

**BİR VE İKİ BOYUTLU SAYISAL FİLTRE TASARIMI İÇİN
AKILLI HESAPLAMA YÖNTEMLERİYLE
YENİ BİR PENCERELEME FONKSİYONUNUN
GELİŞTİRİLMESİ**

Yük. Müh. Turgay KAYA

Doktora Tezi

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Melih Cevdet İNCE

EKİM-2011

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİR VE İKİ BOYUTLU SAYISAL FİLTRE TASARIMI İÇİN AKILLI
HESAPLAMA YÖNTEMLERİYLE YENİ BİR PENCERELEME
FONKSİYONUNUN GELİŞTİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

Yük. Müh. Turgay KAYA

(06113206)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 22-09-2011

Tezin Savunulduğu Tarih : 10-10-2011

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

Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Yakup DEMİR (Fırat Ü.)

Prof. Dr. Muammer GÖKBULUT (Fırat Ü.).....

Prof. Dr. Muhammet KÖKSAL (Haliç Ü.)

Prof. Dr. Hanifi GÜLDEMİR (Fırat Ü.)

EKİM-2011

ÖNSÖZ

Analog sistemlerin yerini zamanla sayısal sistemlerin almasıyla, ayrık zamanlı sinyallerin işlenmesi ve analizinin popülaritesi her geçen gün artmaktadır. Sayısal sistemlerin vazgeçilmez bileşenlerinden olan tekrarsız sayısal filtrelerin tasarımında, sınırlı sayıda Fourier serisi değerlerinin kullanılmasıyla meydana gelen salınımlar, ilk kez 1899 yılında J.W. Gibbs tarafından tanımlanmıştır. Bu salınımları yok etmek için kullanılan pencere fonksiyonları hakkında literatürde oldukça fazla çalışma bulunmaktadır. Geliştirilen pencere fonksiyonları, sadece salınımları ortadan kaldırmak için değil; aynı zamanda medikal görüntüleme sistemlerinde, kozmik verilerin sınıflandırılmasında, hava tahmin modellerinin geliştirilmesi gibi farklı uygulama alanlarında da kullanılmaktadır. Bu nedenle araştırmacılar, daha iyi özelliklere sahip yeni pencere fonksiyonları bulmaya yönelmişlerdir.

Yürütülen bu tez çalışmasında, akıllı hesaplama yöntemleri yardımıyla farklı işlevlerde kullanılabilecek iyi spektral özelliklere sahip yeni pencere fonksiyonunun tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Çalışmalarım süresince bana her türlü konuda yardımcı olan, olaylara ve sorunlara farklı açılarla bakmamı sağlayan, zengin bilgi birikiminden her konuda yararlandığım ve gelecekte iyi bir akademisyen olmamda en büyük emeği olan danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Melih Cevdet İNCE'ye teşekkürlerimi sunarım.

Tez süresi boyunca gösterdikleri hoşgörü ve iyi niyetleri için tez izleme komitesi üyeleri Sayın Prof. Dr. Yakup DEMİR ve Sayın Prof. Dr. Muammer GÖKBULUT'a teşekkür ederim.

Tez aşamasında fikir verip destek sağlayan Abant İzzet Baysal Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünden Sayın Yrd. Doç. Dr. Kemal AVCİ ve Victoria Üniversitesi Elektrik-Bilgisayar Mühendisliği bölümünden Sayın Prof. Dr. Andreas Antoniou'ya teşekkür ederim.

Her zaman desteğini gördüğüm, daimi arkadaşlarım, bölümümüz hocalarımızdan Sayın Yrd. Doç. Dr. Yavuz EROL, Yrd. Doç. Dr. Ayhan AKBAL ve Arş. Gör. Hasan GÜLER'e teşekkür ederim.

Son olarak, beni her zaman destekleyen aileme sonsuz teşekkür ederim.

Turgay KAYA
ELAZIĞ-2011

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	VI
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER LİSTESİ	X
TABLolar LİSTESİ	XIII
KISALTMALAR LİSTESİ	XIV
SEMBOLLER LİSTESİ	XV
1. GİRİŞ	1
1.1. Genel Bakış	1
1.2. Literatür Özeti	2
1.3. Problemin Tanımlanması ve Tezin Amacı.....	5
1.4. Tezin Yapısı	5
2. BİR VE İKİ BOYUTLU SAYISAL FİLTRELER	8
2.1. Giriş.....	8
2.2. Bir Boyutlu Sayısal Filtreler	9
2.2.1. Bir Boyutlu Sayısal Filtre Türleri	11
2.2.1.1. Tekrarlı Sayısal Filtreler	11
2.2.1.2. Tekrarsız Sayısal Filtreler	12
2.2.1.3. Doğrusal Faz Cevaplı Tekrarsız Sayısal Filtreler	13
2.2.2. Sayısal Filtre Tasarım Yöntemleri	15
2.2.2.1. Tekrarlı Sayısal Filtre Tasarım Yöntemleri	15
2.2.2.2. Tekrarsız Sayısal Filtre Tasarım Yöntemleri	18
2.2.3. Tekrarlı ve Tekrarsız Sayısal Filtrelerin Karşılaştırması	20
2.3. İki Boyutlu Sayısal Filtreler	21
2.3.1. İki Boyutlu Tekrarsız Sayısal Filtreler	22
2.3.2. İki Boyutlu Tekrarlı Sayısal Filtreler	23

3.	BİR VE İKİ BOYUTLU TEKRARSIZ SAYISAL FİLTRE TASARIMINDA PENCERE FONKSİYONU KULLANIMI	24
3.1.	Giriş.....	24
3.2.	Fourier Serisinin Filtre Tasarımında Kullanımı ve Gibbs Salınımları.....	24
3.3.	Pencere Fonksiyonunun Tekrarsız Sayısal Filtre Tasarımında Kullanımı.....	27
3.4.	Pencere Fonksiyonları ve Spektral Karakteristikleri	30
3.5.	Yaygın Kullanılan Pencere Fonksiyonları	33
3.5.1.	Sabit Pencere Fonksiyonları.....	33
3.5.1.1.	Sabit Pencere Fonksiyonlarının Spektral Davranışı.....	35
3.5.2.	Ayarlanabilir Pencere Fonksiyonları	37
3.5.2.1.	Kaiser Penceresi.....	38
3.5.2.2.	Dolph-Chebyshev Penceresi	40
3.5.2.3.	Saramaki Penceresi	40
3.5.2.4.	Ultraspherical Penceresi.....	41
3.5.2.5.	Üstel Pencere	46
3.5.2.6.	Cosh Pencere.....	47
3.5.2.7.	Modifiye Edilmiş Cosh Penceresi.....	48
3.5.2.8.	Modifiye Edilmiş Kaiser Penceresi.....	49
4.	AKILLI HESAPLAMA YÖNTEMLERİ.....	50
4.1.	Genetik Algoritmalar	51
4.2.	Yapay Sinir Ağları	57
4.2.1.	Yapay Sinir Ağlarının Yapıları	60
4.2.2.	Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme.....	61
5.	KULLANIŞLI SPEKTRAL PARAMETRELİ BİR VE İKİ BOYUTLU PENCERE FONKSİYONLARININ AKILLI HESAPLAMA YÖNTEMLERİ YARDIMIYLA GERÇEKLEŞTİRİLMESİ.....	65
5.1.	Giriş.....	65
5.2.	Bir Boyutlu Pencere Fonksiyonu Tasarımında GA Kullanımı	65
5.3.	Bir Boyutlu Pencere Fonksiyonu Tasarımında YSA Kullanımı	71
5.4.	İki Boyutlu Pencere Fonksiyonu Tasarımında GA ve YSA Kullanımı	76
6.	AKILLI HESAPLAMA YÖNTEMLERİNİN BİR VE İKİ BOYUTLU TEKRARSIZ SAYISAL FİLTRE TASARIMINDA KULLANIMI.....	87
6.1.	Giriş.....	87
6.2.	Bir Boyutlu FIR Sayısal Filtre Tasarımında GA Kullanımı	87
6.3.	Bir Boyutlu FIR Sayısal Filtre Tasarımında YSA Kullanımı	90

6.4.	İki Boyutlu FIR Sayısal Filtre Tasarımında GA ve YSA Kullanımı	95
7.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	105
7.1.	Sonuçlar	105
7.2.	Öneriler	108
	KAYNAKLAR	109
	ÖZGEÇMİŞ.....	116

ÖZET

Pencere fonksiyonları, FIR (Finite Impulse Response, Sonlu İmpuls Cevaplı) filtre tasarımı istenmeyen Gibbs salınımlarını ortadan kaldırabilmek için kullanılan yapılardır. Pencere fonksiyonları; sinyal işleme uygulamalarında, güç spektrumu kestiriminde ve sayısal filtre tasarımı gibi pek çok alanda kullanılır. Dolayısıyla, iyi spektral özelliklere sahip pencere fonksiyonunun tasarımı arzu edilen bir durumdur.

Bu tez çalışmasının amacı; iyi spektral özelliklere sahip yeni bir pencere fonksiyonunun akıllı hesaplama yöntemleri ile gerçekleştirilmesidir. Bu amaçla, literatürde yaygın olarak kullanılan Kaiser penceresinin analob genişliği ve dalgalanma oranı ile ultraspherical penceresinin yanlob azalma oranı karakteristiğini bir arada bulunduran yeni bir pencere fonksiyonu, akıllı hesaplama yöntemlerinden olan Genetik Algoritma (GA) ve Yapay Sinir Ağları (YSA) yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Sabit pencere uzunluğu ve analob genişliği için GA kullanılarak geliştirilen yönteme ait spektral parametreler, dalgalanma oranı ve yanlob azalma oranı bakımından, literatürdeki diğer pencere fonksiyonu parametrelerinden daha iyi davranış göstermektedir. Ayrıca, YSA kullanılarak Kaiser penceresinin analob genişliği ve dalgalanma oranı ile ultraspherical penceresinin yanlob azalma oranı karakteristiğini bir arada bulunduracak yeni bir pencere fonksiyonunun modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Bu sayede farklı şartlar için literatürdeki üstel ve cosh pencerelerinden daha iyi spektral davranış gösteren bir pencere fonksiyonunun tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Hem GA hem de YSA kullanılarak elde edilen bir boyutlu pencere fonksiyonları, FIR filtre tasarımı kullanılmış ve sahip oldukları kullanışlı spektral parametreler ile tasarlanan filtrelerin de analob genişliği, dalgalanma oranı ve yanlob azalma oranı bakımından daha iyi karakteristiğe sahip olmaları sağlanmıştır. Geliştirilen yöntemler yardımıyla tasarlanan sayısal filtreler, minimum ve maksimum durdurma bandı zayıflaması bakımından literatürde kullanılan diğer pencereler yardımıyla tasarlanan filtrelerden daha iyi davranış göstermektedir.

GA ve YSA yardımıyla elde edilen bir boyutlu pencereler, uygun yöntemler yardımıyla iki boyutlu pencere tasarımı kullanılmıştır. İki boyutlu pencere fonksiyonları bir boyutlu pencere fonksiyonlarının spektral özelliklerine sahiptirler.

Dolayısıyla, iyi tasarlanan bir boyutlu pencere kullanılarak iyi özelliklere sahip iki boyutlu pencere fonksiyonunun tasarımı gerçekleştirilebilir.

Bir boyutlu FIR filtre tasarımında olduğu gibi iki boyutlu FIR filtre tasarımı iki boyutlu pencere fonksiyonu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Böylece spektral parametreleri iyi olan iki boyutlu pencere ile iyi özelliklere sahip iki boyutlu filtre tasarlanmaktadır. Elde edilen iki boyutlu filtre görüntü işleme alanında kullanılmış ve diğer filtreler kullanılarak elde edilen filtrelenmiş görüntüler ile karşılaştırmalar yapılarak geliştirilen yöntemlerin başarısı gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Pencere Fonksiyonları, Kaiser Penceresi, Ultraspherical Penceresi, Üstel Pencere, Cosh Pencere, FIR filtre, Genetik Algoritma, Yapay Sinir Ağları, İki Boyutlu Pencere, İki Boyutlu FIR Filtre, Görüntü İşleme.

SUMMARY

Improvement of New Window Functions with Intelligent Calculation Methods for the Design of One and Two Dimensional Digital Filters

The window functions are structures used to reduce undesired Gibbs' oscillations in FIR (Finite Impulse Response) filter design. The window functions are used at many areas such as digital filter design, power spectrum estimation and signal processing applications. So, the design of window function having good spectral properties is preferred at many areas.

The aim of this thesis is the realization, with intelligent calculation methods, of a new window function having good spectral properties.

With this aim, a new window function having mainlobe width and ripple ratio of Kaiser window which is used commonly and sidelobe roll-off ratio characteristic of ultraspherical window has been implemented the help of Genetic Algorithm (GA) and Artificial Neural Networks (ANN) which are intelligent calculation methods. The developed method by using GA for constant window length and mainlobe width shows better behavior than that other window functions in the literature shows with respect to ripple ratio and sidelobe roll-off ratio.

Similarly, a new window function modeling having mainlobe width and ripple ratio of Kaiser window and sidelobe roll-off ratio characteristic of ultraspherical window has been implemented by using ANN. Thus, the design of window function that shows better spectral behavior than exponential and cosh windows in the literature for different conditions has been implemented.

The obtained one dimensional window functions by using both GA and ANN have been used at FIR filter design, because of the fact that they have useful spectral parameters the designed filters show better characteristics. With respect to minimum and maximum stopband attenuation, the designed digital filters show better characteristics than the filters which have been designed by using other windows in the literature.

One dimensional windows obtained using GA and ANN have been used to design two dimensional windows with the aid of suitable methods. Two dimensional window functions have spectral characteristics of the one dimensional window functions.

Therefore, the design of two dimensional window functions having good properties can be achieved by using a well designed one dimensional window functions.

Two dimensional FIR filter design has been performed by using two dimensional window function just like one dimensional FIR filter design. By this way, two dimensional filter having good characteristics is designed with two dimensional window having good spectral parameters. The obtained two dimensional filter is used in image processing and its success is determined by comparing the images obtained by using this filter and some other filters.

Key words: Window Functions, Kaiser Window, Ultraspherical Window, Exponential Window, Cosh Window, FIR Filter, Genetic Algorithm, Artificial Neural Networks, Two Dimensional Window, Two Dimensional Filter, Image Processing.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1.	Farklı filtre türlerinin ideal frekans cevapları (a) AGF, (b) YGF, (c) BGF, (d) BDF	9
Şekil 2.2.	İdeal olmayan alçak geçiren filtre için genlik cevabı özellikleri.....	10
Şekil 2.3.	s- düzleminden s'-düzlemine olan dönüşüm	17
Şekil 2.4.	Bilineer dönüşüm uygulanarak s-düzleminden z-düzlemine geçiş	18
Şekil 2.5.	Sistem olarak iki boyutlu sayısal filtrenin blok gösterimi	22
Şekil 3.1.	Farklı dereceler için alçak geçiren filtre genlik cevabı ve Gibbs salınımları ...	27
Şekil 3.2.	N=31 için normalize edilmiş pencere fonksiyonu genlik cevabı.....	31
Şekil 3.3.	Pencere genlik spektrumu.....	32
Şekil 3.4.	N=31 için farklı pencere fonksiyonlarının zaman bölgesi karakteristiği.....	36
Şekil 3.5.	N=31 için farklı pencere fonksiyonlarının frekans spektrumları.....	36
Şekil 3.6.	$\alpha_k=2$ için farklı pencere uzunluğunun Kaiser penceresi spektrumuna etkisi	38
Şekil 3.7.	N=23 için farklı α_k değerlerinin Kaiser penceresine etkisi	39
Şekil 3.8.	Sabit $\mu=1.9999$, $x_\mu=1.00039$ için farklı N değerlerinin ultraspherical pencere frekans spektrumuna etkisi	42
Şekil 3.9.	Sabit, N=23, $x_\mu=1.00039$ için farklı μ değerlerinin Ultraspherical pencere frekans spektrumuna etkisi	43
Şekil 3.10.	Sabit, N=23, $\mu=1.99999$ için farklı x_μ değerlerinin Ultraspherical pencere frekans spektrumuna etkisi	44
Şekil 3.11.	Farklı α_e değerlerinin üstel pencere frekans spektrumu üzerine etkisi.....	46
Şekil 3.12.	Farklı α_c değerlerinin cosh penceresi frekans spektrumu üzerine etkisi.....	48
Şekil 4.1.	GA çemberi.....	52
Şekil 4.2.	İkili kodlanmış kromozomlarda tek noktali çaprazlama işlemi.....	54
Şekil 4.3.	İkili kodlanmış kromozomlarda tek noktali mutasyon işlemi	55
Şekil 4.4.	GA'ya ait akış diyagramı.....	56
Şekil 4.5.	Basit bir sinir hücresi gösterimi.....	58
Şekil 4.6.	Etkinlik fonksiyonları a) lineer aktivasyon fonksiyonu, b) eşik aktivasyon fonksiyonu, c) Sigmoid aktivasyon fonksiyonu d) Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu	59
Şekil 4.7.	YSA'nın katman yapısı ve bağlantıları.....	60
Şekil 4.8.	Çok katmanlı YSA modeli	61
Şekil 5.1.	Değer kodlanmış kromozom gösterimi	65
Şekil 5.2.	Değer kodlanmış kromozomlar için çaprazlama işlemi	66
Şekil 5.3.	Değer kodlanmış kromozomlar için mutasyon işlemi	66
Şekil 5.4.	N=23 ve $w_R=0.374$ için GA sonucu, Kaiser ve Ultraspherical pencerelerinin genlik karşılaştırmaları	67
Şekil 5.5.	N=17 ve $w_R=0.4602$ için GA sonucu, Kaiser ve Ultraspherical pencerelerinin genlik karşılaştırmaları	68
Şekil 5.6.	N=25 ve $w_R=0.2638$ için GA ve üstel penceresinin genlik karşılaştırmaları ...	69
Şekil 5.7.	N=21 ve $w_R=0.3988$ için GA ve cosh penceresinin genlik karşılaştırmaları....	70
Şekil 5.8.	YSA'nın eğitim hata grafiği	72
Şekil 5.9.	N=27 için YSA, Ultraspherical ve Kaiser pencerelerinin genlik karşılaştırmaları	73

Şekil 5.10. $N=27$ için YSA ve Üstel pencerenin genlik karşılaştırmaları.....	74
Şekil 5.11. $N=23$, $w_R=0.327$ için YSA ve Cosh penceresinin genlik karşılaştırmaları	75
Şekil 5.12. GA kullanılarak elde edilen iki boyutlu pencere fonksiyonunun (a) genlik (b) frekans cevabı gösterimi	77
Şekil 5.13. Kaiser penceresi kullanılarak elde edilen iki boyutlu pencere fonksiyonunun (a) genlik (b) frekans cevabı gösterimi	78
Şekil 5.14. Ultraspherical penceresi kullanılarak elde edilen iki boyutlu pencere fonksiyonunun (a) genlik (b) frekans cevabı gösterimi.....	79
Şekil 5.15. Üstel pencere kullanılarak elde edilen iki boyutlu pencere fonksiyonunun (a) genlik (b) frekans cevabı gösterimi	81
Şekil 5.16. Cosh penceresi kullanılarak elde edilen iki boyutlu pencere fonksiyonunun (a) genlik (b) frekans cevabı gösterimi	82
Şekil 5.17. YSA kullanılarak elde edilen iki boyutlu pencere fonksiyonunun (a) genlik (b) frekans cevabı gösterimi	84
Şekil 5.18. Kaiser penceresi kullanılarak elde edilen iki boyutlu pencere fonksiyonunun (a) genlik (b) frekans cevabı gösterimi	85
Şekil 5.19. Ultraspherical penceresi kullanılarak elde edilen iki boyutlu pencere fonksiyonunun (a) genlik (b) frekans cevabı gösterimi.....	86
Şekil 6.1. $\omega_k=0.5\pi$ ve $N=17$ için GA, Kaiser ve Ultraspherical pencereleri ile tasarlanan alçak geçiren filtre genlik cevapları.....	87
Şekil 6.2. $\omega_k=0.27\pi$ ve $N=25$ için GA, Üstel pencereleri ile tasarlanan alçak geçiren filtre genlik cevapları.....	89
Şekil 6.3. $\omega_k=0.32\pi$ ve $N=21$ için GA, cosh pencereleri ile tasarlanan alçak geçiren filtre genlik cevapları.....	90
Şekil 6.4. $N=21$ için YSA, Ultraspherical ve Kaiser pencereleri ile tasarlanan alçak geçiren filtre genlik cevapları	91
Şekil 6.5. $\Delta\omega=0.314$ ve $N=27$ için YSA ve Üstel penceresi ile tasarlanan alçak geçiren filtre genlik cevapları	92
Şekil 6.6. $\Delta\omega=0.485$ ve $N=23$ için YSA ve Cosh penceresi ile tasarlanan alçak geçiren filtre genlik cevapları	93
Şekil 6.7. $N=25$ ve $\Delta\omega=0.485$ için YSA, Dolph-Chebyshev ve Saramaki pencereleri ile tasarlanan alçak geçiren filtre genlik cevapları	94
Şekil 6.8. İki boyutlu filtrenin arzu edilen genlik cevabı.....	95
Şekil 6.9. GA yardımıyla elde edilen pencere fonksiyonu kullanılarak tasarlanan iki boyutlu FIR filtre genlik cevabı.....	96
Şekil 6.10. YSA yardımıyla elde edilen pencere fonksiyonu kullanılarak tasarlanan iki boyutlu FIR filtre genlik cevabı.....	97
Şekil 6.11. Kaiser penceresi yardımıyla elde edilen pencere fonksiyonu kullanılarak tasarlanan iki boyutlu FIR filtre genlik cevabı	97
Şekil 6.12. Ultraspherical penceresi yardımıyla elde edilen pencere fonksiyonu kullanılarak tasarlanan iki boyutlu FIR filtre genlik cevabı	98
Şekil 6.13. Üstel penceresi yardımıyla elde edilen pencere fonksiyonu kullanılarak tasarlanan iki boyutlu FIR filtre genlik cevabı	98
Şekil 6.14. Cosh penceresi yardımıyla elde edilen pencere fonksiyonu kullanılarak tasarlanan iki boyutlu FIR filtre genlik cevabı	99
Şekil 6.15. Geliştirilen iki boyutlu filtreler için kullanılan görüntü	100
Şekil 6.16. Orijinali değiştirilmiş bulanık görüntü	101
Şekil 6.17. GA kullanılarak tasarlanan filtrenin işlem sonucu	101
Şekil 6.18. YSA kullanılarak tasarlanan filtrenin işlem sonucu.....	102

Şekil 6.19. Kaiser penceresi kullanılarak tasarlanan filtrenin işlem sonucu	102
Şekil 6.20. Ultraspherical penceresi kullanılarak tasarlanan filtrenin işlem sonucu	102
Şekil 6.21. Üstel penceresi kullanılarak tasarlanan filtrenin işlem sonucu	103
Şekil 6.22. Cosh penceresi kullanılarak tasarlanan filtrenin işlem sonucu	103

TABLolar LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1. Farklı durumlar için doğrusal faz cevabına sahip tekrarsız filtrelerin frekans cevapları.....	14
Tablo 3.1. $N=31$ için farklı pencere fonksiyonların karşılaştırması.....	37
Tablo 3.2. $N=31$ ve $N=41$ için sabit pencere fonksiyonlarının karşılaştırması.....	37
Tablo 3.3. Farklı α_k ve N değerleri için Kaiser penceresi bilgileri.....	39
Tablo 3.4. Farklı N değerleri için ultraspherical penceresi frekans spektrumu bilgileri....	42
Tablo 3.5. Farklı μ değerleri için ultraspherical penceresi frekans spektrumu bilgileri	43
Tablo 3.6. Farklı x_μ değerleri için ultraspherical penceresi frekans spektrumu bilgileri ...	43
Tablo 3.7. Farklı α_e değerleri ile elde edilen üstel penceresine ait bilgiler.....	47
Tablo 3.8. Farklı α_c değerleri ile elde edilen cosh penceresine ait bilgiler.....	47
Tablo 5.1. Kaiser, Ultraspherical penceresi ve geliştirilen yöntem için elde edilen sayısal sonuçlar.....	67
Tablo 5.2. Kaiser, Ultraspherical penceresi ve geliştirilen yöntem için elde edilen sayısal sonuçlar.....	68
Tablo 5.3. Üstel penceresi ve geliştirilen yöntem için elde edilen sayısal sonuçlar	69
Tablo 5.4. Cosh penceresi ve geliştirilen yöntem için elde edilen sayısal sonuçlar	70
Tablo 5.5. Kaiser, Ultraspherical penceresi ve geliştirilen yöntem için elde edilen sayısal sonuçlar.....	72
Tablo 5.6. Üstel pencere ve geliştirilen yöntemden elde edilen sayısal sonuçlar	73
Tablo 5.7. Cosh ve geliştirilen yöntem için elde edilen sayısal sonuçlar	74
Tablo 5.8. İki boyutlu pencere fonksiyonu tasarımında kullanılan bir boyutlu pencere fonksiyonlarına ait özellik ve spektral parametreler.....	76
Tablo 5.9. İki boyutlu pencere fonksiyonu tasarımında kullanılan üstel ve cosh pencere fonksiyonlarına ait özellik ve spektral parametreler.....	80
Tablo 5.10. İki boyutlu pencere fonksiyonu tasarımında kullanılan bir boyutlu pencere fonksiyonlarına ait özellik ve spektral parametreler.....	83
Tablo 6.1. $\omega_k=0.5\pi$ ve $N=17$ için Kaiser, Ultraspherical ve GA kullanılarak tasarlanan alçak geçiren filtreler için sayısal bilgiler	88
Tablo 6.2. $\omega_k=0.27\pi$ ve $N=25$ için Üstel ve GA kullanılarak tasarlanan alçak geçiren filtreler için sayısal bilgiler	88
Tablo 6.3. $\omega_k=0.32\pi$ ve $N=21$ için Cosh ve GA kullanılarak tasarlanan alçak geçiren filtreler için sayısal bilgiler	89
Tablo 6.4. $\omega_k=0.4\pi$ ve $N=21$ için Kaiser, Ultraspherical ve YSA kullanılarak tasarlanan alçak geçiren filtreler için sayısal bilgiler.....	91
Tablo 6.5. $\omega_k=0.23\pi$ ve $N=27$ için Üstel ve YSA kullanılarak tasarlanan alçak geçiren filtreler için sayısal bilgiler	92
Tablo 6.6. $\omega_k=0.32\pi$ ve $N=23$ için Cosh ve YSA kullanılarak tasarlanan alçak geçiren filtreler için sayısal bilgiler	93
Tablo 6.7. $\omega_k=0.25\pi$ ve $N=25$ için YSA, Dolph-Chebyshev ve Saramaki pencereleri kullanılarak tasarlanan alçak geçiren filtreler için sayısal bilgiler	94
Tablo 6.8. İki boyutlu pencere fonksiyonu tasarımında kullanılan bir boyutlu pencere fonksiyonlarına ait özellik ve spektral parametreler.....	96
Tablo 6.9. Farklı pencere fonksiyonları kullanılarak elde edilen filtre yardımıyla işlenmiş görüntülere ait PSNR oranları	103

KISALTMALAR LİSTESİ

FIR	: Finite Impulse Response (Sonlu İmpuls Cevaplı)
IIR	: Infinite Impulse Response (Sonsuz İmpuls Cevaplı)
GA	: Genetik Algoritmalar
YSA	: Yapay Sinir Ağları
OPAMP	: Operational Amplifiers (İşlemsel yükselteç)
OTA	: Operational Transconductance Amplifiers (İşlemsel Geçiş İletkenliği Yükselteci)
AGF	: Alçak Geçiren Filtre
YGF	: Yüksek Geçiren Filtre
BGF	: Band Geçiren Filtre
BDF	: Band Durduran Filtre
AFD	: Ayrık Fourier Dönüşümü
FFT	: Hızlı Fourier Dönüşümü (Fast Fourier Transform)
ÇKA	: Çok Katmanlı Algılayıcı
PSNR	: Peak Signal to Noise Ratio (Tepe Sinyal Gürültü Oranı)

SEMBOLLER LİSTESİ

$A(w)$	: Pencere fonksiyonu genliği
A_d	: Filtre spektrumunda durdurma bandı içindeki minimum dalgalanma
$A_{m,d}$	: Filtre spektrumunda durdurma bandı içindeki maksimum dalgalanma
a_k, b_k	: Bir boyutlu filtre transfer fonksiyonu katsayıları
a_{ij}, b_{ij}	: İki boyutlu filtre transfer fonksiyonu katsayıları
B_i	: YSA'da beklenen çıkış bilgileri
$C_n^{\mu}(x)$	: Ultraspherical polinom
ζ_i	: YSA'da çıkış bilgileri
Dd	: Durdurma bandı içerisinde izin verilen minimum dalgalanma
Dg	: Geçirme bandı içerisinde izin verilen maksimum dalgalanma
dB	: Desibel
E_m	: YSA'da beklenen çıkış ile YSA çıkışı arasındaki hata
$h_a(nT)$	: Filtre impuls cevabı
$F(x)$	: Eşik aktivasyon fonksiyonu
$H(z)$	: Filtre transfer fonksiyonu
$I_0(x)$	: Sıfır dereceli birinci tür geliştirilmiş Bessel fonksiyonu
$M(w)$	: Filtre genlik cevabı
M	: Pay derecesi
N	: Filtre veya pencere derecesi
N_1, N_2	: İki boyutlu filtre derece çifti
R	: Dalgalanma oranı
r	: Chebyshev polinomu değişkeni
S	: Yanlob azalma oranı
s_k	: s-düzlemindeki kutup
$T_k(x)$	: Birinci tür k. dereceden Chebyshev polinomu
t_1, t_2	: Bağımsız değişkenler
w	: YSA'da katmanlar arasındaki ağırlık
$w(n)$	: Pencere fonksiyonu
$w_b(n)$	: Blackman pencere fonksiyonu
$w_d(n)$	: Dikdörtgen pencere fonksiyonu
$w_{dc}(n)$	: Dolph-Chebyshev pencere fonksiyonu
$w_h(n)$	: Hamming pencere fonksiyonu
$w_k(n)$	: Kaiser pencere fonksiyonu
$w_s(n)$	: Saramaki pencere fonksiyonu
$w_{vh}(n)$	: Von-Hann pencere fonksiyonu
wd	: Durdurma bandı kesim frekansı
wg	: Geçirme bandı kesim frekansı
w_k	: Kesim frekansı
w_0	: Örnekleme frekansı
w_R	: Analob genişliği
$x(n)$	: Ayırık zamanlı filtre girişi
$x(n_1, n_2)$	: Ayırık zamanlı iki boyutlu filtre girişi
$x(t_1, t_2)$	: İki boyutlu sürekli zamanlı sinyal

$x(n-k)$	: k birim kadar geciktirilmiş giriş
$x(n_1T_1, n_2T_2)$	: Ayrık zamanlı iki boyutlu sinyal
x_μ	: Ultraspherical penceresi bağımsız değişken
$y(n)$	: Ayrık zamanlı filtre çıkışı
$y(n_1, n_2)$	: Ayrık zamanlı iki boyutlu filtre çıkışı
$y(n-k)$	: k birim geciktirilmiş çıkış
z_k	: z-düzlemindeki kutup
ΔA_{jm}^a	: m. işlem elemanına bağlayan ağırlıktaki değişim
ΔA^i	: Giriş katmanı ile ara katman arasındaki ağırlıkların değişim
$\Delta \beta_m^c$	: Eşik değer ünitesinin ağırlıkların değişim
Δw	: Geçiş bandı genişliği
α	: YSA'da momentum katsayısı
α_c	: Cosh penceresi bağımsız değişkeni
α_e	: Üstel (exponential) penceresi bağımsız değişkeni
α_k	: Kaiser penceresi bağımsız değişkeni
β^c	: Çıkış katmanında bulunan işlem elemanlarının eşik değer ağırlıkları
γ	: Saramaki penceresi değişkeni
δ_m	: YSA'da m. çıkış ünitesinin hata değeri
$\theta(w)$	: Filtre veya pencere faz cevabı
θ_j	: YSA'da eşik değeri
λ	: YSA'da öğrenme katsayısı
μ	: Ultraspherical penceresi bağımsız değişkeni
ρ_{mc}	: Modifiye edilmiş cosh penceresi bağımsız değişkeni
ρ_{mk}	: Modifiye edilmiş Kaiser penceresi bağımsız değişkeni

1. GİRİŞ

1.1. Genel Bakış

Giriş-çıkış bağıntısını kullanarak, girişine uygulanan işaretlerden istenilen özelliklerdeki çıkış işaretini oluşturmak için kullanılan yapılara genel olarak filtre adı verilmektedir. Filtreler, analog ve sayısal olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar. Son yıllardaki gelişmelere paralel olarak, analog sistemlerin yerini sayısal sistemler almıştır. Bu duruma bağlı olarak, sayısal sistemlerin performansını artırma çabaları doğmuştur. Herhangi bir sayısal sistemde, girişindeki bazı sayı dizisi özelliklerinden çıkışta ki başka sayı dizisi özelliklerini elde edebilmek için kullanılan yazılımsal veya donanımsal yapılara ise sayısal filtre adı verilmektedir. Sayısal filtreler haberleşme, kontrol, sistem tasarımı gibi sayısal işaret işlemenin kullanıldığı mühendislik alanlarında fazlaca tercih edilen yapılardır.

Sayısal filtreler, impuls cevaplarına göre sonlu impuls cevaplı filtre (FIR-Finite Impulse Response) ve sonsuz impuls cevaplı filtre (IIR-Infinite Impulse Response) şeklinde sınıflandırılırlar. Hem FIR hem de IIR filtreler, birbirlerine göre avantaj ve dezavantajlara sahiptirler. Bir FIR filtre hem tekrarlı hem de tekrarsız olarak gerçekleştirilebilir. Tekrarsız olarak tasarlanan bir FIR filtre, kararlı yapıya sahiptir. Ancak, aynı özellikleri sağlayacak IIR sayısal filtreler FIR filtrelere göre daha düşük filtre derecesi ile gerçekleştirilirler. Dolayısıyla, herhangi bir problem için hangisinin en iyi çözüm yolu olduğunu söylemek zordur [1].

FIR ve IIR filtre tasarımı için pek çok yöntem vardır. FIR sayısal filtre tasarımında, Fourier serisi yöntemi ve frekans örnekleme yöntemi kullanılmaktadır. FIR filtre tasarımında, diğer yöntemlere göre daha az hesaplama gerektirdiğinden dolayı daha çok Fourier serisi yöntemi tercih edilmektedir. Tekrarsız olarak gerçekleştirilen bir filtrenin ideal genlik cevabının sınırlı sayıda eleman alınarak tasarlanması işleminde, keskin kesim frekansı bölgesinde istenmeyen Gibbs salınımları meydana gelmektedir. Bu salınımları ortadan kaldırmak için kullanılan yapılara, pencere fonksiyonları adı verilmektedir. Dolayısıyla pencereler, FIR filtre tasarımında ve Hızlı Fourier Dönüşümü temeline dayalı veri analizinde kullanılmaktadır [2-4].

1.2. Literatür Özeti

Fourier serisi kullanılarak tasarlanan filtre yaklaşımında, serinin doğrudan kesilmesiyle meydana gelen olayı matematiksel olarak ifade etme işlemi Gibbs tarafından 1899'da yapılmıştır [5]. [6]'da, pratik uygulamalarda Gibbs salınımlarını ortadan kaldırmak için uygun bir yaklaşım verilmiştir. [7]'de ise pencere fonksiyonunun performansını arttırmak için bir algoritma sunulmuştur.

Geliştirilen pencere fonksiyonları sahip oldukları bağımsız değişken sayılarına göre, sabit ve ayarlanabilir parametrelili pencereler şeklinde iki gruba ayrılırlar. Pencereler, bağımsız değişkenler sayesinde farklı spektral davranış göstermektedirler. Sabit pencere fonksiyonu için fazlaca tercih edilen türler ve denklemleri [8]'de gösterilmiştir. Önerilen bu pencerelerin genel özellikleri, sabit pencere uzunluğu nedeniyle pencere fonksiyonu spektral parametrelerinden yalnızca analob genişliğini kontrol edebilmektedir. Sabit pencereler, sahip oldukları bu özelliklerinden dolayı pratik uygulamalar için uygun yapılar değildir. Bu durumun üstesinden gelebilmek ve spektral parametre değerlerini kontrol edebilmek için ayarlanabilir pencereler önerilmiştir. Önerilen bu pencere fonksiyonları, sabit pencerelerdeki tek ayarlanabilir parametre değerinin aksine iki veya daha fazla parametre kullanılarak oluşturulan ayarlanabilir pencerelerdir.

Literatürde iki parametreye sahip pencere fonksiyonu ve FIR filtre tasarımında kullanımı hakkında pek çok çalışma bulunmaktadır [9-19]. İki parametrelili pencere fonksiyonlarından yaygın olarak kullanılan Dolph-Chebyshev ve Saramaki pencere fonksiyonları birbirlerine göre bazı avantaj ve dezavantajlara sahip olmalarına rağmen, genel olarak iki bağımsız değişken yardımıyla pencere spektral parametrelerinden analob genişliğini ve dalgalanma oranını kontrol etmektedirler.

Pencere fonksiyonu ve uygulama alanı olarak pek çok alanda tercih edilen iki parametrelili pencere Kaiser tarafından önerilmiştir. Kaiser penceresi, analob genişliği ve dalgalanma oranı bakımından diğer pencerelere göre daha iyi karakteristik sağlamaktadır. Bu özelliği sayesinde Kaiser penceresi kullanılarak tasarlanan FIR filtrenin, analob içerisinde maksimum enerji depolama davranışı gösterdiği ve literatürdeki diğer pencereler kullanılarak tasarlanan filtre ile karşılaştırıldığında daha başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir [20].

Kaiser penceresi temel alınarak iki parametrelili diğer pencere türleri ve FIR filtre tasarımı ile ilgili literatürde çalışmalar bulunmaktadır. Avcı ve Nacaroğlu ayarlanabilir

pencere fonksiyonuna yeni bir yaklaşım getirilerek üstel pencere fonksiyonu kullanımını önermişlerdir [21,22]. Geliştirilen yeni üstel pencere fonksiyonu, Kaiser penceresi denklemini temel alınarak türetilmiştir. Bu pencere fonksiyonuna ait spektrum, aynı pencere uzunluğu ve analob genişliği için daha kötü ise de, bazı uygulamalar için yararlı olabilecek yanlob azalma oranı bakımından başarılı bir karakteristik göstermektedir.

[23,24]'de, Kaiser penceresinden türetilen ancak zaman bölgesi fonksiyonunda güç serisi açılımı içermeyen yeni bir pencere olan cosh penceresi geliştirilmiştir. Cosh penceresi kullanılan FIR filtre tasarımı uygulamasında, diğer pencereler ile aynı pencere uzunluğu ve normalize edilmiş analob genişliği için dalgalanma oranı ve yanlob azalma oranları bakımından karşılaştırmalar yapılmış ve daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Geliştirilen iki parametrelili pencereler, pencere spektral parametrelerinden yanlob azalma oranının kontrolünde yetersiz kalmaktadırlar. Yanlob azalma oranının kontrolü için iki parametrelili pencere fonksiyonları yerine üç bağımsız değişkene sahip yeni bir pencere Deczky tarafından geliştirilmiştir [25]. Üç parametreye sahip yeni pencere fonksiyonu olan ultraspherical fonksiyon, Gegenbauer veya ultraspherical polinomları olarak bilinen ortogonal polinomların temeline dayanmaktadır. Geliştirilen bu pencere fonksiyonu ile yanlob azalma oranı, fonksiyona eklenen parametre yardımıyla kontrol edilmektedir. Ultraspherical pencere fonksiyonunun detaylı bir şekilde analizi Bergen ve Antoniou tarafından yapılmıştır [26,27]. Bergen ve Antoniou yaptıkları diğer çalışmalarda ultraspherical pencere tekrarsız sayısal filtre tasarımında kullanılmıştır [28,29]. Geliştirilen pencere ile elde edilen sonuçların Kaiser ve ultraspherical penceresinin özel durumu olan Dolph-Chebyshev pencere ve Saramaki penceresi kullanılarak tasarlanan filtre derecesinden daha düşük olduğunu göstermişlerdir.

Üç parametrelili olarak tasarlanan ve Kaiser penceresi temel alınarak geliştirilen diğer pencere fonksiyonları ve FIR filtre tasarım uygulamaları [30-34]'de verilmiştir. Geliştirilen bu pencere fonksiyonları bazı özellikleri ile diğer pencerelerden daha iyi, bazı özellikler bakımından ise daha kötü bir davranış göstermektedir.

Bir boyutlu filtre tasarımı için geliştirilen pencere fonksiyonu yaklaşımı, iki boyutlu filtre tasarımında da kullanılmıştır. Bu amaçla literatürde fazlaca çalışma bulunmaktadır. İki boyutlu pencere fonksiyonu için ilk kabul edilebilecek çalışma Huang tarafından önerilmiştir [35]. Dairesel simetrik ilkesine dayalı olan bu yaklaşımda, iyi tasarlanmış tek boyutlu pencere fonksiyonu ile iyi özellikler gösterebilecek iki boyutlu bir pencere fonksiyonunun tasarlanabileceği gösterilmiştir [35]. İki boyutlu pencere fonksiyonu

tasarımında yapılan diğer çalışmalar [36-40]'da verilmiştir. Huang tarafından önerilen iki boyutlu pencere fonksiyonunun ayırık zaman karşılığı [41]'de geliştirilmiştir. Geliştirilen iki boyutlu pencere fonksiyonlarının tekrarlı ve tekrarsız sayısal filtre tasarımına uygulamaları [42-45]'de verilmiştir.

Bilim adamları, mühendislik alanlarında karşılaştığı ve klasik hesaplama yöntemlerinin başarısız veya yetersiz kaldığı problemlerin çözümü için alternatif hesaplama yöntemleri arayışına gitmiştir. Bu yöntemlerin bulunmasında, kendisini sürekli olarak yenileyen ve kusursuz biçimde koruyarak devamlılığını sürdüren tabiatın ilham alınmış ve muhteşem düzenden yararlanarak farklı çözüm yolları geliştirilmiştir. Evrimsel hesaplama yöntemleri veya genel olarak akıllı hesaplama yöntemleri olarak bilinen ve Yapay Sinir Ağları (YSA), Genetik Algoritmalar (GA), Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), Karınca Koloni Algoritması (KKA), Arı Koloni Algoritması (AKA), Fidan Gelişim Algoritması (FGA) gibi arama yöntemleri tabiatın insanlara fikir verdiği bazı alternatif çözüm yollarıdır.

Evrimsel hesaplama yöntemlerinden biri olan GA, Darwin'in evrim teorisi üzerine geliştirilmiştir. En iyinin korunması ve doğal seçim ilkesinin benzetim yoluyla bilgisayarlara uygulanmasıyla elde edilen bir alternatif arama yöntemi olarak tanımlanabilir [46]. Genel olarak belirli sayıda başlangıç değeri alarak aramaya başlayan ve süre içerisinde uygun işlemler gerçekleştirerek sonuca ulaşmaya çalışan bu yöntem, günümüzde bilimin her alanında karşılaşılan problemlerin çözümü için kullanılabilen bir yapıya sahiptir [47-53].

GA'ların gerek bir boyutlu gerekse de iki boyutlu pencere fonksiyonu katsayı değerlerinin bulunmasında kullanımına rastlanmamakla beraber, filtre tasarımı ile ilgili literatürde yapılan çalışmalar [54-63]'de verilmiştir.

Akıllı hesaplama yöntemlerinden bir diğeri olan ve insan beyninin modellenmesi ilkesine dayalı olan YSA, GA gibi farklı uygulama alanlarında problemlerin çözümü için olanak sağlamaktadır. YSA; sinyal işleme, arıza analizi ve tespiti, sistem modelleme, nesne/örüntü tanıma gibi uygulama alanlarında kullanılmaktadır [64-69].

Sinyal işleme alanı olarak YSA, bir ve iki boyutlu pencere fonksiyonlarının modellenmesinde kullanılmamış, ancak bir ve iki boyutlu filtre tasarımında kullanımı ile ilgili literatürde çalışmalar bulunmaktadır [70-72].

1.3. Problemin Tanımlanması ve Tezin Amacı

Hem iki hem de üç parametrelili pencere fonksiyonları ile ilgili olarak literatürde pek çok çalışma yapılmasına rağmen, genel olarak iki parametrelili pencere fonksiyonu tasarımında Kaiser, üç parametrelili fonksiyonu tasarımında da ultraspherical pencereleri temel alınmıştır. İki parametrelili Kaiser penceresi, pencere spektral parametrelerinden analob genişliği ve dalgalanma oranı kontrolünde başarılı olurken, diğer spektral parametre olan yanlob azalma oranı kontrolünde ultraspherical penceresi daha başarılı karakteristik göstermektedir. Dolayısıyla, tasarlanacak yeni bir pencere fonksiyonundan Kaiser ve ultraspherical pencerelerinin özelliklerini bir arada bulundurması arzu edilmektedir. Ancak, tasarım sırasında karşılaşılan problem, bu iki bağımsız pencere fonksiyonunun denklemlerinin birleştirilmesi işlemidir. Dolayısıyla, karşılaşılan bu problemin üstesinden gelebilmek için alternatif hesaplama yöntemlerinin kullanımına başvurulmaktadır.

Akıllı hesaplama yöntemleri olarak bilinen GA ve YSA, istenilen özelliklerdeki pencere fonksiyonunun matematiksel olarak birleştirilmesi sırasında ortaya çıkan zorluğun üstesinden gelebilmek için kullanılabilecek alternatif çözüm yollarıdır.

Bu tez çalışmasının amacı, Kaiser penceresinin analob genişliği ve dalgalanma oranı ile ultraspherical penceresinin yanlob azalma oranı karakteristiğini bir arada bulunduracak yeni pencere fonksiyonu katsayı değerlerini GA ve YSA kullanarak MATLAB (lisans numarası: 585775) ortamında hesaplamak, böylece kullanışlı spektral parametrelili pencere fonksiyonunun tasarımını gerçekleştirmektir.

