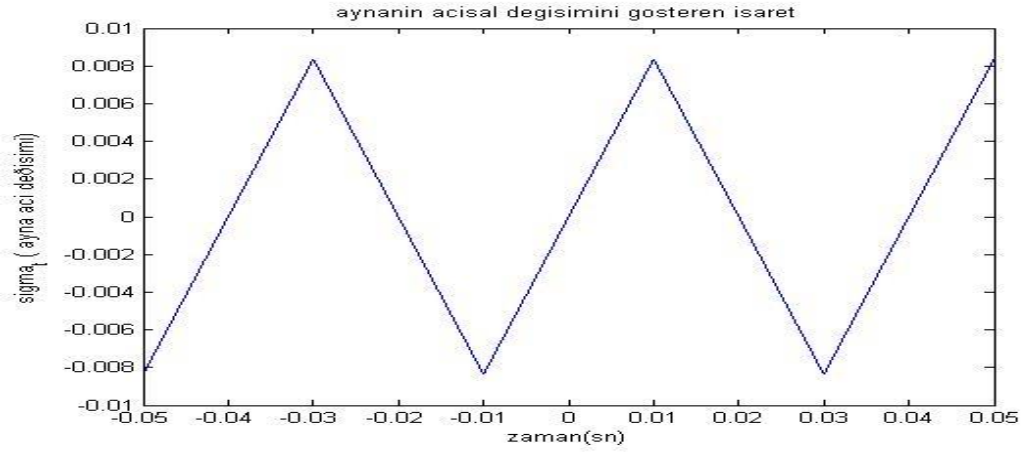
D.2.1.1 Frekans Spektrumu Karşılaştırması:

Saat Yönündeki Ayna Taraması Pozitif Kabul Edildiğinde;

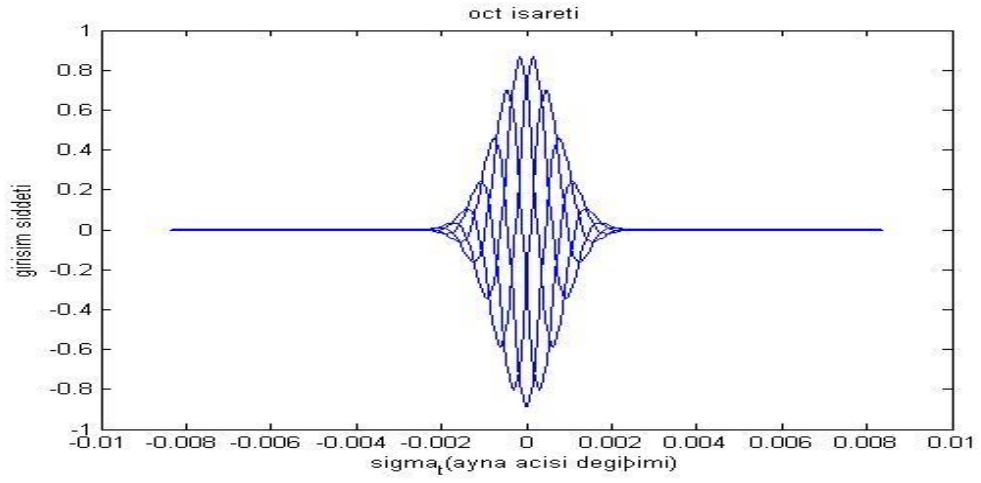
$|\gamma_0| = 8.36 \text{ mrad}$, $x = 3.7 \text{ mm}$, $\text{pitch} = 10^{-5} \text{ m}$, $f_m = 25 \text{ Hz}$, $l_f = 40 \text{ mm}$, $m = 1$, $\lambda_0 = 800 \text{ nm}$, $\Delta\lambda = 110 \text{ nm}$ için

teorik sonuçlar : $f_0 = 1.5466 \times 10^3 \text{ Hz}$, $\Delta f = 287.3750 \text{ Hz}$

