T. C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GENETİK ALGORİTMA KULLANARAK OPTİMUM GENLİK CEVAPLI VE MİNİMUM FAZLI SAYISAL SÜZGEÇLERİN TASARIMI

Tezi Hazırlayan
Mehmet Bahadır ÇETİNKAYA

152066

Tez Yöneticisi
Yrd. Doç. Dr. Nurhan KARABOĞA

Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Temmuz 2004
KAYSERİ

Bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

... / ... / ...

JÜRİ:

Üye : Prof. Dr. Kerim GÜNEŞ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Nurhan KARABOĞA

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ö. Galip SARAÇOĞLU

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun ....14-09-2004.... tarih ve .....01.. sayılı kararı ile onaylanmıştır.

T.C. 19 KASIM 2004 2004 Erciyes Üniversitesi

Prof. Dr. Nusret AYYILDIZ
Enstitü Müdürü
Mühür ve İmza

TEŞEKKÜR

En başta, tez çalışmam süresince bana anlayış gösterdiği, destek olduğu ve en önemlisi bana her zaman yol gösterdiği için tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Nurhan Karaboğa'ya teşekkür ederim.

Beni bu günlere getiren, maddi manevi desteğini esirgemeyen sevgili aileme teşekkürü borç bilirim. Ayrıca, çalışmalarım süresince bana daima destek olan eşim Şeyma Çetinkaya'ya en içten teşekkürlerimi sunarım.

GENETİK ALGORİTMA KULLANARAK OPTİMUM GENLİK CEVAPLI VE MİNİMUM FAZLI SAYISAL SÜZGEÇLERİN TASARIMI

ÖZET

Sayısal süzgeçler, sayısal işaret işleme sistemlerinin temel elemanlarından birisidir. İki temel sayısal süzgeç yapısı vardır : Sonlu darbe cevaplı (FIR) sayısal süzgeçler ve sonsuz darbe cevaplı (IIR) sayısal süzgeçler. Hata yüzeylerinin süzgeç katsayılarına göre tek modlu olmasından dolayı, türeve dayalı algoritmalar, optimal FIR süzgeç tasarımında yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar. Bununla birlikte, türeve dayalı algoritmalar IIR süzgeç tasarımında çok fazla etkili değillerdir. Bunun nedeni, IIR süzgeçler filtre katsayılarına göre çok modlu hata yüzeyine sahiptirler ve standart türeve dayalı algoritmaların yerel minimalardan kurtulma yetenekleri yoktur. Bu nedenle, IIR süzgeç tasarımında rasgele tabanlı algoritmalar tercih edilmektedir. IIR süzgeç tasarımı için global optimizasyon algoritmaları düşünüldüğünde, Genetik Algoritma (GA) önemli bir çekiciliğe sahiptir.

Sayısal süzgeçler minimum fazlı olarak tasarlandıklarında, gecikme ve genlik cevabı kısıtlamalarını doğrusal faza göre daha düşük hesaplama ve hafızaya ihtiyaç duyarak karşılayabilirler. Bu tez çalışmasında, genetik algoritma kullanarak minimum fazlı süzgeç tasarımı için yeni bir yöntem önerilmiştir.

Çalışmanın birinci bölümünde sayısal işaret işlemenin temel kavramları ve çalışmanın amacı açıklanmıştır.

İkinci bölümde, sayısal işaret işleme sistemlerine ve bu sistemlerin temel kavramlarına değinilmektedir.

Üçüncü bölümde, sayısal süzgeçler detaylı bir şekilde tanıtılarak minimum fazlı sayısal süzgeçler anlatılmaktadır.

Dördüncü bölümde, bir yapay zeka optimizasyon algoritması olan genetik algoritma detaylı bir şekilde incelenmektedir.

Beşinci bölümde, genetik algoritmaların sonlu darbe cevaplı süzgeç tasarımına uygulanması anlatılarak elde edilen simülasyon sonuçları verilmektedir. Ayrıca, genetik algoritma ile klasik metotların FIR süzgeçlerin tasarlanmasındaki performansları karşılaştırılmaktadır.

Altıncı bölümde, genetik algoritmaların sonsuz darbe cevaplı süzgeç tasarımına uygulanması anlatılarak elde edilen simülasyon sonuçları verilmektedir. Ayrıca, genetik algoritma ile klasik metotların IIR süzgeçlerin tasarlanmasındaki performansları karşılaştırılmaktadır.

Son bölümde, bu çalışmalardan çıkartılabilecek sonuçlar tartışılmakta ve bu tez çalışmasına ilave olarak gelecekte neler yapılabileceği hakkında bilgi verilmektedir.

Anahtar Sözcükler: FIR Sayısal Süzgeçler, IIR Sayısal Süzgeçler, Minimum faz, Genetik Algoritmalar

DESIGN OF DIGITAL FILTERS WITH MINIMUM PHASE AND OPTIMUM MAGNITUDE RESPONSE BY USING GENETIC ALGORITHM

SUMMARY

Digital filters are one of the basic elements in any Digital Signal Processing System. There are two main kinds of digital filters: Finite Impuls Response (FIR) filters and Infinite Impuls Response (IIR) filters. Because of error surfaces being uni-modal according to the filter coefficients, gradient based algorithms have been commonly used in FIR filter design. However, gradient based algorithms are not so efficient in the IIR filter design. The reason is that IIR filters may have multi-modal error surfaces and standard gradient techniques do not have the ability of getting out from local minima. Therefore, in the IIR filter design random-based algorithms are preferred. When considering global optimization methods for digital IIR filter design, the Genetic Algorithm (GA) seems to have attracted considerable attention. Filters designed by GA have the potential of obtaining near global optimum solution.

Minimum phase digital filters can simultaneously meet delay and magnitude response constraints yet generally require fewer computations and less memory than linear phase filters. In this work, a new method is proposed for designing minimum phase digital filters by using genetic algorithms.

In the first chapter, the basic concepts of digital signal processing and the objective of the thesis are explained.

In the second chapter, signal processing systems and the basic concepts of these systems are introduced.

In the third chapter, digital filters are introduced in detail and minimum phase digital filters are explained.

In the fourth chapter, the genetic algorithm, which is an artificial intelligence optimisation algorithm, is examined in detail.

In the fifth chapter, the application of genetic algorithm to the design of FIR filters is explained and the simulation results are given. Besides, the performance comparison of genetic algorithm and classical algorithms in the design of FIR filters is presented.

In the sixth chapter, the application of genetic algorithm to the design of IIR filters is explained and the simulation results are given. Besides, the performance comparison of genetic algorithm and classical algorithms in the design of IIR filters is carried out.

In the last chapter, the conclusions which can be drawn from this study and the works which can be done in the future in addition to this work are discussed.

Keywords: FIR Digital Filters, IIR Digital Filters, Minimum Phase, Genetic Algorithms

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY SAYFASI	**I**
TEŞEKKÜR	**II**
ÖZET	**III**
SUMMARY	**V**
İÇİNDEKİLER	**VII**
KISALTMALAR	**X**
TABLOLAR LİSTESİ	**XI**
ŞEKİLLER LİSTESİ	**XII**
BÖLÜM I	
1. GİRİŞ	**1**
1.1. Temel Bilgiler	**1**
1.2. Tezin Amacı	**3**
BÖLÜM II	
2. SAYISAL İŞARET İŞLEME SİSTEMLERİ	**5**
2.1. Ayrık Zamanlı İşaretler	**5**
2.2. Ayrık Zamanlı Sistemler	**6**
2.2.1. Hafızalı ve Hafızasız Sistemler	**6**
2.2.2. Zamanla Değişmeyen Sistemler	**6**
2.2.3. Doğrusal Sistemler	**7**
2.2.4. Nedensel Sistemler	**7**
2.2.5. Kararlı Sistemler	**7**
2.2.6. Tersine Çevrilebilen Sistemler	**8**
2.3. Transfer Fonksiyonu	**8**

BÖLÜM III

3. SAYISAL SÜZGEÇLERİN TASARIMI 10

3.1. Sonlu Darbe Cevaplı (FIR) Sayısal Süzgeçler 10
3.1.1. Temel FIR Süzgeç Yapıları 11
3.1.1.1. Direkt Form FIR Süzgeç Yapısı 11
3.1.1.2. Kaskad Form FIR Süzgeç Yapısı 11
3.1.2. FIR Süzgecin Kutupları-Sıfırları 13
3.2. Sonsuz Darbe Cevaplı (IIR) Sayısal Süzgeçler 14
3.2.1. Temel IIR Süzgeç Yapıları 15
3.2.1.1. Direkt Form IIR Süzgeç Yapısı 15
3.2.1.2. Kaskad Form IIR Süzgeç Yapısı 16
3.2.2. IIR Süzgecin Kutupları-Sıfırları 17
3.3. FIR ve IIR Süzgeçlerin Avantaj ve Dezavantajları 19

BÖLÜM IV

4. GENETİK ALGORİTMALAR 21

4.1. Genetik Algoritmalara Giriş 21
4.2. Temel Genetik Algoritmanın Yapısı 22
4.2.1. Gösterim Mekanizması 23
4.2.2. Başlangıç Yoğunluğu 23
4.2.3. Değerlendirme Birimi 24
4.2.4. Genetik Operatörler 24
4.2.4.1. Tekrar üreme Operatörü 24
4.2.4.2. Çaprazlama Operatörü 26
4.2.4.3. Mutasyon Operatörü 26
4.2.5. Kontrol Parametreleri 27

BÖLÜM V

5. GENETİK ALGORİTMA KULLANARAK SİMETRİK KATSAYILI FIR SÜZGEÇ TASARIMI 29

5.1. Optimizasyon Problemi 29

5.2. Hata Fonksiyonları 29
5.2.1. Ortalama Karesel Hata (MSE) 30
5.2.2. En Küçük Ortalama Karesel Hata (LMS) 30
5.2.3. Ortalama Mutlak Hata (MAE) 30
5.3. Tasarım Formülasyonu 30
5.4. Simülasyon Sonuçları 34
5.4.1. Alçak Geçiren FIR Süzgeç 35
5.4.2. Yüksek Geçiren FIR Süzgeç 35
5.4.3. Band Geçiren FIR Süzgeç 36
5.5. FIR Süzgeç Tasarımında GA ile Klasik Metotların Karşılaştırılması 37

BÖLÜM VI

6. GENETİK ALGORİTMA KULLANARAK IIR SÜZGEÇ TASARIMI 40
6.1. Optimizasyon Problemi 40
6.2. Tasarım Formülasyonu 40
6.3. Simülasyon Sonuçları 42
6.3.1. Alçak Geçiren Süzgeç 47
6.3.2. Yüksek Geçiren Süzgeç 47
6.3.3. Band Geçiren Süzgeç 48
6.4. IIR Süzgeç Tasarımında GA ile Klasik Metotların Karşılaştırılması 49

BÖLÜM VII

7. SONUÇ 52
KAYNAKLAR 54
ÖZGEÇMİŞ 57

KISALTMALAR

GA	Genetik Algoritma
FIR	Sonlu Darbe Cevaplı Sayısal Süzgeçler
IIR	Sonsuz Darbe Cevaplı Sayısal Süzgeçler
A/D	Analog/Sayısal
D/A	Sayısal/Analog
MSE	Ortalama Karesel Hata
LMS	En Küçük Ortalama Karesel Hata
MAE	Ortalama Mutlak Hata
LSQ	Least Squares Metod

TABLOLAR LİSTESİ

		Sayfa No
Tablo 5.1	Ağırlık Parametresinin Geçirme, Geçiş ve Durdurma Bantları İçin En Uygun Değerleri	33
Tablo 5.2	Tasarlanmış Olan 20. Dereceden FIR Süzgeçlere Ait Katsayılar	38
Tablo 5.3	Tasarlanmış Olan 14. Dereceden FIR Süzgeçlere Ait Katsayılar	39
Tablo 5.4	Tasarlanmış Olan 8. Dereceden FIR Süzgeçlere Ait Katsayılar	39
Tablo 6.1	Ağırlık Parametrelerinin Geçirme, Geçiş ve Durdurma Bantları İçin En Uygun Değerleri	42
Tablo 6.2	Tasarlanmış Olan 6. ve 9. Dereceden IIR Süzgeçlere Ait Katsayılar	50

ŞEKİLLER LİSTESİ

		Sayfa No
Şekil 1.1	Temel Sayısal İşaret İşleme Sisteminin Blok Diyagramı	1
Şekil 2.1	Ayrık Zamanlı Bir İşaret	5
Şekil 2.2	Genel Bir Tersine Çevrilebilir Sistem	8
Şekil 3.1	Direkt Form FIR Süzgeç Yapısı	11
Şekil 3.2	Kaskad Form FIR Süzgeç Yapısı	12
Şekil 3.3	Kaskad Form FIR Süzgeç Yapısının Transfer Fonksiyonları ile Gösterilmesi	12
Şekil 3.4	Sistem Sıfırlarının Faz Cevabına Etkisi	13
Şekil 3.5	Direkt Form IIR Süzgeç Yapısı	16
Şekil 3.6	Birbirinden Farklı Eşdeğer Kaskad Gerçekleştirmeler	17
Şekil 3.7	Üçüncü Dereceden IIR Süzgecin Kaskad Formda Gerçekleştirilmesi	17
Şekil 3.8	IIR Süzgeçlerin Kutup Sıfır Yerleşimi	18
Şekil 4.1	Temel Bir Genetik Algoritma Döngüsü	22
Şekil 4.2	Rulet Tekerleği Yöntemi	25
Şekil 4.3	Çaprazlama Operatörü	26
Şekil 4.4	Mutasyon Operatörü	27
Şekil 5.1	Çözümlerin Dizi Formunda Gösterimi	30
Şekil 5.2	FIR Süzgecin Geçirme, Durdurma ve Geçiş Bantlarında Kullanılan Hata Fonksiyonları	31
Şekil 5.3	Farklı Süzgeç Dereceleri İçin Tek Bir Hata Fonksiyonu Kullanıldığında Elde Edilen Sonuçlar ile Önerilen Metot Kullanıldığında Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması	32
Şekil 5.4	Minimum Fazlı FIR Süzgeç	34
Şekil 5.5	Farklı Dereceler İçin Genetik Algoritma Kullanılarak Tasarlanmış Olan Simetrik Katsayılı Alçak Geçiren FIR Süzgeçler	35

Şekil 5.6	Farklı Dereceler İçin Genetik Algoritma Kullanılarak Tasarlanmış Olan Simetrik Katsayılı Yüksek Geçiren FIR Süzgeçler	36
Şekil 5.7	Farklı Dereceler İçin Genetik Algoritma Kullanılarak Tasarlanmış Olan Simetrik Katsayılı Band Geçiren FIR Süzgeçler	37
Şekil 5.8	FIR Süzgeçlerin Karşılaştırılması	39
Şekil 6.1	Çözümlerin Dizi Formunda Gösterimi	41
Şekil 6.2	FIR Süzgecin Geçirme, Durdurma ve Geçiş Bantlarında Kullanılan Hata Fonksiyonları	43
Şekil 6.3	9. Dereceden Alçak Geçiren IIR Süzgeçler İçin Tek Bir Hata Fonksiyonu Kullanıldığında Elde Edilen Sonuçlar ile Önerilen Metot Kullanıldığında Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması	44
Şekil 6.4	9. Dereceden Yüksek Geçiren IIR Süzgeçler İçin Tek Bir Hata Fonksiyonu Kullanıldığında Elde Edilen Sonuçlar ile Önerilen Metot Kullanıldığında Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması	45
Şekil 6.5	9. Dereceden Band Geçiren IIR Süzgeçler İçin Tek Bir Hata Fonksiyonu Kullanıldığında Elde Edilen Sonuçlar ile Önerilen Metot Kullanıldığında Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması	46
Şekil 6.6	Farklı Dereceler İçin Genetik Algoritma Kullanılarak Tasarlanmış Olan Alçak Geçiren IIR Süzgeçler	47
Şekil 6.7	Farklı Dereceler İçin Genetik Algoritma Kullanılarak Tasarlanmış Olan Yüksek Geçiren IIR Süzgeçler	48
Şekil 6.8	Farklı Dereceler İçin Genetik Algoritma Kullanılarak Tasarlanmış Olan Band Geçiren IIR Süzgeçler	49
Şekil 6.9	IIR Süzgeçlerin Karşılaştırılması	51

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1. Temel Bilgiler

Fiziksel bir durum hakkında bilgi taşıyan, bir veya birden fazla değişkene bağlı fonksiyonlar işaret olarak adlandırılırlar. Tek bir değişkene bağlı olan işaretler, tek boyutlu işaretlerdir. Birden fazla değişkene bağlı olan işaretler ise, çok boyutlu işaretlerdir. İstenilen niteliklerdeki işaretleri üretebilen veya istenilen çıkış işaretlerini üretecek şekilde verilen giriş işaretlerini işleyebilen düzenekler sistem olarak adlandırılır [1,2].

Sahip oldukları belirgin avantajlardan dolayı sayısal işaret işleme sistemleri analog işaret işleme sistemlerine göre daha yaygın kullanılırlar. Bununla birlikte, günlük hayatta karşılaşılan işaretlerin tamamı doğal yapıları itibariyle analog formda olan işaretlerdir. Yani bu işaretler, sürekli bir değişkenin fonksiyonlarıdır. Bu nedenle, öncelikle analog formdaki işaretler sayısal işaret işleme sistemine uygunlaştırılmalıdır. Uygunlaştırılmış olan bu işaret sayısal işaret işleme sisteminde işlenerek çıkış katında tekrar analog işarete dönüştürülür ve son kullanıcıya ulaştırılır. Temel bir sayısal işaret işleme sisteminin blok diyagramı Şekil 1.1.'de görüldüğü gibidir.



Şekil 1.1. Temel Sayısal İşaret İşleme Sisteminin Blok Diyagramı.

Analog giriş işareti öncelikle, bir Analog/Sayısal (A/D) çevirici kullanılarak örneklenir ve sayısallaştırılır. Analog/Sayısal çeviricinin çıkışında elde edilen ve giriş işaretinin örneklenmiş şeklini gösteren ikili sayılar, sayısal işaret işleyiciye uygulanırlar. Sayısal işaret işleyici biriminde, bu ikili sayılar üzerinde nümerik hesaplamalar gerçekleştirilir. Sayısal işaret işleyicinin sayısal çıkışında elde edilmiş olan işaretin, kullanıcıya analog formda iletileceği durumlarda bu işareti analog forma çeviren bir arakat birimine daha ihtiyaç duyulur. Bu birim sayısaldan analoğa geçiş amacıyla kullanılır ve Sayısal/Analog (D/A) çevirici olarak adlandırılır [3,4].

Bilgisayar teknolojisinin gelişimi ve bilgisayar kullanımının çok hızlı bir şekilde artmasıyla, sayısal yöntemler hızlı bir şekilde yaygınlaşmıştır. Sayısal yöntemlerin yaygınlaşmasını sağlayan bir diğer neden de, analog sistemlerle gerçekleştiremediğimiz bazı işlevlerin sayısal yöntemlerle kolaylıkla gerçekleştirilebilmesidir. Örneğin sayısal yöntemler ile bilgi işaretinde kayıpsız sıkıştırma sayesinde bilgi kaybına neden olmadan bilginin bellekte kapladığı alanın veya bant genişliğinin azaltılması mümkündür. Benzer şekilde sistem karakteristiğini kendi kendine güncelleyen, örneğin uyumlu süzgeç gibi, sayısal sistemlerin analog karşılığı yoktur.

Sayısal sistemler güvenilir ve ucuz olmalarının yanı sıra diğer bazı avantajlara da sahiptir. Sayısal işaretler sadece belirli değerleri aldıkları için bozulmalardan etkilenmeleri analog işaretlere göre daha azdır. Üstelik hata algılama ve hata düzeltme kodlamaları ile bozulmalara karşı sayısal işaretlerin dayanıklılığı arttırılabilmektedir. Diğer taraftan, analog sistemlerde kullanılan direnç, kapasitör gibi devre elemanlarının toleranslarından dolayı, analog yöntemlerde her zaman ideal değerden bir sapma payı mevcuttur. Sayısal yöntemlerde ise sistem cevabındaki kesinliğin çok yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca, sayısal sistemlerde yazılım programları sayesinde devre donanımı hiç değiştirilmeksizin sadece programda değişiklik yapılarak sistem güncellenebilir. Bu ise sistem tasarımı için büyük bir esneklik sağlamaktadır.