Ayrıca, GA ve YSA kullanılarak elde edilen yeni pencereyi tekrarsız sayısal filtre tasarımında kullanarak, kullanışlı spektral parametrelili pencereler yardımıyla yüksek performansa sahip filtrelerin gerçekleştirilmesini sağlamaktır.

1.4. Tezin Yapısı

Bu doktora tezi aşağıda açıklamaları verilen 7 bölümden oluşmaktadır.

Tezin birinci bölümünde, tez çalışmasına genel bir bakış yapılmış, tez için problem tanımlanmış, literatürde bu alanda yapılan çalışmalar hakkında bilgiler verilmiş ve tezin yapısından bahsedilmiştir.

Tezin ikinci bölümünde, hem bir boyutlu hem de iki boyutlu sayısal filtreler hakkında genel bilgiler verilmiştir. Tasarım yöntemleri, özellikleri ve birbirlerine göre avantaj ve dezavantajlarından bahsedilmiştir.

Tezin üçüncü bölümünde, bir ve iki boyutlu sayısal filtre tasarımında pencere fonksiyonu kullanımının öneminden bahsedilmiştir. Genel olarak pencere fonksiyonlarının kullanım amacı belirtildikten sonra, pencere fonksiyonlarının spektral özellikleri anlatılmıştır. Literatürde ki pencere fonksiyonu çeşitleri açıklandıktan sonra, yaygın olarak kullanılan sabit pencere fonksiyon çeşitleri matematiksel modelleri ile birlikte açıklanmıştır. Ayrıca, değişken parametrelili pencere fonksiyonlarının kullanım amaçları belirtildikten sonra en çok tercih edilen değişken parametrelili pencere fonksiyonları olan Kaiser, ultraspherical, Dolph-Chebyshev, Saramaki, üstel, cosh, modifiye edilmiş Kaiser ve modifiye edilmiş cosh pencerelerine ait denklemler verilerek frekans spektrumları yardımıyla spektral parametrelerinin etkileri gösterilmiştir.

Tezin dördüncü bölümünde, son yıllarda çeşitli mühendislik problemlerinin çözümünde sağladıkları kolaylık ve üstünlükleri nedeniyle tercih edilen akıllı hesaplama yöntemlerinden bahsedilmiştir. Akıllı hesaplama yöntemlerinden olan ve tez çalışmasında kullanılan GA ve YSA yapıları ve çalışma prensipleri kısaca açıklanmıştır.

Tezin beşinci bölümünde, GA ve YSA kullanılarak Kaiser penceresinin analob genişliği ve dalgalanma oranı ile ultraspherical penceresinin yanlob azalma oranı karakteristiğini bir arada bulunduran yeni ve kullanışlı pencere fonksiyonunun tasarımı gerçekleştirilmiştir. Literatürde önerilen yöntemler yardımıyla geliştirilen pencere fonksiyonları kullanılarak, iki boyutlu pencere fonksiyonları tasarlanmıştır. Hem bir hem de iki boyutlu pencere fonksiyonuna ait spektral parametreler literatürde yaygın olarak kullanılan diğer pencere fonksiyonlarına ait spektral parametreler ile karşılaştırılmış, sonuçlar tablo ve grafikler ile gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar, geliştirilen yöntemler yardımıyla oluşturulan pencere fonksiyonlarının çeşitli özellikler ile diğer pencere fonksiyonlarından analob genişliği, dalgalanma oranı ve yanlob azalma oranı bakımından daha başarılı sonuçlar verdiğini göstermektedir.

Tezin altıncı bölümünde, beşinci bölümde verilen yöntem ile bir ve iki boyutlu tekrarsız sayısal filtre tasarımı gerçekleştirilmiş ve elde edilen filtrelere ait genlik cevapları ile spektral özellikler, diğer pencere fonksiyonları kullanılarak tasarlanan FIR filtre genlik cevapları ve spektral özellikleri açısından karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçları göstermiştir ki, iyi özelliklere sahip pencere fonksiyonları kullanılarak tasarlanan FIR

filtreler, spektral parametreler açısından diğ er FIR filtrelere göre daha iyi karakteristiklere sahip olmaktadır. Ayrıca, geliştirilen yöntemler kullanılarak tasarlanan iki boyutlu filtreler görüntü işleme uygulamalarında da kullanılmış ve daha iyi performans elde edilmiştir.

Tezin son b olum nde ise, tezden elde edilen sonuçlar özetlenmiş ve gelecekte yapılabilcek çalışmalar hakkında öneriler sunulmuştur.

2. BİR VE İKİ BOYUTLU SAYISAL FİLTRELER

2.1. Giriş

Fiziksel bir durum hakkında bilgi taşıyan, bir veya daha fazla değişken içeren fonksiyonlara işaret; girişine uygulanan işaretlere göre arzu edilen özelliklerde çıkış işareti üreten düzeneklere ise filtre adı verilir. Filtreler, fiziksel gerçekleştirilmelerine göre analog filtre ve sayısal filtre olarak iki gruba ayrılırlar.

Analog filtre; direnç, kondansatör, indüktans, işlemsel yükselteç (Operational Amplifiers, OPAMP) veya işlemsel geçiş iletkenliği yükselteci (Operational Transconductance Amplifiers, OTA) gibi elemanlar içeren elektronik devrelerdir. Analog filtrelerin sahip oldukları eleman sayısı ve boyut gibi dezavantajlarından dolayı kullanım alanları azalmaktadır. Son yıllarda, sayısal sistemlerin gelişimine paralel olarak, ayrık zamanda sistem tasarımı ve sinyallerin işlenmesine gerek duyulmaktadır.

Ayrık zamanda, girişteki bazı sayı dizisinden belirli özellikleri olan başka bir sayı dizisi elde edebilmek için kullanılan yazılımsal veya donanımsal olarak gerçekleştirilen yapılara sayısal filtre adı verilmektedir. Bu tür filtreler;

- Programlanabilme özellikleri sayesinde, donanımsal yapıları değiştirilmeden programda yapılacak değişiklik ile istenilen filtre türünün elde edilebilmesi,
- Yazılımsal olarak tasarlanan sayısal filtrenin, işlemci sayesinde kolayca test edilebilmesi, tasarlanabilmesi ve gerçekleştirilebilmesi,
- Düşük frekans içeren sinyaller üzerinde kolayca uygulanabilmesi

gibi özelliklerinden dolayı çok farklı uygulama alanlarında tercih edilmektedir [73].

Bu bölümde, bir ve iki boyutlu sayısal filtreler hakkında bazı temel bilgiler verilecektir. Hem bir hem de iki boyutlu filtre çeşitlerinden tekrarlı ve tekrarsız sayısal filtre türleri kısaca açıklanacak, daha sonra da bu filtre türlerinin tasarım yöntemleri anlatılacaktır. Ayrıca, tekrarlı ve tekrarsız filtre türlerinin birbirleri ile kıyaslaması yapılacaktır.

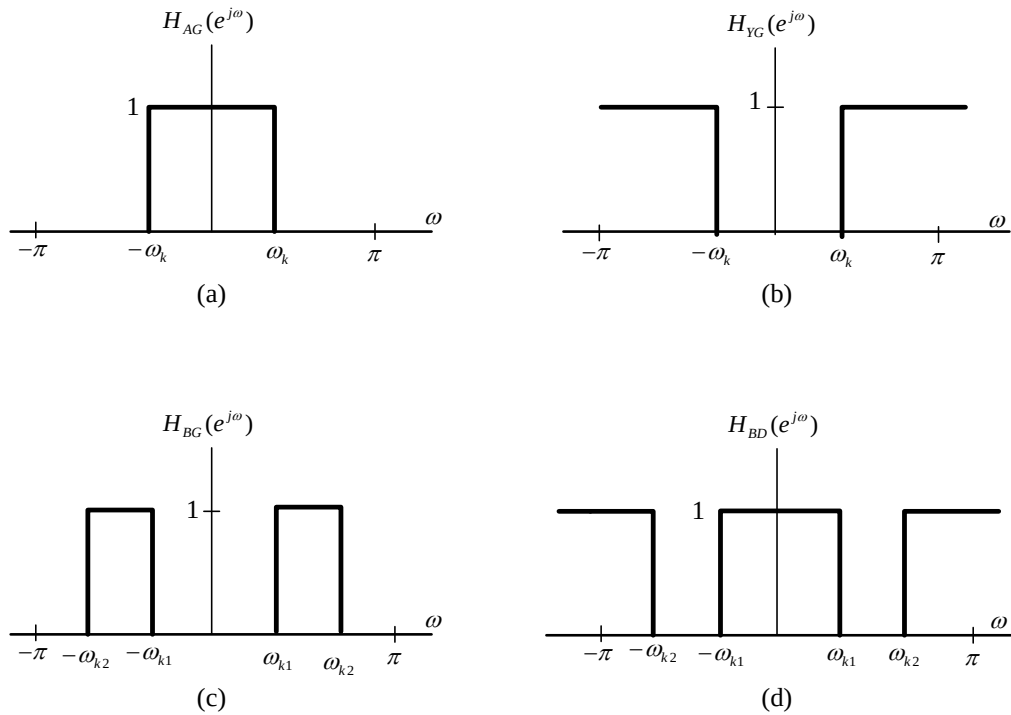
2.2. Bir Boyutlu Sayısal Filtreler

Hem analog hem de sayısal filtreler frekans cevaplarına göre dört temel grupta sınıflandırılırlar. Bunlar; Alçak Geçiren Filtre (AGF), Yüksek Geçiren Filtre (YGF), Band Geçiren Filtre (BGF) ve Band Durduran Filtre (BDF)'dir.

Bu filtrelerden;

- AGF, kesim frekansı altındaki frekans bileşenlerini geçiren, kesim frekansı üzerindeki frekans bileşenlerini ise durduran bir karakteristiğe sahiptir.
- YGF, kesim frekansı üzerindeki frekans bileşenlerini geçiren, kesim frekansı altındaki frekans bileşenlerini ise durduran bir karakteristiğe sahiptir.
- BGF, kesim frekansları arasındaki frekans bileşenlerini geçiren, diğer frekans bileşenlerini durduran bir karakteristiğe sahiptir.
- BDF, kesim frekansları arasındaki frekans bileşenlerini durduran, diğer frekans bileşenlerini geçiren bir karakteristiğe sahiptir.

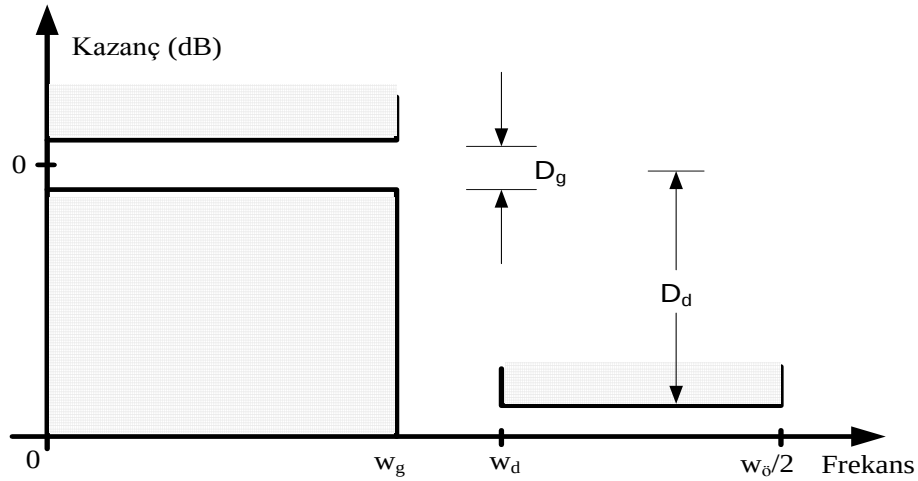
Bu filtre türlerinin ideal frekans-genlik cevapları Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1. Farklı filtre türlerinin ideal frekans cevapları (a) AGF, (b) YGF, (c) BGF, (d) BDF

Filtre genlik cevabı karakteristiğinde, geçirme ve durdurma bandlarına ait frekans değerleri ile geçirme ve durdurma bandlarında izin verilen dalgalanma miktarları, filtre tasarımında kullanılan önemli parametrelerdir.

Şekil 2.2’de, ideal olmayan alçak geçiren filtre için genlik cevabı özellikleri görülmektedir.



Şekil 2.2. İdeal olmayan alçak geçiren filtre için genlik cevabı özellikleri

Burada;

w_g : geçirme bandı kesim frekansıdır.

w_d : durdurma bandı kesim frekansıdır.

w_0 : örnekleme frekansıdır.

D_g : geçirme bandı içerisinde izin verilen maksimum dalgalanmadır.

D_d : durdurma bandı içerisinde izin verilen minimum dalgalanmadır.

Ayrıca filtre tasarımında kullanılan diğer önemli iki parametre, kesim frekansı (w_k) ve geçiş bandı genişliği (Δw)’dir. Bu iki parametre, denklem 2.1 ve denklem 2.2 kullanılarak hesaplanabilir.

$$w_k = (w_d + w_g) / 2 \quad (2.1)$$

$$\Delta w = w_d - w_g \quad (2.2)$$

2.2.1. Bir Boyutlu Sayısal Filtre Türleri

Hem bir boyutlu hem de iki boyutlu sayısal filtreler, gerçekleştirme yöntemlerine göre tekrarlı sayısal filtreler ve tekrarsız sayısal filtreler olarak iki gruba ayrılırlar.

2.2.1.1. Tekrarlı Sayısal Filtreler

Sayısal filtreler, girişine uygulanan impuls fonksiyonuna verdikleri cevaba göre FIR ve IIR filtreler olarak sınıflandırılırlar. Sonsuz impuls cevaplı filtrenin sabit katsayılı fark denklemi ile giriş/çıkış ilişkisi,

$$\sum_{k=0}^N b_k y[n-k] = \sum_{k=0}^M a_k x[n-k] \quad (2.3)$$

ile gösterilir [74]. Burada; $y(n)$: ayrık zamanlı filtrenin çıkışını, $x(n)$: ayrık zamanlı filtrenin girişini, a_k : girişin o andaki ve daha önceki değerlerinin katsayılarını, b_k : çıkışın o andaki ve daha önceki değerlerinin katsayılarını göstermektedir. Ayrıca, $y(n-k)$: k birim geciktirilmiş çıkışı, $x(n-k)$: k birim kadar geciktirilmiş girişi göstermektedir. Sistemin sahip olduğu transfer fonksiyonu,

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{\sum_{k=0}^M a_k z^{-k}}{\sum_{k=0}^N b_k z^{-k}} \quad (2.4)$$

ile ifade edilir. Filtreye ait transfer fonksiyonu daha açık olarak yazılırsa,

$$H(z) = \frac{a(0) + a(1)z^{-1} + a(2)z^{-2} + \dots + a(M)z^{-M}}{1 + b(1)z^{-1} + b(2)z^{-2} + \dots + b(N)z^{-N}} \quad (2.5)$$

elde edilir. Tekrarlı olarak gerçekleştirilen bir sayısal filtrenin nedensel olabilmesi için (2.3-2.5) denklemleri ile verilen transfer fonksiyonunda, payda derecesini temsil eden N değerinin pay derecesini temsil eden M değerine eşit veya daha büyük olması gerekmektedir. Böylece, elde edilecek filtre transfer fonksiyonunun kutupları birim çember içerisinde istenilen yere yerleştirilebilir.

2.2.1.2. Tekrarsız Sayısal Filtreler

Nedensel tekrarsız sayısal bir filtrenin giriş-çıkış ilişkisi denklem 2.6 ile tanımlanabilir.

$$y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} a_k x(n-k) \quad (2.6)$$

Burada, ayrık zamanlı filtre çıkışı $y(n)$, girişin o andaki ve k birim geciktirilmiş değerlerinin a_k gibi bir katsayı ile çarpımlarının toplamı olup, çıkışın daha önceki değerlerine bağlı değildir. Dolayısıyla, tasarlanan filtre tekrarsız bir yapıda olup, sonlu impuls cevabına sahip olacaktır. Bu durumda filtrenin transfer fonksiyonu $H(z)$, N terim için,

$$H(z) = \sum_{n=0}^{N-1} h[n] z^{-n} \quad (2.7)$$

şeklinde olur [74].

FIR filtrenin impuls cevabının sonlu sayıda olduğu bilindiğine göre, bu değer tek sayı olduğu varsayıp, denklem 2.7’de $N' = (N-1)/2$ olarak kabul edilsin. $h'(n) = h(n + N')$ nedensel olmayan filtrenin impuls cevabı olarak tanımlanırsa, denklem (2.7)

$$\begin{aligned} H(z) &= \sum_{n=0}^{2N'} h(n) z^{-n} \\ &= \sum_{k=-N'}^{N'} h(k + N') z^{-(k+N')} \\ &= z^{-N'} \sum_{k=-N'}^{N'} h'(k) z^{-k} = z^{-N'} H'(z) \end{aligned} \quad (2.8)$$

şeklinde yazılabilir. Denklem 2.8’deki nedensel olmayan sayısal filtrenin transfer fonksiyonu $H'(z)$ ise

$$H'(z) = \sum_{k=-N'}^{N'} h'(k) z^{-k} \quad (2.9)$$

olarak tanımlanabilir. Tekrarsız sayısal filtrenin kutupları birim çember içerisinde orjin bölgesinde olacaktır.

Tekrarsız filtrenin frekans cevabı,

$$H(e^{j\omega T}) = M(\omega) e^{j\theta(\omega)} = \sum_{n=0}^{N-1} h(nT) e^{-j\omega nT} \quad (2.10)$$

olur. Burada, $M(\omega)$ ve $\theta(\omega)$ sırasıyla filtrenin genlik ve faz cevabını göstermektedir. Bu değerler;

$$M(\omega) = |H(e^{j\omega T})| \quad (2.11)$$

$$\theta(\omega) = \arg H(e^{j\omega T}) \quad (2.12)$$

olarak ifade edilir [73].

2.2.1.3. Doğrusal Faz Cevaplı Tekrarsız Sayısal Filtreler

Tekrarsız sayısal filtreler, doğrusal ve doğrusal olmayan faz cevabına sahip olacak şekilde tasarlanabilirler. Doğrusal faz cevabına sahip tekrarsız filtre, girişine uygulanan işareti belirli bir gecikmeyle çıkışa aktarmaktadır. Zaman içerisinde yayılmış sinyalleri minimize etmek için kullanılan filtre uygulamalarında, doğrusal faz cevabına sahip filtreler tercih edilmektedir.

Doğrusal faz cevabına sahip tekrarsız filtre tasarımı için filtrenin impuls cevabı, simetrik olmak zorundadır. Tablo 2.1, dört farklı durum için doğrusal fazlı tekrarsız sayısal filtrenin frekans cevabını vermektedir [73].

Tablo 2.1'deki a_0 , a_k ve b_k katsayıları 2.13'de tanımlanmıştır.

Tablo 2.1. Farklı durumlar için doğrusal faz cevabına sahip tekrarsız filtrelerin frekans cevapları

Durum	$h(nT)$	N	$H(e^{j\omega T})$
1	Simetrik	Tek	$e^{-j\omega(N-1)T/2} \sum_{k=0}^{(N-1)/2} a_k \cos \omega kT$
2	Simetrik	Çift	$e^{-j\omega(N-1)T/2} \sum_{k=1}^{N/2} b_k \cos[\omega(k-1/2)T]$
3	Simetrik Olmayan	Tek	$e^{-j[\omega(N-1)T/2 - \pi/2]} \sum_{k=0}^{(N-1)/2} a_k \sin \omega kT$
4	Simetrik Olmayan	Çift	$e^{-j[\omega(N-1)T/2 - \pi/2]} \sum_{k=1}^{N/2} b_k \sin[\omega(k-1/2)T]$

$$a_0 = h\left[\frac{(N-1)T}{2}\right], \quad a_k = 2h\left[\left(\frac{N-1}{2} - k\right)T\right], \quad b_k = 2h\left[\left(\frac{N}{2} - k\right)T\right] \quad (2.13)$$

Tablo 2.1’de verilen tekrarsız sayısal filtre frekans cevaplarına göre, her bir durum için farklı filtre türleri gerçekleştirilebilir [73].

- 1. Durum: Bu durumdaki frekans cevabına sahip bir filtre tasarımında herhangi bir kısıtlama yoktur ve AG, YG, BG ve BD filtre türlerinin hepsi gerçekleştirilebilir.
- 2. Durum: Bu durumda; frekans cevabının Nyquist frekansında (π/T) sıfır olmasından dolayı yalnızca AG ve BG filtre türlerinin tasarımı gerçekleştirilir. Diğer filtre türleri olan YG ve BD filtre tasarımı yapılamaz.
- 3. Durum: Bu durumda; frekans cevabının Nyquist frekansında (π/T) ve dc bileşenin sıfır olmasından dolayı yalnızca BGF tasarımı yapılabilir. Bu durumda AG, YG ve BD filtre tasarımı yapılamaz.
- 4. Durum: Bu durumda; frekans cevabının dc bileşenin sıfır olmasından dolayı yalnızca YG ve BG filtre türleri tasarlanabilir. Bu durumda AG ve BD filtre tasarımı yapılamaz.

2.2.2. Sayısal Filtre Tasarım Yöntemleri

2.2.2.1. Tekrarlı Sayısal Filtre Tasarım Yöntemleri

IIR sayısal filtre tasarımında filtre özellikleri; filtrenin genlik karakteristiği, faz karakteristiği ve geçici durum davranışı gibi bilgilerdir. Fakat gerçek bir filtre tasarımında bu özelliklere ek olarak kararlılık, nedensellik ve basit rasyonel katsayılı olması gibi koşullardan dolayı, filtre tasarımında genlik karakteristiğine bakılır. Dolayısıyla, IIR filtre tasarımında amaç, denklem 2.4'te verilen a_k ve b_k katsayılarının bulunmasıdır [75]. IIR filtre tasarımında farklı tasarım yöntemleri kullanılmakla beraber aşağıda en çok tercih edilen tasarım yöntemlerin isimleri ve nasıl gerçekleştirildikleri anlatılmıştır.

IIR filtre tasarım yöntemleri;

- Değişmez-impuls cevabı yöntemi
- Değiştirilmiş değişmez-impuls cevabı yöntemi
- Uygunlaştırılmış z-dönüşümü yöntemi
- Bilineer dönüşüm

Bu tasarım yöntemlerinden değişmez-impuls cevabı yönteminde; analog alçak geçiren filtrenin transfer fonksiyonu $H_a(s)$ ile gösterilirse, filtrenin impuls cevabı transfer fonksiyonunun ters Laplace dönüşümü [76] alınarak bulunabilir.

$$h_a(t) = \mathcal{L}^{-1}[H_a(s)] \quad (2.14)$$

Elde edilen bu impuls cevabı $t=nT$ aralıklarıyla örneklendiğinde, elde edilen $h_a(nT)$ cevabı, tasarlanmak istenen filtrenin impuls cevabını temsil edecektir. Bu durumda sayısal filtrenin transfer fonksiyonu,

$$H_D(z) = Z[h_a(nT)] \quad (2.15)$$

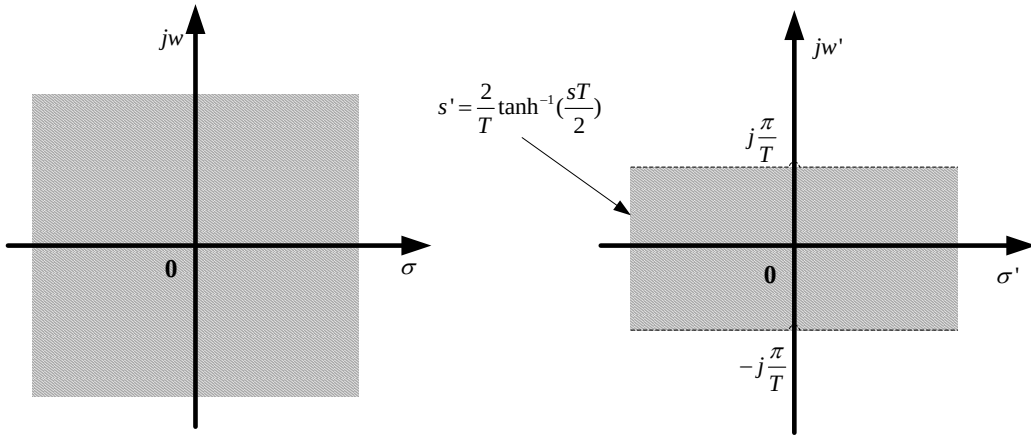
olarak bulunur. Elde edilen sayısal filtrenin impuls cevabı ile analog filtrenin impuls cevapları birbirine eşit olduğundan, yöntemle değişmez impuls cevabı yöntemi adı verilmiştir.

Değişmez-impuls cevabı yönteminde, s-düzlemindeki s_k kutupları z-düzlemindeki $z_k = e^{s_k T}$ kutuplarına karşılık gelmektedir. Eğer sistemdeki s_k kutupları sol yarı s-düzlemindeyse, $z_k = e^{s_k T}$ de birim çemberin içerisinde olacaktır. Ancak bu s-düzleminden z-düzlemine olan geçiş, bire-bir (one to one) değil çoktan-bire (many to one) olan bir dönüşümdür [75]. Yani, s-düzlemindeki birçok nokta z-düzlemindeki aynı noktaya karşılık gelebilmektedir. Bunun neticesinde örtüşmeler meydana gelmektedir. Oluşan örtüşmelerden dolayı, uygulanan dönüşüm bazı filtre türleri (AGF) için iyi sonuç verirken, bazı filtre türleri (YGF ve BDF) yaklaşımında tamamen başarısız kalmaktadır.

IIR filtre tasarımında kullanılan diğer bir yöntem olan değiştirilmiş değişmez-impuls cevabı yöntemi, değişmez impuls cevabı yönteminde meydana gelen örtüşme etkisini ortadan kaldırabilmek için geliştirilmiştir. Bu yöntem yardımıyla, yalnızca tüm kutup filtre türlerine değil aynı zamanda sınırlı sayıda sıfırları olan filtre türlerine de uygulama imkânı sağlamaktadır. Bu yöntemin en büyük dezavantajı ise filtre tasarımında kararlılık sorununun üstesinden gelebilmek için daha yüksek filtre derecesine ihtiyaç duymasıdır.

Uygunlaştırılmış z-dönüşümü yöntemi, değiştirilmiş değişmez-impuls cevabı yöntemi ile çok ilgili olan bir tasarım yöntemidir. Bu yöntem YGF ve BDF tasarımlarında iyi sonuç vermektedir.

IIR sayısal filtre tasarımında kullanılan bir diğer yöntem olan bilineer dönüşüm yöntemi, değişmez-impuls cevabı yöntemindeki sürekli zamanı temsil eden s-düzleminden ayrık zamanı temsil eden z-düzlemine geçişte, çoktan bire dönüşüm probleminin ortadan kaldırılmasını sağlar. Dolayısıyla; s-düzleminden z-düzlemine geçişin birebir olmasını sağlamak için $-\infty < \omega < \infty$ aralığının $-\pi < \Omega < \pi$ aralığına karşılık getirilmesi gerekir. Bunun için, Şekil 2.3'de ki gibi s-düzleminin öncelikle yeni bir ara düzlem olan s' -düzlemine dönüştürülmesi gerekir. Bu işlemten sonra Şekil 2.4'de ki gibi s' düzleminden z-düzlemine dönüşüm sağlanır [77].



Şekil 2.3. s- düzleminden s'-düzlemine olan dönüşüm

s-düzleminden s'-düzlemine geçiş için,

$$s' = \frac{2}{T} \tanh^{-1} \left[\frac{sT}{2} \right] \quad (2.16)$$

denklemini kullanılır. Bu dönüşümün $j\omega$ eksenindeki etkisi denklem 2.16'da $s=j\omega$ ve $s' = j\omega'$ konularak görülebilir. Bu durumda,

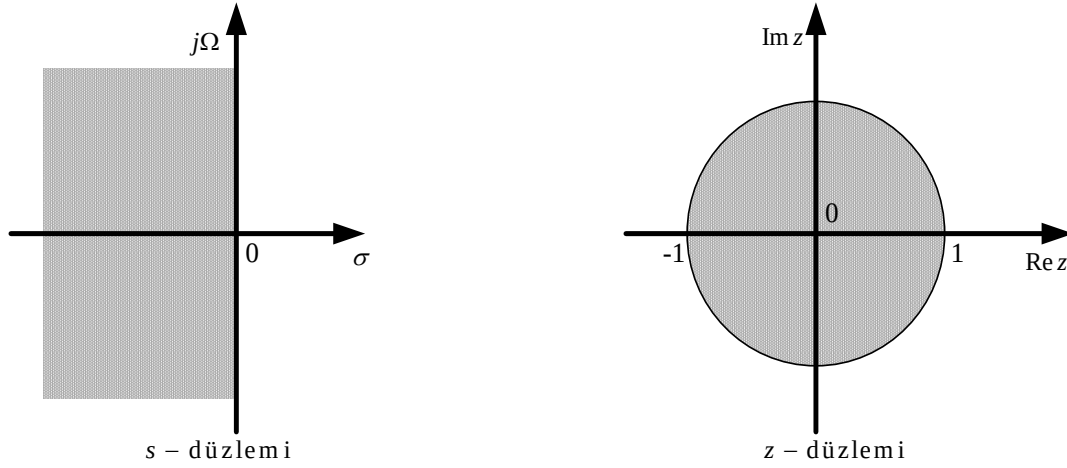
$$\omega' = \frac{2}{T} \tan^{-1} \left(\frac{\omega T}{2} \right) \quad (2.17)$$

elde edilir. Şekil 2.3'de $j\omega$ ekseninin $(-\pi/T) \leq \omega' \leq (\pi/T)$ aralığına sıkışması gösterilmiştir. Bu durumda da dönüşüm birebirdir [75]. En genel formül ile bilineer dönüşüm,

$$s = \left(\frac{2}{T} \right) \frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}} \quad (2.18)$$

ile bulunur. Denklem 2.19 analog filtre transfer fonksiyonundan sayısal filtre transfer fonksiyonunun tasarlanabileceğini gösterir [77].

$$H(z) = H_a(s) \Big|_{s=\left(\frac{2}{T}\right) \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}}} \quad (2.19)$$



Şekil 2.4. Bilineer dönüşüm uygulanarak s-düzleminde z-düzlemine geçiş

Hem IIR hem de FIR sayısal filtre tasarımı için son zamanlarda optimizasyon yöntemleri de kullanılmakta ve istenen genlik veya faz cevabı referans alınarak bir hata fonksiyonu oluşturulmakta ve istenen özellikleri sağlayacak filtre transfer fonksiyonu katsayı değerleri bulunmaktadır. Farklı katsayı değerleri ile sonuca ulaşmada son derece başarılı olan optimizasyon yöntemlerinin dezavantajları ise sonuca ulaşmada fazlaca işlem yapmaları ve fazla zamana ihtiyaç göstermeleridir.

2.2.2.2. Tekrarsız Sayısal Filtre Tasarım Yöntemleri

Tekrarsız sayısal filtre tasarımı, tekrarlı sayısal filtre tasarımından farklı olarak sadece doğrudan tasarım yöntemi ile gerçekleştirilir. Literatürde FIR filtre tasarımı için dört temel yöntem kullanılmaktadır. Kullanılan bu tasarım yöntemleri şu şekilde adlandırılır [73]:

- Fourier serisi yöntemi
- Sayısal yöntemler
- Frekans örnekleme yöntemi
- Optimizasyon yöntemleri

Bu tasarım yöntemlerinden ilki olan Fourier serisi yöntemi, kolaylıkla uygulanabilen ve kapalı form çözüm sağlayan bir yöntemdir. Ancak, bu yöntem ile yapılan tasarım işleminde filtrenin karmaşık yapısına bağlı olarak gerçekleştirilen yapı yetersiz

kalabilmektedir. Bu tasarımın daha detaylı bir şekilde anlatımı bir sonraki bölümde yapılacaktır.

Sayısal yöntemler; tümeleştirme (integration), ayırıklaştırma (differentiation) veya ara değer (interpolation) bulabilen tekrarsız filtre tasarımı için sayısal denklemleri kullanırlar. Sayısal yöntemlerde en çok kullanılan ara değer bulma formülü olarak Gregory-newton, Bessel, Everret, Stirling ve Gauss formülleri gösterilebilir. Tekrarsız sayısal filtreler, fark denklemi biçiminde yazılır ve yukarıda verilen sayısal formüllerden biri kullanılarak tasarımı gerçekleştirilir [73].

Sonlu sayıda impuls cevabına sahip olan bir filtrenin frekans spektrumu, Ayırık Fourier Dönüşümü (AFD) yardımıyla bulunabilmektedir. Bu işlemin yapılmasındaki amaç, filtre özelliklerini içeren $H(e^{j\Omega})$ 'nin, impuls cevabı olan $h(n)$ 'den doğrudan elde edilmesi işleminin zorluğundandır. Bu durumdan kurtulmak için, $h(n)$ 'i bulmaksızın doğrudan $H(e^{j\Omega})$ üzerinde işlem yapmak gerekir.

Bu anlamda frekans örnekleme aşağıda verilen iki temel aşamadan oluşmaktadır [75].

1-Filtrenin sahip olduğu frekans cevabının eşit aralıklarla N adet örnek değerinin alınması.

2-Eşit aralıklarla alınan bu frekans değerlerinin ters AFD'sinin bulunması.

Yukarıda verilen bu işlemlerin denklemler yardımıyla ifade edilmesinde AFD, işaretin frekans cevabı üzerinden,

$$\Omega = \frac{2\pi}{N} k \quad k=0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (2.20)$$

şeklinde örnek alınarak N adet ayırık frekans değeri hesaplanmaktadır. Bir işaretin AFD'si,

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-j(2\pi/N)kn} \quad k=0, 1, \dots, N-1 \quad (2.21)$$

bağıntısı yardımıyla hesaplanabilir. Bu bağıntının ters AFD'si,

$$x[n] = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X[k] e^{j(2\pi/N)kn} \quad n=0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (2.22)$$

şeklinde bulunur.

FIR filtre gerçekleştirilmesinde kullanılan Fourier serisi yöntemi ile frekans örnekleme yöntemi, benzer olmakla beraber farklılıklar da göstermektedir. Fourier serisi yöntemi ile filtre tasarımı, tüm frekans değerleri için en uygun filtre gerçekleştirilmesi sağlanmaktadır. Bunun yanında frekans örnekleme yönteminde, sadece örnek alınan frekans değerlerine eşit olma şartına göre filtre tasarlanmaktadır. Bu nedenlerden dolayı, frekans örnekleme yöntemi yardımıyla tasarlanmış filtrelerdeki ortalama hata, Fourier serisi yardımıyla tasarlanan filtrelerin ortalama hatalarından daha fazla olmaktadır [78].

Tekrarsız sayısal filtre tasarımı, kullanılan bir diğer yöntem olan optimizasyon yöntemi, optimal sonuç vermekle beraber, hesaplama sırasında fazla işlem yüküne sahip olma gibi bir dezavantaja sahiptir. Ancak, farklı filtre katsayı değerleri ile aynı genlik cevabının elde edilmesinden dolayı filtre tasarımı tercih edilen bir yöntemdir. Literatürde en çok tercih edilen optimizasyon yöntemleri aşağıda verilmiştir [73].

- En küçük kareler hata yöntemi
- Ağırlaştırılmış Chebyshev yaklaşımı
- Maksimum dalgalanmalı FIR filtreler için doğrusal olmayan denklem çözümü
- Maksimum dalgalanmalı FIR filtreler için polinomal ara değer bulma çözümü

2.2.3. Tekrarlı ve Tekrarsız Sayısal Filtrelerin Karşılaştırması

Sayısal FIR filtrenin kullanılmasının nedenleri arasında sahip oldukları bazı avantajlar şöyle sıralanabilir [10]:

- Sayısal FIR filtreler, önceden belirlenmiş genlik ve faz cevabı özellikleri sağlayabilecek şekilde ve lineer fazlı olarak tasarlanabilirler.
- FIR filtreler, hem tekrarlı hem de tekrarsız olarak gerçekleştirilebilirler. Tekrarlı gerçekleştirilen bir FIR filtrede, tarak (comb) ve rezonatör bankası kullanılır. Tekrarsız gerçekleştirilmede ise doğrudan konvolüsyon ve Hızlı

Fourier Dönüşüm (FFT, Fast Fourier Transform) yöntemlerinden birisi kullanılır.

- Tekrarsız olarak gerçekleştirilen bir filtrenin transfer fonksiyonunda, sadece sıfırlar olup kutuplar olmadığından bu tür gerçekleştirilen filtreler daima kararlıdır.
- Bir FIR filtrede, doğal olarak yuvarlatma ve kuantalama hataları olacaktır. Ancak tekrarsız olarak gerçekleştirildiklerinden dolayı, yani herhangi bir andaki çıkış girişin sadece o andaki değerine bağlı olup, çıkış geri besleme olarak tekrardan sisteme eklenmediğinden dolayı bu hatalar da önemsizdir.
- Keskin kesim frekanslı filtre tasarımında FIR filtreler, katsayı hatalarına daha az duyarlıdır.

FIR filtreler sahip oldukları bu avantajların yanında, istenilen özellikleri sağlayan bir IIR filtreden daha yüksek derecede gerçekleştirilmeleri sahip oldukları dezavantajdır. Bu da kullanılan eleman sayısını ve dolayısıyla da maliyeti arttırmaktadır.

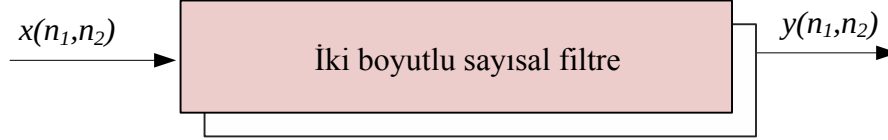
2.3. İki Boyutlu Sayısal Filtreler

İki boyutlu sayısal filtreler, iki boyutlu ayrık sinyalleri işlemede kullanılan ayrık zamanlı sistemler olarak tanımlanabilirler. Bir boyutlu filtreler gibi, doğrusal veya doğrusal olmayan, nedensel veya nedensel olmayan, zamanla değişen veya zamanla değişmeyen, kararlı veya kararsız bir yapı gösterebilirler. İki boyutlu filtreler de fark denklemi veya transfer fonksiyonu yardımıyla tanımlanabilir ve frekans bölgesinde analizi gerçekleştirilebilir.

İki boyutlu filtrelerin uygulaması için kullanılan iki boyutlu sürekli zamanlı sinyaller $x(t_1, t_2)$ fonksiyonu olarak gösterilip, t_1 ve t_2 bağımsız değişkenlerine bağımlıdır. Burada gösterilen t_1 ve t_2 bağımsız sürekli zaman değişkenleri; zaman, mesafe veya herhangi bir fiziksel veya uydurulmuş değişken olabilir.

Diğer taraftan ayrık zamanlı iki boyutlu sinyal ise, sürekli zamanlı sinyallerin örneklenmeleri ile elde edilen sinyaller olup, $x(n_1T_1, n_2T_2)$ şeklinde gösterilirler. Burada T_1 ve T_2 sabit olup n_1T_1 ve n_2T_2 zaman veya mesafe gibi bir değişken olabilir. Tezin geri kalan kısmında iki boyutlu ayrık zamanlı sinyal $x(n_1, n_2)$ şeklinde gösterilecektir.

İki boyutlu sayısal filtreler, giriş fonksiyonunun $x(n_1, n_2)$ ile, çıkış fonksiyonunun $y(n_1, n_2)$ ile gösterildiği ayrık zamanlı bir sistem olarak tanımlanabilir. Bu durum Şekil 2.5’de gösterilmiştir [79].



Şekil 2.5. Sistem olarak iki boyutlu sayısal filtrenin blok gösterimi

İki boyutlu sayısal filtreler bir boyutlu sayısal filtreler gibi tekrarlı ve tekrarsız sayısal filtreler şeklinde iki grupta sınıflandırılabilirler.

2.3.1. İki Boyutlu Tekrarsız Sayısal Filtreler

İki boyutlu tekrarsız sayısal filtrelerde çıkış $y(n_1, n_2)$, $-\infty < i, j < \infty$ için giriş $x(n_1 - i, n_2 - j)$ ’nin fonksiyonudur. İki boyutlu tekrarsız sayısal filtre doğrusal ve zamanla değişmeyen bir karakteristiğe sahip ise filtre çıkışı, girişin ağırlıklı toplamlarından oluşmaktadır. Bu durum denklem 2.23’de verilmiştir.

$$y(n_1, n_2) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{j=-\infty}^{\infty} a_{ij} x(n_1 - i, n_2 - j) \quad (2.23)$$

Burada, a_{ij} değerleri sabittir. Eğer filtre nedensel ise $n_1 \leq k_1$ ve $n_2 \leq k_2$ için filtre çıkışı, k_1 ve k_2 ’nin tüm değerleri için $n_1 > k_1$ veya $n_2 > k_2$ ’nin değerleri için girişten bağımsızdır. Dolayısıyla, $-\infty < i$ veya $j < \infty$ için $a_{ij} = 0$ alınırsa, denklem 2.23,

$$y(n_1, n_2) = \sum_{i=0}^{\infty} \sum_{j=0}^{\infty} a_{ij} x(n_1 - i, n_2 - j) \quad (2.24)$$

şeklinde yazılabilir. $-\infty < n_1$ veya $n_2 < 0$ için $x(n_1, n_2) = 0$ ve $N_1 < i < \infty$ veya $N_2 < j < \infty$ için $a_{ij} = 0$ olduğu dikkate alınır,

$$y(n_1, n_2) = \sum_{i=0}^{N_1} \sum_{j=0}^{N_2} a_{ij} x(n_1 - i, n_2 - j) \quad (2.25)$$

elde edilir. Burada, N_1 ve N_2 filtre derecesi olup, iki boyutlu tekrarsız sayısal filtrenin en genel halde giriş-çıkış ilişkisini temsil eder.

2.3.2. İki Boyutlu Tekrarlı Sayısal Filtreler

Tekrarsız iki boyutlu sayısal filtreler daima kararlıdır ve doğrusal faz cevabını garanti ederler. Ancak, tasarım sırasında geçirme ve durdurma bandları arasında hızlı geçişin olduğu yani dar geçiş bandı genişliğine gereksinim duyulan uygulamalarda, yüksek filtre derecesi gibi dezavantajlarından dolayı iki boyutlu tekrarlı sayısal filtre tasarımı kullanılmaktadır. İki boyutlu tekrarlı sayısal filtreler, bir boyutlu sürekli veya ayrık zamanlı filtre transfer fonksiyonuna dönüşüm uygulanarak veya optimizasyon yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilirler.

İki boyutlu tekrarlı sayısal filtrenin giriş-çıkış ilişkisini gösteren fark denklemi bir boyutlu tekrarlı sayısal filtrede olduğu gibi ifade edilebilir. Doğrusal, zamanla değişmeyen ve nedensel tekrarlı sayısal filtre için fark denklemi,

$$y(n_1, n_2) = \sum_{i=0}^{N_1} \sum_{j=0}^{N_2} a_{ij} x(n_1 - i, n_2 - j) - \sum_{i=0}^{N_1} \sum_{j=0}^{N_2} b_{ij} y(n_1 - i, n_2 - j) \quad (2.26)$$

şeklindedir. Burada $b_{00}=0$ 'dır. N_1, N_2 derece çifti filtre derecesini göstermektedir. Dikkat edilirse, denklem 2.26'da $b_{ij}=0$ alınırsa denklem 2.25 elde edilir. Zaten tekrarsız sayısal filtre tekrarlı sayısal filtrenin özel bir durumudur [79].

3. BİR VE İKİ BOYUTLU TEKRARSIZ SAYISAL FİLTRE TASARIMINDA PENCERE FONKSİYONU KULLANIMI

3.1. Giriş

Bu bölümde, bir ve iki boyutlu tekrarsız sayısal filtre tasarımı pencere fonksiyonu ile Fourier serisi kullanımı açıklanacaktır. Bu amaçla ilk olarak, Fourier serisinin sayısal filtre tasarımı kullanımı incelenecek, meydana gelen Gibbs salınımları açıklanacak, daha sonra da oluşan bu salınımları giderebilmek için hem bir boyutlu hem de iki boyutlu filtrelerde kullanılan pencere fonksiyonlarının spektral özellikleri verilecek ve fonksiyonların detaylı bir şekilde analizleri yapılacaktır.

3.2. Fourier Serisinin Filtre Tasarımında Kullanımı ve Gibbs Salınımları

Tekrarsız sayısal filtre tasarımı Fourier serisi kullanımı, tekrarsız filtrenin frekans cevabının w 'nın periyodik fonksiyonu olması fikrinden yararlanılarak geliştirilmiştir [73]. Dolayısıyla, filtrenin periyodik olan bu frekans cevabı $H(e^{jw})$, Fourier serisi olarak yazılırsa;

$$H(e^{jw}) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} h(nT) e^{-jwnT} \quad (3.1)$$

olur. Bu durumda istenen filtrenin frekans cevabına karşılık gelen impuls cevabı,

$$h(nT) = \frac{1}{w_s} \int_{w_s/2}^{w_s/2} H(e^{jwT}) e^{jwnT} dW \quad \text{ve} \quad w_s = \frac{2\pi}{T} \quad (3.2)$$

şeklinde elde edilir. Denklem (3.2)'de $e^{jwT} = z$ yazıldığında filtrenin frekans cevabına karşılık gelen transfer fonksiyonu,

$$H(z) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} h(n) z^{-N} \quad (3.3)$$

olur. Denklem 3.3'den de görüldüğü gibi, elde edilen filtrenin impuls cevabı $-\infty$ 'dan başlayıp $+\infty$ 'a kadar devam eder. Bu durumda, filtre fiziksel olarak gerçekleştirilemez. Bir filtrenin fiziksel olarak gerçekleştirilebilmesi için, impuls cevabının sınırlı sayıda olması gerekmektedir. Denklem 3.3'deki impuls cevabının sınırlı sayıda olabilmesi için transfer fonksiyonu sınırlı sayıda eleman alınarak yeniden düzenlenirse,

$$H(z) = \sum_{n=-(N-1)/2}^{(N-1)/2} h(nT) z^{-n} \quad (3.4)$$

şeklinde elde edilir. Denklem 3.4'de $|n| > \frac{N-1}{2}$ aralığı için $h(nT)=0$ olarak tanımlanıp denklem 3.4 daha açık bir ifade olarak yazıldığında;

$$H(z) = h(0) + \sum_{n=1}^{(N-1)/2} [h(-nT)z^n + h(nT)z^{-n}] \quad (3.5)$$

şeklinde olur. Elde edilen transfer fonksiyonunun nedensel olabilmesi için, $H(z)$ 'nin denklem 3.6'daki gibi $z^{-(N-1)/2}$ ile çarpılması gerekmektedir.

$$H'(z) = z^{-(N-1)/2} H(z) \quad (3.6)$$

Bu sonuç, sonlu gecikme eklenerek elde edilen sayısal filtrenin genlik cevabı olan $H'(z)$ 'nin $H(z)$ ile aynı kaldığını, fakat faz cevabının $(N-1)/2$ kadar kaydırıldığını gösterir.

