

T.C.
ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



HİBRİT PENCERE FONKSİYONLARI KULLANARAK YENİ
FİR SAYISAL SÜZGEÇLERİN TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OĞUZHAN COŞKUN

BOLU, MAYIS - 2018

T.C.
ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM
DALI



HİBRİT PENCERE FONKSİYONLARI KULLANARAK YENİ
FIR SAYISAL SÜZGEÇLERİN TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OĞUZHAN COŞKUN

BOLU, MAYIS - 2018

KABUL VE ONAY SAYFASI

OĞUZHAN COŞKUN tarafından hazırlanan “HİBRİT PENCERE FONKSİYONLARI KULLANARAK YENİ FIR SAYISAL SÜZGEÇLERİN TASARIMI” adlı tez çalışması Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda 25/05/2018 tarihinde ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Danışman
Dr.Öğr.Üyesi Kemal AVCİ
Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Üye
Doç.Dr. Seda POSTALCIOĞLU
Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Üye
Dr.Öğr.Üyesi. Haydar ANKIŞKAN
Başkent Üniversitesi

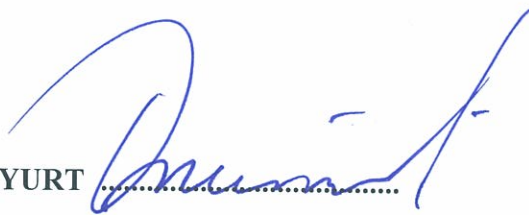
İmza



Mezuniyet tarihi:

Doç. Dr. Ömer ÖZYURT

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü





Aileme,

ETİK BEYAN

Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

1. Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 2. Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 3. Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 4. Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 5. Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

OĞUZHAN COŞKUN



ÖZET

**HİBRİT PENCERE FONKSİYONLARI KULLANARAK YENİ FIR
SAYISAL SÜZGEÇLERİN TASARIMI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
OĞUZHAN COŞKUN
ABANT İZZET BAYSAL ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DR.ÖĞR.ÜYESİ KEMAL AVCİ)**

BOLU, MAYIS - 2018

Bu tez çalışmasında, FIR sayısal süzgeçlerin pencereleme yöntemi tabanlı tasarımı için yeni hibrit pencere fonksiyonları sunulmaktadır. Önerilen bu yeni pencereler, literatürde bulunan iki parametrelili Cosh penceresi ile tek parametrelili farklı pencerelerin birleştirilmesiyle elde edilmiştir. Öncelikle on adet pencere spektral parametre cinsinden sabit ve önerilen pencerelerin pencere spektral performans analizi yapılmıştır. Daha sonra süzgeç tasarımı ile ilgili pencere spektral parametre olan tepelik oranı ve analob genişliği cinsinden önerilen pencerelerin analizleri yapılmıştır. $N = 51$ pencere uzunluğu ve sabit analob genişliğinde yapılan benzeşim sonuçları, dört adet Cosh tabanlı hibrit pencerenin Kaiser ve Cosh pencerelerinden daha iyi tepelik oranı sonuçları verdiğini göstermiştir. $N = 51$ pencere uzunluğunda farklı analob genişliğinde yapılan benzeşim sonuçları ise beş hibrit pencerenin Cosh penceresinden daha iyi tepelik oranı verebileceğini göstermiştir. Son olarak önerilen hibrit pencerelerin süzgeç tasarımıdaki performansları kıyaslamalı olarak incelenmiştir. $N = 51$ süzgeç uzunluğu ve farklı süzgeç geçiş genişliklerinde yapılan benzeşim sonuçları, altı hibrit pencerenin Cosh penceresine göre daha iyi süzgeç karakteristiği sağlayabileceğini göstermiştir. Ayrıca, $N = 51$ ve 101 süzgeç uzunluklarında önerilen pencerelerle tasarlanan süzgeçler, literatürdeki iki parametrelili pencerelerle tasarlanan süzgeçlerle sabit geçiş genişliği için minimum bant durdurma zayıflatması cinsinden kıyaslanmıştır. Sonuçlar, Cosh-Hamming ve Cosh-Von Hann pencerelerinin diğer pencerelere göre daha iyi süzgeçler sağlayabildiğini göstermiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Sayısal süzgeçler, Pencere fonksiyonları, Hibrit pencereler, Pencereleme yöntemi, Cosh penceresi, Kaiser penceresi

ABSTRACT

DESIGN OF NEW FIR DIGITAL FILTERS BY USING HYBRID WINDOW FUNCTIONS

MSC THESIS

OĞUZHAN COŞKUN

**ABANT İZZET BAYSAL UNIVERSITY GRADUATE SCHOOL OF
NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

**DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING
(SUPERVISOR: ASSIST. PROF. DR. KEMAL AVCİ)**

BOLU, MAY 2018

In this thesis study, new hybrid window functions are presented for the design of windowing method based design of FIR digital filters. These proposed new windows are obtained by combining the Cosh window having two-parameters with different windows having one-parameter in the literature. First of all, window spectral performance analysis of fixed and proposed windows are performed in terms of ten window spectral parameters. Then, analysis of the proposed windows in terms of the ripple ratio and mainlobe width, which are the window spectral parameters related with filter design, are performed. The simulation results with a window length of $N = 51$ and fixed mainlobe width show that four Cosh based hybrid windows can present better ripple ratio than both Kaiser and Cosh windows. As for the simulation results with a window length of $N = 51$ and different mainlobe widths, it is shown that five hybrid windows can present better ripple ratio than Cosh window. Finally, the performance of the proposed hybrid windows in the filter design is investigated comparatively. The simulation results performed for a filter length of $N = 51$ and different filter transition widths show that six hybrid windows can provide better filter characteristics than Cosh window. Moreover, for filter lengths of $N = 51$ and 101, the filters designed by the proposed windows are compared with the filters designed by two-parameter windows in literature in terms of the minimum stopband attenuation for fixed transition width. Results show that Cosh-Hamming and Cosh-Von Hann windows can provide better filters than other windows.

KEYWORDS: Digital filters, Window functions, Hybrid windows, Windowing method, Cosh window, Kaiser window

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ	xv
TEŞEKKÜR	xvii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Sayısal Süzgeçler.....	1
1.2 Problem Tanımı.....	2
1.3 Tez Çalışmasının Amacı	2
1.4 Tezin Yapısı	3
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
3. MATERYAL VE YÖNTEM	6
3.1 Pencere Fonksiyonu Tanımı	6
3.2 Pencere Spektral Analizi	7
3.2.1 Tepecik Oranı	8
3.2.2 Analob Genişliği	8
3.2.3 Eş değer Gürültü Bant Genişliği.....	8
3.2.4 3 dB ve 6 dB Bant Genişliği	10
3.2.5 Varyans Düzeltme Faktörü	11
3.2.6 Tutarlı Kazanç.....	11
3.2.7 Bozulma Kaybı	11
3.2.8 Skala Kaybı.....	12
3.2.9 En Kötü Durum İşleme Kaybı	13
3.3 Literatürde Önerilen Pencere Fonksiyonları	13
3.3.1 Sabit Pencere Fonksiyonları	13
3.3.1.1 Bartlett Penceresi	13
3.3.1.2 Bartlett-Hann Penceresi	14
3.3.1.3 Blackman Penceresi	14
3.3.1.4 Blackman-Harris Penceresi.....	14
3.3.1.5 Bohman Penceresi.....	15
3.3.1.6 Cos(x) Penceresi.....	15
3.3.1.7 Cos ³ (x) Penceresi	15
3.3.1.8 Cos ⁴ (x) Penceresi	15
3.3.1.9 Flat-Top Penceresi	15

3.3.1.10	Hamming Penceresi	16
3.3.1.11	Lanczos Penceresi	16
3.3.1.12	Nuttal Penceresi	16
3.3.1.13	Optimized Blackman Penceresi	17
3.3.1.14	Parabolic Penceresi	17
3.3.1.15	Parzen Penceresi.....	17
3.3.1.16	Rectangular Penceresi	18
3.3.1.17	Riemann Penceresi	18
3.3.1.18	Triangular Penceresi.....	18
3.3.1.19	Von-Hann Penceresi.....	18
3.3.1.20	Welch Penceresi	19
3.3.2	Ayarlanabilir Pencere Fonksiyonları	21
3.3.2.1	Cosh Penceresi	21
3.3.2.2	Cosh-Hamming Penceresi.....	21
3.3.2.3	Dolph Chebyshev Penceresi.....	21
3.3.2.4	Exponential Penceresi	22
3.3.2.5	Exponential-Hamming Penceresi.....	22
3.3.2.6	Gaussian Penceresi.....	22
3.3.2.7	Hann Poisson Penceresi	22
3.3.2.8	Kaiser Penceresi (Modified Zeroth-Order Kaiser Bessel)	23
3.3.2.9	Kaiser Penceresi (Modified First-Order Kaiser-Bessel)	23
3.3.2.10	Kaiser-Hamming Penceresi.....	23
3.3.2.11	Modified Cosh Penceresi	24
3.3.2.12	Modified Kaiser Penceresi	24
3.3.2.13	Poisson Penceresi	24
3.3.2.14	Raised-Cosine Penceresi	24
3.3.2.15	Saramaki Penceresi	25
3.3.2.16	Sum-Cosine Penceresi.....	25
3.3.2.17	Truncated Taylor Penceresi.....	25
3.3.2.18	Tukey Penceresi	26
3.3.2.19	Ultraspherical Penceresi.....	26
3.4	Pencere Fonksiyonları Kullanılarak FIR Sayısal Süzgeç Tasarımı....	27
3.5	Önerilen Hibrit Pencereleler.....	29
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA	32
4.1	Pencerelerin Spektral Analizi	32
4.1.1	Sabit Pencerelerin Spektral Analizi	32
4.1.1.1	Tepecik Oranı Cinsinden Spektral Analiz.....	33
4.1.1.2	Analob Genişliği Cinsinden Spektral Analiz	35
4.1.1.3	3 dB Bant Genişliği Cinsinden Spektal Analiz.....	37
4.1.1.4	6 dB Bant Genişliği Cinsinden Spektral Analiz.....	39
4.1.1.5	ENBW Cinsinden Spektral Analiz.....	41
4.1.1.6	Varyans Düzeltme Faktörü Cinsinden Spektral Analiz	43
4.1.1.7	Tutarlı Kazanç Cinsinden Spektral Analiz.....	45
4.1.1.8	Bozulma Kaybı Cinsinden Spektral Analiz	47
4.1.1.9	Skala Kaybı Cinsinden Spektral Analiz.....	49
4.1.1.10	WCPL Cinsinden Spektral Analiz	51
4.1.2	Sabit Pencerelerin Spektral Analizi için Arayüz Geliştirilmesi...53	
4.1.3	Önerilen Hibrit Pencerelerin Spektral Analizi.....	55
4.1.3.1	Tepecik Oranı Cinsinden Spektral Analiz.....	55
4.1.3.2	Analob Genişliği Cinsinden Spektral Analiz	57

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1. $N = 31$ uzunluklu tipik bir pencere fonksiyonu	6
Şekil 3.2. Tipik bir pencerenin normalize genlik spektrumu.	7
Şekil 3.3. Eşdeğer gürültü bant genişliği.	9
Şekil 3.4. Minimum çözünürlük bant genişliği.	10
Şekil 3.5. Alçak geçiren bir süzgecin genlik spektrumu ve süzgeç spektral parametreleri.....	28
Şekil 3.6. $N = 51$ ve $\alpha = 3$ için 5 hibrit pencerenin (w_1 - w_5) genlik-zaman grafiği.	30
Şekil 3.7. $N = 51$ ve $\alpha = 3$ için 5 hibrit pencerenin (w_6 - w_{10}) genlik-zaman grafiği.	30
Şekil 3.8. $N = 51$ ve $\alpha = 3$ için 5 hibrit pencerenin (w_{11} - w_{15}) genlik-zaman grafiği.	31
Şekil 3.9. $N = 51$ ve $\alpha = 3$ için 5 hibrit pencerenin (w_{11} - w_{15}) genlik-zaman grafiği.	31
Şekil 4.1. $11 \leq N \leq 121$ aralığı için tepecik oranı kıyaslaması.	34
Şekil 4.2. $11 \leq N \leq 121$ aralığı için analob genişliği kıyaslaması.....	36
Şekil 4.3. $11 \leq N \leq 121$ aralığı için 3 dB bant genişliği kıyaslaması.....	38
Şekil 4.4. $11 \leq N \leq 121$ aralığı için 6 dB bant genişliği kıyaslaması.....	40
Şekil 4.5. $11 \leq N \leq 121$ aralığı için ENBW kıyaslaması.	42
Şekil 4.6. $11 \leq N \leq 121$ aralığı için Q faktörü kıyaslaması.....	44
Şekil 4.7. $11 \leq N \leq 121$ aralığı için tutarlı kazanç kıyaslaması.	46
Şekil 4.8. $11 \leq N \leq 121$ aralığı için bozulma kaybı kıyaslaması.	48
Şekil 4.9. $11 \leq N \leq 121$ aralığı için skala kaybı kıyaslaması.	50
Şekil 4.10. $11 \leq N \leq 121$ aralığı için WCPL kıyaslaması.	52
Şekil 4.11. Pencere spektral analizi için önerilen Matlab tabanlı kullanıcı arayüzü	53
Şekil 4.12. Lanczos penceresi için spektral analiz örneği.....	54
Şekil 4.13. Welch penceresi için spektral analiz örneği	54
Şekil 4.14. $N = 51$ ve $0 \leq \alpha \leq 10$ aralığı için tepecik oranı kıyaslaması. ..	56
Şekil 4.15. $N = 51$ ve $0 \leq \alpha \leq 10$ aralığı için analob genişliği kıyaslaması.	58
Şekil 4.16. $N = 51$ ve $0 \leq \alpha \leq 10$ aralığı için 3 dB bant genişliği kıyaslaması.	60
Şekil 4.17. $N = 51$ ve $0 \leq \alpha \leq 10$ aralığı için 6 dB bant genişliği kıyaslaması.	62
Şekil 4.18. $N = 51$ ve $0 \leq \alpha \leq 10$ aralığı için ENBW kıyaslaması.	64
Şekil 4.19. $N = 51$ ve $0 \leq \alpha \leq 10$ aralığı için Q faktörü kıyaslaması.....	66
Şekil 4.20. $N = 51$ ve $0 \leq \alpha \leq 10$ aralığı için tutarlı kazanç kıyaslaması. .	68
Şekil 4.21. $N = 51$ ve $0 \leq \alpha \leq 10$ aralığı için bozulma kaybı kıyaslaması. 70	
Şekil 4.22. $N = 51$ ve $0 \leq \alpha \leq 10$ aralığı için skala kaybı kıyaslaması.....	72
Şekil 4.23. $N = 51$ ve $0 \leq \alpha \leq 10$ aralığı için WCPL kıyaslaması.	74
Şekil 4.24. $N = 51$ pencere uzunluğu için 5 hibrit pencerenin (w_1 - w_5) Cosh penceresi ile birlikte tepecik oranı-analob genişliği karakteristikleri.....	76

Şekil 4.25. $N = 51$ pencere uzunluğu için 5 hibrit pencerenin (w_6-w_{10}) Cosh penceresi ile birlikte tepecik oranı-analob genişliği karakteristikleri.....	76
Şekil 4.26. $N = 51$ pencere uzunluğu için 5 hibrit pencerenin ($w_{11}-w_{15}$) Cosh penceresi ile birlikte tepecik oranı-analob genişliği karakteristikleri.....	77
Şekil 4.27. $N = 51$ pencere uzunluğu için 5 hibrit pencerenin ($w_{16}-w_{20}$) Cosh penceresi ile birlikte tepecik oranı-analob genişliği karakteristikleri.....	77
Şekil 4.28. Sabit bir süzgeç uzunluğunda ($N = 51$) farklı α değerlerinde Cosh-Von Hann hibrit penceresi ile tasarlanmış süzgeçlerin genlik spektrumları.....	79
Şekil 4.29. Sabit bir α değerinde ($\alpha = 3$) farklı süzgeç uzunluklarında Cosh-Von Hann hibrit penceresi ile tasarlanmış süzgeçlerin genlik spektrumları.....	79
Şekil 4.30. $N = 51$ süzgeç uzunluğu için 4 hibrit pencerenin (w_1-w_4) durdurma bandı zayıflatması-geçiş genişliği karakteristikleri.	80
Şekil 4.31. $N = 51$ süzgeç uzunluğu için 4 hibrit pencerenin (w_5-w_8) minimum durdurma bandı zayıflatması-geçiş genişliği karakteristikleri.....	81
Şekil 4.32. $N = 51$ süzgeç uzunluğu için 4 hibrit pencerenin (w_9-w_{12}) minimum durdurma bandı zayıflatması-geçiş genişliği karakteristikleri.....	81
Şekil 4.33. $N = 51$ süzgeç uzunluğu için 4 hibrit pencerenin ($w_{13}-w_{16}$) minimum durdurma bandı zayıflatması-geçiş genişliği karakteristikleri.....	82
Şekil 4.34. $N = 51$ süzgeç uzunluğu için 4 hibrit pencerenin ($w_{17}-w_{20}$) minimum durdurma bandı zayıflatması-geçiş genişliği karakteristikleri.....	82
Şekil 4.35. $N = 51$ süzgeç uzunluğu 4 hibrit pencerenin (w_1-w_4) Cosh penceresi ile birlikte minimum durdurma bandı zayıflatması-geçiş genişliği karakteristikleri.....	84
Şekil 4.36. $N = 51$ süzgeç uzunluğu için 4 hibrit pencerenin (w_5-w_8) Cosh penceresi ile birlikte minimum durdurma bandı zayıflatması-geçiş genişliği karakteristikleri.....	84
Şekil 4.37. $N = 51$ süzgeç uzunluğu için 4 hibrit pencerenin (w_9-w_{12}) Cosh penceresi ile birlikte minimum durdurma bandı zayıflatması-geçiş genişliği karakteristikleri.....	85
Şekil 4.38. $N = 51$ süzgeç uzunluğu için 4 hibrit pencerenin ($w_{13}-w_{16}$) Cosh penceresi ile birlikte minimum durdurma bandı zayıflatması-geçiş genişliği karakteristikleri.....	85
Şekil 4.39. $N = 51$ süzgeç uzunluğu için 4 hibrit pencerenin ($w_{17}-w_{20}$) Cosh penceresi ile birlikte minimum durdurma bandı zayıflatması-geçiş genişliği karakteristikleri.....	86
Şekil 4.40. $N = 51$ süzgeç uzunluğu için Cosh-Von Hann, Kaiser-Hamming, Dolph-Chebyshev ve Cosh-Hamming pencereleri ile tasarlanan süzgeçlerin a) genlik spektrumları b) A_s cinsinden kıyaslama için büyütülmüş görüntü.	87
Şekil 4.41. $N = 51$ süzgeç uzunluğu için Exponential-Hamming, Saramaki, Kaiser ve Cosh-Welch pencereleri ile tasarlanan süzgeçlerin a)	

genlik spektrumları b) A_s cinsinden kıyaslama için büyütülmüş görüntü.	88
Şekil 4.42. $N = 51$ süzgeç uzunluğu için Exponential, Gaussian, Cosh ve Cosh-Parabolic pencereleri ile tasarlanan süzgeçlerin a) genlik spektrumları b) A_s cinsinden kıyaslama için büyütülmüş görüntü.	89
Şekil 4.43. $N = 51$ süzgeç uzunluğu için Cosh-Cos(x), Cosh-Lanczos, Cosh-Riemann ve Cosh-Bartlett Hann pencereleri ile tasarlanan süzgeçlerin a) genlik spektrumları b) A_s cinsinden kıyaslama için büyütülmüş görüntü.	90
Şekil 4.44. $N = 51$ süzgeç uzunluğu için Cosh-Cos ³ (x), Cosh-Blackman, Cosh-Optimized Blackman ve Hann-Poisson pencereleri ile tasarlanan süzgeçlerin a) genlik spektrumları b) A_s cinsinden kıyaslama için büyütülmüş görüntü.	91
Şekil 4.45. $N = 51$ süzgeç uzunluğu için Cosh-Bohman, Cosh-Triangular, Cosh-Nuttal ve Poisson pencereleri ile tasarlanan süzgeçlerin a) genlik spektrumları b) A_s cinsinden kıyaslama için büyütülmüş görüntü.	92

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Blackman-Harris penceresi için katsayılar	14
Çizelge 3.2. Flat-Top penceresi için katsayılar	16
Çizelge 3.3. Nuttall penceresi için katsayılar	17
Çizelge 3.4. Sabit pencere fonksiyonları	19
Çizelge 3.5. Önerilen hibrit pencereler	29
Çizelge 4.1. Sabit pencerelerin tepecik oranı için $N = 51$ ve $N = 101$ 'de değerleri.....	33
Çizelge 4.2. Sabit pencerelerin analob genişliği için $N = 51$ ve $N = 101$ 'de değerleri.....	35
Çizelge 4.3. Sabit pencerelerin 3 dB bant genişliği için $N = 51$ ve $N = 101$ 'de değerleri.....	37
Çizelge 4.4. Sabit pencerelerin 6 dB bant genişliği için $N = 51$ ve $N = 101$ 'de değerleri.....	39
Çizelge 4.5. Sabit pencerelerin eşdeğer gürültü bant genişliği için $N = 51$ ve $N = 101$ 'de değerleri	41
Çizelge 4.6. Sabit pencerelerin varyans düzeltme faktörü için $N = 51$ ve $N = 101$ 'de değerleri	43
Çizelge 4.7. Sabit pencerelerin tutarlı kazanç için $N = 51$ ve $N = 101$ 'de değerleri.....	45
Çizelge 4.8. Sabit pencerelerin bozulma kaybı için $N = 51$ ve $N = 101$ 'de değerleri.....	47
Çizelge 4.9. Sabit pencerelerin skala kaybı için $N = 51$ ve $N = 101$ 'de değerleri.....	49
Çizelge 4.10. Sabit pencerelerin en kötü durum işleme kaybı için $N = 51$ ve $N = 101$ 'de değerleri	51
Çizelge 4.11. Hibrit pencerelerin tepecik oranı için $N = 51$, $\alpha = 3$ ve $\alpha = 6$ 'da değerleri.....	55
Çizelge 4.12. Hibrit pencerelerin analob genişliği için $N = 51$, $\alpha = 3$ ve 6 'da değerleri.....	57
Çizelge 4.13. Hibrit pencerelerin 3 dB bant genişliği için $N = 51$, $\alpha = 3$ ve 6 'da değerleri.....	59
Çizelge 4.14. Hibrit pencerelerin 6 dB bant genişliği için $N = 51$, $\alpha = 3$ ve 6 'da değerleri.....	61
Çizelge 4.15. Hibrit pencerelerin ENBW için $N = 51$, $\alpha = 3$ ve 6 'da değerleri	63
Çizelge 4.16. Hibrit pencerelerin Q faktörü için $N = 51$, $\alpha = 3$ ve 6 'da değerleri.....	65
Çizelge 4.17. Hibrit pencerelerin tutarlı kazanç için $N = 51$, $\alpha = 3$ ve 6 'da değerleri.....	67
Çizelge 4.18. Hibrit pencerelerin bozulma kaybı için $N = 51$, $\alpha = 3$ ve 6 'da değerleri.....	69
Çizelge 4.19. Hibrit pencerelerin SL kaybı için $N = 51$, $\alpha = 3$ ve 6 'da değerleri.....	71
Çizelge 4.20. Hibrit pencerelerin WCPL için $N = 51$, $\alpha = 3$ ve 6 'da değerleri	73

Çizelge 4.21. $N = 51$ uzunluğu için 20 hibrit pencerenin Kaiser ve Cosh pencereleri ile R ve w_R parametreleri cinsinden kıyaslanması	75
Çizelge 4.22. Farklı uzunluk ve α değerlerinde Cosh-Von Hann hibrit penceresi ile tasarlanmış süzgeç için minimum durdurma bandı zayıflatması ve geçiş genişliği sonuçları	80
Çizelge 4.23. Farklı süzgeç uzunluk değerlerinde önerilen hibrit pencereler ile tasarlanmış süzgeçlerin diğer iki parametrelili pencereler ile tasarlanmış süzgeçlerle minimum durdurma bandı zayıflatması cinsinden kıyaslanması.....	93



KISALTMA VE SEMBOLLER LİSTESİ

a_i	: FIR süzgeç katsayıları/IIR süzgeç pay katsayıları
A_p	: Maksimum geçirme bandı zayıflatması
A_s	: Minimum durdurma bant zayıflatması
$A(\omega)$	: Pencere genlik spektrumu
b_i	: IIR süzgeç payda katsayıları
B_M	: Pencere analog genişliği
ENBW	: Equivalen noise bandwidth (Eşdeğer gürültü bant genişliği)
FIR	: Finite impulse response (Sonlu dürtü yanıtı)
G	: Coherent gain (Tutarlı kazanç)
$h(n)$	: Dürtü sinyali
$H(z)$	: Süzgeç transfer fonksiyonu
I_0	: Sıfırıncı dereceden birinci tür modifiye bessel fonksiyonu
I_1	: Birinci dereceden birinci tür modifiye bessel fonksiyonu
IIR	: Infinite impulse response (Sonsuz dürtü yanıtı)
L	: Processing loss (Bozulma kaybı)
n	: Ayırık zaman indeksi
N	: Süzgeç ve pencere uzunluğu
P_n	: Pencerenin biriken gürültü gücü
PSD	: Power spectral density (Güç spektral yoğunluğu)
R	: Ripple ratio (Tepecik oranı)
RMS	: Root mean square (Ortalama karekök)
Q	: Variance compensation factor (Varyans düzeltme faktörü)
SL	: Scalloping loss (Skala kaybı)
SNR	: Signal to noise ratio (Sinyal gürültü oranı)
T	: Örnekleme periyodu
$W(e^{j\omega T})$	: Pencere frekans spektrumu
$W_N(e^{j\omega T})$	: Normalize pencere frekans spektrumu
$w(n)$	: Pencere fonksiyonu
$w_1(n)$	: Cosh-Bartlett hibrit penceresi
$w_2(n)$	: Cosh-Bartlett Hann hibrit penceresi
$w_3(n)$	: Cosh-Blackman hibrit penceresi

w4(n)	: Cosh-Blackman Harris hibrit penceresi
w5(n)	: Cosh-Bohman hibrit penceresi
w6(n)	: Cosh-Cos(x) hibrit penceresi
w7(n)	: Cosh-Cos ³ (x) hibrit penceresi
w8(n)	: Cosh-Cos ⁴ (x) hibrit penceresi
w9(n)	: Cosh-Flat Top hibrit penceresi
w10(n)	: Cosh-Hamming hibrit penceresi
w11(n)	: Cosh-Lanczos hibrit penceresi
w12(n)	: Cosh-Nuttall hibrit penceresi
w13(n)	: Cosh-Optimized Blackman hibrit penceresi
w14(n)	: Cosh-Parabolic hibrit penceresi
w15(n)	: Cosh-Parzen hibrit penceresi
w16(n)	: Cosh-Rectangular hibrit penceresi
w17(n)	: Cosh-Riemann hibrit penceresi
w18(n)	: Cosh-Triangular hibrit penceresi
w19(n)	: Cosh-Von Hann hibrit penceresi
w20(n)	: Cosh-Welch hibrit penceresi
WCPL	: Worst-case processing loss (En kötü durum işleme kaybı)
α	: Bağımsız ayarlanabilir pencere parametresi
ω	: Açısal frekans
ω_c	: Kesme frekansı
ω_p	: Geçirme bandı kenar frekansı
ω_R	: Pencere yarım analob genişliği
ω_s	: Örnekleme frekansı
ω_{st}	: Durdurma bandı kenar frekansı
Δw	: Normalize süzgeç geçiş genişliği
$\theta(w)$	: Pencere faz spektrumu

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada, hibrit pencere fonksiyonları kullanarak yeni FIR sayısal süzgeçlerin tasarımı ele alınmıştır. Çalışma konusunun belirlenmesi ve hazırlanması sürecinde kıymetli bilgi ve tecrübeleri ile beni yönlendiren değerli hocam Dr.Öğr.Üyesi Kemal AVCİ'ya en içten dileklerimle teşekkür ederim. Eğitim-öğretim hayatım boyunca değerli bilgilerini benle paylaşan değerli hocalarıma ve her zaman benden desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.



1. GİRİŞ

Bu bölümde sayısal süzgeçler hakkında temel bilgiler ile tez çalışmasına ait problem tanımı, amaç ve tezin yapısı sunulmaktadır.

1.1 Sayısal Süzgeçler

Elektronik mühendisliği alanının önemli ve en çok kullanılan yapılarından olan sayısal süzgeçler, birçok sinyal işleme uygulamasında ayrık zamanlı sinyallerdeki istenmeyen sinyallerin zayıflatılması için kullanılmaktadır. Analog süzgeçler, sadece analog elektronik devre yapılarıyla gerçekleştirilirken; sayısal süzgeçler ise hem sayısal elektronik devre yapılarıyla donanımsal olarak hem de algoritmalarla yazılımsal olarak gerçekleştirilebilme özelliğine sahiptir. Bunun dışında analog süzgeçlerle kıyaslandıklarında sayısal süzgeçlerin avantajları olarak şunlar söylenebilir (Antoniou, 2005):

- Yazılım ve donanımsal olarak gerçekleştirilebilme
- Kritik olmayan devre elemanı toleransı
- Yüksek doğruluk
- Küçük fiziksel boyut
- Yüksek güvenilirlik ve dayanıklılık
- Çevresel elektrik gürültülerinin etkisinin önemsizliği
- Daha verimli maliyet
- Gerçek zamanlı olmayan sistemlerde tek seçenek

Sayısal süzgeçler dürtü yanıtı uzunluklarına göre sonlu dürtü yanıtı (FIR) ve sonsuz dürtü yanıtı (IIR) olarak sınıflandırılırlar. N-1 dereceden (veya N uzunluğunda) bir FIR süzgecin transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$H(z) = a_0 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2} + \dots + a_{N-1}z^{-(N-1)} \quad (1.1)$$

N-1 dereceden (veya 2N uzunluğunda) bir IIR süzgecin transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$H(z) = \frac{a_0 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_{N-1} z^{-(N-1)}}{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + b_{N-1} z^{-(N-1)}} \quad (1.2)$$

FIR ve IIR süzgeçlerin birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları vardır. IIR süzgeçler, aynı süzgeç karakteristiği için FIR süzgeçlere göre daha az süzgeç uzunluğu gerektirdiğinden donanımsal olarak daha az devre elemanı gerektirmektedir. FIR süzgeçler ise her zaman kararlı olmaları ve tam doğrusal faza sahip olarak tasarlanabilmelerinden dolayı çok popülerlerdir. FIR sayısal süzgeçleri tasarlamak için optimizasyon yöntemleri, sayısal yöntemler, ayrık Fourier dönüşümü ve Fourier serileri yöntemleri kullanılmaktadır (Antoniou, 2005). Optimizasyon metotları kullanılarak en iyi tasarımlar elde edilebilmesine rağmen bu yöntemlerde büyük miktarda hesaplama gereklidir ve bu da optimizasyon yöntemlerini gerçek zamanlı uygulamalar için uygun kılmaz. Öte yandan, pencereleme ile Fourier serileri yöntemi, FIR süzgeçleri tasarlamak için en basit tekniktir ve diğer yöntemlere kıyasla minimum miktarda hesaplama gerektirir. Fourier serilerinde bir pencere fonksiyonu (veya kısaca pencere) kullanmanın amacı, ideal süzgecin sonsuz süreli dürtü yanıtını kırmak ve düzleştirmektir (Bloomfield, 2000).

1.2 Problem Tanımı

Literatürde, FIR sayısal süzgeçler elde etmek için birçok pencere önerilmiştir. Pencereleme tabanlı süzgeç tasarımında istenmeyen Gibbs salınımları oluşmaktadır. Bu salınımlar nedeniyle pencereleme tabanlı süzgeç yöntemleri en iyi sonuçları vermemektedir, dolayısıyla daha iyi süzgeç tasarımı sağlayacak yeni pencere fonksiyonlarının önerilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

1.3 Tez Çalışmasının Amacı

Pencereler içerdikleri bağımsız parametrelerin sayısına göre sabit veya ayarlanabilir olarak sınıflandırılmaktadır. Esneklik özellikleri nedeniyle, pratik

uygulamalar için ayarlanabilir pencereler tercih edilir. Bu tez çalışmasında, geçiş genişliği ve minimum durdurma bant zayıflatması cinsinden daha iyi pencere yöntemi tabanlı süzgeçler tasarlanmasına olanak sağlayacak yeni pencerelerin önerilmesi amaçlanmaktadır.

1.4 Tezin Yapısı

Bu tez aşağıda açıklandığı gibi beş bölümden oluşmaktadır:

Bölüm-1. Giriş – Bu bölümde sayısal süzgeçlerle ilgili temel bilgiler, problem tanımı, tez çalışmasının amacı ve tezin yapısı verilmektedir.

Bölüm-2. Kaynak Araştırması – Bu bölümde pencere fonksiyonları ve süzgeç tasarımındaki kullanımları ile ilgili yapılan literatürdeki çalışmalar hakkında bilgiler verilmektedir.

Bölüm-3. Materyal ve Yöntem – Bu bölümde, tez çalışmasında ele alınan pencere spektral parametrelerinin tanımı, literatürde önerilen pencere fonksiyonları, pencere fonksiyonları kullanılarak FIR sayısal süzgeç tasarımı ve önerilen pencere fonksiyonlarına yer verilmektedir.

Bölüm-4. Bulgular ve Tartışma – Bu bölümde pencerelerin pencere spektral analizi, önerilen pencerelerle tasarlanan süzgeçlerin performans analizi ve önerilen pencerelerle tasarlanan sayısal süzgeçler ile literatürde önerilen pencerelerle tasarlanmış sayısal süzgeçlerin performans kıyaslamaları verilmektedir. İlk kısımda sabit pencerelerin pencere spektral parametreleri cinsinden analizleri verilmiştir. İkinci kısımda ise önerilen hibrit pencerelerle tasarlanmış süzgeçlerin farklı süzgeç uzunluğu ve farklı alfa değerlerinde spektral analizleri yapıp minimum durdurma bant zayıflatması ve geçiş genişliği parametreleri açısından kıyaslanmıştır. Üçüncü kısımda önerilen hibrit pencerelerle tasarlanan ve literatürdeki pencerelerle tasarlanan süzgeçlerin geçiş genişliği ve minimum durdurma bant zayıflatması parametreleri cinsinden performans kıyaslamaları verilmiştir.

Bölüm-5. Sonuç ve Öneriler – Bu bölümde tez çalışmasından elde edilen sonuçlar özetlenmekte ve ileride konuyla ilgili yapılabilecek çalışmalar verilmektedir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Literatür incelendiğinde birçok pencerenin önerildiği görülmektedir. Bu pencereler ise sahip oldukları bağımsız parametre sayısına göre sabit ve ayarlanabilir olarak sınıflandırılmaktadır.

Sabit pencereler, sadece bir adet bağımsız parametreye bağlı matematiksel fonksiyonlardır. Bu bağımsız parametre ise pencere uzunluğudur. Literatür incelendiğinde 20 adet sabit pencerenin olduğu görülmüştür. Bu pencereler alfabetik olarak şu şekilde sıralanabilir: Bartlett, Bartlett-Hann, Blackman, Blackman-Harris, Bohman, $\text{Cos}(x)$, $\text{Cos}^3(x)$, $\text{Cos}^4(x)$, Flat-Top, Hamming, Lanczos, Nuttall, Optimized Blackman, Parabolic, Parzen, Rectangular, Riemann, Triangular, Von-Hann ve Welch. Bölüm 3.3.1’de bu pencerelerin matematiksel fonksiyonları verilmiştir. Literatürde en çok anılan sabit pencereler Blackman, Hamming, Rectangular ve Von-Hann penceresidir. Sabit bir pencere uzunluğunda bu pencereler kıyaslandığında, tepecik oranlarına göre iyiden kötüye Blackman, Hamming, Von-Hann ve Rectangular şeklinde sıralanırken analob genişliklerine göre ise iyiden kötüye tam tersi yani Rectangular, Von-Hann, Hamming ve Blackman olarak sıralanmaktadır (Antoniou, 2005).

Sabit pencereler sabit bir pencere uzunluğunda sadece bir adet analob genişliği ve tepecik oranı değeri vermektedir. Bunlarla ilgili ayrıntılı analizler Bölüm 4.1.1’de verilmiştir. Benzer şekilde süzgeç tasarımında da sabit bir süzgeç uzunluğu için sadece bir adet minimum durdurma bandı zayıflatması ve geçirme bandı genişliği değeri vermektedir. Sabit pencerelerin her uzunluk için sadece bir spektral karakteristik sağlamaları nedeniyle, pratik uygulamalar için ayarlanabilir pencereler kadar kullanışlı değildirler.

Literatürde iki veya daha fazla parametreye bağlı olan ayarlanabilir pencere olarak birçok pencere önerilmiştir. Dolph (1946) tarafından tüm yanlob seviyeleri eşit olan iki parametrelili Dolph-Chebyshev penceresi önerilmiştir. Bu pencere, tüm pencereler arasında, belirli bir maksimum yanlob seviyesi için en iyi analob genişliğine sahiptir. Kaiser penceresi (Kaiser, 1966), literatürdeki en çok bilinen ve kullanılan ayarlanabilir pencerelerden biridir. İki parametrelili Kaiser penceresinin pencere parametreleri ile süzgeç spektral parametreleri arasındaki ilişkiyi veren süzgeç tasarım

denklemlerine (Kaiser, 1974) sahip olması nedeniyle bu pencere süzgeç tasarımında oldukça kullanışlıdır ve Dolph-Chebyshev penceresine göre genelde daha iyi sonuçlar vermektedir. Saramaki penceresi (Saramaki, 1989) iki parametrelili başka bir önerilmiş penceredir. Saramaki penceresi, süzgeç tasarımında Kaiser penceresine göre daha iyi sonuçlar vermektedir. Saramaki penceresi, Dolph-Chebyshev penceresi gibi yinelemeli ifadelerle dayanmaktadır. Bergen ve Antoniou, Saramaki ve Dolph Chebyshev pencerelerinin kapsayan üç parametrelili Ultraspherical pencereyi önermiş (Bergen ve Antoniou, 2004) ve sonra bu pencerenin süzgeç tasarımıdaki kullanımını ele almışlardır (Bergen ve Antoniou, 2005).

