

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM
DALI**

**İSTATİSTİKSEL ÇOKLU HIZLI İŞARET KESTİRİMİ İÇİN
YENİ YAKLAŞIMLAR**

DOKTORA TEZİ

ADEM ÜKTE

DENİZLİ, NİSAN - 2016

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM
DALI**



**İSTATİSTİKSEL ÇOKLU HIZLI İŞARET KESTİRİMİ İÇİN
YENİ YAKLAŞIMLAR**

DOKTORA TEZİ

ADEM ÜKTE

DENİZLİ, NİSAN - 2016

KABUL VE ONAY SAYFASI

ADEM ÜKTE tarafından hazırlanan "İSTATİSTİKSEL ÇOKLU HIZLI İŞARET KESTİRİMİ İÇİN YENİ YAKLAŞIMLAR" adlı tez çalışmasının savunma sınavı 15.04.2016 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

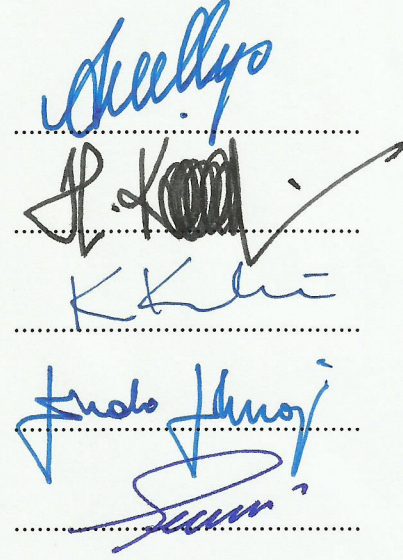
Danışman
Doç. Dr. Aydın KIZILKAYA

Üye
Prof. Dr. Ahmet Hamdi KAYRAN

Üye
Doç. Dr. Kadir KAVAKLIOĞLU

Üye
Doç. Dr. Ender Mete EKŞİOĞLU

Üye
Doç. Dr. Sezai TOKAT



Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 04.05.2016. tarih ve .18./13.... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

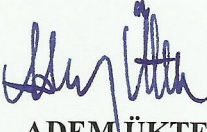


Prof. Dr. Orhan KARABULUT

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**Bu tez çalışması Pamukkale Üniversitesi tarafından 2011FBE053 nolu
proje ile desteklenmiştir.**

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.


ADEM ÜKTE

ÖZET

**İSTATİSTİKSEL ÇOKLU HIZLI İŞARET KESTİRİMİ İÇİN YENİ
YAKLAŞIMLAR
DOKTORA TEZİ
ADEM ÜKTE
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. AYDIN KIZILKAYA)**

DENİZLİ, NİSAN - 2016

Bu tezde, istatistiksel çoklu hızlı işaret kestirimindeki mevcut yöntemlere alternatif olabilecek yeni yöntemlerin önerildiği beş çalışma gerçekleştirilmiştir. İlk çalışmada, Wiener süzgeç yapılarına dayalı mevcut çoklu hızlı işaret kestirimi yönteminin başarımını geliştirmek amacıyla, görgül kip ayrıştırma ve en küçük kareler destek vektör makineleri eğri uydurma tabanlı gürültü azaltma yapılarını Wiener süzgeç yapılarıyla birleştiren iki görgül yöntem önerilmiştir. Tezdeki ikinci çalışmada, yüksek çözünürlüklü bir işaretin kestirimini, farklı hızlarda örneklenmiş düşük çözünürlüklü gürültülü gözlemlerinden elde etmek için, mevcut en küçük ortalama kareler yaklaşımına dayalı uyarlamalı süzgeçleme yapısına alternatif olarak, bu süzgecin değiştirilmiş sürümleri olan dört adet çoklu hızlı uyarlamalı süzgeç yapısı önerilmiştir. Tezdeki üçüncü çalışma olarak, çoklu hızlı işaret kestirimi için Wiener süzgeç yapıları yerine görgül kip ayrıştırma yöntemi, Savitzky-Golay süzgeci ve ortanca (medyan) süzgeçten oluşan karma bir yapının kullanıldığı yeni bir yöntem önerilmiştir. Dördüncü çalışma olarak, yüksek çözünürlüklü bir işaretin düşük çözünürlüklü gürültülü gözlemlerinden kestirimi amacıyla, mevcut yöntemin yerine görgül kip ayrıştırma aralık eşikleme tekniği ve ortanca süzgeçleme tabanlı gürültü süzme yaklaşımını kullanan karma bir yöntem önerilmiştir. Tezdeki son çalışmada ise, çoklu hızlı işaret kestirimi için, mevcut yöntemin yerine görgül kip ayrıştırma yinelemeli aralık eşikleme tekniği tabanlı gürültü süzme yapıları kullanan bir yöntem önerilmiştir. Yapılan tüm çalışmalarda, önerilen yöntemler ile mevcut yöntemlerin karşılaştırıldığı benzetim örnekleri gerçekleştirilmiş ve önerilen yöntemlerin üstünlükleri ve olası kısıtları tüm yönleriyle ortaya konmaya çalışılmıştır.

ANAHTAR KELİMELELER: Çoklu hızlı işaret işleme, Çoklu hızlı işaret kestirimi, Çoklu hızlı uyarlamalı süzgeçleme, Görgül kip ayrıştırma, Sayısal işaret işleme, İstatistiksel işaret işleme

ABSTRACT

NEW APPROACHES FOR STATISTICAL MULTIRATE SIGNAL ESTIMATION

PH.D THESIS

ADEM UKTE

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING

(SUPERVISOR: ASSOC. PROF. DR. AYDIN KIZILKAYA)

DENİZLİ, APRIL 2016

In this thesis, five studies about statistical multirate signal estimation have been performed in which new methods that could be alternative to existing methods are proposed. In the first study, to enhance the performance of the existing multirate signal estimation method that is based on Wiener filter structures, two empirical methods combining empirical mode decomposition- and least squares support vector machine regression-based noise reduction schemes with Wiener filter structures have been proposed. The second study in the thesis, to obtain an estimation of high-resolution signal from its low-resolution noisy observations sampled at different rates, as an alternative to existing multirate adaptive filter structure that is based on the least mean squares approach, four adaptive multirate filter structures which are modified versions of this structure have been proposed. As the third study in the thesis, a new method has been proposed in which a hybrid structure that consists of the empirical mode decomposition method, Savitzky-Golay filter and median filter is used for multirate signal estimation instead of Wiener filter structures. In the fourth study, to estimate a high-resolution signal from its low-resolution noisy observations, a hybrid method employing the empirical mode decomposition interval thresholding technique- and median filtering-based denoising approach has been proposed instead of existing method. The final study in the thesis, instead of existing method, a method employing the empirical mode decomposition iterative interval thresholding technique-based denoising structures has been proposed for multirate signal estimation. In all studies, simulation examples in which proposed and existing methods are compared were carried out and advantages and potential limitations of the proposed methods have been tried to be introduced in all aspects.

KEYWORDS: Multirate signal processing, Multirate signal estimation, Multirate adaptive filtering, Empirical mode decomposition, Digital signal processing, Statistical signal processing

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	vii
KISALTMALAR LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	ix
1 GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Bilimsel Yazın Özeti	1
1.2.1 Kalman Süzgeç Tabanlı Yöntemler	2
1.2.2 ME Tabanlı Yöntemler	2
1.2.3 Wiener Süzgeç Tabanlı Yöntemler	3
1.2.4 Diğer İşaret Geriçatım Yöntemleri	4
1.3 Tezin Bilimsel Yazına Katkıları	5
2 ÇOKLU HIZLI İŞARET İŞLEMENİN TEMEL KAVRAMLARI	7
2.1 Alt Örnekleme	7
2.2 Üst Örnekleme	9
2.3 Azami Derecede Seyreltilmiş İşaret Kümesi	11
3 ÇOKLU HIZLI İŞARET KESTİRİMİ PROBLEMİ	13
3.1 Problemin Tanımı	13
3.2 Mevcut Yöntemler	14
3.2.1 Çoklu Hızlı Wiener Süzgeci	14
3.2.2 Çoklu Hızlı EKOK Süzgeci	17
4 ÇOKLU HIZLI İŞARET KESTİRİMİ İÇİN ÖNERİLEN YÖNTEMLER	22
4.1 Çoklu Hızlı Wiener Süzgecinin Başarımının İyileştirilmesi İçin Önerilen İki Görgül Yöntem	22
4.1.1 DZPD Wiener Süzgeçleri GKA-Tabanlı Gürültü Azaltma Şemalarıyla Birleştiren Yöntem	22
4.1.2 DZPD Wiener Süzgeçleri GKA- ve EKK-DVM-Tabanlı Gürültü Azaltma Şemalarıyla Birleştiren Yöntem	27
4.1.3 Benzetim Sonuçları	29
4.1.4 Değerlendirme	41
4.2 EKOK Tabanlı Çoklu Hızlı Uyarlamalı Alternatif Süzgeçler	42
4.2.1 Benzetim Sonuçları	46
4.2.2 Değerlendirme	52
4.3 Çoklu Hızlı İşaret Kestirimi İçin GKA, S-G Süzgeci ve Ortanca Süzgeç Kullanılan Karma Bir Yöntem	52
4.3.1 Benzetim Sonuçları	55
4.3.2 Değerlendirme	60
4.4 Çoklu Hızlı İşaret Kestirimi İçin GKA-AE ve GKA-YAE Tabanlı Gürültü Süzme Yaklaşımlarının Kullanıldığı İki Görgül Yöntem	61
4.4.1 Çoklu Hızlı İşaret Kestirimi İçin GKA-AE Tabanlı Gürültü Süzme Yapıları ve Ortanca Süzgeç Kullanan Karma Bir Yöntem	61

4.4.1.1	Benzetim Sonuçları	65
4.4.1.2	Değerlendirme.....	71
4.4.2	Çoklu Hızlı İşaret Kestirimi İçin GKA-YAE Tabanlı Gürültü Süzme Yapılarını Kullanan Yöntem.....	72
4.4.2.1	Benzetim Sonuçları	74
4.4.2.2	Değerlendirme.....	77
5	SONUÇ VE ÖNERİLER	78
6	KAYNAKLAR.....	80
7	ÖZGEÇMİŞ	85



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: L -katlı alt örnekleyci blok yapısı.	7
Şekil 2.2: $L = 2$ için alt örnekleme işlemine ait giriş ve çıkış işaretleri.	8
Şekil 2.3: L -katlı alt örnekleycinin giriş ve çıkış işaretlerinin frekans tayfı gösterimi.	8
Şekil 2.4: Seyreltici blok diyagramı.	9
Şekil 2.5: M -katlı üst örnekleyci blok yapısı.	9
Şekil 2.6: $M = 2$ için üst örnekleme işlemine ait giriş ve çıkış işaretleri.	9
Şekil 2.7: M -katlı üst örnekleycinin giriş ve çıkış işaretlerinin frekans tayfı gösterimi.	10
Şekil 2.8: Ara değerleyici blok diyagramı.	10
Şekil 2.9: $M = 2$ için ara değerleyici bloğundaki işaretler.	11
Şekil 2.10: Azami derecede seyreltilmiş işaret kümesindeki i 'nci işaretin elde edilmesinde kullanılan blok diyagram.	11
Şekil 2.11: $L = 3$ için özgün işaret ve azami derecede seyreltilmiş işaret kümesi.	12
Şekil 3.1: Çoklu hızlı işaret kestiriminin blok yapısı.	13
Şekil 3.2: i 'nci gözlem işaretinin oluşturulmasında kullanılan model.	13
Şekil 3.3: DZPD Wiener süzgeç yapıları kullanılarak YÇ işaret geriçatımına ait blok şeması.	17
Şekil 3.4: Çoklu hızlı EKOK süzgecinin blok diyagramı.	18
Şekil 4.1: GKA sürecinin akış diyagramı.	25
Şekil 4.2: i 'nci gözlem işaretinin gürültüsünün GKA ile azaltılması.	26
Şekil 4.3: YÇ işaretin kestirimi için DZPD Wiener süzgeçleri GKA-tabanlı gürültü azaltma şemalarıyla birleştiren yöntemin blok gösterimi.	27
Şekil 4.4: GKA ve EKK-DVM eğri uydurma tabanlı teknikler kullanılarak i 'nci DÇ gözlemin gürültüsünün azaltılması.	28
Şekil 4.5: YÇ işaretin kestirimi için DZPD Wiener süzgeçleri GKA ve EKK-DVM tabanlı gürültü azaltma şemalarıyla birleştiren yöntemin blok gösterimi.	29
Şekil 4.6: Üçgen dalga şeklindeki arzu edilen YÇ işaret ve onun $L = 3$ çarpanı ile alt örneklenmiş azami derecede seyreltilmiş gürültü DÇ gözlem işaretleri.	32
Şekil 4.7: Üçgen dalda şeklindeki işaretin geriçatımına ait benzetim sonuçları.	33
Şekil 4.8: Yöntem-3.2.1 (kırmızı daire), Yöntem-4.1.1 (yeşil üçgen) ve Yöntem-4.1.2 (mavi elmas) kullanılarak Şekil 4.6(a)'daki işaretin geriçatımında elde edilen NOKH değerleri.	34
Şekil 4.9: İki sinüzoidal işaretin birleşiminden oluşan arzu edilen YÇ işaret ve onun $L = 3$ çarpanı ile alt örneklenmiş azami derecede seyreltilmiş gürültü DÇ gözlem işaretleri.	36
Şekil 4.10: İki sinüzoidal işaretin birleşiminden oluşan işaretin geriçatımına ait benzetim sonuçları.	37

Şekil 4.11: Yöntem-3.2.1 (kırmızı daire), Yöntem-4.1.1 (yeşil üçgen) ve Yöntem-4.1.2 (mavi elmas) kullanılarak Şekil 4.9(a)'daki işaretin geriçatımında elde edilen NOKH değerleri.....	38
Şekil 4.12: Satır-satır işleme ile elde edilen geriçatım sonuçları.....	40
Şekil 4.13: Sütun-sütun işleme ile elde edilen geriçatım sonuçları	40
Şekil 4.14: Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'teki ilgili YÇ kestirim görüntülerinin elemanlarının karelerinin toplamının karekökü alınarak oluşturulan yeni YÇ görüntülere ait sonuçlar	41
Şekil 4.15: İki referans girişli çoklu hızlı uyarlamalı gürültü giderme işleminin blok yapısı.	46
Şekil 4.16: Özgün işaret ve İGO = -8.6925 dB ile gürültülü işaret.....	47
Şekil 4.17: İki referans girişli durum için mevcut ve önerilen çoklu hızlı uyarlamalı süzgeçler ile elde edilen kestirim sonuçları	49
Şekil 4.18: Tek referans girişli durum için mevcut ve önerilen çoklu hızlı uyarlamalı süzgeçler ile elde edilen kestirim sonuçları	50
Şekil 4.19: Çoklu hızlı işaret kestirimi için kullanılan mevcut ve önerilen yöntemlerin karşılaştırmalı blok yapıları	53
Şekil 4.20: GKA, S-G Süzgeci ve Ortanca Süzgeç tabanlı çoklu hızlı YÇ işaret kestirimi yönteminin blok diyagramı gösterimi	55
Şekil 4.21: Şekil 4.20'deki P_i gürültü azaltma bloğunun iç yapısı.	55
Şekil 4.22: <i>Örnek-4.3.1</i> için arzu edilen YÇ işaret ve onun $L = 3$ çarpanı ile alt örneklenmiş azami derecede seyreltilmiş gürültü DÇ gözlem işaretleri.	57
Şekil 4.23: <i>Örnek-4.3.2</i> için arzu edilen YÇ işaret ve onun $L = 3$ çarpanı ile alt örneklenmiş azami derecede seyreltilmiş gürültü DÇ gözlem işaretleri.	58
Şekil 4.24: <i>Örnek-4.3.1</i> 'deki üçgen dalda şeklindeki işaretin kestirimine ait benzetim sonuçları.....	59
Şekil 4.25: <i>Örnek-4.3.2</i> 'deki sinüzoidal işaretin kestirimine ait benzetim sonuçları.	60
Şekil 4.26: ÖK işlevine GKA-AE işleminin uygulanması (Kopsinis ve McLaughlin 2009).....	63
Şekil 4.27: GKA-AE tabanlı çoklu hızlı YÇ işaret kestirimi yönteminin blok diyagramı gösterimi	65
Şekil 4.28: <i>Örnek-4.4.1.1</i> için arzu edilen YÇ işaret ve onun $L = 3$ çarpanı ile alt örneklenmiş azami derecede seyreltilmiş gürültü DÇ gözlem işaretleri.	67
Şekil 4.29: <i>Örnek-4.4.1.1</i> 'deki üçgen dalga işaretin kestirimine ait benzetim sonuçları.	68
Şekil 4.30: <i>Örnek-4.4.1.2</i> için arzu edilen YÇ işaret ve onun $L = 3$ çarpanı ile alt örneklenmiş azami derecede seyreltilmiş gürültü DÇ gözlem işaretleri.	69
Şekil 4.31: <i>Örnek-4.4.1.2</i> 'deki ses işaretin kestirimine ait benzetim sonuçları.70	
Şekil 4.32: GKA-YAE tabanlı çoklu hızlı işaret kestirimi yönteminin blok diyagramı gösterimi.....	74
Şekil 4.33: YÇ ses işareti ve onun $L = 3$ çarpanı ile alt örneklenmiş azami derecede seyreltilmiş gürültü DÇ gözlem işaretleri.	75
Şekil 4.34: Ses işaretin kestirimine ait benzetim sonuçları.....	77

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1: DZPD Wiener süzgeç yapıları kullanılarak YÇ işaret geriçatımına ait işlem adımları.....	17
Tablo 3.2: Çoklu hızlı EKOK yordamına ait işlem adımları.	20
Tablo 4.1: DZPD Wiener süzgeçleri GKA-tabanlı gürültü azaltma şemalarıyla birleştiren yöntem kullanılarak YÇ işaret geriçatımına ait işlem adımları.....	26
Tablo 4.2: DZPD Wiener süzgeçleri GKA ve EKK-DVM tabanlı gürültü azaltma şemalarıyla birleştiren yöntem kullanılarak YÇ işaret geriçatımına ait işlem adımları.....	29
Tablo 4.3: Karşılaştırılan üç yöntemin DİGO (dB) başarımları.	41
Tablo 4.4: Önerilen EKOK tabanlı çoklu hızlı süzgeç yordamlarına ait işlem adımları.....	45
Tablo 4.5: Mevcut ve önerilen çoklu hızlı uyarlamalı süzgeç yordamlarının başarım sonuçları.....	51
Tablo 4.6: Kestirilen ses işaretlerindeki “hello” sözcüklerine ait ve bunların dışında kalan zaman aralıkları için hesaplanan NOKH değerleri ...	71
Tablo 4.7: GKA-YAE yordamının <i>i</i> 'nci DÇ gözlem işaretine uygulanmasına ait işlem adımları.....	73

KISALTMALAR LİSTESİ

1B	:	Bir Boyutlu (1D : One Dimensional)
2B	:	İki Boyutlu (2D : Two Dimensional)
AGS	:	Alçak Geçiren Süzgeç (LPF : Low Pass Filter)
BGG	:	Beyaz Gauss Gürültüsü (WGN : White Gaussian Noise)
DÇ	:	Düşük Çözünürlüklü (LR : Low Resolution)
DİGO	:	Doruk İşaret-Gürültü Oranı (PSNR : Peak Signal-To-Noise Ratio)
DVM	:	Destek Vektörü Makineleri (SVM : Support Vector Machines)
DZPD	:	Doğrusal Zamanla Periyodik Olarak Değişen (LPTV : Linear Periodically Time-Varying)
EKK-DVM	:	En Küçük Kareler Destek Vektörü Makineleri (LS-SVM : Least Squares Support Vector Machines)
EKOK	:	En Küçük Ortalama Kareler (LMS : Least Mean Squares)
GAD	:	Geniş Anlamda Durağan (WSS : Wide Sense Stationary)
GKA	:	Görgül Kip Ayırıştırma (EMD : Empirical Mode Decomposition)
GKA-AE	:	Görgül Kip Ayırıştırma Aralık Eşikleme (EMD-IT : Empirical Mode Decomposition Interval Thresholding)
GKA-YAE	:	Görgül Kip Ayırıştırma Yinelemeli Aralık Eşikleme (EMD-IIT : Empirical Mode Decomposition Iterative Interval Thresholding)
İGO	:	İşaret-Gürültü Oranı (SNR : Signal-To-Noise Ratio)
ih-EKOK	:	İşaret-Hata En Küçük Ortalama Kareler (se-LMS : sign-error Least Mean Squares)
ii-EKOK	:	İşaret-İşaret En Küçük Ortalama Kareler (ss-LMS : sign-sign Least Mean Squares)
iv-EKOK	:	İşaret-Veri En Küçük Ortalama Kareler (sd-LMS : sign-data Least Mean Squares)
KOK	:	Karelerinin Ortalamasının Karekökü (RMS : Root Mean Square)
MC	:	Monte Carlo
ME	:	Maksimum Entropi
MEÇM	:	Maksimum Entropi Çıkarım Motoru (MEIE : Maximum Entropy Inference Engine)
NEKOK	:	Normalize En Küçük Ortalama Kareler (NLMS : Normalized Least Mean Squares)
NOKH	:	Normalize Ortalama Kareler Hatası (NMSE : Normalized Mean Squares Error)
ÖK	:	Öz Kip (IM : Intrinsic Mode)
S-G	:	Savitzky-Golay
YÇ	:	Yüksek Çözünürlüklü (HR : High Resolution)

ÖNSÖZ

Uzun ve yorucu bir süreç sonunda doktora çalışmamın sonuna gelmiş bulunmaktayım. Öncelikle gerek doktora öncesinde gerekse doktora çalışmamın her aşamasında engin bilgisiyle beni yönlendiren ve her türlü desteğini benden esirgemeyen danışmanım sayın Doç. Dr. Aydın Kızılkaya'ya minnettar olduğumu belirtmek isterim.

Tez İzleme Komitesinin üyeleri sayın Prof. Dr. Ahmet Hamdi Kayran'a, sayın Doç. Dr. Kadir Kavaklıoğlu'na ve Tez Savunma Jürisinin üyeleri sayın Doç. Dr. Ender Mete Ekşioğlu'na, sayın Doç. Dr. Sezai Tokat'a, sayın Doç. Dr. Abdullah T. Tola'ya ve sayın Doç. Dr. Mehmet Engin'e tezin gelişimine verdikleri desteklerden dolayı teşekkür ederim. Ayrıca Doktora Yeterlilik Komitesinin üyesi sayın Doç. Dr. Olcay Akay'a değerli katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Bilgi paylaştıkça çoğalır, değer kazanır. Çeşitli konularda yardımlarına başvurduğumda değerli bilgilerini benden esirgemeyen sayın Araş. Gör. Mehmet Doğan Elbi'ye, sayın Dr. Omid Jahromi'ye, sayın Yrd. Doç. Dr. Ahmet Korhan Tanç'a ve sayın Yrd. Doç. Dr. Olcay Polat'a teşekkür ederim. Ayrıca tüm bu süreçte faydalandığım bilimsel yayınların yazarlarına da teşekkürlerimi sunarım.

Gerek doktora ders aşamasında gerekse daha önceki dönemlerde, ilkokuldan üniversiteye kadar üzerimde emekleri olan tüm öğretim elemanı ve öğretmenlerime teşekkürü bir borç bilirim.

Başta Bölüm Başkanımız Sayın Prof. Dr. Serdar İplikçi olmak üzere tüm bölüm çalışanlarımıza teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca manevi desteklerini her zaman hissettiğim çalışma arkadaşlarım ve dostlarım sayın Yrd. Doç. Dr. Remzi Arslanalp'e, sayın Yrd. Doç. Dr. Ali Serkan Soydan'a, sayın Yrd. Doç. Dr. Selim Köroğlu'na, sayın Yrd. Doç. Dr. Engin Çetin'e, sayın Uzm. Dr. Özgür Önder Karakılınç'a ve sayın Yrd. Doç. Dr. Meriç Çetin'e teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi olan başta annem ve babam olmak üzere tüm aile büyüklerime, desteklerini sürekli hissettiğim kardeşlerime, eşime ve son olarak neşe ve huzur kaynağım biricik kızım İpek'ime şükranlarımı sunarım.

1 GİRİŞ

İşaret işleme kavramı, istenen bilgilerin elde edilebilmesi için zaman serilerinin işlenmesi olarak tanımlanabilir. Günümüzdeki birçok uygulamada işaret işleme ayrık zaman ortamında ve sayısal yöntemler kullanılarak gerçekleştirilmektedir ki bu da sayısal işaret işleme kavramını ortaya çıkarmaktadır. Çoklu hızlı işaret işleme ise, farklı örnekleme hızlarına sahip birden fazla ayrık zamanlı işarete matematiksel işlemler uygulanarak istenen bilgilerin elde edilmesi şeklinde tanımlanabilir (Jahromi 2002).

İstatistiksel işaret işleme sayısal işaret işlemenin, rastgele süreçler ve bunların sayısal bilgisayarlar kullanılarak işlenmesi ile ilgilenen bir alt alanıdır. İstatistiksel çoklu hızlı işaret işleme alanı ise yüksek çözünürlüklü (YÇ) rastgele bir sürecin farklı örnekleme hızlarındaki düşük çözünürlüklü (DÇ) gözlemlerinden geriçatımı ve izgesinin kestirimi problemlerini ele almaktadır.

1.1 Tezin Amacı

İstatistiksel çoklu hızlı işaret işleme teorisi; çoklu hızlı izge kestirimi, çoklu hızlı işaret kestirimi, işaretlerin en iyilenmiş şekilde çoklu hızlı ayrıştırılması, çoklu hızlı sistemlerde bilgi kavramı gibi birçok birbiriyle ilişkili alt teorilere ayrılmıştır ve her alt teori, özel bir problemle ilgilenmektedir (Jahromi 2007). Yapılan bu tez çalışmasının amacı bu alt teorilerden çoklu hızlı işaret kestirimiyle ilgi mevcut yöntemlere alternatif olabilecek yeni yöntemler geliştirerek bilimsel yazına katkıda bulunmaktır.

1.2 Bilimsel Yazın Özeti

Çoklu hızlı istatistiksel sayısal işaret işleme alanı son 40 yıldır birçok araştırmacının ilgisini çekmektedir (Crochiere ve Rabiner 1983). Bu alan rastgele bir işaretin kendisi yerine bu işarete ait farklı örnekleme hızlarındaki gözlemlerinin

erişilebilir olduğu durumda güç izgesi kestirimi, öngörü ve işaret kestirimi sorunlarıyla ilgilenmektedir. Bu sorunların çözümü için önerilen yöntemleri; Kalman süzgeç tabanlı yöntemler, Maksimum Entropi (ME) ilkesini kullanan yöntemler ve Wiener süzgeç tabanlı yöntemler olarak üç ana sınıfa ayırmak mümkündür.

1.2.1 Kalman Süzgeç Tabanlı Yöntemler

Kalman süzgeç teorisine dayanan çalışmalar Chen ve çalışma arkadaşları tarafından yürütülmüştür. B. S. Chen ve Y. L. Chen (1995), çoklu hızlı durum uzayı modeli bakış açısıyla, özbağlanımlı ve kayan ortalamalı rastgele işaretlerin örnek değerlerinin, gürültülü ve seyreltilmiş sürümlerinden kestirilmesi için Kalman süzgeç tabanlı bir algoritma geliştirmişlerdir. Y. L. Chen ve B. S. Chen (1995) ise bu algoritmayı özbağlanımlı kayan ortalamalı işaretleri içerecek şekilde genelleştirmişlerdir. Aynı yaklaşım gürültülü bir kanala sahip bir çapraz çoğullayıcı sistemi boyunca iletilecek olan giriş işaretinin kestirimine de uyarlanmıştır (Chen ve Lin 1995; Lin ve Chen 1995). Chen ve diğ. (1995) ise Kalman süzgeç teorisini, gürültülü süzgeç bankası sistemindeki özbağlanımlı veya özbağlanımlı kayan ortalamalı biçimdeki giriş işaretinin çoklu hızlı durum uzayı modeli bakış açısıyla geriçatımı için kullanmışlardır.

1.2.2 ME Tabanlı Yöntemler

Geniş anlamda durağan (GAD) rastgele bir işaretin örnek değerlerinin veya izgesinin, bu işaretin çeşitli algılayıcılar tarafından ölçülmüş DÇ sürümlerinden en iyilenmiş şekilde kestirilmesi için kullanılan ME ilkesi tabanlı yöntemler Jahromi ve çalışma arkadaşları tarafından incelenmiştir. Bu bağlamda Jahromi ve diğ. (2001a) yaptıkları çalışmada, rastgele bir işaretin güç izgesinin, işaretin düşük örnekleme hızlı sürümlerinden kestirimi için ME ilkesinin kullanımıyla ilgili matematiksel bir teori sunmuşlardır. Bu sorun ile ilişkili olarak, Jahromi ve diğ. (2004), ME ilkesinin kullanımını, geometrik bakış açısını da içeren daha geniş bir pencereden ele almışlar ve YÇ bir işaretin güç izgesinin ME tabanlı kestiriminin, bu işaretin DÇ gözlemlerine ait özilişki dizilerinden hesaplanması için Maksimum Entropi Çıkarım Motoru

(MEÇM) isimli bir algoritma geliştirmişlerdir. Jahromi ve diğ. (2001b) ise, rastgele bir işaretin örnek değerlerinin kestirimini, bu işaretin DÇ çoklu gözlemlerine dayanarak elde etmek için MEÇM ile birleştirilmiş en iyilenmiş bir en küçük ortalama kareler kestirimsi sunmuşlardır. Ayrıca Jahromi ve Aarabi (2003), genelleştirilmiş çapraz ilişki tekniği ve mükemmel geriçatım sentezi süzgeç bankası teorisini kullanarak, varış zamanı gecikmesinin mevcut olduğu durumda YÇ bir işaretin geriçatımı için iki düşük hızlı algılayıcının birleştirilmesi problemini giriş seviyesinde ele almışlardır. Varış zamanı gecikmesinin kestirimi ve YÇ işaret geriçatımı için analiz ve sentez süzgeçlerinin tasarım şartlarını içeren daha ayrıntılı bir çalışma ise aynı yazarlar tarafından 2005 yılında gerçekleştirilmiştir (Jahromi ve Aarabi 2005). Jahromi ve ekibinin çalışmalarına ek olarak, Tanç ve Kayran (2010), rastgele bir işaretin güç izgesinin, bu işaretin düşük örnekleme hızlı gözlemleri kullanılarak kestirilmesi için, hızlı Fourier dönüşümü ve yeni bir matris gösterimine dayanan yinelemeli bir ME güç izgesi kestirim algoritması geliştirmişlerdir. Aynı yazarlar 2012 yılında yaptıkları çalışmada bu algoritmayı, iki boyutlu (2B) işaretlerin güç izgesini kestirecek şekilde geliştirmişlerdir (Tanç ve Kayran 2012). Bu iki çalışma ile ilgili ayrıntılı bilgiler Tanç (2011) tarafından yapılan tez çalışmasında mevcuttur.

1.2.3 Wiener Süzgeç Tabanlı Yöntemler

YÇ rastgele bir işaretin, farklı örnekleme hızlarındaki DÇ gözlemlerinden öngörüsü, kestirimi veya geriçatımı amacıyla Wiener süzgeç teorisi olarak isimlendirilen en iyilenmiş doğrusal süzgeçlemeyi kullanan yöntemler Therrien ve çalışma arkadaşları tarafından ele alınmıştır. Bu kapsamda Cristi ve diğ. (2000), GAD rastgele bir işaretin, birisi tam diğeri yarım hızda örneklenmiş iki gürültülü gözlem işaretinden kestirimi problemini ele almışlardır. Koupatsiaris (2000) yaptığı tez çalışmasında, bu problemin ayrıntılı olarak incelenmesinin yanı sıra, çoklu hızlı işaretlerin çok kanallı gösterimi kullanılarak GAD rastgele bir sürecin ardışık örneklerinin çok kanallı Levinson algoritmasının kullanımı ile doğrusal öngörüsü konusunu ele almıştır. Therrien (2005) ise, çoklu hızlı doğrusal öngörü problemini daha genel bir çerçevede ele almış ve çok kanallı Levinson algoritmasının kullanımını içeren kayan pencereci bir öngörücü önermiştir. Therrien (2001) bir başka çalışmasında, farklı hızlarda örneklenmiş rastgele işaretlerin durağanlık koşullarını

incelemiştir. Therrien ve Hawes (2002) ise, en küçük kareler yaklaşımını kullanarak, rastgele bir sürecin, biri tam hızda örneklenmiş ve düşük işaret-gürültü oranına (İGO) sahip, diğeri ise daha düşük bir hızda örneklenmiş ve yüksek İGO değerine sahip iki gözlem işaretinden kestirilmesi için üç farklı en iyilenmiş süzgeç yapısı tanımlamışlardır. Bu konu ile ilgili daha ayrıntılı bilgiler Hawes (2003)'in tez çalışmasında mevcuttur. Cristi ve diğ. (2000)'nin çalışmalarında bahsedilen problemin genelleştirilmiş bir sürümü Kuchler ve Therrien (2003)'in çalışmalarında ele alınmıştır. Bu çalışmada, farklı örnekleme hızlarındaki DÇ gözlem işaretleri ile YÇ bir işaretin kestirimini gerçekleştirmek için ikinci mertebeden istatistikler kullanılarak en iyilenmiş çoklu hızlı süzgeçleme yöntemi geliştirilmiştir (Kuchler ve Therrien 2003). Bu çalışma, ardışık sınıflandırma ve doğrusal öngörü için en iyilenmiş süzgeçlemenin kullanımıyla ilgili ayrıntılı analizlerin yapıldığı Kuchler (2005)'in tez çalışmasının da temelini oluşturmaktadır. Scrofani ve Therrien (2005a)'in çalışmasında, Kuchler ve Therrien (2003) ve Kuchler (2005)'in çalışmalarındaki çıkarımlar YÇ bir işaret veya görüntünün, gürültülü ve bozulmuş DÇ gözlemlerinden geriçatılması problemine uygulanmıştır. Son olarak Scrofani ve Therrien (2005b)'in çalışmasında, Kuchler ve Therrien (2003), Kuchler (2005) ve Scrofani ve Therrien (2005a)'in çalışmalarındaki çoklu hızlı en iyilenmiş süzgeçleme süreçleri en küçük kareler yaklaşımı açısından 2B duruma genişletilerek, 2B bir işaret veya görüntünün geriçatımı, doğrudan bu işaret veya görüntüye ait düşük örnekleme hızlı 2B gözlemler işlenerek gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmayla ilgili daha ayrıntılı bilgi edinmek için Scrofani (2005)'nin tez çalışması incelenebilir.

1.2.4 Diğer İşaret Geriçatım Yöntemleri

Yukarıda bahsedilen üç ana grubun dışında, istatistiksel çoklu hızlı işaret kestirimi ile ilgili farklı yaklaşımlar kullanan çalışmalar da mevcuttur. Bunlardan bir tanesinde Hawes ve Therrien (2003), biri tam hızda diğeri ise daha düşük bir hızda örneklenmiş ve girişime maruz kalmış iki DÇ gözlem işaretinden arzulanan işareti kestirmek için uyarlamalı süzgeçlemedeki en küçük ortalama kareler (EKOK) algoritmasının çoklu hızlı bir sürümünü geliştirmişlerdir. Arzulanan işaretin gürültülü ve düşük örnekleme hızlı gözlemlerinden kestirilmesi için ardışık uyarlamalı en küçük kareler kafes süzgeç yapısının sunulduğu bir diğer çoklu hızlı uyarlamalı süzgeçleme

algoritması ise, Tanç ve diğ. (2009) tarafından geliştirilmiştir. Bu tarz çalışmalara verilecek olan son örnek ise Ekşioğlu ve diğ. (2010) tarafından sunulan, arzulanan işaretin farklı örnekleme hızlarındaki birçok gözleminden geriçatılması için türetilen sıkıştırılmalı algılama formülasyonudur. Son iki çalışma ile ilgili ayrıntılı bilgiler Tanç (2011)'in tez çalışmasında mevcuttur.

1.3 Tezin Bilimsel Yazına Katkıları

Bu tez çalışmasında çoklu hızlı işaret kestirimiyle ilgi mevcut yöntemlere alternatif olabilecek yeni yöntemler önerilmiştir. İlk olarak mevcut doğrusal zamanla periyodik olarak değişen (DZPD) Wiener süzgeç yapılarına dayanan çoklu hızlı işaret kestiriminin başarımını geliştirmek amacıyla, görgül kip ayrıştırma (GKA) ve en küçük kareler destek vektör makineleri (EKK-DVM) eğri uydurma tabanlı gürültü azaltma yapılarını bu Wiener süzgeç yapılarıyla birleştiren iki görgül yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntemler ile belirli koşullar altında mevcut yönteme göre daha iyi kestirim sonuçları elde edildiği gösterilmiştir. Yapılan bu çalışma bilimsel dergi makalesi olarak yayımlanmıştır (Ükte ve diğ. 2014a).

Tezdeki ikinci çalışmada, farklı hızlarda örneklenmiş iki veya daha fazla gürültülü gözlem verisinden YÇ işaretin kestirimi problemine bir çözüm olarak, mevcut EKOK yaklaşımına dayalı uyarlamalı süzgeçleme yapısına alternatif olarak, bu süzgecin değiştirilmiş sürümleri olan normalize en küçük ortalama kareler (NEKOK), işaret-hata en küçük ortalama kareler (ih-EKOK), işaret-veri en küçük ortalama kareler (iv-EKOK) ve işaret-işaret en küçük ortalama kareler (ii-EKOK) süzgeç yapıları önerilmiştir. Önerilen yöntemlerden bazılarının özellikle yakınsama hızı anlamında mevcut yönteme göre daha iyi sonuçlar ürettikleri gözlenmiştir. Bu çalışmanın bir kısmı konferans bildirisi olarak yayımlanmıştır (Ükte ve Kızılkaya 2015). Çalışmanın diğer kısmı ise konferans bildirisi olarak yayımlanmak üzere kabul edilmiştir (Ükte ve Kızılkaya 2016).