Bir boyutlu tekrarsız sayısal filtre tasarımında kullanılan Fourier serisi yöntemi benzer olarak iki boyutlu tekrarsız sayısal filtre tasarımında da kullanılmaktadır. $(2\pi/T_1, 2\pi/T_2)$ temel periyotlu, (ω_1, ω_2) değişkenlerine göre periyodik olan iki boyutlu filtreye ait frekans cevabı,

$$H_2(e^{j\omega_1 T_1}, e^{j\omega_2 T_2}) = \sum_{n_1=-\infty}^{\infty} \sum_{n_2=-\infty}^{\infty} h_2(n_1 T_1, n_2 T_2) e^{-j(\omega_1 n_1 T_1 + \omega_2 n_2 T_2)} \quad (3.7)$$

şeklindedir. Burada

$$h_2(n_1T_1 + n_2T_2) = \frac{1}{\omega_{s1}\omega_{s2}} \int_{-\omega_{s1}/2}^{\omega_{s1}/2} \int_{-\omega_{s2}/2}^{\omega_{s2}/2} H_2(e^{j\omega_1T_1}, e^{j\omega_2T_2}) e^{j(\omega_1n_1T_1 + \omega_2n_2T_2)} d\omega_1 d\omega_2 \quad (3.8)$$

olup, $e^{j\omega_1T_1} = z_1$ ve $e^{j\omega_2T_2} = z_2$ değişimleri denklem 3.8’de yazıldığında

$$H_2(z_1, z_2) = \sum_{n_1=-\infty}^{\infty} \sum_{n_2=-\infty}^{\infty} h_2(n_1T_1, n_2T_2) z_1^{-n_1} z_2^{-n_2} \quad (3.9)$$

elde edilir. Bir boyutlu tekrarsız sayısal filtre transfer fonksiyonunda olduğu gibi, iki boyutlu sayısal filtre transfer fonksiyonu da sonsuz uzunlukta ve nedensel olmayan bir karakteristiğe sahiptir.

Sonlu uzunluğa sahip filtre transfer fonksiyonu;

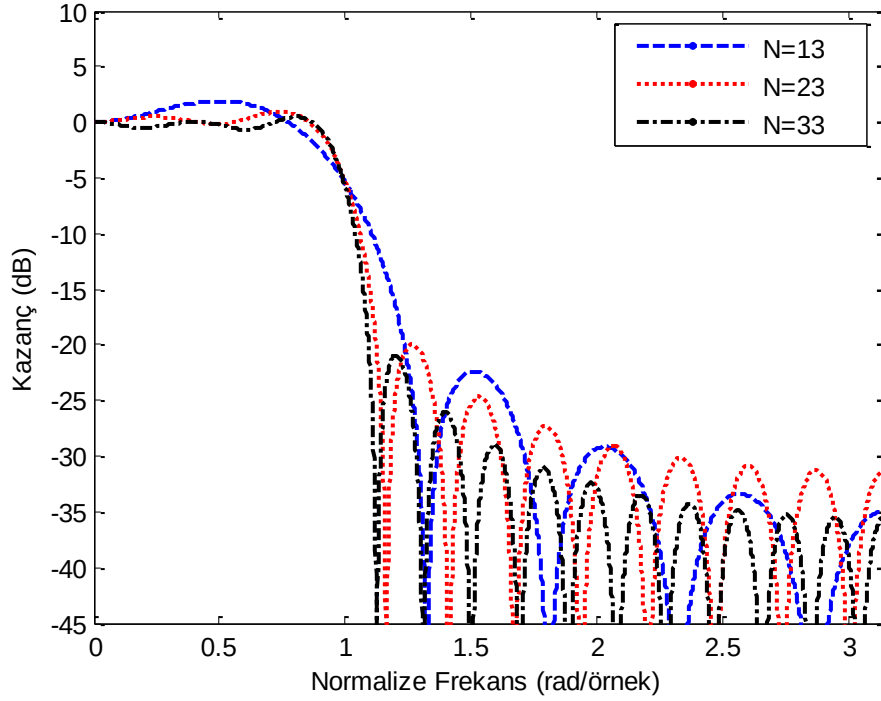
$|n_1| > (N_1 - 1)/2$ veya $|n_2| > (N_2 - 1)/2$ için $h_2(n_1T_1, n_2T_2) = 0$ olarak tanımlandığında sonsuz sayıdaki filtre uzunluğu sınırlı sayıya dönüştürölmüş olacaktır.

Nedensel iki boyutlu sayısal filtre, impuls cevabında $(N_1 - 1)T_1/2$ veya $(N_2 - 1)T_2/2$ şeklinde gecikme eklenerek elde edilebilir.

$$H_2'(z_1, z_2) = z_1^{-(N_1-1)/2} z_2^{-(N_2-1)/2} H_2(z_1, z_2) \quad (3.10)$$

Dolayısıyla, denklem 3.10’da $H_2(z_1, z_2)$ ile gösterilen filtre, sıfır faz cevabına; $H_2'(z_1, z_2)$ ile gösterilen filtre de doğrusal faz cevabına sahiptir [79].

Bir boyutlu sayısal filtrelerde denklem 3.3 kullanılarak denklem 3.4’ün elde edilmesi, benzer olarak iki boyutlu sayısal filtrelerde de denklem 3.7’den denklem 3.10’un elde edilmesi işlemlerinde sonsuz sayıdaki filtre impuls cevabı yerine sınırlı sayıda değer alınması, Fourier serisinin direkt olarak kesilmesiyle yapılmaktadır. Ancak, tekrarsız sayısal filtre tasarımı sırasında filtrenin genlik cevabında sınırlı sayıda değer alınarak yapılan bu işlemler kesim frekansı bölgesinde istenmeyen ve Gibbs adı verilen salınımlara neden olmaktadır. Şekil 3.1’de farklı filtre uzunlukları için meydana gelen Gibbs salınımları gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Farklı dereceler için alçak geçiren filtre genlik cevabı ve Gibbs salınımları

Şekil 3.1’den görüldüğü gibi, filtre derecesinin artmasına bağlı olarak geçirme ve durdurma bandları arasındaki geçiş bandı genişliği azalmakta fakat geçirme ve durdurma bandı frekanslarındaki dalgalanma artmaktadır. Dolayısıyla, tasarlanmak istenen filtrenin frekans cevabı, meydana gelen Gibbs salınımlarından dolayı kötü olmaktadır. Bu nedenle filtrenin tasarımı, bu salınımlardan arındırılmış bir şekilde gerçekleştirilmelidir.

3.3. Pencere Fonksiyonunun Tekrarsız Sayısal Filtre Tasarımında Kullanımı

Fourier serisi yöntemi kullanılarak bir ve iki boyutlu tekrarsız sayısal filtre tasarımı yapılırken, sınırlı sayıda değer alınması için serinin direkt olarak kesilmesi gerekir. Bu işlem sonucunda meydana gelen Gibbs salınımlarını ortadan kaldırmak için kullanılan yapılara pencere fonksiyonu veya pencere adı verilmektedir. Ayrık zamanda ifade edilen ve $w_1(nT)$ ile gösterilen bir boyutlu pencere fonksiyonu, aşağıdaki zaman bölgesi özelliklerine sahiptir [79].

- $|n| > (N-1)/2$ için $w_1(n) = 0$ ’dır.
- nT eksenine göre pencere fonksiyonu simetrik özelliği gösterir. Yani; $w_1(-nT) = w_1(nT)$ ’dir.

Bir ve iki boyutlu tekrarsız sayısal filtrelerde pencere fonksiyonu kullanımı aşağıda verilen adımlar uygulanarak gerçekleştirilmektedir [73].

- Öncelikle, tasarlanmak istenen filtrenin idealleştirilmiş frekans cevabı tanımlanır. Daha sonra, idealleştirilmiş sonsuz uzunluklu ve nedensel olmayan filtre elde edilir.
- İstenen özellikleri sağlayacak filtre tasarımını gerçekleştirebilmek için uygun pencere fonksiyonu seçimi yapılır.
- Seçimi yapılan pencere fonksiyonu, filtre impuls cevabına uygulanır.
- Son olarak, sonlu uzunluklu ve nedensel olmayan filtre nedensel hale dönüştürülür.

Örnekleme frekansı $w_{\bar{o}}$ ve kesim frekansının w_k olduğu ideal alçak geçiren filtreye ait frekans cevabı denklem 3.11’de verilmiştir.

$$H_{id}(e^{jwT}) = \begin{cases} 0 & w_k < |w| \leq w_{\bar{o}}/2 \text{ için} \\ 1 & |w| \leq w_k \text{ için} \end{cases} \quad (3.11)$$

Denklem 3.11’e Fourier serisi uygulanarak ideal nedensel olmayan alçak geçiren filtrenin sonsuz uzunluklu impuls cevabı elde edilebilir.

$$h_{id}(nT) = \begin{cases} \frac{\sin w_k nT}{n\pi} & n \neq 0 \text{ için} \\ w_k T / \pi & n = 0 \text{ için} \end{cases} \quad (3.12)$$

Fourier serisi uygulanarak elde edilen impuls cevabı ile pencere fonksiyonu çarpılarak,

$$h_{w1}(nT) = w_1(nT)h_1(nT) \quad (3.13)$$

elde edilir. Sonsuz uzunluğa sahip filtre impuls cevabı ile sonlu uzunluğa sahip pencere fonksiyonunun çarpılması sonucunda sonlu uzunluklu nedensel olmayan impuls cevabı elde edilir. Zaman bölgesinde iki ayrık fonksiyonun çarpımı frekans bölgesinde konvolüsyon işlemi ile gösterilmektedir.

$$H(e^{jwT}) = W(e^{jwT}) \otimes H_{id}(e^{jwT}) \quad (3.14)$$

Bu cevaba ait transfer fonksiyonu ise,

$$H_{w1}(z) = \sum_{n=-(N-1)/2}^{(N-1)/2} w_1(nT) h_1(nT) z^{-n} \quad (3.15)$$

şeklindedir. Denklem 3.15'deki frekans cevabına kompleks konvolüsyon uygulandığında

$$H_{w1}(e^{j\omega T}) = \frac{T}{2\pi} \int_0^{2\pi/T} H_1(e^{j\Omega T}) W_1(e^{j(\omega-\Omega)T}) d\Omega \quad (3.16)$$

elde edilir. Denklem 3.13'te verilen ve nedensel olmayan impuls cevabı $(N-1)T/2$ kadar zamanda geciktirildiğinde nedensel davranış gösteren filtre impuls cevabı elde edilecektir.

$$h_n(nT) = h_{no}[(n - (N-1)/2)T] \quad 0 \leq n \leq N-1 \quad (3.17)$$

Bir boyutlu filtre tasarımında meydana gelen sorun, iki boyutlu sayısal filtre tasarımı sırasında iki boyutlu Fourier serisinin uygulanması ile ortaya çıkan Gibbs salınımlarıdır. Bu salınımları ortadan kaldırabilmek için iki boyutlu pencere fonksiyonları kullanılmaktadır. Ayrık zamanda ifade edilen ve $w_2(n_1T_1, n_2T_2)$ ile gösterilen iki boyutlu pencere fonksiyonu, aşağıdaki uzay bölgesi özelliklerine sahiptir [79].

- $|n_1| > (N_1-1)/2$ veya $|n_2| > (N_2-1)/2$ için $w_2(n_1T_1, n_2T_2) = 0$ 'dır.
- n_1T_1 ve n_2T_2 eksenlerine göre pencere fonksiyonu simetrik özelliği göstermektedir. Yani; $w_2(-n_1T_1, -n_2T_2) = w_2(n_1T_1, n_2T_2)$ 'dir.

İki boyutlu Fourier serisi uygulanarak elde edilen impuls cevabından, sınırlı uzunluğa sahip impuls cevabının elde edilebilmesi için iki boyutlu pencere fonksiyonu ile çarpılması gerekir. Bu durumda,

$$h_{w2}(n_1T_1, n_2T_2) = w_2(n_1T_1, n_2T_2) h_2(n_1T_1, n_2T_2) \quad (3.18)$$

elde edilir. Nedensel olmayan ve sınırlı uzunluğa sahip transfer fonksiyonu,

$$H_{w2}(z_1, z_2) = \sum_{n_1=-(N_1-1)/2}^{(N_1-1)/2} \sum_{n_2=-(N_2-1)/2}^{(N_2-1)/2} w_2(n_1T_1, n_2T_2) h_2(n_1T_1, n_2T_2) z_1^{-n_1} z_2^{-n_2} \quad (3.19)$$

şeklindedir. Denklem 3.19’da verilen frekans cevabına kompleks konvolüsyon uygulandığında,

$$H_{w_2}(e^{j\omega_1 T_1}, e^{j\omega_2 T_2}) = \frac{T_1 T_2}{4\pi^2} \int_0^{2\pi/T_2} \int_0^{2\pi/T_1} H_2(e^{j\Omega_1 T_1}, e^{j\Omega_2 T_2}) \times W_2(e^{j(\omega_1 - \Omega_1) T_1}, e^{j(\omega_2 - \Omega_2) T_2}) d\Omega_1 d\Omega_2 \quad (3.20)$$

elde edilir. İki boyutlu pencere fonksiyonu yaygın kullanılan iki yöntem yardımıyla bulunmaktadır. Bunlardan ilki, $w_{1A}(n_1 T_1)$ ve $w_{1B}(n_2 T_2)$ bir boyutlu pencere fonksiyonu olarak tanımlanmasıyla,

$$w_2(n_1 T_1, n_2 T_2) = w_{1A}(n_1 T_1) w_{1B}(n_2 T_2) \quad (3.21)$$

şeklinde iki boyutlu pencere fonksiyonunun elde edilmesidir.

İki boyutlu pencere fonksiyonu tasarımında yaygın olarak kullanılan bir diğer yöntem ise Huang [35] tarafından önerilen yöntemdir. Bu yöntemde bir boyutlu pencere fonksiyonu iki boyutlu pencere fonksiyonuna denklem 3.22 yardımıyla dönüştürülmektedir.

$$w_2(n_1 T_1, n_2 T_2) = w_1(nT) \Big|_{nT = \sqrt{(n_1 T_1)^2 + (n_2 T_2)^2}} \quad (3.22)$$

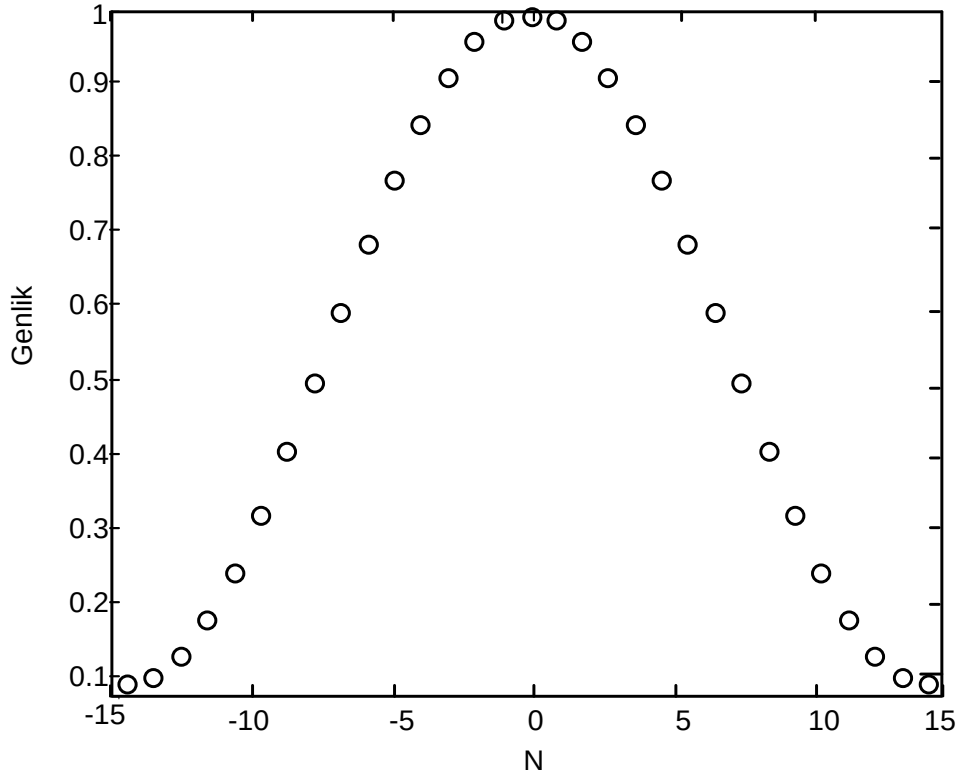
3.4. Pencere Fonksiyonları ve Spektral Karakteristikleri

Hem bir boyutlu hem de iki boyutlu tekrarsız sayısal filtrelerin, Fourier serisi yöntemi kullanılarak tasarımı sırasında meydana gelen salınımları yok etmek için kullanılan pencere fonksiyonlarının, ayrık zaman bölgesinde normalize edilmiş tipik genlik karakteristiği Şekil 3.2’de verilmiştir.

N tek sayı uzunluklu pencere fonksiyonunun zaman bölgesi fonksiyonu olarak,

$$w(nT) = \begin{cases} \neq 0 & |n| \leq (N-1)/2 \text{ için} \\ 0 & \text{diğer yerlerde} \end{cases} \quad (3.23)$$

tanımlanır. Bu tez çalışmasında, pencere uzunluğu tek ve simetrik pencere fonksiyonu ile çalışılmıştır. Ancak, elde edilen sonuçlar çift uzunluklu pencere fonksiyonları için genelleştirilebilir.



Şekil 3.2. $N=31$ için normalize edilmiş pencere fonksiyonu genlik cevabı

Pencere fonksiyonlarının sınıflandırılmaları ve birbirleri ile karşılaştırılmaları, sahip oldukları spektral karakteristiklere göre yapılmaktadır. Tipik bir pencere fonksiyonuna ait frekans spektral gösterimi

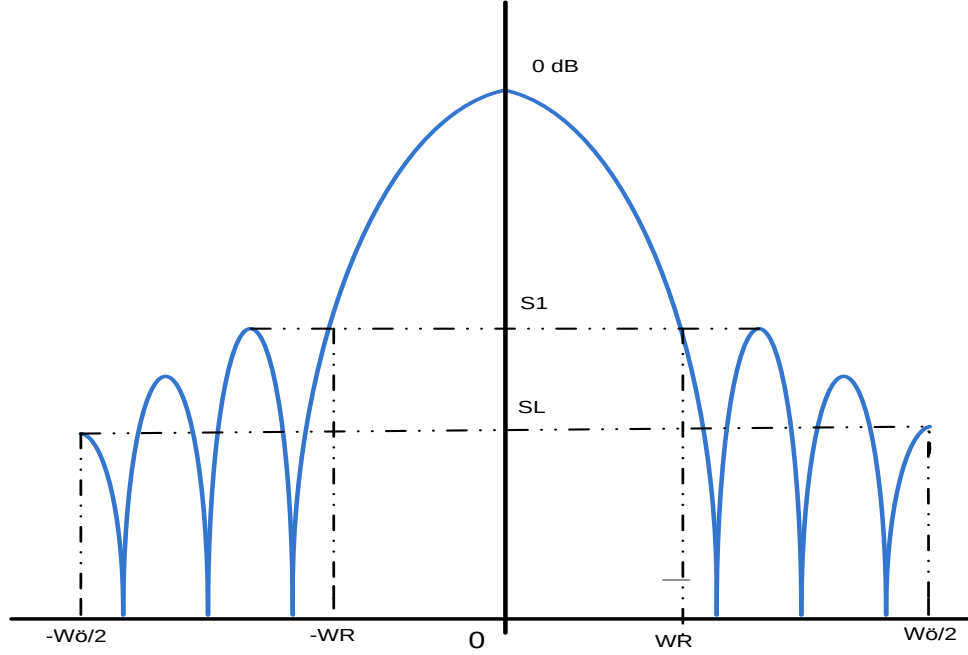
$$W(e^{j\omega T}) = \sum_{n=-(N-1)/2}^{(N-1)/2} w(nT)e^{-j\omega nT} \quad (3.24)$$

şeklindedir. Simetrik pencere fonksiyonu için denklem 3.24 yeniden düzenlenirse

$$\begin{aligned} W(e^{j\omega T}) &= |A(\omega)|e^{j\theta(\omega)} \\ &= e^{-j\omega(N-1)T/2}W_0(e^{j\omega T}) \\ &= \omega(0) + 2 \sum_{n=1}^{(N-1)/2} \omega(nT)\cos \omega nT \end{aligned} \quad (3.25)$$

elde edilir. Denklem 3.25'te, $A(w)$: pencere fonksiyonunun genliğini, $\theta(w)$: pencere fonksiyonunun faz spektrumunu göstermektedir.

Normalize edilmiş pencere fonksiyonuna ait dB cinsinden genlik spektrumu Şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Pencere genlik spektrumu

Normalize edilmiş pencere genlik spektrumu denklem 3.26 yardımıyla hesaplanır.

$$W_N(e^{jwT}) = 20 \log_{10}(|A(w)|/|A(0)|) \quad (3.26)$$

Pencere genlik spektrumunda yaygın olarak kullanılan spektral parametreler; analob genişliği (w_M), dalgalanma oranı (R) ve yanlob azalma oranı (S) değerleridir. Şekil 3.3' de gösterilen bu spektral parametreler aşağıdaki gibi tanımlanabilir [73].

$$\text{Analob genişliği} = 2w_R$$

$$R \text{ (dB)} = \text{Maksimum yanlob genliği} - \text{analob genliği}$$

$$\begin{aligned} S \text{ (dB)} &= \text{Maksimum yanlob genliği} - \text{minimum yanlob genliği} \\ &= S_1 - S_L \end{aligned}$$

Filtre tasarımında kullanılan pencere fonksiyonları spektral parametrelerinden analob genişliği, filtrenin genlik spektrumunda geçirme ve durdurma bandları arasındaki geçiş

bandı genişliğini; dalgalanma oranı, geçirme ve durdurma bandlarındaki dalgalanmaları; diğer pencere spektral parametresi olan yanlob azalma oranı ise durdurma bandı içerisindeki enerjinin dağılımını etkilemektedir.

İyi bir filtre genlik spektrumu karakteristiğinde,

- analob genişliğinin dar olması
- dalgalanma oranının küçük olması
- yanlob azalma oranının geniş olması

istenmektedir [73]. Genlik spektrumu karakteristiğinden ilk iki madde birbiriyle karşıttır.

3.5. Yaygın Kullanılan Pencere Fonksiyonları

Literatürde, hem sayısal filtre tasarımı hem de farklı uygulamalar için farklı pencere fonksiyonu önermeleri yapılmıştır. Geliştirilen pencere fonksiyonları, sahip oldukları parametrelere göre sabit ve ayarlanabilir pencereler şeklinde iki gruba ayrılmaktadırlar. Sabit pencere fonksiyonları, sahip oldukları tek bir parametre (pencere uzunluğu) ile yalnızca pencere spektral parametrelerinden analob genişliğini kontrol edebilmektedir. Ayarlanabilir pencereler ise sahip oldukları iki veya daha fazla bağımsız değişken yardımıyla, sabit pencerelerde olduğu gibi pencere uzunluğu ile analob genişliğini kontrol edebilmekte, diğer parametreler yardımıyla da diğer pencere spektral parametrelerini kontrol edebilmektedirler.

3.5.1. Sabit Pencere Fonksiyonları

Bu türden pencere fonksiyonları, yaygın olarak sinyal işleme uygulamalarında tercih edilmektedir. Bu tür pencerelere örnek olarak, Dikdörtgen, Hamming, Von-Hann, Blackman gibi pencereler gösterilebilir. Bu fonksiyonlara ait denklemler (3.27-3.34)'de verilmiştir [8,73].

Dikdörtgen penceresi: Bu pencere, literatürde kullanılan pencerelere göre en basit yapıya sahip olanıdır. Pencere ismi, genlik cevabının dikdörtgen şeklinde olmasından dolayı verilmiştir. Bu pencere fonksiyonu denklem 3.27'deki gibi tanımlanır [73].

$$w[n] = \begin{cases} 1 & |n| \leq \frac{N-1}{2} \\ 0 & \text{diğer yerlerde} \end{cases} \quad (3.27)$$

Dikdörtgen penceresine ait frekans spektrumu ise

$$W_d(e^{j\omega T}) = \frac{\sin(\omega NT / 2)}{\sin(\omega T / 2)} \quad (3.28)$$

şeklinde bulunur.

Hamming penceresi: Bu pencere fonksiyonuna ait zaman bölgesi ifadesi, denklem 3.29'da verilmiştir.

$$w[n] = \begin{cases} 0.54 + 0.46 \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right), & |n| \leq \frac{N-1}{2} \\ 0 & \text{diğer yerlerde} \end{cases} \quad (3.29)$$

Hamming penceresinin spektral karakteristiği

$$W_h(e^{j\omega T}) = 0.54 \frac{\sin(\omega NT / 2)}{\sin(\omega T / 2)} + 0.23 \left[\frac{\sin[\omega NT / 2 - N\pi / (N-1)]}{\sin[\omega T / 2 - \pi / (N-1)]} + \frac{\sin[\omega NT / 2 + N\pi / (N-1)]}{\sin[\omega T / 2 + \pi / (N-1)]} \right] \quad (3.30)$$

denklemleri ile elde edilir.

Von-Hann penceresi: Bu pencere fonksiyonu literatürde Hann veya Hanning penceresi olarak da bilinmektedir. Bu pencere fonksiyonuna ait fonksiyon denklem 3.31'de verilmiştir.

$$w[n] = \begin{cases} 0.5 + 0.5 \cos \frac{2\pi n}{N-1}, & |n| \leq \frac{N-1}{2} \\ 0 & \text{diğer yerlerde} \end{cases} \quad (3.31)$$

Von-Hann pencere fonksiyonuna ait frekans spektrumu ise denklem 3.32 ile bulunabilir.

$$W_{vh}(e^{j\omega T}) = 0.5 \frac{\sin(\omega NT/2)}{\sin(\omega T/2)} + 0.23 \left[\frac{\sin[\omega NT/2 - N\pi/(N-1)]}{\sin[\omega T/2 - \pi/(N-1)]} + \frac{\sin[\omega NT/2 + N\pi/(N-1)]}{\sin[\omega T/2 + \pi/(N-1)]} \right] \quad (3.32)$$

Dikkat edilirse, Hamming penceresi ile Von-Hann penceresinin hem zaman hem de frekans bölgesi denklemleri birbirine oldukça yakındır. Dolayısıyla; Hamming penceresi ile Von-Hann pencerelerinin analob genişlikleri aynı olup, Hamming penceresi daha iyi dalgalanma oranı sağlamaktadır.

Blackman penceresi: Von-Hann penceresinden daha iyi dalgalanma oranı karakteristiği gösterebilmesi için Blackman penceresinin zaman bölgesi denkleminde Von-Hann penceresine göre daha fazla cosinüs terimleri ilave edilmiştir. Bu pencere fonksiyonuna ait denklem, 3.33’de verilmiştir.

$$w[n] = \begin{cases} 0.42 + 0.5 \cos \frac{2\pi n}{N-1} + 0.08 \cos \frac{4\pi n}{N-1}, & |n| \leq \frac{N-1}{2} \\ 0 & \text{diğer yerlerde} \end{cases} \quad (3.33)$$

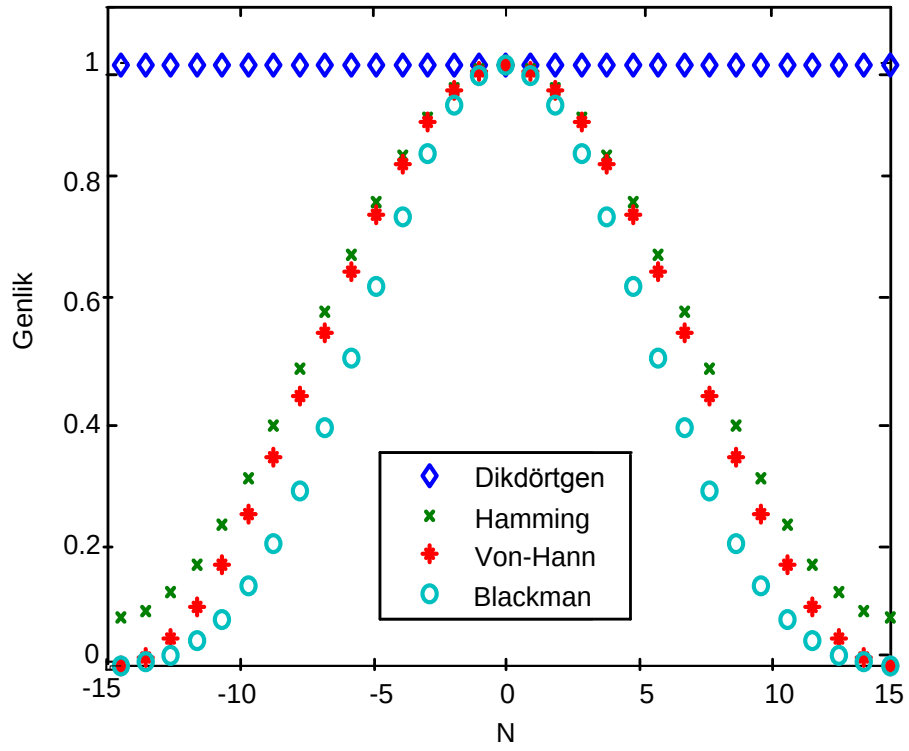
Blackman penceresine ait frekans spektrumu ise denklem 3.34 kullanılarak bulunabilir.

$$W_b(e^{j\omega T}) = 0.42W_d(e^{j\omega T}) + 0.25W_d(e^{j[\omega T - 2\pi/(N-1)]}) + 0.25W_d(e^{j[\omega T + 2\pi/(N-1)]}) + 0.04W_d(e^{j[\omega T - 2\pi/(N-1)]}) + 0.04W_d(e^{j[\omega T + 2\pi/(N-1)]}) \quad (3.34)$$

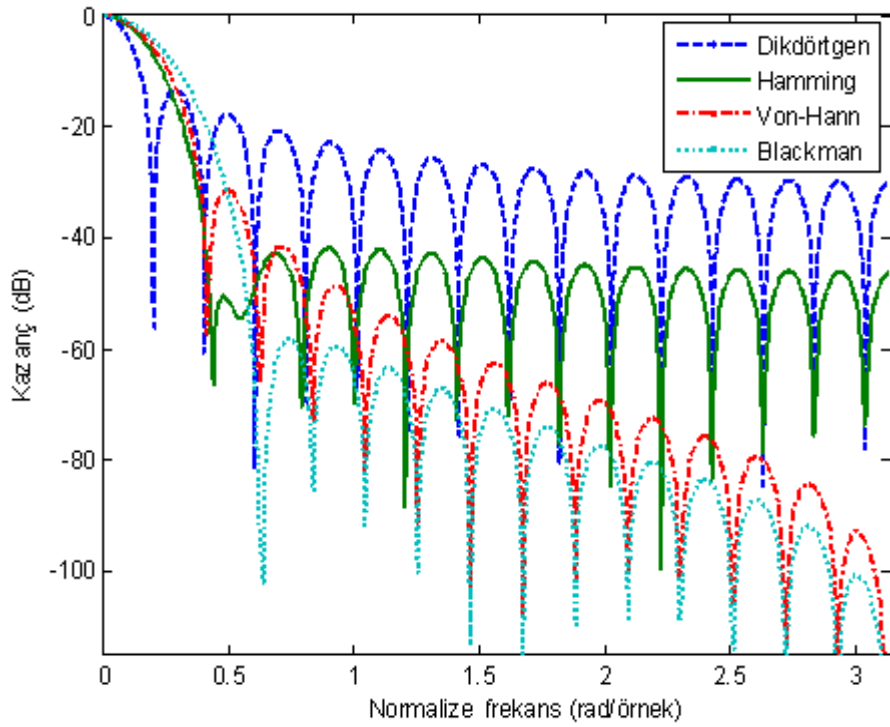
Blackman penceresi, ilave edilen cosinüslü terimler yardımıyla diğer pencere fonksiyonlarına göre daha iyi dalgalanma oranı karakteristiği göstermektedir.

3.5.1.1. Sabit Pencere Fonksiyonlarının Spektral Davranışı

Sabit pencere fonksiyonları, basit olarak sinyal işleme gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmakta ve sahip oldukları tek bağımsız değişken olan pencere uzunluğu N ile pencere spektral parametrelerinden yalnızca analob genişliğini kontrol edebilmektedirler. Bu pencere fonksiyonlarına ait zaman bölgesi genlik karakteristikleri Şekil 3.4’de, frekans spektrumlarındaki performans karşılaştırması ise Şekil 3.5’te verilmiştir.



Şekil 3.4. $N=31$ için farklı pencere fonksiyonlarının zaman bölgesi karakteristiği



Şekil 3.5. $N=31$ için farklı pencere fonksiyonlarının frekans spektrumları

Sabit pencere fonksiyonlarına ait performans karşılaştırma sonuçları ile ilgili sayısal bilgiler Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1. $N=31$ için farklı pencere fonksiyonların karşılaştırması

Pencere	N	w_R	$R(\text{dB})$
Dikdörtgen	31	0.165	-13.23
Hamming	31	0.41	-50.35
Von-Hann	31	0.392	-31.48
Blackman	31	0.59	-58.14

Sabit pencere fonksiyonlarında, pencere uzunluğundaki değişim bütün pencerelerde analob genişliğini azaltmaktadır. Ancak, dalgalanma oranı sabit kalmaktadır. Çünkü sabit pencere fonksiyonlarında pencere uzunluğu yalnızca analob genişliğini kontrol edebilmektedir. Tablo 3.2’de, farklı pencere uzunluğu için sabit pencere fonksiyonlarının spektrum karşılaştırmasından elde edilen sayısal bilgiler verilmiştir.

Tablo 3.2. $N=31$ ve $N=41$ için sabit pencere fonksiyonlarının karşılaştırması

Pencere	$N=31$		$N=41$	
	w_R	$R(\text{dB})$	w_R	$R(\text{dB})$
Dikdörtgen	0.165	-13.23	0.125	-13.24
Hamming	0.41	-50.35	0.315	-48.65
Von-Hann	0.392	-31.48	0.294	-31.48
Blackman	0.59	-58.14	0.443	-58.12

Görüldüğü gibi sabit pencere fonksiyonları, bir tek parametreye sahip olmalarından dolayı diğer pencere spektral parametrelerin ayarlanmasında kullanılamamaktadır. Dolayısıyla, bu pencere fonksiyonlarının yerine literatürde daha fazla parametreye sahip ayarlanabilir pencere fonksiyonları geliştirilmiştir.

3.5.2. Ayarlanabilir Pencere Fonksiyonları

Literatürde kullanılan ve en fazla tercih edilen ayarlanabilir pencere fonksiyonları olarak Kaiser, Dolph-Chebyshev, Saramaki ve Ultraspherical ile son zamanlarda geliştirilen üstel, cosh, modifiye edilmiş cosh, modifiye edilmiş Kaiser pencereleri gösterilebilir. Aşağıda bu pencere fonksiyonları hakkında ayrıntılı bilgiler verilmiştir.

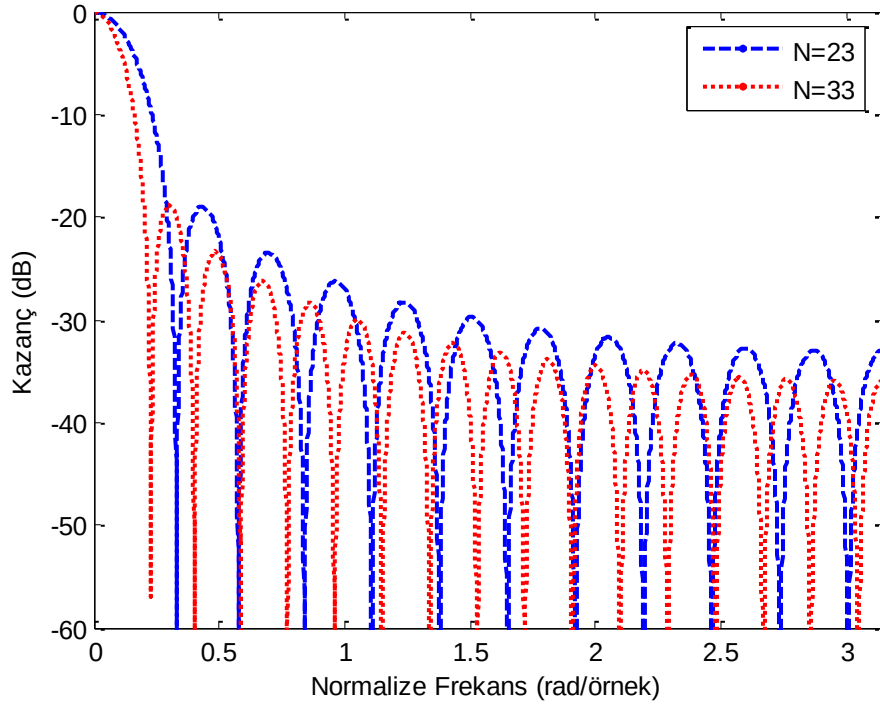
3.5.2.1. Kaiser Penceresi

Kaiser tarafından önerilen bu fonksiyon, pencere uzunluğu (N) ve ayarlanabilir bağımsız değişken α_k olarak iki değişkene sahiptir [20]. Kaiser penceresi (3.35)'deki gibi tanımlanabilir.

$$w[n] = \begin{cases} \frac{I_0(\alpha_k \sqrt{1 - (\frac{2n}{N-1})^2})}{I_0(\alpha_k)} & |n| \leq \frac{N-1}{2} \\ 0 & \text{diğer yerlerde} \end{cases} \quad (3.35)$$

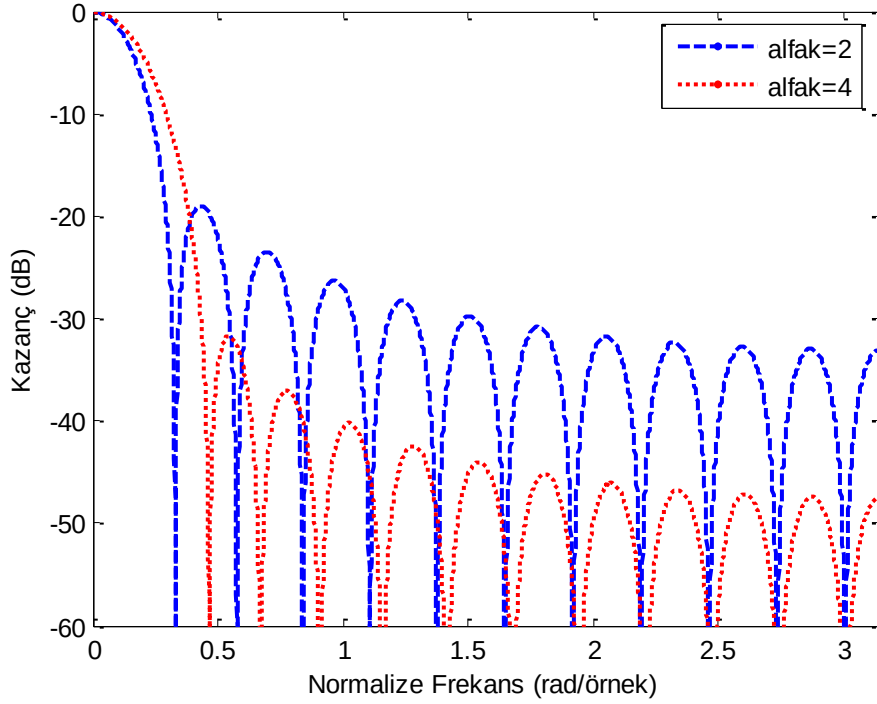
Burada; $I_0(x)$ sıfır dereceli birinci tür geliştirilmiş Bessel fonksiyonu olup, güç serisi açılımı denklem 3.36'daki gibidir.

$$I_0(x) = 1 + \sum_{k=1}^{\infty} \left[\frac{1}{k!} \left(\frac{x}{2} \right)^k \right]^2 \quad (3.36)$$



Şekil 3.6. $\alpha_k=2$ için farklı pencere uzunluğunun Kaiser penceresi spektrumuna etkisi

Sabit α_k değerine karşılık farklı pencere uzunluğu (N) değerleri için Kaiser penceresinin frekans spektrumu Şekil 3.6’da, sabit pencere uzunluğu (N) değerine karşı farklı α_k değerleri için Kaiser penceresi frekans spektrumu ise Şekil 3.7’de verilmiştir. Şekil 3.6 ve 3.7’ye ait sayısal bilgiler ise Tablo 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.7. $N=23$ için farklı α_k değerlerinin Kaiser penceresine etkisi

Tablo 3.3. Farklı α_k ve N değerleri için Kaiser penceresi bilgileri

Pencere	N	α_k	w_R	R(dB)
Kaiser	23	2	0.288	-18.988
Kaiser	33	2	0.201	-18.988
Kaiser	23	2	0.288	-18.988
Kaiser	23	4	0.438	-31.76

Şekil 3.6 ve 3.7 ile Tablo 3.3’den görüldüğü gibi, Kaiser penceresindeki iki bağımsız değişkenden biri olan pencere uzunluğu (N), pencere frekans spektrumunda analob genişliğini kontrol ederken, diğer bağımsız değişken olan α_k ise analob genişliği ile dalgalanma oranı arasındaki ilişkiyi kontrol etmektedir.

3.5.2.2. Dolph-Chebyshev Penceresi

Dolph tarafından önerilen ve Chebyshev polinomuna dayalı olan bu fonksiyon pencere uzunluğu ve dalgalanma oranı olmak üzere iki bağımsız değişkene sahiptir [9,73].

$$w[n] = \frac{1}{N} \left[\frac{1}{r} + 2 \sum_{i=1}^{(N-1)/2} T_{N-1} \left(x_0 \cos \frac{i\pi}{N} \right) \cos \frac{2ni\pi}{N} \right], \quad |n| \leq \frac{N-1}{2} \quad (3.37a)$$

Burada,

$$r = 10^{-R/20} \quad \text{ve} \quad x_0 = \cosh \left(\frac{1}{N-1} \cosh^{-1} \frac{1}{r} \right) \quad (3.37b)$$

şeklinde tanımlanır. $T_k(x)$ fonksiyonu ise birinci tür k. dereceden Chebyshev polinomu olup,

$$T_k(x) = \begin{cases} \cos(k \cos^{-1} x) & |x| \leq 1 \\ \cosh(\cosh^{-1} x) & |x| \geq 1 \end{cases} \quad (3.37c)$$

gibi yazılır. Dolph-Chebyshev penceresinin frekans spektrumu ise

$$W_{DC}(e^{jwT}) = T_{N-1} \left[x_0 \cos \left(\frac{wT}{2} \right) \right] \quad (3.38)$$

bağıntısı ile bulunur.

3.5.2.3. Saramaki Penceresi

Saramaki tarafından önerilen bu pencere fonksiyonuna ait tanımlar (3.39a)'da verilmiştir [11,73].

$$w_s(n) = \begin{cases} \hat{w}(n) / \hat{w}(0), & |n| \leq (N-1)/2 \\ 0 & \text{diğer yerlerde} \end{cases} \quad (3.39a)$$

Burada,

$$\hat{w}(n) = v_0(n) + 2 \sum_{k=1}^{(N-1)/2} v_k(n) \quad (3.39b)$$

$$v_0(n) = \begin{cases} 1 & n = 0 \\ 0 & \text{diğer yerlerde} \end{cases} \quad (3.39c)$$

$$v_1(n) = \begin{cases} \gamma - 1 & n = 0 \\ \gamma / 2 & |n| = 1 \\ 0 & \text{diğer yerlerde} \end{cases} \quad (3.39d)$$

$$v_k(n) = \begin{cases} 2(\gamma - 1)v_{k-1}(n) - v_{k-2}(n) + \gamma[v_{k-1}(n-1) - v_{k-2}(n-1)] & |n| \leq k \\ 0 & \text{diğer yerlerde} \end{cases} \quad (3.39e)$$

şeklinde tanımlanır. Saramaki penceresine ait frekans spektrumu ise,

$$W_s(e^{jwT}) = \frac{\sin\left[\frac{(2M+1)}{2} \cos^{-1}[\gamma \cos w + (\gamma - 1)]\right]}{\sin\left[\frac{1}{2} \cos^{-1}[\gamma \cos w + (\gamma - 1)]\right]} \quad (3.40)$$

bağıntısıyla bulunabilir.

