



AKTİF FİLTRELERİN TASARIMINDA GENETİK ALGORİTMA KULLANIMI

Kübra ASLAN

Yüksek Lisans Tezi

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Teknolojileri Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Melih Cevdet İNCE

TEMMUZ-2019

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKTİF FİLTRELERİN TASARIMINDA GENETİK ALGORİTMA KULLANIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kübra ASLAN

Anabilim Dalı: Elektrik-Elektronik Mühendisliği Teknolojileri
Programı: Telekomünikasyon

Danışman: Doç. Dr. Melih Cevdet İNCE

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 19 Haziran 2019

TEMMUZ-2019

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKTİF FİLTRELERİN TASARIMINDA GENETİK ALGORİTMA KULLANIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kübra ASLAN

152138104

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 19 Haziran 2019

Tezin Savunulduğu Tarih: 30 Temmuz 2019

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Melih Cevdet İNCE (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Abdulkadir ŞENGÜR (F.Ü)

Dr. Öğr. Üyesi Ömer Faruk ALÇİN (B.Ü)

TEMMUZ-2019

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında benden yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Melih Cevdet İNCE'ye, bilgilerini benimle paylaşan Dr. Öğr. Üyesi Turgay KAYA'ya, manevi desteklerinden dolayı aileme ve hayatıma yön vermede en büyük destekçim muhterem babacığma teşekkürlerimi sunarım.

Kübra ASLAN
ELAZIĞ – 2019



İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET.....	III
SUMMARY.....	V
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VI
TABLolar LİSTESİ.....	VIII
SEMBOLLER LİSTESİ.....	IX
KISALTMALAR LİSTESİ.....	X
1. GİRİŞ.....	1
2. İŞLEMSEL YÜKSELTEÇLER.....	4
2.1. Opamp Sembolü.....	4
2.2. Opamp Özellikleri.....	5
3. FİLTRE DEVRELERİ	7
3.1. Filtre Kullanım Amaçları	8
3.2. Filtre Kullanım Alanları	9
3.3. Filtrelerin Sınıflandırılması.....	9
3.3.1. Yapım Elemanlarına Göre Sınıflandırma.....	10
3.3.1.1.Pasif Filtreler.....	10
3.3.1.2.Aktif Filtreler.....	11
3.3.1.3.Aktif Filtreler İle Pasif Filtrelerin Karşılaştırılması.....	12
3.3.2.Transfer Fonksiyonlarına Göre Sınıflandırma	12
3.3.2.1.Alçak Geçiren Filtre.....	13
3.3.2.2.Yüksek Geçiren Filtre.....	13
3.3.2.3.Bant Geçiren Filtre.....	14
3.3.2.4.Bant Durduran Filtre.....	14
3.3.2.5.Tüm Geçiren Filtre.....	15
4. ÇOK AMAÇLI DEVRE	16
4.1. Alçak Geçiren Filtrenin Transfer Fonksiyonu	22
4.2. Yüksek Geçiren Filtrenin Transfer Fonksiyonu.....	23
4.3. Bant Geçiren Filtrenin Transfer Fonksiyonu	24
4.4. Bant Durduran Filtrenin Transfer Fonksiyonu.....	26
4.5. Tüm Geçiren Filtrenin Transfer Fonksiyonu	27
5. Sallen Key DEVRELERİ	29
5.1. Sallen Key Alçak Geçiren Filtre	30
5.2. Sallen Key Bant Geçiren Filtre	33
6. GENETİK ALGORİTMA.....	37
6.1. Genetik Algoritma Operatörleri	43
6.2. Kromozomların Şifrelenmesi (Encoding)	43
6.2.1. İkili Kodlama.....	43
6.2.2. Permütasyon Kodlama	44
6.2.3. Değer Kodlama	44
6.2.4. Ağaç Kodlama.....	45
6.3. Çaprazlama (Gen Takası) ve Mutasyon	45

6.3.1. İkili Kodlanmış Kromozomlarda Çaprazlama	46
6.3.1.1. Tek Noktalı Gen Takası	46
6.3.1.2. Çift Noktalı Gen Takası	46
6.3.1.3. Tek Biçimli (Uniform) Gen Takası	47
6.3.1.4. Aritmetik Takası	47
6.3.2. İkili Kodlanmış Kromozomlarda Mutasyon	47
6.3.3. Permütasyon Kodlanmış Kromozomlarda Çaprazlama	47
6.3.4. Permütasyon Kodlanmış Kromozomlarda Mutasyon	48
6.3.5. Değer Kodlanmış Kromozomlarda Çaprazlama	48
6.3.6. Değer Kodlanmış Kromozomlarda Mutasyon	48
6.3.7. Ağaç Kodlanmış Kromozomlarda Çaprazlama	48
6.3.8. Ağaç Kodlanmış Kromozomlarda Mutasyon	49
6.4. Genetik Algoritmanın Parametreleri	49
6.4.1. Çaprazlama Olasılığı	49
6.4.2. Mutasyon Olasılığı	50
6.4.3. Popülasyon Büyüklüğü	50
6.5. Seçim (Selection)	51
6.5.1. Rulet Tekerli Seçimi	51
6.5.2. Sıralama Seçimi	52
6.5.3. Sabit Durum Seçimi	52
6.6. Seçkinlik (Elitizm)	52
7. GENETİK ALGORİTMANIN PROBLEME UYGULANMASI	53
7.1. Uygulama Sonuçları	54
8. SONUÇ	90
KAYNAKLAR	91
ÖZGEÇMİŞ	93

ÖZET

Aktif filtreler tasarlanırken eleman değerlerinin bulunması, transfer fonksiyonunun hesaplanması amaçlanmaktadır. Bu amaca ulaşmak için klasik yöntemlerin kullanılması işlem yükü ve aşırı zaman gerektirmektedir. Sezgisel yöntemlerden olan genetik algoritmalar hata oranlarını minimuma indiren, uygun işlem süresi içerisinde sonuç veren, karmaşık çok boyutlu arama uzayında en iyinin hayatta kalması ilkesine göre en iyi çözümü arar. Bu çalışmada genetik algoritma özelliklerinden yararlanarak gerçekleştirilen program ile aktif analog filtrelerin eleman seçiminde başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Böylece işlem karmaşası ortadan kaldırılmış, her yeni isteğe göre eleman değerleri bulunmuştur. İstenilen filtre özelliklerini sağlamak için kullanılan yöntem ile elde edilen bulunan genlik cevapları ile istenen genlik cevapları karşılaştırılarak başarılı sonuçlar alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Genetik Algoritma, Analog Aktif Filtre, AGF,YGF,BGF,BDF

SUMMARY

Use of Genetic Algorithm in the Design of Active Filters

When designing active filters, it is aimed to find component values and calculate the transfer function. To achieve this goal, the use of conventional methods requires processing load and excessive time. Genetic algorithms, one of the heuristic methods, seek the best solution according to the survival principle of the best in the complex multidimensional search field, which minimizes error rates and results in appropriate processing time. In this study, by using the genetic algorithm features, successful results were obtained in the selection of active analog filters. Thus eliminates process complexity and finds component values for each new request. Successful results were obtained by comparing the amplitude responses obtained by the method used to provide the desired filter properties to the desired amplitude responses.

Keywords: Genetic Algorithm, Analog Active Filter, LPF, YPF, BPF, BSF

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Opamp Sembolü.....	4
Şekil 3.1. Elektronik Sinyaller.....	8
Şekil 3.2. Filtre Devresi.....	8
Şekil 3.3. Elektronik Filtrelerin Sınıflandırılması.....	10
Şekil 3.4. RC'li Pasif Alçak Geçiren Filtre.....	10
Şekil 3.5. Aktif Birinci Dereceden Alçak Geçiren Filtre.....	11
Şekil 3.6. Alçak Geçiren Filtrenin Frekans Cevabı.....	13
Şekil 3.7. Yüksek Geçiren Filtrenin Frekans Cevabı.....	14
Şekil 3. 8. Bant Geçiren Filtrenin Frekans Cevabı.....	14
Şekil 3. 9. Bant Durduran Filtrenin Frekans Cevabı.....	15
Şekil 4.1. Tüm Geçiren Devre	16
Şekil 4.2. Eşdeğer Devre 1	17
Şekil 4.3. Eşdeğer Devre 2	17
Şekil 4.4. Eşdeğer Devre 3	18
Şekil 4.5. 2. Dereceden Alçak Geçiren Devre.....	23
Şekil 4.6. 2. Dereceden Yüksek Geçiren Devre	24
Şekil 4.7. 2. Dereceden Bant Geçiren Devre.....	25
Şekil 4.8. 2. Dereceden Bant Durduran Devre	27
Şekil 4.9. 2. Dereceden Tüm Geçiren Devre.....	28
Şekil 5.1. Sallen Key Alçak Geçiren Dereceden Filtre	30
Şekil 5.2. Sallen Key Bant Geçiren Dereceden Filtre	33
Şekil 6.1. GA Evrimleşme Döngüleri	39
Şekil 6.2. GA Akış Diyagramı	41
Şekil 6.3. Uygunluğun Lineer Ölçeklenmesi	42
Şekil 6.4. Ağaç Kodlama İçin Kromozom Örneği	45
Şekil 6.5. İkili Kodlamada Tek Noktalı Gen Takası	46
Şekil 6.6. İkili Kodlamada Çift Noktalı Gen Takası	46
Şekil 6.7. İkili Kodlamada Tek Biçimli Gen Takası	47
Şekil 6.8. İkili Kodlamada Aritmetik Takası.....	47
Şekil 6.9. Permütasyon Kodlamada Çaprazlama	48
Şekil 6.10. Ağaç Kodlamada Çaprazlama.....	49
Şekil 6.11. Rulet Seçimi.....	51
Şekil 7.1. Bant Geçiren Filtrenin Genlik Cevapları 1 (____ istenen genlik cevabı, ____ en iyi kromozomun genlik cevabı, ____ en kötü kromozomun genlik cevabı).....	55
Şekil 7.2. Bant Geçiren Filtrenin Genlik Cevapları 2 (____ istenen genlik cevabı, ____ en iyi kromozomun genlik cevabı, ____ en kötü kromozomun genlik cevabı).....	57
Şekil 7.3. Bant Geçiren Filtrenin Genlik Cevapları 3 (____ istenen genlik cevabı, ____ en iyi kromozomun genlik cevabı, ____ en kötü kromozomun genlik cevabı).....	58
Şekil 7.4. Bant Geçiren Filtrenin Genlik Cevapları 4 (____ istenen genlik cevabı, ____ en iyi kromozomun genlik cevabı, ____ en kötü kromozomun genlik cevabı).....	60
Şekil 7.5. Bant Geçiren Filtrenin Genlik Cevapları 4 (____ istenen genlik cevabı, ____ en iyi kromozomun genlik cevabı, ____ en kötü kromozomun genlik cevabı).....	61
Şekil 7.6. Bant Geçiren Filtrenin Genlik Cevapları 6 (____ istenen genlik cevabı, ____ en iyi kromozomun genlik cevabı, ____ en kötü kromozomun genlik cevabı).....	63
Şekil 7.7. Bant Geçiren Filtrenin Genlik Cevapları 7 (____ istenen genlik cevabı, ____ en iyi kromozomun genlik cevabı, ____ en kötü kromozomun genlik cevabı).....	64
Şekil 7.8. Bant Geçiren Filtrenin Genlik Cevapları 8 (____ istenen genlik cevabı, ____ en iyi kromozomun genlik cevabı, ____ en kötü kromozomun genlik cevabı).....	67
Şekil 7.9. Bant Geçiren Filtrenin Genlik Cevapları 9 (____ istenen genlik cevabı, ____ en iyi kromozomun genlik cevabı, ____ en kötü kromozomun genlik cevabı).....	68

Şekil 7.10. Bant Geçiren Filtrenin Genlik Cevapları 10 (____ istenen genlik cevabı, ____ en iyi kromozomun genlik cevabı, ____ en kötü kromozomun genlik cevabı).....	70
Şekil 7.11. Bant Geçiren Filtrenin Genlik Cevapları 11 (____ istenen genlik cevabı, ____ en iyi kromozomun genlik cevabı, ____ en kötü kromozomun genlik cevabı).....	71
Şekil 7.12. Bant Geçiren Filtrenin Genlik Cevapları 12 (____ istenen genlik cevabı, ____ en iyi kromozomun genlik cevabı, ____ en kötü kromozomun genlik cevabı).....	73
Şekil 7.13. Bant Geçiren Filtrenin Genlik Cevapları 13 (____ istenen genlik cevabı, ____ en iyi kromozomun genlik cevabı, ____ en kötü kromozomun genlik cevabı).....	74
Şekil 7.14. Bant Geçiren Filtrenin Genlik Cevapları 14 (____ istenen genlik cevabı, ____ en iyi kromozomun genlik cevabı, ____ en kötü kromozomun genlik cevabı).....	76
Şekil 7.15. Bant Geçiren Filtrenin Genlik Cevapları 15 (____ istenen genlik cevabı, ____ en iyi kromozomun genlik cevabı, ____ en kötü kromozomun genlik cevabı).....	77
Şekil 7.16. Bant Geçiren Filtrenin Genlik Cevapları 16 (____ istenen genlik cevabı, ____ en iyi kromozomun genlik cevabı, ____ en kötü kromozomun genlik cevabı).....	79
Şekil 7.17. Bant Geçiren Filtrenin Genlik Cevapları 17 (____ istenen genlik cevabı, ____ en iyi kromozomun genlik cevabı, ____ en kötü kromozomun genlik cevabı).....	80
Şekil 7.18. Bant Geçiren Filtrenin Genlik Cevapları 18 (____ istenen genlik cevabı, ____ en iyi kromozomun genlik cevabı, ____ en kötü kromozomun genlik cevabı).....	82
Şekil 7.19. Bant Geçiren Filtrenin Genlik Cevapları 19 (____ istenen genlik cevabı, ____ en iyi kromozomun genlik cevabı, ____ en kötü kromozomun genlik cevabı).....	83
Şekil 7.20. Bant Geçiren Filtrenin Genlik Cevapları 20 (____ istenen genlik cevabı, ____ en iyi kromozomun genlik cevabı, ____ en kötü kromozomun genlik cevabı).....	85
Şekil 7.21. Bant Geçiren Filtrenin Genlik Cevapları 21 (____ istenen genlik cevabı, ____ en iyi kromozomun genlik cevabı, ____ en kötü kromozomun genlik cevabı).....	86
Şekil 7.22. Bant Geçiren Filtrenin Genlik Cevapları 22 (____ istenen genlik cevabı, ____ en iyi kromozomun genlik cevabı, ____ en kötü kromozomun genlik cevabı).....	88
Şekil 7.23. 6. Dereceden Bant Geçiren Filtre (direnç değerleri k Ω , kondansatör değerleri μ F).....	89

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. İdeal Opamp ve Gerçek Opampın Özellikleri	6
Tablo 6.1. Genetik Algoritma İçin Kontrol Parametreleri	51
Tablo 7.1. 1. Başlangıç Şartları	55
Tablo 7.2. 1. Program Sonuçları	56
Tablo 7.3. 2. Başlangıç Şartları	56
Tablo 7.4. 2. Program Sonuçları	57
Tablo 7.5. 3. Başlangıç Şartları	58
Tablo 7.6. 3. Program Sonuçları	59
Tablo 7.7. 4. Başlangıç Şartları	59
Tablo 7.8. 4. Program Sonuçları	60
Tablo 7.9. 5. Başlangıç Şartları	61
Tablo 7.10. 5. Program Sonuçları	62
Tablo 7.11. 6. Başlangıç Şartları	62
Tablo 7.12. 6. Program Sonuçları	63
Tablo 7.13. 7. Başlangıç Şartları	64
Tablo 7.14. 7. Program Sonuçları	65
Tablo 7.15. 8. Başlangıç Şartları	66
Tablo 7.16. 8. Program Sonuçları	67
Tablo 7.17. 9. Başlangıç Şartları	68
Tablo 7.18. 9. Program Sonuçları	69
Tablo 7.19. 10. Başlangıç Şartları	69
Tablo 7.20. 10. Program Sonuçları	70
Tablo 7.21. 11. Başlangıç Şartları	71
Tablo 7.22. 11. Program Sonuçları	72
Tablo 7.23. 12. Başlangıç Şartları	72
Tablo 7.24. 12. Program Sonuçları	73
Tablo 7.25. 13. Başlangıç Şartları	74
Tablo 7.26. 13. Program Sonuçları	75
Tablo 7.27. 14. Başlangıç Şartları	75
Tablo 7.28. 14. Program Sonuçları	76
Tablo 7.29. 15. Başlangıç Şartları	77
Tablo 7.30. 15. Program Sonuçları	78
Tablo 7.31. 16. Başlangıç Şartları	78
Tablo 7.32. 16. Program Sonuçları	79
Tablo 7.33. 17. Başlangıç Şartları	80
Tablo 7.34. 17. Program Sonuçları	81
Tablo 7.35. 18. Başlangıç Şartları	81
Tablo 7.36. 18. Program Sonuçları	82
Tablo 7.37. 19. Başlangıç Şartları	83
Tablo 7.38. 19. Program Sonuçları	84
Tablo 7.39. 20. Başlangıç Şartları	84
Tablo 7.40. 20. Program Sonuçları	85
Tablo 7.41. 21. Başlangıç Şartları	86
Tablo 7.42. 21. Program Sonuçları	87
Tablo 7.43. 22. Başlangıç Şartları	87
Tablo 7.44. 22. Program Sonuçları	88

SEMBOLLER LİSTESİ

Hz	: Hertz
kHz	: Kilohertz
kΩ	: Kiloohm
μF	: Mikrofarad
dB	: Desibel
R	: Direnç
C	: Kondansatör
t	: Zaman
f	: Frekans
f_c	: Kesim Frekansı
Q	: Kalite faktörü
B	: Bant genişliği
K	: Kazanç
X_C	: Kapasitif reaktans
X_L	: İndüktif reaktans
k_i	: Genlik ölçekleme katsayısı
k_f	: Frekans ölçekleme

KISALTMALAR LİSTESİ

AGF	: Alçak Geçiren Filtre
YGF	: Yüksek Geçiren Filtre
BGF	: Bant Geçiren Filtre
BDF	: Bant Durduran Filtre
TGF	: Tüm Geçiren Filtre
GA	: Genetik Algoritma
U	: Uygunluk
ÖU	: Ölçeklenmiş Uygunluk
KS	: Kopya Sayısı

1.GİRİŞ

Elektronik devrelerde bazı frekans bölgelerini süzen devrelere gerek duyulur. Frekans bölgesini süzen bu devrelere filtre denir. Filtre devrelerinde özelliği frekansa bağlı olan devre elemanlarının kullanılması gerektiği açıktır. Bir elektronik devreden alınmak istenen sinyale farklı frekanstaki sinyallerin karışması durumunda istenen sinyalin elde edilebilmesi için karışan frekansların durdurulması gerekmektedir. Bu durumu tam olarak gerçekleştirmek mümkün olmasa da ideale yakın bir sonuca ulaşılabilmektedir. Devreler pasif direnç, kondansatör, indüktans kullanılarak gerçekleştirilebildiği gibi aktif devre elemanları opamp, transistör vb. ve direnç, kondansatör kullanılarak da gerçekleştirilebilir. Ancak düşük sayılan frekanslarda kullanılan bobinlerin endüktansı çok büyük olacak, maliyet artacak ve düzenin kapladığı alan büyüyecektir. Opamplar, pasif filtrelerin indüktans devre elemanının olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak engellemek aktif filtrelerde kullanılmaktadır.

Belirli bir filtre fonksiyonunu sağlayan aktif filtreleri değişik biçimlerde gerçekleştirmek mümkündür. Gerçekleştirilen devrede kullanılan eleman sayısı seçilen devre biçimine bağlıdır. Eleman sayısının devre maliyeti üzerinde etkili olacağı açıktır. Filtre özelliklerini belirleyen büyüklüklerin devrede kullanılan elemanlara olan duyarlılığı, devrenin biçimine bağlıdır. Filtre dar toleranslı olarak gerçekleştirilmek istendiğinde duyarlık terimleri küçük olan devreler seçilir. Böyle bir devrede kullanılan kuvvetlendirici sayısı birden fazla olabilir.

Aktif filtrelerin tasarımında bir devre modeline göre devredeki eleman değerlerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. [1] Bu devrelerde genellikle opamp, kondansatör, direnç gibi devre elemanları bulunmaktadır. Bu elemanların değerleri standart seri değerlerde seçilerek davranışları belirlenmektedir. [2] Bir çok çalışmada devre eleman değerleri eşit ya da birbirlerinin katları olacak şekilde seçilerek tasarımlar yapılmıştır. Bu durumda tasarımcıyı sadece belirli elemanları kullanmaya zorlayarak alan daraltılmış olmaktadır. Eleman değerlerinin farklı olduğu durumlarda da çözümlere ulaşılması işlem karmaşasına ve zaman yükü problemine ortaya getirmektedir. Bunu ortadan kaldırmak amacıyla sezgisel yöntemler kullanılmıştır.

İnsanlar bir çok olayda doğadaki canlıları inceleyerek onlardan ilham almıştır. Genetik algoritmalar doğada bulunan canlıların değişim ve evrimler süreçlerini göz önünde bulundurup bu durumu bilgisayar ortamına aktararak problem çözmeyi amaçlamaktadır. Geleneksel yöntemlerle çözülmesi çok zor olan problemler genetik algoritma kullanarak

başarılı sonuçlar elde edilebilmektedir. Genetik algoritmalar en iyinin hayatta kalması gerektiği prensibine göre işlem yapmaktadır. Buna göre öncelikle rastgele değerlerden oluşan başlangıç değerleri üretilir. [3] Sonra kromozomların hepsinin uygunluk değerleri hesaplanır. Ardından kromozomlar kopyalama tekniğiyle kendisini sonraki nesillerde bulundurarak optimum sonuca ulaşılır. Bu çalışmada da genetik algoritma kullanarak devre eleman değerleri belirlenip klasik yöntemlerdeki zorluklar ortadan kaldırılmıştır. Ve bu zorlukları ortadan kaldırıp filtre tasarımı yapmak amacıyla karınca koloni algoritması, yapay sinir ağları, parçacık sürü algoritması, yapay arı kolonisi, farksal gelişim algoritması, tabu araştırma algoritması kullanılarak yapılan çalışmalar mevcuttur.

Yapılan bir çalışmada, aktif analog filtre tasarımını kolaylaştırmak amacıyla bir bilgisayar programı yazılmıştır. Bu program kullanıcıdan devrenin sağlaması gereken özellikleri sorar. Filtrenin geçirme, durdurma frekansları, durdurma ve geçirme bandı dalgalanması ve hangi yaklaşımın kullanılacağı belirtilir. Seçilmiş olan filtre yaklaşımına bağlı olarak kullanıcının girmiş olduğu özellikleri sağlayacak filtre derecesi hesaplanır. Bu derecenin tek ya da çift olmasına göre kutupları bulunmaktadır. Ve bu kutupların değerine göre transfer fonksiyonu bulunmaktadır. Seçilen devrenin filtre türüne göre uygun dönüşüm denklemleri kullanıp normalize edilmiş transfer fonksiyonu bulunmaktadır. Bu program aracılığıyla eleman değerlerinin elle hesaplamanın zorluğu ortadan kaldırılmıştır. Bu çalışma, sezgisel algoritma ile filtre katsayılarının hesaplanmasına taban oluşturmuştur. [4]

Yapılan bir diğer çalışmada, analog devre tasarımında standart üretilen eleman değeri geleneksel yaklaşımla belirlenen eleman değerleriyle tam örtüşmemektedir. Bu nedenle bir sapma oluşmaktadır. Bu sapmayı ortadan kaldırmak amacıyla insanoğlunun zeki problem çözme yeteneğini temel alan, ayrık optimizasyon problemleri çözümü için geliştirilen tabu araştırma algoritmasına dayalı yeni bir yaklaşımın kullanılabileceği vurgulanmıştır. Bu algoritma ile geleneksel yaklaşıma göre daha az hata içeren tasarımlar gerçekleştirilebilmektedir. [5]

Yapılan başka bir çalışmada aktif analog filtrelerin istenen özelliklerdeki tasarımına göre eleman sayılarının artmasıyla yapılacak olan filtre tasarımı zorlaşmaktadır. Bunu önlemek amacıyla hesap zorluğunu ortadan kaldıracak, istenen özellikleri sağlayıp, filtrenin yapacağı işin aynısını yapan blok yapay sinir ağı yardımıyla yapılmıştır. Çalışmada aktif analog filtreler yapay sinir ağıyla modellenmiştir. [6] Yapılan farklı bir çalışmada analog elektronik devrelerin tasarımında yaygın olarak ayrık pasif eleman değerleri standart serilerdeki elemanlardan seçilir. Standart seri değerleri, gerçekleştirilen tasarımdaki değerlerle çoğu zaman tam örtüşmemektedir. Bu durumda da tasarım sapması meydana gelmektedir. Bu

sapmayı en aza indirebilmek amacıyla eleman değerlerinin seçilmesinde doğal optimizasyon yöntemlerinden olan, tabiatta bulunan karıncaların yön, yiyecek arayıp bulma davranışları dikkate alınmasıyla gerçekleştirilen karınca koloni optimizasyon algoritması bu alana uygulanmıştır. Bu yöntemle ideale yakın tasarımların gerçekleştirilebileceği sonucunu varılmıştır. [7]

Hesaplama yöntemlerinden olan farksal gelişim algoritması, parçacık sürü optimizasyonu ve yapay arı kolonisi alçak geçiren filtreye uygulanarak sonuçları gözlemlenmiştir. Bu sonuçlara göre bu filtre için parçacık sürü optimizasyon algoritması ile daha etkin, verimli parametre değerleri elde edildiği sonucuna varılmıştır. [8] Alçak geçiren filtre için transfer fonksiyon katsayılarını optimize etmek için parçacık sürü optimizasyonu ve bununla birlikte yapay arı kolonisi algoritmaları kullanılmıştır. Yapay arı kolonisi ve parçacık sürü optimizasyonu algoritmalarından elde edilen değerlere göre transfer karakteristiklerinin hata değerinin birbirine çok yakın olduğunu göstermiştir.[9]

Genetik algoritma kullanılarak bir çok tasarım gerçekleştirilmiştir. Analog süzgeçlere uygulanan bilineer dönüşümde bu yöntem kullanılarak sonsuz dürtü yanıtı sayısal süzgeç tasarlanmıştır. [10]

Butterworth IIR sayısal filtrelerin tasarımı için istenen özellikleri sağlayan devrenin artan derecesine bağlı kalmaksızın genetik algoritma kullanarak hesap işlemlerini ortadan kaldıran bir çalışma yapılmıştır. [11] Farklı bir çalışma olarak tercih edilen pencere fonksiyonları için Kaiser ve Ultraspherical pencerelerinin iyi özelliklerini bir arada bulunduran genetik algoritma kullanılarak yeni bir pencere fonksiyonu tasarlanmıştır. Bu pencere fonksiyonu kullanılarak gerçekleştirilen FIR filtre tasarımı, yaygın olarak tercih edilen diğer pencereler tarafından tasarlanan filtrelerin spektral parametrelerinden daha iyi özelliklere sahip olduğunu gösterilmiştir. [12] Aktif filtre tasarımını kolaylaştırmak için filtrenin istenen özelliklerini sağlayacak transfer fonksiyonunu kolay bir şekilde hesaplamak amacıyla devrenin eleman değerlerini bulmak için genetik algoritma yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle hesaplama zorlukları ortadan kaldırılmıştır. [13]

2. İŞLEMSEL YÜKSELTEÇLER

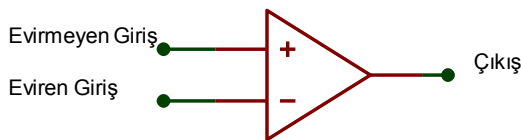
İşlemsel yükselteçler (amplificatör), “OPAMP” olarak bilinip bu isimle adlandırılırlar. Elektronik endüstrisinde üretilen ilk tüm devre (Integrated circuits=IC’s) bir opamptır. Daha sonra farklı firmalar aracılığıyla farklı tip kodlu opamplar üretilerek kullanıcılara sunulmuştur. [14]

Opamp’lar; frekans sınırları geniş tutularak girilen işaretleri yükseltmek amacıyla dizayn edilmiş, direkt eşlemeli olup yüksek kazançla sahip gerilim yükselteçleridir. Opamplar bir çok kullanım alanına sahiptir. Bunlardan bazıları; süreç denetimi, haberleşme alanları, test ölçü sistemleri, gösterge düzenleri, bilgisayar, güç ve işaret kaynakları. [15]

Bir işlem yükseltecinin doğru akımları işleme niteliği vardır. Örneğin, bir adım fonksiyonun uygulamasından sonra beliren cevap (çıkış) fonksiyonu. Yükselteç burada gerilim yükselteci gibi düşünülmüştür. Gerilim kazancı (çıkış geriliminin giriş gerilimine oranı) 10^{14} mertebelerine varabilir ve işaret değişikliği öngörülmüştür. Giriş fonksiyonlarının dalga şekillerinin yüksek frekans bileşenlerini zayıflatmayacak veya faz kaymasına sebep olmayacak bir frekans bandı genişliğine sahip olması gerekir. Yükseltecin ilk katının çektiği akım ihmal edilir derecede, örneğin 10^{-14} A seviyesinde olmalıdır. Giriş akımının çok küçük olması yükseltecin çok yüksek giriş empedansı olmasını gerektirir. [16]

2.1. Opamp Sembolü

Opamp iki tane giriş bir tane çıkış terminaline sahip olan bir elektronik devre elemanıdır. Opamplar giriş terminallerinin fonksiyonlarından dolayı, eviren ve evirmeyen giriş olarak tanımlanmıştır. Standart bir opampın sembolü Şekil2.1.’de gösterilmiştir.



Şekil 2. 1. Opamp Sembolü [14]

2.2. Opamp Özellikleri

İdeal bir işlemsel kuvvetlendirici gerilim kazancı sonsuz, giriş empedansı sonsuz, çıkış empedansı sıfır, bant genişliği sonsuz olan ve osilasyon tehlikesi olmaksızın istenildiği kadar negatif geri besleme uygulanabilen kuvvetlendiricidir. Pratikte ideal işlemsel kuvvetlendiriciyi gerçekleştirme olanağı bulunamaz. Ancak ideal olan şartlara ne kadar yaklaştırılırsa, gerçekleştirilen işlemsel kuvvetlendiricinin de o derece iyi bir işlemsel kuvvetlendirici olacağı açıktır. [17]

Hangi tip olursa olsun herhangi bir elektronik elemanın ideal gösterimi ile başlamak ve daha sonra daha gerçeğe yakın elemanlarla devam etmek daha doğru olacaktır. Bazı durumlarda pratik ve ideal elemanlar birbirinden o kadar farklı olabilir ki bu yaklaşımın akıllıca olduğu konusunda şüpheye düşülebilir. Bu yüzden ideal modelin analiz metodu, teknolojiyi anlamak, yeni devre tasarımlarını öğrenmek ve ya başka birinin yaptığı devrelerin çalışmasını anlamak bakımından oldukça faydalı olmaktadır.

İdeal işlemsel yükselteç bir çok özellik ile tanımlanır. Bu özellikler aşağıda gösterilmiştir.

- 1.Sonsuz açık çevrim kazancı
- 2.Sonsuz giriş empedansı
- 3.Sıfır çıkış empedansı
- 4.Sıfır gürültü etkisi
- 5.Sıfır D.C. çıkış dengesizlik (offset) akım ve gerilim değerleri
- 6.Maksimum band genişliği [18]

İdeal opamp ve gerçek bir opampın özellikleri tablo 2.1'de gösterilmiştir. [19]

Tablo 2.1. : İdeal opamp ve gerçek opamp'ın özellikleri[19]

Özellik	İdeal Opamp	Gerçek Opamp
Giriş Direnci	Sonsuz	Yüksek ($\geq 1M\Omega$)
Çıkış Direnci	Sıfır	Düşük ($< 500\Omega$)
Açık Çevrim Gerilim Kazancı	Sonsuz	Çok büyük ($\geq 10^4$)
Açık Çevrim Bant Genişliği	Sonsuz	Etkin Kutup (10-100 Hz)
Ortak Mod Zayıflatma Oranı	Sonsuz	Yüksek (70 dB)
Giriş Kutuplama Akımları	Sıfır	Düşük ($< 0,5\mu A$)
Ofset Gerilim Ve Akımları	Sıfır	Düşük ($< 10mV, < 0.2nA$)
Sıcaklıkla Karakteristik Değişimi	Değişmez	Az ($5\mu V/0C, 0,1nA/0C$)
Giriş Grilimi $v_1=v_2$ ise	$v_0=0$	$v_0 \neq 0$ olabilir
Besleme Gerilimi		$\pm 5V \dots \dots \pm 15V$
Maksimum Çıkış Akımı		20 mA

Opamplar kullanılarak gerçekleştirilen bir çok filtre devreleri bulunmaktadır.