Süzgeçleme, bir işaretin frekans spektrumunun değiştirilerek tekrar şekillendirildiği veya bazı arzu edilen özel operasyonlara tabii tutulduğu bir işlemdir. Süzgeçleme, genelde ya gürültü gibi işaretteki bozulmaları gidermek veya iki ya da daha fazla işaretin kanal kullanımını daha verimli hale getirmek için karıştırıldığı yerlerde; bu işaretleri tekrar ayırmak, işaretleri frekans elemanlarına bölmek, bir işaretin

demodülasyonunu almak, ayrık zamanlı işaretleri sürekli zaman işaretlerine çevirmek gayeleri için kullanılmaktadır [3].

Sayısal süzgeç, ayrık zamanlı işaretleri süzgeçlemek için kullanılan sayısal bir sistemdir. Sayısal süzgeçler, işaretin örneklenmiş değerleri üzerinde nümerik hesaplamaları yapabilmek için sayısal işlemcileri kullanırlar. Sayısal süzgeçler, yazılımsal ya da donanımsal olarak veya her ikisinin birleştirilmesiyle gerçekleştirilebilirler. Yazılıma dayalı sayısal süzgeçler, düşük seviyeli diller kullanılarak genel amaçlı sayısal işaret işleme yongaları (chips) vasıtasıyla ya da yüksek seviyeli diller kullanılarak iş istasyonları (workstation) ile veya kişisel bilgisayarlar vasıtasıyla tasarlanabilirler. Donanımsal sayısal süzgeçler, özel geliştirilmiş VLSI yongaları kullanılarak tasarlanabilirler. Donanımsal sayısal süzgeçler yüksek hesap gücü ile hızlı işlem yetenekleri sayesinde gerçek-zamanlı sayısal işaret işlemede yaygın olarak kullanılırlar.

1.2. Tezin Amacı

Sayısal süzgeçler iki ana grupta incelenebilir: sonlu darbe cevaplı (Finite-Impuls-Response-FIR) sayısal süzgeçler ve sonsuz darbe cevaplı (Infinite-Impuls-Response-IIR) sayısal süzgeçler. Sonlu darbe cevaplı sayısal süzgeçler yapı itibariyle daima kararlıdırlar. Buna bağlı olarak da tasarım süreçleri daha kolaydır. Bu süzgeç yapılarında, faz cevabı önemli bir tasarım parametresidir. Kompleks düzlemde bütün sıfırları birim daire içerisinde veya üzerinde olan süzgeçler minimum fazlı süzgeçler olarak adlandırılırlar. Minimum fazlı tasarımın getirdiği iki önemli avantaj vardır: arzu edilen karakteristiklerin daha düşük süzgeç uzunlukları ile elde edilebilmesini ve minimum grup gecikmesini sağlamaları. Ayrıca minimum fazlı süzgeçler gecikme ve genlik cevabındaki sınırlamaları karşılayabilmek için daha az hafızaya ve hesaplamaya ihtiyaç duyarlar. Sonsuz darbe cevaplı sayısal süzgeçler de ise, en önemli tasarım parametresi sistem kararlılığıdır. Kompleks düzlemde bütün kutupları birim daire içerisinde olan süzgeçler kararlı süzgeçler olarak adlandırılırlar. Kararlı sistem tasarımının sağlanmasının yanı sıra, tasarımın minimum fazlı olarak gerçekleştirilmesi de, sonsuz darbe cevaplı süzgeç tasarımı için önemli bir parametredir.

Bu tez çalışmasında, iki temel sayısal süzgeç yapısının da optimal genlik cevaplı ve minimum fazlı olarak tasarlanabilmesi için yapay zeka optimizasyon tekniği olan genetik algoritmaya (GA) dayalı bir tasarım tekniği geliştirilecektir. Geliştirilen teknik her iki süzgeç yapısının farklı tiplerine uygulanarak sonuçlar test edilecektir.

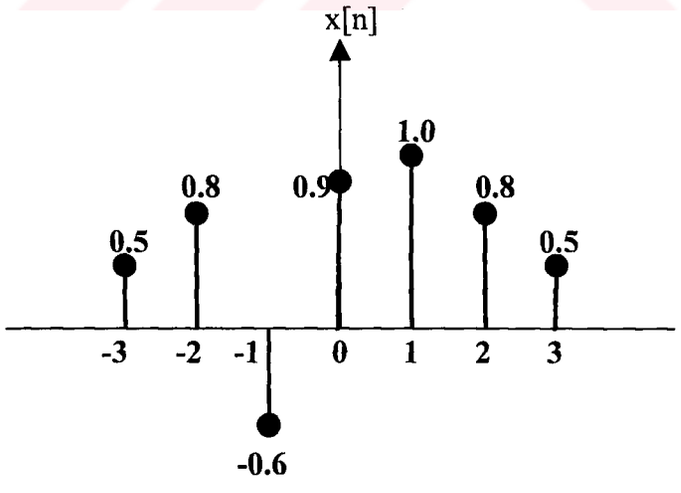
BÖLÜM 2

SAYISAL İŞARET İŞLEME SİSTEMLERİ

Bu bölüm üç alt ana bölümden oluşmaktadır. Birinci alt ana bölümde ayrık zamanlı işaretler incelenecektir. İkinci alt ana bölümde ise ayrık zamanlı sistemler tanıtılacak ve son olarak üçüncü alt ana bölümde de transfer fonksiyonundan bahsedilerek sistem tasarımı üzerindeki etkisi incelenecektir.

2.1. Ayrık Zamanlı İşaretler

Bağımlı olduğu değişkenler sadece belirli anlar için tanımlanmış olan işaretler ayrık zamanlı işaretler olarak adlandırılırlar. Ayrık zamanlı işaretler sadece bağımlı oldukları değişkenlerin tanımlı olduğu anlarda değer alabilirler. Ayrık zamanlı işaretlere bir örnek Şekil 2.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Ayrık Zamanlı Bir İşaret.

Ayrık zamanlı işaretlerin çoğu, sürekli zamanlı işaretlerin örneklenmesiyle elde edilir. Şayet ayrık zamanlı bir x[n] işareti, sürekli zamanlı bir x(t) işaretinin örneklenmesi ile elde edilmiş ise, şu şekilde gösterilebilir,

$$x[n] = x(t)\big|_{t=nT} = x(nT) \tag{2.1}$$

bu eşitlikte T örnekleme peryodu, ardışık iki örnek arasındaki zamandır ve daima sıfırdan büyük değerler alır. n ise zaman indeksi olarak adlandırılır ve sadece tamsayı değerleri alabilir, $(-\infty < n < \infty)$. Burada, örnekleme peryodu sabit bir değerdir, n ise bir değişkeni temsil eder.

2.2. Ayrık Zamanlı Sistemler

Girişine uygulanan ayrık zamanlı bir işareti daha önce tanımlanmış olan kurallara göre işleyerek arzu edilen ayrık zamanlı çıkış işaretini üretebilen sistemler, ayrık zamanlı sistemler olarak adlandırılır. Daha açık olarak, bir sistem giriş işareti x[n] üzerinde çıkış işareti y[n]'i üretmek için uygulanan işlemlerin bir setidir. Giriş işareti x[n], sistem tarafından çıkış işareti y[n]'e dönüştürülmektedir. Herhangi bir sistem *D* olarak adlandırıldığında, bu dönüşüm şu şekilde ifade edilir:

$$y[n]=D\{x[n]\} \tag{2.2}$$

Sistemlerin analiz ve sentezinde çoğu zaman, bu sistemlerin sahip oldukları genel özelliklere göre sınıflandırılmasına ihtiyaç duyulur.

2.2.1. Hafızalı ve Hafızasız Sistemler

Bir sistemin çıkışı, girişin o andaki veya geçmişteki değerlerine bağlı ise o sistem hafızalı bir sistem olarak adlandırılır. Diğer bir deyişle, hafızalı sistemler depolayıcı/geciktirici elemanlar içerirler. Bir sistemin çıkışı, girişin sadece o andaki değerlerine bağlı ise bu sistem hafızasız bir sistemdir.

2.2.2. Zamanla Değişmeyen Sistemler

Zamanla değişmeyen sistemler, giriş işaretine uygulanan bir ötelemenin çıkış işaretinde aynı öteleme haricinde bir değişime neden olmadığı sistemlerdir. Yani, herhangi bir $\{x[n] \rightarrow y[n]\}$ ve n_1 için, aşağıdaki şart sağlanıyorsa, sistem zamanla değişmeyen bir sistemdir.

$$\{x[n-n_1] \rightarrow y[n-n_1]\} \tag{2.3}$$

Zamanla değişmeyen sistemlerin karakteristikleri ve özellikleri bütün zaman değerlerinde aynı kalır yani zamana bağlı olarak değişmez.

2.2.3. Doğrusal Sistemler

Süperpozisyon ilkesini sağlayan sistemler, doğrusal sistemler olarak adlandırılırlar. Bir sistemin $x[n]$ girişlerine karşılık ürettiği çıkışlar $y[n]$ ise, bu sistemin doğrusal olabilmesi için aşağıdaki iki şartı sağlaması gerekir:

$$\begin{aligned} &1.\ x_1[n]+x_2[n] \rightarrow y_1[n]+y_2[n] \\ &2.\ ax_1[n] \rightarrow ay_1[n] \end{aligned} \tag{2.4}$$

bu iki şartı birleştirirsek, doğrusal bir sistem aşağıdaki şartı sağlamalıdır.

$$ax_1[n]+bx_2[n] \rightarrow ay_1[n]+by_2[n] \tag{2.5}$$

2.2.4. Nedensel Sistemler

Herhangi bir andaki çıkışı, giriş işaretinin sadece o andaki ve/veya geçmişteki değerlerine bağlı olan sistemler, nedensel sistemlerdir. Gerçek zamanlı bütün sistemler, nedensel sistemlerdir.

2.2.5. Kararlı Sistemler

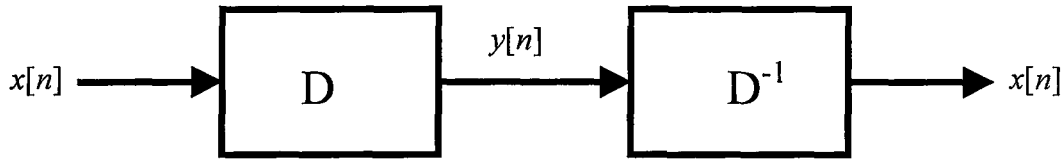
Sınırlı bir giriş işaretine karşılık sınırlı bir çıkış işareti üreten sistemler, kararlı sistemlerdir. $x[n]$ giriş işaretinin ve $y[n]$ çıkış işaretinin sınırlı olma şartları (2.6) eşitsizliğindeki gibi gösterilebilir. M_x ve M_y sonlu değere sahip iki sayı ise ve bütün n değerleri için (2.6)'daki eşitsizlik şartları sağlanıyorsa, $x[n]$ ve $y[n]$ işaretleri sınırlıdır denilmektedir.

$$|x[n]| \le M_x < \infty \qquad \text{ve} \qquad |y[n]| \le M_y < \infty \tag{2.6}$$

Kararlı olmayan bir sisteme çok küçük bir giriş işareti dahi uygulansa sınırsız bir çıkış işareti elde edilir. Bu tip sistemler genellikle doyuma giderler yada aşırı yüklenmeye maruz kalırlar. Bu nedenle, kararsız sistemler pratik uygulamalarda kullanılamazlar.

2.2.6. Tersine Çevrilebilen Sistemler

$x[n]$ giriş işaretine karşılık $y[n]$ çıkış işaretini üreten bir sisteme, giriş olarak $y[n]$ işareti uygulandığında çıkış olarak $x[n]$ işareti elde edilebiliyorsa, bu sistem tersine çevrilebilen bir sistemdir. Genel bir tersine çevrilebilir sistem yapısı Şekil 2.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Genel Bir Tersine Çevrilebilir Sistem.

2.3. Transfer Fonksiyonu

Bir sistemin girişi ile çıkışı arasındaki ilişki, o sistemin transfer fonksiyonu ile tanımlanmaktadır. Yani, transfer fonksiyonu, bir sistemin transfer karakteristiklerini tanımlayan bir ifadedir. M. dereceden doğrusal sabit katsayılı fark denklemi,

$$\sum_{k=0}^{M} a_k y[n-k] = \sum_{k=0}^{N} b_k x[n-k] \tag{2.7}$$

şeklinde gösterilmektedir. Fark denkleminin her iki tarafının da z-dönüşümü alındığında

$$\sum_{k=0}^{M} a_k Y(z) z^{-k} = \sum_{k=0}^{N} b_k X(z) z^{-k} \tag{2.8}$$

ifadesi elde edilir. Bu ifadeden, transfer fonksiyonu *H(z)* şöyle elde edilir,

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{\sum_{k=0}^{N} b_k z^{-k}}{\sum_{k=0}^{M} a_k z^{-k}} \tag{2.9}$$

H(z) transfer fonksiyonunda, pay polinomunun kökleri sistemin sıfırları ve payda polinomunun kökleri ise sistemin kutupları olarak adlandırılır. Sistem tasarımında, kutupların ve sıfırların kompleks düzlemdeki (z-domeni) konumları önemlidir. Çünkü

kutup ve sıfırların kompleks düzlemdeki yerleşimleri tasarlanan sistemin kararlılığı, genlik cevabı ve faz cevabı gibi çok önemli parametrelerini doğrudan etkilemektedir. Optimum bir tasarım için, sistemin kutupları ve sıfırları kompleks düzlemde optimum şekilde yerleştirilmelidir.

Bir sistemin kararlılığı, o sistemin kutuplarının kompleks düzlemdeki yerleşimleri ile belirlenir. Bütün kutupları kompleks düzlemde birim daire içerisinde yerleşmiş olan sistemler, kararlı sistemlerdir. Birim dairenin üzerinde veya birim dairenin dışında kutupları olan sistemler, kararsız sistemlerdir. Sistem sıfırlarının kararlılık üzerinde herhangi bir etkisi yoktur. Bununla birlikte, sistem sıfırlarının kompleks düzlemdeki konumları, faz yanıtını doğrudan etkilemektedir. Kompleks düzlemde birim daire içerisine yada üzerine yerleşmiş olan bir sıfırın faz yanıtına etkisi, birim daire dışına yerleşmiş olan bir sıfıra nazaran çok daha düşüktür. Bu nedenle, bütün sıfırları kompleks düzlemde birim daire içerisinde veya üzerinde yerleşmiş olan sistemler *minimum fazlı sistemler* olarak adlandırılırlar.

BÖLÜM 3

SAYISAL SÜZGEÇLERİN TASARIMI

3.1. Sonlu Darbe Cevaplı (FIR) Sayısal Süzgeçler

Darbe cevapları sonlu süreye sahip olan süzgeçler, sonlu darbe cevaplı süzgeçler olarak adlandırılırlar. Bunu aşağıda verildiği gibi ifade edebiliriz [5],

$$h(n) = \begin{cases} 0, & n \le \tau_1 \\ 0, & n \ge \tau_2 \end{cases}, \quad -\infty < \tau_1 < \tau_2 < +\infty \tag{3.1}$$

burada, *h(n)* süzgecin darbe cevabıdır, *n* ayrık zaman indeksidir ve τ_1 ve τ_2 ise sabit değerlerdir. FIR süzgeçlerin sonlu süreli darbe cevabına sahip olmalarının en önemli nedeni, süzgeç yapısının geribesleme içermemesidir. Bu nedenle bu süzgeçler, geribeslemesiz (nonrecursive) süzgeçler olarak da bilinirler. Ayrıca, FIR süzgeçler doğrusal faz karakteristiklerini de sağlarlar yani süzgeç çıkışında herhangi bir faz distorsiyonu oluşmaz. Doğrusal faz cevaplı sistemler, işaretlerde zaman gecikmesi dışında hiçbir değişime yol açmazlar. Bundan dolayı, bir FIR süzgeçte çıkış işareti, giriş işaretinin zamanda gecikmiş şeklidir. Bir sayısal FIR süzgeç aşağıdaki transfer fonksiyonu ile karakterize edilir,

$$H(z) = \sum_{k=0}^{N} b_k z^{-k} \tag{3.2}$$

burada; *N* süzgeç derecesini, b_k ise süzgecin katsayılarını temsil etmektedir.

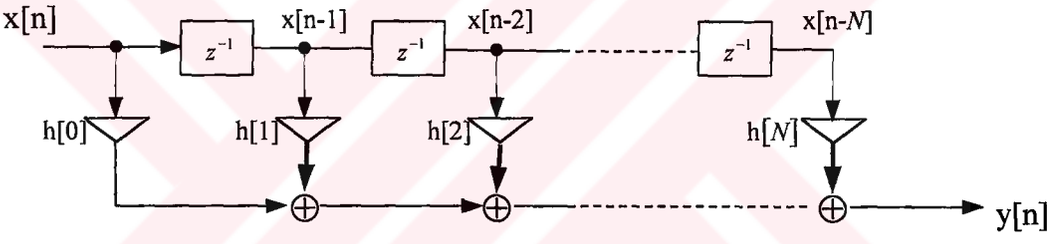
FIR süzgeç için verilmiş olan transfer fonksiyonunu incelediğimizde, payda polinomunun değerinin 1 olduğu görülmektedir. Yani FIR süzgecin bütün kutupları kompleks düzlemde birim dairenin merkezine yani sıfır (orijin) noktası üzerine yerleşmiştir. Bu nedenle FIR süzgeçler daima kararlıdırlar.

3.1.1. Temel FIR Süzgeç Yapıları

FIR sayısal süzgeçlerin gerçekleştirilmesinde kullanılan genellikle iki farklı yapı mevcuttur. Gerek pratik uygulamalarda ve gerekse literatürde, basit ve etkin yapılarından dolayı, direkt form ve kaskad form gerçekleştirmeler çok yaygın olarak kullanılırlar.

3.1.1.1. Direkt Form FIR Süzgeç Yapısı

N. dereceden bir süzgeç, *N+1* katsayı ile karakterize edilir ve tasarımı için *N* adet geciktiriciye, *N+1* adet çarpıcıya ve *N* adet iki-girişli toplayıcıya ihtiyaç duyulur. Darbe cevabı *h[n]* olan ve direkt formda gerçekleştirilmiş olan bir FIR süzgeç yapısı Şekil 3.1.' de gösterilmiştir [6].



Şekil 3.1. Direkt Form FIR Süzgeç Yapısı.

Şekil 3.1.'de verilmiş olan yapı incelendiğinde, çıkış ifadesi *y[n]* şu şekilde elde edilir,

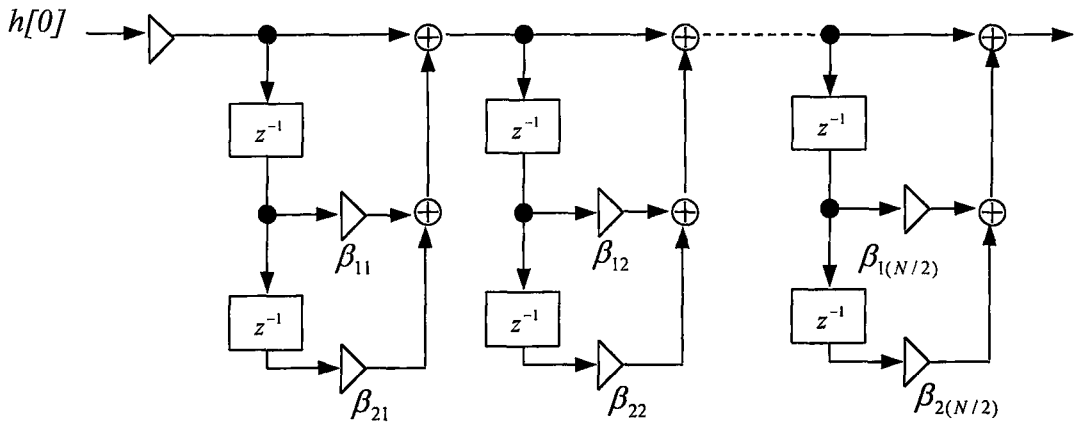
$$y[n] = h[0]x[n] + h[1]x[n-1] + ... + h[N]x[n-N] \tag{3.3}$$

bu ifadeyi daha açık bir şekilde yazarsak FIR süzgecin giriş-çıkış ilişkisini elde ederiz,

$$y[n] = \sum_{k=0}^{N} h[k]x[n-k] \tag{3.4}$$

3.1.1.2. Kaskad Form FIR Süzgeç Yapısı

Yüksek dereceli FIR süzgeçleri gerçekleştirmenin bir diğer yolu da, kaskad formda gerçekleştirmedir. Kaskad form yapılar, transfer fonksiyonunun birinci dereceden veya ikinci dereceden çarpanlarını temsil eden blokların kaskad olarak bağlanmasıyla elde edilirler.