3.5.2.4. Ultraspherical Penceresi

N uzunluklu ultraspherical pencere fonksiyonuna ait katsayı değerleri,

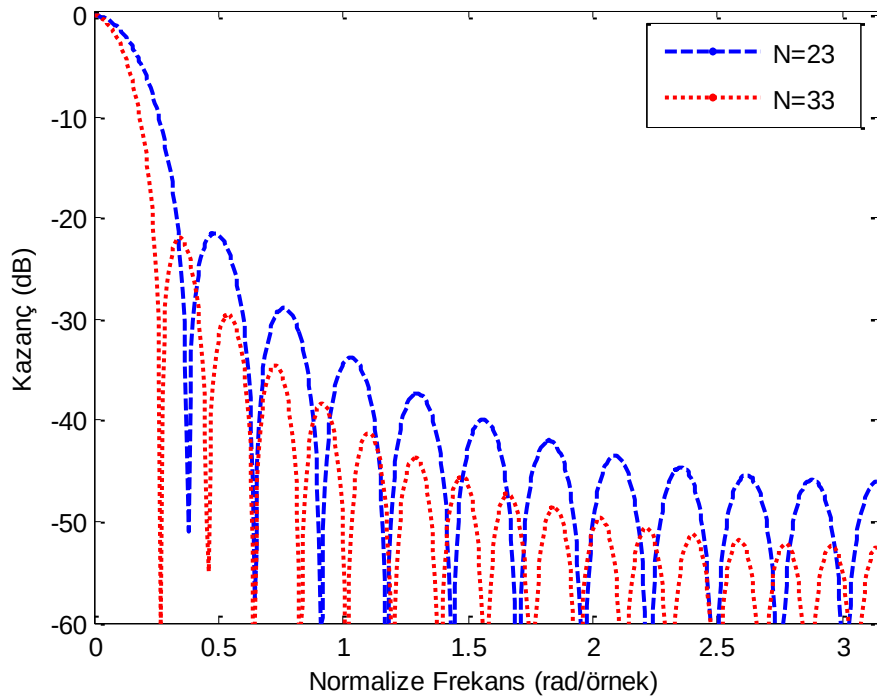
$$w(nT) = \frac{A}{p-n} \binom{\mu + p - n - 1}{p - n - 1} \sum_{m=0}^n \binom{\mu + n - 1}{n - m} \binom{p - n}{m} B^m \quad n = 0, 1, \dots, N - 1 \quad (3.41a)$$

şeklindedir. Burada,

$$A = \begin{cases} \mu x_\mu^p & \mu \neq 0 \text{ için} \\ x_\mu^p & \mu = 0 \text{ için} \end{cases}, \quad B = 1 - x_\mu^{-2}, \quad p = N - 1 \quad (3.41b)$$

olur. Ultraspherical pencere fonksiyonu μ , x_μ ve N olarak üç bağımsız değişkene sahiptir. Bu değişkenler yardımıyla ultraspherical penceresi, pencere spektral parametrelerinden analog genişliği, dalgalanma oranı ve yanlob azalma oranını kontrol edebilmektedir. Bağımsız değişkenlerden; μ : yanlob azalma oranını, x_μ : analog genişliği ve dalgalanma oranı arasındaki ilişkiyi, N : sabit pencere uzunluğu için farklı dalgalanma oranı veya tam tersini göstermektedir [73].

Sabit μ ve x_μ değişkenleri ile farklı pencere uzunluğu N değerine karşılık, ultraspherical pencerenin frekans spektrumu Şekil 3.8’de ilgili sayısal bilgiler ise Tablo 3.4’de verilmiştir.

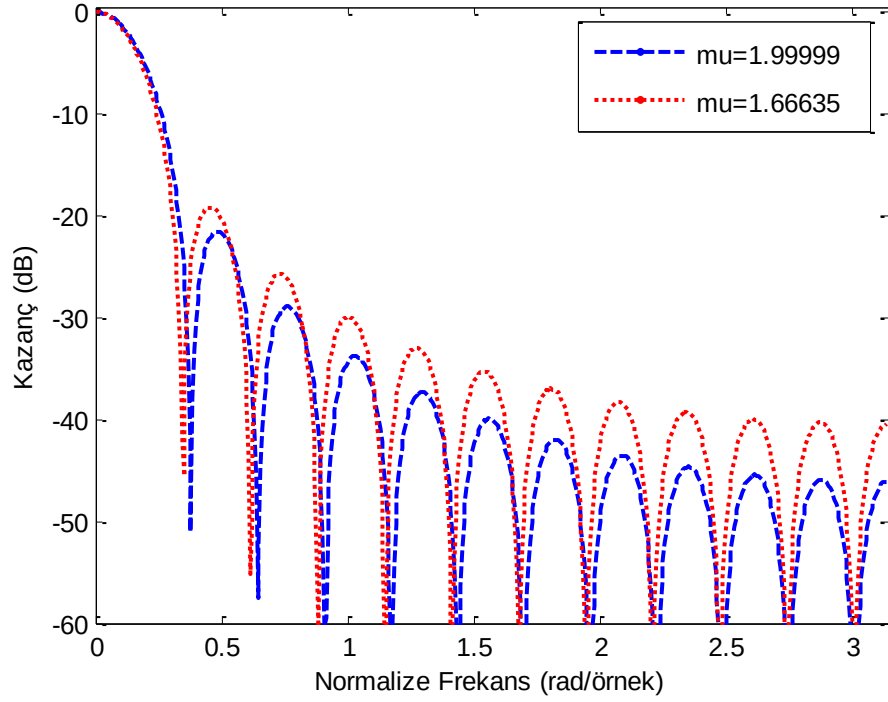


Şekil 3.8. Sabit $\mu=1.9999$, $x_\mu=1.00039$ için farklı N değerlerinin ultraspherical pencere frekans spektrumuna etkisi

Tablo 3.4. Farklı N değerleri için ultraspherical penceresi frekans spektrumu bilgileri

Pencere	N	μ	x_μ	R(dB)	w_R	S(dB)
Ultraspherical-1	23	1.99999	1.00039	-21.51	0.33	24.55
Ultraspherical-2	33	1.99999	1.00039	-22.02	0.24	30.51

Şekil 3.9’da ultraspherical penceresi bağımsız parametrelerinden μ değişkeninin frekans spektrumuna etkisi, Tablo 3.5’de ise sayısal bilgiler görülmektedir.



Şekil 3.9. Sabit, $N=23$, $x_\mu=1.00039$ için farklı μ değerlerinin Ultraspherical pencere frekans spektrumuna etkisi

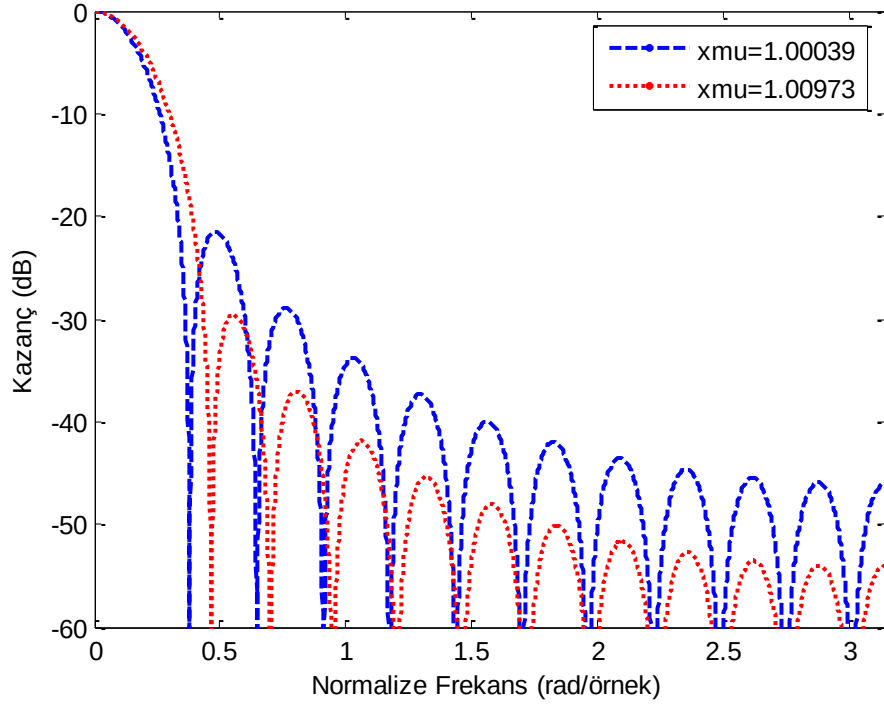
Tablo 3.5. Farklı μ değerleri için ultraspherical penceresi frekans spektrumu bilgileri

Pencere	N	μ	x_μ	R(dB)	w_R	S(dB)
Ultraspherical-1	23	1.99999	1.00039	-21.51	0.33	24.55
Ultraspherical-2	23	1.66635	1.00039	-19.17	0.30	21.33

Şekil 3.10, ultraspherical penceresi bağımsız parametrelerinden x_μ değişkeninin frekans spektrumuna etkisini göstermektedir. Tablo 3.6’da farklı x_μ değerleri kullanılarak elde edilen ultraspherical pencere fonksiyonuna ait frekans spektrumunun sayısal bilgiler verilmiştir.

Tablo 3.6. Farklı x_μ değerleri için ultraspherical penceresi frekans spektrumu bilgileri

Pencere	N	μ	x_μ	R(dB)	w_R	S(dB)
Ultraspherical-1	23	1.99999	1.00039	-21.51	0.33	24.55
Ultraspherical-2	23	1.99999	1.00973	-29.61	0.43	24.54



Şekil 3.10. Sabit, $N=23$, $\mu=1.99999$ için farklı x_μ değerlerinin Ultraspherical pencere frekans spektrumuna etkisi

Ultraspherical penceresi parametreleri olan μ , x_μ ve N ile istenen spektral parametreler olan yanlob azalma oranı, dalgalanma oranı ve analob genişliği arasındaki ilişki ise,

$$\hat{w}(nT) = w_u(nT) / w(CT) \quad (3.42a)$$

dir. Burada

$$C = \begin{cases} \frac{(N-1)}{2} & N \text{ tek için} \\ (N/2) - 1 & N \text{ çift için} \end{cases} \quad (3.42b)$$

şeklindedir. Denklem 3.41a'daki binom katsayı değerleri

$$\binom{\alpha}{0} = 1, \quad \binom{\alpha}{p} = \frac{\alpha(\alpha-1)\dots(\alpha-p+1)}{p!} \quad p \geq 1 \text{ için} \quad (3.43)$$

denklem 3.43 yardımıyla hesaplanabilir. Ultraspherical penceresine ait frekans spektrumu

$$W_0(e^{jwT}) = C_{N-1}^\mu \left[x_\mu \cos\left(\frac{wT}{2}\right) \right] \quad (3.44a)$$

şeklindedir. Burada $C_n^\mu(x)$ ultraspherical polinomu olup, denklem 3.44b kullanılarak hesaplanabilir.

$$C_r^\mu(x) = \frac{1}{r} \left[2x(r + \mu - 1)C_{r-1}^\mu(x) - (r + 2\mu - 2)C_{r-2}^\mu(x) \right] \quad r = 2, 3, \dots, n \text{ için} \quad (3.44b)$$

Burada $C_0^\mu(x) = 1$ ve $C_1^\mu(x) = 2\mu x$ dir.

Dolph-Chebyshev penceresi ultraspherical penceresinin $\mu=0$ için özel bir durumu olup,

$$W_{dc}(e^{jwT}) = T_{N-1} \left[x_0 \cos\left(\frac{wT}{2}\right) \right] \quad (3.45)$$

şeklinde tanımlanır. Denklem 3.45'te $T_n(x) = \cos(n \cos^{-1} x)$ birinci tür Chebyshev polinomudur.

Benzer şekilde Saramaki penceresi de $\mu=1$ için ultraspherical penceresinin özel bir durumudur ve

$$W_s(e^{jwT}) = U_{N-1} \left[x_1 \cos\left(\frac{wT}{2}\right) \right] \quad (3.46)$$

olarak tanımlanır. Burada

$$U_n(x) = \frac{\sin[(n+1)\cos^{-1} x]}{\sin(\cos^{-1} x)} \quad (3.47)$$

ikinci tür Chebyshev polinomudur.

Literatürde son yıllarda, Kaiser penceresi temel alınarak farklı ayarlanabilir pencere fonksiyonu önermeleri yapılmıştır [21-24,30-34].

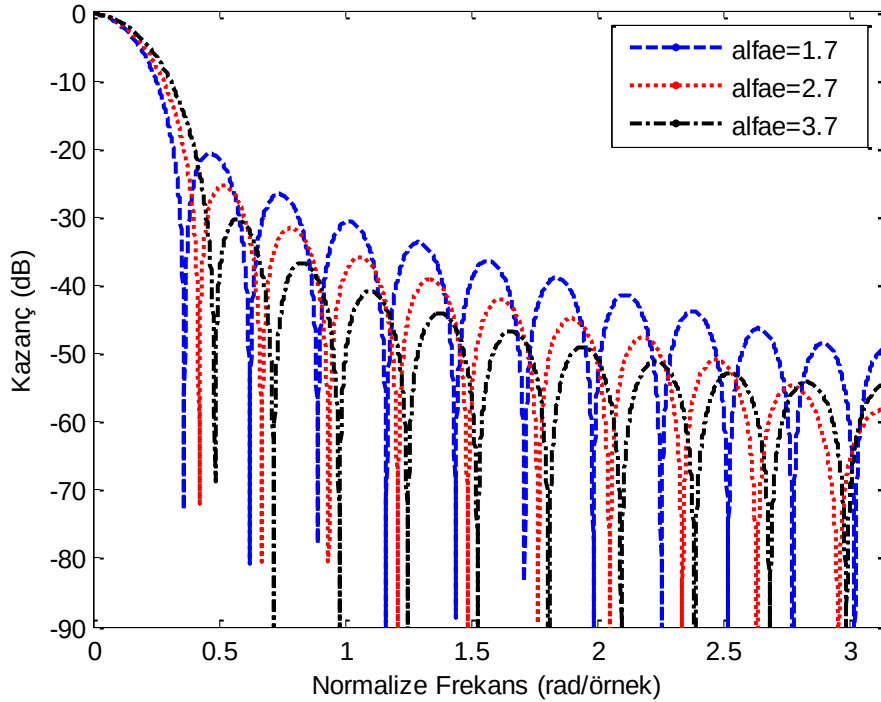
3.5.2.5. Üstel Pencere

Kaiser penceresi denklemi temel alınarak geliştirilen ayarlanabilir pencere fonksiyonu olan üstel pencere, Kaiser penceresinde sıfır dereceli birinci tür geliştirilmiş Bessel fonksiyonunun ($I_0(x)$) yerine üstel fonksiyonu yazılarak elde edilir [21].

$$w[n] = \begin{cases} \frac{\exp(\alpha_e \sqrt{1 - \left(\frac{2n}{N-1}\right)^2})}{\exp(\alpha_e)} & |n| \leq \frac{N-1}{2} \\ 0 & \text{diğer yerlerde} \end{cases} \quad (3.48)$$

Üstel pencere, N ve α_e şeklinde iki bağımsız değişkene sahiptir. Bu değişkenlerden pencere uzunluğu N , analob genişliğini; bağımsız değişken α_e ise analob genişliği ile dalgalanma oranı arasındaki ilişkiyi kontrol etmektedir. Öyle ki, α_e değerindeki artış, daha geniş analob genişliği ve küçük dalgalanma oranı karakteristiği sağlamaktadır.

Şekil 3.11, üstel pencere parametresi olan farklı α_e değerlerinin pencere frekans spektrumu üzerine etkisini gösterirken, ilgili sayısal bilgiler ise Tablo 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.11. Farklı α_e değerlerinin üstel pencere frekans spektrumu üzerine etkisi

Tablo 3.7. Farklı α_e değerleri ile elde edilen üstel penceresine ait bilgiler

Pencere	N	α_e	R(dB)	w_R	S(dB)
Üstel-1	23	1.7	-20.6	0.323	-28.74
Üstel-2	23	2.7	-25.19	0.387	-32.98
Üstel-3	23	3.7	-30.16	0.455	-24.42

3.5.2.6. Cosh Pencere

Bu pencere fonksiyonu da, üstel penceresine benzer olarak Kaiser penceresi temel alınarak geliştirilmiştir [23,33]. Cosh fonksiyonu,

$$\cosh(x) = \frac{e^x + e^{-x}}{2} \quad (3.49)$$

şeklinde tanımlanır. Cosh penceresi, Kaiser penceresindeki $I_0(x)$ fonksiyonu yerine benzer karakteristik gösteren cosh fonksiyonu yazılarak elde edilmiştir.

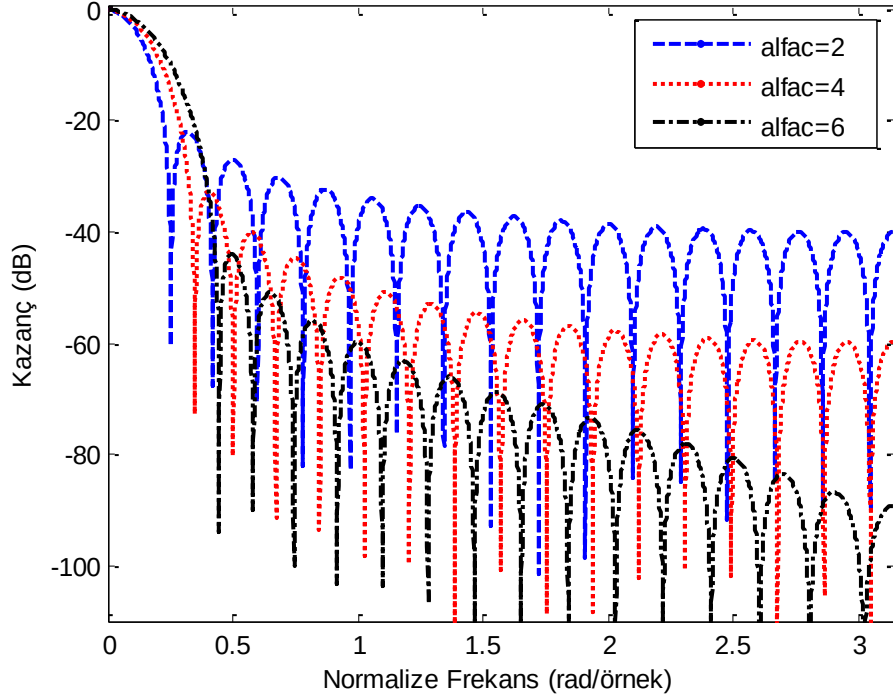
$$w[n] = \begin{cases} \frac{\cosh(\alpha_c \sqrt{1 - (\frac{2n}{N-1})^2})}{\cosh(\alpha_c)} & |n| \leq \frac{N-1}{2} \\ 0 & \text{diğer yerlerde} \end{cases} \quad (3.50)$$

Bu pencere fonksiyonu da üstel pencere gibi N ve α_c şeklinde iki bağımsız değişkene sahip olup, üstel pencerede olduğu gibi N analob genişliğini, α_c ise analob genişliği ile dalgalanma oranı arasındaki ilişkiyi kontrol etmektedir. Farklı α_c değerlerinin cosh penceresi frekans spektrumu üzerine etkisi Şekil 3.12’de gösterilmiştir. Elde edilen sayısal bilgiler ise Tablo 3.8’de verilmiştir.

Tablo 3.8. Farklı α_c değerleri ile elde edilen cosh penceresine ait bilgiler

Pencere	N	α_c	R(dB)	w_R	S(dB)
Cosh-1	33	2	-21.87	0.227	-18.22
Cosh-2	33	4	-32.82	0.329	-27.07
Cosh-3	33	6	-43.87	0.43	-45.38

Tablo 3.8’deki sayısal sonuçlar incelendiğinde, α_c değişkenindeki artışın geniş analob ve küçük dalgalanma oranı karakteristiği sağladığı görülmektedir.



Şekil 3.12. Farklı α_c değerlerinin cosh penceresi frekans spektrumu üzerine etkisi

3.5.2.7. Modifiye Edilmiş Cosh Penceresi

Geliştirilen bir diğer pencere fonksiyonu, cosh penceresine eklenen (ρ_{mc}) bağımsız değişkeni ile elde edilen modifiye edilmiş cosh penceresi, üç bağımsız değişkene sahiptir. Modifiye edilmiş cosh penceresine ait fonksiyon denklem 3.51’de verilmiştir [30].

$$w[n] = \begin{cases} \left(\frac{\cosh(\alpha_{mc} \sqrt{1 - \left(\frac{2n}{N-1}\right)^2})}{\cosh(\alpha_{mc})} \right)^{\rho_{mc}} & |n| \leq \frac{N-1}{2} \\ 0 & \text{diğer yerlerde} \end{cases} \quad (3.51)$$

N , α_c , ρ_{mc} şeklinde üç bağımsız değişkene sahip modifiye edilmiş cosh penceresindeki N ve α_c , cosh penceresinin frekans spektrumunda aynı spektral parametreleri kontrol etmektedir. Yeni eklenen bağımsız değişken ρ_{mc} ise diğer pencere spektral parametresi olan yanlob azalma oranını kontrol etmektedir. Bu değişken yardımıyla uygulamalarda gerek duyulduğunda cosh penceresinden daha iyi yanlob azalma oranı karakteristiği gösteren pencere frekans spektrumu elde edilebilir.

3.5.2.8. Modifiye Edilmiş Kaiser Penceresi

Modifiye edilmiş cosh penceresine benzer şekilde, Kaiser penceresine ilave edilen yeni değişken ρ_{mk} yardımıyla modifiye edilmiş Kaiser penceresi elde edilmiştir [31,32,34]. Modifiye edilmiş Kaiser penceresine ait zaman bölgesi fonksiyonu

$$w[n] = \begin{cases} \left(\frac{I_0(\alpha_{mk} \sqrt{1 - \left(\frac{2n}{N-1}\right)^2})}{I_0(\alpha_{mk})} \right)^{\rho_{mk}} & |n| \leq \frac{N-1}{2} \\ 0 & \text{diğer yerlerde} \end{cases} \quad (3.52)$$

şeklinde tanımlanır. Modifiye edilmiş Kaiser penceresi de modifiye edilmiş cosh penceresi gibi üç (N, α_k, ρ_{mk}) bağımsız değişkene sahiptir. Bu değişkenlerden ρ_{mk} 'nin pencere frekans spektrumundaki etkisi, modifiye edilmiş cosh penceresindeki ρ_{mc} değişkeninin etkisi ile aynıdır.

Görüldüğü gibi literatürde, farklı uygulamalar için farklı özelliklere sahip yeni pencere fonksiyonu önermeleri yapılmıştır. Ancak geliştirilen gerek iki parametrelili gerekse üç parametrelili pencere fonksiyonlarının birbirlerine göre bazı avantaj ve dezavantajları vardır. Literatürde önerilen iki ve üç parametrelili pencere fonksiyonları, genel olarak Kaiser penceresi denklemi temel alınarak geliştirilmiştir. Üç parametrelili olarak önerilen ultraspherical pencere fonksiyonu ise yanlob azalma oranı karakteristiği bakımından çok başarılı bir spektrum göstermektedir.

Dolayısıyla, önerilen yeni bir pencere fonksiyonundan Kaiser ve ultraspherical pencerelerinin iyi özelliklerini bir arada bulundurması istenmektedir. Ancak farklı özelliklere sahip bu iki pencere spektrumunu bir arada bulunduracak yeni bir zaman bölgesi fonksiyonunun geliştirilmesi oldukça zordur.

Son zamanlarda, doğaya ve insanoğluna ait bazı özellikler temel alınarak alternatif arama yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemler, çözülmesi zor olan mühendislik problemlerinin sonucuna ulaşılmasında kolaylıklar sağlamaktadır. Sonraki bölümde bu yöntemler anlatılacaktır.

4. AKILLI HESAPLAMA YÖNTEMLERİ

Son yıllarda, teknolojinin gelişmesine paralel olarak bilgisayarlar ve bilgisayar destekli sistemler hayatımızda önemli bir yer edinmiş ve vazgeçilmezler arasına girmiştir. Evimizdeki çamaşır makinesinden, kullandığımız cep telefonuna, fotokopi makinesinden arabamıza kadar pek çok cihazda bilgisayarlar bulunmaktadır. Benzer olarak bilgisayar destekli sistemlerden de sağlık, ticaret, tarım ve sanayi gibi farklı alanlarda faydalanılmaktadır. Önceleri uygulama alanlarında bilgisayarlar yüksek hızlarından dolayı yalnızca veriler arasında işlem yapmak ve sonuç almak için kullanılırken, son zamanlarda geliştirilen yeni yöntemler eklenerek bilgisayarlar artık elde edilen verileri özetleyebilen, veriler arasında ilişki kurabilen ve bu ilişkiler neticesinde sonuçları yorumlayabilen makineler haline gelmişlerdir [80].

Günümüzde, bilgisayarların veriler arasında ilişki kurma özelliğinden yararlanılarak, matematiksel olarak modellenmesi mümkün olmayan sistemlerin modellenmesinde veya çözümü çok zor ya da imkânsız olan sistemlerin sonuçlanmasında bilgisayarlar vazgeçilmez bir çözüm aracıdır. Genel olarak, bilgisayarlara bu özelliklerinin kazandırılmasını sağlayan çalışmalara yapay zekâ adı verilmektedir.

Yapay zekâ teknikleri ile donatılmış bir bilgisayar sistemi, eldeki verileri kullanarak olaylar arasında ilişkiler kurmakta ve gelecek yeni olaylar hakkında önceden tahminde bulunabilme özelliğine sahip olmaktadır. Bu özellikleri ile yapay zekâ, geçmiş zamanlardaki gibi sadece bilgi merkezi iken günümüzde bilim dalı haline gelmiş ve gün geçtikçe popülaritesi artarak devam etmektedir. Genel olarak yapay zekâ veya akıllı sistem olarak ifade edilen ve çözümünde klasik yöntemlerin yetersiz kaldığı veya çözüm için belirli bir algoritma ya da formülasyonun olmadığı problemlerin sonuçlandırılmasında kullanılan bu yöntemler, başarılı sonuçlar elde etmektedir. Klasik hesaplama yöntemlerinin yeterli olduğu problemlerde bilgisayarlar sonuca ulaşmada zaman açısından son derece başarılı olurken, formül ile modellenemeyen sistemlerin çözümünde geleneksel bilgisayar çözümleri yetersiz kalmakta ve bu gibi durumlarda yeterli bilgi ve metot ile donatılmış yapay zekâ tekniklerine sahip bilgisayar sistemleri başarılı sonuçlar elde edebilmektedir [80].

Bu özelliklerinden dolayı uzman sistemler, GA, YSA ve bulanık mantık gibi yapay zekâ teknikleri farklı alanlarda problemlerin çözümü için fazlaca kullanılmakta ve kullanılmaya da devam edilecektir.

Bu tez çalışmasında yapay zekâ tekniklerinden olan GA ve YSA yöntemleri, kullanışlı spektral parametrelere sahip bir ve iki boyutlu pencere fonksiyonlarının geliştirilmesinde kullanılmıştır.

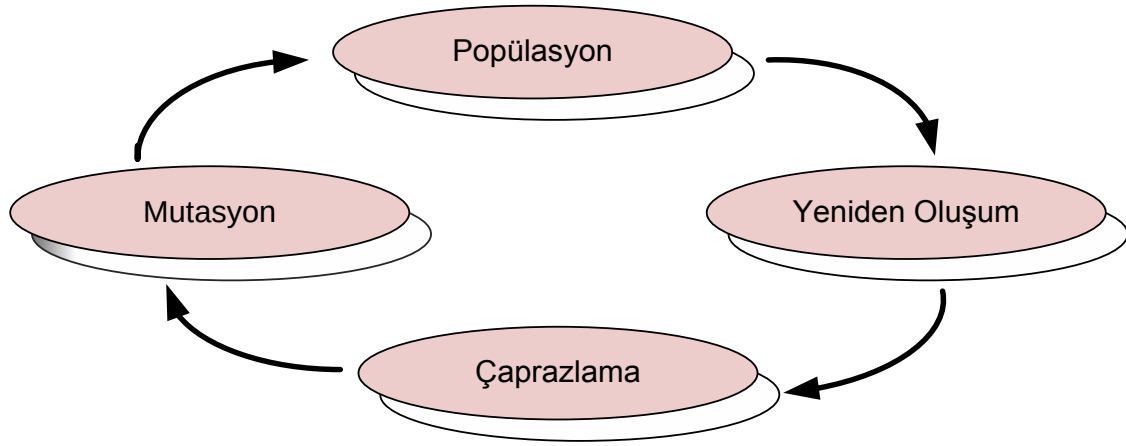
4.1. Genetik Algoritmalar

Evrimsel hesaplama yöntemlerinden biri olan GA, Darwin'in evrim teorisi modelinden esinlenerek meydana getirilmiştir. Evrimsel hesaplama, ilk olarak 1960'lı yıllarda I. Rechenberg'in "Evrimsel Stratejileri" adındaki çalışması ile gündeme gelmiştir. Evrimsel hesaplama genelde GA'yı, evrimsel stratejiyi ve genetik programlamayı kapsamaktadır. Evrimsel hesaplama içerisinde yer alan, evrimsel stratejiler ve GA'lar arasında bazı farklılıklar vardır. İkisi arasındaki en önemli fark, GA'ların çaprazlama ve mutasyon işlemlerini kullanırken, evrimsel stratejisinin sadece mutasyon işlemini kullanmasıdır. Ayrıca evrimsel stratejisi kullanıldığında problem içerisindeki verilerin kodlanmalarına gerek yoktur [46].

GA'ların günümüzde kullanılan biçimi, ilk olarak Michigan Üniversitesi'nden, psikolog ve bilgisayar bilimleri uzmanı J.H.Holland tarafından 1975 yılında ortaya konulmuştur [81]. En iyinin korunması ilkesine dayalı olan GA, doğal seçim ilkesinin benzetim yoluyla bilgisayarlara uygulanması ile elde edilen bir arama yöntemidir [46]. Bilinen bir GA programında, her bir birey önceden belirlenmiş sınırlı uzunluğa sahip ve kromozom adı verilen vektörler yardımıyla modellenir. İlk olarak rasgele veya çözüm hakkında bazı bilgiler biliniyorsa, o bilgilere göre seçilen ve belirli bir sayıda kromozom alınarak başlangıç popülasyonu (toplum) elde edilir. Bu başlangıç popülasyonu elde edildikten sonra, kromozomlar yeni nesiller elde etmek için bazı değişikliklere uğrarlar. Rasgele elde edilen popülasyon içerisindeki vektörün (birey, kromozom) iyiliği ölçülür. Yani kromozom önceden belirlenen uygunluk fonksiyonu içerisinde yazılarak, kromozomun uygunluk değeri hesaplanır. Elde edilen uygunluk değerine göre, bir sonraki neslin oluşumu için bazı kromozomlar yeniden üretilip çaprazlanır veya mutasyon işlemlerine uğratılırlar.

Tekrar seçilme, çaprazlama veya mutasyon işlemlerine uğratılacak olan kromozomlar tamamen rasgele seçilirler. Bu işlemlerde, kromozomlar uygunluk fonksiyonunda yerine konularak, bulunan yeniden seçilme ihtimaline göre yüksek olan kromozom doğal olarak daha fazla çaprazlama işlemine girer ve sonraki neslin içinde daha fazla bulunur. Değeri az olan kromozom ise sonraki neslin içinde az bulunur yada tamamen yok olur.

Basit olarak GA'nın evrimleşme döngüsü Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. GA çemberi

Şekil 4.1'de verilen ve en basit hali ile gösterilen GA aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır.

1. Adım: Kromozomlardan oluşan ve olası çözümlerin oluşmasını sağlayacak başlangıç popülasyonunun oluşturulması:

Algoritmada ilk olarak, programın çalışmasını sağlayan ve kromozomlardan oluşan popülasyon olarak tanımlanan topluluk oluşturulur. Araştırma yapmak amacıyla yazılan programlarda kullanılan GA'ların, başlangıç popülasyonları genellikle rasgele üretilir. Fakat problemle ilgili başlangıçta bazı çözümler biliniyorsa bu durumda, popülasyon tamamen rasgele olarak değil de bir kısmı bilinen değerler kullanılarak yapılmaktadır. Son yıllarda başlangıç popülasyonunun oluşturulmasında kromozomların arama uzayına düzgün dağılımını sağlayabilmek için geliştirilen çalışmalar mevcuttur [82-88]. Genel olarak yapılan bu çalışmalar GA'nın sonuca ulaşma süresini azaltmakta ve başarısını arttırmaktadır.

Gerek rassal gerekse bir kısmı bilinerek oluşturulan başlangıç popülasyonunun büyüklüğü, algoritmanın performansını etkileyen önemli bir etkidir. Popülasyon büyüklüğünün fazla seçilmesi, işlemlerin karmaşıklığını ve aramanın derinliğini arttıracaktır. Bu durum, çalışma zamanının uzamasına neden olacaktır. Tam tersi olarak popülasyonun az sayıda seçilmesi ise kromozomların çeşitliliğinde azalmaya neden olacağından, çözümün hassasiyetini etkileyecektir.

2. Adım: Popülasyon içerisinde yer alan kromozomların iyiliklerinin hesaplanması:

Popülasyon içerisinde yer alan kromozomların, ne kadar iyi olduklarını bulmak için kullanılan fonksiyona uygunluk fonksiyonu denir. Bu kısım GA programında özel çalışan tek kısımdır. Uygunluk fonksiyonu, popülasyon içerisindeki her bir bireyi problemin birer parametresi olarak değerlendirdiği için, bu fonksiyon kromozomların kodlarını çözer ve daha sonra hesaplama yaparak popülasyon içerisindeki kromozomların uygunluklarını hesaplar.

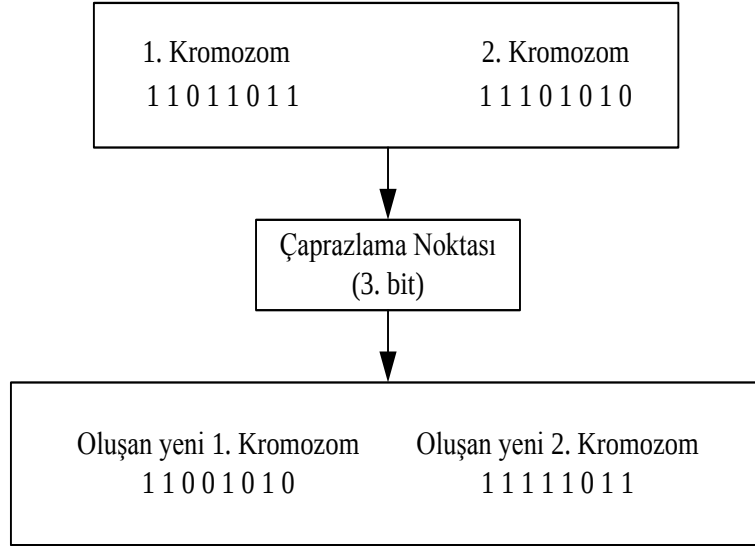
Elde edilen uygunluk değerlerine göre kromozomların yeni generasyonda olup olmayacaklarına karar verilir. Bütün popülasyonun uygunluk değerleri belirlendiğinde, sonuçlandırma kriterinin sağlanıp sağlanmadığına bakılır. Sonuçlandırma kriteri birkaç şekilde seçilebilmektedir. Bu seçeneklerden biri, istenilen generasyon sayısına ulaşılması olabileceği gibi, tüm topluluğun uygunluk değerinin en iyi çözümün uygunluk değerine oranının yeterli görülen bir değere ulaşması da olabilir [60]. Eğer istenilen bu iki kriterden biri sağlanamazsa genetik operatörler olan seçme, çaprazlama ve kopyalama işlemine devam edilir.

3. Adım: Rasgele seçilen kromozomların kendi aralarında eşlenerek çaprazlama veya mutasyon işlemlerine uğratılması:

GA'da kullanılan çaprazlama ve mutasyon işlemleri, yeni bireylerin oluşmasını ve aramanın daha geniş bir uzay bölgesinde yapılabilmesini sağlar. Bunlardan çaprazlama işlemi, belirli bir kurala göre kodlanmış iki farklı kromozom alınarak geliştirilen bir kurala göre, karşılıklı gen değişimi ilkesine dayanmaktadır. Literatürde farklı çaprazlama işlemi kullanımı ile ilgili olarak, ortogonal, yoğun, tek noktalı, iki noktalı, çok noktalı, uniform, maskeli, kenar sıralama, pozisyona dayalı, dairesel, sıraya dayalı, kısmi planlı, doğrusal sıralı, kuadratik, heuristik, arı, kaotik çaprazlama gibi çalışmalar bulunmaktadır.

En fazla tercih edilen ve en kolay uygulanan çaprazlama işlemi olan tek noktalı çaprazlama işlemi, ikili kodlanmış kromozomlar için seçilen iki kromozomda her defasında rasgele veya sabit seçilen bir çaprazlama noktasına göre karşılıklı olarak genlerin

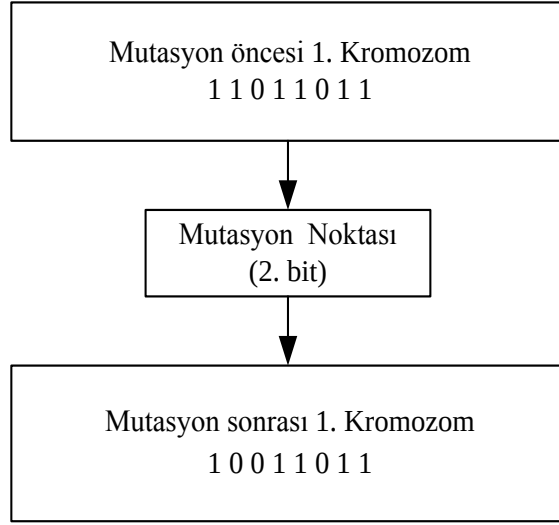
yer değiştirilmesi şeklinde yapılmaktadır. İkili kodlanmış kromozomlar için bu işlem Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. İkili kodlanmış kromozomlarda tek noktalı çaprazlama işlemi

GA’nın sonuca ulaşması için farklı bireylerin elde edilmesinde kullanılan bir diğer yöntem ise mutasyon işlemidir. Bu yöntem, aramanın belirli bir yerde takılmasını önlemek için kullanılmaktadır. Yeni birey oluşturmak için kullanılan çaprazlama işlemi sonrasında yeni bireylerin oluşmasının garantisi yokken, yani çaprazlama işlemi öncesi ve sonrasındaki kromozomlar aynı olabilirken, mutasyon işlemi sonrasında elde edilen yeni bireyin farklı olması garantidir. Bu durumda da popülasyona yeni eklenecek birey yardımıyla farklı arama noktaları oluşacaktır. Dolayısıyla, GA’nın sonuca ulaşmadaki başarısı artacak ve daha başarılı sonuçlar alınabilecektir. Literatürde mutasyon işlemi ile ilgili, transpozisyon, anti-simetrik transpozisyon, heuristik, ters çevirme, ekleme, gölge, doğrusal olmayan gibi çalışmalar bulunmaktadır.

GA programlarında mutasyon işlemi için en çok kullanılan yöntemde, ikili kodlanmış kromozomlar için rasgele seçilen kromozomda her defasında rasgele veya sabit bir noktadaki gen değerinin değişimi yapılmaktadır. Yani, seçilen kromozom içerisindeki seçilen gen değeri 0 iken 1 ya da 1 iken 0 yapılarak mutasyon işlemi gerçekleştirilmektedir. İkili kodlanmış kromozomlar için mutasyon işlemi Şekil 4.3’de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. İkili kodlanmış kromozomlarda tek noktalı mutasyon işlemi

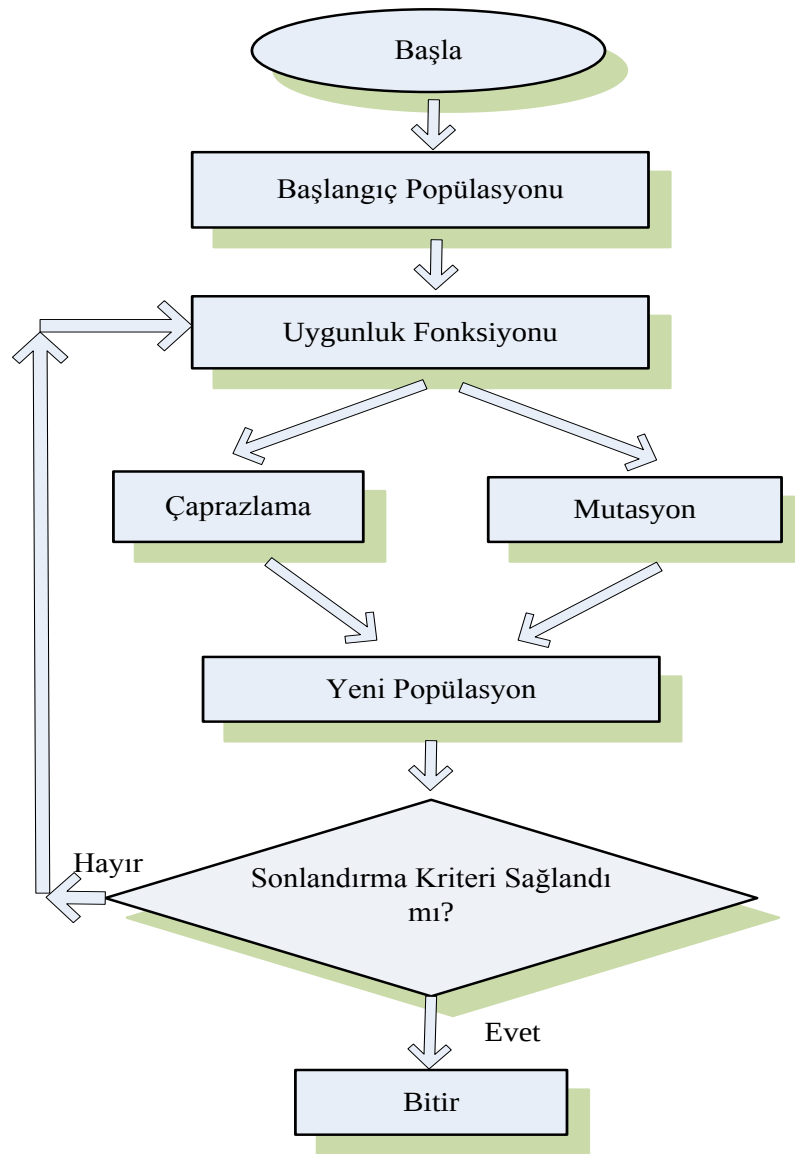
4. Adım: Çaprazlama neticesinde elde edilen yeni kromozomlar ile var olan eski kromozomlardan uygunluk değeri düşük olanlar çıkartılarak ilk baştaki başlangıç popülasyon sayısının sabit kalması sağlanır.
5. Adım: Elde edilen yeni popülasyondaki her bir kromozomun uygunluk değeri, yeniden uygunluk fonksiyonunda yerine yazılarak elde edilir.
6. Adım: Arama çeşitliliğinin artırılması için mutasyon işlemi kullanılır.
7. Adım: Bu işlemler, istenilen yakınsama sağlandığında veya önceden belirlenen generasyon sayısına ulaşıldığında sona erdirilir.

Yukarıda genel olarak oluşum adımları verilen GA, birçok yönden klasik optimizasyon yöntemlerinden farklılık göstermektedir. GA'yı klasik optimizasyon yöntemlerinden ayıran özellikler aşağıdaki gibidir:

- GA, bir arama noktası değil, bir grup arama üzerine çalışarak sonuca ulaşmaktadır. Böylelikle tek bir arama değil, bir arama uzayından arama yaparak aramanın yerel değil global olmasını sağlar.
- GA, kromozomların uygunluk değerlerine bakarken sadece amaç-uygunluk fonksiyonunu göz önüne alır. Böylelikle diferansiyel ve türevsel denklemlerle işlem yükünden kurtulur.
- Yeni nesillerin oluşması için gerekli olan seçme ve birleştirme işlemlerinde, deterministik kurallar değil olasılık kurallarını kullanır.

- Diğer metotlar doğrudan parametreler üzerinde işlemler yaparken, GA optimize edilecek parametreleri kodlayarak parametreler üzerinde değil de bu kodlar üzerinde çalışmaktadır.
- GA, olasılık kurallarına göre çalıştığı için önceden ne kadar iyi çalıştığı belirlenemez.

Yukarıda bahsedilen GA'ya ait uygulama adımlarının düzenli bir şekilde özetlenmiş hali olan ve Şekil 4.1'deki basit GA çemberinin biraz daha geliştirilmesiyle elde edilen GA'ya ait akış diyagramı Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4. GA'ya ait akış diyagramı

4.2. Yapay Sinir Ağları

YSA'da algılama, bilgiler arasında ilişki kurabilme ve verileri değerlendirerek farklı olaylar hakkında karar verebilme gibi özelliklere sahip muhteşem bir organ olan insan beyninin, nörofiziksel özelliklerinden yararlanılarak matematiksel olarak modellenmeye çalışılmıştır. İnsan beyninin taklit edilmesiyle elde edilen ve bilgisayarların standart algoritmik hesaplama yönteminden farklı olarak geliştirilen bu yeni yöntem YSA olarak isimlendirilir.

İnsan beyninin herhangi bir olay karşısındaki çözüm bulma yeteneği ve davranışının modellenmesi için tasarlanan YSA, farklı katmanlara sahip olup, bu katmanlardaki yapay sinir hücreleri çeşitli şekillerde birbirlerine bağlanırlar. Bu ağ yapısı ile YSA, tıpkı insan beyni gibi eğitim sonunda bilgiyi toplama, sahip olduğu yapay sinir hücreleri arasındaki bağlantı yardımıyla bilgiyi saklama ve sonuç olarak olayları değerlendirme gibi özellikleriyle yapay bir işlemci şeklinde davranma özelliklerine sahiptir [89,90].

YSA, aşağıda açıklanan doğrusal olmama, öğrenme, genelleme, uyarlanabilme gibi bazı özelliklere sahiptir.

Doğrusal olmama: YSA'nın oluşumunu sağlayan yapay sinir hücrelerinin doğrusal olmaması tüm ağın da doğrusal olmamasını sağlamakta, bu özellik doğrusal olmayan problemlerde YSA'nın sonuca ulaşmasında başarısını arttırmaktadır.