3. FİLTRE DEVRELERİ

Pratikte direnç, kapasitans ve indüktans bulunduran devrelerin vereceği tepkiler önemli bir sahayı oluşturmaktadır. Verilen bu tepkilerin istenilen özelliklere göre devre tasarımları filtre tasarımları olarak isimlendirilir. Genel olarak filtre devresini; elektrik sinyallerini belirli frekanslarda serbestçe geçiren, diğer frekanslarda ise az ve ya çok zayıflatarak kısmen ya da daha büyük çapta bloke eden bir elektrik devresi olarak tanımlanabilir. Genel olarak filtre, farklı frekanslara sahip sinyallerden bazılarını geçirip bazılarını ise bastıran bir devredir. Filtre devrelerinde elektrik sinyallerin geçmesine izin verilen frekans aralığı iletim bandı ya da frekans bandı olarak adlandırılır. [20]

Belirli bir filtre fonksiyonunu sağlayan aktif filtreleri farklı şekillerde gerçekleştirmek mümkündür. Gerçekleştirilen elektronik devrede kullanılan eleman sayısı seçilen devre biçimine bağlıdır. Eleman sayısını devre maliyeti üzerinde etkilidir. Filtre özelliklerini belirleyen büyüklüklerin devrede kullanılan elemanlara olan duyarlılığı, devrenin biçimine bağlıdır. Filtre dar toleranslı olarak gerçekleştirilmek istendiğinde duyarlık terimleri küçük olan devreler seçilir. Böyle bir devrede kullanılan kuvvetlendirici sayısı birden fazla olabilir.

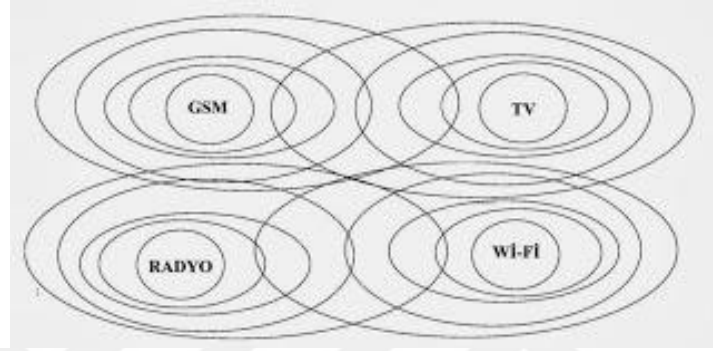
Aktif filtrelerin en çok kullanım alanı bulduğu bölgelerden biri ses frekans bölgesidir. Bu bölge için gerçekleştirilen devreler, özel durumlar dışında toleransları çok dar olmayan düzenlerdir. Kullanılan filtrenin ikinci dereceden olması istenilene çok kere yetecektir. Bu özelliklere bakıldığında devrenin ekonomik olması öne çıkacaktır. Bu özellikler göz önüne alındığında, kullanılan aktif filtrelerin tek kuvvetlendirici kullanılarak gerçekleştirilen ikinci dereceden filtreler olması gerekmektedir.

İkinci dereceden ve tek kuvvetlendirici kullanılarak gerçekleştirilen filtreler için birçok devre modeli vardır. Bu modeller kullanılan kuvvetlendiricinin kazanç durumuna göre iki ana gruba ayrılır. Bu grubun birincisinde gerilim kazancı çok büyük, ikincisinde kazanç sınırlı bir değerde olacaktır. Büyük kazanç değerli kuvvetlendirici kullanılan model için çok geri beslemeli (Multifeedback) ve ya Bridgman ve Brennan devresi olarak bilinen aktif filtre devresi, kazancı sınırlı kuvvetlendirici modeli için Sallen-Key filtreleri vardır. [21]

3.1. Filtre Kullanım Amaçları

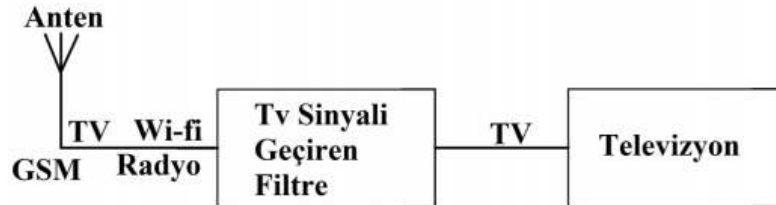
Filtre devreleri belirlenen bir frekans aralığında istenilen gecikme ve ya zayıflamayı sağlayan haberleşme sistemlerinin önemli elemanlarındanıdır.

Haberleşme sistemlerinin neredeyse tamamında kullanılan filtreler, belirlenen frekans aralığını geçirip, geri kalan frekansları zayıflatmak için kullanılır.[22]



Şekil 3. 1. Elektronik sinyaller[22]

Şekil 3.1'de bakıldığında havada bir çok elektronik sinyaller bulunmaktadır. Bu durum sinyal karmaşasına sebebiyet vermektedir. Elektronik cihazlar tanımlı bir frekans ile çalışmaktadır. Geri kalan sinyaller sistemleri ve ya cihazları etkileyip olumsuz sonuçlara neden olmaktadır. Bu durumu düzenlemek için şekil 3.2'deki gibi filtre devreleri kullanılmaktadır. Bu açıklanacak olursa antenden gelen elektriksel sinyaller filtre devresine girerek televizyon için gerekli sinyalleri geçirerek, bu sinyalleri sisteme iletilip sisteme iletilmektedir. [22]



Şekil 3. 2. Filtre devresi[22]

3.2. Filtrelerin Kullanım Alanları

Filtrelerin kullanım alanına değinecek olursak; gürültü azaltmak için, rezonanstan kaçınmak ya da oluşturmak için, doğru bileşenleri süzmek için, güç faktörü düzeltmek için ve işaret biçimlendirmek ve zayıflatma amacıyla kullanılmaktadır.

Elektrik elektronik sistemlerinde büyük bir öneme sahip olan filtreler veri haberleşmesi, televizyon, radyo, resim, ses, sismoloji, beyin dalgaları, tıbbi elektronik, uzaktan ölçüm, jeofizik, hi-fi sistemler, kuranportörlerde vb. alanlarda gereklidir. Örnek verilecek olursa telefon devreleri filtre olmadan gerçekleştirilemez. Bu sebepten filtre devreleri haberleşme sistemlerinde de kullanılan büyük öneme sahiptir. [23]

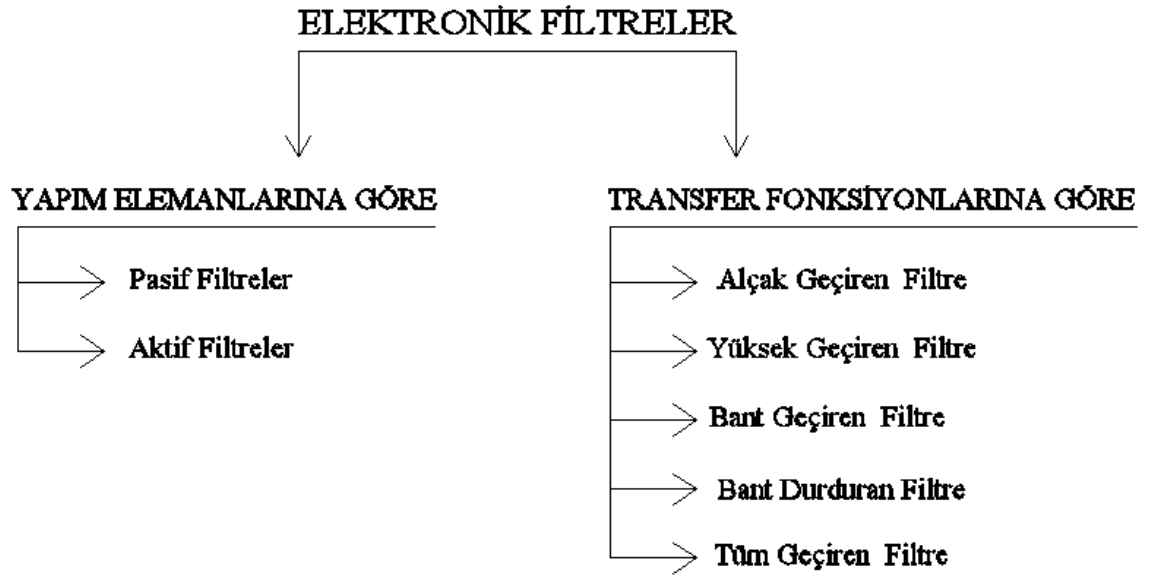
3.3. Filtrelerin Sınıflandırılması

Sinyaller çok çeşitli olduğu için elektrik-elektronik sistemlerinde bu fazla olan sinyallerin ayıklanması gerekmektedir. Bunun için farklı filtre türleri vardır. Ve bu filtrelerin gruplandırılmasında farklı ölçütler vardır. [23]

Filtreler şekil 3.3'te görüldüğü üzere yapım elemanlarına ve transfer fonksiyonlarına göre iki bölüme ayrılırlar. İki bölümden olan yapım elemanlarına göre ise pasif filtreler ve aktif filtreler olarak iki gruba ayrılır.

Pasif filtreler direnç, kondansatör ve bobin gibi devre elemanlarından meydana gelir. Aktif filtreler ise bundan farklı olarak güç kaynağı, opamp ve ya mikroişlemci bulundurlar. Fakat bu devrelerde de süzme işini pasif elemanlar yapmaktadır.

Transfer fonksiyonuna göre filtreler; alçak geçiren filtreler, bant geçiren filtreler, yüksek geçiren filtreler, , bant durduran filtreler ve tüm geçiren filtreler olarak olmak üzere 5 grupta incelenilirler. Alçak geçiren filtreler belirlenen frekans değerinin altındaki sinyalleri geçirirken, yüksek geçiren bu değer üstündekileri geçirmektedir. Eğer belirlenen frekans aralığındaki sinyalleri geçirirse bant geçiren, bu belirlenen aralıktaki frekansları bastırırsa bant durduran devredir.



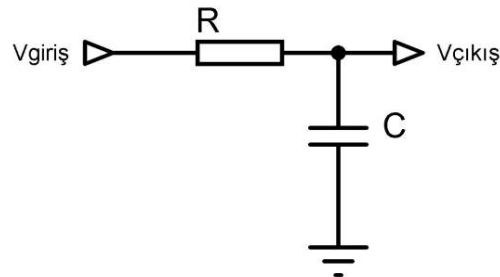
Şekil 3. 3. Elektronik filtrelerin sınıflandırılması[23]

3.3.1.Yapım Elemanlarına Göre Sınıflandırma

3.3.1.1.Pasif Filtreler

Bu devrelerde kullanılan devre elemanları direnç, kapasite, bobindir. RC devrelerinin transfer fonksiyonu oluşturulduğunda köklerin reel olduğu görülür. LC devrelerinde ise büyük kalite faktörü elde edilebilir. Fakat düşük frekans değerlerinde bobin indüktansı büyük olması gerekeceğinden devrenin maliyeti artarak kapladığı alanda büyümektedir. Bu sebepten dolayı düşük frekans değerlerinde aktif filtreler daha fazla kullanılmaktadır.

100 kHz'den daha küçük olan yani düşük frekans olarak adlandırılan filtre devrelerinde pasif filtreler genellikle direnç kondansatör elemanlarından oluşur. 100 kHz'den daha büyük olan yüksek frekans değerlerinde ise çoğu zaman direnç,kondansatör ve bobin bulunmaktadır.[23] R ve C elemanlarının bağlanmasıyla oluşan pasif alçak geçiren devre şekil 3.4'de gösterilmiştir.



Şekil 3. 4. RC pasif alçak geçiren filtre[23]

Kondansatörü reaktansı frekans değeri ile ters orantılı olarak değişmektedir. Düşük frekans istenilen devrelerde kondansatörün kapasitif reaktans değeri X_c , direncin değerine göre büyük olmaktadır. Bu durumda kondansatörün gerilimi V_c , direncin gerilim değeri V_r 'den daha büyük olur. Yüksek frekans değerlerinde ise bu durumun tersi gerçekleşmektedir. Kondansatörün gerilimi direnç geriliminden küçük olmaktadır.

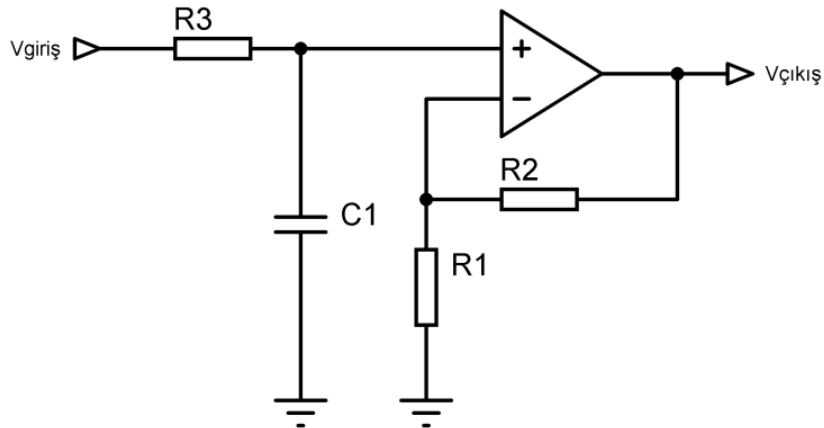
3.3.1.2. Aktif Filtreler

Bir opamp, transistör gibi aktif devre elemanı yardımıyla oluşturulan filtrelerdir. Bir aktif filtre çoğu zaman frekans seçici geri besleme devresi ve bir opamptan oluşur. Opampın frekans cevap eğrisini frekans seçici geri besleme kısmı belirler.

Aktif filtre devrelerinin çıkış empedansı çok düşük olmakla beraber, giriş empedansı oldukça yüksektir. Bu sebepten dolayı, aktif filtrelerin girişlerine ve ya çıkışlarına bağlanacak devre ya da devre elemanları etkilenmezler.

Pasif filtreler besleme gerilimine gerek duymazken aktif filtrelerin her zaman besleme gerilimine ihtiyaç duymaktadırlar.

Şekil 3.5'te aktif alçak geçiren filtre devresi verilmiştir. Aktif alçak geçiren filtrenin çalışma prensibi pasif filtrelerle aynıdır.. Aktif filtrenin verim kontrolü ve yükselteç için opamp kullanılması arada fark oluşturmaktadır. Pasif alçak geçiren filtreye seri olarak opampın bağlanmasıyla aktif alçak geçiren filtre oluşur. Pasif filtrelerin çıkış sinyal genliğinin giriş sinyal genliğinden küçük olması büyük bir dezavantaj oluşturmaktadır. Aktif filtrelerde ise filtrenin geçirgen olduğu frekanslar değerlerinde bir zayıflatma olmaz. Burada kullanılan opamp filtre edilen sinyalleri yükseltip çıkışa gönderir.



Şekil 3. 5. Aktif birinci dereceden alçak geçiren filtre[23]

3.3.1.3.Aktif Filtreler İle Pasif Filtrelerin Karşılaştırılması

Aktif ve pasif filtrelerin özellikleri aşağıda verilmiştir. [24]

1.Aktif filtrelerde bir çok elektronik devrede barındırılması zor olan indüktanslar gerekli değildir. Bu nedenle tasarımı kolay ve ucuzdur.

2.Aktif filtrelerde, belirlenen frekans değerine göre geçirgen olunan frekans değerlerinde bir zayıflatma olmaz. Çünkü burada kullanılan opamp devre elemanı, filtre edilen sinyalleri yükseltip çıkışı gönderebilir.

3.Aktif filtrelerde giriş ile çıkış arasında çok iyi bir yalıtım vardır. Bundan dolayı aktif filtreler birbirlerini etkilemeden art arda bağlanabilme özelliğine sahiptir.

4.Aktif filtrelerin çıkış empedansı çok düşük olup giriş empedansı oldukça yüksektir. Bu özellik aktif filtrelerin girişlerine ya da çıkışlarına bağlanacak devre ya da devre elemanlarının etkilenmemesi özelliği kazandırır.

5.Maliyet açısından değerlendirildiğinde aktif filtreler daha avantajlıdır. Aktif filtreler düşük frekanslı pasif filtreler için gerekli olan büyük indüktans ve kapasitörlere duyulan ihtiyacı ortadan kaldırır.

6.Pasif filtreler bir besleme gerilimine gereksinim duymazken aktif filtrelerin besleme gerilimine ihtiyaçları vardır.

7.Aktif filtre devrelerinde tercih edilen opamp devre elemanının band genişlikleri sınırlı olduğundan her frekans değerinde aktif filtre tasarlamak güçleşmektedir.

8. Aktif filtrelerin küçük ve hafif olmaları en önemli avantaj durumunu oluşturmaktadır. Filtre karakteristiğinin keskinliğini belirleyen kalite faktörü ile kutup frekansı ters orantılı olup dolayısıyla optimum bir çözümün bulunması mümkündür. Parazitleri düşüktür. Çünkü boyutları küçük, güvenilirlikleri yüksek, seri üretim nedeniyle ucuzdur. Bununla beraber aktif elemanın sonlu band genişliğine sahip olması nedeniyle erişilebilecek kutup frekansları sınırlıdır. Aktif filtrelerde, karakteristiklerinin eleman değerlerindeki değişimlere duyarlılığı daha yüksek olup aktif eleman bulunması nedeniyle ayrıca bir besleme devresi gerekmektedir.

3.3.2.Transfer Fonksiyonlarına Göre Sınıflandırma

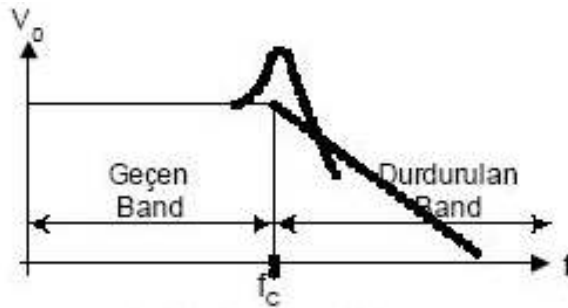
Filtre devreleri; alçak geçiren filtre, bant geçiren filtre, yüksek geçiren filtre, bant durduran filtre ve tüm geçiren filtreler olmak üzere 5 ana başlıkta tanımlanacaktır. [20]

Filtre devrelerinde sinyalin iletiildiği frekans aralığı olan geçen band, sinyalin zayıflatılmış aralığına ise durdurulan ya da söndürülen band denir. Alçak geçiren filtre karakteristiğine bakılacak olursa kesim frekansı olan f_c altında bulunan frekans değerlerini geçirirken bu değerin üstündeki frekansları durdurur ya da zayıflatır. Bu filtrede köşe frekans değerine kadar çıkış geriliminde (V_o) zayıflama yoktur, sabittir. Bu değerden sonra çıkış işaretinde belirli bir eğimle zayıflama görülmektedir. Şekil 3.6'da kalın çizgi ile bu durum gösterilmiştir. Düz çizgi ideal filtreyi göstermektedir. Burada belirtilen kesim frekansı olan f_c , 0.707 frekansı, -3 dB frekansı ya da kesim frekansı olarak adlandırılmaktadır.

Yüksek geçiren filtrenin karakteristiğine bakılırsa kesim frekansı olan f_c üstünde bulunan frekansları geçirirken bu değerin altındaki frekansları durdurur ya da zayıflatır. Band geçiren filtre de belirlenen band içerisindeki frekansları geçirirken diğer frekansları durdurur ya da zayıflatır. Band durdurulan filtre, belirlenen frekans değerleri dışındaki frekans değerlerini geçirir. Tüm geçiren filtreler ise tüm frekans bandını geçirir.

3.3.2.1. Alçak Geçiren Filtre

Bu tip filtre devreleri, ideal durumda sıfırdan başlamak üzere belirli bir f_c frekansına kadar olan tüm frekanslarda a.c. sinyalleri herhangi bir zayıflatmaya tabi tutmadan geçiren devrelerdir. Ancak bu tip filtre devreleri kesim frekanslarından büyük frekanslarda ($f > f_c$) sinyal iletimine izin vermez.

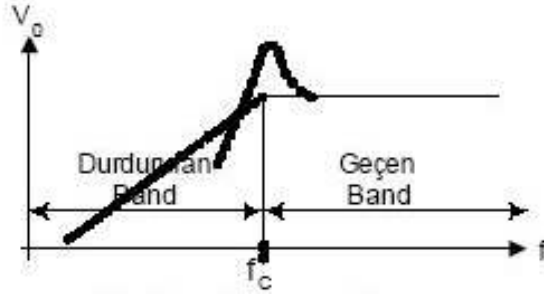


Şekil 3. 6. Alçak geçiren filtrenin frekans cevabı[23]

3.3.2.2. Yüksek Geçiren Filtre

Bu filtre tipleri, ideal durumda belirli bir f_c kesim frekansı ile sonsuz büyüklükteki frekanslara kadar olan tüm frekans bandında, herhangi bir zayıflatma olmaksızın elektrik

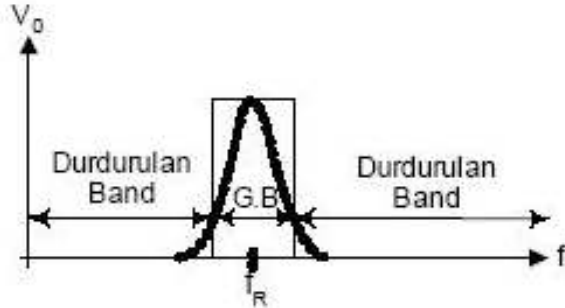
sinyallerinin iletilmesine izin verirler. Fakat 0'dan başlayıp f_c frekansına kadar olan tüm sinyalleri de tamamen durdururlar.



Şekil 3. 7. Yüksek geçiren filtrenin frekans cevabı[23]

3.3.2.3.Bant Geçiren Filtre

İdeal durumda f_{c1} ve f_{c2} gibi belirli iki frekans arasında kalan iletim bandının tamamında bir zayıflatma olmadan sinyallerin geçmesine izin veren fakat diğer tüm frekanslardaki sinyalleri sönmleyen filtrelerdir.

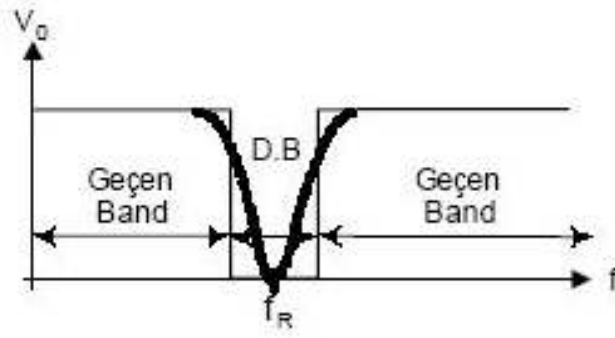


Şekil 3. 8. Bant geçiren filtrenin frekans cevabı[23]

3.3.2.4.Bant Durduran Filtre

İdeal durumda bu filtreler f_{c1} ve f_{c2} gibi iki frekans arasında kalan belirli bir frekans bandında sinyalleri tamamen zayıflatırlar. Ve sinyal geçişlerine izin vermezler. Ancak söz konusu frekans bandının dışındaki bütün diğer frekanslarda zayıflama söz konusu olmadığından sinyal iletimi gerçekleşir.

İdeal durumlar için yapılan tanımların aksine geçiren bantlarda işaretler tamamen değil de az bir zayıflatmaya uğrayarak iletilir. Durduran bantlarda ise işaretler tamamen engellenemez ancak büyük miktarda zayıflamaya uğrayarak iletilirler.



Şekil 3. 9. Bant durduran filtrenin frekans cevabı[23]

3.3.2.5 .Tüm Geçiren Filtre

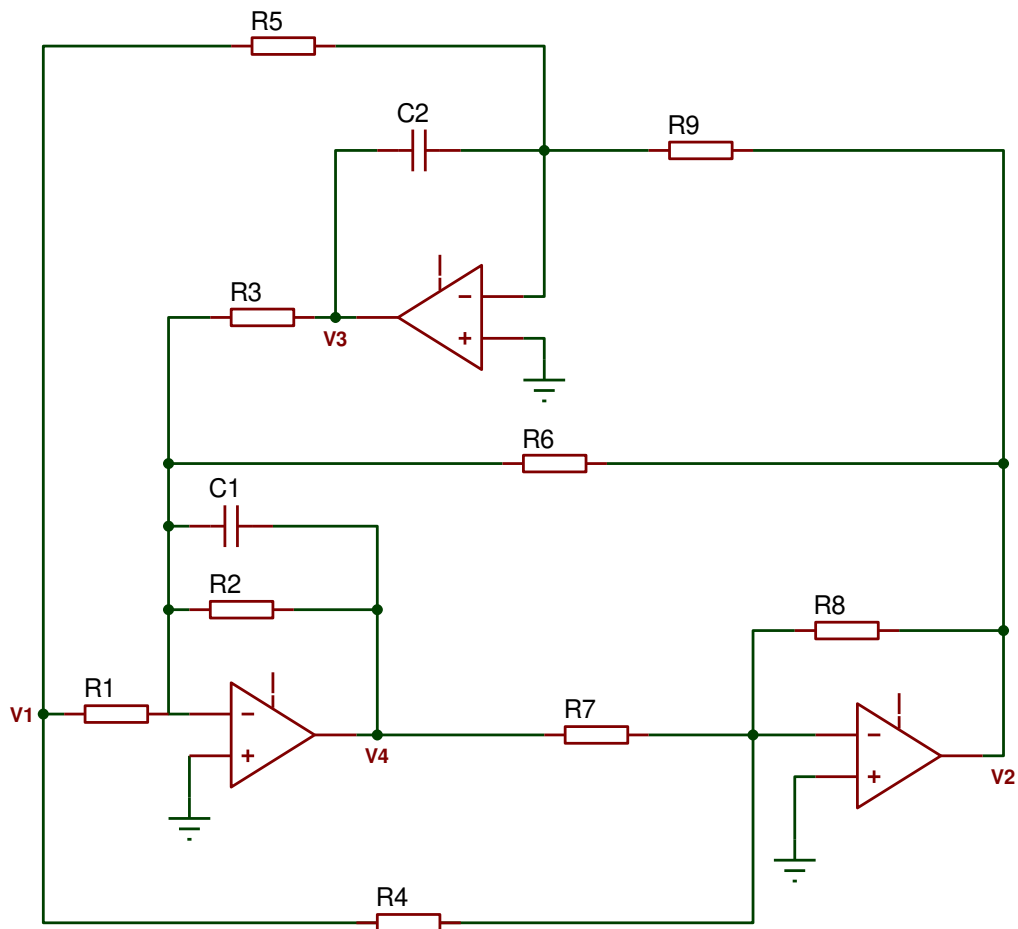
İdeal durumda bu filtreler tüm frekans bandındaki sinyalleri geçirirler. Bu filtreler genliği değiştirmeden faz kaydırmak için kullanılırlar. Bu durumda filtrenin faz cevabına bakılır.

4. ÇOK AMAÇLI DEVRE

Şekil 4.1'de gösterilen devrenin transfer fonksiyonu $H(s)$ aşağıdaki gibidir.

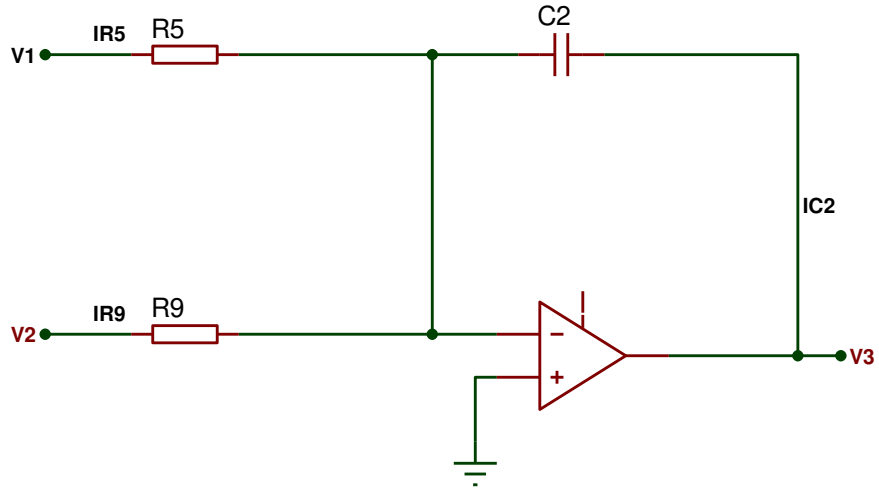
$$H(s) = \frac{V_2(s)}{V_1(s)} = -\frac{cs^2+ds+e}{s^2+as+b} \quad (4.1)$$

a, b, c, d, e katsayıları reel katsayılar olup $a, b > 0$ 'dır. [25]



Şekil 4. 1. Çok amaçlı devre [25]

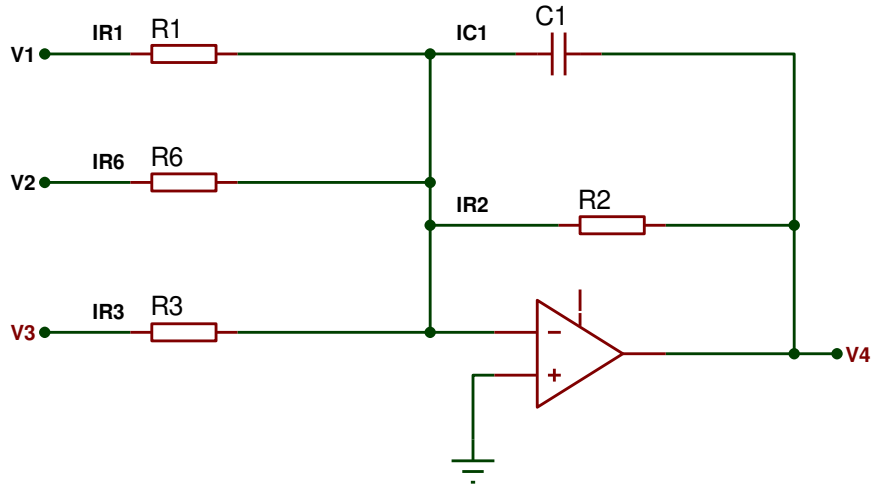
Şekil 4.1 de verilen devrenin transfer fonksiyonunu bulabilmek için aşağıdaki işlemler yapılmalıdır.



Şekil 4. 2. Eşdeğer Devre1

$$I_{R5} + I_{R9} = I_{C2} \quad (4.2)$$

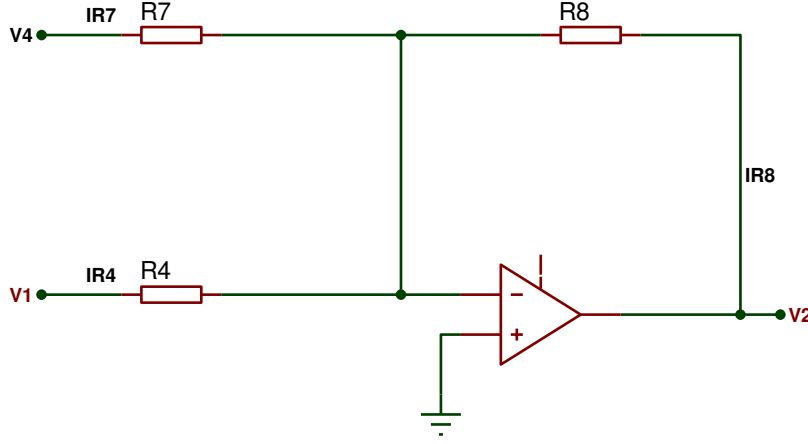
$$V_1 G_5 + V_2 G_9 = -V_3 s C_2 \quad (4.3)$$



Şekil 4. 3. Eşdeğer Devre2

$$I_{R1} + I_{R6} + I_{R3} = I_{C1} + I_{R2} \quad (4.4)$$

$$V_1 G_1 + V_2 G_6 + V_3 G_3 = -V_4 (G_2 + sC_1) \quad (4.5)$$



Şekil 4. 4. Eşdeğer Devre3

$$I_{R7} + I_{R4} = I_{R8} \quad (4.6)$$

$$V_4 G_7 + V_1 G_4 = -V_2 G_8 \quad (4.7)$$

Denklem 4.3 'den V_3 'ü çekersek :

$$V_3 = -(V_1 \frac{G_5}{sC_2} + V_2 \frac{G_9}{sC_2}) \quad (4.8)$$

Denklem 4.8'i denklem 4.5' te yerine yazarsak :

$$V_1 \left(G_1 - \frac{G_5 G_3}{sC_2} \right) + V_2 \left(G_6 - \frac{G_3 G_9}{sC_2} \right) = -V_4 (G_2 + sC_1) \quad (4.9)$$

Denklem 4.7' den

$$-V_4 = \frac{V_1 G_4 + V_2 G_8}{G_7} \quad (4.10)$$

Denklem 4.10 bulunur. Bu denklemi denklem 4.9 da yerine yazarsak :

$$V_1 \left(G_1 - \frac{G_5 G_3}{s C_2} \right) + V_2 \left(G_6 - \frac{G_3 G_9}{s C_2} \right) = \frac{V_1 G_4 + V_2 G_8}{G_7} (G_2 + s C_1)$$

$$V_1 \left(\frac{G_1 s C_2 - G_5 G_3}{s C_2} \right) + V_2 \left(\frac{G_6 s C_2 - G_3 G_9}{s C_2} \right) = V_1 \frac{G_4 (G_2 + s C_1)}{G_7} + V_2 \frac{G_8 (G_2 + s C_1)}{G_7} \quad (4.11)$$

Denklem 4.11'den :

$$\frac{V_2(S)}{V_1(S)} = \frac{(G_1 s C_2 G_7 - G_3 G_5 G_7) - (G_2 G_4 s C_2 + G_4 S^2 C_1 C_2)}{(G_2 G_8 s C_2 + G_8 s^2 C_1 C_2) + (G_6 G_7 s C_2 - G_3 G_9 G_7)}$$

$$\frac{V_2(S)}{V_1(S)} = \frac{-(G_4 C_1 C_2) s^2 + (G_1 G_7 C_2 - G_2 G_4 C_2) s - G_3 G_5 G_7}{G_8 C_1 C_2 s^2 + (G_2 G_8 C_2 - G_6 G_7 C_2) s + G_3 G_7 G_9}$$

$$\frac{V_2(S)}{V_1(S)} = - \frac{(G_4 C_1 C_2) s^2 + (G_2 G_4 C_2 - G_1 G_7 C_2) s + G_3 G_5 G_7}{G_8 C_1 C_2 s^2 + (G_2 G_8 C_2 - G_6 G_7 C_2) s + G_3 G_7 G_9} \quad (4.12)$$

Bu işlemlerden sonra denklem 4.12 elde edilir.