Şekil 3.2. Kaskad Form FIR Süzgeç Yapısı.

Şekil 3.2.'de ikinci dereceden çarpanları temsil eden bloklar (second-order sections) kullanılarak gerçekleştirilmiş *N.* dereceden kaskad bir süzgeç yapısı gösterilmiştir [6]. Görüldüğü gibi *N.* dereceden kaskad bir süzgeç yapısı, *N/2* adet ikinci dereceden bloklar gerektirir. Diğer taraftan, şekilde verilmiş olan kaskad tasarım incelendiğinde, birbirine kaskad olarak bağlanmış her bir bloğun kendi içinde direkt form yapıya sahip olduğu görülmektedir. Her bir bloğun transfer fonksiyonunun, $H_k(z)$, k=1,2,...,M, olduğunu düşünürsek kaskad bir yapı Şekil 3.3.'deki gibi gösterilebilmektedir.



Şekil 3.3. Kaskad Form FIR Süzgeç Yapısının Transfer Fonksiyonları ile Gösterilmesi.

Kaskad formda gerçekleştirilmiş bir FIR süzgecin transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi verilebilir,

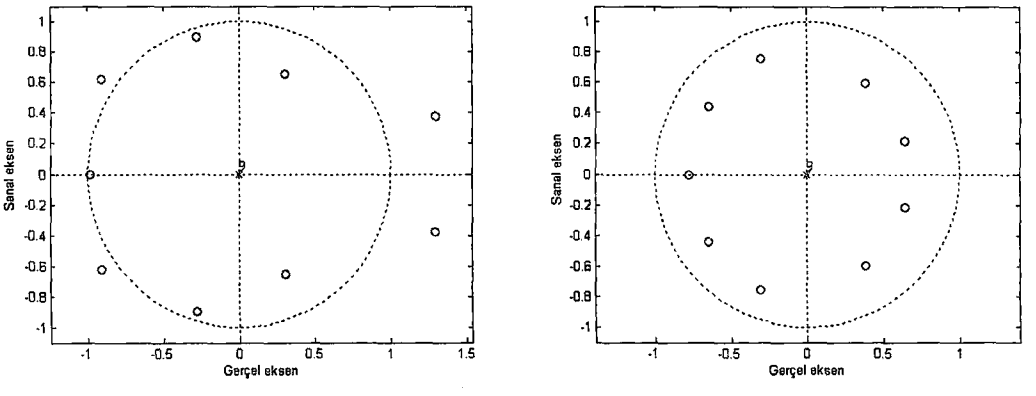
$$H(z) = h[0]\prod_{k=1}^{K}(1+\beta_{1k}z^{-1}+\beta_{2k}z^{-2}) \tag{3.5}$$

burada, süzgeç derecesi N çift ise $K=N/2$ olacaktır, süzgeç derecesi N tek ise $K=(N+1)/2$ ve $\beta_{2K}=0$ olacaktır. Ayrıca *N.* dereceden bir kaskad yapıda, N adet iki girişli toplayıcı ve $N+1$ adet çarpıcı olduğu görülmektedir.

3.1.2. FIR Süzgecin Kutupları-Sıfırları

FIR süzgeçlerin transfer fonksiyonu incelendiğinde, payda polinomunun değerinin 1 olduğu görülmektedir. Bu nedenle, FIR süzgecin bütün kutupları kompleks düzlemde orijine yerleşmişlerdir. Orijine yerleştirilmiş olan kutuplar ve sıfırlar, genlik cevabı üzerinde herhangi bir etki yapmazlar. Bu nedenle, FIR süzgeçlerde genlik cevabı sadece sistem sıfırlarının kompleks düzlemdeki yerleşimleri ile belirlenir. Birim dairenin üzerine yerleştirilmiş olan sıfırlar yerleştirildikleri frekansın tamamen bastırılmasını sağlarlar. Birim daireye yakın konumlara yerleştirilmiş olan sıfırlar, yerleştirildikleri frekans değerinde ve yakınındaki frekanslarda yüksek bir zayıflatma sağlarlar. Bu nedenle, durdurma bandındaki sıfırların birim dairenin üzerine yada birim daireye yakın konumlara yerleştirilmesi istenir. Orijine yakın olarak yerleştirilmiş sıfırlar ise, bulundukları frekanslarda ve yakın frekans değerlerinde çok düşük zayıflatma sağlarlar. Dolayısı ile, geçirme bandındaki sıfırların orijine yakın konumlara yerleştirilmeleri istenir.

Bölüm 2'de, bütün sıfırları kompleks düzlemde birim daire içerisine veya üzerine yerleşmiş olan sistemlerin *minimum fazlı sistemler* olarak adlandırıldıkları belirtilmişti. Minimum fazlı süzgeçler, hem gecikme hem de genlik cevabı kısıtlamalarını eş zamanlı olarak sağlarken, doğrusal fazlı süzgeçlere göre daha az hesaplamaya ve daha az hafızaya ihtiyaç duyarlar [7]. Şekil 3.4.a.'da minimum fazlı olmayan bir sistem, Şekil 3.4.b.'de ise minimum fazlı bir sistem gösterilmiştir.



(a) (b)

Şekil 3.4. Sistem Sıfırlarının Faz Cevabına Etkisi.
(a) Minimum Fazlı Olmayan Sistem (b) Minimum Fazlı Sistem

3.2. Sonsuz Darbe Cevaplı (IIR) Sayısal Süzgeçler

Darbe cevapları sonsuz süreye sahip olan süzgeçler, sonsuz darbe cevaplı süzgeçler olarak adlandırılırlar. IIR süzgeçlerin en temel özelliği, geribesleme katı içermeleridir. Bu nedenle bu süzgeçler, geribeslemeli (recursive) süzgeçler olarak da bilinirler. IIR süzgeçlerin darbe cevapları sonsuz sürelidir çünkü girişine bir darbe uygulandığında geribesleme katından dolayı sonsuz sayıda sıfırdan farklı çıkış elde edilir. Ayrıca, geribeslemeli yapılarından dolayı IIR süzgeçlerin çıkışı, geçmişteki çıkış ve giriş değerlerine bağımlıdır. Bir sayısal IIR süzgeç aşağıdaki transfer fonksiyonu ile karakterize edilir,

$$H(z) = \frac{\sum_{k=0}^{N} b_k z^{-k}}{\sum_{k=0}^{M} a_k z^{-k}} \tag{3.6}$$

burada; a_k ve b_k süzgeç katsayılarını, N ve M ise sırasıyla pay ve payda polinomlarının derecelerini temsil etmektedir.

IIR süzgeç için verilmiş olan transfer fonksiyonunu incelediğimizde bu sistemin, kompleks düzlemdeki konumları b_k katsayıları tarafından tanımlanan N adet sıfırının ve kompleks düzlemdeki konumları a_k katsayıları tarafından tanımlanan M adet kutbunun olduğu görülmektedir. Arzu edilen karakteristikleri sağlayabilecek bir IIR süzgeç tasarımı için, sistem kutupları ve sıfırları kompleks düzlemde en uygun şekilde yerleştirilmelidir.

IIR süzgeç tasarımında en önemli parametre, tasarlanan sistemin kararlılığıdır. IIR süzgeçlerin kararlı olabilmesi için, sistemin bütün kutuplarının kompleks düzlemde birim dairenin içerisine yerleşmiş olması gerekir. Birim dairenin üzerine yada dışına yerleşmiş olan kutuplar sistem kararsızlığına yol açarlar. Bir sistemin bütün kutuplarının birim dairenin içerisine yerleşmiş olması demek, o sistemin darbe cevabının mutlak değerce toplanabilir olması demektir. Yani bir sistemin kararlı olabilmesi için, aşağıda verilmiş olan koşul sağlanmalıdır,

$$\sum_{n=0}^{\infty} |h[n]| < \infty \tag{3.7}$$

Eğer sistemin bütün kutupları birim dairenin içerisinde ise, *h[n]* darbe cevabının bütün terimlerinin değerleri üstel olarak sıfıra yaklaşacaktır ve mutlak değerce toplanabilir olacaktır. Şayet birim dairenin üzerinde veya dışında kutuplar var ise, darbe cevabı mutlak değerce toplanabilir olmayan en az bir terim içereceğinden tasarlanan sistem kararsız olacaktır. IIR süzgeçlerin minimum fazlı olarak tasarlanabilmesi için de, süzgecin bütün sıfırlarının birim daire içerisine veya üzerine yerleşecek şekilde tasarlanması gerekir. Sonuç olarak, minimum fazlı ve kararlı bir IIR süzgeç tasarlamak için tasarlanacak sistemin bütün kutuplarının kompleks düzlemde birim daire içerisine ve sıfırlarının birim dairenin içerisine yada üzerine yerleşmiş olması gerekir.

3.2.1. Temel IIR Süzgeç Yapıları

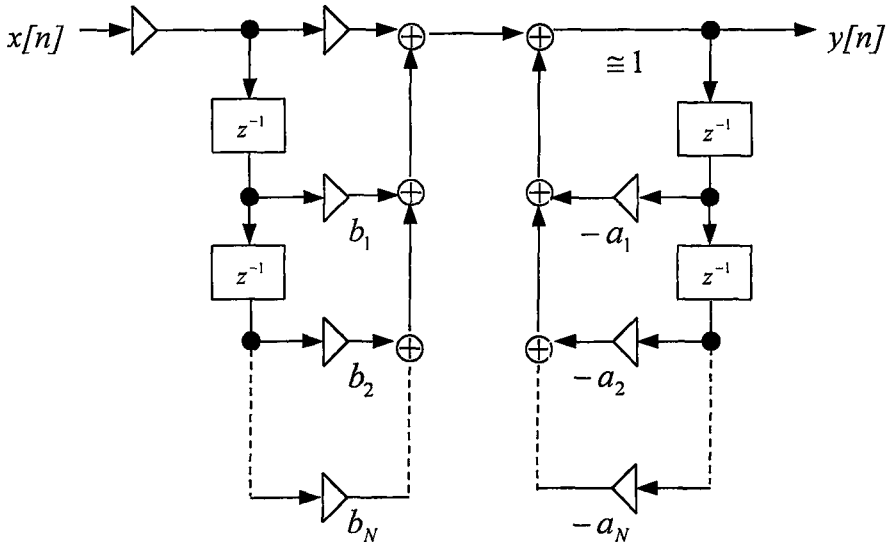
IIR sayısal süzgeçler genellikle iki farklı yapıda gerçekleştirilebilirler. Gerek pratik uygulamalarda ve gerekse literatürde, basit ve etkin yapılarından dolayı, direkt form ve kaskad form gerçekleştirmeler çok yaygın olarak kullanılırlar.

3.2.1.1. Direkt Form IIR Süzgeç Yapısı

Genel bir geribeslemeli süzgeç yapısı gerçekleştirilirken, girişin o andaki ve geçmişteki değerleri pay polinomunun katsayıları olan b_k katsayıları ile çarpılırlar. Benzer şekilde, çıkışın geçmişteki değerleri de payda polinomunun katsayıları olan a_k katsayıları ile çarpılırlar. *N.* dereceden bir IIR süzgeç, *2(N+1)* katsayı ile karakterize edilir ve tasarımı için genelde *2N+1* adet çarpıcıya ve *2N* adet iki-girişli toplayıcıya ihtiyaç duyulur. Direkt formda gerçekleştirilmiş olan bir IIR süzgeç yapısı Şekil 3.5.'te gösterilmiştir [6].

3.2.1.2. Kaskad Form IIR Süzgeç Yapısı

IIR süzgeçleri gerçekleştirmenin bir diğer yolu da, kaskad formda gerçekleştirmedir. Kaskad form yapılar, transfer fonksiyonunun daha düşük dereceli çarpanlarını temsil eden blokların kaskad olarak bağlanmasıyla elde edilirler. Pay ve payda polinomu daha düşük dereceli çarpanlarına ayrılır, ve bu düşük dereceli çarpanların çarpımı şeklinde ifade edilir.

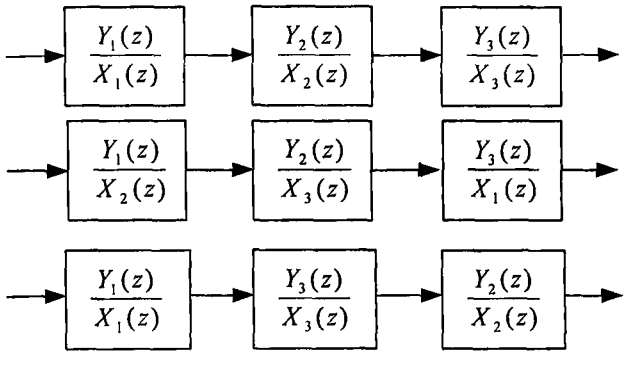


Şekil 3.5. Direkt Form IIR Süzgeç Yapısı.

Örneğin, $H(z)=Y(z)\ /\ X(z)$ olan bir süzgeci kaskad formda ifade edersek,

$$H(z)=\frac{Y_1(z)Y_2(z)...Y_N(z)}{X_1(z)X_2(z)...X_N(z)} \tag{3.8}$$

olacaktır. Görüldüğü gibi, kaskad form gerçeklemede süzgeç daha düşük dereceli blokların çarpımı şeklinde ifade edilmektedir. Burada, çarpanların derecelerini ve yerlerini değiştirmek suretiyle farklı yapılarda kaskad gerçekleştirmeler elde edilebilir. Üçüncü dereceden bir süzgeç için birbirine eşdeğer olan farklı kaskad gerçekleştirmeler Şekil 3.6.'da verilmiştir [6].



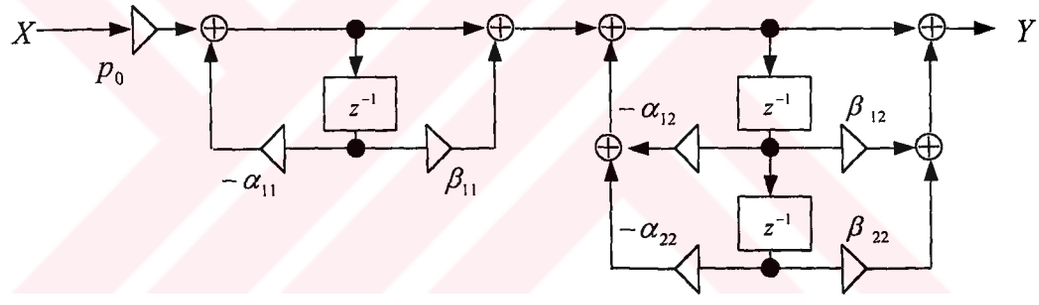
Şekil 3.6. Birbirinden Farklı Eşdeğer Kaskad Gerçekleştirmeler.

Kaskad formda gerçekleştirme yapılırken, polinomlar genelde birinci dereceden veya ikinci dereceden çarpanlarına ayrılırlar. Bu durumda, transfer fonksiyonu aşağıdaki formda ifade edilebilir.

$$H(z) = p_0 \prod_k \left(\frac{1 + \beta_{1k} z^{-1} + \beta_{2k} z^{-1} + \ldots + \beta_{Nk} z^{-1}}{1 + \alpha_{1k} z^{-1} + \alpha_{2k} z^{-1} + \ldots + \alpha_{Nk} z^{-1}} \right) \tag{3.9}$$

Yukarıdaki transfer fonksiyonunu incelediğimizde, örneğin üçüncü dereceden bir süzgeç için kaskad formda transfer fonksiyonu ve kaskad formda gerçekleştirilmesi aşağıdaki gibi olacaktır,

$$H(z) = p_0 \left(\frac{1 + \beta_{11} z^{-1}}{1 + \alpha_{11} z^{-1}} \right) \left(\frac{1 + \beta_{12} z^{-1} + \beta_{22} z^{-2}}{1 + \alpha_{12} z^{-1} + \alpha_{22} z^{-2}} \right)$$



Şekil 3.7. Üçüncü Dereceden IIR Süzgecin Kaskad Formda Gerçekleştirilmesi.

3.2.2. IIR Süzgecin Kutupları-Sıfırları

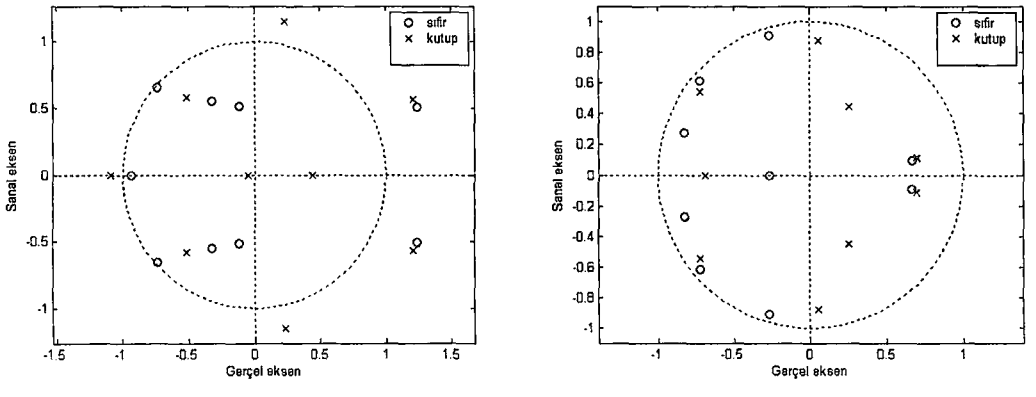
IIR süzgeçlerin transfer fonksiyonu Eşitlik (3.6) ile karakterize edilir. Bu eşitlik incelendiğinde, süzgecin kompleks düzlemde N adet sıfırının, M adet kutbunun olduğu görülmektedir. Sistem kutuplarının ve sıfırlarının kompleks düzlemdeki yerleşimleri frekans cevabını doğrudan etkiler. Daha önceki bölümlerde FIR süzgeçlerin sıfırlarının kompleks düzlemdeki yerleşimleri ile ilgili olarak verilmiş olan kuralların tamamı, IIR süzgeçlerin sıfırları içinde geçerlidir. Bununla birlikte, IIR süzgeç tasarımındaki en önemli parametre, sistem kararlılığıdır. Sistem kararlılığı ise, süzgecin kutuplarının kompleks düzlemdeki yerleşimleri ile belirlenir.

Bir IIR süzgecin kararlı olabilmesi için, bütün kutuplarının kompleks düzlemde birim daire içerisine yerleşmiş olması gerekir. Kompleks düzlemde kutupları birim dairenin üzerine yada dışına yerleşmiş olan sistemler kararsız sistemlerdir ve uygulamada kullanılamazlar.

Birim daireye yakın konumlara yerleştirilmiş olan kutuplar, yerleştirildikleri frekans değerinde ve yakınındaki frekanslarda yüksek bir kuvvetlendirme sağlarlar. Bu nedenle, geçirme bandındaki kutupların birim daireye yakın konumlara yerleştirilmesi istenir. Herhangi bir frekans değerindeki frekans yanıtı genliğinin düşürülmesi isteniliyorsa, bu frekans noktasına ve yakınındaki frekanslara hiçbir kutup yerleştirilmemelidir.

Aynı noktada bulunan bir kutup ve bir sıfır, birbirlerinin etkisini dengelerler. Çünkü bir noktadaki kutbun etkisi aynı noktadaki sıfırın etkisinin tam tersidir. Diğer taraftan, kompleks düzlemde birim dairenin merkezine yerleştirilmiş olan kutup ve sıfırların genlik yanıtı üzerinde hiçbir etkisi yoktur çünkü bu kutup ve sıfırların birim daire üzerindeki bütün noktalara mesafeleri eşittir. Merkeze yerleştirilmiş olan kutup ve sıfırlar, faz yanıtına doğrusal bir faz katkısı sağlarlar.

Şekil 3.8.a.'da kararsız ve minimum fazlı olmayan bir IIR süzgeç yapısına ait kutup sıfır yerleşimi , Şekil 3.8.b.'de ise kararlı ve minimum fazlı bir IIR süzgeç yapısına ait kutup sıfır yerleşimi gösterilmiştir.



(a) (b)

Şekil 3.8. IIR Süzgeçlerin Kutup Sıfır Yerleşimi.
(a) Kararsız ve Minimum Fazlı Olmayan Sistem (b) Kararlı ve Minimum Fazlı Sistem

3.3. FIR ve IIR Süzgeçlerin Avantaj ve Dezavantajları

Her iki süzgeç yapısının da avantaj ve dezavantajları mevcuttur. Bunları aşağıdaki gibi gruplandırabiliriz.

