

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BULANIK MANTIK TEMELLİ GÜRÜLTÜ AZALTMA SİSTEMİ

DOKTORA TEZİ

Y. Müh. Nevcihan DURU

68854

ARALIK 1997

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BULANIK MANTIK TEMELLİ GÜRÜLTÜ AZALTMA SİSTEMİ

DOKTORA TEZİ

Y. Müh. Nevcihan DURU

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26.Mart 1997

Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Aralık 1997

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Nurettin ABUT

(Nurettin Abut)

Üye

Prof. Dr. Halit PASTACI

(Halit Pastacı)

Üye

Prof. Dr. Hasan DİNÇER

(Hasan Dinçer)

ARALIK 1997

BULANIK MANTIK TEMELLİ GÜRÜLTÜ AZALTMA SİSTEMİ

Nevcihan DURU

Anahtar Kelimeler: Bulanık Mantık, Gürültü Azaltma, Süzgeç, Süzgeçleme

Özet: Bu çalışmada, gürültü içeren konuşma işaretlerindeki gürültü oranının azaltılması için, bulanık mantık temelli ve bilgisayar destekli yeni bir yöntem tanıtılmıştır. Önerilen yöntemin, özellikle bilgisayar ortamına aktarılmış ve yüksek düzeyde beyaz gürültü içeren konuşma işaretleri için etkili olduğu belirlenmiştir. Yöntemin uygulanması için, öncelikle gürültü içeren işaret, belirli sayıda ve geçirme bandları sıfırla örnekleme frekansının yarısı arasına eşit aralıklarla yayılmış sayısal Band Geçiren Süzgeçten geçirilmiştir. Daha sonra, bu bandlardaki ortalama seviye ve seviye değişimleri, bir bulanık mantık karar vericinin girişine uygulanmıştır. Bulanık mantık karar verici, bu girişler ve oluşturulan kural tabanı yardımıyla, işaretin hangi parçalarının sadece gürültü, hangi parçalarının da asıl işareti içerdiğine ilişkin çarpan veya katsayılar üretmektedir. Bu katsayılar, işaretin bandlara ve parçalara ayrılmış şekli ile çarpılarak, sadece gürültü içeren kısımların bastırılması, diğer kısımların korunması sağlanmıştır. Gürültüsü azaltılmış işaret daha sonra, basit bir toplama ile tekrar sentezlenmiştir. Yapılan denemelerde, geliştirilen yöntemin mevcut yöntemlere göre oldukça basit olmasına karşın sonuçlar açısından başarılı olduğu belirlenmiştir.

FUZZY LOGIC BASED NOISE REDUCTION SYSTEM

Nevcihan DURU

Keywords: Fuzzy logic, Noise reduction, Filter, Filtering.

Abstract: In this study, a novel noise reduction method of noised speech signal is introduced. Primary conclusion is the efficiency of the proposed method for, especially, the digitally recorded speech signals which contain quite high level of white noise. The implementation of the method, at first, begins by getting pass the signal through the number of digital band pass filters to obtain a spectrum-like view of the frequency components of the noisy signal. The levels of the frequency components of the signal and their variations are then used as the inputs of a fuzzy logic inference system. The . fuzzy logic inference system, produces outputs called as factors, according the rule base and input variables. These factors, deal with the decision of fuzzy logic inference system, i.e. whether the processed signal segment is only noise or the signal itself. Multiplication of these factors by the band separated version of the signal and synthesizing them by a simply summation of frequency bands causes the noise to be greatly reduced. Experiments with developed system demonstrate the effectiveness of method although its simplicity when compared to the available methods.

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

İşaret işlemede en önemli temel konulardan biri, gürültülü işaretlerin gürültü düzeylerinin azaltılması, kısmen kaybolmuş ya da yüksek düzeyde gürültü içeren bilgi işaretlerinin yeniden kazanılmasıdır. Bu soruna, tayf çıkarımı ve uyarlamalı süzgeçleme gibi pek çok çözüm sunulmuş olmakla birlikte, genel olarak gürültü ve işaretin ayrıştırılmasında istatistiksel ve matematiksel yöntemler kullanılmıştır.

Gürültü içeren işaretlerin, ağır matematiksel ve istatistiksel yöntemlere gereksinim duyulmayacak bir şekilde gürültüden arındırılması konusunda bulanık mantığın kullanıldığı yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir.

Bu tezin oluşturulmasındaki her aşamada, yoğun destek ve ilgisini gördüğüm tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Nurettin ABUT'a (KOÜ), önerileri ile beni yönlendiren Sayın Prof. Dr. Hasan DİNÇER'e (KOÜ), destek ve katkılarından dolayı eşim Yrd. Doç. Dr. Tarık DURU'ya, sabır ve fedakarlıklarından ötürü sevgili annem ve oğlum Ata'ya teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER DİZİNİ ve KISALTMALAR	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
TABLolar LİSTESİ	xv
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
BÖLÜM 2. KÜME TEORİSİ ve BULANIK MANTIK	9
2.1. Giriş	9
2.2. Klasik Küme Teorisi	9
2.2.1. Klasik kümelerde işlemler	10
2.2.2. Klasik kümelerin özellikleri.....	12
2.3. Bulanık Küme Teorisi	14
2.3.1. Bulanık küme işlemleri.....	17
2.3.2. Bulanık kümelerin özellikleri.....	19
2.4. Bulanık Mantık.....	20
2.5. Bulanık Denetim.....	23
2.5.1. Bulanıklaştırma	26
2.5.2. Üyelik fonksiyonlarının oluşturulması	27
2.5.3. Bulanık kurallar ve çıkarım	33
2.5.4. Durulaştırma	38
2.6. Bulanık Denetim Uygulamaları	43

BÖLÜM 3. AYRIK ZAMANLI İŞARETLER ve SÜZGEÇLEME	45
3.1. Giriş	45
3.2. Ayrık Zamanlı İşaretlerin Tanımı	45
3.3. Ayrık Zamanlı Fourier Donüşümü	48
3.4. Güç Yoğunluğu Tayfi ve Periyodogram	49
3.5. z Dönüşümü Ayrık Zaman Transfer Fonksiyonu	52
3.6. Ayrık Zamanda İşaret İşleyiciler ve Süzgeçler	54
BÖLÜM 4. GÜRÜLTÜLÜ İŞARETLER ve GÜRÜLTÜ AZALTMA YÖNTEMLERİ	57
4.1. Giriş	57
4.2. Gürültünün Tanımı ve Çeşitleri.....	57
4.3. Gürültünün Azaltılması	60
4.3.1. Sabit katsayılı süzgeçlerle gürültünün azaltılması	60
4.3.2. Uyarlamalı süzgeçleme ile gürültünün azaltılması	66
4.3.3. Tayf çıkartımı ve ters AFD ile gürültünün azaltılması	68
4.4. Zaman Frekans Analizi ve Gürültü Azaltma Açısından Önemi	70
BÖLÜM 5. BULANIK MANTIK TEMELLİ SÜZGEÇLEME ve GÜRÜLTÜ AZALTMA SİSTEMLERİ	79
5.1. Giriş.....	79
5.2. Bulanık Mantık Temelli Band Geçiren Süzgeç ile Gerçekleştirilen Gürültü Azaltma Sistemi.....	80
5.3. Gürültü Azaltmada Bulanık Mantık Temelli Yeni Bir Yaklaşım	91
BÖLÜM 6. SONUÇLAR ve TARTIŞMA	133
KAYNAKLAR	140
EKLER	145
ÖZGEÇMİŞ	158