Bu ifadelerden de görüldüğü gibi aşağıdaki eşitlikler yazılabilir.

$$a = \frac{G_2 G_8 - G_6 G_7}{C_1 G_8} \quad (4.13)$$

$$b = \frac{G_3 G_7 G_9}{C_1 C_2 G_8} \quad (4.14)$$

$$c = \frac{G_4}{G_8} \quad (4.15)$$

$$d = \frac{G_2 G_4 - G_1 G_7}{C_1 G_8} \quad (4.16)$$

$$e = \frac{G_3 G_5 G_7}{C_1 C_2 G_8} \quad (4.17)$$

$\frac{V_3}{V_1}$ transfer fonksiyonunu elde etmeye çalışırsak:

Denklem 4.3 den:

$$V_2 = -V_1 \frac{G_5}{G_9} - V_3 \frac{sC_2}{G_9} \quad (4.18)$$

V_2 denklemi elde edilir.

Denklem 4.5 den:

$$V_1 G_1 + V_2 G_6 + V_3 G_3 = -V_4 (G_2 + sC_1) \quad (4.19)$$

Denklem 4.7 den:

$$V_4 G_7 + V_1 G_4 = -V_2 G_8 \quad (4.20)$$

$$\frac{V_3(s)}{V_1(s)} = \frac{d's + e'}{as + s^2 + b} \quad (4.21)$$

ifadelerini elde edebiliriz.

Burada:

$$d' = \frac{G_4 G_9 - G_5 G_8}{C_2 G_8} \quad (4.22)$$

$$e' = \frac{G_9 (G_2 G_4 - G_1 G_7) - G_5 (G_2 G_8 - G_6 G_7)}{C_1 C_2 G_8} \quad (4.23)$$

Şekil 4.1'deki devrede normalize (genlik ve frekans ölçeklemesi yapılmamış) edilmiş durumda;

$$C_1 = C_2 = G_7 = G_8 = G_9 = 1 \quad (4.24)$$

olarak seçebiliriz. Bu durumda:

$$G_1 = c(a + G_6) - d, \quad G_2 = a + G_6, \quad G_3 = b, \quad G_4 = c, \quad G_5 = \frac{e}{b}$$

Eğer $d - a.c \leq 0$ ise $G_6 = 0$ seçebiliriz. Bu durumda R_6 direnci devreden çıkarılabilir.

$\frac{V_2(s)}{V_1(s)}$ transfer fonksiyonundan da görülebileceği gibi Şekil-1'de gösterilen devremizin:

1. Alçak geçiren filtre olarak çalışabilmesi için ; $c=d=0$,
2. Bant geçiren filtre olarak çalışabilmesi için ; $c=e=0$,
3. Yüksek geçiren filtre olarak çalışabilmesi için ; $d=e=0$,
4. Bant durduran filtre çalışabilmesi için ; $d=0$ ve $e=b.c$
5. Tüm geçiren filtre olarak çalışabilmesi için ; $d=-a.c$ ve $e=b.c$

şartlarının sağlanması gerekir. Şimdi bu şartları tek tek inceleyelim:

-Alçak Geçiren Filtre:

$c=d=0$ ise

$$\frac{G_4}{G_8} = \frac{G_2 G_4 - G_1 G_7}{C_1 G_8} = 0 \quad (4.25)$$

olmalıdır.

Bu şartı sağlayabilmek için C_1 ve ya G_8 sonsuz yapılamaz. Çünkü C_1 ve ya G_8 sonsuz yapılırsa diğer bütün katsayılarda sıfır olmalıdır. Daha önce belirtildiği gibi $a, b > 0$ olması gerektiğinden G_2 ve G_7 de sıfır yapılamaz. Sonuç olarak devremizin 2. dereceden alçak geçiren bir filtre olarak çalışabilmesi için $G_4 = G_1 = 0$ olması gerekmektedir.

-Bant Geçiren Filtre:

$c=e=0$ ise

$$\frac{G_4}{G_8} = \frac{G_3 G_5 G_7}{G_8 C_1 C_2} = 0 \quad (4.26)$$

G_3 ve ya G_7 'den herhangi biri sıfır olursa $b=0$ olacağı için G_3 ve G_7 sıfır yapılamaz. Bu şartın sağlanabilmesi için de $G_4 = G_5 = 0$ olması gerekmektedir.

-Yüksek Geçiren Filtre:

$d=e=0$ ise

$$\frac{G_2 G_4 - G_1 G_7}{C_1 G_8} = \frac{G_3 G_5 G_7}{G_8 C_1 C_2} = 0 \quad (4.27)$$

Bu şartın sağlanabilmesi için de $G_2 G_4 = G_1 G_7$ olması gerekmektedir.

-Bant Durduran Filtre:

$d=0$ ise

$$\frac{G_2 G_4 - G_1 G_7}{C_1 G_8} = 0 \quad (4.28)$$

olmalıdır. Bu durumda yüksek geçiren filtrede olduğu gibi $G_2 G_4 = G_1 G_7$ olması gerekmektedir. Ayrıca $e=b.c$ ise $G_5 G_8 = G_4 G_9$ 'dur.

-Tüm Geçiren Filtre:

$d=-a.c$ ise

$$\frac{G_2 G_4 - G_1 G_7}{C_1 G_8} = \frac{G_6 G_7 - G_2 G_8}{C_1 G_8} \cdot \frac{G_4}{G_8} \quad (4.29)$$

Ayrıca $e=b.c$ ise $G_5 G_8 = G_4 G_9$ 'dur. Böylece:

$2G_2G_4G_8=G_1G_7G_8+G_4G_6G_7$ ve $G_5G_8=G_4G_9$ durumlarında devremiz tüm geçiren filtre olarak çalışacaktır.

Yukarıda belirtilen şartların sağlanması halinde elde edilecek olan filtre devreleri transfer fonksiyonundan da görüleceği gibi ikinci dereceden filtre devreleri olacaktır.

Bu filtre devrelerinin gerçekleştirilebilmesi için normalize değerleri bilinen devre elemanlarının ölçeklenmesi gerekmektedir. Ölçeklenme için kullanılan katsayılar k_i ve k_f 'dir. k_i , genlik ölçekleme katsayısı, k_f ise frekans ölçekleme katsayısı olarak adlandırılır.

Normalize edilmiş direnç ve kondansatör değerleri R ve C, ölçeklenmiş direnç ve kondansatör değerleri de R^* ve C^* ile gösterecek olursak:

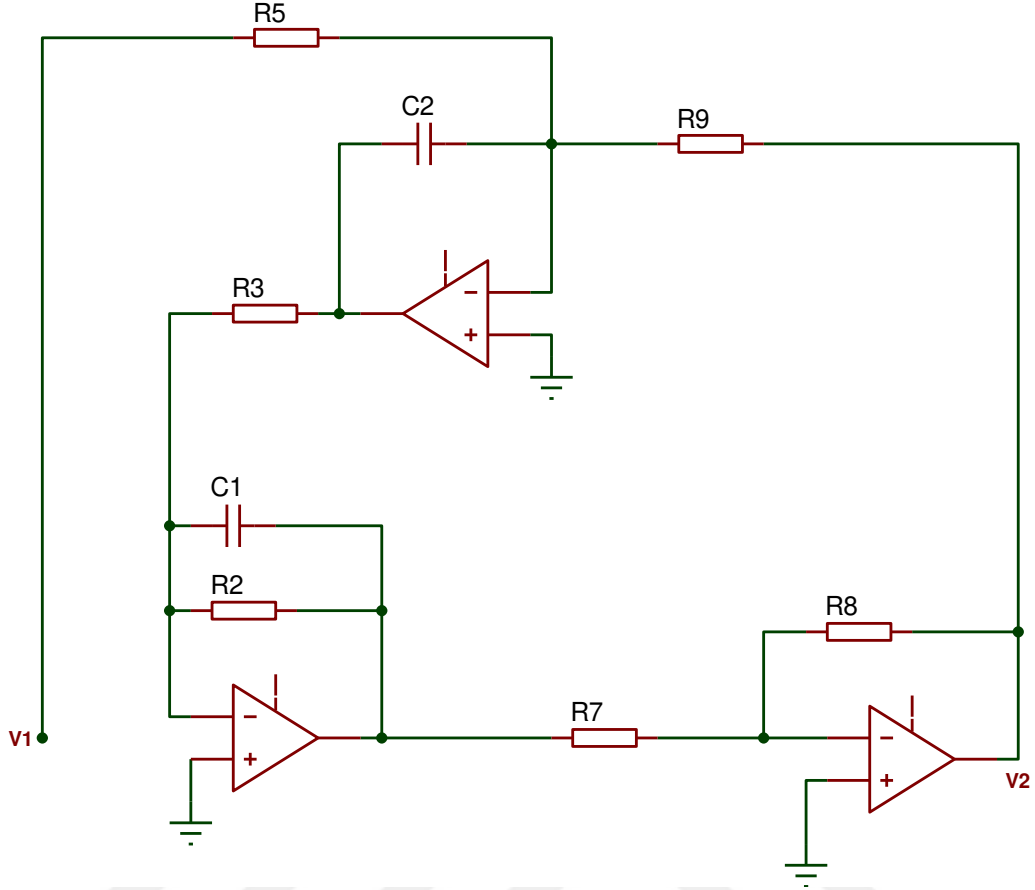
$$C^* = \frac{C}{k_i k_f} \quad \text{ve} \quad R^* = k_i R \quad (4.30)$$

4.1. Alçak Geçiren Filtrenin Transfer Fonksiyonu

$c=d=0$ şartlarının sağlanmasıyla elde edilen 2. dereceden filtre devresi Şekil-5'de gösterilmiştir. Bu durumda devrenin transfer fonksiyonu:

$$\frac{V_2(s)}{V_1(s)} = -\frac{e}{s^2 + as + b} \quad (4.31)$$

şeklindedir.



Şekil 4. 5. 2. dereceden alçak geçiren devre[25]

Alçak geçiren filtre durumunda $G_4 = G_1 = G_6 = 0$ olması gerekiyordu. Bu durumda :

$a = G_2$, $b = G_3$, $e = G_3 \cdot G_5$ olmaktadır.

Normalize edildiği durumda:

$C_1 = C_2 = G_7 = G_8 = G_9 = 1$ olarak alınır.

4.2. Yüksek Geçiren Filtrenin Transfer Fonksiyonu

2. dereceden yüksek geçiren filtrenin transfer fonksiyonu:

$$\frac{V_2(s)}{V_1(s)} = -\frac{cs^2}{s^2 + as + b} \quad (4.32)$$

şeklindedir.

Şekil-1 'de gösterilen devrenin yüksek geçiren bir filtre olarak çalışabilmesi için;

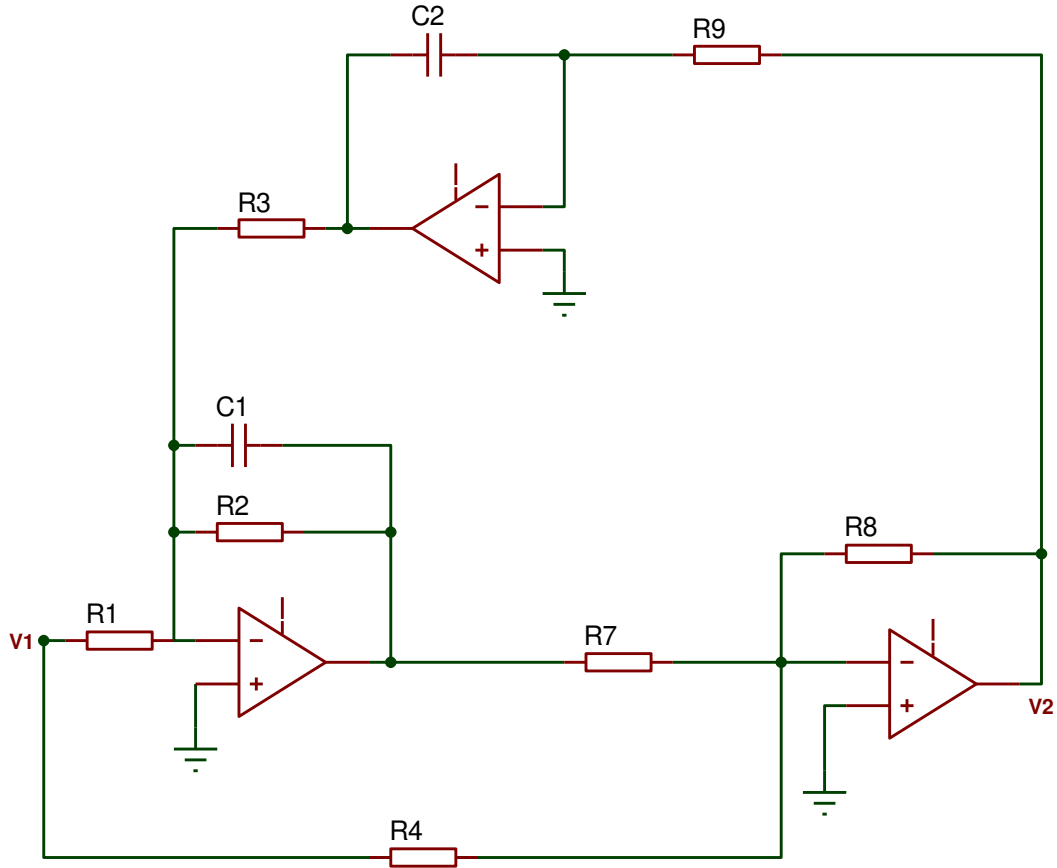
$d=e=0$ yani $G_2 G_4 = G_1 G_7$ ve $G_5=0$ şartlarının sağlanması gerekiyordu. Ayrıca $d-ac < 0$ olduğundan $G_6=0$ seçebiliyorduk.

$C_1=C_2=G_7=G_8=G_9=1$ olması durumunda yukarıdaki transfer fonksiyonunda:

$c=G_1$, $a=a_1$, $b=b_0$ 'dır. Bu durumda:

$G_1 = a_1 \cdot G$, $G_2 = a_1$, $G_3 = a_0$, $G_4 = G$ ve $G_5=G_6=0$

2. dereceden yüksek geçiren filtre devresi Şekil-3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4. 6. 2. dereceden yüksek geçiren devre[25]

Normalize edilmiş durumda n . dereceden yüksek geçiren filtrenin transfer fonksiyonunu elde edebilmek için, n .dereceden alçak geçiren filtrenin transfer fonksiyonunda s yerine $\frac{1}{s}$ yazılır. Böylece elde edilen transfer fonksiyonu n . dereceden yüksek geçiren filtrenin transfer fonksiyonudur.

4.3. Bant Geçiren Filtrenin Transfer Fonksiyonu

2. dereceden bant geçiren filtrenin transfer fonksiyonu:

$$\frac{V_2(s)}{V_1(s)} = -\frac{ds}{s^2 + as + b} \quad (4.32)$$

şeklindedir.

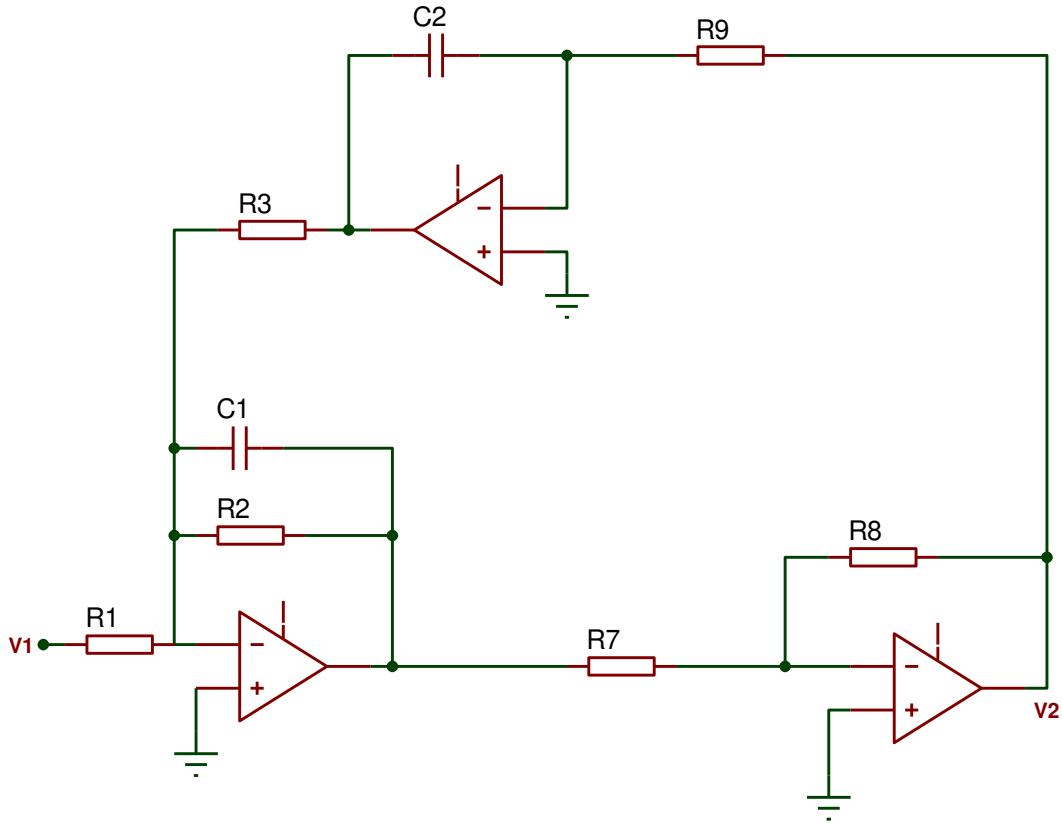
Bu transfer fonksiyonundan da görüleceği gibi devremizde $c=e=0$ olacak şekilde bir düzenlenme yapıldığında devre 2. dereceden bant geçiren bir filtre olarak çalışacaktır. Bunu sağlamak için de $G_4=G_5=0$ şartlarının sağlanması gerekir. $G_4=0$ yapıldığı takdirde $d<0$ olacaktır. $d-a.c \leq 0$ olduğunda $G_6=0$ seçilebilir. $a.c=0$ olduğundan $d-a.c < 0$ olacaktır. Bu yüzden $G_4=0$ seçilebilir.

Aynı zamanda:

$C_1=C_2=G_7=G_8=G_9=1$ olması durumunda transfer fonksiyonu:

$$\frac{V_2(s)}{V_1(s)} = \frac{G_1 s}{s^2 + G_2 s + G_3} \quad (4.33)$$

2. dereceden bant geçiren filtre devresi Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 7. 2. dereceden bant geçiren devre[25]

Devremizde:

$$G_1 = \frac{G}{Q}, \quad G_2 = \frac{1}{Q}, \quad G_3 = 1 \text{ 'dir.}$$

$$Q = \frac{2\pi f_0}{B} \quad (4.34)$$

Q kalite faktörü olarak adlandırılır. f_0 , geçirme bandının merkez frekansıdır. B ise bant genişliği olarak adlandırılır. Bant genişliği formül 4.35'deki gibi ifade edilir.

$$B = 2\pi(f_{üst} - f_{alt}) \quad (4.35)$$

Devremizde merkez frekansı R_3 ile; kalite faktörü Q , R_2 ile; kazanç ise R_1 ile ayar edilebilir.

Belirtilen durumlardan dolayı transfer fonksiyonu:

$$\frac{V_2(s)}{V_1(s)} = \frac{\frac{G}{Q}s}{s^2 + \frac{1}{Q}s + 1} \quad (4.36)$$

şeklindedir.

4.4. Bant Durduran Filtrenin Transfer Fonksiyonu

2. dereceden bant durduran filtrenin transfer fonksiyonu:

$$\frac{V_2(s)}{V_1(s)} = -\frac{cs^2 + e}{s^2 + as + b} \quad (4.37)$$

şeklindedir.

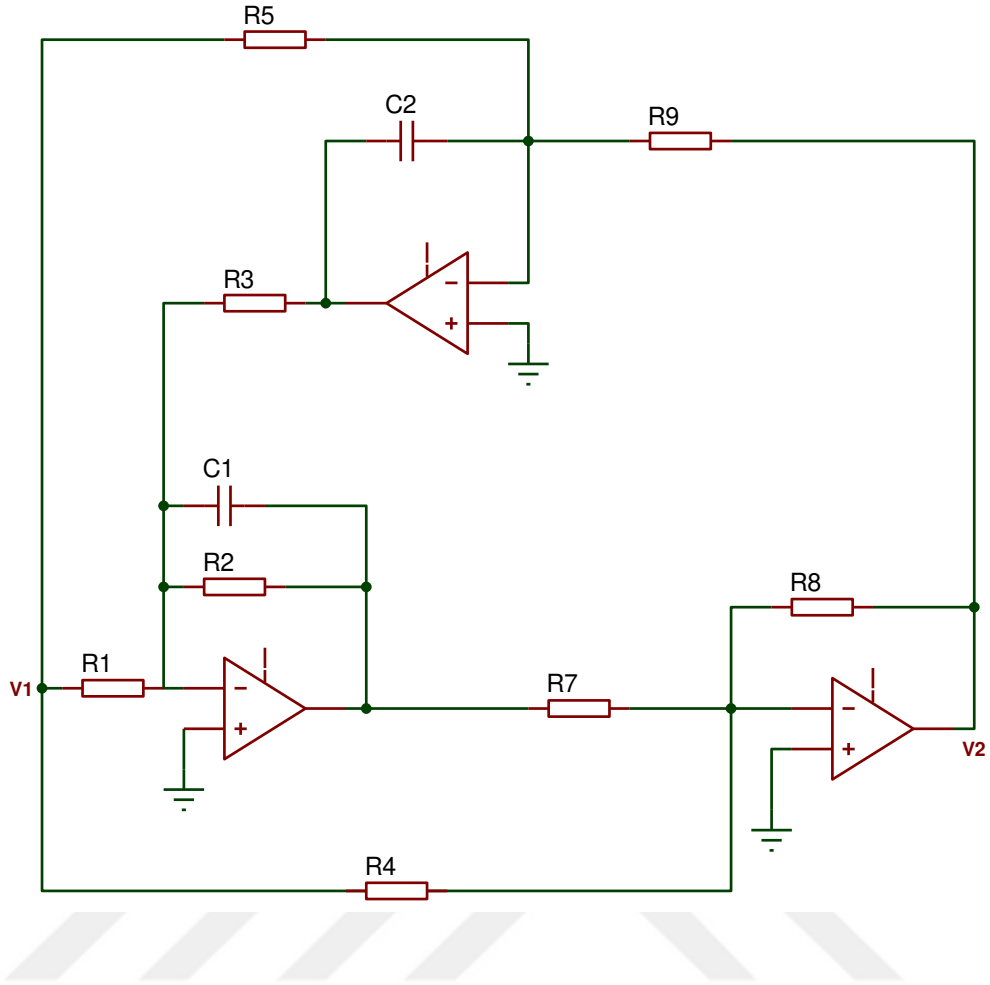
Devrenin 2. dereceden bant durduran filtre olarak çalışabilmesini istenildiğinde $d=0$ ve $e=b.c$ şeklinde düzenlenme yapılması gerekir. bunu sağlayabilmek için; $G_2 G_4 = G_1 G_7$ ve $G_5 G_8 = G_4 G_9$ şartlarının sağlanması gerekir.

$d=0$ olduğundan $d-a.c < 0$ 'dır. Bu yüzden $G_6 = 0$ olarak alınır. normalize durumda;

$C_1 = C_2 = G_7 = G_8 = G_9 = 1$ 'dir. Bu durumda $b=1$, $a = \frac{1}{Q}$, $c=G'$ dir. Böylece;

$$G_1 = \frac{G}{Q}, \quad G_2 = \frac{1}{Q}, \quad G_3 = 1, \quad G_4 = G_5 = G$$

olarak belirlenir. 2.dereceden bant geçiren filtre devresi Şekil-4.8 'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 8. 2. dereceden bant durduran geçiren devre[25]

4.5. Tüm Geçiren Filtrenin Transfer Fonksiyonu

2. dereceden tüm geçiren bir filtrenin transfer fonksiyonu:

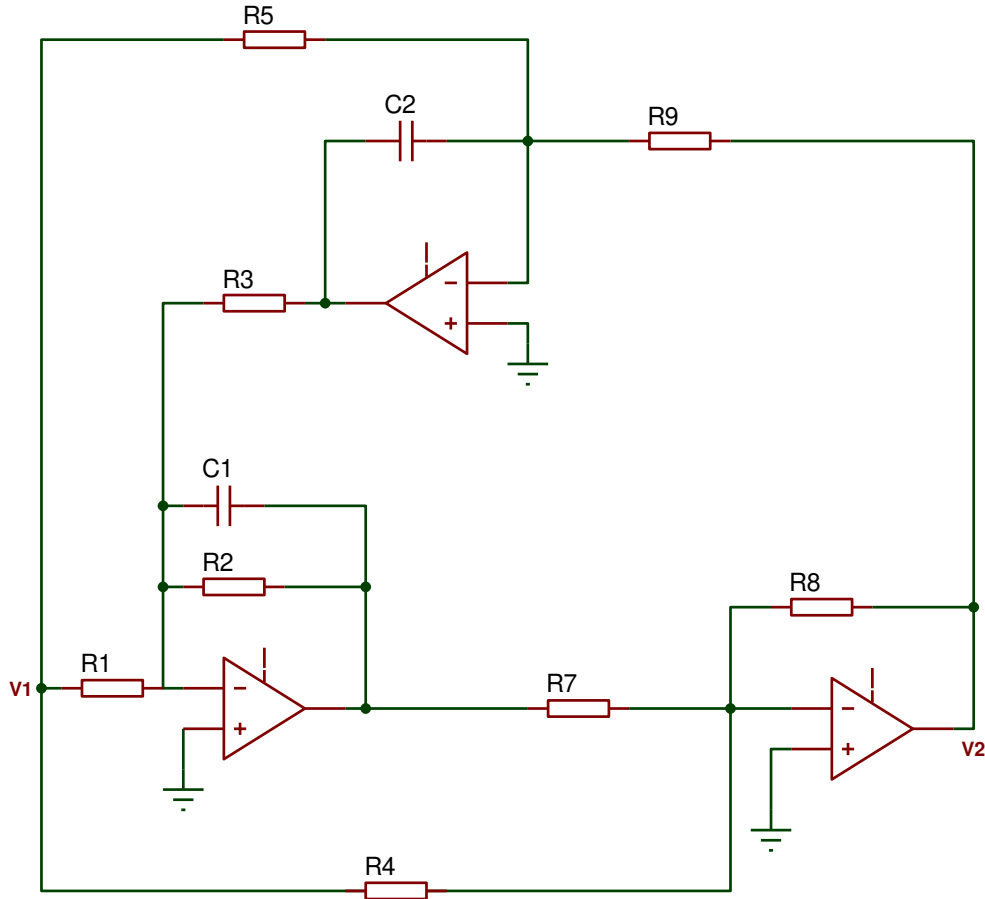
$$\frac{V_2(s)}{V_1(s)} = -\frac{c^2s^2+ds+e}{s^2+as+b} \quad (4.38)$$

şeklindedir.

Devrenin 2. dereceden tüm geçiren filtre olarak çalışabilmesi için $d=-a.c$ ve $e=b.c$ şartlarının sağlanması gerekir. Bundan dolayı da;

$$2G_2G_4G_8 = G_1G_7G_8 + G_4G_6G_7 \text{ ve } G_5G_8 = G_4G_9 \text{ olmalıdır.}$$

2. dereceden tüm geçiren filtre devresi Şekil-4.9 'de gösterilmiştir.



Şekil 4. 9. 2. dereceden tüm geçiren devre[25]

Diğer bütün devrelerde olduğu gibi;

$C_1=C_2=G_7=G_8=G_9=1$ ve $G_6 = 0$ 'dır. Bu durumda:

$$G_1 = 2aG, \quad G_2 = a, \quad G_3 = b, \quad G_4 = G_5 = G, \quad c = G, \quad d = -aG, \quad e = bG$$

olarak aldığımız devrenin transfer fonksiyonu:

$$\frac{V_2(s)}{V_1(s)} = -G \frac{s^2 - as + b}{s^2 + as + b} \quad (4.39)$$

şeklini alır.

5. SALLEN KEY DEVRELERİ

R.P. Sallen ve E.L.Key 1955 yılında 2. dereceden alçak geçiren filtre, bant geçiren filtre, yüksek geçiren filtreler için bir dizi devre tanıttılar. Bu popüler devreler Sallen Key filtreleri olarak bilinirler. [26]

Sallen Key devrelerinin transfer fonksiyonlarını çıkarılacaktır. Bu devrelerin matematiksel formda ifade edilebilmesi için Kirşof yasalarından kullanılır. Bu yasalara göre:

-Kapalı bir çevrimde gerilimlerin toplamı sıfırdır.

-Bir noktaya gelen ve bu noktadan çıkan akımların toplamı sıfırdır.

Bu yasalara göre bağlantılar kurulup diferansiyel denklemler elde edilir. Bu denklemlere Laplace dönüşümü uygulanarak transfer fonksiyonu elde edilmiş olur.

Belirlenen noktadan çıkan akımları pozitif bu noktaya gelen akımları negatif kabul ederek işlemler yürütülür. Çok çevreye sahip olan devrelerin transfer fonksiyonlarını oluşturabilmek için:

1.Devrede bulunan elemanların empedans değerleri yazılmalıdır.

2.İşlem yapılan çevrenin akım yönü seçilerek Kirşof'un gerilimler yasası uygulanmalıdır.

3.Çıkış denklemini oluşturabilmek için denklemler sırasıyla çözülerek transfer fonksiyonu oluşturulmuş olunur.

Devre elemanlarının Laplace dönüşümleri aşağıdaki denklemlerde verilmiştir.