Tezdeki üçüncü çalışma olarak, YÇ bir işaretin DÇ gürültülü gözlemlerinden kestirimi amacıyla, en iyilenmiş çoklu hızlı Wiener süzgeçlere dayalı mevcut yöntemin yerine GKA, Savitzky-Golay (S-G) süzgeçleme ve ortanca süzgeçleme tabanlı yapılar kullanan karma bir yöntem önerilmiştir. Herhangi bir istatistiksel

bilgiye ihtiyaç duymamasıyla 3n plana çıkan 3nerilen bu y3ntemin, mevcut y3ntem ile karşılaştırıldığında belli koşullar altında tatmink3r sonuçlar 3rettiği g3zlenmiştir. Bu alışma konferans bildirisi olarak yayımlanmıştır (3kte ve diğ. 2014b).

D3rd3nc3 çalışma olarak, yine Y bir işaretin D g3r3lt3l3 g3zlemlerinden kestirimi amacıyla, mevcut y3ntemin yerine g3rg3l kip ayırıtırma aralık eşikleme (GKA-AE) tekniği ve ortanca s3zgeleme tabanlı yapılar kullanan karma bir y3ntem 3nerilmiştir. Mevcut y3ntem ile karşılaştırıldığında, 3nerilen bu y3ntem de, herhangi bir istatistiksel bilgiye ihtiyaç duymamasıyla 3n plana çıkmaktadır ve belli koşullar altında mevcut y3nteme g3re daha iyi kestirim sonuçları 3retmiştir. Bu alışma bilimsel dergi makalesi olarak yayımlanmıştır (Kızılkaya ve diğ. 2015).

Tezdeki son çalışmada ise aynı amaçla, mevcut y3ntemin yerine g3rg3l kip ayırıtırma yinelemeli aralık eşikleme (GKA-YAE) tekniği tabanlı yapılar kullanan bir y3ntem 3nerilmiştir. Mevcut y3ntem ile karşılaştırıldığında, 3nerilen bu y3ntem de, herhangi bir istatistiksel bilgiye ihtiyaç duymamasıyla 3n plana çıkmaktadır ve mevcut y3ntemle neredeyse aynı kestirim başarımı değerlerine ulaşmıştır. Bu alışma konferans bildirisi olarak yayımlanmıştır (3kte ve diğ. 2014c).

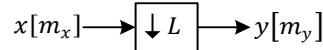
2 ÇOKLU HIZLI İŞARET İŞLEMENİN TEMEL KAVRAMLARI

Çoklu hızlı işaret işleme alanı, işaret işlemenin önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Bu alan, farklı hızlarda örneklenmiş birçok işareti içeren sistemler ile ilgilenmektedir. Bir işareti verilen örnekleme hızından farklı bir örnekleme hızına dönüştürme işlemine örnekleme hızı dönüştürme denilmektedir. Farklı hızlardaki işaretlerin işlendiği sistemler ise çoklu hızlı sayısal işaret işleme sistemleri olarak adlandırılırlar.

Çoklu hızlı sayısal işaret işlemede en çok kullanılan işlemler alt örnekleme ve üst örneklemedir. Bu işlemleri tanımlamak için; alt örnekleme ve üst örnekleme ismi verilen temel yapılar kullanılmaktadır.

2.1 Alt Örnekleme

Blok yapısı Şekil 2.1’de gösterilen alt örnekleme giriş ve çıkışı arasında aşağıdaki gibi bir bağıntı söz konusudur (Karaağaç 2007):

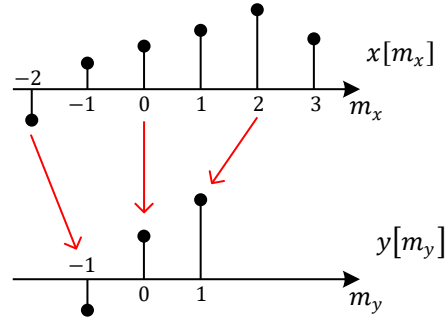
$$y[m_y] = x[Lm_y] \quad (2.1)$$


Şekil 2.1: L -katlı alt örnekleme blok yapısı.

Burada; L bir tamsayıdır ve alt örnekleme çarpanı olarak adlandırılır. Alt örneklenmiş işaret ve giriş işaretinin indisleri arasında $m_x = Lm_y$ ilişkisi söz konusudur. Giriş işareti $x[m_x]$ ’in sadece L ’nin tam katlarına denk gelen anlardaki örnekleri alt örnekleme çıkışına aktarılmaktadır. Şekil 2.2’de $L = 2$ için olan durum gösterilmiştir (Vaidyanathan 1993).

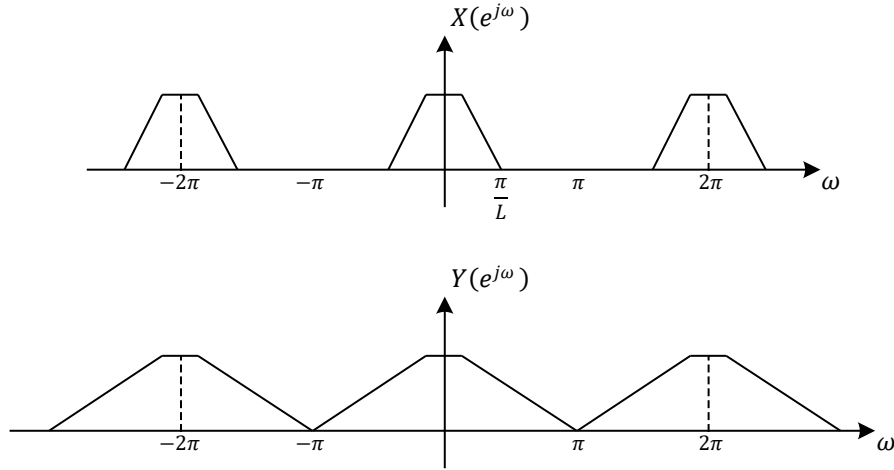
L -katlı alt örnekleme giriş-çıkış ilişkisi frekans ortamında incelenecek olursa aşağıdaki eşitlik elde edilir:

$$Y(e^{j\omega}) = \frac{1}{L} \sum_{k=0}^{L-1} X(e^{j(\omega-2\pi k)/L}) \quad (2.2)$$



Şekil 2.2: $L = 2$ için alt örnekleme işlemine ait giriş ve çıkış işaretleri.

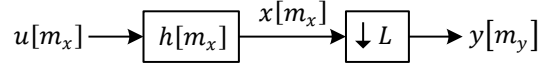
Elde edilen bu sonucu üç adımda özetlemek mümkündür: Öncelikle $X(e^{j\omega})$ L kat gerilerek $X(e^{j\omega/L})$ elde edilir. Daha sonra bu gerilmiş sürüm 2π 'nin ardışık katları kadar kaydırılarak $L - 1$ adet kopya elde edilir. Son olarak tüm kaydırılmış sürümler ve kaydırılmamış sürüm $X(e^{j\omega/L})$ toplanır ve L ile ölçeklendirilir. Gerilmiş sürüm $X(e^{j\omega/L})$ 'nin periyodu 2π değildir, fakat kaydırılmış sürümler eklendikten sonra elde edilen $Y(e^{j\omega})$ 'nin periyodu 2π 'dir. L -katlı alt örnekleme işlemine ait giriş ve çıkış işaretlerinin frekans ortamındaki gösterimleri Şekil 2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.3: L -katlı alt örnekleme işlemine ait giriş ve çıkış işaretlerinin frekans tayfı gösterimi.

Şekil 2.2'de görüldüğü gibi alt örnekleme işlemi sonucunda işaret zaman ortamında daralmaktadır. Buna karşın Şekil 2.3'te görüldüğü üzere zaman ortamındaki bu daralma frekans ortamında genişlemeye karşı gelmektedir. Alt örnekleme işlemine ait girişteki işaretin π/L ile bant sınırlı olmadığı durumda çıkış işaretinde örtüşme oluşacaktır ve çıkış işaretinden giriş işaretini yeniden elde etmek mümkün

olmayacaktır. Bu örtüşmeyi engellemek için alt örnekleme bloğundan önce kesim frekansı π/L 'den düşük olan bir alçak geçiren süzgeç (AGS) kullanılır. Bu süzgece seyrelme süzgeci, bu süzgecin alt örnekleme ile birlikte kullanıldığı Şekil 2.4'teki yapıya ise seyreltici denilmektedir (Karaağaç 2007).

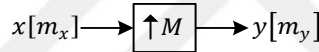


Şekil 2.4: Seyreltici blok diyagramı.

2.2 Üst Örnekleme

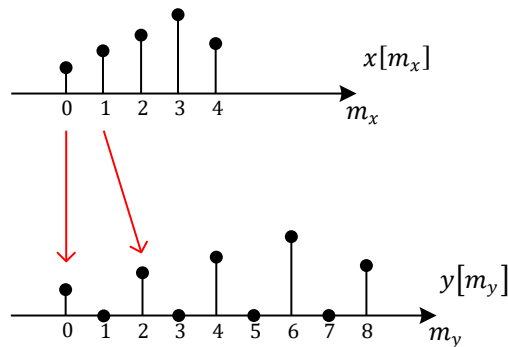
Blok yapısı Şekil 2.5'te gösterilen üst örnekleme giriş ve çıkışı arasında aşağıdaki gibi bir bağıntı söz konusudur (Karaağaç 2007):

$$y[m_y] = \begin{cases} x\left[\frac{m_y}{M}\right], & \text{eğer } m_y, M' \text{ nin tam katıysa} \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (2.3)$$



Şekil 2.5: M-katlı üst örnekleme blok yapısı.

Burada; M bir tamsayıdır ve üst örnekleme çarpanı olarak adlandırılır. Üst örnekleme işaret ve giriş işaretinin indisleri arasında $m_x = m_y/M$ ilişkisi söz konusudur. M -katlı üst örnekleme sonucunda, giriş işareti $x[m_x]$ 'in ardışık örnekleri arasında $M - 1$ adet sıfır değerli örnek eklenerek işaretin örnekleme hızı M kat artırılmış olur. Şekil 2.6'da $M = 2$ için olan durum gösterilmiştir (Vaidyanathan 1993).

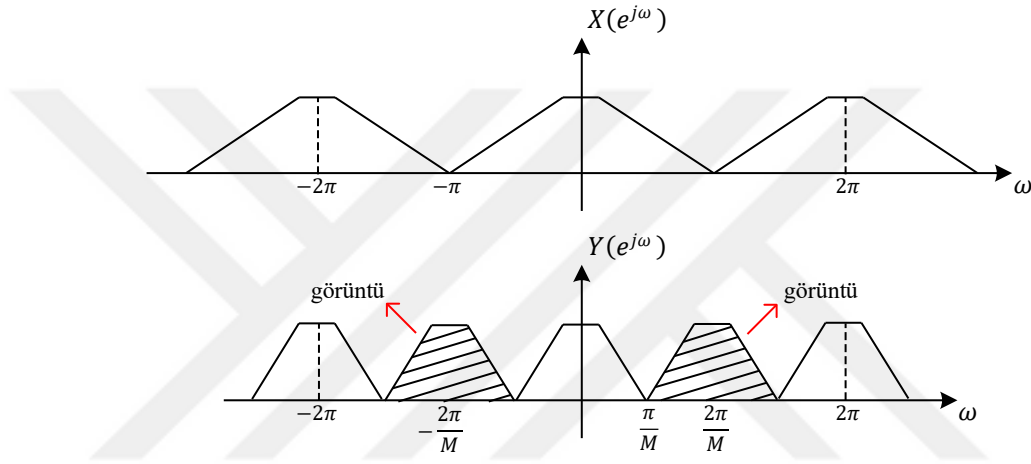


Şekil 2.6: $M = 2$ için üst örnekleme işlemine ait giriş ve çıkış işaretleri.

M -katlı üst örnekleyicinin eşitlik (2.3)'teki giriş-çıkış ilişkisi frekans ortamında incelenecek olursa aşağıdaki eşitlik elde edilir:

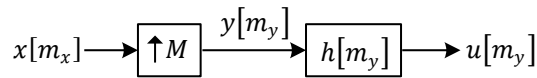
$$Y(e^{j\omega}) = X(e^{j\omega M}) \quad (2.4)$$

Eşitlik (2.4)'te de görüldüğü gibi üst örnekleme sonucunda çıkış işaretinin frekans tayfı giriş işaretininkine göre M kat sıkıştırılır. Bu durum, M -katlı üst örnekleyiciye ait giriş ve çıkış işaretlerinin frekans ortamındaki ifadelerinin verildiği Şekil 2.7'de de görülmektedir.



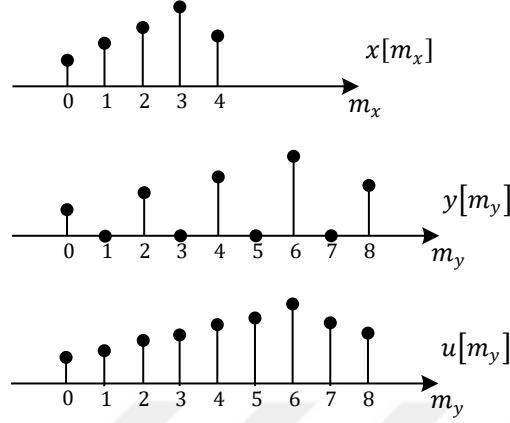
Şekil 2.7: M -katlı üst örnekleyicinin giriş ve çıkış işaretlerinin frekans tayfı gösterimi.

Şekil 2.7'de de görüldüğü gibi özgün işaretin periyodu 2π iken, üst örnekleyicinin çıkışındaki işaretin periyodu $2\pi/M$ 'dir. Üst örnekleme işlemi sonucunda, her $2\pi/M$ merkez frekans değerinde özgün işaretinin tayfındaki temel bileşenin kopyaları oluşmaktadır. Şekil 2.7'de taralı olarak gösterilen bu kopyalara görüntü ismi verilmektedir. Sonuçta $[0, 2\pi]$ aralığında $M - 1$ adet istenmeyen görüntü oluşacaktır. Bu istenmeyen görüntü tayflarını bastırmak için üst örnekleyici bloğundan sonra kesim frekansı π/M 'den düşük olan AGS kullanılır. Bu süzgece ara değerlendirme süzgeci, bu süzgecin üst örnekleyici ile birlikte kullanıldığı Şekil 2.8'deki yapıya ise ara değerlendirici denilmektedir (Karaağaç 2007).



Şekil 2.8: Ara değerlendirici blok diyagramı.

Üst örnekleme çıkışıdaki sıfır değerli örnekler, ara değerlendirme süzgeci sayesinde komşu örneklerinin ortalamasının değerini alırlar ve böylece ara değerlendirilmiş olurlar. Bu durum $M = 2$ için Şekil 2.9'da gösterilmiştir.



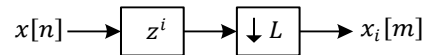
Şekil 2.9: $M = 2$ için ara değerlendirici bloğundaki işaretler.

2.3 Azami Derecede Seyreltilmiş İşaret Kümesi

Ayrık zamanlı herhangi bir $x[n]$ işareti, her adımda zamanda ötelenir ve L çarpanı ile alt örneklenirse, toplam L adım sonucunda L adet düşük örnekleme hızlı işaret $\{x_i[m] | i = 0, 1, \dots, L - 1\}$ oluşacaktır. Bu L adet düşük örnekleme hızlı işarete azami derecede seyreltilmiş işaret kümesi ismi verilmektedir. Buna göre i 'nci düşük hızlı işaret;

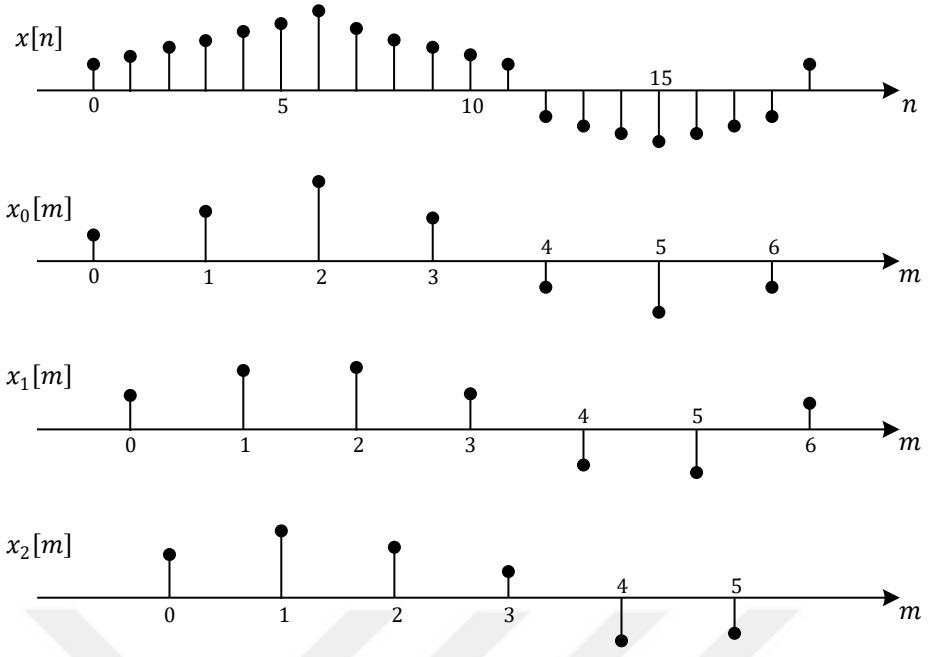
$$x_i[m] = x[n + i] \quad , \quad n = Lm \quad (2.5)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Azami derecede seyreltilmiş işaret kümesindeki i 'nci düşük hızlı işaretin elde edilmesinde kullanılan blok diyagram Şekil 2.10'da verilmiştir.



Şekil 2.10: Azami derecede seyreltilmiş işaret kümesindeki i 'nci işaretin elde edilmesinde kullanılan blok diyagram.

Yüksek hızlı işaret $x[n]$ 'ye ait tüm örnek değerleri, azami derecede seyreltilmiş işaret kümesindeki düşük hızlı işaretler arasında paylaştırılmış durumdadır. Bu durum $L = 3$ için Şekil 2.11'de gösterilmiştir.

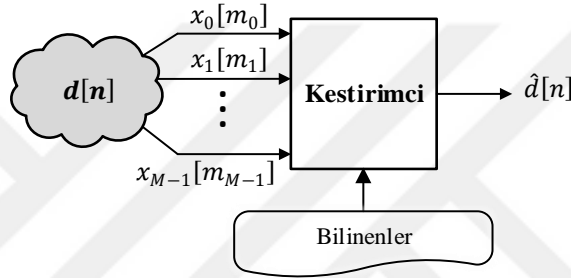


Şekil 2.11: $L = 3$ için özgün işaret ve azami derecede seyreltilmiş işaret kümesi.

3 ÇOKLU HIZLI İŞARET KESTİRİMİ PROBLEMİ

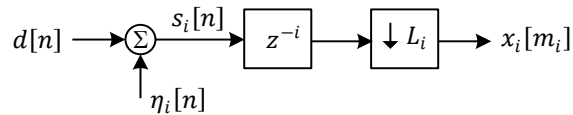
3.1 Problemin Tanımı

Blok yapısı Şekil 3.1’de verilen çoklu hızlı işaret kestirimi probleminde, çoklu hızlı bir sistemdeki gözlemlenemeyen yüksek hızlı bir işaretin $\{d[n]\}$ bazı özelliklerinin bilindiği varsayılarak, harici beyaz Gauss gürültüsü (BGG) ile bozulmuş düşük hızlı gözlem işaretlerinin $\{x_i[m_i] | i = 0, 1, \dots, M - 1\}$ örnek değerlerinden yüksek hızlı işaretin örnek değerlerinin kestirilmesine çalışılmaktadır.



Şekil 3.1: Çoklu hızlı işaret kestiriminin blok yapısı.

$x_i[m_i]$ gözlem işaretleri $d[n]$ 'nin gürültülü, zamanda ötelenmiş ve alt örneklenmiş sürümleridir ve Şekil 3.2’deki gözlem modeli ile elde edildikleri varsayılmaktadır (Scrofani 2005).



Şekil 3.2: i ’nci gözlem işaretinin oluşturulmasında kullanılan model.

Şekil 3.2’yi de dikkate alarak, i ’nci gözlem işareti $x_i[m_i]$ aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$x_i[m_i] = s_i[n - i] \quad , \quad n = L_i m_i \quad (3.1)$$

Bu DÇ gözlem işaretlerinin, arzulanan işaret $d[n]$ ’nin azami derecede seyreltilmiş sürümleri olduğu varsayılmıştır. Bu varsayım çerçevesinde $L_i = L$, $m_i = m$ ve $M = L$ olmaktadır.

3.2 Mevcut Yöntemler

3.2.1 Çoklu Hızlı Wiener Süzgeci

Ortalama kareler anlamında en iyilenmiş olan ve DZPD Wiener süzgeç yapıları, çoklu hızlı işaret kestirimi probleminin çözümünde kullanılan temel bir yöntemdir. Özgün işaret $d[n]$ 'nin DÇ gözlemlerinden kestirilmesi için DZPD Wiener süzgeç yapılarının kullanımı ilk kez Kuchler ve Therrien (2003) tarafından ele alınmış, daha sonra ise Scrofani ve Therrien (2005a) tarafından YÇ işaret ve görüntü geriçatımı probleminde uygulanmıştır.

En iyilenmiş süzgeçleme sürecinin bir parçası olarak, eğer arzu edilen işaret $d[n]$ ve onun DÇ gözlemleri $x_i[m]$ 'ler birlikte GAD ise, $d[n]$ 'nin en iyilenmiş ortalama karesel kestiriminde kullanılacak süzgeçler de DZPD katsayılarına sahip olacaktır (Therrien 2001). Bu durumda arzu edilen işaretin kestirimi aşağıdaki şekilde elde edilir (Kuchler ve Therrien 2003; Scrofani 2005; Scrofani ve Therrien 2005a):

$$\hat{d}[n] = \sum_{i=0}^{M-1} \tilde{\mathbf{x}}_i^{(k)T} \mathbf{h}_i^{(k)} \quad (3.2)$$

Burada $(\cdot)^T$ matris devriği işlecini, $\mathbf{h}_i^{(k)}$ zamanla değişen P uzunluğundaki süzgeç katsayıları kümesini, $\tilde{\mathbf{x}}_i^{(k)}$ ise i 'nci gözlem dizisinin örneklerinden oluşan vektörü belirtmektedir. Periyodik olarak zamanla değişim, $0 \leq k \leq L - 1$ aralığında değişen k indisi ile belirtilmektedir. Burada L sistem periyodudur ve k ile L arasındaki ilişki $k = \langle n \rangle_L$ ile tanımlanmaktadır. $\langle n \rangle_L$, n 'nin L 'ye bölümü sonrasında kalanı ifade eder.

Eşitlik (3.2)'deki i 'nci gözlem vektörü aşağıdaki şekilde tanımlanabilir (Scrofani ve Therrien 2005a):

$$\tilde{\mathbf{x}}_i^{(k)}[n] = \mathbf{D}_L^{\langle (k-i) \rangle_L} \tilde{\mathbf{s}}_i[n] \quad (3.3)$$

Burada $\tilde{\mathbf{s}}_i[n]$, YÇ gürültülü işaret $s_i[n]$ 'nin örnek değerleri kullanılarak aşağıdaki şekilde oluşturulan PL uzunluklu bir sütun vektörüdür (Scrofani ve Therrien 2005a):

$$\tilde{\mathbf{s}}_i[n] = [s_i[n], s_i[n-1], \dots, s_i[n-PL+1]]^T \quad (3.4)$$

$\mathbf{D}_L^{((k-i)_L)}$ ise “zaman gecikmeli seyreltme matrisi” olarak isimlendirilir ve $s_i[n]$ 'den ilgili gözlem vektörüne ait örnekleri elde etmek için kullanılır. $P \times PL$ boyutlu bu matris, Kronecker çarpımı kullanılarak aşağıdaki şekilde tanımlanır (Scrofani ve Therrien 2005a):

$$\mathbf{D}_L^{(k)} = \mathbf{I} \otimes \mathbf{t}_k^T \quad (3.5)$$

Burada \mathbf{I} $P \times P$ boyutlu birim matrisi, \mathbf{t}_k ise $k+1$ 'inci elemanı 1 diğer elemanları 0 olan $L \times 1$ boyutlu indis vektörünü belirtmektedir.

Sonuç olarak, $d[n]$ 'nin eşitlik (3.2) kullanılarak kestirilmesi için gereken zamanla değişen süzgeç katsayıları, aşağıdaki çoklu hızlı Wiener-Hopf denklem kümesinin $0 \leq k \leq L-1$ için çözülmesi ile elde edilebilir (Kuchler ve Therrien 2003):

$$\begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{R}}_{0,0}^{(k)} & \tilde{\mathbf{R}}_{0,1}^{(k)} & \cdots & \tilde{\mathbf{R}}_{0,L-1}^{(k)} \\ \left(\tilde{\mathbf{R}}_{0,1}^{(k)}\right)^H & \tilde{\mathbf{R}}_{1,1}^{(k)} & \cdots & \tilde{\mathbf{R}}_{1,L-1}^{(k)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \left(\tilde{\mathbf{R}}_{0,L-1}^{(k)}\right)^H & \left(\tilde{\mathbf{R}}_{1,L-1}^{(k)}\right)^H & \cdots & \tilde{\mathbf{R}}_{L-1,L-1}^{(k)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \left(\mathbf{h}_0^{(k)}\right)^* \\ \left(\mathbf{h}_1^{(k)}\right)^* \\ \vdots \\ \left(\mathbf{h}_{L-1}^{(k)}\right)^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left(\tilde{\mathbf{r}}_{d,0}^{(k)}\right)^* \\ \left(\tilde{\mathbf{r}}_{d,1}^{(k)}\right)^* \\ \vdots \\ \left(\tilde{\mathbf{r}}_{d,L-1}^{(k)}\right)^* \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

Burada $(\cdot)^*$ ve $(\cdot)^H$ sırasıyla karmaşık eşlenik ve karmaşık eşlenik devrik (Hermitian) işlemlerini belirtmektedir.

Eşitlik (3.6)'daki ilişki vektör ve matrisleri aşağıda tanımlanmıştır:

$$\tilde{\mathbf{r}}_{d,i}^{(k)} = \mathbf{D}_L^{((k-i)_L)} \tilde{\mathbf{r}}_{d,i} \quad (3.7)$$

$$\tilde{\mathbf{R}}_{i,j}^{(k)} = \mathbf{D}_L^{((k-i)_L)} \tilde{\mathbf{R}}_{i,j} \left(\mathbf{D}_L^{((k-j)_L)}\right)^H \quad (3.8)$$

Eşitlik (3.7)'deki $\tilde{\mathbf{r}}_{d,i}$ sütun vektörleri ve eşitlik (3.8)'deki $\tilde{\mathbf{R}}_{i,j}$ matrisleri aşağıdaki topluluk ortalamaları hesaplanarak oluşturulurlar:

$$\tilde{\mathbf{r}}_{d,i} = E\{d[n](\tilde{\mathbf{s}}_i[n])^*\} \quad (3.9)$$

$$\tilde{\mathbf{R}}_{i,j} = E\{\tilde{\mathbf{s}}_i[n](\tilde{\mathbf{s}}_j[n])^H\}. \quad (3.10)$$

Burada $E\{\cdot\}$ beklenen değer işlecini göstermektedir. Durağanlık şartlarını da dikkate alarak, (3.9) ve (3.10) eşitliklerindeki topluluk ortalamaları, aşağıdaki zaman ortalamaları hesaplanarak yaklaşık olarak elde edilebilir:

$$E\{d[n](\tilde{\mathbf{s}}_i[n])^*\} = \frac{1}{N - PL + 1} \sum_{n=PL-1}^{N-1} d[n](\tilde{\mathbf{s}}_i[n])^* \quad (3.11)$$

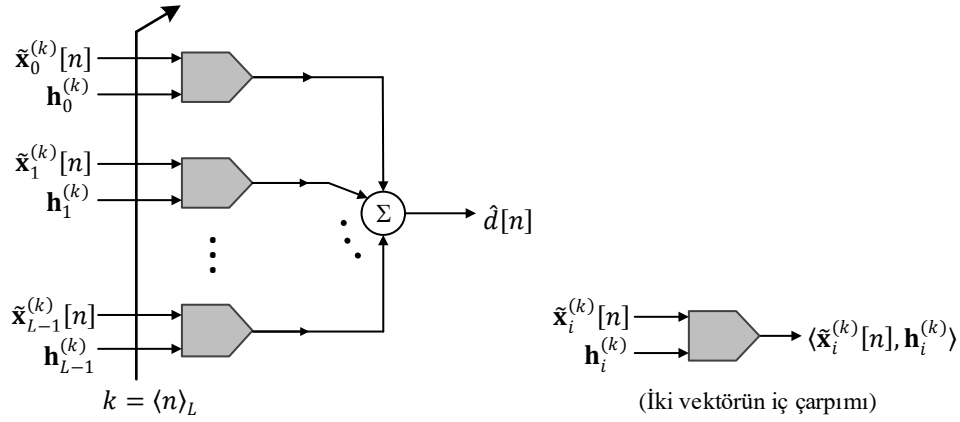
$$E\{\tilde{\mathbf{s}}_i[n](\tilde{\mathbf{s}}_j[n])^H\} = \frac{1}{N - PL + 1} \sum_{n=PL-1}^{N-1} \tilde{\mathbf{s}}_i[n](\tilde{\mathbf{s}}_j[n])^H \quad (3.12)$$

Burada N arzulanan işaret $d[n]$ 'nin toplam örnek sayısını belirtmektedir. Dikkat edilirse, eşitlik (3.4)'teki $\tilde{\mathbf{s}}_i[n]$ vektöründe $n < 0$ için olan örnek değerlerine ihtiyaç duyulmaması için, eşitlik (3.11) ve (3.12)'deki zaman ortalamaları $d[n]$ 'nin $PL - 1 \leq n \leq N - 1$ aralığına denk gelen örnekleri üzerinden hesaplanmıştır. Aynı nedenden dolayı, $d[n]$ 'nin eşitlik (3.2) ile tanımlanan kestirimi de yine $PL - 1 \leq n \leq N - 1$ aralığı boyunca gerçekleştirilmektedir.

Son olarak yukarıda ana hatlarıyla anlatılan, YÇ arzulanan işaretin DÇ gürültülü gözlemlerinden geriçatılması için kullanılan en iyilenmiş süzgeçleme sürecine ait blok şeması gösterimi Şekil 3.3'te verilmiştir. Bu geriçatım sürecine ait işlem adımları ise Tablo 3.1'de özetlenmiştir.

Dikkat edilirse YÇ işaret vektörü $\tilde{\mathbf{s}}_i[n]$ (3.9) ve (3.10) eşitliklerindeki ilişki vektör ve matrislerini hesaplariken kullanılmaktadır. Hâlbuki gürültülü YÇ işaretler $s_i[n]$ 'lerin örnekleri gerçekte gözlemlenebilir değildir. Bu sorunun üstesinden gelmek için, gürültülü DÇ gözlem işaretleri $x_i[m]$ 'ler üst örneklenip ardından zamanda ötelenerek gürültülü YÇ çözünürlüklü işaretlerin sahte sürümleri üretilebilir. Bu gürültülü YÇ işaretlerin sahte sürümlerindeki üst örneklemeden kaynaklı sıfır değerli örnekler kestirim sürecinde bir sorun oluşturmayacaktır, çünkü eşitlik (3.3)'teki

gözlem vektörünün hesaplanması sırasında zaman gecikmeli seyreltme matrisi sayesinde bu sıfır değerli örnekler kullanılmayacaktır.



Şekil 3.3: DZPD Wiener süzgeç yapıları kullanılarak YÇ işaret geriçatımına ait blok şeması.

Tablo 3.1: DZPD Wiener süzgeç yapıları kullanılarak YÇ işaret geriçatımına ait işlem adımları.

- 1) $x_i[m]$ işaretleri üst örnekleme ve zaman kaydırma ile $s_i[n]$ işaretleri oluşturulur,
- 2) Eşitlik (3.4)'teki $\tilde{\mathbf{x}}_i[n]$ vektörleri oluşturulur,
- 3) Eşitlik (3.9) ve (3.10) kullanılarak, (3.7) ve (3.8)'deki ilişki vektör ve matrisleri hesaplanır,
- 4) Eşitlik (3.6)'daki Wiener-Hopf denklemleri çözülerek DZPD süzgeç katsayı vektörleri $\mathbf{h}_i^{(k)}$ 'ler elde edilir,
- 5) Eşitlik (3.3)'teki $\tilde{\mathbf{x}}_i^{(k)}[n]$ vektörü hesaplanır,
- 6) Eşitlik (3.2) kullanılarak YÇ işaret kestirimi $\hat{d}[n]$ elde edilir.

3.2.2 Çoklu Hızlı EKOK Süzgeci

Çoklu hızlı işaret kestirimi probleminin çözümü için kullanılan bir diğer yöntem de Hawes ve Therrien (2003)'in geliştirdiği EKOK yaklaşımına dayalı çoklu hızlı uyarlamalı süzgeç yapısıdır.

Çoklu hızlı süzgeç yapısına geçmeden önce tekli hızlı yapıyı temel hatlarıyla ele alalım. Uyarlamalı süzgeçlemede süzgeçlenecek veri, en iyilenmiş süzgeç katsayılarını bulmak için kullanılır. EKOK süzgeçleme, tüm uyarlamalı süzgeçleme yöntemleri içerisinde önemli bir yere sahiptir. Bilindiği gibi önce keyfi bir süzgeç katsayıları kümesi seçilir ve bu katsayılar her yeni zaman adımı n 'de gözlemlenen yeni veriye bağlı olarak güncellenir. Eğer veri GAD ise ve (birazdan tanımlanacak olan) adım büyüklüğü uygun seçildiyse, süzgeç katsayıları Wiener-Hopf denklemleriyle tanımlanan en iyilenmiş katsayı değerlerine yakınsayacaktır. Eğer veri GAD değilse, süzgeç katsayıları veri için en uygun zamanla değişen süzgeci izleme eğiliminde

olacaktır (Haykin 2001). EKOK tabanlı süzgeçleme yordamında süzgeç katsayıları aşağıdaki denklemle güncellenir:

$$\mathbf{w}[n + 1] = \mathbf{w}[n] + \mu e[n] \mathbf{x}[n] \quad (3.13)$$

Burada $\mathbf{w}[n]$ ve $\mathbf{x}[n]$, sırasıyla n anındaki süzgeç katsayı vektörünü ve gözlem verisine ait örneklerden oluşan vektörü; μ ise adım büyüklüğünü belirtir. n anındaki hata değeri ise aşağıdaki şekilde tanımlanır:

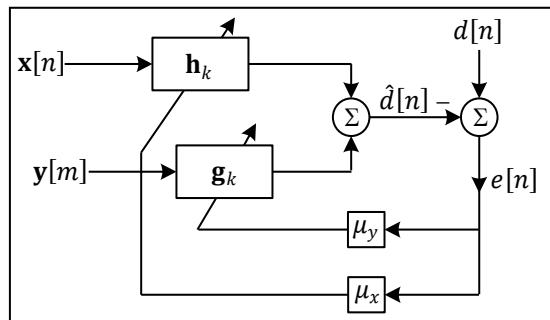
$$e[n] = d[n] - \mathbf{w}^T[n] \mathbf{x}[n] \quad (3.14)$$

Uygun seçilmiş adım büyüklüğü değerleri için, süzgeç katsayıları Wiener çözümüne yakınsayacaktır. Pratik nedenlerden dolayı adım büyüklüğünün değer alabileceği alt ve üst sınırlar aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır (Haykin 2001):

$$0 < \mu < \frac{2}{PR_x[0]} \quad (3.15)$$

Burada P ve $R_x[0]$, sırasıyla süzgeç mertebesini ve sıfır ortalamalı gözlem verisine ait özilişki dizisinin değışintisini (varyansını) yani işaretin gücünü gösterir.

Çoklu hızlı EKOK tabanlı süzgeçlemede YÇ arzulanan işaret olan $d[n]$ 'nin kestirimini gerçekleştirmek için, $s[n] = d[n] + \eta[n]$ şeklindeki gürültülü YÇ işaretin farklı örnekleme hızlarındaki sürümleri olan gözlem işaretleri kullanılmaktadır. Burada $\eta[n]$, toplamsal gürültü işaretini belirtmektedir. Şekil 3.4'te biri tam hızda örneklenmiş $x[n]$, diğeri K kat düşük hızda örneklenmiş $\{y[m] | m = 0, 1, \dots, M - 1\}$ şeklindeki gözlem işaretleri kullanılarak YÇ $d[n]$ işaretinin kestirimi için kullanılan çoklu hızlı EKOK süzgecinin blok diyagramı verilmiştir.



Şekil 3.4: Çoklu hızlı EKOK süzgecinin blok diyagramı.