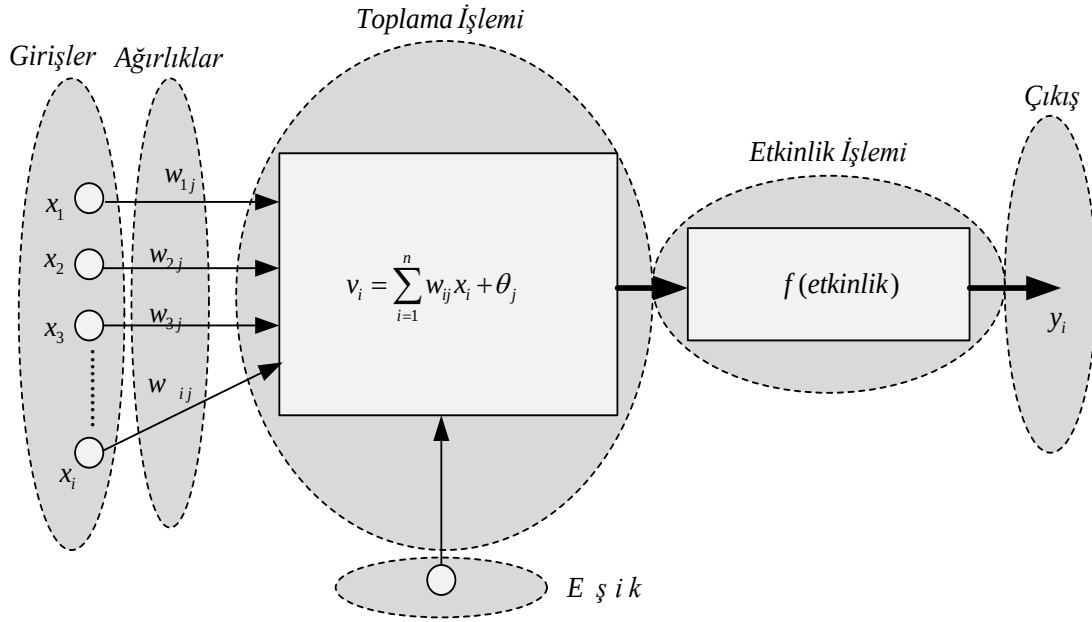
Öğrenme: YSA, yapısındaki hücreler arasındaki bağlantılar ile problemten aldığı örnekleri kullanarak problemi öğrenmektedir.

Genelleme: YSA, yalnızca eğitim sırasında verilen örnekleri değil sahip olduğu öğrenme özelliği yardımıyla eğitim verileri dışındaki test bilgilerini öğrenebilmekte ve bu özelliği ile de genellenebilmektedir.

Uyarlanabilme: Bu özellik ile YSA, eğitim işlemi tamamlandıktan sonra, girişine uygulanan farklı verileri tekrar işleyerek yeniden eğitebilmekte; böylece farklı problemlerin çözümünde başarılı olmaktadır.

Bu özelliklere sahip YSA, arıza analizi ve tespitinde, savunma, haberleşme, tıp, endüstri sanayisinde, otomasyon ve kontrol alanlarında, sinyal-görüntü işleme, sistem tanımlama gibi çok farklı uygulama alanlarında tercih edilmektedir.

YSA'ların en temel yapısını oluşturan yapay bir sinir hücresinin gösterimi Şekil 4.5'de verilmiştir.



Şekil 4.5. Basit bir sinir hücresi gösterimi

Şekil 4.5’den de görüldüğü gibi YSA’nın temelini oluşturan basit nöron yapısında, giriş değerleri her biri ağırlık ile gösterilen w değerleri ile çarpılır. Daha sonra, bu değerler eşik değeri olarak gösterilen θ_j ile toplanır ve nöron çıkışını oluşturmak için etkinlik fonksiyondan işlendikten sonra çıkış y_i değeri hesaplanır. YSA yapılarında, etkinlik işlemi için farklı etkinlik fonksiyonları kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan etkinlik fonksiyonları; lineer aktivasyon fonksiyonu, eşik aktivasyon fonksiyonu, sigmoid aktivasyon fonksiyonu, hiperbolik tanjant aktivasyonu gibi fonksiyonlardır [89,90]. Bunlardan lineer aktivasyon fonksiyonu;

$$F(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 0 \\ x & 0 < x < 1 \\ 1 & x \geq 1 \end{cases} \quad \text{veya} \quad F(x) = \begin{cases} -1 & x \leq -1 \\ x & -1 < x < 1 \\ 1 & x \geq 1 \end{cases} \quad (4.1)$$

şeklinde tanımlanır. Eşik aktivasyon fonksiyonu;

$$F(x) = \begin{cases} 1 & x \geq 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases} \quad \text{veya} \quad F(x) = \begin{cases} 1 & x \geq 0 \\ -1 & x < 0 \end{cases} \quad (4.2)$$

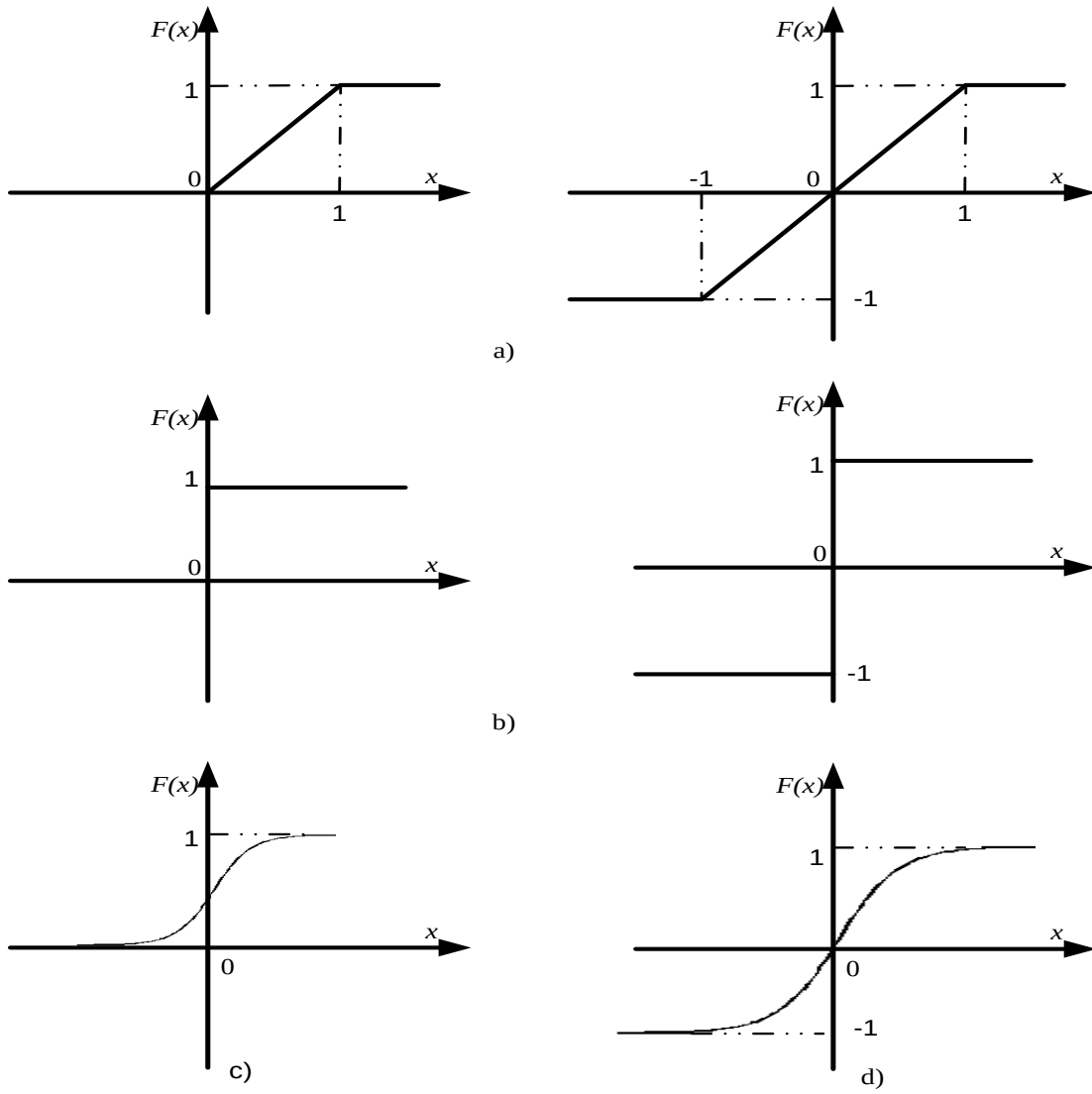
şeklinde tanımlanır. Sigmoid aktivasyon fonksiyonu;

$$F(x) = \frac{1}{1+e^{(-\alpha_x)}} \quad (4.3)$$

şeklindedir. Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu ise;

$$F(x) = \frac{1-e^{(-\alpha_x)}}{1+e^{(-\alpha_x)}} \quad (4.4)$$

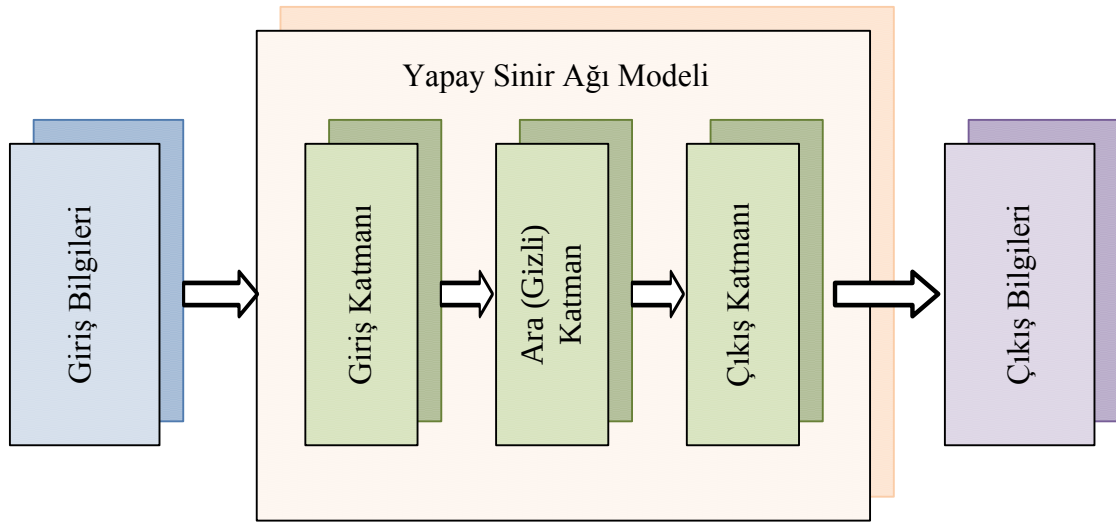
şeklinde tanımlanır. Bu fonksiyonların grafiksel gösterimleri Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6. Etkinlik fonksiyonları a) lineer aktivasyon fonksiyonu, b) eşik aktivasyon fonksiyonu, c) Sigmoid aktivasyon fonksiyonu d) Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu

4.2.1. Yapay Sinir Ağlarının Yapıları

En basit olarak yapay sinir hücresi modelinden faydalanılarak oluşturulan YSA’larda, sinir hücrelerinin belirli bir düzene göre bir araya gelmesiyle katmanlar, bu katmanların bir araya gelmesiyle de YSA meydana gelmektedir. Ara (gizli) katmanı olmayan ve sadece giriş ve çıkış katmanlarından meydana gelen bir YSA, karmaşık hesaplamaları yerine getirmede başarısız kalmaktadır. Dolayısıyla, karmaşık problemlerin çözümünü sağlayabilmesi için YSA’nın en az üç veya daha fazla katmandan oluşması gerekmektedir. Bu katmalar, giriş, ara ve çıkış katmanı olup, geliştirilen YSA modelinde daha fazla ara katman kullanılabilir [89,90]. Şekil 4.7’de genel olarak çok katmanlı YSA modelinin basit bir yapısı gösterilmiştir.



Şekil 4.7. YSA’nın katman yapısı ve bağlantıları

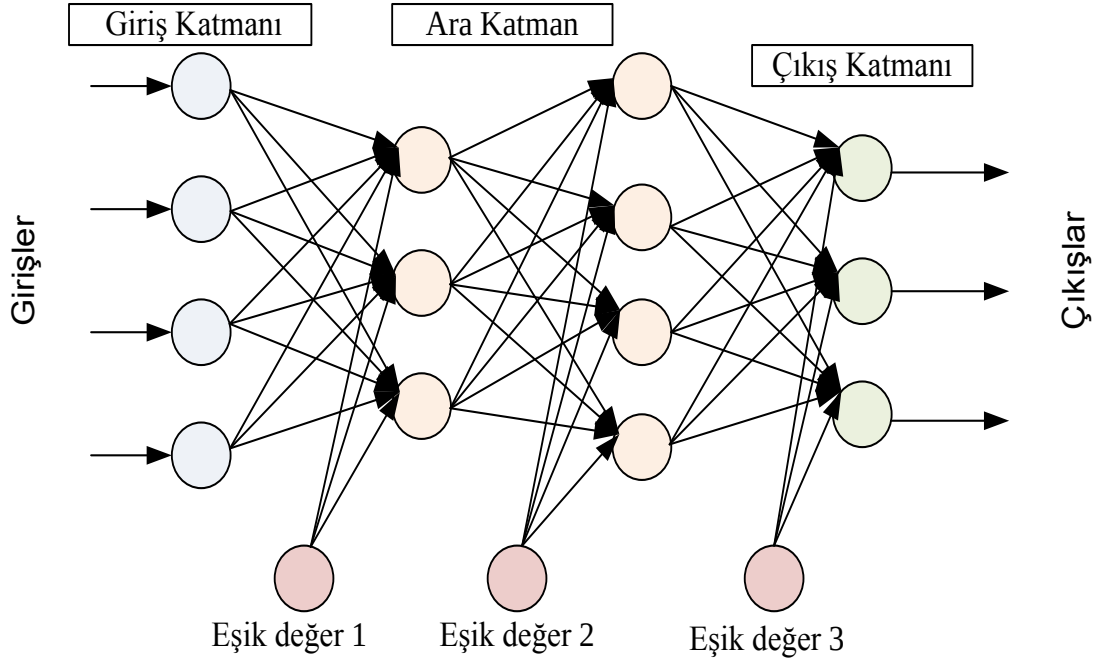
Şekil 4.7’de gösterilen YSA modelinde;

Giriş katmanı: Ağın dış dünyadan, çözeceği problem ile ilgili bilgileri almasını sağlayan kısmı oluşturmaktadır. Bu kısımdan alınan bilgiler, bazı ağ yapılarında herhangi bir şekilde bilgi işlemesi olmadan ara katmanlara aktarılır.

Ara katman: Giriş katmanından alınan bilgiler, bu katmanda işlenerek çıkış katmanına aktarılır. Bu katmanın sayısı, kullanılan YSA modeline göre birden fazla seçilebilir.

Çıkış katmanı: Bu katman, ara katmandan gelen bilgileri işleyerek YSA'nın girişine uygulanan örnek bilgilere ağıın vermesi gereken cevabı oluşturarak çıktı bilgilerini dış dünyaya aktarır [80,89,90].

Çok katmanlı ve her bir katmandaki işlem elemanlarının şematik gösterimi Şekil 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.8. Çok katmanlı YSA modeli

4.2.2. Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme

YSA yapılarında en fazla tercih edilen ağ yapısı, Çok Katmanlı Algılayıcı (ÇKA) yapısıdır. Genel olarak bu ağ yapılarında, perceptron, delta öğrenme, geri yayımlı, eğimli iniş, rekabete dayalı öğrenme, kendi kendine öğrenme gibi farklı öğrenme yöntemleri olmasına karşılık, en fazla tercih edilen YSA öğrenme yöntemi geri yayılım öğrenme yöntemidir. Bu öğrenme yöntemi, YSA'nın bulduğu çıkış ile arzu edilen çıkışlar arasındaki farkı en aza indirebilmek için hata değerinin geriye dönük ağırlıklara yayılması şeklinde yapılmaktadır.

Ağa sunulan giriş bilgileri için beklenen çıkış bilgileri ($B_1, B_2, \dots$) ile ağıın bulduğu çıkış bilgileri ($\hat{C}_1, \hat{C}_2, \dots$) arasındaki hata E_m ile gösterildiğinde, ağıa ait toplam hata miktarının bulunabilmesi için hata değerlerinin toplanması gerekmektedir. Bazı hata

değerlerinin negatif olabileceği düşünüldüğünde toplam hatanın sıfır olmaması için hatanın karesi hesaplanarak sonucun karekökü alınır.

$$TH = \frac{1}{2} \sum_m (B_m - E_m)^2 \quad (4.5)$$

YSA’da amaç, meydana gelen bu hata miktarını en aza indirebilmektir. Bunun için hata değerinin oluşmasına neden olan ağırlık değerlerine bu hata miktarı dağıtılır. Hatanın dağıtım işlemi, katmanlar arasındaki ağırlıklara şu şekilde yapılmaktadır [80].

- Ara katman ile çıktı katmanı arasındaki ağırlıklara hatanın yayılması,
- Ara katmanlar arası veya ara katman ile giriş katmanı arasındaki ağırlıklara hatanın yayılması.

Ara katman ile çıktı katmanı arasındaki ağırlıklara hatanın yayılması işlemi;

Ara katmandaki j. işlem elemanını çıkış katmanında bulunan m. işlem elemanına bağlayan ağırlıktaki değişim ΔA_{jm}^a şeklinde gösterilirse, herhangi bir t. iterasyonda değişim miktarı,

$$\Delta A_{jm}^a(t) = \lambda \delta_m \zeta_j^a + \alpha \Delta A_{jm}^a(t-1) \quad (4.6)$$

şeklinde hesaplanır. Denklem 4.6’da, λ : öğrenme katsayısını, α : momentum katsayısını göstermektedir. Bu değişkenlerden öğrenme katsayısı, YSA içerisindeki katmanlar arasındaki bağlantıları sağlayan ağırlıkların değişimini, momentum katsayısı ise YSA’nın öğrenme sırasında yerel bir optimum noktaya takılmasını önlemek için ağırlık değişim değerlerinin belirli bir oranda bir sonraki değişim değerine eklenmesini sağlamak için kullanılır. Eşik değerindeki δ_m , m. çıkış ünitesinin hata değerini temsil etmektedir ve denklem 4.7’deki gibi hesaplanır.

$$\delta_m = f'(NET).E_m \quad (4.7)$$

Burada $f'(NET)$, aktivasyon fonksiyonunun türevidir. Aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonunun kullanıldığı durumda,

$$\delta_m = \zeta_m(1 - \zeta_m).E_m \quad (4.8)$$

olacaktır. Ağırlıkların t. iterasyondaki yeni değerleri, değişim miktarları hesaplandıktan sonra bulunabilir. Bu durumda yeni değerler,

$$A_{jm}^a(t) = A_{jm}^a(t-1) + \Delta A_{jm}^a(t) \quad (4.9)$$

şeklinde olacaktır. Benzer olarak, eşik değerindeki değişim miktarı ve yeni iterasyon için ağırlık değerinin de hesaplanması gerekecektir. Eğer çıkış katmanında bulunan işlem elemanlarının eşik değer ağırlıkları β^c ile gösterilirse, bu ünitenin çıkışının sabit ve 1 olması nedeniyle değişim miktarı [80,89],

$$\Delta \beta_m^c(t) = \lambda \delta_m + \alpha \Delta \beta_m^c(t-1) \quad (4.10)$$

şeklinde hesaplanır. Eşik değerinin t. iterasyondaki alacağı yeni ağırlık değeri,

$$\beta_m^c(t) = \beta_m^c(t-1) + \Delta \beta_m^c(t) \quad (4.11)$$

denklem 4.11 yardımıyla hesaplanır.

Ara katmanlar arası veya ara katman ile giriş katmanı arasındaki ağırlıklara hatanın yayılması işleminde ise ara katman ile çıkış katmanı arasındaki ağırlıkların değiştirilmesi işleminde olduğu gibi giriş katmanı ile ara katman arasındaki ağırlıkların da benzer şekilde yenilenmesi ve hatanın bu ağırlıklara dağıtılması gerekmektedir. Giriş katmanı ile ara katman arasındaki ağırlıkların değişimi ΔA^i ile gösterilirse, bu değerdeki değişim;

$$\Delta A_{kj}^i(t) = \lambda \delta_j^a C_k^i + \alpha \Delta A_{kj}^i(t-1) \quad (4.12)$$

ile hesaplanır. Denklem 4.12'deki hata terimi olan δ^a ,

$$\delta_j^a = f'(NET) \sum_m \delta_m A_{jm}^a \quad (4.13)$$

ile bulunabilir. YSA eğitiminde aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanılırsa bu hata değeri,

$$\delta_j^a = C_j^a (1 - C_j^a) \sum_m \delta_m A_{jm}^a \quad (4.14)$$

şeklinde hesaplanır. Hata değeri hesaplandıktan sonra yeni ağırlık değerleri denklem 4.15 ile bulunur.

$$A_{kj}^i(t) = A_{kj}^i(t-1) + \Delta A_{kj}^i(t) \quad (4.15)$$

Eşik değerlerinin yeni değerleri de benzer şekilde bulunabilir. Ara katmandaki eşik değere ait ağırlık β^a ile gösterilirse, bu değerdeki değişim miktarı,

$$\Delta \beta_j^a(t) = \lambda \delta_j^a + \alpha \Delta \beta_j^a(t-1) \quad (4.16)$$

şeklinde olacaktır. Ağırlıkların t. iterasyondaki değerleri ise,

$$\beta_j^i(t) = \beta_j^i(t-1) + \Delta \beta_j^i(t) \quad (4.17)$$

ile hesaplanır. Böylece, YSA katmanlarındaki ağırlıkların hepsi yenilenmiş olur. Bir sonraki iterasyonda, ağırlık yeni örnek değerleri verilerek YSA'nın bilgileri öğrenmesi tamamlanıncaya kadar benzer işlemlere devam edilir.

5. KULLANIŞLI SPEKTRAL PARAMETRELİ BİR VE İKİ BOYUTLU PENCERE FONKSİYONLARININ AKILLI HESAPLAMA YÖNTEMLERİ YARDIMIYLA GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

5.1. Giriş

Bu bölümde akıllı hesaplama yöntemlerinden GA ve YSA kullanılarak bir ve iki boyutlu pencere fonksiyonu tasarımı gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçların, literatürde yaygın olarak tercih edilen Kaiser, ultraspherical, üstel ve cosh gibi pencere fonksiyonlarının genlik cevaplarındaki spektral parametreler açısından karşılaştırmaları yapılmıştır.

5.2. Bir Boyutlu Pencere Fonksiyonu Tasarımında GA Kullanımı

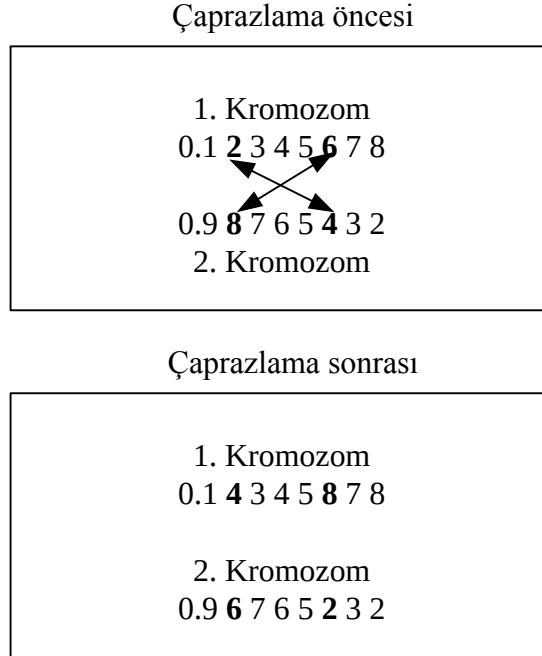
Pencere fonksiyonu tasarımıda kullanılan GA'nın başlangıç popülasyonunu oluşturan kromozom değerleri, pencere fonksiyonunun katsayı değerlerini temsil etmektedir. Dolayısıyla, GA programının çalışması sonucunda elde edilen en iyi çözüm içerisindeki kromozom değerleri, tasarlanmak istenen ve Kaiser ile ultraspherical pencerelerinin iyi özelliklerini bir arada bulunduracak yeni pencere fonksiyonunun katsayı değerleri olacaktır.

GA kullanımındaki amaç, arzu edilen pencere genlik cevabındaki kullanışlı spektral parametrelere sahip pencere fonksiyonu katsayı değerlerinin, alternatif optimizasyon yöntemleri ile hesaplanmasıdır. Bu amaçla kullanılan GA programındaki kromozom değerlerin kodlanması işleminde, pencere katsayı değerlerinin 0 ile 1 arasında olmasından dolayı değer kodlama yöntemi tercih edilmiştir [54,87,88,91]. Yöntemde kullanılan kromozomların kodlanması Şekil 5.1'de gösterilmiştir.

1. Kromozom 0.12345678
2. Kromozom 0.98765432

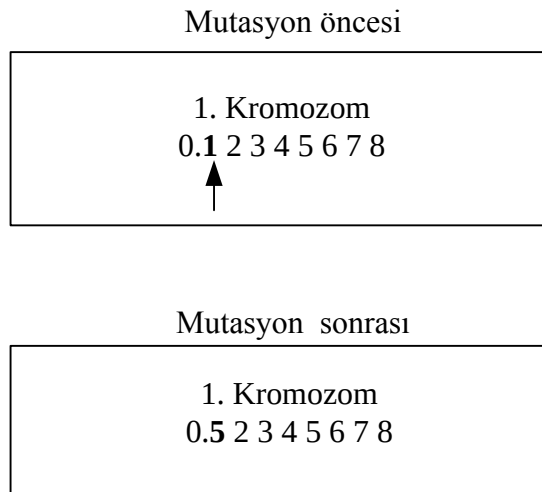
Şekil 5.1. Değer kodlanmış kromozom gösterimi

Değer kodlanmış kromozomlarda çaprazlama işlemi, her iki kromozomdan rasgele seçilen iki gen değerinin çapraz yer değiştirilmesi şeklinde yapılmaktadır. Bu durum Şekil 5.2’de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Değer kodlanmış kromozomlar için çaprazlama işlemi

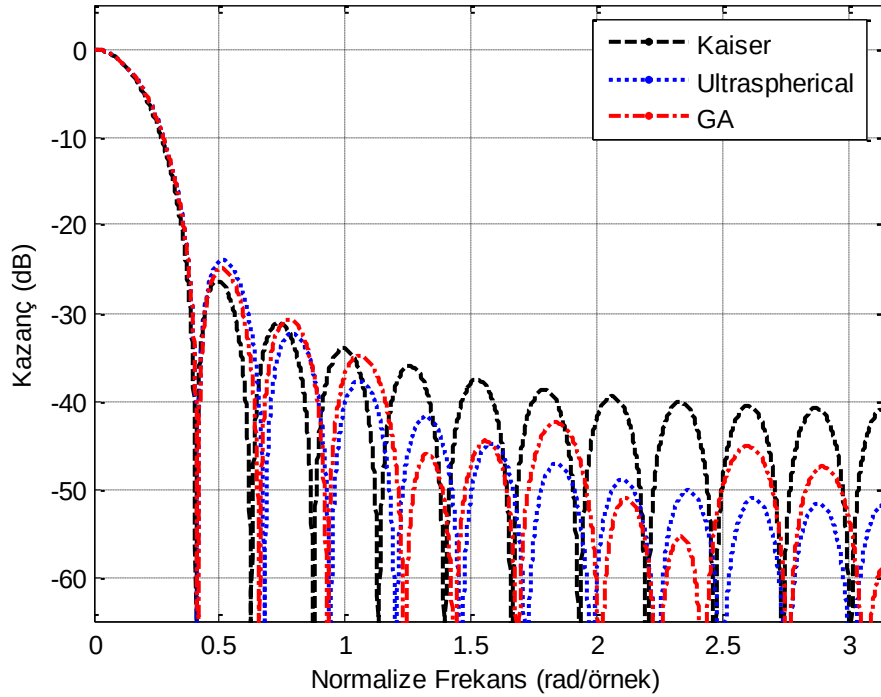
Mutasyon işlemi ise, değer kodlanmış kromozomdaki rasgele seçilen bir gen değerinin değiştirilmesi şeklinde yapılmaktadır. Değer kodlanmış kromozomlar için bu işlem Şekil 5.3’de gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Değer kodlanmış kromozomlar için mutasyon işlemi

Yapılan ilk karşılaştırma örneğinde Kaiser, ultraspherical ve GA yardımıyla elde edilen sonuçların spektrum karşılaştırmaları yapılmıştır.

Dar analog genişliği ve $N=23$ için, Kaiser, ultraspherical ve GA kullanılarak geliştirilen yöntemden elde edilen sonuçların spektrumları Şekil 5.4'te, ilişkili veriler ise Tablo 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.4. $N=23$ ve $w_R=0.374$ için GA sonucu, Kaiser ve Ultraspherical pencerelerinin genlik karşılaştırmaları

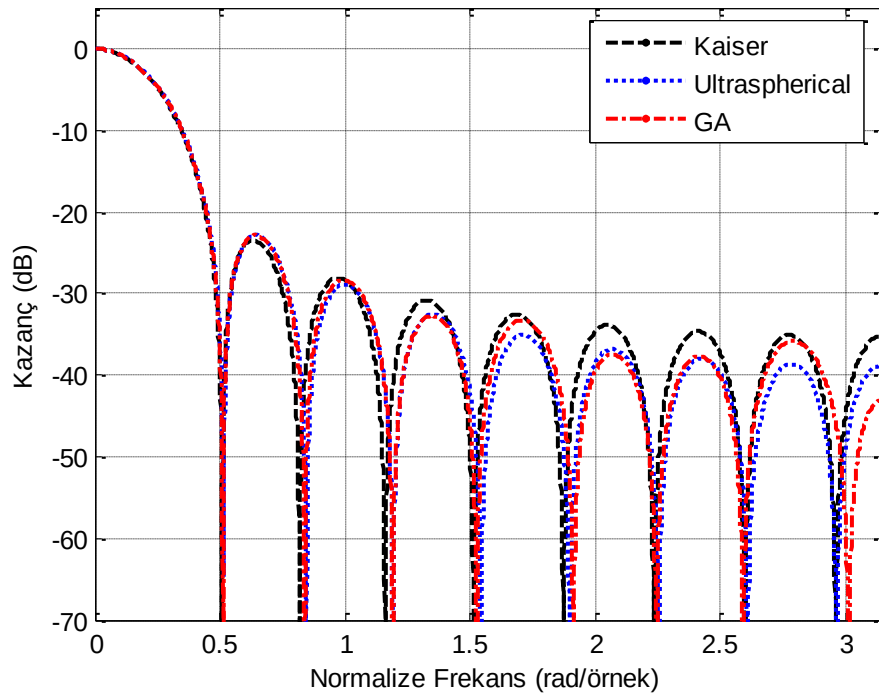
Tablo 5.1. Kaiser, Ultraspherical penceresi ve geliştirilen yöntem için elde edilen sayısal sonuçlar

Parametre	Pencere Türü		
	GA	Kaiser	Ultraspherical
N	23	23	23
α_k	-	3.2	-
w_R	0.374	0.374	0.374
S (dB)	34.11	14.54	27.79
R (dB)	-24.96	-26.39	-24

Şekil 5.4 ve Tablo 5.1'den görüldüğü gibi, pencere spektral parametrelerinden olan dalgalanma oranı bakımından en iyi karakteristiği Kaiser penceresi göstermektedir. Diğer spektral parametre olan yanlob azalma oranı bakımından ise, en iyi karakteristiği GA kullanılarak geliştirilen yöntem göstermektedir. Her üç pencere için de band genişliği sabit

ve $w_R=0.374$ alınmıştır. Geliştirilen yöntem, ultraspherical penceresinin spektral parametrelerinden hem daha iyi dalgalanma oranı hem de çok daha iyi yanlob azalma oranı karakteristiği göstermektedir. Bu karşılaştırma için ultraspherical pencere parametreleri $\mu=2.36318$ ve $x_\mu=1.00053$ 'dir.

Kaiser, ultraspherical ve GA kullanılarak geliştirilen yöntemden elde edilen değerler ile yapılan ikinci karşılaştırma, geniş analob genişliği ve farklı pencere uzunluğu açısından yapılmıştır. Aynı analob genişliği ve pencere uzunluğu ($N=17$ ve $w_R=0.4602$) için simülasyon sonuçları Şekil 5.5'de sayısal bilgiler ise Tablo 5.2'de verilmiştir. Ultraspherical pencere parametreleri $\mu=1.5151$ ve $x_\mu=1.0091$ 'dir.



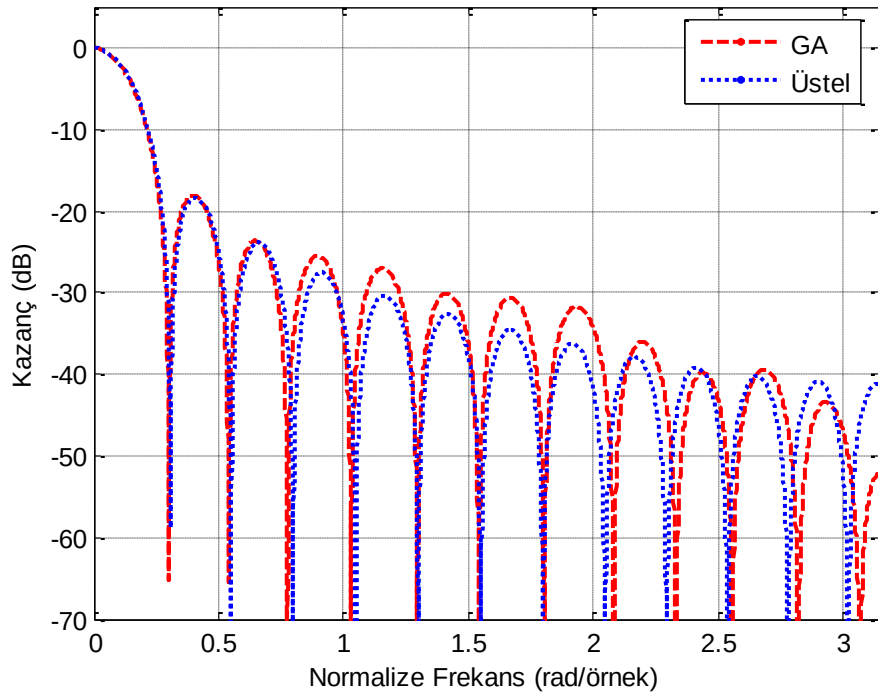
Şekil 5.5. $N=17$ ve $w_R=0.4602$ için GA sonucu, Kaiser ve Ultraspherical pencerelerinin genlik karşılaştırmaları

Tablo 5.2. Kaiser, Ultraspherical penceresi ve geliştirilen yöntem için elde edilen sayısal sonuçlar

Parametre	Pencere Türü		
	GA	Kaiser	Ultraspherical
N	17	17	17
α_k	-	2.7	-
w_R	0.4602	0.4602	0.4602
S (dB)	20.32	11.75	15.97
R (dB)	-22.9	-23.55	-22.9

Geniş analob genişliği ve sabit pencere uzunluğu için Şekil 5.5 ve Tablo 5.2 sonuçları, bazı uygulamalar [92] için önemli olan yanlob azalma oranı bakımından, geliştirilen yöntemin daha iyi sonuç verdiğini göstermektedir. Dalgalanma oranı bakımından ise Kaiser penceresi başarılı bir karakteristik göstermektedir.

Literatürdeki diğer kullanışlı spektral parametrelere sahip olan üstel penceresi ile yapılan spektrum karşılaştırması, daha dar analob genişliği için yapılmıştır. Elde edilen pencere frekans spektrumu Şekil 5.6’da, karşılaştırma ile ilgili sayısal sonuçlar ise Tablo 5.3’de verilmiştir.



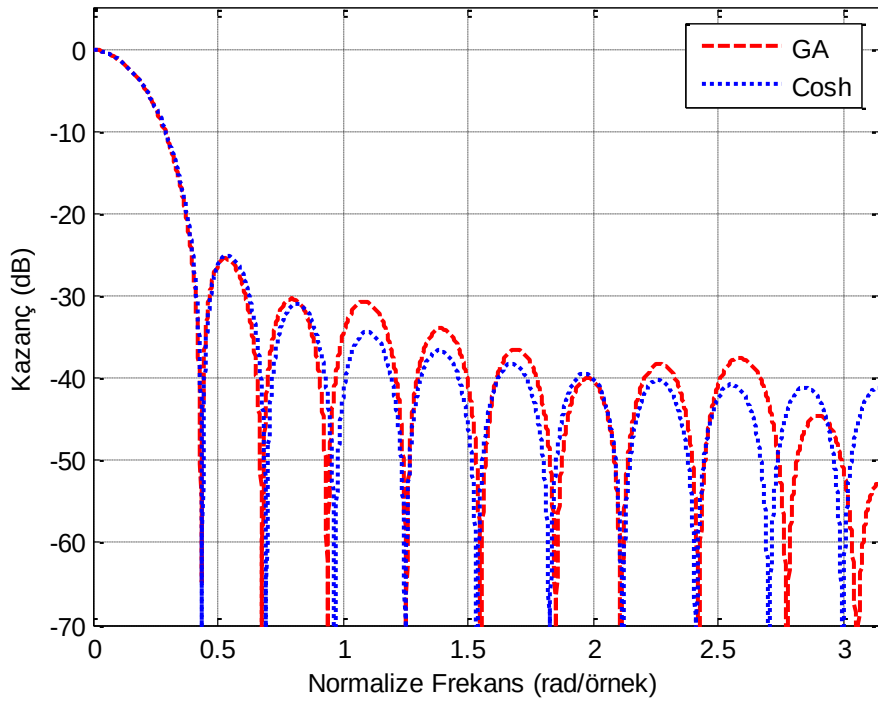
Şekil 5.6. $N=25$ ve $w_R=0.2638$ için GA ve üstel penceresinin genlik karşılaştırmaları

Tablo 5.3. Üstel penceresi ve geliştirilen yöntem için elde edilen sayısal sonuçlar

Parametre	Pencere Türü	
	GA	Üstel
N	25	25
α_e	-	1.2
w_R	0.2638	0.2638
R (dB)	-18.04	-18.36
S (dB)	34.31	22.8

Şekil 5.6 ve Tablo 5.3 sonuçları, daha dar analog genişliği için GA'nın üstel pencereden çok daha iyi yanlob azalma oranı karakteristiğine sahip olduğunu gösterir. Fakat üstel pencerenin dalgalanma oranı GA'dan biraz daha iyidir.

Bir başka spektral karşılaştırma ise dalgalanma oranı karakteristiği Kaiser penceresinden daha iyi olan cosh penceresi ile yapılmıştır. Karşılaştırma işlemi aynı analog genişliği ($w_R=0.3988$) için dalgalanma oranı ve yanlob azalma oranı bakımından yapılmıştır. Cosh penceresi ile yapılan karşılaştırma sonuçları Şekil 5.7'de, ilişkili veriler ise Tablo 5.4'de verilmiştir.



Şekil 5.7. $N=21$ ve $w_R=0.3988$ için GA ve cosh penceresinin genlik karşılaştırmaları

Tablo 5.4. Cosh penceresi ve geliştirilen yöntem için elde edilen sayısal sonuçlar

Parametre	Pencere Türü	
	GA	Cosh
N	21	21
α_e	-	2.45
w_R	0.3988	0.3988
R (dB)	-25.37	-25.08
S (dB)	27.46	16.11

Şekil 5.7 ve Tablo 5.4, GA'nın dalgalanma oranı bakımından cosh penceresinden daha iyi bir karakteristik sağladığını, yanlob azalma oranı bakımından ise GA'nın cosh penceresinden çok iyi bir performansa sahip olduğunu göstermektedir.

Dolayısıyla, hem dalgalanma oranı hem de yanlob azalma oranı bakımından, GA kullanılarak geliştirilen yöntemin daha başarılı olduğu söylenebilir.

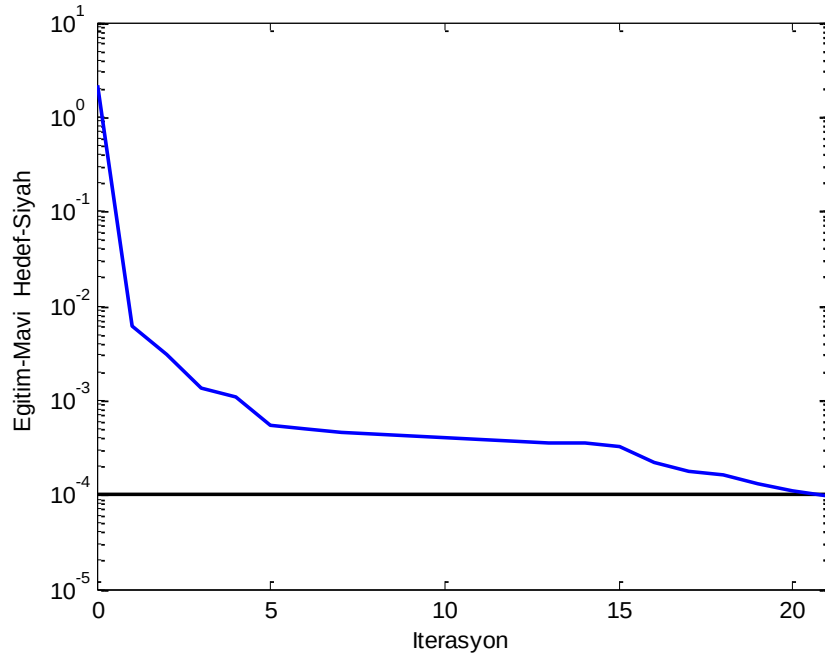
5.3. Bir Boyutlu Pencere Fonksiyonu Tasarımında YSA Kullanımı

Çözümü için belirli bir formülasyonu olmayan ya da çözümü çok zor olan problemlerin çözümünde ve sistemin modellenmesinde kullanılan YSA, bu tez çalışmasında kullanışlı spektral parametrelere sahip yeni pencere fonksiyonunun elde edilmesinde kullanılmıştır. Geliştirilen yeni pencere, Kaiser penceresinin analob genişliği ve dalgalanma oranı ile ultraspherical penceresinin yanlob azalma oranı karakteristiğini bir arada bulunduracak ve YSA ise bu özellikleri sağlayacak pencere katsayı değerlerinin elde edilmesinde kullanılacaktır.

Bu amaçla tez çalışmasında kullanılan YSA modeli giriş katmanı, iki tane ara katman ve çıkış katmanından meydana gelmektedir. Yapılan çalışmada, ağ girişi olarak ultraspherical pencere parametreleri olan μ , x_μ ile Kaiser parametresi olan α_k ve pencere uzunluğunu temsil eden N uygulanmıştır. Ara katman ise biri 16 diğeri 17 nörondan oluşan iki katman şeklinde tasarlanmıştır. Çıkış katmanı, istenilen özellikleri sağlayacak pencere katsayı değerleri olacaktır. Çalışmada kullanılan YSA modelindeki katman sayıları ve katmandaki nöron sayıları deneme yanılma yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır ve uygun olan ağ yapısı 4 katman (giriş katmanı + 2 ara katman + çıkış katmanı) olarak bulunmuştur.

YSA'nın eğitilmesi ve testi için 2500 veri kullanılmıştır. Bu verilerin %65'i eğitim, %35'i ise test için kullanılmıştır. Bu veri sayısı YSA'nın eğitimi ve test işlemi için uygun görülen sayılardır. Test için kullanılan veriler eğitim verileri dışından seçilerek YSA'ya uygulanmıştır.

Kullanışlı spektral parametrelere sahip pencere fonksiyonunun modellenmesi için tez çalışmasında kullanılan YSA eğitimi sırasında elde edilen grafik Şekil 5.8'de verilmiştir.



Şekil 5.8. YSA'nın eğitim hata grafiği

YSA kullanılarak geliştirilen pencere fonksiyonunun başarısını gösterebilmek için farklı pencere tipleri ve farklı özellikler için karşılaştırmalar yapılmıştır.

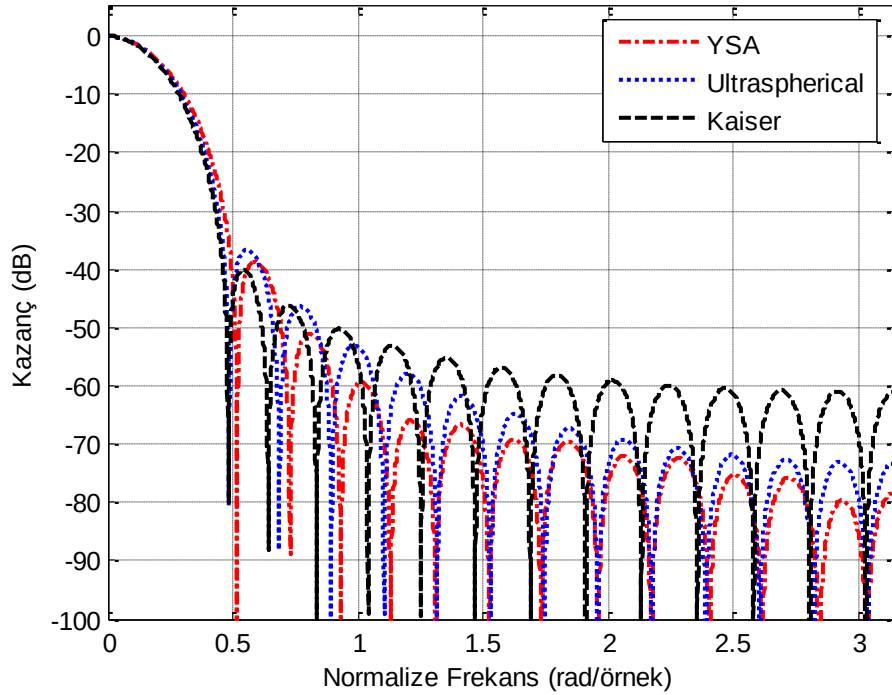
$N=21$ için Kaiser, ultraspherical ve YSA kullanılarak geliştirilen yöntemden elde edilen pencere fonksiyonunun spektral parametreler bakımından karşılaştırma sonuçları Şekil 5.9'da, grafiğe ait veriler ise Tablo 5.5'de verilmiştir.