- **Faz Cevabı**

FIR süzgeçlerin faz cevapları daima doğrusaldır. Bu nedenle, FIR süzgeçler giriş işaretini geciktirirler fakat fazını bozmazlar. Yani FIR süzgece uygulanan bir işarette hiçbir faz bozulması görülmez. IIR süzgeçler ise doğrusal olmayan faz yanıtına sahiptirler.

- **Kararlılık**

FIR süzgeçler sınırlı bir darbe cevabına sahip olduklarından daima kararlıdırlar. Bu yüzden, süzgecin kararsızlığa düşme tehlikesi olmaksızın, süzgeç katsayıları değiştirilerek sistem performansı iyileştirilebilir. Bundan dolayı, bu süzgeçler *adaptif süzgeç* olarak da kullanılabilirler. IIR süzgeçlerde ise, katsayılarda yapılacak en küçük bir değişim bile sistem cevabını tamamen değiştirebilmektedir.

- **Hesaplama Zamanı**

Aynı dereceye sahip IIR ve FIR süzgeçler düşünüldüğünde, IIR süzgeçlerin çok daha hızlı şekilde gerçek-zamanlı hesaplamaları yapabildikleri görülmektedir. Çok düşük dereceli IIR süzgeçler ile çok yüksek hızda gerçek zamanlı hesaplamalar yapılabilmektedir. Bu ise, IIR süzgeçlerin önemli bir avantajıdır.

- **Frekans Seçiciliği**

Aynı dereceye sahip bir IIR süzgecin frekans seçiciliği FIR süzgece göre çok daha iyidir. Frekans seçiciliği, FIR süzgeçlerde daha uzun süzgeç uzunluğu ve daha fazla hesap yükü ile sağlanırken, aynı frekans seçiciliği IIR süzgeçlerde çok daha az hesap yükü ve daha düşük süzgeç uzunluğu ile sağlanabilir. Ayrıca, aynı dereceye sahip bir IIR süzgecin frekans cevabının keskinliği FIR süzgece göre çok daha yüksektir.

- **Nümerik Hesaplamalar**

Arzu edilen bir süzgeç karakteristiğini gerçekleştirebilmek için, IIR süzgeçler çok daha az hafızaya ve nümerik hesaplamaya ihtiyaç duyarken, FIR süzgeçler daha yüksek hafıza ve kompleks hesaplamalar gerektirirler.

BÖLÜM 4

GENETİK ALGORİTMALAR

Bu bölümde, sayısal süzgeç tasarımında etkin bir şekilde kullanılabilen genetik algoritmalar incelenecek ve temel bir genetik algoritma yapısı ayrıntılı olarak açıklanacaktır.

4.1. Genetik Algoritmalara Giriş

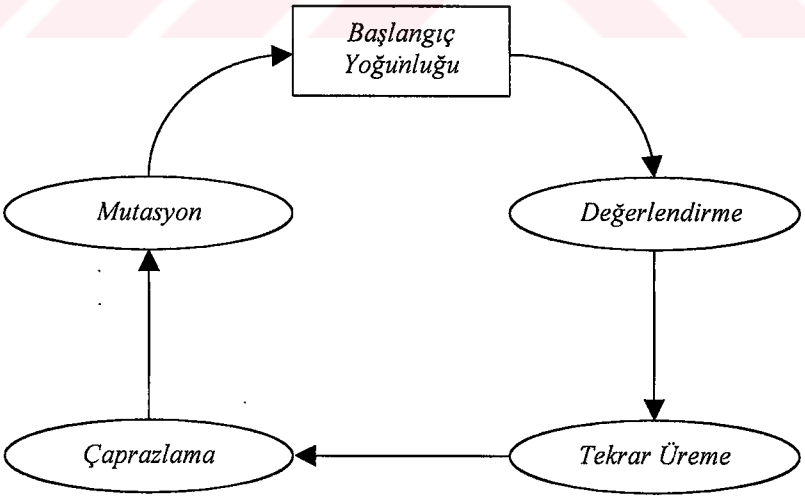
Klasik optimizasyon algoritmaları çok modlu ve doğrusal olmayan problemlerin çözümünde veya türevi alınamayan fonksiyonların optimizasyonunda arzu edilen başarıyı gösterememektedirler. Bu tür algoritmalar, karmaşık bir sistemin sadece bir parçasını diğer bir deyişle bir bölümünü optimize etmek için uygundurlar. Böyle durumlarda rastgele araştırmalı optimizasyon algoritmalarına ihtiyaç duyulur. Yönlendirilmemiş rastgele optimizasyon algoritmaları büyük bir araştırma sahasında optimal çözümü bulmak için oldukça uzun bir süreye ihtiyaç duyarlar. Genetik algoritma ise, yönlendirilmiş bir rastgele araştırma algoritmasıdır ve daha kısa zamanlarda optimal sonuçlara ulaşabilir [8-10].

Genetik algoritma, doğal seçme ve genetik operatörlerini temel alan yapay bir genetik sistemdir. Diğer bir ifadeyle, tanımlanmış olan amaç fonksiyonunun değerini sürekli düşürmek suretiyle optimal sonuçları bulmaya çalışan sezgisel bir algoritmadır. Bu algoritma canlılarda bulunan genetik gelişimini simüle etmektedir. Algoritma, araştırma uzayında mevcut olan çözümlerin oluşturduğu bir başlangıç yoğunluğunu kullanmaktadır. Başlangıç yoğunluğu her bir döngüden sonra doğal seçme ve tekrar üreme operatörleri vasıtasıyla geliştirilir. Her bir döngü sonunda, kalite (fitness) değeri en yüksek olan çözüm, problem için optimal çözümü temsil eder.

Genetik algoritma, 1975 yılında J.H. Holland tarafından geliştirilmiştir. Genetik algoritmalar basit prosedürlerinden dolayı zeki hibrid sistemlerin tasarımlarına kolayca uygulanabilirler. Ayrıca, sahip oldukları esnek ve güçlü yapılarından dolayı işaret işleme uygulamaları için oldukça uygundurlar.

4.2. Temel Genetik Algoritmanın Yapısı

Temel bir genetik algoritmanın akış diyagramı Şekil 4.1.'de gösterilmiştir. Temel bir genetik algoritma üç temel genetik operatörden oluşur. Bunlar, tekrar üreme operatörü, çaprazlama operatörü ve mutasyon operatörüdür. Öncelikle başlangıç yoğunluğu oluşturulur. Değerlendirme biriminde her bir bireye kalite (fitness) değeri atanır. Daha sonra kalite değeri yüksek olan çözümler çeşitli seçme teknikleri kullanılarak tekrar üreme operatörü içerisinde seçilirler ve çaprazlama operatörüne gönderilirler. Çaprazlama ve mutasyon operatörlerinde de mevcut çözümler değişime tabii tutularak yeni çözümler üretilir. Böylece her bir döngüde, yeni kuşakların gelişimi ve değerlendirilmesi gerçekleştirilmiş olur. Bu çevrim, optimal çözüm bulununcaya kadar devam eder [11,12].



Şekil 4.1. Temel Bir Genetik Algoritma Döngüsü.

Temel bir genetik algoritma döngüsünün açıklaması aşağıda verilmiştir [13].

1. Rastgele bir başlangıç yoğunluğu üret, $X(0):=(x_1, x_2, ..., x_i, ..., x_N)$;
2. Mevcut X(t) yoğunluğu içerisindeki her bir x_i kromozomunun $F(x_i)$ kalite değerlerini hesapla
3. Çözüm uzayındaki mevcut kromozomlara mutasyon ve tekrar üreme operatörünü uygulamak suretiyle yeni $X_r(t)$ kromozomlarını oluştur
4. Üretilmiş olan yeni kromozomları çözüm uzayına yerleştirmek için düşük kalite değerli diğer kromozomları çözüm uzayından sil;
5. $X_r(t)$ kromozomlarının kalite değerlerini hesapla ve yoğunluk içerisine yerleştir;
6. t:=t+1, sonlandırma kriteri sağlanamamış ise, 3 nolu adıma geri dön eğer sağlanmış ise dur ve en iyi kromozoma dön.

4.2.1. Gösterim Mekanizması

Optimize edilmek istenen parametreler genelde değişkenlerin bir dizisi formunda (kromozom) gösterilirler. Çünkü bu gösterim tarzı genetik operatörler için oldukça uygundur. Tercih edilen gösterim mekanizmasının genetik algoritmanın performansı üzerinde doğrudan etkisi vardır. Farklı gösterim mekanizmaları kesinlik ve hesaplama zamanı açısından farklı performanslar gösterirler. İki tip gösterim mekanizması mevcuttur : ikili (binary) gösterim ve reel gösterim. Basitliği ve optimal çözümleri daha kolay ortaya çıkarma yeteneğinden dolayı ikili gösterim mekanizması yaygın olarak tercih edilmektedir. Bununla birlikte, reel gösterim mekanizması da araştırma uzayını ve hesaplama zamanını azaltabilmektedir.

4.2.2. Başlangıç Yoğunluğu

Çözüm uzayı içerisindeki her bir çözüm kromozom olarak adlandırılır. Kromozomların bir araya gelerek oluşturdukları topluluk ise başlangıç yoğunluğunu oluşturur. Başlangıç yoğunluğu içerisindeki kromozomlardan, en iyi hata fonksiyonunu üreten kromozom yada kromozomlar en iyi çözümü temsil ederler [11,12]. Başlangıç yoğunluğunun oluşturulması için takip edilen iki yol vardır. Gerçek uygulamalarda değil de, araştırma amacıyla yapılan çalışmalarda kullanılan genetik algoritmalar için başlangıç yoğunluğu genellikle rastgele sayı üreteçleri kullanılarak oluşturulur. Fakat problem için bazı çözümler başlangıçta biliniyorsa bu durumda başlangıç yoğunluğu bu çözümlerden oluşturulur. Uygulamalarda da tercih edilen yöntem budur.

4.2.3. Değerlendirme Birimi

Değerlendirme birimi, optimize edilecek problem ile genetik algoritma arasında bir arayüz işlevini görür. Değerlendirme birimi tarafından üretilmiş olan bilgiler kullanılarak çözümlerin herbirisine kalite değerleri atanır. Yani çözümlere kalite değerleri atanırken, o çözümlerin yapıları hakkındaki bilgiye ihtiyaç duyulmaz.

4.2.4. Genetik Operatörler

Genetik algoritma temelde üç adet genetik operatörü ihtiva eder: tekrar üreme operatörü, çaprazlama operatörü ve mutasyon operatörü. Problemin karmaşıklığına göre bu operatörler geliştirilerek yeni genetik operatörlerin elde edilmesi yada problemlere özgü daha gelişmiş genetik operatörlerin elde edilmesi mümkündür. Genetik operatörlerin uygun bir şekilde seçimi yada uygun kombinezonlarının kullanımı genetik algoritmanın performansını doğrudan etkilemektedir.

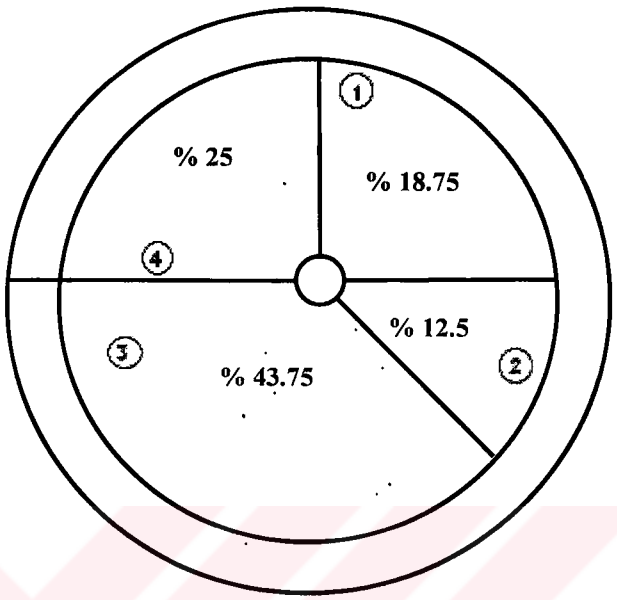
4.2.4.1. Tekrar Üreme Operatörü

Tekrar üreme operatöründe, kalite değeri yüksek olan iyi çözümler seçilerek diğer genetik operatörlere gönderilirken, kalite değeri düşük olan kötü çözümler çözüm uzayından atılırlar. Bireyler bir kuşaktan diğer kuşağa aktarılırken kalite değerlerine göre kopya edilerek çoğaltılırlar. Bu nedenle, seçme işlemindeki temel amaç, kalite değeri yüksek olan kromozomların daha fazla sayıda kopyalarını üretmektir. Etkin bir seçme işlemini gerçekleştirmek için kullanılabilecek farklı metotlar mevcuttur. Örneğin, rulet tekerleği metodu, ranking metodu ve tournament metodu. Bu metotlar içerisinde en yaygın olarak kullanılanı, rulet tekerleği metodudur.

Temel bir rulet tekerleği seçme prosedürü aşağıdaki adımları içerir [13],

1. Bütün kromozomların kalite değerlerini toplayarak, toplam kalite değerini bul.
2. Sıfır ile toplam kalite değeri arasında rastgele bir sayı seç.
3. Geçmiş bütün kalite değerlerinin toplamı, ikinci adımda rastgele seçilen sayıya eşit yada ondan büyük olan ilk kromozomu seç.
4. Yoğunluk sayısı (N_{chrom}) kadar kromozom seçilinceye kadar Adım 1' e dön.

Görüldüğü gibi, her bir çözüme kalite değerinin yoğunluğunun ortalama kalite değerine oranına göre tekerlek üzerinde bir bölge verilir. Bu durum Şekil 4.2.'de verilmiştir.



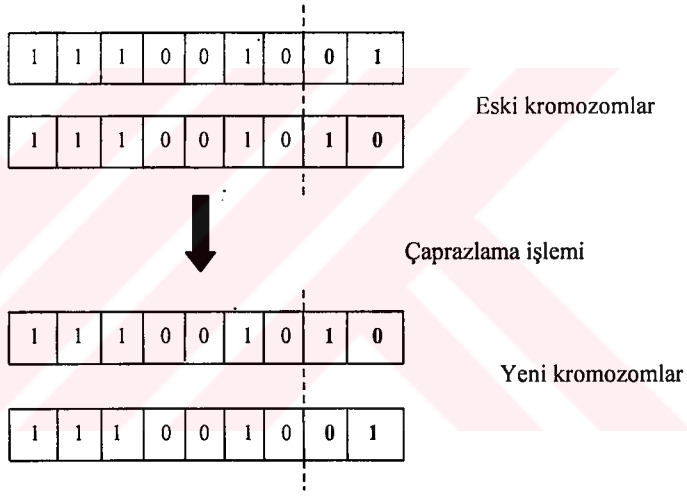
Sayı	Dizi	Kalitesi	Toplam (%)
1	00110	75	% 18.75
2	01010	50	% 12.5
3	10110	175	% 43.75
4	10010	100	% 25
Toplam		400	% 100.00

Şekil 4.2. Rulet Tekerleği Yöntemi.

Daha sonra rulet tekerleği, tekrar üremeye tabii tutulacak bireylerin seçimi için yeterli sayıda döndürülür. Başarılı adaylar mating pool (eşleştirme havuzu) olarak adlandırılan bir havuzda toplanarak, çaprazlama operatörüne gönderilmek üzere hazırlanırlar. Görüleceği gibi, kalite değeri yüksek olan çözümlerin bir sonraki jenerasyonlara aktarılma olasılıkları oldukça yüksek olacaktır.

4.2.4.2. Çaprazlama Operatörü

Seçme işleminden sonra mating pool da oluşturulmuş olan yoğunluktaki kromozomların birer çifti seçme işlemi ile seçilir ve çaprazlama operatöründe, bu iki anne (parent) kromozomdan iki yeni çocuk (children) kromozom oluşturulur. Böylece yeni çözümleri temsil eden yeni jenerasyonlar üretilmiş olur. Çaprazlama işlemini gerçekleştirmede kullanılan çeşitli yöntemler vardır. Bazı temel çaprazlama yöntemleri, tek noktalı çaprazlama, çok noktalı çaprazlama, cycle çaprazlama ve uniform çaprazlamadır. En temel çaprazlama operatörü (tek noktalı çaprazlama) şu şekilde çalışır: Seçilmiş olan kromozomlar üzerinde rastgele bir ortak nokta seçilir ve karşılıklı bitler yer değiştirilir. Basit bir çaprazlama işlemi Şekil 4.3.'de gösterildiği gibi gerçekleştirilir.

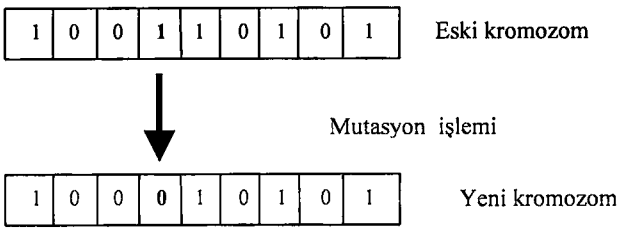


Şekil 4.3. Çaprazlama Operatörü.

4.2.4.3. Mutasyon Operatörü

Genellikle, belirli sayıda jenerasyondan sonra kromozomların bir araya gelerek oluşturdukları yeni kromozomlar homojen hale gelmeye başlar. Bu nedenle, kromozomların çoğu kendi optimum seviyelerine ulaşıncaya kadar gelişimlerine devam edemezler. İstenmeyen bu durumu ortadan kaldırmak için mutasyon operatörüne ihtiyaç duyulur [14].

Mutasyon operatöründe, kromozomların bazı bitleri rastgele değiştirilirler. Yani, '0' ise '1' yapılır, yada '1' ise '0' yapılırlar. Mutasyon işlemine bir örnek, Şekil 4.4.'de verilmiştir.



Şekil 4.4. Mutasyon Operatörü.

Mutasyon operatörü algoritmayı yeni çözüm alanlarını araştırmaya zorlar. Yani, genetik algoritmanın erken yakınsamasını engeller ve böylece global optimum çözümler bulunabilir.

4.2.5. Kontrol Parametreleri

Genetik algoritma, genetik operatörlerin seçiminde tasarımcıya büyük bir esneklik sağlamaktadır. Benzer şekilde, genetik algoritmaların kontrol parametreleri de tasarımcı veya kullanıcı tarafından seçilebilir. Temel bir genetik algoritmanın kontrol parametreleri şunlardır : yoğunluk büyüklüğü, çaprazlama oranı ve mutasyon oranı [15,16].

a.) Yoğunluk Büyüklüğü

Yoğunluktaki çözüm sayısı, yoğunluk büyüklüğü olarak adlandırılır. Yoğunluk sayısı çok büyük ise, eşzamanlı olarak kontrol edilmesi gereken çözüm sayısı çok fazla olacağından hesaplama zamanı artacaktır ve bir kuşaklık gelişim oldukça uzun zaman gerektirecektir. Yoğunluk sayısı çok küçük olursa, araştırma uzayı da çok küçük olacağından yeterli sayıda örnekleme yapılamayacaktır ve büyük olasılıkla en iyi çözümlere ulaşılamayacaktır.

b.) Çaprazlama Oranı

Çaprazlama oranı, uygulanacak çaprazlama işleminin frekansını tanımlamaktadır. Çaprazlama oranı düşük olursa, yeni jenerasyona çok az sayıda yeni çözüm girecektir. Araştırmanın yönünü değiştirecek ve araştırmayı geliştirecek olan yeni çözümlerin çok az sayıda üretilmesi de, araştırmanın tıkanmasına yol açacaktır. Çaprazlama oranı çok yüksek olursa, araştırma uzayı çok daha hızlı bir şekilde araştırılacaktır fakat araştırma

frekansı çok yüksek olacağı için iyi çözümleri temsil eden bireylerin kopyaları üretilemeden bu iyi çözümler hızlı bir şekilde bozulacağından algoritmanın performansı düşecektir.

c.) Mutasyon Oranı

Mutasyon oranı, uygulanacak mutasyon işleminin frekansını tanımlamaktadır. Mutasyon işlemi, araştırma uzayına yeni bölgelerin girmesini sağlar. Çok yüksek mutasyon oranı, yoğunlukta aşırı bir farklılaşmaya sebep olur ve kararsızlık oluşur. Mutasyon oranı çok düşük olursa da, araştırmaya katılan yeni bölge sayısı çok düşük olacağından genetik algoritmanın global optimum çözümleri bulması oldukça zorlaşır.