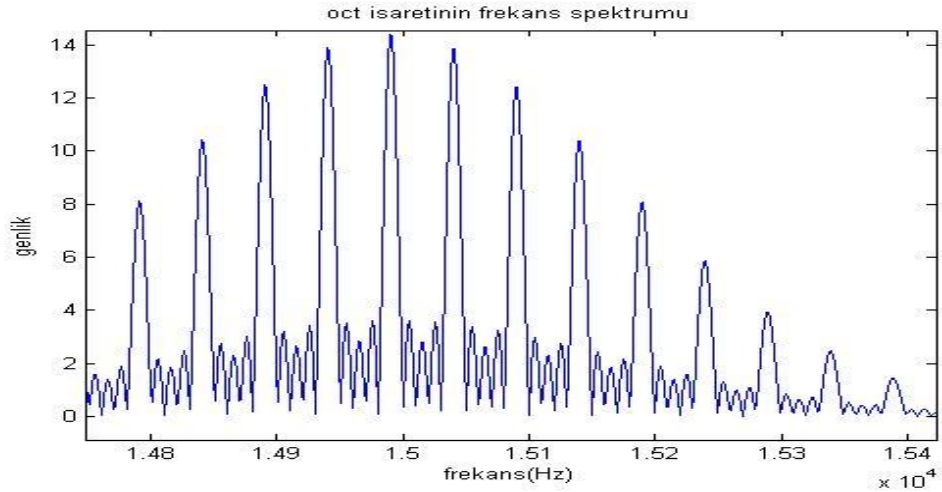
program çıktıları:



Şekil D.2.1.1.1: ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu



Şekil D.2.1.1.2: OCT işareti



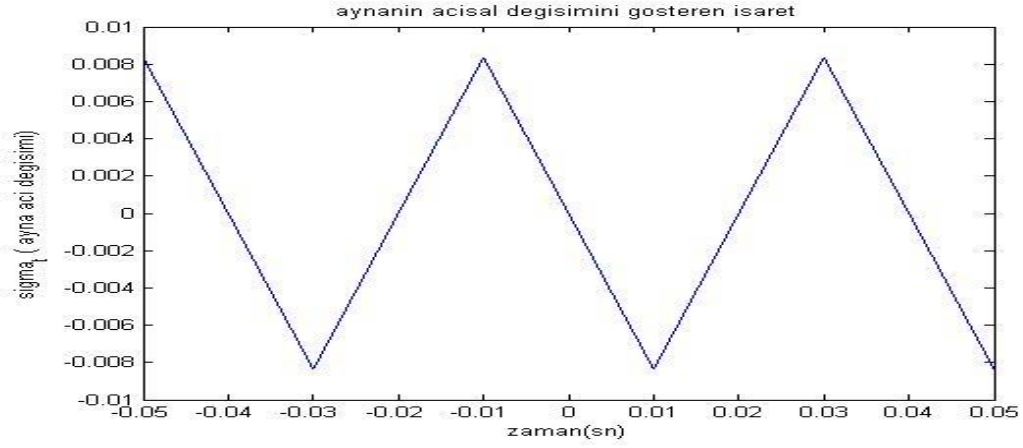
Şekil D.2.1.1.3: OCT işaretinin Frekans Spektrumu

Saat Yönündeki Ayna Taraması Negatif Kabul Edildiğinde;

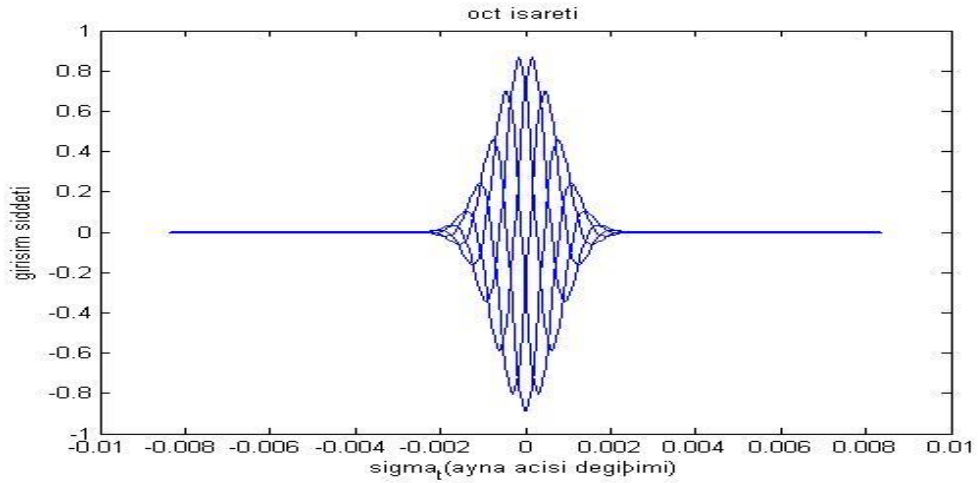
$|\gamma_0| = 8.36 \text{ mrad}$, $x = 3.7 \text{ mm}$, $\text{pitch} = 10^{-5} \text{ m}$, $f_m = 25 \text{ Hz}$, $l_f = 40 \text{ mm}$, $m = 1$, $\lambda_0 = 800 \text{ nm}$,
 $\Delta\lambda = 110 \text{ nm}$ için

teorik sonuçlar : $f_0 = 1.5466 \times 10^3 \text{ Hz}$, $\Delta f = 287.3750 \text{ Hz}$