Sonraki yıllarda Avci tarafından önerilmiş birçok ayarlanabilir pencere bulunmaktadır. Kaiser penceresine benzer olarak tanımlanan iki parametrelili Cosh (Avci ve Nacaroğlu, 2009) ve Exponential (Avci ve Nacaroğlu, 2013) pencerelerine ek olarak Kaiser, Cosh ve Exponential pencerelerinin üç parametrelili versiyonları olan Modifiye Kaiser (Avci ve Nacaroğlu, 2008), Modifiye Cosh (Avci ve Nacaroğlu, 2008) ve Modifiye Exponential (Avci, 2014) ile Kaiser-Hamming (Avci, 2014), Cosh-Hamming (Üstün ve Avci, 2015), Exponential-Hamming (Avci, 2016), Modifiye Cosh-Hamming (Avci, 2017) ve Kaiser-Von Hann (Avci, 2017) pencerelerini önermiş ve süzgeç tasarımıdaki performanslarını başta Kaiser penceresi olmak üzere kıyaslamalı olarak incelemiştir. Bu ve bunun dışındaki ayarlanabilir pencerelerin matematiksel tanımlamaları Bölüm 3.3.2’de verilmiştir.

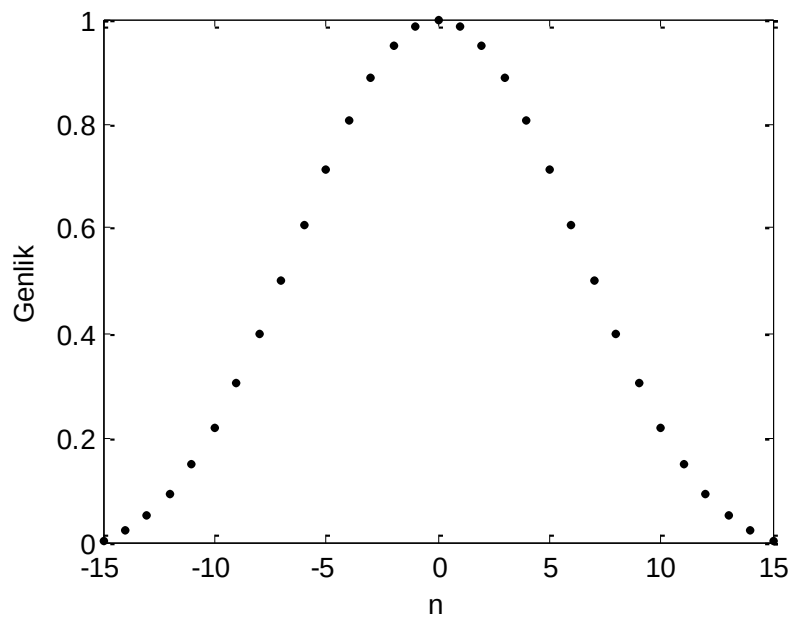
3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde öncelikle pencere fonksiyonu tanımı ve literatürde bulununan pencere fonksiyonları verilecek, daha sonra ise pencere fonksiyonlarının pencere spektrum analizi ve pencere fonksiyonları kullanılarak FIR sayısal süzgeç tasarımı hakkında bilgiler verilecektir. Son olarak ise önerilen pencere fonksiyonu tanıtılacaktır.

3.1 Pencere Fonksiyonu Tanımı

Bir pencere fonksiyonu, Denklem 3.1’de de gösterildiği gibi belirli bir zaman aralığında sıfırdan farklı ve o zaman aralığı dışındaki aralık için sıfır değerine sahip zaman alanlı bir fonksiyondur (Avcı, 2014). Ayırık zamanlı bir pencere fonksiyonu, $w(n)$ olarak gösterilmekte olup örnek zaman uzunluğunda tanımlanmaktadır. Ayırık zamanlı bir pencerenin normalize edilmiş genlik karakteristiği genelde Şekil 3.1’deki gibidir (Avcı, 2013).

$$w(nT) = \begin{cases} \neq 0 & n \leq \frac{N-1}{2} \\ = 0 & n \geq \frac{N-1}{2} \end{cases} \quad (3.1)$$



Şekil 3.1. N = 31 uzunluklu tipik bir pencere fonksiyonu

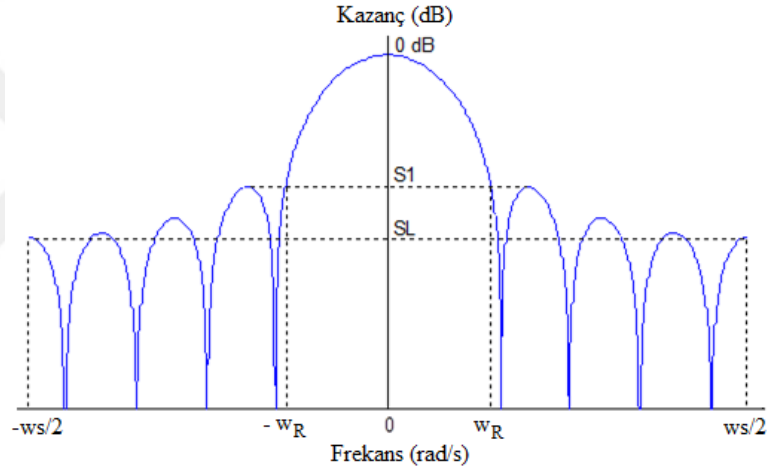
3.2 Pencere Spektral Analizi

Tek uzunluklu simetrik bir pencerenin frekans spektrumu aşağıdaki eşitlikten bulunabilir (Avci, 2014):

$$W(e^{j\omega T}) = |A(\omega)|e^{j\theta(\omega)} = w(0) + 2 \sum_{n=1}^{(N-1)/2} w(nT) \cos \omega nT \quad (3.2)$$

Pencerelerin normalize genlik spektrumları 3.3 ile ifade edilirler (Avci, 2014).

$$|W_N(e^{j\omega T})| = 20 \log_{10}(|A(\omega)|/|A(\omega)|_{\max}) \quad (3.3)$$



Şekil 3.2. Tipik bir pencerenin normalize genlik spektrumu.

Bir pencerenin performansını belirleyebilmek pencere spektral parametreler cinsinden pencere spektral analizinin yapılması gerekmektedir. Bu parametreler şunlardır: Tepecik oranı, analob genişliği, eşdeğer gürültü bant genişliği, 3 dB bant genişliği, 6 dB bant genişliği, varyans düzeltme faktörü, tutarlı kazanç, işleme kaybı, skala kaybı ve en kötü durum işleme kaybıdır. Bu parametreler ile ilgili tanımlamalar ve ek bilgiler aşağıda verilmiştir.

3.2.1 Tepecik Oranı

En büyük yan lobun tepe büyüklüğünün ana lobun sıfır frekanstaki (DC) büyüklüğüne oranını temsil eder. Bu parametre dB cinsinden ifade edilir (Prabhu, 2013). Tepecik oranı Şekil 3.2'den şu şekilde bulunur:

$$R = \text{Tepecik Oranı} = \text{Maksimum Yanlob} - \text{Analob} = S_1 \quad (3.4)$$

Sinyal işleme uygulamalarında, bir pencerenin daha küçük bir tepecik oranına sahip olması arzu edilir.

Süzgeç uygulamalarında; R (Tepecik oranı), A_s (Minimum durdurma bandı zayıflatması) ile ilişkilidir.

3.2.2 Analob Genişliği

Analob genişliği Şekil 3.2'den şu şekilde bulunabilir:

$$B_M = \text{Analob Genişliği} = 2\omega_R \quad (3.5)$$

Sinyal işleme uygulamalarında, bir pencerenin daha dar bir analob genişliğine sahip olması arzu edilir.

Süzgeç uygulamalarında; ω_R (Pencere analob genişliği), $\Delta\omega$ (Süzgeç geçiş genişliği) ile ilişkilidir.

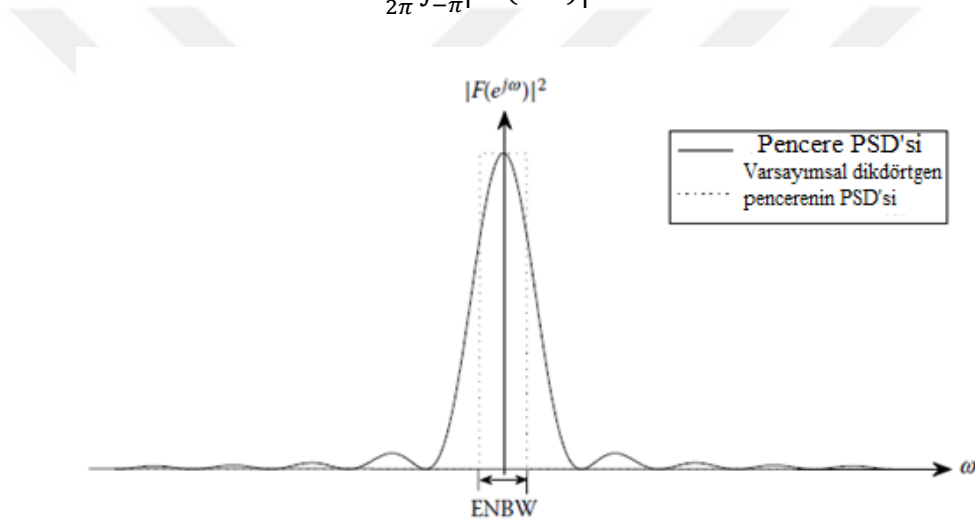
3.2.3 Eş değer Gürültü Bant Genişliği

Eşdeğer gürültü bant genişliği (ENBW) pencere fonksiyonunun gürültü performansını ölçer. Genlik, ω_0 frekansta, tüm frekanslardan katkıların ağırlıklı toplamı alınarak hesaplanır. Bu nedenle, ω_0 'daki değer kendi frekansı, geniş bant gürültüsü ve diğer parazit harmonikleri tarafından önlenir.

ω_0 'da tek bir tona ve geniş bandın beyaz gürültüsünün tüm spektruma yayıldığı bir sinyal durumunu düşünün. Bu frekanstaki biriken gürültü, daha düşük bant genişliklerine sahip pencereler kullanılarak minimize edilebilir.

Şekil 3.3'de de gösterildiği gibi ENBW parametresi, ilgilenilen pencerenin gürültü sinyalinin ortalama karekök (RMS) değerine sahip olan varsayımsal (ideal) bir dikdörtgen filtrenin bant genişliği olarak tanımlanır. Burada, dikdörtgen filtrenin ve göz önüne alınan pencerenin tepe güç değerleri aynı olmalıdır. No gürültü sinyalinin güç spektral yoğunluğu olsun.(PSD). Daha sonra pencerenin biriken gürültü gücü, P_n , 3.6 ile tanımlanabilir (Prabhu, 2013):

$$P_n = \frac{N_0}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} |W(e^{j\omega})|^2 d\omega \quad (3.6)$$



Şekil 3.3. Eşdeğer gürültü bant genişliği.

Bu eşitlik Parseval teoremine göre 3.7 kullanılarak zaman düzleminde de hesaplanabilir.

$$P_n = N_0 \left[\sum_{n=0}^{N-1} |w[n]|^2 \right] \quad (3.7)$$

Dikdörtgen filtre tarafından toplanan gürültü gücü ise 3.8 ve 3.9 de verilmiştir.

$$P_n = N_0 F^2(0) B \quad (3.8)$$

$$= N_0 \left[\sum_{n=0}^{N-1} |w[n]|^2 \right]^2 B \quad (3.9)$$

Bu nedenle ENBW eşitliğini 3.10 sağlamaktadır.

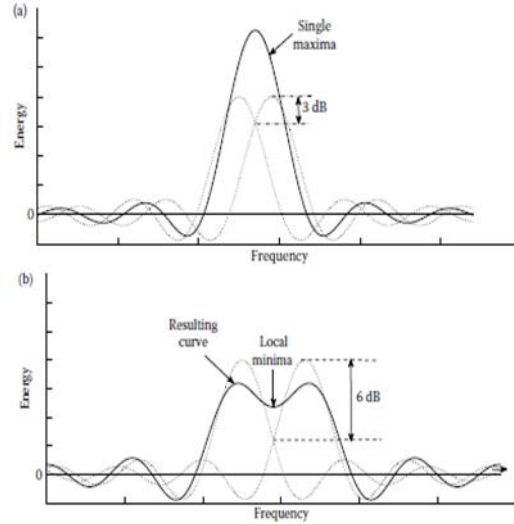
$$ENBW = \frac{\sum_{n=0}^{N-1} |w[n]|^2}{[\sum_{n=0}^{N-1} w[n]]^2} \quad (3.10)$$

ENBW'nin hesaplanması kolaydır ve bu tanım, farklı pencerelerin yan lob davranışını karşılaştırmak için kullanılabilir. ENBW değeri ne kadar küçükse, geniş bant gürültüsü varlığında pencerenin performansı o kadar iyi olur.

3.2.4 3 dB ve 6 dB Bant Genişliği

İki komşu sinyal tepe noktasını çözümleyebilmek için olağan bir kural olarak yarı güç noktasındaki tepenin genişliği dikkate alınır (3 dB bant genişliği). Bunun nedeni, eşit genlikteki iki frekans bileşeninin, 3 dB bant genişliğinden daha azıyla ayrılması durumunda yalnızca tek bir zirve göstereceği ve bu nedenle çözülmemesidir.

Fakat bunun hesaplanması, sinyallerin tutarsız bir şekilde toplandığını varsayar. Bu, Fourier Dönüşümü ile ilgili önemli bir sorundur, çünkü Fourier Dönüşümü'ndeki toplamalar tutarlıdır. Tutarlılık nedeniyle, 6 dB bant genişliği 3 dB bant genişliği yerine çözünürlük belirler (Prabhu, 2013).



Şekil 3.4. Minimum çözünürlük bant genişliği.

3.2.5 Varyans Düzeltme Faktörü

Verilere pencerelerin uygulanmasının genliği hafiflettiği ve böylece spektral tahminlerin zayıflamasını getirdiği iyi bilinmektedir. Varyans düzeltme faktörü (Q) olarak bilinen bir ağırlıklandırma faktörü, bu kaybı telafi eder ve frekans alanında örneği olan bir pencere oluşturur. Verilerin hafifletilmesinden kaynaklanan zayıflama, DFT'deki spektral tahminlerin telafi edici faktörün değerine bölünmesiyle telafi edilebilir (Prabhu, 2013).

Q eşitliği Denklem 3.11'daki gibi tanımlanmaktadır (Prabhu, 2013);

$$Q = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} w^2[n] \quad (3.11)$$

3.2.6 Tutarlı Kazanç

Sinyal üzerine bir pencere uygulandığında sinyal her iki ucunda da sıfıra yaklaşma eğilimi gösterir. Bu, toplam sinyal gücünü etkiler. Örneklerdeki büyüklükler artık gerçek değerlerine eşit olmayacaktır.

Tutarlı kazanç (G), bu frekanslarda kesin değerleri elde etmek için bilinen bir ölçeklendirme faktörü verir. Bu aynı zamanda pencerenin DC kazancı olarak da bilinir (Prabhu, 2013).

G eşitliği Denklem 3.12'daki gibi tanımlanmaktadır (Prabhu, 2013):

$$G = \sum_{n=0}^{N-1} w[n] \quad (3.12)$$

3.2.7 Bozulma Kaybı

Bu aynı zamanda işleme kazancı olarak da bilinir ve pencereden dolayı sinyal-gürültü oranının (SNR) bozulmasına işaret eder. Pencerenin şekline bağlıdır (çünkü bu da ENBW'yi belirler). Bu kayıp pencerelemeden sonra sinyalin çıkış SNR'sinin (SNR0) orjinal giriş sinyalinin SNR'sine (SNR1) oranıdır.

$$L = \frac{SNR_0}{SNR_1} \quad (3.13)$$

Pencere fonksiyonlarının kullanımı etkili bir şekilde sinyal gücünün azaltılmasına ve komşu frekanslardan gelen gürültünün birikmesine neden olur. Bozulma kaybı ayrıca 3.14 ile de hesaplanabilir:

$$L = \frac{\text{Tutarlı Kazanç}(G)}{(ENBW)} \quad (3.14)$$

Tutarlı kazanç, sinyal gücünde bir azalma ölçütüdür, buna karşılık B (ENBW'yi gösterir) diğer frekans bileşenlerinden gelen gürültüyü ölçer. Tek bir tutarlı bileşen varsa, tutarlı güç kazancı 1 olacaktır. Böyle bir durumda (Prabhu,2013):

$$L = \frac{1}{B} = \frac{(\sum_{n=0}^{N-1} w[n])^2}{\sum_{n=0}^{N-1} w^2[n]} \quad (3.15)$$

3.2.8 Skala Kaybı

DFT spektrumunda, tüm frekans örnekleri, verinin uzunluğunun karşılıklı olarak eşit aralıklarına yerleştirilir. Sinyalin bir frekans bileşeni tam olarak iki örneğin arasına düşerse, enerjisi bu örnekler arasında dağılır ve bu da tayfın bozulmasına neden olur. Bu tür bozulmalara Skala Kaybı denir.

Skala kaybı, iki DFT örneği arasında tam ortada bulunan bir sinyal frekansı bileşeni için tutarlı kazanç oranı (G) ile tam olarak bir DFT örneğinde bulunan bir sinyal frekansı bileşeninin tutarlı kazanç oranı (G) olarak da tanımlanabilir (Prabhu,2013).

Denklem 3.16 ile ifade edilirler (Prabhu, 2013):

$$\text{Skala Kaybı} = \frac{|\sum_{n=0}^{N-1} w[n]e^{-j\frac{\pi n}{N}}|}{\sum_{n=0}^{N-1} w[n]} = \frac{|W(\frac{w_s}{2N})|}{W(0)} \quad (3.16)$$

3.2.9 En Kötü Durum İşleme Kaybı

En kötü durum işleme kaybı bozulma kaybı ve skala kaybının toplamını ifade eder. Bu nedenle, bu, pencere fonksiyonun ve en kötü durum frekans konumlarının kombinasyonundan kaynaklanan çıkış SNR'sinin azaltılmasının bir ölçümüdür (Prabhu, 2013).

Denklem 3.17 ile tanımlanabilir (Prabhu, 2013):

$$WCPL = \frac{(\sum_{n=0}^{N-1} w[n])^2}{\sum_{n=0}^{N-1} w^2[n]} + \frac{|\sum_{n=0}^{N-1} w[n] e^{-j\frac{\pi n}{N}}|}{\sum_{n=0}^{N-1} w[n]} \quad (3.17)$$

3.3 Literatürde Önerilen Pencere Fonksiyonları

Literatürde bir veya daha fazla bağımsız parametreye bağlı birçok pencere fonksiyonu bulunmaktadır. Bir parametreye bağlı olanlar sabit pencere fonksiyonu, daha fazla parametreye bağlı olanlar ayarlanabilir pencere fonksiyonu olarak sınıflandırılır.

3.3.1 Sabit Pencere Fonksiyonları

Sadece tek bir parametreye bağlı olan pencere fonksiyonlarına sabit pencere fonksiyonu denir. Literatürde önerilen sabit pencere fonksiyonları ise şunlardır:

3.3.1.1 Bartlett Penceresi

Bartlett penceresi Denklem 3.18 deki gibi tanımlanmaktadır (Gautam vd., 1996).

$$w(n) = \begin{cases} \frac{n + \frac{N-1}{2}}{\frac{N-1}{2}} & -\frac{N-1}{2} \leq n \leq 0 \\ 2 - \frac{n + \frac{N-1}{2}}{\frac{N-1}{2}} & 0 \leq n \leq \frac{N-1}{2} \end{cases} \quad (3.18)$$

3.3.1.2 Bartlett-Hann Penceresi

Bartlett-Hann penceresi Bartlett ve Von Hann pencerelerinin modifiye edilmiş şeklidir. Bağımsız değişken olarak sadece pencere uzunluğuna sahip olan bir sabit pencere olup $|n| \leq N-1/2$ aralığında 3.19 ile tanımlanmaktadır (Oppenheim vd., 1999).

$$w(n) = 0.62 - 0.48 \left| \frac{n + \frac{N-1}{2}}{N-1} - 0.5 \right| + 0.38 \cos \left(2\pi \left(\frac{n + \frac{N-1}{2}}{N-1} - 0.5 \right) \right) \quad (3.19)$$

3.3.1.3 Blackman Penceresi

Blackman penceresi $|n| \leq N-1/2$ aralığında Denklem 3.20 deki gibi tanımlanmaktadır (Harris ve Frederick, 1978).

$$w(n) = 0.54 + 0.46 \cos \frac{2\pi n}{N-1} \quad (3.20)$$

3.3.1.4 Blackman-Harris Penceresi

Seçilen katsayılara bağlı olarak Blackman-Harris penceresinin çeşitli varyasyonları vardır. $|n| \leq N-1/2$ aralığında 3.21 ile tanımlanmaktadır (Harris ve Frederick, 1978). Katsayılar Tablo 3.1 de verilmiştir.

$$w(n) = b_0 - b_1 \cos \left(\frac{2\pi \left(n + \frac{N-1}{2} \right)}{N-1} \right) + b_2 \cos \left(\frac{4\pi \left(n + \frac{N-1}{2} \right)}{N-1} \right) - b_3 \cos \left(\frac{6\pi \left(n + \frac{N-1}{2} \right)}{N-1} \right) \quad (3.21)$$

Çizelge 3.1. Blackman-Harris penceresi için katsayılar

Katsayılar	Değerler
b_0	0.35875
b_1	0.48829
b_2	0.14128
b_3	0.01168

3.3.1.5 Bohman Penceresi

Bohman penceresi $|n| \leq N-1/2$ aralığında Denklem 3.22 deki gibi tanımlanmaktadır (Harris ve Frederick, 1978).

$$w(n) = \left(1 - \frac{|n|}{(N-1)/2}\right) \cos\left(\frac{\pi n}{(N-1)/2}\right) + \frac{1}{\pi} \frac{\sin(\pi|n|)}{(N-1)/2} \quad (3.22)$$

3.3.1.6 Cos(x) Penceresi

Cos(x) penceresi $|n| \leq N-1/2$ aralığında Denklem 3.23 deki gibi tanımlanmaktadır (Prabhu, 2013).

$$w(n) = \cos\left(\frac{\pi n}{N-1}\right) \quad (3.23)$$

3.3.1.7 Cos³(x) Penceresi

Cos³(x) penceresi $|n| \leq N-1/2$ aralığında Denklem 3.24 deki gibi tanımlanmaktadır (Prabhu, 2013).

$$w(n) = 0.75 \cos\left(\frac{\pi n}{N-1}\right) + 0.25 \cos\left(\frac{3\pi n}{N-1}\right) \quad (3.24)$$

3.3.1.8 Cos⁴(x) Penceresi

Cos⁴(x) penceresi $|n| \leq N-1/2$ aralığında Denklem 3.25 deki gibi tanımlanmaktadır (Prabhu, 2013).

$$w(n) = 0.375 + 0.5 \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right) + 0.125 \cos\left(\frac{4\pi n}{N-1}\right) \quad (3.25)$$

3.3.1.9 Flat-Top Penceresi

Flat-Top penceresi $|n| \leq N-1/2$ aralığında Denklem 3.26 deki gibi tanımlanmaktadır (Gabriele ve Ferrero , 2006).

$$w(n) = b_0 - b_1 \cos\left(\frac{2\pi(n+\frac{N-1}{2})}{N-1}\right) + b_2 \cos\left(\frac{4\pi(n+\frac{N-1}{2})}{N-1}\right) - b_3 \cos\left(\frac{6\pi(n+\frac{N-1}{2})}{N-1}\right) + b_4 \cos\left(\frac{8\pi(n+\frac{N-1}{2})}{N-1}\right) \quad (3.26)$$

Çizelge 3.2. Flat-Top penceresi için katsayılar

Katsayılar	Değerler
b_0	0.21557895
b_1	0.41663158
b_2	0.277263158
b_3	0.083578947
b_4	0.006947368

3.3.1.10 Hamming Penceresi

Hamming penceresi $|n| \leq N-1/2$ aralığında Denklem 3.27 deki gibi tanımlanmaktadır (Oppenheim vd., 1999).

$$w(n) = 0.54 + 0.46 \cos \frac{2\pi n}{N-1} \quad (3.27)$$

3.3.1.11 Lanczos Penceresi

Lanczos penceresi $|n| \leq N-1/2$ aralığında Denklem 3.28 deki gibi tanımlanmaktadır (Lanczos, 1956).

$$w(n) = \text{sinc} \left(\frac{2n}{N-1} \right) \quad (3.28)$$

3.3.1.12 Nuttall Penceresi

Bu pencere Blackman-Harris pencere denkleminin katsayılarının modifiye edilmesinden oluşmuştur. $|n| \leq N-1/2$ aralığı için Denklem 3.29 de verilmiştir (Nuttall ve Albert, 1981).

$$w(n) = b_0 - b_1 \cos \left(\frac{2\pi \left(n + \frac{N-1}{2} \right)}{N-1} \right) + b_2 \cos \left(\frac{4\pi \left(n + \frac{N-1}{2} \right)}{N-1} \right) - b_3 \cos \left(\frac{6\pi \left(n + \frac{N-1}{2} \right)}{N-1} \right) \quad (3.29)$$

Çizelge 3.3. Nuttal penceresi için katsayılar

Katsayılar	Değerler
b_0	0.3635819
b_1	0.4891775
b_2	0.1365995
b_3	0.106411

3.3.1.13 Optimized Blackman Penceresi

Blackman penceresi eşitliğinde katsayılar değiştirilerek oluşturulmuştur. Eşitlik $|n| \leq N-1/2$ aralığı için 3.30 de verilmiştir (Prabhu, 2013).

$$w(n) = 0.412 + 0.5 \cos \frac{2\pi n}{N-1} + 0.088 \cos \frac{4\pi n}{N-1} \quad (3.30)$$

3.3.1.14 Parabolic Penceresi

Parabolic penceresi $|n| \leq N-1/2$ aralığı için Denklem 3.31 deki gibi tanımlanmaktadır (Prabhu, 2013).

$$w(n) = 1 - \left(\frac{2n}{N-1} \right)^2 \quad (3.31)$$

3.3.1.15 Parzen Penceresi

Parzen penceresi Denklem 3.32 deki gibi tanımlanmaktadır (Sharma vd., 2002).

$$w(n) = \begin{cases} 1 - 6 \left[\frac{n}{(N)/2} \right]^2 + 6 \left[\frac{n}{(N)/2} \right]^3 & 0 \leq |n| \leq \frac{N-1}{4} \\ 2 \left[1 - \frac{|n|}{N/2} \right]^3 & \frac{N-1}{4} \leq |n| \leq \frac{N-1}{2} \end{cases} \quad (3.32)$$

3.3.1.16 Rectangular Penceresi

Rectangular penceresi $|n| \leq N-1/2$ aralığı için Denklem 3.33 deki gibi tanımlanmaktadır (Antoniou, 2005).

$$w(n) = 1 \quad (3.33)$$

3.3.1.17 Riemann Penceresi

Riemann penceresi $|n| \leq N-1/2$ aralığı için Denklem 3.34 deki gibi tanımlanmaktadır (Prabhu, 2013).

$$w(n) = \frac{\sin\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right)}{\frac{2\pi n}{N-1}} \quad (3.34)$$

3.3.1.18 Triangular Penceresi

Triangular penceresi $|n| \leq N-1/2$ aralığı için Denklem 3.35 deki gibi tanımlanmaktadır (Adams, 1991).

$$w(n) = 1 - \frac{|2n|}{N} \quad (3.35)$$

3.3.1.19 Von-Hann Penceresi

Von-Hann penceresi $|n| \leq N-1/2$ aralığı için Denklem 3.36 deki gibi tanımlanmaktadır (Oppenheim vd., 1999).

$$w(n) = 0.5 + 0.5 \cos \frac{2\pi n}{N-1} \quad (3.36)$$

3.3.1.20 Welch Penceresi

Welch penceresi $|n| \leq N-1/2$ aralığı için Denklem 3.37 daki gibi tanımlanmaktadır (Abed ve Cain, 1984).

$$w(n) = 1 - \left(\frac{n - \frac{N-1}{2}}{\frac{N-1}{2}} \right)^2 \quad (3.37)$$

Sonuç olarak literatürde tespit edilen 20 sabit pencerenin adı ve formülleri $|n| \leq N-1/2$ için Çizelge 3.4’de listelenmiştir.

Çizelge 3.4. Sabit pencere fonksiyonları

No	Pencere Adı	Formül
1	Bartlett	$w(n) = \begin{cases} \frac{n + \frac{N-1}{2}}{\frac{N-1}{2}} & -\frac{N-1}{2} \leq n \leq 0 \\ 2 - \frac{n + \frac{N-1}{2}}{\frac{N-1}{2}} & 0 \leq n \leq \frac{N-1}{2} \end{cases}$
2	Bartlett-Hann	$w(n) = 0.62 - 0.48 \left \frac{n + \frac{N-1}{2}}{N-1} - 0.5 \right + 0.38 \cos \left(2\pi \left(\frac{n + \frac{N-1}{2}}{N-1} - 0.5 \right) \right)$
3	Blackman	$w(n) = 0.42 + 0.5 \cos \frac{2\pi n}{N-1} + 0.08 \cos \frac{4\pi n}{N-1}$
4	Blackman-Harris	$w(n) = 0.35875 - 0.48829 \cos \left(\frac{2\pi \left(n + \frac{N-1}{2} \right)}{N-1} \right) + 0.14128 \cos \left(\frac{4\pi \left(n + \frac{N-1}{2} \right)}{N-1} \right) - 0.01168 \cos \left(\frac{6\pi \left(n + \frac{N-1}{2} \right)}{N-1} \right)$
5	Bohman	$w(n) = \left(1 - \frac{ n }{(N-1)/2} \right) \cos \left(\frac{\pi n}{(N-1)/2} \right) + \frac{1}{\pi} \frac{\sin(\pi n)}{(N-1)/2}$
6	Cos(x)	$w(n) = \cos \left(\frac{\pi n}{N-1} \right)$
7	Cos3(x)	$w(n) = 0.75 \cos \left(\frac{\pi n}{N-1} \right) + 0.25 \cos \left(\frac{3\pi n}{N-1} \right)$
8	Cos4(x)	$w(n) = 0.375 + 0.5 \cos \left(\frac{2\pi n}{N-1} \right) + 0.125 \cos \left(\frac{4\pi n}{N-1} \right)$

9	Flat-Top	$w(n) = 0.21557895 - 0.41663158 \cos\left(\frac{2\pi\left(n + \frac{N-1}{2}\right)}{N-1}\right)$ $+ 0.277263158 \cos\left(\frac{4\pi\left(n + \frac{N-1}{2}\right)}{N-1}\right)$ $- 0.083578947 \cos\left(\frac{6\pi\left(n + \frac{N-1}{2}\right)}{N-1}\right)$ $+ 0.006947368 \cos\left(\frac{8\pi\left(n + \frac{N-1}{2}\right)}{N-1}\right)$
10	Hamming	$w(n) = 0.54 + 0.46 \cos \frac{2\pi n}{N-1}$
11	Lanczos	$w(n) = \text{sinc}\left(\frac{2n}{N-1}\right)$
12	Nuttall	$w(n) = 0.3635819 - 0.4891775 \cos\left(\frac{2\pi\left(n + \frac{N-1}{2}\right)}{N-1}\right)$ $+ 0.1365995 \cos\left(\frac{4\pi\left(n + \frac{N-1}{2}\right)}{N-1}\right)$ $- 0.106411 \cos\left(\frac{6\pi\left(n + \frac{N-1}{2}\right)}{N-1}\right)$
13	Optimized Blackman	$w(n) = 0.412 + 0.5 \cos \frac{2\pi n}{N-1} + 0.088 \cos \frac{4\pi n}{N-1}$
14	Parabolic	$w(n) = 1 - \left(\frac{2n}{N-1}\right)^2$
15	Parzen	$w(n) = \begin{cases} 1 - 6\left[\frac{n}{(N)/2}\right]^2 + 6\left[\frac{n}{(N)/2}\right]^3 & 0 \leq n \leq \frac{N-1}{4} \\ 2\left[1 - \frac{ n }{N/2}\right]^3 & \frac{N-1}{4} \leq n \leq \frac{N-1}{2} \end{cases}$
16	Rectangular	$w(n) = 1$
17	Riemann	$w(n) = \frac{\sin\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right)}{\frac{2\pi n}{N-1}}$
18	Triangular	$w(n) = 1 - \frac{ 2n }{N}$
19	Von-Hann	$w(n) = 0.5 + 0.5 \cos \frac{2\pi n}{N-1}$
20	Welch	$w(n) = 1 - \left(\frac{n - \frac{N-1}{2}}{\frac{N-1}{2}}\right)^2$

3.3.2 Ayarlanabilir Pencere Fonksiyonları

Birden fazla parametreye bağlı olan pencere fonksiyonlarına ayarlanabilir pencere fonksiyonu denir. Literatürde önerilmiş çeşitli ayarlanabilir pencere fonksiyonları bulunmaktadır. Pencereleler alfabetik sıraya göre aşağıda verilmiştir.

3.3.2.1 Cosh Penceresi

Cosh penceresi $|n| \leq N-1/2$ aralığı için Denklem 3.38 deki gibi tanımlanmaktadır (Avcı ve Nacaroğlu, 2009).

$$w(n) = \frac{\cosh\left(\alpha \sqrt{1 - \left(\frac{2n}{N-1}\right)^2}\right)}{\cosh(\alpha)} \quad (3.38)$$

3.3.2.2 Cosh-Hamming Penceresi

Cosh-Hamming penceresi $|n| \leq N-1/2$ aralığı için Denklem 3.39 deki gibi tanımlanmaktadır (Üstün ve Avcı, 2015).

$$w(n) = 0.5 \left(\frac{\cosh\left(\alpha \sqrt{1 - \left(\frac{2n}{N-1}\right)^2}\right)}{\cosh(\alpha)} + 0.54 - 0.46 \cos 2\pi \left(\frac{n}{N-1} + 0.5 \right) \right) \quad (3.39)$$

3.3.2.3 Dolph Chebyshev Penceresi

Bu pencere Denklem 3.40'daki gibi tanımlanmaktadır (Antoniou , 2005).

$$w(n) = \frac{1}{N} \left[\frac{1}{r} + 2 \sum_{i=1}^{(N-1)/2} T_{N-1} \left(x_0 \cos \left(\frac{i\pi}{N} \right) \cos \left(\frac{2ni\pi}{N} \right) \right] \quad |n| \leq \frac{N-1}{2} \quad (3.40)$$

$$r = 10^{-R/20} \quad (3.41)$$

$$x_0 = \cosh \left(\frac{1}{N-1} \cosh^{-1} \left(\frac{1}{r} \right) \right) \quad (3.42)$$

$$T_k(x) = \begin{cases} \cos(k\cos^{-1}(x)) & |x| \leq 1 \\ \cosh(\cosh^{-1}(x)) & |x| \geq 1 \end{cases} \quad (3.43)$$

3.3.2.4 Exponential Penceresi

Exponential penceresi $|n| \leq N-1/2$ aralığı için Denklem 3.44 deki gibi tanımlanmaktadır (Avcı ve Nacaroglu, 2008).

$$w(n) = \frac{\exp\left(\alpha\sqrt{1-\left(\frac{2n}{N-1}\right)^2}\right)}{\exp(\alpha)} \quad (3.44)$$

3.3.2.5 Exponential-Hamming Penceresi

Exponential-Hamming penceresi $|n| \leq N-1/2$ aralığı için Denklem 3.45 deki gibi tanımlanmaktadır (Avcı, 2016).

$$w(n) = 0.5 \frac{\exp\left(\alpha\sqrt{1-\left(\frac{2n}{N-1}\right)^2}\right)}{\exp(\alpha)} + 0.27 - 0.23\cos 2\pi\left(\frac{n}{N-1} + 0.5\right) \quad (3.45)$$

3.3.2.6 Gaussian Penceresi

Gaussian penceresi $|n| \leq N-1/2$ aralığı için Denklem 3.46 deki gibi tanımlanmaktadır (Tapash K vd., 2017).

$$w(n) = e^{-\frac{1}{2}\left[\alpha\frac{2n}{N-1}\right]^2} \quad (3.46)$$

3.3.2.7 Hann Poisson Penceresi

Hann-Poisson penceresi $|n| \leq N-1/2$ aralığı için Denklem 3.47 daki gibi tanımlanmaktadır (Prabhu, 2013).

$$w(n) = 0.5 \left[1 + \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right)\right] e^{\alpha\frac{2|n|}{N-1}} \quad (3.47)$$

3.3.2.8 Kaiser Penceresi (Modified Zeroth-Order Kaiser Bessel)

Kaiser penceresi (Modified Zeroth-Order Kaiser-Bessel) $|n| \leq N-1/2$ aralığı için Denklem 3.48 deki gibi tanımlanmaktadır (Kaiser, 1974).

$$w(n) = \frac{I_0\left(\alpha\sqrt{1-\left(\frac{2n}{N-1}\right)^2}\right)}{I_0(\alpha)} \quad (3.48)$$

$$I_0(x) = 1 + \sum_{k=1}^{\infty} \left[\frac{1}{k!} \left(\frac{x}{2}\right)^k \right]^2 \quad (3.49)$$

3.3.2.9 Kaiser Penceresi (Modified First-Order Kaiser-Bessel)

Kaiser penceresi (Modified First-Order Kaiser-Bessel) $|n| \leq N-1/2$ aralığı için Denklem 3.50 daki gibi tanımlanmaktadır (Kaiser, 1966).

$$w(n) = \frac{I_1\left[\gamma\sqrt{1-\left(\frac{2n}{N-1}\right)^2}\right]}{I_1[\gamma]\sqrt{1-\left(\frac{2n}{N-1}\right)^2}} \quad (3.50)$$

$$I_1(x) = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{1}{m!(m+1)!} \left(\frac{x}{2}\right)^{2m+1} \quad (3.51)$$

3.3.2.10 Kaiser-Hamming Penceresi

Kaiser-Hamming penceresi $|n| \leq N-1/2$ aralığı için Denklem 3.52 deki gibi tanımlanmaktadır (Avcı, 2014).

$$w(n) = 0.5 \left(\frac{I_0\left(\alpha\sqrt{1-\left(\frac{2n}{N-1}\right)^2}\right)}{I_0(\alpha)} + 0.54 - 0.46\cos 2\pi \left(\frac{n}{N-1} + 0.5\right) \right) \quad (3.52)$$

3.3.2.11 Modified Cosh Penceresi

Modifiye Cosh penceresi $|n| \leq N-1/2$ aralığı için Denklem 3.53 deki gibi tanımlanmaktadır (Avcı ve Nacaroğlu, 2008).

$$w(n) = \left(\frac{\cosh\left(\alpha \sqrt{1 - \left(\frac{2n}{N-1}\right)^2}\right)}{\cosh(\alpha)} \right)^\rho \quad (3.53)$$

3.3.2.12 Modified Kaiser Penceresi

Modifiye Kaiser penceresi $|n| \leq N-1/2$ aralığı için Denklem 3.54 deki gibi tanımlanmaktadır (Avcı ve Nacaroğlu, 2008).

$$w(n) = \left(\frac{I_0\left(\alpha \sqrt{1 - \left(\frac{2n}{N-1}\right)^2}\right)}{I_0(\alpha)} \right)^\rho \quad (3.54)$$

3.3.2.13 Poisson Penceresi

Poisson penceresi $|n| \leq N-1/2$ aralığı için Denklem 3.55 deki gibi tanımlanmaktadır (Prabhu, 2013).

$$w(n) = e^{\alpha \frac{2|n|}{N-1}} \quad (3.55)$$

3.3.2.14 Raised-Cosine Penceresi

Raised-Cosine penceresi $|n| \leq N-1/2$ ve $0 \leq D \leq 1$ aralığı için Denklem 3.56 deki gibi tanımlanmaktadır (Prabhu 2013).

$$w(n) = \left(\frac{1-2D}{2} \right) \left(1 + \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right) \right) + 2D \left(\frac{4\pi n}{N-1} \right) \quad (3.56)$$

3.3.2.15 Saramaki Penceresi

Saramaki penceresi Denklem 3.61 daki gibi tanımlanmaktadır (Saramaki, 1991).

$$w(n) = \hat{w}(n)/\hat{w}(0) \quad |n| \leq \frac{N-1}{2} \quad (3.57)$$

$$\hat{w}(n) = v_0(n) + 2 \sum_{k=1}^{(N-1)/2} v_k(n) \quad (3.58)$$

$$v_0(n) = \begin{cases} 1 & n = 0 \\ 0 & \text{diğer yerlerde} \end{cases} \quad (3.59)$$

$$v_1(n) = \begin{cases} \gamma - 1 & n = 0 \\ \gamma/2 & |n| = 1 \\ 0 & \text{diğer yerlerde} \end{cases} \quad (3.60)$$

$$v_k(n) = \begin{cases} 2(\gamma - 1)v_{k-1}(n) - v_{k-2}(n) + \gamma[v_{k-1}(n-1) - v_{k-2}(n-1)] & |n| \leq k \\ 0 & \text{diğer yerlerde} \end{cases} \quad (3.61)$$

3.3.2.16 Sum-Cosine Penceresi

Sum-Cosine penceresi $|n| \leq N-1/2$ ve $0 \leq \beta \leq 1$ aralığı için Denklem 3.62 deki gibi tanımlanmaktadır (Prabhu, 2013).

$$w(n) = (1 - 2\beta)\cos\left(\frac{\pi n}{N-1}\right) + 2\beta\cos\left(\frac{3\pi n}{N-1}\right) \quad (3.62)$$

3.3.2.17 Truncated Taylor Penceresi

Truncated Taylor penceresi $|n| \leq N-1/2$ aralığı ve $0 \leq k \leq 1$ için Denklem 3.63 daki gibi tanımlanmaktadır (Prabhu, 2013).

$$w(n) = \frac{1+k}{2} + \frac{1-k}{2}\cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right) \quad (3.63)$$

3.3.2.18 Tukey Penceresi

Bu pencere Denklem 3.64 de tanımlanmıştır (Prabhu, 2013).

$$w(n) = \begin{cases} 1 & 0 \leq |n| \leq (1 - \alpha) \frac{N-1}{2} \\ 0.5 \left[1 + \cos \left(\frac{\pi \left(n - (1 - \alpha) \left(\frac{N-1}{2} \right) \right)}{\alpha \frac{N-1}{2}} \right) \right] & (1 - \alpha) \frac{N-1}{2} \leq |n| \leq \frac{N-1}{2} \end{cases} \quad (3.64)$$

3.3.2.19 Ultraspherical Penceresi

Ultraspherical polinomuna dayalı olan ve üç bağımsız parametreye sahip olan (μ , x_μ ve N) Ultraspherical pencere fonksiyonu için en genel tanım denklemi 3.65 deki gibidir (Bergen ve Antoniou, 2002).

$$w(nT) = \frac{A}{p-n} \binom{\mu+p-n-1}{p-n-1} \sum_{m=0}^n \binom{\mu+n-1}{n-m} \binom{p-n}{m} B^m \quad n = 0, 1, \dots, N-1 \quad (3.65)$$

$$A = \begin{cases} \mu x_\mu^p & \mu \neq 0 \text{ için} \\ x_\mu^p & \mu = 0 \text{ için} \end{cases}, \quad B = 1 - x_\mu^{-2}, \quad p = N-1 \quad (3.66)$$

3.4 Pencere Fonksiyonları Kullanılarak FIR Sayısal Süzgeç Tasarımı

Fourier seri metodu, FIR sayısal süzgeç tasarım metotlarından biridir. Bu metotta bir pencere kullanılmasının amacı; ideal süzgecin, sonsuz dürtü tepkisini kesmek ve düzleştirmektir. Pencere kullanarak elde edilen nedensel olmayan süzgecin dürtü tepkisi, Denklem 3.67’den bulunur (Avci, 2014).

$$h_{nc}(nT) = w(nT)h_{id}(nT) \quad (3.67)$$

Burada, $h_{id}(nT)$, gerçekleştirilemeyen ideal süzgecin sonsuz süreli dürtü tepkisidir. Alçak geçiren bir süzgeç için, bu dürtü tepkisi, Denklem 3.68’den bulunabilir (Avci, 2014).