SİMGELER DİZİNİ ve KISALTMALAR

$[n_k]$: Gürültü (Beyaz gürültü)
$[x_k]$: $x(t)$ sürekli zaman değişkeninin örneklenmiş hali
$[X_m]$: AFD'nin sonucunda elde edilen frekans serisi
$c^{(k)}$: DU denetim çıkışına ait tepe değeri
DU	: Denetim çıkışlarından biri
DX	: X dilsel değişkeninin alabileceği dilsel değerlerin kümesi
DX	: X dilsel değişkeninin alabileceği dilsel değerlerden bir tanesi
E_o^i	: i 'nci dörtlüye ilişkin ortalama eğim
f_j	: Frekans (x eksen) bileşenleri
f_k	: $KDU^{(k)}$ kırılmış çıkışının yüksekliği
f_s	: Örnekleme frekansı
k	: Zaman endeksi
m	: Kural sayısı
N	: Örnek sayısı
N	: Serinin eleman sayısı
$n_{P(X)}$: Güç kümesi
P_g	: Gürültünün toplam gücü
P_i	: İşaretin toplam gücü
P_j	: Güç tayfi (y eksen) bileşenleri
P_m	: Güç yoğunluğu tayfi
S_o^i	: i 'nci dörtlüye ilişkin ortalama seviye
T	: Örnekleme periyodu,
T_s	: Örnekleme periyodu
T_s	: Örnekleme periyodu
U	: Tüm denetim çıkışları kümesi
u^*	: Durulaştırma sonucu elde edilen keskin değer

x^*	: Girişteki keskin değer
x_k	: x_c 'nin ayırık zaman eşdeğeri
$\mu_{KDU^{(k)}}$: Kırpılmış üyelik fonksiyonunun u_i değerine karşılık düşen max. değeri
$\mu_U(u_i)$: u_i çıkışına karşı düşen üyelik değeri
$\mu_A(x)$: Üyelik Fonksiyonu
Δf	: Frekans çözünürlüğü
ω	: Sinüzoidin açısal frekansı

AFD	: Ayırık Fourier Dönüşümü
AGS	: Alçak Geçiren Süzgeç
BGS	: Band Geçiren Süzgeç
ÇD	: Çok Düşük
ÇY	: Çok Yüksek
D	: Düşük
FIR	: Finite Impulse Response (Sonlu itki Cevaplı)
HFD	: Hızlı Fourier Dönüşümü
İGO	: İşaret Gürültü Oranı
IIR	: Infinite Impulse Response (Sonsuz itki Cevaplı)
NB	: Negatif Büyük
NO	: Negatif Orta
O	: Orta
PB	: Pozitif Büyük
PO	: Pozitif Orta
S	: Sıfır
S_D	: DÜŞÜK üyelik fonksiyonunun sınırı
SD_{01}	: PORTA üyelik fonksiyonunun alt sınırı
SD_{02}	: PORTA üyelik fonksiyonunun üst sınırı
SD_S	: SIFIR üyelik fonksiyonunun sınırı
SD_{Y1}	: PYÜKSEK üyelik fonksiyonunun alt sınırı
SD_{Y2}	: PYÜKSEK üyelik fonksiyonunun üst sınırı
S_{01}	: ORTA üyelik fonksiyonunun alt sınırı

- S_{O2}** : ORTA üyelik fonksiyonunun üst sınırı
S_{Y1} : YÜKSEK üyelik fonksiyonunun alt sınırı
S_{Y2} : YÜKSEK üyelik fonksiyonunun üst sınırı
Y : Yüksek
YGS : Yüksek Geçiren Süzgeç



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. A ve B kümelerinin birleşimi.....	11
Şekil 2.2. A ve B kümelerinin kesişimi	11
Şekil 2.3. A kümesinin değili.....	11
Şekil 2.4. A fark B ($A \setminus B$) kümesi	11
Şekil 2.5. A kümesine ait üyelik fonksiyonu	13
Şekil 2.6. a) Birim aralıkta üyelik fonksiyonu	15
Şekil 2.6. b) Üçgen şeklinde üyelik fonksiyonu.....	15
Şekil 2.6. c) Trapezoidal şeklinde üyelik fonksiyonu.....	15
Şekil 2.6. d) Çan eğrisi şeklinde üyelik fonksiyonu	16
Şekil 2.7. Bulanık kümelerde birleşim, kesişim, değil kümeleri.....	18
Şekil 2.8. BOY dilsel değişkenine ait üyelik fonksiyonları.....	22
Şekil 2.9. Geleneksel geri beslemeli sistemin blok diyagramı.....	24
Şekil 2.10. Bir bulanık denetim sisteminin blok diyagramı.....	26
Şekil 2.11. x_0 değişkeninin üyelik gösterimi	26
Şekil 2.12. Üyelik fonksiyonlarının sağ-sol genişlikleri ve tepe değeri	28
Şekil 2.13. Üyelik fonksiyonlarında kesişim noktası.....	28
Şekil 2.14. Üyelik fonksiyonları arasındaki kesişim noktası oranı sıfır	29
Şekil 2.15. 0.7' den "kırpılmış" bir üyelik fonksiyonu	30
Şekil 2.16. Asimetrik bir üyelik fonksiyonu	30
Şekil 2.17. a) e değişkeninin PM ve PS üyelik fonksiyonları	31
b) Aynı üyelik fonksiyonlarının diğer bir gösterimi.....	31
Şekil 2.18. Koşulun sağlanması durumu	32
Şekil 2.19. Koşulun sağlanmaması durumu.....	32
Şekil 2.20. Max-Min çıkarım yöntemi	34
Şekil 2.21. Max-Product çıkarım yöntemi	35
Şekil 2.22. a) "Sıcaklık" giriş değişkenine ilişkin üyelik fonksiyonları.....	36
Şekil 2.22. b) "Nem" giriş değişkenine ilişkin üyelik fonksiyonları	37