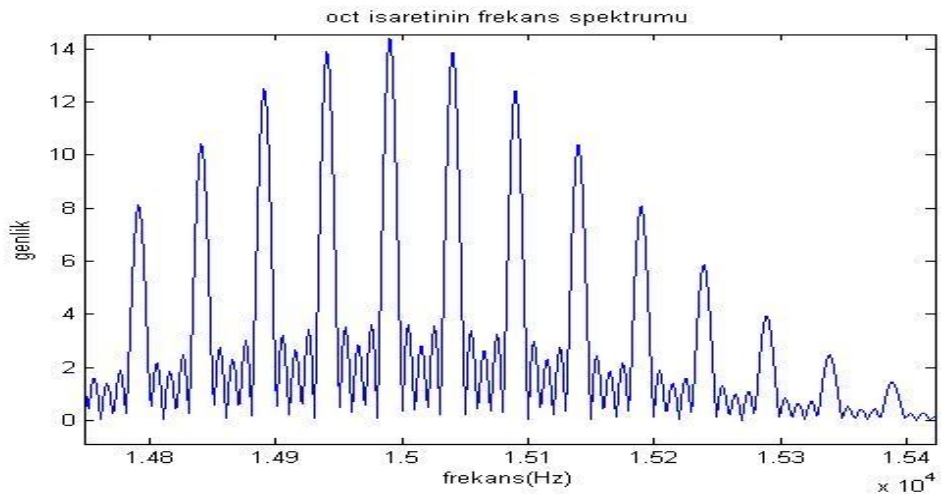
program çıktıları :