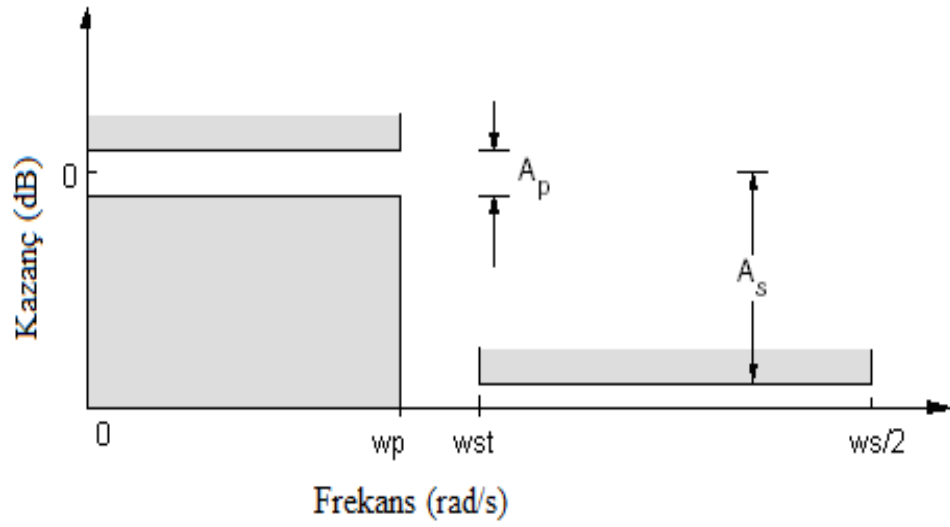
$$h_{id}(nT) = \begin{cases} \frac{w_{ct}T}{\pi} & n = 0 \text{ için} \\ \frac{\sin w_{ct}nT}{n\pi} & n \neq 0 \text{ için} \end{cases} \quad (3.68)$$

Hesaplanan nedensel olmayan dürtü tepkisinin, $h_{nc}(nT)$, $(N-1)/2$ süresi kadar geciktirilmesiyle, nedensel bir süzgeç elde edilir. Bunun için, $0 \leq n \leq N-1$ aralığında Denklem 3.69 ile ifade edilen bağıntı kullanılır (Avci, 2014).

$$h_c(nT) = h_{nc}\left[\left(n - \frac{N-1}{2}\right)T\right] \quad (3.69)$$

Pencere kullanarak tasarlanan süzgeçlerin; geçirme bandı ve durdurma-bandı bölgelerinde oluşan istenmeyen salınımlar birbirine eşittir. Dolayısıyla, benzeşim sonuçları bulurken, iki bölgeden sadece birindeki zayıflatma parametresini (Genelde A_s) hesaplamak yeterlidir (Avci, 2014).

Alçak geçiren bir süzgecin genlik spektrumu ve süzgeç spektral parametreleri Şekil 3.5’de verilmiştir (Avci, 2017).



Şekil 3.5. Alçak geçiren bir süzgecin genlik spektrumu ve süzgeç spektral parametreleri.

Şekil 3.5’ de geçen ifadeler ise aşağıda tanımlanmıştır:

- Geçirme-bandı frekansı (ω_p)
- Durdurma-bandı frekansı (ω_{st})
- Örnekleme frekansı (ω_s)
- Maksimum geçirme-bandı zayıflatması (A_p)
- Minimum durdurma-bandı zayıflatması (A_s)

Bunlar dışında 3.70 ve 3.71 eşitlikleriyle tanımlanan kesme frekansı (ω_c) ve geçiş bant-genişliği ($\Delta\omega$) parametreleri de bulunmaktadır (Avcı, 2017).

$$\omega_c = (\omega_{st} + \omega_p)/2 \quad (3.70)$$

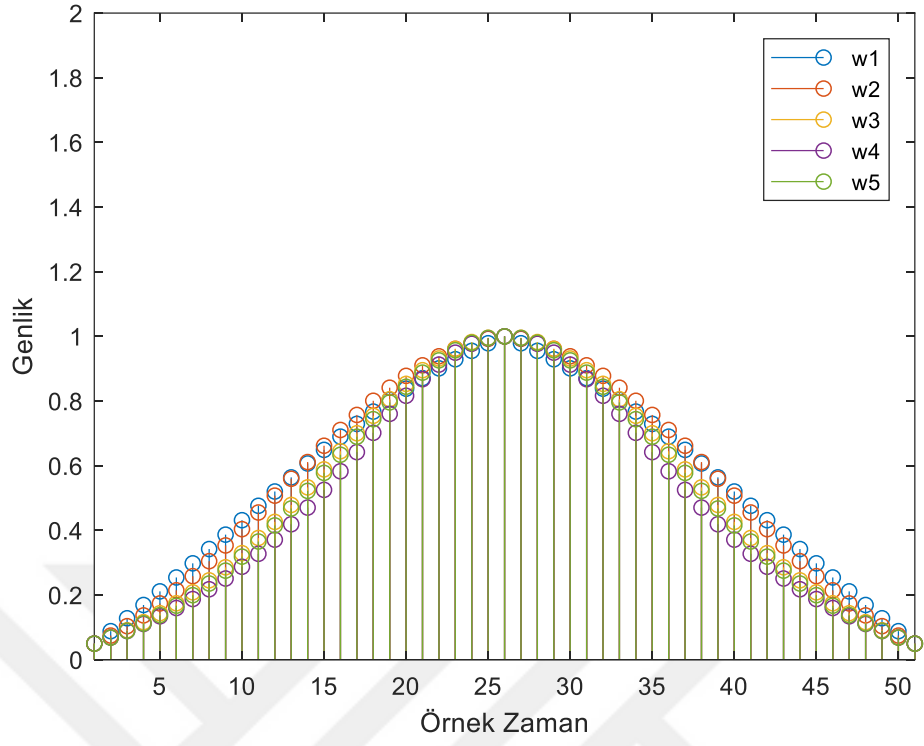
$$\Delta\omega = \omega_{st} - \omega_p \quad (3.71)$$

3.5 Önerilen Hibrit Pencereleler

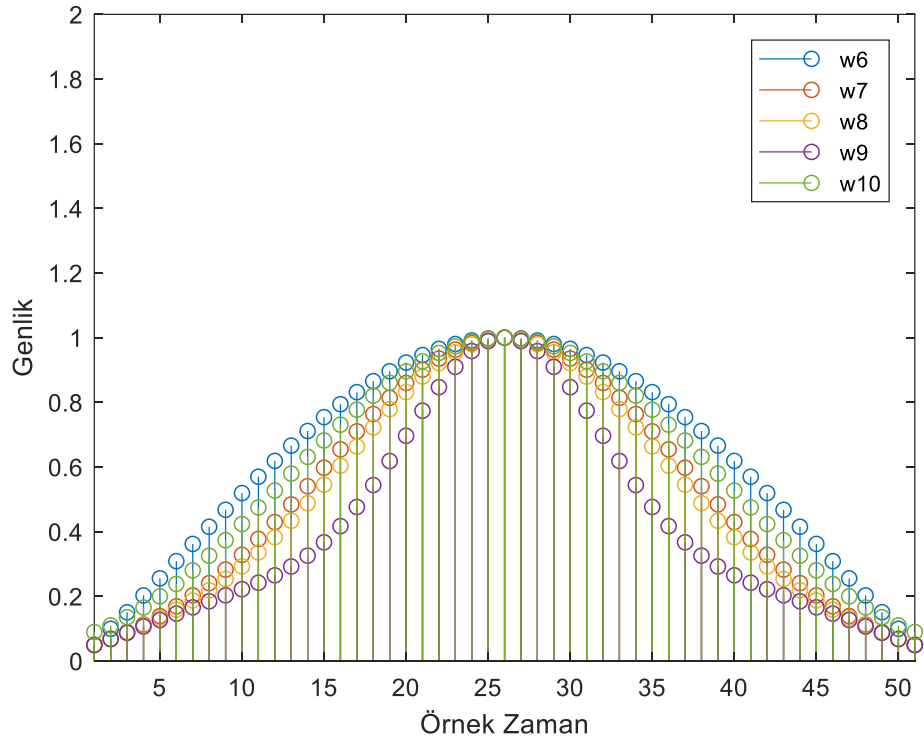
Çizelge 3.4’de verilen sabit pencereler Cosh pencereleriyle eşit ağırlıklı olarak birleştirildiğinde Çizelge 3.5’de verilen hibrit pencereler elde edilir. Bu hibrit pencerelerden Cosh-Hamming (w10) penceresi daha önce Üstün ve Avcı (2015) tarafından önerilmiştir. Dolayısıyla bu tez çalışmasın 19 adet yeni hibrit pencere önerilmektedir. Şekil 3.6, Şekil 3.7, Şekil 3.8 ve Şekil 3.9’ da ise $N = 51$ ve $\alpha = 3$ için 20 hibrit pencerenin zaman grafikleri verilmiştir.

Çizelge 3.5. Önerilen hibrit pencereler

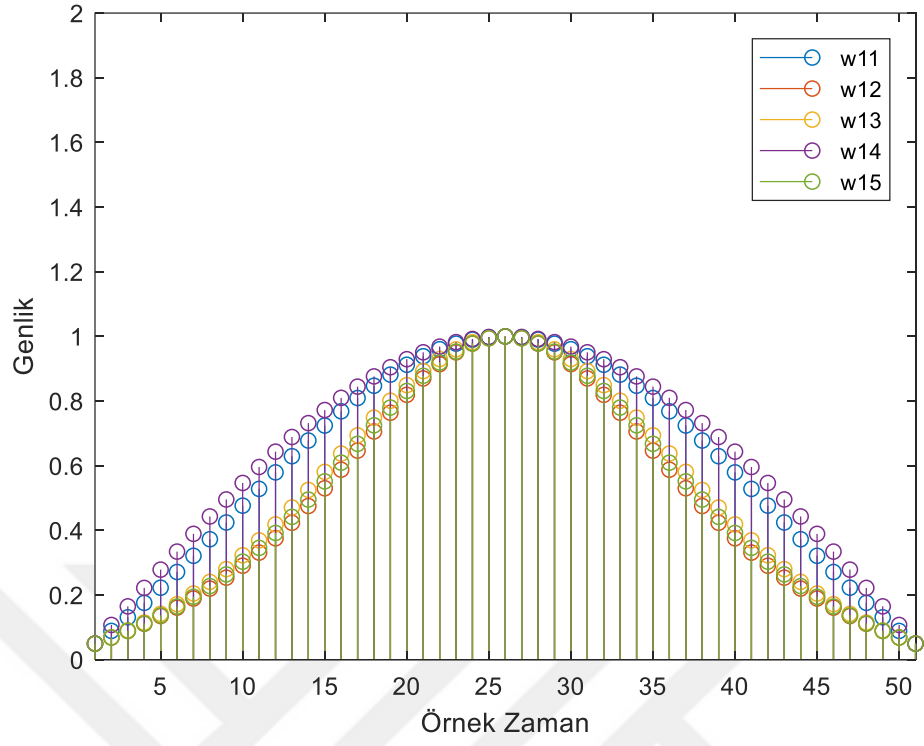
No	Pencere	Formül
1	w1(n)	0.5(Cosh)+ 0.5(Bartlett)
2	w2(n)	0.5(Cosh)+ 0.5(Bartlett-Hann)
3	w3(n)	0.5(Cosh)+ 0.5(Blackman)
4	w4(n)	0.5(Cosh)+ 0.5(Blackman-Harris)
5	w5(n)	0.5(Cosh)+ 0.5(Bohman)
6	w6(n)	0.5(Cosh)+ 0.5(Cos(x))
7	w7(n)	0.5(Cosh)+ 0.5(Cos3(x))
8	w8(n)	0.5(Cosh)+ 0.5(Cos4(x))
9	w9(n)	0.5(Cosh)+ 0.5(Flat-Top)
10	w10(n)	0.5(Cosh)+ 0.5(Hamming)
11	w11(n)	0.5(Cosh)+ 0.5(Lanczos)
12	w12(n)	0.5(Cosh)+ 0.5(Nuttal)
13	w13(n)	0.5(Cosh)+ 0.5(Optimized Blackman)
14	w14(n)	0.5(Cosh)+ 0.5(Parabolic)
15	w15(n)	0.5(Cosh)+ 0.5(Parzen)
16	w16(n)	0.5(Cosh)+ 0.5(Rectangular)
17	w17(n)	0.5(Cosh)+ 0.5(Riemann)
18	w18(n)	0.5(Cosh)+ 0.5(Triangular)
19	w19(n)	0.5(Cosh)+ 0.5(Von-Hann)
20	w20(n)	0.5(Cosh)+ 0.5(Welch)



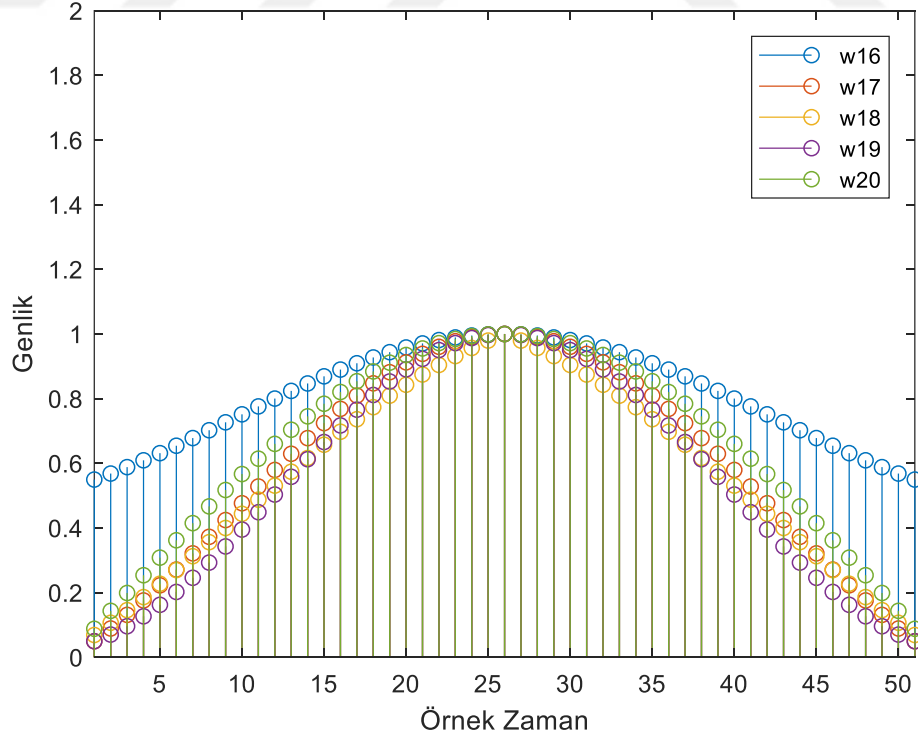
Şekil 3.6. $N = 51$ ve $\alpha = 3$ için 5 hibrit pencerenin (w1-w5) genlik-zaman grafiği.



Şekil 3.7. $N = 51$ ve $\alpha = 3$ için 5 hibrit pencerenin (w6-w10) genlik-zaman grafiği.



Şekil 3.8. $N = 51$ ve $\alpha = 3$ için 5 hibrit pencerenin (w11-w15) genlik-zaman grafiği.



Şekil 3.9. $N = 51$ ve $\alpha = 3$ için 5 hibrit pencerenin (w11-w15) genlik-zaman grafiği.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde öncelikle pencerelerin spektral analizleri pencere spectral parametreleri cinsinden analiz edilecek daha sonra önerilen hibrit pencereler kullanılarak tasarlanan süzgeçlerin spektral analizleri gerçekleştirilecektir. Son olarak literatürde önerilen pencerelerle tasarlanmış sayısal süzgeçlerle önerilen hibrit pencerelerle tasarlanmış sayısal süzgeçlerin karşılaştırılması yapılacaktır.

4.1 Pencerelerin Spektral Analizi

Bu kısımda bölüm 3.2’de verilen spektral parametreler cinsinden sabit pencere fonksiyonlarının ve önerilen pencerelerin Matlab yazılımı kullanılarak farklı uzunluklarda performansları incelenmiştir.

4.1.1 Sabit Pencerelerin Spektral Analizi

Bu bölümde Bölüm 3.3.1’de verilen sabit pencere fonksiyonlarının Bölüm 3.2 de verilen pencere spektral parametreleri olan tepcik oranı, analog genişliği, 3 dB bant genişliği, 6 dB bant genişliği, eşdeğer gürültü bant genişliği, varyans düzeltme faktörü, tutarlı kazanç, bozulma kaybı, skala kaybı ve en kötü durum işleme kaybı cinsinden analizleri gerçekleştirilip performansları kıyaslanmaktadır.

Sabit pencerelerin pencere spektral parametreleri cinsinden yapılan tüm kıyaslamaları, öncelikle $N = 51$ ve 101 pencere uzunluklarında sayısal değer olarak hesaplanmış ve çizelgelerde belirtilmiş, daha sonra $11 \leq N \leq 121$ aralığı için elde edilen değerler grafiksel olarak gösterilmiştir.

4.1.1.1 Tepecik Oranı Cinsinden Spektral Analiz

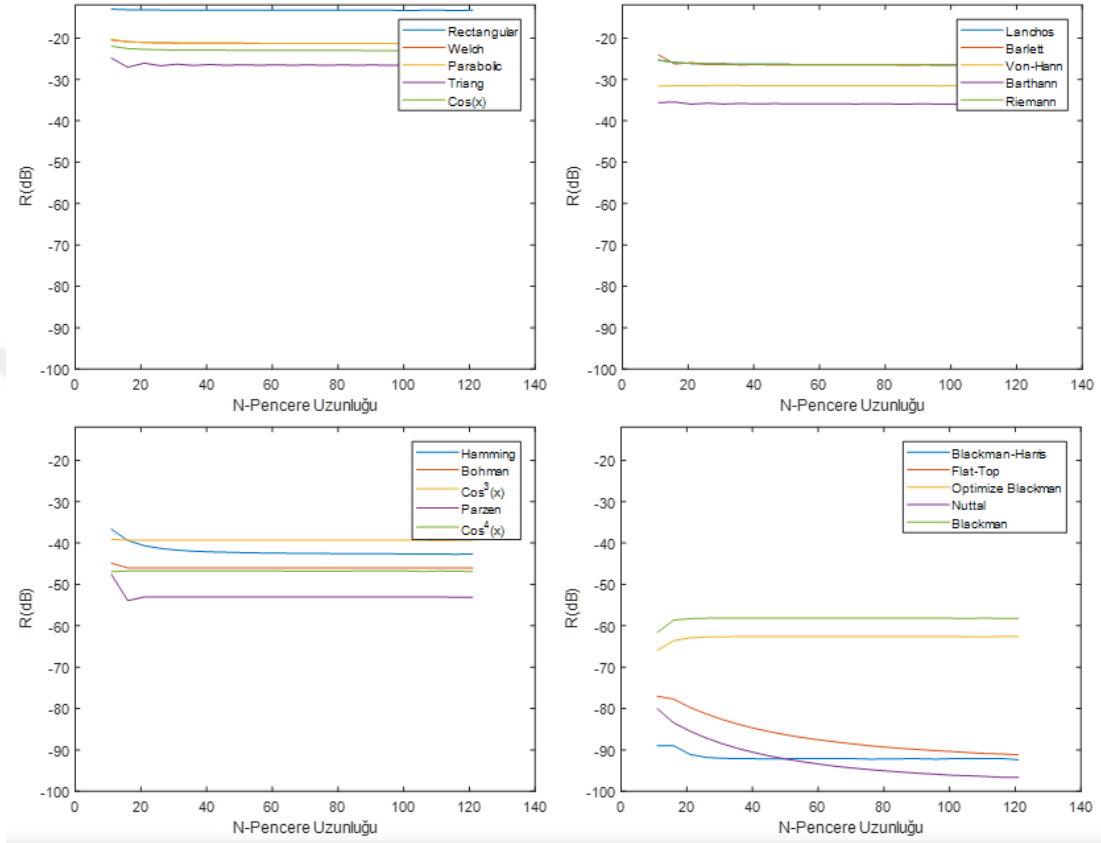
Çizelge 4.1’de 20 sabit pencerenin $N = 51$ ve 101 pencere uzunluklarındaki tepecik oranları sayısal değer olarak verilmiştir

Çizelge 4.1. Sabit pencerelerin tepecik oranı için $N = 51$ ve $N = 101$ ’de değerleri

Pencere	N	R (dB)	N	R (dB)	Pencere	N	R (dB)	N	R (dB)
Bartlett	51	-26,43	101	-26,52	Lanczos	51	-26,36	101	-26,51
Bartlett-Hann	51	-35,90	101	-36,00	Nuttal	51	-92,29	101	-96,11
Blackman	51	-58,13	101	-58,17	Optimized Blackman	51	-62,60	101	-62,60
Blackman-Harris	51	-92,11	101	-92,08	Parabolic	51	-21,27	101	-21,30
Bohman	51	-46,00	101	-46,02	Parzen	51	-53,04	101	-53,05
Cos(x)	51	-22,97	101	-23,04	Rectangular	51	-13,26	101	-13,36
Cos ³ (x)	51	-39,30	101	-39,30	Riemann	51	-26,36	101	-26,51
Cos ⁴ (x)	51	46,74	101	-46,74	Triangular	51	-26,44	101	-26,52
Flat-Top	51	-86,46	101	-90,37	Von-Hann	51	-31,48	101	-31,48
Hamming	51	-42,33	101	-42,65	Welch	51	-21,26	101	-21,35

Sabit pencereler tepecik oranı parametresi açısından karşılaştırıldıklarında $N = 51$ için en iyi sonuçları sırasıyla Nuttal (-92,29), Blackman-Harris (-92,08) ve Flat-Top (-86,46) pencereleri verirken en kötü sonuçları sırasıyla Rectangular (-13,26), Welch (-21,26) ve Parabolic (-21,27) pencereleri vermiştir. $N = 101$ için ise en iyi sonuçları sırasıyla Nuttal (-96,11), Blackman-Harris (-92,08) ve Flat-Top (-90,37) pencereleri verirken en kötü sonuçları sırasıyla Rectangular (-13,36), Parabolic (-21,30) ve Welch (-21,35) pencereleri vermiştir.

20 sabit pencerenin $11 \leq N \leq 121$ pencere uzunluğu aralığı için tepecik oranı kıyaslamaları Şekil 4.1’de verilmiştir. Bu şekilde görüldüğü üzere genel olarak pencere uzunluğunun değişmesiyle tepecik oranının hemen hemen değişmediği gözlemlenmektedir.



Şekil 4.1. $11 \leq N \leq 121$ aralığı için tepecik oranı kıyaslaması.

4.1.1.2 Analob Genişliği Cinsinden Spektral Analiz

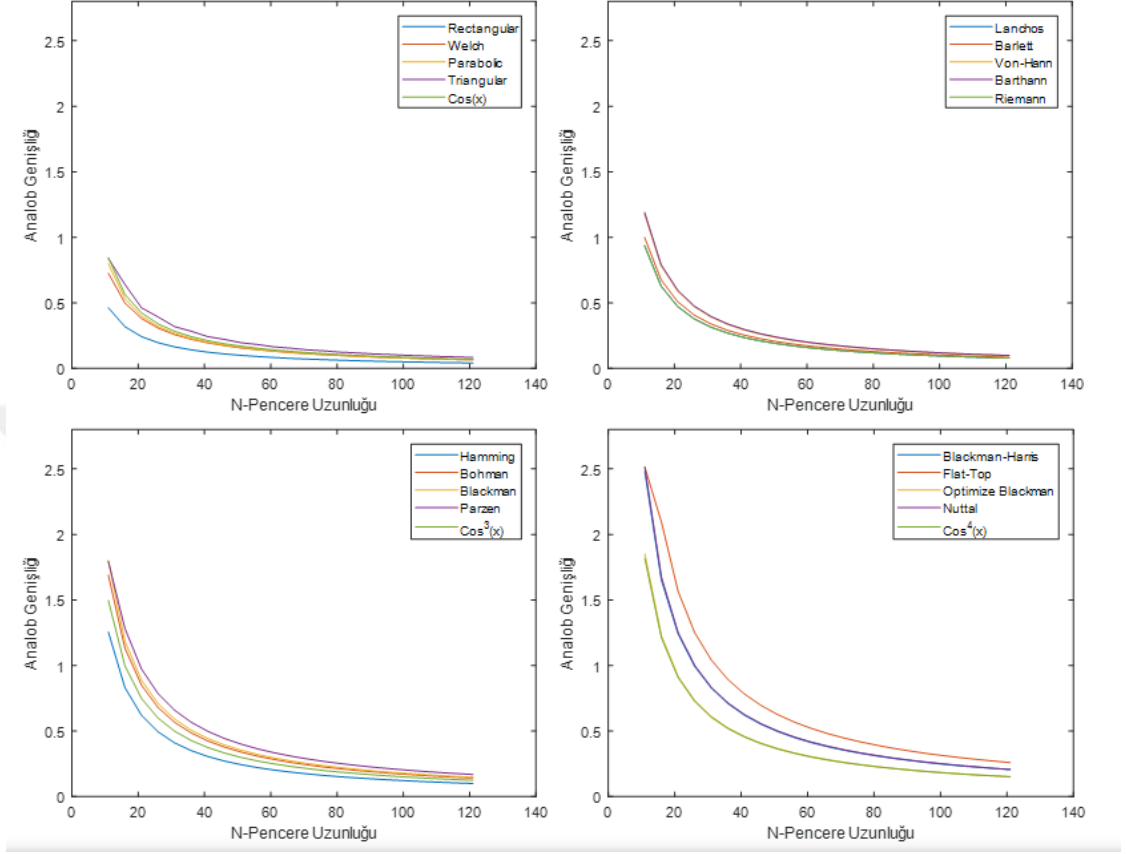
Çizelge 4.2’de 20 sabit pencerenin $N = 51$ ve 101 pencere uzunluklarındaki analob genişlikleri sayısal değer olarak verilmiştir.

Çizelge 4.2. Sabit pencerelerin analob genişliği için $N = 51$ ve $N = 101$ ’de değerleri

Pencere	N	ω_R (rad/s)	N	ω_R (rad/s)	Pencere	N	ω_R (rad/s)	N	ω_R (rad/s)
Bartlett	51	0,20	101	0,10	Lanczos	51	0,19	101	0,09
Bartlett-Hann	51	0,24	101	0,12	Nuttal	51	0,50	101	0,25
Blackman	51	0,35	101	0,18	Optimized Blackman	51	0,37	101	0,18
Blackman-Harris	51	0,50	101	0,25	Parabolic	51	0,16	101	0,08
Bohman	51	0,34	101	0,17	Parzen	51	0,40	101	0,20
Cos(x)	51	0,17	101	0,08	Rectangular	51	0,10	101	0,05
$\text{Cos}^3(x)$	51	0,30	101	0,15	Riemann	51	0,19	101	0,09
$\text{Cos}^4(x)$	51	0,36	101	0,18	Triangular	51	0,22	101	0,10
Flat-Top	51	0,63	101	0,31	Von-Hann	51	0,24	101	0,12
Hamming	51	0,24	101	0,12	Welch	51	0,16	101	0,08

Sabit pencereler analob genişliği parametresi açısından karşılaştırıldıklarında $N = 51$ için en iyi sonuçları sırasıyla Rectangular (0,10), Parabolic (0,16) ve Welch (0,16) pencereleri verirken en kötü sonuçları sırasıyla Flat-Top (0,63), Blackman-Harris (0,50) ve Nuttal (0,50) pencereleri vermiştir. $N = 101$ için ise en iyi sonuçları sırasıyla Rectangular (0,05), Parabolic (0,08), Welch (0,08) ve Cos(x) (0,08) pencereleri verirken en kötü sonuçları sırasıyla Flat-Top (0,31), Blackman-Harris (0,25) ve Nuttal (0,25) pencereleri vermiştir.

20 sabit pencerenin $11 \leq N \leq 121$ pencere uzunluğu aralığı için analob genişliği kıyaslamaları Şekil 4.2’de verilmiştir. Bu şekilde görüldüğü üzere genel olarak pencere uzunluğunun artmasıyla analob genişliğinin azaldığı gözlemlenmektedir.



Şekil 4.2. $11 \leq N \leq 121$ aralığı için analob genişliği kıyaslaması.

4.1.1.3 3 dB Bant Genişliği Cinsinden Spektal Analiz

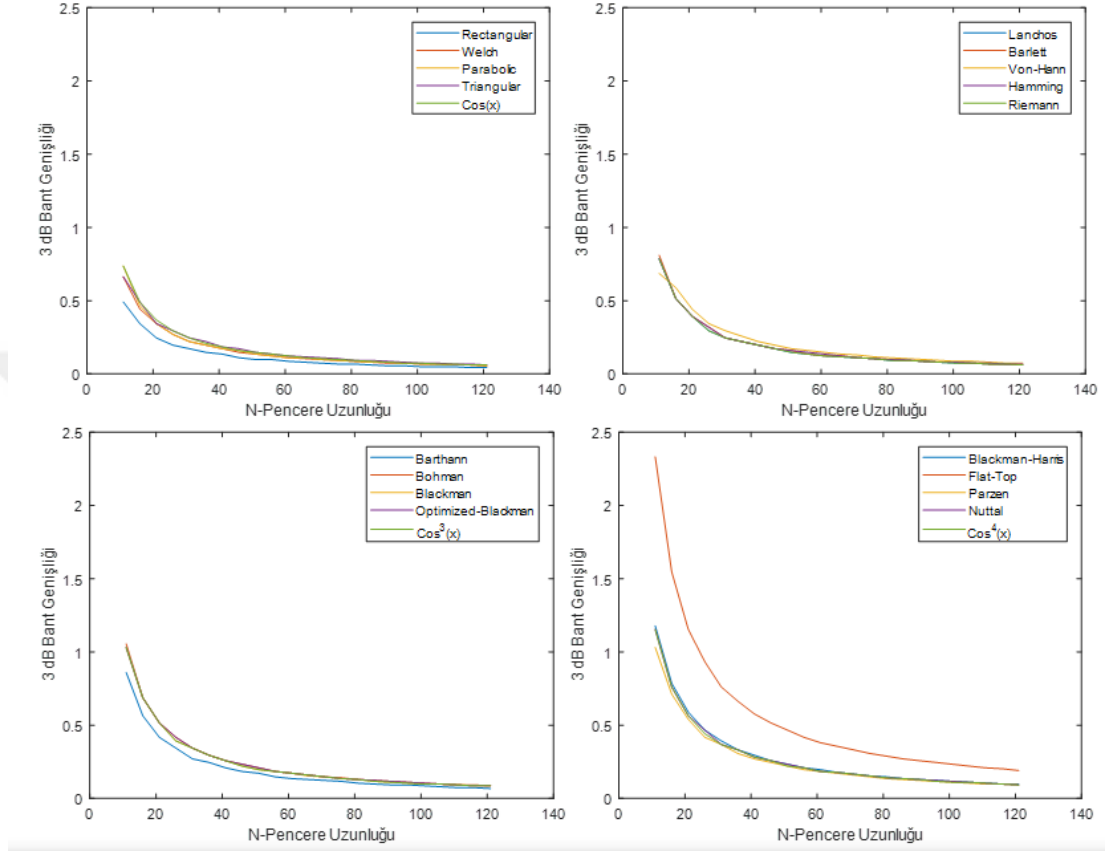
Çizelge 4.3’de 20 sabit pencerenin $N = 51$ ve 101 pencere uzunluklarındaki 3 dB bant genişlikleri sayısal değer olarak verilmiştir.

Çizelge 4.3. Sabit pencerelerin 3 dB bant genişliği için $N = 51$ ve $N = 101$ ’de değerleri

Pencere	N	ω_{3dB}	N	ω_{3dB}	Pencere	N	ω_{3dB}	N	ω_{3dB}
Bartlett	51	0,16	101	0,08	Lanczos	51	0,15	101	0,07
Bartlett-Hann	51	0,17	101	0,09	Nuttal	51	0,23	101	0,12
Blackman	51	0,20	101	0,10	Optimized Blackman	51	0,21	101	0,10
Blackman-Harris	51	0,23	101	0,12	Parabolic	51	0,14	101	0,07
Bohman	51	0,21	101	0,10	Parzen	51	0,22	101	0,11
Cos(x)	51	0,15	101	0,07	Rectangular	51	0,10	101	0,05
$\text{Cos}^3(x)$	51	0,20	101	0,10	Riemann	51	0,15	101	0,07
$\text{Cos}^4(x)$	51	0,22	101	0,11	Triangular	51	0,15	101	0,07
Flat-Top	51	0,47	101	0,23	Von-Hann	51	0,17	101	0,09
Hamming	51	0,16	101	0,08	Welch	51	0,14	101	0,07

Sabit pencereler 3 dB bant genişliği parametresi açısından karşılaştırıldıklarında $N = 51$ için en iyi sonuçları sırasıyla Rectangular (0,10), Parabolic (0,14) ve Welch (0,14) pencereleri verirken en kötü sonuçları sırasıyla Flat-Top (0,47), Blackman-Harris (0,23) ve Nuttal (0,23) pencereleri vermiştir. $N = 101$ için ise en iyi sonuçları sırasıyla Rectangular (0,05), Parabolic (0,07), Welch (0,07) ve Cos(x) (0,07) pencereleri verirken en kötü sonuçları sırasıyla Flat-Top (0,23), Blackman-Harris (0,12) ve Nuttal (0,12) pencereleri vermiştir.

20 sabit pencerenin $11 \leq N \leq 121$ pencere uzunluğu aralığı için 3 dB bant genişliği kıyaslamaları Şekil 4.3’de verilmiştir. Bu şekilde görüldüğü üzere genel olarak pencere uzunluğunun artmasıyla 3 dB bant genişliğinin azaldığı gözlemlenmektedir.



Şekil 4.3. $11 \leq N \leq 121$ aralığı için 3 dB bant genişliği kıyaslaması.