Tablo 5.5. Kaiser, Ultraspherical penceresi ve geliştirilen yöntem için elde edilen sayısal sonuçlar

Parametre	Pencere Türü		
	YSA	Ultraspherical	Kaiser
N	27	27	27
α_k	-	-	5.35
w_R	0.4909	0.4602	0.4602
S (dB)	39.66	36.63	21.05
R (dB)	-38.65	-36.64	-40.05

Şekil 5.9 ve Tablo 5.5'den görüldüğü gibi Kaiser penceresi en iyi dalgalanma oranı karakteristiğine sahiptir. Diğer pencere spektral parametresi olan yanlob azalma oranı bakımından ise, en iyi karakteristiği YSA kullanılarak geliştirilen yöntem göstermektedir. Ancak analob genişliği açısından, geliştirilen yöntem Kaiser ve ultraspherical pencerelerine göre daha kötü bir davranış göstermektedir. YSA yardımıyla tasarlanan

pencere, ultraspherical penceresinden hem daha iyi dalgalanma oranı hem de çok daha iyi yanlob azalma oranı karakteristiği göstermektedir. Bu örnek için ultraspherical pencere parametreleri $\mu=2.99$ ve $x_\mu=1.00999$ 'dur.

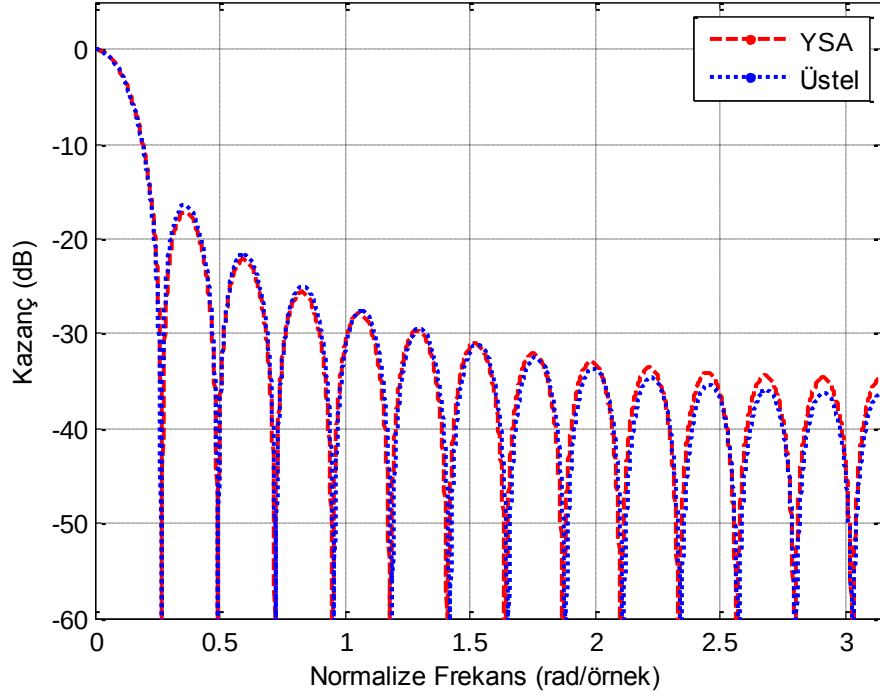


Şekil 5.9. $N=27$ için YSA, Ultraspherical ve Kaiser pencerelerinin genlik karşılaştırmaları

Bir başka spektrum karşılaştırma örneği, dar analog genişliği ve aynı pencere uzunluğu için geliştirilen yöntemden elde edilen sonuçlar ile literatürde iki parametrelilik olarak geliştirilen üstel pencere arasında yapılmıştır. Aynı pencere uzunluğu ($N=27$) ve daha dar analog genişliği için spektral karşılaştırma sonuçları Şekil 5.10'da, sayısal bilgiler ise Tablo 5.6'da verilmiştir.

Tablo 5.6. Üstel pencere ve geliştirilen yöntemden elde edilen sayısal sonuçlar

Parametre	Pencere Türü	
	YSA	Üstel
N	27	27
α_e	-	0.77
w_R	0.227	0.227
R (dB)	-17.16	-16.46
S (dB)	17.54	19.89



Şekil 5.10. $N=27$ için YSA ve Üstel pencerenin genlik karşılaştırmaları

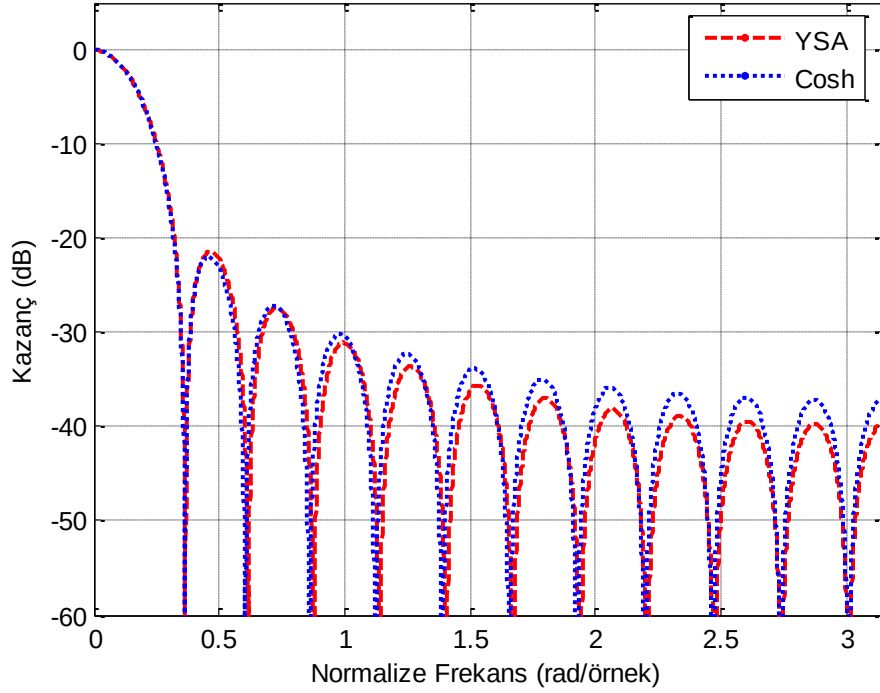
Şekil 5.10 ve Tablo 5.6 sonuçları, dar analog genişliği için YSA kullanılarak elde edilen pencere fonksiyonunun, üstel pencereden daha iyi dalgalanma oranı karakteristiğine sahip olduğunu göstermektedir. Fakat üstel pencere, YSA kullanılarak geliştirilen pencereden biraz daha iyi yanlob azalma oranı karakteristiğine sahiptir.

GA yardımıyla elde edilen pencere fonksiyonunda olduğu gibi, YSA kullanılarak geliştirilen pencere ile cosh pencere fonksiyonunun spektral karşılaştırmaları yapılmıştır. Spektrum karşılaştırması, aynı pencere uzunluğu ve analog genişliği ($w_R=0.326$) için yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 5.11’de, şekil ile ilişkili sayısal sonuçlar ise Tablo 5.7’de verilmiştir.

Tablo 5.7. Cosh ve geliştirilen yöntem için elde edilen sayısal sonuçlar

Parametre	Pencere Türü	
	YSA	Cosh
N	23	23
α_c	-	1.95
w_R	0.326	0.326
R (dB)	-21.42	-21.85
S (dB)	18.42	15.18

Şekil 5.11 ve Tablo 5.7, aynı analob genişliği ($w_R=0.326$) ve aynı pencere uzunluğu ($N=23$) için YSA kullanılarak geliştirilen pencere fonksiyonu ile Kaiser penceresi temel alınarak geliştirilen ve daha iyi yanlob azalma oranı karakteristiğine sahip olan cosh penceresinin spektral karşılaştırmalarını göstermekte ve ilgili sayısal sonuçları sunmaktadır.



Şekil 5.11. $N=23$, $w_R=0.327$ için YSA ve Cosh penceresinin genlik karşılaştırmaları

Sonuçlar, YSA yardımıyla geliştirilen pencerenin cosh penceresinden yanlob azalma oranı bakımından çok daha iyi bir karakteristik sağladığını fakat cosh pencerenin YSA kullanılarak geliştirilen pencereden dalgalanma oranı bakımından daha iyi bir karakteristiğe sahip olduğunu göstermektedir.

Dolayısıyla, YSA kullanılarak geliştirilen ve Kaiser penceresinin analob genişliği ve dalgalanma oranı karakteristiği ile ultraspherical penceresinin yanlob azalma oranı karakteristiğini bir arada bulunduran bu yeni pencere fonksiyonu, literatürdeki pencere fonksiyonlarına göre dalgalanma oranı ve yanlob azalma oranı karakteristiklerinden daha başarılı sonuçlar sağlamıştır. Bu nedenle bu özelliklerin gerektiği uygulamalar için YSA yardımıyla geliştirilen pencere fonksiyonunun kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

5.4. İki Boyutlu Pencere Fonksiyonu Tasarımında GA ve YSA Kullanımı

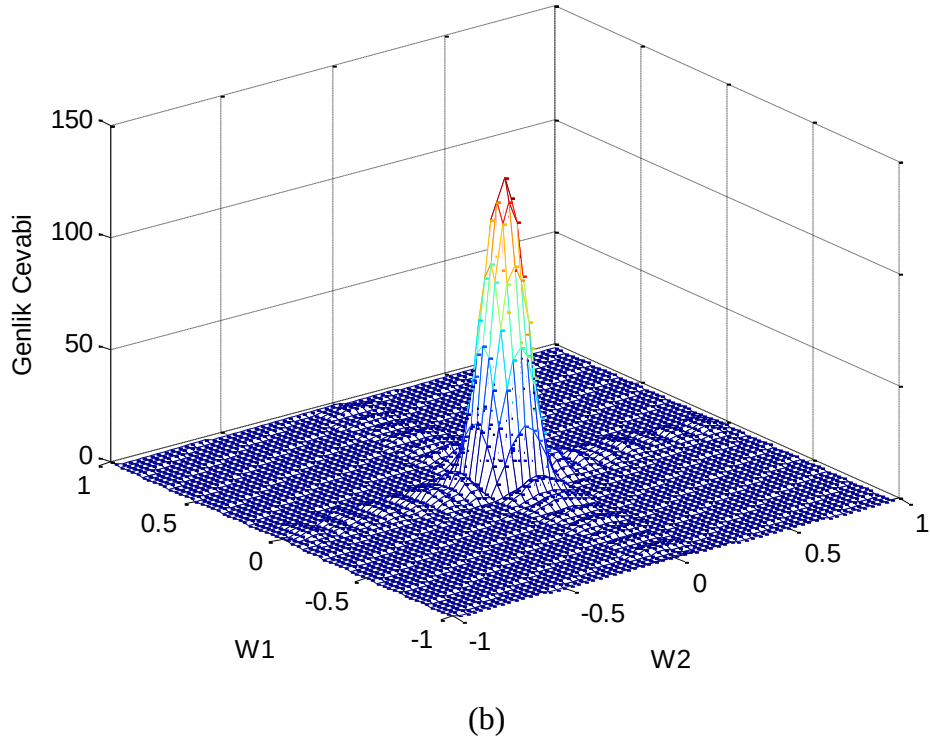
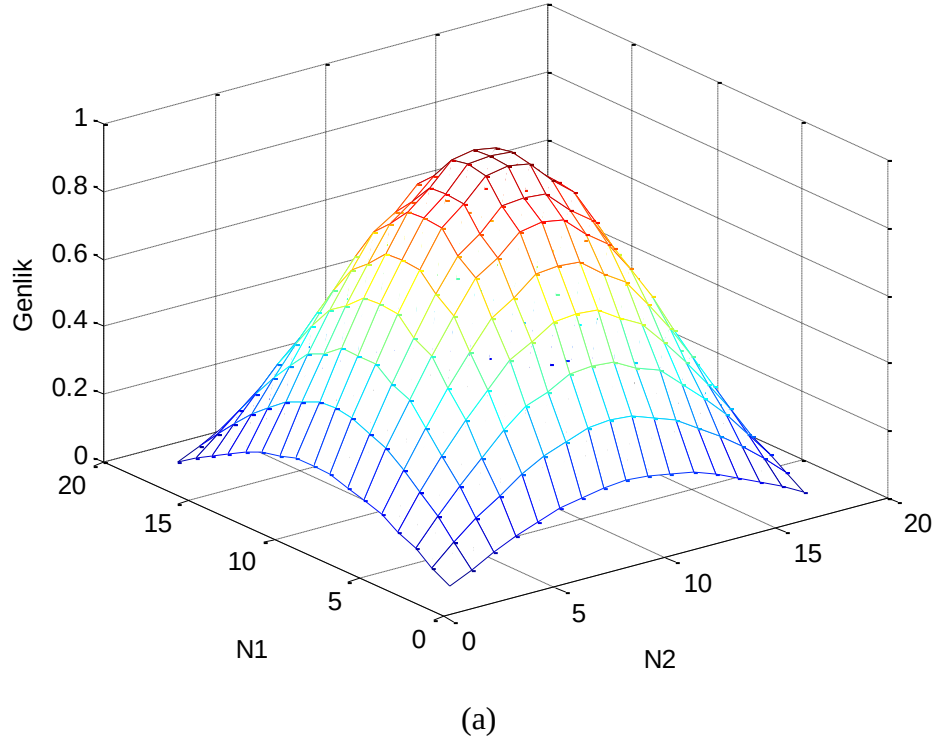
İki boyutlu pencere fonksiyonu tasarımında en çok kullanılan yöntem Huang [35] tarafından önerilmiştir. Bu yöntemde, iyi özelliklere sahip bir boyutlu pencere fonksiyonu ile dairesel simetrik özelliğine sahip iki boyutlu pencere fonksiyonunun tasarımı yapılmaktadır. Bu tez çalışmasında da Kaiser ve ultraspherical pencere fonksiyonlarının iyi özelliklerini bir arada bulunduran yeni pencere fonksiyonu kullanılarak iki boyutlu pencere fonksiyonunun tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Tasarlanan iki boyutlu pencere fonksiyonu, ayrılabilir iki özdeş bir boyutlu pencere fonksiyonundan oluşabileceği gibi, farklı iki pencere fonksiyonundan da meydana gelebilir. Hangi yöntem kullanılarak iki boyutlu pencere fonksiyonu tasarlanmış olursa olsun, sonuçta tasarlanan iki boyutlu pencere fonksiyonu kendisini oluşturan bir boyutlu pencere fonksiyonlarının özelliklerini taşıyacaktır. Yani, iki boyutlu pencere fonksiyonu iki tane analob genişliğini kontrol eden değişkene, iki tane dalgalanma oranını kontrol eden değişken parametresine ve iki tane de yanlob azalma oranını kontrol eden bağımsız değişkene sahip olacaktır.

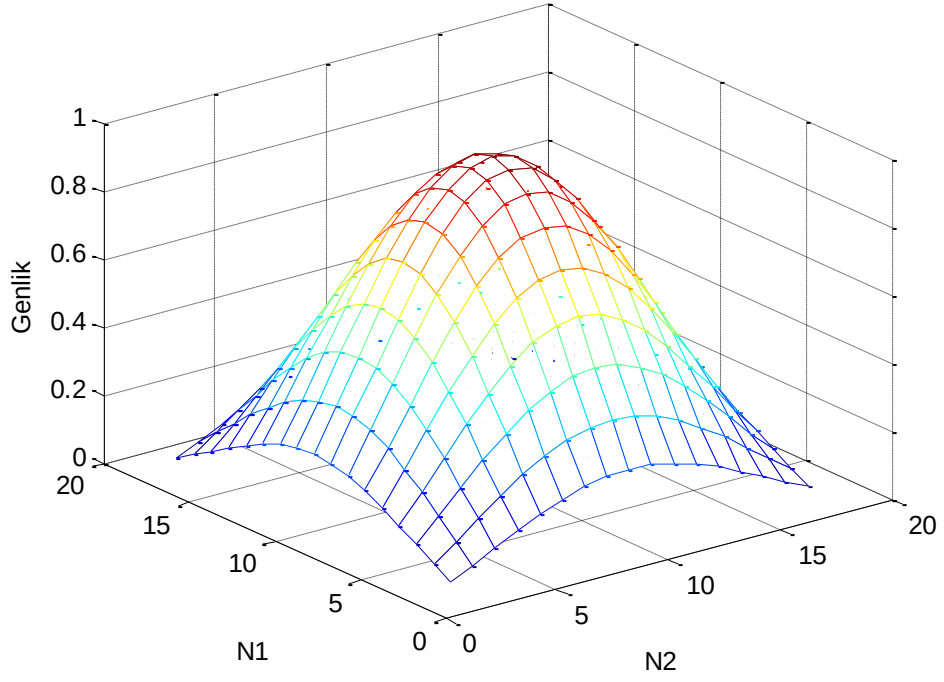
Bir boyutlu ve GA kullanılarak geliştirilen yeni iki özdeş bir boyutlu pencere fonksiyonu yardımıyla, iki boyutlu pencere fonksiyonu elde edilmiş ve bu pencereye ait genlik ve frekans cevapları Şekil 5.12’de verilmiştir. Yeni pencere fonksiyonunun tasarımında kullanılan Kaiser ve ultraspherical pencereleri ile tasarlanan iki boyutlu pencere fonksiyonunun genlik ve frekans cevapları ise sırasıyla Şekil 5.13, 5.14’te verilmiştir. Tasarlanan iki boyutlu pencere fonksiyonunun oluşumunu sağlayan bir boyutlu pencere fonksiyonlarına ait özellikler ve spektral parametreleri ise Tablo 5.8’de verilmiştir. Ultraspherical pencere parametreleri $\mu=1.5151$ ve $x_\mu=1.0091$ ’dir.

Tablo 5.8. İki boyutlu pencere fonksiyonu tasarımında kullanılan bir boyutlu pencere fonksiyonlarına ait özellik ve spektral parametreler

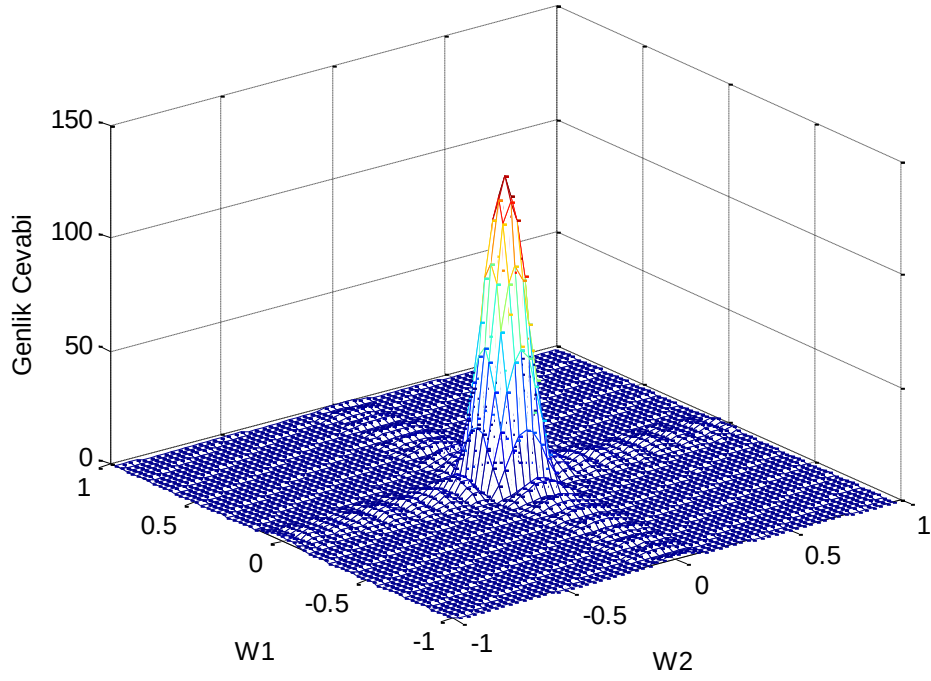
Parametre	Pencere Türü		
	GA	Kaiser	Ultraspherical
N	17	17	17
α_k	-	2.7	-
w_R	0.46	0.46	0.46
R (dB)	-22.91	-23.55	-22.91
S (dB)	20.29	11.75	15.95



Şekil 5.12. GA kullanılarak elde edilen iki boyutlu pencere fonksiyonunun (a) genlik (b) frekans cevabı gösterimi

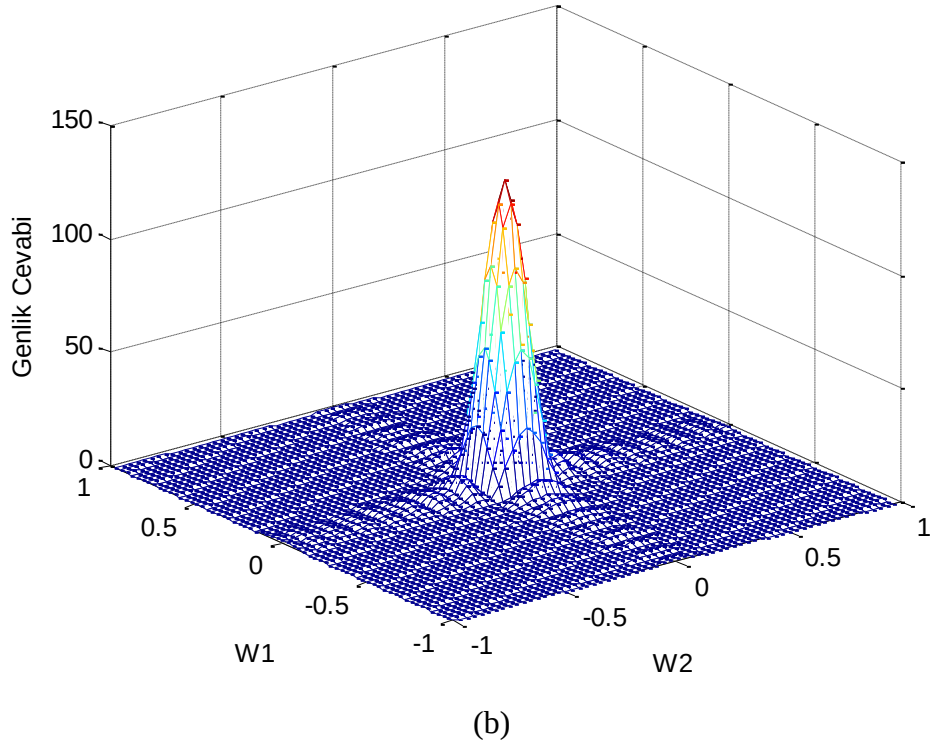
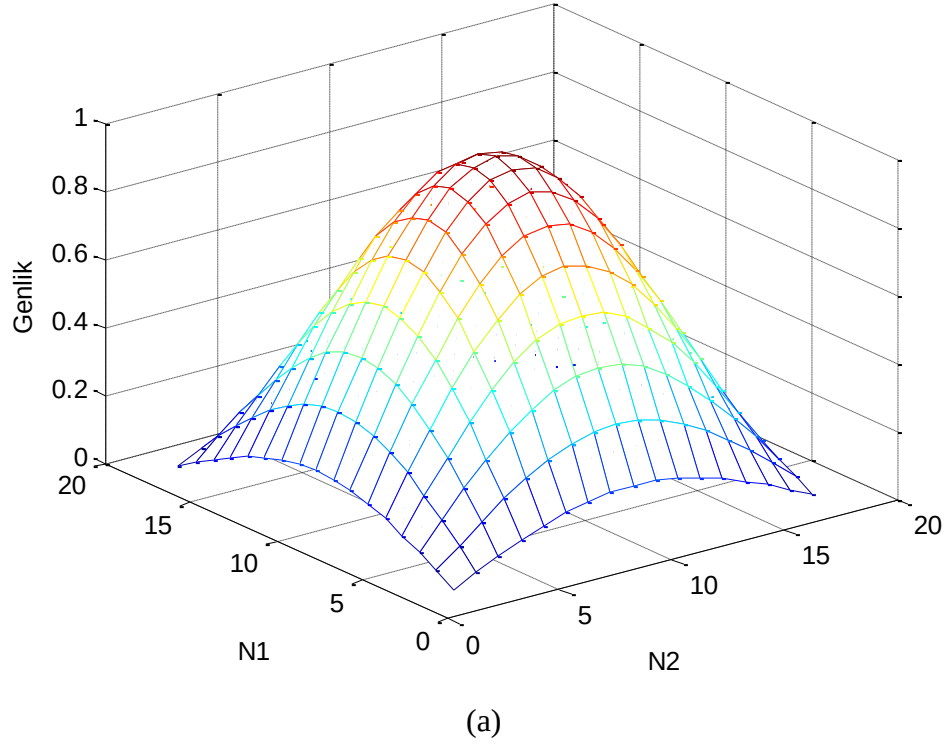


(a)



(b)

Şekil 5.13. Kaiser penceresi kullanılarak elde edilen iki boyutlu pencere fonksiyonunun (a) genlik (b) frekans cevabı gösterimi

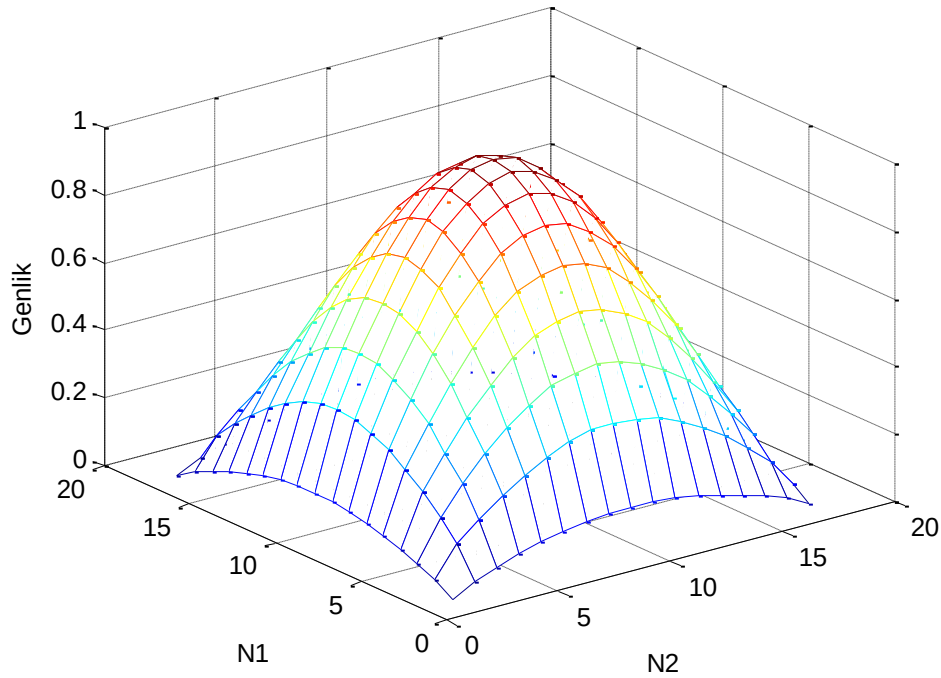


Şekil 5.14. Ultraspherical penceresi kullanılarak elde edilen iki boyutlu pencere fonksiyonunun
(a) genlik (b) frekans cevabı gösterimi

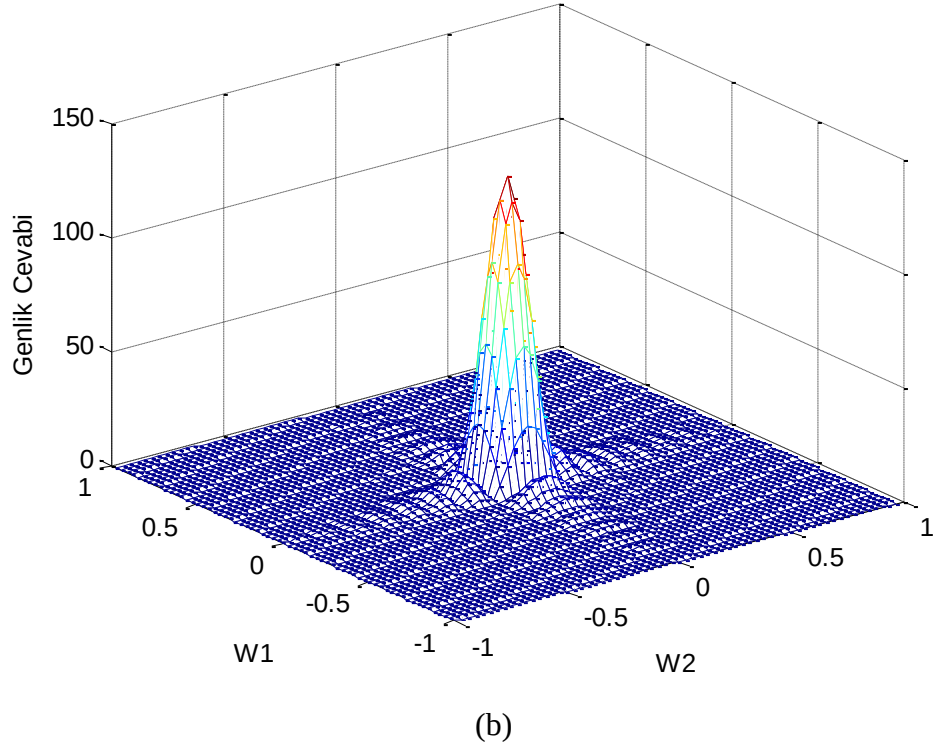
GA kullanılarak tasarlanan bir boyutlu pencere fonksiyonu yardımıyla elde edilen iki boyutlu pencere fonksiyonunun, literatürde yaygın olarak kullanılan ve çeşitli spektral parametreler bakımından Kaiser ve ultraspherical pencerelerinden daha iyi karakteristik gösteren üstel ve cosh pencereleri ile genlik karşılaştırmaları yapılmıştır. Üstel ve cosh pencereleri kullanılarak elde edilen iki boyutlu pencere fonksiyonlarının genlik ve frekans cevapları sırasıyla Şekil 5.15 ve 5.16’da verilmiştir. İki boyutlu pencere fonksiyonu tasarımı için kullanılan üstel ve cosh pencerelerine ait özellik ve spektral parametreler ise Tablo 5.9’da verilmiştir.

Tablo 5.9. İki boyutlu pencere fonksiyonu tasarımında kullanılan üstel ve cosh pencere fonksiyonlarına ait özellik ve spektral parametreler

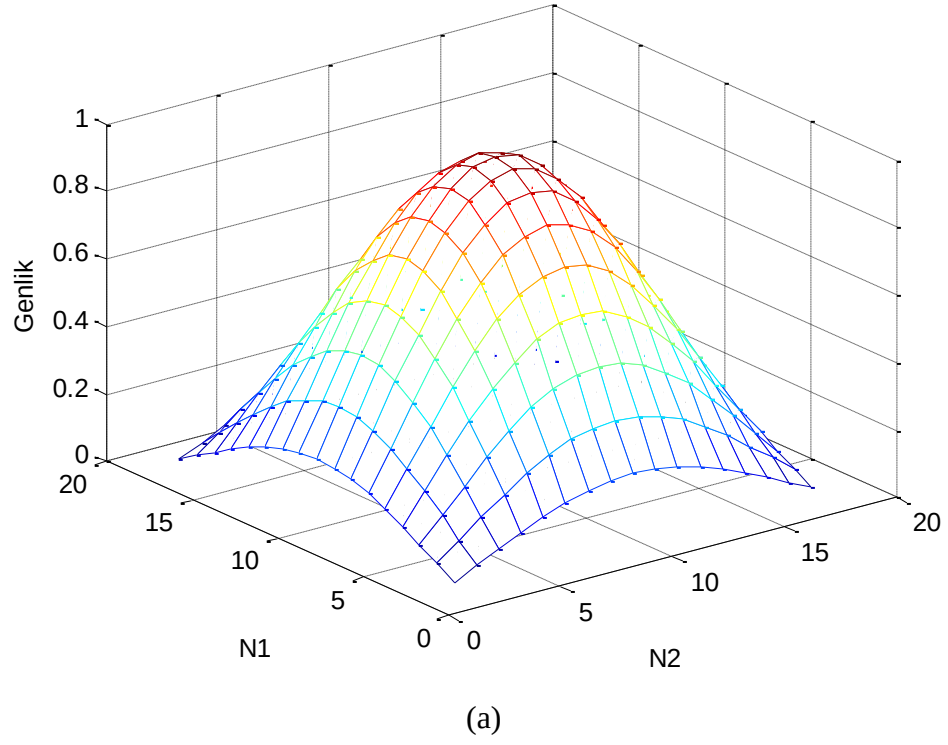
Parametre	Pencere Türü	
	Üstel	Cosh
N	17	17
α	1.87	2.1
w_R	0.46	0.46
S (dB)	43.35	13.3
R (dB)	-21.51	-23.19

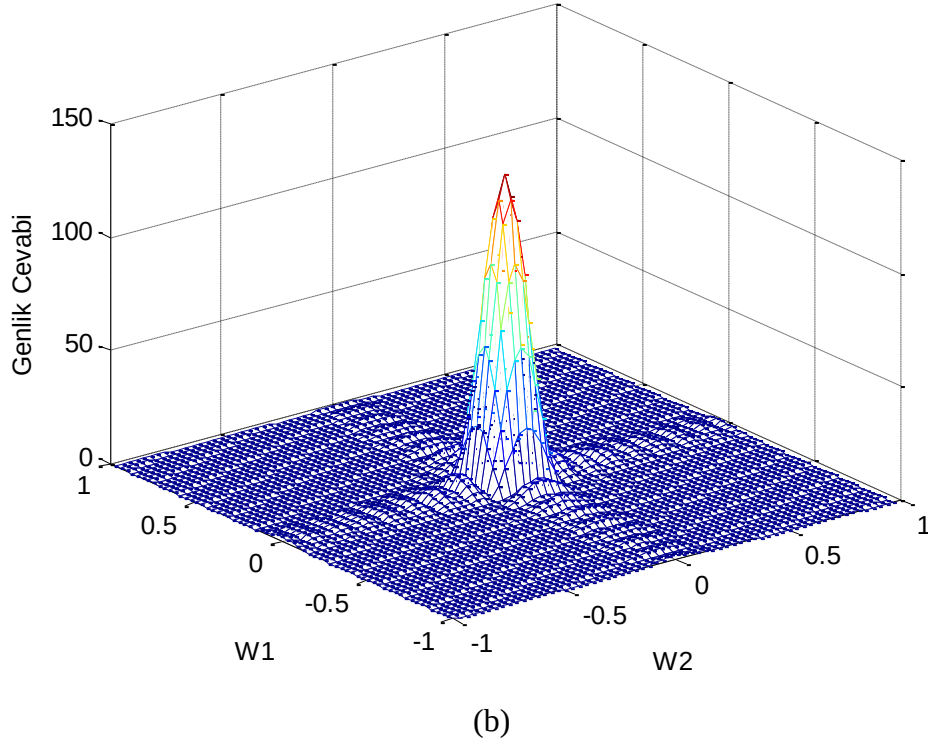


(a)



Şekil 5.15. Üstel pencere kullanılarak elde edilen iki boyutlu pencere fonksiyonunun (a) genlik (b) frekans cevabı gösterimi





Şekil 5.16. Cosh penceresi kullanılarak elde edilen iki boyutlu pencere fonksiyonunun (a) genlik (b) frekans cevabı gösterimi

İki boyutlu pencere fonksiyonu tasarımı, genel olarak iki tane bir boyutlu pencere fonksiyonunun konvolüsyonu sonucunda elde edilmektedir. Sonuçta tasarlanan iki boyutlu pencere, bir boyutlu pencere fonksiyonlarının özelliklerine sahip olacaktır. Aynı pencere uzunluğu ve analob genişliği için, iki boyutlu pencere fonksiyonlarına ait şekil ve tablolar, GA kullanılarak elde edilen iki boyutlu pencere fonksiyonunun Kaiser, ultraspherical, üstel ve cosh ile yapılan genlik karşılaştırma sonuçlarını içermektedir. Elde edilen sonuçlar, GA kullanılarak geliştirilen bir boyutlu ve bunun kullanımı ile oluşturulan iki boyutlu pencere fonksiyonunun yanlob azalma oranı bakımından üstel pencereden sonra en iyi karakteristiğe sahip olduğunu, dalgalanma oranı bakımından ise en iyi davranış gösteren Kaiser penceresinden biraz kötü bir karakteristiğe sahip olduğunu göstermektedir.

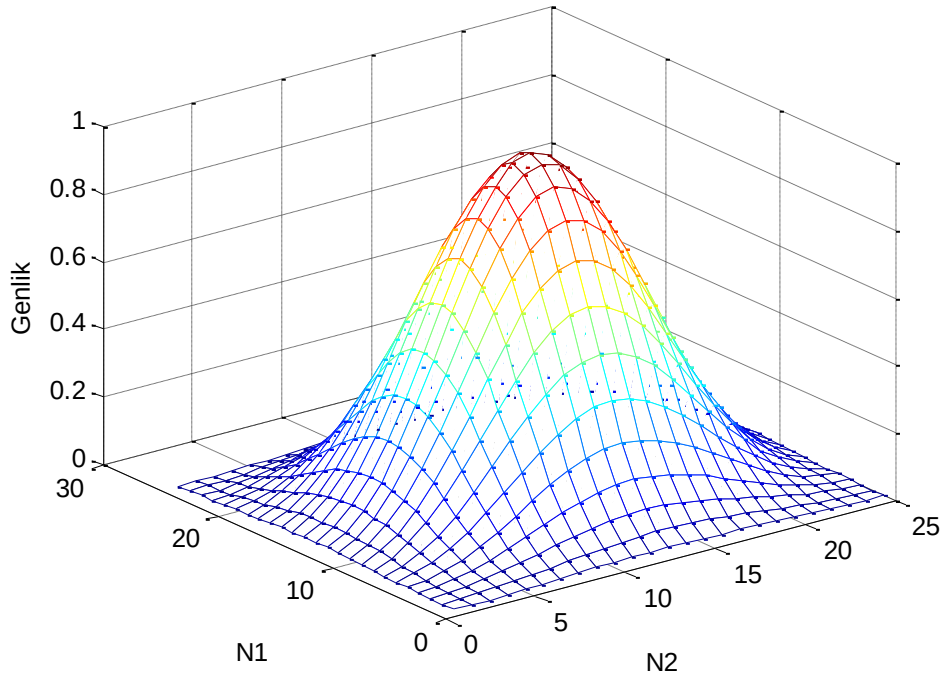
Benzer olarak, Kaiser penceresinin analob genişliği ve dalgalanma oranı ile ultraspherical penceresinin yanlob azalma oranı karakteristiğini bir arada bulunduracak yeni bir boyutlu pencere fonksiyonunun YSA ile modellenmesi sonucunda elde edilen pencere, iki boyutlu pencere fonksiyonu tasarımında kullanılmıştır. Tasarım işlemi sonrasında elde edilen iki boyutlu pencere fonksiyonuna ait genlik ve frekans cevapları Şekil 5.17’de, iki boyutlu pencere tasarımı için kullanılan Kaiser ve ultraspherical

pencerelerine ait genlik ve frekans cevapları ise sırasıyla Şekil 5.18 ve 5.19’da verilmiştir. Tasarımda kullanılan bir boyutlu pencere fonksiyonlarına ait özellikler ve spektral parametreler ise Tablo 5.10’da verilmiştir. Ultraspherical pencere parametreleri $\mu=2.99$ ve $x_\mu=1.00999$ ’dur.

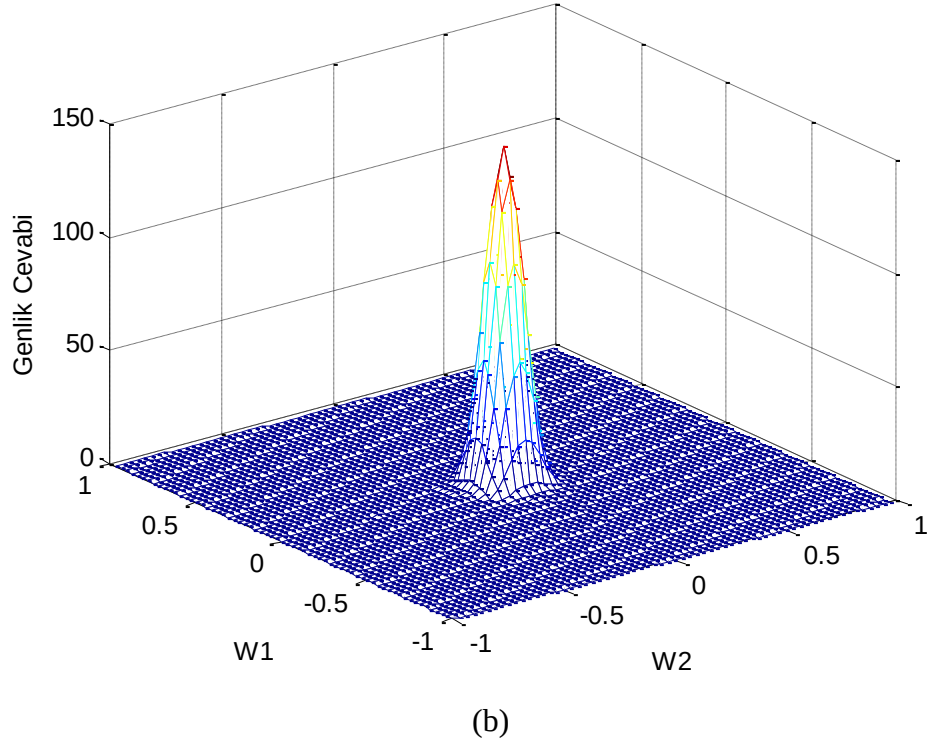
Karşılaştırma işleminde kullanılan bir boyutlu pencere fonksiyonları aynı pencere uzunluğu ve aynı analob genişliği için gerçekleştirilmiş ve sonuçta tasarlanan bir boyutlu pencere fonksiyonları iki boyutlu pencere fonksiyonu tasarımında kullanılmıştır. Böylece iki boyutlu pencere fonksiyonlarının da bir boyutlu pencere fonksiyonlarının spektral parametre özelliklerine sahip olması sağlanmıştır.