Şekil 2.22. c) “Su miktarı” çıkış değişkenine ilişkin üyelik fonksiyonları.....	37
Şekil 2.23. Üyelik fonksiyonları ve iki kural sonucunda yapılan çıkarım.....	37
Şekil 2.24. Ağırlık Merkezi Durulaştırma yöntemi.....	39
Şekil 2.25. Toplamların merkezi yöntemi.....	40
Şekil 2.26. Yükseklik yöntemi.....	41
Şekil 2.27. En büyük alanın merkezi yöntemi:	42
Şekil 2.28. İlk en büyük yöntemi.....	42
Şekil 2.29. En büyük - orta yöntemi.....	43
Şekil 3.1. a)Genel ayrık zaman işareti b) Sinüzoidal işaret	46
Şekil 3.2. Sürekli zaman işaretinin ayrık zamanda örneklenmesi.....	47
Şekil 3.3. İki sinüzoidal bileşen içeren işaretin güç yoğunluğu tayfi	50
Şekil 3.4. AFD’nde frekans çözünürlüğünün belirtilmesi.....	51
Şekil 3.5. Ayrık zaman sisteminin blok diyagramı ve transfer fonksiyonu z-1 olan ayrık sistemin blok gösterimi	53
Şekil 3.6. Genel ayrık zaman sisteminin blok diyagramı	54
Şekil 4.1. Beyaz gürültünün güç yoğunluğu tayfi.....	58
Şekil 4.2. Pembe gürültünün güç yoğunluğu tayfi.....	59
Şekil 4.3. Renkli gürültünün güç yoğunluğu tayfi	59
Şekil 4.4. Gürültü içeren sinüsoidal bir işaretin güç yoğunluğu tayfi.....	61
Şekil 4.5. a) Alt geçiren süzgeçleme ile elde edilen işaretin güç yoğunluğu tayfi (alt kesim 2250 Hz)	62
Şekil 4.5. b) Üst geçiren süzgeçleme ile elde edilen işaretin güç yoğunluğu tayfi (üst kesim 1750 Hz).....	63
Şekil 4.5. c) Band geçiren süzgeçleme ile elde edilen işaretin güç yoğunluğu tayfi (alt ve üst kesim 1750-2250 Hz)	63
Şekil 4.6. İki sinüsoidal bileşen ve gürültüden oluşmuş işaret.....	64
Şekil 4.7. a) İki sinüsoidal bileşen ve gürültüden oluşmuş işaretin band geçiren süzgeç ile temizlenmesi (tek süzgeç)	65
Şekil 4.7. b) İki sinüsoidal bileşen ve gürültüden oluşmuş işaretin band geçiren süzgeç ile temizlenmesi (iki süzgeç; 900-1100 Hz, 1900-2100 Hz).....	65
Şekil 4.8. Uyarlamalı süzgecin blok gösterimi.....	66

Şekil 4.9. Literatürden alınan uyarlamalı süzgeç sistemine ilişkin güç yoğunluğu tayfları (Stearns and Widrow 1985).....	67
Şekil 4.10. Tayf çıkarımı yönteminin blok diyagramı.....	69
Şekil 4.11. Çeşitli pencere fonksiyonları (100 nokta için).....	71
Şekil 4.12. Genliği ve frekansı zamana bağlı değişen işaret (ilk 3000 örnek)	73
Şekil 4.13. Pencereleme kullanılmadan elde edilen güç yoğunluğu tayfi	73
Şekil 4.14. 50 noktalı AFD'nden elde edilen güç tayfları.....	74
Şekil 4.15. BGS blok diyagramı ve süzgeçlerin frekans bandları.....	75
Şekil 4.16. BGS ile elde edilen güç yoğunluğu tayfi.....	78
Şekil 5.1. Bulanık mantık temelli BGS sisteminin prensip blok diyagramı.....	83
Şekil 5.2. SEVİYE (1.giriş) değişkenine ilişkin üyelik fonksiyonları.....	84
Şekil 5.3. EĞİM (2.giriş) değişkenine ilişkin üyelik fonksiyonları.....	84
Şekil 5.4. Alt (Üst) kesim OLABİLİRLİK (çıkış) değişkenine ilişkin üyelik fonksiyonları	84
Şekil 5.5. “Konuşma” sözcüğüne ilişkin işaret	87
Şekil 5.6. Üretilen beyaz gürültü işareti.....	88
Şekil 5.7. Gürültülü işaret (“Konuşma”, Girişteki İGO = 5 dB)	88
Şekil 5.8. 512 örneklilik pencerelerle elde edilmiş güç tayfları	89
Şekil 5.9. Bulanık mantık karar vericinin belirlediği Alt ve Üst kesim frekansları.....	89
Şekil 5.10. Gürültüsü azaltılmış işaret.....	90
Şekil 5.11. Sistemin blok diyagramı.....	93
Şekil 5.12. Bulanık mantık karar vericiye ilişkin blok diyagramı	94
Şekil 5.13. SEVİYE Giriş değişkenine ilişkin üyelik fonksiyonları	96
Şekil 5.14. SDEG Giriş değişkenine ilişkin üyelik fonksiyonları	96
Şekil 5.15. KATSAYI Çıkış değişkenine ilişkin üyelik fonksiyonları	96
Şekil 5.16. Uyarlamalı sistemin blok diyagramı.....	99
Şekil 5.17. Önerilen sistemin yazılımına ait işlemlerin blok gösterimi	101
Şekil 5.18. “Doktora” sözcüğüne ilişkin ses işareti	105
Şekil 5.19. Normalize edilmiş gürültülü işaret.....	105
Şekil 5.20. Beş adet BGS çıkışındaki işaretlerin değişimleri	106
Şekil 5.21. SEVİYE Giriş değişkeninin bandlardaki değişimi.....	106
Şekil 5.22. SDEG Giriş değişkeninin bandlardaki değişimi.....	107

Şekil 5.23. KATSAYI Çıkış değişkeninin bandlardaki değişimi.....	107
Şekil 5.24. BGS çıkışlarının KATSAYI değerleri ile çarpılmış şekli	108
Şekil 5.25. Gürültüsü azaltılmış işaret.....	108
Şekil 5.26. “Konuşma” sözcüğüne ilişkin ses işareti.....	110
Şekil 5.27. Gürültülü işaret (“Konuşma”, Girişteki İGO=5 dB)	111
Şekil 5.28. SEVİYE giriş değişkenine ait değerler (“Konuşma”, Girişteki İGO = 5 dB).....	111
Şekil 5.29. SDEG giriş değişkenine ait değerler (“Konuşma”, Girişteki İGO = 5 dB).....	112
Şekil 5.30. SEVİYE giriş değişkeninin üyelik fonksiyonlarına ilişkin sınırlar (“Konuşma”, Girişteki İGO=5 dB).....	112
Şekil 5.31. SDEG giriş değişkeninin üyelik fonksiyonlarına ilişkin sınırlar (“Konuşma”, Girişteki İGO=5 dB).....	113
Şekil 5.32. KATSAYI Çıkış değişkenine ait değerler (“Konuşma”,Girişteki İGO=5 dB).....	113
Şekil 5.33. Gürültüsü azaltılmış işaret (“Konuşma”, Girişteki İGO=5 dB).....	114
Şekil 5.34. Gürültülü işaret (“Konuşma”, Girişteki İGO=2.5 dB).....	114
Şekil 5.35. SEVİYE giriş değişkenine ait değerler (“Konuşma”, Girişteki İGO=2.5 dB).....	115
Şekil 5.36. SDEG giriş değişkenine ait değerler (“Konuşma”, Girişteki İGO = 2.5 dB).....	115
Şekil 5.37. SEVİYE giriş değişkeninin üyelik fonksiyonlarına ilişkin sınırlar (“Konuşma”, Girişteki İGO=2.5 dB).....	116
Şekil 5.38. SDEG giriş değişkeninin üyelik fonksiyonlarına ilişkin sınırlar (“Konuşma”, Girişteki İGO=2.5 dB).....	116
Şekil 5.39. KATSAYI Çıkış değişkenine ait değerler (“Konuşma”, Girişteki İGO=2.5 dB).....	117
Şekil 5.40. Gürültüsü azaltılmış işaret (“Konuşma”, Girişteki İGO=2.5 dB).....	117
Şekil 5.41. Gürültülü işaret (“Konuşma”, Girişteki İGO=0 dB)	118
Şekil 5.42. SEVİYE giriş değişkenine ait değerler (“Konuşma”, Girişteki İGO = 0 dB).....	118