4.1.1.4 6 dB Bant Genişliği Cinsinden Spektral Analiz

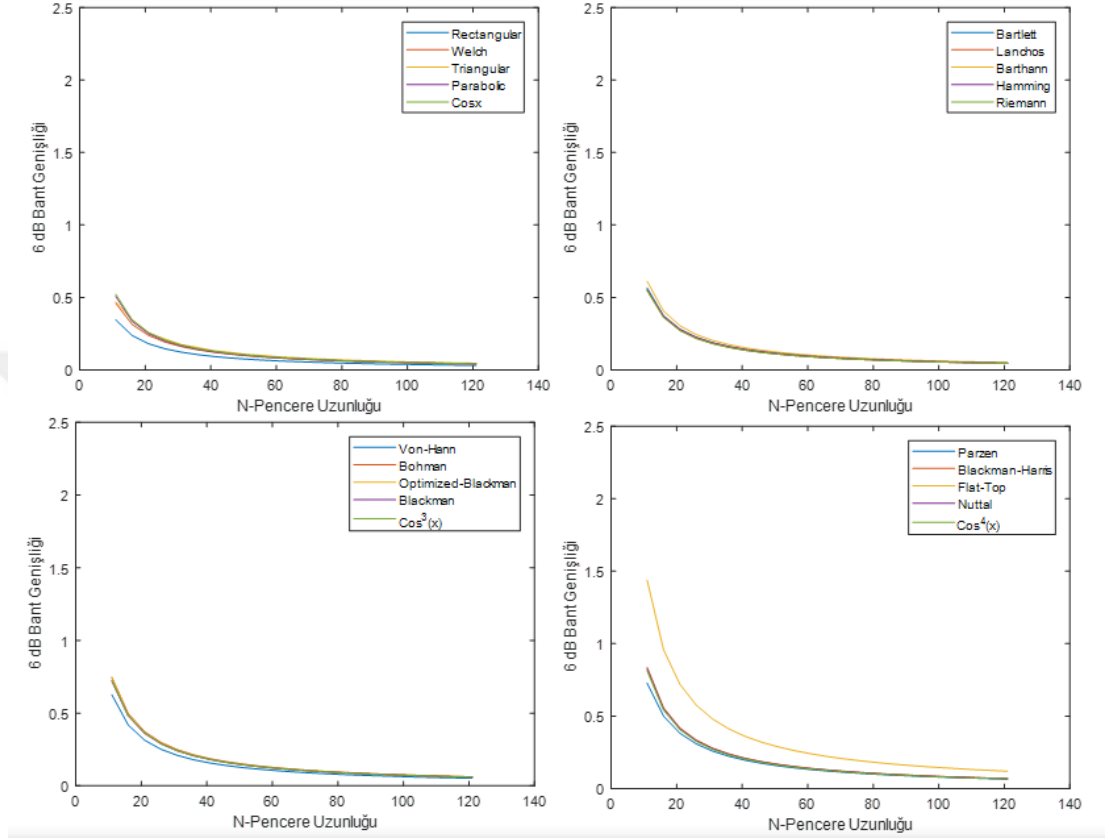
Çizelge 4.4’de 20 sabit pencerenin $N = 51$ ve 101 pencere uzunluklarındaki 6 dB bant genişlikleri sayısal değeri olarak verilmiştir.

Çizelge 4.4. Sabit pencerelerin 6 dB bant genişliği için $N = 51$ ve $N = 101$ ’de değeri

Pencere	N	ω_{6dB}	N	ω_{6dB}	Pencere	N	ω_{6dB}	N	ω_{6dB}
Bartlett	51	0,12	101	0,06	Lanczos	51	0,11	101	0,05
Bartlett-Hann	51	0,12	101	0,06	Nuttal	51	0,16	101	0,08
Blackman	51	0,14	101	0,07	Optimized Blackman	51	0,15	101	0,07
Blackman-Harris	51	0,17	101	0,08	Parabolic	51	0,10	101	0,05
Bohman	51	0,15	101	0,07	Parzen	51	0,16	101	0,08
Cos(x)	51	0,10	101	0,05	Rectangular	51	0,07	101	0,04
$\text{Cos}^3(x)$	51	0,15	101	0,07	Riemann	51	0,11	101	0,05
$\text{Cos}^4(x)$	51	0,16	101	0,08	Triangular	51	0,11	101	0,05
Flat-Top	51	0,29	101	0,14	Von-Hann	51	0,13	101	0,06
Hamming	51	0,11	101	0,06	Welch	51	0,10	101	0,05

Sabit pencereler 6 dB bant genişliği parametresi açısından karşılaştırıldıklarında $N = 51$ için en iyi sonuçları sırasıyla Rectangular (0,07), Parabolic (0,10), Welch (0,10) ve Cos(x) (0,10) pencereleri verirken en kötü sonuçları sırasıyla Flat-Top (0,29), Blackman-Harris (0,17), Nuttal (0,16) ve $\text{Cos}^4(x)$ (0,16) pencereleri vermiştir. $N = 101$ için ise en iyi sonuçları sırasıyla Rectangular (0,04), Parabolic (0,04), Welch (0,05) ve Cos(x) (0,05) pencereleri verirken en kötü sonuçları sırasıyla Flat-Top (0,14), Blackman-Harris (0,08), Nuttal (0,08) ve $\text{Cos}^4(x)$ (0,08) pencereleri vermiştir.

20 sabit pencerenin $11 \leq N \leq 121$ pencere uzunluğu aralığı için 6 dB bant genişliği kıyaslamaları Şekil 4.4’de verilmiştir. Bu şekilde görüldüğü üzere genel olarak pencere uzunluğunun artmasıyla 6 dB bant genişliğinin azaldığı gözlemlenmektedir.



Şekil 4.4. $11 \leq N \leq 121$ aralığı için 6 dB bant genişliği kıyaslaması.

4.1.1.5 ENBW Cinsinden Spektral Analiz

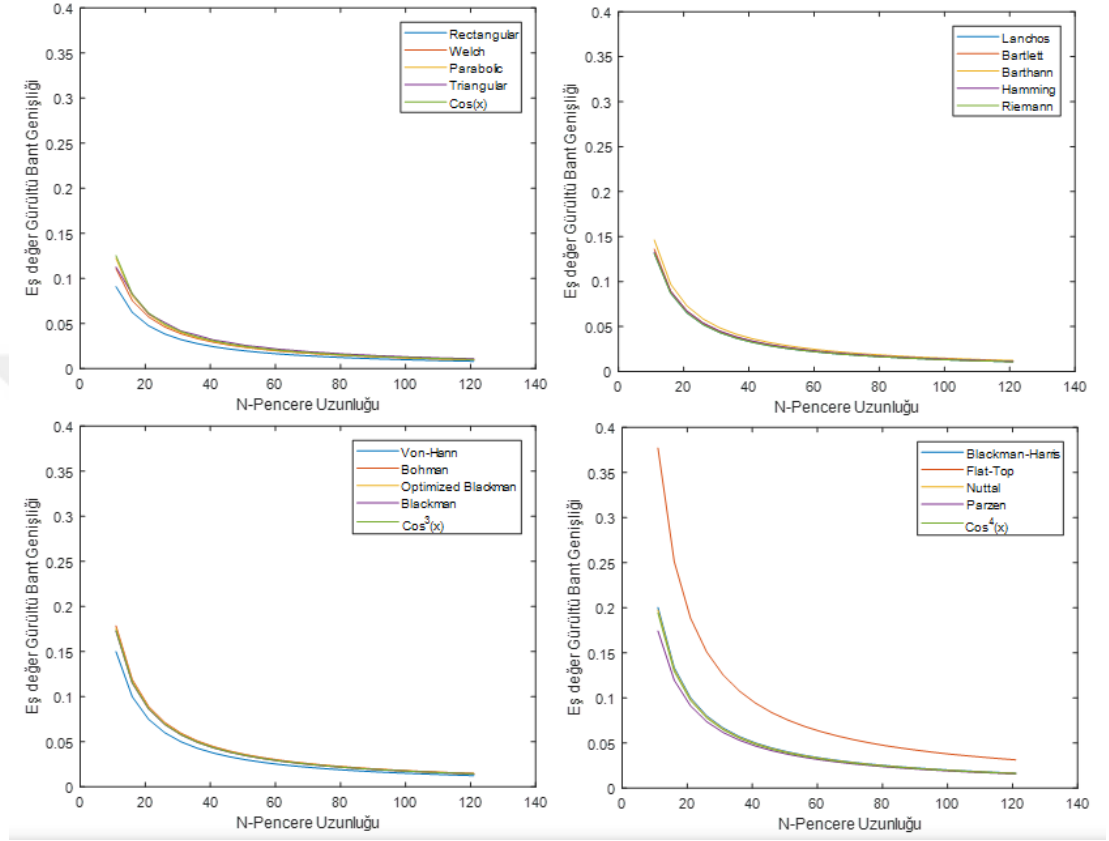
Çizelge 4.5’de 20 sabit pencerenin $N = 51$ ve 101 pencere uzunluklarındaki eşdeğer gürültü bant genişlikleri sayısal değer olarak verilmiştir.

Çizelge 4.5. Sabit pencerelerin eşdeğer gürültü bant genişliği için $N = 51$ ve $N = 101$ ’de değerleri

Pencere	N	ENBW (dB)	N	ENBW (dB)	Pencere	N	ENBW (dB)	N	ENBW (dB)
Bartlett	51	0,03	101	0,01	Lanczos	51	0,03	101	0,01
Bartlett-Hann	51	0,03	101	0,01	Nuttal	51	0,04	101	0,02
Blackman	51	0,03	101	0,02	Optimized Blackman	51	0,04	101	0,02
Blackman-Harris	51	0,04	101	0,02	Parabolic	51	0,02	101	0,01
Bohman	51	0,04	101	0,02	Parzen	51	0,04	101	0,02
Cos(x)	51	0,02	101	0,01	Rectangular	51	0,02	101	0,01
$\text{Cos}^3(x)$	51	0,03	101	0,02	Riemann	51	0,03	101	0,01
$\text{Cos}^4(x)$	51	0,04	101	0,02	Triangular	51	0,03	101	0,01
Flat-Top	51	0,08	101	0,04	Von-Hann	51	0,03	101	0,02
Hamming	51	0,03	101	0,01	Welch	51	0,02	101	0,01

Sabit pencereler eşdeğer gürültü bant genişliği parametresi açısından karşılaştırıldıklarında $N = 51$ için en iyi sonuçları sırasıyla Rectangular (0,02), Parabolic (0,02), Welch (0,02) ve Cos(x) (0,02) pencereleri verirken en kötü sonuçları sırasıyla Flat-Top (0,08), Blackman-Harris (0,04), Nuttal (0,04) ve $\text{Cos}^4(x)$ (0,04) pencereleri vermiştir. $N = 101$ için ise en iyi sonuçları sırasıyla Rectangular (0,01), Parabolic (0,01), Welch (0,01) ve Cos(x) (0,01) pencereleri verirken en kötü sonuçları sırasıyla Flat-Top (0,04), Blackman-Harris (0,02), Nuttal (0,02) ve $\text{Cos}^4(x)$ (0,02) pencereleri vermiştir.

20 sabit pencerenin $11 \leq N \leq 121$ pencere uzunluğu aralığı için eşdeğer gürültü bant genişliği kıyaslamaları Şekil 4.5’de verilmiştir. Bu şekilde görüldüğü üzere genel olarak pencere uzunluğunun artmasıyla eşdeğer gürültü bant genişliğinin azaldığı gözlemlenmektedir.



Şekil 4.5. $11 \leq N \leq 121$ aralığı için ENBW kıyaslaması.

4.1.1.6 Varyans Düzeltme Faktörü Cinsinden Spektral Analiz

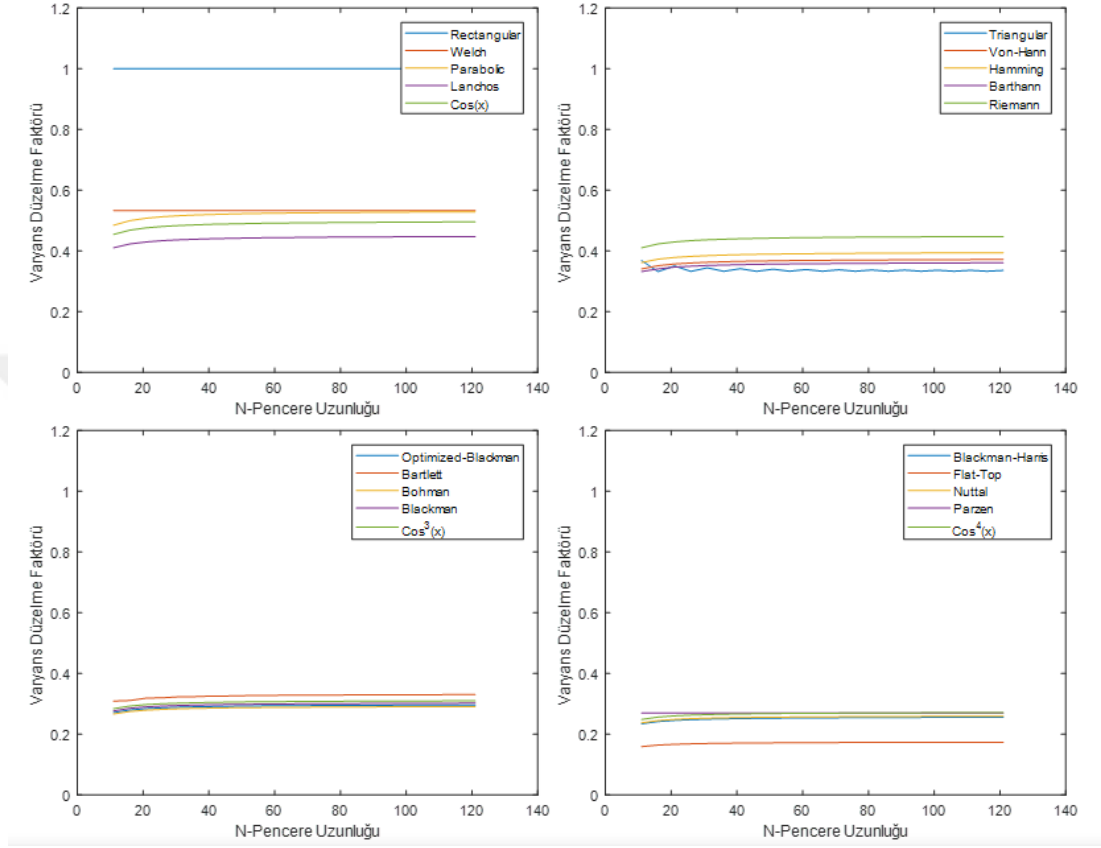
Çizelge 4.6’de 20 sabit pencerenin $N = 51$ ve 101 pencere uzunluklarındaki varyans düzeltme faktörleri sayısal değer olarak verilmiştir.

Çizelge 4.6. Sabit pencerelerin varyans düzeltme faktörü için $N = 51$ ve $N = 101$ ’de değerleri

Pencere	N	Q	N	Q	Pencere	N	Q	N	Q
Bartlett	51	0,33	101	0,33	Lanczos	51	0,44	101	0,45
Bartlett-Hann	51	0,36	101	0,36	Nuttal	51	0,26	101	0,26
Blackman	51	0,30	101	0,30	Optimized Blackman	51	0,29	101	0,30
Blackman-Harris	51	0,25	101	0,26	Parabolic	51	0,52	101	0,53
Bohman	51	0,29	101	0,29	Parzen	51	0,27	101	0,27
Cos(x)	51	0,49	101	0,50	Rectangular	51	1,00	101	1,00
$\text{Cos}^3(x)$	51	0,31	101	0,31	Riemann	51	0,44	101	0,45
$\text{Cos}^4(x)$	51	0,27	101	0,27	Triangular	51	0,34	101	0,34
Flat-Top	51	0,17	101	0,17	Von-Hann	51	0,37	101	0,37
Hamming	51	0,39	101	0,39	Welch	51	0,53	101	0,53

Sabit pencereler varyans düzeltme faktörü parametresi açısından karşılaştırıldıklarında $N = 51$ için en iyi sonuçları sırasıyla Rectangular (1,00), Welch (0,53) ve Parabolic (0,52) pencereleri verirken en kötü sonuçları sırasıyla Flat-Top (0,17), Blackman-Harris (0,25) ve Nuttal (0,26) pencereleri vermiştir. $N = 101$ için ise en iyi sonuçları sırasıyla Rectangular (1,00), Welch (0,53) ve Parabolic (0,53) pencereleri verirken en kötü sonuçları sırasıyla Flat-Top (0,17), Blackman-Harris (0,26) ve Nuttal (0,26) pencereleri vermiştir.

20 sabit pencerenin $11 \leq N \leq 121$ pencere uzunluğu aralığı için varyans düzeltme faktörü kıyaslamaları Şekil 4.6'de verilmiştir. Bu şekilde görüldüğü üzere genel olarak pencere uzunluğunun değişmesiyle varyans düzeltme faktörünün hemen hemen değişmediği gözlemlenmektedir.



Şekil 4.6. $11 \leq N \leq 121$ aralığı için Q faktörü kıyaslaması.

4.1.1.7 Tutarlı Kazanç Cinsinden Spektral Analiz

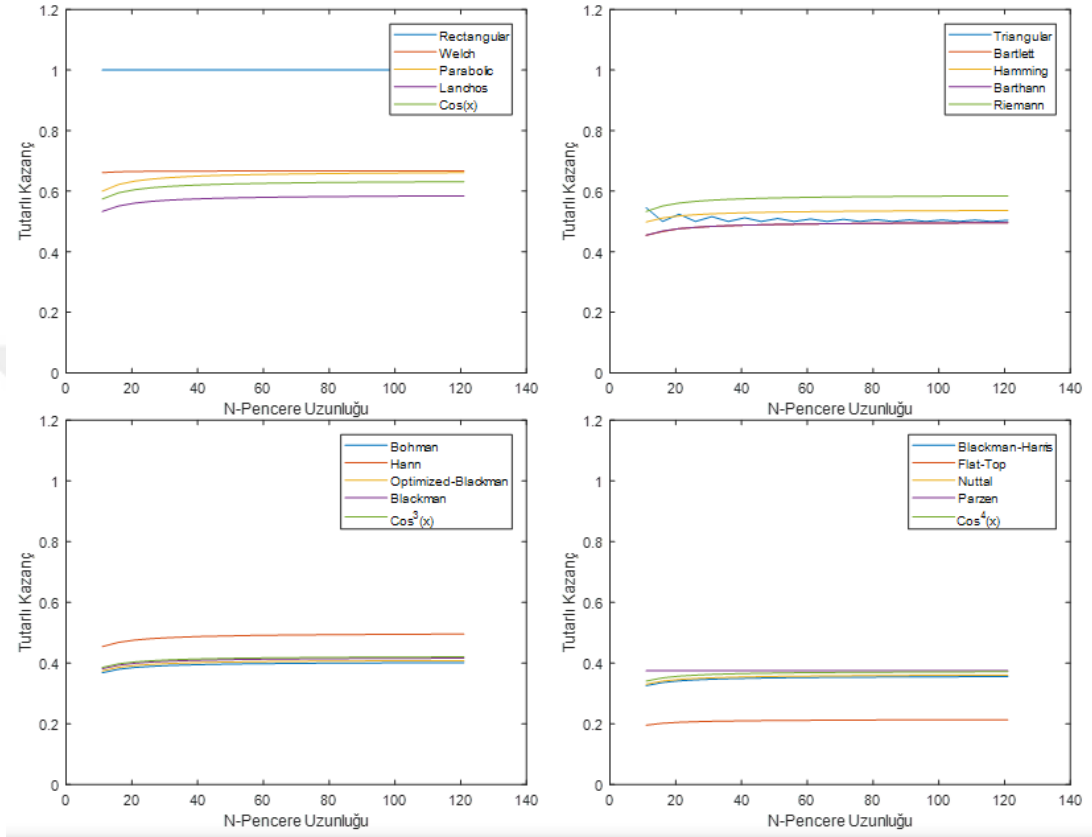
Çizelge 4.7’de 20 sabit pencerenin $N = 51$ ve 101 pencere uzunluklarındaki tutarlı kazançları sayısal değer olarak verilmiştir.

Çizelge 4.7. Sabit pencerelerin tutarlı kazanç için $N = 51$ ve $N = 101$ ’de değerleri

Pencere	N	G	N	G	Pencere	N	G	N	G
Bartlett	51	0,49	101	0,50	Lanczos	51	0,58	101	0,58
Bartlett-Hann	51	0,49	101	0,50	Nuttal	51	0,36	101	0,36
Blackman	51	0,41	101	0,42	Optimized Blackman	51	0,40	101	0,41
Blackman-Harris	51	0,35	101	0,36	Parabolic	51	0,65	101	0,66
Bohman	51	0,40	101	0,40	Parzen	51	0,38	101	0,38
Cos(x)	51	0,62	101	0,63	Rectangular	51	1,00	101	1,00
$\text{Cos}^3(x)$	51	0,42	101	0,42	Riemann	51	0,58	101	0,58
$\text{Cos}^4(x)$	51	0,37	101	0,37	Triangular	51	0,51	101	0,51
Flat-Top	51	0,21	101	0,21	Von-Hann	51	0,49	101	0,50
Hamming	51	0,53	101	0,54	Welch	51	0,67	101	0,67

Sabit pencereler tutarlı kazanç parametresi açısından karşılaştırıldıklarında $N = 51$ için en iyi sonuçları sırasıyla Rectangular (1,00), Welch (0,67) ve Parabolic (0,65) pencereleri verirken en kötü sonuçları sırasıyla Flat-Top (0,21), Blackman-Harris (0,35) ve Nuttal (0,36) pencereleri vermiştir. $N = 101$ için ise en iyi sonuçları sırasıyla Rectangular (1,00), Welch (0,67) ve Parabolic (0,66) pencereleri verirken en kötü sonuçları sırasıyla Flat-Top (0,21), Blackman-Harris (0,36) ve Nuttal (0,36) pencereleri vermiştir.

20 sabit pencerenin $11 \leq N \leq 121$ pencere uzunluğu aralığı için tutarlı kazanç kıyaslamaları Şekil 4.7’de verilmiştir. Bu şekilde görüldüğü üzere genel olarak pencere uzunluğunun değişmesiyle tutarlı kazancın hemen hemen değişmediği gözlemlenmektedir.



Şekil 4.7. $11 \leq N \leq 121$ aralığı için tutarlı kazanç kıyaslaması.

4.1.1.8 Bozulma Kaybı Cinsinden Spektral Analiz

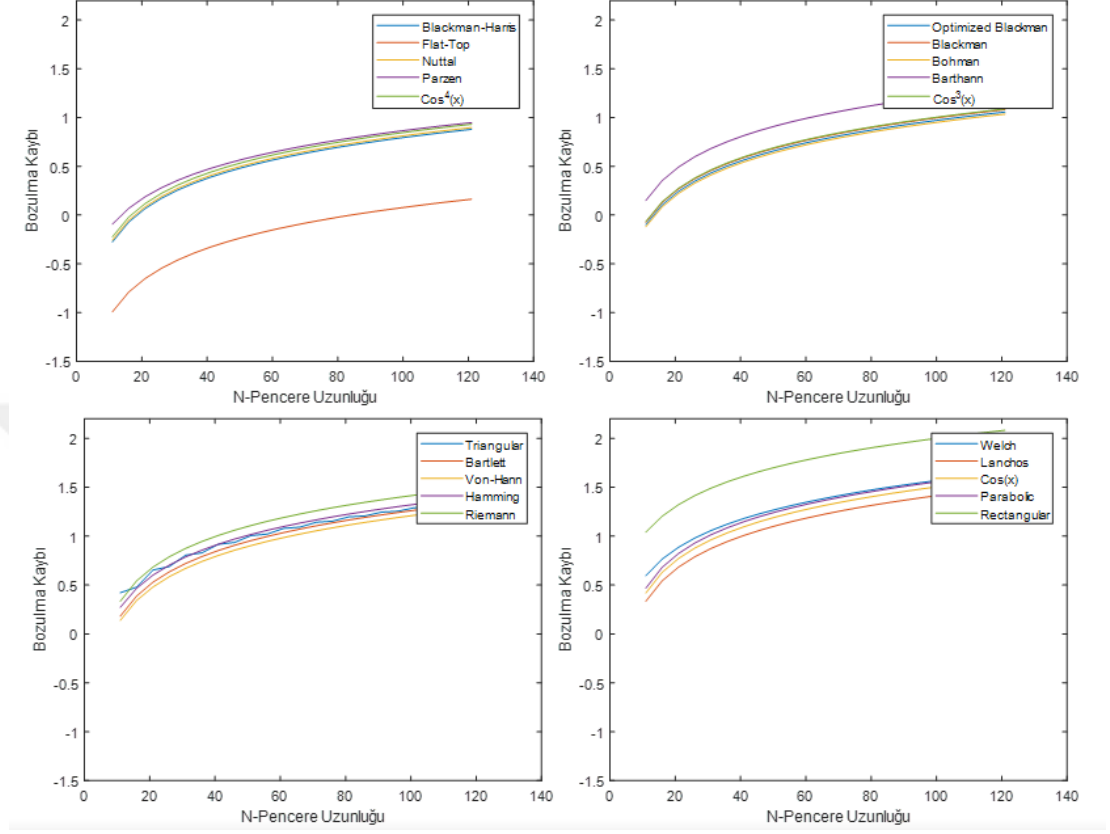
Çizelge 4.8’de 20 sabit pencerenin $N = 51$ ve 101 pencere uzunluklarındaki bozulma kayıpları sayısal değer olarak verilmiştir.

Çizelge 4.8. Sabit pencerelerin bozulma kaybı için $N = 51$ ve $N = 101$ ’de değerleri

Pencere	N	L (dB)	N	L (dB)	Pencere	N	L (dB)	N	L (dB)
Bartlett	51	0,95	101	1,26	Lanczos	51	1,11	101	1,42
Bartlett-Hann	51	0,92	101	1,23	Nuttal	51	0,51	101	0,82
Blackman	51	0,69	101	1,00	Optimized Blackman	51	0,70	101	0,98
Blackman-Harris	51	0,49	101	0,8	Parabolic	51	1,25	101	1,56
Bohman	51	0,65	101	0,96	Parzen	51	0,57	101	0,87
Cos(x)	51	1,20	101	1,51	Rectangular	51	1,71	101	2,00
Cos ³ (x)	51	0,70	101	1,00	Riemann	51	1,11	101	1,42
Cos ⁴ (x)	51	0,54	101	0,85	Triangular	51	1,01	101	1,29
Flat-Top	51	-0,22	101	0,08	Von-Hann	51	0,90	101	1,21
Hamming	51	1,02	101	1,32	Welch	51	1,28	101	1,57

Sabit pencereler bozulma kaybı parametresi açısından karşılaştırıldıklarında $N = 51$ için en iyi sonuçları sırasıyla Flat-Top (-0,22), Blackman-Harris (0,49) ve Nuttal (0,51) pencereleri verirken en kötü sonuçları sırasıyla Rectangular (1,71), Welch (1,28) ve Parabolic (1,25) pencereleri vermiştir. $N = 101$ için ise en iyi sonuçları sırasıyla Flat-Top (0,08), Blackman-Harris (0,8) ve Nuttal (0,82) pencereleri verirken en kötü sonuçları sırasıyla Rectangular (2,00), Welch (1,57) ve Parabolic (1,56) pencereleri vermiştir.

20 sabit pencerenin $11 \leq N \leq 121$ pencere uzunluğu aralığı için bozulma kaybı kıyaslamaları Şekil 4.8’de verilmiştir. Bu şekilde görüldüğü üzere genel olarak pencere uzunluğunun artmasıyla bozulma kaybının daha arttığı gözlemlenmektedir.



Şekil 4.8. $11 \leq N \leq 121$ aralığı için bozulma kaybı kıyaslaması.

4.1.1.9 Skala Kaybı Cinsinden Spektral Analiz

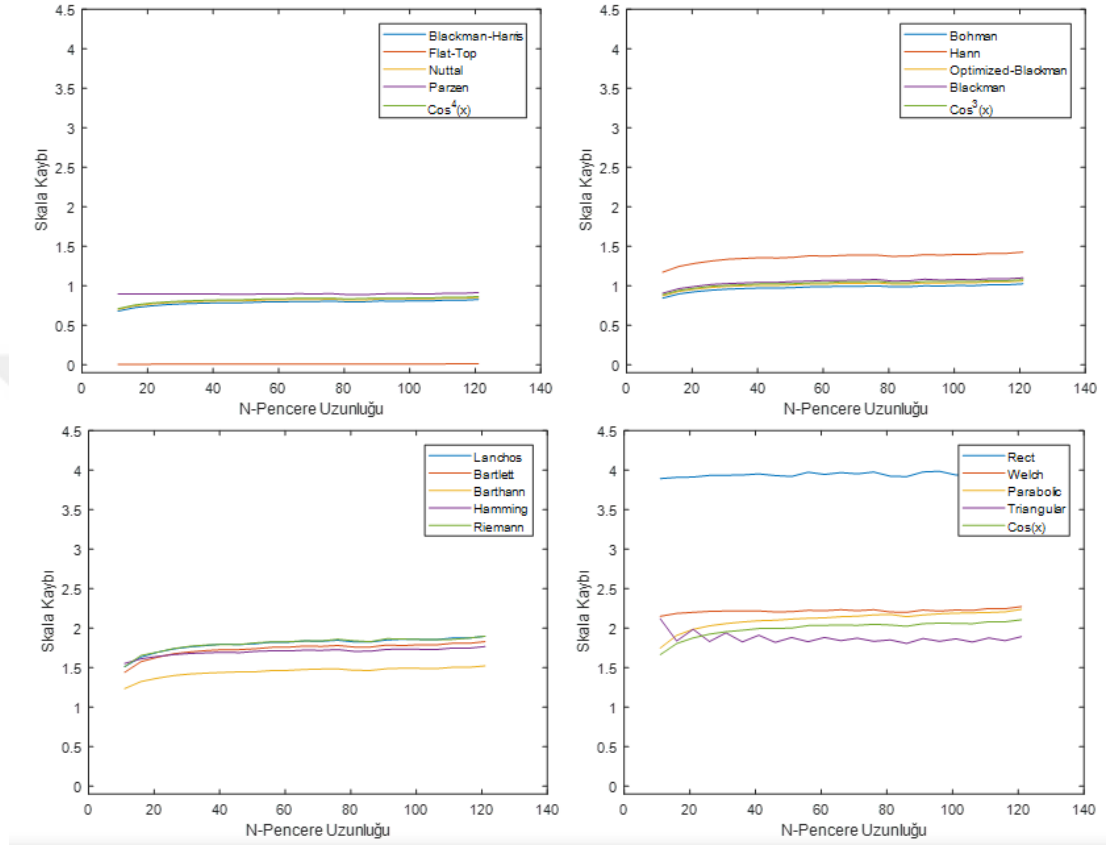
Çizelge 4.9’de 20 sabit pencerenin $N = 51$ ve 101 pencere uzunluklarındaki skala kayıpları sayısal değer olarak verilmiştir.

Çizelge 4.9. Sabit pencerelerin skala kaybı için $N = 51$ ve $N = 101$ ’de değerleri

Pencere	N	SL	N	SL	Pencere	N	SL	N	SL
Bartlett	51	1,74	101	1,79	Lanczos	51	1,8	101	1,86
Bartlett-Hann	51	1,45	101	1,49	Nuttal	51	0,81	101	0,84
Blackman	51	1,06	101	1,08	Optimized Blackman	51	1,01	101	1,04
Blackman-Harris	51	0,79	101	0,81	Parabolic	51	2,11	101	2,19
Bohman	51	0,98	101	1,00	Parzen	51	0,89	101	0,90
Cos(x)	51	2,00	101	2,06	Rectangular	51	3,92	101	3,94
Cos ³ (x)	51	1,03	101	1,06	Riemann	51	1,82	101	1,86
Cos ⁴ (x)	51	0,83	101	0,85	Triangular	51	1,88	101	1,87
Flat-Top	51	0,01	101	0,01	Von-Hann	51	1,36	101	1,40
Hamming	51	1,71	101	1,73	Welch	51	2,21	101	2,23

Sabit pencereler skala kaybı parametresi açısından karşılaştırıldıklarında $N = 51$ için en iyi sonuçları sırasıyla Flat-Top (0,01), Blackman-Harris (0,79) ve Nuttal (0,81) pencereleri verirken en kötü sonuçları sırasıyla Rectangular (3,92), Welch (2,21) ve Parabolic (2,11) pencereleri vermiştir. $N = 101$ için ise en iyi sonuçları sırasıyla Flat-Top (0,01), Blackman-Harris (0,81) ve Nuttal (0,81) pencereleri verirken en kötü sonuçları sırasıyla Rectangular (3,94), Welch (2,23) ve Parabolic (2,19) pencereleri vermiştir.

20 sabit pencerenin $11 \leq N \leq 121$ pencere uzunluğu aralığı için skala kaybı kıyaslamaları Şekil 4.9'de verilmiştir. . Bu şekilde görüldüğü üzere genel olarak pencere uzunluğunun değişmesiyle skala kaybının hemen hemen değişmediği gözlemlenmektedir.



Şekil 4.9. $11 \leq N \leq 121$ aralığı için skala kaybı kıyaslaması.

4.1.1.10 WCPL Cinsinden Spektral Analiz

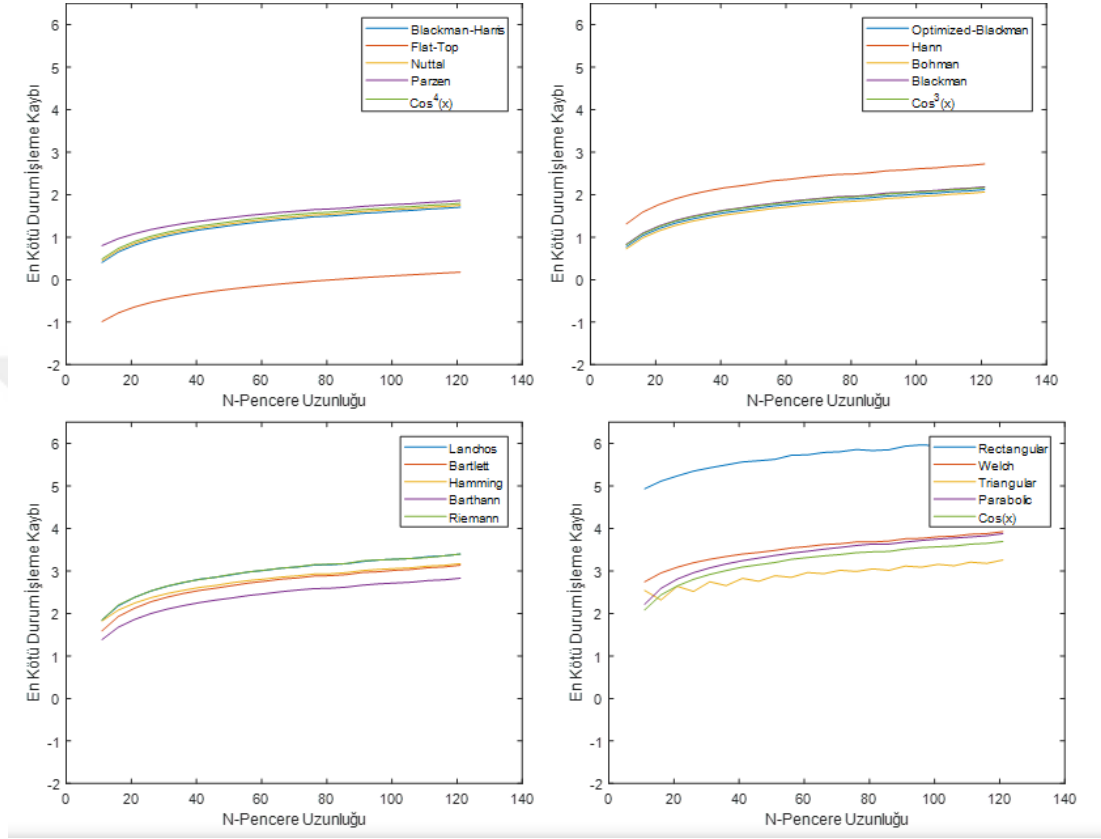
Çizelge 4.10'de 20 sabit pencerenin $N = 51$ ve 101 pencere uzunluklarındaki en kötü durum işleme kayıpları sayısal değer olarak verilmiştir.

Çizelge 4.10. Sabit pencerelerin en kötü durum işleme kaybı için $N = 51$ ve $N = 101$ 'de değerleri

Pencere	N	WCPL	N	WCPL	Pencere	N	WCPL	N	WCPL
Bartlett	51	2,66	101	3,02	Lanczos	51	2,91	101	3,27
Bartlett-Hann	51	2,37	101	2,72	Nuttal	51	1,32	101	1,65
Blackman	51	1,75	101	2,08	Optimized Blackman	51	1,68	101	2,02
Blackman-Harris	51	1,28	101	1,61	Parabolic	51	3,36	101	3,75
Bohman	51	1,62	101	1,93	Parzen	51	1,47	101	1,77
Cos(x)	51	3,20	101	3,57	Rectangular	51	5,63	101	5,94
Cos ³ (x)	51	1,73	101	2,06	Riemann	51	2,92	101	3,28
Cos ⁴ (x)	51	1,37	101	1,70	Triangular	51	2,89	101	3,16
Flat-Top	51	-0,22	101	0,09	Von-Hann	51	2,26	101	2,61
Hamming	51	2,72	101	3,06	Welch	51	3,48	101	3,80

Sabit pencereler en kötü durum işleme kaybı parametresi açısından karşılaştırıldıklarında $N = 51$ için en iyi sonuçları sırasıyla Flat-Top (-0,22), Blackman-Harris (1,28) ve Nuttal (1,32) pencereleri verirken en kötü sonuçları sırasıyla Rectangular (5,63), Welch (3,48) ve Parabolic (3,36) pencereleri vermiştir. $N = 101$ için ise en iyi sonuçları sırasıyla Flat-Top (0,09), Blackman-Harris (1,61) ve Nuttal (1,68) pencereleri verirken en kötü sonuçları sırasıyla Rectangular (5,94), Welch (3,80) ve Parabolic (3,75) pencereleri vermiştir.

20 sabit pencerenin $11 \leq N \leq 121$ pencere uzunluğu aralığı için en kötü durum işleme kaybı kıyaslamaları Şekil 4.10'de verilmiştir. Bu şekilde görüldüğü üzere genel olarak pencere uzunluğunun artmasıyla en kötü durum işleme kaybının da arttığı gözlemlenmektedir.



Şekil 4.10. $11 \leq N \leq 121$ aralığı için WCPL kıyaslaması.