Kapasite için:

$$V(s) = \frac{1}{Cs} I(s) \quad (5.1)$$

Direnç için:

$$V(s) = RI(s) \quad (5.2)$$

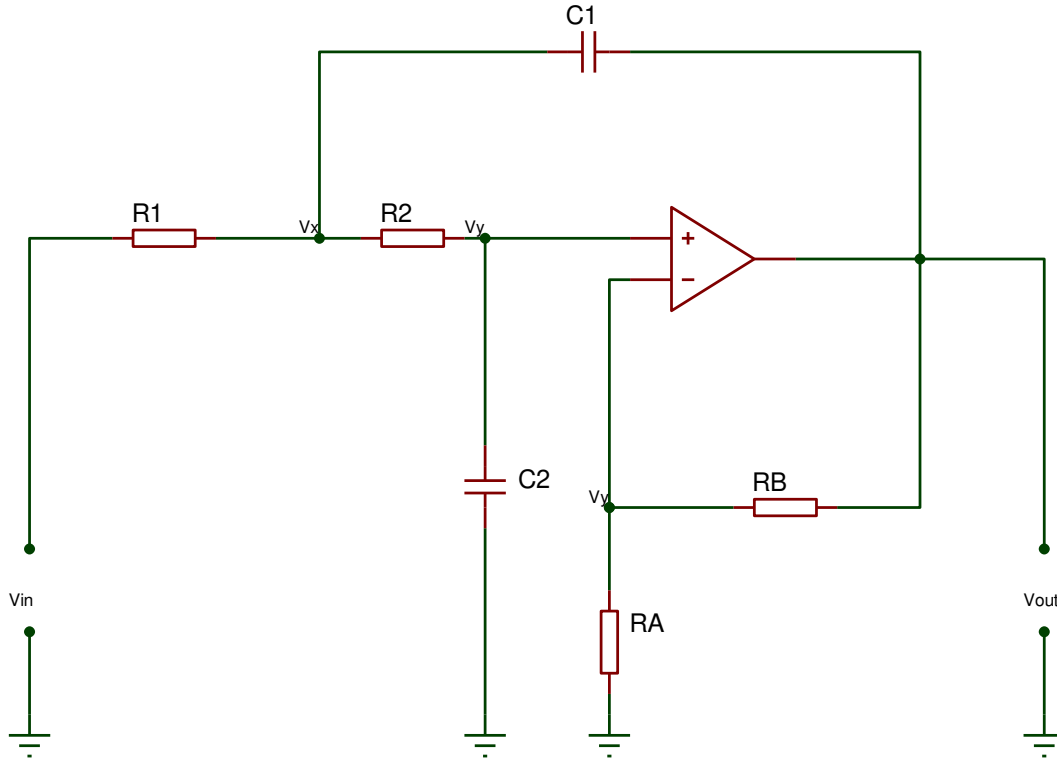
İndüktör için:

$$V(s) = LsI(s) \quad (5.3)$$

Transfer fonksiyonu:

$$H(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} \quad (5.4)$$

5.1. Sallen Key Alçak Geçiren Filtre



Şekil 5.1. Sallen Key Alçak Geçiren Filtre[2]

Bu devrenin transfer fonksiyonu aşağıdaki denklemler yardımıyla elde edilir.

$$-I_1 + I_{R_2} + I_{C_1} = 0 \quad (5.5)$$

$$-I_{R_2} + I_{C_2} = 0 \quad (5.6)$$

Denklem 5.6 'den 5.7 elde edilir.

$$I_{R_2} = I_{C_2} \quad (5.7)$$

$$-I_A - I_B = 0 \quad (5.8)$$

Denklem 5.8 'den 5.9 elde edilir.

$$I_A = -I_B \quad (5.9)$$

$$I_1 = \frac{V_i - V_x}{R_1} \quad (5.10)$$

$$I_{R_2} = \frac{V_x - V_y}{R_2} \quad (5.11)$$

$$I_{C_1} = \frac{V_x - V_0}{\frac{1}{sC_1}} \quad (5.12)$$

$$I_{C_1} = (V_x - V_0)sC_1 \quad (5.13)$$

$$I_{C_2} = V_y sC_2 \quad (5.14)$$

Denklem 5.5 'den:

$$\frac{V_x}{R_1} - \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_x}{R_2} - \frac{V_y}{R_2} + V_x sC_1 - V_0 sC_1 = 0 \quad (5.15)$$

$$V_x \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + sC_1 \right) - V_y \frac{1}{R_2} - V_1 \frac{1}{R_1} - V_0 sC_1 = 0 \quad (5.16)$$

Denklem 5.7 'den:

$$\frac{V_x}{R_2} - \frac{V_y}{R_2} = V_y sC_2 \quad (5.17)$$

$$V_y \left(\frac{1}{R_2} + sC_2 \right) = \frac{V_x}{R_2} \quad (5.18)$$

$$V_y \left(\frac{1 + sR_2 C_2}{R_2} \right) = \frac{V_x}{R_2} \quad (5.19)$$

$$V_x = V_y (1 + sC_2 R_2) \quad (5.20)$$

Denklem 5.9 'dan:

$$\frac{V_y}{R_A} = - \left(\frac{V_y - V_0}{R_B} \right) \quad (5.21)$$

$$V_y \left(\frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B} \right) = \frac{V_0}{R_B} \quad (5.22)$$

$$V_y \left(\frac{R_A + R_B}{R_A R_B} \right) = \frac{V_0}{R_B} \quad (5.23)$$

$$V_y = V_0 \frac{R_A}{R_A + R_B} \quad (5.24)$$

Devrenin K kazanç değeri denklem 5.22 dikkate alınarak hesaplanır.

$$K = 1 + \frac{R_B}{R_A} \quad (5.25)$$

$$K = \frac{R_A + R_B}{R_A} \quad (5.26)$$

$$V_y = \frac{V_0}{K} \quad (5.27)$$

Denklem 5.20'den:

$$V_x = \frac{V_0}{K} (1 + sC_2 R_2) \quad (5.28)$$

Denklem 5.16'dan:

$$\frac{V_0}{K}(1 + sC_2R_2)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + sC_1\right) - \frac{V_0}{K} \frac{1}{R_2} - V_i \frac{1}{R_1} - V_0 sC_1 = 0 \quad (5.29)$$

$$\frac{V_0}{K}(1 + sC_2R_2)\left(\frac{R_2 + R_1R_2sC_1 + R_1}{R_1R_2}\right) - V_0 \frac{1}{KR_2} - V_0 sC_1 - \frac{V_i}{R_1} = 0 \quad (5.30)$$

$$V_0 \left(\frac{R_2 + R_1R_2sC_1 + R_1 + sC_2R_2^2 + s^2R_1R_2^2C_1C_2 + sR_1R_2C_2}{KR_1R_2} \right) - V_0 \left(\frac{1}{KR_2} + sC_1 \right) - \frac{V_i}{R_1} = 0 \quad (5.31)$$

$$V_0 \left(\frac{R_2 + R_1R_2sC_1 + R_1 + sC_2R_2^2 + s^2R_1R_2^2C_1C_2 + sR_1R_2C_2}{KR_1R_2} \right) - V_0 \left(\frac{1 + sC_1KR_2}{KR_2} \right) - \frac{V_i}{R_1} = 0 \quad (5.32)$$

$$V_0 \left(\frac{R_2 + R_1R_2sC_1 + R_1 + sC_2R_2^2 + s^2R_1R_2^2C_1C_2 + sR_1R_2C_2}{KR_1R_2} \right) - V_0 \left(\frac{R_1 + sC_1R_1KR_2}{KR_1R_2} \right) - \frac{V_i}{R_1} = 0 \quad (5.33)$$

$$V_0 \left(\frac{R_2 + R_1R_2sC_1 + R_1 + sC_2R_2^2 + s^2R_1R_2^2C_1C_2 + sR_1R_2C_2 - R_1 - sC_1R_1KR_2}{KR_1R_2} \right) = \frac{V_i}{R_1} \quad (5.34)$$

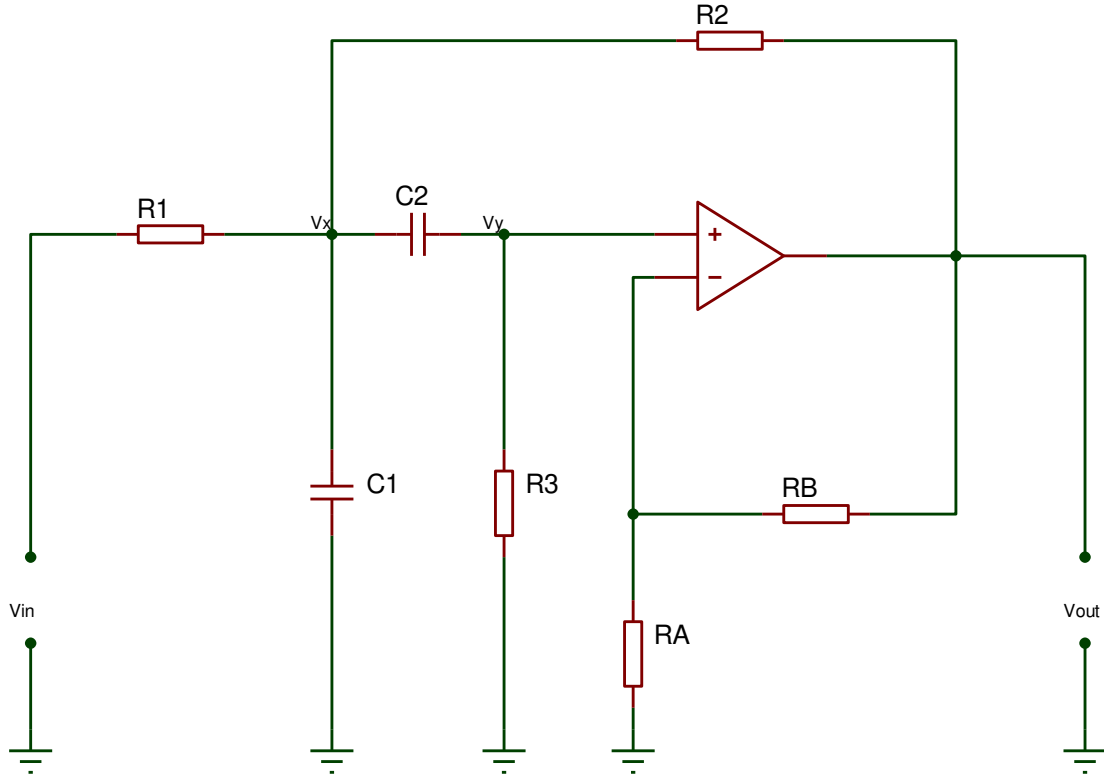
Denklem 5.34'deki R_2 silinirse:

$$V_0 \left(\frac{1 + R_1sC_1 + sC_2R_2 + s^2R_1R_2C_1C_2 + sR_1C_2 - sC_1R_1K}{K} \right) = V_i \quad (5.35)$$

$$H(s) = \frac{V_0}{V_i} = \frac{K}{1 + s(R_1C_1 + R_2C_2 + R_1C_2 - KR_1C_1) + s^2R_1R_2C_1C_2} \quad (5.36)$$

Denklem 5.36'da Sallen Key alçak geçiren filtrenin transfer fonksiyonu bulunmuştur.

5.2. Sallen Key Bant Geçiren Filtre



Şekil 5. 2 Sallen Key Bant Geçiren Filtre[2]

Bu devrenin transfer fonksiyonu aşağıdaki denklemler yardımıyla elde edilir.

$$-I_1 + I_{R_2} + I_{C_1} + I_{C_2} = 0 \quad (5.1)$$

$$-I_{C_2} + I_{R_3} = 0 \quad (5.2)$$

Denklem 5.2 'den 5.3 elde edilir.

$$I_{R_3} = I_{C_2} \quad (5.3)$$

$$-I_A - I_B = 0 \quad (5.4)$$

Denklem 5.4 'den 5.5 elde edilir.

$$I_A = -I_B \quad (5.5)$$

$$I_1 = \frac{V_i - V_x}{R_1} \quad (5.6)$$

$$I_{R_2} = \frac{V_x - V_0}{R_2} \quad (5.7)$$

$$I_{C_1} = \frac{V_x}{\frac{1}{sC_1}} \quad (5.8)$$

$$I_{C_1} = V_x sC_1 \quad (5.9)$$

$$I_{C_2} = (V_x - V_y) sC_2 \quad (5.10)$$

$$I_{R_3} = \frac{V_y}{R_3} \quad (5.11)$$

Denklem 5.1 'den:

$$\frac{V_x}{R_1} - \frac{V_i}{R_1} + \frac{V_x}{R_2} - \frac{V_0}{R_2} + V_x sC_1 + V_x sC_2 - V_y sC_2 = 0 \quad (5.12)$$

$$V_x \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + sC_1 + sC_2 \right) - V_i \frac{1}{R_1} - V_0 \frac{1}{R_2} - V_y sC_2 = 0 \quad (5.13)$$

Denklem 5.3 'den:

$$\frac{V_y}{R_3} = V_x sC_2 - V_y sC_2 \quad (5.14)$$

$$V_y \left(\frac{1}{R_3} + sC_2 \right) = V_x sC_2 \quad (5.15)$$

$$V_y \left(\frac{1 + sR_3 C_2}{R_3} \right) = V_x sC_2 \quad (5.16)$$

$$V_x = V_y \left(\frac{1 + sR_3 C_2}{sR_3 C_2} \right) \quad (5.17)$$

Denklem 5.5 'den:

$$\frac{V_y}{R_A} = - \left(\frac{V_y - V_0}{R_B} \right) \quad (5.18)$$

$$V_y \left(\frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B} \right) = \frac{V_0}{R_B} \quad (5.19)$$

$$V_y \left(\frac{R_A + R_B}{R_A R_B} \right) = \frac{V_0}{R_B} \quad (5.20)$$

$$V_y = V_0 \frac{R_A}{R_A + R_B} \quad (5.21)$$

Devrenin K kazanç değeri denklem 5.22 dikkate alınarak hesaplanır.

$$K = 1 + \frac{R_B}{R_A} \quad (5.22)$$

$$K = \frac{R_A + R_B}{R_A} \quad (5.23)$$

$$V_y = \frac{V_0}{K} \quad (5.24)$$

Denklem 5.17'den:

$$V_x = \frac{V_0}{K} \left(\frac{1 + sR_3C_2}{sR_3C_2} \right) \quad (5.25)$$

Denklem 5.13'den:

$$\frac{V_0}{K} \left(\frac{1 + sR_3C_2}{sR_3C_2} \right) \left(\frac{R_1 + R_2 + sR_1R_2C_1 + sR_1R_2C_2}{R_1R_2} \right) - \frac{V_i}{R_1} - \frac{V_0}{R_2} - \frac{V_0}{K} sC_2 = 0 \quad (5.26)$$

Denklem 5.26 düzenlenirse:

$$\frac{V_0}{K} \left(\frac{R_1 + R_2 + sR_1R_2C_1 + sR_1R_2C_2 + sR_1R_3C_2 + sR_2R_3C_2 + s^2R_1R_2R_3C_1C_2 + s^2R_1R_2R_3C_2^2}{sR_1R_2R_3C_2} \right) - \frac{V_i}{R_1} - \frac{V_0}{R_2} - \frac{V_0}{K} sC_2 = 0 \quad (5.27)$$

Denklem 5.27 düzenlenirse:

$$\frac{V_0}{K} \left(\frac{R_1 + R_2 + sR_1R_2C_1 + sR_1R_2C_2 + sR_1R_3C_2 + sR_2R_3C_2 + s^2R_1R_2R_3C_1C_2 + s^2R_1R_2R_3C_2^2}{sR_1R_2R_3C_2} \right) - \frac{V_i}{R_1} - \frac{V_0}{R_2} - \frac{V_0}{K} sC_2 = 0 \quad (5.28)$$

Denklem 5.28 düzenlenirse:

$$V_0 \left(\frac{R_1 + R_2 + s(R_1R_2C_1 + R_1R_2C_2 + R_1R_3C_2 + R_2R_3C_2 - R_1R_3C_2K) + s^2(R_1R_2R_3C_1C_2)}{KsR_1R_2R_3C_2} \right) = \frac{V_i}{R_1} \quad (5.29)$$

Denklem 5.29 düzenlenirse:

$$\frac{V_0}{V_i} = \frac{KsR_2R_3C_2}{R_1 + R_2 + s(R_1R_2C_1 + R_1R_2C_2 + R_1R_3C_2 + R_2R_3C_2 - R_1R_3C_2K) + s^2(R_1R_2R_3C_1C_2)} \quad (5.30)$$

Denklem 5.30 düzenlenip pay ve payda $R_1R_2R_3C_1C_2$ 'ye bölünürse denklem 5.31 denklemi elde edilerek transfer fonksiyonu elde edilir.

$$\frac{V_0}{V_1} = \frac{\frac{Ks}{R_1 C_1}}{s^2 + \left(\frac{1}{R_1 C_1} + \frac{1}{R_3 C_1} + \frac{1}{R_3 C_2} + \frac{1-K}{R_2 C_1} \right) s + \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2 R_3 C_1 C_2}} \quad (5.31)$$

Denklem 5.31'de Sallen Key bat geçiren aktif filtre katının transfer fonksiyonu çıkarılmıştır. Geleneksel yöntemle yapılacak olan devre çözümlerinde bazı kabullerin yapılması gerekir. Bunlar $R_1=R_2=R_3$ ve $C_1=C_2$ 'dir. Bu durumda transfer fonksiyonu 5.32'deki gibi olmaktadır. [2]

$$H(s) = \frac{\frac{Ks}{RC}}{s^2 + \left[\frac{4-K}{RC} \right] s + \frac{2}{R^2 C^2}} \quad (5.32)$$

Bulunan bu transfer fonksiyonu genel olarak ifade edilmek istendiğinde denklem 5.33 denklemini şeklinde yazılabilir.

$$H(s) = \frac{a_1 s}{s^2 + b_1 s + b_2} \quad (5.33)$$

Bu durumda 5.31 denklemindeki genel transfer fonksiyonu ile denklem 5.32 denklemindeki transfer fonksiyonları eşleştirildiği durumda katsayı değerleri aşağıdaki denklemler gibi olacaktır.

$$b_1 = \frac{4-K}{RC} \quad (5.34)$$

$$b_2 = \frac{2}{R^2 C^2} \quad (5.35)$$

$$b_2 R^2 C^2 = 2 \quad (5.36)$$

$$R = \sqrt{\frac{2}{b_2 C}} \quad (5.37)$$

$$4 - K = b_1 RC \quad (5.38)$$

$$4 - K = b_1 \sqrt{\frac{2}{b_2}} \quad (5.39)$$

$$K = 4 - \sqrt{\frac{2b_1^2}{b_2}} \quad (5.40)$$

$$\frac{R_B}{R_A} = 3 - \sqrt{\frac{2b_1^2}{b_2}} \quad (5.41)$$

6.GENETİK ALGORİTMA

Evrimsel hesaplamanın (evaluationary computing) bir bölümü olan genetik algoritmalar (GA) Darwin'in evrim kuramından esinlenerek ortaya çıkmıştır. Evrimsel hesaplamanın gündeme gelmesi 1960'lı yıllarda I.Rechenberg'in 'Evrimsel Stratejileri' isimli çalışmasıyla olmuştur. Evrimsel programlama; evrimleşme stratejisi, genetik algoritmaları ve genetik programlamayı içermektedir. Genetik algoritmalar çaprazlama ve mutasyon operatörlerini kullanır. Evrimleşme stratejisi ise sadece mutasyonu kullanmaktadır. Bu durum genetik algoritmalar ile evrimleşme stratejisi arasındaki en önemli farkı oluşturmaktadır. Ayrıca evrimleşme stratejisinin kullanıldığı durumlarda problem verilerinin kodlanmasına gerek yoktur. Genetik programlama genetik algoritmaların programlara uygulanması durumudur. [27]

Genetik algoritmalar, Michigan Üniversitesi'nden psikolog aynı zamanda bilgisayar bilimi uzmanı olan J.H. Holland tarafından 1975 yılında ilk olarak ortaya çıkmıştır. Holland karmaşık olan yapıların bit dizileri kullanmak suretiyle kodlanmasının mümkün olduğunu göstermiştir. [27] Daha sonra Holland'ın doktora öğrencisi David Golberg gaz boru hattının genetik algoritma ile kontrolünü içeren çalışması ile genetik algoritma ile ilgili çalışmaların temelini oluşturmuştur. [28] Bu çalışmadan sonra genetik algoritma yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Bir yapay zeka optimizasyon tekniği olan genetik algoritmalar doğal seçim ve en iyinin hayatta kalması kuramının bilgisayarlara uygulanması yoluyla oluşan bir arama metodudur. Standart bir genetik algoritmada başlangıçta tamamen rastlantısal bir şekilde seçilerek belirlenmiş büyüklükte toplum (popülasyon) oluşturulur. Yeni bir nesil (generasyon) oluşturmak amacıyla kromozom adı verilen yapılar değişikliğe uğrarlar. Yeni nesiller üretilirken bu kromozomlardan bazıları yeniden üretilirken bazıları çaprazlanıp mutasyona uğratılabilir. Oluşan yeni nesillerde bu kromozomların iyiliği ölçülüp, amaç fonksiyonunda yerine yazılarak sonuçlar hesaplanır. Bu çaprazlama, tekrardan üretilme ve mutasyon gibi durumlara tabi olacak olan kromozomlar amaç fonksiyonu değerine göre rastlantısal bir şekilde seçilir. Yani amaç fonksiyonunda yerine yazılarak elde edilen değerin daha iyi olması durumunda kromozomların çaprazlanma ve ya yeniden üretilme olasılığı, bu değerin daha kötü olduğu duruma göre daha fazladır. Kromozomların birbirine benzemesi durumunda yani çeşitliliğin azaldığı toplumlarda rastgele seçilmiş kromozomlar mutasyon işlemine tabi

tutulurlar. Bununla beraber popülasyondaki iyilik değeri düşük olan kromozomların daha sonraki nesilde bulunmayabilirler yani kromozomlar yok olurlar. [27]

Genetik algoritmanın iyi anlaşılması için temel kavramlardan bahsedecek olursak;

Gen: Bireylerin karakterlerinin belirlenmesinde rol oynayan, anlamlı bilgi içeren en küçük genetik birimdir. Bilgileri içeren bu yapıların birleşmesiyle, uğraşılan alanla ilgili bilgileri kapsayan kromozomlar oluşur. Yani kromozomun üyesidir. Bu genler X,Y gibi karakter de olabilir, 0 ve 1'lerden oluşan bit dizisi de olabilir. Örnek verilecek olursa bir maddenin X koordinat sistemindekini yerini 101 şeklinde gösterilebilir.

Kromozom: Genlerin birleşmesiyle meydana gelen uğraşılan problemle ilgili bilgilerin tamamını içerir. Popülasyon içerisindeki bireylerdir. Problemin çözümü için oluşabilecek alternatif çözümleri barındırmaktadır.

Popülasyon: Kromozomların oluşturdukları topluluktur. Popülasyondaki bireyler de gerçek hayattaki gibi bazen yok olup, yerlerine başka bireyler gelmektedir.

Standart bir genetik algoritmanın işlem basamakları aşağıdaki açıklanacağı gibidir. [27]

1. İlk olarak rastgele oluşturulmuş çözümlerin bulunduğu bir başlangıç popülasyonu oluşturulur. Başlangıç popülasyonu oluştururken belirli bir sayıya bağlı kalınmamaktadır. Genel olarak bu değer 100-300 arası bir değer alınmaktadır. Bu değer belirlenmesinde yapılan çalışmanın karmaşıklığı ve yapılacak olan aramanın derinliği önem arz etmektedir. Popülasyon sayısına karar verildikten sonra kromozomların kodlanması işlemine geçilmelidir.

2. Popülasyondaki her kromozomun iyiliği ölçülür. Kromozom amaç fonksiyonunda yerine yazılarak uygunluk (fitness) değeri bulunur. Bu yapılan işleme uygunluk fonksiyonu denir. Ve bu fonksiyon kullanılarak uygunluğun bulunması evrimleşmedir. Uygunluk fonksiyonu genetik algoritmanın çok önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Öyle ki beyni konumundadır. Yapılan çalışmalarda uygunluk fonksiyonu özel çalışan tek kısımdır. Çalışmaların verimli ve hassas bir sonuç oluşturması uygunluk fonksiyonuna bağlıdır.

3. Seçilmiş olan bazı kromozomlar eşlenerek yeniden kopyalandıktan sonra değiştirme işlem basamaklarına tabi tutulur. Bu işlem sonucunda yeni birey oluşmaktadır. Kromozomların uygunluk değeri baz alınarak eşleme yapılır. Turnuva seçimi ve rulet tekerleği seçimi gibi seçme teknikleri kullanılarak eşleme yapılabilir. Yeniden kopyalama denilen işlem basamağı bir genin birinden diğer bir gene geçmesi durumu olduğu için bu işleme çaprazlama denir. Çaprazlama toplumlarda çeşitliliği artırır. Değiştirme yani mutasyon sadece bir çözüm üzerinde meydana gelmektedir.

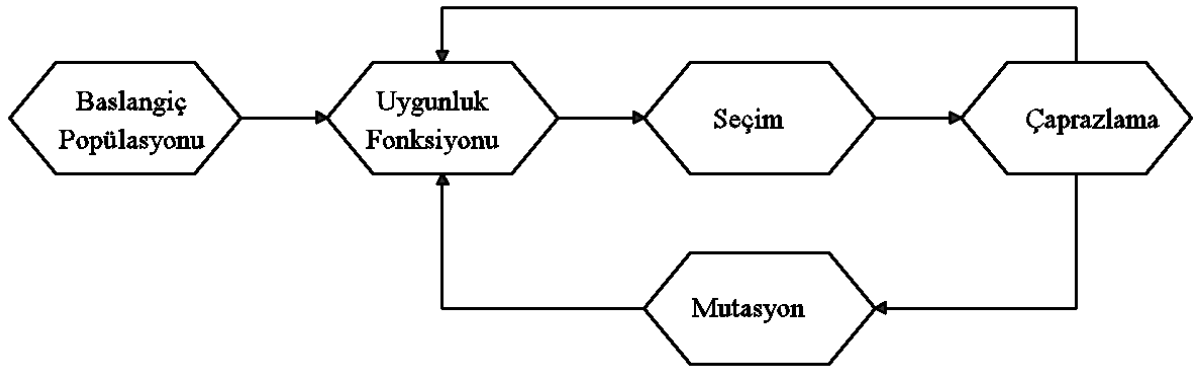
4. Çaprazlama işleminin sonucunda oluşan yeni kromozomlara yer vermek için uygunluk değeri düşük olan bireyler popülasyondan çıkartılır. Bu işlem yapılırken başlangıçta verilen başlangıç popülasyonu değerine bağlı kalınmalıdır.

5. Yeni nesildeki bütün kromozomların uygunluk değerleri amaç fonksiyonunda yerine yazılmak suretiyle bir daha hesaplanır.

6. Bu işlemler tekrarlanarak daha iyi olan bir neslin meydana gelmesi amaçlanır.

7. Son işlem olarak başlangıçta belirtilmiş olan durdurma kriterine bağlı kalınarak en iyi bireylerin var olduğu çözüm bulunur.

Genetik algoritmanın çalışma prensibi Şekil 6.1. 'de özetlenmiştir.



Yukarıda açıkladığımız GA klasik optimizasyon yöntemlerinden bazı özellikleri dolayısıyla farklılık göstermektedir. [29]

Klasik yöntemlerde en iyi sonuç genellikle başlangıç değerine en yakın olan optimum noktadır. Fakat birden fazla tepeli problemlerde çözüm başlangıç noktasına yakın olan bir değer çözüm kabul edilebilir. Yani problem yerel optimuma takılabilir. Fakat genetik algoritma aramayı tek nokta da değil de bir çok noktada yaparak lokal çözümde kalmadan global arama yapmaktadır.

Türev, integral gibi işlem yükü fazla olan problemlerde klasik yöntemler kullanıldığında bu işlemlerin yapılması zorunlu iken GA'da böyle bir durum yoktur. Yalnızca uygunluk fonksiyonu için işlemler gerekmektedir.

Klasik yöntemlerde sadece bir çözüm varken GA'da birden fazla çözüm vardır. Kullanıcı çözümler arasından alternatif çözüm kullanabilir.

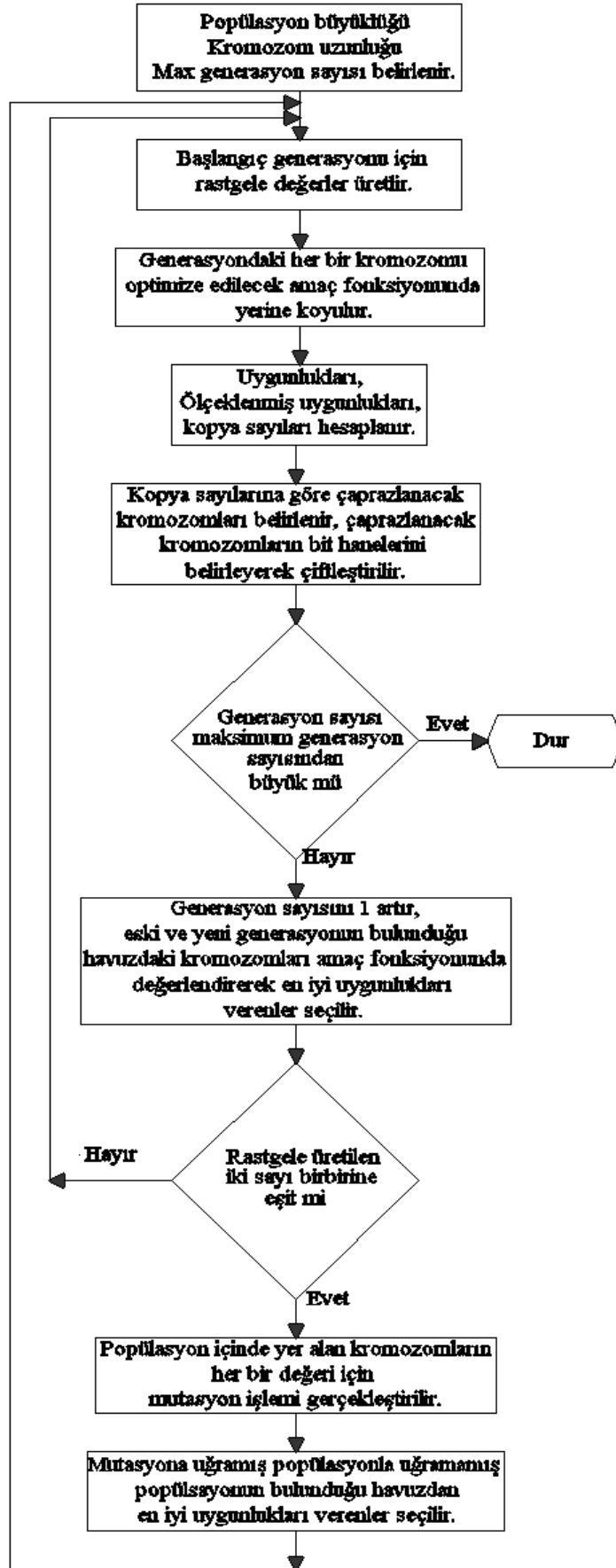
Klasik yöntemlerde belirtilen başlangıç verileri değişmediği sürece çözüm kümesi değişiklik göstermez. Fakat GA her çalıştırıldığında farklı sonuçlar üretmektedir. Yani bir rastgelelik vardır.

GA'da küçük seçilen popülasyon sayısı ve tekrarlama işlemi problemin optimum sonucunu bulmasına engel olacaktır. Fazla seçilmesi ise işlem süresini uzatacaktır.

GA işlem basamakları içerisinde bulunan çaprazlama ve mutasyonun yanlış uygulanması da çözümün bulunmasını engelleyecektir. Bazen mutasyon ve çaprazlama da popülasyonu çeşitlendiremeyip aramayı global çözüme yaklaştıramayabilir.

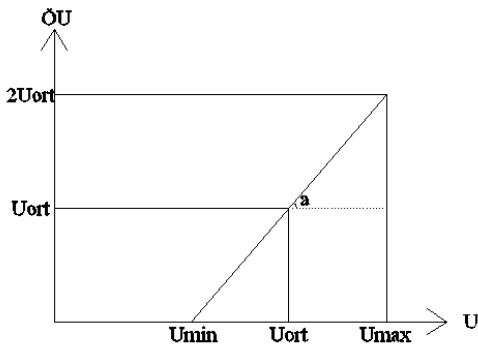
GA olasılıklara göre çalıştığından önceden nasıl sonuç vereceği saptanamaz.





Şekil 6.2. GA akış diyagramı[30]

Genetik algoritmanın daha iyi anlaşılması için şekil 6.2'de akış diyagramı verilmiştir. Bu diyagramdan anlaşılacağı üzere başlangıç olarak rastgele seçilen bununla beraber belirlenmiş sayıda kromozom alınarak kaç tane popülasyondan oluşacağı, toplamda kaç iterasyondan (generasyon) yani programın sonuca ulaşmak için kaç defa tekrar edeceği belirlenir. Verilen bu değerlere göre genetik algoritmanın rastgele değerlerden başlangıç popülasyonu oluşturulmuş olunur. Her yeni nesilde kromozomlar amaç fonksiyonunda yerine yazılarak iyiliği ölçülür. Yani uygunluk değerinin hesaplanması beklenir. Bu hesaplanan değere göre ölçeklenmiş uygunluk, kopya sayıları belirlenmektedir. Bu değerlerin ölçülmesinde farklı metodlar vardır. Bu tezde şekil 6.3 deki metod dikkate alınmıştır.



Şekil 6.3. Uygunluğun lineer ölçeklenmesi [30]

$$\text{ÖU} = \tan(a) \cdot (U - U_{\text{ort}}) + U_{\text{ort}} \quad (6.1)$$

$$\tan(a) = \frac{U_{\text{ort}}}{U_{\text{maks}} - U_{\text{ort}}} \quad (6.2)$$

U:Uygunluk fonksiyonunda kromozomların yerine yazılmasıyla oluşan uygunluk değeri,

ÖU_{top} :İncelenen popülasyondaki kromozomların lineer ölçeklenmiş uygunluk toplamı,

ÖU_i =incelenen satır değişkenlerinin ölçeklenmiş uygunluğu olursa:

Rastgele bir satırın seçilme ihtimali: $\text{ÖU}_i / \text{ÖU}_{\text{top}}$

İ.satırın kopya sayısı: Popülasyon sayısı* $\text{ÖU}_i / \text{ÖU}_{\text{top}}$ 'dır.

Bu işlemler sonucunda yakınsamada lineer ölçeklenmenin olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür. [30]

Bulunan kopya sayılarına göre kromozomlar çaprazlamaya tabi tutularak yeni nesiller elde edilir. Kopya sayılarının toplamı popülasyon sayısına eşit olmaktadır. Bu yeni nesilde

tekrardan uygunluk değeri belirlenir. Önceki nesil ve yeni nesildeki en iyi kromozomlardan yeni bir popülasyon oluşturulur. Bu oluşan popülasyon ile yukarıdaki akış diyagramındaki işlemler sürdürülür. Belirlenen generasyon sayısına gelindiğinde bu işleme son verilir. Bu işlemler esnasında kromozomlar mutasyona tabi tutulabilirler. Bu işleme öncelikle programa mutasyon olasılığı girilerek başlanılır. Girişte herhangi bir sayı üretilip sonraki generasyonlarda yine herhangi bir sayı üretilerek bu üretilen sayıların birbirine eşit olması halinde mutasyon işlemi gerçekleştirilir. Mutasyon işlemi aramayı bir noktaya sıkışıp kalmaktan kurtararak, aramanın kısır döngüye girmesine engel olur.