Şekil 5.43. SDEG giriş değişkenine ait değerler (“Konuşma”, Girişteki İGO = 0 dB).....	119
Şekil 5.44. SEVİYE giriş değişkeninin üyelik fonksiyonlarına ilişkin sınırlar (“Konuşma”, Girişteki İGO=0 dB).....	119
Şekil 5.45. SDEG giriş değişkeninin üyelik fonksiyonlarına ilişkin sınırlar (“Konuşma”, Girişteki İGO=0 dB).....	120
Şekil 5.46. KATSAYI Çıkış değişkenine ait değerler (“Konuşma”, Girişteki İGO = 0 dB).....	120
Şekil 5.47. Gürültüsü azaltılmış işaret (“Konuşma”, Girişteki İGO=0 dB).....	121
Şekil 5.48. “Öğretmen” sözcüğüne ilişkin ses işareti.....	121
Şekil 5.49. Gürültülü işaret (“Öğretmen”, Girişteki İGO=5 dB).....	122
Şekil 5.50. SEVİYE giriş değişkeninin üyelik fonksiyonlarına ilişkin sınırlar (“Öğretmen”, Girişteki İGO=5 dB).....	122
Şekil 5.51. SDEG giriş değişkeninin üyelik fonksiyonlarına ilişkin sınırlar (“Öğretmen”, Girişteki İGO=5 dB).....	123
Şekil 5.52. Gürültüsü azaltılmış işaret (“Öğretmen”, Girişteki İGO=5 dB).....	123
Şekil 5.53. Gürültülü işaret (“Öğretmen”, Girişteki İGO=0 dB).....	124
Şekil 5.54. SEVİYE giriş değişkeninin üyelik fonksiyonlarına ilişkin sınırlar (“Öğretmen”, Girişteki İGO=0 dB).....	124
Şekil 5.55. SDEG giriş değişkeninin üyelik fonksiyonlarına ilişkin sınırlar (“Öğretmen”, Girişteki İGO=0 dB).....	125
Şekil 5.56. Gürültüsü azaltılmış işaret (“Öğretmen”, Girişteki İGO=0 dB).....	125
Şekil 5.57. “Doktora” sözcüğüne ilişkin ses işareti.....	126
Şekil 5.58. Gürültülü işaret (“Doktora”, Girişteki İGO=5 dB).....	126
Şekil 5.59. SEVİYE giriş değişkeninin üyelik fonksiyonlarına ilişkin sınırlar (“Doktora”, Girişteki İGO=5 dB).....	127
Şekil 5.60. SDEG giriş değişkeninin üyelik fonksiyonlarına ilişkin sınırlar (“Doktora”, Girişteki İGO=5 dB).....	127
Şekil 5.61. Gürültüsü azaltılmış işaret (“Doktora”, Girişteki İGO=5 dB).....	128
Şekil 5.62. Gürültülü işaret (“Doktora”, Girişteki İGO=0 dB).....	128
Şekil 5.63. SEVİYE giriş değişkeninin üyelik fonksiyonlarına ilişkin sınırlar (“Doktora”, Girişteki İGO=0 dB).....	129

Şekil 5.64. SDEG giriş değişkeninin üyelik fonksiyonlarına ilişkin sınırlar (“Doktora”, Girişteki İGO=0 dB).....	129
Şekil 5.65. Gürültüsü azaltılmış işaret (“Doktora”, Girişteki İGO=0 dB)	130
Şekil 5.66. HFD ile elde edilen güç tayfları (“Doktora” Girişteki İGO=5 dB)	131



TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Bulanık değerler	21
Tablo 2.2. Bileşik bulanık değerler	21
Tablo 5.1. Alt kesim frekansına ilişkin çıkarım kuralları	85
Tablo 5.2. Üst kesim frekansına ilişkin çıkarım kuralları	85
Tablo 5.3. Bulanık mantık karar vericiye ilişkin kural tabanı	97
Tablo 5.4. Tüm ses örnekleri için İGO oranları.....	132



BÖLÜM 1.

GİRİŞ

Bulanık mantık, Lotfi Zadeh tarafından ilk olarak ortaya atıldığı 1965 yılından itibaren (Zadeh 1965), içerdiği yeni kavramların, klasik mantık kurallarına göre birçok üstünlükler içermesi, değişik alanlara uygulanabilir olması ve bulanık önermelere olanak sağlaması nedeniyle giderek artan oranda yaygınlık kazanmıştır. Özellikle sebep sonuç ilişkileri ile karar verme mekanizmalarından kaynaklanan ve matematiksel modeller yerine, tecrübe ve öngörü gibi matematiksel olmayan unsurların fiziksel sistemlere aktarılabilmesine olanak sağlayan yapısı, Bulanık Mantığın pek çok farklı alanda yeni ve klasik sistemlere göre üstünlükler içeren çözümler üretmesine sebep olmuştur. Bu özelliği ile, borsa analizlerinden, otomatik sürüş sistemlerine; akıllı çamaşır makinalarından (Pedrycz 1993), robot denetimine (Lea et al 1993); video kameralardan, veritabanı uygulamalarına kadar pek çok farklı alana kolaylıkla uyarlanabilmiştir (Driankov et al 1996). Bu uygulamalarda bulanık mantık, denetim, sebep sonuç ilişkisinden karar çıkartma ve sebep sonuç ilişkileri ile modelleme gibi farklı unsurlar olarak kullanılmıştır (Driankov et al 1996, Knight and Akbarzadeh 1993). Bulanık mantığın uygulamaları, mikro elektronik alanındaki gelişmelere paralel olarak artış göstermiş ve uygulandığı hemen her alanda, klasik sistemlere göre üstünlükler sağlamıştır.