Sabit pencerelerin pencere spektral analizi ile ilgili olarak şu genel sonuçlar gözlemlenmiştir:

- Uzunluğa göre tepelik oranlarını karşılaştırdığımızda en iyi sonucu Nuttal penceresi verirken en kötü sonucu Rectangular penceresi vermiştir.
- Uzunluğa göre bozulma kaybı, skala kaybı ve en kötü durum işleme kaybını karşılaştırdığımızda en iyi sonucu Flat-Top penceresi verirken en kötü sonucu Rectangular penceresi vermiştir.

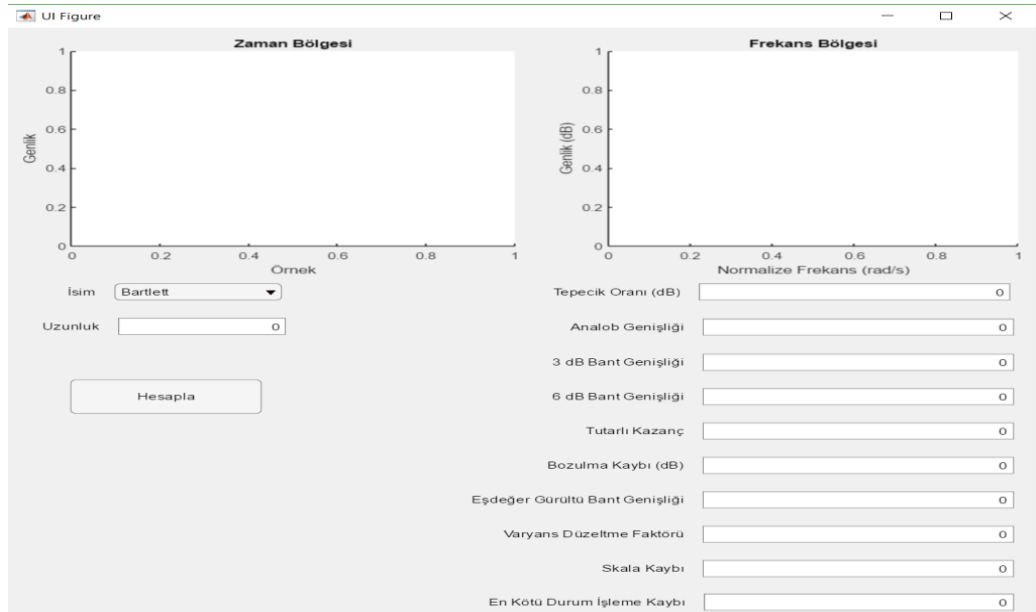
- Uzunluğa göre diğer parametreleri karşılaştırdığımızda en iyi sonucu Rectangular penceresi verirken en kötü sonucu Flat-Top penceresi vermiştir.

4.1.2 Sabit Pencerelelerin Spektral Analizi için Arayüz Geliştirilmesi

Pencere spektral analizi için Matlab'ın wintool veya yeni adıyla windowDesigner arayüzünden daha fazla sabit pencere fonksiyonuna sahip ve daha fazla pencere spektral parametresi için analiz yapabilen yeni bir arayüz geliştirilmiştir. Wintool arayüzü sadece 12 adet sabit pencere fonksiyonuna sahip olup 2 spektral parametreye göre analiz yapmaktadır. Matlab R2017a programında AppDesigner kullanılarak Şekil 4.11'deki arayüz tasarlanmıştır.

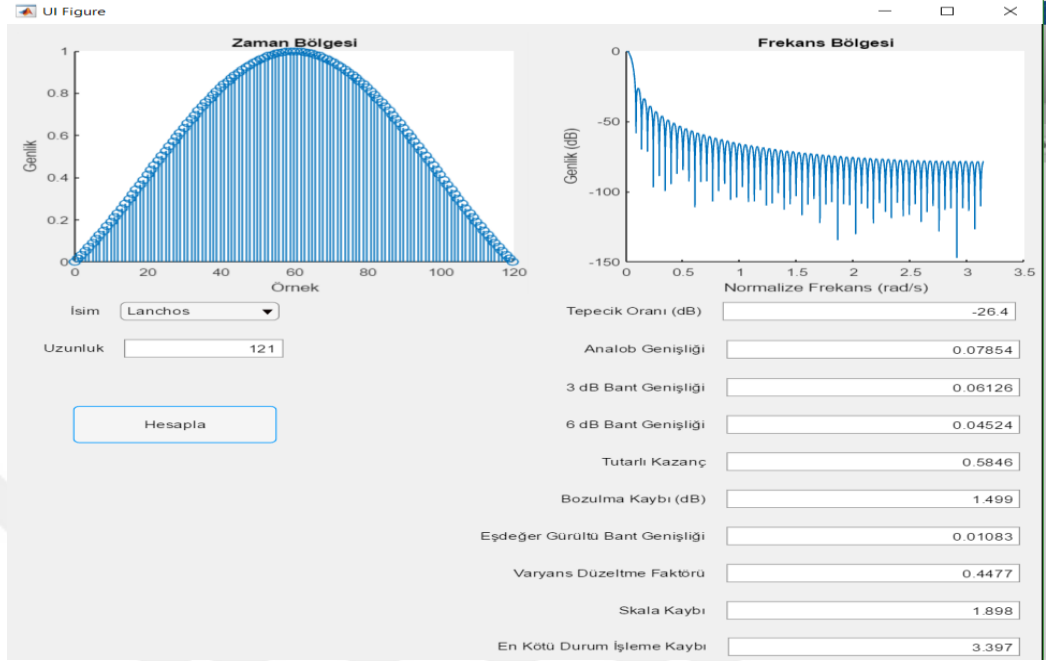
Geliştirilen arayüzün Matlab wintool'a göre avantajları:

- Daha fazla spektral parametre bakımından pencere fonksiyonlarını analiz edebilme.
- Daha fazla pencere fonksiyonuna sahip olma.

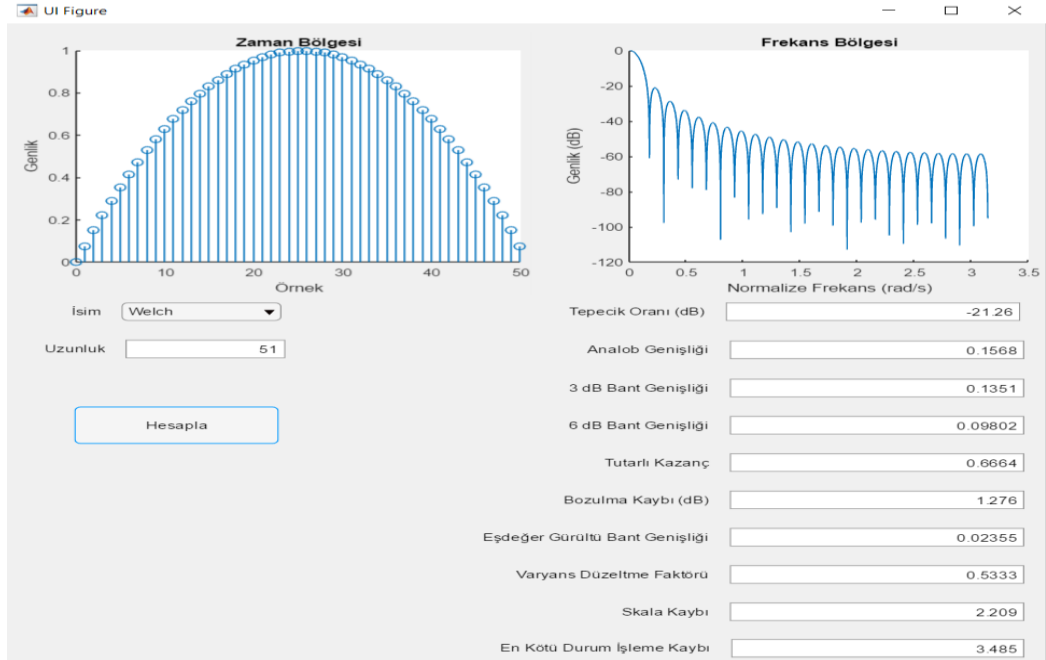


Şekil 4.11. Pencere spektral analizi için önerilen Matlab tabanlı kullanıcı arayüzü

Şekil 4.12 ve 4.13 önerilen arayüzün örnek olarak lanczos ve Welch pencereleri için çalıştırılması ile elde edilen sonuçları göstermektedir.



Şekil 4.12. Lanczos penceresi için spektral analiz örneği



Şekil 4.13. Welch penceresi için spektral analiz örneği

4.1.3 Önerilen Hibrit Pencerelelerin Spektral Analizi

Bu bölümde Cosh penceresi ile sabit pencerelerin birleştirilmesiyle oluşturulan 20 hibrit pencere için kıyaslamalı pencere spektral analiz sonuçları verilmektedir.

4.1.3.1 Tepecik Oranı Cinsinden Spektral Analiz

Çizelge 4.11’de 20 hibrit pencerenin $N = 51$ pencere uzunluğunda ve $\alpha = 3$ ve 6 değerlerindeki tepecik oranları sayısal değer olarak verilmiştir

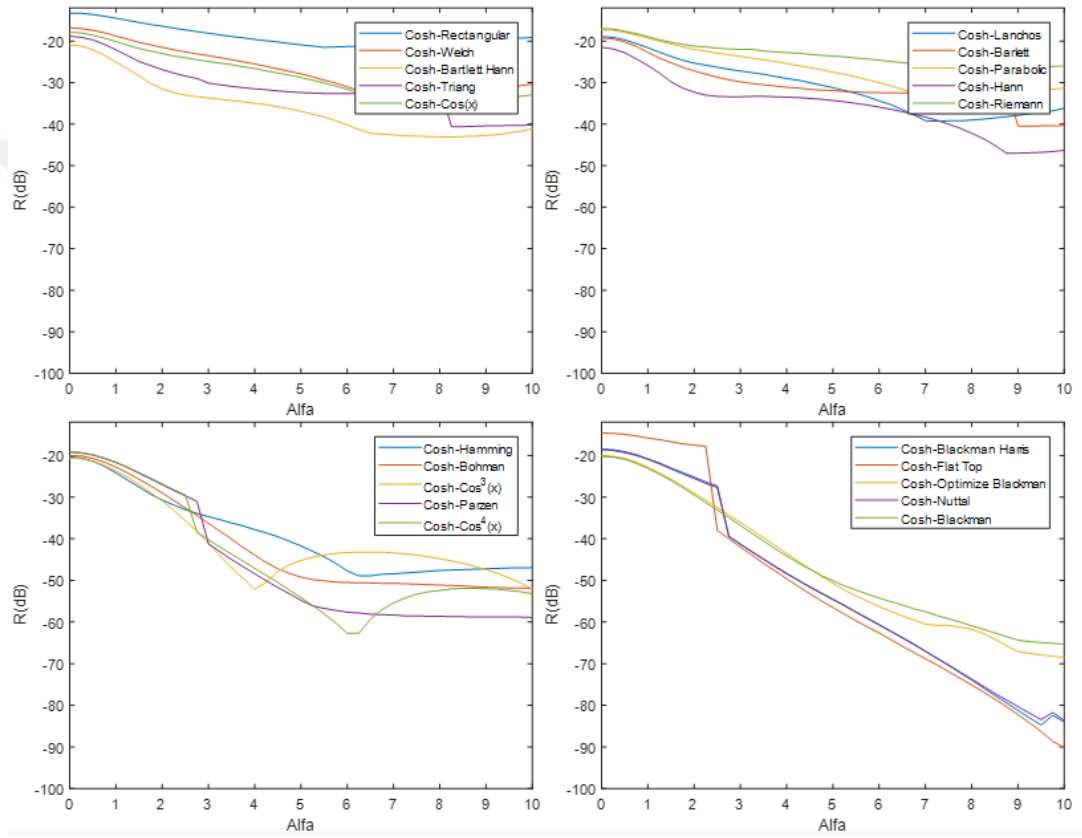
Çizelge 4.11. Hibrit pencerelerin tepecik oranı için $N = 51$, $\alpha = 3$ ve $\alpha = 6$ ’da değerleri

Pencere	α	R (dB)	α	R (dB)	Pencere	α	R (dB)	α	R (dB)
Cosh-Bartlett	3	-29,8	6	-32,4	Cosh-Lanczos	3	-27,2	6	-34,4
Cosh-Bartlett-Hann	3	-33,7	6	-40,2	Cosh-Nuttall	3	-41,3	6	-60,7
Cosh-Blackman	3	-36,8	6	-54,2	Cosh-Optimized Blackman	3	-36,00	6	-56,3
Cosh-Blackman Harris	3	-41,3	6	-60,6	Cosh-Parabolic	3	-23,7	6	-30
Cosh-Bohman	3	-36,3	6	-50,5	Cosh-Parzen	3	-41,2	6	-57,6
Cosh-Cos(x)	3	-24,9	6	-31,6	Cosh-Rectangular	3	-18,1	6	-21,3
Cosh-Cos ³ (x)	3	-41,00	6	-43,3	Cosh-Riemann	3	-22,00	6	-24,6
Cosh-Cos ⁴ (x)	3	-40,2	6	-62,7	Cosh-Triangular	3	-30,1	6	-32,6
Cosh-Flat-Top	3	-42	6	-62,6	Cosh-Von-Hann	3	-33,4	6	-35,9
Cosh-Hamming	3	-34,7	6	-47,7	Cosh-Welch	3	-23,5	6	-31,00

Hibrit pencereler tepecik oranı parametresi açısından karşılaştırıldıklarında $\alpha = 3$ için en iyi sonuçları sırasıyla Cosh-Flat-Top (-42), Cosh-Nuttall (-41,3) ve Cosh-Blackman Harris (-41,3) pencereleri verirken en kötü sonuçları sırasıyla Cosh-Rectangular (-18,1), Cosh-Riemann (-22) ve Cosh-Welch (-23,5) pencereleri

vermiştir. $\alpha = 6$ için en iyi sonuçları sırasıyla Cosh-Cos⁴(x) (-62,7), Cosh-Flat-Top (-62,6) ve Cosh-Nuttall (-60,7) pencereleri verirken en kötü sonuçları sırasıyla Cosh-Rectangular (-21,3), Cosh-Riemann (-24,6) ve Cosh-Parabolic (-30,00) pencereleri vermiştir.

20 hibrit pencerinin $N = 51$ ve $0 \leq \alpha \leq 10$ alfa aralığı için tepecik oranı kıyaslamaları Şekil 4.14’de verilmiştir. Bu şekilde görüldüğü üzere genel olarak α ’nın artmasıyla tepecik oranının azaldığı gözlemlenmektedir.



Şekil 4.14. $N = 51$ ve $0 \leq \alpha \leq 10$ aralığı için tepecik oranı kıyaslaması.

4.1.3.2 Analob Genişliği Cinsinden Spektral Analiz

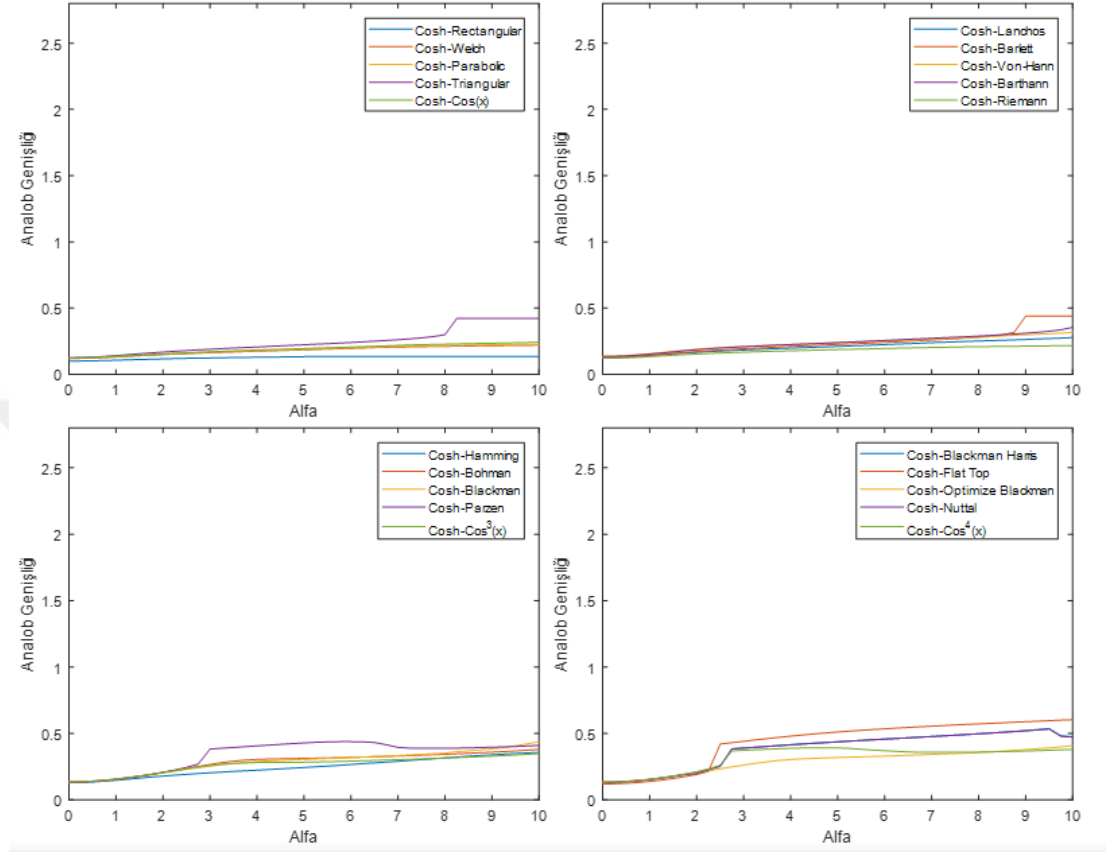
Çizelge 4.12’de 20 hibrit pencerenin $N = 51$ pencere uzunluğunda ve $\alpha = 3$ ve 6 değerlerindeki analob genişlikleri sayısal değer olarak verilmiştir.

Çizelge 4.12. Hibrit pencerelerin analob genişliği için $N = 51$, $\alpha = 3$ ve 6 ‘da değerleri

Pencere	α	ω_R (rad/s)	α	ω_R (rad/s)	Pencere	α	ω_R (rad/s)	α	ω_R (rad/s)
Cosh-Bartlett	3	0,0614	6	0,0768	Cosh-Lanczos	3	0,0585	6	0,0713
Cosh-Bartlett-Hann	3	0,0663	6	0,0814	Cosh-Nuttal	3	0,1241	6	0,1456
Cosh-Blackman	3	0,0812	6	0,1016	Cosh-Optimized Blackman	3	0,0835	6	0,105
Cosh-Blackman Harris	3	0,1244	6	0,1458	Cosh-Parabolic	3	0,0533	6	0,0636
Cosh-Bohman	3	0,085	6	0,1019	Cosh-Parzen	3	0,1219	6	0,1397
Cosh-Cos(x)	3	0,054	6	0,0654	Cosh-Rectangular	3	0,0393	6	0,0431
Cosh-Cos ³ (x)	3	0,0826	6	0,093	Cosh-Riemann	3	0,0532	6	0,062
Cosh-Cos ⁴ (x)	3	0,1189	6	0,118	Cosh-Triangular	3	0,06	6	0,0765
Cosh-Flat-Top	3	0,1405	6	0,1702	Cosh-Von-Hann	3	0,067	6	0,097
Cosh-Hamming	3	0,065	6	0,085	Cosh-Welch	3	0,0519	6	0,0624

Hibrit pencereler analob genişliği parametresi açısından karşılaştırıldıklarında $\alpha = 3$ için en iyi sonuçları sırasıyla Cosh-Rectangular (0,0393), Cosh-Welch (0,0519) ve Cosh-Riemann (0,0532) pencereleri verirken en kötü sonuçları sırasıyla Cosh-Flat Top (0,1405), Cosh-Blackman Harris (0,1244) ve Cosh-Nuttal (0,1241) pencereleri vermiştir. $\alpha = 6$ için ise en iyi sonuçları sırasıyla Cosh-Rectangular (0,0431), Cosh-Welch (0,0624) ve Cosh-Parabolic (0,0636) pencereleri verirken en kötü sonuçları sırasıyla Cosh-Flat Top (0,1702), Cosh-Blackman Harris (0,1458) ve Cosh-Nuttal (0,1456) pencereleri vermiştir.

20 hibrit pencerenin $N = 51$ ve $0 \leq \alpha \leq 10$ alfa aralığı için analob genişliği kıyaslamaları Şekil 4.15’de verilmiştir. Bu şekilde görüldüğü üzere genel olarak α ’nın artmasıyla analob genişliğinin de arttığı gözlemlenmektedir.



Şekil 4.15. $N = 51$ ve $0 \leq \alpha \leq 10$ aralığı için analob genişliği kıyaslaması.

4.1.3.3 3 dB Bant Genişliği Cinsinden Spektal Analiz

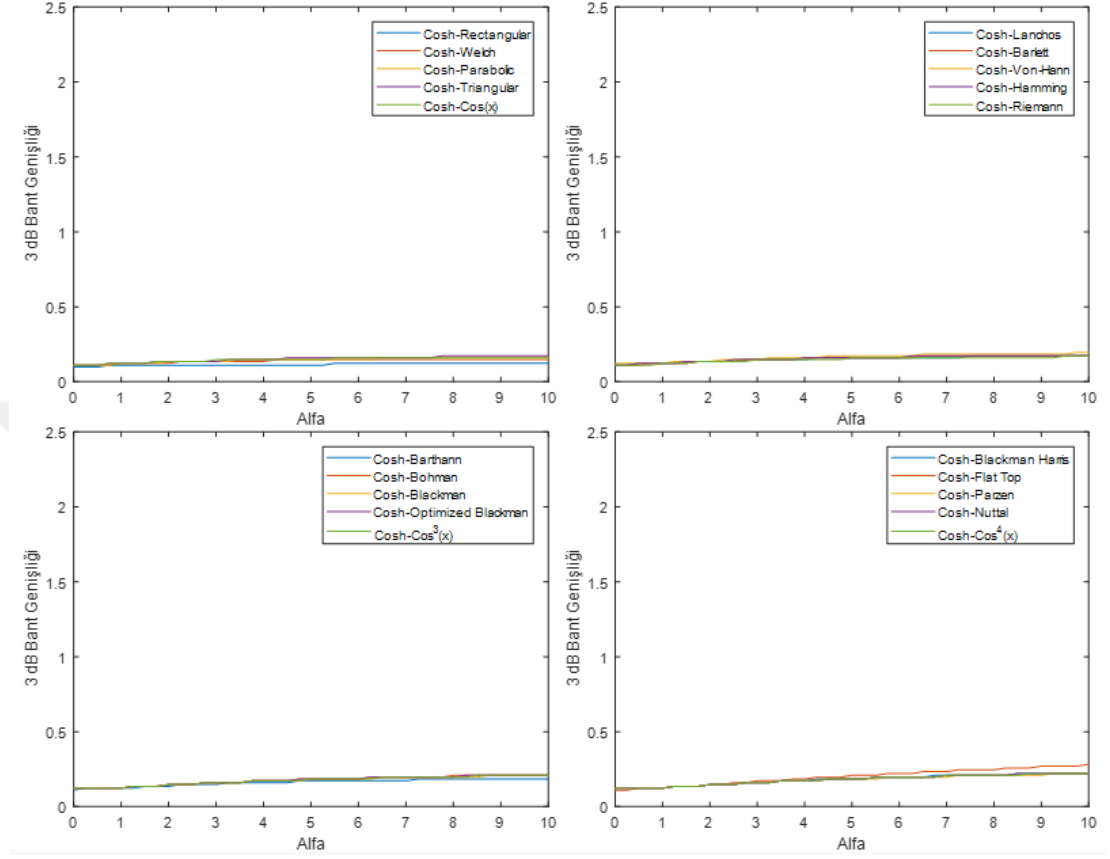
Çizelge 4.13’de 20 hibrit pencerenin $N = 51$ pencere uzunluğunda ve $\alpha = 3$ ve 6 değerlerindeki 3 dB bant genişlikleri sayısal değer olarak verilmiştir.

Çizelge 4.13. Hibrit pencerelerin 3 dB bant genişliği için $N = 51$, $\alpha = 3$ ve 6 ‘da değerleri

Pencere	α	ω_{3dB}	α	ω_{3dB}	Pencere	α	ω_{3dB}	α	ω_{3dB}
Cosh-Bartlett	3	0,046875	6	0,050781	Cosh-Lanczos	3	0,046875	6	0,050781
Cosh-Bartlett-Hann	3	0,046875	6	0,054688	Cosh-Nuttall	3	0,050781	6	0,0625
Cosh-Blackman	3	0,050781	6	0,058594	Cosh-Optimized Blackman	3	0,050781	6	0,058594
Cosh-Blackman Harris	3	0,050781	6	0,0625	Cosh-Parabolic	3	0,042969	6	0,046875
Cosh-Bohman	3	0,050781	6	0,058594	Cosh-Parzen	3	0,050781	6	0,0625
Cosh-Cos(x)	3	0,046875	6	0,050781	Cosh-Rectangular	3	0,035156	6	0,039063
Cosh-Cos ³ (x)	3	0,050781	6	0,058594	Cosh-Riemann	3	0,046875	6	0,050781
Cosh-Cos ⁴ (x)	3	0,050781	6	0,0625	Cosh-Triangular	3	0,042969	6	0,050781
Cosh-Flat-Top	3	0,054688	6	0,070313	Cosh-Von-Hann	3	0,046875	6	0,054688
Cosh-Hamming	3	0,046875	6	0,050781	Cosh-Welch	3	0,042969	6	0,046875

Hibrit pencereler 3 dB bant genişliği parametresi açısından karşılaştırıldıklarında $\alpha = 3$ için en iyi sonuçları sırasıyla Cosh-Rectangular (0,035156), Cosh-Parabolic (0,042969) ve Cosh-Welch (0,042969) pencereleri verirken en kötü sonuçları sırasıyla Cosh-Flat Top (0,054688), Cosh-Blackman Harris (0,050781) ve Cosh-Nuttall (0,050781) pencereleri vermiştir. $\alpha = 6$ için ise en iyi sonuçları sırasıyla Cosh-Rectangular (0,039063), Cosh-Parabolic (0,046875) ve Cosh-Welch (0,046875) pencereleri verirken en kötü sonuçları sırasıyla Cosh-Flat Top (0,070313), Cosh-Blackman Harris (0,0625) ve Cosh-Nuttall (0,0625) pencereleri vermiştir.

20 hibrit pencerenin $N = 51$ ve $0 \leq \alpha \leq 10$ alfa aralığı için 3 dB bant genişliği kıyaslamaları Şekil 4.16’de verilmiştir. Bu şekilde görüldüğü üzere genel olarak α ’nın artmasıyla 3 dB bant genişliğinin de arttığı gözlemlenmektedir.



Şekil 4.16. $N = 51$ ve $0 \leq \alpha \leq 10$ aralığı için 3 dB bant genişliği kıyaslaması.

4.1.3.4 6 dB Bant Genişliği Cinsinden Spektral Analiz

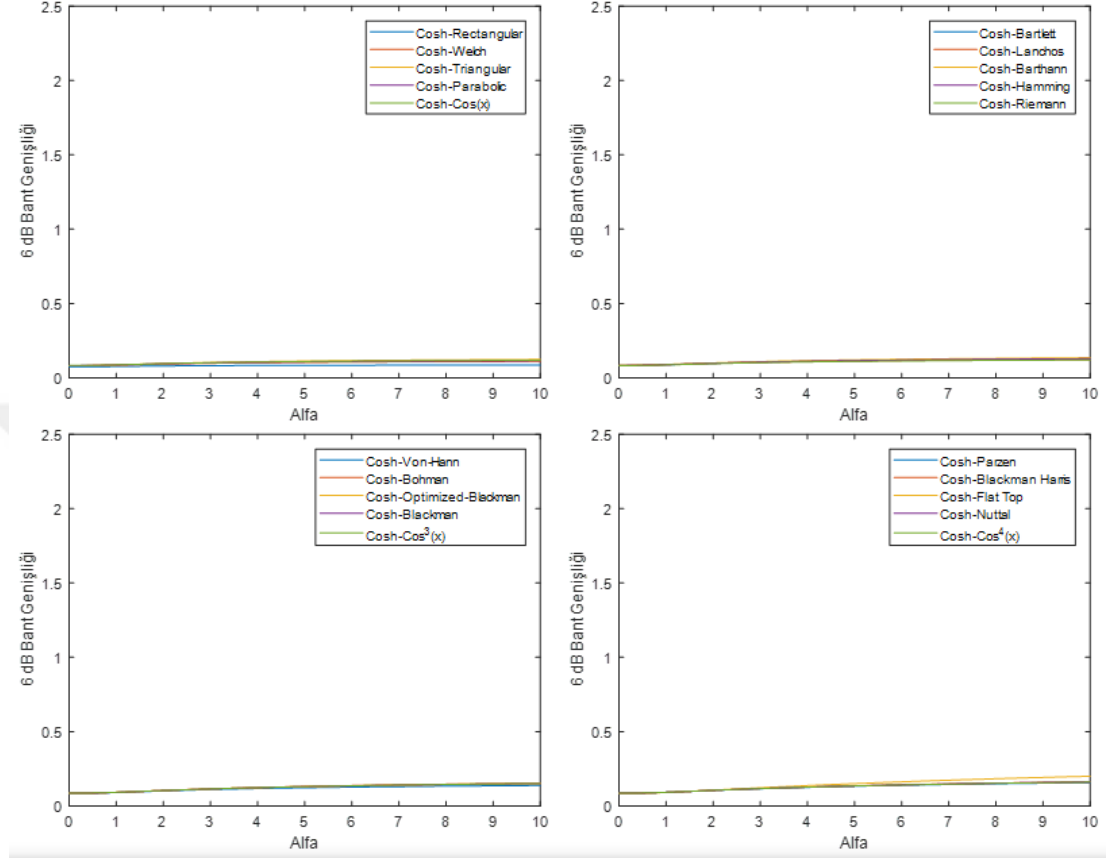
Çizelge 4.14’de 20 hibrit pencerenin $N = 51$ pencere uzunluğunda ve $\alpha = 3$ ve 6 değerlerindeki 6 dB bant genişlikleri sayısal değer olarak verilmiştir.

Çizelge 4.14. Hibrit pencerelerin 6 dB bant genişliği için $N = 51$, $\alpha = 3$ ve 6 ‘da değerleri

Pencere	α	Θ_{6dB}	α	Θ_{6dB}	Pencere	α	Θ_{6dB}	α	Θ_{6dB}
Cosh-Bartlett	3	0,0335	6	0,0378	Cosh-Lanczos	3	0,0333	6	0,0371
Cosh-Bartlett-Hann	3	0,0347	6	0,04	Cosh-Nuttal	3	0,0372	6	0,0451
Cosh-Blackman	3	0,0364	6	0,043	Cosh-Optimized Blackman	3	0,0365	6	0,0433
Cosh-Blackman Harris	3	0,0373	6	0,0453	Cosh-Parabolic	3	0,0319	6	0,0347
Cosh-Bohman	3	0,0366	6	0,0436	Cosh-Parzen	3	0,037	6	0,0444
Cosh-Cos(x)	3	0,0324	6	0,0359	Cosh-Rectangular	3	0,0261	6	0,0269
Cosh-Cos ³ (x)	3	0,0365	6	0,0436	Cosh-Riemann	3	0,0325	6	0,0363
Cosh-Cos ⁴ (x)	3	0,0372	6	0,0455	Cosh-Triangular	3	0,0328	6	0,037
Cosh-Flat-Top	3	0,039	6	0,0516	Cosh-Von-Hann	3	0,0345	6	0,0403
Cosh-Hamming	3	0,0337	6	0,0381	Cosh-Welch	3	0,0312	6	0,0338

Hibrit pencereler 6 dB bant genişliği parametresi açısından karşılaştırıldıklarında $\alpha = 3$ için en iyi sonuçları sırasıyla Cosh-Rectangular (0,0261), Cosh-Welch (0,0312) ve Cosh-Parabolic (0,0319) pencereleri verirken en kötü sonuçları sırasıyla Cosh-Flat Top (0,0,039), Cosh-Blackman Harris (0,0373), Cosh-Nuttal (0,0372) ve Cosh-Cos⁴(x) (0,0372) pencereleri vermiştir. $\alpha = 6$ için ise en iyi sonuçları sırasıyla Cosh-Rectangular (0,0269), Cosh-Welch (0,0338) ve Cosh-Parabolic (0,0347), pencereleri verirken en kötü sonuçları sırasıyla Cosh-Flat Top (0,0516), Cosh-Blackman Harris (0,0453) ve Cosh-Cos⁴(x) (0,0455) pencereleri vermiştir.

20 hibrit pencerenin $N = 51$ ve $0 \leq \alpha \leq 10$ alfa aralığı için 6 dB bant genişliği kıyaslamaları Şekil 4.17’de verilmiştir. Bu şekilde görüldüğü üzere genel olarak α ’nın artmasıyla 6 dB bant genişliğinin arttığı gözlemlenmektedir.



Şekil 4.17. $N = 51$ ve $0 \leq \alpha \leq 10$ aralığı için 6 dB bant genişliği kıyaslaması.

4.1.3.5 ENBW Cinsinden Spektral Analiz

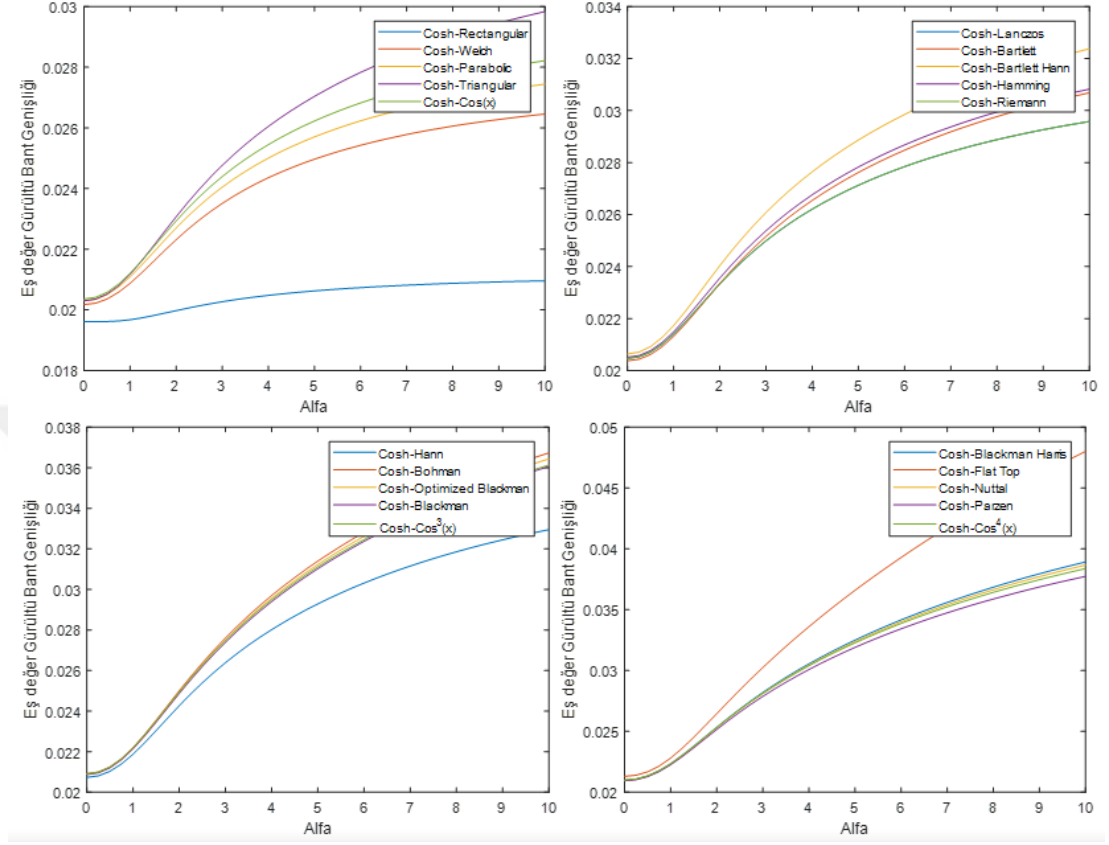
Çizelge 4.15’de 20 hibrit pencerenin $N = 51$ pencere uzunluğunda ve $\alpha = 3$ ve 6 değerlerindeki eşdeğer gürültü bant genişlikleri sayısal değer olarak verilmiştir.

Çizelge 4.15. Hibrit pencerelerin ENBW için $N = 51$, $\alpha = 3$ ve 6’da değerleri

Pencere	α	ENBW (dB)	α	ENBW (dB)	Pencere	α	ENBW (dB)	α	ENBW (dB)
Cosh-Bartlett	3	0,0252	6	0,0285	Cosh-Lanczos	3	0,025	6	0,0278
Cosh-Bartlett-Hann	3	0,0261	6	0,0299	Cosh-Nuttal	3	0,0281	6	0,034
Cosh-Blackman	3	0,0274	6	0,0324	Cosh-Optimized Blackman	3	0,0275	6	0,0326
Cosh-Blackman Harris	3	0,0282	6	0,0342	Cosh-Parabolic	3	0,024	6	0,0262
Cosh-Bohman	3	0,0276	6	0,0328	Cosh-Parzen	3	0,0279	6	0,0334
Cosh-Cos(x)	3	0,0244	6	0,0268	Cosh-Rectangular	3	0,0203	6	0,0207
Cosh-Cos ³ (x)	3	0,0275	6	0,0325	Cosh-Riemann	3	0,025	6	0,0278
Cosh-Cos ⁴ (x)	3	0,0281	6	0,0339	Cosh-Triangular	3	0,0248	6	0,0278
Cosh-Flat-Top	3	0,0303	6	0,0393	Cosh-Von-Hann	3	0,0264	6	0,0303
Cosh-Hamming	3	0,0254	6	0,0287	Cosh-Welch	3	0,0235	6	0,0254

Hibrit pencereler eşdeğer gürültü bant genişliği parametresi açısından karşılaştırıldıklarında $\alpha = 3$ için en iyi sonuçları sırasıyla Cosh-Rectangular (0,0203), Cosh-Welch (0,0235) ve Cosh-Parabolic (0,024) pencereleri verirken en kötü sonuçları sırasıyla Cosh-Flat Top (0,0303), Cosh-Blackman Harris (0,0282), Cosh-Nuttal (0,0281) ve Cosh-Cos⁴(x) (0,0281) pencereleri vermiştir. $\alpha = 6$ için ise en iyi sonuçları sırasıyla Cosh-Rectangular (0,0207), Cosh-Welch (0,0254) ve Cosh-Parabolic (0,0262) pencereleri verirken en kötü sonuçları sırasıyla Cosh-Flat Top (0,0393), Cosh-Blackman Harris (0,0342) ve Cosh-Nuttal (0,034) pencereleri vermiştir.