6.1. Genetik Algoritma Operatörleri

Genetik algoritmaların önemli kısımları başlangıç popülasyonu oluşturmak, amaç fonksiyonunu belirlemek, seçilme işlemi, çaprazlama ve mutasyondur. Amaç fonksiyonu doğru tanımlandıktan sonra çaprazlama ve mutasyon GA'nın performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Çaprazlama işlemi bu algoritmanın motoru olarak kabul edilebilir. Çaprazlama, ata kromozomların arasındaki belirli genlerin takasıdır. Bu iyi olan özelliklerin birleşip en iyiye yaklaşmayı sağlayarak çeşitliliği meydana getirmektedir. Mutasyon, kromozomun bir geninin değişmesi işlemidir. Mutasyon oranının düşük seçilmesi popülasyondaki bazı özelliklerin kaybolmasına sebebiyet vererek, iyi olan sonuçların bulunmasını engelleyebilir. Çok yüksek seçildiğinde elde edilen çözümlerin bozulmasına neden olarak amaca ulaşmayı zorlaştırır. Bu nedenle bu oran makul değerlerde alınmalıdır. Bu özelliklerden dolayı genetik algoritma operatörlerinin hepsi de sonuca ulaşma performansını önemli ölçüde etkilemektedir.

6.2. Kromozomların Şifrelenmesi

Bir problem eğer genetik algoritma ile çözülecekse öncelikle kromozomların hangi yöntemle kodlanacağı belirlenmelidir. Problemin türüne göre kodlama teknikleri farklılık göstermektedir. [27]

6.2.1. İkili Kodlama

İkili kodlama yöntemi ilk GA uygulamalarında kullanılmıştır. Bu nedenden dolayı en çok tercih edilen kodlama yöntemidir. Bu yöntemde kromozomlar 0 ve 1'lerden oluşmaktadır.

Çözümün özellikleri kromozomların bitlerinde saklıdır. Kromozomların hepsi bir sayıya denk gelmektedir.

Kromozom X: 10111001001

Kromozom Y: 01001110000

Kromozom X ve Y ikili kodlama için bir örnektir.

6.2.2. Permütasyon Kodlama

Bu yöntem sıralı kodlama da denilmektedir. Sıralamanın önemli olduğu problemlerde tercih edilir. Gezgin satıcı ve araç rotalama problemleri bu kodlama yöntemiyle çözülebilir.

Kromozom X: 3 5 1 2 7 6 0 4

Kromozom Y: 0 1 5 6 2 3 4 7

Kromozom X ve Y permütasyon kodlama için bir örnektir.

Bu kodlama yöntemiyle çözülen problemlerde ikili sayı sistemi kullanılarak kodlanabilir. Örnek verilecek olursa onluk sayılar için ikilik sistemde sayılar yazılır.

0 için 000, 1 için 001, 2 için 010, 3 için 011.....7 için 111 gibi.

Böylelikle 8 genden oluşmuş permütasyon kodlama yöntemiyle kodlanmış kromozomlar 24 genden oluşmuş olacaktır. Bu gezgin satıcı problemine uyarlandığında her üç gen bir şehri ifade etmektedir.

6.2.3. Değer Kodlama

Gerçek kompleks sayıların bulunduğu problemlerde kullanılan kodlama yöntemidir. Burada her kromozom belli değerleri temsil ettiği için ikili kodlama tekniğini kullanmak çok zordur. Bu kullanılan değerler problemle ilgili olup gerçek sayı, karakter, kompleks nesneler olabilme durumu vardır.

Kromozom X: 5.283 9.131 8.649 0.238 3.117

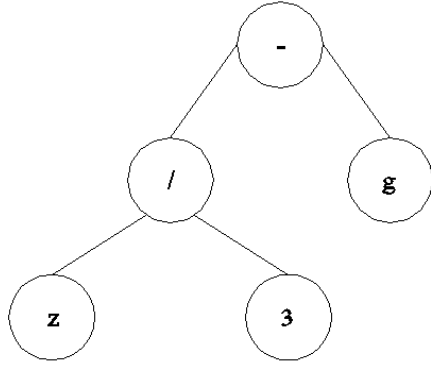
Kromozom Y: ABCDJKFŞASDLFDKFÇMSİ

Kromozom Z: (geri), (sağ), (ileri), (geri), (sol)

Özel problemlerin çözümünde, örnek verilecek olursa yapay sinir ağının ağırlık katsayılarının bulunması probleminde bu kodlama yöntemi tercih edilir.

6.2.4. Ağaç Kodlama

Genetik programlama problemlerinde ifadeler, programlar oluşturmak amacıyla ağaç kodlama tekniği kullanılır. Bu kodlama da isminden de yola çıkılacak olursa kromozomlar nesneler ve bunların arası işlemleri temsil eden ağaç yapısından meydana gelmektedir.



Şekil 6.4 Ağaç kodlama için kromozom örneği[27]

Bu kodlama program geliştirmek için uygun bir yöntemdir. LISP, Prolog gibi programlama dillerinde program ağaçtan yapısal olarak yoğun bir şekilde kullanılmaktadır.

6.3. Çaprazlama (Gen Takası) ve Mutasyon

Genetik algoritmalarda kromozomların hangi yöntemle kodlanacağı belirlendikten sonra çaprazlama bölümüne geçilir. Çaprazlamanın amacı, iyi olan bireyleri birleştirerek karşılıklı gen değişimi ile yeni bireylerin oluşmasını sağlamaktır. Çaprazlama işleminde rastgele seçilen ebeveyn kromozomlardan yine rastgele seçilerek belirlenmiş olan çaprazlama noktası esas alınarak gen değişimi yapılarak çocuk kromozomların oluşması sağlanır. Çaprazlama sonucu oluşan çocuk kromozomlar uygunluğunun iyi olması, üzerinde çalışılan problemin optimum sonuca ulaşmasını sağlar. Çaprazlama da farklı kromozomlar seçilerek işlem yapıldığı için farklı bilgi taşıyan kromozomlar bir araya gelerek nesil çeşitliliği sağlanarak, en iyi olan çözüme yaklaşılmış olunur.

Mutasyon işlemi doğadaki genetik mutasyon olayını baz alarak genetik algoritmanın başarılı bir sonuç oluşturması açısından önemlidir. Nesillerdeki genler kontrol edilerek mutasyon oranına göre genin 0 ise 1, 1 ise 0 yapılması işlemidir. Mutasyonun amacı, araştırmanın belli bir alanda yoğunlaşması durumunda, yön değişikliği sağlayarak

araştırmanın geniş bir alanda yapılmasını sağlayıp kısır döngüye girilmesini önleyip, sonuçların yerel optimuma düşmesi engellemektir.

Kromozomların kodlamasına göre çaprazlama ve mutasyonun değişik yöntemleri bulunmaktadır.

6.3.1. İkili Kodlanmış Kromozomlarda Çaprazlama

Bu kodlamada 4 farklı çaprazlama yapılabilmektedir.

6.3.1.1. Tek Noktalı Gen Takası

Çaprazlama işleminin yapılacağı kromozomda herhangi bir çaprazlama noktası belirlenir. Bu belirlenen noktaya kadar olan genler birinci ata kromozomdan, bu noktadan sonra olan genler ikinci ata kromozomdan alınarak çocuk kromozom oluşturulur.

Kromozom 1: **1010** 111010

Kromozom 2: 0110 **010110**

Çocuk : 1010010110

Şekil 6.5 İkili kodlamada tek noktalı gen takası

6.3.1.2. Çift Noktalı Gen Takası

Bu çaprazlamada iki tane kırılma noktası belirlenir. Birinci noktaya kadar olan genler birinci ata kromozomdan, iki nokta arasındaki genler ikinci ata kromozomdan, ikinci noktadan sonraki genler ise yine birinci ata kromozomdan alınarak yeni kromozoma kopyalanarak işleme son verilir.

$$10011010 \quad x \quad 11111010 = 10111010$$

Şekil 6.1 İkili kodlamada iki noktalı gen takası[27]

6.3.1.3. Tek Biçimli (Uniform) Takası

Bu çaprazlama metodunda genler rastgele her iki ata kromozomdan alınarak yeni kromozoma kopyalanarak işlem tamamlanır.

$$01010010 \quad x \quad 11101110 = 01011110$$

Şekil 6.7 İkili kodlamada tek biçimli gen takası[27]

6.3.1.4. Aritmetik Takas

Farklı aritmetik işlemler kullanılarak yeni kromozom meydana getirilir.

$$11011011 \quad x \quad 11101010 = 11001010 \quad (\text{AND}) \text{ VE}$$

işlemi

Şekil 6.8. İkili kodlamada aritmetik takas[27]

6.3.2. İkili Kodlanmış Kromozomlarda Mutasyon

İkili kodlanmış kromozomlar için mutasyon oluşacak yeni nesildeki rastgele seçilen bir ya da bir kaç bitin 1 ise 0, 0 ise 1 yapılma işlemidir.

Orjinal döl: 1100101001010

Mutasyona uğramış döl: 1100001001010

6.3.3. Permütasyon Kodlanmış Kromozomda Çaprazlama

Bu ikili kodlanmış kromozomlardaki tek noktalı çaprazlama işlemine benzerdir. Bu işlemde de yine bir nokta seçilir. Bu belirlenen yere kadar olan ifadeler birinci ata kromozomdan, belirlenen noktadan sonraki ifadeler ikinci ata kromozomdan alınır.

$$1\ 2\ 3\ 4\ 5\ 6\ 7\ 8\ 9 + 4\ 5\ 3\ 6\ 8\ 9\ 7\ 2\ 1 = 1\ 2\ 3\ 4\ 5\ 9\ 7\ 2\ 1$$

Şekil 6.9. Permütasyon kodlamada çaprazlama [27]

6.3.4. Permütasyon Kodlanmış Kromozomda Mutasyon

Bu işlemde de herhangi iki gen belirlenerek, bu genlerin yerlerini değiştirmek ile mutasyon işlemi yapılır.

$$12345678 \Rightarrow 16234278$$

6.3.5. Değer Kodlanmış Kromozomda Çaprazlama

İkili kodlanmış kromozomlara uygulanabilen tüm takas metodları değer kodlanmış kromozomlara da uygulanabilmektedir.

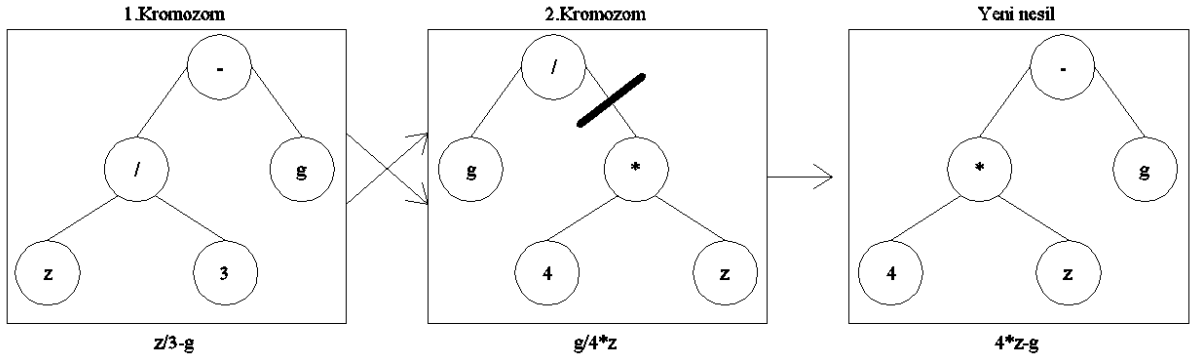
6.3.6. Değer Kodlanmış Kromozomda Mutasyon

Bu mutasyon işleminde de belirlenen değere küçük bir sayı eklenmesiyle ya da belirlenen değerden küçük bir sayının çıkarılmasıyla bir yeni kromozom elde edilir.

$$1.29\ 5.68\ 2.86\ 4.11\ 5.55 \Rightarrow 1.29\ 5.68\ 2.73\ 4.22\ 5.55$$

6.3.7. Ağaç Kodlanmış Kromozomda Çaprazlama

Çaprazlama işlemine tabi tutulacak ata kromozomlardan birer çaprazlama noktası belirlenerek parçalanır. Bu belirlenen yer altındaki kısımlar kendi aralarında yer değiştirerek yeni bir nesil oluştururlar.



Şekil 6.10 Ağaç kodlamada çaprazlama[27]

6.3.8. Ağaç Kodlanmış Kromozomda Mutasyon

Ağaç kodlanmış kromozomlarda mutasyon işlemi yapılırken, belirlenen düğümlerdeki ifadeler yer değiştirilir.

6.4. Genetik Algoritmanın Parametreleri

Parametreler genetik algoritmanın performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Optimal kontrol parametrelerine ulaşmak amacıyla bir çok araştırma yapılmasına karşın tüm problemler için genel bir parametre sonucuna ulaşılamamıştır. Bunlar kontrol parametreleri olarak isimlendirilir. Temel kontrol parametreleri; çaprazlama oranı, mutasyon oranı ve ya olasılığı, popülasyon büyüklüğü, generasyon sayısıdır.

6.4.1. Çaprazlama Olasılığı

Çaprazlamanın amacı ata kromozomlardan iyi olanların birleştirilerek daha iyi uygunluk değerine sahip kromozomlar oluşturmaktır. Çaprazlamanın yapılmadığı durumda oluşacak yeni nesil ebeveynlerin kopyasıdır. Bu nedenle çaprazlamanın hangi sıklıkla yapılacağını belirlemek için çaprazlama olasılığı kullanılır. Bu işlem gerçekleştiğinde oluşan kromozom ata kromozomların parçalarından meydana gelmektedir. Çaprazlama olasılığı %100 olduğunda oluşacak yeni nesillerin hepsi takas yolu ile meydana gelmektedir. Bu oranın %0 olması durumunda yeni nesil eski neslin kopyası olur. Bu oranın çok yüksek olduğunda araştırma uzayı çok hızlı olarak araştırılır. Bu durumda iyi olan kromozomların

yapıları deęiřtięi için arařtırmanın performansını dūřmesine sebep olmaktadır. Dūřük olması durumun da ise yeni bireylerin oluřması az olduęu için çözüme ulařmada dūřūř görülmektedir. Bu nedenlerden dolayı çaprazlama oranının makul deęerlerde seçilmesi gerekir.

6.4.2. Mutasyon Olasılığı

Kromozomların birbirine benzediği durumlarda çözüme yaklaşılmadığında genetik algoritmayı sıkıştığı yerden kurtarmanın yani yerel optimuma takılmayı önlemek amacıyla mutasyon yapılmaktadır. Mutasyon yapıldığında da hangi sıklıkla yapılacağı belirlenmelidir. Mutasyon olasılığı %100 seçildiğinde bütün kromozomlar değişiklik görülür. Bu olasılığın %0 seçildiğinde kromozomların yapısı aynı kalır. Bu oranın dūřk seçilmesi araştırma uzayının hepsini araştırılmasına engel olduğu için yerel çözümlerde takılma oluşur. Mutasyon olasılığının çok yüksek belirlenmesi durumunda problem rastgelelik kazanır genler sürekli değişerek, arama hızlı bir şekilde ıraksayacaktır. Bu durumda popülasyon gelişmesini değil de tahribatını neden olur. Gerçek yaşamdan esinlenerek oluşturulan mutasyon gerçekte çok az olduğu göz önünde bulundurularak genellikle 0.001-0.01 aralığında kullanılması tavsiye edilmektedir.

6.4.3. Popülasyon Büyüklüğü

Popülasyon büyüklüğünün seçilmesi algoritmanın başarısını etkilemektedir. Nesildeki birey sayısının az olması durumunda arama uzayı yeterince araştırılmadığı için yerel optimuma yakalanma riski vardır. Yani problemin küçük bir bölümü araştırılmış olunur. Bu sayının çok yüksek seçilmesi ise bir generasyonluk gelişim çok uzun zaman alarak algoritmayı yavaşlatmış olacaktır. Popülasyon büyüklüğü ile generasyon sayısı arasında da bir dengenin kurulması gerekmektedir. Eęer dūřk bir generasyon sayısında optimal çözüme gidiliyorsa, bu sayının büyütülüp çözüm süresini uzatmamak gerekir. Yine aynı şekilde dūřk popülasyon sayısında çözüme ulaşılıyorsa popülasyon sayısının yükseltilmesine gerek yoktur.

Golberg tarafından yapılmış araştırmaya göre ikili kodlamalı durumlarda kromozom uzunluğu (ch) ve popülasyon büyüklüğü (P) arasında denklem 6.3'deki bağıntıyı önermektedir. [3]

$$P = 1,65 * 2^{0,2*Ch} \quad (6.3)$$

Problemin niteliğine göre kontrol parametrelerinin belirlenmesi gerekir. Tablo 6.1'de önerilen bazı değerler gösterilmiştir.

Tablo 6.1. GA için önerilen kontrol parametreleri[3]

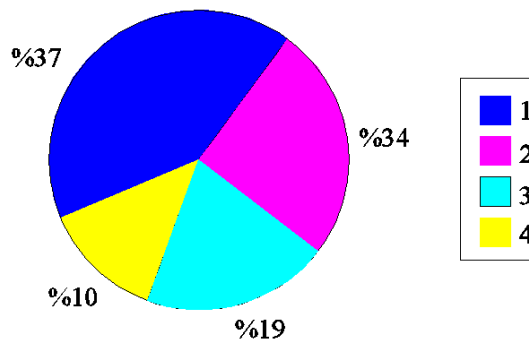
Parametreler	Negnevitsky	D.Jong	Michalewicz	Schaffer	Grefenstette
Popülasyon Büyüklüğü	50	50-100	50-100	20-30	30
Çaprazlama Oranı	0,7	0,6	0,5-1.0	0,75-0,95	0,95
Mutasyon	0,001-0,01	0,001	0,001-0,01	0,005-0,01	0,01

6.5. Seçim

Uygunluk değeri yüksek olan yani kalitesi iyi olan bireylerin hayatta kalmaları ve nesillerinin artması, yine aynı şekilde uygunluk değeri düşük olan bireylerin sayılarının azalıp tükenmesi teorisine göre seçim işlemi yapılmaktadır. [3] Bu seçimlerden bir kısmı; rulet tekeri seçimi, Boltzman seçimi, sabit durum seçimi ve sıralama seçimleridir.

6.5. 1. Rulet Tekerı Seçimi

Bireylerin uygunluk değerleri göz önüne alınarak seçim işlemi yapılır. Ama yine bu değeri yüksek olanın seçilmesi garanti değildir, fakat seçilme şansı daha yüksektir. Bu metodda bütün bireylerin uygunluk değerleri tabloya yazılarak toplanır. Daha sonra bulunan uygunluk değeri toplama bölünerek seçilme olasılıkları bulunur.



Şekil 6.11 Rulet seçimi[27]

6.5.2. Sıralama Seçimi

Uygunlukların birbirinden çok farklı olduğu durumlarda rulet tekeri seçimi problemlere neden olacaktır. Örnek verilecek olursa, rulet tekerinin %90'ında olan en iyi kromozom uygunluğu diğer kromozomlara çok az seçme şansı verecektir. Sıralama seçiminde popülasyon sıralandıktan sonra kromozomların uygunlukları aranmaktadır. En kötü olan 1 uygunlukta, en iyi olan ise N uygunlukta olur. N, kromozom sayısıdır. Bu durumda bütün bireylere seçilme şansı verilecektir. Bu seçimin en iyi olan kromozom diğerlerinden çok farklı olmadığı için istenilen çözüme yaklaşıma yavaş bir şekilde olacaktır.

6.5.3. Sabit Durum Seçimi

Sabit durum seçiminde ebeveyn seçmek için kromozomların büyük olan parçaları daha sonraki generasyona taşınmalıdır. Daha sonra her nesilde farklı bir döl meydana getirmek için genellikle uygunluğu iyi olan bir kaç kromozom seçilir. Sonraki adım ise uygunluğu az olan kötü kromozomlar atılarak yeni olan döl yerine getirilir. Popülasyondaki diğer kromozomları değişmeden yeni nesile geçerler.

6.6. Seçkinlik (Elitism)

Çaprazlama ve mutasyon işlemlerine tabi tutulan kromozomlarla yeni bir popülasyon oluştuğu zaman en iyi kromozomlar kaybedilebilir. Seçkinlik öncelikle en iyi olan kromozomu ve ya kromozomları yeni popülasyona taşıyarak, geri kalanları diğer yöntemlere göre devam ettirir. Bu işlem en iyi olan sonucu koruduğu için algoritmanın performansını hızlı bir şekilde önemli ölçüde artırır.

7.GENETİK ALGORİTMANIN PROBLEME UYGULANMASI

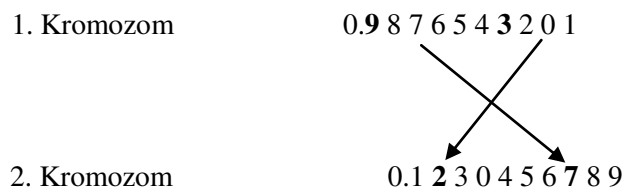
Yapılan çalışmada kullanılan programın amacı rastgele üretilen değerler yardımıyla bulunan filtrenin genlik cevabının istenen genlik cevabı arasındaki hatayı minimize etmektir. Rastgele üretilen değerler amaç fonksiyonunda yerine yazılarak, programda hazır komut olarak girilen buttord ve butter komutlarıyla elde edilen değerlerin arasındaki farkı en aza indirmek amacıyla uygunluk fonksiyonu oluşturulur. Matlab programı kullanılarak oluşturulan programın işlem adımları aşağıdaki gibidir.[31]

1. Öncelikle popülasyon büyüklüğü, iterasyon sayısı, mutasyon oranı, kondansatör değeri, filtrenin alt ve üst kesim frekansı, geçirme ve durdurma bandı dalgalanması değerlerinin girilmesi gerekir.

2. Kullanıcının girdiği popülasyon büyüklüğüne göre rastgele sayılarla oluşturulmuş başlangıç popülasyonu oluşturulur. Bu popülasyonda oluşturulan değerler opamp'lı bloklardaki R1,R2,R3 değerleridir ve $k\Omega$ cinsindendir. Bu üretilen değerler ikili sayı sisteminde değildirler. Gerçek değerler şeklinde üretilmektedir.

3. Meydana gelen popülasyondaki tüm değerler önceden belirlenmiş 6.1, 6.2 denklemlerinde yerine yazılarak uygunluk ve kopya sayıları belirlenir. Bulunan bu değerler dikkate alınarak kromozomların yeni nesilde yer alıp alınmayacağına karar verilir. Yani kopya sayısı büyük olanlar çaprazlama işlemine girerek yeni nesilde yerine alırken, kopya sayısı 0 olan kromozomlar yeni nesilde bulunmayacaklardır.

4. Çaprazlama işlemi sayıların ikili sayıya dönüştürülmesi yöntemiyle değil de üretilen sayılar üzerinden değer çaprazlama yöntemiyle yapılmıştır. Bu işlem yapılırken de iki sayı değeri rastgele belirlenerek çaprazlamaya uğrayacak diğer kromozomdan rastgele seçilen sayıların yerinin değişmesiyle yapılır.



yapılan çaprazlama işlemi neticesinde ise,

1. Kromozom 0.7 8 7 6 5 4 2 2 0 1

2. Kromozom 0.1 3 3 0 4 5 6 9 8 9

şeklinde olmaktadır.

5. Başlangıçta belirtilen iterasyon sayısına ulaşılmadığı durumda iterasyon sayısı bir arttırılarak çaprazlama işlemi sonucunda oluşturulan yeni popülasyonda her bir kromozomun uygunluk değeri tekrar hesaplanır. Bu işlem sonucunda kromozomların genlik cevapları normalize edilerek bu sonuçtan elde edilen yeni katsayılara dönülür.

6. Çaprazlama işleminde, çaprazlamaya uğramamış kromozomlar ile çaprazlamaya girmiş uygunluğu iyi olan kromozomlar bir popülasyon oluştururlar. Bu popülasyondan uygunluk değeri iyi olan kromozomlar seçilerek yeni popülasyon oluşturulur.

7. Başlangıçta verilen mutasyon oranına göre (1/10, 1/100, 1/1000) kromozomlar mutasyona uğratılır. Mutasyon kromozomlar birbirine benzediğinde, genetik algoritmayı sıkıştığı yerden kurtarmak için yapılır. Mutasyonun yapılacağına karar vermek için rastgele bir sayı üretilir. Sonra bu üretilen sayının başlangıçta üretilen sayıyla aynı olması durumunda mutasyon yapılır. Program sonucunda mutasyon adetinin kaç tane olduğu gösterilmektedir.

8. Başlangıçta verilen iterasyon sayısına varıldığında program en sondaki popülasyondaki kromozomların uygunluk değeri en iyi olandan başlayarak tüm kromozomların genlik cevapları hesaplayarak çizmektedir. İterasyon sayısına ulaşılmamışsa program başa dönmektedir.

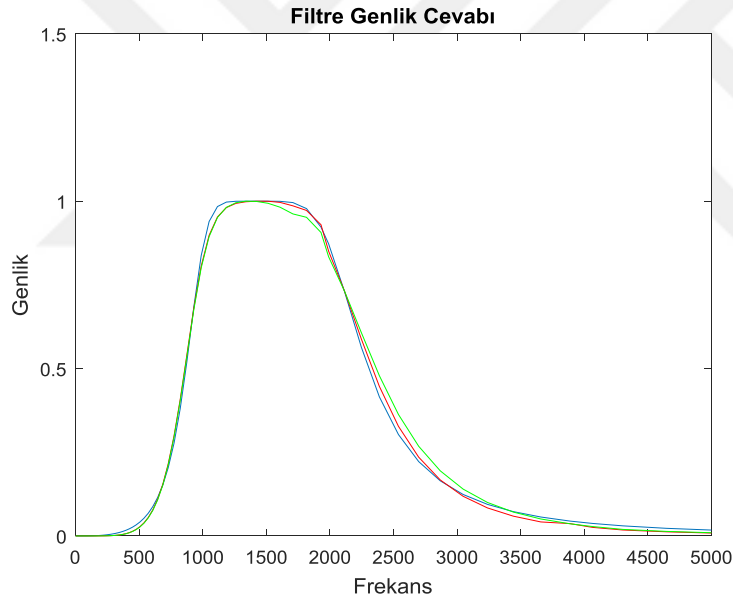
7.1.Uygulama Sonuçları

Şekil 5.2 'de verilen Sallen Key filtresi olarak bilinen durum değişkenli filtre devresi butterworth yaklaşımı kullanılarak gerçekleştirilen bant geçiren bir aktif filtredir. Bu filtre kaskat bağlanarak şekil 7.23'deki 6. dereceden 3 katlı bant geçiren filtre devresi elde edilmiştir. Program yardımıyla elde edilen, bu devrenin eleman değerleri aşağıdaki örneklerde verilmiştir. Verilen örnekler programda devre parametreleri, GA parametreleri değiştirilerek programa etkisini gözlemleyebilmek amacıyla çalıştırıldığında elde edilen sonuçlardır. [32]

7.1.1. Örnek 1

Tablo 7. 1. 1. Başlangıç şartları

Popülasyon Sayısı	10
İterasyon Sayısı	100
C Değeri	0.00000001 F
R Katsayısı	10
Mutasyon Oranı	1/100
Geçirme-Durdurma Bandı Dalgalanması	1.5-28 dB
Durdurma Bandı Alt Kesim Frekansı	500 Hz
Geçirme Bandı Alt Kesim Frekansı	1000 Hz
Geçirme Bandı Üst Kesim Frekansı	2000 Hz
Durdurma Bandı Üst Kesim Frekansı	4000 Hz



Şekil 7. 1. Band geçiren filtrenin genlik cevapları 1 (— istenen genlik cevabı, — en iyi kromozomun genlik cevabı, — en kötü kromozomun genlik cevabı)

Tablo 7. 2. 1. Program sonuçları

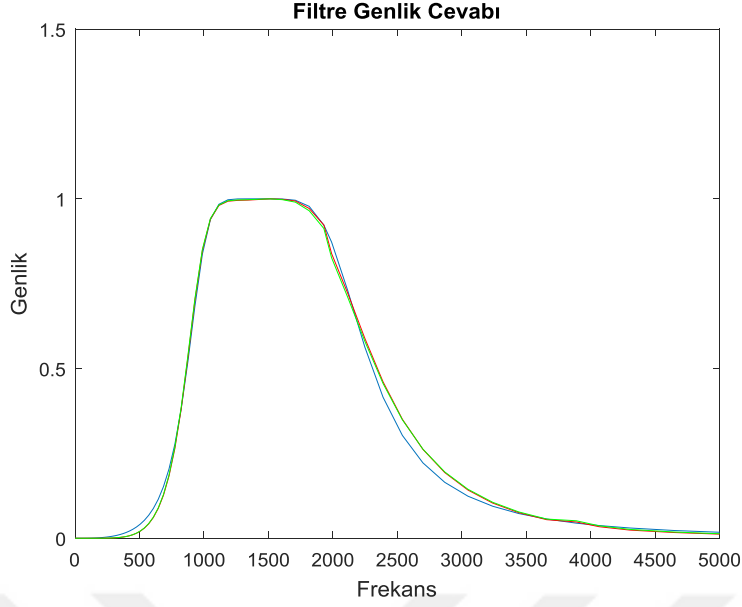
Pop.Sayısı	R1			R2			R3			Hata
	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	
1	9,389937	9,33549	5,55596	8,834834	8,888889	2,245422	1,093812	8,940884	1,666114	0,003322
2	6,689337	9,35503	9,56556	7,334834	8,888889	2,035422	1,393812	8,980834	1,366114	0,003434
3	9,689337	9,35543	9,55556	7,384834	8,898889	2,055425	1,333318	8,880834	1,396111	0,004026
4	9,989937	9,39543	9,55556	7,394854	8,898489	2,055425	1,393312	8,980834	1,396119	0,004057
5	6,699337	9,33503	5,56556	8,334834	8,883889	2,235422	1,093812	8,900884	1,666114	0,004096
6	9,309937	9,035493	5,55566	8,834834	8,888889	2,255452	1,193112	8,440884	1,666116	0,0044
7	3,896687	9,033339	5,555596	9,587859	8,888489	2,225202	1,833318	8,880834	1,396111	0,004556
8	3,896587	9,043339	5,555593	9,539859	8,888489	2,255252	1,383312	8,980838	1,396139	0,004943
9	8,389937	9,33543	5,55596	8,834334	8,888889	2,235402	1,093832	8,940884	1,566114	0,004952
10	3,896587	9,343339	5,555593	9,587359	8,888489	2,225202	1,333318	8,880834	1,396111	0,004989

Programa tablo 7.1'de başlangıç şartları verilerek Şekil 7.1'de bant geçiren filtrenin genlik cevapları (istenen genlik cevabı, en iyi kromozomun genlik cevabı, en kötü kromozomun genlik cevabı) elde edilmiştir. Tablo7.2'de her bir opampli grubun direnç değerleri program yardımıyla elde edilmiştir. Ve istenen genlik cevabı ile bulunan genlik cevapları arasındaki hata değeri tabloda belirtilmiştir.