Şekil 3.4'teki gösterimde $k = 0, 1, \dots, K - 1$ olmak üzere n ve k arasındaki ilişki $n = Km + k$ ile tanımlıdır. Yüksek hızlı veri örneklerinden oluşan $P \times 1$ boyutlu \mathbf{x} vektörü ve düşük hızlı veri örneklerinden oluşan $Q \times 1$ boyutlu \mathbf{y} vektörü aşağıdaki eşitliklerde tanımlanmıştır (Hawes ve Therrien 2003):

$$\mathbf{x}[n] = [x[n] \quad x[n-1] \quad \dots \quad x[n-(P-1)]]^T \quad (3.16)$$

$$\mathbf{y}[m] = [y[m] \quad y[m-1] \quad \dots \quad y[m-(Q-1)]]^T \quad (3.17)$$

Burada P ve Q sırasıyla yüksek hızlı ve düşük hızlı giriş verileri için süzgeç mertebelerini belirtmektedir. Arzu edilen işaretin kestirimi, (3.16) ve (3.17)'den faydalanılarak aşağıdaki eşitlik kullanılarak elde edilir:

$$\hat{d}[n] = \mathbf{h}_k^T \mathbf{x}[n] + \mathbf{g}_k^T \mathbf{y}[m]; \quad n = Km + k \quad (3.18)$$

Burada \mathbf{h}_k ve \mathbf{g}_k sırasıyla yüksek hızlı ve düşük hızlı veriler için $P \times 1$ ve $Q \times 1$ boyutlu süzgeç katsayı vektörleri olup bu vektörler zamanla güncellenir. Herhangi bir n anındaki katsayı vektörleri, $n = Km + k$ olmak üzere $\mathbf{h}_k[m]$ ve $\mathbf{g}_k[m]$ ile tanımlanır. Bu durumda arzulanan işaret $d[n]$ 'nin kestirimi şu şekilde elde edilir (Hawes ve Therrien 2003):

$$\hat{d}[n] = \mathbf{h}_k^T[m] \mathbf{x}[n] + \mathbf{g}_k^T[m] \mathbf{y}[m]; \quad k = \langle n \rangle_K \quad (3.19)$$

Hata işareti ise aşağıdaki gibidir:

$$e[n] = d[n] - \hat{d}[n] \quad (3.20)$$

Katsayı vektörlerinin güncellenmesi aşağıdaki eşitliklerle gerçekleştirilmektedir:

$$\mathbf{h}_k[m+1] = \mathbf{h}_k[m] + \mu_x e[n] \mathbf{x}[n] \quad (3.21)$$

$$\mathbf{g}_k[m+1] = \mathbf{g}_k[m] + \mu_y e[n] \mathbf{y}[m] \quad (3.22)$$

Burada μ_x ve μ_y , sırasıyla yüksek hızlı ve düşük hızlı veriler için tanımlanan adım büyüklükleridir. Çoklu hızlı EKOK yordamının işleyişi, adım adım Tablo 3.2'de verilmiştir (Hawes ve Therrien 2003).

Tablo 3.2: Çoklu hızlı EKOK yordamına ait işlem adımları.

1. YÇ ve DÇ veriler için kestirim başlangıç indisleri: n_0, m_0
2. Süzgeç katsayı vektörlerinin başlangıç değerleri: $\mathbf{h}_k[0] = \mathbf{0}$ ve $\mathbf{g}_k[0] = \mathbf{0}$; $k = 0, 1, \dots, K - 1$.
3. $i = 0$
4. $\mathbf{y}[i] = [y[m_0 + i], \dots, y[m_0 + i - Q + 1]]^T$
5. $k = 0$
6. $d_k[i] = d[n_0 + iK + k]$
7. $\mathbf{x}_k[i] = [x[n_0 + iK + k], \dots, x[n_0 + iK + k - P + 1]]^T$
8. $\hat{d}_k[i] = \mathbf{h}_k^T[i] \mathbf{x}_k[i] + \mathbf{g}_k^T[i] \mathbf{y}[i]$
9. $e_k[i] = d_k[i] - \hat{d}_k[i]$
10. $\mathbf{h}_k[i + 1] = \mathbf{h}_k[i] + \mu_x e_k[i] \mathbf{x}_k[i]$
11. $\mathbf{g}_k[i + 1] = \mathbf{g}_k[i] + \mu_y e_k[i] \mathbf{y}[i]$
12. $k = k + 1$
13. $k \leq K - 1$ için 6-12 adımları tekrar edilir.
14. $i = i + 1$
15. $i \leq M - 1$ için 4-14 adımları tekrar edilir.

Tablo 3.2'deki yordam adımlarından da görüldüğü gibi zamanla değişen veri süzgeçlerinin periyodu K 'dir. Bu durumda yüksek ve düşük hızlı veri süzgeçleri için sırasıyla toplam PK ve QK katsayı kullanılacaktır. Yüksek hızlı durum için tüm katsayıları içeren $P \times K$ boyutlu aşağıdaki gibi bir matris tanımlanabilir:

$$\mathbf{H}[i] = \begin{bmatrix} \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{h}_0[i] & \mathbf{h}_1[i] & \ddots & \mathbf{h}_{K-1}[i] \\ \vdots & \vdots & & \vdots \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

$\mathbf{H}[i]$ matrisinin her bir sütunu, $k = 0, 1, \dots, K - 1$ şeklinde bir periyottaki her bir adım için olan süzgeç katsayı vektörünü göstermektedir. Tablo 3.2'deki yordam adımlarından da görüldüğü gibi arzu edilen işaretin her bir örneğinin kestiriminde, $\mathbf{H}[i]$ matrisinin sadece bir sütunu güncellenmektedir. Yani $\mathbf{H}[i]$ matrisinin belirli bir sütunundaki katsayı vektörü, özgün işaretin her K örneğinde bir güncellenmektedir.

Benzer şekilde düşük hızlı durum için tüm katsayıları içeren $Q \times K$ boyutlu bir matris tanımlanabilir:

$$\mathbf{G}[i] = \begin{bmatrix} \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{g}_0[i] & \mathbf{g}_1[i] & \ddots & \mathbf{g}_{K-1}[i] \\ \vdots & \vdots & & \vdots \end{bmatrix} \quad (3.24)$$

$\mathbf{G}[i]$ matrisinin de belirli bir sütunundaki katsayı vektörü, özgün işaretin her K rneğinde bir güncellenmektedir.



4 ÇOKLU HIZLI İŞARET KESTİRİMİ İÇİN ÖNERİLEN YÖNTEMLER

Tez çalışmasında, çoklu hızlı işaret kestirimiyle ilgili mevcut yöntemlere alternatif olabilecek çeşitli yöntemler önerilmiştir. Bu bölümde tüm bu yöntemler ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

4.1 Çoklu Hızlı Wiener Süzgecinin Başarımının İyileştirilmesi İçin Önerilen İki Görgül Yöntem

Bu çalışmada, Bölüm 3.2.1’de bahsedilen DZPD Wiener süzgeç yapılarının kullanımına dayalı YÇ işaret geriçatımı sürecinin başarımının iyileştirilmesi için, GKA ve EKK-DVM eğri uydurma tabanlı gürültü azaltma şemalarını bu süzgeç yapıları ile birleştiren iki görgül yöntem önerilmiştir (Ükte ve diğ. 2014a). Yöntemlerden ilki DZPD Wiener süzgeç yapılarını GKA tabanlı gürültü azaltma şemaları ile birleştirirken, ikincisi ise DZPD Wiener süzgeç yapılarını hem GKA hem de EKK-DVM eğri uydurma tabanlı gürültü azaltma şemaları ile birleştirmektedir. Bu yöntemlerin ana fikri, DÇ gürültülü gözlem işaretlerini doğrudan DZPD Wiener süzgeçlere uygulamadan önce, bu işaretlerdeki harici BGG etkisinin azaltılmasına dayanmaktadır (Elbi ve Kızılkaya 2012).

4.1.1 DZPD Wiener Süzgeçleri GKA-Tabanlı Gürültü Azaltma Şemalarıyla Birleştiren Yöntem

Huang ve diğ. (1996) tarafından keşfedilen Hilbert-Huang dönüşümünün bir parçası olan GKA herhangi bir işareti, frekansları azalacak şekilde sıralanan ÖK işlevlerine ve tekdüze bir artık bileşene ayrıştıran bir yöntemdir (Huang ve diğ. 1996; Huang ve diğ. 1998). ÖK işlevi, toplam uçdeğer (ekstremum) ve sıfır geçiş nokta sayıları arasındaki mutlak farkın en fazla bire eşit olması gereken ve sırasıyla yerel maksimum noktaları ve yerel minimum noktaları ile oluşturulan iki adet zarfının her nokta için ortalamasının sıfır olması gereken bir zaman dizisi olarak tanımlanır (Huang

ve diğ. 1998). ÖK işlevlerinin ve artık bileşenin elde edilmesi için kullanılan ve eleme süreci olarak isimlendirilen sistematik yapı aşağıda ana hatlarıyla anlatılmıştır.

Eleme sürecinin başlangıcında, $r_0[n]$ 'nin ayrıştırılacak olan T uzunluklu $x[n]$ işaretine eşit olduğu varsayılır:

$$r_0[n] = x[n] \quad (4.1)$$

İşaretin uçdeğer noktalarının belirlenmesinden sonra, *küçük-spline* ara değerlendirme yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen eğri uydurma ile üst ve alt zarflar oluşturulur. Bu zarfların ortalama değerlerinden oluşturulan $\mu_0[n]$ dizisi eşitlik (4.1)'deki işareten çıkartılarak aşağıda tanımlanan ilk bileşen elde edilir ve eleme sürecinin ilk adımı tamamlanmış olur.

$$h_{10}[n] = r_0[n] - \mu_0[n] \quad (4.2)$$

Eleme sürecinin ikinci adımında eşitlik (4.2) ile elde edilen $h_{10}[n]$ yeni işaret olarak ele alınır. Bu yeni işaretin zarflarının ortalaması $\mu_{10}[n]$ olarak adlandırılacak olursa, ikinci bileşen aşağıdaki şekilde elde edilir:

$$h_{11}[n] = h_{10}[n] - \mu_{10}[n] \quad (4.3)$$

Eleme süreci, elde edilen bileşen ÖK işlevi tanımındaki şartları sağlayıncaya kadar tekrar ettirilir. Eleme sürecinin $q + 1$ kez tekrar ettirilmesi ile $c_1[n]$ olarak isimlendirilen aşağıdaki ilk ÖK işlevine ulaşıldığını varsayalım.

$$c_1[n] = h_{1q}[n] \quad (4.4)$$

Burada sıralı bileşenler arasında aşağıda verilen ilişki söz konusudur:

$$h_{1(q-1)}[n] - \mu_{1(q-1)}[n] = h_{1q}[n] \quad , \quad q \geq 1 \quad (4.5)$$

Burada $\mu_{1(q-1)}[n]$, $q \geq 1$ için (4.2) ve (4.3) eşitlikleri kullanılarak oluşturulan $h_{1(q-1)}[n]$ işaretinin üst ve alt zarflarının ortalama dizisini belirtmektedir.

Eleme süreci, $h_{1q}[n]$ ÖK işlevi tanımındaki şartları sağladığında veya aşağıda tanımlanan standart sapma tabanlı durdurma ölçütü önceden belirlenmiş ϵ eşik değerinden daha küçük bir değer aldığı anda durdurulur.

$$SD = \sum_{n=0}^{T-1} |h_{1(q-1)}[n] - h_{1q}[n]|^2 / h_{1(q-1)}^2[n] \quad (4.6)$$

$x[n]$ (veya $r_0[n]$) işareti için ikinci ÖK işlevini elde etmek için öncelikle $c_1[n]$ aşağıdaki şekilde veriden çıkartılır.

$$r_1[n] = r_0[n] - c_1[n] \quad (4.7)$$

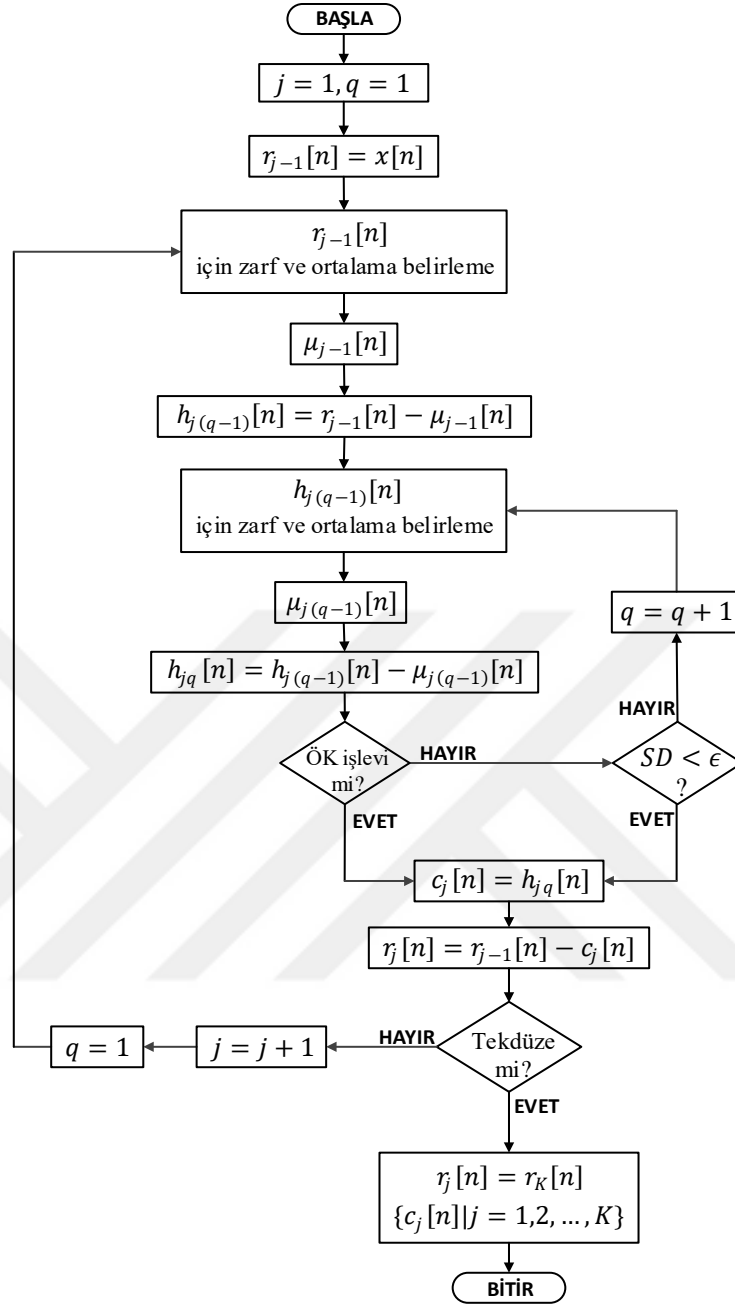
Eşitlik (4.7)'deki çıkarma işlemi sonucunda kalan işaret olarak elde edilen $r_1[n]$ artık yeni veri olarak ele alınır. $x[n]$ işaretinin ikinci ÖK işlevini bulmak için (4.2)-(4.6) aralığındaki eşitliklerdeki hesaplamalar $r_1[n]$ 'ye uygulanır. Bu süreç, $x[n]$ 'nin olası tüm ÖK işlevleri elde edilene kadar aşağıdaki gibi tekrar edilir:

$$r_l[n] = r_{l-1}[n] - c_l[n], \quad 2 \leq l \leq K \quad (4.8)$$

Eşitlik (4.8)'deki sürecin son adımında elde edilen $r_K[n]$, tekdüze bir işlev olduğu için ve kendisinden yeni bir ÖK işlevi elde edilemeyeceği için, artık bileşen olarak adlandırılır. Aynı sebeple $c_K[n]$ de $x[n]$ işaretinin son ÖK işlevidir (Huang ve diğ. 1998). (4.1)-(4.8) arasındaki eşitlikler ile gerçekleştirilen $x[n]$ işaretinin GKA sürecine dair akış diyagram Şekil 4.1'de verilmiştir.

GKA sürecinin sonunda $x[n]$ işareti, aşağıda da görüldüğü gibi ÖK işlevi olarak adlandırılan K adet görgül kipe ve bir adet tekdüze artık diziye ayrışır:

$$x[n] = \sum_{k=1}^K c_k[n] + r_K[n] \quad (4.9)$$



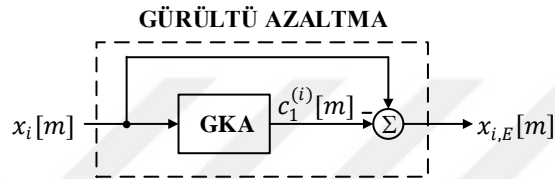
Şekil 4.1: GKA sürecinin akış diyagramı.

Önerilen ilk yöntem kapsamında öncelikle her gürültülü DÇ gözlem işareti $x_i[m]$ 'ye GKA uygulanır. $\{c_k^{(i)}[m] | k = 1, 2, \dots, K_i\}$ ve $r_{K_i}[m]$, $x_i[m]$ işaretine GKA uygulandıktan sonra elde edilen ÖK işlevleri ve tekdüze artık işlev olsun. Bu durumda eşitlik (4.9) DÇ gözlem işareti $x_i[m]$ için yeniden yazıldığında aşağıdaki eşitlik elde edilir:

$$x_i[m] = \sum_{k=1}^{K_i} c_k^{(i)}[m] + r_{K_i}[m] \quad (4.10)$$

Bilindiği gibi harici BGG tüm frekans tayfını kapsayan frekans bileşenlerine sahiptir. Bununla birlikte i 'nci DÇ gözlem işareti $x_i[m]$ 'ye ait ilk ÖK işlevi olan $c_1^{(i)}[m]$, $x_i[m]$ 'nin en yüksek frekanslı bileşenleri ile ilişkilidir (Huang ve diğ. 1998). Bu yüzden $c_1^{(i)}[m]$ 'nin büyük ölçüde harici BGG ile bağlantılı olduğu düşünülebilir (Wu ve Huang 2004). Bu düşünce doğrultusunda, Şekil 4.2'de de gösterildiği gibi eşitlik (4.10)'daki DÇ gürültülü işaretin gürültüsü azaltılmış sürümü, bu işaretten ilk ÖK işlevini çıkartarak elde edilebilir:

$$x_{i,E}[m] = x_i[m] - c_1^{(i)}[m] \quad (4.11)$$



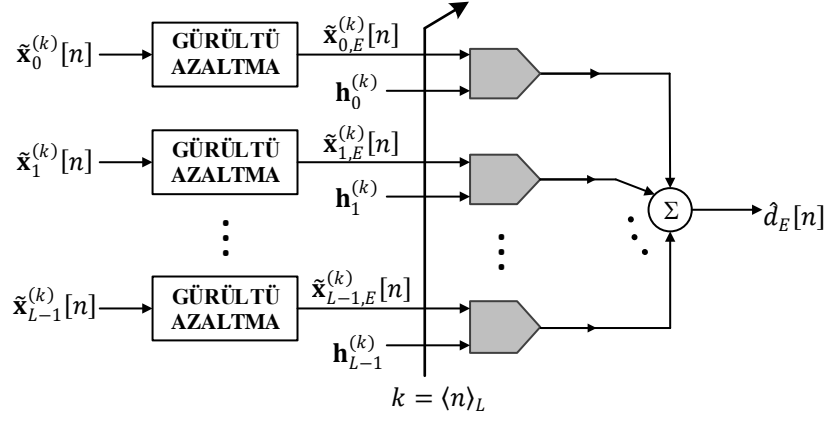
Şekil 4.2: i 'nci gözlem işaretinin gürültüsünün GKA ile azaltılması.

Şekil 4.2'deki gürültü azaltma şemasından da anlaşılacağı gibi, DÇ gürültülü gözlem işaretlerinin, GKA ile sadece ilk ÖK işlevlerinin elde edilmesi yeterli olacaktır.

Şekil 4.3'te de görüldüğü gibi, eşitlik (4.11) ile elde edilen gürültüleri azaltılmış DÇ gözlem işaretleri $\{x_{i,E}[m] | i = 1, 2, \dots, L - 1\}$ DZPD Wiener süzgeçlere uygulanır ve böylece YÇ kestirim işareti $\hat{d}_E[n]$ elde edilmiş olur. Şekil 4.3'teki gürültü azaltma bloklarının iç yapıları Şekil 4.2'de verilmiştir. Şekil 4.3'teki yapı ile elde edilen YÇ kestirim işareti $\hat{d}_E[n]$ 'deki gürültü seviyesinin, Şekil 3.3'teki sadece Wiener süzgeçlerin kullanıldığı yapı ile elde edilen kestirim işareti $\hat{d}[n]$ 'ye göre daha düşük olması beklenmektedir. Bu geriçatım sürecine ait işlem adımları Tablo 4.1'de özetlenmiştir.

Tablo 4.1: DZPD Wiener süzgeçleri GKA-tabanlı gürültü azaltma şemalarıyla birleştiren yöntem kullanılarak YÇ işaret geriçatımına ait işlem adımları.

- 1) i 'nci DÇ gözlem işareti $x_i[m]$ 'nin ilk ÖK işlevi $c_1^{(i)}[m]$ GKA ile elde edilir,
- 2) Gürültüsü azaltılmış DÇ gözlem işaretleri $x_{i,E}[m]$ 'ler Eşitlik (4.11) ile elde edilir,
- 3) Tablo 3.1'de anlatılan yöntemde $x_i[m]$ 'ler yerine $x_{i,E}[m]$ işaretleri kullanılarak YÇ kestirim işareti $\hat{d}_E[n]$ elde edilir.



Şekil 4.3: YÇ işaretin kestirimi için DZPD Wiener süzgeçleri GKA-tabanlı gürültü azaltma şemalarıyla birleştiren yöntemin blok gösterimi

4.1.2 DZPD Wiener Süzgeçleri GKA- ve EKK-DVM-Tabanlı Gürültü Azaltma Şemalarıyla Birleştiren Yöntem

Temelleri Cortes ve Vapnik (1995) tarafından atılan destek vektörü makineleri (DVM) çekirdek tabanlı bir öğrenme yöntemidir. Çekirdek tabanlı algoritmalar genel itibariyle analitik olarak çözülebilen, konveks eniyileme yöntemleridir. DVM öğrenme tekniğinde, veriyi doğru olarak sınıflandıracak hipotezin seçimi çok önemlidir. Böyle bir hipotez bulunması genellikle mümkün olmadığından modellenecek veriler, çekirdek fonksiyonları kullanılarak daha üst boyutlu uzaylarda ifade edilmektedir (Alpaydın 2010; Elbi ve Kızılkaya 2012).

Önerilen yöntemde, öğrenme hızı sebebiyle EKK-DVM yöntemi kullanılmış ve süzülmesi gereken verinin en yüksek dereceli uzayda ifade edilebilmesi için aşağıda tanımlanan radyal tabanlı Gauss çekirdek fonksiyonu seçilmiştir (Alpaydın 2010; Elbi ve Kızılkaya 2012; Suykens ve diğ. 2002; Vapnik 2000):

$$H(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) = e^{-\|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j\|^2 / \sigma^2} \quad (4.12)$$

M_i örnekten oluşan her bir DÇ gözlem işaretine bir eğri uydurmak için kullanılan hipotez aşağıda verilmiştir:

$$x_{i,EL}[m] = \sum_{k=1}^{M_i} \alpha_k H(m, k) + b \quad (4.13)$$

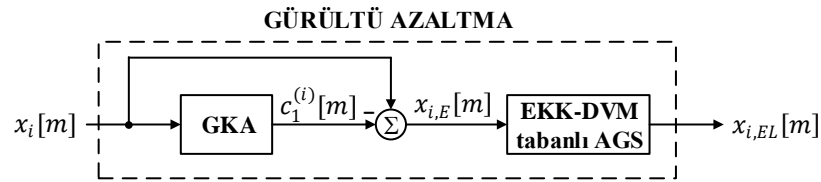
Burada α_k ve b sırasıyla Lagrange çarpanlarını ve öteleme terimini (bias) belirtmektedir.

Bu yöntemde, Şekil 4.2'deki yapılar kullanılarak elde edilen gürültüleri azaltılmış DÇ gözlem işaretleri, aşağıda tanımlı doğrusal denklem sisteminin çözülmesi yoluyla öteleme terimi ve Lagrange çarpanlarının hesaplanmasında kullanılırlar:

$$\begin{bmatrix} b \\ \alpha_1 \\ \vdots \\ \alpha_{M_i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & \cdots & 1 \\ 1 & H(1,1) + \gamma & \cdots & H(1, M_i) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & H(M_i, 1) & \cdots & H(M_i, M_i) + \gamma \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ x_{i,E}[1] \\ \vdots \\ x_{i,E}[M_i] \end{bmatrix}. \quad (4.14)$$

Eşitlik (4.14)'teki γ katsayısı, M_i uzunluklu i 'nci DÇ gözlem verisine yüksek hassasiyetli bir eşleme sağlamak için kullanılır.

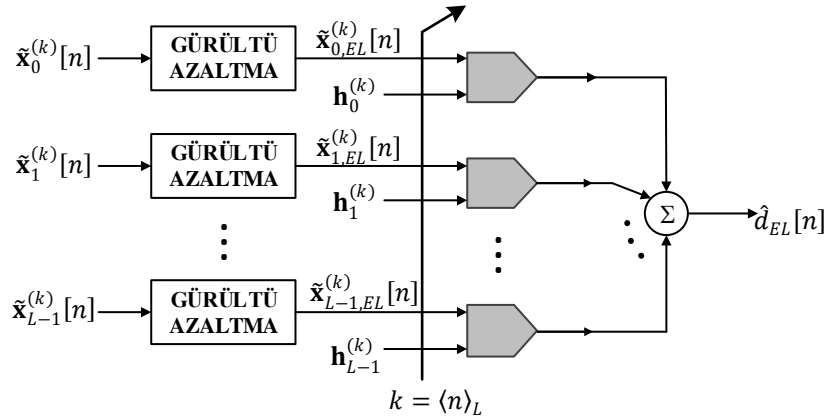
Doğrusal veya doğrusal olmayan işaretlerin tanımlanmasında, eğitim verisinin uzunluğu arttıkça model özgün işarete yaklaşır. Diğer yandan eğitim verisinin toplanması sırasında oluşan gürültü modelin işareten uzaklaşmasına sebep olur. Bu yüzden kullanılan yöntemlerin gürbüzlüğü modelin doğruluğu için oldukça önemlidir (Alpaydın 2010; Suykens ve diğ. 2002). Bu nedenden dolayı bu çalışmada gürültünün etkin bir biçimde süzülmesi için EKK-DVM tercih edilmiştir. Gauss tabanlı çekirdek fonksiyonlarının yapısı gereği, eşitlik (4.12)'deki σ değeri arttıkça modelin genelleme yeteneği artar. Bu durumda model aykırı veriden daha az etkilenir ve bir AGS gibi davranır (Elbi ve Kızılkaya 2012). (4.11) ve (4.13) eşitlikleri kullanılarak gerçekleştirilen gürültü azaltma işlemi Şekil 4.4'te betimlenmiştir.



Şekil 4.4: GKA ve EKK-DVM eğri uydurma tabanlı teknikler kullanılarak i 'nci DÇ gözlemin gürültüsünün azaltılması.

Bu yöntemde, eşitlik (4.13) ile elde edilen neredeyse gürültüsüz DÇ işaretler $\{x_{i,EL}[m] | i = 1, 2, \dots, L - 1\}$, Şekil 4.5'te gösterildiği gibi DZPD Wiener süzgeçlere

uygulanır ve böylece YÇ kestirim işareti $\hat{d}_{EL}[n]$ elde edilmiş olur. Şekil 4.5'teki gürültü azaltma bloklarının iç yapıları Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.5: YÇ işaretin kestirimi için DZPD Wiener süzgeçleri GKA ve EKK-DVM tabanlı gürültü azaltma şemalarıyla birleştiren yöntemin blok gösterimi

Bu geriçatım sürecine ait işlem adımları Tablo 4.2'de özetlenmiştir.

Tablo 4.2: DZPD Wiener süzgeçleri GKA ve EKK-DVM tabanlı gürültü azaltma şemalarıyla birleştiren yöntem kullanılarak YÇ işaret geriçatımına ait işlem adımları.

- 1) i 'nci DÇ gözlem işareti $x_i[m]$ 'nin ilk ÖK işlevi $c_1^{(i)}[m]$ GKA ile elde edilir,
- 2) Gürültüsü azaltılmış DÇ gözlem işaretleri $x_{i,E}[m]$ 'ler Eşitlik (4.11) ile elde edilir,
- 3) Neredeyse gürültüsüz DÇ gözlem işaretleri $x_{i,EL}[m]$ 'ler Eşitlik (4.13) ile elde edilir,
- 4) Tablo 3.1'de anlatılan yöntemde $x_i[m]$ 'ler yerine $x_{i,EL}[m]$ işaretleri kullanılarak YÇ kestirim işareti $\hat{d}_{EL}[n]$ elde edilir.

4.1.3 Benzetim Sonuçları

YÇ bir işaretin DÇ gürültülü gözlemlerinden geriçatımı için bu bölümde önerilen iki yöntemin (Yöntem-4.1.1 ve Yöntem-4.1.2), sadece DZPD Wiener süzgeç yapılarını kullanan mevcut yönteme (Yöntem-3.2.1) göre başarımlarını karşılaştırmak için MATLAB® yazılımı kullanılarak bazı benzetim örnekleri gerçekleştirilmiştir. Bu benzetimlerde arzulanan YÇ işaret olarak bir boyutlu (1B) işaretler ve satır-satır veya sütun-sütun işlenen 2B görüntüler kullanılmıştır. Benzetimler sırasında alt örnekleme çarpanı $L_i = L = 3$ ve DZPD Wiener süzgeç katsayılarının sayısı $P = 8$ olarak alınmıştır. Ayrıca önerilen yöntemlerde, DÇ gözlemlerin ilk ÖK işlevlerinin elde edilmesiyle ilgili hesaplamalarda eleme sürecini sonlandırmak için kullanılan eşitlik (4.6)'daki durdurma ölçütünün eşik değeri $\epsilon = 1 \times 10^{-9}$ olarak seçilmiştir.

Yöntem-4.1.2'deki EKK-DVM eğri uydurma sürecinde, DÇ $x_{i,E}[m]$ işaretlerinin tüm örnekleri eğitim verisi olarak kullanılmıştır ve her DÇ işaretin zaman indisleri $[0,1]$ kapalı aralığına normalize edilmiştir. Arzulanan işaret olarak 1B işaretlerin kullanıldığı benzetimlerde σ katsayısını belirlemek için, gürültüleri azaltılmış $x_{i,E}[m]$ işaretlerine ızgara arama (grid search) tekniği uygulanmıştır. Izgara arama işleminde öncelikle $x_{i,EL}[m]$ işareti ve $x_i[m]$ 'nin gürültüsüz sürümü olan $x'_i[m]$ işareti arasındaki farkın karelerinin ortalamasının karekökü (KOK) değeri σ katsayının işlevi olarak hesaplanır. Sonrasında ızgaradaki en küçük KOK değerini sağlayan σ katsayısı belirlenir. σ katsayısı için kullanılan ızgaranın başlangıç değeri 0.0001, bitiş değeri 1, adım aralığı ise 0.0001 olarak alınmıştır. Arzulanan işaret olarak 1B işaretlerin kullanıldığı benzetimlerde, üç yöntemin karşılaştırılması ile elde edilen sonuçlar, aşağıda tanımlanan normalize ortalama kareler hatası (NOKH) ölçütü ile değerlendirilmiştir:

$$\text{NOKH} = \frac{\sum_{n=PL-1}^{N-1} |e[n]|^2}{\sum_{n=PL-1}^{N-1} |d[n]|^2} \quad (4.15)$$

Burada $e[n]$, arzulanan ve geriçatılmış YÇ işaretler arasındaki farka eşit olan kestirim hatasını belirtmektedir.

2B görüntülerin geriçatımı sırasında ise, hesapsal yükün ağır olması nedeniyle, σ katsayısı deneysel olarak belirlenmiştir. Bu süreçte öncelikle σ katsayısının 0.001, 0.003, 0.005, 0.007 ve 1 değerleri için çeşitli görüntü geriçatımı denemeleri gerçekleştirilmiştir. Bu σ değerleri arasından karşılaştırmaya değer olanlar çalışmaya eklenmiştir. Arzulanan işaret olarak 2B görüntülerin kullanıldığı benzetimlerde yöntemlerin başarımlarını değerlendirmesi, gri ölçekli görüntüler için tanımı aşağıda verilen doruk işaret-gürültü oranı (DİGO) ölçütü üzerinden gerçekleştirilmiştir:

$$\text{DİGO}(\mathbf{D}, \hat{\mathbf{D}}) = 10 \log_{10} \left(\frac{255^2}{\sum_i \sum_j (\mathbf{D}_{i,j} - \hat{\mathbf{D}}_{i,j})^2} \right) \quad (4.16)$$

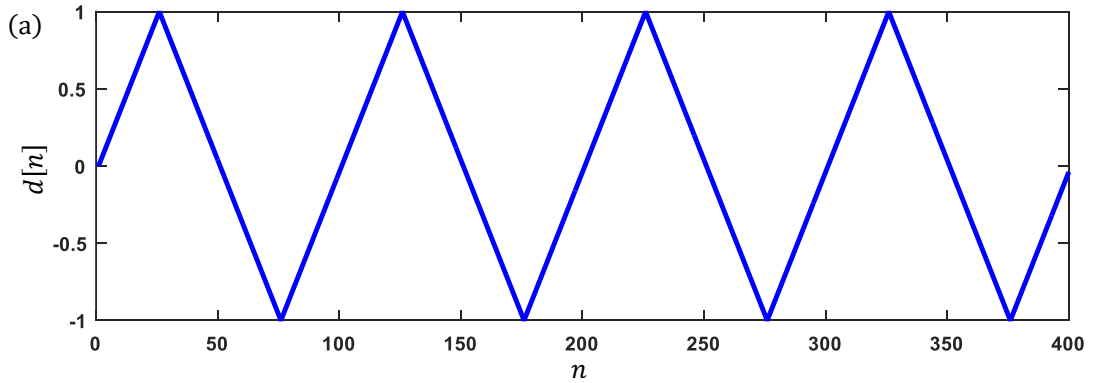
Burada \mathbf{D} ve $\hat{\mathbf{D}}$ sırasıyla, en yüksek parlaklık değerleri 255 olan özgün ve geriçatılmış görüntü işaretlerini belirtmektedir.

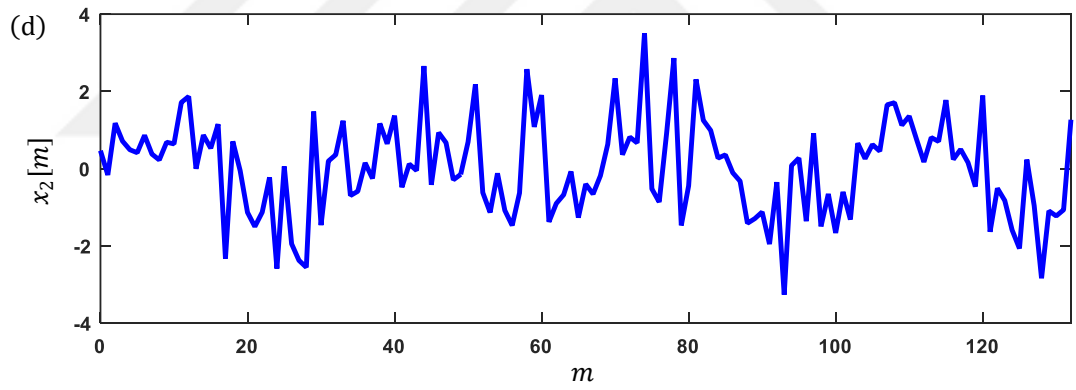
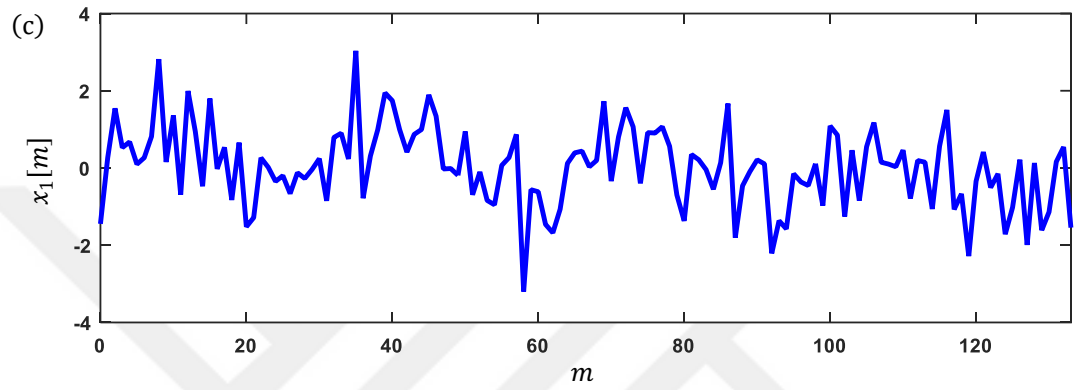
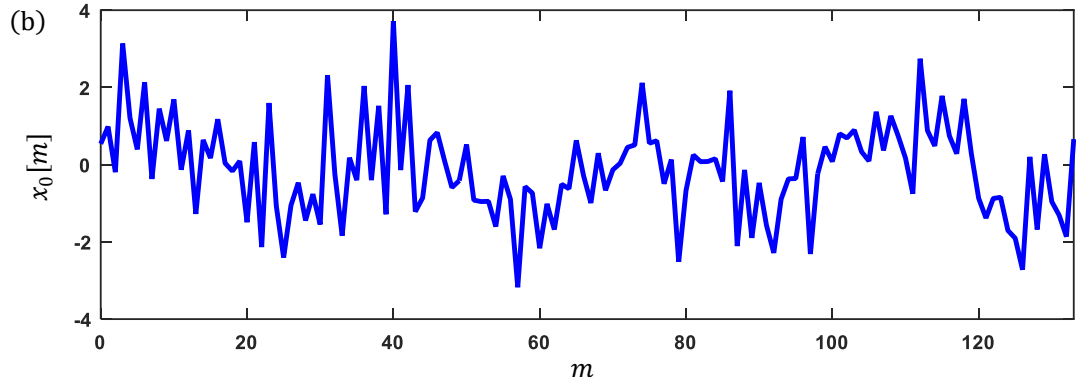
Örnek-4.1.1: Bu örnekte arzulanan YÇ işaret olarak birbirinden farklı iki adet 1B işaret kullanılmıştır. Bu işaretlerden ilki üçgen dalga şeklindedir ve belirli işaret frekansı(f_0) ve örnekleme frekansı (f_s) değerleri için aşağıdaki MATLAB® kodları kullanılarak üretilmiştir:

```
n = 0:1:fs;  
d = sawtooth(2*pi*f0*(n/fs + 0.625), 0.5);
```

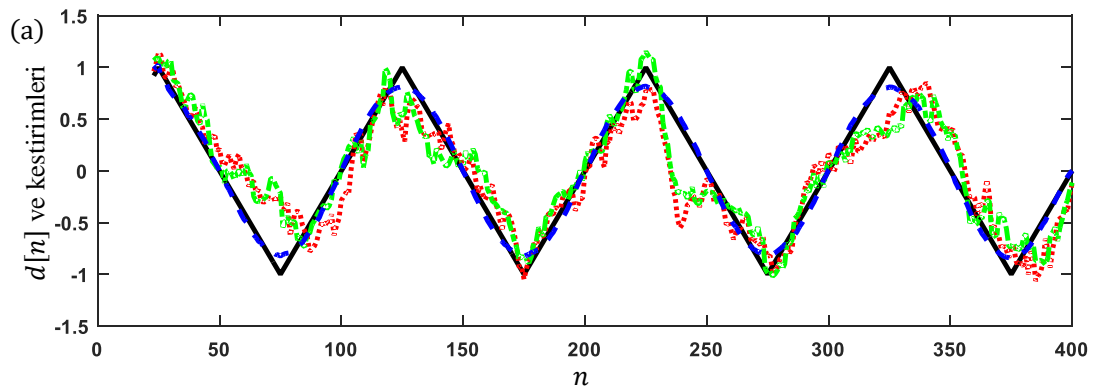
$f_0 = 4$ Hz ve $f_s = 400$ Hz değerleri için, İGO = -4.8 dB olacak şekilde bu işarete sıfır ortalamalı harici BGG eklenmiş ve Şekil 3.2'deki gözlem modeli kullanılarak üç adet gürültülü DÇ gözlem işareti üretilmiştir. Arzu edilen YÇ işaret $d[n]$ ve onun üç adet gürültülü DÇ sürümleri $\{x_i[m]|i = 0, 1, 2\}$ Şekil 4.6'da gösterilmiştir.