20 hibrit pencerenin $N = 51$ ve $0 \leq \alpha \leq 10$ alfa aralığı için eşdeğer gürültü bant genişliği kıyaslamaları Şekil 4.18’de verilmiştir. Bu şekilde görüldüğü üzere genel olarak α ’nın artmasıyla eşdeğer gürültü bant genişliğinin de arttığı gözlemlenmektedir.



Şekil 4.18. $N = 51$ ve $0 \leq \alpha \leq 10$ aralığı için ENBW kıyaslaması.

4.1.3.6 Varyans Düzeltme Faktörü Cinsinden Spektral Analiz

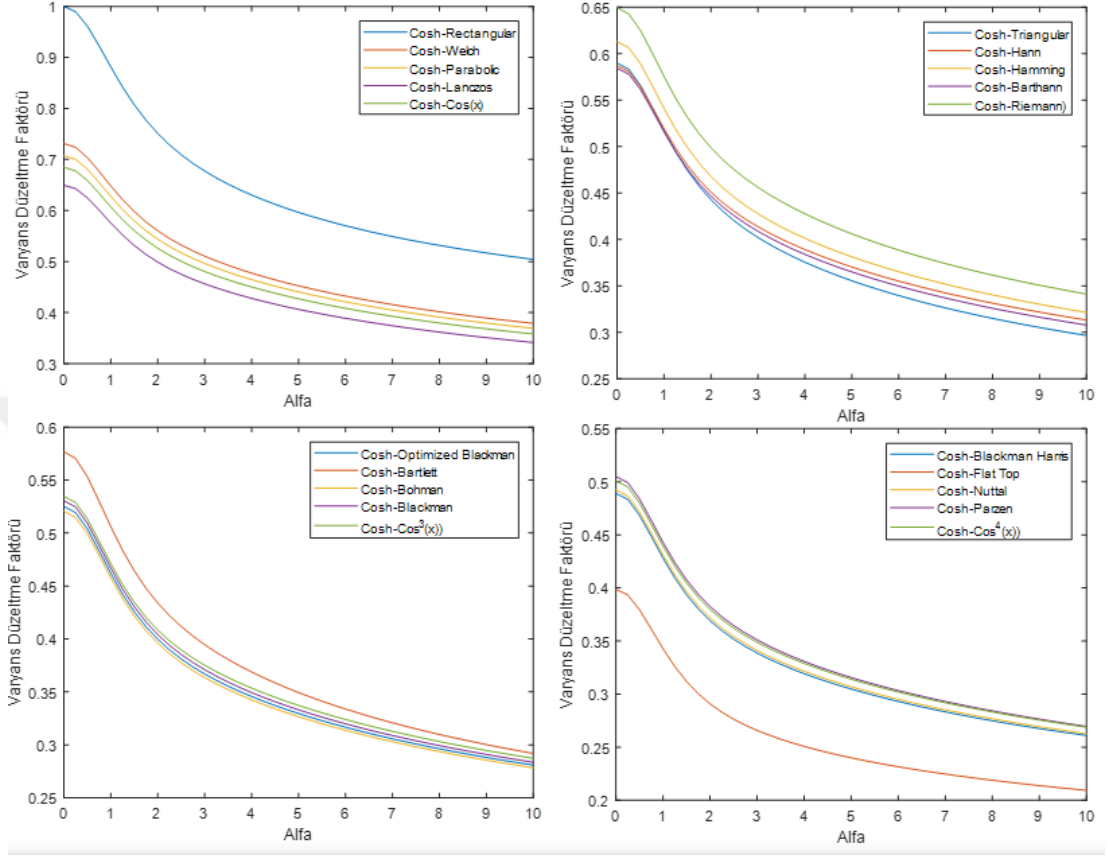
Çizelge 4.16’da 20 hibrit pencerenin $N = 51$ pencere uzunluğunda ve $\alpha = 3$ ve 6 değerlerindeki varyans düzeltme faktörleri sayısal değer olarak verilmiştir.

Çizelge 4.16. Hibrit pencerelerin Q faktörü için $N = 51$, $\alpha = 3$ ve 6’da değerleri

Pencere	α	Q	α	Q	Pencere	α	Q	α	Q
Cosh-Bartlett	3	0,3946	6	0,3337	Cosh-Lanczos	3	0,4562	6	0,3887
Cosh-Bartlett-Hann	3	0,4089	6	0,3498	Cosh-Nuttal	3	0,3411	6	0,2951
Cosh-Blackman	3	0,3709	6	0,3198	Cosh-Optimized Blackman	3	0,3669	6	0,3165
Cosh-Blackman Harris	3	0,3387	6	0,2931	Cosh-Parabolic	3	0,4962	6	0,4210
Cosh-Bohman	3	0,3635	6	0,3137	Cosh-Parzen	3	0,3511	6	0,3033
Cosh-Cos(x)	3	0,4804	6	0,4082	Cosh-Rectangular	3	0,6722	6	0,5701
Cosh-Cos ³ (x)	3	0,3752	6	0,3239	Cosh-Riemann	3	0,4562	6	0,3887
Cosh-Cos ⁴ (x)	3	0,3488	6	0,3020	Cosh-Triangular	3	0,4022	6	0,3396
Cosh-Flat-Top	3	0,2658	6	0,2316	Cosh-Von-Hann	3	0,4138	6	0,3552
Cosh-Hamming	3	0,4278	6	0,3653	Cosh-Welch	3	0,5104	6	0,4322

Hibrit pencereler varyans düzeltme faktörü parametresi açısından karşılaştırıldıklarında $\alpha = 3$ için en iyi sonuçları sırasıyla Cosh-Rectangular (0,6722), Cosh-Welch (0,5104) ve Cosh-Parabolic (0,4962) pencereleri verirken en kötü sonuçları sırasıyla Cosh-Flat Top (0,2658), Cosh-Blackman Harris (0,3387) ve Cosh-Nuttal (0,3411) pencereleri vermiştir. $\alpha = 6$ için ise en iyi sonuçları sırasıyla Cosh-Rectangular (0,5701), Cosh-Welch (0,4322) ve Cosh-Parabolic (0,4210) pencereleri verirken en kötü sonuçları sırasıyla Cosh-Flat Top (0,2316), Cosh-Blackman Harris (0,2931) ve Cosh-Nuttal (0,2951) pencereleri vermiştir.

20 hibrit pencerenin $N = 51$ ve $0 \leq \alpha \leq 10$ alfa aralığı için varyans düzeltme faktörü kıyaslamaları Şekil 4.19'da verilmiştir. Bu şekilde görüldüğü üzere genel olarak α 'nın artmasıyla varyans düzeltme faktörünün azaldığı gözlemlenmektedir.



Şekil 4.19. $N = 51$ ve $0 \leq \alpha \leq 10$ aralığı için Q faktörü kıyaslaması.

4.1.3.7 Tutarlı Kazanç Cinsinden Spektral Analiz

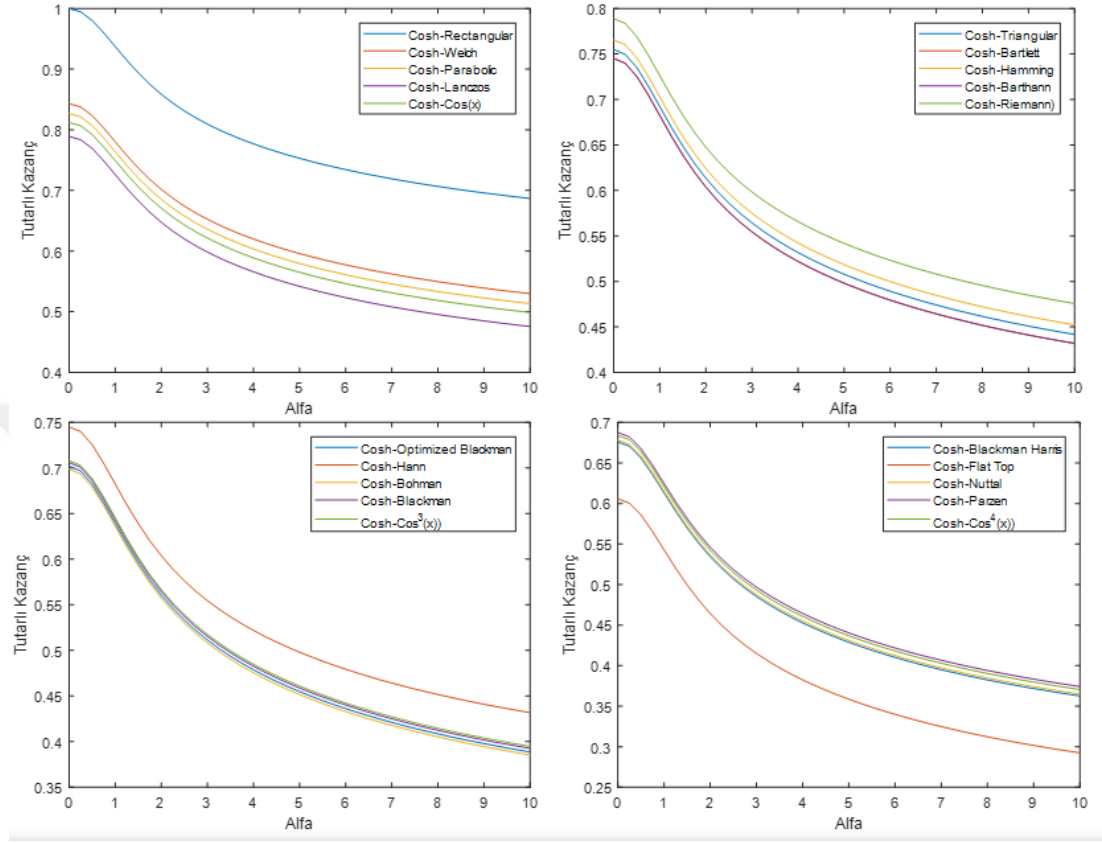
Çizelge 4.17’de 20 hibrit pencerenin $N = 51$ pencere uzunluğunda ve $\alpha = 3$ ve 6 değerlerindeki tutarlı kazançları sayısal değer olarak verilmiştir.

Çizelge 4.17. Hibrit pencerelerin tutarlı kazanç için $N = 51$, $\alpha = 3$ ve 6’da değerleri

Pencere	α	G	α	G	Pencere	α	G	α	G
Cosh-Bartlett	3	0,5545	6	0,4794	Cosh-Lanczos	3	0,5983	6	0,5232
Cosh-Bartlett-Hann	3	0,5545	6	0,4794	Cosh-Nuttal	3	0,4876	6	0,4125
Cosh-Blackman	3	0,5153	6	0,4402	Cosh-Optimized Blackman	3	0,5113	6	0,4362
Cosh-Blackman Harris	3	0,4852	6	0,4101	Cosh-Parabolic	3	0,6361	6	0,5609
Cosh-Bohman	3	0,5081	6	0,4329	Cosh-Parzen	3	0,4969	6	0,4218
Cosh-Cos(x)	3	0,6214	6	0,5462	Cosh-Rectangular	3	0,8094	6	0,7343
Cosh-Cos ³ (x)	3	0,5174	6	0,4423	Cosh-Riemann	3	0,5983	6	0,5232
Cosh-Cos ⁴ (x)	3	0,4932	6	0,4181	Cosh-Triangular	3	0,5643	6	0,4892
Cosh-Flat-Top	3	0,4151	6	0,3399	Cosh-Von-Hann	3	0,5545	6	0,4795
Cosh-Hamming	3	0,5749	6	0,4998	Cosh-Welch	3	0,6524	6	0,5773

Hibrit pencereler tutarlı kazanç parametresi açısından karşılaştırıldıklarında $\alpha = 3$ için en iyi sonuçları sırasıyla Cosh-Rectangular (0,8094), Cosh-Welch (0,6524) ve Cosh-Parabolic (0,6361) pencereleri verirken en kötü sonuçları sırasıyla Cosh-Flat Top (0,4151), Cosh-Nuttal (0,4876) ve Cosh-Blackman Harris (0,4852) pencereleri vermiştir. $\alpha = 6$ için ise en iyi sonuçları sırasıyla Cosh-Rectangular (0,7343), Cosh-Welch (0,5773) ve Cosh-Parabolic (0,5609) pencereleri verirken en kötü sonuçları sırasıyla Cosh-Flat Top (0,3399), Cosh-Nuttal (0,4125) ve Cosh-Blackman Harris (0,4101) pencereleri vermiştir.

20 hibrit pencerenin $N = 51$ ve $0 \leq \alpha \leq 10$ alfa aralığı için tutarlı kazanç kıyaslamaları Şekil 4.20’de verilmiştir. Bu şekilde görüldüğü üzere α ’nın artmasıyla tutarlı kazancın azaldığı gözlemlenmektedir.



Şekil 4.20. $N = 51$ ve $0 \leq \alpha \leq 10$ aralığı için tutarlı kazanç kıyaslaması.

4.1.3.8 Bozulma Kaybı Cinsinden Spektral Analiz

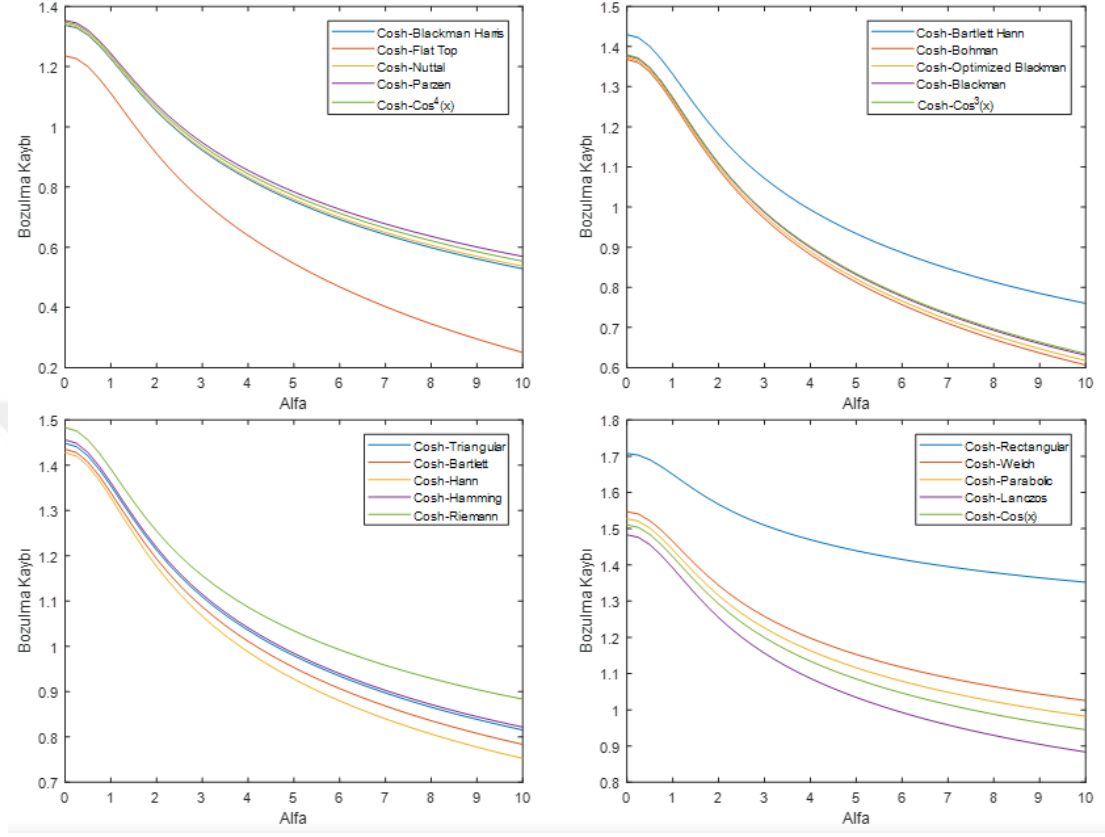
Çizelge 4.18’de 20 hibrit pencerenin $N = 51$ pencere uzunluğunda ve $\alpha = 3$ ve 6 değerlerindeki bozulma kayıpları sayısal değer olarak verilmiştir.

Çizelge 4.18. Hibrit pencerelerin bozulma kaybı için $N = 51$, $\alpha = 3$ ve 6’da değerleri

Pencere	α	L (dB)	α	L (dB)	Pencere	α	L (dB)	α	L (dB)
Cosh-Bartlett	3	1,0870	6	0,9068	Cosh-Lanczos	3	1,1561	6	0,9926
Cosh-Bartlett-Hann	3	1,0715	6	0,8864	Cosh-Nuttal	3	0,9269	6	0,6993
Cosh-Blackman	3	0,9865	6	0,7771	Cosh-Optimized Blackman	3	0,9779	6	0,7660
Cosh-Blackman Harris	3	0,9216	6	0,6923	Cosh-Parabolic	3	1,2259	6	1,079
Cosh-Bohman	3	0,9708	6	0,7568	Cosh-Parzen	3	0,9472	6	0,7260
Cosh-Cos(x)	3	1,1993	6	1,0462	Cosh-Rectangular	3	1,5095	6	1,4150
Cosh-Cos ³ (x)	3	0,9888	6	0,7801	Cosh-Riemann	3	1,1561	6	0,9926
Cosh-Cos ⁴ (x)	3	0,9371	6	0,7127	Cosh-Triangular	3	1,1091	6	0,9344
Cosh-Flat-Top	3	0,7554	6	0,4684	Cosh-Von-Hann	3	1,0663	6	0,8797
Cosh-Hamming	3	1,1147	6	0,94	Cosh-Welch	3	1,2577	6	1,1175

Hibrit pencereler bozulma kaybı parametresi açısından karşılaştırıldıklarında $\alpha = 3$ için en iyi sonuçları sırasıyla Cosh-Flat Top (0,7554), Cosh-Blackman Harris (0,9216) ve Cosh-Nuttal (0,9269) pencereleri verirken en kötü sonuçları sırasıyla Cosh-Rectangular (1,5095), Cosh-Welch (1,2577) ve Cosh-Parabolik (1,2259) pencereleri vermiştir. $\alpha = 6$ için ise en iyi sonuçları sırasıyla Cosh-Flat Top (0,4684), Cosh-Blackman Harris (0,6923) ve Cosh-Nuttal (0,6993) pencereleri verirken en kötü sonuçları sırasıyla Cosh-Rectangular (1,4150), Cosh-Welch (1,1175) ve Cosh-Parabolik (1,079) pencereleri vermiştir.

20 hibrit pencerenin $0 \leq \alpha \leq 10$ alfa aralığı için bozulma kaybı kıyaslamaları Şekil 4.21’de verilmiştir. Bu şekilde görüldüğü üzere genel olarak α ’nın artmasıyla bozulma kaybının azaldığı gözlemlenmektedir.



Şekil 4.21. $N = 51$ ve $0 \leq \alpha \leq 10$ aralığı için bozulma kaybı kıyaslaması.

4.1.3.9 Skala Kaybı Cinsinden Spektral Analiz

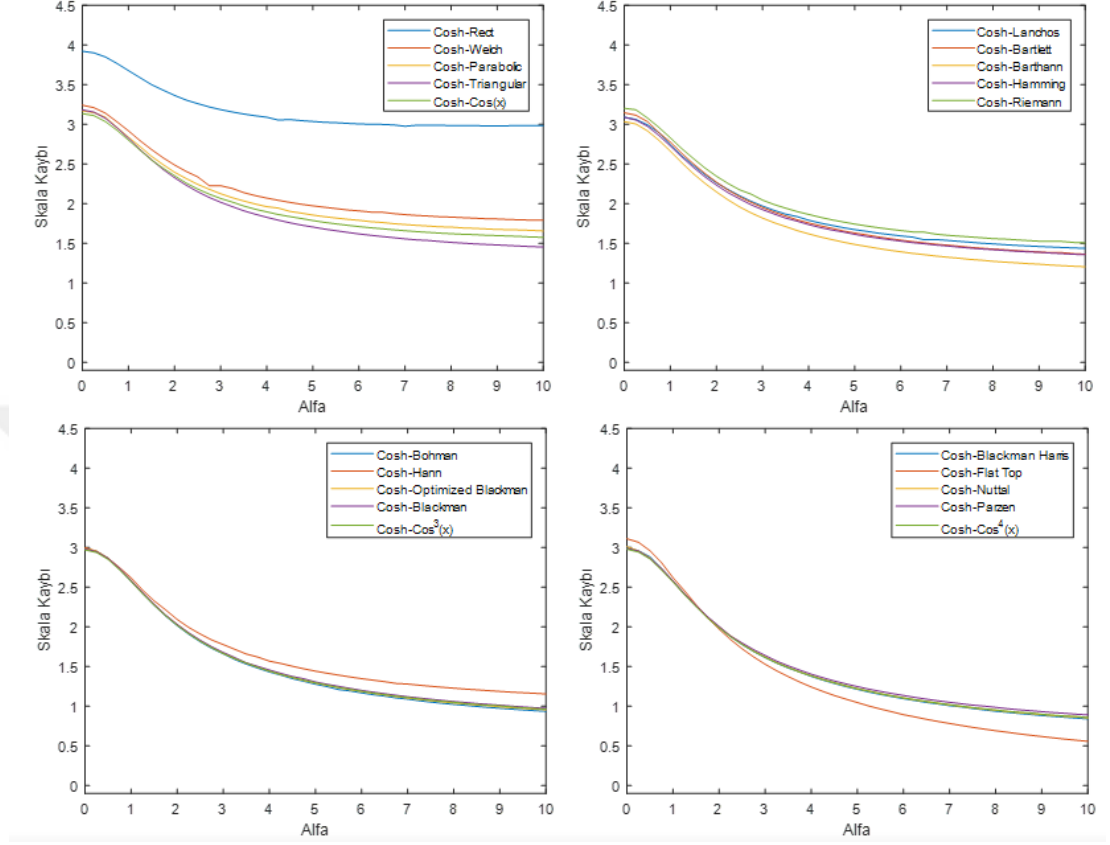
Çizelge 4.19’da 20 hibrit pencerenin $N = 51$ pencere uzunluğunda ve $\alpha = 3$ ve 6 değerlerindeki skala kayıpları sayısal değer olarak verilmiştir.

Çizelge 4.19. Hibrit pencerelerin SL kaybı için $N = 51$, $\alpha = 3$ ve 6’da değerleri

Pencere	α	SL	α	SL	Pencere	α	SL	α	SL
Cosh-Bartlett	3	1,9523	6	1,5415	Cosh-Lanczos	3	1,9708	6	1,6116
Cosh-Bartlett-Hann	3	1,7611	6	1,3947	Cosh-Nuttal	3	1,621	6	1,1048
Cosh-Blackman	3	1,6777	6	1,2246	Cosh-Optimized Blackman	3	1,666	6	1,2084
Cosh-Blackman Harris	3	1,6135	6	1,0958	Cosh-Parabolic	3	2,125	6	1,7911
Cosh-Bohman	3	1,5983	6	1,168	Cosh-Parzen	3	1,6388	6	1,1359
Cosh-Cos(x)	3	2,0658	6	1,7125	Cosh-Rectangular	3	3,1855	6	3,005
Cosh-Cos ³ (x)	3	1,6652	6	1,1891	Cosh-Riemann	3	2,0456	6	1,6455
Cosh-Cos ⁴ (x)	3	1,6923	6	1,1318	Cosh-Triangular	3	2,0187	6	1,619
Cosh-Flat-Top	3	1,5288	6	0,8934	Cosh-Von-Hann	3	1,7763	6	1,3699
Cosh-Hamming	3	1,9252	6	1,5475	Cosh-Welch	3	2,2267	6	1,9096

Hibrit pencereler skala kaybı parametresi açısından karşılaştırıldıklarında $\alpha = 3$ için en iyi sonuçları sırasıyla Cosh-Flat Top (1,5288), Cosh-Blackman Harris (1,6135) ve Cosh-Nuttal (1,621) pencereleri verirken en kötü sonuçları sırasıyla Cosh-Rectangular (3,1855), Cosh-Welch (2,2267) ve Cosh-Parabolic (2,125) pencereleri vermiştir. $\alpha = 6$ için ise en iyi sonuçları sırasıyla Cosh-Flat Top (0,8934), Cosh-Blackman Harris (1,0958) ve Cosh-Nuttal (1,1048) pencereleri verirken en kötü sonuçları sırasıyla Cosh-Rectangular (3,005), Cosh-Welch (1,9096) ve Cosh-Parabolic (1,7911) pencereleri vermiştir.

20 hibrit pencerenin $N = 51$ ve $0 \leq \alpha \leq 10$ alfa aralığı için skala kaybı kıyaslamaları Şekil 4.22’de verilmiştir. . Bu şekilde görüldüğü üzere genel olarak α ’nın artmasıyla skala kaybının azaldığı gözlemlenmektedir.



Şekil 4.22. $N = 51$ ve $0 \leq \alpha \leq 10$ aralığı için skala kaybı kıyaslaması.

4.1.3.10 WCPL Cinsinden Spektral Analiz

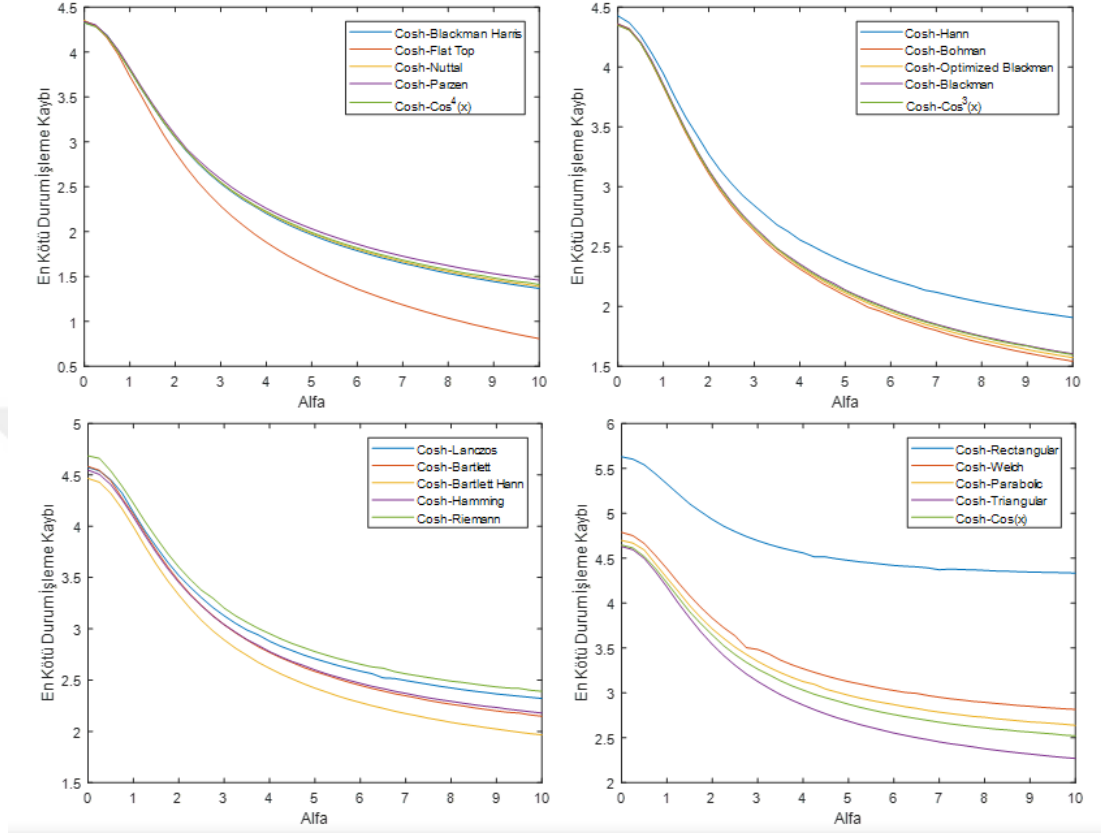
Çizelge 4.20’de 20 hibrit pencerenin $N = 51$ pencere uzunluğunda ve $\alpha = 3$ ve 6 değerlerindeki en kötü durum işleme kayıpları sayısal değer olarak verilmiştir.

Çizelge 4.20. Hibrit pencerelerin WCPL için $N = 51$, $\alpha = 3$ ve 6’da değerleri

Pencere	α	WCPL	α	WCPL	Pencere	α	WCPL	α	WCPL
Cosh-Bartlett	3	3,0393	6	2,4483	Cosh-Lanczos	3	3,1269	6	2,5868
Cosh-Bartlett-Hann	3	2,8912	6	2,2811	Cosh-Nuttal	3	2,5479	6	1,8041
Cosh-Blackman	3	2,6642	6	1,9766	Cosh-Optimized Blackman	3	2,6439	6	1,9519
Cosh-Blackman Harris	3	2,5351	6	1,7881	Cosh-Parabolic	3	3,3509	6	2,8701
Cosh-Bohman	3	2,6313	6	1,9248	Cosh-Parzen	3	2,568	6	1,8619
Cosh-Cos(x)	3	3,2651	6	2,7587	Cosh-Rectangular	3	4,6950	6	4,42
Cosh-Cos ³ (x)	3	2,654	6	1,9692	Cosh-Riemann	3	3,2017	6	2,6545
Cosh-Cos ⁴ (x)	3	2,5513	6	1,8190	Cosh-Triangular	3	3,1278	6	2,5534
Cosh-Flat-Top	3	2,2842	6	1,3618	Cosh-Von-Hann	3	2,8426	6	2,2276
Cosh-Hamming	3	3,0399	6	2,4684	Cosh-Welch	3	3,4844	6	3,0271

Hibrit pencereler en kötü durum işleme kaybı parametresi açısından karşılaştırıldıklarında $\alpha = 3$ için en iyi sonuçları sırasıyla Cosh-Flat Top (2,2842), Cosh-Blackman Harris (2,5351) ve Cosh-Nuttal (2,5479) pencereleri verirken en kötü sonuçları sırasıyla Cosh-Rectangular (4,695), Cosh-Welch (3,4844) ve Cosh-Parabolic (3,3509) pencereleri vermiştir. $\alpha = 6$ için ise en iyi sonuçları sırasıyla Cosh-Flat Top (1,3618), Cosh-Blackman Harris (1,7881) ve Cosh-Nuttal (1,8041) pencereleri verirken en kötü sonuçları sırasıyla Cosh-Rectangular (4,42), Cosh-Welch (3,02) ve Cosh-Parabolic (2,8701) pencereleri vermiştir.

20 hibrit pencerenin $N = 51$ ve $0 \leq \alpha \leq 10$ alfa aralığı için en kötü durum işleme kaybı kıyaslamaları Şekil 4.23’de verilmiştir. Bu şekilde görüldüğü üzere genel olarak α ’nın artmasıyla en kötü durum işleme kaybının azaldığı gözlemlenmektedir.



Şekil 4.23. $N = 51$ ve $0 \leq \alpha \leq 10$ aralığı için WCPL kıyaslaması.

Hibrit pencerelerin pencere spektral analizi ile ilgili olarak şu genel sonuçlar gözlemlenmiştir:

- Sabit bir N değerine alfa değerine göre tepelik oranlarını karşılaştırdığımızda en iyi sonucu Cosh-Flat Top penceresi verirken en kötü sonucu Cosh-Rectangular penceresi vermiştir.
- Sabit bir N değerinde alfa değerine göre bozulma kaybı, skala kaybı ve en kötü durum işleme kaybını karşılaştırdığımızda en iyi sonucu Cosh-Flat Top penceresi verirken en kötü sonucu Cosh-Rectangular penceresi vermiştir.

- Sabit bir N değerinde alfa değerine göre diğer parametreleri karşılaştırdığımızda en iyi sonucu Cosh-Rectangular penceresi verirken en kötü sonucu Cosh-Flat Top penceresi vermiştir.

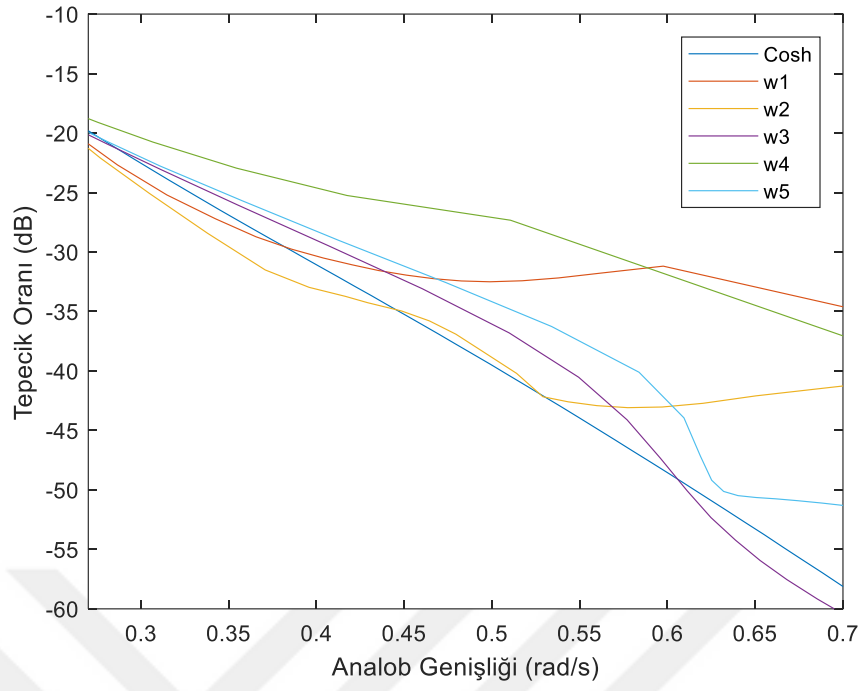
4.1.3.11 Tepecik Oranı ve Analob Genişliği Cinsinden Kıyaslamalı Spektral Analiz

Çizelge 4.21’te, 20 adet Cosh tabanlı hibrit pencere literatürdeki Kaiser ve Cosh pencereler ile $N = 51$ pencere uzunluğu ve $2w_r = 0.35$ rad/s analob genişliği için tepecik oranları (R) cinsinden kıyaslanmıştır. Bu örnek için tabloda koyu olarak işaretlenmiş Barlett, Barlett-Hann, Hamming, Triangular ve Von Hann sabit pencereleriyle oluşturulan hibrit pencerelerin Kaiser ve Cosh pencerelerine göre daha iyi tepecik oranı sunduğu; en iyi sonucun Von-Hann tabanlı, en kötü sonucun ise Flat-Top tabanlı hibrit pencere tarafından elde edildiği görülmüştür (Avcı ve Coşkun, 2018).

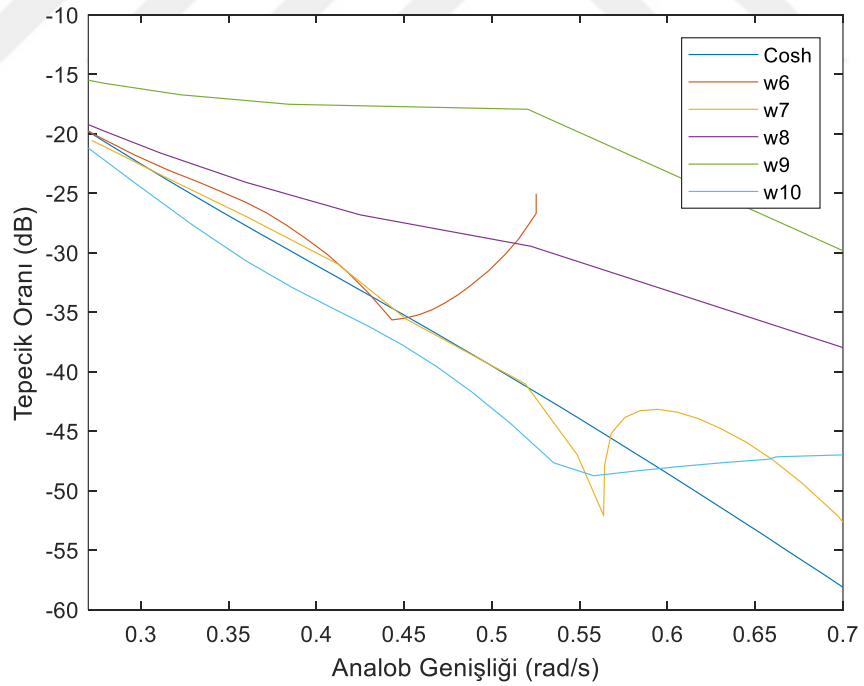
Çizelge 4.21. $N = 51$ uzunluğu için 20 hibrit pencerenin Kaiser ve Cosh pencereleri ile R ve w_R parametreleri cinsinden kıyaslanması

Pencere	$2w_R$	R (dB)	Pencere	$2w_R$	R (dB)
Kaiser	0,35	-27,7	w10	0,35	-29,7
Cosh	0,35	-26,8	w11	0,35	-26,2
w1	0,35	-27,7	w12	0,35	-23,0
w2	0,35	-29,5	w13	0,35	-25,3
w3	0,35	-25,7	w14	0,35	-24,8
w4	0,35	-22,8	w15	0,35	-23,9
w5	0,35	-25,2	w16	0,35	-22,0
w6	0,35	-25,0	w17	0,35	-22,6
w7	0,35	-26,1	w18	0,35	-27,8
w8	0,35	-23,5	w19	0,35	-30,0
w9	0,35	-17,0	w20	0,35	-25,6

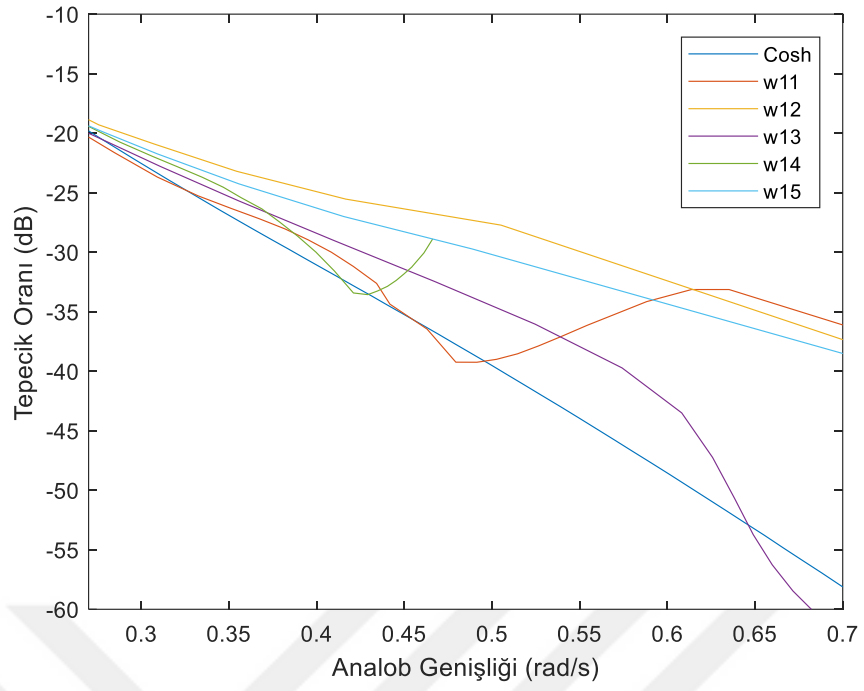
Şekil 4.24, 4.25, 4.26 ve 4.27’de $N = 51$ pencere uzunluğu için hibrit pencerelerin tepecik oranı-analob genişliği karakteristikleri Cosh penceresiyle birlikte kıyaslamalı olarak verilmiştir. Adil bir spektral performans kıyaslaması için tüm pencerelerin analob genişlikleri eşitlenip tepecik oranları kıyaslanmaktadır.