7.1.2. Örnek 2

Tablo 7. 3. 2. Başlangıç şartları

Popülasyon Sayısı	10
İterasyon Sayısı	250
C Değeri	0.00000001 F
R Katsayısı	10
Mutasyon Oranı	1/100
Geçirme-Durdurma Bandı Dalgalanması	1.5-28 dB
Durdurma Bandı Alt Kesim Frekansı	500 Hz
Geçirme Bandı Alt Kesim Frekansı	1000 Hz
Geçirme Bandı Üst Kesim Frekansı	2000 Hz
Durdurma Bandı Üst Kesim Frekansı	4000 Hz



Şekil 7. 2. Band geçiren filtrenin genlik cevapları 2 (— istenen genlik cevabı, — en iyi kromozomun genlik cevabı, — en kötü kromozomun genlik cevabı)

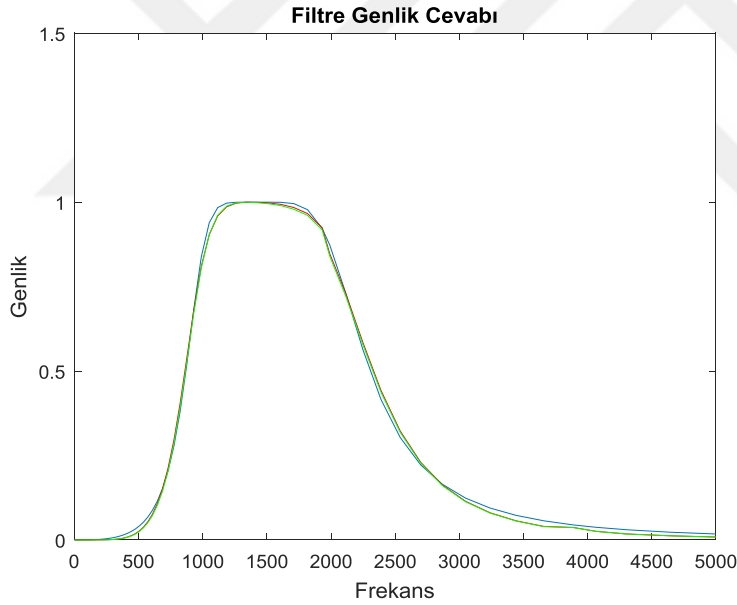
Tablo 7. 4. 2. Program sonuçları

Pop.Sayısı	R1			R2			R3			Hata
	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	
1	0,7701777	5,7777796	9,5952292	9,7650756	2,2233393	9,1333911	6,4466540	1,5356555	9,3339319	0,0034374
2	0,7701772	5,7777706	9,5292292	9,7750756	2,2233393	9,1333911	6,4466530	1,5156155	9,3339919	0,0034683
3	0,7701702	5,7775707	9,2992959	9,9770726	2,2233392	9,1339911	6,4566330	1,5155555	9,3999919	0,0034683
4	0,7701702	5,7775707	9,2592959	9,7259756	2,2733392	9,1933991	6,4446540	1,5316555	9,3333319	0,0034846
5	0,7701707	5,7975707	9,5995959	7,9770726	2,2233292	9,1139911	6,4666530	1,5155555	9,3999919	0,0035019
6	0,7700707	5,7975709	9,5295559	9,9670776	2,2233392	9,3339911	6,5466536	1,5156155	9,3939939	0,0035242
7	0,7701702	5,7775707	9,2992959	7,9770926	2,2932392	9,1339911	6,4666535	1,5655515	9,3999913	0,0035335
8	0,7771707	5,7975707	9,5295959	9,5650756	2,2333323	9,1333911	6,5466536	1,5551155	9,3139933	0,0035478
9	0,7771707	5,7975707	9,5995929	7,9090726	2,2333292	9,1339911	6,4464330	1,5155555	9,4999919	0,0035726
10	0,7001772	5,9777796	9,5552292	9,6750756	2,2333323	9,1933911	6,4566430	1,5155555	9,3999919	0,0035838

7.1.3. Örnek 3

Tablo 7. 5. 3. Başlangıç şartları

Popülasyon Sayısı	10
İterasyon Sayısı	500
C Değeri	0.00000001 F
R Katsayısı	10
Mutasyon Oranı	1/100
Geçirme-Durdurma Bandı Dalgalanması	1.5-28 dB
Durdurma Bandı Alt Kesim Frekansı	500 Hz
Geçirme Bandı Alt Kesim Frekansı	1000 Hz
Geçirme Bandı Üst Kesim Frekansı	2000 Hz
Durdurma Bandı Üst Kesim Frekansı	4000 Hz



Şekil 7. 3. Band geçiren filtrenin genlik cevapları 3 (— istenen genlik cevabı, — en iyi kromozomun genlik cevabı, — en kötü kromozomun genlik cevabı)

Tablo 7. 6. 3. Program sonuçları

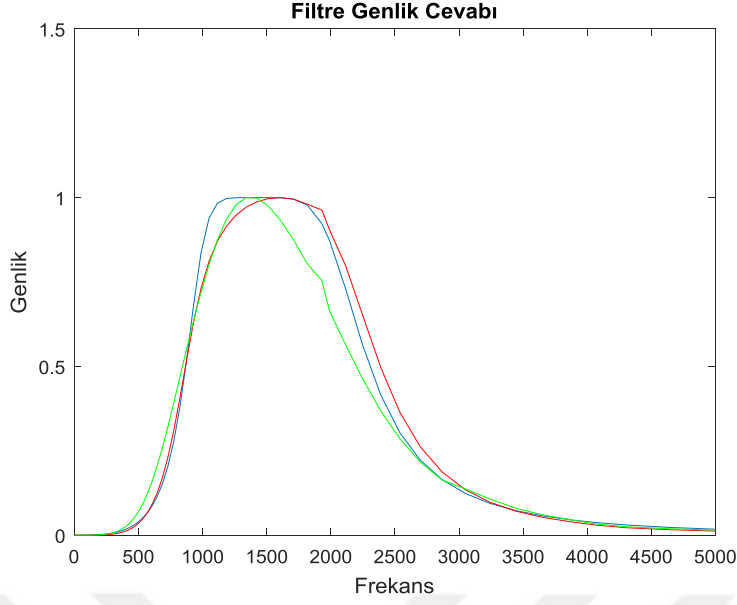
Pop.Sayısı	R1			R2			R3			Hata
	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	
1	9,6696889	9,9343949	4,8804448	9,9399999	9,9968668	1,9917711	2,2132232	8,8888884	1,4844382	0,0031236
2	9,6696899	9,9949949	4,8804442	9,9399996	9,9969668	1,9967711	2,2133232	8,8888884	1,4844382	0,0031469
3	9,6696899	9,9349949	4,8804442	9,9399996	9,9968668	1,9967711	2,2133232	8,8888884	1,4844382	0,0031481
4	9,6699899	9,9349949	4,8004442	9,9399993	9,8969668	1,9767791	2,2133232	8,8888884	1,4848382	0,0031550
5	9,9996896	9,3943499	4,8280488	9,3939939	9,6968968	1,9799711	2,2133232	8,8888888	1,4844382	0,0031589
6	9,6896899	9,9949949	4,8804442	9,9993996	9,9968668	1,9967911	2,2233232	8,8888488	1,4844382	0,0031612
7	9,9996896	9,3943499	4,8480482	9,3939939	9,6968968	1,9799719	2,2233232	8,8488484	1,4844382	0,0031699
8	9,6996899	9,9349949	4,8804442	9,9999996	9,9898668	1,9767711	2,3123232	8,8888888	1,4844382	0,0031801
9	9,8696899	9,9449949	4,8884442	9,9399996	9,8968668	1,9967711	2,2233232	8,8888888	1,4844382	0,0031839
10	8,8896796	9,3939442	4,8880482	9,9399936	9,6968668	1,9967711	2,2233233	8,8888884	1,4844382	0,0031861

7.1.2. ve 7.1.3. durumlarda 1. durumdan farklı olarak iterasyon sayısı 250 ve 500 yapılarak yani yapılan işlemin tekrar yapılma sayısını arttırarak hata değerinin düşüp düşmemesi gözlenmiştir. İterasyon sayısının artmasıyla algoritma rastgele oluşturulan değerlerle uygunluk fonksiyonunu arttırarak en iyi olan sonucu bulmaya çalışmaktadır. İterasyon sayısını 100'den 500'e çıkarıldığında hata değerinin biraz daha düştüğü gözlemlendi.

7.1.4. Örnek 4

Tablo 7.7. 4. Başlangıç şartları

Popülasyon Sayısı	10
İterasyon Sayısı	100
C Değeri	0.00000001 F
R Katsayısı	100
Mutasyon Oranı	1/100
Geçirme-Durdurma Bandı Dalgalanması	1.5-28 dB
Durdurma Bandı Alt Kesim Frekansı	100 Hz
Geçirme Bandı Alt Kesim Frekansı	1000 Hz
Geçirme Bandı Üst Kesim Frekansı	2000 Hz
Durdurma Bandı Üst Kesim Frekansı	4000 Hz



Şekil 7. 4. Band geçiren filtrenin genlik cevapları 4 (— istenen genlik cevabı, — en iyi kromozomun genlik cevabı, — en kötü kromozomun genlik cevabı)

Tablo 7. 8. 4. Program sonuçları

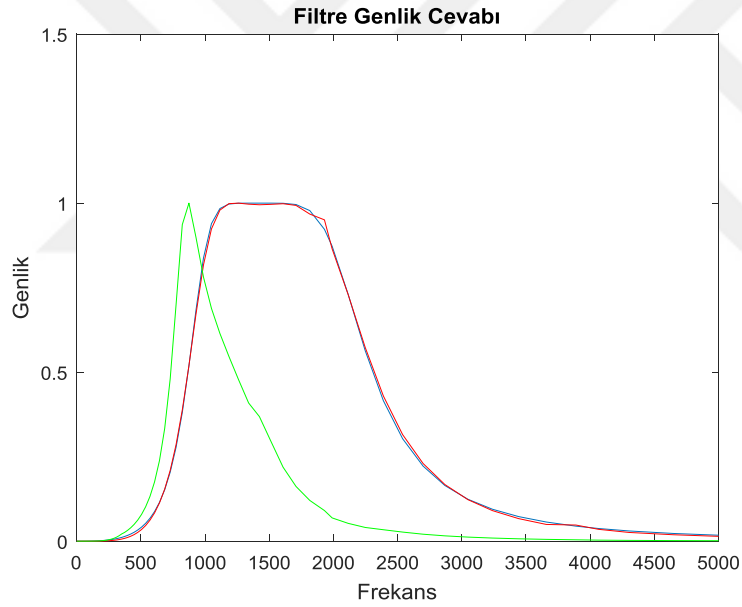
Pop.Sayısı	R1			R2			R3			Hata
	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	
1	90,083605	7,7837807	8,6064080	42,480704	22,226922	10,951915	33,738778	46,374343	15,505576	0,006367
2	96,083605	8,7837877	6,6064080	62,480704	22,226982	10,951905	33,548778	46,774343	15,305576	0,010055
3	80,082605	8,8837877	6,4064000	67,420704	22,626982	10,151905	38,478778	46,474344	17,555575	0,010249
4	98,083605	9,7837877	6,0064000	62,780707	26,222982	10,951905	33,748778	36,774363	15,305576	0,010483
5	90,082605	8,7837877	6,4064080	62,480704	22,226982	10,951905	33,738778	46,774363	15,305176	0,010547
6	96,988605	8,7897877	6,0004080	72,080700	22,626922	10,511905	33,748774	46,774344	15,305571	0,01083
7	96,083605	8,0837877	6,0064080	62,080774	26,222982	10,951905	33,478778	46,474347	15,505575	0,010967
8	96,083695	8,3837077	6,6064080	62,780704	22,266982	10,951905	33,548773	46,774343	15,305573	0,011095
9	86,083615	7,7887877	6,0064080	72,480704	22,726922	10,911905	37,547778	48,794343	15,505576	0,011257
10	96,089605	8,7877877	6,6004080	67,780704	22,222982	11,951905	37,847738	48,394343	15,701576	0,012477

7.1.4. durumda direnç değeri katsayısı 100 yapılarak tasarıma etkisine bakılarak, hata değerinin yükseldiği gözlenmiştir. İyi bir sonuç elde edilememiştir.

7.1.5. Örnek 5

Tablo 7. 9. 5. Başlangıç şartları

Popülasyon Sayısı	10
İterasyon Sayısı	500
C Değeri	0.00000001 F
R Katsayısı	100
Mutasyon Oranı	1/100
Geçirme-Durdurma Bandı Dalgalanması	1.5-28 dB
Durdurma Bandı Alt Kesim Frekansı	100 Hz
Geçirme Bandı Alt Kesim Frekansı	1000 Hz
Geçirme Bandı Üst Kesim Frekansı	2000 Hz
Durdurma Bandı Üst Kesim Frekansı	4000 Hz



Şekil 7. 5. Band geçiren filtrenin genlik cevapları 5 (— istenen genlik cevabı, — en iyi kromozomun genlik cevabı, — en kötü kromozomun genlik cevabı)

Tablo 7. 10. 5. Program sonuçları

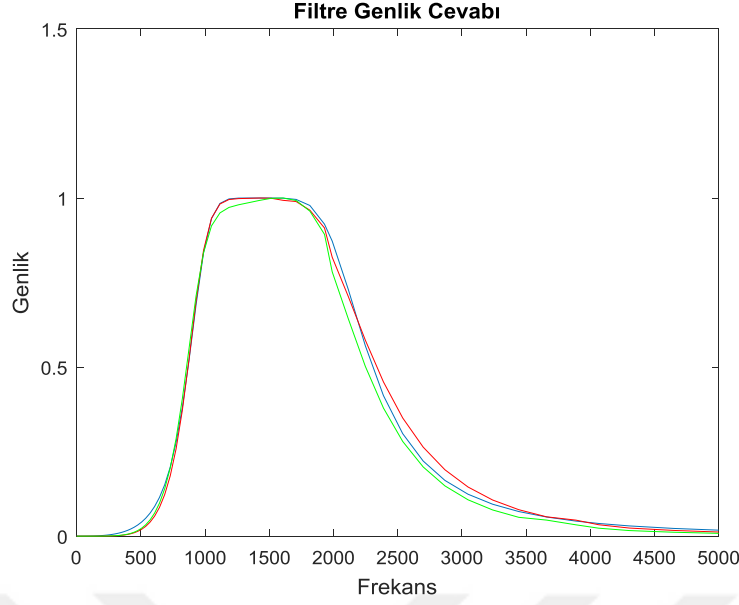
Pop.Sayısı	R1			R2			R3			Hata
	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	
1	25,225225	13,713111	38,212832	33,333333	55,155552	11,111111	47,747777	22,225225	9,2920909	0,001652
2	25,255222	13,713311	38,112833	33,333333	55,555515	11,111111	47,777777	22,225225	9,2929920	0,001655
3	25,255222	13,713371	38,112823	33,333333	55,555115	11,111111	47,777777	22,225225	9,2929920	0,001656
4	25,355225	13,713311	38,212832	33,333333	55,155552	11,111111	47,747777	22,225625	9,2929909	0,001683
5	25,225225	13,711313	38,812838	33,333333	55,555552	11,111111	47,747777	22,525625	9,2929902	0,001691
6	25,325225	13,713111	38,812832	33,333333	55,155552	11,111111	47,747777	22,225225	9,2920909	0,001703
7	25,255225	13,713313	38,112838	33,333333	55,155552	11,111111	47,147777	22,225625	9,2929909	0,001722
8	25,255223	13,113377	38,218838	33,133333	55,555515	11,111111	47,747774	22,525625	9,2929999	0,001783
9	25,555223	52,765030	38,166930	23,333333	76,436942	83,928769	40,747777	6,9987643	42,701333	0,060524
10	65,555225	17,313311	62,222832	35,333333	25,155512	51,111111	44,747774	42,525625	9,0929902	0,065096

7.1.5. durumda direnç katsayısı 100 iken iterasyon 500 yapıldığında çok iyi bir sonuç elde edilmiştir. Bulunan genlik cevabı ile istenen genlik cevabı iyi bir şekilde örtüşmesi gözlemlenmiştir. Hata değeri minimize edilmiştir. En iyi sonuç ile en kötü sonuç arasında çok büyük farklılık gözlemlenmiştir. Yapılan filtre tasarımında tablo 7.10'daki direnç değerleri kullanılabilir.

7.1.6. Örnek 6

Tablo 7. 11. 6. Başlangıç şartları

Popülasyon Sayısı	20
İterasyon Sayısı	100
C Değeri	0.00000001 F
R Katsayısı	10
Mutasyon Oranı	1/100
Geçirme-Durdurma Bandı Dalgalanması	1.5-28 dB
Durdurma Bandı Alt Kesim Frekansı	100 Hz
Geçirme Bandı Alt Kesim Frekansı	1000 Hz
Geçirme Bandı Üst Kesim Frekansı	2000 Hz
Durdurma Bandı Üst Kesim Frekansı	4000 Hz



Şekil 7. 6. Band geçiren filtrenin genlik cevapları 6 (— istenen genlik cevabı, — en iyi kromozomun genlik cevabı, — en kötü kromozomun genlik cevabı)

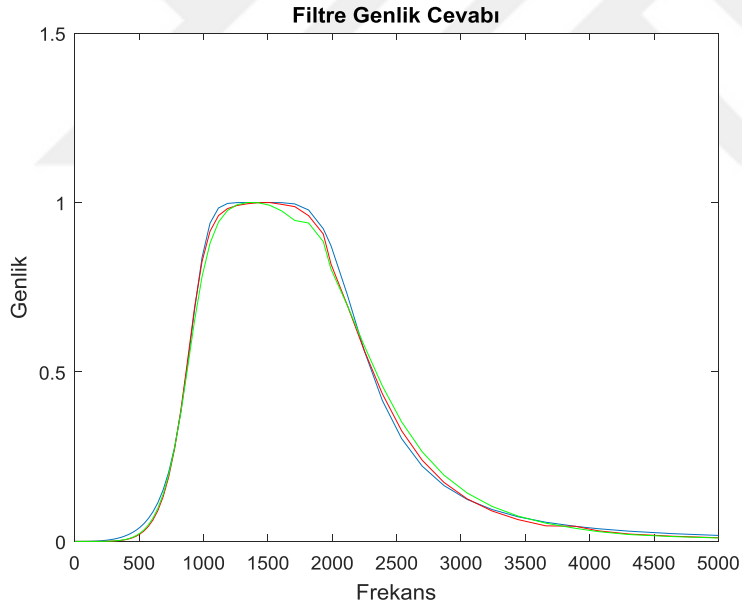
Tablo 7. 12. 6. Program sonuçları

Pop.Sayısı	R1			R2			R3			Hata
	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	
1	0,6659070	9,9490949	9,5527957	6,9919131	8,8684448	2,2227032	6,6667737	8,8465846	1,4666666	0,003702
2	0,9950096	9,9996994	5,7555757	9,1989885	9,8499888	2,3732032	6,7667766	9,6699846	1,6664662	0,003717
3	0,7909979	9,4344949	7,5577957	5,1599195	8,8459788	2,2222032	7,6667733	8,8495846	1,4666666	0,004051
4	0,7760979	9,4349449	5,5555577	9,8999695	9,9999788	2,2333022	7,9497767	9,6958444	1,6464166	0,004065
5	0,7600979	9,4349949	7,5575557	9,9999895	9,8699788	2,3732032	7,9366766	9,6698888	1,6641661	0,004152
6	0,7000979	9,4349349	7,5575577	9,9999895	9,8599988	2,3732032	7,6497367	9,6658446	1,6464166	0,004174
7	0,7000909	9,9344940	7,5777557	9,1999655	9,8999788	2,2032022	7,4467367	9,6458446	1,4464666	0,004177
8	0,9959900	9,9096999	2,7555957	6,1519639	9,9688988	2,2797032	7,7667796	9,5899849	1,6624661	0,004275
9	0,5659970	9,9490949	7,5527957	5,6999395	9,5499788	2,2232032	7,7667737	8,8495846	1,4646666	0,004332
10	0,9659979	9,9940349	7,8557957	9,1999895	9,8899788	2,2732032	7,7667366	9,6999446	1,6664662	0,004381
11	0,7659979	9,9340949	7,5527957	5,1999895	9,8499788	2,2232032	7,6667733	8,8495846	1,4426666	0,004431
12	0,9750970	9,4496490	2,7955957	6,9919131	9,8684948	2,2927032	7,7667796	9,5699886	1,6421661	0,004467
13	0,9950976	9,4496990	5,7755757	8,6898695	9,7885788	2,2537335	7,7667797	9,4699846	1,6664662	0,004523
14	0,9650909	9,9349940	7,5524957	6,1999695	9,8999788	2,2032022	7,7467367	9,6659446	1,4664662	0,004573
15	0,9650979	9,6340940	7,5724957	8,1899695	9,8885788	2,2337035	7,7667793	9,8699846	1,6424662	0,004623
16	0,7600979	9,4349949	7,5577557	8,9991195	9,8989789	2,3333035	7,9666796	9,6998886	1,6411661	0,004744
17	0,7096579	9,4049660	7,5577857	8,1899195	9,8889788	2,2337035	7,7467793	9,8699646	1,6424662	0,004811
18	0,7009909	9,0344949	7,5777957	8,1896895	9,8998988	2,3232032	6,7477793	9,8699846	1,6424662	0,004823
19	0,7009909	9,6344999	7,5577557	8,1991195	9,8989788	2,2333035	7,7667796	9,6699886	1,6411661	0,004825
20	0,9009909	9,9344999	7,7577557	8,9866895	9,8898488	2,3232032	7,7467773	9,8899648	1,6424642	0,004887

7.1.7. Örnek 7

Tablo 7. 13. 7. Başlangıç şartları

Popülasyon Sayısı	30
İterasyon Sayısı	100
C Değeri	0.00000001 F
R Katsayısı	10
Mutasyon Oranı	1/100
Geçirme-Durdurma Bandı Dalgalanması	1.5-28 dB
Durdurma Bandı Alt Kesim Frekansı	100 Hz
Geçirme Bandı Alt Kesim Frekansı	1000 Hz
Geçirme Bandı Üst Kesim Frekansı	2000 Hz
Durdurma Bandı Üst Kesim Frekansı	4000 Hz



Şekil 7.7. Band geçiren filtrenin genlik cevapları 7 (— istenen genlik cevabı, — en iyi kromozomun genlik cevabı, — en kötü kromozomun genlik cevabı)

Tablo 7. 14. 7. Program sonuçları

Pop.Sayısı	R1			R2			R3			Hata
	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	
1	3,3233803	0,9303600	9,1760995	3,3233803	0,9303600	9,1760995	1,7038140	6,7602769	9,1991987	0,00335
2	3,8387883	0,9060160	9,2660625	3,8387883	0,9060160	9,2660625	1,8414110	9,9002792	9,1991967	0,003374
3	3,3387884	0,8060100	9,6660625	3,3387884	0,8060100	9,6660625	1,7838161	6,9202769	9,1991987	0,003622
4	3,8386883	0,8803619	7,5662575	3,8386883	0,8803619	7,5662575	1,6418160	9,7202769	9,1191987	0,003649
5	3,8387828	0,9068160	7,9360325	3,8387828	0,9068160	7,9360325	1,8468881	9,7602906	9,6915961	0,003651
6	3,8683883	0,8303619	7,5162579	3,8683883	0,8303619	7,5162579	1,6168160	9,7272769	9,1191987	0,003679
7	3,3886303	0,8600699	9,9193175	3,3886303	0,8600699	9,9193175	1,8414110	7,2002792	9,5991917	0,003696
8	6,8886033	0,6070660	9,3693199	6,8886033	0,6070660	9,3693199	1,6614678	9,2062769	9,9111967	0,003715
9	3,8086303	0,7800669	9,1693135	3,8086303	0,7800669	9,1693135	1,8614648	9,6002769	9,5111967	0,003793
10	3,8886883	0,8603619	7,6666575	3,8886883	0,8603619	7,6666575	1,6468160	9,7692769	9,1111987	0,003852
11	6,3886003	0,7070669	9,3193195	6,3886003	0,7070669	9,3193195	1,6418168	9,7202729	9,8191987	0,003875
12	3,3333803	0,9003600	9,1360995	3,3333803	0,9003600	9,1360995	1,7118140	6,6622769	9,9991917	0,003914
13	3,8286883	0,8903610	7,5962515	3,8286883	0,8903610	7,5962515	1,6418160	9,7202269	9,1691987	0,003978
14	3,3086303	0,7800669	9,1193175	3,3086303	0,7800669	9,1193175	1,8814643	9,0002769	9,1115967	0,003984
15	3,7387308	0,9660860	9,9060325	3,7387308	0,9660860	9,9060325	1,8614160	9,2792792	9,4991961	0,004056
16	3,8787808	0,6060160	9,9360625	3,8787808	0,6060160	9,9360625	1,7838160	6,7202769	9,1991987	0,004112
17	3,8787888	0,6360160	9,9760625	3,8787888	0,6360160	9,9760625	1,8414180	7,0092792	9,1111167	0,004167
18	8,3333139	9,7063669	1,2564195	8,3333139	9,7063669	1,2564195	1,5414180	9,9702762	8,1615967	0,004174
19	3,3886303	0,7600669	9,5193175	3,3886303	0,7600669	9,5193175	1,8114643	9,0792769	9,1115917	0,004295
20	3,3883303	0,8090699	9,9293975	3,3883303	0,8090699	9,9293975	1,8314110	7,2002792	9,5991915	0,004373
21	3,3636803	0,9903060	9,1960995	3,3636803	0,9903060	9,1960995	1,8614110	9,2602792	9,1991967	0,004406
22	6,8386033	0,6070600	9,3691199	6,8386033	0,6070600	9,3691199	1,7614648	9,6902769	9,5611167	0,004459
23	3,8387808	0,9060160	9,9360325	3,8387808	0,9060160	9,9360325	1,8368881	9,7622906	9,5915961	0,004598
24	3,8386308	0,7300669	9,5673135	3,8386308	0,7300669	9,5673135	1,8314648	9,9002969	9,6111967	0,00461
25	3,3386833	0,8603619	9,5662575	3,3386833	0,8603619	9,5662575	1,8614110	9,2002792	9,1991967	0,004615
26	3,8887803	0,6060160	9,9660625	3,8887803	0,6060160	9,9660625	1,8414180	9,9002792	9,1611967	0,004727
27	3,8483808	0,9303680	9,2960175	3,8483808	0,9303680	9,2960175	1,8414180	7,9002792	9,1111967	0,004783
28	3,8887803	0,6960160	9,3669625	3,8887803	0,6960160	9,3669625	1,6488168	9,7202729	9,8191981	0,004876
29	3,3323803	0,9003690	9,6360995	3,3323803	0,9003690	9,6360995	1,8014180	7,7092792	9,1711167	0,004899
30	3,8386883	0,8003669	7,5362575	3,8386883	0,8003669	7,5362575	1,6418161	9,7207769	9,9191997	0,004989

Popülasyon büyüklüğü genetik algortimanın performanısını etkilemektedir. Popülasyon sayısı küçük seçildiğinde GA'nın yerel optimuma takılma şansı vardır. Genetik algoritma daha küçük bir alanda çaprazlama ve mutasyon yapacaktır. Ama belki de yine optimum çözümü bulacaktır. Büyük seçildiğinde çözüme ulaşma süresini artmaktadır. 7.1.6. ve 7.1.7. durumda popülasyon sayısı 20 ve 30 yapılarak arama uzayı genişletildiği durumlarda elde edilen sonuçlar tablo 7.12 ve 7.14'da gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar ile popülasyon sayısını artırmakla daha iyi bir sonucun garantilenemeyeceği görülmüştür.

7.1.8. Örnek 8

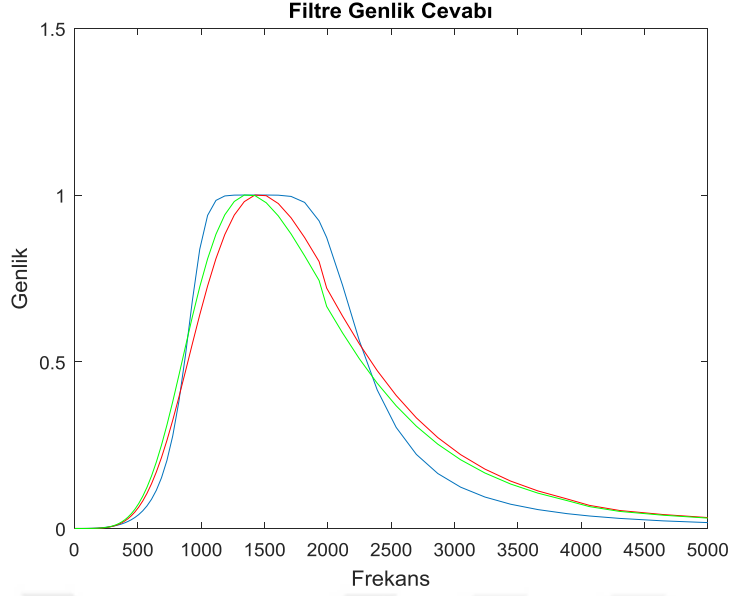
Tablo 7. 15. 8. Başlangıç şartları

Popülasyon Sayısı	10
İterasyon Sayısı	100
C Değeri	0.00000001 F
R Katsayısı	10
Mutasyon Oranı	1/100
Geçirme-Durdurma Bandı Dalgalanması	1.5-28 dB
Durdurma Bandı Alt Kesim Frekansı	100 Hz
Geçirme Bandı Alt Kesim Frekansı	1000 Hz
Geçirme Bandı Üst Kesim Frekansı	2000 Hz
Durdurma Bandı Üst Kesim Frekansı	4000 Hz

R1 (1,1)=30.12; R1 (1,2)=90.13; R1 (1,3)=98.15;
R1 (2,1)=34.12; R1 (2,2)=53.13; R1 (2,3)=78.15;
R1 (3,1)=126.12; R1 (3,2)=79.13; R1 (3,3)=87.15;
R1 (4,1)=94.12; R1 (4,2)=59.13; R1 (4,3)=160.15;
R1 (5,1)=80.12; R1 (5,2)=68.13; R1 (5,3)=59.15
R1 (6,1)=49.12; R1 (6,2)=160.13; R1 (6,3)=20.15
R1 (7,1)=59.72; R1 (7,2)=60.93; R1 (7,3)=49.85
R1 (8,1)=92.72; R1 (8,2)=99.93; R1 (8,3)=196.85;
R1 (9,1)=129.72; R1 (9,2)=79.93; R1 (9,3)=379.85;
R1 (10,1)=45.12; R1 (10,2)=47.13; R1 (10,3)=97.15;

R2 (1,1)=160.12; R2 (1,2)=78.13; R2 (1,3)=98.15;
R2 (2,1)=69.12; R2 (2,2)=47.13; R2 (2,3)=124.15;
R2 (3,1)=456.12; R2 (3,2)=58.13; R2 (3,3)=94.15;
R2 (4,1)=92.12; R2 (4,2)=59.13; R2 (4,3)=89.15;
R2 (5,1)=123.12; R2 (5,2)=67.13; R2 (5,3)=90.15
R2 (6,1)=88.12; R2 (6,2)=156.13; R2 (6,3)=80.15
R2 (7,1)=146.72; R2 (7,2)=80.93; R2 (7,3)=80.85
R2 (8,1)=98.72; R2 (8,2)=127.93; R2 (8,3)=146.85;
R2 (9,1)=90.72; R2 (9,2)=79.93; R2 (9,3)=157.85;
R2 (10,1)=189.12; R2 (10,2)=350.13; R2 (10,3)=430.15;

R3 (1,1)=10.12; R3 (1,2)=15.13; R3 (1,3)=20.15;
R3 (2,1)=18.12; R3 (2,2)=16.13; R3 (2,3)=64.15;
R3 (3,1)=28.12; R3 (3,2)=76.13; R3 (3,3)=89.15;
R3 (4,1)=98.12; R3 (4,2)=43.13; R3 (4,3)=27.15;
R3 (5,1)=78.12; R3 (5,2)=56.13; R3 (5,3)=63.15
R3 (6,1)=67.12; R3 (6,2)=26.13; R3 (6,3)=90.15
R3 (7,1)=46.72; R3 (7,2)=79.93; R3 (7,3)=150.85
R3 (8,1)=49.72; R3 (8,2)=19.93; R3 (8,3)=66.85;
R3 (9,1)=77.72; R3 (9,2)=98.93; R3 (9,3)=90.85;
R3 (10,1)=77.72; R3 (10,2)=98.93; R3 (10,3)=90.85;



Şekil 7. 8. Band geçiren filtrenin genlik cevapları 8 (— istenen genlik cevabı, — en iyi kromozomun genlik cevabı, — en kötü kromozomun genlik cevabı)

Tablo 7. 16. 8. Program sonuçları

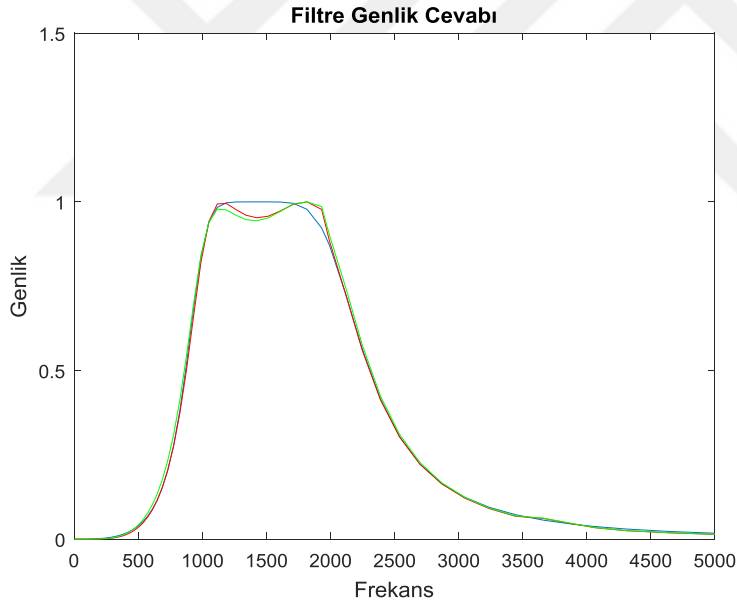
Pop.Sayısı	R1			R2			R3			Hata
	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	
1	9,0109900	8,7078506	45,500902	91,229010	32,000039	54,836531	20,220070	17,723121	23,119411	0,014066
2	9,0100909	8,6077006	55,705905	90,012090	30,336009	50,334531	20,220070	17,323121	29,119414	0,014155
3	19,010999	7,7078506	45,700702	90,222010	32,300009	54,335531	20,020000	17,323321	23,419211	0,014214
4	19,010990	8,7078507	40,500902	90,012010	36,306009	50,334531	20,020000	17,323123	23,912411	0,014259
5	9,0109900	8,7078986	47,545902	90,202010	36,906009	50,134535	20,020273	13,123323	29,859411	0,014268
6	9,9900090	71,836000	99,532064	80,220010	63,030039	20,851535	20,720720	23,123404	11,152020	0,014276
7	9,0109900	18,707898	47,845902	90,222011	22,300009	53,335531	20,220272	14,123322	20,859411	0,014305
8	9,0109990	8,7678506	55,500902	91,012000	30,336909	53,334531	20,020070	12,323121	29,119413	0,014349
9	99,010000	8,6077008	51,705905	21,229010	36,000039	54,336531	10,220020	19,323121	19,119404	0,014362
10	9,0100009	8,0077008	71,704905	99,202010	36,006009	50,304535	20,220270	17,773121	24,119411	0,014383

7.1.8. durumda da başlangıç durumunda direnç değerlerini bizim vermemizle elde edilen sonuçlar tablo 7.16'da verilmiştir. Fakat başlangıç değerlerinin belirlenmesi rastgele üretildiği duruma göre daha iyi bir sonuç elde edilmediği gözlemlendi.