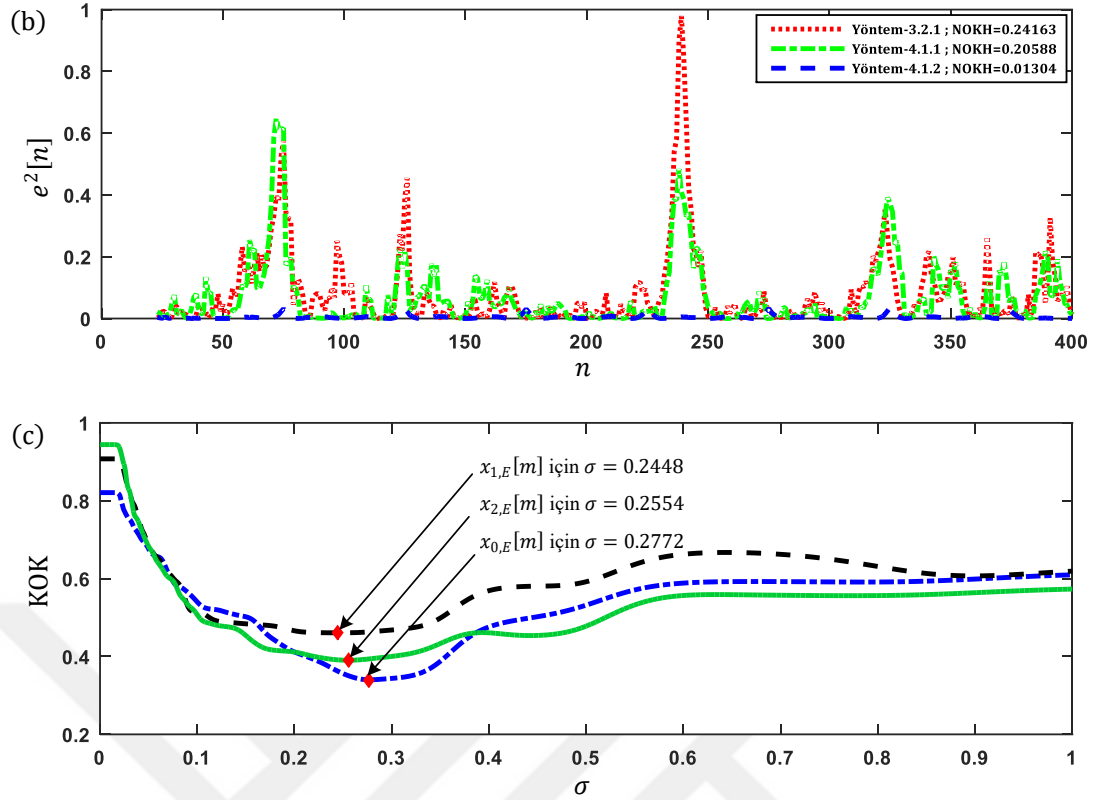
Arzu edilen YÇ işaret $d[n]$ 'nin kestirimini gürültülü DÇ gözlemler $x_0[m], x_1[m],$ ve $x_2[m]$ 'den elde etmek için kullanılan üç yöntemle ait geriçatım sonuçları ve ilgili karesel hata işaretleri Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi önerilen yöntemler ile mevcut yöntemle göre tatmin edici gelişmeler elde edilmiştir. Özellikle Yöntem-4.1.2'de, Şekil 4.7(c)'de gösterilen en düşük KOK değerlerinin elde edildiği σ katsayılarının kullanımıyla, kestirim işareti ile arzu edilen YÇ işaretin neredeyse birebir örtüştüğü hatırı sayılır bir geriçatım başarımı elde edilmiştir. 0.24163 , 0.20588 ve 0.013041 şeklindeki, sırasıyla Yöntem-3.2.1, Yöntem-4.1.1 ve Yöntem-4.1.2 için hesaplanan NOKH değerleri de bu tespiti doğrulamaktadır.





Şekil 4.6: Üçgen dalga şeklindeki arzu edilen YÇ işaret ve onun $L = 3$ çarpanı ile alt örneklenmiş azami derecede seyreltilmiş gürültü DÇ gözlem işaretleri.
(a): $d[n]$, (b): $x_0[m]$, (c): $x_1[m]$, (d): $x_2[m]$

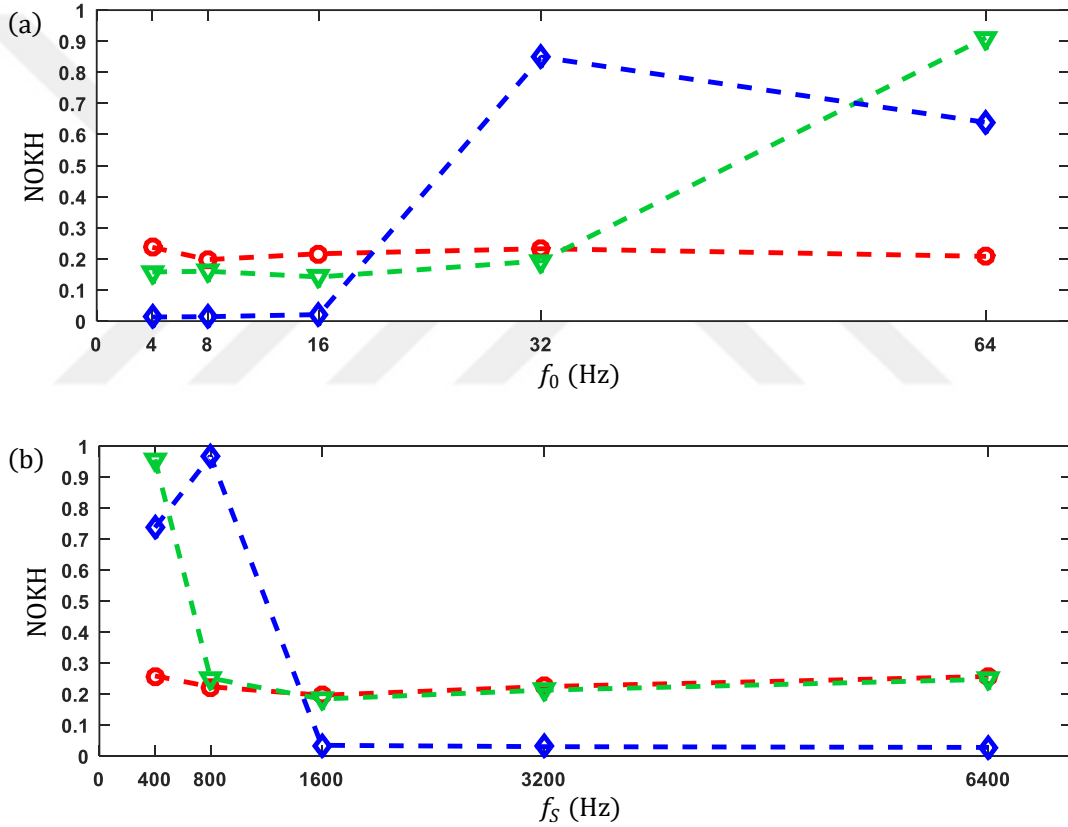




Şekil 4.7: Üçgen dalda şeklindeki işaretin geriçatımına ait benzetim sonuçları
(a): Arzu edilen işaret (siyah düz çizgi) ve Yöntem-3.2.1 (kırmızı noktalı çizgi), Yöntem-4.1.1 (yeşil kesikli-noktalı çizgi) ve Yöntem-4.1.2 (mavi kesikli çizgi) ile elde edilen kestirim işaretleri,
(b): Yöntem-3.2.1 (kırmızı noktalı çizgi), Yöntem-4.1.1 (yeşil kesikli-noktalı çizgi) ve Yöntem-4.1.2 (mavi kesikli çizgi) ile elde edilen karesel hata işaretleri,
(c): Yöntem-4.1.2’de kullanılan σ katsayısı için ızgara arama sonuçları.

Şunu da belirtmek gerekir ki, Yöntem-4.1.2 ile en iyi sonuçlara ulaşılmasına rağmen, işaretin tepe noktaları yeterince hassas bir şekilde algılanamamıştır. Bunun nedenini şu şekilde açıklamak mümkündür: Bilindiği gibi üçgen dalga, harmonik adı verilen ve genlikleri harmonik sırasını belirten sayının karesinin tersi ile orantılı olan sonsuz sayıda artan frekanslı sinüzoidal dalganın toplamından oluşmaktadır. Üçgen dalganın gücünün büyük bir kısmının ilk ve üçüncü harmonikte toplanmasına rağmen, tepe noktaları gibi hızlı değişimlerin gerçekleştiği kısımlar daha ilerideki yüksek frekanslı harmoniklerde toplanmıştır. Yöntem-4.1.2 çerçevesinde, sıra numarası yüksek olan yüksek frekanslı harmoniklere denk gelen, işaretin ilk ÖK işlevi atılmaktadır ve sonrasında EKK-DVM eğri uydurma işlemi ile işarete bir nevi yumuşatma işlemi uygulanmaktadır. Tüm bunların bir sonucu olarak, Yöntem-4.1.2 ile geriçatılmış işarete, özgün işarettaki tepe noktalarının yumuşatılmış bir sürümü elde edilmektedir. Bu şekilde hızlı değişimlere sahip işaretlerin geriçatımı için Yöntem-4.1.2’nin kullanılması durumunda, bu beklenen bir sonuçtur.

Belirtilmesi gereken bir başka önemli nokta da, önerilen yöntemlerin işaret geriçatım başarımlarının, seçilen işaret frekansı ve örnekleme frekansından etkilenmesi durumudur. Her birinin örnekleme frekansı aynı fakat işaret frekansları farklı olan beş işaretin geriçatımında, karşılaştırılan üç yöntemden elde edilen Şekil 4.8(a)'daki NOKH değerleri göstermektedir ki, özellikle Yöntem-4.1.2 düşük frekanslı işaretler için daha iyi bir geriçatım başarımı sergilemektedir. Bu durumda, önerilen yöntemlerin yüksek frekanslı işaretlerin geriçatımında başarısız oldukları söylenebilir. Diğer yandan, Şekil 4.8(b) incelendiğinde görülmektedir ki, örnekleme frekansını arttırmak suretiyle Yöntem-4.1.2'nin yüksek frekanslı işaretlerin geriçatımındaki başarımı da arttırılabilir.



Şekil 4.8: Yöntem-3.2.1 (kırmızı daire), Yöntem-4.1.1 (yeşil üçgen) ve Yöntem-4.1.2 (mavi elmas) kullanılarak Şekil 4.6(a)'daki işaretin geriçatımında elde edilen NOKH değerleri
(a): $f_s = 400$ Hz ve $f_0 = \{4, 8, 16, 32, 64\}$ Hz için NOKH değerleri,
(b): $f_s = \{400, 800, 1600, 3200, 6400\}$ Hz ve $f_0 = 64$ Hz için NOKH değerleri.

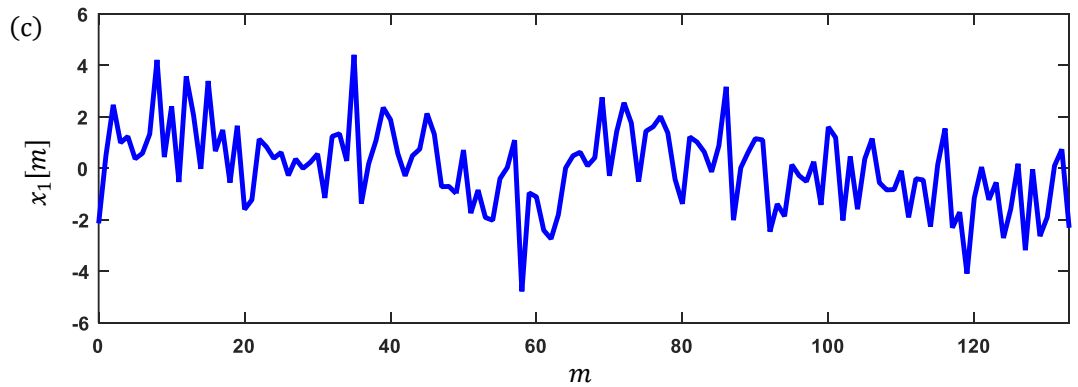
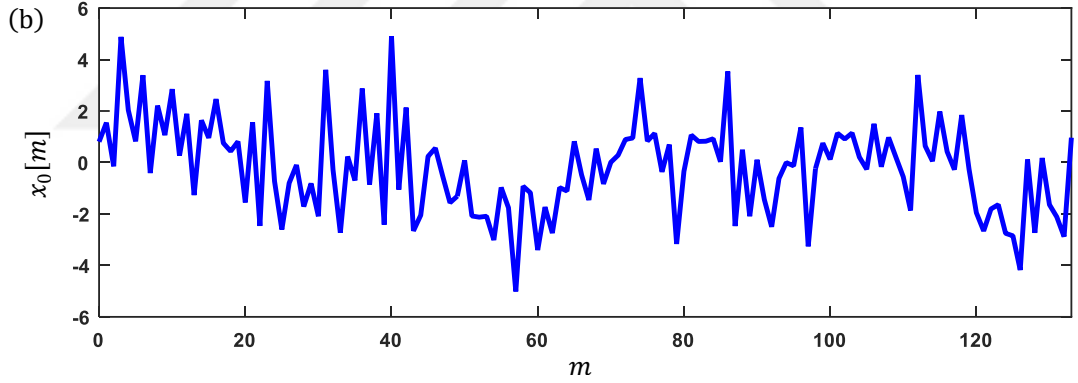
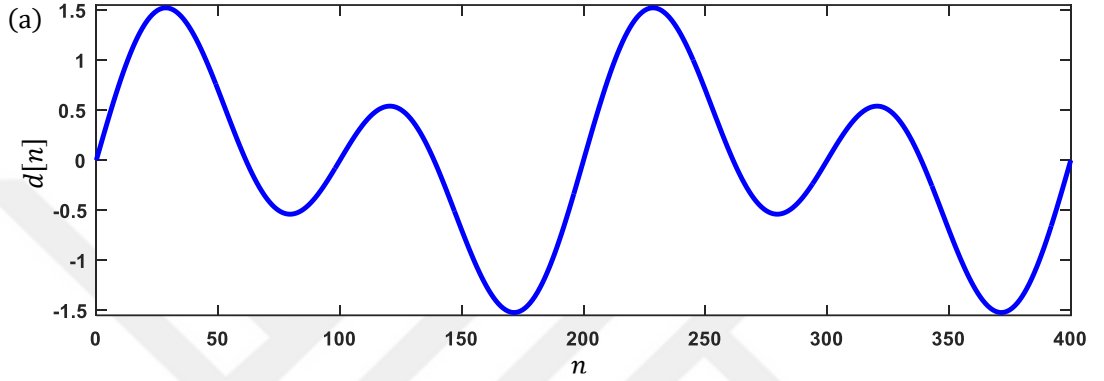
Bu örnekte kullanılan arzulanan YÇ işaretlerden ikincisi farklı genliklerdeki iki sinüzoidal işaretin birleşiminden oluşmaktadır ve belirli işaret frekansı (f_0) ve örnekleme frekansı (f_s) değerleri için aşağıdaki MATLAB® kodları kullanılarak üretilmiştir:

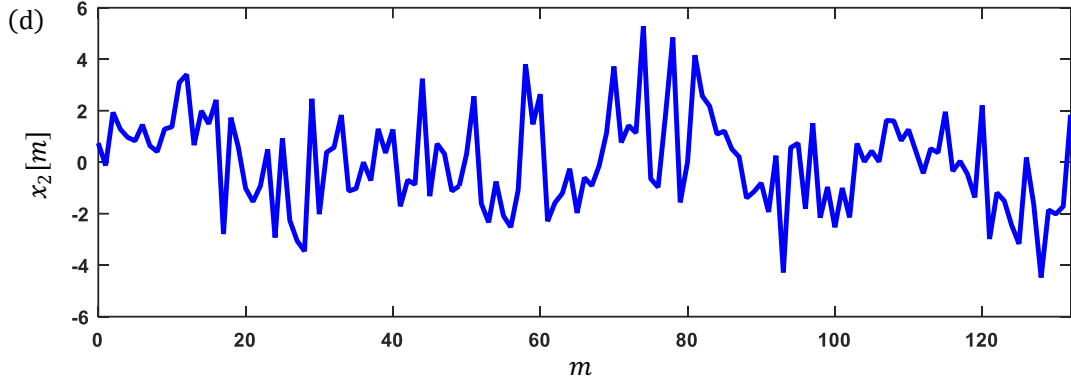
```

n = 0:1:fs;
d = sin(2*pi*f0*n/fs) + 0.7*sin(pi*f0*n/fs);

```

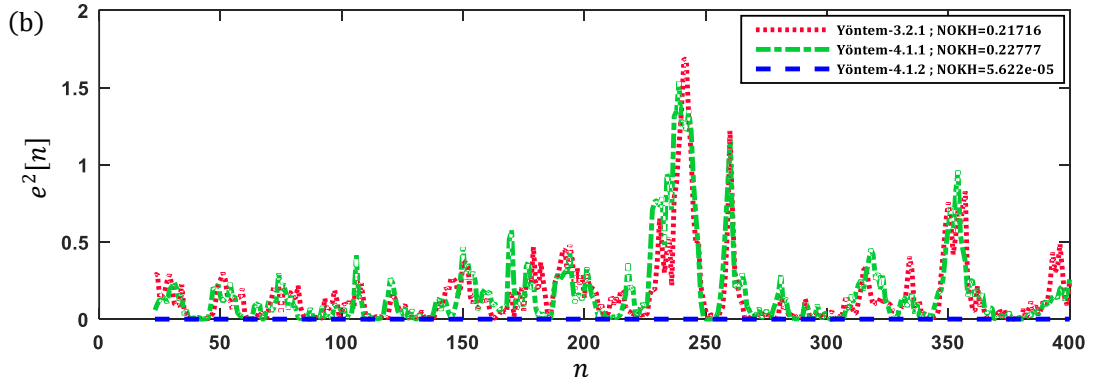
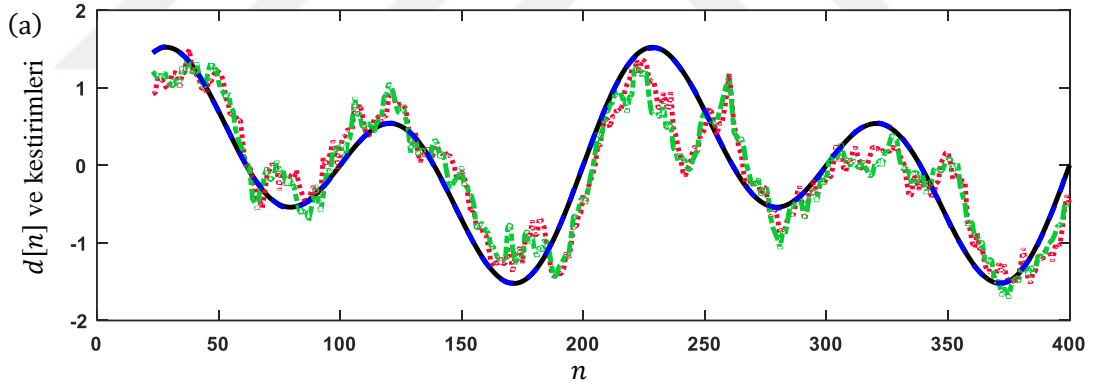
$f_0 = 4$ Hz ve $f_s = 400$ Hz değerleri için, İGO = -4.8 dB olacak şekilde bu işarete sıfır ortalamalı harici BGG eklenmiş ve Şekil 3.2'deki gözlem modeli kullanılarak üç adet gürültülü DÇ gözlem işareti üretilmiştir. Arzu edilen YÇ işaret $d[n]$ ve onun üç adet gürültülü DÇ sürümleri $\{x_i[m]|i = 0, 1, 2\}$ Şekil 4.9'da gösterilmiştir.

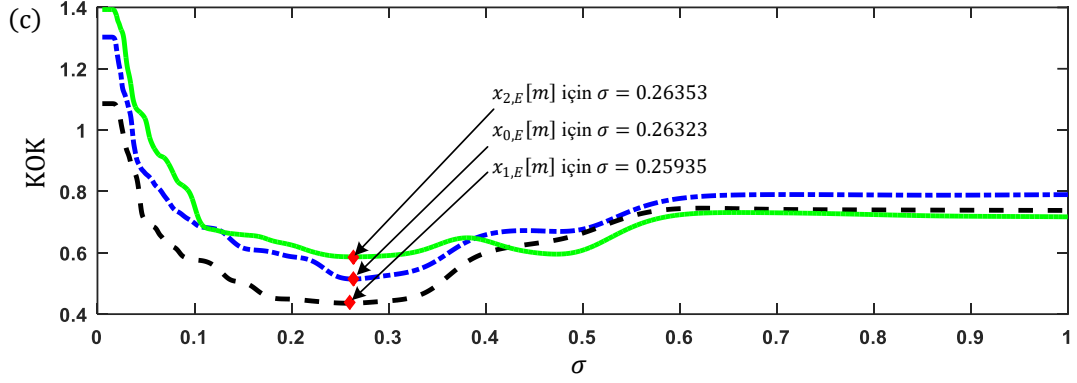




Şekil 4.9: İki sinüzoidal işaretin birleşiminden oluşan arzu edilen YÇ işaret ve onun $L = 3$ çarpanı ile alt örneklenmiş azami derecede seyreltilmiş gürültü DÇ gözlem işaretleri.
(a): $d[n]$, (b): $x_0[m]$, (c): $x_1[m]$, (d): $x_2[m]$

Şekil 4.9’da verilen işaretler için geriçatım sonuçları ve karşılaştırılan üç yöntemden elde edilen karesel hata işaretleri Şekil 4.10’da gösterilmiştir. Şekil 4.10(a) ve (b)’den, Yöntem-4.1.1 ile, Yöntem-3.2.1’in başarımında kayda değer bir artış sağlanamadığı sonucuna varılabilir. 0.21716 ve 0.22777 şeklindeki, sırasıyla Yöntem-3.2.1 ve Yöntem-4.1.1 için hesaplanan NOKH değerleri de bu tespiti doğrulamaktadır.



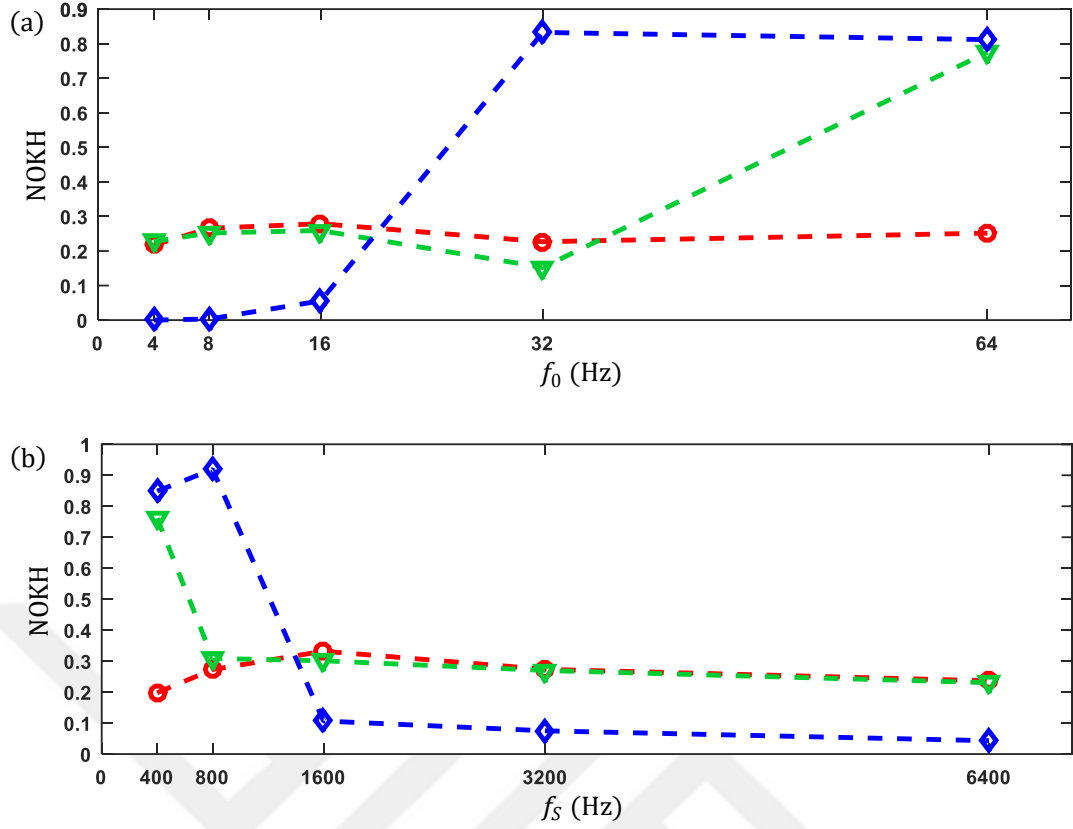


Şekil 4.10: İki sinüzoidal işaretin birleşiminden oluşan işaretin geriçatımına ait benzetim sonuçları
(a): Arzu edilen işaret (siyah düz çizgi) ve Yöntem-3.2.1 (kırmızı noktalı çizgi), Yöntem-4.1.1 (yeşil kesikli-noktalı çizgi) ve Yöntem-4.1.2 (mavi kesikli çizgi) ile elde edilen kestirim işaretleri,
(b): Yöntem-3.2.1 (kırmızı noktalı çizgi), Yöntem-4.1.1 (yeşil kesikli-noktalı çizgi) ve Yöntem-4.1.2 (mavi kesikli çizgi) ile elde edilen karesel hata işaretleri,
(c): Yöntem-4.1.2'de kullanılan σ katsayısı için ızgara arama sonuçları.

Diğer yandan Yöntem-4.1.2'de, Şekil 4.10(c)'de gösterilen en düşük KOK değerlerinin elde edildiği σ katsayılarının kullanımıyla, geriçatılmış işaret ile arzulan işaretin çıplak gözle birbirinden ayırt etmenin neredeyse imkânsız olduğu mükemmel bir geriçatım başarımı elde edilmiştir. Yöntem-4.1.2 ile elde edilen NOKH değeri olan 0.00005622 de bu sonucu doğrulamaktadır.

Şekil 4.6(a)'daki ilk işaretin aksine, Şekil 4.9(a)'daki ikinci işaret yumuşak geçişli tepelere sahiptir ve sadece iki harmonikten oluşmaktadır. Dolayısıyla Yöntem-4.1.2 ile bu tepelerin algılanmasında herhangi bir sorunla karşılaşılmamaktadır. Bu şekilde yumuşak değişimlere sahip işaretlerin geriçatımı için Yöntem-4.1.2'nin kullanılması durumunda, bu beklenen bir sonuçtur.

İlk işaretinde olduğu gibi ikinci işaretin geriçatımında da, önerilen yöntemlerin başarımları seçilen işaret frekansı ve örnekleme frekansından etkilenmektedir. Her biri $f_s = 400$ Hz şeklindeki tek bir örnekleme frekansına sahip $f_0 = \{4, 8, 16, 32, 64\}$ Hz frekanslarındaki beş farklı işaretin geriçatımında, karşılaştırılan üç yöntemden elde edilen Şekil 4.11(a)'daki NOKH değerleri göstermektedir ki, özellikle Yöntem-4.1.2 düşük frekanslı işaretler için kayda değer bir geriçatım başarımı sergilemektedir. Bununla birlikte, işaret frekansı arttıkça önerilen yöntemlerin geriçatım başarımları azalmaktadır. Yöntem-4.1.2'nin yüksek frekanslı işaretlerin geriçatımındaki başarımını iyileştirmek için, Şekil 4.11(b)'de görüldüğü gibi örnekleme frekansı f_s 'nin artırılması gerekmektedir.



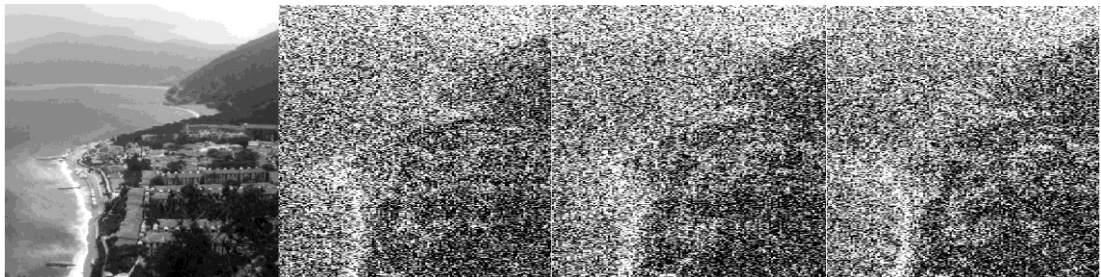
Şekil 4.11: Yöntem-3.2.1 (kırmızı daire), Yöntem-4.1.1 (yeşil üçgen) ve Yöntem-4.1.2 (mavi elmas) kullanılarak Şekil 4.9(a)'daki işaretin geriçatımında elde edilen NOKH değerleri
 (a): $f_s = 400$ Hz ve $f_0 = \{4, 8, 16, 32, 64\}$ Hz için NOKH değerleri,
 (b): $f_s = \{400, 800, 1600, 3200, 6400\}$ Hz ve $f_0 = 64$ Hz için NOKH değerleri.

Örnek-4.1.2: Bu örnekte yukarıda bahsedilen üç yöntem, görüntülerin satır-satır veya sütun-sütun işlendiği YÇ görüntü geriçatımında kullanılmıştır. Arzu edilen YÇ görüntünün her bir satırı veya sütunu, arzu edilen 1B YÇ işaret $d[n]$ olarak düşünülmüştür. Ayrıca gözlemlenen M adet DÇ gürültülü görüntünün her bir satırı veya sütunu da 1B DÇ gürültülü gözlem işaretleri $\{x_i[m] | i = 0, \dots, M - 1\}$ olarak ele alınmıştır. Satır-satır işlemede; ilgili DÇ gürültülü görüntünün her bir satırına denk gelen DÇ gözlem işareti kullanılarak, YÇ görüntünün aynı satırı karşılaştırılan yöntemler ile geriçatılmıştır. Tüm YÇ görüntünün bir kestirimi oluşturuluncaya kadar geriçatım süreci satır-satır tekrar edilmiştir. Sütun-sütun işlemede ise benzer şekilde önce ilgili DÇ gürültülü görüntünün her bir sütununa denk gelen DÇ gözlem işareti kullanılarak, YÇ görüntünün aynı sütunu karşılaştırılan yöntemler ile geriçatılmış, sonrasında ise tüm YÇ görüntünün bir kestirimi oluşturuluncaya kadar geriçatım süreci sütun-sütun tekrar edilmiştir. Ayrıca son olarak, satır-satır ve sütun-sütun işlemeyle elde edilen iki YÇ kestirim görüntüsünün ilgili elemanlarının karelerinin toplamının karekökü alınarak, karşılaştırma amacıyla yeni bir kestirim

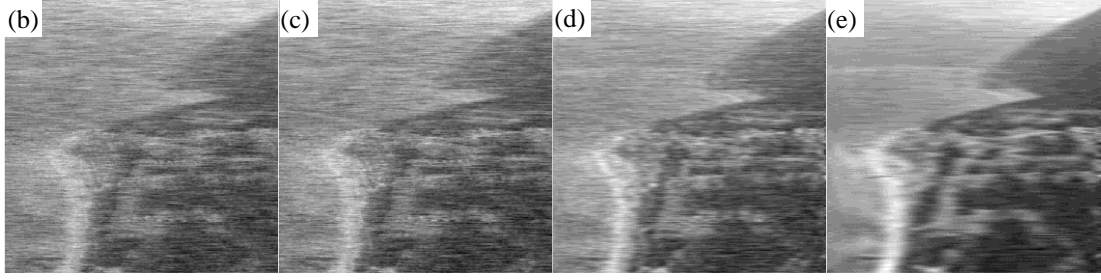
görüntüsü oluşturulmuştur. YÇ görüntünün her bir satırına veya sütununa Şekil 3.2'deki gözlem modeline ait işlem blokları uygulanarak İGO = 0 dB değerine sahip üç adet DÇ gürültülü gözlem görüntüsü üretilmiştir. Sonrasında bu DÇ gürültülü görüntülerin her bir satırı veya sütunu ayrı ayrı Yöntem-3.2.1, Yöntem-4.1.1 ve Yöntem-4.1.2'de kullanılmıştır.

Örnek-4.1.1'de olduğu gibi bu örnekte de, Yöntem-4.1.2'deki EKK-DVM eğri uydurma sürecinde, DÇ gürültülü gözlem görüntülerinin her bir satırı veya sütununa ait tüm örnekler eğitim verisi olarak kullanılmıştır ve ilgili satır veya sütuna ait her DÇ işaretin zaman indisleri $[0,1]$ kapalı aralığına normalize edilmiştir.

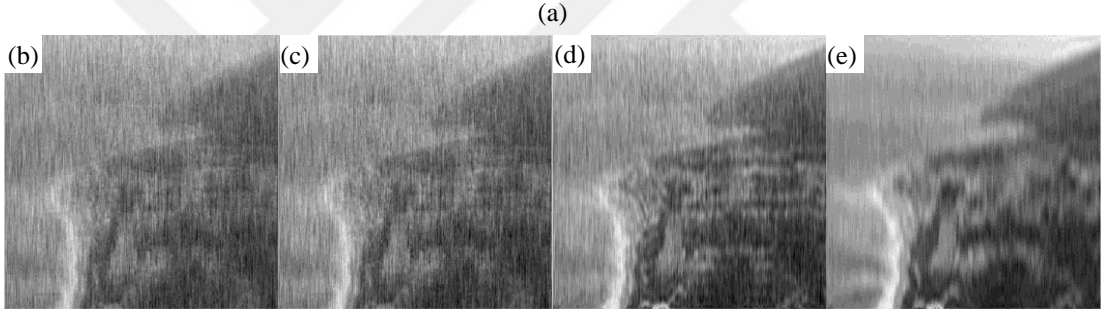
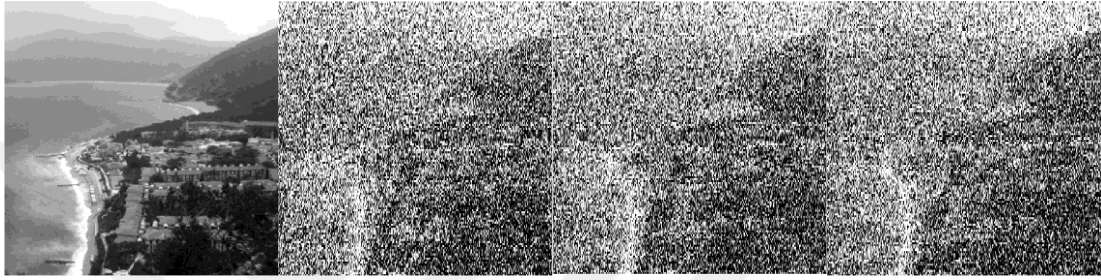
Her bir DÇ gürültülü görüntünün satır-satır ve sütun-sütun işlenmesiyle elde edilen geriçatım sonuçları sırasıyla Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'te verilmiştir. Bu şekiller incelendiğinde, önerilen yöntemlerin YÇ görüntü geriçatımında Yöntem-3.2.1'e kıyasla daha iyi sonuçlar ürettikleri görülebilmektedir. Tablo 4.3'te verilen DİGO değerleri de bu fikri desteklemektedir. Tablo 4.3'teki sayısal değerlere göre, gürültü seviyesinin en düşük olduğu sonuçlar Yöntem-4.1.2 ile $\sigma = 0.1$ olduğu durum için elde edilmiştir. Buna rağmen, bu duruma ait Şekil 4.12(e) ve Şekil 4.13(e)'deki geriçatım görüntüleri incelendiğinde, bu görüntülerin görsel kalitelerinin bulanıklaşmadan dolayı düşük olduğu gözlenmektedir. Sonuç olarak, görsel kalite ve Yöntem-4.1.2'de büyük σ değerleri kullanılarak elde edilen DİGO değerleri arasında bir ödünleşim olduğu söylenebilir. Gerçekleştirilen birçok deneme sonucunda, hem görsel kalitesi iyi hem de yeterince yüksek DİGO değerine sahip görüntü geriçatım sonuçlarının Yöntem-4.1.2 ile $\sigma = 0.05$ olduğu durum için elde edildiği gözlenmiştir.