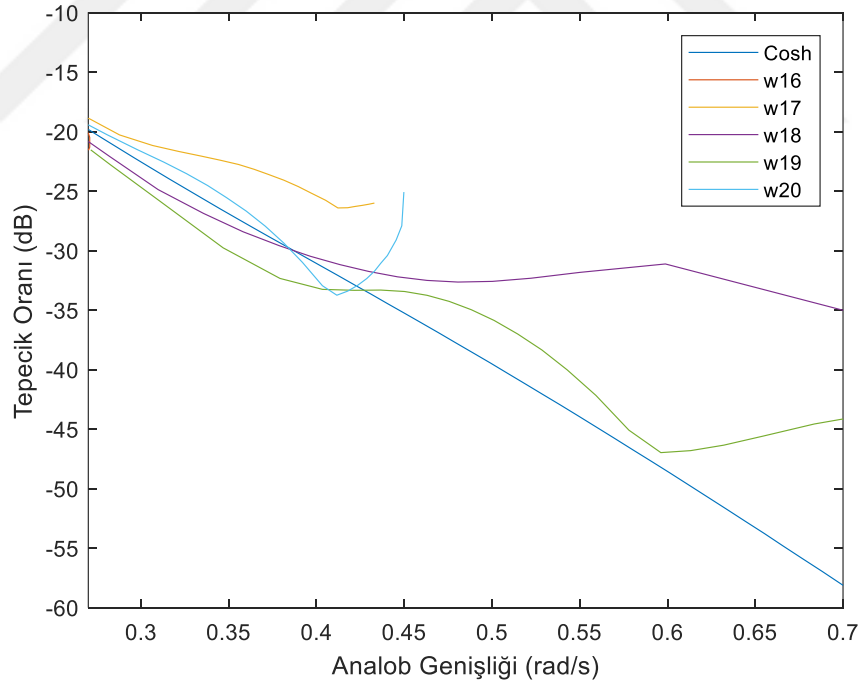
Şekil 4.24. $N = 51$ pencere uzunluğu için 5 hibrit pencerenin (w1-w5) Cosh penceresi ile birlikte tepecik oranı-analob genişliği karakteristikleri.



Şekil 4.25. $N = 51$ pencere uzunluğu için 5 hibrit pencerenin (w6-w10) Cosh penceresi ile birlikte tepecik oranı-analob genişliği karakteristikleri.



Şekil 4.26. $N = 51$ pencere uzunluğu için 5 hibrit pencerenin (w11-w15) Cosh penceresi ile birlikte tepecik oranı-analob genişliği karakteristikleri.



Şekil 4.27. $N = 51$ pencere uzunluğu için 5 hibrit pencerenin (w16-w20) Cosh penceresi ile birlikte tepecik oranı-analob genişliği karakteristikleri.

Hibrit pencerelemede temel amaç hibrit pencereyi oluşturan pencere bileşenlerinden daha iyi bir karakteristik elde etmektir. Bu anlamda Şekil 4.24’de Barlett ve Barlett-Hann pencerelerinin, Şekil 4.25’de Hamming, Şekil 4.26’da Lanczos, Şekil 4.27’de ise Triangular ve Von Hann pencereleri tabanlı hibrit pencerelerin düşük analob genişliğinde Cosh penceresine göre daha iyi tepecik oranı sunabildikleri gözlemlenmiştir.

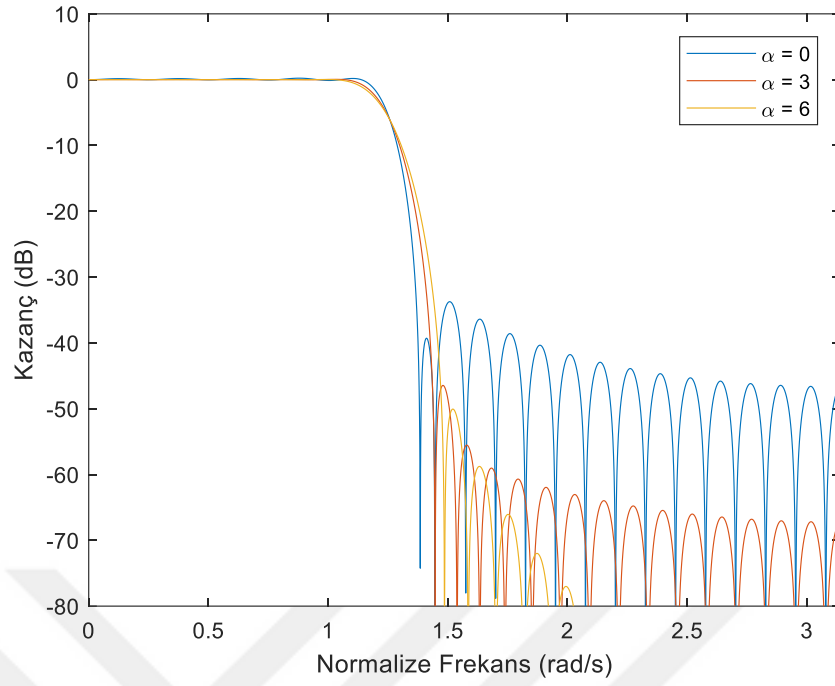
4.2 Önerilen Hibrit Pencereler Kullanarak Tasarlanan Süzgeçlerin Spektral Analizi

Bu bölümde Cosh penceresi tabanlı 20 hibrit pencerenin süzgeç spektral analizi yapılmaktadır. Öncelikle pencere parametreleri olan α ve N ’nin süzgeç karakteristiği üzerindeki etkisi hibrit pencerelerden olan Cosh-Von Hann penceresi üzerinden gözlemlenecektir. Daha sonra 20 hibrit pencerenin minimum durdurma bandı zayıflatması ve geçiş genişliği karakteristikleri elde edilerek bu pencerelerin süzgeç performansları gözlemlenecektir.

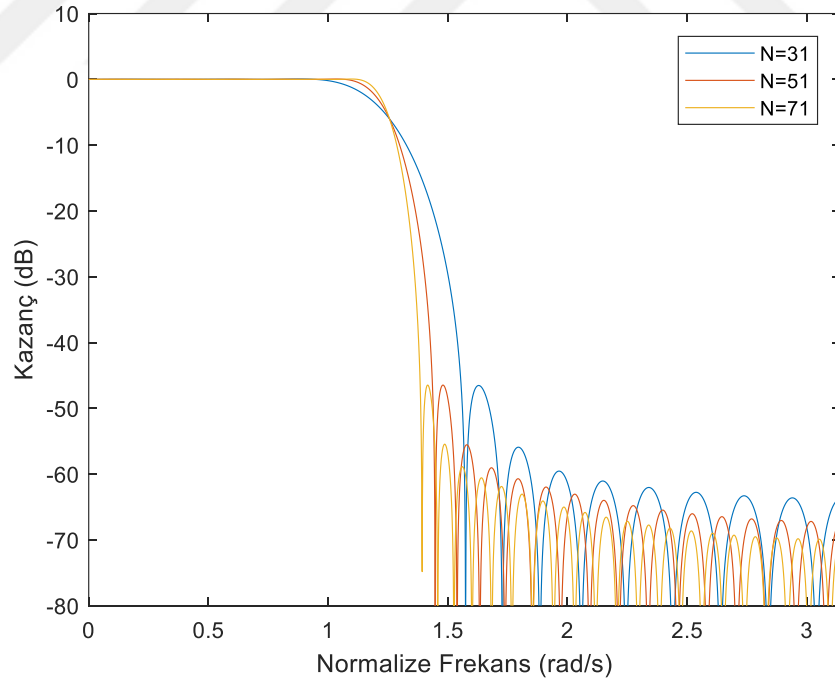
4.2.1 Pencere Parametrelerinin Süzgeç Karakteristiği Üzerinde Etkisi

Bu kısımda, Cosh penceresiyle Von-Hann penceresinin hibritleşmesiyle elde edilen yeni hibrit pencere için eşit uzunluk, farklı alfa değerlerinde ve eşit alfa değeri, farklı uzunluklarda tasarlanmış süzgeçlerin minimum durdurma bandı zayıflatması ve geçiş genişliği parametreleri cinsinden performans analizleri verilmiştir.

Şekil 4.28’de sabit bir süzgeç uzunluğunda α ’nın süzgeç karakteristiği üzerindeki etkisi görülmektedir. α değeri arttığında $\Delta\omega$ ’nin arttığı (daha kötüye gittiği) ve A_s ’nin arttığı (daha iyiye gittiği) gözlemlenmektedir. Şekil 4.29’da ise sabit bir α değerinde süzgeç uzunluğunun süzgeç karakteristiği üzerindeki etkisi görülmektedir. N değeri arttığında $\Delta\omega$ ’nin azaldığı (daha iyiye gittiği) ve A_s ’nin ise hemen hemen aynı kaldığı görülmektedir (Avcı ve Coşkun, 2017).



Şekil 4.28. Sabit bir süzgeç uzunluğunda ($N = 51$) farklı α değerlerinde Cosh-Von Hann hibrit penceresi ile tasarlanmış süzgeçlerin genlik spektrumları.



Şekil 4.29. Sabit bir α değerinde ($\alpha = 3$) farklı süzgeç uzunluklarında Cosh-Von Hann hibrit penceresi ile tasarlanmış süzgeçlerin genlik spektrumları.

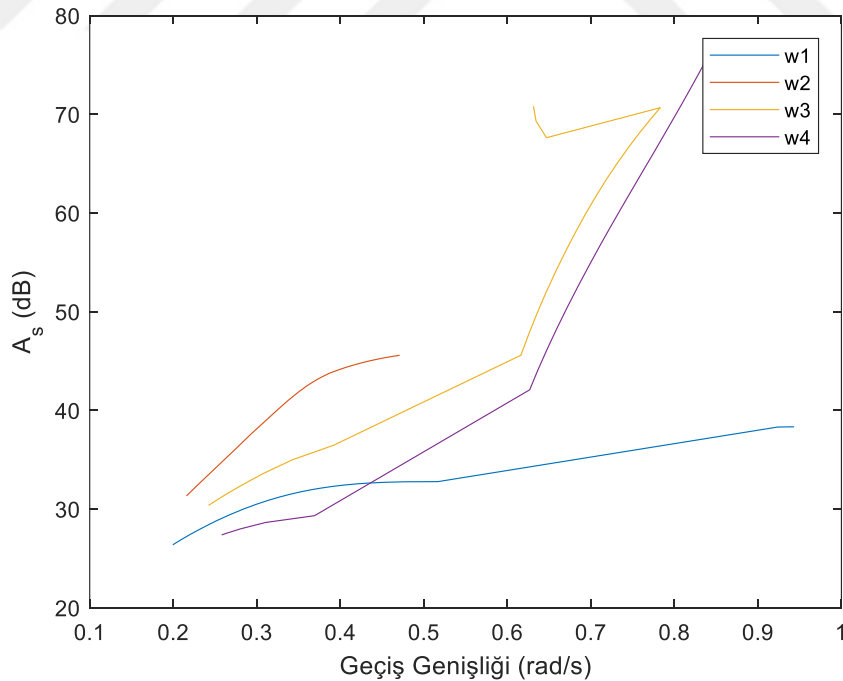
Ayrıca Çizelge 4.22’de farklı uzunluk ve α değerlerinde Cosh-Von Hann penceresi ile tasarlanmış süzgeçlerin geçiş genişlikleri ve minimum durdurma bandı zayıflatma miktarları sayısal veri olarak verilmiştir.

Çizelge 4.22. Farklı uzunluk ve α değerlerinde Cosh-Von Hann hibrit penceresi ile tasarlanmış süzgeç için minimum durdurma bandı zayıflatması ve geçiş genişliği sonuçları

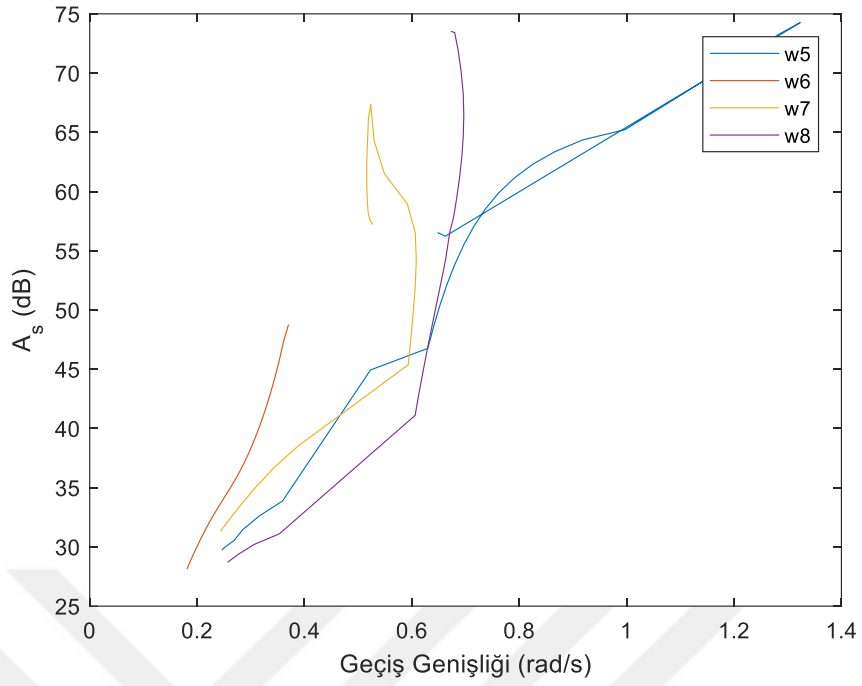
α	N = 31		N = 51		N = 71	
	$\Delta\omega$ (rad/s)	A_s (dB)	$\Delta\omega$ (rad/s)	A_s (dB)	$\Delta\omega$ (rad/s)	A_s (dB)
0	0,37	33,77	0,22	33,74	0,16	33,70
3	0,61	46,52	0,37	46,22	0,26	46,46
6	0,74	50,06	0,44	50,06	0,32	50,06

4.2.2 Tasarlanan Süzgeçlerin Performans Analizi

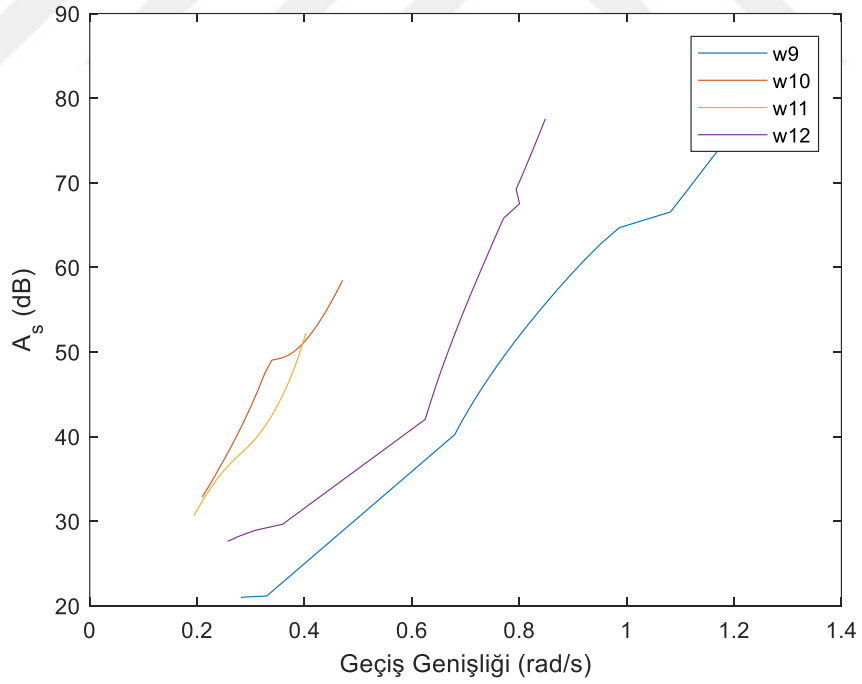
Bu kısımda, Cosh penceresiyle sabit pencerelerin hibritleşmesiyle elde edilen 20 hibrit pencere için tasarlanmış süzgeçlerin minimum durdurma bandı zayıflatma-geçiş genişliği karakteristikleri verilmiştir.



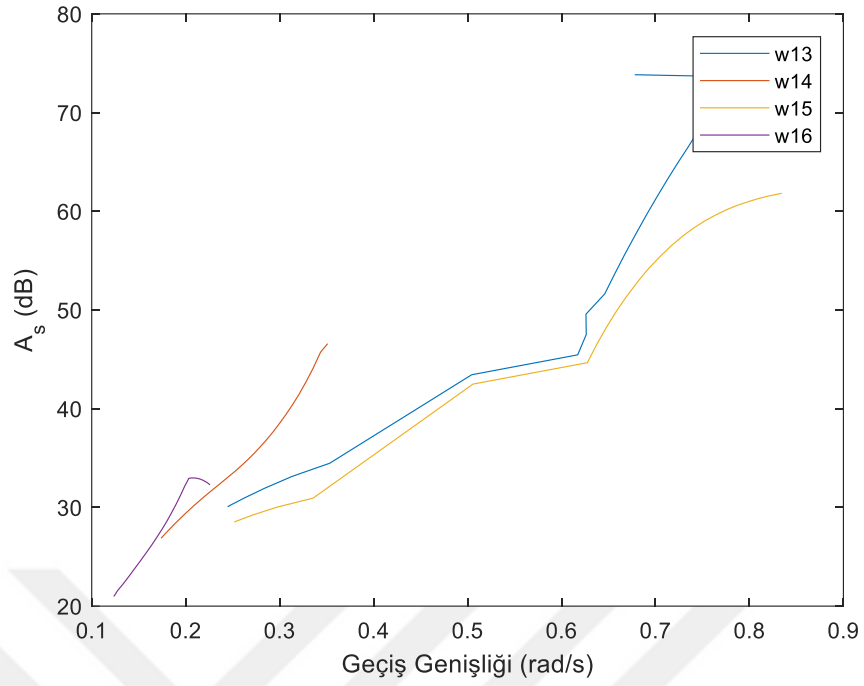
Şekil 4.30. N = 51 süzgeç uzunluğu için 4 hibrit pencerenin (w1-w4) durdurma bandı zayıflatması-geçiş genişliği karakteristikleri.



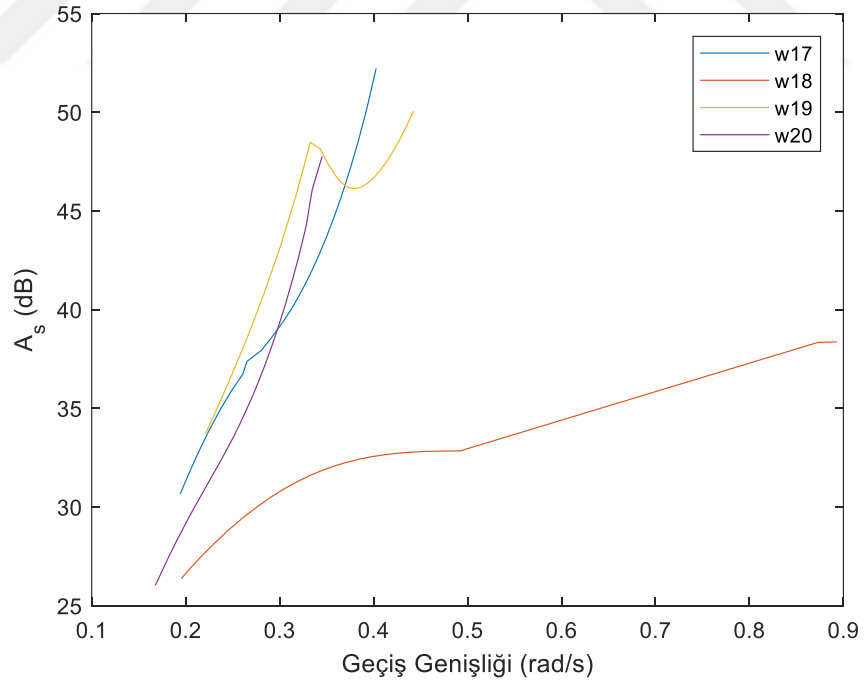
Şekil 4.31. $N = 51$ süzgeç uzunluğu için 4 hibrit pencerenin (w5-w8) minimum durdurma bandı zayıflatması-geçiş genişliği karakteristikleri.



Şekil 4.32. $N = 51$ süzgeç uzunluğu için 4 hibrit pencerenin (w9-w12) minimum durdurma bandı zayıflatması-geçiş genişliği karakteristikleri.



Şekil 4.33. $N = 51$ süzgeç uzunluğu için 4 hibrit pencerenin (w13-w16) minimum durdurma bandı zayıflatması-geçiş genişliği karakteristikleri.



Şekil 4.34. $N = 51$ süzgeç uzunluğu için 4 hibrit pencerenin (w17-w20) minimum durdurma bandı zayıflatması-geçiş genişliği karakteristikleri.

4.3 Önerilen Hibrit Pencerelele Tasarlanmış Süzgeçlerin Literatürde Bulunan Pencerelele Tasarlanmış Süzgeçlerle Kıyaslanması

4.3.1 Cosh Penceresiyle Tasarlanan Süzgeçlerle Kıyaslama

Bu kısımda, Cosh penceresiyle sabit pencerelerin hibritleşmesiyle elde edilen 20 hibrit pencere için tasarlanmış süzgeçlerin Cosh penceresiyle tasarlanmış süzgeçlerle $N = 51$ süzgeç uzunluğunda minimum durdurma bandı zayıflatma ve geçiş genişliği parametreleri cinsinden kıyaslamaları verilmiştir.

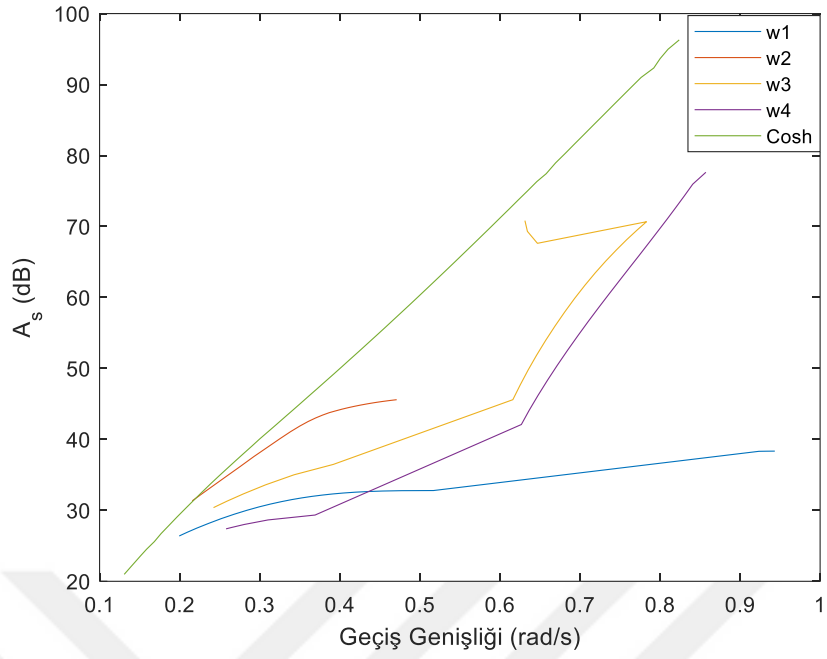
Şekil 4.35'te görüldüğü üzere Cosh tabanlı hibrit pencerelerle tasarlanan süzgeçlerin hiçbirisi Cosh tabanlı süzgeçlerden daha iyi süzgeç spektral karakteristiği sergileyememiştir.

Şekil 4.36'da ise w_6 ve w_7 tabanlı hibrit pencerelerle tasarlanan süzgeçlerin belirli aralıklarda Cosh tabanlı süzgeçlerden daha iyi süzgeç spektral karakteristiği sergileyebileceği görülmüştür.

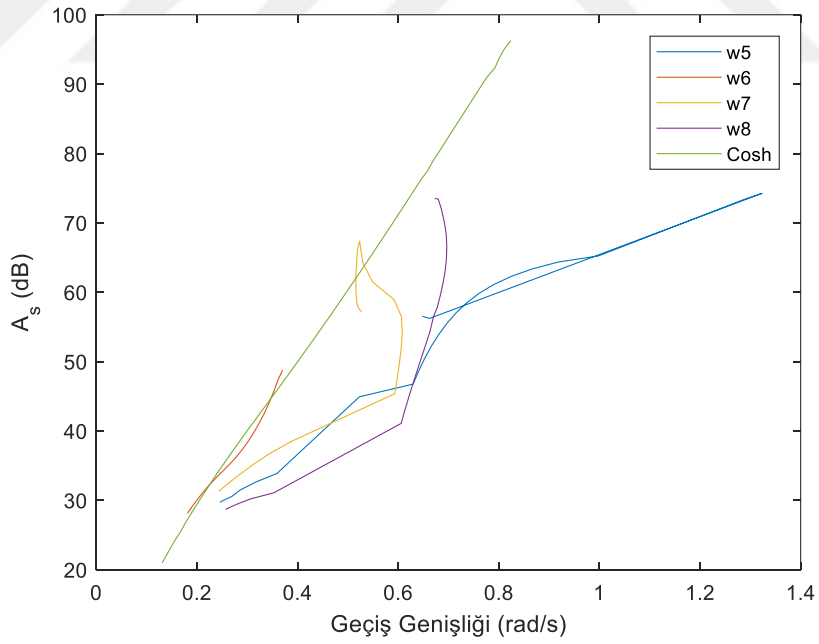
Şekil 4.37'de ise w_{10} ve w_{11} tabanlı hibrit pencerelerle tasarlanan süzgeçlerin belirli aralıklarda Cosh tabanlı süzgeçlerden daha iyi süzgeç spektral karakteristiği sergileyebileceği görülmüştür.

Şekil 4.38'de ise w_{14} ve w_{16} tabanlı hibrit pencerelerle tasarlanan süzgeçlerin belirli aralıklarda Cosh tabanlı süzgeçlerden daha iyi süzgeç spektral karakteristiği sergileyebileceği görülmüştür.

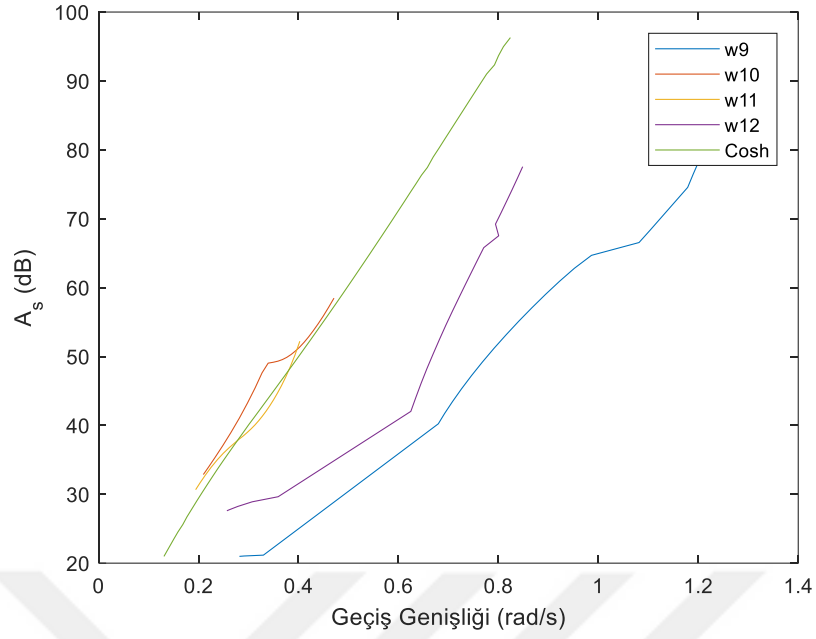
Şekil 4.39'da ise w_{17} , w_{19} ve w_{20} tabanlı hibrit pencerelerle tasarlanan süzgeçlerin belirli aralıklarda Cosh tabanlı süzgeçlerden daha iyi süzgeç spektral karakteristiği sergileyebileceği görülmüştür.



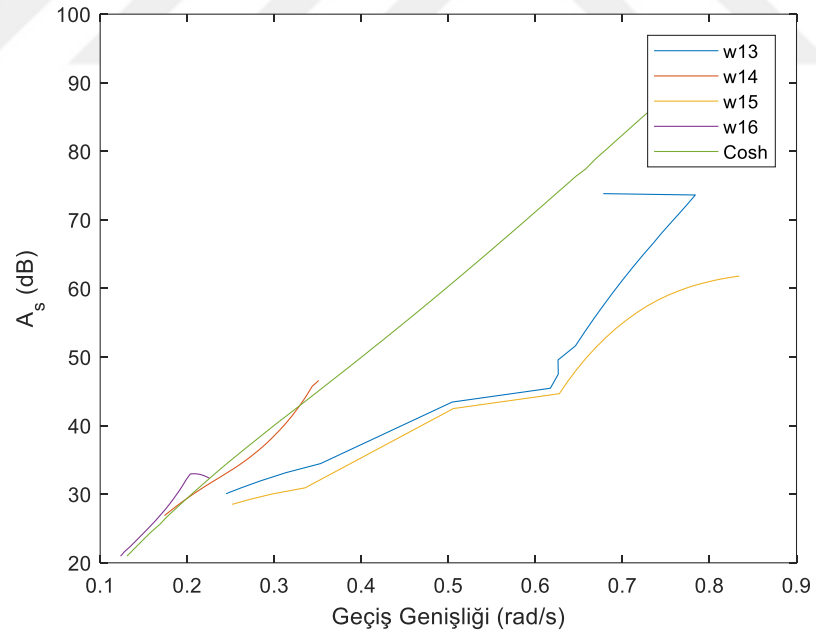
Şekil 4.35. $N = 51$ süzgeç uzunluğu 4 hibrit pencerenin (w1-w4) Cosh penceresi ile birlikte minimum durdurma bandı zayıflatması-geçiş genişliği karakteristikleri.



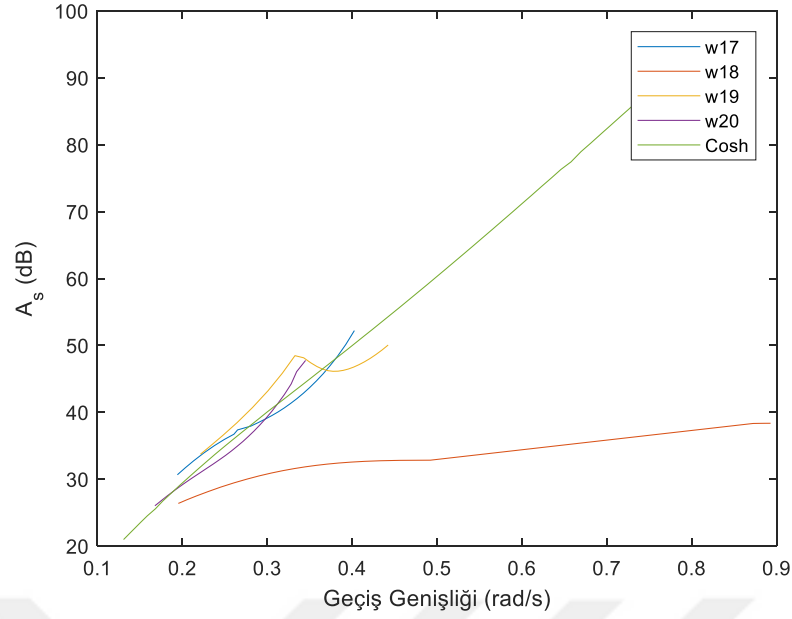
Şekil 4.36. $N = 51$ süzgeç uzunluğu için 4 hibrit pencerenin (w5-w8) Cosh penceresi ile birlikte minimum durdurma bandı zayıflatması-geçiş genişliği karakteristikleri.



Şekil 4.37. $N = 51$ süzgeç uzunluğu için 4 hibrit pencerenin (w9-w12) Cosh penceresi ile birlikte minimum durdurma bandı zayıflatması-geçiş genişliği karakteristikleri.



Şekil 4.38. $N = 51$ süzgeç uzunluğu için 4 hibrit pencerenin (w13-w16) Cosh penceresi ile birlikte minimum durdurma bandı zayıflatması-geçiş genişliği karakteristikleri.

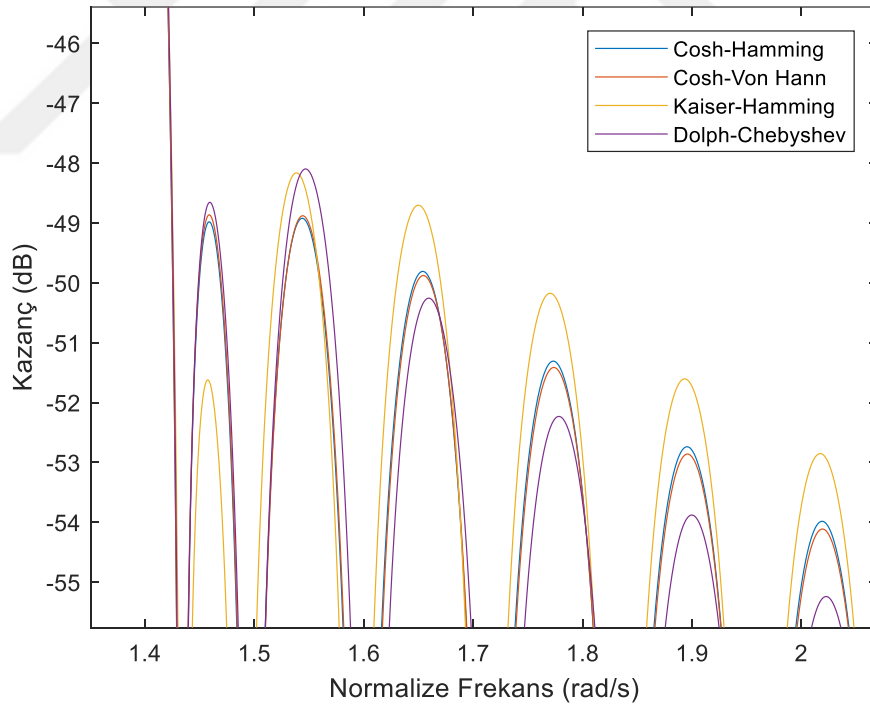
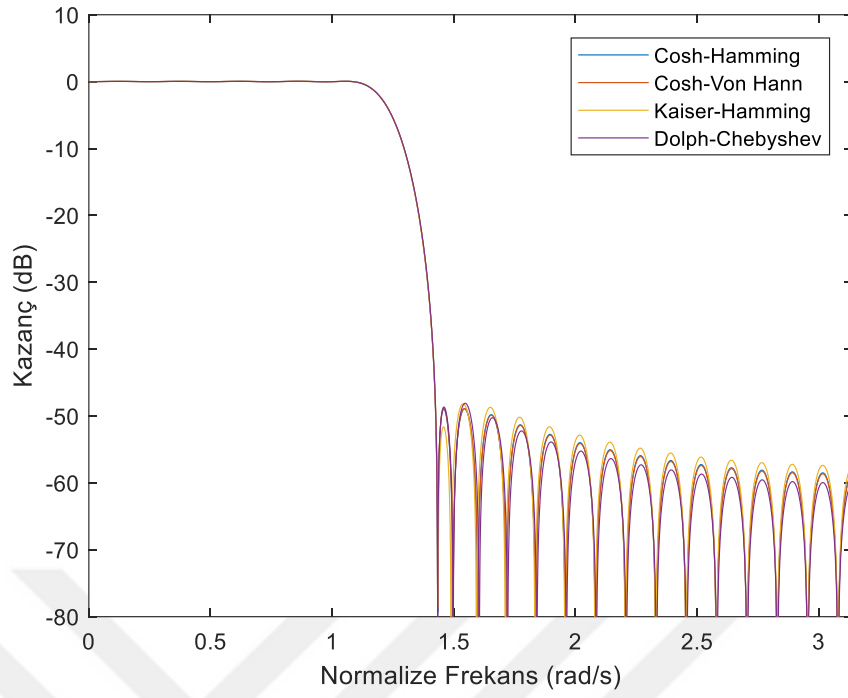


Şekil 4.39. $N = 51$ süzgeç uzunluğu için 4 hibrit pencerenin (w17-w20) Cosh penceresi ile birlikte minimum durdurma bandı zayıflatması-geçiş genişliği karakteristikleri.