BÖLÜM 5

GENETİK ALGORİTMA KULLANARAK SİMETRİK KATSAYILI FIR SÜZGEÇ TASARIMI

Bu bölüm dört ana alt bölümden oluşmaktadır. Birinci alt bölümde, çözülmek istenilen problemin optimizasyon problemi formunda ifadesi gerçekleştirilmiştir. İkinci alt bölümde optimizasyon işleminde kullanılan hata fonksiyonları tanıtılmıştır. Üçüncü alt bölümde tasarım formülasyonu detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Son alt bölümde ise, simülasyon sonuçları verilmiştir.

5.1. Optimizasyon Problemi

Sonlu darbe cevaplı süzgeçlerin daima kararlı olduklarını daha önceki bölümlerde belirtmiştik. Bu nedenle, FIR filtre tasarımında kararlılık parametresi bir optimizasyon problemi olmamaktadır. Diğer taraftan, FIR süzgeçler daima doğrusal fazlı oldukları için faz parametresi de bir optimizasyon problemi olmamaktadır. Fakat, özel bir durum olarak FIR süzgecin minimum fazlı tasarlanması istenirse, faz cevabı bir optimizasyon problemi olarak düşünülebilir. Bu durumda, süzgecin sıfırlarının kompleks düzlemdeki konumlarını kontrol edebilecek şekilde bir optimizasyon işlemi gerçekleştirilmelidir. FIR süzgeçlerdeki en önemli optimizasyon problemi ise, genlik cevabıdır. Optimizasyon işlemi, ideal cevaba en yakın genlik cevabını elde edebilecek şekilde gerçekleştirilmelidir.

5.2. Hata Fonksiyonları

Genetik algoritma ile sayısal süzgeç tasarımı yapılırken kullanılan hata fonksiyonları arzu edilen karakteristikleri sağlayacak şekilde tanımlanmalıdır. Aşağıda verilen üç hata fonksiyon tipi için incelemeler yapılmıştır [17].

5.2.1. Ortalama Karesel Hata (MSE-Mean Squared Error)

Ortalama Karesel Hata fonksiyonu, ayrık frekans domeni boyunca ideal süzgecin genlik cevabından tasarlanan süzgecin genlik cevabı mutlak değerce çıkartılmak suretiyle elde edilmiş olan hataların karesel toplamı olarak ifade edilmektedir.

$$MSE = \sum_{f} [\ |H_D(f)| - |H(f)|\ ]^2 \tag{5.1}$$

$H_D(f)$: İdeal Süzgecin genlik cevabı $H(f)$: Tasarlanan Süzgecin genlik cevabı

5.2.2. En Küçük Ortalama Karesel Hata (LMS- Least Mean Squared Error)

En Küçük Ortalama Karesel Hata fonksiyonu, ayrık frekans domeni boyunca ideal süzgecin genlik cevabından tasarlanan süzgecin genlik cevabı mutlak değerce çıkartılmak suretiyle elde edilmiş olan karesel hataların toplamlarının karekökü olarak ifade edilmektedir.

$$LMS = \left\{ \sum_{f} [\ |H_D(f)| - |H(f)|\ ]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \tag{5.2}$$

5.2.3. Ortalama Mutlak Hata (MAE-Mean Absolute Error)

Ortalama Mutlak Hata fonksiyonu, ayrık frekans domeni boyunca ideal süzgecin genlik cevabından tasarlanan süzgecin genlik cevabı mutlak değerce çıkartılmak suretiyle elde edilmiş olan hataların toplamları olarak ifade edilmektedir.

$$MAE = \sum_{f} [\ |H_D(f) - H(f)|\ ] \tag{5.3}$$

5.3. Tasarım Formülasyonu

Bu çalışmada, yoğunluk içerisindeki her bir kromozom muhtemel bir süzgeci temsil etmektedir. Yani her bir kromozom, Şekil 5.1.'de gösterildiği gibi ,bir süzgece ait b_i katsayılar dizisidir.

b_{-L}	$b_{-(L-1)}$	...	b_0	...	$b_{(L-1)}$	b_L

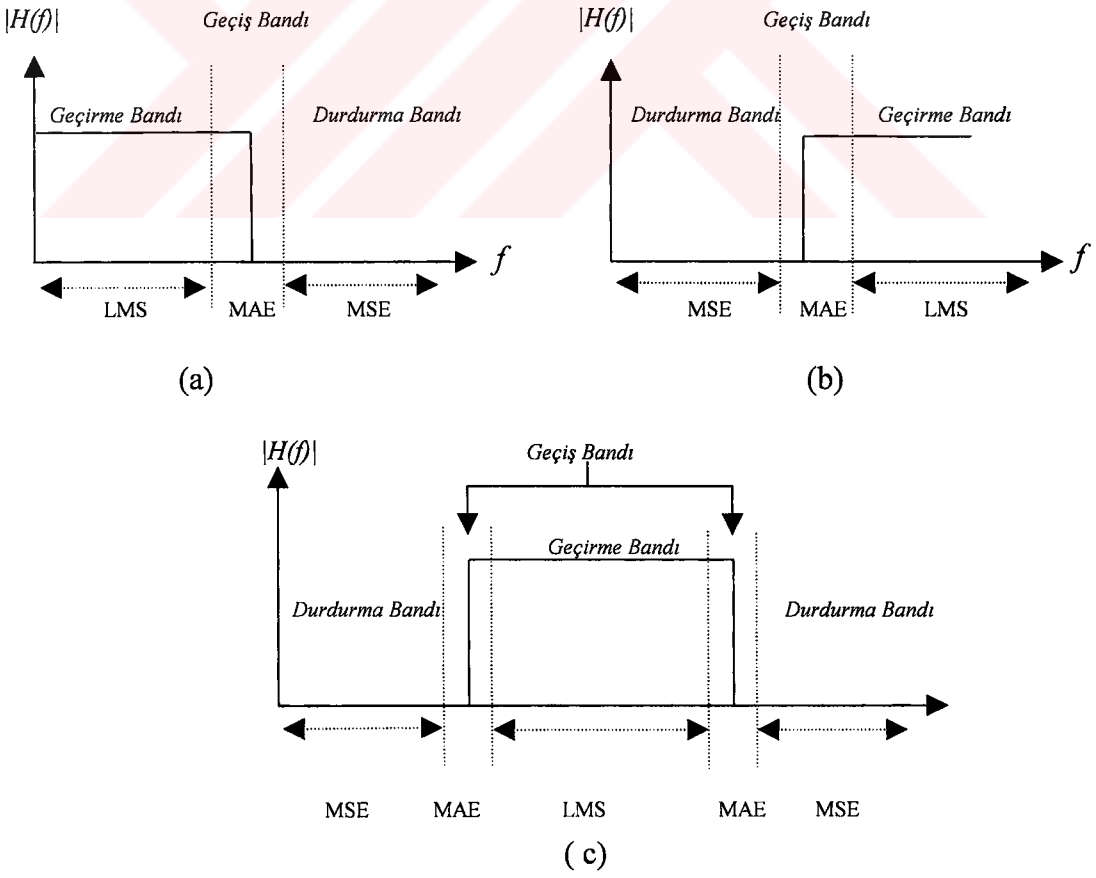
Şekil 5.1. Çözümlerin Dizi Formunda Gösterimi.

Yukarıda bahsedilen temel hata fonksiyonları kromozomların (FIR süzgeç katsayılarının) uygunluk değerlerini geliştirmek için kullanılırlar. Uygunluk değeri yüksek olan kromozomlar iyi çözümleri temsil ederler.

Bu çalışmada kullanılan kalite fonksiyonu aşağıdaki gibidir,

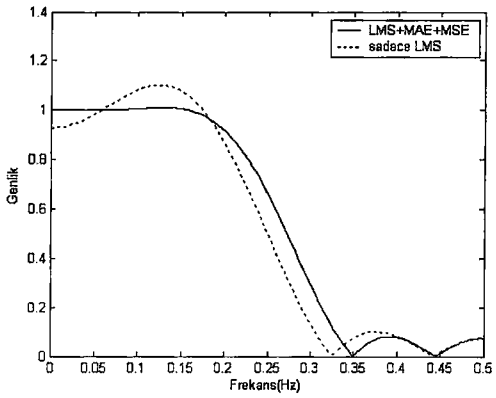
$$Fitness = \frac{1}{\psi(f)} \tag{5.4}$$

Ayrık frekans domeni boyunca tek bir hata fonksiyonu kullanılarak süzgeç tasarımı yapıldığında iyi sonuçların elde edildiği görülmüştür. Fakat her bir frekans bandı için (geçirme bandı, durdurma bandı, geçiş bandı) farklı hata fonksiyonu kullanıldığında mevcut çözümlerin daha da iyileştirilebildiği ve optimal çözümlere ulaşılabildiği görülmüştür. Simetrik katsayılı FIR süzgeç tasarımı için yapılan belirli sayıda denemeden sonra farklı süzgeç yapıları için elde edilmiş olan en uygun amaç fonksiyonu yapılarının aşağıdaki gibi olduğu görülmüştür [18,19].

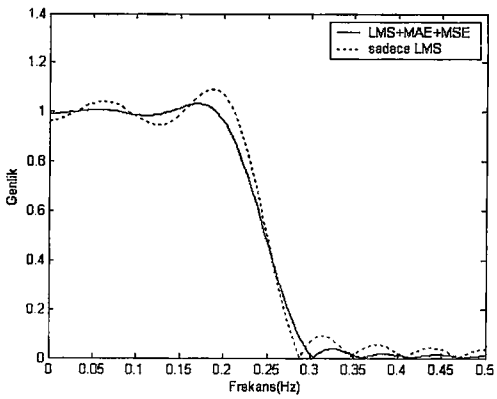


Şekil 5.2. FIR Süzgecin Geçirme, Durdurma ve Geçiş Bantlarında Kullanılan Hata Fonksiyonları.

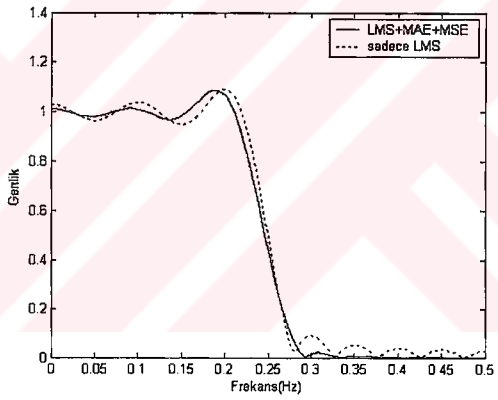
Farklı dereceli alçak geçiren sayısal FIR süzgeçler için tek bir hata fonksiyonu (LMS) kullanıldığında elde edilen sonuçlar ile Şekil 5.2.a.'da önerilen amaç fonksiyonu kullanıldığında elde edilen sonuçlar Şekil 5.3.'te karşılaştırılmıştır.



(a) 8. dereceden FIR süzgeç



(b) 14. dereceden FIR süzgeç



(c) 20. dereceden FIR süzgeç

Şekil 5.3. Farklı Süzgeç Dereceleri İçin Tek Bir Hata Fonksiyonu Kullanıldığında Elde Edilen Sonuçlar ile Önerilen Metot Kullanıldığında Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması.

Yukarıda verilmiş olan sonuçlar incelendiğinde, genetik algoritma ile FIR süzgeç tasarımında önerilen metot kullanıldığında geçirme ve durdurma bandındaki dalgalanmaların (ripple) çok daha iyi bir şekilde zayıflatılabildiği görülmektedir. Bu metot ile elde edilen sonuçların, ayrık frekans domeni boyunca tek bir hata fonksiyonu kullanıldığında elde edilen sonuçlara göre daha iyi olduğu görülmektedir.

Hata fonksiyonları doğrudan kullanıldığında genlik cevabının optimize edilebildiği fakat minimum fazlı tasarımın sağlanamadığı görülmüştür. Bu problemin üstesinden

gelebilmek için hata fonksiyonları, dolayısı ile genetik algoritma, aşağıdaki şekilde geliştirilmiştir.

Kompleks düzlemde birim daire dışarısında yerleşmiş olan, yani minimum faz koşulunu bozan, sıfır sayısına q_z ve kullanılan hata fonksiyonuna da $e(f)$ dersek, bu durumda hem genlik cevabını optimize eden hem de minimum faz koşulunu sağlayan amaç fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanabilir,

$$\psi(f) = e(f) + w_z.q_z \tag{5.5}$$

w_z = ağırlık parametresi

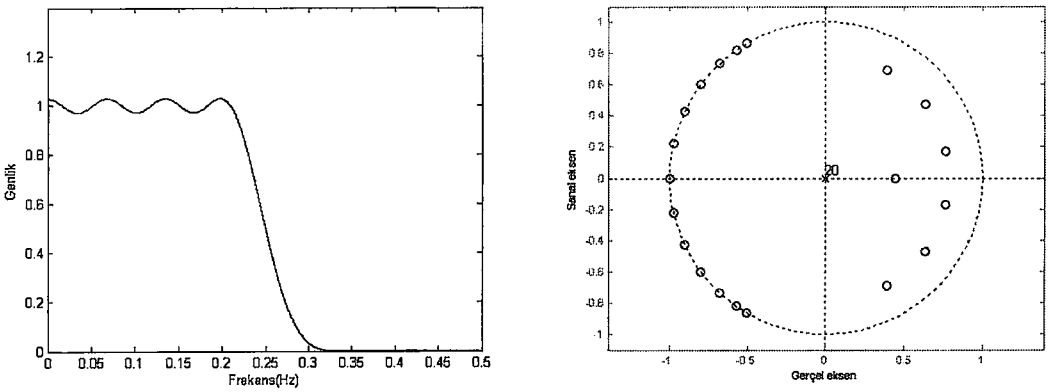
Yukarıdaki eşitlikte, w_z değeri uygun bir şekilde seçilmelidir. Minimum faz koşulunu bozan sıfır sayısı arttıkça, bu sıfırların hata fonksiyonuna katkıları da orantılı olarak artacaktır. Bu nedenle, birim daire dışında yerleşmiş olan sıfırlar amaç fonksiyonu vasıtasıyla birim dairenin içerisine yada üzerine çekilecektir. Bütün sıfırlar birim dairenin içerisine yada üzerine çekildiği zaman q_z=0 olacağı için hata fonksiyonunun değeri amaç fonksiyonunun değerine eşit olacaktır.

Diğer taraftan, belirli sayıda denemeden sonra w_z parametresi için en uygun değerlerin Tablo 5.1.'deki gibi olduğu görülmüştür. w_z değeri çok yüksek seçildiği zaman, (5.5) eşitliğindeki sıfır terimi amaç fonksiyonu üzerinde baskın hale gelecektir ve amaç fonksiyonunun değeri aşırı şekilde artacaktır. Bu durumda, GA yakınsamada zorluklar yaşayacak ve optimal çözümlere ulaşılamayacaktır. w_z değeri çok küçük seçilirse, (5.5) eşitliğindeki sıfır teriminin amaç fonksiyonu üzerindeki etkisi çok küçük olacağından GA bu terimi görmezden gelebileceği için minimum fazlı tasarım gerçekleştirilemeyecektir [18,19].

Tablo 5.1. Ağırlık Parametresinin Geçirme, Geçiş ve Durdurma Bandları İçin En Uygun Değerleri.

	Geçirme bandı	Geçiş bandı	Durdurma bandı
w_z	50	100	50

Minimum fazlı olarak tasarlanmış 20. dereceden FIR süzgece bir örnek aşağıda verilmiştir.



Şekil 5.4. Minimum Fazlı FIR Süzgeç.

5.4. Simülasyon Sonuçları

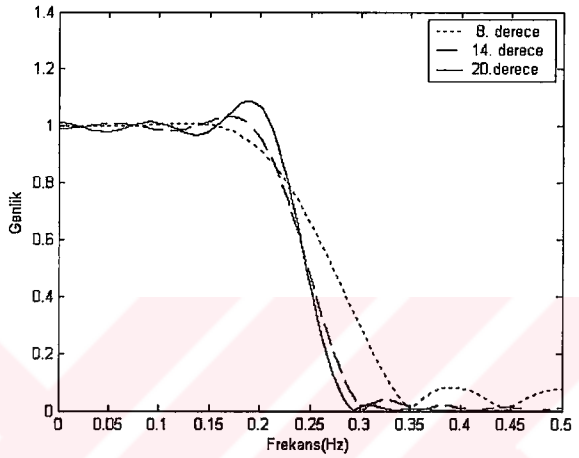
Geliştirilmiş olan Genetik algoritma kullanılarak 8, 14 ve 20 dereceli simetrik katsayılı FIR süzgeçlerin tasarımı gerçekleştirilmiştir. Simülasyonlarda, örnekleme frekansı $f_s = 1Hz$ olarak alınmıştır. Ayrıca, her bir tasarımda frekans ekseni boyunca 100 noktada örnekleme yapılmıştır. Çalışmada kullanılan genetik algoritmanın kontrol parametreleri aşağıdaki gibi seçilmiştir.

Yoğunluk büyüklüğü = 100	*Çaprazlama oranı = 0.8*
Jenerasyon sayısı = 500	*Mutasyon oranı = 0.01*

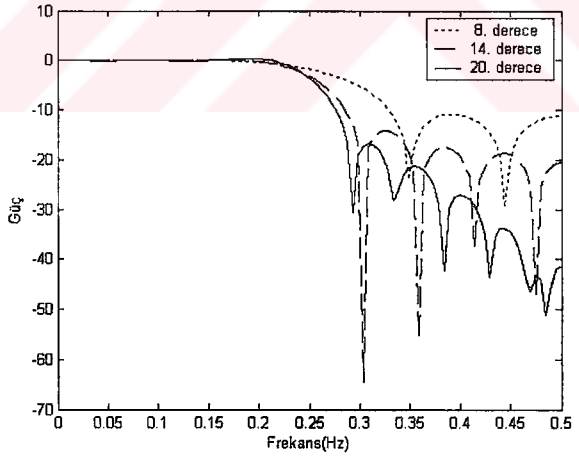
Bu çalışmada kullanılmış olan GA, MATLAB programlama dilinde yazılmış olup temel genetik algoritmadaki operatörlere ilave olarak "Elit" (En iyi) operatörünü içermektedir. Elit operatörü vasıtasıyla en iyi çözümler daima saklanır. Değerlendirme (Evaluation) sürecinde, yoğunluk içerisindeki çözümler amaç fonksiyonu vasıtasıyla değerlendirilir ve (5.4) eşitliği kullanılarak her bir çözüme kalite değeri atanır. Çözümlere atanmış olan kalite değerleri seçme operatörü tarafından kullanılır. Bu çalışmada, seçme işlemi için Rulet Tekerleği yöntemi tercih edilmiştir.

5.4.1. Alçak Geçiren FIR Süzgeç

Şekil 5.5.'te farklı süzgeç dereceleri için genetik algoritma kullanılarak tasarlanmış olan alçak geçiren simetrik katsayılı FIR süzgeçlere ait genlik cevapları ve güç spektrumları verilmiştir. Yapılan tasarımlarda, süzgecin (0-0.25) Hz frekans aralığında geçirmesi diğer frekanslarda ise durdurması istenmiştir. Tasarımlar 8,14 ve 20 dereceli süzgeçler için gerçekleştirilmiştir.



(a)



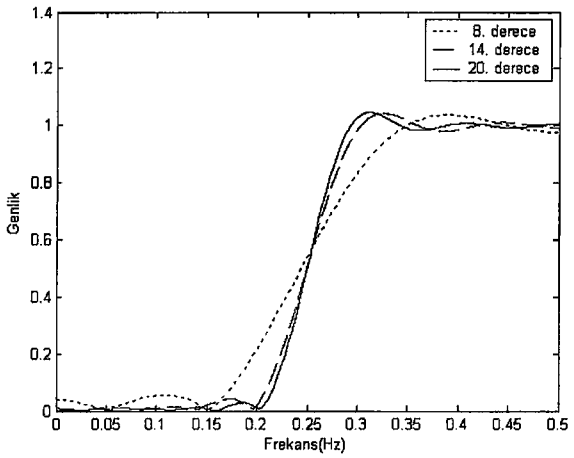
(b)

Şekil 5.5. Farklı Dereceler İçin Genetik Algoritma Kullanılarak Tasarlanmış Olan Simetrik Katsayılı Alçak Geçiren FIR Süzgeçler. (a) Genlik Cevapları (b) Güç Spektrumları

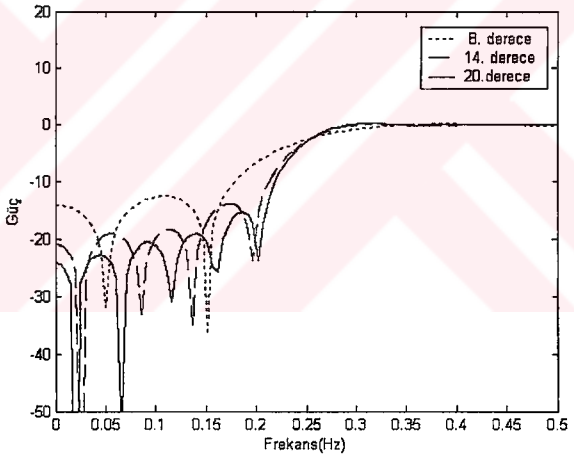
5.4.2. Yüksek Geçiren FIR Süzgeç

Farklı süzgeç dereceleri için genetik algoritma kullanılarak tasarlanmış olan simetrik katsayılı yüksek geçiren FIR süzgeçlere ait genlik cevapları ve güç spektrumları Şekil

5.6.'da verilmiştir. Yapılan tasarımlarda, süzgecin (0-0.25) Hz frekans aralığında durdurması diğer frekanslarda ise geçirmesi istenmiştir. Tasarımlar 8,14 ve 20 dereceli süzgeçler için gerçekleştirilmiştir.