(a)

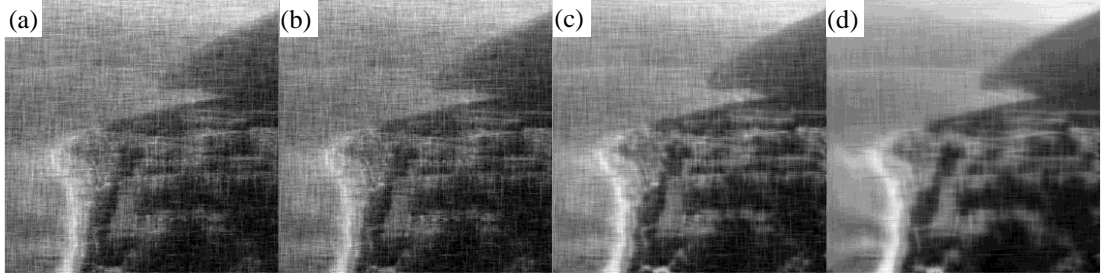


Şekil 4.12: Satır-satır işleme ile elde edilen geriçatım sonuçları
 (a) YÇ özgün görüntü ve onun üç adet DÇ gürültülü sürümü (İGO = 0 dB),
 (b): Yöntem-3.2.1 ile elde edilen YÇ geriçatım görüntüsü, (c): Yöntem-4.1.1 ile elde edilen YÇ geriçatım görüntüsü, (d): Yöntem-4.1.2 ile $\sigma = 0.05$ için elde edilen YÇ geriçatım görüntüsü,
 (e): Yöntem-4.1.2 ile $\sigma = 0.1$ için elde edilen YÇ geriçatım görüntüsü.



Şekil 4.13: Sütun-sütun işleme ile elde edilen geriçatım sonuçları
 (a) YÇ özgün görüntü ve onun üç adet DÇ gürültülü sürümü (İGO = 0 dB),
 (b): Yöntem-3.2.1 ile elde edilen YÇ geriçatım görüntüsü, (c): Yöntem-4.1.1 ile elde edilen YÇ geriçatım görüntüsü, (d): Yöntem-4.1.2 ile $\sigma = 0.05$ için elde edilen YÇ geriçatım görüntüsü,
 (e): Yöntem-4.1.2 ile $\sigma = 0.1$ için elde edilen YÇ geriçatım görüntüsü.

Son olarak, Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'teki satır-satır ve sütun-sütun işlemeyle elde edilen iki YÇ kestirim görüntüsünün ilgili elemanlarının karelerinin toplamının karekökü alınarak oluşturulan yeni YÇ görüntüye ait sonuçlar da Şekil 4.14'te gösterilmiştir. Tablo 4.3'ün son sütunundaki DİGO değerleri incelendiğinde ve Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'teki YÇ geriçatım görüntüleri Şekil 4.14'tekiler ile karşılaştırıldığında görülmektedir ki, bu işlem sonucunda geriçatım görüntülerinin hem görsel kaliteleri hem de DİGO değerleri artmıştır.



Şekil 4.14: Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'teki ilgili YÇ kestirim görüntülerinin elemanlarının karelerinin toplamının karekökü alınarak oluşturulan yeni YÇ görüntülere ait sonuçlar
(a): Yöntem-3.2.1, (b): Yöntem-4.1.1, (c): $\sigma = 0.05$ için Yöntem-4.1.2
(d): $\sigma = 0.1$ için Yöntem-4.1.2.

Tablo 4.3: Karşılaştırılan üç yöntemin DİGO (dB) başarımları.

Yöntemler	Satır-satır işleme	Sütun-sütun işleme	İki yönde işlenmiş görüntü sonuçlarının birleştirilmesi
	Şekil 4.12(b-e)	Şekil 4.13(b-e)	Şekil 4.14(a-d)
Yöntem-3.2.1	17.17	17.11	18.63
Yöntem-4.1.1	17.51	17.50	18.27
Yöntem-4.1.2 ($\sigma = 0.05$)	18.34	19.28	21.23
Yöntem-4.1.2 ($\sigma = 0.1$)	20.67	20.49	22.62

Burada bahsedilmesi gereken önemli bir nokta da, yukarıdaki tüm yöntemler ile elde edilen geriçatım sonuçları görüntülenmeden önce, bunlara karşıtlık germe işleminin uygulandığıdır. Bu işlemin sonucu olarak görüntülenen resimlerin parlaklık değerleri $[0, 255]$ aralığına getirilmektedir. Ayrıca, geriçatım sonucu elde edilen görüntülere ait DİGO değerlerinin doğru olarak hesaplanması için de bu işlemin yapılması gerekmektedir.

4.1.4 Değerlendirme

Bu kısımda, gözlemlenemeyen GAD rastgele bir işaretin, DÇ gürültülü gözlemlerinden geriçatılması için kullanılan mevcut DZPD Wiener süzgeç yapısının başarımını arttırmak için, GKA ve EKK-DVM tabanlı gürültü azaltma şemalarını bu yapı ile birleştiren iki görgül yöntem incelenmiştir. İşaret geriçatım kavramına teorik bir katkı yapılmamasına rağmen, belirli şartlar altında işaret geriçatımı başarımında mevcut yönteme göre gelişme sağlandığı, yapılan bilgisayar benzetimleriyle de kanıtlanmıştır. Bilhassa önerilen ikinci yöntem, düşük frekanslı işaretler için çok daha iyi bir geriçatım başarımı sergilemiştir. Bu yüzden bu yöntem, sonar ve elektrokardiyogram (ekg) gibi işaretlerin işlenmesinde kullanılabilir.

Önerilen yöntemlerin çoklu hızlı işaret geriçatımına uygulanmasıyla, ikinci yöntemde σ katsayısının uygun seçilmesi ile sadece DZPD Wiener süzgeç yapılarının kullanıldığı mevcut yöntemle göre daha iyi bir başarıml elde edildiği gösterilmiştir. Bu ön sonuçlar önerilen yöntemlerin çoklu hızlı istatistiksel işaret ve görüntü geriçatımında kullanılabilceğini ortaya koymaktadır.

Son olarak, önerilen yöntemlerle ilgili birtakım tespitler ve geleceğe yönelik öneriler aşağıda listelenmiştir:

- Wiener süzgeç doğası gereği gürültüyü süzerken, geriçatılmış işaretle bulanıklaşmaya da sebep olmaktadır. Bu gerçeği de göz önünde bulundurarak, önerilen yöntemlerde gürültüyü daha etkili bir biçimde süzmek adına, ilk ÖK işlevini gözlem işaretenen çıkartmak yerine, gürültü ile ilgili olduğu düşünölen ÖK işlevlerine gürültü azaltma işlemi uygulanabilir. Daha sonra, süzgeçlenen ÖK işlevleri diğere GKA bileşenleri ile birleştirilerek Wiener süzgeçlemeye tabi tutulabilir. Bu yolla işarettteki hızlı değışimlerden kaynaklanan yüksek frekanslı bilgiler korunabilir ve bulanıklaşma etkisi azaltılabilir.
- DZPD Wiener süzgeç yapıları kullanılmadan, istatistiksel çoklu hızlı işaret geriçatımı için sadece GKA ve/veya EKK-DVM eğri uydurma tekniğine dayalı bir yöntem geliştirilebilir.
- Önerilen ikinci yöntemde, 1B işaretlerin geriçatım sürecinde, EKK-DVM eğri uydurma tekniğindeki σ katsayısı ızgara arama ile otomatik olarak belirlenmiştir. Bunun yanında 2B işaretler için σ katsayısı, hesapsal karmaşıklığın fazlalığı sebebiyle deneysel olarak belirlenmiştir. 2B işaretler için en uygun σ değerinin belirlenmesinde de ızgara arama tekniğinin kullanımı denenebilir.

4.2 EKOK Tabanlı Çoklu Hızlı Uyarlamalı Alternatif Süzgeçler

Bu çalışmada, DÇ gürültülü gözlemlerden YÇ işareti elde etmek için, Bölüm 3.2.2’de bahsedilen çoklu hızlı EKOK süzgecine alternatif olarak, bu süzgecin değıştirilmiş sürümleri olan NEKOK, ih-EKOK, iv-EKOK ve ii-EKOK süzgeç yapıları önerilmiştir. Mevcut ve önerilen yöntemlerin başarımları, ses işaretime uygulanan uyarlamalı gürültü giderme benzetim

örneği kullanılarak karşılaştırılmış ve önerilen yöntemlerden bazılarının özellikle yakınsama hızı anlamında mevcut yönteme göre daha iyi sonuçlar ürettikleri gözlenmiştir (Ükte ve Kızılkaya 2015, 2016).

Önerilen çoklu hızlı süzgeç yapılarına geçmeden önce, EKOK tabanlı tekli hızlı süzgeç yapılarını temel hatlarıyla ele alalım. Tekli hızlı EKOK süzgeci daha önce Bölüm 3.2.2’de anlatıldığı için burada tekrar bahsedilmeyecektir.

EKOK süzgecindeki adım büyüklüğünün seçimi ile ilgili zorlukları aşmak için, NEKOK süzgecinde kullanılmak üzere aşağıdaki zamanla değişen adım büyüklüğü tanımlanmıştır (Haykin 2001):

$$\mu_x[n] = \frac{\beta}{\mathbf{x}^H[n]\mathbf{x}[n]} = \frac{\beta}{\|\mathbf{x}[n]\|^2} \quad (4.17)$$

Burada $0 < \beta < 2$ *normalize* adım büyüklüğü olup $\|\cdot\|$ işlemcisi vektör normunu ifade eder. Normalize adım büyüklüğü β 'nın (3.13) eşitliğindeki EKOK süzgeci katsayı güncelleme denkleminde dâhil edilmesiyle, NEKOK süzgecine ait aşağıdaki katsayı güncelleme denkleminde ulaşılır (Haykin 2001):

$$\mathbf{w}[n+1] = \mathbf{w}[n] + \beta \frac{\mathbf{x}[n]}{\varepsilon + \|\mathbf{x}[n]\|^2} e[n] \quad (4.18)$$

Burada ε terimi, veri vektörünün normunun çok küçük olduğu durumda gradyent gürültüsünün kuvvetlendirilmesi sorununu aşmak amacıyla güncelleme denkleminde eklenen küçük bir pozitif sayıdır (Haykin 2001).

NEKOK süzgecine ek olarak, EKOK yordamındaki hesapsal karmaşıklığı azaltmak için geliştirilmiş olan ve işaret tabanlı EKOK yordamları olarak adlandırılan üç adet değiştirilmiş EKOK yordamı bulunmaktadır. Bu yordamların süzgeç katsayısı güncelleme denklemlerinde, hata işareti $e[n]$ 'ye, veri vektörü $\mathbf{x}[n]$ 'ye veya ikisine birden tanımı aşağıda verilen işaret işlevi uygulanmaktadır (Hayes 1996):

$$\text{sgn}(f) = \begin{cases} -1, & f < 0 \\ 0, & f = 0 \\ 1, & f > 0 \end{cases} \quad (4.19)$$

ih-EKOK, iv-EKOK ve ii-EKOK süzgeçlerine ait katsayı güncelleme denklemleri aşağıda sırasıyla verilmiştir:

$$\mathbf{w}[n + 1] = \mathbf{w}[n] + \mu \text{sign}\{e[n]\} \mathbf{x}[n] \quad (4.20)$$

$$\mathbf{w}[n + 1] = \mathbf{w}[n] + \mu e[n] \text{sign}\{\mathbf{x}[n]\} \quad (4.21)$$

$$\mathbf{w}[n + 1] = \mathbf{w}[n] + \mu \text{sign}\{e[n]\} \text{sign}\{\mathbf{x}[n]\} \quad (4.22)$$

Kararlılıkla ilgili nedenlerden dolayı, ii-EKOK süzgecine ait eşitlik (4.22)'deki katsayı güncelleme denkleminde küçük bir sızıntı terimi olan γ dâhil edilerek aşağıdaki yeni denklem elde edilir (Bellanger 1987):

$$\mathbf{w}[n + 1] = (1 - \mu\gamma)\mathbf{w}[n] + \mu \text{sign}\{e[n]\} \text{sign}\{\mathbf{x}[n]\} \quad (4.23)$$

Bu çalışmada önerilen EKOK yaklaşımına dayalı çoklu hızlı alternatif süzgeçler, (3.21) ve (3.22) eşitlikleri ile tanımlanan çoklu hızlı EKOK süzgeci katsayı güncelleme denklemleri üzerinde, yukarıda tekli hızlı yapılar için bahsedilenlere benzer olarak, birtakım değişiklikler yapılarak elde edilmektedir. Yapılan bu değişiklikler, önerilen her yöntem için aşağıda sırasıyla belirtilmiştir.

Normalize adım büyüğü β 'nın (3.21) ve (3.22)'deki çoklu hızlı EKOK süzgeci katsayı güncelleme denklemlerine dâhil edilmesiyle, çoklu hızlı NEKOK süzgecine ait yüksek hızlı ve düşük hızlı veriler için tanımlanan aşağıdaki katsayı güncelleme denklemlerine ulaşılır (Ükte ve Kızılkaya 2015):

$$\mathbf{h}_k[m + 1] = \mathbf{h}_k[m] + \beta_x \frac{\mathbf{x}[n]}{\varepsilon + \|\mathbf{x}[n]\|^2} e[n] \quad (4.24)$$

$$\mathbf{g}_k[m + 1] = \mathbf{g}_k[m] + \beta_y \frac{\mathbf{y}[m]}{\varepsilon + \|\mathbf{y}[m]\|^2} e[n] \quad (4.25)$$

(3.21) ve (3.22)'deki çoklu hızlı EKOK süzgeci katsayı güncelleme denklemlerine işaret işlevinin dâhil edilmesiyle, önerilen işaret tabanlı yöntemler için elde edilen yeni katsayı güncelleme denklemleri; çoklu hızlı ih-EKOK süzgeci için (4.26) ve (4.27) eşitliklerinde, çoklu hızlı iv-EKOK süzgeci için (4.28) ve (4.29) eşitliklerinde, çoklu hızlı ii-EKOK süzgeci için ise (4.30) ve (4.31) eşitliklerinde verilmiştir.

$$\mathbf{h}_k[m+1] = \mathbf{h}_k[m] + \mu_x \text{sign}\{e[n]\} \mathbf{x}[n] \quad (4.26)$$

$$\mathbf{g}_k[m+1] = \mathbf{g}_k[m] + \mu_y \text{sign}\{e[n]\} \mathbf{y}[m] \quad (4.27)$$

$$\mathbf{h}_k[m+1] = \mathbf{h}_k[m] + \mu_x e[n] \text{sign}\{\mathbf{x}[n]\} \quad (4.28)$$

$$\mathbf{g}_k[m+1] = \mathbf{g}_k[m] + \mu_y e[n] \text{sign}\{\mathbf{y}[m]\} \quad (4.29)$$

$$\mathbf{h}_k[m+1] = (1 - \mu_x \gamma) \mathbf{h}_k[m] + \mu_x \text{sign}\{e[n]\} \text{sign}\{\mathbf{x}[n]\} \quad (4.30)$$

$$\mathbf{g}_k[m+1] = (1 - \mu_y \gamma) \mathbf{g}_k[m] + \mu_y \text{sign}\{e[n]\} \text{sign}\{\mathbf{y}[m]\} \quad (4.31)$$

Önerilen EKOK tabanlı çoklu hızlı süzgeç yordamlarının işleyişleri Tablo 4.4'te adım adım listelenmiştir.

Tablo 4.4: Önerilen EKOK tabanlı çoklu hızlı süzgeç yordamlarına ait işlem adımları.

-
1. YÇ ve DÇ veriler için kestirim başlangıç indisleri: n_0, m_0
 2. Süzgeç katsayı vektörlerinin başlangıç değerleri: $\mathbf{h}_k[0] = \mathbf{0}$ ve $\mathbf{g}_k[0] = \mathbf{0}; k = 0, 1, \dots, K - 1$.
 3. $i = 0$
 4. $\mathbf{y}[i] = [y[m_0 + i], \dots, y[m_0 + i - Q + 1]]^T$
 5. $k = 0$
 6. $d_k[i] = d[n_0 + iK + k]$
 7. $\mathbf{x}_k[i] = [x[n_0 + iK + k], \dots, x[n_0 + iK + k - P + 1]]^T$
 8. $\hat{d}_k[i] = \mathbf{h}_k^T[i] \mathbf{x}_k[i] + \mathbf{g}_k^T[i] \mathbf{y}[i]$
 9. $e_k[i] = d_k[i] - \hat{d}_k[i]$
 10. a) Çoklu hızlı NEKOK süzgeci için katsayı güncelleme denklemleri:

$$\mathbf{h}_k[i+1] = \mathbf{h}_k[i] + \beta_x \frac{\mathbf{x}_k[i]}{\varepsilon + \|\mathbf{x}_k[i]\|^2} e_k[i]$$

$$\mathbf{g}_k[i+1] = \mathbf{g}_k[i] + \beta_y \frac{\mathbf{y}[i]}{\varepsilon + \|\mathbf{y}[i]\|^2} e_k[i]$$
 - b) Çoklu hızlı ih-EKOK süzgeci için katsayı güncelleme denklemleri:

$$\mathbf{h}_k[i+1] = \mathbf{h}_k[i] + \mu_x \text{sign}\{e_k[i]\} \mathbf{x}_k[i]$$

$$\mathbf{g}_k[i+1] = \mathbf{g}_k[i] + \mu_y \text{sign}\{e_k[i]\} \mathbf{y}[i]$$
 - c) Çoklu hızlı iv-EKOK süzgeci için katsayı güncelleme denklemleri:

$$\mathbf{h}_k[i+1] = \mathbf{h}_k[i] + \mu_x e_k[i] \text{sign}\{\mathbf{x}_k[i]\}$$

$$\mathbf{g}_k[i+1] = \mathbf{g}_k[i] + \mu_y e_k[i] \text{sign}\{\mathbf{y}[i]\}$$
 - d) Çoklu hızlı ii-EKOK süzgeci için katsayı güncelleme denklemleri:

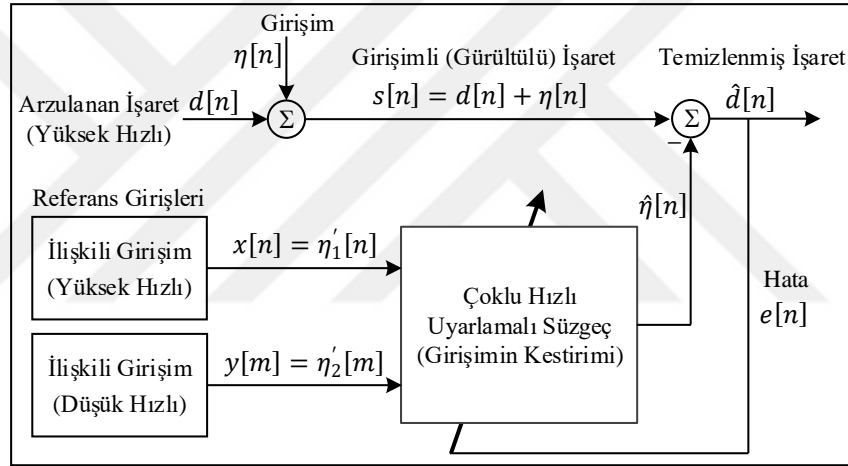
$$\mathbf{h}_k[i+1] = (1 - \mu_x \gamma) \mathbf{h}_k[i] + \mu_x \text{sign}\{e_k[i]\} \text{sign}\{\mathbf{x}_k[i]\}$$

$$\mathbf{g}_k[i+1] = (1 - \mu_y \gamma) \mathbf{g}_k[i] + \mu_y \text{sign}\{e_k[i]\} \text{sign}\{\mathbf{y}[i]\}$$
 11. $k = k + 1$
 12. $k \leq K - 1$ için 6-11 adımları tekrar edilir.
 13. $i = i + 1$
 14. $i \leq M - 1$ için 4-13 adımları tekrar edilir.
-

Tablo 4.4’te adım 10’daki a-d şıklarıyla belirtilen her bir durum, önerilen dört yöntemden bir tanesi için geçerli olan katsayı güncelleme denklemlerini içermektedir.

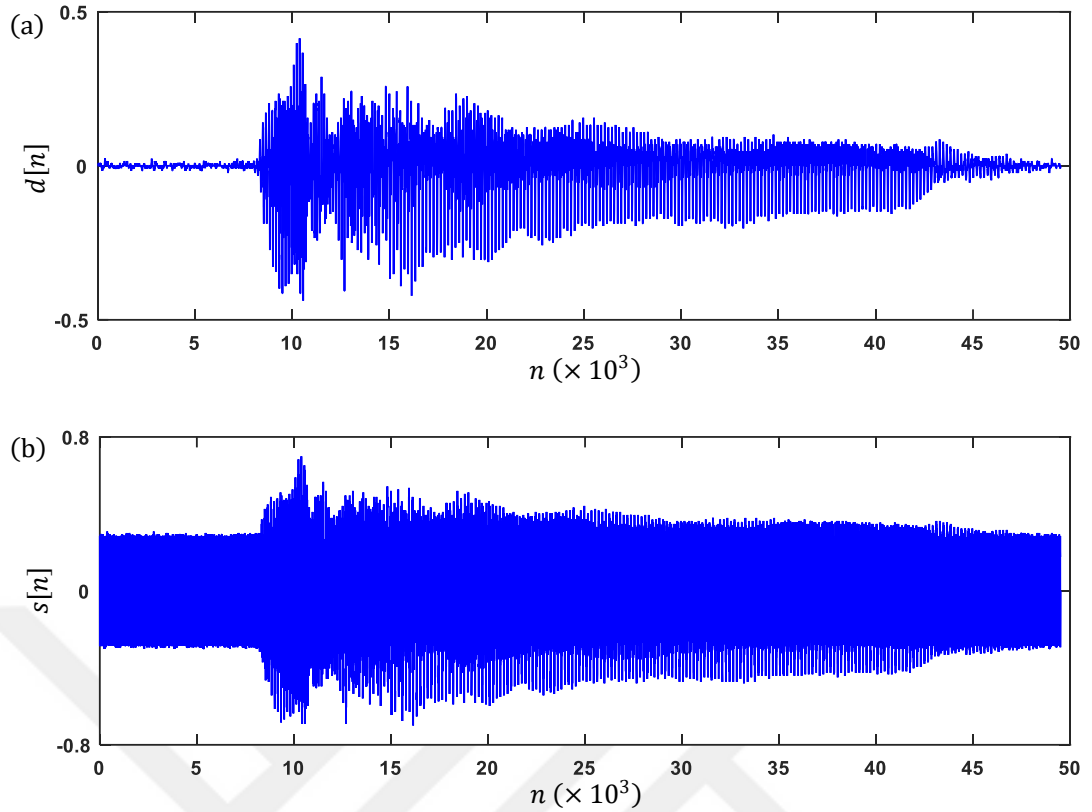
4.2.1 Benzetim Sonuçları

Mevcut ve önerilen yöntemlerin başarımları, Hawes ve Therrien (2003) tarafından yapılan çalışmada da kullanılan çoklu hızlı uyarlamalı gürültü giderme benzetim örneği kullanılarak karşılaştırılmıştır. Blok gösterimi Şekil 4.15’te verilen çoklu hızlı uyarlamalı gürültü giderme işleminin amacı, girişim (gürültü) işareti ile ilişkili olan farklı hızlarda örneklenmiş referans girişlerinden girişimin kestirimini elde ederek YÇ arzulanan işaretin geriçatımını sağlamaktır.



Şekil 4.15: İki referans girişli çoklu hızlı uyarlamalı gürültü giderme işleminin blok yapısı.

Benzetimde kullanılan YÇ arzulanan işaret $d[n]$, 22.05 kHz’de örneklenmiş, 2.25 sn süreli “hello” sözcüğüne karşı düşen ses kaydı olup bu işaretin başlangıç örneğinden orta noktasına kadar olan ilk yarısındaki örneklerine 0.3 genlikli 4.41 kHz frekanslı, geriye kalan son yarısındaki örneklerine ise 0.3 genlikli 2.205 kHz frekanslı sinüzoidal ton gürültüsü eklenerek -8.69 dB İGO değerine sahip gürültülü $s[n]$ işareti elde edilmiştir. Sinüzoidal ton işaretlerinin birleşimi girişim (gürültü) işareti $\eta[n]$ ’yi oluşturmaktadır. Asıl ve gürültülü işaretlerin değişimi Şekil 4.16’da verilmiştir.



Şekil 4.16: Özgün işaret ve İGO = -8.6925 dB ile gürültülü işaret.
(a): $d[n]$, (b): $s[n]$.

Girişim işareti ile ilişkili referans girişlerinin elde edilmesinde şu şekilde bir yol izlenmiştir: Katsayıları 1 ile 10 arasında düzgün dağılımlı rastgele değişen iki ayrı 3. mertebeden sonlu birim örnek cevabına sahip süzgeç oluşturulmuş ve girişim işareti bu süzgeçlerden birinden geçirilerek yüksek hızlı referans girişi $\eta'_1[n]$ elde edilmiştir. Düşük hızlı referans girişi $\eta'_2[m]$ ise girişim işaretinin diğer süzgecin girişine uygulanması sonrası K kat alt örneklenmesi ile üretilmiştir. Yüksek ve düşük hızlı uyarlamalı süzgeçler için mertebeler $P = Q = 2$ olarak seçilmiştir. Mevcut ve önerilen tüm çoklu hızlı uyarlamalı süzgeçler için adım büyüklükleri, en büyük adım büyüklüğü değerinin %1'i olarak belirlenmiştir. Bu durumda EKOK, ih-EKOK, iv-EKOK ve ii-EKOK süzgeçlerinde yüksek ve düşük hızlı referans girişleri için adım büyüklükleri μ_x ve μ_y her koşturdaki veriye bağlı farklı değerler alırken, NEKOK süzgecinde yüksek ve düşük hızlı referans girişleri için adım büyüklükleri her gerçekleştirme için $\beta_x = \beta_y = 0.02$ olarak alınmıştır.

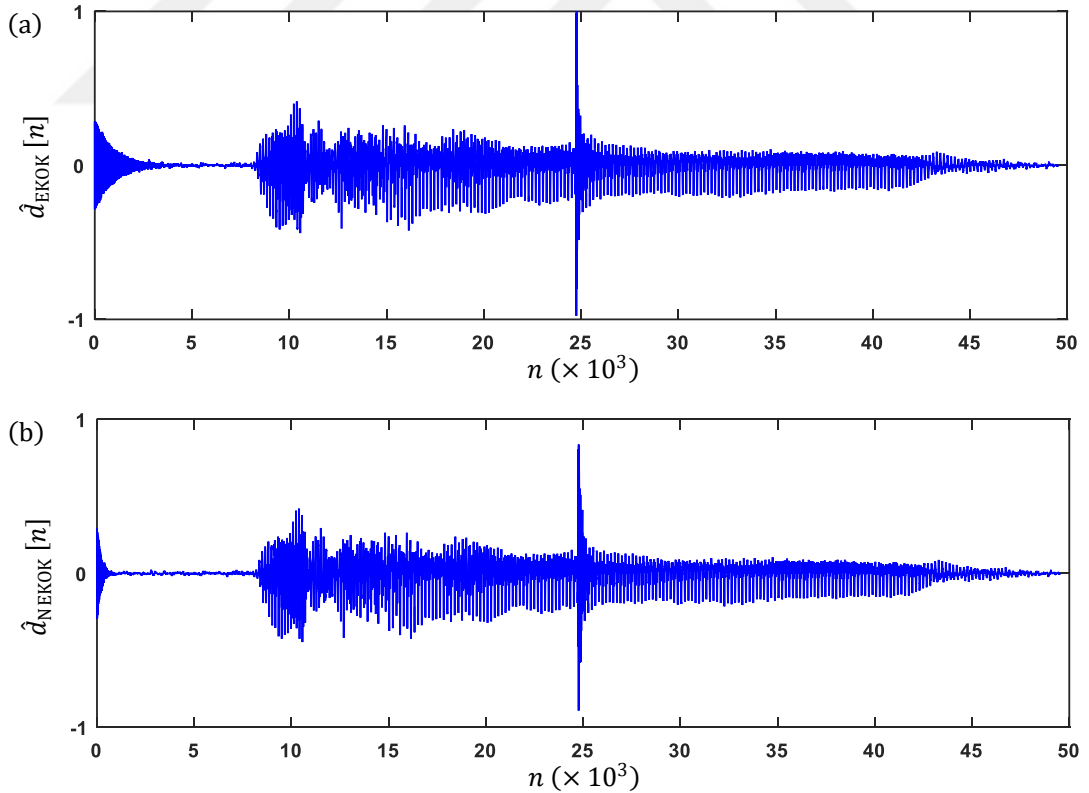
Başlangıçtaki sinüzoidal ton gürültüsünün bastırıldığı ana kadar geçen örnek sayısı, yakınsama hızıyla ilgili başarımlı ölçütü olarak değerlendirilirken, gürültü süzme başarımının değerlendirilmesinde ise İGO kullanılmıştır. Referans girişlerinin

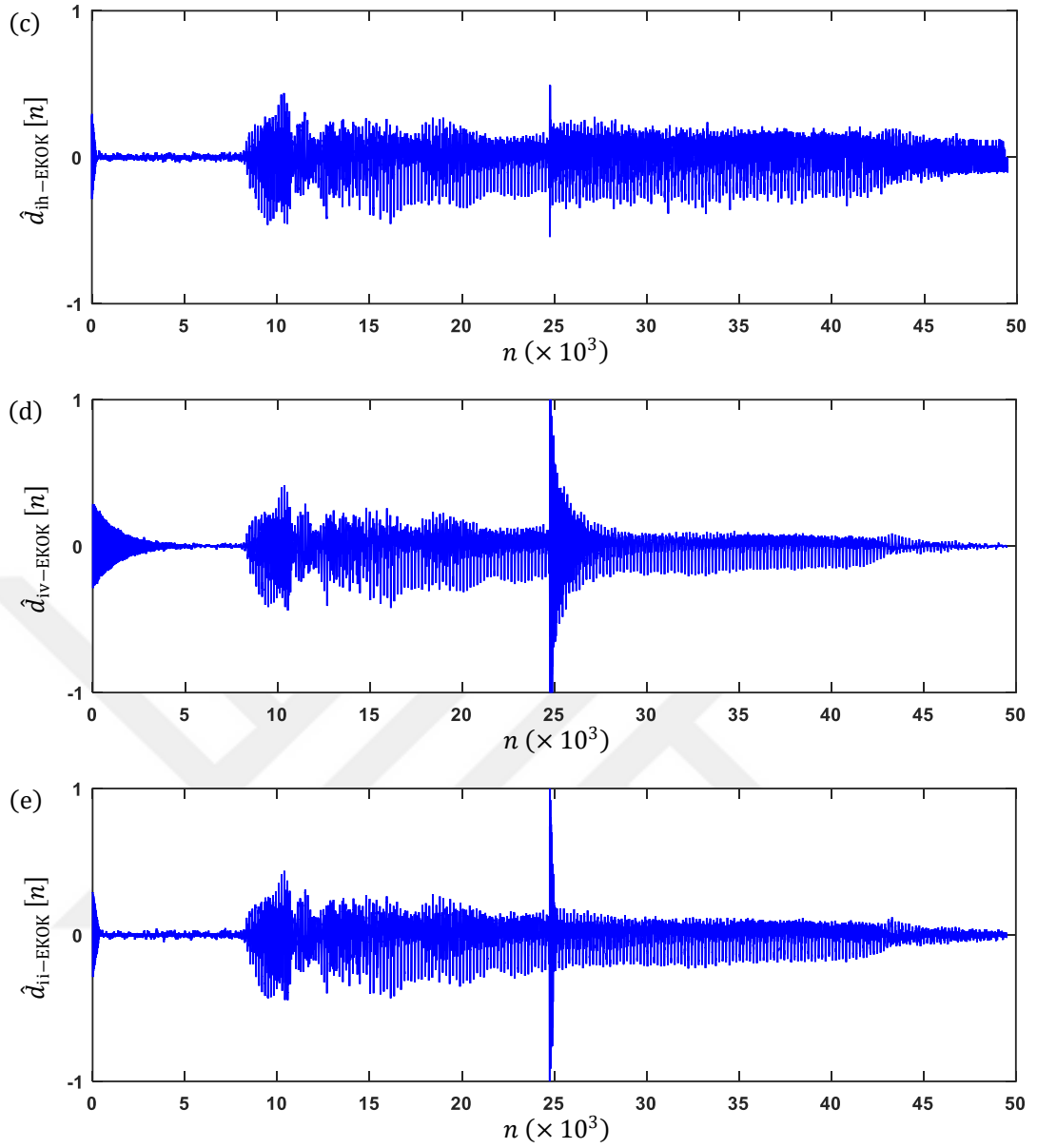
belirlenmesinde kullanılan sonlu birim örnek cevabına sahip süzgeç katsayılarının her gerçekleştirilmede değiştiği 100 bağımsız Monte Carlo (MC) benzetimi koşturulmuş ve elde edilen başarımların ortalaması alınmıştır. Benzetimler iki farklı durum için gerçekleştirilmiştir:

Durum-I: Burada biri tam hızda diğeri ise $K = 4$ oranında alt örnekleme ile elde edilen düşük hızda örneklenmiş iki referans girişi kullanılmıştır.

Durum-II: Uyarlamalı süzgeçleme işlemi için sadece $K = 4$ oranında alt örneklemeyle elde edilen düşük hızda örneklenmiş referans girişi kullanılmıştır.

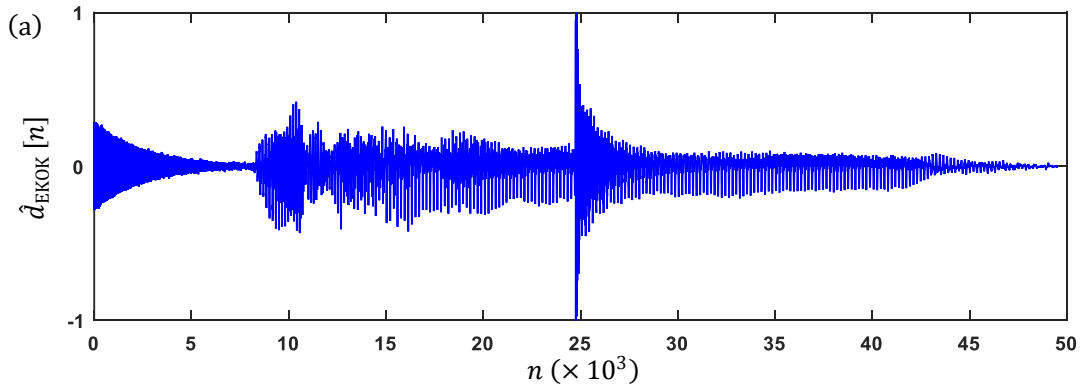
Mevcut ve önerilen çoklu hızlı uyarlamalı süzgeçler ile oluşturulan yordamların tek bir gerçekleştirilmesine ilişkin kestirim sonuçları, *Durum-I* ve *Durum-II* için sırasıyla Şekil 4.17 ve Şekil 4.18’de gösterilmiştir. Birbirinden bağımsız 100 MC benzetimi sonucu hesaplanan ortalama yakınsama hızı ve İGO değerleri ise Tablo 4.5’te verilmiştir.

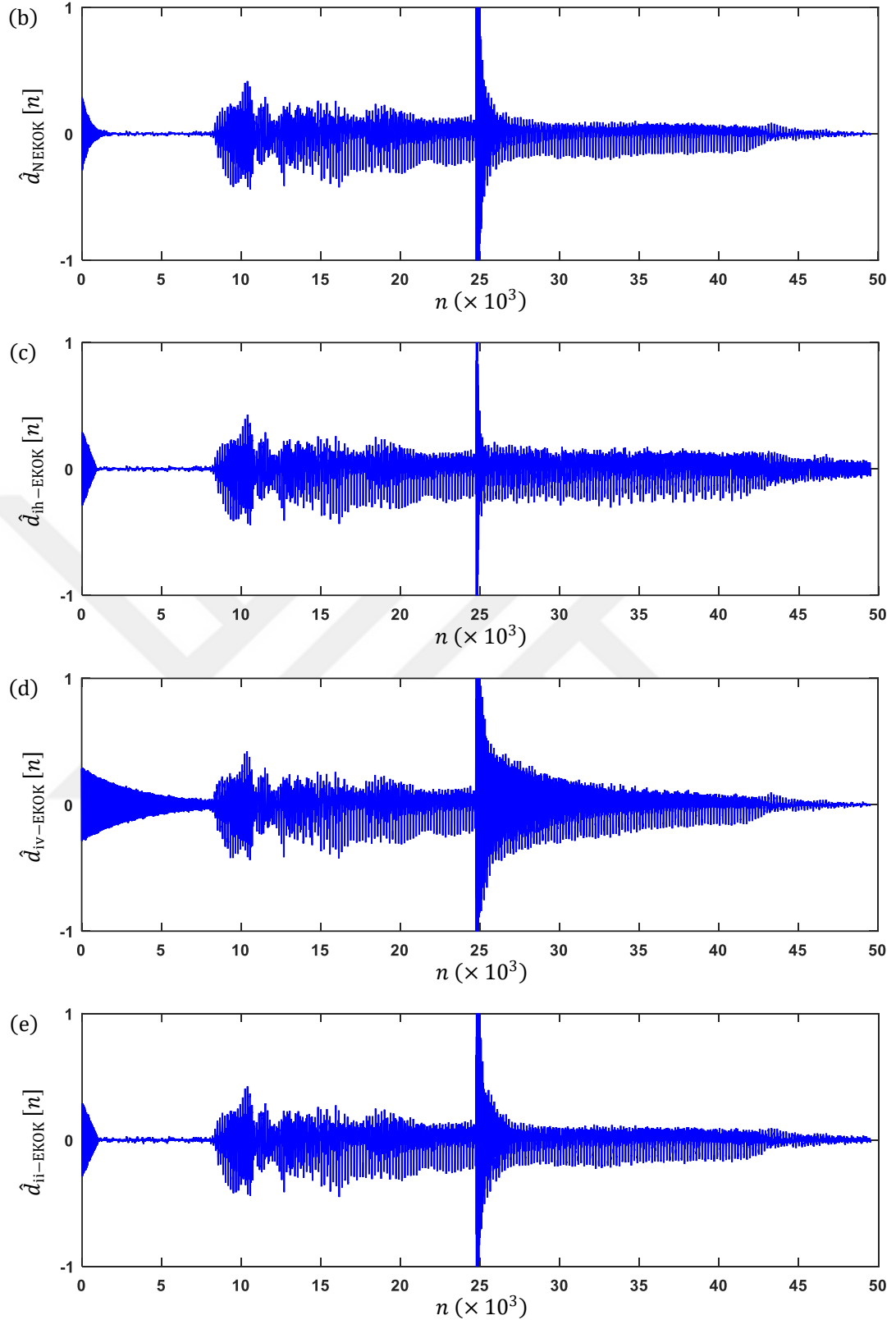




Şekil 4.17: İki referans girişli durum için mevcut ve önerilen çoklu hızlı uyarlamalı süzgeçler ile elde edilen kestirim sonuçları

- (a): Çoklu hızlı EKOK süzgeci ile elde edilen kestirim işareti (Hawes ve Therrien 2003),
 (b): Çoklu hızlı NEKOK süzgeci ile elde edilen kestirim işareti (Ükte ve Kızılkaya 2015),
 (c): Çoklu hızlı ih-EKOK süzgeci ile elde edilen kestirim işareti, (d): Çoklu hızlı iv-EKOK süzgeci ile elde edilen kestirim işareti, (e): Çoklu hızlı ii-EKOK süzgeci ile elde edilen kestirim işareti.