Elektrik Elektronik Mühendisliğinin en önde gelen kuruluşlarından biri olan IEEE'nin (Institute of Electrical and Electronics Engineers), Fuzzy Systems adında bir süreli yayın oluşturması da bu yargıyı doğrulamaktadır. Yeni ortaya atılan bir temel yöntemin, disiplinler arasında hızlı bir etkileşim sonucu kısa zamanda pekçok alanda yayılmasına ve temel bir konu başlığı olmasına Bulanık Mantık iyi bir örnek olarak gösterilebilir. Bu anlamda bulanık mantığın ortaya çıkışı kadar, uygulama alanlarının yayılması da önemlidir.

Bulanık mantıkla ilgili literatür taraması yapıldığında, çok geniş bir uygulama alanı ile karşı karşıya kalınmıştır. Bulanık mantık konusu, ilk kez Zadeh tarafından 1965 yılında ortaya atılmıştır. Bulanık denetim üzerine yapılan ilk çalışma, Mamdani et al tarafından 1975'te gerçekleştirilen bir model buhar makinasının denetimidir (Schwartz and Klir 1992). Bu alandaki ilk endüstriyel uygulama olarak, Danimarka'daki bir çimento fırınının denetimi sayılabilir (Schwartz and Klir 1992). Aynı alandaki bir çalışmayla, Ankara Çimento Fabrikasındaki bulanık mantıkla denetim uygulamasında karşılaşılmıştır (Tulunay 1987). Georgescu and Afshari (1993) tarafından sunulan bir çalışmada bulanık mantık, ısıtma ile ilgili denetim aşamasında kullanılmıştır. Japonya'daki pekçok uygulamadan biri de, ATM makinalarında, banknotların ayrılmasındaki hız yeteneğinin bulanık mantıkla artırılmasıdır (Sato et al 1993). Bulanık mantığın trafik denetimi ile ilgili uygulamalarına da sıkça rastlamak mümkündür (Chiu and Chand 1993, Favilla and Machion 1993). Madau et al (1993), bir ABS fren sisteminde bulanık mantığı kullanmıştır. Taşıt araçlarının denetiminde, Nishimori et al (1993) tarafından verildiği üzere, bir model arabanın zamanlaması ile ilgili bir çalışmaya, ayrıca bir su altı aracının denetimine rastlanmıştır (Smith and Rae 1993). Seviye denetimi ile ilgili çalışmalardan biri Vijeh (1993) tarafından yapılmıştır. Bulanık mantığın en çok uygulama alanı bulduğu konulardan biri de motor hız denetimidir. Betin and Deloizy (1994), bir adım motorunun denetimi konusunda; Kawaji and Matsunaga (1990), bir d.a. servomotorun denetimi konusunda; Naunin and Karaali (1993), akıllı bir senkron servo sürücünün denetimiyle ilgili ve Donescu and Neacsu (1995), yüksek başarılı motor sürücüleri için bulanık mantıkla hız denetimi konusunda çalışmalar yapmışlardır. Literatürde, bulanık mantık veya bulanık mantıkla denetim konusunda birçok uygulamayla karşılaşıldığı gibi Zadeh'in bu konudaki temel çalışmalarından bu yana (Zadeh 1965, 1973, 1989, 1996) bulanık kümeler ve kural tabanının oluşturulması gibi temel konularda, halen birçok yayına rastlamak mümkündür (Bernard 1988, Bezdek and Pal 1992, Mendel 1995, Koczy 1996).

İşaret işleme konusunda da, bulanık mantığın kullanıldığı pek çok çalışma sunulmuştur. 1993'te Li-Xin Wang Bulanık mantık temelli uyarlamalı (adaptif) süzgeç uygulaması gerçekleştirmiştir (Wang 1993). Bir başka önemli çalışma,

T. Yamakawa'nın 1993'te sunduğu Bulanık Mantık temelli süzgecin donanımsal olarak gerçekleştirilmesidir. Bu çalışmada, analog tüm devre ve anahtarlanan dirençlerle elde edilmiş bir Bulanık Mantık sistemi tasarlanmıştır (Yamakawa et al 1993). J.R Boston, 1993'te belirsiz durumlarda işaretlerin yakalanması için bir Bulanık Mantık algoritması geliştirmiştir (Boston 1993). 1993'te R. Knight and M. Akbarzadeh tarafından Bulanık Mantık temelli bir süzgeç, Sayısal İşaret İşlemcisi ve Bilgisayar etkileşimli bir sistem ile gerçekleştirilmiştir (Knight and Akbarzadeh 1993). Dizdaroğlu ve diğ. ise, işaret örneklemede bulanık mantık yöntemini kullanmıştır (1996). 1995 sonrası çalışmalarda özellikle görüntü işleme konusunda bulanık mantık temelli çeşitli süzgeç sistemleri geliştirilmiştir. Bunlara örnek olarak, Russo and Fabricio'nun itkisel (Impulsive) gürültü giderme sistemi (1996), Hale'nin Bulanık mantık temelli ses tanıma ile ilgili çalışması (1995), Arakwa'nın "Median" süzgeç tasarımı (1996), Wang'ın bulanık mantık temelli görüntü onarma sistemi (1996), Sucher'in ardışık doğrusal olmayan süzgeçle itkisel gürültü giderme sistemi sayılabilir.

Son yıllarda özellikle önem kazanan ses tanıma, görüntü tanıma ve karar verme sistemlerinde bulanık mantık uygulamalarının daha da artacağı kolaylıkla öngörülebilir (Bezdek and Pal 1992). İşaret işlemede en temel konulardan biri, gürültülü işaretlerin gürültü düzeylerinin azaltılması, kısmen kaybolmuş ya da yüksek düzeyde gürültü içeren bilgi işaretlerinin yeniden kazanılması ve yorumlanmasıdır (Haykin 1986, Stearns and Widrow 1985). Bu temel soruna, farklı yaklaşımlarla pek çok çözüm sunulmuş olmakla birlikte, genel olarak gürültü ve işaretin ayrıştırılmasında istatistiksel ve matematiksel yöntemler kullanılmıştır (Haykin 1986). Bu nedenle, gürültülü işaretlerin temizlenmesi ve bilgi taşıyan işaretlerin yorumlanmasında karmaşık hesaplamalar yapılması, işaretin istatistiksel özelliklerinin belirlenmesinde yakınsama sürecinin oluşması sözkonusudur. Bu nitelikleri ile sözkonusu sistemlerin etkin olarak uygulanması, özellikle gerçek zaman uygulamaları için bazı güçlükler yaratmaktadır.

Bu yargı ve Bulanık Mantığın potansiyel avantajları ışığında, bu doktora tezinin temel problemi gürültü içeren işaretlerin, bulanık mantık yardımıyla ağır matematiksel ve

İstatistiksel yöntemlere gereksinim duyulmayacak bir şekilde gürültüden arındırılması ve alternatif bir sistemin geliştirilmesi olarak belirlenmiştir. Bu ana fikrin ortaya konmasının ardından, problemin çözümüne kadar olan aşamalar ve çalışmanın gelişimi aşağıda açıklanacaktır.