(a)

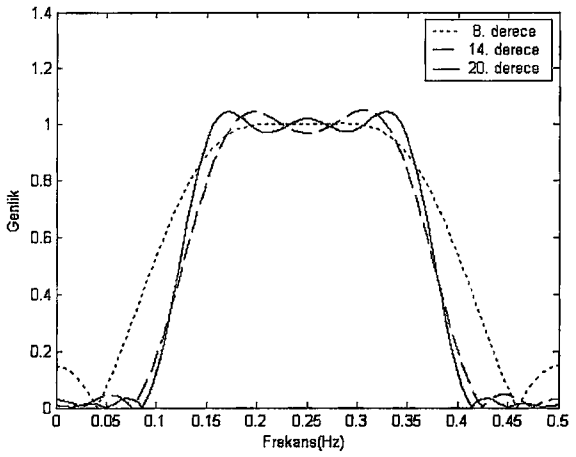


(b)

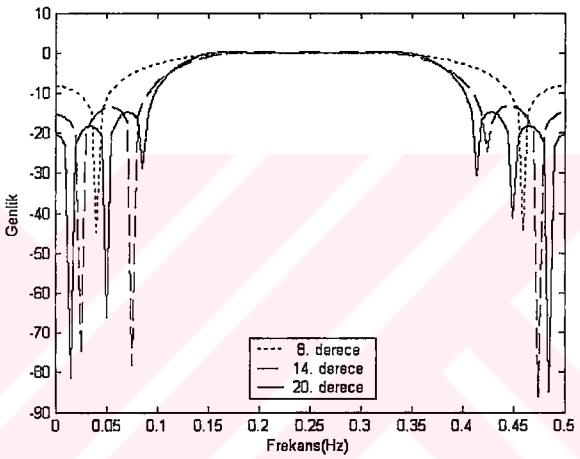
Şekil 5.6. Farklı Dereceler İçin Genetik Algoritma Kullanılarak Tasarlanmış Olan Simetrik Katsayılı Yüksek Geçiren FIR Süzgeçler. (a) Genlik Cevapları (b) Güç Spektrumları

5.4.3. Band Geçiren FIR Süzgeç

Farklı süzgeç dereceleri için genetik algoritma kullanılarak tasarlanmış olan simetrik katsayılı band geçiren FIR süzgeçlere ait genlik cevapları ve güç spektrumları Şekil 5.7.'de verilmiştir. Yapılan tasarımlarda, süzgecin (0.125-0.375) Hz frekans aralığında geçirmesi diğer frekanslarda ise durdurması istenmiştir. Tasarımlar 8,14 ve 20 dereceli süzgeçler için gerçekleştirilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 5.7. Farklı Dereceler İçin Genetik Algoritma Kullanılarak Tasarlanmış Olan Simetrik Katsayılı Band Geçiren FIR Süzgeçler.
(a) Genlik Cevapları (b) Güç Spektrumları

Farklı süzgeç yapıları ve dereceleri için elde edilen sonuçlar incelendiğinde, bütün süzgeç yapılarında süzgeç derecesi arttıkça daha iyi tasarımların gerçekleştiği görülmektedir.

Tasarlanmış olan bu süzgeçlere ait katsayılar Tablo (5.2.-5.4.)'te verilmiştir.

5.5. FIR Süzgeç Tasarımında GA ile Klasik Metotların Karşılaştırılması

Bu bölümde, genetik algoritma ile tasarlanmış olan FIR süzgeçlerle diğer yöntemler kullanılarak tasarlanmış olan FIR süzgeçler karşılaştırılmıştır. Tasarımlar 14. dereceden alçak geçiren süzgeçler için gerçekleştirilmiş ve Şekil 5.8.'de verilmiştir. GA dışındaki

diğer tasarımlar MATLAB FDA Tool (Filter Design & Analysis Tool) kullanılarak Least Squares (LSQ), Kaiser Window ve Constrainst Equiripple yöntemleri için gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.8. incelendiğinde, geçirme ve durdurma bantlarındaki dalgalanmaların bütün yöntemlerde birbirine yakın olduğu görülmektedir. En keskin geçiş bandı cevabı ise GA ile yapılmış olan tasarımda elde edilmektedir.

Yapılan tasarımlarda, süzgecin (0-0.25) Hz frekans aralığında geçirmesi diğer frekanslarda ise durdurması istenmiştir ve örnekleme frekansı, $f_s = 1Hz$ olarak seçilmiştir.

Genetik algoritma ile yapılan FIR süzgeç tasarımları incelendiğinde, arzu edilen sonuçların elde edilebildiği ve global minimumlara büyük oranda yaklaşılabildiği görülmüştür. Simülasyon sonuçları incelendiğinde, klasik metotlarla elde edilen sonuçların optimal bir şekilde genetik algoritma ile de elde edilebildiği görülmüştür. Diğer taraftan, yapılan çalışmalarda [20], genetik algoritma ile çok iyi tasarımların gerçekleştirilebildiği görülmesine rağmen diğer bazı optimizasyon algoritmalarına göre daha düşük hızlı olduğu görülmüştür.

Tablo 5.2. Tasarlanmış Olan 20. Dereceden FIR Süzgeçlere Ait Katsayılar.

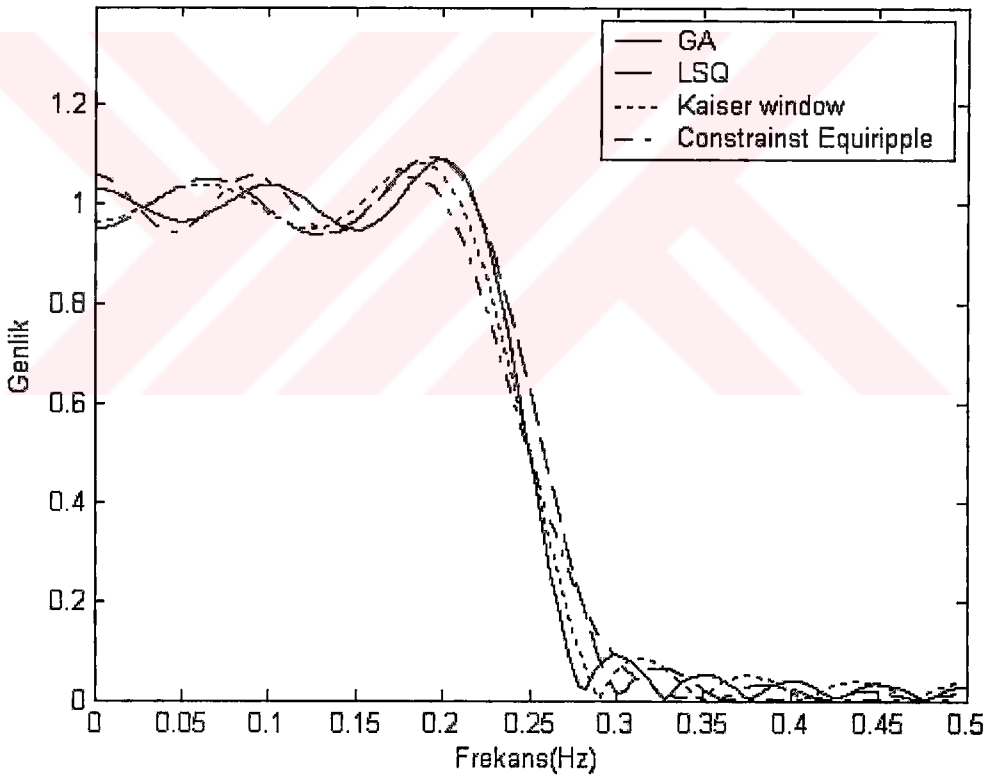
a(n)	AGF	BGF	YGF
a(1)=a(21)	0.0079	-0.0350	0.0012
a(2)=a(20)	0.0154	-0.0001	-0.0133
a(3)=a(19)	-0.0084	0.0078	-0.0011
a(4)=a(18)	-0.0333	0.0003	0.0298
a(5)=a(17)	0.0073	0.0901	0.0007
a(6)=a(16)	0.0577	-0.0003	-0.0530
a(7)=a(15)	-0.0043	-0.0108	0.0008
a(8)=a(14)	-0.1036	0.0004	0.1003
a(9)=a(13)	0.0015	-0.3126	-0.0018
a(10)=a(12)	0.3169	-0.0002	-0.3162
a(11)	0.4983	0.5117	0.5015

Tablo 5.3. Tasarlanmış Olan 14. Dereceden FIR Süzgeçlere Ait Katsayılar.

a(n)	AGF	BGF	YGF
a(1)=a(15)	-0.0200	-0.0025	-0.0211
a(2)=a(14)	0.0024	0.0741	0.0003
a(3)=a(13)	0.0465	0.0013	0.0484
a(4)=a(12)	-0.0037	-0.0008	-0.0013
a(5)=a(11)	-0.0957	0.0041	-0.0975
a(6)=a(10)	0.0042	-0.3082	0.0009
a(7)=a(9)	0.3153	-0.0034	0.3160
a(8)	0.4952	0.5010	-0.5000

Tablo 5.4. Tasarlanmış Olan 8. Dereceden FIR Süzgeçlere Ait Katsayılar.

a(n)	AGF	BGF	YGF
a(1)=a(9)	-0.0326	0.0794	0.0080
a(2)=a(8)	0.0753	-0.0002	0.0740
a(3)=a(7)	0.0308	0.2868	-0.0078
a(4)=a(6)	-0.3062	0.0001	-0.3085
a(5)	-0.5348	-0.5851	0.5076



Şekil 5.8. FIR Süzgeçlerin Karşılaştırılması.

BÖLÜM 6

GENETİK ALGORİTMA KULLANARAK IIR SÜZGEÇ TASARIMI

Bu bölüm üç ana alt bölümden oluşmaktadır. Birinci alt bölümde, çözülmek istenilen problemin optimizasyon problemi formunda ifadesi gerçekleştirilmiştir. İkinci alt bölümde tasarım formülasyonu açıklanmıştır. Son alt bölümde ise, simülasyon sonuçları verilmiştir.

6.1. Optimizasyon Problemi

Sonsuz darbe cevaplı süzgeçler tasarlanırken, kararlılık parametresi en önemli optimizasyon problemidir. Çünkü tasarlanan sistemlerin pratik uygulamalarda kullanılabilmesi için mutlaka kararlı olmaları gerekir. Sistem kararlılığının sağlanabilmesi için de, sistem kutuplarının kompleks düzlemdeki yerleşimlerinin kontrol altında tutulması gerekir. Bu ise, sonsuz darbe cevaplı süzgeç tasarımındaki en önemli optimizasyon problemidir [21]. IIR süzgeçlerdeki diğer önemli optimizasyon problemi ise, genlik cevabıdır. Optimizasyon işlemi, ideal cevaba en yakın genlik cevabını elde edebilecek şekilde gerçekleştirilmelidir. Sonsuz darbe cevaplı süzgeçlerde faz cevabı öncelikli bir tasarım parametresi olmamasına karşın özel bir durum olarak minimum fazlı tasarımlar istenirse, faz cevabı da bir optimizasyon problemi olarak düşünülebilir.

6.2. Tasarım Formülasyonu

Bu çalışmada, yoğunluk içerisindeki her bir kromozom muhtemel bir süzgeci temsil etmektedir. Yani her bir kromozom, Şekil 6.1.'de gösterildiği gibi, bir süzgece ait a_i ve b_i katsayılar dizisidir. Burada, N ve M sırasıyla IIR süzgece ait transfer fonksiyonundaki payda ve payın dereceleridir. Bu tezde gerçekleştirilmiş olan süzgeç tasarımlarında $M=N$ olarak seçilmiştir.

a_0	a_1	...	a_N	b_0	b_1	...	b_M

Şekil 6.1. Çözümlerin Dizi Formunda Gösterimi.

Genetik algoritma ile FIR süzgeç tasarımı yapılırken, arzu edilen karakteristikleri sağlayabilecek şekilde tanımlanmış hata fonksiyonlarının kullanılması gerektiğini belirtmiştik ve hata fonksiyonu olarak MSE, LMS ve MAE hatalarını kullanmıştık. IIR süzgeçleri tasarlarken de bu temel hata fonksiyonlarını içeren optimize edilmiş amaç fonksiyonları kullanılacaktır. Yalnızca temel hata fonksiyonları kullanılarak yapılan tasarımlarda genlik cevabının optimize edilebildiği fakat kararlılık şartının ve minimum faz koşulunun sağlanamadığı görülmüştür. Bu koşulları sağlayabilecek şekilde tasarımlar gerçekleştirmek için temel hata fonksiyonları aşağıdaki gibi optimize edilmiştir.

Kompleks düzlemde birim dairenin üzerinde yada dışarısında yerleşerek kararsızlığa yol açan kutup sayısını q_p olarak kabul edelim, diğer taraftan kompleks düzlemde birim dairenin dışına yerleşerek minimum faz koşulunu bozan sıfırların sayısına da q_z olarak kabul edelim ve kullanılan hata fonksiyonuna da $e(f)$ diyelim. Bu durumda, temel hata fonksiyonumuz $e(f)$'ye bağlı olan ve minimize edilmesi gereken amaç fonksiyonumuz aşağıdaki gibi tanımlanır,

$$\psi(f) = e(f) + w_p.q_p + w_z.q_z \tag{6.1}$$

burada w_p ve w_z değerleri uygun bir şekilde belirlenmesi gereken ağırlık parametreleridir.

Kararsızlığa yol açan kutupların sayısı arttıkça, bu kutupların amaç fonksiyonu üzerindeki etkisi de orantılı olarak artacaktır. Benzer şekilde minimum faz koşulunu bozan sıfır sayısı arttıkça, bu sıfırların da amaç fonksiyonu üzerindeki etkisi orantılı olarak artacaktır. Amaç fonksiyonu sürekli minimize edileceği için, birim daire dışında kalan kutuplar ve sıfırlar birim dairenin içerisine çekilmeye çalışılacaktır. Bütün sıfırlar ve kutuplar birim dairenin içerisine çekildiği zaman $q_p = 0$ ve $q_z = 0$ olacağı için amaç fonksiyonu hata fonksiyonuna eşit olacaktır.

Diğer taraftan, belirli sayıda denemeden sonra w_p ve w_z parametreleri için en uygun değerlerin Tablo 6.1.'deki gibi olduğu görülmüştür. w_p ve w_z değerleri çok yüksek seçildiği zaman, (6.1) eşitliğindeki kutup ve sıfır terimleri amaç fonksiyonu üzerinde baskın hale gelecektir ve amaç fonksiyonunun değeri aşırı şekilde artacaktır. Bu durumda, GA yakınsamada zorluklar yaşayacak ve optimal çözümlere ulaşılamayacaktır. w_p ve w_z değerleri çok küçük seçilirse, (6.1) eşitliğindeki sıfır teriminin amaç fonksiyonu üzerindeki etkisi çok küçük olacağından GA bu terimi görmezden gelebileceği için minimum fazlı tasarım gerçekleştirilemeyecektir [22].

Tablo 6.1. Ağırlık Parametrelerinin Geçirme, Geçiş ve Durdurma Bandları İçin En Uygun Değerleri.

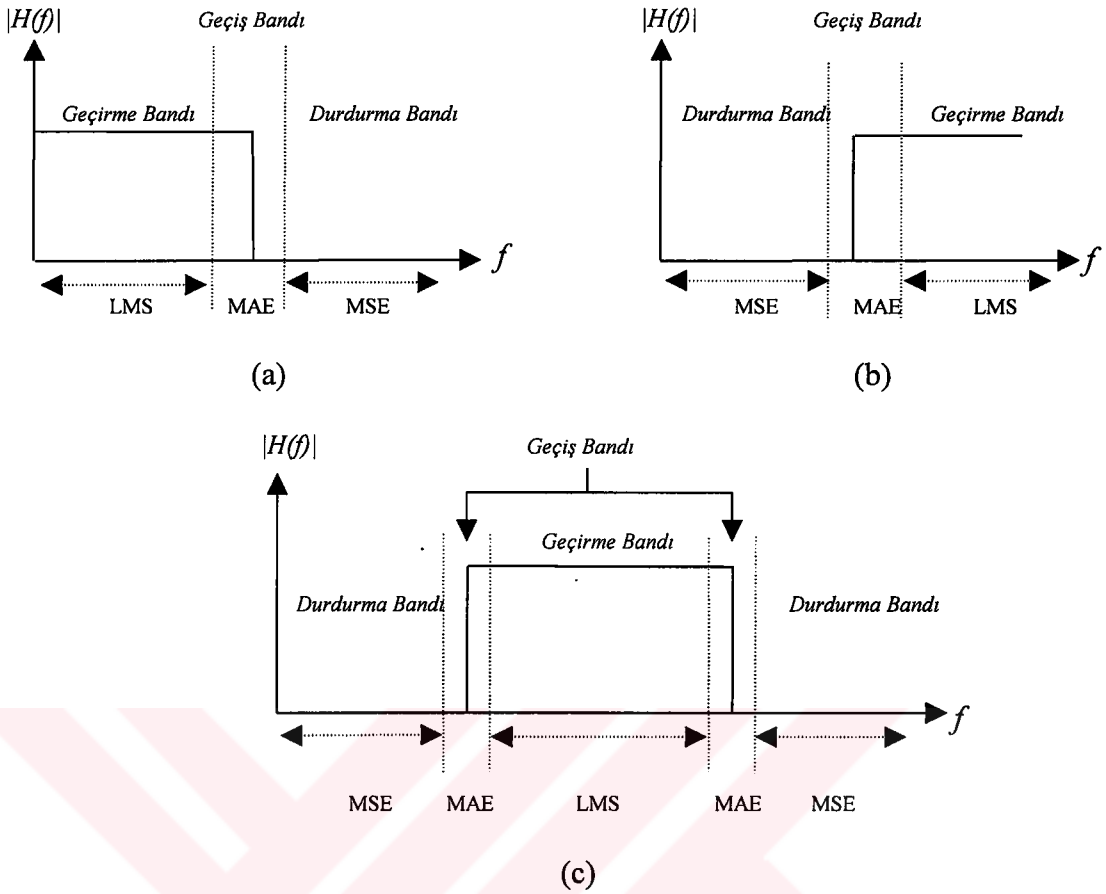
	Geçirme bandı	Geçiş bandı	Durdurma bandı
w_p	100	100	100
w_z	50	100	50

IIR filtre tasarımında kullanılan kalite fonksiyonu, FIR filtre tasarımında kullanılmış olan ve (5.4)'te verilmiş olan fonksiyondur.

Ayrık frekans domeni boyunca tek bir hata fonksiyonu kullanılarak süzgeç tasarımı yapıldığında iyi sonuçların elde edildiği görülmüştür. Fakat her bir frekans bandı için (geçirme bandı, durdurma bandı, geçiş bandı) farklı hata fonksiyonu kullanıldığında mevcut çözümlerin daha da iyileştirilebildiği ve optimal çözümlere ulaşılabildiği görülmüştür. IIR süzgeç tasarımı için yapılan belirli sayıda denemeden sonra farklı süzgeç yapıları için elde edilmiş olan en uygun amaç fonksiyonu yapılarının Şekil 6.2.'deki gibi olduğu görülmüştür.