Şekil D.2.1.1.4: ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu



Şekil D.2.1.1.5: OCT işareti

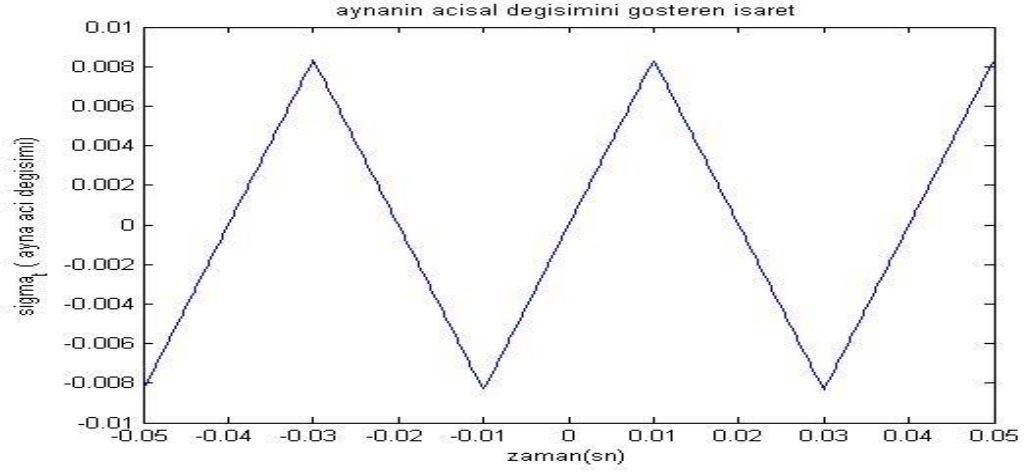


Şekil D.2.1.1.6: OCT işaretinin Frekans Spektrumu

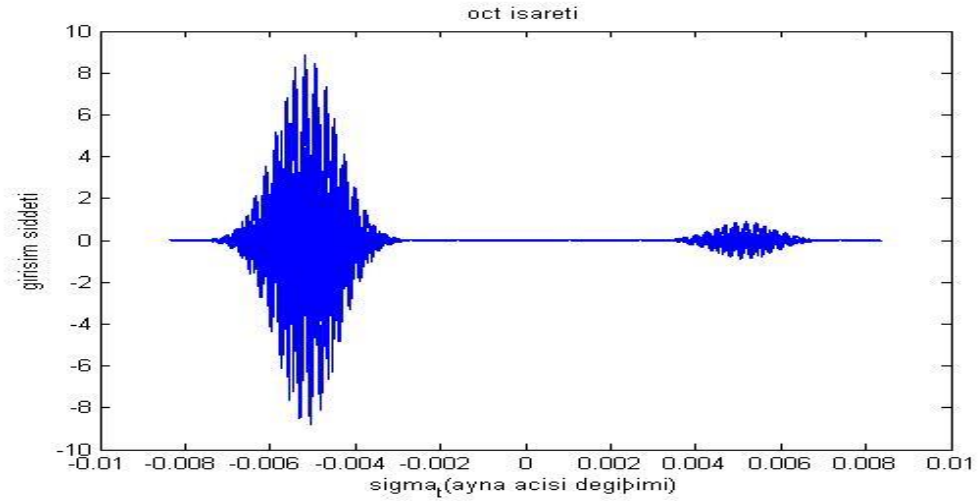
D.2.1.2. Konum Karşılaştırması:

Saat Yönündeki Ayna Taraması Pozitif Kabul Edildiğinde;

$|\gamma_0| = 8.36 \text{ mrad}$, $x = 3.7 \text{ mm}$, $\text{pitch} = 10^{-5} \text{ m}$, $f_m = 25 \text{ Hz}$, $l_f = 40 \text{ mm}$, $m = 1$, $\lambda_0 = 800 \text{ nm}$,
 $\Delta\lambda = 110 \text{ nm}$ için
program çıktıları :



Şekil D.2.1.2.1: ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu

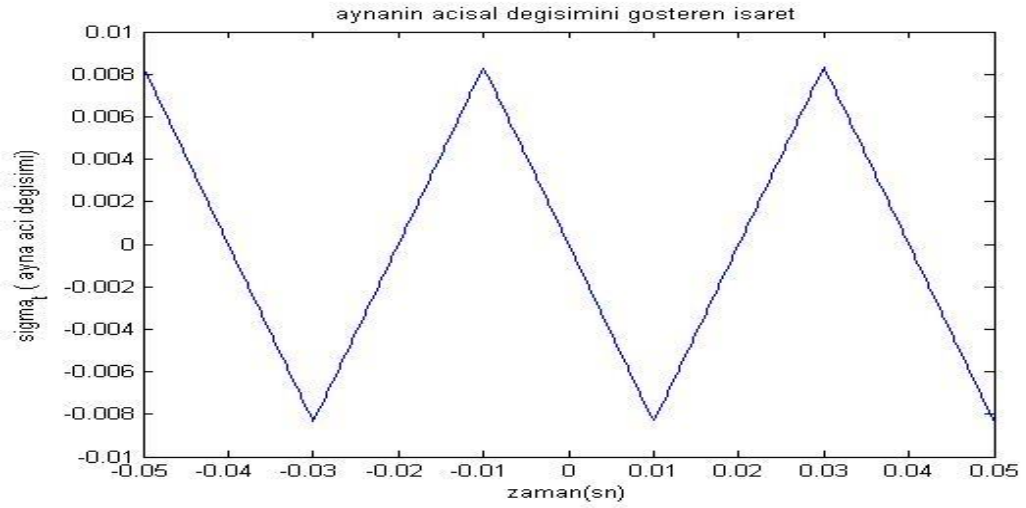


Şekil D.2.1.2.2: OCT işareti

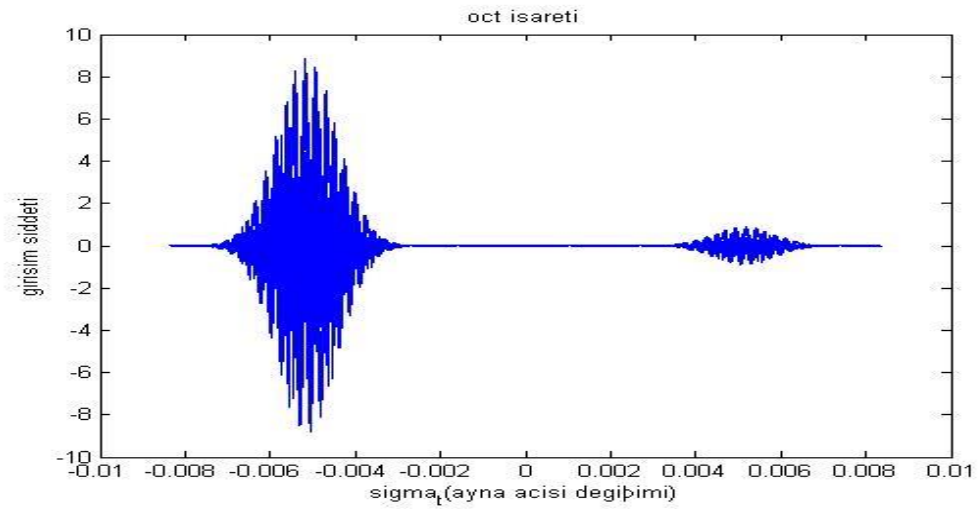
Saat Yönündeki Ayna Taraması Negatif Kabul Edildiğinde;