Şekil 4.18: Tek referans girişli durum için mevcut ve önerilen çoklu hızlı uyarlamalı süzgeçler ile elde edilen kestirim sonuçları
 (a): Çoklu hızlı EKOK süzgeci ile elde edilen kestirim işareti (Hawes ve Therrien 2003),
 (b): Çoklu hızlı NEKOK süzgeci ile elde edilen kestirim işareti (Ükte ve Kızılkaya 2015),
 (c): Çoklu hızlı ih-EKOK süzgeci ile elde edilen kestirim işareti, (d): Çoklu hızlı iv-EKOK süzgeci ile elde edilen kestirim işareti, (e): Çoklu hızlı ii-EKOK süzgeci ile elde edilen kestirim işareti.

Tablo 4.5: Mevcut ve önerilen çoklu hızlı uyarlamalı süzgeç yordamlarının başarımları

Durum	Yöntem	İGO	Yakınsama Hızı
<i>Durum-I</i>	EKOK	9.56 dB	~2678 örnek
	NEKOK	9.69 dB	~616 örnek
	ih-EKOK	5.99 dB	~228 örnek
	iv-EKOK	5.26 dB	~3946 örnek
	ii-EKOK	3.89 dB	~349 örnek
<i>Durum-II</i>	EKOK	5.17 dB	~6664 örnek
	NEKOK	4.92 dB	~1299 örnek
	ih-EKOK	6.87 dB	~836 örnek
	iv-EKOK	0.51 dB	~9447 örnek
	ii-EKOK	3.58 dB	~916 örnek

Şekil 4.17, Şekil 4.18 ve Tablo 4.5'teki sonuçlar incelendiğinde, gerek gürültü süzme gerekse yakınsama hızı başarımları açısından, *Durum-I* ve *Durum-II* için farklı yöntemlerin ön plana çıktığı görülmektedir.

İki referans girişinin de kullanıldığı *Durum-I*'de, NEKOK yöntemi gürültü süzme açısından mevcut EKOK yöntemine yakın bir başarımları sergilerken, yakınsama hızı açısından daha üstün kestirim sonuçları üretmiştir. *Durum-I* için EKOK yordamıyla elde edilen kestirim sonucunda sinüzoidal ton gürültüsünün bastırılabilmesi için yaklaşık 2678 örnek yani 122 mili saniyelik bir süreye ihtiyaç varken, NEKOK kestiriminde ise yaklaşık 616 örnek yani 28 mili saniyelik bir sürenin geçmesi gerektiği görülmektedir. Her ne kadar ih-EKOK ve ii-EKOK yöntemleri yakınsama hızı açısından NEKOK yöntemine göre daha iyi sonuçlar üretse de, *Durum-I* için bu yöntemler ile gürültünün yeterince süzülemediği görülmektedir.

Sadece düşük hızlı referans girişinin kullanıldığı *Durum-II*'de ise, ih-EKOK yöntemi hem gürültü süzme hem de yakınsama hızı anlamında diğer yöntemlere üstünlük sağlamıştır. *Durum-II* için EKOK kestiriminde sinüzoidal ton gürültüsünün bastırılabilmesi için yaklaşık 6664 örnek yani 302 mili saniyelik süre geçmesi gerekiyorken, ih-EKOK yordamıyla elde edilen kestirim sonucunda ise yaklaşık 836 örnek yani 38 mili saniyelik süreye ihtiyaç olduğu görülmektedir. Ayrıca beklendiği gibi, sadece düşük hızlı referans girişinin kullanıldığı *Durum-II* için gerçekleştirilen benzetimlerde, iki referans girişinin kullanıldığı *Durum-I*'dekilere göre hem İGO hem de yakınsama hızı açısından daha kötü başarımları değerleri elde edilmiştir.

Diğer taraftan, her iki durum için gerçekleştirilen benzetimlerde başlangıçtaki ve 24750. örnekteki sıçramalar, farklı frekanslı sinüzoidal ton gürültülerinin eklendiği konumlarda gerçekleşmektedir.

4.2.2 Değerlendirme

Bu kısımda, mevcut çoklu hızlı EKOK süzgecine alternatif olarak önerilen bu süzgecin değiştirilmiş sürümleri incelenmiş ve yöntemlerin başarımları uyarlamalı gürültü giderme benzetim örneği üzerinden karşılaştırılmıştır. Farklı durumlar için gerçekleştirilen uyarlamalı gürültü giderme benzetim örneği sonucunda, önerilen yöntemlerden bazılarının, özellikle yakınsama hızı anlamında mevcut yöntemden daha üstün olduğu görülmüştür.

Daha önce Bölüm 1.3'te de belirtildiği gibi bu çalışmanın çoklu hızlı NEKOK yordamı ile ilgili olan kısmı 2015 yılının Mayıs ayında konferans bildirisi olarak yayımlanmıştır (Ükte ve Kızılkaya 2015). Bu bildirinin yayımlanmasından iki ay sonra Cengiz (2015) tarafından aynı yordamın anlatıldığı fakat benzetimlerinde farklı işaretlerin kullanıldığı bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

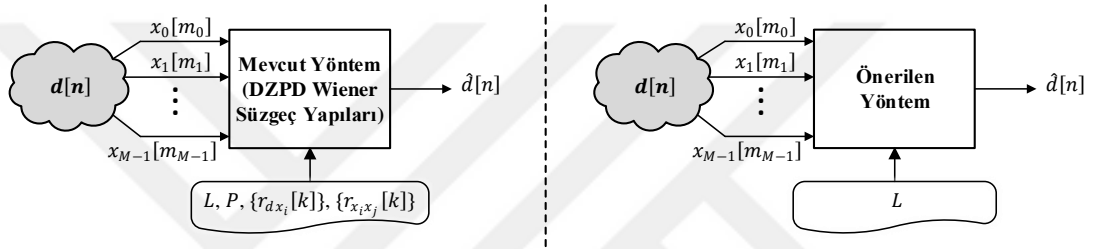
Geleceğe yönelik öneriler aşağıda listelenmiştir:

- Mevcut çoklu hızlı EKOK süzgeci veya burada önerilen EKOK tabanlı diğer süzgeç yordamları üzerinde birtakım değişiklikler yapılarak bu süzgeçlerin başarımlarının artırılması sağlanabilir.
- EKOK tabanlı olmayan mevcut tekli hızlı uyarlamalı süzgeç yapıları çoklu hızlı duruma uyarlanarak alternatif çoklu hızlı süzgeçler geliştirilebilir.

4.3 Çoklu Hızlı İşaret Kestirimi İçin GKA, S-G Süzgeci ve Ortanca Süzgeç Kullanılan Karma Bir Yöntem

Daha önce Bölüm 3.2.1'de de anlatıldığı gibi, DÇ gözlem verileri kullanılarak YÇ işaretin geriçatıldığı çoklu hızlı işaret kestiriminde DZPD Wiener süzgeç yapıları kullanılmaktadır (Kuchler ve Therrien 2003; Scrofani ve Therrien 2005a; Therrien

2001). En iyi ortalama karesel kestirim için kullanılacak doğrusal Wiener süzgecinin periyodik olarak zamanla değişen katsayılarının hesaplanması için, arzu edilen YÇ işaret ve gürültülü DÇ gözlem verilerine ait öz ve çapraz ilişki bilgilerinin önceden bilinmesi gerekmektedir. Bu çalışmada çoklu hızlı işaret kestiriminde Wiener süzgeç yerine GKA yöntemi, S-G süzgeci ve ortanca (medyan) süzgeçten oluşan karma bir yapının kullanıldığı yeni bir yöntem önerilmiştir (Ükte ve diğ. 2014b). Wiener süzgeçlere dayalı mevcut çoklu hızlı işaret kestirim yöntemi ile karşılaştırıldığında, Şekil 4.19'da da gösterildiği gibi önerilen yöntem herhangi bir istatistiksel bilgiye ihtiyaç duymamasıyla ön plana çıkmaktadır. Önerilen yöntemin YÇ işaret kestiriminde tatminkâr sonuçlar ürettiği benzetim örnekleriyle gösterilmiştir.



Şekil 4.19: Çoklu hızlı işaret kestirimi için kullanılan mevcut ve önerilen yöntemlerin karşılaştırmalı blok yapıları

Çalışmada gözlemlenemeyen ayrık zamanlı rastgele bir süreç olan N örnek uzunluğundaki $d[n]$ 'nin, M adet düşük örnekleme hızlı harici BGG $\{\eta_i[n]\}$ ile bozulmuş gözlem dizisi $\{x_i[m_i] | i = 0, 1, \dots, M - 1\}$ kullanılarak kestirilmesi problemi ele alınmıştır. Bu gözlemlerin, $d[n]$ 'nin azami derecede seyreltilmiş ve gürültü eklenmiş sürümleri olduğu ve Şekil 3.2'de verilen model ile elde edildiği varsayılmaktadır.

Verilen bir YÇ işaretin, gürültülü DÇ gözlemlerinden kestirilmesi için önerilen yöntem, seyreltme oranı L 'nin bilindiği varsayımı altında, dört safhadan oluşmaktadır:

İlk işlem safhasında, DÇ gözlem işaretlerindeki harici gürültünün etkisinin azaltılması amaçlanmıştır. Bunun için her bir DÇ gözlem işareti üzerine GKA ve S-G süzgeçleme işlemleri uygulanmıştır. Daha önce eşitlik (4.10)'da da gösterildiği gibi, GKA işlemi sonucunda i 'nci DÇ gözlem işareti $x_i[m]$, K_i adet ÖK işlevi $\{c_k^{(i)}[m] | k = 1, 2, \dots, K_i\}$ ve bir adet tekdüze artık bileşene $\{r_{K_i}[m]\}$ ayrışmaktadır.

Bilindiği gibi ilk ÖK işlevi $c_1^{(i)}[m]$, i 'nci gözlem işareti $x_i[m]$ 'nin en yüksek frekanslı dizisidir (Huang ve diğ. 1998). BGG ile ilgili frekans bileşenlerinin tüm frekans tayfına yayıldığı gerçeğini de göz önünde bulundurarak, her bir gürültülü DÇ gözlem işaretine ait ilk ÖK işlevinin doğrudan doğruya harici BGG ile ilişkili olduğunu söylemek yerinde bir tespit olacaktır (Wu ve Huang 2004). Ancak unutulmamalıdır ki ilki dışındaki diğer ÖK işlevlerinde de gürültünün etkileri mevcuttur (Elbi ve Kızılkaya 2012). Her ne kadar birinci ÖK işleviyle birlikte yüksek frekanslı diğer ÖK işlevlerinden bazılarının atılarak işaretin yeniden sentezlenmesi, gürültünün etkin bir şekilde süzülmesini sağlasa da beraberinde işaretin özünde var olan yüksek frekanslı bilgilerin kaybolmasına neden olur. Bu durumu göz önünde bulundurarak, bu çalışmada, her bir DÇ gözlemden bu gözleme ilişkin ilk ÖK işlevini ve artık diziyi çıkardıktan sonra elde edilen işarete S-G süzgeçleme uygulanarak gürültünün etkisini azaltma yoluna gidilmiştir. S-G süzgeçler, yerel en küçük kareler polinomu yaklaşımına dayanan sonlu birim örnek cevabına sahip alçak geçiren yumuşatma süzgeçleridir ve işaretin yüksek frekanslı bileşenlerini de koruyabilirler (Savitzky ve Golay 1964; Schafer 2011). S-G süzgeçleme sonrasında elde edilen işarete artık dizi eklenerek her bir DÇ işaret yeniden üretilmektedir. Sonuç olarak, yukarıda bahsedilen gürültü azaltma işlemi ile i 'nci gözlem işareti aşağıdaki gibi elde edilir:

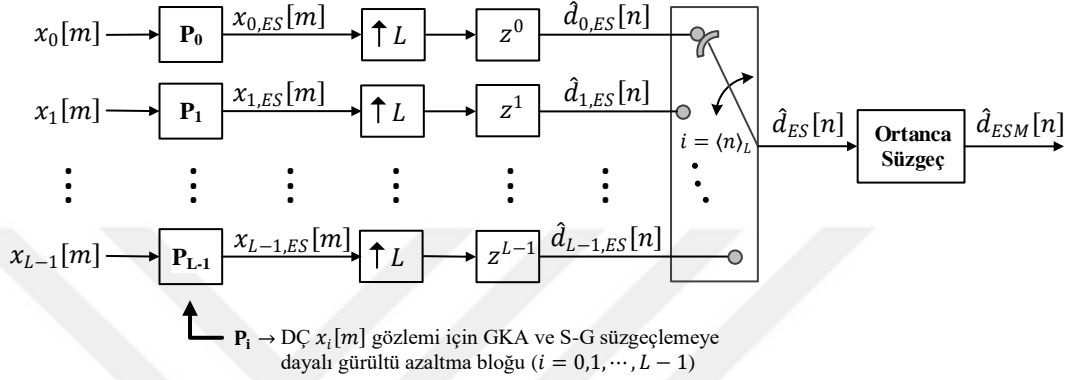
$$x_{i,ES}[m] = \text{S-G süzgeçleme} \left\{ \sum_{k=2}^{K_i} c_k^{(i)}[m] \right\} + r_{K_i}[m] \quad (4.32)$$

Önerilen yöntemin ikinci safhasında, Şekil 3.2'deki model ile sağlanan işlemlerin tersi gerçekleştirilmektedir. Yani, $i = 0, 1, \dots, L - 1$ için sıfır aradeğerlemeli YÇ kestirim işaretleri $\hat{d}_{i,ES}[n]$ 'leri elde etmek amacıyla, (4.32) eşitliği ile elde edilen $x_{i,ES}[m]$ işaretlerine $L_i = L$ oranında üst örnekleme ve sonra da z^i kadar zamanda öteleme uygulanmaktadır.

Üçüncü safhada, L adet sıfır aradeğerlemeli YÇ işaretin sıfırdan farklı örnek değerleri aşağıdaki kural çerçevesinde birleştirilerek tek bir YÇ kestirim işareti elde edilmektedir:

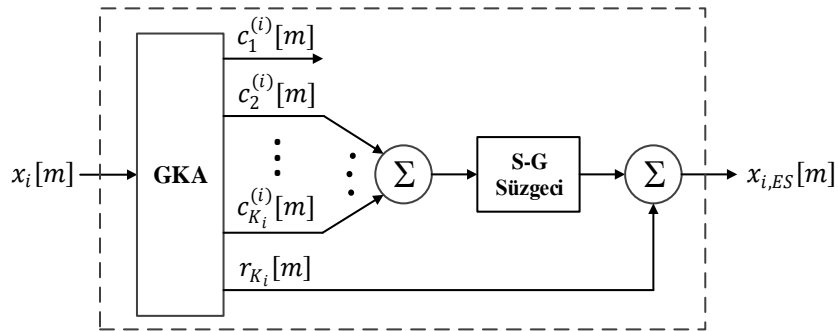
$$\hat{d}_{ES}[n] = \hat{d}_{i,ES}[n] \Big|_{i=\langle n \rangle_L} \quad (4.33)$$

Önerilen yöntemin son safhasında ise, üçüncü safha çıkışında elde edilen YÇ işaret $\hat{d}_{ES}[n]$ 'deki dalgalanmaları yok etmek amacıyla ortanca süzgeçleme yapılır. Böylece arzu edilen YÇ işaret $d[n]$ 'nin bir kestirimine karşı düşen $\hat{d}_{ESM}[n]$ işareti elde edilir. YÇ işaret $d[n]$ 'yi L adet gürültülü DÇ gözlemlerinden kestirmek amacıyla önerilen yöntemle ilişkin tüm işlem safhaları, Şekil 4.20'deki blok diyagramı ile verilmiştir.



Şekil 4.20: GKA, S-G Süzgeci ve Ortanca Süzgeç tabanlı çoklu hızlı YÇ işaret kestirimi yönteminin blok diyagramı gösterimi

Şekil 4.20'deki i 'nci DÇ gözlem işareti $x_i[m]$ 'nin gürültüsünü azaltmak için kullanılan, GKA ve S-G süzgeçlemeye dayalı işlem bloğu P_i 'nin iç yapısı ise Şekil 4.21'de gösterilmiştir.



Şekil 4.21: Şekil 4.20'deki P_i gürültü azaltma bloğunun iç yapısı.

4.3.1 Benzetim Sonuçları

Önerilen yöntemin mevcut yöntemle (Yöntem-3.2.1) kıyasla başarımı, birbirinden farklı iki YÇ işaret üzerinden değerlendirilmiştir. Birebir karşılaştırma yapabilmek adına, YÇ işaretler, Şekil 3.2'deki modelden $\hat{I}GO = -4.8$ dB olacak şekilde üretilen üç adet gürültülü DÇ gözlemlerinden kestirilmeye çalışılmıştır. DÇ

işaretler arzulanan işaret $d[n]$ 'nin azami derecede seyreltilmiş sürümleri olduğu için, seyreltme oranı $L_i = L = 3$ alınmıştır. Yöntem-3.2.1'de gerekli olan süzgeç mertebesi $P = 8$ olarak seçilmiştir. Önerilen yöntemin bir parçası olarak, ilgili DÇ gözlem işaretlerinin ÖK işlevlerinin elde edilmesi aşamasındaki eleme süreci, eşitlik (4.6) ile tanımlanan standart sapma temelli durdurma ölçütüne göre eşik değeri $\epsilon = 1 \times 10^{-9}$ seçilerek sonlandırılmıştır. S-G süzgeçleme için gömülü MATLAB® fonksiyonu `sgolayfilt` kullanılmıştır. Bu fonksiyonun kullanımında polinom mertebesi ve çerçeve uzunluğu; *Örnek-4.3.1*'deki işaret için sırasıyla 4 ve 47, *Örnek-4.3.2*'deki işaret için ise sırasıyla 4 ve 31 olarak seçilmiştir. Önerilen yöntemin son safhasındaki ortanca süzgeçleme, her iki örnekteki işaret için pencere boyutunu 3 alarak gerçekleştirilmiştir.

Ulaşılan sonuçların sayısal olarak karşılaştırılması, daha önce eşitlik (4.15) ile tanımlanan NOKH başarımlı ölçütü üzerinden yapılmıştır. Arzu edilen YÇ işarete ilişkin ilk PL örnek değeri, Yöntem-3.2.1 ile kestirilemediğinden dolayı birebir karşılaştırma yapmak için ilk PL örnek dışındaki örnekler üzerinden NOKH değerleri elde edilmiştir. Diğer taraftan, Yöntem-3.2.1'in aksine, arzu edilen işaretin tüm örnek değerleri önerilen yöntem ile kestirilebilmektedir.

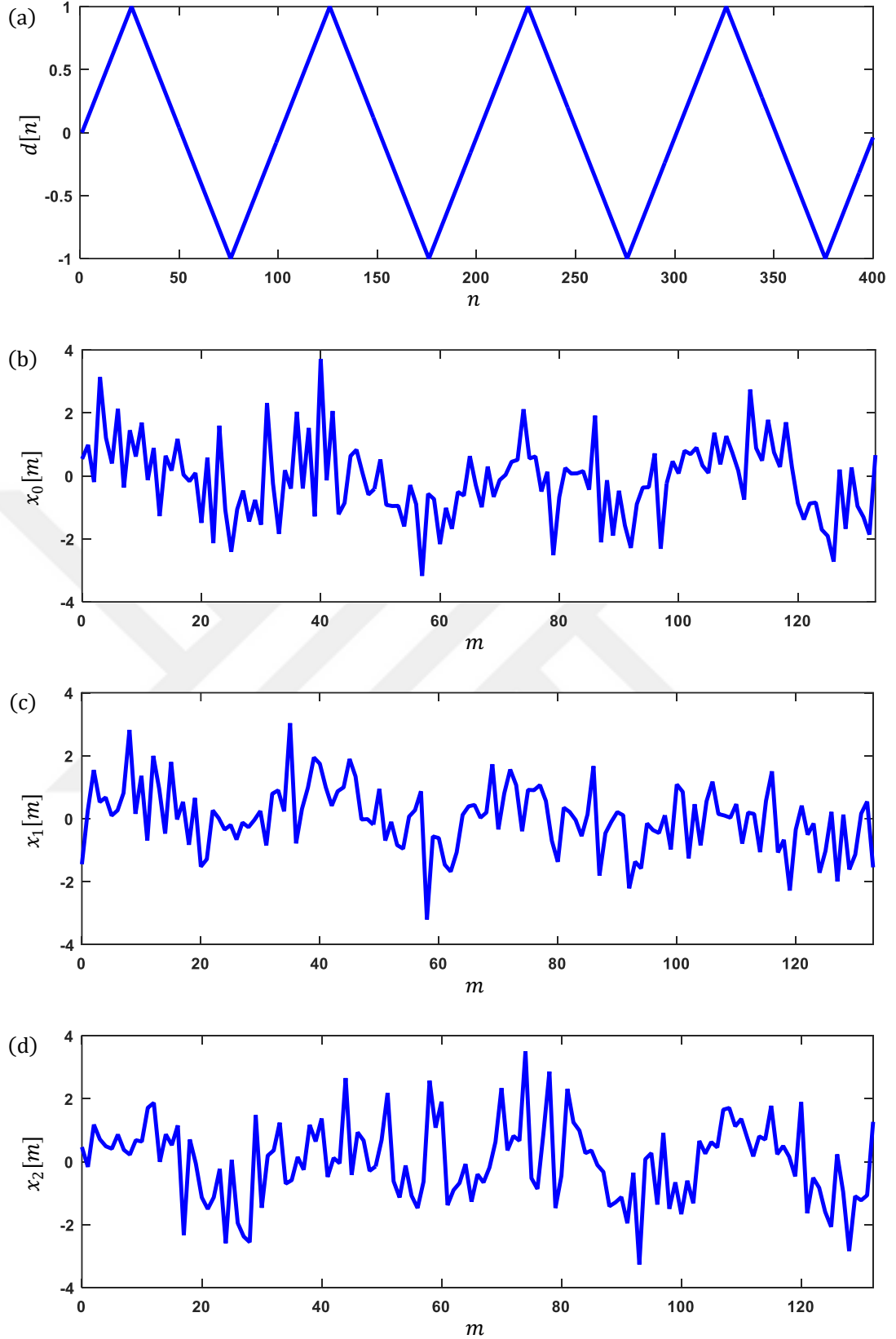
Örnek-4.3.1: Bu örnekte, YÇ işaret $d[n]$, $f_s = 400$ Hz'lik örnekleme frekansı ile $f_0 = 4$ Hz'lik işaret frekansına sahip bir üçgen dalga işareti olup örnek değerleri aşağıdaki MATLAB® kodu ile $N = 400$ örnekten oluşacak şekilde üretilmiştir:

```
n = 0:1:fs;
d = sawtooth(2*pi*f0*(n/fs + 0.625), 0.5);
```

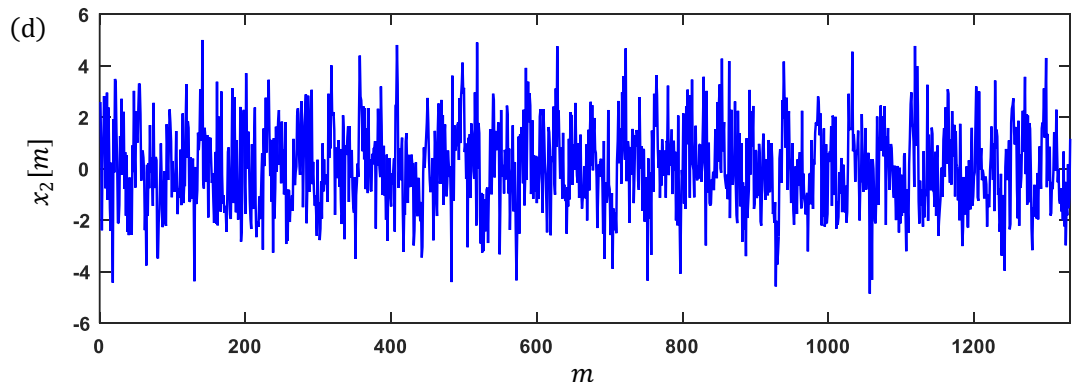
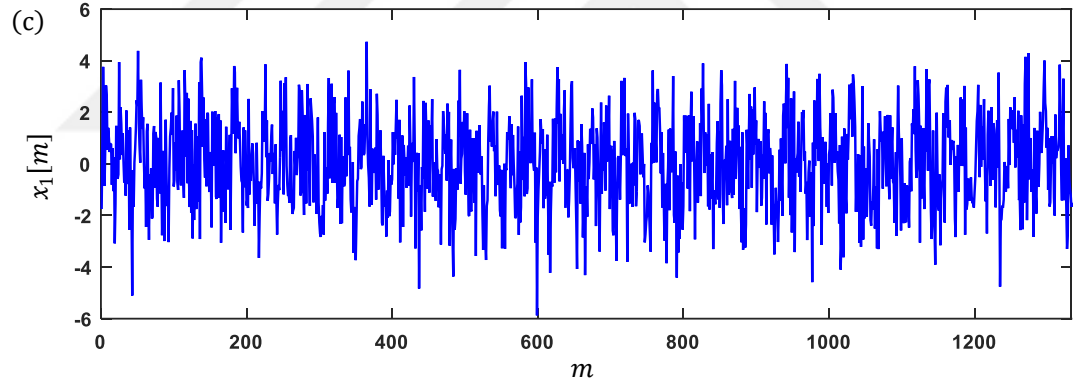
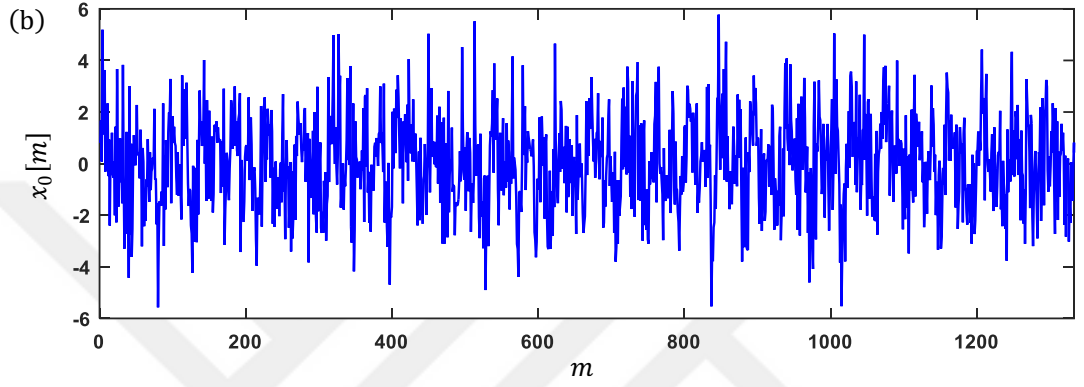
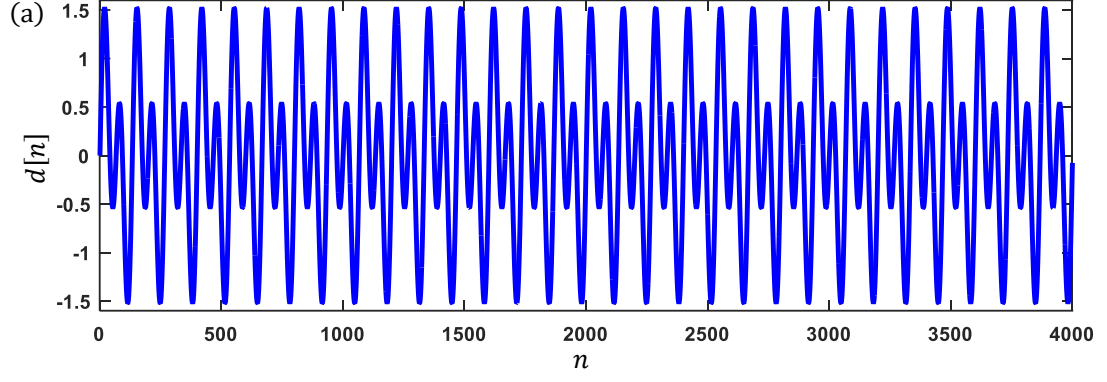
Örnek-4.3.2: Bu örnekte, arzu edilen YÇ işaret $d[n]$, $f_s = 4$ kHz 'lik örnekleme frekansı ile $f_0 = 30$ Hz'lik işaret frekansına sahip farklı genlikteki iki sinüzoidal işaretin toplamından oluşan karma bir işarettir. Bu işaretin örnek değerleri aşağıdaki MATLAB® kodu ile $N = 4000$ örnekten oluşacak şekilde üretilmiştir:

```
n = 0:1:fs;
d=sin(4*pi*f0*n/fs)+0.7*sin(2*pi*f0*n/fs);
```

Örnek-4.3.1 ve *Örnek-4.3.2*'deki YÇ işaretler ve bu işaretlerden üretilen gürültülü DÇ gözlemler sırasıyla Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'te gösterilmiştir.



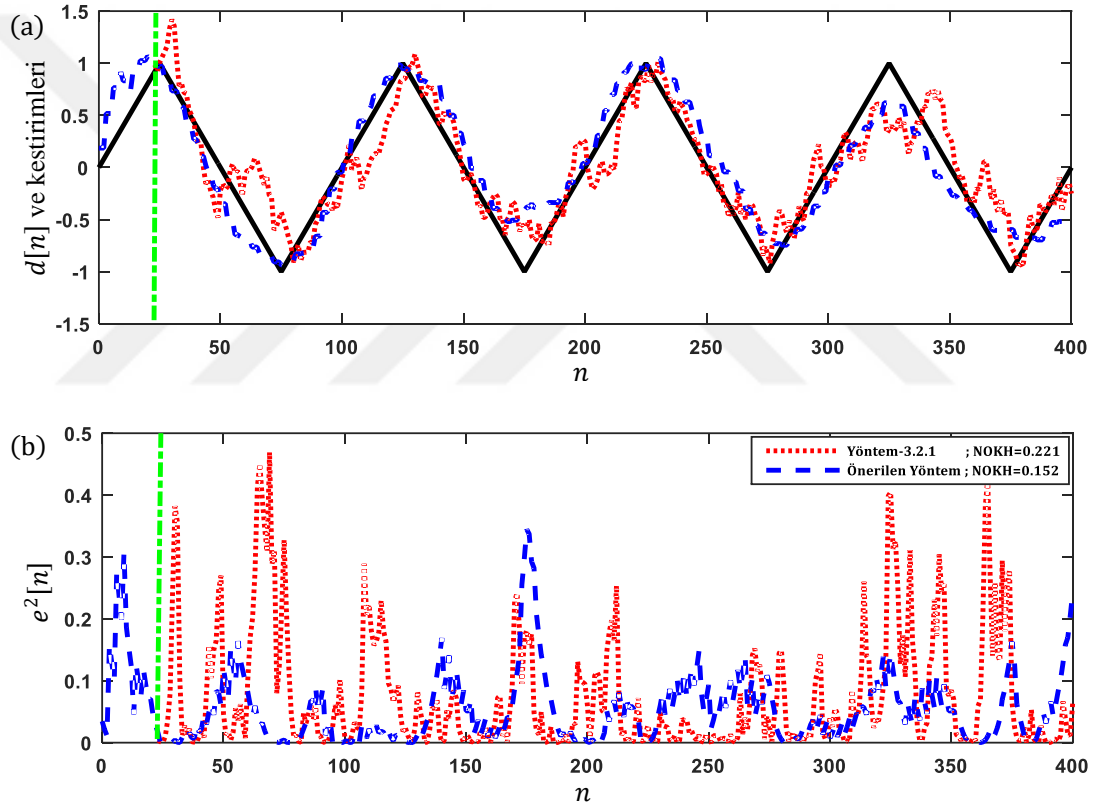
Şekil 4.22: Örnek-4.3.1 için arzu edilen YÇ işaret ve onun $L = 3$ çarpanı ile alt örneklenmiş azami derecede seyreltilmiş gürültü DÇ gözlem işaretleri.
 (a): $d[n]$, (b): $x_0[m]$, (c): $x_1[m]$, (d): $x_2[m]$



Şekil 4.23: Örnek-4.3.2 için arzu edilen YÇ işaret ve onun $L = 3$ çarpanı ile alt örneklenmiş azami derecede seyreltilmiş gürültü DÇ gözlem işaretleri.

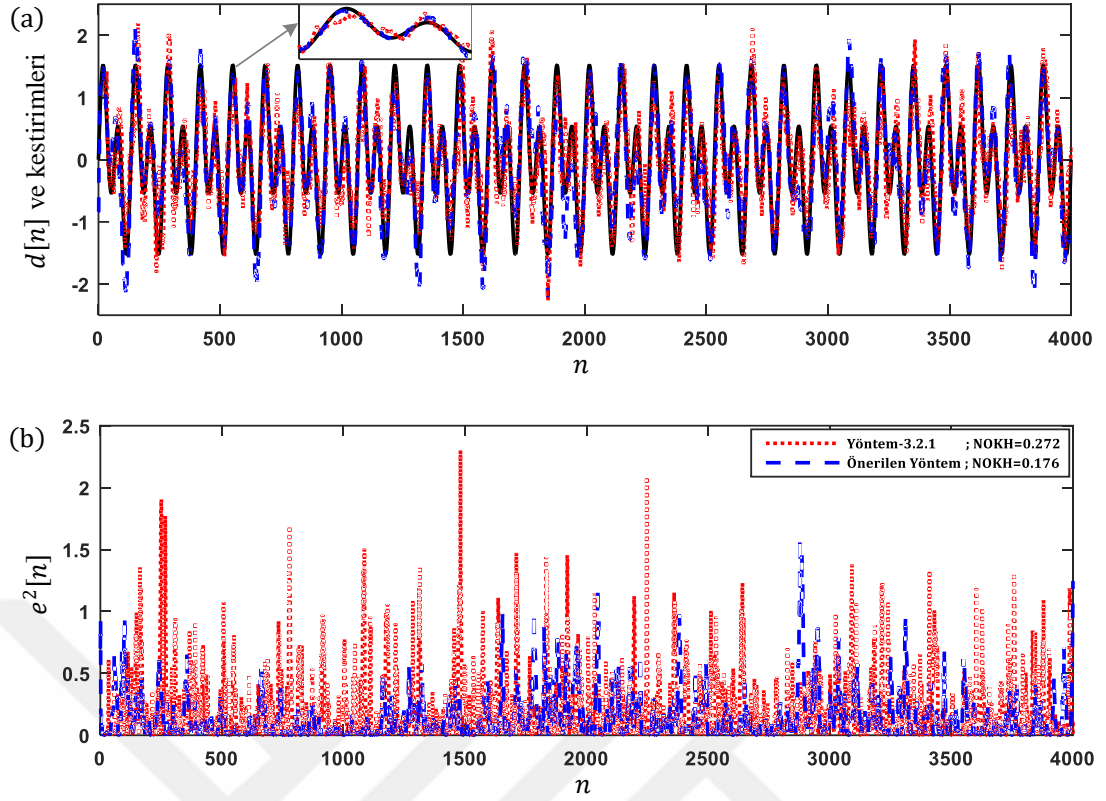
(a): $d[n]$, (b): $x_0[m]$, (c): $x_1[m]$, (d): $x_2[m]$

Gürültülü DÇ gözlem işaretlerinden önerilen yöntem ve Yöntem-3.2.1 kullanılarak kestirilen YÇ işaret sonuçları, *Örnek-4.3.1* ve *Örnek-4.3.2*'deki işaretler için sırasıyla Şekil 4.24 ve Şekil 4.25'te gösterilmiştir. Buna göre, incelenen işaretler için Yöntem-3.2.1 ile ulaşılan kestirime nazaran, önerilen yöntem ile tatminkâr sonuçlara ulaşıldığı görülmektedir. Birbirinden bağımsız 100 MC benzetimi ile hesaplanan ortalama NOKH değerleri bu düşüncüyü desteklemektedir: *Örnek-4.3.1* için önerilen yöntemle 0.152, Yöntem-3.2.1 ile ise 0.221 ve *Örnek-4.3.2* için önerilen yöntemle 0.176, Yöntem-3.2.1 ile ise 0.272 NOKH değerlerine ulaşılmıştır. Şekil 4.24 ve Şekil 4.25'teki grafikler, MC benzetimlerinden NOKH'si ortalama değere en yakın olanına karşı düşmektedir.



Şekil 4.24: *Örnek-4.3.1*'deki üçgen dalda şeklindeki işaretin kestirimine ait benzetim sonuçları.