İlgili literatür incelendiğinde, bulanık mantığın süzgeçleme alanındaki bir uygulamasına New Mexico Üniversitesindeki bir araştırma projesinde sunulan bir sistemde rastlanmıştır (Knight and Akbarzadeh 1993). Bu sistemin bir benzeri, bilgisayar ortamında tasarlanarak konu ile ilgili ilk önemli belirlemeler elde edilmiştir. Prencip olarak sistem, gürültülü işaretlerin Hızlı Fourier Dönüşümü (HFD) ile elde edilmiş güç tayfinin bazı özelliklerinden ve bir kural tabanından yararlanarak, band geçiren bir süzgecin alt ve üst kesim frekanslarını, kendi kendine belirleyebilen ve bu anlamda uyarlamalı süzgeçlere benzeyen bir çalışma özelliği gösteren bir yapıdadır. Bu sistem, bilgisayar ortamında değişik işaretler için denenmiş ve çok başarılı olmadığı belirlenmiştir. Sistemdeki temel sorunun, güç tayfi dağılımının zamandan bağımsız olarak ele alınması olduğu belirlenmiştir. Oysa genel olarak işaretlerin, frekans içerikleri ya da tayf dağılımlarının zamana çok bağımlı olduğu söylenebilir. Sistem, değişik uzunlukta örnek pencereleri ile denenerek çalışması incelendiğinde, bu durumda da pencere uzunluğunun seçimi konusunda bir belirsizliğin varlığı ve ani band sızramalarının yarattığı akustik olumsuzluklar tespit edilmiştir. Bu tespitler çalışmamızı, işaretlerin zaman-frekans eksenlerinde incelenmesi sorununa yönlendirmiştir. Bu şekilde, işaret işlemede belirsizlik kuramı ya da prensibi olarak bilinen zaman-frekans çözünürlüğü çelişkisi ve bunun gürültülü işaretlerin süzgeçlenmesine olan etkileri üzerine çalışmalar yapılmıştır (bu sorun, ses tanıma, gürültülü işaretlerin işlenmesi, müzik ve ses işaretlerinin modellenmesi, tayf kestirimi gibi farklı alanlarda da yoğun olarak incelenmiş olup, son yıllarda zaman-frekans analizi konusunda önemli kuramsal gelişmeler yaşanmıştır (Rioul 1991)). Buradaki asıl problem, sonsuz sayıdaki verinin sonlu sayıdaki örneğinin, ancak belirli bir frekans çözünürlüğü ile işlenmesi ve incelenen zaman diliminde işaretin tayfindaki değişimin sabit kabul edilmesidir. Veri sayısı arttırıldığında, zaman dilimi büyüdüğünden, tayfdaki değişimlerin ani olarak sızramalar yapması, veri sayısı azaltıldığında da frekans bandının genişlemesi, işaretin gürültüden etkin olarak

ayrıştırılmasını engellemektedir. Ayrıca seçilen zaman diliminin sabit olması, konuşma ve müzik gibi farklı frekanslarda ve farklı uzunlukta bileşenlerden oluşan işaretler için önemli bir zorluk yaratmaktadır. Bu alandaki yazın incelendiğinde, sorunun çözümüne ilişkin algoritmaların Kısa Süreli Hızlı Fourier Dönüşümü (KSHFD) dışında oldukça yoğun matematiksel işlemlere gereksinim duyduğu gözlemlenmiştir.

İlgili yazında, zaman-frekans analizi ve işaretlerin modellenmesi konusunda sunulmuş temel çalışmalar, aşağıdaki şekilde sıralanabilir. (Hlawatsch and Boudreaux 1992)'de, zaman frekans düzleminde işaretlerin modellenmesi ile ilgili temel yaklaşımların genel bir değerlendirmesi verilmiştir. (Rioul 1991)'de, dalgacık dönüşümü ve sabit zaman dilimli zaman-frekans analizi yöntemlerinin tanıtımı ve değerlendirilmesi verilmiştir. (Pielemeier et al 1996a)'da, özellikle müzik işaretlerinin zaman-frekans modellenmesinde literatürün geniş bir özetini ve değerlendirmesini vermiştir. Benzeri bir çalışma yine (Pielemeier et al 1996b)'de sunulmuştur. Bu çalışmaların hemen tümünde, zengin referanslar yardımıyla tüm zaman frekans analiz yöntemlerini incelemişler ve değerlendirmişlerdir.

Bu soruna oldukça pratik bir çözüm, bu aşamada tarafımızdan önerilmiştir. Bu yaklaşımda, işaretlerin hem zaman hem de frekans domeninde işlenebilmesi için, frekans bileşenleri çok sayıda (10-100) band geçiren süzgeç içeren bir süzgeç grubu ve seviye belirleme sistemi kullanılmıştır. Sistem kısaca, BGS (Band geçiren süzgeç grubu) olarak adlandırılacaktır. Bu yöntemin en önemli üstünlüğü, frekans domeninde ayrıştırılan işaretlerin, herhangi bir ters dönüşüme gereksinim duymadan, tekrar toplama ile sentezlenebilmesi ve pencereleme kullanılmadan tayf dağılımının zamana bağlı incelenmesine olanak sağlamasıdır. Her ne kadar, kullanılan band geçiren süzgeçlerde frekans bandları arasında sızmalar gözlemlense de, bu durumun pratik olarak sorun yaratmadığı da belirlenmiştir. Bu şekilde, zaman ve frekans ekseninde ayrıştırılan işaretlerin, ilk yaklaşıma göre son derece hasas izlenebildiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, müzik ve konuşma işaretlerinin gürültülerinin temizlenmesinde, 10-20 süzgecin yeterli olduğu, buna karşın zaman eksenindeki ayrışımın daha önemli olduğu sonucuna varılmıştır. Geliştirilen bu yöntem zamana

bağlı olarak frekansı ve genliği değişen örnek işaretler için denenerek elde edilen değişimlerin Hızlı Fourier Dönüşümüne (HFD) yakın bilgiler verdiği gözlenmiştir.

Bu aşamada, BGSŞ ile ayrıştırılması durumunda bile, işaretin tek band geçiren süzgeç ile başarılı bir şekilde temizlenemeyeceği belirlenmiştir. Bu yargıya, tek bir süzgecin bazı durumlarda alt ve üst frekanslarının uzaklaşması nedeniyle oldukça geniş bir bandı geçirmesi, diğer hallerde de zaman içinde geçirme bandının, işaretin içerdiği frekans bileşenlerinde “dolaşmasının” çıkışta gürültünün bir çeşit modüle edilmesine neden olduğunun belirlenmesi sonucunda varılmıştır.