$|\gamma_0| = 8.36 \text{ mrad}$, $x = 3.7 \text{ mm}$, $\text{pitch} = 10^{-5} \text{ m}$, $f_m = 25 \text{ Hz}$, $l_f = 40 \text{ mm}$, $m = 1$, $\lambda_0 = 800 \text{ nm}$,
 $\Delta\lambda = 110 \text{ nm}$ için

program çıktıları :



Şekil D.2.1.2.3: ' $\sigma(t)$ ' fonksiyonu

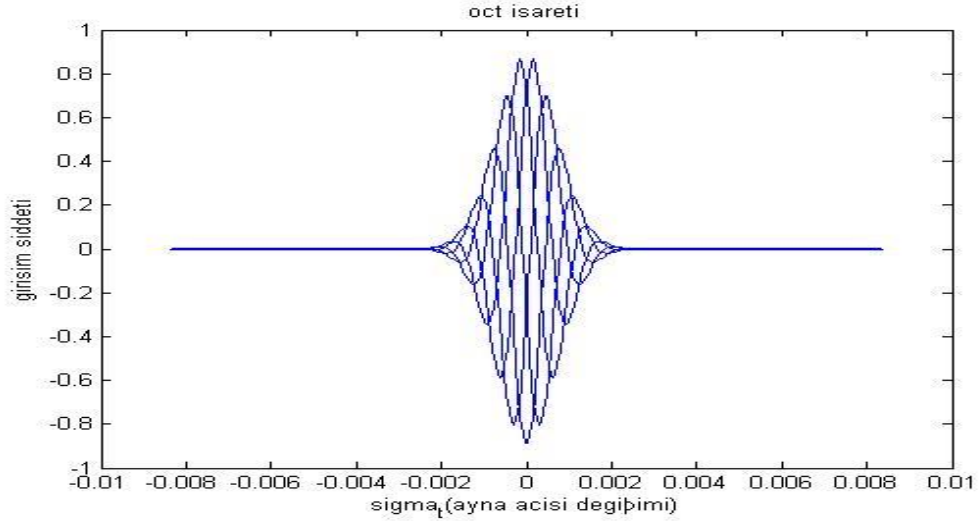


Şekil D.2.1.2.4: OCT işareti

D.2.2. Grup Yol Farkının Tarama Derinliğine Etkisi:

$|\gamma_0| = 8.36 \text{ mrad}$, $x = 3.7 \text{ mm}$, $\text{pitch} = 10^{-5} \text{ m}$, $f_m = 25 \text{ Hz}$, $l_f = 40 \text{ mm}$, $m = 1$, $\lambda_0 = 800 \text{ nm}$,
 $\Delta\lambda = 110 \text{ nm}$ için : $\Delta l_g = 2 \times 1.6720 \times 10^{-5} \text{ m}$ için

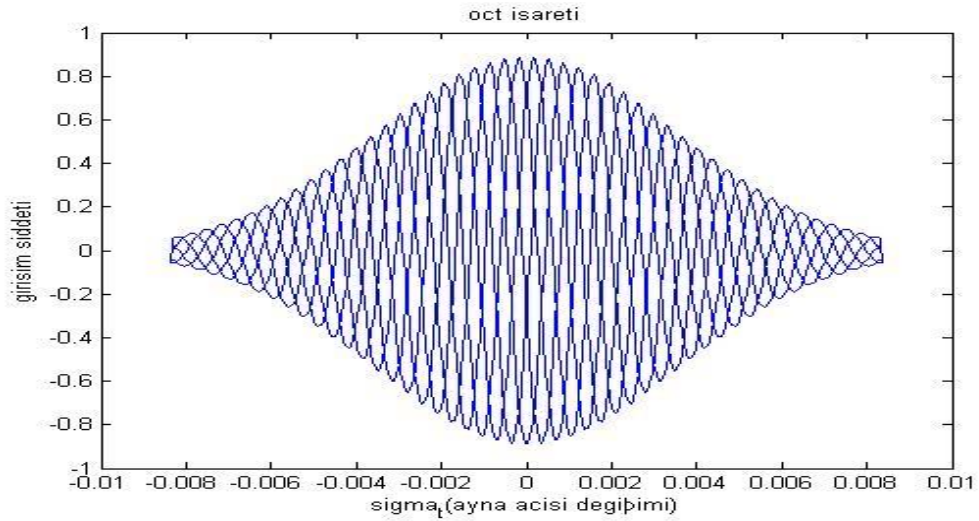
program çıktısı :