(a): Arzu edilen işaret (siyah düz çizgi) ve kestirim işaretleri [Yöntem-3.2.1 (kırmızı noktalı çizgi), Önerilen Yöntem (mavi kesikli çizgi)], (b): Yöntem-3.2.1 (kırmızı noktalı çizgi) ve önerilen yöntem (mavi kesikli çizgi) ile elde edilen karesel hata işaretleri



Şekil 4.25: Örnek-4.3.2’deki sinüzoidal işaretin kestirimine ait benzetim sonuçları.

(a): Arzu edilen işaret (siyah düz çizgi) ve kestirim işaretleri [Yöntem-3.2.1 (kırmızı noktalı çizgi), Önerilen Yöntem (mavi kesikli çizgi)], (b): Yöntem-3.2.1 (kırmızı noktalı çizgi) ve önerilen yöntem (mavi kesikli çizgi) ile elde edilen karesel hata işaretleri

4.3.2 Değerlendirme

Bu çalışmada, gözlemlenemeyen YÇ bir işaretin, DÇ gürültülü gözlemleri kullanılarak kestirilmesi sürecinde, YÇ işaret veya DÇ gözlemleri hakkında herhangi bir istatistiksel bilgiye ihtiyaç duyulmayan yeni bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntemde alt örnekleme oranının bilinmesi yeterlidir. Örnekleme ve işaret frekansı gibi belirli koşullar altında gerçekleştirilen benzetimler sonucunda, önerilen yöntem ile mevcut yönteme göre daha iyi kestirim başarımı sergilendiği görülmektedir. Örnekleme ve işaret frekansının kestirim sonuçlarına etkisinin incelenmesi ve yöntemin iki-boyutlu görüntü işaretlerine uygulanması, gelecekte yapılabilecek çalışmalar olarak ele alınabilir.

4.4 Çoklu Hızlı İşaret Kestirimi İçin GKA-AE ve GKA-YAE Tabanlı Gürültü Süzme Yaklaşımlarının Kullanıldığı İki Görgül Yöntem

Bu bölümde, Kopsinis ve McLaughlin (2009) tarafından geliştirilen GKA-AE ve GKA-YAE tekniklerinin çoklu hızlı işaret kestirimi için kullanıldığı iki görgül yöntemden bahsedilecektir. Daha önce Bölüm 4.3'te bahsedilen yöntem gibi bu yöntemler de, Wiener süzgeçlere dayalı mevcut çoklu hızlı işaret kestirim yöntemi ile karşılaştırıldıklarında, Şekil 4.19'da da gösterildiği gibi herhangi bir istatistiksel bilgiye ihtiyaç duymamalarıyla ön plana çıkmaktadırlar. Önerilen yöntemlerin YÇ işaret kestiriminde tatminkâr sonuçlar ürettiği benzetim örnekleriyle gösterilmiştir.

4.4.1 Çoklu Hızlı İşaret Kestirimi İçin GKA-AE Tabanlı Gürültü Süzme Yapıları ve Ortanca Süzgeç Kullanan Karma Bir Yöntem

Bu çalışmada, gözlemlenemeyen ayrık zamanlı bir rastgele süreç olan N örnek uzunluğundaki YÇ arzulanan işaret $d[n]$ 'nin, M adet DÇ gürültülü gözlem dizisi $\{x_i[m_i] | i = 0, 1, \dots, M - 1\}$ kullanılarak kestirilmesi problemini çözmek için, Bölüm 3.2.1'de bahsedilen DZPD Wiener süzgeç yapılarının kullanımına dayalı mevcut işaret kestirim yöntemine alternatif olarak, karma bir yöntem önerilmiştir (Kızılkaya ve diğ. 2015). DÇ gözlemlerin, $d[n]$ 'nin azami derecede seyreltilmiş ve gürültü eklenmiş sürümleri olduğu ve Şekil 3.2'de verilen model ile elde edildiği varsayılmaktadır.

Önerilen yöntem, seyreltme oranı L 'nin bilindiği varsayımı altında, dört işaret işleme biriminden oluşmaktadır:

İlk işlem birimi ile DÇ gözlem işaretlerindeki harici BGG etkisinin azaltılması amaçlanmıştır. Bunun için GKA tabanlı bir gürültü giderme yaklaşımı kullanılmıştır. Daha önce eşitlik (4.10)'da da gösterildiği gibi, GKA işlemi sonucunda i 'nci DÇ gözlem işareti $x_i[m]$, frekansları azalacak şekilde sıralanmış K_i adet ÖK işlevi $\{c_k^{(i)}[m] | k = 1, 2, \dots, K_i\}$ ve bir adet tekdüze artık bileşene $\{r_{K_i}[m]\}$ ayrılmaktadır. Bilindiği gibi ilk ÖK işlevi $c_1^{(i)}[m]$, i 'nci gözlem işareti $x_i[m]$ 'nin en yüksek frekanslı dizisidir (Huang ve diğ. 1998). BGG ile ilgili frekans bileşenlerinin tüm frekans tayfını

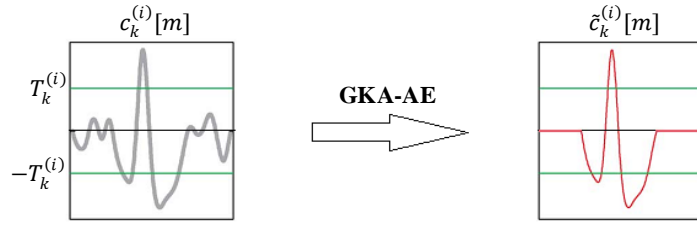
kapsadığı dikkate alınarak, her gürültülü DÇ gözlem işaretinin ilk ÖK işlevi doğrudan harici BGG ile ilişkilendirilebilir (Wu ve Huang 2004). Ancak unutulmamalıdır ki ilki dışındaki ÖK işlevlerinde de gürültünün etkileri mevcuttur (Elbi ve Kızılkaya 2012). Bu gerçekleri dikkate alarak, önerilen yöntemin ilk alt biriminde, Kopsinis ve McLaughlin (2009) tarafından geliştirilen GKA-AE yordamına dayalı bir gürültü süzme yaklaşımı ile DÇ gürültülü gözlem işaretlerinin gürültüleri azaltılmış sürümleri elde edilmiştir.

GKA-AE yordamın temelinde, gürültüsü süzülecek olan işaretin GKA ile elde edilen ÖK işlevlerinden bazılarına eşikleme uygulanarak gürültünün azaltılması işlemi yatmaktadır. $z_{k,j}^{(i)}$, i 'nci gözlem işaretine ait k 'nci ÖK işlevindeki j 'nci sıfır geçiş anına denk gelen örnek konumu olsun. k 'nci ÖK işlevi $c_k^{(i)}[m]$ için $\mathbf{z}_{k,j}^{(i)} = [z_{k,j}^{(i)}, z_{k,j+1}^{(i)}]$ ile tanımlanan kapalı aralıktaki ardışık sıfır geçiş anları arasında kalan yalıtılmış ÖK işlevi örnekleri için, bu aralıktaki tek bir uçdeğer noktası $c_k^{(i)}[p_{k,j}]$ 'ye bakarak, ilgili ÖK işlevinin aynı aralığa tekabül eden kısmının işaret baskın veya gürültü baskın olduğuna karar vermek mümkündür. Burada $p_{k,j}$; k 'nci ÖK işlevi için ilgili uçdeğer noktasındaki örnek konumunu belirtmektedir. Eğer bu aralıkta işaret yerine gürültü baskınsa, bu uçdeğerin mutlak değeri, önceden tanımlanmış bir eşik değerinin altında kalmaktadır. Alternatif olarak bu aralıkta işaret gürültüye göre daha güçlüyse, uçdeğerin mutlak değeri eşiği aşmaktadır. $T_k^{(i)}$, i 'nci DÇ gözlem işaretinin k 'nci ÖK işlevinin gürültüsünü azaltmada kullanılacak olan eşik değerini, $N_k^{(i)}$ ise k 'nci ÖK işlevindeki sıfır geçiş sayısını belirtmek üzere, i 'nci DÇ gözlem işaretinin k 'nci ÖK işlevine $j = 1, 2, \dots, N_k^{(i)}$ için aralık eşikleme işleminin uygulanması ile elde edilen gürültüsü azaltılmış ÖK işlevi $\tilde{c}_k^{(i)}[m]$ aşağıdaki eşitlikte gösterilmiştir (Kopsinis ve McLaughlin 2009):

$$\tilde{c}_k^{(i)}[\mathbf{z}_{k,j}^{(i)}] = \begin{cases} c_k^{(i)}[\mathbf{z}_{k,j}^{(i)}], & |c_k^{(i)}[p_{k,j}]| > T_k^{(i)} \\ 0, & |c_k^{(i)}[p_{k,j}]| \leq T_k^{(i)} \end{cases} ; j = 1, 2, \dots, N_k^{(i)} \quad (4.34)$$

Eşitlik (4.34)'te de görüldüğü gibi, GKA-AE işlemi sonucunda, ilgili ÖK işlevinin ardışık sıfır geçiş anları arasındaki gürültünün baskın olduğu örnek değerleri

sıfırlanmakta, işaretin baskın olduğu örnek değerleri ise çıkışa aktarılmaktadır. Bu durum, temsili bir ÖK işlevi için Şekil 4.26’da gösterilmiştir.



Şekil 4.26: ÖK işlevine GKA-AE işleminin uygulanması (Kopsinis ve McLaughlin 2009).

Eşitlik (4.34)’teki $c_k^{(i)}[z_{k,j}^{(i)}]$, k ’nci ÖK işlevinin $z_{k,j}^{(i)}$ aralığındaki örnek değerlerini belirtmektedir. Eşitlik (4.34)’te kullanılan eşik değeri aşağıdaki şekilde seçilir (Kopsinis ve McLaughlin 2009):

$$T_k^{(i)} = C \sqrt{E_k^{(i)} 2 \ln M_i} \quad (4.35)$$

Burada C sabit bir çarpan değerini, M_i i ’nci DÇ gözlem işaretinin örnek sayısını, $E_k^{(i)}$ ise ilgili ÖK işlevinin enerjisini belirtmektedir. $E_k^{(i)}$ aşağıdaki şekilde hesaplanabilir (Kopsinis ve McLaughlin 2009):

$$E_k^{(i)} = \frac{\rho^{-k} E_1^{(i)}}{\beta}, \quad k = 2, 3, \dots, K_i \quad (4.36)$$

Aynı zamanda harici BGG değişintisinin kestirimi olarak da tanımlanabilen ilk ÖK işlevinin enerjisi aşağıdaki şekilde hesaplanabilir (Kopsinis ve McLaughlin 2009):

$$E_1^{(i)} = \left[\frac{\text{ortanca}(c_1^{(i)}[m])}{0.6745} \right]^2 \quad (4.37)$$

Eşitlik (4.36)’daki β ve ρ katsayılarının değerleri, GKA yordamının bir parçası olan eleme sürecindeki yineleme sayısına bağlı olarak belirlenmektedir (Kopsinis ve McLaughlin 2009).

Sonuç olarak, önerilen yöntemin ilk işlem birimi olan GKA-AE tabanlı gürültü giderme sürecinin sonunda, DÇ gözlem işaretlerinin gürültüsü azaltılmış sürümleri aşağıdaki şekilde elde edilmektedir:

$$\tilde{x}_i[m] = \sum_{k=M_1}^{M_2} \tilde{c}_k^{(i)}[m] + \sum_{k=M_2+1}^{K_i} c_k^{(i)}[m] + r_{K_i}[m] \quad (4.38)$$

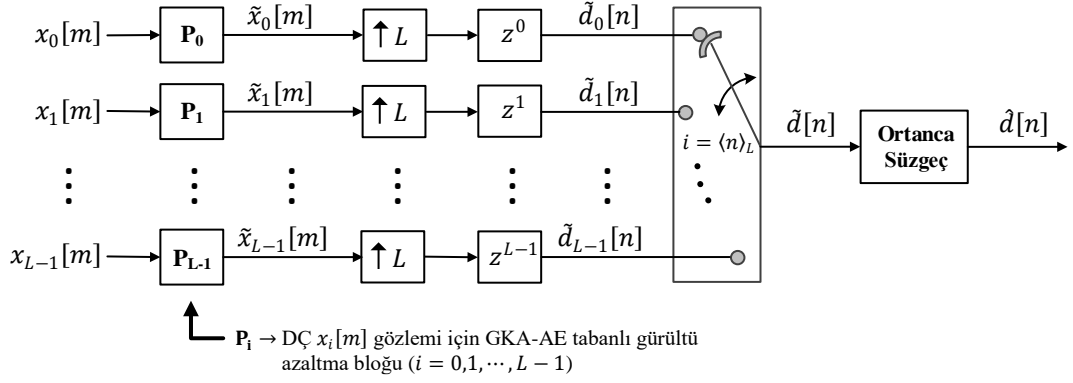
Eşitlik (4.38)'den de anlaşılacağı gibi, i 'nci DÇ gözlem işaretinin gürültüsü azaltılmış sürümünü elde etmek için, GKA-AE yordamı sonucunda, (4.10) eşitliğindeki gürültülü ilk $M_1 - 1$ adet ÖK işlevi atılmakta ve daha az gürültülü olan M_1 ve M_2 'nci arasındaki ÖK işlevleri ise eşikleme işlemi uygulanmış emsalleri ile yer değiştirmektedir.

Önerilen yöntemin ikinci işlem biriminde, Şekil 3.2'deki gözlem modelindeki işlemlerin tersi gerçekleştirilmektedir. Yani (4.38) eşitliği ile elde edilen $\tilde{x}_i[m]$ işaretlerine $L_i = L$ oranında üst örnekleme ve ardından z^i kadar zamanda öteleme uygulanarak $i = 0, 1, \dots, L - 1$ için sıfır aradeğerlemeli YÇ kestirim işaretleri $\tilde{d}_i[n]$ 'ler elde edilmektedir.

Üçüncü işlem biriminde, sıfır aradeğerlemeli YÇ işaretlerin sıfırdan farklı örnek değerleri aşağıdaki kural çerçevesinde birleştirilerek tek bir YÇ kestirim işareti elde edilmektedir:

$$\tilde{d}[n] = \tilde{d}_i[n] \Big|_{i=\langle n \rangle_L} \quad (4.39)$$

Önerilen yöntemin son işlem biriminde ise, eşitlik (4.39) ile elde edilen YÇ işaretteki dalgalanmaları yok etmek amacıyla bu işarete ortanca süzgeçleme uygulanmaktadır. Böylece arzu edilen YÇ işaret $\tilde{d}[n]$ 'nin bir kestirimine karşı düşen $\hat{d}[n]$ işareti elde edilir. YÇ işaret $\tilde{d}[n]$ 'yi L adet gürültülü DÇ gözlemlerinden kestirmek amacıyla önerilen yönteme ilişkin tüm işlem birimleri, Şekil 4.27'deki blok diyagramı ile gösterilmiştir.



Şekil 4.27: GKA-AE tabanlı çoklu hızlı YÇ işaret kestirimi yönteminin blok diyagramı gösterimi

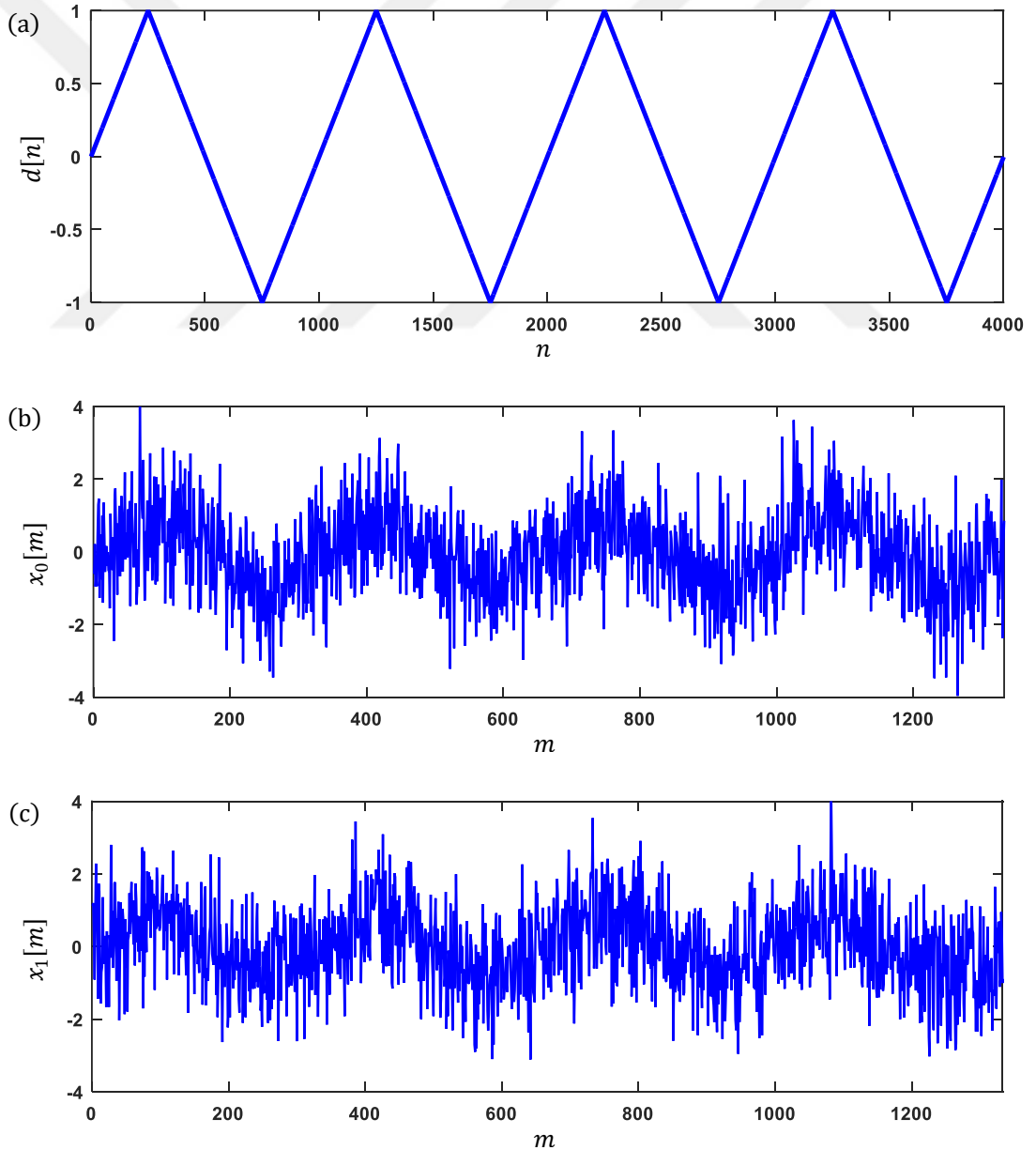
4.4.1.1 Benzetim Sonuçları

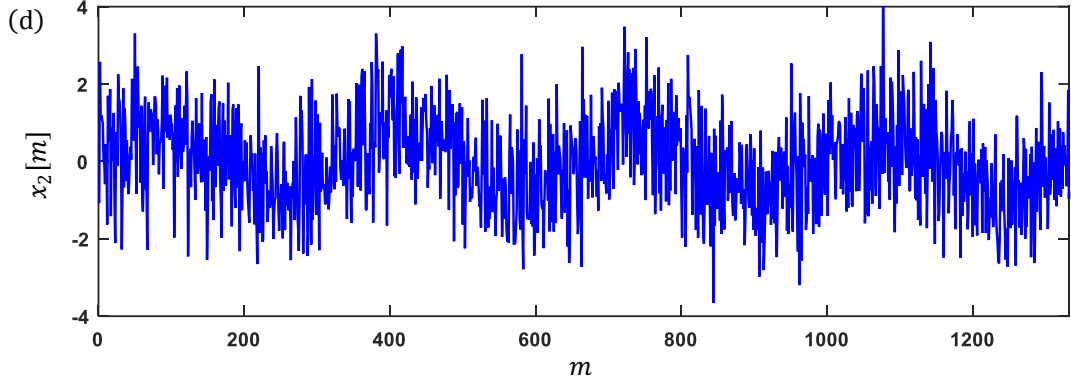
Önerilen yöntemin geçerliliğini ve başarımını sınamak amacıyla, iki farklı işaret, BGG ile bozulmuş üç adet gürültülü DÇ gözlemlerinden kestirilmeye çalışılmıştır. Sağlıklı bir değerlendirme yapabilmek için, önerilen yöntemin sonuçları mevcut yöntem olan Yöntem-3.2.1'in sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma işlemi daha önce eşitlik (4.15) ile tanımlanan NOKH başarımlar ölçütü kullanılarak yapılmıştır. DÇ gözlem işaretlerinin YÇ arzulanan işaretin azami derecede seyreltilmiş sürümleri olmasından ötürü, seyreltme oranı $L_i = L = 3$ alınmıştır. Yöntem-3.2.1'de gerekli olan Wiener süzgeç katsayılarının sayısı $P = 8$ olarak seçilmiştir. Önerilen yöntemin bir parçası olarak, ilgili DÇ gözlem işaretlerinin ÖK işlevlerinin elde edilmesi aşamasındaki eleme süreci sekiz yinleme sonucunda sonlandırılmış, ÖK işlevlerinin enerjilerinin hesaplanmasında kullanılan β ve ρ katsayılarının değerleri ise sırasıyla 0.719 ve 2.01 olarak seçilmiştir (Kopsinis ve McLaughlin 2009). Eşitlik (4.35)'teki C çarpanı, $[0.1, 1.4]$ kapalı aralığındaki 0.1'lik adım artışları ile gerçekleştirilen ızgara arama tekniği kullanılarak, en küçük NOKH değerini sağlayacak şekilde belirlenmiştir. Önerilen yöntemin son işlem biriminde YÇ işaretin örneklerindeki dalgalanma etkisini yok etmek amacıyla kullanılan ortanca süzgeç için pencere boyutu 3 olarak seçilmiştir. Yöntem-3.2.1 ile arzu edilen YÇ işarete ilişkin ilk PL örnek değeri kestirilemediğinden dolayı, önerilen yöntem ile Yöntem-3.2.1 arasında birebir karşılaştırma yapmak adına NOKH değerleri son $N - PL - 1$ örnek kullanılarak hesaplanmıştır. Diğer yandan, Yöntem-3.2.1'in aksine, önerilen yöntem ile arzu edilen işaretin tüm örnek değerleri kestirilebilmektedir.

Örnek-4.4.1.1: Bu örnekte, $N = 4000$ örnek uzunluğunda olan üçgen dalga biçimindeki YÇ işaret $d[n]$, Şekil 3.2'deki gözlem modeli kullanılarak üretilen üç adet gürültülü DÇ gözlem işaretinden kestirilmeye çalışılmıştır. Gözlem işaretleri elde edilirken $d[n]$ 'ye İGO = -5 dB olacak şekilde sıfır ortalamalı BGG eklenmiştir. YÇ işaret $d[n]$ üretilirken, $f_0 = 4$ Hz'lik işaret frekansı ve $f_s = 4000$ Hz'lik örnekleme frekansı değerleri için aşağıdaki MATLAB® kodu kullanılmıştır:

```
n = 0:1:fs;
d = sawtooth(2*pi*f0*(n/fs+0.625), 0.5);
```

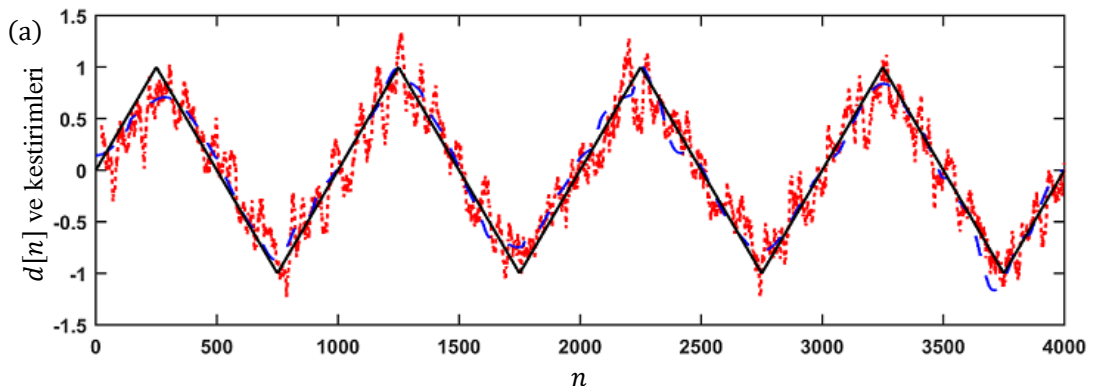
Arzulanan işaret $d[n]$ ve bu işaretten üretilen gürültülü DÇ gözlemler Şekil 4.28'te gösterilmiştir.

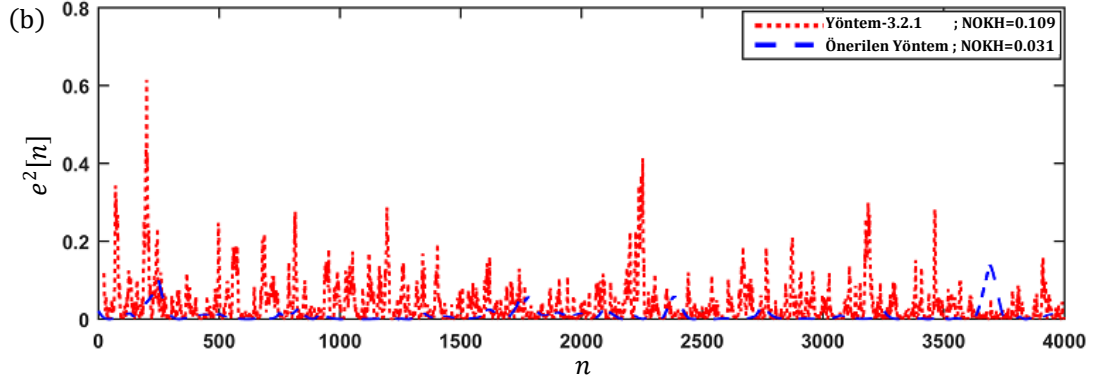




Şekil 4.28: Örnek-4.4.1.1 için arzu edilen YÇ işaret ve onun $L = 3$ çarpanı ile alt örneklenmiş azami derecede seyreltilmiş gürültü DÇ gözlem işaretleri.
(a): $d[n]$, (b): $x_0[m]$, (c): $x_1[m]$, (d): $x_2[m]$

Önerilen yöntemdeki GKA-AE tabanlı gürültü süzme sürecinin bir parçası olarak, eşitlik (4.35)'teki C çarpanı ızgara arama tekniği ile 0.3 olarak belirlenmiş, (4.38) eşitliğindeki M_1 ve M_2 değerleri ise sırasıyla 6 ve $K_i - 2$ olarak alınmıştır. Karşılaştırılan iki yöntemde ait işaret kestirim sonuçları ve karesel hatalar Şekil 4.29'da verilmiştir. Bu sonuçlar incelendiğinde, önerilen yöntemin Yöntem-3.2.1'e göre daha iyi bir başarımla sergilediği görülmektedir. Önerilen yöntem ve Yöntem-3.2.1 için sırasıyla 0.031 ve 0.109 olarak hesaplanan NOKH değerleri de bu saptamayı doğrulamaktadır. Diğer yandan şunu da belirtmek gerekir ki, GKA tabanlı yöntemlerin başarımları işaret frekansı (f_0) ve örnekleme frekansı (f_s) değerlerinden etkilenmektedir. Bu durumla ilgili ayrıntılı analizler daha önce Bölüm 4.1'de verilmiştir (Ükte ve diğ. 2014a).



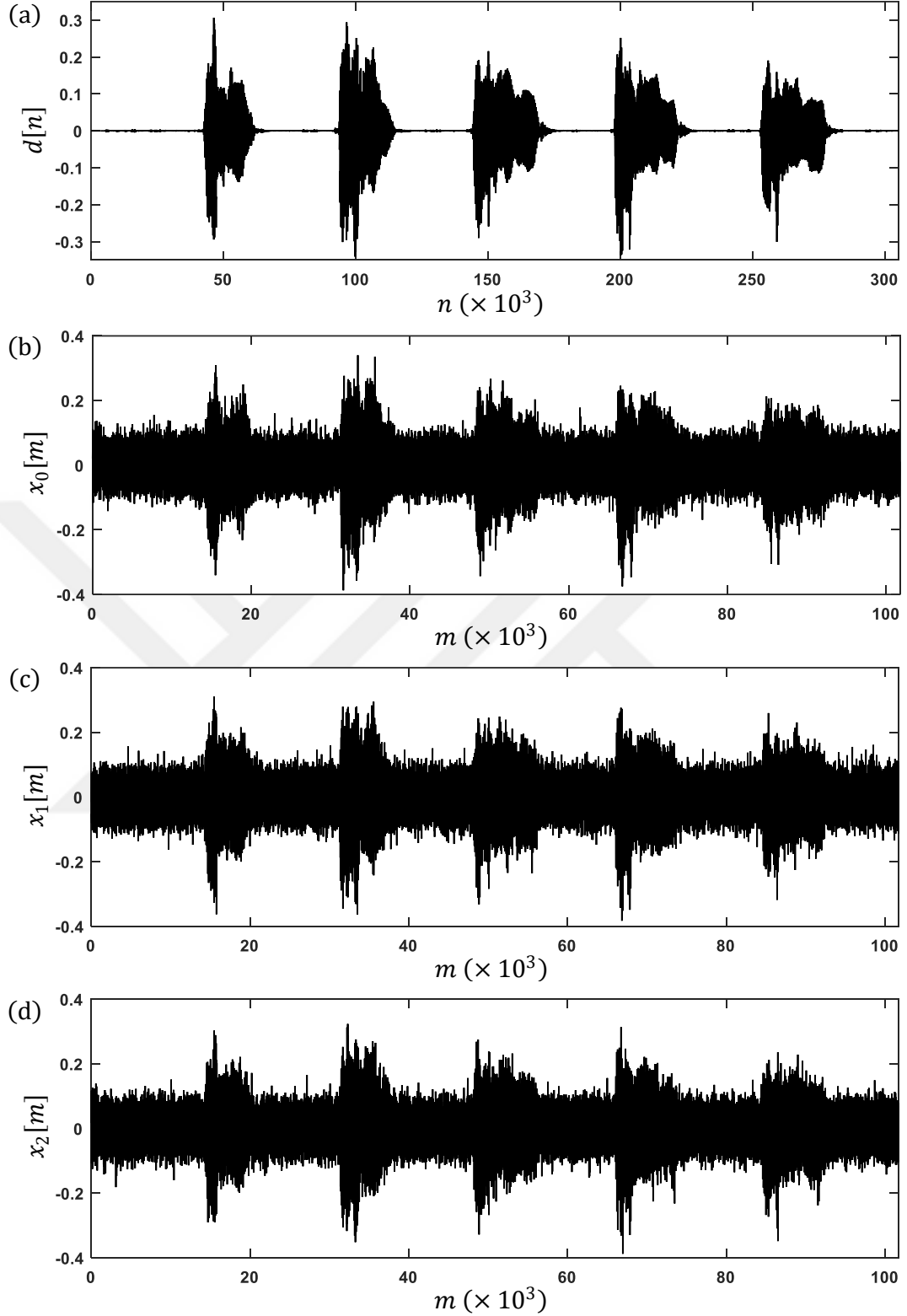


Şekil 4.29: Örnek-4.4.1.1'deki üçgen dalga işaretin kestirimine ait benzetim sonuçları.

(a): Arzu edilen işaret (siyah düz çizgi) ve kestirim işaretleri [Yöntem-3.2.1 (kırmızı noktalı çizgi), önerilen yöntem (mavi kesikli çizgi)], (b): Yöntem-3.2.1 (kırmızı noktalı çizgi) ve önerilen yöntem (mavi kesikli çizgi) ile elde edilen karesel hata işaretleri

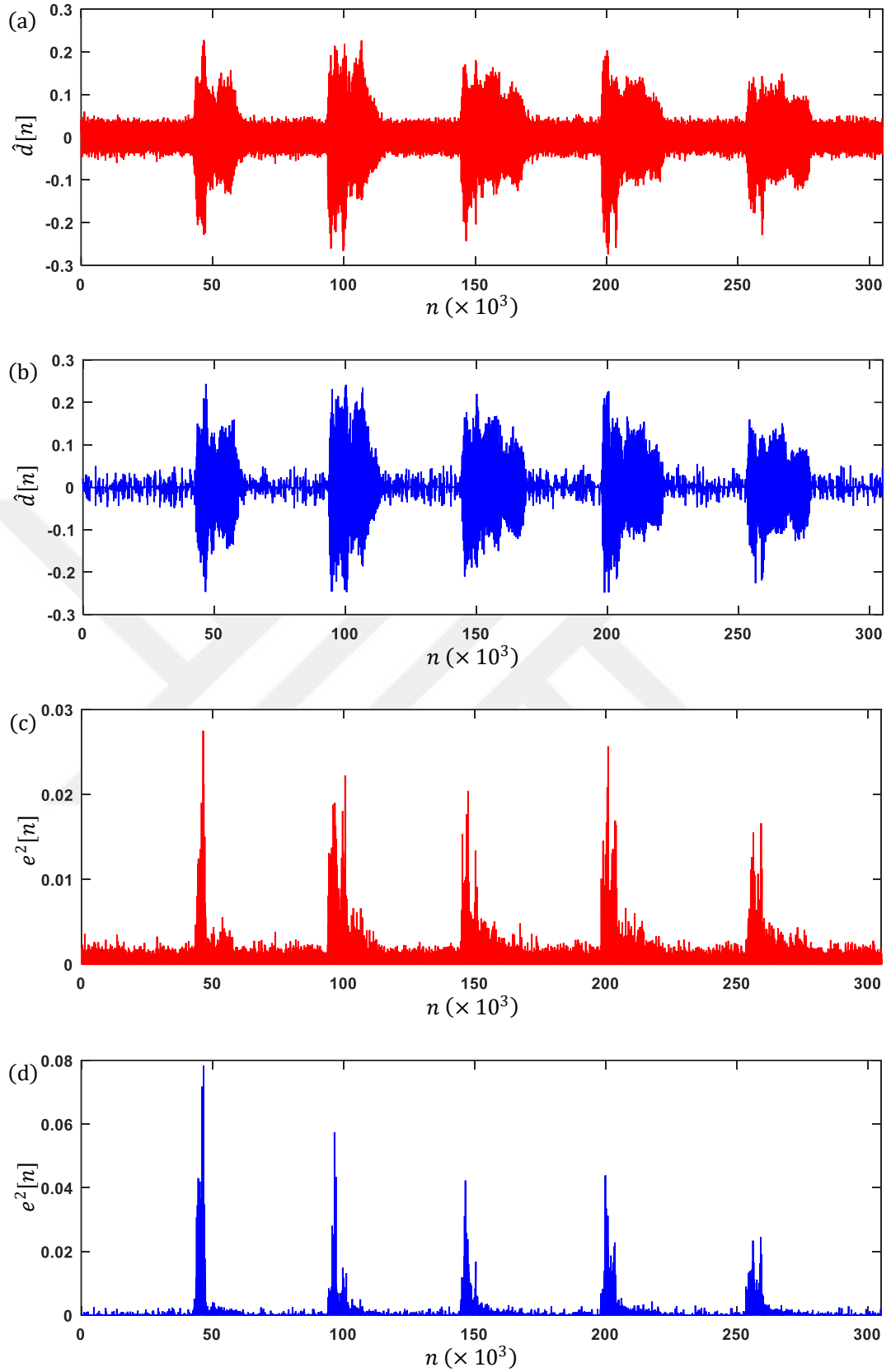
Örnek-4.4.1.2: Bu örnekte YÇ arzulanan işaret olarak, belirli aralıklarla söylenen beş adet “hello” sözcüğünden oluşan ve 44.1 kHz’de örneklenmiş, 6.9 saniye süreli ses kaydı kullanılmıştır. Bu işareti kestirmek için kullanılacak olan üç adet gürültülü DÇ gözlem işareti, Şekil 3.2’deki gözlem modeli kullanılarak İGO = 0 dB olacak şekilde üretilmiştir. Özgün ses işareti ve bu işareten üretilen gürültülü DÇ gözlemler Şekil 4.30’da gösterilmiştir. Önerilen yöntemdeki GKA-AE tabanlı gürültü süzme sürecinin bir parçası olarak, eşitlik (4.35)’teki C çarpanı ızgara arama tekniği ile 0.4 olarak belirlenmiş, (4.38) eşitliğindeki M_1 ve M_2 değerleri ise sırasıyla 2 ve $K_i - 2$ olarak alınmıştır.

Karşılaştırılan iki yönteme ait işaret kestirim işaretleri ve karesel hatalar Şekil 4.31’de verilmiştir. Bu sonuçlardan da görülebileceği gibi, önerilen yöntem Yöntem-3.2.1’e göre daha iyi bir başarımla sergilemiştir. Önerilen yöntem ve Yöntem-3.2.1 için sırasıyla 0.156 ve 0.223 olarak hesaplanan NOKH değerleri de bu saptamayı doğrulamaktadır.



Şekil 4.30: Örnek-4.4.1.2 için arzu edilen YÇ işaret ve onun $L = 3$ çarpanı ile alt örneklenmiş azami derecede seyreltilmiş gürültü DÇ gözlem işaretleri.