Tablo 5.10. İki boyutlu pencere fonksiyonu tasarımında kullanılan bir boyutlu pencere fonksiyonlarına ait özellik ve spektral parametreler

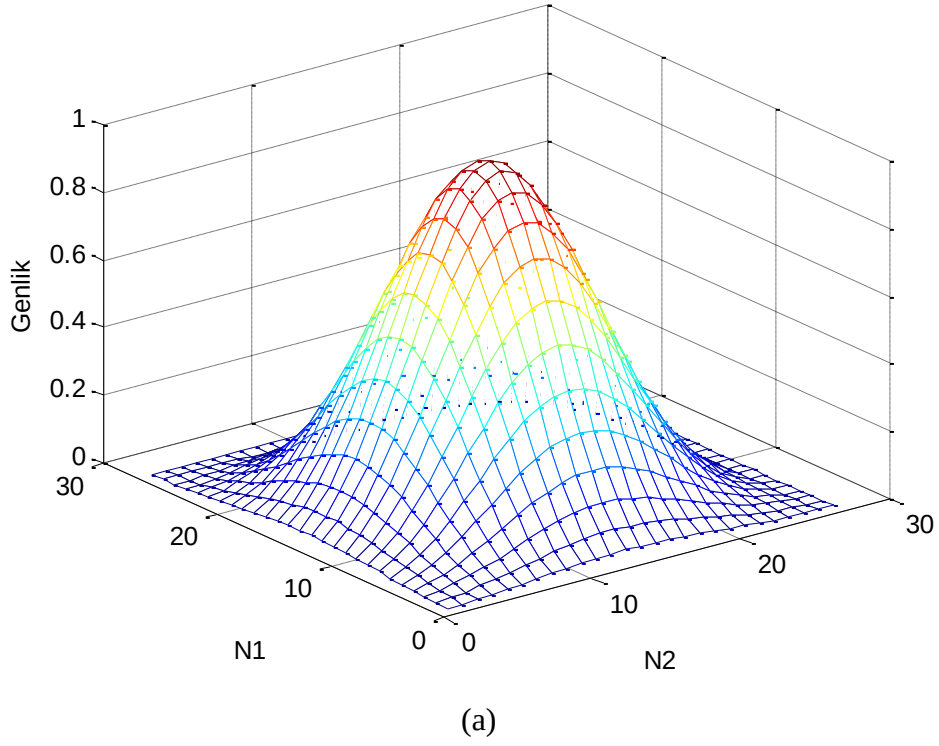
Parametre	Pencere Türü		
	YSA	Kaiser	Ultraspherical
N	25	25	25
α_k	-	5.1	-
w_R	0.52	0.48	0.48
R (dB)	-40.75	-38.57	-35.46
S (dB)	27.92	19.91	34.8

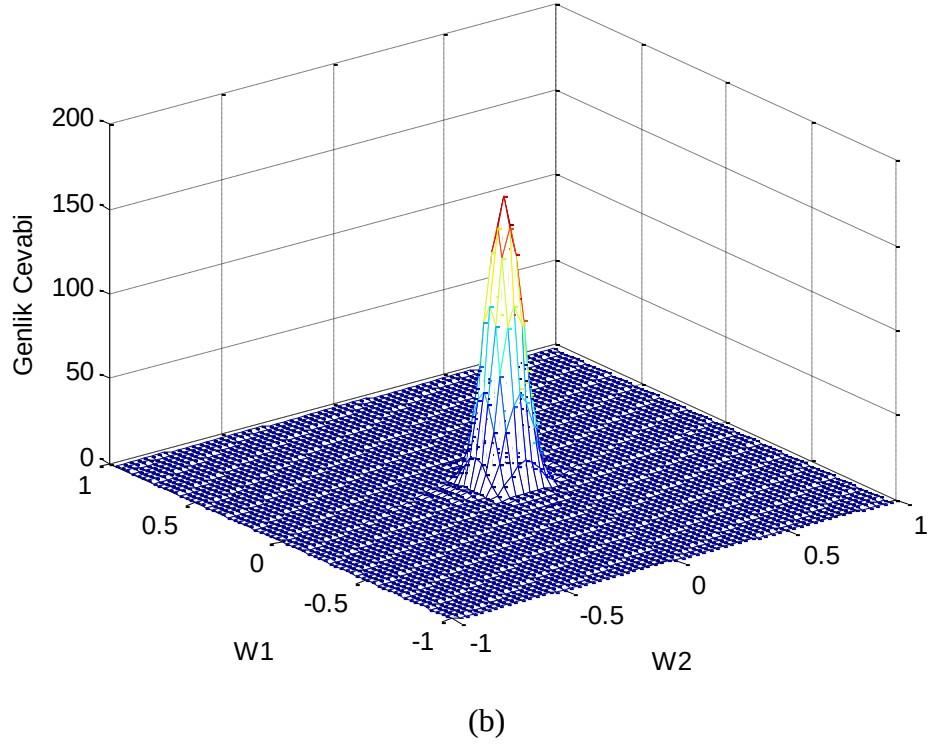


(a)

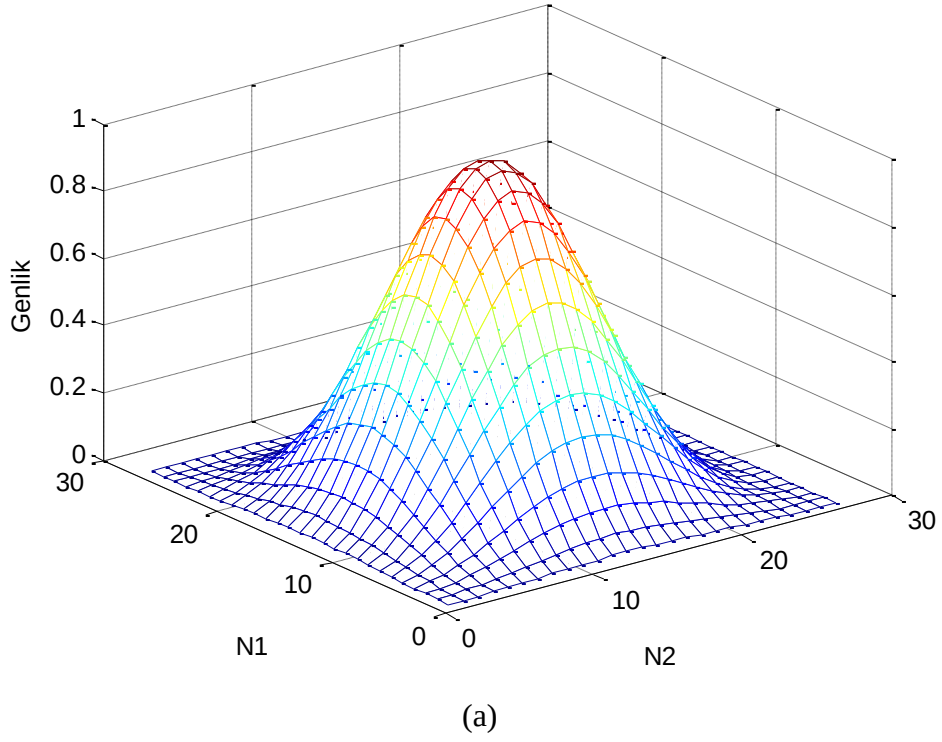


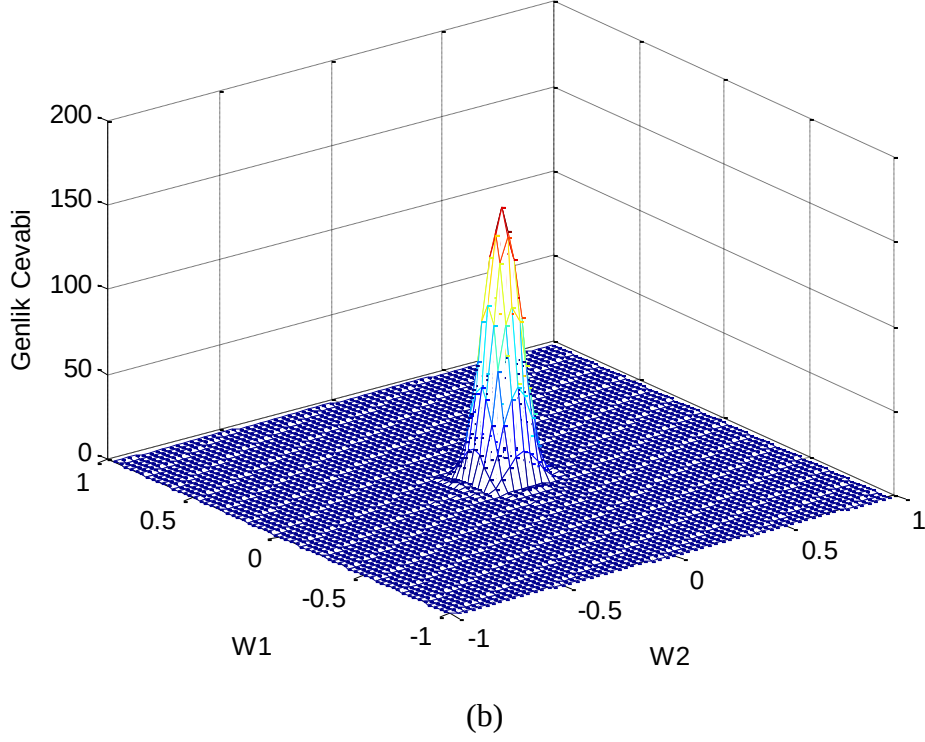
Şekil 5.17. YSA kullanılarak elde edilen iki boyutlu pencere fonksiyonunun (a) genlik (b) frekans cevabı gösterimi





Şekil 5.18. Kaiser penceresi kullanılarak elde edilen iki boyutlu pencere fonksiyonunun (a) genlik
(b) frekans cevabı gösterimi





Şekil 5.19. Ultraspherical penceresi kullanılarak elde edilen iki boyutlu pencere fonksiyonunun (a) genlik (b) frekans cevabı gösterimi

YSA yardımıyla modellenen bir boyutlu pencere fonksiyonu ile Kaiser ve ultraspherical pencereleri kullanılarak tasarlanan iki boyutlu pencere fonksiyonlarına ait şekil ve tablo sonuçları, iyi özelliklere sahip bir boyutlu pencere fonksiyonu ile tasarlanmış iki boyutlu pencere fonksiyonunun bir boyutlu pencere fonksiyonlarının özelliklerine sahip olduğunu gösterir. Dolayısıyla, iyi spektral parametrelere sahip bir boyutlu pencere kullanılarak elde edilen iki boyutlu pencere fonksiyonları da iyi spektral parametrelere sahip olacaktır. Şekil ve tablo sonuçlarına göre, YSA kullanılarak gerçekleştirilen iki boyutlu pencere en iyi dalgalanma oranı karakteristiği gösterirken, ultraspherical penceresi kadar iyi yanlob azalma oranı davranışına sahiptir. Ancak YSA yardımıyla elde edilen pencere fonksiyonu analob genişliği bakımında Kaiser ve ultraspherical pencerelerinden daha kötü bir karakteristiğe sahiptir.

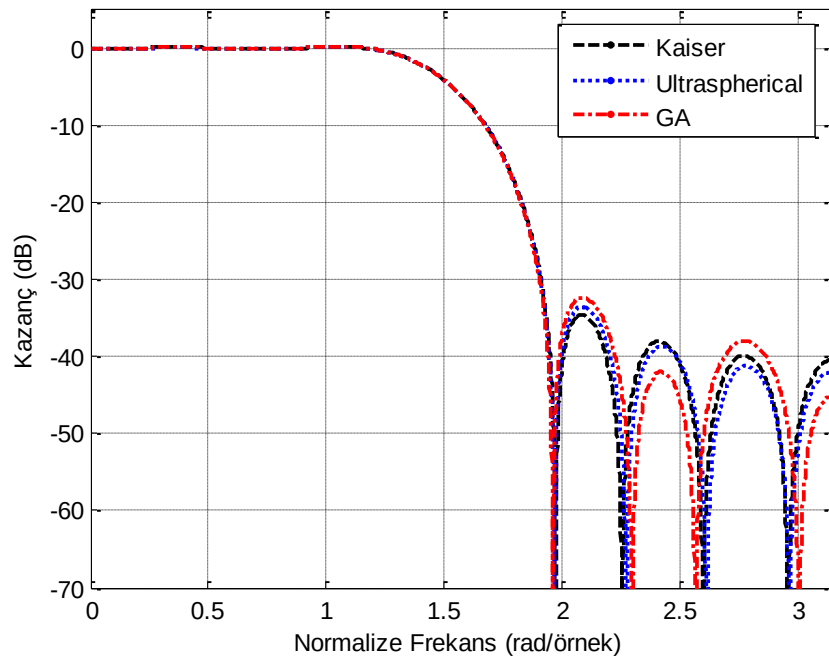
6. AKILLI HESAPLAMA YÖNTEMLERİNİN BİR VE İKİ BOYUTLU TEKRARSIZ SAYISAL FİLTRE TASARIMINDA KULLANIMI

6.1. Giriş

Bu bölümde, akıllı hesaplama yöntemlerinden GA ve YSA kullanılarak kullanışlı spektral parametrelere sahip pencere fonksiyonu elde edilmiş ve bu fonksiyon yardımıyla bir ve iki boyutlu tekrarsız sayısal filtrenin tasarımı gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçların spektral karşılaştırmaları literatürde yaygın olarak kullanılan pencere fonksiyonları ile yapılmıştır.

6.2. Bir Boyutlu FIR Sayısal Filtre Tasarımında GA Kullanımı

Bölüm 5.2’de GA kullanılarak elde edilen kullanışlı spektral parametrelere sahip pencere fonksiyonu denklem 3.13’de yerine yazılarak bir boyutlu FIR sayısal filtre tasarımı gerçekleştirilmiş ve elde edilen genlik spektrumu Şekil 6.1’de, filtre genlik spektrumunun sayısal bilgileri ise Tablo 6.1’de verilmiştir.



Şekil 6.1. $\omega_k=0.5\pi$ ve $N=17$ için GA, Kaiser ve Ultraspherical pencereleri ile tasarlanan alçak geçiren filtre genlik cevapları

Bu karşılaştırma örneği için ultraspherical parametreleri $\mu=1.5151$ ve $x_\mu=1.0091$ 'dir. Tablo 6.1'deki A_d ve $A_{m,d}$ değerleri sırasıyla filtre genlik spektrumunda durdurma bandındaki minimum ve maksimum dalgalanmayı göstermektedir.

Tablo 6.1. $\omega_k=0.5\pi$ ve $N=17$ için Kaiser, Ultraspherical ve GA kullanılarak tasarlanan alçak geçiren filtreler için sayısal bilgiler

Pencere	N	$\Delta\omega$	α	A_d	$A_{m,d}$
Kaiser	17	0.718	2.7	34.52	40.46
Ultraspherical	17	0.712	-	33.48	41.98
GA	17	0.684	-	32.27	45.24

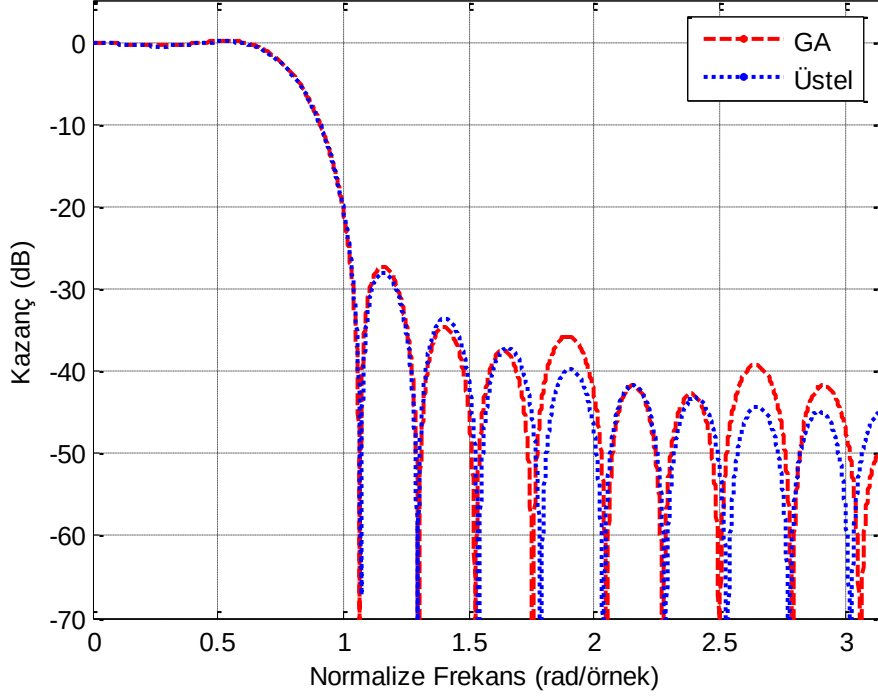
Şekil 6.1 ve Tablo 6.1'den de görüldüğü gibi GA kullanılarak elde edilen pencere yardımıyla tasarlanan FIR filtre, maksimum durdurma bandı zayıflaması bakımından diğer pencereler yardımıyla tasarlanan filtre genlik spektrumuna göre daha iyi bir performans sağlamaktadır. Minimum durdurma bandı zayıflamasında ise Kaiser penceresi kullanılarak tasarlanan filtre daha iyi karakteristik göstermektedir.

Üstel pencere yardımıyla elde edilen filtre genlik spektrumu ile geliştirilen yöntemden elde edilen FIR filtre genlik spektrumu karşılaştırması yapılmıştır. Karşılaştırma sonrasında elde edilen genlik spektrumları Şekil 6.2'de, filtre genlik spektrumuna ait sayısal bilgiler ise Tablo 6.2'de verilmiştir.

Tablo 6.2. $\omega_k=0.27\pi$ ve $N=25$ için Üstel ve GA kullanılarak tasarlanan alçak geçiren filtreler için sayısal bilgiler

Pencere	N	$\Delta\omega$	α	A_d	$A_{m,d}$
GA	25	0.38	-	28.14	48.27
Üstel	25	0.38	1.2	28.38	45.8

Tablo 6.2 ve Şekil 6.2, aynı band genişliği ve filtre uzunluğu için GA kullanılarak elde edilen pencere yardımıyla tasarlanan FIR filtrenin üstel pencere yardımıyla tasarlanan filtreden bazı uygulamalar için önemli olan daha iyi maksimum durdurma bandı zayıflaması karakteristiği sağladığını gösterir. Üstel pencere ile tasarlanan filtre ise biraz daha iyi minimum durdurma bandı zayıflaması karakteristiğine sahiptir.



Şekil 6.2. $\omega_k=0.27\pi$ ve $N=25$ için GA, Üstel pencereleri ile tasarlanan alçak geçiren filtre genlik cevapları

Bir başka karşılaştırma örneğinde, Kaiser penceresinden daha iyi dalgalanma oranı karakteristiğine sahip olan cosh pencere yardımıyla tasarlanan FIR filtre genlik spektrumu ile Bölüm 5.2’de GA yardımıyla elde edilen pencere fonksiyonu kullanılarak elde edilen FIR filtre genlik spektrumunun karşılaştırması yapılmıştır.

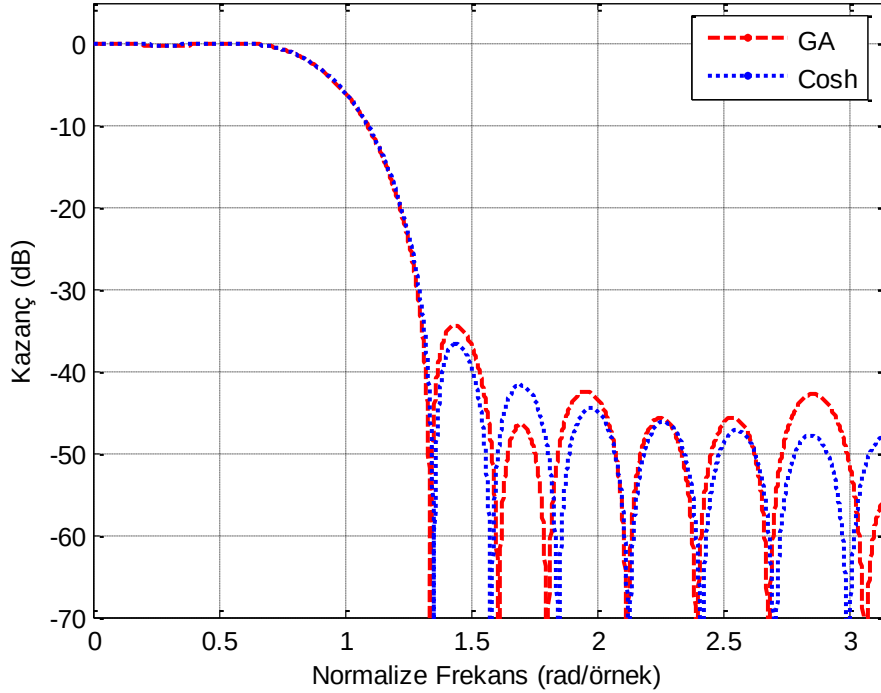
Şekil 6.3, GA yardımıyla elde edilen pencere ile cosh penceresi kullanılarak tasarlanan filtrelerin genlik spektrumu karşılaştırmalarını göstermektedir. Tablo 6.3 ise bu karşılaştırmaya ait sayısal bilgileri vermektedir.

Tablo 6.3. $\omega_k=0.32\pi$ ve $N=21$ için Cosh ve GA kullanılarak tasarlanan alçak geçiren filtreler için sayısal bilgiler

Pencere	N	$\Delta\omega$	α	A_d	$A_{m,d}$
GA	21	0.595	-	34.37	56.07
Cosh	21	0.631	2.45	36.61	47.97

Şekil 6.3 ve Tablo 6.3, GA yardımıyla geliştirilen pencere fonksiyonu kullanılarak tasarlanan FIR filtrenin genlik spektrumunun, cosh penceresi kullanılarak tasarlanan FIR filtre genlik spektrumuna göre maksimum durdurma bandı zayıflaması açısından daha iyi bir karakteristiğe sahip olduğunu göstermektedir. Ancak minimum durdurma bandı

zayıflaması bakımından cosh penceresi kullanılarak tasarlanan FIR filtre spektrumu, GA yardımıyla elde edilen pencere kullanılarak tasarlanan FIR filtre genlik spektrumundan daha iyi bir karakteristik göstermektedir.



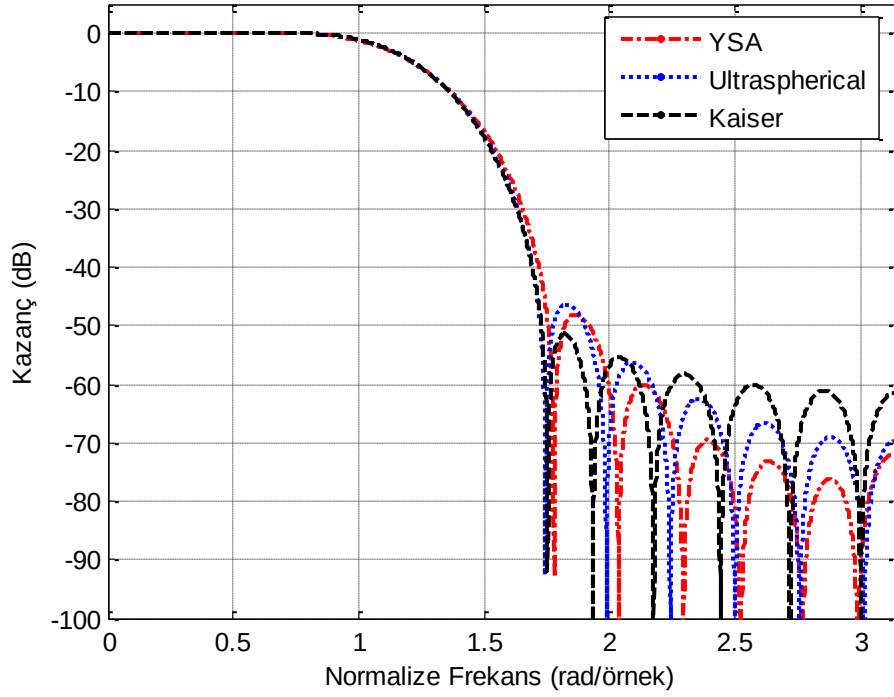
Şekil 6.3. $\omega_k=0.32\pi$ ve $N=21$ için GA, cosh pencereleri ile tasarlanan alçak geçiren filtre genlik cevapları

6.3. Bir Boyutlu FIR Sayısal Filtre Tasarımında YSA Kullanımı

Bir boyutlu FIR sayısal filtre tasarımında YSA doğrudan filtre tasarımında kullanılmamış, GA kullanılarak elde edilen pencere fonksiyonu yardımıyla FIR sayısal filtre tasarım işlemine benzer olarak, YSA kullanılarak elde edilen pencere fonksiyonu FIR sayısal filtre tasarımında kullanılmıştır. Bu işlem için YSA yardımıyla modellenen ve kullanışlı spektral parametrelere sahip pencere fonksiyonu, denklem 3.13’de yerine yazılmış ve hesaplanan değerler ile FIR sayısal filtre tasarımı gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, yaygın olarak kullanılan diğer pencere fonksiyonlarına ait spektral parametreler ile karşılaştırmaları yapılmıştır.

YSA kullanılarak elde edilen pencere ile ultraspherical ve Kaiser pencereleri aynı analob genişliğine sahip olduğu durum için bu pencere fonksiyonlarının filtre tasarımına etkisi incelenmiştir. Pencere uzunluğunun sabit ve 21 olduğu Kaiser, ultraspherical

pencereleri ile YSA yardımıyla modellenen pencere fonksiyonları kullanılarak tasarlanan FIR sayısal filtrelere ait genlik cevapları Şekil 6.4'te, genlik cevaplarına ait sayısal bilgiler ise Tablo 6.4'te verilmiştir. Ultraspherical pencere parametreleri $\mu=2.99$ ve $x_\mu=1.00999$ 'dur.



Şekil 6.4. $N=21$ için YSA, Ultraspherical ve Kaiser pencereleri ile tasarlanan alçak geçiren filtre genlik cevapları

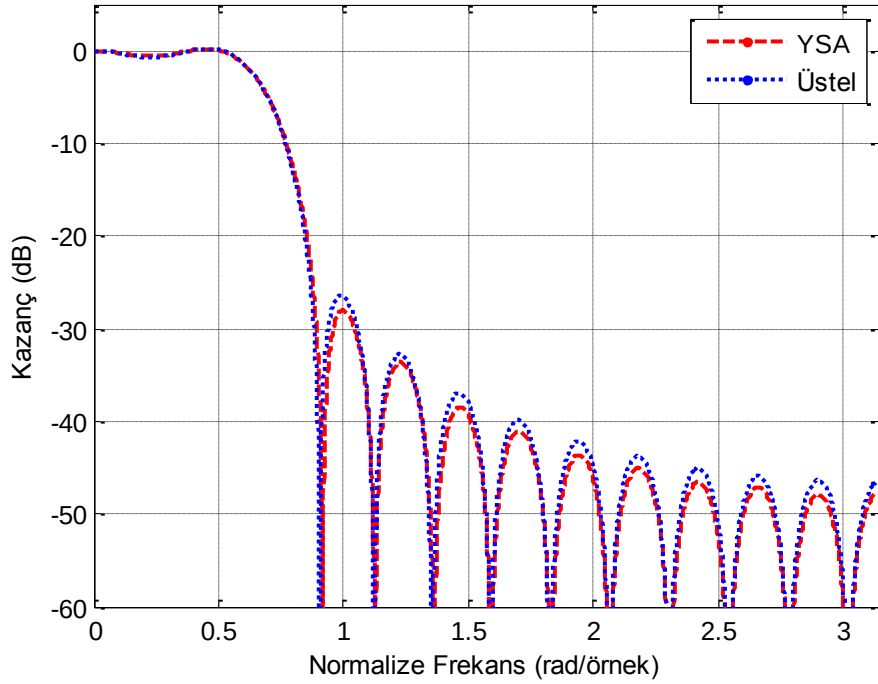
Tablo 6.4. $\omega_k=0.4\pi$ ve $N=21$ için Kaiser, Ultraspherical ve YSA kullanılarak tasarlanan alçak geçiren filtreler için sayısal bilgiler

Pencere	N	$\Delta\omega$	α	A_d	$A_{m,d}$
YSA	21	0.98	-	48.08	71.88
Ultraspherical	21	0.92	-	46.34	69.77
Kaiser	21	0.94	4.65	51.32	61.41

YSA kullanılarak elde edilen pencere fonksiyonunun FIR sayısal filtre tasarımında kullanımı ile elde edilen Şekil 6.4 ve Tablo 6.4, minimum durdurma bandı zayıflaması karakteristiği bakımından YSA yardımıyla modellenen pencere kullanılarak tasarlanan filtrenin daha iyi bir davranışa sahip olduğunu göstermektedir.

Bir başka karşılaştırma örneği ise iki bağımsız parametreye sahip olan üstel pencere fonksiyonu kullanılarak tasarlanan filtre ile YSA yardımıyla tasarlanan pencere

fonksiyonunun filtre tasarımında kullanımı ve elde edilen bilgilere ait spektrum karşılaştırmasıdır. Karşılaştırma örneğinde pencere uzunluğunun $N=27$ ve geçiş bandı genişliğinin sabit ve $\Delta\omega=0.314$ olduğu durum için filtrelerin minimum durdurma bandı dalgalanmaları ile maksimum durdurma bandı dalgalanma karakteristiklerinin spektrum karşılaştırmaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 6.5’de, şekil ile ilgili sayısal bilgiler ise Tablo 6.5’de verilmiştir.



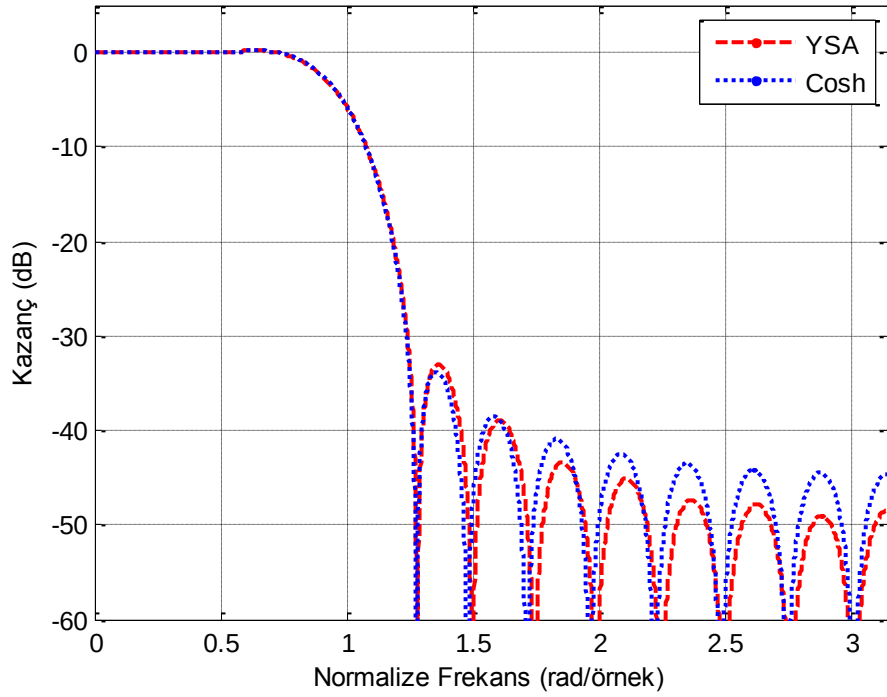
Şekil 6.5. $\Delta\omega=0.314$ ve $N=27$ için YSA ve Üstel penceresi ile tasarlanan alçak geçiren filtre genlik cevapları

Tablo 6.5. $\omega_k=0.23\pi$ ve $N=27$ için Üstel ve YSA kullanılarak tasarlanan alçak geçiren filtreler için sayısal bilgiler

Pencere	N	$\Delta\omega$	α	A_d	$A_{m,d}$
YSA	27	0.314	-	28.02	47.73
Üstel	27	0.314	0.7	26.39	46.56

Üstel penceresi ile yapılan spektrum karşılaştırmasında, YSA yardımıyla elde edilen pencere fonksiyonu kullanılarak geliştirilen filtrenin, aynı geçiş bandı genişliği için hem minimum durdurma bandı hem de maksimum durdurma bandı zayıflaması karakteristiği bakımından, üstel pencere kullanılarak oluşturulan FIR sayısal filtre genlik spektrumundan daha iyi olduğu görülmektedir.

İki bağımsız değişkene sahip olan diğer bir kullanışlı pencere fonksiyonu olan cosh pencere ile yapılan spektrum karşılaştırmasında ise sabit geçiş bandı genişliği ve farklı pencere uzunluğu ($N=23$) kullanılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda elde edilen genlik spektrum cevabı Şekil 6.6'da, şekil ile ilgili sayısal bilgiler ise Tablo 6.6'da verilmiştir.



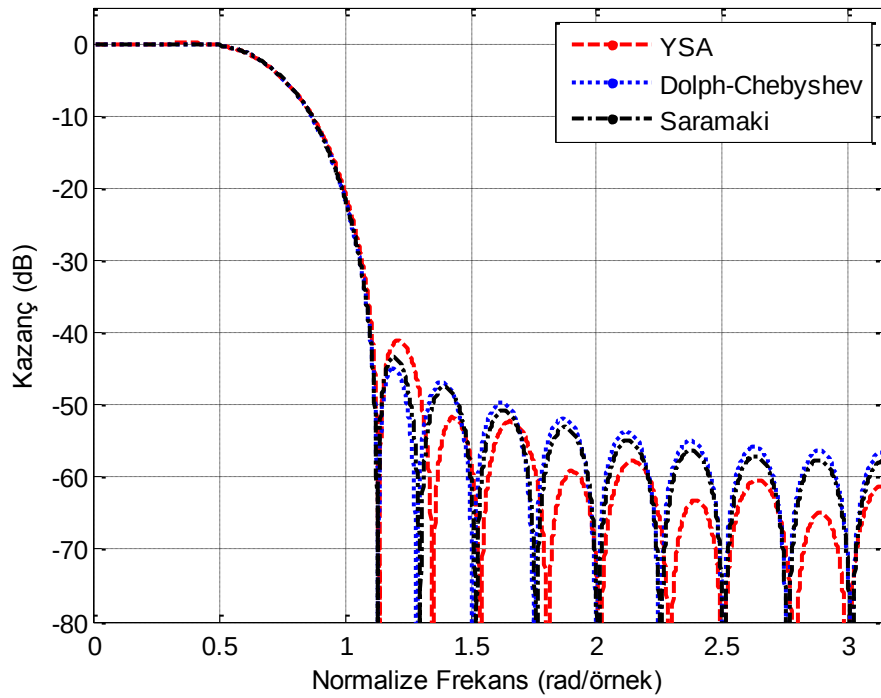
Şekil 6.6. $\Delta\omega=0.485$ ve $N=23$ için YSA ve Cosh penceresi ile tasarlanan alçak geçiren filtre genlik cevapları

Tablo 6.6. $\omega_k=0.32\pi$ ve $N=23$ için Cosh ve YSA kullanılarak tasarlanan alçak geçiren filtreler için sayısal bilgiler

Pencere	N	$\Delta\omega$	α	A_d	$A_{m,d}$
YSA	23	0.485	-	33.04	48.53
Cosh	23	0.485	1.9	33.81	44.61

Sonuçlar, aynı geçiş bandı genişliği ve pencere uzunluğu için cosh penceresi kullanılarak elde edilen alçak geçiren FIR sayısal filtrenin, YSA ile geliştirilen pencere kullanılarak tasarlanan filtre genlik spektrumundan minimum durdurma bandı zayıflaması karakteristiği bakımından daha iyi davranışa sahip olduğunu göstermektedir. Ancak bazı uygulamalar [92] için önemli olan maksimum durdurma bandı zayıflaması bakımından ise YSA ile modellenen pencere kullanılarak elde edilen filtre daha iyi bir karakteristiğe sahiptir.

YSA yardımıyla elde edilen pencere kullanılarak tasarlanan filtre genlik spektrumu karşılaştırmasında, literatürde kullanılan ve ultraspherical penceresinin özel durumları olan Dolph-Chebyshev ve Saramaki pencereleri ile tasarlanan FIR filtreler kullanılmıştır. Karşılaştırma sonuçları Şekil 6.7’de, ilgili sayısal bilgiler ise Tablo 6.7’de verilmiştir. Yapılan karşılaştırmalarda pencere parametreleri, Dolph-Chebyshev penceresi için: $R=36.88$ dB, Saramaki penceresi için: $\mu=1$ ve $x_\mu=1.01251$ olarak alınmıştır.



Şekil 6.7. $N=25$ ve $\Delta\omega=0.485$ için YSA, Dolph-Chebyshev ve Saramaki pencereleri ile tasarlanan alçak geçiren filtre genlik cevapları

Tablo 6.7. $\omega_k=0.25\pi$ ve $N=25$ için YSA, Dolph-Chebyshev ve Saramaki pencereleri kullanılarak tasarlanan alçak geçiren filtreler için sayısal bilgiler

Pencere	N	$\Delta\omega$	A_d	$A_{m,d}$
YSA	25	0.65	41.06	61.24
Dolph-Chebyshev	25	0.65	44.84	56.47
Saramaki	25	0.65	43.34	57.79

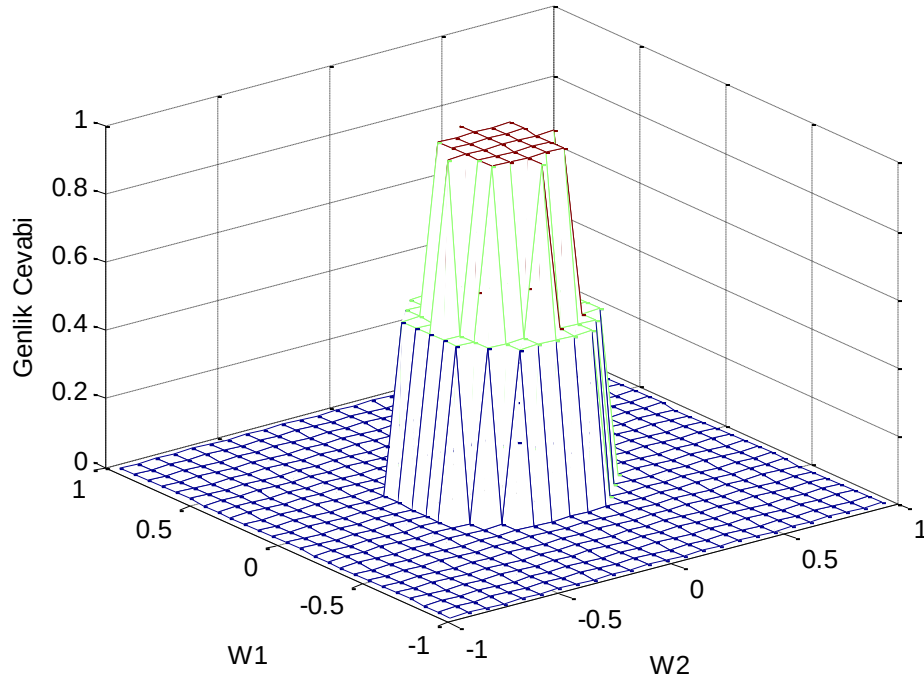
Karşılaştırma sonuçlarına göre, en iyi minimum durdurma bandı dalgalanma karakteristiğini Saramaki penceresi kullanılarak tasarlanan filtre gösterirken, en iyi maksimum durdurma bandı dalgalanma karakteristiğini ise YSA kullanılarak elde edilen pencere yardımıyla tasarlanan FIR filtre göstermiştir.

6.4. İki Boyutlu FIR Sayısal Filtre Tasarımında GA ve YSA Kullanımı

Bir boyutlu FIR sayısal filtre tasarımında olduğu gibi iki boyutlu FIR sayısal filtre tasarım işleminde de ideal genlik cevabı değerleri, elde edilen iki boyutlu pencere fonksiyonu yardımıyla denklem 3.18’de gibi çarpılarak oluşturulmaktadır. İşlem sonucunda elde edilen iki boyutlu filtre görüntü işleme uygulamasında kullanılmıştır. Uygulamalar için kullanılan iki boyutlu alçak geçiren filtre genlik cevabı [63]’de verilen ve denklem 6.1’deki gibi tanımlanan özelliklere sahiptir.

$$H_d(\omega_1, \omega_2) = \begin{cases} 1, & \sqrt{\omega_1^2, \omega_2^2} \leq 0.08\pi \\ 0.5, & 0.08\pi < \sqrt{\omega_1^2, \omega_2^2} \leq 0.12\pi \\ 0, & \text{diğer yerlerde} \end{cases} \quad (6.1)$$

Denklem 6.1’de verilen özelliklere sahip filtre genlik cevabı Şekil 6.8’de gösterilmiştir.



Şekil 6.8. İki boyutlu filtrenin arzu edilen genlik cevabı

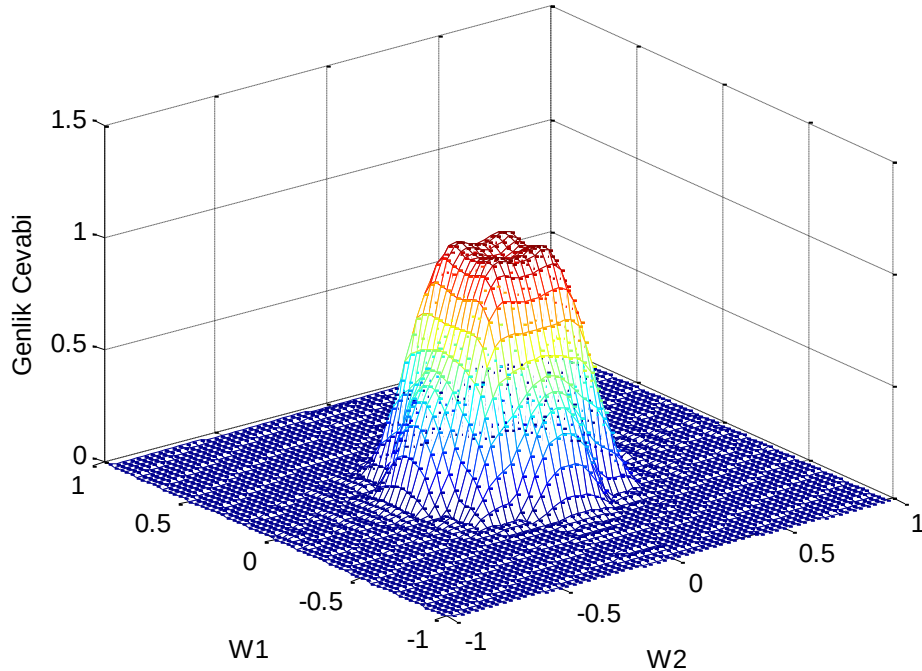
İki boyutlu pencere fonksiyonlarının tasarımı için kullanılan tek boyutlu Kaiser, ultraspherical, üstel ve cosh pencereleri ile geliştirilen yöntem olan GA ve YSA’ya ait

özellik ve spektral parametreler Tablo 6.8’de verilmiştir. Ultraspherical pencere parametreleri $\mu=1.99997$ ve $x_\mu=1.00039$ ’dur.

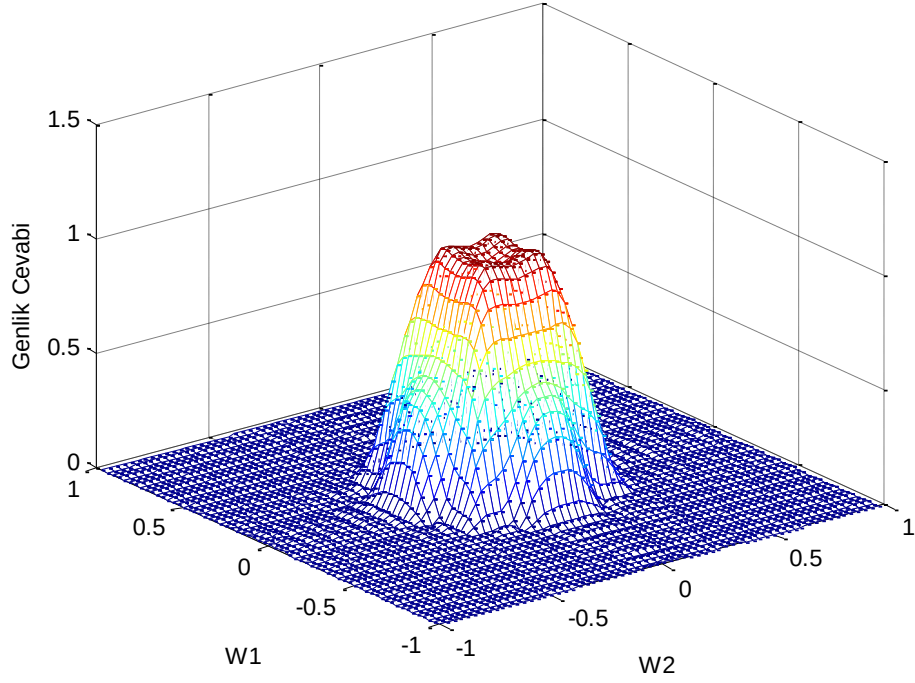
Tablo 6.8. İki boyutlu pencere fonksiyonu tasarımında kullanılan bir boyutlu pencere fonksiyonlarına ait özellik ve spektral parametreler

Parametre	Pencere Türü					
	GA	YSA	Kaiser	Ultraspherical	Üstel	Cosh
N	23	23	23	23	23	23
α_k	-	-	2.7	-	1.9	2.1
w_R	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
R (dB)	-21.6	-21.86	-23.11	-21.51	-21.5	-22.8
S (dB)	33.59	20.31	14.24	24.55	32.9	15.55

Tablo 6.8’deki değerler kullanılarak bir boyutlu pencere fonksiyonundan iki boyutlu pencere fonksiyonu ve iki boyutlu FIR sayısal filtreler tasarlanmıştır. Elde edilen iki boyutlu FIR sayısal filtre genlik cevaplarından GA kullanılarak elde edilen genlik cevabı Şekil 6.9’da, YSA kullanılarak elde edilen genlik cevabı ise Şekil 6.10’da gösterilmiştir.

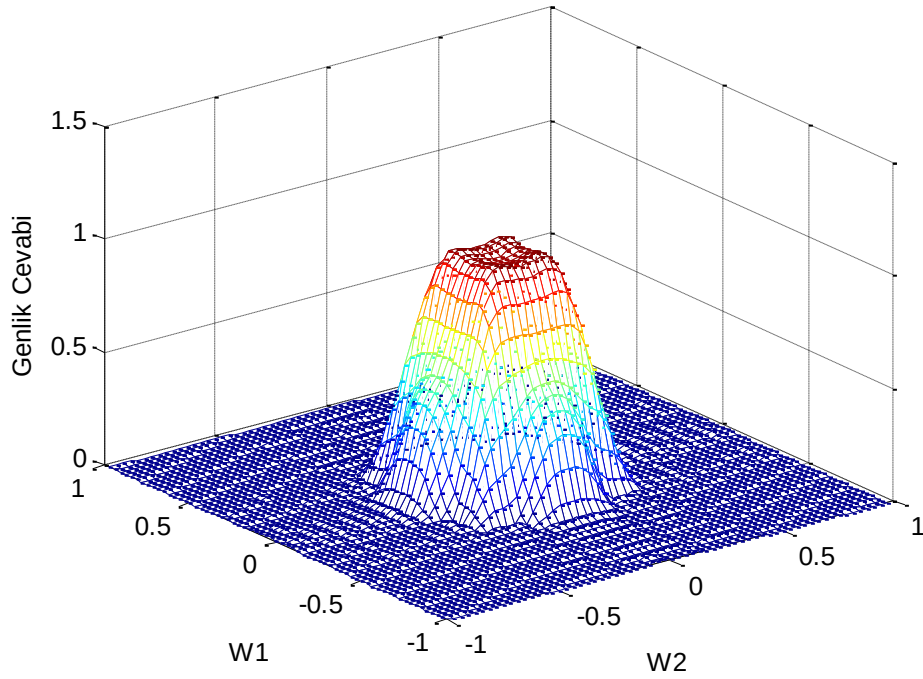


Şekil 6.9. GA yardımıyla elde edilen pencere fonksiyonu kullanılarak tasarlanan iki boyutlu FIR filtre genlik cevabı

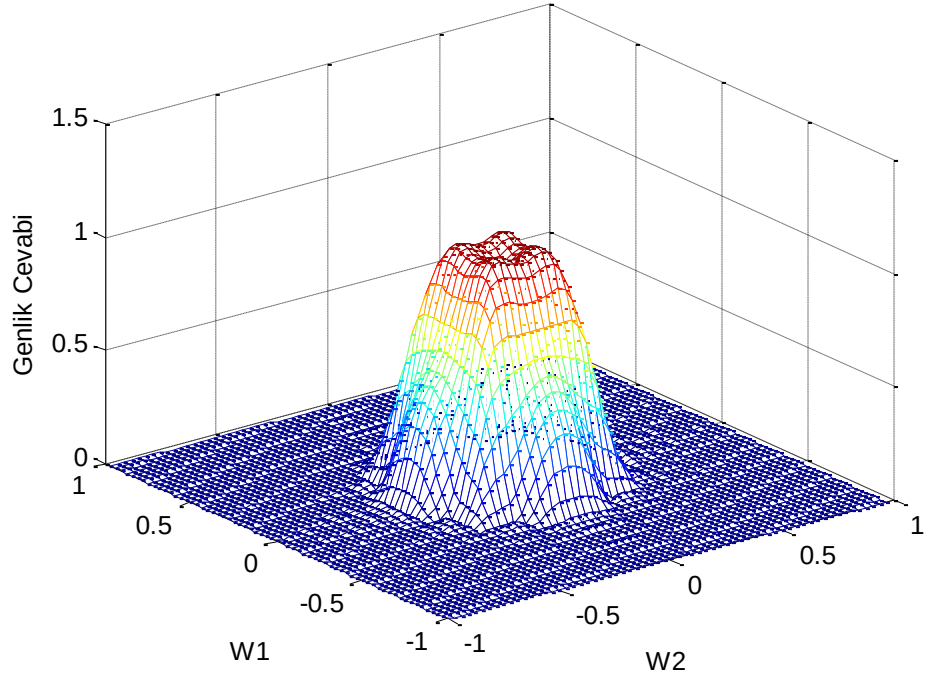


Şekil 6.10. YSA yardımıyla elde edilen pencere fonksiyonu kullanılarak tasarlanan iki boyutlu FIR filtre genlik cevabı

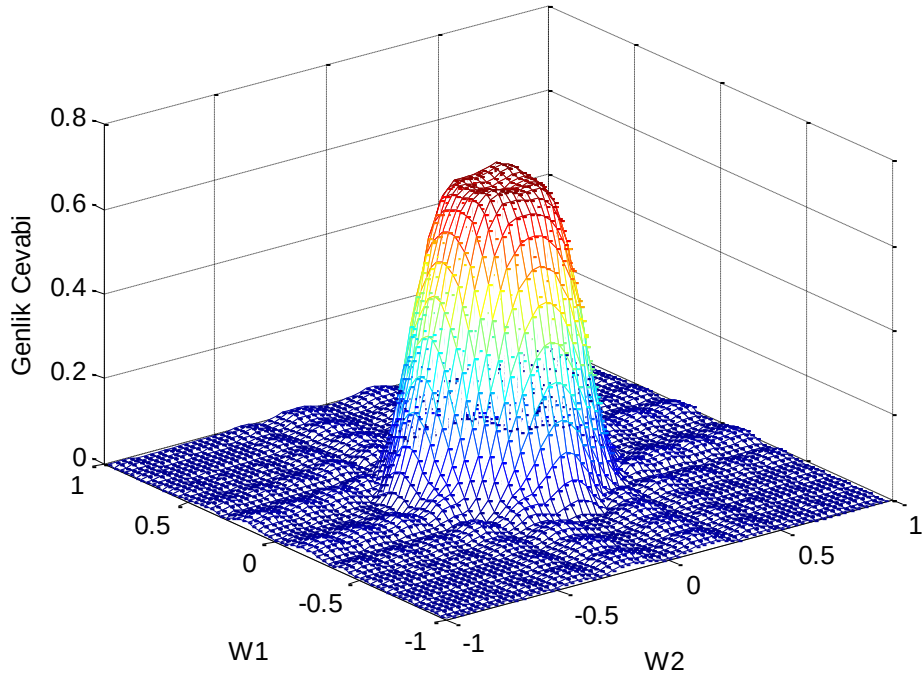
Kaiser, ultraspherical, üstel ve cosh pencereleri kullanılarak elde edilen filtre genlik cevapları ise Şekil 6.11, 6.12, 6.13 ve 6.14'te gösterilmiştir.