Şekil D.2.2.1: OCT işareti

$|\gamma_0| = 8.36 \text{ mrad}$, $x = 3.7 \text{ mm}$, $\text{pitch} = 10^{-5} \text{ m}$, $f_m = 25 \text{ Hz}$, $l_f = 45 \text{ mm}$, $m = 1$, $\lambda_0 = 800 \text{ nm}$,
 $\Delta\lambda = 110 \text{ nm}$ için : $\Delta l_g = 2 \times 3.3440 \times 10^{-6} \text{ m}$ için

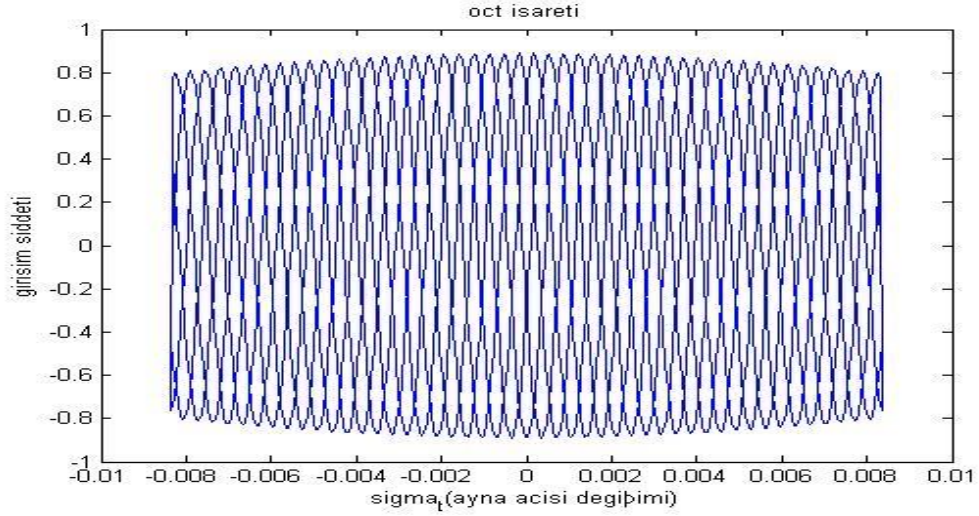
program çıktısı :



Şekil D.2.2.2: OCT işareti

$|\gamma_0|=8.36\text{mrad}$, $x=3.7\text{mm}$, $\text{pitch}=10^{-5}\text{ m}$, $f_m=25\text{Hz}$, $l_f=46\text{mm}$, $m=1$, $\lambda_0=800\text{nm}$,
 $\Delta\lambda=110\text{nm}$ için, $\Delta l_g = 2 \times 6.6880 \times 10^{-7}\text{ m}$ için

program çıktısı :



Şekil D.2.2.3: OCT işareti

D.3 Sonuç ve Tartışma:

Program çıktılarına bakıldığında; Bölüm D.2.1. 'de saat yönündeki ayna taramasının negatif alınması, OCT işaretinin ne frekans spektrumunu ne de konum bilgisini hiçbir şekilde değiştirmedeği görülecektir. Sonuç olarak saat yönündeki ayna taramasının negatif alınması OCT işaretini hiçbir şekilde değişikliğe uğratmamaktadır.

Bölüm D.2.2 'de elde edilen program çıktılarına bakıldığında, grup yol farkı azaldıkça tarama derinliğinin de azaldığı görülecektir. Yani grup yol farkı ile tarama derinliği doğru orantılı olarak değişir. Tarama derinliği yaklaşık olarak $\frac{\Delta l_g}{2}$ 'dir.

ÖZGEÇMİŞ

Zihni HACIOĞLU, 1980 yılında Razgrat-Bulgaristan ‘da doğmuştur. Orta öğrenimini Sefaköy Lisesi ‘nde, Lisans öğrenimini ise Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümün ‘de tamamlamıştır. 2003 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi ‘nin Biyomedikal Bölümünde yüksek lisansa başlamıştır.