Bu yargı çalışmayı farklı bir alana çekmiştir. Yukarıda oluşan sakıncaların temel sebebi, işaretlerin frekans domeninde temizlenmeye çalışılmasından kaynaklanmıştır. Alternatif olarak tayfa frekans eksenini yerine zaman ekseninden bakılarak, incelenen frekans bileşeninin o andaki niteliğinin, işaret mi gürültü mü olduğunun belirlenmesi ve bu belirlemeye göre anlık olarak kanalın zayıflatılması ya da zayıflatılmaması durumunda gürültünün yukarıdaki yaklaşımlardan daha etkin şekilde bastırılmasının mümkün olabileceği düşünülmüştür.

Bu aşamada işaret ve gürültünün, zaman ekseninde bakıldığında çok daha kolay ayırt edilebileceği belirlenmiştir. Bu belirleme bazı denemelerle kanıtlanmıştır. Bu amaçla beyaz gürültü işaretlerinin ve gürültüsüz konuşma ve müzik işaretlerinin spektral bileşenlerinin seviyeleri ve bu seviyelerin zamana göre türevleri incelenmiş ve bu anlamda gürültü ve işaretin belirgin olarak farklılıklar gösterdikleri belirlenmiştir. Gürültünün alçak frekanslı bileşenlerinin (kalın seslerin), genel olarak konuşma ve müzik işaretlerinin düşük frekanslı bileşenlerinden oldukça düşük seviyede olması, alçak frekanslar için genliğin ayrıştırıcı bir kriter olarak kullanılmasını sağlamıştır. Bunun yanı sıra, müzik ve konuşma işaretlerinin yüksek frekanslı bileşenlerinin seviyelerinin zamana göre türevlerinin, gürültünün yüksek frekanslı bileşenlerinin zamana göre türevlerinden oldukça büyük olması, zamana göre türevin yüksek frekanslar için ayrıştırıcı bir kriter olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Kısaca, alçak frekanslı bileşenlerin seviye, yüksek frekanslı bileşenlerin de türev kullanılarak gürültüden ayırt edilebileceği anlaşılmıştır.

Bulanık mantığın karar verme yetkinliği, bu aşamaya gelindikten sonra problemin çözümünde son ve en önemli parçayı tamamlamıştır. Yukarıdaki inceleme doğrultusunda, uygun kural tabanı oluşturulup, işaretlerin zaman-frekans ayrıştırılması gerçekleştirildiğinde, ortaya, gürültüyü gerçek işaretlerden ayırıp temizleyebilen, oldukça basit ancak başarılı sonuç veren kural tabanlı bir sistem çıkmıştır. Çeşitli örneklerle denendiğinde, öngörülen kuralların gürültüyü belirleme ve bastırma açısından geçerliliği belirlenmiştir.

Gürültü içeren konuşma ve müzik işaretlerinin temizlenmesi konusunda, literatürde göze çarpan önemli çalışmalar aşağıdaki gibi sıralanabilir. İstatiksel temelli, konuşma işaretlerinin temizlenmesine ilişkin bir yöntem (Ephraim 1992)'de verilmiştir. Yine bozulmuş konuşma işaretlerinin yeniden oluşturulması konusunda, Kabrinsky'nin çalışması göze çarpmaktadır (Kabrisky et al 1989). İşaretlerin yakalanması konusunda bir başka ilginç çalışma da, Haykin'in kaotik ortamlarda işaret belirleme konusundaki çalışması örnek olarak verilebilir (Haykin 1995).

Bu tez, yukarıdaki problem çözüm aşamalarının paralelinde, 6 Bölüm halinde yazılmıştır. Birinci bölümde, problemin tanıtımı, literatür incelemesi ve çözüm aşamaları ana hatları ile verilmiş, tezin genel bir tanıtımı yapılmıştır.

İkinci bölümde, küme teorisi ve bulanık mantığın temel kavramları, bulanıklaştırma, durulaştırma yöntemleri ve bulanık denetim hakkında temel bilgiler tez kapsamı ve konu bütünlüğü göz önünde tutularak tanıtılmıştır.

Üçüncü bölümde, ayrık zamanlı işaretler, güç tayfi analizi, Hızlı Fourier Dönüşümü ve sayısal süzgeçler hakkında genel bilgiler verilmiştir.

Dördüncü bölümde, gürültülü işaretlerin temizlenmesi konusunda literatürde mevcut olan çözümlerin genel bir değerlendirmesi verilmiş, gürültü kavramı ve işaret gürültü oranı tanıtılmıştır. Bu bölümün son ayrıtında, gürültü temizleme açısından, zaman frekans ayrıştırmasının önemi ve HFD'nün getirdiği pencereleme problemi vurgulanmış, alternatif bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntemin geçerliliği frekans

ve genlik olarak zamanla değişen bir test işareti için sınanmış ve AFD ya da HFD yerine, böyle bir yöntemin kullanılabilceği gösterilmiştir. Önerilen yöntem, band geçiren süzgeç grubu olarak adlandırılmıştır.

Beşinci bölümde, bulanık mantık temelli band geçiren bir süzgeç sistemi oluşturularak, çalışması ve sakıncaları irdelenmiştir. Bu bölümün son ayrıtında, geliştirilen bulanık mantık temelli gürültü bastırma sisteminin tanıtımı verilmiş, bulanık kuralların oluşturulması gösterilmiş ve sistemin gürültü düzeyine göre, bulanık mantık karar verici girişindeki üyelik fonksiyonlarının, sınırlarını otomatik olarak ayarlaması için bir yöntem geliştirilmiştir. Sistem, farklı işaretler için denenerak elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Tezin son bölümünde, genel olarak elde edilen sonuçlar ve ileriki çalışmalar için ışık tutacağı düşünölen bazı saptamalara yer verilmiştir.



BÖLÜM 2.

KÜME TEORİSİ ve BULANIK MANTIK

2.1. Giriş

Bu bölümde öncelikle, klasik küme teorisi ve temel kavramlar verilmiş, daha sonra bulanık küme teorisi ile bu kümelerdeki işlemler anlatılmıştır. Küme teorisi verildikten sonra, bulanık küme teorisine dayalı **Bulanık mantık** incelenmiş ve iki değerlilik prensibine dayalı olan klasik mantıktan farkı açıklanmıştır. Bölümün son ayrıtında, Bulanık mantıkla denetim temel hatlarıyla incelenmiş, Bulanıklaştırma, Bulanık çıkarım ve Durulaştırma yöntemleri tanıtılmıştır. Bu bölümün amacı, 5. Bölümde geliştirilecek olan sistemin Bulanık mantık kısmına ilişkin alt yapının oluşturulmasıdır.