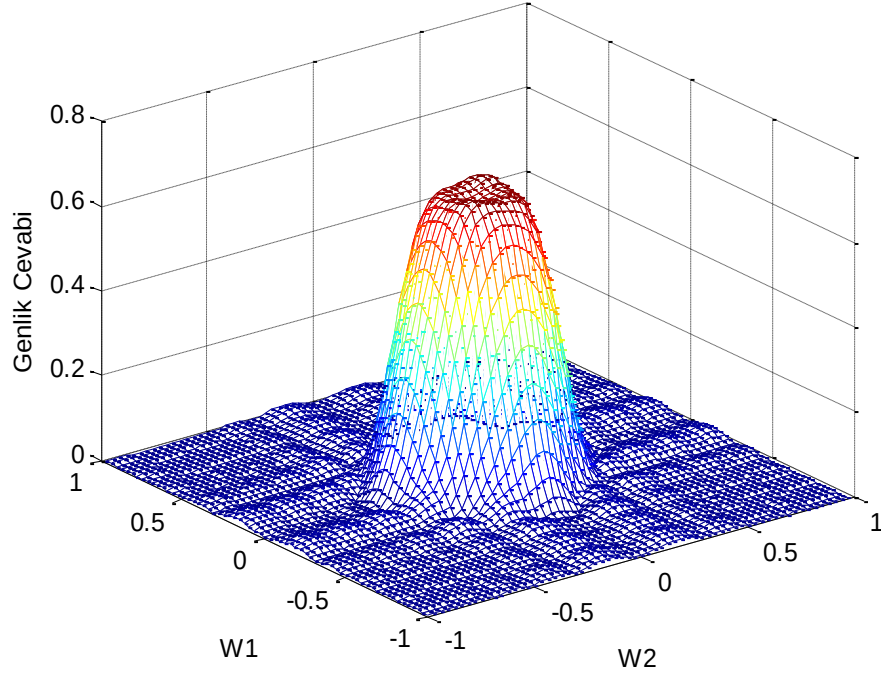
Şekil 6.11. Kaiser penceresi yardımıyla elde edilen pencere fonksiyonu kullanılarak tasarlanan iki boyutlu FIR filtre genlik cevabı



Şekil 6.12. Ultraspherical penceresi yardımıyla elde edilen pencere fonksiyonu kullanılarak tasarlanan iki boyutlu FIR filtre genlik cevabı



Şekil 6.13. Üstel penceresi yardımıyla elde edilen pencere fonksiyonu kullanılarak tasarlanan iki boyutlu FIR filtre genlik cevabı



Şekil 6.14. Cosh penceresi yardımıyla elde edilen pencere fonksiyonu kullanılarak tasarlanan iki boyutlu FIR filtre genlik cevabı

Tablo 6.8’de verilen sayısal bilgiler ve şekillerdeki genlik cevaplarına bakıldığında, iyi özelliklere sahip pencere fonksiyonu yardımıyla tasarlanan FIR filtrenin daha iyi spektral karakteristik gösterdiği görülmektedir. Tablo 6.8’de elde edilen sonuçlar aynı pencere uzunluğu ($N=23$) ve aynı analog genişliği ($w_R=0.33$) için bulunmuştur.

Tabloda verilen spektral parametrelere göre en iyi yanlob azalma oranı karakteristiğini GA kullanılarak tasarlanan pencere ve dolayısıyla bu pencerenin kullanımıyla elde edilen FIR filtre daha iyi maksimum durdurma bandı dalgalanma oranı karakteristiği gösterecektir. Bu özelliklere sahip iki boyutlu filtre bir boyutlu filtre karakteristiğine ve spektral özelliklerine sahip olacaktır. Dalgalanma oranı karakteristiği açısından en iyi karakteristiği YSA yardımıyla elde edilen pencere fonksiyonu, dolayısıyla da en iyi minimum durdurma bandı zayıflamasını da YSA yardımıyla elde edilen pencere fonksiyonu kullanımıyla tasarlanan FIR filtre gösterecektir. GA kullanılarak geliştirilen pencere, ultraspherical penceresinden hem daha iyi dalgalanma oranı hem de daha iyi yanlob azalma oranı karakteristiği göstermektedir. Bu sayede tasarlanan FIR filtre daha iyi minimum ve maksimum durdurma bandı dalgalanma oranı karakteristiği gösterecektir.

YSA kullanılarak geliştirilen pencere fonksiyonu ise GA yardımıyla tasarlanan pencere ve ultraspherical penceresinden daha kötü yanlob azalma oranı karakteristiği

gösterirken, Kaiser penceresinden hem daha iyi dalgalanma oranı hem de daha iyi yanlob azalma oranı karakteristiğine sahiptir. YSA kullanılarak tasarlanan FIR filtre bu pencere fonksiyonunun iyi özelliklerine sahip bir karakteristik göstermektedir.

Hem GA hem de YSA kullanılarak geliştirilen bir boyutlu pencere ve bundan elde edilen iki boyutlu pencere fonksiyonu ile bu fonksiyonların sayısal filtre tasarımında kullanımı sonucunda elde edilen iki boyutlu FIR filtreler, görüntü işleme uygulamasında kullanılmıştır. Geliştirilen yöntemler olan GA ve YSA ile Kaiser, ultraspherical, üstel ve cosh pencereleri kullanılarak tasarlanan filtrelerin görüntü işleme uygulamalarındaki davranışları karşılaştırılmıştır. Filtreleme işlemi sonucunda elde edilen görüntüler kıyaslanmış ve sayısal sonuçları verilmiştir. Görüntü işleme için ve denklem 6.1’de verilen genlik cevabına sahip alçak geçiren filtre uygulamasında kullanılan resim, Şekil 6.15’de gösterilmiş olup, literatürde tercih edilmektedir [63].



Şekil 6.15. Geliştirilen iki boyutlu filtreler için kullanılan görüntü

Görüntü üzerinde çeşitli işlemler yapılarak orijinal görüntü işareti değiştirilmiş ve elde edilen bulanık görüntü Şekil 6.16’da verilmiştir.



Şekil 6.16. Orijinali değiştirilmiş bulanık görüntü

Bulanıklaştırılan görüntü üzerine GA ve YSA kullanılarak iki boyutlu pencereler oluşturulmuş ve bu pencerelerden elde edilen iki boyutlu filtreler kullanılarak filtrelenmiş görüntüler Şekil 6.17 ve 6.18’de verilmiştir. Benzer olarak Kaiser, ultraspherical, üstel ve cosh pencereleri kullanılarak iki boyutlu pencereler oluşturulmuş ve bu pencerelerin kullanımıyla elde edilen iki boyutlu filtreler kullanılarak oluşturulan filtrelenmiş görüntüler sırasıyla Şekil 6.19, 6.20, 6.21, 6.22’de verilmiştir.



Şekil 6.17. GA kullanılarak tasarlanan filtrenin işlem sonucu



Şekil 6.18. YSA kullanılarak tasarlanan filtrenin işlem sonucu



Şekil 6.19. Kaiser penceresi kullanılarak tasarlanan filtrenin işlem sonucu



Şekil 6.20. Ultraspherical penceresi kullanılarak tasarlanan filtrenin işlem sonucu



Şekil 6.21. Üstel penceresi kullanılarak tasarlanan filtrenin işlem sonucu



Şekil 6.22. Cosh penceresi kullanılarak tasarlanan filtrenin işlem sonucu

Tablo 6.9. Farklı pencere fonksiyonları kullanılarak elde edilen filtre yardımıyla işlenmiş görüntülere ait PSNR oranları

Pencere Türü	PSNR Oranı (dB)
GA	14.48
YSA	14.55
Kaiser	14.47
Ultraspherical	14.59
Üstel	15.70
Cosh	15.79

Geliştirilen yöntemler kullanılarak elde edilen pencereler ve bu pencereler kullanılarak oluşturulan iki boyutlu FIR filtrelerin görüntü işleme uygulamasından sonraki

filtrelenmiş görüntülere ait PSNR (Peak Signal to Noise Ratio, Tepe sinyal gürültü oranı) değerleri Tablo 6. 9’da verilmiştir.

Tablo 6.9’daki PSNR değerlerine bakıldığında en iyi orana Kaiser penceresi kullanılarak elde edilen iki boyutlu filtre yardımıyla işlenen görüntünün sahip olduğu görülmektedir. Ancak bu değer iyi olmasına rağmen, işlenmiş görüntülere bakıldığında Kaiser penceresi yardımıyla elde edilen filtre kullanılarak oluşturulan filtrelenmiş görüntünün kenar kısımlarında yeterince başarılı olamadığı görülmektedir. Filtrelenmiş görüntüler içerisinde en başarılı sonuç, GA kullanılarak elde edilen pencere fonksiyonu kullanılarak tasarlanan iki boyutlu filtre yardımıyla filtrelenen görüntüdür. Üstel ve cosh pencereleri kullanılarak elde edilen iki boyutlu filtre kullanılarak oluşturulan filtrelenmiş görüntüler, görüntü kalitesi açısından kötü olmamakla beraber PSNR oranları diğer yöntemlere göre kötüdür. Ancak farklı görüntü işleme adımlarının uygulanması veya geliştirilmesiyle daha iyi bir görüntü ve daha iyi bir PSNR oranı elde edilebilir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Bu tez çalışmasında amaç, pek çok farklı uygulama alanlarında tercih edilen, kullanışlı spektral parametrelere sahip yeni bir pencere fonksiyonunun tasarımını akıllı hesaplama yöntemleri ile gerçekleştirmektir.

Bu amaçla öncelikle literatürde yaygın olarak kullanılan pencere fonksiyonlarının çeşitleri belirlenmiş ve birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları incelenmiştir. Literatürde Kaiser ve ultraspherical pencere fonksiyonları farklı uygulama alanlarında kullanılmaktadır. Kaiser penceresi, analob genişliği ve dalgalanma oranı bakımından ultraspherical penceresi ise yanlob azalma oranı bakımından diğer pencerelerden daha iyi bir karakteristik göstermektedir. Dolayısıyla, yeni tasarlanacak pencere fonksiyonundan bu iki pencere fonksiyonunun iyi özelliklerini bir arada bulundurması arzu edilmektedir. Ancak bu iki farklı pencere fonksiyonunun matematiksel olarak denklemlerinin birleştirilmesi işlemi oldukça zordur. Bu güçlüğü ortadan kaldıracak alternatif yöntem, son yıllarda sağladıkları kolaylık ve başarılarından dolayı tercih edilen akıllı hesaplama yöntemleridir.

Bu tez çalışmasında, akıllı hesaplama yöntemlerinden olan GA ve YSA kullanılarak Kaiser ve ultraspherical pencerelerinin iyi özelliklerini bir arada bulunduran, yeni ve kullanışlı spektral parametrelili pencere fonksiyonları elde edilmiş ve çeşitli spektral parametreler açısından literatürdeki diğer pencere fonksiyonları ile karşılaştırmaları yapılmıştır.

Yapılan ilk örnekte, GA kullanılarak elde edilen pencere ile bu pencerenin oluşmasında temel alınan Kaiser ve ultraspherical pencereleri için genlik karşılaştırması yapılmıştır. Dar analob genişliği ve aynı pencere uzunluğu için yapılan karşılaştırmada, bazı uygulamalar için önemli olan yanlob azalma oranı bakımından en iyi spektral karakteristiği GA yardımıyla elde edilen pencere fonksiyonu göstermektedir. Daha dar analob genişliği ve aynı pencere uzunluğu için yapılan karşılaştırma örneğinde ise yine en iyi yanlob azalma oranı karakteristiğini geliştirilen yöntem göstermektedir. Kaiser ve ultraspherical pencereleri için aynı pencere uzunluğu ile yapılan karşılaştırmada, YSA kullanılarak geliştirilen yeni pencere fonksiyonu, yanlob azalma oranı bakımından çok

daha iyi bir karakteristik sağlamaktadır. Ancak Kaiser ve ultraspherical pencereleri aynı pencere uzunluğu için aynı analob genişliği gösterirlerken, YSA kullanılarak geliştirilen pencere fonksiyonu daha geniş analob genişliği davranışı göstermektedir.

Literatürde kullanılan diğer pencere fonksiyonları olan üstel ve cosh pencereleri ile aynı analob genişliği ve pencere uzunluğu için yapılan karşılaştırmalarda ise, GA kullanılarak geliştirilen pencerenin üstel pencereden daha iyi yanlob azalma oranı sağladığı ve biraz daha kötü dalgalanma oranı karakteristiği gösterdiği görülmektedir. Ancak cosh penceresinden hem daha iyi dalgalanma oranı hem de daha iyi yanlob azalma oranı karakteristiği göstermektedir. YSA kullanılarak geliştirilen pencere ise yine aynı pencere uzunluğu ve analob genişliği için üstel pencereden daha iyi dalgalanma oranı sağlarken, daha kötü yanlob azalma oranı karakteristiği gösterir. Fakat cosh ile yapılan karşılaştırmada, cosh penceresinden daha iyi yanlob azalma oranı gösterip daha kötü dalgalanma oranı karakteristiğine sahiptir.

GA ve YSA kullanılarak geliştirilen pencere fonksiyonları yardımıyla, iki boyutlu pencere fonksiyonu tasarımı yapılmıştır. Bu şekilde elde edilen iki boyutlu pencere fonksiyonları da bir boyutlu pencere fonksiyonlarının özelliklerine sahiptir. Dolayısıyla, analob genişliği, dalgalanma oranı ve yanlob azalma oranı gibi spektral özellikleri iyi olan bir boyutlu pencere fonksiyonu yardımıyla tasarlanan iki boyutlu pencerelerin de kullanışlı spektral parametrelere sahip olduğu, yapılan karşılaştırma sonuçları ile kanıtlanmıştır.

Literatürde kullanılan pencere fonksiyonu spektral parametrelerinden analob genişliği, filtre tasarımında geçirme ve durdurma bandı arasındaki geçiş bandı genişliğini; küçük dalgalanma oranı, filtre karakteristiğinde geçirme ve durdurma bandı içerisinde daha az dalgalanmayı; pencere fonksiyonundaki daha küçük yanlob azalma oranı ise filtre genlik cevabı karakteristiğinde durdurma bandı içerisindeki enerji dağılımını sağlamaktadır. Dolayısıyla, pencere fonksiyonuna ait spektral parametreler FIR sayısal filtre karakteristiği hakkında bilgiler vermektedir.

Bu nedenle bir boyutlu pencere fonksiyonları, bir boyutlu FIR sayısal filtre tasarımında kullanılmıştır. Bu sayede iyi özelliklere sahip pencereler yardımıyla tasarlanan filtrelerin de iyi karakteristiğe sahip olmaları sağlanmıştır. Yapılan karşılaştırma örneklerinde, sabit pencere uzunluğu için GA kullanılarak tasarlanan pencere yardımıyla tasarlanan filtre, Kaiser ve ultraspherical pencereleri kullanılarak tasarlanan filtre karakteristiğinden çok daha iyi maksimum durdurma bandı zayıflaması ve daha dar geçiş bandı genişliği davranışı göstermektedir. Benzer olarak YSA kullanılarak tasarlanan

pencere fonksiyonu yardımıyla elde edilen FIR filtre, en iyi maksimum durdurma bandı dalgalanma oranı karakteristiğini gösterirken, en iyi minimum durdurma bandı zayıflamasını Kaiser penceresi yardımıyla tasarlanan filtre göstermektedir.

Çeşitli spektral parametreler açısından Kaiser ve ultraspherical pencerelerinden daha iyi davranışa sahip olan üstel ve cosh pencere fonksiyonları yardımıyla tasarlanan FIR filtreler ile aynı pencere uzunluğu ve geçiş bandı genişliği için yapılan genlik karşılaştırmaları yapılmıştır. GA kullanılarak geliştirilen pencere yardımıyla tasarlanan filtre daha iyi maksimum durdurma bandı dalgalanma oranına sahipken üstel pencere kullanılarak tasarlanan filtre daha iyi minimum durdurma bandı dalgalanma oranına sahiptir. Cosh yardımıyla elde edilen filtre ile yapılan karşılaştırmada ise GA yardımıyla elde edilen pencere kullanılarak oluşturulan filtre daha iyi geçiş bandı genişliği ve maksimum durdurma bandı dalgalanma oranına sahipken, minimum durdurma bandı dalgalanma oranı bakımından kötü bir karakteristiğe sahiptir.

YSA kullanılarak oluşturulan pencere yardımıyla elde edilen filtre ile aynı pencere uzunluğu ve geçiş bandı genişliği için literatürde kullanılan pencere fonksiyonları ile yapılan karşılaştırmalarda, üstel pencere yardımıyla elde edilen filtre spektrumundan hem daha iyi minimum durdurma bandı hem de daha iyi maksimum durdurma bandı dalgalanma oranı karakteristiğine sahiptir. Cosh penceresi kullanılarak tasarlanan filtre ile aynı pencere uzunluğu ve geçiş bandı genişliği için yapılan karşılaştırmada ise daha iyi maksimum durdurma bandı dalgalanma oranına sahipken biraz kötü minimum durdurma bandı dalgalanma oranı karakteristiği göstermektedir.

GA ve YSA yardımıyla geliştirilen pencere fonksiyonları kullanılarak tasarlanan iki boyutlu pencere fonksiyonları ile iki boyutlu FIR sayısal filtre tasarımı gerçekleştirilmiş ve elde edilen iki boyutlu filtreler görüntü işleme uygulamasında kullanılmıştır. GA ve YSA yardımıyla elde edilen pencere ile Kaiser, ultraspherical, üstel ve cosh pencereleri kullanılarak elde edilen iki boyutlu pencereler ve bu pencereler yardımıyla oluşturulan iki boyutlu filtreler kullanılarak, filtrelenmiş görüntüler içinde en iyi PSNR oranına Kaiser penceresi sahiptir. Ancak GA yardımıyla elde edilen pencere kullanımıyla elde edilen filtre ile filtrelenmiş görüntü, özellikle resim kenarlarında daha başarılı sonuçlar vermektedir.

Sonuç olarak, GA yardımıyla elde edilen bir ve iki boyutlu pencere ile iki boyutlu filtre karakteristiği, YSA yardımıyla tasarlanan bir ve iki boyutlu pencere ile iki boyutlu filtreden daha başarılıdır. Fakat YSA yardımıyla tasarlanan pencere kullanılarak elde

edilen bir boyutlu filtrenin GA yardımıyla tasarlanan filtreden daha başarılı olduğu görülmektedir.

7.2. Öneriler

Yapılan tez çalışmasında, ileriki zamanlarda yapılabilecek çeşitli araştırma ve iyileştirme alanları aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- GA kullanılarak geliştirilen yöntemde istenilen pencere spektral parametrelerine ağırlıklar atanarak istenilen özelliklere sahip daha kullanışlı pencere fonksiyonları elde edilebilmek için çalışmalar yapılabilir.
- YSA kullanılarak geliştirilen yöntem, GA kullanılarak geliştirilen yöntemden biraz daha kötü bir analob genişliği davranışı göstermektedir. Dolayısıyla, YSA kullanılarak geliştirilen pencere fonksiyonu üzerinde çeşitli işlemler ile analob genişliği daha dar olan ve daha iyi performansa sahip pencere fonksiyonu elde edilebilmek için çalışmalar yapılabilir.
- GA ve YSA kullanılarak geliştirilen pencere fonksiyonları kullanılarak oluşturulan iki boyutlu pencere ve bunların kullanımı ile elde edilen iki boyutlu filtre yapılarının görüntü işleme üzerindeki performansları arttırılarak, görüntü işleme veya iyileştirme işlemleri geliştirilebilir.
- FIR filtre tasarımı sırasında meydana gelen salınımları ortadan kaldıracak yeni ve daha hızlı çözüm sağlayan kullanışlı spektral parametrelere sahip uygun başka bir pencere fonksiyonu geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Antoniu, A.**, 2005. Digital signal processing: Signal, systems and filters. McGraw-Hill, New York, NY, USA.
- [2] **Mottaghi-Kashtiban, M. and Shayesteh, M. G.**, 2010. A New Window Function for Signal Spectrum Analysis and FIR Filter, *18th Iranian Conference on Electrical Engineering*, Isfahan, Iran, p. 215-219.
- [3] **Shayesteh, M. G. and Mottaghi-Kashtiban, M.**, 2009. FIR filter design using a new window function, *16th International Conference on Digital Signal Processing*, Santorini-Hellas, Greece, p. 1-6.
- [4] **Shayesteh, M. G. and Mottaghi-Kashtiban, M.**, An efficient window function for design of FIR filters using IIR filters, *IEEE EUROCON 2009*, St.-Petersburg, Russia, p. 1443 – 1447.
- [5] **Gibbs, J.W.**, 1899. Fourier series, p. 200-606.
- [6] **Fejer, L.**, 1900. Sur les fonctions bornees et integrables, *Comptes Rendus Hebdomadaires, Seances de l'Academie de Sciences*, Paris, 131, p. 984-987.
- [7] **Lanczos, C.**, 1956. Applied Analysis. Van Nostrand, Princeton, NJ.
- [8] **Mitra, S.J.**, 2006. Digital Signal Processing A Computer-Based Approach, s-972, McGraw-Hill International Edition, Singapore.
- [9] **Dolph, C.L.**, 1946. A current distribution for broadside arrays which optimizes the relationship between beamwidth and side-lobe level, *Proc. IRE*, June, 34, 335-348.
- [10] **Ha, Y.H. and Pearce, J.A.**, 1989. A New Window and Comparison to Standard Windows, *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*. 37/2, 298-301.
- [11] **Saramaki, T.**, 1989. A class of window functions with nearly minimum sidelobe energy for designing FIR filters, *Proc. IEEE Int. Symp. Circuits and systems*, Portland, Ore, USA, May, 1, p. 359-362.
- [12] **Adams, J.W.**, 1991. A new optimal window, *IEEE Transactions on Signal Processing*. 39/8, 1753-1769.
- [13] **Saramaki, T.**, 1991. Adjustable windows for the design of FIR filters-A tutorial, *6th Mediterranean Electrotechnical Conference*. May. Ljubljana, Slovenia, p. 28–33.

- [14] **Yang, S. and Ke, Y.**, 1992. On the three-coefficient window family, *IEEE Transactions on Signal Processing*. **40/12**, 3085-3088.
- [15] **Gautam, J.K., Kumar, A. and Saxena R.**, 1996. On the modified Bartlett- Hanning window (family), *IEEE Transactions on Signal Processing*. **44/8**, 2098-2102.
- [16] **Fuchs, J.J.**, 2002. New windows for tunable length FIR Filter Design, *Proc. IEEE*, May, Orlando, USA, 2, p. 1521-1524.
- [17] **Sharma, S.N., Saxena R. and Alok, J.**, 2002. FIR digital filter design with Parzen and Cos6 (π) combinational window family, *6th Int. conf. on Signal Processing*. Aug, 1, p. 92-95.
- [18] **Saramaki, T.**, 1993. Finite impulse response filter design, in *Handbook for Digital Signal Processing*, S.K. Mitra and J.F. Kaiser, Eds. Wiley & Sons, New York, NY, USA.
- [19] **Kaiser, J.F. and Schafer, R.W.**, 1980. On the use of the I_0 -sinh window for spectrum analysis, *IEEE Trans. Acoustics, Speech, and Signal Processing*, **28/1**, 105-107.
- [20] **Kaiser, J.F.**, 1974. Nonrecursive digital filter design using I_0 -sinh window function. *Proc. IEEE Int. Symp. Circuits and Systems*, San Francisco, Calif., USA, 20-23 April, p. 20-23.
- [21] **Avci, K. and Nacaroğlu, A.**, 2008. A new window based on exponential window. *IEEE Ph.D. Research in Microelectronics and Electronics*, June. Istanbul, Turkey, p. 69-72.
- [22] **Avci, K. and Nacaroğlu, A.**, 2008. Kaiser Yaklaşımı Kullanılarak Oluşturulan Üstel Pencereyle Yinelemesiz Sayısal Süzgeç Tasarımı, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi 30. Yıl Sempozyumu*, Adana, 16-17 Ekim, s. 274-279.
- [23] **Avci, K. and Nacaroğlu, A.**, 2009. Cosh window family and its application to FIR filter design, *International Journal of Electronics and Communications-AEU*, **63**, 906-917.
- [24] **Avci, K. and Nacaroğlu, A.**, 2008. Cosine hyperbolic window family with its application to FIR filter design, *Proc. of Third International Conference on Information and Communication Technologies*, April. Damascus, Syria, p. 289-290.
- [25] **Deczky, A.G.**, 2001, Unispherical Windows, *IEEE Int. Symp. on Circuits and Systems*. Sydney, Australia, May, 2, p. 85-88.

- [26] **Bergen, S.W.A. and Antoniou, A.**, 2002. Generation of Ultraspherical window functions, *XI European Signal Processing Conference*, Toulouse, France, September, 2, p. 607-610.
- [27] **Bergen, S.W.A. and Antoniou, A.**, 2004. Design of Ultraspherical Window Functions with Prescribed Spectral Characteristics, *EURASIP Journal on Applied Signal Processing*, **13**, 2053-2065.
- [28] **Bergen, S.W.A. and Antoniou, A.**, 2003. Nonrecursive Digital Filter Design Using the Ultraspherical Window, *IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers, And Signal Processing*, August 28-30, p. 260-263.
- [29] **Bergen, S.W.A. and Antoniou, A.**, 2005. Design of Nonrecursive Digital Filters Using the Ultraspherical Window Function, *EURASIP Journal on Applied Signal Processing*, **12**, 1910-1922.
- [30] **Avci, K. and Nacaroğlu, A.**, 2008. Modification of Cosh window family. *Proc. of Third International Conference on Information and Communication Technologies*, Damascus, Syria, p. 291-292.
- [31] **Avci, K. and Nacaroğlu, A.**, 2008. An efficient study on the modification of Kaiser window. *Proc. of 7th International Conference COMMUNICATIONS 2008*. June. Bucharest, Romania, p. 63-66.
- [32] **Avci, K. and Nacaroğlu, A.**, 2009. An efficient study on the modification of Kaiser window, *MTA Review*, **XIX /1**, 87-96.
- [33] **Avci, K. and Nacaroğlu, A.**, 2008. Nonrecursive digital filter design using a three-parameter window based on cosine hyperbolic function. *Proc. of 10th International Conference Digital Signal Processing and its Applications*, March. Moscow, Russia, p. 121-124.
- [34] **Avci, K. and Nacaroğlu, A.**, 2008. High quality low order Nonrecursive digital filter design using modified Kaiser window. *Proc. of 6th Symposium on Communication Systems, Networks and Digital Signal processing*, July. Graz, Austria, p. 239-242.
- [35] **Huang, T.S.**, 1972. Two-Dimensional Windows, *IEEE Transactions on Audio and Electroacoustics*, p.88-89.
- [36] **Speak, T. C. and Mersereau, R.M.**, 1979. A Comparison of Different Window Formulations for Two-Dimensional FIR Filter Design, in *IEEE Acoust., Speech, Signal Processing Conf. Rec.*, p. 5-8.
- [37] **Speak, T. C. and Mersereau, R.M.**, 1981. A Note on the Use of Windows for Two-Dimensional FIR Filter Design, *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, p. 125-128.

- [38] **McClellan, J. H.**, 1973. The design of two dimensional digital filters by transformation, in *Proc. 7th Annu. Princeton Conf. Inform. Sci. Syst.*, p. 247-251.
- [39] **Yu, T.H. and Mitra, S. K.**, 1985. A New Two-Dimensional Window, *IEEE Transaction on Acoustics, Speech, and Signal Processing.*, **33/4**, 1058-1061.
- [40] **Lu, H. C. and Yeh, K.H.**, 1997. Optimal design of 2-D FIR digital filters by scaling-free McClellan transformation using least-squares estimation, *Signal Processing*, **58**, 303-308.
- [41] **Antoniou, A. and Lu, W.S.**, 1990. Design of 2-D nonrecursive filters using of the window method, *IEE Proceedings*, **137/4**, 247- 250.
- [42] **Bernabo, F. and Emiliani, P.L.**, 1976. Design of 2-dimensional recursive digital filters, *Electronics Letters*, **12/11**, 288-289.
- [43] **Hu, J. V. and Rabiner, L. R.**, 1972. Design Techniques for Two Dimensional Digital Filters, *IEEE Transaction on Audio and Electroacoustis*, **20/4**, 249- 257.
- [44] **Charalmbous, C.**, 1982. Design of 2-dimensional circularly-symmetric digital filters, *IEE Proceedings*, **129/2**, 47-54.
- [45] **Shpak, D. J.**, 1991. A Transformation Method for the Design of Two-Dimensional Circularly-Symmetric FIR Digital Filters, *IEEE International Symposium on Circuits and System*, p. 2475-2478.
- [46] **Nabiyev, V.V.**, 2005. *Yapay Zekâ Problemler-Yöntemler-Algoritma*, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- [47] **Janeiro, M. F. and Ramos P. M.**, 2009. Impedance Measurements Using Genetic Algorithms and Multiharmonic Signals, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, **58/2**, 383-388.
- [48] **Yuen, Y. S. and Chow, C. K.**, 2009. A Genetic Algorithm that Adaptively Real-Coded Genetic Algorithm, *IET Generation, Transmission & Distribution*, **3/2**, 454-472.
- [49] **Amjaday, N. and Nasiri-Rad, H.**, 2009, Economic Dispatch Using an Efficient Real-Coded Genetic Algorithm, *IET Generation, Transmission & Distribution*, **3/3**, 266-278.
- [50] **Wang, N., Zhuang, J., Du, H. and Wang, S.**, 2008. A Self Organization Genetic Algorithm with Cycle Mutation, *20th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligent*, p. 530-533.

- [51] **Kamal, M. F. M., Rahman, T. K. A. and Musirin, I.**, 2004. Application of Improved Genetic Algorithm for Loss Minimization in Power System, *National Power & Energy Conference (PeCon)*, Malaysia, p. 258-262.
- [52] **Xiao, H. and Tan, G.**, 2008. A Novel Simplex Hybrid Genetic Algorithm, *IEEE The 9th International Conference for Young Computer Scientist*, p. 1801-1806.
- [53] **Liang, R. H., Ke, M. H. and Chen, Y. T.**, 2009. Coevolutionary Algorithm Based on Lagrangian Method for Hydrothermal Generation Scheduling, *IEEE Transaction on Power Systems*, **24/2**, 499-507.
- [54] **Kaya, T. and İnce, M.C.**, 2009. The Calculation of Adjustable Window Parameters With Helping GA, *Applied Automatic Systems*, Ohrid, Republic of Macedonia, p.135-138.
- [55] **Karaboğa, D.**, 2004. Yapay Zekâ Optimizasyon Algoritmaları, Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul.
- [56] **Bakır, M.A.**, 2003. Tamsayılı Programlama Teori, Modeller ve Algoritmalar, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- [57] **Raslan, T. and Horrocks, D.H.**, 1995. The Design of Analog and Digital Filters using Genetic Algorithms, *IEE*, **2/1**, 2-5.
- [58] **Lee, A., Ahmed M., Jullien, G.A., Miller, W.C. and Lashkar, R.S.**, 1998. Digital Filter Design Using Genetic Algorithm, *IEEE*, p.34-38.
- [59] **Suckley, D.**, 1991. Genetic Algorithm in the Design of FIR Filters, *IEE Proceedings*, 234-238.
- [60] **Cemes, R. and Ait-boudaoud, D.**, 1993. Genetic Approach to Design of Multiplierless FIR Filters, *IEE*, p.2090-2091.
- [61] **Mastorakis, N. E., Gonos, L. F., Swamy, M.N.S.**, 2003. Design of Two-Dimensional Recursive Filters Using Genetic Algorithm, *IEEE Transactions on Circuit and Systems-I: Fundamental Theory and Applications*, **50 (5)**, 34-639.
- [62] **Tsai, J.T., Chou, J.H., Liu, T.K. and Chen, C.H.**, 2005. Design of Two-Dimensional Recursive Filters by Using a Navel Genetic Algorithm, *IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, p. 2603-2606.
- [63] **Tsai, J.T. Ho, W. H. and Chou, J.H.**, 2009. Design of two-dimensional IIR digital structure-specified filters by using an improved genetic algorithm, *Expert Systems with Applications*, **36**, 6928-6934.
- [64] **Cichocki, A. and Unbehauen, R.**, 1993. Neural Networks for Optimization and Signal Processing. New York: Wiley.

- [65] **Chua, L.O. and Lin, G. N.**,1984. Nonlinear programming without computation, *IEEE Trans. Circuits Syst.*, **33**, 182-186.
- [66] **Lillo, W. E., Loh, M. H., Hui, S. and Zak, S. H.**, 1991. On solving constrained optimization problems with neural networks: A penalty method approach, School Elect. Eng., Purdue Univ., West Lafayette, IN, Tech. Rep. TR EE 91-43.
- [67] **Lillo, W. E., Hui, S., Hui, S. and Zak, S. H.**, 1993. Neural network for constrained optimization problems, *Int. J. Circuit Theory Applicat.*, **21**, 385–399.
- [68] **Mladenov, V. M. and Proshkov, P. N.**, 1998. Modeling and simulation of continuous neural networks for constrained optimization problems, in *Recent Advances in Information Science and Technology*, N. E. Mastorakis, Ed, Singapore: World Scientific, p. 386–393.
- [69] **Tsividis, Y. and Anastassiou, D.**, 1987. Switched-capacitor neural networks, *Electron. Lett.*, **23**, p. 958–959.
- [70] **Lee, T. T., and Jeng J. T.**, 1998. The Chebyshev-Polynomials- Based Unified Model Neural Networks for Function Approximation, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, **28/6**, p. 925-935.
- [71] **Forti, M., Manetti, S. and Marini, M.**, 1990. Neural Network for Adaptive FIR Filtering, *Electronics Letters*, **20/14**, p. 1018-1019.
- [72] **Mladenov, V. M. and Mastorakis, N. E.**, 2001. Design of Two-Dimensional Recursive Filters by Using Neural Networks, *IEEE Transactions on Neural Networks*, **12/3**, p. 585-560.
- [73] **Avci, K.**, 2008. Design of High-Quality Low-Order Nonrecursive Digital Filters Using the Window Functions, *PhD Thesis*, University of Gaziantep.
- [74] **Schlichtharle, D.**, 2000. Digital Filters Basics and Design, Springer, Germany.
- [75] **Kayran, A. H. ve Eksioğlu, E. M.**, 2004. Bilgisayar Uygulamalarıyla Sayısal İşaret İşleme, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [76] **Oppenheim, A. V., Willsky, A. S. and Young, I. T.**, 1983. Signals and Systems, United States of America.
- [77] **Oppenheim, A. V. and Schaffer, R. W.**, 1975. Digital Signal Processing, Prentice-Hall International Editions, U.S.A.
- [78] **Kaya, T.**, 2006. Genetik Algoritma ile Sayısal Filtre Tasarımı, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- [79] **Lu, W. S. and Antoniou, A.**, 1992. Two-Dimensional Digital Filter, Marcel Dekker, Inc. New York.

- [80] **Öztemel, E.**, 2003. Yapay Sinir Ağları, Papatya Yayıncılık, İstanbul.
- [81] **Holland, .H.**, 1975. Adaptation in Natural and Artificial Systems, University of Michigan Press, Ann Arbor.
- [82] **Cao, Y.J., Wu, Q.H. and Shimming D.W.**, 1997. Study of Initial Population Evolutionary Programming, *European Control Conference ECC97*, pp.1-4.
- [83] **Glasserman, P.**, Monte Carlo Methods in Financial Engineering, Application of Mathematics Stochastic Modeling and Applied Probability, Springer, 558 pp., <http://books.google.com.tr/>
- [84] **Leung, Y.W. and Wang, Y.**, 2001. An Orthogonal Genetic Algorithm with Quantization for Global Numerical Optimization, *IEEE Transaction on Evolutionary Computation*, **5/1**, p. 41-53.
- [85] **Leung, Y.W. and Wang, Y.**, 2000. Multiobjective Programming Using Uniform Design and Genetic Algorithm, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews*, **30/3**, p. 293-304.
- [86] **Gürsu, B.**, 2009. Sezgisel Algoritmalar Kullanarak Transformatör Merkezlerinde Topraklama Ağlarının Tasarımı, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- [87] **Kaya, T. ve İnce, M.C.**, 2010. Kullanışlı Spektral Parametrelili Pencere Fonksiyonunun Düzgün Dağılımlı Genetik Algoritma Yardımıyla Elde Edilmesi, *ELECO2010 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, 2-5 Aralık, s. 365-369.
- [88] **Kaya, T. ve İnce, M.C.**, 2010. Düzgün Dağılımlı Genetik Algoritmaların Pencere Fonksiyonu Performansına Etkisi, *IEEE 18. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı SIU-2010*, 22-24, s.475-478.
- [89] **Haykin, S.**, 1994. Neural Networks. A Comprehensive Foundation, Prentice-Hall, N-J.
- [90] **Elmas, Ç.**, 2003. Yapay Sinir Ağları (Kuram, Mimari, Eğitim, Uygulama), Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- [91] **Kaya, T. ve İnce, M.C.**, 2011. Genetik Algoritma Yardımıyla Elde Edilen Yüksek Performanslı Pencere Fonksiyonlarının Yinelemesiz Sayısal Filtre Tasarımında Kullanımı, *6th International Advanced Technologies Symposium- IATS 11*, May 16-18, p. 114-119.
- [92] **Jain, A., Saxena, R. and Saxena, SC.**, 2005. A simple alias-free QMF system with near-perfect reconstruction, *J Indian Ins Sci*, **12**, p.1-10.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

İsim Soyisim : Turgay KAYA
Uyruğu : T.C.
Doğum Tarihi : 01.08.1982
Medeni Hali : Bekâr
Telefon : 0 424 2370000 Dâhili 5221
0 505 5232159
Email : tkaya@firat.edu.tr



Eğitim Bilgileri

Derece	Üniversite/Okul	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Fırat Üniversitesi Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü	2006
Lisans	Fırat Üniversitesi Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü	2003
Lise	Mehmet Akif Ersoy Lisesi	1999

İş Tecrübesi

2004 yılından beri Fırat Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak görev yapmaktayım.

Yayınlar

Ulusal Hakemli Dergilerdeki Yayınlar

- 1- Kaya T., İnce M. C., Pencere Fonksiyonu Aileleri ve Uygulama Alanları, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt:26, Sayı:3, 291-306, Eylül, 2010.
- 2- Kaya T., İnce M. C., Genetik Algoritmalar ile Sayısal Filtre Tasarımı, Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt:20, Sayı:3, 459-466, 2008.

Uluslararası Konferans ve Sempozyumlar

1. Kaya T., İnce M.C., Genetik Algoritma Yardımıyla Elde Edilen Yüksek Performanslı Pencere Fonksiyonlarının Yinelemesiz Sayısal Filtre Tasarımında Kullanımı, 6th International Advanced Technologies Symposium- IATS 11, May 16-18-2011, 114-119-Firat University, Elazig, Turkey.
2. Kaya T., İnce M.C., Genetik Algoritma Tabanlı Bilineer Dönüşümü Kullanarak Sayısal Bir Süzgecin Tasarımı, 5th International Advanced Technologies Symposium- IATS 09, May 13-15 2009, Karabuk University, Karabuk, Turkey.
3. Kaya T., İnce M.C., The Calculation of Adjustable Window Parameters with Helping GA, The 5th ETAI International Conference on Applied Automatic Systems, September 26-29 2009, Ohrid-Macedonia.

4. Kaya T., İnce M.C., The FIR Filter Design By Using Window Parameters Calculated with GA, ICSCCW 2009-Fifth International Conference on Soft Computing, Computing with Words and Perceptions in System Analysis, Decision and Control, September 2-4 2009, North Cyprus.

Ulusal Konferans ve Sempozyumlar

1. Kaya T., İnce M.C., Kullanışlı Spektral Parametrelili Pencere Fonksiyonunun Düzgün Dağılımlı Genetik Algoritma Yardımıyla Elde Edilmesi, ELECO2010 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, 2-5 Aralık 2010, Bursa.
2. Kaya T., İnce M.C., Düzgün Dağılımlı Genetik Algoritmaların Pencere Fonksiyonu Performansına Etkisi, IEEE 18. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı, SIU-2010, 22-24 Nisan 2010, 475-478, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır.
3. Kaya T., İnce M.C., Yüksek Performanslı Pencere Fonksiyonlarının Genetik Algoritma Yardımıyla Gerçekleştirilmesi, III. Haberleşme Teknolojileri ve Uygulamaları Sempozyumu (HABTEKUS- 2009), 9-11 Aralık 2009, 235-238, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
4. Kaya T., İnce M.C., Düşük Dereceli Sayısal Filtrelerin GA Yardımıyla Tasarımı, BIYOMUT 2009 14. Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Toplantısı, 20-24 Mayıs 2009, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
5. Kaya T., İnce M.C., Genetik Algoritmaların Aktif Filtrelerde Kullanımı, ELECO-2008 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, 26-30 Kasım 2008, Bursa.
6. Kaya T., İnce M.C., Genetik Algoritmaların Butterworth IIR Sayısal Filtrelerde Kullanımı, ELECO-2008 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, 26-30 Kasım 2008, Bursa.
7. Kaya T., İnce M.C., Chebyshev Sayısal IIR Filtrelerin Genetik Algoritma Yardımıyla Tasarlanması, Union Radio-Scientifique Internationale (URSI), 4. Bilimsel Kongresi, 20-22 Ekim 2008, Akdeniz Üniversitesi, Antalya.
8. Kaya T., İnce M.C., Genetik Algoritmaların Butterworth Filtre Parametrelerinin Hesaplanmasında Kullanımı, MMF''2008 Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi 30. Yıl Sempozyumu, 16-17 Ekim 2008, Adana.
9. Kaya T., İnce M.C., Chebyshev Filtre Yaklaşımında Genetik Algoritma Kullanımı, BMYS'2008 Bilimde Modern Yöntemler Sempozyumu, 15-17 Ekim 2008, Eskişehir.
10. Kaya T., İnce M.C., Uyarlanırlı Süzgeçlerde GA Kullanılarak Sayısal Süzgeçlerin Tasarlanması, ASYU 2008 Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu, 19-21 Haziran 2008, Isparta.
11. Kaya T., İnce M.C., Aktif Analog Filtrelerin YSA İle Modellenmesi, 12. Elektrik-Elektronik, Bilgisayar Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Kongresi ve Fuarı, 14-18 Kasım 2007, Eskişehir.
12. Kaya T., İnce M.C., Akbal E., Ulaş M., Boyacı A., Aktif Analog Filtrelerde Eleman Değerlerini Belirleyen Bilgisayar Yazılımı, Union Radio-Scientifique Internationale (URSI), 3. Bilimsel Kongresi, 6-8 Eylül 2006, Ankara.

Konuşma Dilleri: Türkçe (Ana dil), İngilizce (İyi)

İlgi Alanları: Spor yapmak, seyahat etmek, tasarım ve müzik dinlemek.