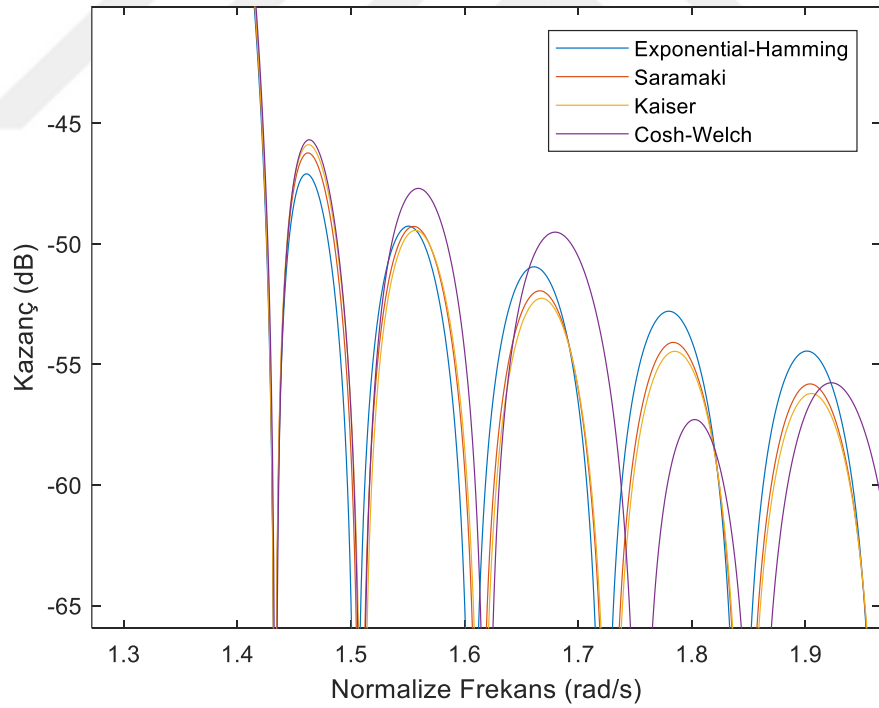
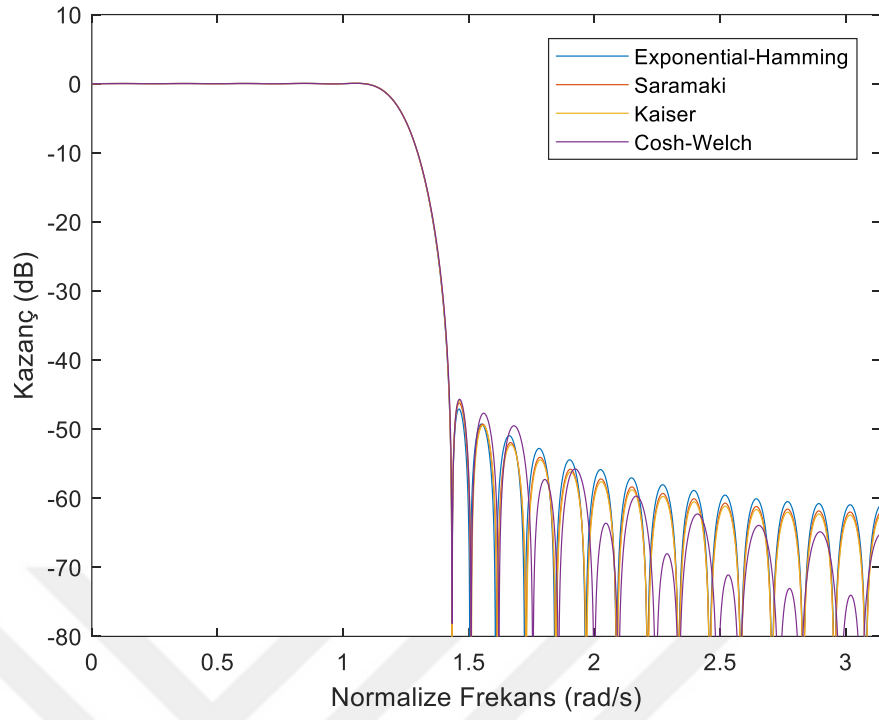
4.3.2 Diğer İki Parametrelili Pencerele Kullanılarak Tasarlanan Süzgeçlerle Kıyaslama

Bölüm 4.3.1’de yapılan süzgeç spektral analizi sonucu w6, w7, w10, w11, w14, w16, w17, w19 ve w20 tabanlı hibrit pencerelerle tasarlanan süzgeçlerin belirli aralıklarda Cosh tabanlı süzgeçlerden daha iyi süzgeç spektral karakteristiği sergileyebileceği görülmüştü. Dolayısıyla, bu kısımda önerilen bu 9 hibrit pencerenin literatürde önerilmiş diğer iki parametrelili pencerelerle süzgeç tasarımıdaki performansı incelenmektedir. Adil bir kıyaslama için süzgeç uzunlukları ve geçiş genişlikleri aynı seçilip minimum durdurma bandı zayıflatma miktarları kıyaslanmaktadır.

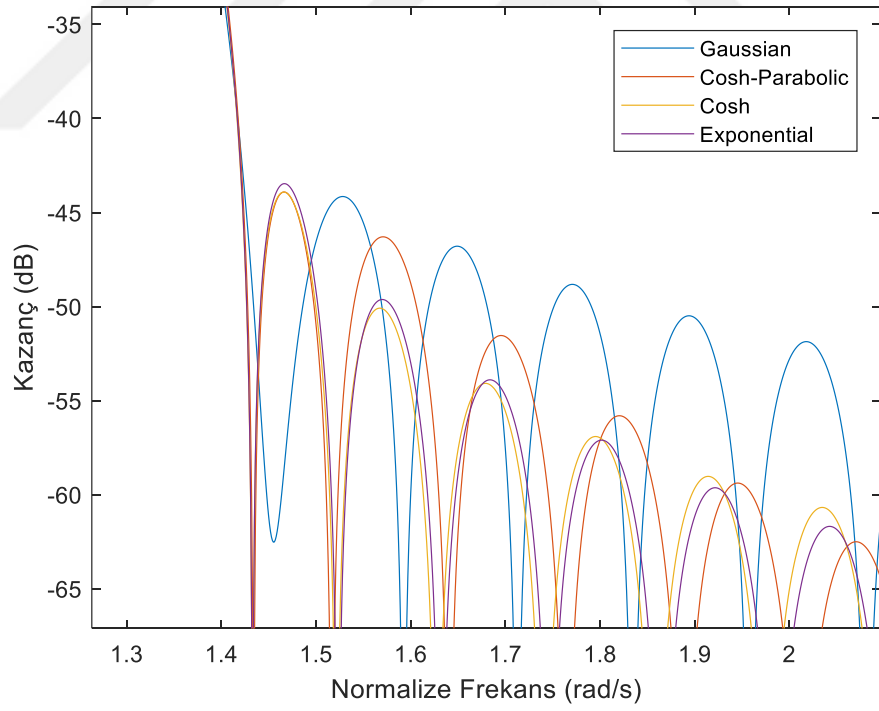
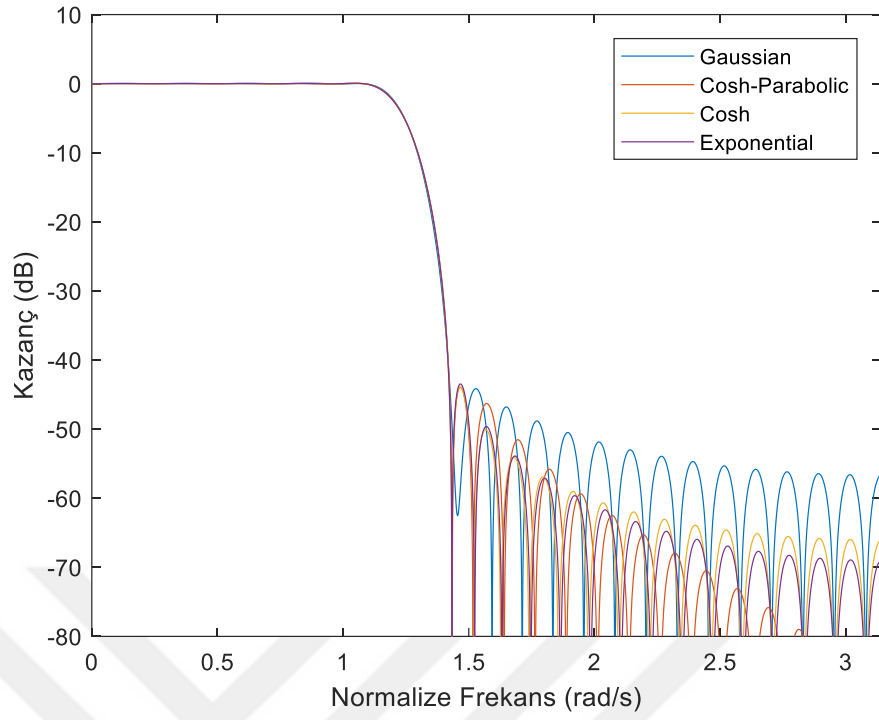
Şekil 4.40, Şekil 4.41, Şekil 4.42, Şekil 4.43, Şekil 4.44 ve Şekil 4.45’de $N = 51$ süzgeç uzunluğu için Cosh-Von Hann, Kaiser-Hamming, Dolph-Chebyshev, Cosh-Hamming, Exponential-Hamming, Saramaki, Kaiser, Cosh, Cosh-Welch, Cosh-Parabolic, Cosh-Cos(x), Cosh-Lanczos, Cosh-Riemann, Cosh-Bartlett Hann, Cosh-Cos³(x), Cosh-Blackman, Cosh-Optimized Blackman, Cosh-Bohman, Cosh-Triangular, Cosh-Nuttal, Exponential, Gaussian, Hann-Poisson ve Poisson pencereleri tasarlanan süzgeçlerin genlik spektrumlarını göstermektedir.



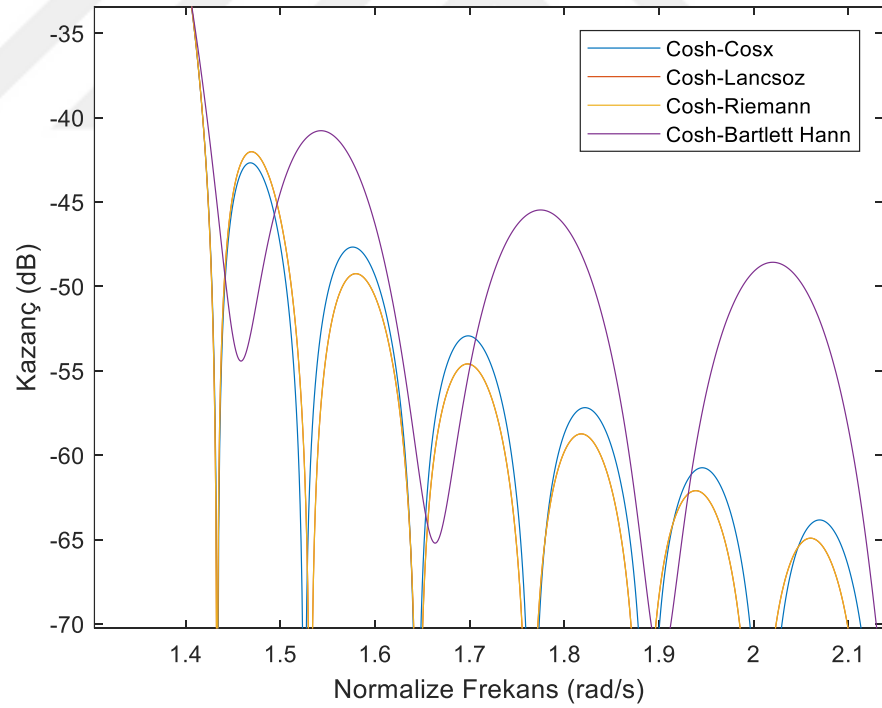
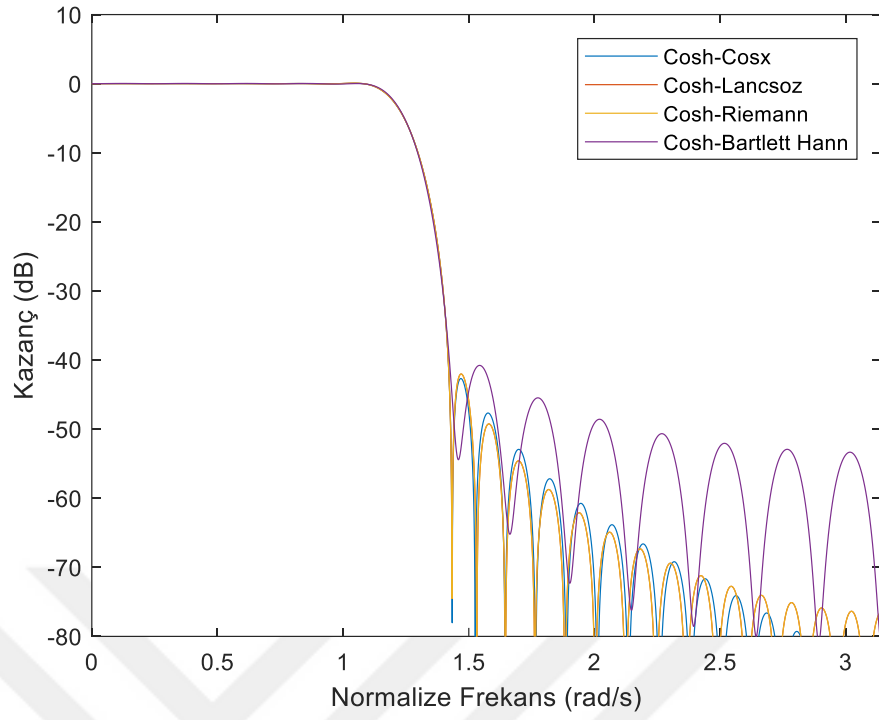
Şekil 4.40. $N = 51$ süzgeç uzunluğu için Cosh-Von Hann, Kaiser-Hamming, Dolph-Chebyshev ve Cosh-Hamming pencereleri ile tasarlanan süzgeçlerin a) genlik spektrumları b) A_s cinsinden kıyaslama için büyütülmüş görüntü.



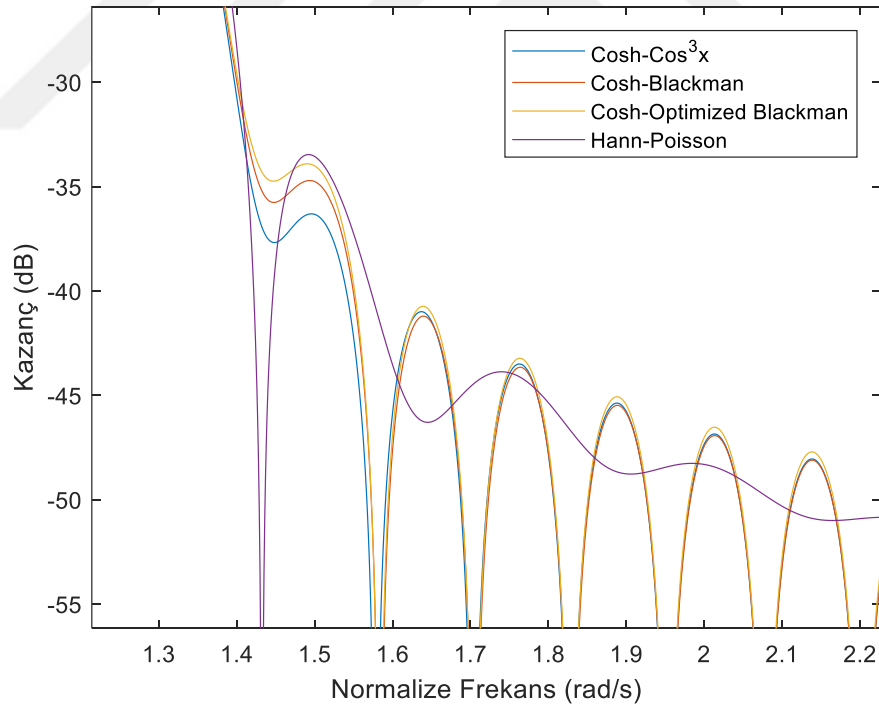
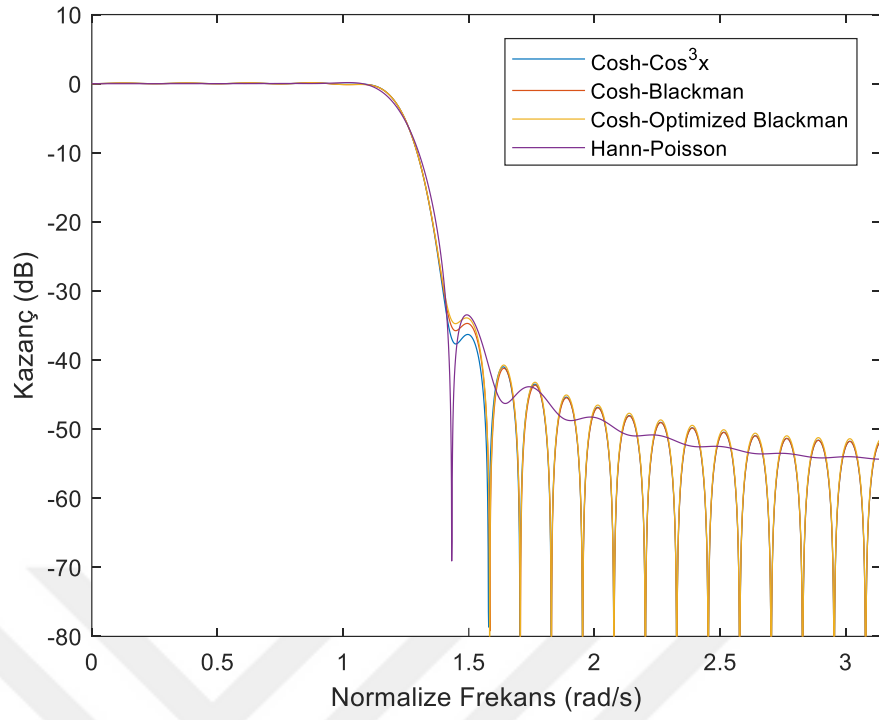
Şekil 4.41. $N = 51$ süzgeç uzunluğu için Exponential-Hamming, Saramaki, Kaiser ve Cosh-Welch pencereleri ile tasarlanan süzgeçlerin a) genlik spektrumları b) A_s cinsinden kıyaslama için büyültülmüş görüntü.



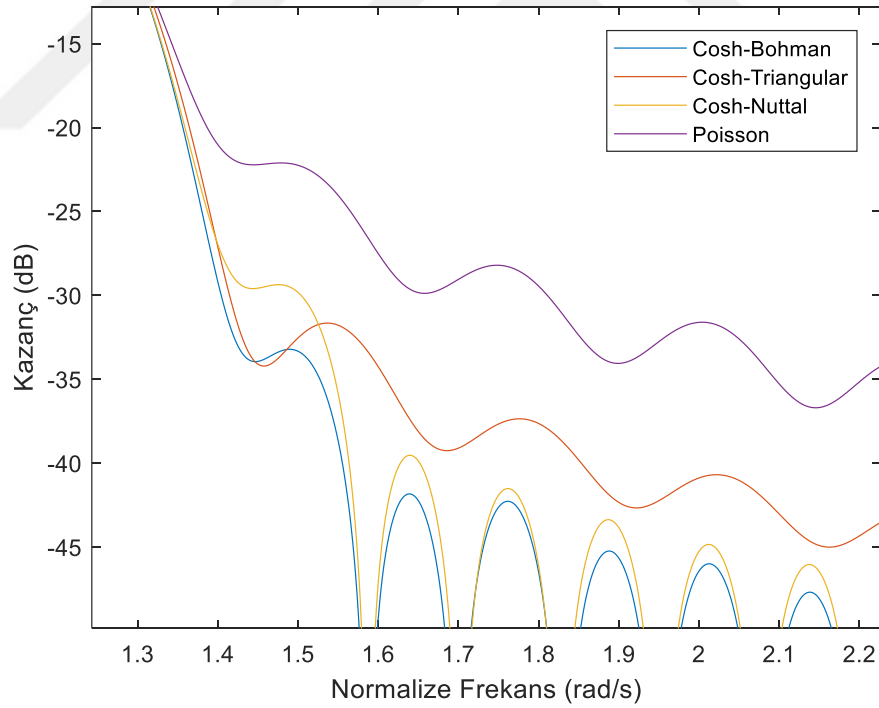
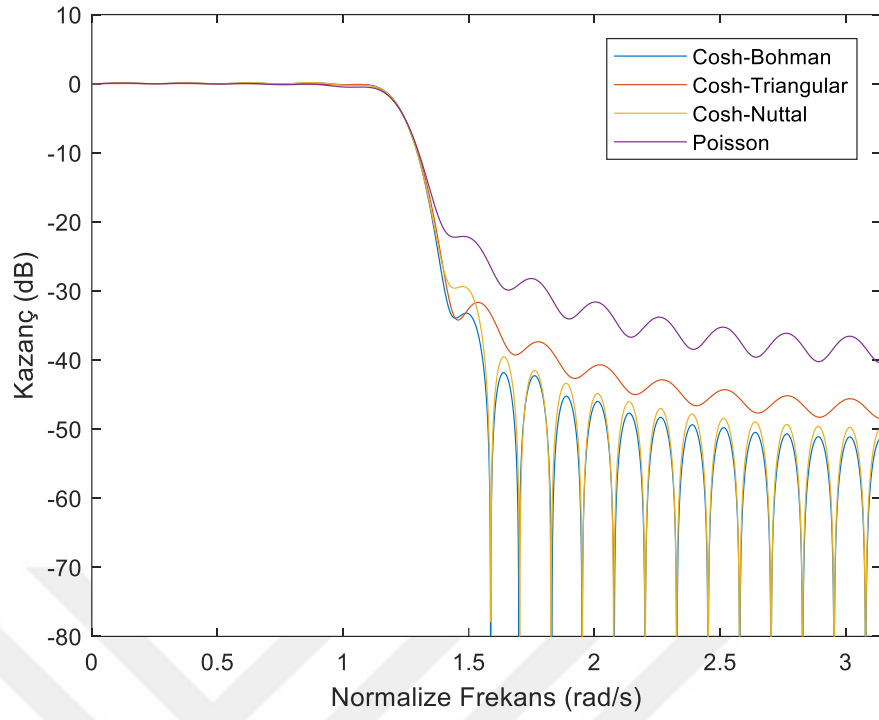
Şekil 4.42. $N = 51$ süzgeç uzunluğu için Exponential, Gaussian, Cosh ve Cosh-Parabolic pencereleri ile tasarlanan süzgeçlerin a) genlik spektrumları b) A_s cinsinden kıyaslama için büyütülmüş görüntü.



Şekil 4.43. $N = 51$ süzgeç uzunluğu için Cosh-Cos(x), Cosh-Lanczos, Cosh-Riemann ve Cosh-Bartlett Hann pencereleri ile tasarlanan süzgeçlerin a) genlik spektrumları b) A_s cinsinden kıyaslama için büyültülmüş görüntü.



Şekil 4.44. $N = 51$ süzgeç uzunluğu için Cosh-Cos³(x), Cosh-Blackman, Cosh-Optimized Blackman ve Hann-Poisson pencereleri ile tasarlanan süzgeçlerin a) genlik spektrumları b) A_s cinsinden kıyaslama için büyültülmüş görüntü.



Şekil 4.45. $N = 51$ süzgeç uzunluğu için Cosh-Bohman, Cosh-Triangular, Cosh-Nuttall ve Poisson pencereleri ile tasarlanan süzgeçlerin a) genlik spektrumları b) A_s cinsinden kıyaslama için büyültülmüş görüntü.

Çizelge 4.23 ise Şekil 4.40, Şekil 4.41, Şekil 4.42, Şekil 4.43, Şekil 4.44 ve Şekil 4.45'deki süzgeçlerle ilgili süzgeç spektral değerlerini sayısal olarak vermektedir. Bunun yanısıra aynı çizelgede $N = 101$ süzgeç uzunluğu için de süzgeç spektral değerleri ayrıca hesaplanmıştır.

Çizelge 4.23. Farklı süzgeç uzunluk değerlerinde önerilen hibrit pencereler ile tasarlanmış süzgeçlerin diğer iki parametrelili pencereler ile tasarlanmış süzgeçlerle minimum durdurma bandı zayıflatması cinsinden kıyaslanması.

Pencere	N = 51		N = 101	
	$\Delta\omega$ (rad/s)	A_s (dB)	$\Delta\omega$ (rad/s)	A_s (dB)
Cosh-Hamming (w10)	$0,1065\pi$	48,92	$0,0533\pi$	48,75
Cosh-Von Hann (w19)	$0,1065\pi$	48,86	$0,0533\pi$	48,71
Kaiser-Hamming	$0,1065\pi$	48,16	$0,0533\pi$	48,01
Dolp-Chebyshev	$0,1065\pi$	48,10	$0,0533\pi$	47,99
Exponential-Hamming	$0,1065\pi$	47,10	$0,0533\pi$	47,07
Saramaki	$0,1065\pi$	46,23	$0,0533\pi$	46,07
Kaiser	$0,1065\pi$	45,89	$0,0533\pi$	45,86
Cosh-Welch (w20)	$0,1065\pi$	45,68	$0,0533\pi$	44,84
Gaussian	$0,1065\pi$	44,15	$0,0533\pi$	44,02
Cosh-Parabolic (w14)	$0,1065\pi$	43,91	$0,0533\pi$	44,01
Cosh	$0,1065\pi$	43,91	$0,0533\pi$	43,88
Exponential	$0,1065\pi$	43,47	$0,0533\pi$	43,51
Cosh-Cosx (w6)	$0,1065\pi$	42,68	$0,0533\pi$	42,71
Cosh-Lanczos (w11)	$0,1065\pi$	42,02	$0,0533\pi$	42,04
Cosh-Riemann (w17)	$0,1065\pi$	42,02	$0,0533\pi$	42,04
Cosh-Bartlett Hann (w2)	$0,1065\pi$	40,78	$0,0533\pi$	40,74
Cosh-Cos ³ x (w7)	$0,1065\pi$	36,30	$0,0533\pi$	36,24
Cosh-Blackman (w3)	$0,1065\pi$	34,70	$0,0533\pi$	34,66
Cosh-Optimized Blackman (w13)	$0,1065\pi$	33,90	$0,0533\pi$	33,86
Hann-Poisson	$0,1065\pi$	33,46	$0,0533\pi$	33,70
Cosh-Bohman (w5)	$0,1065\pi$	33,21	$0,0533\pi$	33,18
Cosh-Triangular (w18)	$0,1065\pi$	31,65	$0,0533\pi$	31,47
Cosh-Nuttall (w12)	$0,1065\pi$	29,36	$0,0533\pi$	29,36
Poisson	$0,1065\pi$	22,11	$0,0533\pi$	22,15

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, literatürde yer alan sabit pencerelerin Cosh penceresi ile eşit katsayılı ağırlıklandırılmaları sonucu 19 yeni hibrit pencere önerilmiş ve bunların süzgeç tasarımıındaki performansları incelenmiştir.

Pencere spektral analizi pencerelerin bir sinyal işleme uygulamasındaki performansları hakkında ön bilgi sağladıklarından dolayı önemli bir rol oynamaktadır. Bundan dolayı pencerelerin sayısal süzgeç tasarımıındaki performansları incelenmeden önce pencere spektral analizleri yapılmıştır.

İlk olarak literatürde tespit edilen 20 sabit pencerenin pencere spektral analizi 10 pencere spektral parametre cinsinden yapılmış ve şu genel sonuçlar gözlemlenmiştir:

- Uzunluğa göre tepecik oranlarını karşılaştırdığımızda en iyi sonucu Nuttal penceresi verirken en kötü sonucu Rectangular penceresi vermiştir.
- Uzunluğa göre bozulma kaybı, skala kaybı ve en kötü durum işleme kaybını karşılaştırdığımızda en iyi sonucu Flat-Top penceresi verirken en kötü sonucu Rectangular penceresi vermiştir.
- Uzunluğa göre diğer spektral parametreleri karşılaştırdığımızda en iyi sonucu Rectangular penceresi verirken en kötü sonucu Flat-Top penceresi vermiştir.

Benzer şekilde yeni önerilen 19 hibrit pencere ile daha önceden önerilmiş olan Cosh-Hamming pencerelerinin pencere spektral analizi 10 pencere spektral parametre cinsinden yapılmış ve şu genel sonuçlar gözlemlenmiştir:

- Sabit bir N değerinde alfa değerine göre tepecik oranlarını karşılaştırdığımızda en iyi sonucu Cosh-Flat Top penceresi verirken en kötü sonucu Cosh-Rectangular penceresi vermiştir.
- Sabit bir N değerinde alfa değerine göre bozulma kaybı, skala kaybı ve en kötü durum işleme kaybını karşılaştırdığımızda en iyi sonucu Cosh-Flat Top penceresi verirken en kötü sonucu Cosh-Rectangular penceresi vermiştir.

- Sabit bir N değeriinde alfa değeriine göre diğeri parametreleri karşılaştırdığımızda en iyi sonucu Cosh-Rectangular penceresi verirken en kötü sonucu Cosh-Flat Top penceresi vermiştir.

Dolayısıyla, iyi bir spektral karakteristiğe sahip sabit bir pencere ile yapılan Cosh tabanlı hibritleşme, görece kötü bir spektral karakteristiğe sahip sabit bir pencere ile yapılan Cosh tabanlı hibritleşmeye göre daha iyi bir pencere spektral karakteristiği sunmaktadır.

Daha sonra önerilen pencerelerin spektral performans analizi sayısal süzgeç tasarımında önem arz eden tepecik oranı ve analob genişliği parametreleri cinsinden yapılmıştır. Benzeşim sonuçları sabit bir pencere uzunluğu ve analob genişliğinde dört hibrit pencerenin (Cosh-Bartlett, Cosh-Bartlett Hann, Cosh-Triangular ve Cosh-Von Hann) hem Kaiser hem de Cosh penceresinden daha iyi bir tepecik oranı sağladıklarını göstermiştir. Sabit bir pencere uzunluğunda ve farklı analob genişliğinde ise önerilen hibrit pencerelerden Cosh-Bartlett, Cosh-Bartlett Hann, Cosh-Lancsoz, Cosh-Triangular ve Cosh-Von Hann pencerelerinin Cosh penceresinden daha iyi sonuçlar sağlayabileceğini göstermiştir. Ayrıca 51 pencere uzunluğu için verilen benzeşim örneğinde, 4 hibrit pencerenin (Cosh-Bartlett, Cosh-Bartlett Hann, Cosh-Triangular ve Cosh-Von Hann) hem Kaiser hem de Cosh penceresinden sabit bir analob genişliğinde daha iyi tepecik oranı sağladıklarını göstermiştir.

Son olarak önerilen hibrit pencerelerin süzgeç tasarımındaki performansları kıyaslamalı olarak incelenmiştir. $N = 51$ süzgeç uzunluğu ve farklı süzgeç geçiş genişliklerinde yapılan benzeşim sonuçları, altı hibrit pencerenin Cosh penceresine göre daha iyi süzgeç karakteristiği sağlayabileceğini göstermiştir. Ayrıca, $N = 51$ ve 101 süzgeç uzunluklarında önerilen pencerelerle tasarlanan süzgeçler, literatürdeki iki parametrelili pencerelerle tasarlanan süzgeçlerle sabit geçiş genişliği için minimum bant durdurma zayıflatması cinsinden kıyaslanmıştır. Sonuçlar, Cosh-Hamming ve Cosh-Von Hann pencerelerinin diğeri pencerelere göre daha iyi süzgeçler sağlayabildiğini göstermiştir.

Sonuç olarak bu çalışmada önerilmiş olunan yeni hibrit pencerelerden içerisinde Cosh ile Kaiser penceresine göre daha iyi sonuçlar sağlayabilenlerin; sayısal süzgeç tasarımı, süzgeç bankası tasarımı, görüntü işleme ve biyomedikal sinyal

işleme uygulamalarında Cosh ve Kaiser pencerelerinin yerine kullanılabileceği önerilmektedir.

Konuyla ilgili olarak ileride yapılabilecek çalışmalar için şu öneriler yapılmaktadır:

- Cosh penceresinin sabit pencerelerle farklı ağırlıkta hibritleştirilmesi ve süzgeç tasarımındaki performans analizi.
- Cosh penceresi yerine Kaiser ve exponential pencerelerinin sabit pencerelerle hibritleştirilmesi ve süzgeç tasarımındaki performans analizi.
- Önerilen pencerelerin süzgeç bankası tasarımı ve diğer sinyal işleme uygulamalarındaki performans analizi.

6. KAYNAKLAR

- Abed AE ve Cain G (1984) "The Host Windowing Technique for FIR Digital Filter Design", IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing, 32/4, 683-694.
- Adams JW (1991) "A New Optimal Window", IEEE Transactions on Signal Processing", 39/8, 1753-1769.
- Antoniou A (2005) "Digital Signal Processing: Signal, Systems and Filters", McGraw-Hill, New York, NY, USA.
- Avci K (2008) "Design of High-quality Low-order Nonrecursive Digital Filters using the Window Functions", PhD Thesis, University of Gaziantep.
- Avci K ve Nacaroğlu A (2008) "A New Window Based on Exponential Function", IEEE Ph.D. Research in Microelectronics and Electronics (PRIME 2008), 22-25 June, Istanbul, Turkey.
- Avci K ve Nacaroğlu A (2008) "Cosine Hyperbolic Window Family with its Application to FIR Filter Design", Proc. of Third International Conference on Information and Communication Technologies (ICTTA'08), April, Damascus, Syria, 289-290.
- Avci K ve Nacaroğlu A (2008) "Modification of Cosh Window Family", Proc. of Third International Conference on Information and Communication Technologies (ICTTA'08)", 7-11 April, Damascus, Syria.
- Avci K ve Nacaroğlu A (2008) "An Efficient Study on the Modification of Kaiser Window", Proc. of 7th International Conference COMMUNICATIONS 2008, 5-7 July, Bucharest, Romania.
- Avci K ve 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 (CSNDSP'08), July, Graz, Austria, 239-242.
- Avci K ve 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 (DSPA'08), 26-28 March, Moscow, Russia.
- Avci K ve Nacaroğlu A (2009) "Cosh Window Family and its Application to FIR Filter Design", Int. Journal of Electronics and Communications (AEÜ), 63(11):907-916.
- Avci K (2013) "Performance Analysis of Kaiser-Hamming Window for Nonrecursive Digital Filter Design", 21. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SIU2013), 24-26 Nisan, Girne.

- Avci K ve Nacaroğlu A (2013) “Design of Nonrecursive Digital Filters Using the Exponential Window”, Int. J. of Advanced Electrical & Electronics Engineering, 2(2):308-316.
- Avci K (2014) “Süzgeç Uygulamaları için Exponential Penceresinin Gelistirilmesi Üzerine Ampirik bir Çalışma”, 22. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SIU2014), 23-25 Nisan, Trabzon, Türkiye.
- Avci K (2014) “Kaiser-Hamming Window and its Performance Analysis for Nonrecursive Digital Filter Design”, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 29:823-833.
- Avci K (2016) “Design of FIR Filters Using Exponential–Hamming Window Family”, Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, 24: 2513 – 2524.
- Avci K ve Coşkun O (2017) “A New Adjustable Hybrid Window Based on Cosh Window and Von-Hann Window and its Performance Analysis for Digital Filter Design”, International Congress on Engineering and Technology Sciences, 22-25 Aralık, Afyon, Türkiye.
- Avci K (2017) “Süzgeç Uygulamaları için Exponential Penceresinin Gelistirilmesi Üzerine Ampirik bir Çalışma”, 25. IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SIU2017), 2-4 Mayıs, Belek/Antalya, Türkiye.
- Avci K (2017) “Kaiser ve Von-Hann Pencereleri Tabanlı Yeni Bir Pencere Fonksiyonu ve Onun Sayısal Süzgeç Tasarımındaki Performans Analizi”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 5(4): 201-213.
- Avci K ve Coşkun O (2018) “Cosh Penceresi Tabanlı Yeni İki Parametrelili Hibrit Pencerelerin Spektral Performans Analizi”, 26. IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SIU2018), 2-4 Mayıs, Çeşme/İzmir, Türkiye.
- Bergen SWA ve Antoniou A (2002) “Generation of Ultraspherical Window Functions”, XI European Signal Processing Conference, September, Toulouse, France.
- Bergen SWA ve Antoniou A (2004) “Design of Ultraspherical Window Functions with Prescribed Spectral Characteristics”, EURASIP Journal on Applied Signal Processing, 13, 2053-2065.
- Bergen SWA ve Antoniou A (2005) “Design of Nonrecursive Digital Filters Using the Ultraspherical Window Function”, EURASIP Journal on Appl. Signal Proc., 12:1910-1922.
- Bloomfield P (2000) “Fourier Analysis of Time Series: An Introduction”, New York: Wiley-Interscience.

- Dolph CL (1946) “A Current Distribution for Broadside Arrays Which Optimizes the Relationship Between Beamwidth and Side-Lobe Level”, Proc. IRE, 34:335-348.
- Gabriele D ve Ferrero A (2006) “Digital Signal Processing for Measurement Systems”, New York: Springer Media, 70-81.
- Gautam JK, Kumar A ve Saxena R (1996) “On the Modified Bartlett-Hanning Window (family)”, IEEE Transactions on Signal Processing, 44/8, 2098-2102.
- Harris FJ ve Fredric J (1978) “On the Use of Windows for Harmonic Analysis with the Discrete Fourier Transform”, Proceedings of the IEEE, January, 66:51-83.
- Kaiser JF (1966) “Digital Filters”, Chapter-7 in book System analysis by digital computer, Kuo and Kaiser, John Wiley, 228-243.
- Kaiser JF (1974) “Nonrecursive Digital Filter Design Using I_0 -Sinh Window Function”, Proceedings of IEEE Int Symp Circuits and Systems (ISCAS’74), San Francisco, Calif, USA, 20-23, 1974.
- Lanczos C (1956) “Applied Analysis”, Van Nostrand, Princeton, NJ.
- Nuttall AH (1981) “Some Windows with Very Good Sidelobe Behavior”, IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, ASSP-29, February, 84-91.
- Oppenheim AV, Schafer RW, ve Buck JR (1999) “Discrete-Time Signal Processing”, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 468-469.
- Prabhu KMM (2013) “Window Functions and Their Applications in Signal Processing”, CRC Press, Boca Raton, USA.
- Saramaki T (1991) “Adjustable Windows for the Design of FIR Filters-A Tutorial”, 6th Mediterranean Electrotechnical Conference, May, Ljubljana, Slovenia, 28–33.
- Sharma SN, Saxena R ve Alok J (2002) “FIR Digital Filter Design with Parzen and $\text{Cos}6(\pi t)$ Combinational Window Family”, 6th Int. conf. on Signal Processing, August, 1, 92-95.
- Tapash K, Shamim A, Muhammed AGK ve Ahasan H (2017) “A New Adjustable Window Function to Design FIR Filter and its Application in Noise Reduction from Contaminated ECG Signal”, Humanitarian Technology Conference (R10-HTC), 2017 IEEE Region 10, 21-23 December, Dhaka, Bangladesh.
- Üstün B ve Avcı K (2015) “Yinelemesiz Sayısal Süzgeç Tasarımı için Cosh ve Hamming Pencere Tabanlı Yeni bir Hibrit Pencere”, 23. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SIU2015), 16-19 Mayıs, Malatya, Türkiye.

7. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Oğuzhan Coşkun

Doğum Yeri ve Tarihi : Elazığ 10.07.1994

Lisans Üniversite : Abant İzzet Baysal Üniversitesi

Elektronik posta : oguzhancoskun1608@gmail.com

İletişim Adresi : Esenevler Mh. Erdoğan Caddesi Çağhan Sitesi
D blok, Yıldırım/BURSA

Yayın Listesi : Avci K. ve Coşkun O. (2018) “Cosh Penceresi
Tabanlı Yeni İki Parametrelili Hibrit Pencerelelerin
Spektral Performan Analizi”, 26. IEEE Sinyal
İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SİU
2018), 2-4 Mayıs, Çeşme, Türkiye.

Avci K. ve Coşkun O. (2017) “A New Adjustable Hybrid Window Based on Cosh Window and Von-Hann Window and its Performance Analysis for Digital Filter Design”, International Congress on Engineering and Technology Sciences, 22-25 Aralık, Afyon, Türkiye.

Coşkun O. ve Avci K. (2017) “Development of a Graphical User Interface for Window Analysis and its Application for Performance Analysis of Fixed Window Functions”, International Congress on Engineering and Technology Sciences, 22-25 Aralık, Afyon, Türkiye.