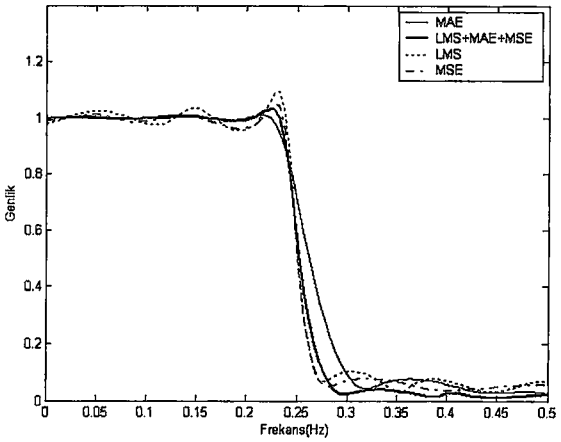
6.3. Simülasyon Sonuçları

IIR süzgeçleri FIR süzgeçlerden ayıran en önemli özellik, IIR süzgeçlerin daha düşük derecelerde çok daha iyi sonuçlar üretmesidir [23]. Bu nedenle, yüksek dereceli FIR süzgeçlerle elde edilmiş olan iyi cevaplar daha düşük dereceli IIR süzgeçlerle elde edilebilir. Burada, öncelikle tek bir hata fonksiyonu (LMS, MSE veya MAE) kullanıldığında elde edilen sonuçlar ile Şekil 6.2.a.'daki geliştirilmiş amaç fonksiyonu kullanıldığında elde edilen sonuçlar farklı süzgeç tipleri için karşılaştırılmıştır.

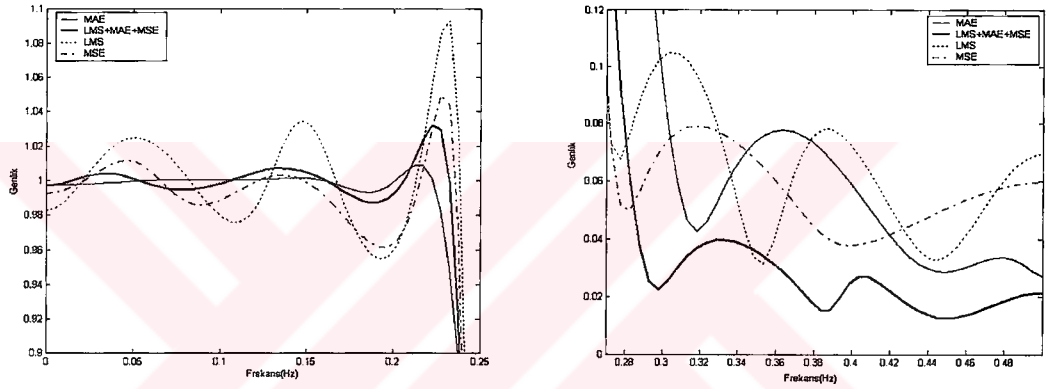


Şekil 6.2. FIR Süzgecin Geçirme, Durdurma ve Geçiş Bantlarında Kullanılan Hata Fonksiyonları.

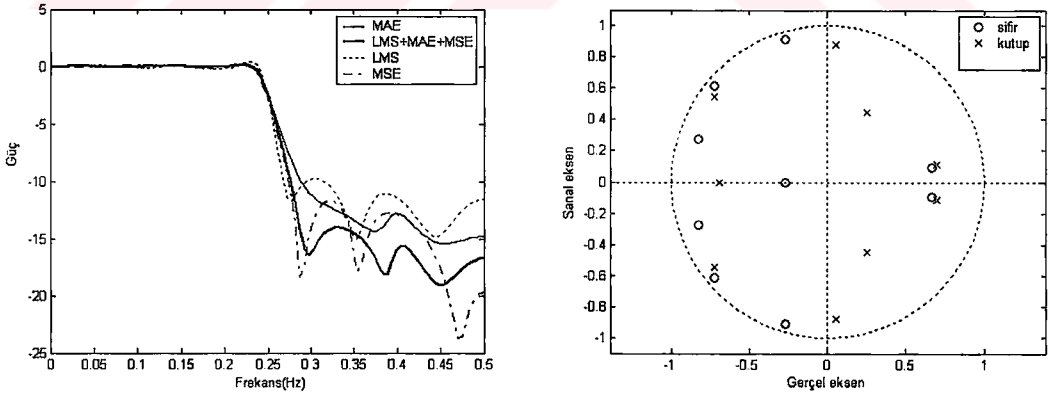
Daha sonra, geliştirilmiş olan genetik algoritma kullanılarak 6 ve 9 dereceli kararlı ve minimum fazlı IIR süzgeçlerin tasarımı gerçekleştirilmiştir. Simülasyonlarda kullanılan genetik algoritmaya ait parametrelerin ve diğer parametrelerin değerleri Bölüm (5.4)' te verildiği gibidir. 9. dereceden alçak geçiren, yüksek geçiren ve band geçiren minimum fazlı sayısal IIR süzgeçler için tek bir hata fonksiyonu (LMS, MSE veya MAE) kullanıldığında elde edilen sonuçlar ile Şekil 6.2.a.'daki geliştirilmiş amaç fonksiyonu kullanıldığında elde edilen sonuçlar sırasıyla Şekil 6.3., Şekil 6.4. ve Şekil 6.5.'te karşılaştırılmıştır. IIR süzgeç tasarımı yapıldığı için geliştirilmiş olan metot kullanılarak tasarlanan süzgeçlere ait kutup sıfır yerleşimleri de ayrıca verilmiştir. Kutup sıfır yerleşimleri incelendiğinde görülmektedir ki, tasarlanan süzgeçler hem kararlı hem de minimum fazlı olarak tasarlanmışlardır. Genlik cevabı incelendiğinde de, geliştirilmiş olan metodun geçirme ve durdurma bandındaki dalgalanmaları daha iyi zayıflattığı ve ayrık frekans domeni boyunca tek bir hata fonksiyonu kullanıldığında elde edilen sonuçlara göre daha iyi sonuçlar ürettiği görülmektedir.



(a)

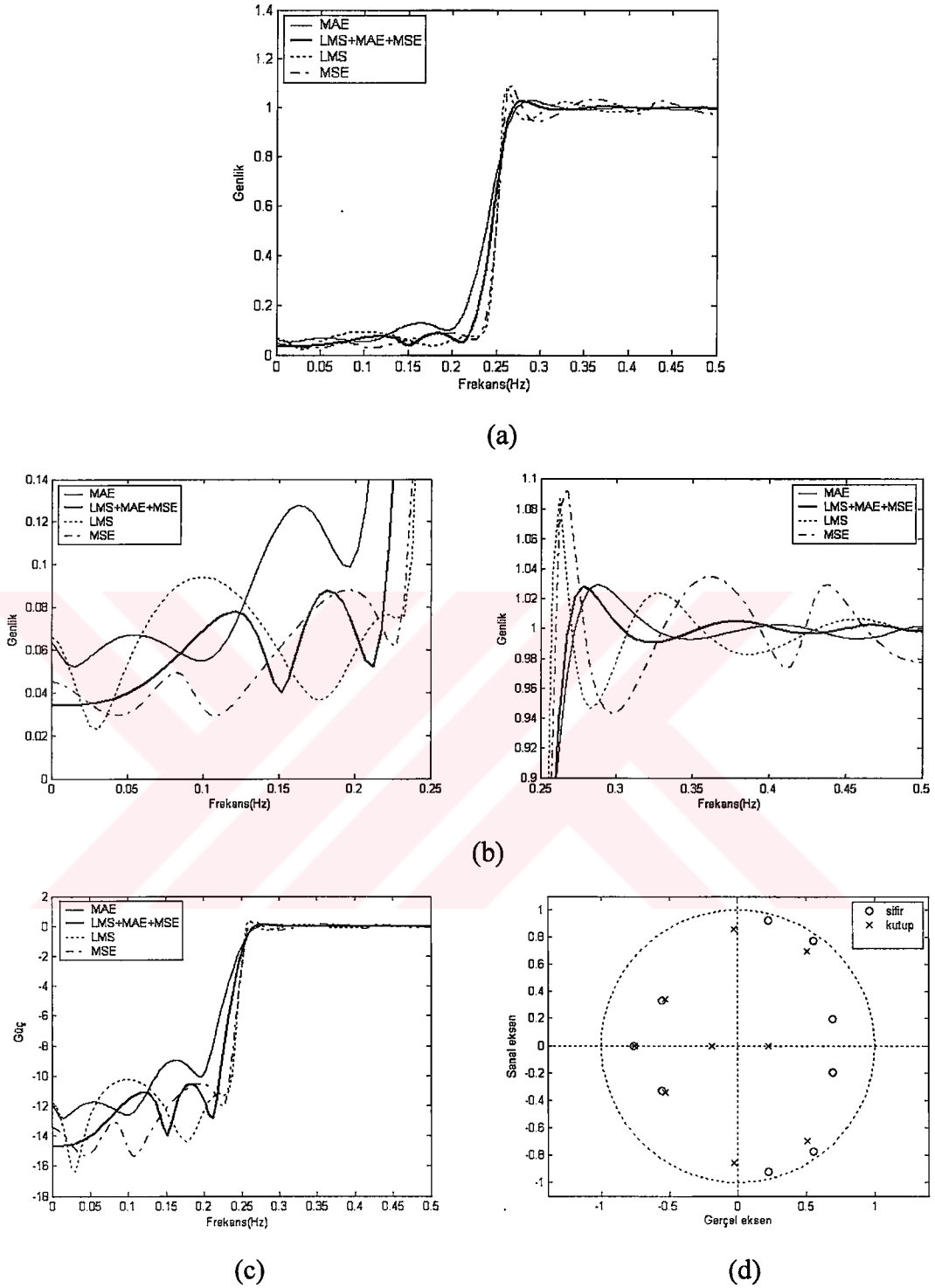


(b)

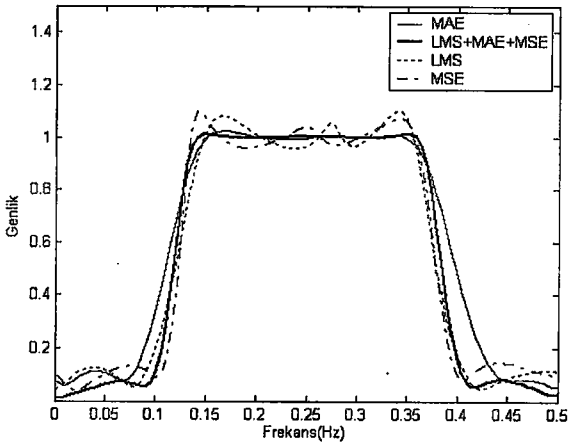


(c) (d)

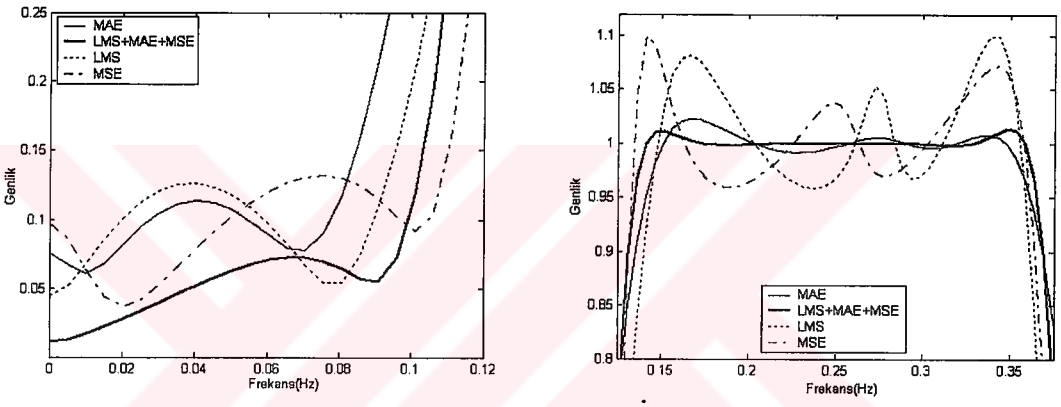
Şekil 6.3. 9. Dereceden Alçak Geçiren IIR Süzgeçler İçin Tek Bir Hata Fonksiyonu Kullanıldığında Elde Edilen Sonuçlar İle Önerilen Metot Kullanıldığında Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması.
(a) Genlik Cevapları
(b) Geçirme ve Durdurma Bandına Ait Detaylı Gösterim
(c) Güç Spektrumlarının Karşılaştırılması
(d) Geliştirilmiş Olan Metoda Ait Kutup Sıfır Diyagramı



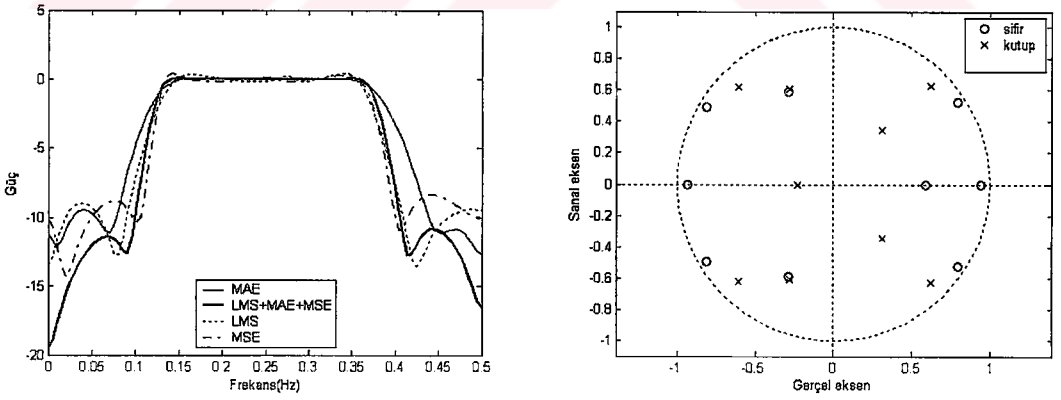
Şekil 6.4. 9. Dereceden Yüksek Geçiren IIR Süzgeçler İçin Tek Bir Hata Fonksiyonu Kullanıldığında Elde Edilen Sonuçlar İle Önerilen Metot Kullanıldığında Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması.
(a) Genlik Cevapları
(b) Geçirme ve Durdurma Bandına Ait Detaylı Gösterim
(c) Güç Spektrumlarının Karşılaştırılması
(d) Geliştirilmiş Olan Metoda Ait Kutup Sıfır Diyagramı



(a)



(b)

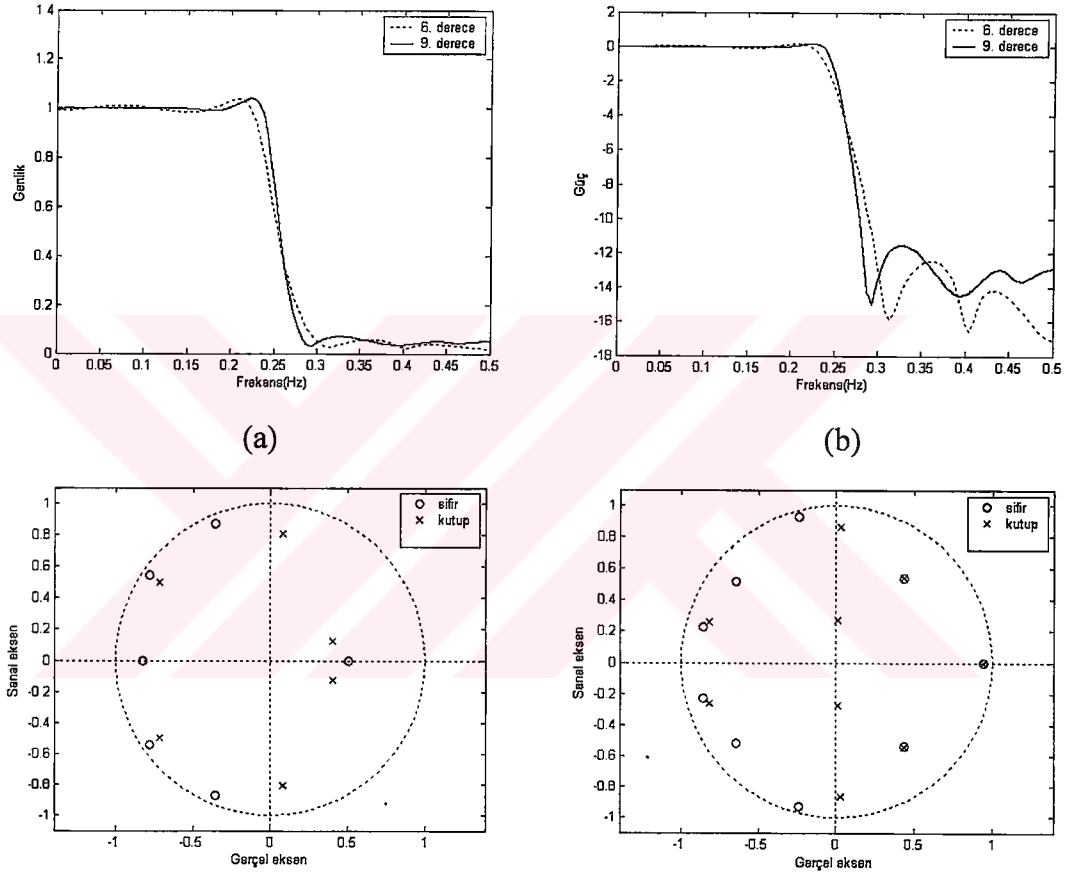


(c) (d)

Şekil 6.5. 9. Dereceden Band Geçiren IIR Süzgeçler İçin Tek Bir Hata Fonksiyonu Kullanıldığında Elde Edilen Sonuçlar İle Önerilen Metot Kullanıldığında Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması.
(a) Genlik Cevapları
(b) Geçirme ve Durdurma Bandına Ait Detaylı Gösterim
(c) Güç Spektrumlarının Karşılaştırılması
(d) Geliştirilmiş Olan Metoda Ait Kutup Sıfır Diyagramı

6.3.1. Alçak Geçiren IIR Süzgeç

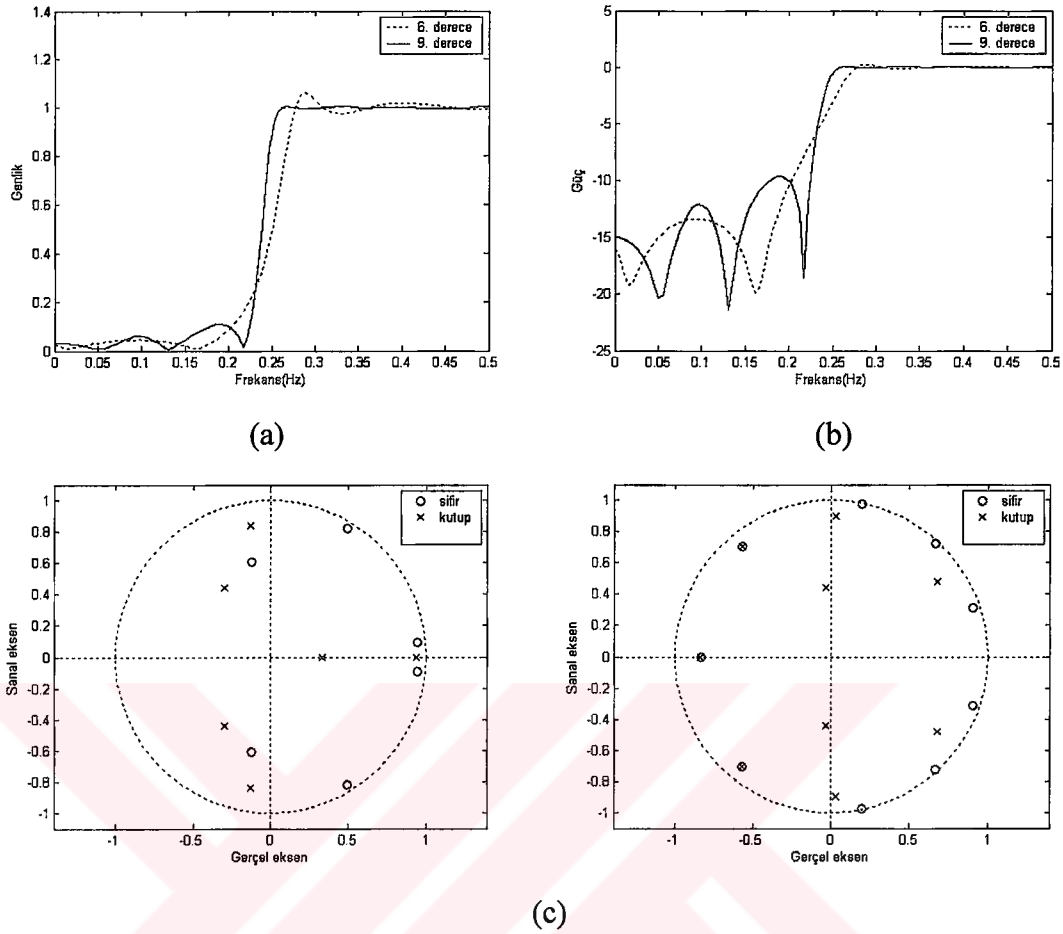
6 ve 9 dereceleri için genetik algoritma kullanılarak tasarlanmış olan alçak geçiren IIR süzgeçlere ait genlik cevapları, güç spektrumları ve kutup sıfır diyagramları Şekil 6.6.'da verilmiştir. Yapılan tasarımlarda, süzgecin (0-0.25) Hz frekans aralığında geçirmesi diğer frekanslarda ise durdurması istenmiştir.