7.1.9. Örnek 9

Tablo 7. 17. 9. Başlangıç şartları

Popülasyon Sayısı	10
İterasyon Sayısı	500
C Değeri	0.00000001 F
R Katsayısı	10
Mutasyon Oranı	1/100
Geçirme-Durdurma Bandı Dalgalanması	1.5-28 dB
Durdurma Bandı Alt Kesim Frekansı	100 Hz
Geçirme Bandı Alt Kesim Frekansı	1000 Hz
Geçirme Bandı Üst Kesim Frekansı	2000 Hz
Durdurma Bandı Üst Kesim Frekansı	4000 Hz



Şekil 7. 9. Band geçiren filtrenin genlik cevapları 9 (— istenen genlik cevabı, — en iyi kromozomun genlik cevabı, — en kötü kromozomun genlik cevabı)

Tablo 7. 18. 9. Program sonuçları

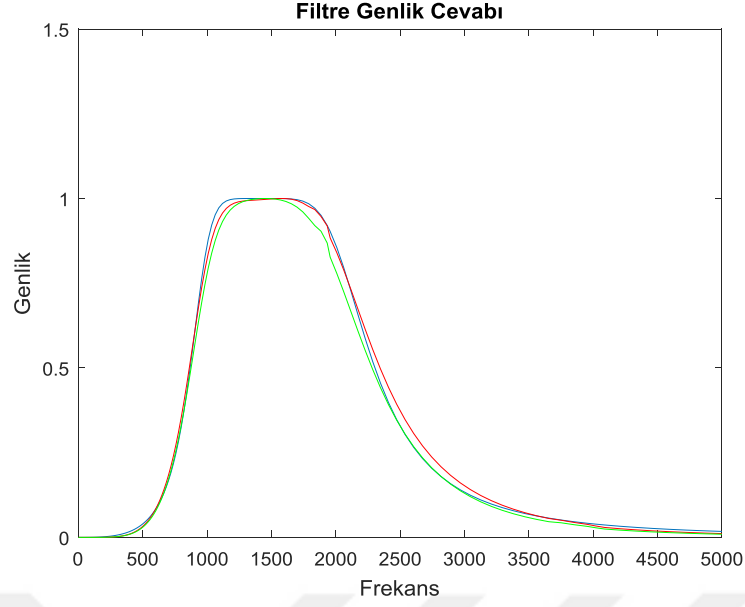
Pop.Sayısı	R1			R2			R3			Hata
	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	
1	99,222999	24,444824	37,333089	10,888817	32,033105	65,662374	9,0009999	50,235755	11,661190	0,002408
2	99,225999	24,034824	57,533389	10,888817	32,033135	62,664374	9,0090299	50,332355	10,761790	0,002741
3	55,222999	24,704306	33,353389	10,781817	35,130105	32,662375	9,0000090	53,532553	17,061191	0,003034
4	99,522929	24,444822	33,333589	10,880817	32,333105	65,762374	9,0099999	50,235755	11,961191	0,003076
5	99,295999	24,024824	57,833339	10,880817	32,133135	66,664374	9,0090999	50,330355	10,611790	0,003127
6	59,222999	23,344300	33,353389	10,881817	33,031105	65,260373	9,0000299	50,732355	16,761790	0,003251
7	99,225999	23,044224	55,333389	10,888817	32,133105	65,662375	9,0029999	53,235553	11,611190	0,003254
8	99,225999	24,044824	57,333089	10,888817	32,133135	66,664374	9,0029999	50,235753	11,611190	0,003314
9	59,222999	24,344306	33,353389	10,881817	35,031105	65,266373	9,0000299	50,532355	16,761790	0,003424
10	92,225992	24,044824	53,333079	10,788817	32,333135	66,664374	9,0009999	50,235755	11,266191	0,003516

7.1.9. durumda da başlangıç durumunda direnç değerlerini bizim vermemizle beraber iterasyon 500 yapıldığında elde edilen sonuçlar tablo 7.18'de verilmiştir.

7.1.10. Örnek 10

Tablo 7. 19. 10. Başlangıç şartları

Popülasyon Sayısı	10
İterasyon Sayısı	100
C Değeri	0.00000001 F
R Katsayısı	10
Mutasyon Oranı	1/100
Geçirme-Durdurma Bandı Dalgalanması	1.5-28 dB
Durdurma Bandı Alt Kesim Frekansı	100 Hz
Geçirme Bandı Alt Kesim Frekansı	1000 Hz
Geçirme Bandı Üst Kesim Frekansı	2000 Hz
Durdurma Bandı Üst Kesim Frekansı	4000 Hz



Şekil 7. 10. Band geçiren filtrenin genlik cevapları 10 (— istenen genlik cevabı, — en iyi kromozomun genlik cevabı, — en kötü kromozomun genlik cevabı)

Tablo 7. 20. 10. Program sonuçları

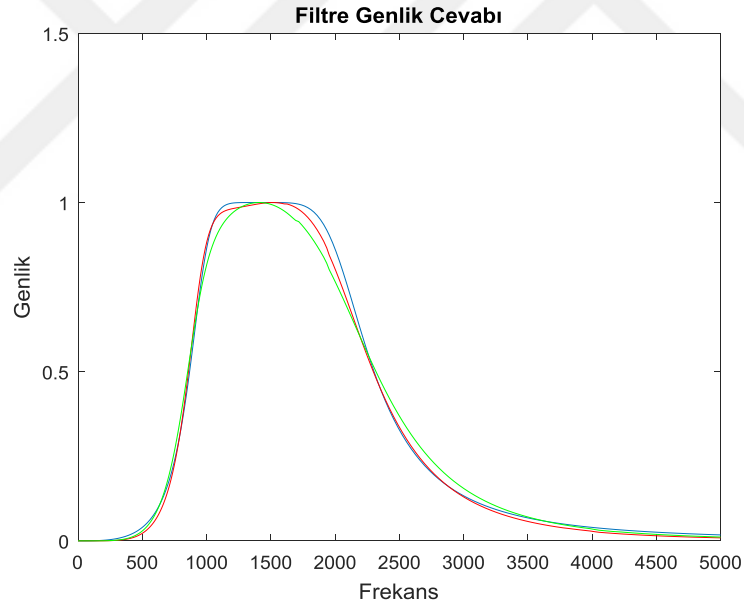
Pop.Sayısı	R1			R2			R3			Hata
	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	
1	1,9919011	9,9967993	9,5595919	2,2287222	9,9799179	7,9779979	2,2222722	1,5359113	6,9676672	0,003113
2	1,9919191	9,6332233	9,5591555	2,2729222	9,1999177	7,7979929	2,2229722	1,5559113	6,9776076	0,003162
3	1,9119011	9,2637693	9,5595519	2,2927222	9,1799177	7,9279999	2,2229722	1,5959113	6,9766072	0,003414
4	1,9919191	9,9332293	9,5991555	2,2929222	9,1999177	7,7979929	2,2229722	1,5559113	6,9776072	0,003484
5	1,9119191	9,3332293	9,5595555	2,2827222	7,9799179	7,9772979	2,2229722	1,5959113	6,9676072	0,003522
6	1,9919091	9,3637293	9,5595515	2,2927222	9,1799179	7,9279979	2,2929222	1,5559313	6,6766972	0,003734
7	1,9919011	9,9637993	9,5595919	2,2927222	9,9799177	7,7279999	2,2229722	1,5159113	6,9076076	0,003756
8	1,9119191	9,3632293	9,5595515	2,2927222	9,9799179	7,9779979	2,2929222	1,8559313	6,6766962	0,003955
9	1,9119111	9,3637693	9,5199519	2,2222222	7,9799177	7,9772979	2,2929222	1,5759513	6,9666072	0,004052
10	1,9119011	9,2237696	9,5195519	2,2927222	9,1799197	7,9979999	2,2929222	1,8559313	6,6666972	0,004184

Programda hazır freqs komutuyla 200 nokta alınarak bu 200 nokta üzerinde işlem yapılmıştır. Bu test noktalarını artırmak ile tasarıma olan etkisini gözlemlemek için test noktaları 500 yapılmıştır.

7.1.11. Örnek 11

Tablo 7. 21. 11. Başlangıç şartları

Popülasyon Sayısı	10
İterasyon Sayısı	100
C Değeri	0.00000001 F
R Katsayısı	10
Mutasyon Oranı	1/100
Geçirme-Durdurma Bandı Dalgalanması	1.5-28 dB
Durdurma Bandı Alt Kesim Frekansı	100 Hz
Geçirme Bandı Alt Kesim Frekansı	1000 Hz
Geçirme Bandı Üst Kesim Frekansı	2000 Hz
Durdurma Bandı Üst Kesim Frekansı	4000 Hz



Şekil 7. 11. Band geçiren filtrenin genlik cevapları 11 (— istenen genlik cevabı, — en iyi kromozomun genlik cevabı, — en kötü kromozomun genlik cevabı)

Tablo 7. 22. 11. Program sonuçları

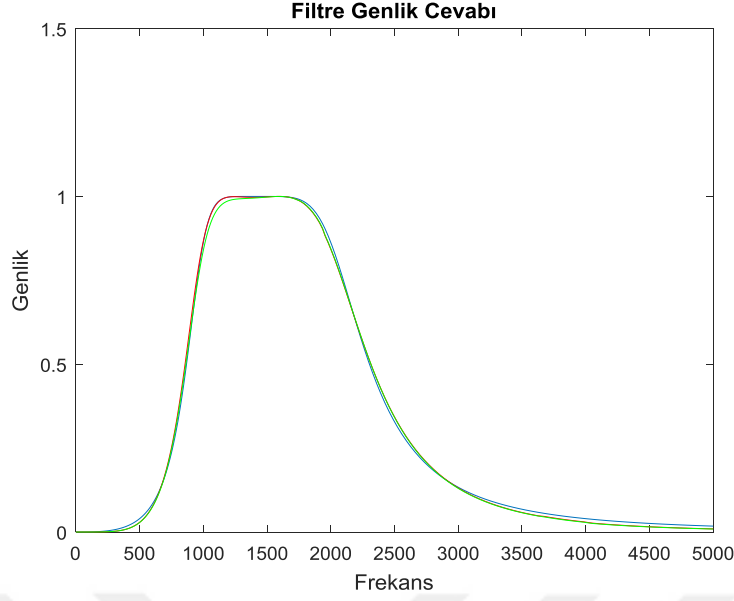
Pop.Sayısı	R1			R2			R3			Hata
	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	
1	5,3265880	1,5151858	7,2118105	4,9659424	2,1121227	7,0088120	1,9513955	2,4200204	8,0839877	0,003442
2	5,3255880	1,5151858	7,2118105	4,9659429	2,1221927	7,1080120	1,9513953	2,4200204	8,0039878	0,003518
3	5,6252880	1,5551818	7,2018105	4,9659464	2,1121227	7,0208120	1,3513915	2,4400202	8,0839077	0,004274
4	8,3265886	1,5151858	7,5118185	4,6659494	2,1121227	7,1088170	1,3513155	2,4200404	8,0839877	0,004349
5	5,0265880	1,5551858	7,1118175	4,9959429	2,1221927	7,1080820	1,9313953	2,4400204	8,0039838	0,004512
6	5,6255880	1,8151858	7,2018105	4,9959429	2,1211927	7,1680120	1,5513959	2,0020244	8,3039878	0,004675
7	6,3252880	1,5551858	7,5118105	4,9959426	2,2221977	8,1070120	1,9313953	2,4000244	8,3039878	0,004796
8	6,6555830	1,5551558	7,8818115	4,9259429	2,2221977	8,1070020	1,5553853	2,4400244	7,8731278	0,004844
9	6,8252580	1,5151855	7,5112105	4,2659494	2,1121227	7,1080170	1,3513155	2,2200424	8,0039877	0,004878
10	6,6255880	1,5551858	7,1118115	4,9959426	2,2221977	8,1070120	1,9513953	2,0020244	8,3039878	0,005072

7.1.11. durumda test noktası 1000 yapılarak sonuçlar elde edilmiştir.

7.1.12. Örnek 12

Tablo 7. 23. 12. Başlangıç şartları

Popülasyon Sayısı	10
İterasyon Sayısı	750
C Değeri	0.00000001 F
R Katsayısı	10
Mutasyon Oranı	1/100
Geçirme-Durdurma Bandı Dalgalanması	1.5-28 dB
Durdurma Bandı Alt Kesim Frekansı	100 Hz
Geçirme Bandı Alt Kesim Frekansı	1000 Hz
Geçirme Bandı Üst Kesim Frekansı	2000 Hz
Durdurma Bandı Üst Kesim Frekansı	4000 Hz



Şekil 7. 12. Band geçiren filtrenin genlik cevapları 12 (— istenen genlik cevabı, — en iyi kromozomun genlik cevabı, — en kötü kromozomun genlik cevabı)

Tablo 7. 24. 12. Program sonuçları

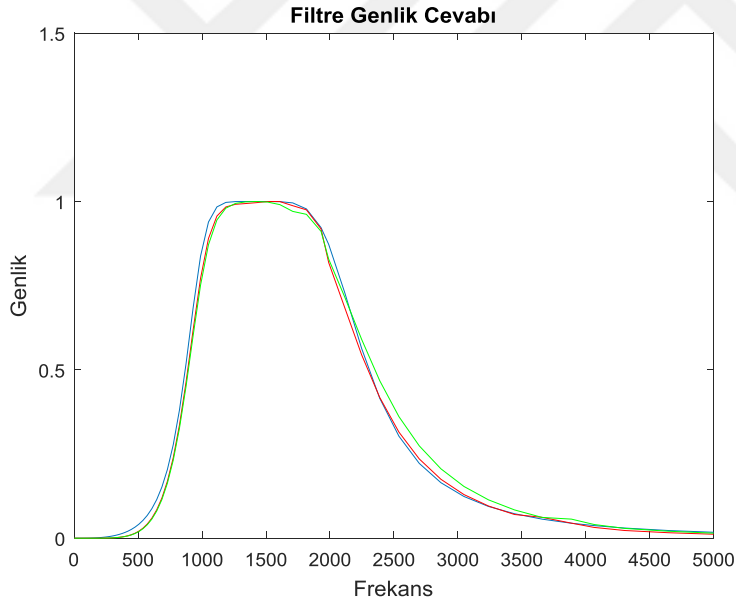
Pop.Sayısı	R1			R2			R3			Hata
	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	
1	1,2001718	8,6333918	3,3133313	8,6969968	7,2228227	2,0020023	6,6663336	6,9964977	1,7171111	0,002172
2	1,2001710	8,6333918	3,3333313	8,8999968	7,2228227	2,0020023	6,6663336	6,9964977	1,7171111	0,0021980
3	1,2001718	8,1933118	3,3333313	9,9999868	7,2228277	2,0000023	6,6366336	6,9964977	1,7171111	0,002236
4	1,2001710	8,6333918	3,3333313	8,9969868	7,2228227	2,0020023	6,6363336	6,9764667	1,7171711	0,002240
5	1,2001110	8,6333918	3,3333313	8,9999868	7,2228277	2,0000023	6,6363336	6,9764667	1,7171711	0,002246
6	1,2101718	8,6933118	3,3333313	9,9969898	7,2228227	2,0020022	6,3663366	6,9764967	1,7171111	0,002253
7	1,2702518	8,1963918	3,3333313	8,8899888	7,2228227	2,0020223	6,6363666	6,9494667	1,7171711	0,002257
8	1,2001518	8,1333918	3,3333313	9,6969868	7,2228727	2,0020023	6,6363336	6,9964977	1,7171111	0,002268
9	1,2501728	8,8931688	3,3713313	8,6999968	7,2728227	2,0020523	6,6633336	6,9664776	1,7171111	0,002284
10	1,2501718	8,3931988	3,3713313	8,6899968	7,2728227	2,0020523	6,6333336	6,9664976	1,7171111	0,002291

7.1.12. durumda test noktası 1000 iken iterasyon sayısı 750 yapıldığında elde edilen sonuçlar gösterilmiştir. Test noktalarını artırmakla daha iyi bir sonucun garantileneceği sonucuna ulaşılmamıştır.

7.1.13. Örnek 13

Tablo 7. 25. 13. Başlangıç şartları

Popülasyon Sayısı	10
İterasyon Sayısı	100
C Değeri	0.00000001 F
R Katsayısı	10
Mutasyon Oranı	1/100
Geçirme-Durdurma Bandı Dalgalanması	1.5-28 dB
Durdurma Bandı Alt Kesim Frekansı	100 Hz
Geçirme Bandı Alt Kesim Frekansı	1000 Hz
Geçirme Bandı Üst Kesim Frekansı	2000 Hz
Durdurma Bandı Üst Kesim Frekansı	4000 Hz



Şekil 7. 13. Band geçiren filtrenin genlik cevapları 13 (— istenen genlik cevabı, — en iyi kromozomun genlik cevabı, — en kötü kromozomun genlik cevabı)

Tablo 7. 26. 13. Program sonuçları

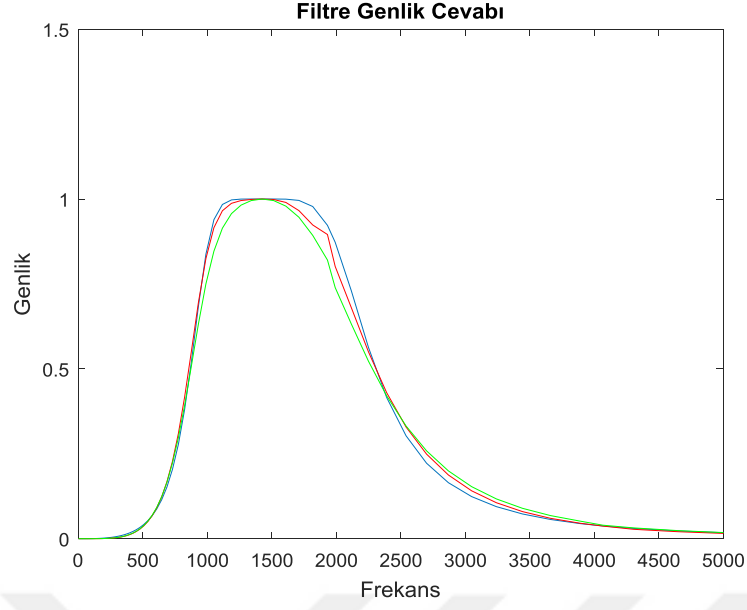
Pop.Sayısı	R1			R2			R3			Hata
	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	
1	7,7703747	6,5352596	8,7899194	8,5280285	2,2929222	8,8006686	8,8866832	1,6631610	1,0747027	0,004665
2	7,7703747	6,5332596	8,7199194	8,5280282	2,2729222	8,8606686	8,8566832	1,6635610	1,0747827	0,004898
3	7,7777777	5,9353546	8,9474198	8,5880888	2,2272222	8,8606686	8,6816862	1,5116511	1,0140857	0,005214
4	7,7777777	5,5353546	8,9874998	8,5289852	2,2882282	8,6866886	8,6616836	1,5216550	0,7540117	0,005922
5	7,7777777	3,9553546	8,1474898	8,5280282	2,2229222	8,8606686	8,8866832	1,6635610	1,0740827	0,006018
6	7,7777777	5,9533546	8,9474198	8,8280852	2,2829222	6,8806686	8,6818838	1,5036510	0,5740127	0,006223
7	7,7777777	5,3359546	8,9874948	8,5880888	2,2272722	8,8066686	8,8666832	1,6635610	1,7747827	0,00628
8	7,7707747	4,5352596	8,7499194	8,5880882	2,2222222	8,8606686	8,8566832	1,6135610	1,0047827	0,006322
9	7,7703777	4,5352596	8,7999894	8,5580282	2,2729222	6,8606686	8,5886832	1,6131610	1,1747727	0,006328
10	7,7777777	5,2533546	8,9174198	8,5889852	2,2882282	6,6886886	8,6816862	1,5616511	1,0140857	0,00634

Programda daha önceki durumlarda çaprazlamanın yapılacağı bit rastgele olarak belirlenmektedir. 7.1.13. durumda çaprazlama noktasını 10. bitte seçerek sonuca etkisini gözlemlendi.

7.1.14. Örnek 14

Tablo 7. 27. 14. Başlangıç şartları

Popülasyon Sayısı	10
İterasyon Sayısı	100
C Değeri	0.00000001 F
R Katsayısı	100
Mutasyon Oranı	1/100
Geçirme-Durdurma Bandı Dalgalanması	1.5-28 dB
Durdurma Bandı Alt Kesim Frekansı	100 Hz
Geçirme Bandı Alt Kesim Frekansı	1000 Hz
Geçirme Bandı Üst Kesim Frekansı	2000 Hz
Durdurma Bandı Üst Kesim Frekansı	4000 Hz



Şekil 7. 14. Band geçiren filtrenin genlik cevapları 14 (— istenen genlik cevabı, — en iyi kromozomun genlik cevabı, — en kötü kromozomun genlik cevabı)

Tablo 7. 28. 14. Program sonuçları

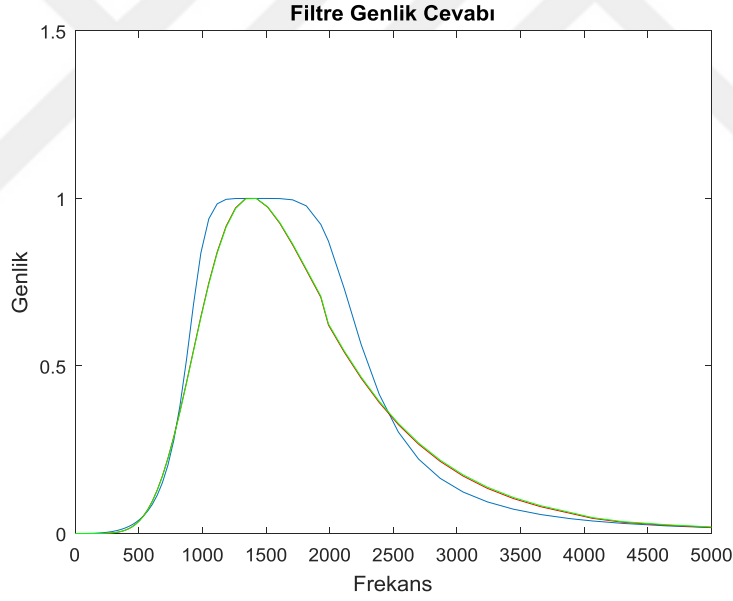
Pop.Sayısı	R1			R2			R3			Hata
	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	
1	91,129291	67,675572	9,9553499	35,988535	12,036678	53,858358	30,330300	8,8858048	23,220222	0,00352
2	92,929119	57,576665	35,953909	35,858525	10,316078	51,998551	30,000303	8,8858848	20,222222	0,004301
3	91,229291	67,777572	5,9533499	35,988523	12,636071	81,198355	30,333303	8,8858848	22,220222	0,005038
4	91,129291	67,675572	9,9593499	35,983535	12,236676	83,858358	30,330300	8,8858848	23,220222	0,00532
5	91,199211	67,777772	4,3533999	33,988523	12,216072	91,558355	30,000303	8,8888848	22,222222	0,005519
6	91,229291	67,777562	9,9533999	35,888525	12,630678	53,198355	30,333303	8,8850848	22,220222	0,005791
7	91,999291	65,777772	4,9533499	35,888555	12,136678	53,198358	30,330303	8,8858848	23,220222	0,00598
8	92,929119	57,576565	5,9539499	32,988599	12,016778	58,213358	30,330303	8,8858848	23,220222	0,006125
9	91,929211	67,577562	5,9533499	35,988525	12,036078	51,198358	30,030303	8,8858848	22,223222	0,006219
10	99,929119	57,776555	9,9539499	38,988525	13,336773	52,514358	30,330300	8,8858848	20,222222	0,006257

7.1.14. durumda da çaprazlama noktası 4. bitte seçilerek sonuçlar gözlemlendi.

7.1.15. Örnek 15

Tablo 7. 29. 15. Başlangıç şartları

Popülasyon Sayısı	10
İterasyon Sayısı	100
C Değeri	0.00000001 F
R Katsayısı	10
Mutasyon Oranı	1/100
Geçirme-Durdurma Bandı Dalgalanması	1.5-28 dB
Durdurma Bandı Alt Kesim Frekansı	100 Hz
Geçirme Bandı Alt Kesim Frekansı	1000 Hz
Geçirme Bandı Üst Kesim Frekansı	2000 Hz
Durdurma Bandı Üst Kesim Frekansı	4000 Hz



Şekil 7. 15. Band geçiren filtrenin genlik cevapları 15 (— istenen genlik cevabı, — en iyi kromozomun genlik cevabı, — en kötü kromozomun genlik cevabı)

Tablo 7. 30. 15. Program sonuçları

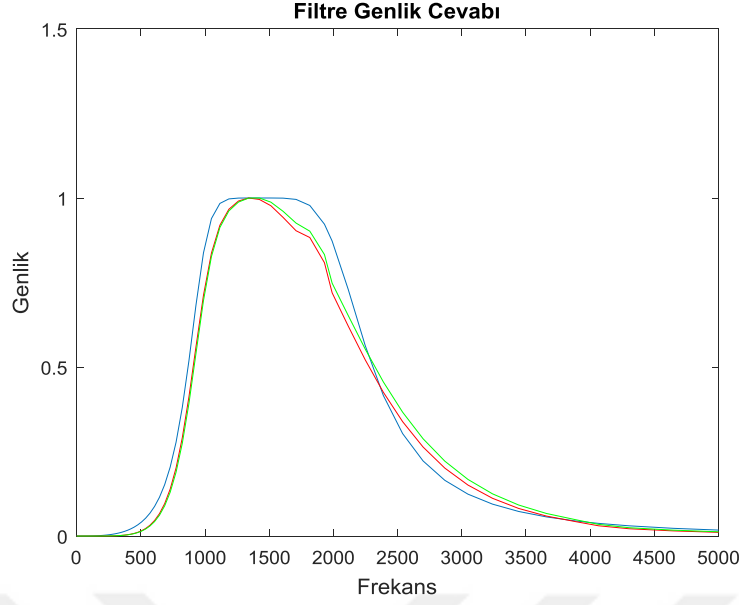
Pop.Sayısı	R1			R2			R3			Hata
	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	
1	0,5804877	4,0844844	0,8171889	8,8141388	9,9597995	7,2892775	9,9889893	5,5155775	9,1411101	0,012598
2	0,5804407	4,0444804	0,8177889	8,3118388	9,9966995	7,3782737	9,6868893	5,5758775	9,4114402	0,012598
3	0,5804477	4,0004804	0,8877879	8,3148388	9,9567995	7,7782735	9,6868093	5,5857775	9,4111402	0,012608
4	0,5804077	4,0004804	0,8877879	8,3848388	9,9567995	7,2782735	9,6868993	5,5657775	9,4111409	0,01261
5	0,5704470	4,0004804	0,8178879	8,8888388	9,9699995	7,2798735	9,9869893	5,5855775	9,1111101	0,01262
6	0,5804477	4,0004844	0,8071879	8,8148388	9,9697995	7,7892735	9,6868093	5,1857775	9,4111202	0,012643
7	0,5705477	4,0004804	0,8870871	8,8848388	9,9999995	7,2792735	9,6869893	5,6757715	9,1111201	0,012681
8	0,7804470	4,0804844	0,7878879	8,1148888	9,9667999	7,7782775	9,6866093	5,5857775	9,4411902	0,012683
9	0,5804077	4,0004444	0,8770879	8,8148388	9,9697995	7,2892735	9,0868893	5,6857775	9,4111201	0,012707
10	0,5004477	4,0004844	0,8877879	8,3848388	9,9967999	7,7782735	9,6966093	5,5157775	9,2111402	0,012718

7.1.15. durumda çaprazlama noktasını 2. bit yaparak sonuca etkisi gözlemlendi. Çaprazlama noktasının düşük bitte yapılması sayının değerini çok değiştirmedeği için değerlerde çeşitlilik azalarak optimum sonuca ulaşmak zorlaşmaktadır. Yapılan denemeler sonucunda çaprazlama noktasının rastgele bir bitte seçilmesi daha iyi sonuç verdiği saptanmıştır.

7.1.16. Örnek 16

Tablo 7. 31. 16. Başlangıç şartları

Popülasyon Sayısı	10
İterasyon Sayısı	100
C Değeri	0.00000001 F
R Katsayısı	10
Geçirme-Durdurma Bandı Dalgalanması	1.5-28 dB
Durdurma Bandı Alt Kesim Frekansı	100 Hz
Geçirme Bandı Alt Kesim Frekansı	1000 Hz
Geçirme Bandı Üst Kesim Frekansı	2000 Hz
Durdurma Bandı Üst Kesim Frekansı	4000 Hz



Şekil 7. 16. Band geçiren filtrenin genlik cevapları 16 (— istenen genlik cevabı, — en iyi kromozomun genlik cevabı, — en kötü kromozomun genlik cevabı)

Tablo 7. 32. 16. Program sonuçları

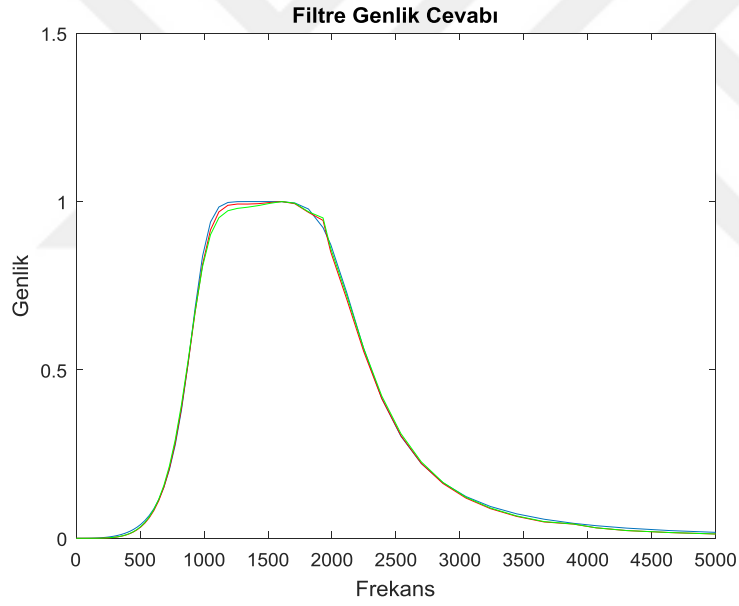
Pop.Sayısı	R1			R2			R3			Hata
	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	
1	1,7777030	9,4499994	3,2672133	5,0055995	9,6738973	4,6444182	2,8998511	9,5959739	1,4604036	0,010475
2	1,7177090	9,7979994	3,3272119	5,0055905	9,8738673	4,1444182	2,9994531	9,5559339	1,3503436	0,010496
3	1,7377130	9,9999994	3,1632333	5,0555905	9,8738574	4,4844182	2,5392511	9,5759739	1,6604036	0,010571
4	1,7377030	9,4999994	3,2632133	5,0055995	9,6538973	4,6244182	2,8198511	9,5959739	1,3604036	0,010595
5	1,7177090	9,7499994	3,3672139	5,0555995	9,6738573	4,6444182	2,8994511	9,5959539	1,3614036	0,01072
6	1,7177090	9,7579994	3,3232119	5,0595995	9,6439573	4,4444182	2,3994521	9,5559539	1,6614336	0,010721
7	1,3377793	9,7395994	3,1172192	5,5555905	9,7738575	5,4444184	2,8994531	9,5559339	1,3004436	0,010741
8	1,7777093	9,7995994	3,1672132	5,0955905	9,6738574	4,4444182	2,8394511	9,5959739	1,3604036	0,010796
9	1,7071030	9,4499997	2,2672133	5,0555995	9,6438977	8,6444182	2,8992511	9,5959739	1,0614036	0,010916
10	1,7377793	9,7395994	3,1372172	5,0955905	9,5738574	4,1444182	2,8994531	9,5359939	1,3304436	0,010924

7.1.16. durumda programda hiç mutasyon yapılmadan sonuçlar gözlemlendi.