(a): $d[n]$, (b): $x_0[m]$, (c): $x_1[m]$, (d): $x_2[m]$



Şekil 4.31: Örnek-4.4.1.2'deki ses işaretin kestirimine ait benzetim sonuçları.
 (a): Yöntem-3.2.1 ile elde edilen kestirim işareti, (b): Önerilen yöntem ile elde edilen kestirim işareti, (c): Yöntem-3.2.1 ile elde edilen karesel hata işareti, (d): Önerilen yöntem ile elde edilen karesel hata işareti

Önerilen yöntem ile Yöntem-3.2.1'e göre NOKH anlamında daha iyi kestirim sonuçları elde edilmesini şu şekilde açıklamak mümkündür: Gerek Şekil 4.31'deki her iki yöntemle elde edilen kestirim işaretleri gerekse karesel hata işaretleri incelendiğinde açıkça görülmektedir ki, "hello" sözcüklerinin dışında kalan zaman aralıklarında önerilen yöntem ses işaretini Yöntem-3.2.1'e göre daha az gürültülü olarak kestirmektedir. Bu durum, Tablo 4.6'daki NOKH değerleri incelendiğinde de görülmektedir. Bu sayısal değerler, özgün ve kestirilmiş ses işaretlerindeki "hello" sözcüklerine ait (konuşma durumu) ve bunların dışında kalan (bekleme durumu) zaman aralıklarının algılanması ile elde edilmiştir. Bu algılama işleminin gerçekleştirilmesi için, 100 örnek uzunluğundaki dikdörtgen bir pencere, birer örnek aralıklarla özgün işaret üzerinde hareket ettirilmiş ve bu pencerenin her hareketinde içindeki 100 örneğin değışintisi hesaplanmıştır. Değişinti değeri 10^{-4} 'ten büyük olan örnek grubu konuşma olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 4.6: Kestirilen ses işaretlerindeki "hello" sözcüklerine ait ve bunların dışında kalan zaman aralıkları için hesaplanan NOKH değerleri

	Konuşma	Bekleme
Yöntem-3.2.1	0.140	34.607
Önerilen Yöntem	0.144	5.021

4.4.1.2 Değerlendirme

Bu çalışmada, YÇ bir işaretin belli sayıdaki gürültülü DÇ gözlemlerinden kestirimi için yeni bir yöntem önerilmiştir. ME ilkesine veya Wiener süzgeç teorisine dayalı mevcut yöntemlerin aksine önerilen yöntem, arzu edilen YÇ işaret ve onun DÇ gürültülü gözlemleri hakkında herhangi bir istatistiksel bilgiye ihtiyaç duymamaktadır. Önerilen yöntemle kestirim işleminin gerçekleştirilebilmesi için seyreltme oranının bilinmesi yeterlidir. Gerçekleştirilen benzetimler neticesinde, önerilen yöntem ile makul sonuçlara ulaşıldığı görülmektedir. Bu durum, önerilen yöntemin, çoklu hızlı işaret kestiriminde mevcut yöntemlere bir seçenek olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Yöntemin iki-boyutlu görüntü işaretlerine uygulanması, gelecekte yapılabilecek çalışma olarak düşünülebilir.

4.4.2 Çoklu Hızlı İşaret Kestirimi İçin GKA-YAE Tabanlı Gürültü Süzme Yapılarını Kullanan Yöntem

Bu çalışmada, N örnek uzunluğundaki YÇ arzulanan işaret $d[n]$ 'nin, harici BGG ile bozulmuş M adet DÇ gözlem dizisi $\{x_i[m_i] | i = 0, 1, \dots, M - 1\}$ kullanılarak kestirilmesi problemi ele alınmıştır. DÇ gözlemlerin, $d[n]$ 'nin azami derecede seyreltilmiş ve gürültü eklenmiş sürümleri olduğu ve Şekil 3.2'de verilen model ile elde edildiği varsayılmaktadır.

Yukarıda bahsedilen problemi çözmek için, Bölüm 3.2.1'de bahsedilen DZPD Wiener süzgeç yapılarının kullanımına dayalı olan ve seyreltme oranı L , arzu edilen YÇ işaret ve DÇ gözlem işaretleri arasındaki çapraz ilişkiler ve DÇ gözlem işaretlerinin arasındaki çapraz ilişkiler bilgilerinin önceden bilinmesini gerektiren mevcut işaret kestirim yöntemine alternatif olarak, sadece seyreltme oranı L 'nin bilinmesinin yeterli olduğu GKA-YAE tabanlı gürültü süzme yapılarını kullanan bir yöntem önerilmiştir (Ükte ve diğ. 2014c).

Önerilen yöntem, seyreltme oranı L 'nin bilindiği varsayımı altında, üç işaret işleme biriminden oluşmaktadır:

İlk birimde, YÇ arzulanan işareti elde etmek amacıyla DÇ gözlem işaretlerini çoklu hızlı işaret kestirim sürecine uygulamadan önce, GKA tabanlı bir yordam olan GKA-YAE ile gözlem işaretlerinin gürültülerinin süzülmesi amaçlanmıştır. GKA-YAE yordamı, daha önce Bölüm 4.4.1'de ayrıntılı olarak anlatılan GKA-AE yordamının yinelemeli bir sürümüdür (Kopsinis ve McLaughlin 2009). Bu sebeple bu kısımda GKA-AE yordamının ayrıntılarına girilmeyecektir.

Daha önce Bölüm 4.4.1'de de bahsedildiği gibi GKA-AE tabanlı gürültü giderme sürecinin sonunda, DÇ gözlem işaretlerinin gürültüsü azaltılmış sürümleri aşağıdaki şekilde elde edilmektedir:

$$\tilde{x}_i[m] = \sum_{k=M_1}^{M_2} \tilde{c}_k^{(i)}[m] + \sum_{k=M_2+1}^{K_i} c_k^{(i)}[m] + r_{K_i}[m] \quad (4.40)$$

Eşitlik (4.40)'ta da görüldüğü gibi, i 'nci DÇ gözlem işaretinin gürültüsü azaltılmış sürümünü elde etmek için, GKA-AE yordamı sonucunda, (4.10) eşitliğindeki gürültülü ilk $M_1 - 1$ adet ÖK işlevi atılmakta ve daha az gürültülü olan M_1 ve M_2 'nci arasındaki ÖK işlevleri ise eşikleme işlemi uygulanmış emsalleri ile yer değiştirmektedir.

Daha önce de bahsedildiği gibi, herhangi bir DÇ gözlem işaretinin ilk ÖK işlevi $c_1^{(i)}[m]$ doğrudan harici BGG ile ilişkilidir (Wu ve Huang 2004). Bu gerçeği de göz önünde bulundurarak, gürültüyü daha etkili bir şekilde süzmek amacıyla GKA-YAE yordamında, GKA-AE yordamı DÇ gözlem işaretlerinin farklı gürültülü sürümlerine yinelenmeli olarak uygulanmaktadır (Kopsinis ve McLaughlin 2009). DÇ gözlem işaretlerinin farklı gürültülü sürümleri, ilk ÖK işlevinin örnek konumlarının rastgele olarak değiştirilmesi ve sonrasında elde edilen bu ÖK işlevi ile geri kalan ÖK işlevleri ve artık bileşenin birleştirilmesi sonucu elde edilmektedir. GKA-YAE yordamının i 'nci DÇ gözlem işaretine uygulanmasına ait işlem adımları Tablo 4.7'de verilmiştir:

Tablo 4.7: GKA-YAE yordamının i 'nci DÇ gözlem işaretine uygulanmasına ait işlem adımları.

1. i 'nci DÇ gürültülü gözlem işareti $x_i[m]$ 'ye GKA tekniği uygulanarak ilk ÖK işlevi $c_1^{(i)}[m]$ elde edilir.
2. Eşitlik (4.10)'daki ilk ÖK işlevi atılarak kısmen geriçatılmış bir işaret olan $x_{i,p}[m]$ elde edilir; $x_{i,p}[m] = x_i[m] - c_1^{(i)}[m]$.
3. İlk ÖK işlevinin örnek konumları rastgele değiştirilerek yeni bir ÖK işlevi elde edilir; $c_{1,d}^{(i)}[m] = \text{rast_değ}(c_1^{(i)}[m])$.
4. i 'nci DÇ gürültülü gözlem işaretinin farklı gürültülü bir sürümü oluşturulur; $x_{i,d}[m] = x_{i,p}[m] + c_{1,d}^{(i)}[m]$.
5. Bir önceki adımda oluşturulan yeni DÇ gürültülü gözlem işareti $x_{i,d}[m]$ 'ye GKA uygulanır.
6. $x_{i,d}[m]$ işaretinin ilgili ÖK işlevlerine GKA-AE tabanlı gürültü süzme yordamı uygulanarak $x_i[m]$ işaretinin gürültüsü azaltılmış bir sürümü olan $\tilde{x}_{i,1}[m]$ elde edilir.
7. 3–6 arası adımlar $K - 1$ kez yinelenerek $x_i[m]$ işaretinin gürültüsü azaltılmış sürümleri olan; $\tilde{x}_{i,1}[m], \tilde{x}_{i,2}[m], \dots, \tilde{x}_{i,K}[m]$ işaretleri elde edilmiş olur.
8. Adım 7'deki K adet işaretin ortalaması alınarak i 'nci DÇ gürültülü gözlem işareti $x_i[m]$ 'nin gürültüsü etkin bir şekilde süzülmüş olur; $\tilde{x}_{i,ort}[m] = (1/K) \sum_{i=1}^K \tilde{x}_{i,i}[m]$.

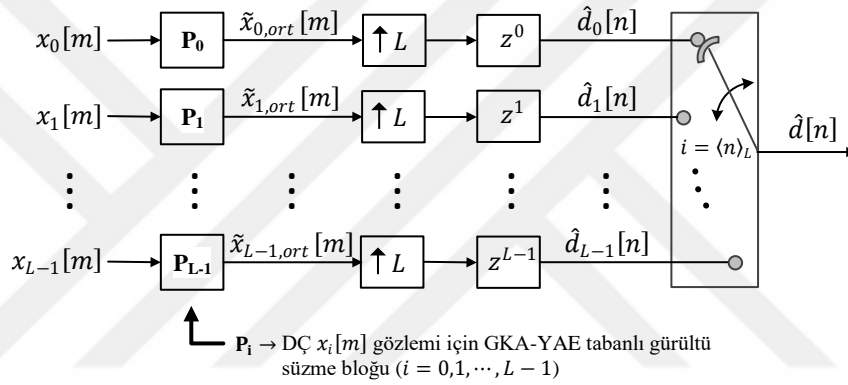
Önerilen yöntemin ikinci işlem biriminde, Şekil 3.2'deki gözlem modelindeki işlemlerin tersi gerçekleştirilmektedir. Yani GKA-YAE tabanlı gürültü süzme işlemi sonucu elde edilen $\tilde{x}_{i,ort}[m]$ işaretlerine $L_i = L$ oranında üst örnekleme ve ardından

z^i kadar zamanda öteleme uygulanarak $i = 0, 1, \dots, L - 1$ için sıfır aradeğerlemeli YÇ kestirim işaretleri $\hat{d}_i[n]$ 'ler elde edilmektedir.

Önerilen yöntemin son işlem biriminde ise, arzulanan YÇ işaretin kestirimini elde etmek için sıfır aradeğerlemeli YÇ kestirim işaretlerin sıfırdan farklı örnek değerleri aşağıdaki kural çerçevesinde birleştirilmektedir:

$$\hat{d}[n] = \hat{d}_i[n] |_{i=\langle n \rangle_L} \quad (4.41)$$

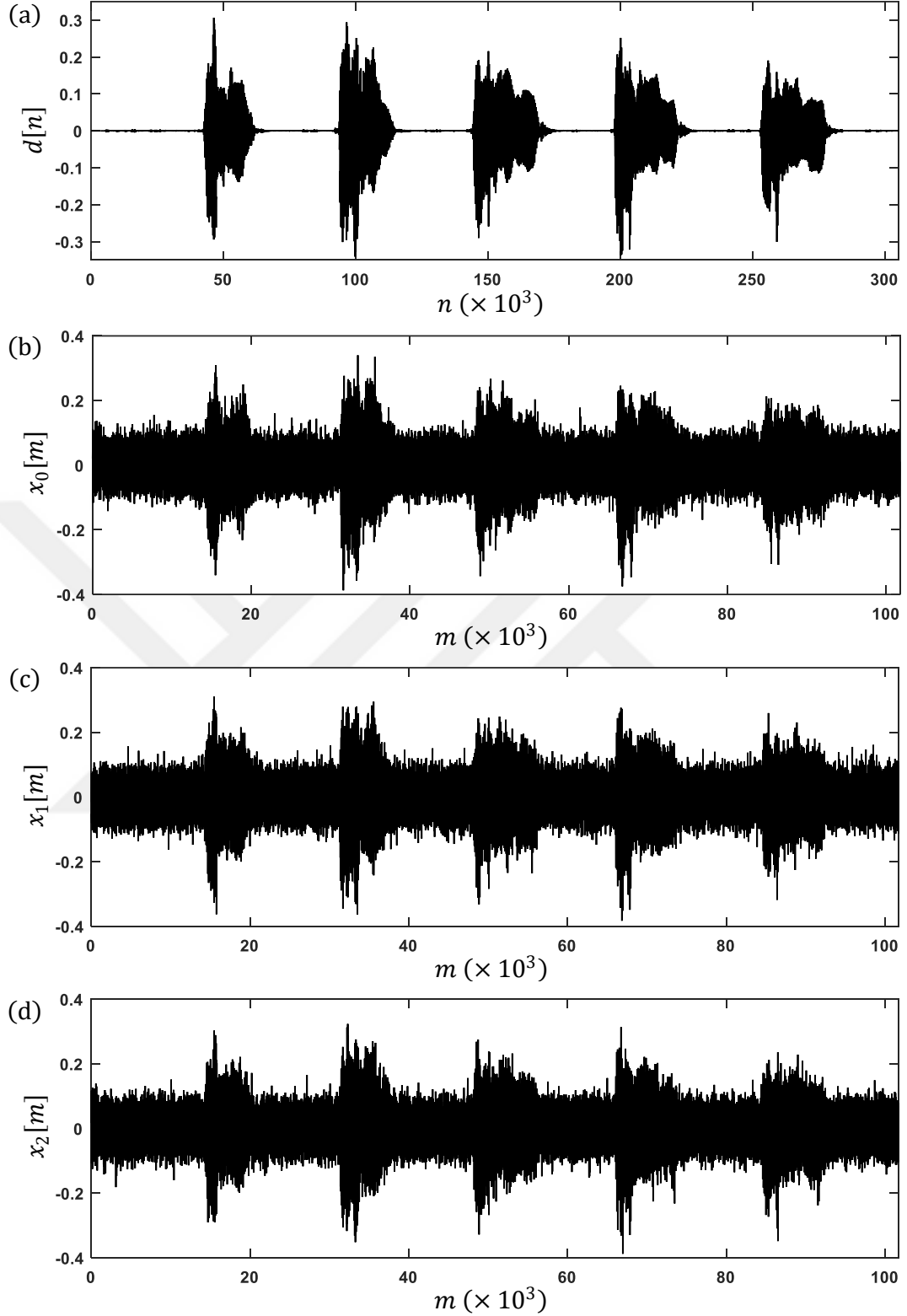
Önerilen yöntemi oluşturan tüm işaret işleme birimlerinin birleşiminden oluşan blok diyagramı Şekil 4.32'de verilmiştir.



Şekil 4.32: GKA-YAE tabanlı çoklu hızlı işaret kestirimi yönteminin blok diyagramı gösterimi

4.4.2.1 Benzetim Sonuçları

Önerilen yöntemin geçerliliğini göstermek amacıyla bir ses işaretinin kestirimine ilişkin bir benzetim uygulaması gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar, NOKH başarımları ölçütü kullanılarak, mevcut yöntem olan Yöntem-3.2.1'in sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Belirli aralıklarla söylenen beş adet "hello" sözcüğünden oluşan, 44.1 kHz'lik bir örnekleme frekansına sahip olan ve 6.9 saniye uzunluğundaki YÇ ses işareti Şekil 4.33(a)'da gösterilmiştir. Bu işareti kestirmek için kullanılacak olan ve Şekil 3.2'deki gözlem modeli kullanılarak İGO = 0 dB olacak şekilde üretilen üç adet gürültülü DÇ gözlem işareti ise Şekil 4.33(b)-(d)'de verilmiştir. DÇ gözlem işaretleri YÇ arzulanan işaretin azami derecede seyreltilmiş sürümleri olduğu için seyreltme oranı $L_i = L = 3$ alınmış, ayrıca Yöntem-3.2.1'de gerekli olan Wiener süzgeç katsayılarının sayısı ise $P = 8$ olarak seçilmiştir.



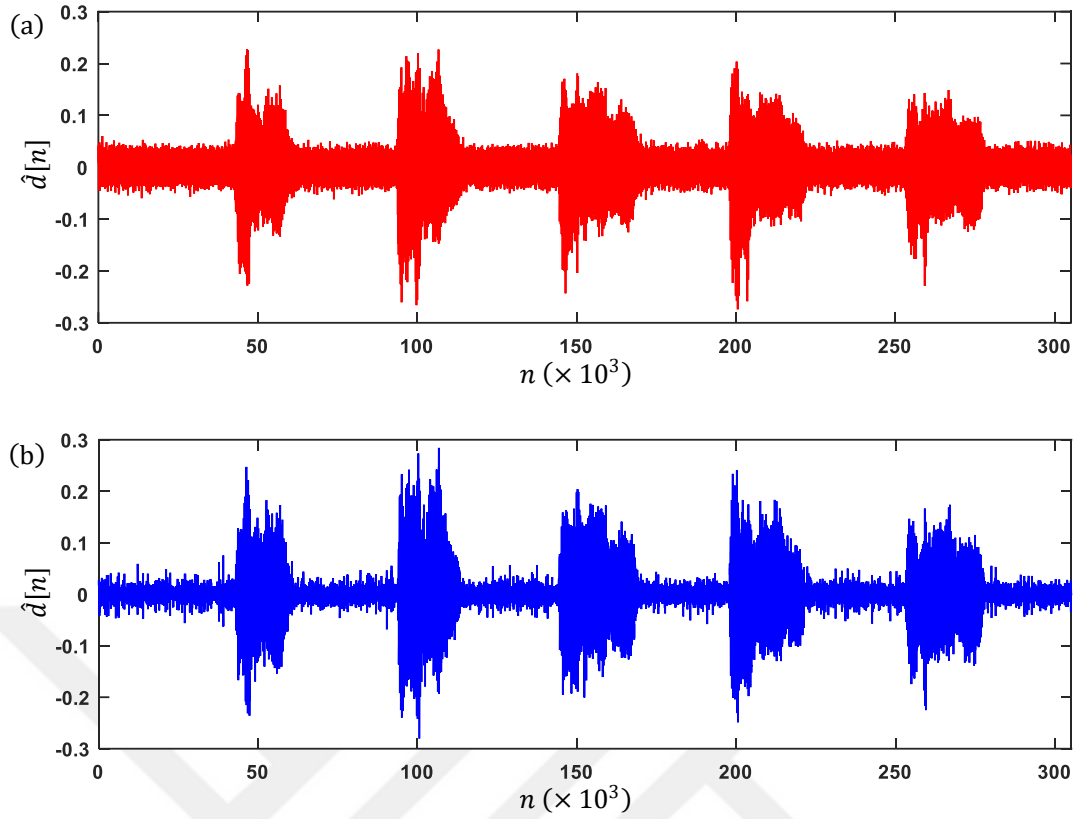
Şekil 4.33: YÇ ses işareti ve onun $L = 3$ çarpanı ile alt örneklenmiş azami derecede seyreltilmiş gürültü DÇ gözlem işaretleri.
 (a): $d[n]$, (b): $x_0[m]$, (c): $x_1[m]$, (d): $x_2[m]$

Önerilen yöntemin bir parçası olarak, GKA-AE tabanlı gürültü azaltma işleminde, ilgili DÇ gözlem işaretlerinin ÖK işlevlerinin elde edilmesi aşamasındaki eleme süreci sekiz yineleme sonucunda sonlandırılmış; ÖK işlevlerinin enerjilerinin

hesaplanmasında kullanılan β ve ρ katsayılarının değerleri sırasıyla 0.719 ve 2.01 olarak seçilmiş; [0.1, 1.4] kapalı aralığındaki 0.1'lik adım artışları ile gerçekleştirilen ızgara arama tekniği sonucu, en küçük NOKH değerini sağlayan Eşitlik (4.35)'teki C arpanı 0.5 olarak bulunmuş; (4.38) eşitliğindeki M_1 ve M_2 değerleri ise sırasıyla 2 ve $K_i - 2$ olarak seçilmiştir. GKA-YAE tabanlı gürültü süzme yordamında kullanılan yineleme sayısını belirten K değeri ise 20 olarak alınmıştır (Kopsinis ve McLaughlin 2009).

Yöntem-3.2.1'de arzu edilen Y ışarete ilişkin ilk PL örnek değeri kestirilemediğinden dolayı, önerilen yöntem ile Yöntem-3.2.1 arasında birebir karşılaştırma yapmak adına NOKH değerleri son $N - PL - 1$ örnek kullanılarak hesaplanmıştır. Diğer yandan, Yöntem-3.2.1'in aksine, önerilen yöntem ile arzu edilen ışaretin tüm örnek değerleri kestirilebilmektedir.

şekil 4.33(b)-(d)'deki D gözlem ışaretlerinin önerilen yöntem ve Yöntem-3.2.1 ile işlenmesi sonucu elde edilen kestirim ışaretleri şekil 4.34'te gösterilmiştir. Bu sonuçlardan da görülebileceği gibi, önerilen yöntem Yöntem-3.2.1 ile neredeyse eşit bir kestirim başarımını sergilemiştir. Önerilen yöntem ve Yöntem-3.2.1 için sırasıyla 0.225 ve 0.223 olarak hesaplanan NOKH değerleri de bu düşünceyi desteklemektedir. Ayrıca, "hello" sözcüklerinin dışında kalan zaman aralıklarında önerilen yöntemin ses ışaretini Yöntem-3.2.1'e göre daha az gürültülü olarak kestirdiği görülmektedir. Sonuç olarak önerilen yöntem kestirim başarımını açısından mevcut yöntem olan Yöntem-3.2.1'e bir üstünlük sağlayamasa da, gözlemlenemeyen Y ışaret veya D gözlem ışaretleri hakkındaki herhangi bir istatistiksel bilgiye ihtiyaç duymaksızın mevcut yöntemle neredeyse aynı başarımını sergilemiştir. Önerilen yöntem bu özelliğiyle, çoklu hızlı ışaret kestirimindeki mevcut yöntemlere bir seçenek olabilir.



Şekil 4.34: Ses işaretin kestirimine ait benzetim sonuçları.
(a): Yöntem-3.2.1 ile elde edilen kestirim işareti, (b): Önerilen yöntem ile elde edilen kestirim işareti.

4.4.2.2 Değerlendirme

Bu çalışmada, YÇ bir işaretin gürültülü DÇ gözlemlerinden, herhangi bir istatistiksel bilgiye ihtiyaç duymaksızın kestirimi için yeni bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntemle çoklu hızlı işaret kestiriminin gerçekleştirilmesi için sadece seyreltme oranının bilinmesi yeterlidir. Benzetim sonuçları, önerilen yöntem ile yeterli başarımla ulaşıldığını göstermiştir. Yöntemin başarımlarının geliştirilmesi ve iki-boyutlu görüntü işaretlerine uygulanması, gelecekte yapılabilecek çalışmalar olarak düşünülebilir.

5 SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu tez çalışmasında, çoklu hızlı işaret kestirimiyle ilgi mevcut yöntemlere alternatif olabilecek yeni yöntemler geliştirilerek bilimsel yazına katkı sağlamak amaçlanmıştır. Bu bağlamda konuyla ilgili yeni yöntemlerin önerildiği beş çalışma gerçekleştirilmiş ve bunlardan elde edilen sonuçlar kullanılarak iki bilimsel dergi makalesi ve dört konferans bildirisi hazırlanmıştır.

İlk olarak, gözlemlenemeyen rastgele bir işaretin, DÇ gürültülü gözlemlerinden geriçatılması için kullanılan mevcut DZPD Wiener süzgeç yapısının başarımını arttırmak için, GKA ve EKK-DVM tabanlı gürültü azaltma şemalarını bu yapı ile birleştiren iki görgül yöntem önerilmiştir. Gerek 1B işaretler gerekse 2B görüntüler kullanılarak yapılan bilgisayar benzetimleriyle, önerilen yöntemler ile belirli şartlar altında işaret geriçatımı başarımında mevcut yöntemlere göre gelişme sağlandığı kanıtlanmıştır.

İkinci olarak, mevcut çoklu hızlı EKOK süzgecine alternatif olarak, bu süzgecin değiştirilmiş sürümlerinin incelendiği dört uyarlamalı süzgeç yapısı önerilmiş ve yöntemlerin başarımları uyarlamalı gürültü giderme benzetim örneği üzerinden karşılaştırılmıştır. İki farklı durum için gerçekleştirilen uyarlamalı gürültü giderme benzetim örneği sonucunda, önerilen yöntemlerden bazılarının, özellikle yakınsama hızı anlamında mevcut yöntemden daha iyi sonuçlar elde ettiği görülmüştür.

Üçüncü olarak, verilen bir YÇ işaretin gürültülü DÇ gözlemlerinden, herhangi bir istatistiksel bilgiye ihtiyaç duymaksızın kestirimi için GKA, S-G süzgeci ve ortanca süzgecin kullanıldığı karma bir yöntem önerilmiştir. Örnekleme ve işaret frekansı gibi belirli koşullar altında gerçekleştirilen benzetimler neticesinde, önerilen yöntemin mevcut yöntemden daha iyi bir başarımla sergilediği görülmüştür.

Dördüncü olarak, YÇ bir işaretin belli sayıdaki gürültülü DÇ gözlemlerinden, herhangi bir istatistiksel bilgiye ihtiyaç duymaksızın kestirimi için GKA-AE tabanlı gürültü süzme yapıları ve ortanca süzgecin kullanıldığı karma bir yöntem önerilmiştir. Farklı işaretler kullanılarak gerçekleştirilen benzetimler neticesinde, önerilen yöntem ile mevcut yöntemden daha iyi sonuçlara ulaşıldığı görülmüştür.

Beşinci olarak, YÇ bir işaretin gürültülü DÇ gözlemlerinden, herhangi bir istatistiksel bilgiye ihtiyaç duymaksızın kestirimi için GKA-YAE tabanlı gürültü süzme yapılarını kullanan yeni bir yöntem önerilmiştir. Ses işareti kullanılarak gerçekleştirilen benzetim sonuçları, önerilen yöntemin herhangi bir istatistiksel bilgiye ihtiyaç duymaksızın mevcut yöntemle neredeyse aynı başarıyı sergilediğini göstermiştir.

Gelecek çalışmalar olarak, önerilen yöntemlerin başarımlarının artırılmasına yönelik araştırmalar yapılması ve FPGA veya sayısal işaret işlemcileri gibi donanımlar ile önerilen yöntemlerin gerçek dünya uygulamalarına uyarlanması düşünülebilir. Ayrıca GKA veya farklı teknikler kullanılarak gerek çoklu hızlı işaret kestirimi gerekse çoklu hızlı işaret işleminin farklı alanları ile ilgili yeni yöntemler geliştirilmesi planlanmaktadır.

6 KAYNAKLAR

Alpaydın, E., *Introduction to Machine Learning*, Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, (2010).

Bellanger, M. G., *Adaptive Digital Filters and Signal Analysis*, New York: Marcel Dekker, Inc., (1987).

Cengiz, K., "Signal Reconstruction with Adaptive Multi-Rate Signal Processing Algorithms", *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, 6 (7), 41-46, (2015).

Chen, B. S., Chen, Y. L., "Multirate modeling of AR/MA stochastic signals and its application to the combined estimation-interpolation problem", *IEEE Trans. Signal Process.*, 43 (10), 2302-2312, (1995).

Chen, B. S., Lin, C. W., "Optimal design of deconvolution filters for stochastic multirate signal systems", *Signal Process.*, 47 (3), 287-305, (1995).

Chen, B. S., Lin, C. W., Chen, Y. L., "Optimal signal reconstruction in noisy filter bank systems: Multirate Kalman synthesis filtering approach", *IEEE Trans. Signal Process.*, 43 (11), 2496-2504, (1995).

Chen, Y. L., Chen, B. S., "Optimal reconstruction of ARMA signals with decimated samples under corrupting noise by use of multirate Kalman filter", *Circ. Syst. Signal Pr.*, 14 (6), 771-786, (1995).

Cortes, C., Vapnik, V., "Support-vector networks", *Mach. Learn.*, 20 (3), 273-297, (1995).

Cristi, R., Koupatsiaris, D., Therrien, C. W., "Multirate filtering and estimation: the multirate Wiener filter", *IEEE Thirty-Fourth Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers*, 1, Pacific Grove, California, USA, 450-454, (2000).

Crochiere, R. E., Rabiner, L. R., *Multirate Digital Signal Processing*, New Jersey: Prentice-Hall, (1983).

Ekşioğlu, E. M., Taç, A. K., Kayran, A. H., "A compressive sensing framework for multirate signal estimation", *10th International Conference on Information Sciences Signal Processing and their Applications (ISSPA)* Kuala Lumpur, Malaysia, 716-719, (2010).

Elbi, M. D., Kızılkaya, A., "Görgül kip ayrıştırma kullanarak alçak frekanslı işaretlerde gürültü yok etme", *IEEE 20. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SİU 2012)*, Muğla, Türkiye, 1-4, (2012).

Hawes, A. H., "Least squares and adaptive multirate filtering", Master's Thesis, *Naval Postgraduate School*, Monterey, California, (2003).

Hawes, A. H., Therrien, C. W., "LMS adaptive filtering with multirate observations", *IEEE Thirty-Seventh Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers*, 1, Pacific Grove, California, USA, 567-570, (2003).

Hayes, M. H., *Statistical Digital Signal Processing and Modeling*, USA: John Wiley & Sons, Inc., (1996).

Haykin, S., *Adaptive Filter Theory*, New Jersey: Prentice Hall, (2001).

Huang, N. E., Long, S. R., Shen, Z., "The mechanism for frequency downshift in nonlinear wave evolution", *Adv. Appl. Mech.*, 32, 59-117C, (1996).

Huang, N. E., Shen, Z., Long, S. R., Wu, M. C., Shih, H. H., Zheng, Q., ve diğ., "The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis", *P. Roy. Soc. A-Math. Phys.*, 454 (1971), 903-995, (1998).

Jahromi, O. S., "Theory of multirate statistical signal processing", PhD Thesis, *University of Toronto*, Toronto, (2002).

Jahromi, O. S., *Multirate statistical signal processing*, Dordrecht: Springer Science & Business Media, (2007).

Jahromi, O. S., Aarabi, P., "Time delay estimation and signal reconstruction using multi-rate measurements", *International Conference on Multimedia and Expo (ICME '03)*, 2, Baltimore, MD, USA, II-597-600, (2003).

Jahromi, O. S., Aarabi, P., "Theory and design of multirate sensor arrays", *IEEE Trans. Signal Process.*, 53 (5), 1739-1753, (2005).

Jahromi, O. S., Francis, B., Kwong, R. H., "Multirate spectral estimation", *IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing (PACRIM 2001)* 1, Victoria, BC, Canada, 152-155, (2001a).

Jahromi, O. S., Francis, B., Kwong, R. H., "Multirate signal estimation", *Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, 1, Toronto, Ontario, Canada, 147-152, (2001b).

Jahromi, O. S., Francis, B., Kwong, R. H., "Spectrum estimation using multirate observations", *IEEE Trans. Signal Process.*, 52 (7), 1878-1890, (2004).

Karaağaç, M. E., "Çoklu hızlı işaret işleme yöntemleriyle işaretlerin elde edilmesi", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2007).

Kızılkaya, A., Ükte, A., Elbi, M. D., "Statistical multirate high-resolution signal reconstruction using the EMD-IT based denoising approach", *Radioengineering*, 24 (1), 226-232, (2015).

Kopsinis, Y., McLaughlin, S., "Development of EMD-Based Denoising Methods Inspired by Wavelet Thresholding", *IEEE Trans. Signal Process.*, 57 (4), 1351-1362, (2009).

Koupatsiaris, D., "Analysis of multirate random signals", Engineer's Thesis, *Naval Postgraduate School*, Monterey, California, (2000).

Kuchler, R. J., "Theory of multirate statistical signal processing and applications", PhD Thesis, *Naval Postgraduate School*, Monterey, California, (2005).

Kuchler, R. J., Therrien, C. W., "Optimal filtering with multirate observations", *IEEE Thirty-Seventh Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers*, 1, Pacific Grove, California, USA, 1208-1212, (2003).

Lin, C. W., Chen, B. S., "State space model and noise filtering design in transmultiplexer systems", *Signal Process.*, 43 (1), 65-78, (1995).

Savitzky, A., Golay, M. J. E., "Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures", *Anal. Chem.*, 36 (8), 1627-1639, (1964).

Schafer, R. W., "What Is a Savitzky-Golay Filter? [Lecture Notes]", *IEEE Signal Process. Mag.*, 28 (4), 111-117, (2011).

Scrofani, J. W., "Theory of multirate signal processing with application to signal and image reconstruction", PhD Thesis, *Naval Postgraduate School*, Monterey, California, (2005).

Scrofani, J. W., Therrien, C. W., "A stochastic multirate signal processing approach to high-resolution signal reconstruction", *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP '05)*, 4, Philadelphia, PA, iv/561-iv/564, (2005a).

Scrofani, J. W., Therrien, C. W., "A multirate approach to high-resolution image reconstruction", *Proceedings of the Seventh IASTED International Conference on Signal and Image Processing, SIP 2005*, Honolulu, HI, 538-542, (2005b).

Suykens, J. A. K., Gestel, T. V., Brabanter, J. D., Moor, B. D., Vandewalle, J., *Least Squares Support Vector Machines*, New Jersey: World Scientific Publishing Company, (2002).

Tanç, A. K., "Çoklu-hızlı sistemlerde işaret ve güç spektrumu kestirimi için yeni yöntemler", Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2011).

Tanç, A. K., Ekşioğlu, E. M., Kayran, A. H., "Adaptive multirate signal estimation with lattice orthogonalization", *16th IEEE International Conference on Electronics, Circuits, and Systems (ICECS 2009)*, Yasmine Hammamet, Tunisia, 117-119, (2009).

Tanç, A. K., Kayran, A. H., "Iterative maximum entropy power spectrum estimation for multirate systems", *AEU - Int. J. Electron. C.*, 64 (2), 93-98, (2010).

Tanç, A. K., Kayran, A. H., "Maximum Entropy Power Spectrum Estimation for 2-D Multirate Systems", *Circ. Syst. Signal Pr.*, 31 (1), 271-281, (2012).

Therrien, C. W., "Issues in multirate statistical signal processing", *IEEE Thirty-Fifth Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers*, 1, Pacific Grove, California, USA, 573-576, (2001).

Therrien, C. W., "Multirate linear prediction", *13th European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2005)*, 3, Antalya, Turkey, 1379-1382, (2005).

Therrien, C. W., Hawes, A. H., "Least squares optimal filtering with multirate observations", *IEEE Thirty-Sixth Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers*, 2, Pacific Grove, California, USA, 1782-1786, (2002).

Ükte, A., Kızılkaya, A., "Çoklu hızlı normalize en küçük ortalama kareler süzgeci ile uyarlamalı gürültü giderme", *IEEE 23. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SİU 2015)*, Malatya, Türkiye, 1417-1420, (2015).

Ükte, A., Kızılkaya, A., "Comparing the performances of least mean squares based multirate adaptive filters", *26th International Conference RADIOELEKTRONIKA 2016*, Kosice, Slovakia, (2016).

Ükte, A., Kızılkaya, A., Elbi, M. D., "Two empirical methods for improving the performance of statistical multirate high-resolution signal reconstruction", *Digit. Signal Process.*, 26 (1), 36-49, (2014a).

Ükte, A., Kızılkaya, A., Elbi, M. D., "İstatistiksel çoklu hızlı yüksek çözünürlüklü işaret geriçatımı için karma bir yöntem", *IEEE 22. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SİU 2014)*, Trabzon, Türkiye, 1287-1290, (2014b).

Ükte, A., Kızılkaya, A., Elbi, M. D., "Statistical multirate high-resolution signal reconstruction using the empirical mode decomposition based denoising approach", *International Conference on Applied Electronics (AE 2014)*, Pilsen, Czech Republic, 303-306, (2014c).

Vaidyanathan, P. P., *Multirate Systems And Filter Banks*, New Jersey: Prentice Hall, (1993).

Vapnik, V., *The Nature of Statistical Learning Theory*, New York: Springer Science & Business Media, (2000).

Wu, Z., Huang, N. E., "A study of the characteristics of white noise using the empirical mode decomposition method", *P. Roy. Soc. A-Math. Phy.*, 460 (2046), 1597-1611, (2004).

7 ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Adem ÜKTE

Doğum Yeri ve Tarihi : İstanbul 05/06/1977

Lisans Üniversite : Pamukkale Üniversitesi

Y. Lisans Üniversite : Pamukkale Üniversitesi

Elektronik posta : ademukte@pau.edu.tr

İletişim Adresi : Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Elektrik-Elektronik Müh. Böl. 20070 Denizli

Yayın Listesi :

• Kızılkaya, A., Ükte, A., Elbi, M. D., "Statistical multirate high-resolution signal reconstruction using the EMD-IT based denoising approach", *Radioengineering*, 24 (1), 226-232, (2015).

• Ükte, A., Kızılkaya, A., Elbi, M. D., "Two empirical methods for improving the performance of statistical multirate high-resolution signal reconstruction", *Digit. Signal Process.*, 26 (1), 36-49, (2014).

Konferans listesi :

• Ükte, A., Kızılkaya, A., "Comparing the performances of least mean squares based multirate adaptive filters", *26th International Conference RADIOELEKTRONIKA 2016*, Kosice, Slovakia, (2016).

• Ükte, A., Kızılkaya, A., "Çoklu hızlı normalize en küçük ortalama kareler süzgeci ile uyarlamalı gürültü giderme", *IEEE 23. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SİU 2015)*, Malatya, Türkiye, 1417-1420, (2015).

- Ükte, A., Kızılkaya, A., Elbi, M. D., "İstatistiksel çoklu hızlı yüksek çözünürlüklü işaret geriçatımı için karma bir yöntem", *IEEE 22. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SİU 2014)*, Trabzon, Türkiye, 1287-1290, (2014).

- Ükte, A., Kızılkaya, A., Elbi, M. D., "Statistical multirate high-resolution signal reconstruction using the empirical mode decomposition based denoising approach", *International Conference on Applied Electronics (AE 2014)*, Pilsen, Czech Republic, 303-306, (2014).