Şekil 6.6. Farklı Dereceler İçin Genetik Algoritma Kullanılarak Tasarlanmış Olan Alçak Geçiren IIR Süzgeçler.
(a) Genlik Cevapları (b) Güç Spektrumları (c) Kutup Sıfır Diyagramları

6.3.2. Yüksek Geçiren IIR Süzgeç

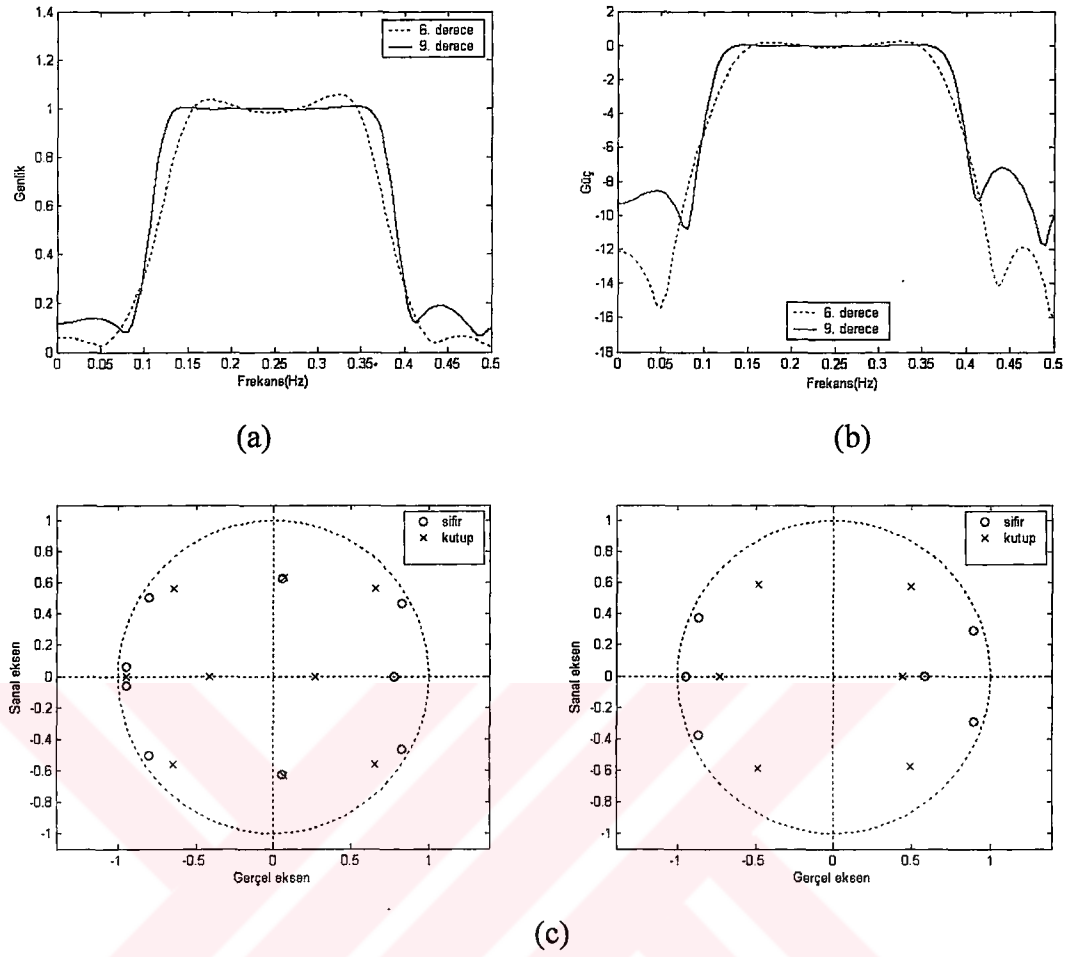
6 ve 9 dereceleri için genetik algoritma kullanılarak tasarlanmış olan yüksek geçiren IIR süzgeçlere ait genlik cevapları, güç spektrumları ve kutup sıfır diyagramları Şekil 6.7.'de verilmiştir. Yapılan tasarımlarda, süzgecin (0-0.25) Hz frekans aralığında durdurması diğer frekanslarda ise geçirmesi istenmiştir.



Şekil 6.7. Farklı Dereceler İçin Genetik Algoritma Kullanılarak Tasarlanmış Olan Yüksek Geçiren IIR Süzgeçler.
(a) Genlik Cevapları (b) Güç Spektrumları (c) Kutup Sıfır Diyagramları

6.3.3. Band Geçiren IIR Süzgeç

6 ve 9 dereceleri için genetik algoritma kullanılarak tasarlanmış olan band geçiren IIR süzgeçlere ait genlik cevapları, güç spektrumları ve kutup sıfır diyagramları Şekil 6.8.'de verilmiştir. Yapılan tasarımlarda, süzgecin (0.125-0.375) Hz frekans aralığında geçirmesi diğer frekanslarda ise durdurması istenmiştir.



Şekil 6.8. Farklı Dereceler İçin Genetik Algoritma Kullanılarak Tasarlanmış Olan Band Geçiren IIR Süzgeçler.
(a) Genlik Cevapları (b) Güç Spektrumları (c) Kutup Sıfır Diyagramları

Tasarlanmış olan bu süzgeçlere ait katsayılar Tablo 6.2.'de verilmiştir.

6.4. IIR Süzgeç Tasarımında GA ile Klasik Metotların Karşılaştırılması

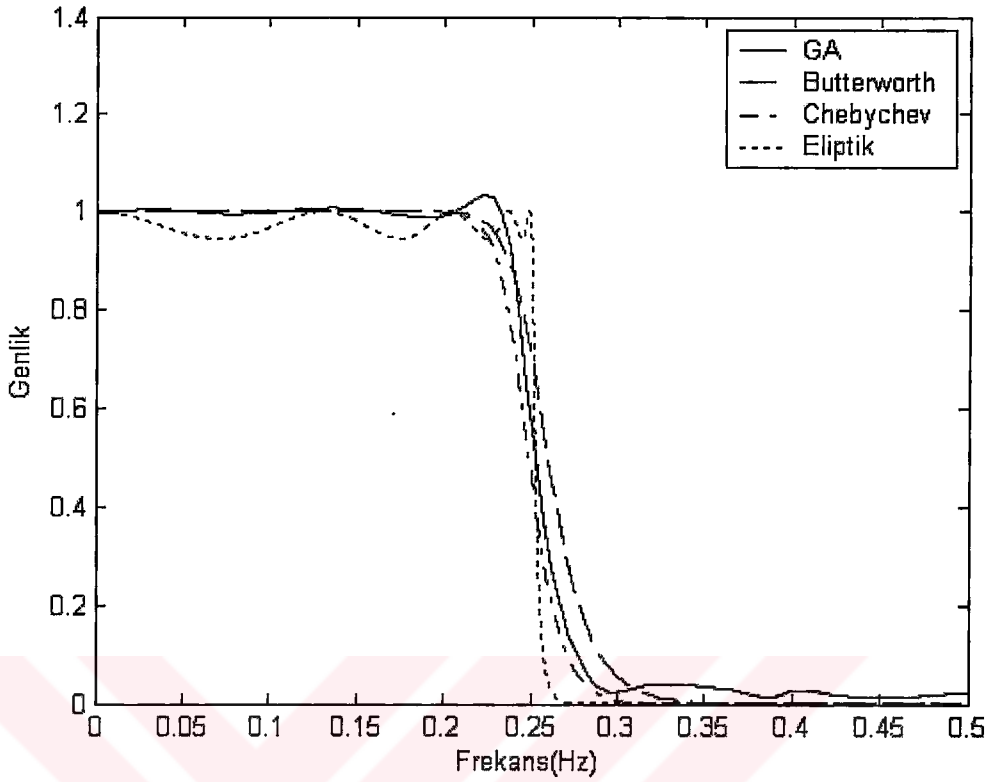
Şekil 6.9.'da, genetik algoritma ile tasarlanmış olan 9. dereceden IIR süzgeçler karşılaştırılmıştır. GA dışındaki diğer tasarımlar MATLAB FDA Tool (Filter Design & Analysis Tool) kullanılarak Butterworth, Chebychev ve Eliptik süzgeçler için gerçekleştirilmiştir.

Yapılan tasarımlarda, süzgecin (0-0.25) Hz frekans aralığında geçirmesi diğer frekanslarda ise durdurması istenmiştir ve örnekleme frekansı, $f_s = 1Hz$ olarak seçilmiştir.

Tablo 6.2. Tasarlanmış Olan 6. ve 9. Dereceden IIR Süzgeçlere Ait Katsayılar.

	AGF		YGF		BGF	
Katsayılar	**9. Derece**	**6.derece**	**9. Derece**	**6.derece**	**9. Derece**	**6.derece**
a(1)	0.9751	-0.9982	0.8957	0.9998	-1.0000	0.9870
a(2)	-0.2387	-0.4735	0.5566	-0.4087	-0.9547	0.2646
a(3)	-0.0912	-0.3524	0.7028	0.3812	-0.0686	-0.1252
a(4)	0.2468	-0.0963	0.2735	-0.7033	-0.1265	0.0487
a(5)	-0.5024	-0.0505	0.2308	-0.0744	-0.5020	0.2580
a(6)	-0.0621	0.2555	0.1890	-0.1020	-0.4122	0.0984
a(7)	0.1431	-0.0879	0.2138	0.0627	-0.1531	-0.1036
a(8)	-0.2580	----	0.3811	----	-0.1906	----
a(9)	0.0174	----	0.0580	----	-0.0148	----
a(10)	-0.0187	----	0.0655	----	0.0228	----
b(1)	0.2383	0.2193	-0.1927	0.2039	-0.4218	-0.3012
b(2)	0.4003	0.5687	0.3026	-0.5360	-0.4033	-0.0940
b(3)	0.2488	0.7047	-0.2558	0.6859	0.5073	0.5664
b(4)	-0.0376	0.4418	0.0944	-0.5762	0.4579	0.1541
b(5)	-0.2243	0.0545	-0.0199	0.3260	-0.3700	-0.4460
b(6)	-0.1819	-0.1278	0.0276	-0.1644	-0.3054	-0.0964
b(7)	-0.0452	-0.0729	-0.0427	0.0646	0.0370	0.1298
b(8)	-0.0448	----	-0.0459	----	-0.0394	----
b(9)	-0.0900	----	0.1355	----	0.0453	----
b(10)	-0.0530	----	-0.1147	----	0.0959	----

Genetik algoritma ile yapılan IIR süzgeç tasarımları incelendiğinde, arzu edilen sonuçların elde edilebildiği ve global minimumlara büyük oranda yaklaşılabildiği görülmüştür. Şekil 6.9.'daki simülasyon sonuçları incelendiğinde ise, klasik yaklaşımlarla elde edilen sonuçlara yakın sonuçların genetik algoritma ile de elde edilebildiği görülmüştür.



Şekil 6.9. IIR Süzgeçlerin Karşılaştırılması.

BÖLÜM VII

SONUÇ

Bu tez çalışmasında, bir yapay zeka optimizasyon algoritması olan genetik algoritma kullanılarak farklı dereceden sonlu darbe cevaplı ve sonsuz darbe cevaplı alçak geçiren, yüksek geçiren ve band geçiren sayısal süzgeçlerin tasarımları gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar kendi içerisinde mukayese edilmiştir. Ayrıca, klasik yöntemler kullanılarak da süzgeç tasarımları gerçekleştirilerek, genetik algoritma ile elde edilmiş olan tasarımlar ile karşılaştırılmıştır.

Geliştirilmiş olan genetik algoritma yapısında, temel operatörlere ilave olarak Elit operatörü de eklenmiştir ve bu operatör vasıtasıyla en iyi çözümlerin daima saklanması sağlanmıştır. Yapılan tasarımlar 32 bit için gerçekleştirilmiştir. Tasarlanmak istenen süzgeç yapıları ve bu süzgeçlere ait ideal cevaplar algoritma içerisinde tanımlanmıştır. Genetik algoritma tarafından bu ideal cevaplara yaklaştırılmış olan optimal cevaplara ait genlik cevapları, kutup sıfır diyagramları, güç spektrumları ve katsayılar genetik algoritmanın çıkışında elde edilmiştir. Bölüm 5 ve Bölüm 6' da verilmiş olan tasarım sonuçları incelendiğinde genetik algoritmanın çok iyi performanslar gösterdiği ortaya çıkmıştır.

Bölüm 5'te temel genetik algoritma kullanılarak yapılan sonlu darbe cevaplı süzgeçlerin tasarımında iyi sonuçların elde edilebildiği fakat minimum faz koşulunun sağlanamadığı görülmüştür. Bu nedenle, genetik algoritmanın amaç fonksiyonu Eşitlik 5.5.'teki gibi geliştirilmiştir. Önerilen bu yapı kullanılarak yapılan tasarımlarda, hem optimal cevapların hem de minimum faz koşulunun sağlandığı görülmüştür.

Bölüm 6'da temel genetik algoritma kullanılarak yapılan sonsuz darbe cevaplı süzgeçlerin tasarımında iyi sonuçların elde edilebildiği fakat kararlılık ve minimum faz koşulunun sağlanamadığı görülmüştür. Tasarlanan süzgeçlerin hem kararlı hem de

minimum fazlı olması için algoritmanın amaç fonksiyonu Eşitlik 6.1.'deki gibi geliştirilmiştir. Önerilen bu yapı kullanılarak yapılan tasarımlarda, optimal cevapların, kararlılığın ve minimum faz koşulunun sağlandığı görülmüştür.

Diğer taraftan, bütün frekans sahası için tek bir hata fonksiyonu kullanılarak yapılan tasarımların iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Fakat bu sonuçların daha da iyileştirilebilmesi için farklı bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemde, her bir frekans bandı için farklı hata fonksiyonları kullanılmış ve elde edilen sonuçların daha da iyileştirilebildiği görülmüştür. Bu sonuçlara ait mukayeseler, Bölüm 5 ve 6'da verilmiştir. Kullanılan hata fonksiyonu yapıları ise Şekil 5.2. ve Şekil 6.2.'de verilmiştir.

Sonuç olarak yapılacak olan yeni çalışmalarda, önerilmiş olan tasarım yönteminin farklı yapay zeka optimizasyon algoritmalarındaki performansları incelenebilir. Ayrıca, sonsuz darbe cevaplı süzgeçlerde sistem kararlılığını sağlayan farklı yaklaşımlarla, önerilmiş olan yaklaşım mukayese edilebilir. Bu çalışmada tasarlanmış olan süzgeçlerin donanım olarak gerçekleştirilmeleri de ileride yapılabilecek olan çalışmalardan birisi olarak düşünülebilir.

KAYNAKLAR

1. Chen, C.T., Digital Signal Processing : Spectral Computation and Filter Design, Oxford University Press, New York, 2001.
2. Ertürk, S., Sayısal İşaret İşleme, Kocaeli Üniversitesi, Birsen Yayınevi, Kocaeli.
3. Karaboğa, N., Sayısal Filtre Katsayılarının Genetik Algoritma Kullanılarak Yuvarlatılması, Doktara Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 1996.
4. Lathi, B.P., Signal Processing and Linear Systems, Berkeley-Cambridge Press, 1998.
5. Litwin, L., FIR and IIR Digital Filters, IEEE Potentials, 28-31, 0278-6648, 2000.
6. Mitra, S.K., Digital Signal Processing, Mc Graw-Hill Companies, 2001.
7. Venkata, N. D., Evans, B. L., Design of Optimal Minimum Phase Digital FIR Filters Using Discrete Hilbert Transforms, IEEE Transactions on Signal Processing, 48 (5), 1491-1495, 2000.
8. Mastorakis, N. E., Gonos, I., F., Swamy, M. N. S., Design of Two-Dimensional Recursive Filters Using Genetic Algorithms, IEEE Transactions on Circuits and Systems-I: Fundamental Theory and Applications, 50 (5), 634-639, 2003.
9. Mastorakis, N. E., Gonos, I., F., Swamy, M. N. S., Stability of Multi-Dimensional Systems Using Genetic Algorithms, IEEE Transactions on Circuits and Systems-I: Fundamental Theory and Applications, 50 (7), 962-965, 2003.
10. Thamvichai, R., Bose, T., Haupt, R. L., Design of 2-D Multiplierless IIR Filters Using the Genetic Algorithm, IEEE Transactions on Circuits and Systems-I: Fundamental Theory and Applications, 49 (6), 878-882, 2002.
11. Lee, A., et al., Digital Filter Design Using Genetic Algorithm, IEEE International Symposium on Circuits and Systems, USA, 34-38, 1998.
12. Lee, A., et al., Design of 1-D FIR Filters with Genetic Algorithms, IEEE International Symposium on Circuits and Systems, USA, 295-298, 1999.

13. Tang, K. S., et al., Genetic Algorithms and Their Applications, IEEE Signal Processing Magazine, 22-37, 1053-5888, 1996.

14. Xiaomin, M., Yixian, Y., Optimal Design of FIR Digital Filter Using Genetic Algorithm, The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications, 5 (1), 12-16,1998.

15. Pham, D.T., Karaboğa, D., Intelligent Optimisation Techniques, Springer Verlag, ISBN: 1-85233-028-7, New York, 2000.

16. Back, T., Evolutionary Algorithms in Teory and Practice, Oxford University Press, ISBN: 0-19-509971-0, 1996.

17. Karaboğa, N., Çetinkaya, B., Genetik Algoritma Kullanarak Optimum IIR Sayısal Süzgeç Tasarımında Hata Fonksiyonlarının Etkisinin İncelenmesi, SIU'03, 11. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, İstanbul, 200-203, 18-20 Haziran, 2003.

18. Karaboğa, N., Çetinkaya, B., Performance Comparison of Genetic Algorithm Based Design Methods of Digital Filters with Optimal Magnitude Response and Minimum Phase, 46. IEEE International Midwest Symposium on Circuits and Systems, Egypt, December 2003. (Baskıda) .

19. Karaboğa, N., Çetinkaya, B., Optimal Design of Minimum Phase Digital FIR Filters by Using Genetic Algorithm, ELECO'03, 3. International Conference on Electrical and Electronics Engineering, Bursa, 176-180, December 3-7, 2003.

20. Karaboğa, N., Çetinkaya, B., Performance Comparison of Genetic and Differential Evolution Algorithms for Digital FIR Filter Design, ADVIS 2004, Advanced in Intelligent Systems, Lecture Notes in Computer Science. (Baskıda)

21. Karaboğa, N., Çetinkaya, B., The Effect of the Methods Used to Solve the Unstability Problem of IIR Filters on the Design Process Based on Genetic Algorithm, TAINN'03, International 12. Turkish Symposium on Artificial Intelligence and Neural Netwoks, Çanakkale, 2003.

22. Karaboğa, N., Çetinkaya, B., Design of Minimum Phase Digital IIR Filters by Using Genetic Algorithm, NORSIG 2004, 6. IEEE Nordic Signal Processing Symposium, Finland, 29-32, June 9-11, 2004.

23. Arslan, T., Horrocks, D. H., A Genetic Algorithm for the Design of Finite Word Length Arbitrary Response Cascaded IIR Digital Filters, Genetic Algorithms In Engineering Systems: Innovations and Applications IEE Conference Publication, 276-281, September 12-14, 1995.

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Bahadır Çetinkaya 1978 yılında Kayseri'de doğdu. Orta ve lise öğrenimini Nuh Mehmet Baldöktü Anadolu Lisesinde tamamladı. 1996-1997 öğretim yılında Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik Mühendisliği Bölümünü kazandı. 2001 yılında bu bölümden mezun olup aynı yıl E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2002 yılında E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik Anabilim Dalında araştırma görevlisi olarak göreve başladı. Halen aynı görevini sürdürmektedir.

Adres:
Erciyes Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Elektronik Mühendisliği Bölümü
38039, Melikgazi / KAYSERİ
Tel: (352) 437 49 01 (İç hat:32 208)