7.1.17. Örnek 17

Tablo 7. 33. 17. Başlangıç şartları

Popülasyon Sayısı	10
İterasyon Sayısı	250
C Değeri	0.00000001F
R Katsayısı	100
Geçirme-Durdurma Bandı Dalgalanması	1.5-28 dB
Durdurma Bandı Alt Kesim Frekansı	100 Hz
Geçirme Bandı Alt Kesim Frekansı	1000 Hz
Geçirme Bandı Üst Kesim Frekansı	2000 Hz
Durdurma Bandı Üst Kesim Frekansı	4000 Hz



Şekil 7. 17. Band geçiren filtrenin genlik cevapları 17 (— istenen genlik cevabı, — en iyi kromozomun genlik cevabı, — en kötü kromozomun genlik cevabı)

Tablo 7. 34. 17. Program sonuçları

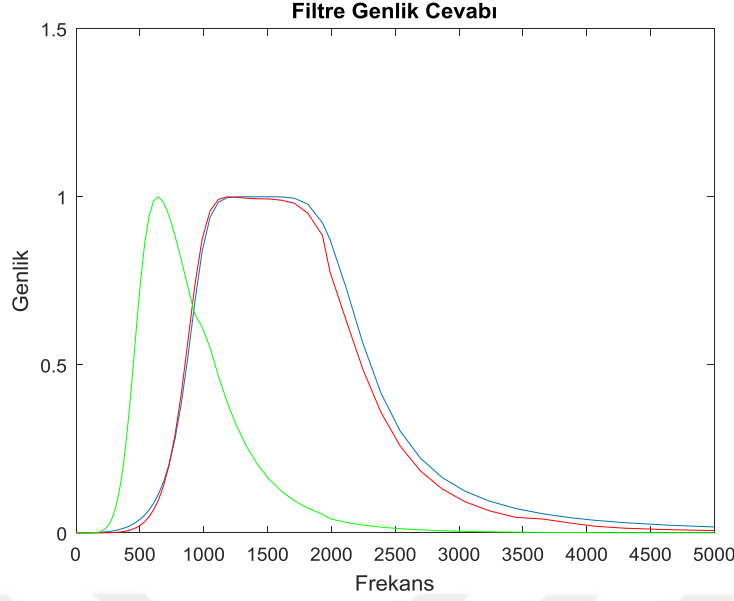
Pop.Sayısı	R1			R2			R3			Hata
	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	
1	22,922224	72,255575	88,287858	33,143313	11,111113	28,787268	53,553350	8,8800080	11,219717	0,001941
2	22,222229	75,175555	87,787888	33,343713	11,111133	28,867268	57,003350	8,8860088	11,411727	0,002067
3	22,222229	77,175555	88,787858	33,343713	11,111133	28,867268	57,303350	8,8860088	11,419727	0,002075
4	22,922224	77,255557	88,887858	33,113718	11,111133	28,767268	55,305350	8,8800088	11,119717	0,002195
5	22,222222	75,115555	88,887858	33,343713	11,111133	28,867268	57,303350	8,8868088	11,119727	0,002203
6	22,222222	77,155557	88,587858	33,143713	11,111133	28,667268	55,303350	8,8868088	11,211727	0,002264
7	22,222229	77,125555	87,787858	33,343713	11,111133	28,867268	57,353350	8,8800088	11,119727	0,002282
8	22,222229	77,175555	88,787858	33,143313	11,111133	28,867268	57,353350	8,8860088	11,119727	0,002295
9	22,222222	77,555517	85,587858	33,343713	11,111131	28,867268	55,703330	8,8868088	11,911727	0,00235
10	22,222229	75,175557	88,787888	33,343713	11,111333	28,862268	55,303350	8,8800088	11,119717	0,002396

Mutasyon yapılmadan iterasyon sayısını arttırarak sonuçlar gözlemlendi. Ve en iyi 2. sonuç bu değerlerde elde edildi.

7.1.18. Örnek 18

Tablo 7. 35. 18. Başlangıç şartları

Popülasyon Sayısı	10
İterasyon Sayısı	100
C Değeri	0.00000001 F
R Katsayısı	10
Mutasyon Oranı	1
Geçirme-Durdurma Bandı Dalgalanması	1.5-28 dB
Durdurma Bandı Alt Kesim Frekansı	100 Hz
Geçirme Bandı Alt Kesim Frekansı	1000 Hz
Geçirme Bandı Üst Kesim Frekansı	2000 Hz
Durdurma Bandı Üst Kesim Frekansı	4000 Hz



Şekil 7. 18. Band geçiren filtrenin genlik cevapları 18 (— istenen genlik cevabı, — en iyi kromozomun genlik cevabı, — en kötü kromozomun genlik cevabı)

Tablo 7. 36. 18. Program sonuçları

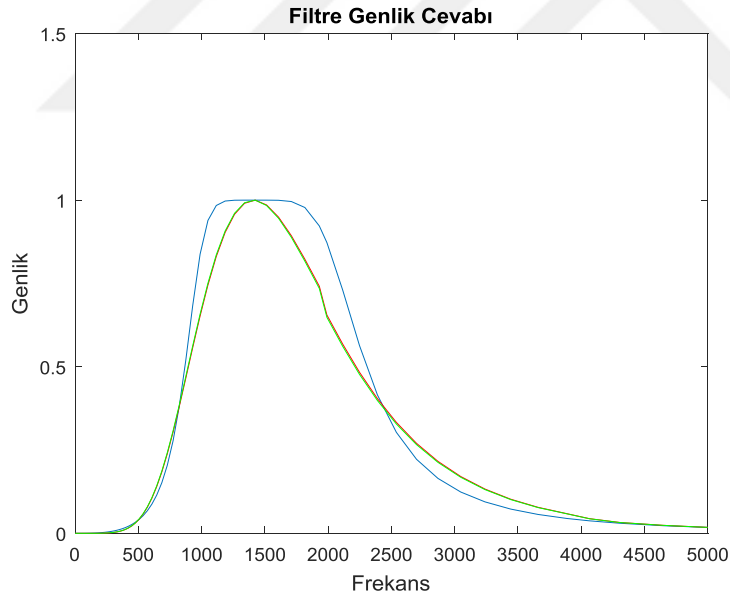
Pop.Sayısı	R1			R2			R3			Hata
	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	
1	0,9456545	1,1361111	9,5531333	1,8848338	8,4779999	9,4549495	4,2702202	8,8288882	9,7024277	0,005982
2	0,9554545	1,5331111	9,5751333	1,8848332	8,4779999	9,8549405	4,2207202	8,6288882	9,2024277	0,009109
3	9,9654547	1,1662156	7,5357553	8,8848238	9,4779949	9,9549495	2,2010202	8,8868889	2,1462272	0,011082
4	9,9454545	1,2331161	7,5751353	8,8848232	9,4779949	9,9549405	2,2017202	8,8828882	2,0024277	0,011095
5	9,9959547	1,1162131	7,1357753	8,8848232	9,7779949	9,9349405	2,2020202	8,8862888	2,2292272	0,011128
6	9,9699647	1,1561616	7,5755573	8,8448282	9,9779979	9,7349405	2,2817202	8,6868889	2,1060272	0,011136
7	9,9654547	1,1662151	7,5357573	8,8848233	9,4779949	9,4549494	2,2010202	8,8868888	2,1262272	0,011161
8	9,9454645	1,2131151	7,5551753	8,8848232	9,7779949	9,9349405	2,2017202	8,8868882	2,2024270	0,011163
9	0,1456546	1,1661111	5,8531373	6,8348338	8,5779999	7,9549495	1,1722202	8,2288882	5,3022277	0,0106951
10	6,9454545	1,7331161	5,5751351	8,1848838	9,4979999	9,3499495	5,2017202	9,8228888	2,4024277	0,025138

7.1.18. durumda mutasyon oranının etkisini gözlemlemek için mutasyon oranını 1 yapıldı, sonuca etkisi gözlemlendi. Her durumda mutasyon yapıldığı için çözüme ulaşma süresi arttı.

7.1.19. Örnek 19

Tablo 7. 37. 19. Başlangıç şartları

Popülasyon Sayısı	10
İterasyon Sayısı	100
C Değeri	0.00000001 F
R Katsayısı	10
Mutasyon Oranı	1/10
Geçirme-Durdurma Bandı Dalgalanması	1.5-28 dB
Durdurma Bandı Alt Kesim Frekansı	100 Hz
Geçirme Bandı Alt Kesim Frekansı	1000 Hz
Geçirme Bandı Üst Kesim Frekansı	2000 Hz
Durdurma Bandı Üst Kesim Frekansı	4000 Hz



Şekil 7. 19. Band geçiren filtrenin genlik cevapları 19 (— istenen genlik cevabı, — en iyi kromozomun genlik cevabı, — en kötü kromozomun genlik cevabı)

Tablo 7. 38. 19. Program sonuçları

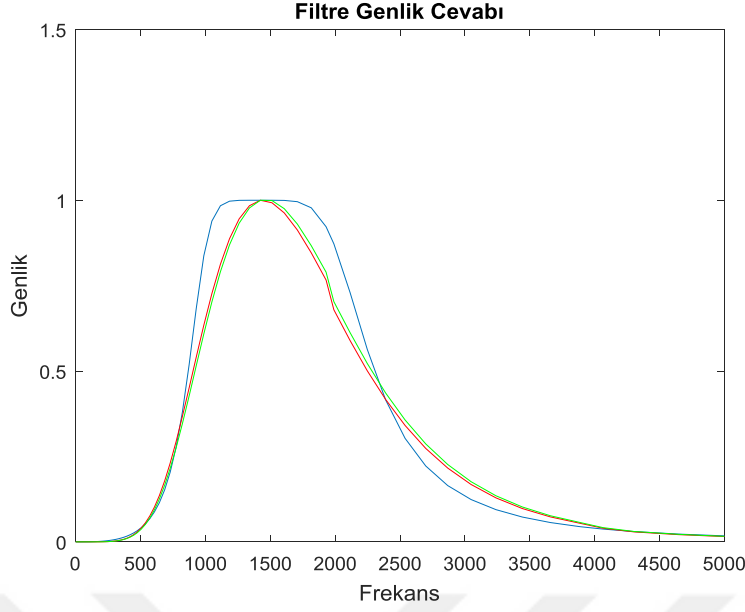
Pop.Sayısı	R1			R2			R3			Hata
	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	
1	8,3933693	0,4949990	7,4756649	9,9090399	7,1947848	9,6376994	3,0131333	9,7979994	2,5252705	0,011751
2	8,3332393	0,4949440	7,6754549	9,9990398	7,8197848	9,7379994	3,0330333	9,7779994	2,5052705	0,011755
3	9,3332463	0,4944394	7,4574677	9,9390399	7,8941848	9,6376999	3,0301430	9,7090794	2,5020005	0,011773
4	9,3632463	0,4994094	6,5774447	9,9890898	7,9417898	9,4776634	3,0031430	9,7000794	2,5520705	0,011784
5	6,4632423	0,4944094	9,4474647	9,8390898	8,9417448	9,7476634	3,0331433	9,7070994	2,5252725	0,011788
6	8,3332693	0,4949490	7,7754649	9,9490398	7,8947848	9,6376994	3,0430430	9,7070794	2,5520705	0,011791
7	9,4632463	0,4944094	6,5474747	9,9390898	7,9417848	9,4476634	3,0331333	9,7979994	2,5252705	0,011797
8	8,3333693	0,4949990	7,4756649	9,9890398	7,8447848	9,3676734	3,0301430	9,7099794	2,5220205	0,011799
9	8,2332463	0,4944494	7,6574649	9,9490898	9,9417898	9,4674644	3,0031430	9,7000794	2,5250705	0,0118
10	8,8332293	0,4844490	7,6754649	9,9490398	7,8847848	9,3376934	3,0031030	9,7000794	2,5550705	0,011809

Mutasyon oranının 1/10 yapılması durumundaki sonuçlar verildi. İyi bir sonuç elde edilemedi.

7.1.20. Örnek 20

Tablo 7. 39. 20. Başlangıç şartları

Popülasyon Sayısı	10
İterasyon Sayısı	100
C Değeri	0.00000001 F
R Katsayısı	10
Mutasyon Oranı	1/1000
Geçirme-Durdurma Bandı Dalgalanması	1.5-28 dB
Durdurma Bandı Alt Kesim Frekansı	100 Hz
Geçirme Bandı Alt Kesim Frekansı	1000 Hz
Geçirme Bandı Üst Kesim Frekansı	2000 Hz
Durdurma Bandı Üst Kesim Frekansı	4000 Hz



Şekil 7. 20. Band geçiren filtrenin genlik cevapları 20 (— istenen genlik cevabı, — en iyi kromozomun genlik cevabı, — en kötü kromozomun genlik cevabı)

Tablo 7. 40. 20. Program sonuçları

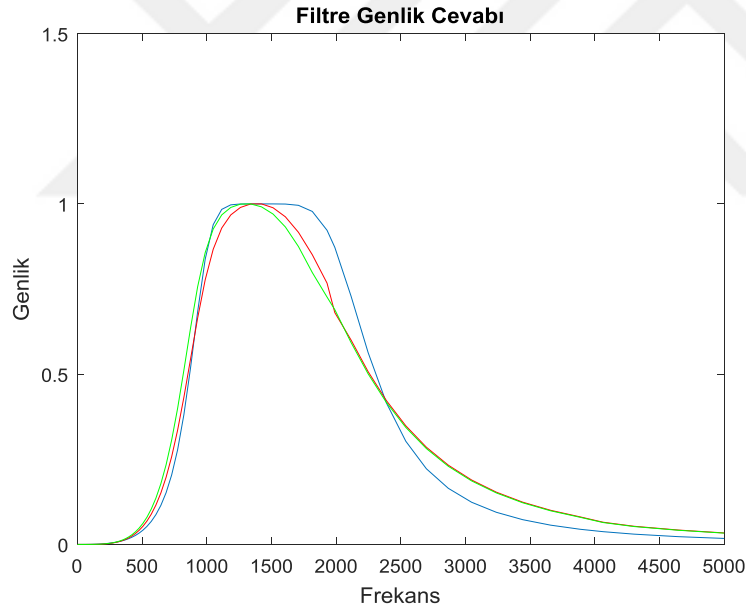
Pop.Sayısı	R1			R2			R3			Hata
	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	
1	9,8667817	0,7006800	8,9598144	7,7652627	8,3121113	9,9009709	2,2523002	9,8288889	2,6332333	0,011403
2	9,8367817	0,7036800	8,9098144	7,7252627	8,8121113	9,9009759	2,2553002	9,8288889	2,6332333	0,011407
3	8,8387817	0,7736800	8,9998194	7,7752627	8,8111113	9,9009759	2,3553002	9,8288889	2,3332323	0,011458
4	9,8069817	0,7330800	9,9498844	7,7652672	8,1128218	9,7900099	2,2012002	9,7878280	2,2223032	0,011496
5	9,8068817	0,7336800	9,9898844	7,7257722	8,1218111	9,0700790	2,2212002	9,7878280	2,2322032	0,011578
6	9,8068817	0,7036877	8,4898849	7,7652627	8,3181113	9,9009059	2,3003202	9,7888890	2,3332323	0,011589
7	8,8887813	0,8736000	8,9898194	7,6557722	8,2218113	9,0700790	2,2553002	9,8288829	2,3332323	0,011617
8	9,8868817	0,7336807	8,9898844	7,6257722	8,2218113	9,0700790	2,2552002	9,7988280	2,3322032	0,011638
9	9,8868818	0,7036837	8,8398844	7,2652672	8,1128213	9,7507099	2,2003202	9,7088880	2,6333023	0,01165
10	9,8367817	0,7336800	8,4098184	7,7752627	8,1111113	9,0009759	2,3053002	9,8888879	2,3332323	0,011685

7.1.20. durumda mutasyon oranının 1/1000 yapılarak sonuçlar gözlemlendi. Ve mutasyon oranının 1/100 yapıldığında daha iyi sonuçlar alındığı sonucuna varıldı.

7.1.21. Örnek 21

Tablo 7. 41. 21. Başlangıç şartları

Popülasyon Sayısı	10
İterasyon Sayısı	100
C Değeri	0. 00001 F
R Katsayısı	10
Mutasyon Oranı	1/100
Geçirme-Durdurma Bandı Dalgalanması	1.5-28 dB
Durdurma Bandı Alt Kesim Frekansı	100 Hz
Geçirme Bandı Alt Kesim Frekansı	1000 Hz
Geçirme Bandı Üst Kesim Frekansı	2000 Hz
Durdurma Bandı Üst Kesim Frekansı	4000 Hz



Şekil 7. 21. Band geçiren filtrenin genlik cevapları 21 (— istenen genlik cevabı, — en iyi kromozomun genlik cevabı, — en kötü kromozomun genlik cevabı)

Tablo 7. 42. 21. Program sonuçları

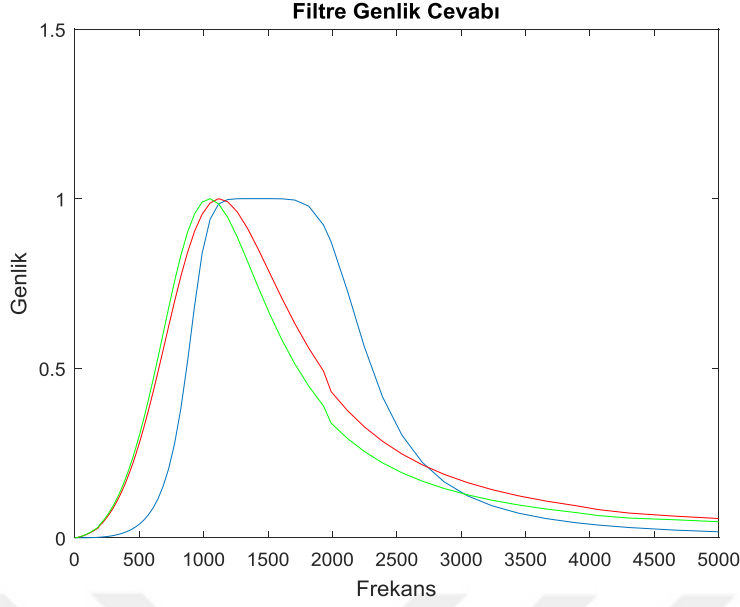
Pop.Sayısı	R1			R2			R3			Hata
	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	
1	0,5050607	1,7117555	4,4319455	6,4488484	2,4898325	1,1185115	1,0231512	3,6365293	0,7737773	0,009951
2	0,5051607	1,7117555	4,4414455	6,8488884	2,4898324	1,1185111	1,0231512	3,6365233	0,7737773	0,009989
3	0,7150050	1,5817131	4,4944944	4,4488684	2,4898325	1,1185115	1,0130511	3,6363992	0,7777773	0,010335
4	0,7050657	1,7317355	4,4319455	6,4488484	2,4898385	1,1185215	1,0231512	3,6365292	0,7737773	0,01048
5	0,6050650	1,8317375	4,4919455	6,8488484	2,4898385	1,1185215	1,0231511	3,6365992	0,7777773	0,011669
6	0,7050657	1,7117355	4,4419445	6,4488884	2,4898385	1,1585215	1,0331512	3,6265692	0,7737073	0,011824
7	0,7050057	1,5511151	4,4044944	8,4484484	2,4998325	1,1185211	1,2231111	3,6665932	0,7377773	0,011885
8	0,5150057	1,5517151	4,4444954	8,4488484	2,4998385	1,1185211	1,2331512	3,6265292	0,7337777	0,01201
9	0,5050057	1,5511151	4,4444954	4,8484484	2,4398385	1,1585211	1,1331112	3,2265296	0,7737703	0,012203
10	0,5050657	1,7617350	4,4349455	6,6488444	2,4898385	1,1185211	1,0331512	3,6565292	0,7737777	0,012311

Kondansatör değeri değiştirilerek tasarıma etkisini gözlemlemek için değeri 0,01 mF yapıldığında sonucun kötüye gittiği gözlemlendi.

7.1.22. Örnek 22

Tablo 7. 43. 22. Başlangıç şartları

Popülasyon Sayısı	10
İterasyon Sayısı	100
C Değeri	0. 01 F
R Katsayısı	10
Mutasyon Oranı	1/100
Geçirme-Durdurma Bandı Dalgalanması	1.5-28 dB
Durdurma Bandı Alt Kesim Frekansı	100
Geçirme Bandı Alt Kesim Frekansı	1000
Geçirme Bandı Üst Kesim Frekansı	2000
Durdurma Bandı Üst Kesim Frekansı	4000

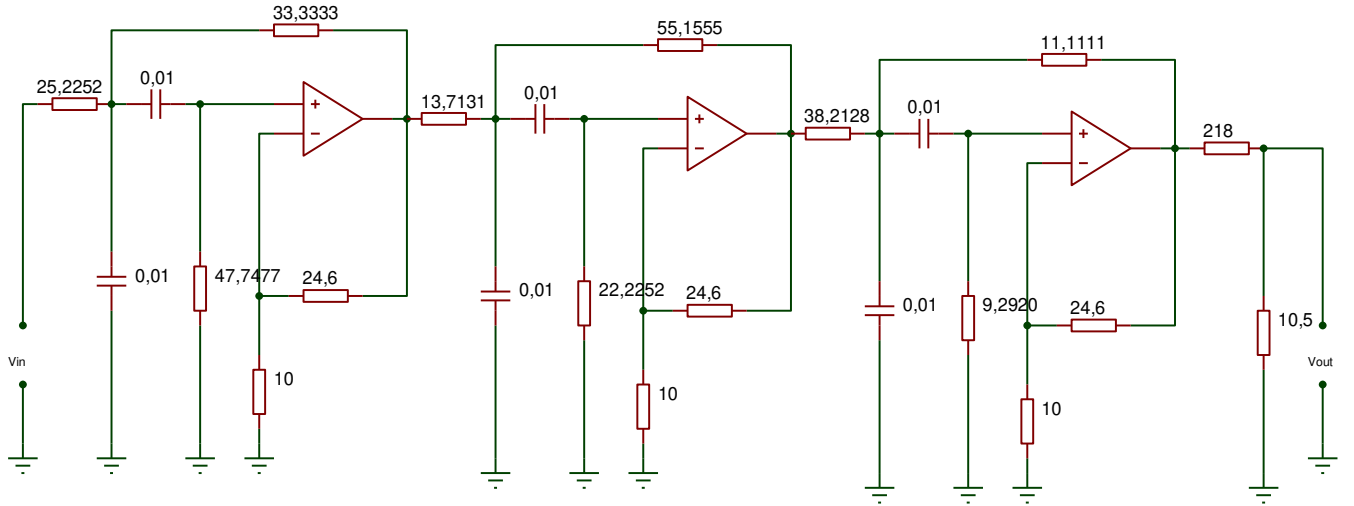


Şekil 7. 22. Band geçiren filtrenin genlik cevapları 22 (— istenen genlik cevabı, — en iyi kromozomun genlik cevabı, — en kötü kromozomun genlik cevabı)

Tablo 7. 44. 22. Program sonuçları

Pop.Sayısı	R1			R2			R3			Hata
	m1	m2	m3	m1	m2	m3	m1	m2	m3	
1	4,2047445	5,1159955	1,6622296	4,1515745	5,0009797	3,1601468	4,4934534	4,2242224	8,3820348	0,048382
2	4,5207445	5,8919985	1,6612296	4,1415445	5,0909797	3,3601418	4,4934534	4,2242224	8,0820398	0,050737
3	4,2077445	5,8119955	1,6622296	4,1415745	5,0009797	3,3601418	4,7934534	4,2242222	8,3920348	0,052031
4	4,2947444	5,1859955	1,6222291	4,5414745	5,0909797	3,3801418	4,7434434	4,2442222	8,3980348	0,05224
5	4,9047445	5,5119955	1,6722296	4,1415745	9,0009797	3,3001478	4,4434334	4,2242224	8,3820888	0,052944
6	4,5207445	8,8919985	1,6612296	4,1445745	5,7009797	3,1107468	4,4937534	4,2242222	9,3820348	0,053361
7	4,2277445	5,8919985	1,6642296	4,1115745	5,0009797	3,3301478	4,4937534	4,2242222	9,3920348	0,05403
8	4,9047445	5,5119955	1,6222296	4,1745745	9,0009790	3,1401468	4,4934734	4,2242224	8,3020948	0,054999
9	4,7047445	5,1159955	1,8622296	4,7515744	5,0509797	3,3601448	4,4434334	4,2242224	8,3820388	0,056993
10	4,9047445	5,1959955	1,6662296	4,1445744	5,9009597	3,1403468	4,7434534	4,2244222	8,9980348	0,05716

Kondansatör değeri 0,01 F yapıldığında sonucun optimumdan uzaklaştığı gözlemlenerek kondansatör değerinin 0,01 μ F değerinde seçilmesi en iyi sonucu verdiği yapılan denemeler sonucunda gözlemlenmiştir.



Şekil 7. 23. 6. dereceden bant geçiren filtre (direnç değerleri k Ω , kondansatör değerleri μ F) [2]

Klasik hesaplama yöntemlerine göre çok fazla işlem yükünden kurtulmak amacıyla tüm katlardaki direnç değerleri eşit seçilerek; [2]

$R_1=15,92$ k Ω , $R_2=22,68$ k Ω , $R_3=11,17$ k Ω değerleri verilmiştir. Bu çalışmada her kattaki direnç değerleri farklı bulunarak istenen koşulları sağlayıp, istenen genlik cevabına en yakın olan, hata değerinin en küçük olduğu durum 7.1.5'deki tablo 7.10'daki direnç değerleri kullanılarak Şekil 7.23'deki 3 katlı 6.dereceden bant geçiren filtre devresi gösterilmiştir. Böylece eleman bağımlılığı sorunu ortadan kaldırılmıştır.

8.SONUÇ

Yapılan çalışmada Matlab ortamı kullanılarak sezgisel hesaplama yöntemlerinden olan genetik algoritma ile aktif analog filtre tasarımı yapılmıştır. İkinci dereceden bant geçiren filtrelerin kaskad bağlanması ile oluşan altıncı dereceden üç katlı bant geçiren filtre üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu devrenin eleman değerleri program yardımıyla bulunmuştur.

Klasik hesaplama yöntemlerinde transfer fonksiyonuna ulaşmak büyük bir işlem karmaşasına neden olmakla birlikte yapılan işlem süresinde artış da meydana getirmektedir. Bu olumsuzları az da olsa ortadan kaldırmak için devre elemanları birbirine eşit seçilerek ya da birbirlerinin katları olacak şekilde belirlenmektedir. Bu durumda tasarım yapacak olan kullanıcıyı belirli elemanları seçmeye zorlayarak tasarımda kullanılacak olan eleman bağımlılığı sorununu ortaya çıkarmaktadır. Yapılan tez çalışmasında bu sorunlar ortadan kaldırılarak devredeki tüm katlarda farklı direnç değerleri bulunarak eleman bağımlılığı sorunu çözülmüştür.

Klasik yöntemlerde başlangıç şartlarının iyi seçilmesi gerekirken genetik algorithmada böyle bir durum söz konusu değildir. Başlangıç değerleri ne olursa olsun sonuca ulaşılabilir. Programda başlangıç değerleri rastgele belirlenerek her adımda tekrar tekrar hesaplanarak istenen cevaba yaklaşılmaya sağlanmıştır.

Program yardımıyla bulunan eleman değerlerine göre oluşturulan, bulunan genlik cevabı ile istenen genlik cevabı çizdirilerek bu iki durum karşılaştırılmıştır. Her iki durumda da yaklaşık sonuçlar gözlemlenerek bu iki durum arasındaki hata değeri minimize edilmiştir. İstenen özellikleri sağlayacak transfer fonksiyonuna ulaşılmıştır.

Program devre parametreleri değiştirilerek çalıştırıldığında da istenen genlik cevabına ulaşılmıştır. Bu durum çözümün tek olmadığını göstermektedir. Farklı eleman değerleriyle de sonuca ulaşılabilir.

İleri bir çalışma olarak bu program alçak geçiren filtre, yüksek geçiren filtre, bant durduran filtreye uyarlanarak bu filtrelerinde eleman değerleri bulunabilir.

KAYNAKLAR

1. **Horrocks, D.H., Spittle, M.C.**, 1995. Component Value Selection for Active Filters using Genetic Algorithms, *Universty Of Wales*, C-2, 553-556
2. **Thede, L.**, 1996. Analog and Digital Filter Desing, Prentice Hall PTR, New Jersey
3. **Karaboğa, D.**, 2004. Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları, Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul
4. **Kaya, T., İnce, M.C., Akbal, E., Ulaş, M., Boyaci, A.**, 2006. Aktif Analog Filtrelerde Eleman Değerlerini Belirleyen Bilgisayar Yazılımı, *Union Radio-Scienetfque Internationale (URSI)*, Ankara
5. **Kalınlı, A.**, 2003. Alçak Geçiren Filtreler İçin Eleman Değerlerinin Seçiminde Yeni Bir Yaklaşım:Tabu Araştırma Algoritması, *G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi* 16(3):567-576
6. **Kaya, T., İnce, M. C.**, 2007. Aktif Analog Filtrelerin YSA İle Modellenmesi, *12. Elektrik-Elektronik, Bilgisayar Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Kongresi Ve Fuarı, Eskişehir*
7. **Kalınlı, A.**, 2003. Component Value Selection For Active Filter Using Ant Colony Algorithms, *DEU Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi*, 5:3, İzmir
8. **Üstün, D., Akkuş, M., Bicer, M.B., Temurtaş, H., Akdağlı, Ali.**, 2015. Design Of Butterworth and Chebyshev Low-Pass Filter with Heuristic Algorithms, *Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SİU)*, Malatya
9. **Ayten, U.E., Vural, R.A., Yıldırım, T.**, 2011. Low-pass Filter Approximation with Evolutionary Techniques, *ELECO 7th International Conference on Electrical and Electronics Engineering, Bursa*
10. **Kaya, T., İnce, M. C.**, 2009. Genetik Algoritma Tabanlı Bilineer Dönüşümü Kullanarak Sayısal Bir Süzgecin Tasarımı, *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, Karabük
11. **Kaya, T., İnce, M. C.**, 2008. Genetik Algoritmaların Butterworth IIR Sayısal Filtrelerde Kullanımı, *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu (ELECO)*, Bursa
12. **Kaya, T., İnce, M. C.**, 2011. Genetik Algoritma Yardımıyla Elde Edilen Yüksek Performanslı Pencere Fonksiyonlarının Yinelemesiz Sayısal Filtre Tasarımında Kullanımı, *6th International Advanced Tecnologies Symposi (IATS)*, Elazığ

13. **Kaya, T., İnce, M. C.**, 2012. The Design of Analog Active Filter with Different Component Value using Genetic Algorithm, *International Journal of Computer Applications*
14. http://www.robotiksisitem.com/opamp_yapısı_çalışması.html, 22 Nisan 2016.
15. <http://docplayer.biz.tr/17674244-Elektronik-devreler-ders-notlari-prof-dr-bulent-cakmak.html>, 16 Mart 2007.
16. **Tüzüenalp, Ö.**, 1985. Elektronik Uygulamaları, Hacettepe-Taş Kitapçılık Ltd.Şti., 7
17. **Kuntman, H.**, 1992. Analog Tümdevre Tasarımı, Sistem Yayıncılık ve Matbaacılık San. ve Tic. A.Ş., İstanbul
18. **Savaş, Y., Demirel, H., Ciylan, B.**, 2003, İşlemsel Yükselteçler ve Devre Deneyleri, Fersa Matbaacılık
19. <http://www.elektrik.gen.tr/2016/09/islemsel-yukseltecler-ders-notlari/3310>, 6 Eylül 2016.
20. **Bayrak, M.**, 2013. Elektrik Devreleri ve Devre Analizi, Görsel Dizayn Ofset Matbaacılık Tic. Ltd. Şti., İstanbul
21. **Türköz, M .S.**, 1992. Elektronik Devreler 2, Sistem Yayıncılık ve Matbaacılık San. ve Tic. A.Ş., İstanbul
22. <http://www.caglargul.com/2017/04/analog-filtreler-pasif-ve-aktif.html> ,5 Nisan 2017.
23. <https://ewarticle.wordpress.com/2012/04/09/elektronik-filtreler/> ,9 Nisan 2012.
24. **Beards, P.H.**, 1990. Analog and Digital Electronics, Prentice Hall Europe
25. **Johnson, D. E.**, 1976. Introduction to Filter Theory, Prentice Hall INC
26. http://en.wikipedia.org/wiki/Sallen%E2%80%93Key_topology, 4 Ekim 2008.
27. **Nabiyev, V.V.**, 2005. Yapay Zeka, Seçkin Yayıncılık , Ankara
28. **Golberg, D.E.**, 1989. Genetic Algorithms in Search Optimization Machine Learning, Addison-Wesley Publishing Company
29. **Gürsu, B.**, 2009. Sezgisel Algoritmalar Kullanarak Transformatör Merkezlerinde Topraklama Ağlarının Tasarımı, *Doktora Tezi*, F.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ
30. **Gürsu, B.**, 2002. Genetik Algoritma İle DC-AC Çeviricilerde Harmonik Eliminasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, F.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ
31. **Kaya, T.**, 2006. Genetik Algoritma İle Sayısal Filtre Tasarımı, *Yüksek Lisans Tezi*, F.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ
32. **Uzunoğlu, M., Kızıl, A., Onar, Ç. Ö.**, 2003. Her Yönü İle Matlab, Türkmen Kitapevi, İstanbul

ÖZGEÇMİŞ

1992 yılında Elazığ'da doğdum. İlk ve Orta öğrenimimi Elazığ'da tamamladım. 2010 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümüne kayıt yaptırđım. 2014 yılında bu bölümden mezun oldum. 2016 yılında F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Telekomünikasyon Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitime başladım. Yabancı dilim İngilizcedir. Lisans eğitimini tamamladıktan itibaren Elazığ'da kurmuş olduğumuz proje firmasında mühendis olarak görevime devam etmekteyim.