2.2. Klasik Küme Teorisi

X , aynı özellikteki tüm elemanları kapsayan bir uzay olarak tanımlansın ve uzayın elemanları x ile isimlendirilsin. Bu uzaya ait elemanlar **Ayrık** ve **Sonlu** veya **Sürekli** ve **Sonsuz** olabilir. X uzayının eleman sayısı n_x ile ve X deki bazı elemanlardan oluşan bir alt küme, A ile gösterilerek, aşağıdaki ifadeler yazılabilir (Ross 1993):

$x \in X \rightarrow x, X$ 'in elemanıdır

$x \in A \rightarrow x, A$ 'nın elemanıdır

$x \notin A \rightarrow x, A$ 'nın elemanı değildir

X 'de tanımlı A ve B alt kümeleri için ayrıca,

$A \subset B \rightarrow B, A'$ yı kapsar

$$\forall x \in A \text{ için } x \in B$$

$A \subseteq B \rightarrow B, A'$ yı tamamen kapsar veya eşittir,

$A = B \rightarrow A \subseteq B$ ve $B \subseteq A$ tanımlanabilir.

Elemanı olmayan küme boş kümedir ve \emptyset ile gösterilir. X ' in tüm alt kümelerinden oluşan özel küme $P(X)$ ile gösterilir ve **Güç Kümesi** (Power set) olarak isimlendirilir.

Güç kümesinin eleman sayısı,

$$n_{P(X)} = 2^{n_x} \quad (2.1)$$

olarak verilir.

2.2.1. Klasik kümelerde işlemler

A ve B, X uzayında tanımlı olmak üzere aşağıdaki işlemler verilebilir:

Birleşim : $A \cup B = \{x \mid x \in A \text{ veya } x \in B\}$

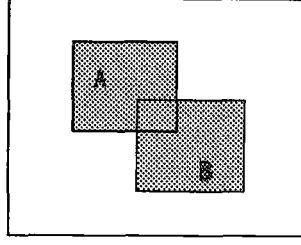
Kesişim : $A \cap B = \{x \mid x \in A \text{ ve } x \in B\}$

Değil : $\bar{A} = \{x \mid x \notin A, x \in X\}$

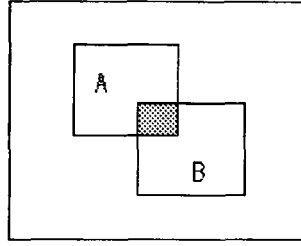
Fark : $A \setminus B = \{x \mid x \in A, x \notin B\}$

(2.2)

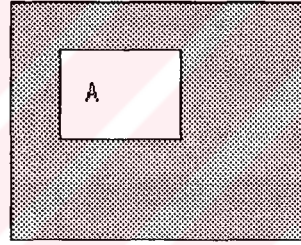
Bu dört temel işleme ilişkin şekiller aşağıda verilmiştir.



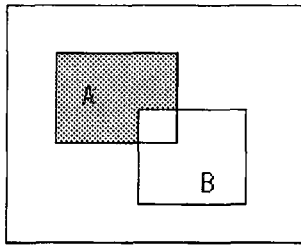
Şekil 2.1. A ve B kümelerinin birleşimi



Şekil 2.2. A ve B kümelerinin kesişimi



Şekil 2.3. A kümesinin değili



Şekil 2.4. A fark B ($A \setminus B$) kümesi

2.2.2. Klasik kümelerin özellikleri

Klasik kümeleri tanımda yardımcı olabilecek özellikler aşağıda verilmiştir (Ross 1993):

$$\begin{aligned} \text{Değişme özelliği} & : A \cup B = B \cup A \\ & A \cap B = B \cap A \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Birleşme özelliği} & : A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap C \\ & A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup C \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Dağılma özelliği} & : A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C) \\ & A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C) \end{aligned} \quad (2.3)$$

$$\begin{aligned} \text{Aynı olma özelliği} & : A \cup A = A \\ & A \cap A = A \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Özdeşlik özelliği} & : A \cup \emptyset = A \\ & A \cap X = A \\ & A \cap \emptyset = \emptyset \\ & A \cup X = X \end{aligned}$$

$$\text{Geçiş özelliği} : \text{Eğer } A \subseteq B \subseteq C \text{ ise, } A \subseteq C \text{ dir.}$$

$$\text{Kapsama özelliği} : \overline{\overline{A}} = A$$

Kümelerde tanımlı özellikler içinde en önemli ikisi, Excluded-Middle ve De Morgan kanunları olarak sıralanabilir.

X uzayında tanımlı A ve B kümelerinde aşağıdaki fonksiyonlar tanımlanabilir:

$$\begin{aligned} \text{Birleşim} \quad : A \cup B \rightarrow \chi_{A \cup B}(x) &= \chi_A(x) \vee \chi_B(x) \\ &= \max(\chi_A(x), \chi_B(x)) \end{aligned} \quad (2.7)$$

$$\begin{aligned} \text{Kesişim} \quad : A \cap B \rightarrow \chi_{A \cap B}(x) &= \chi_A(x) \wedge \chi_B(x) \\ &= \min(\chi_A(x), \chi_B(x)) \end{aligned} \quad (2.8)$$

$$\text{Tümleme} \quad : \bar{A} \rightarrow \chi_{\bar{A}}(x) = 1 - \chi_A(x) \quad (2.9)$$

2.3. Bulanık Küme Teorisi

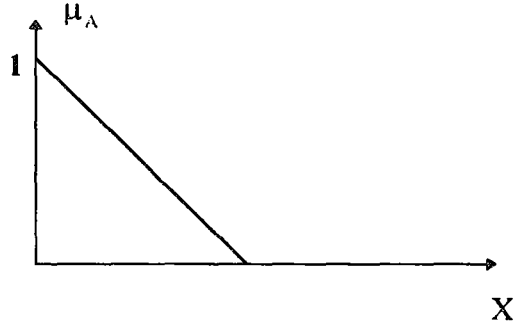
Klasik kümelerin genelleştirilmiş bir şekli olan Bulanık Kümeler, günlük yaşamdaki belirsizliklerin matematiksel sunulma şeklidir (Bezdek 1993). Klasik (veya keskin) kümelerde, bir nesnenin kümeye ait olup olmaması arasında ani-keskin- bir geçiş vardır. Başka bir deyişle, bir x elemanı A kümesinin ya “üyesidir” veya “üyesi değildir” şeklinde bir ifade kullanılır. Oysa bulanık kümelerden oluşan bir uzayda, bu ani geçişlerden bahsedilmez. Bu, bulanık kümelerin sınırlarının keskin olmamasından ileri gelmektedir. Daha açık ifade etmek gerekirse **Bulanık Küme**, farklı üyelik derecelerine sahip elemanlardan oluşan bir kümedir (Zadeh 1965, 1973, Driankov 1996). Bu tanımın klasik küme tanımıyla ters düştüğü görülmektedir.

Bulanık kümelerde bir nesne, bir kümeye kısmen ait olabilir. Bir bulanık kümedeki üyelik derecesi aşağıdaki gibi gösterilen bir **Üyelik Fonksiyonu** ile belirtilir.

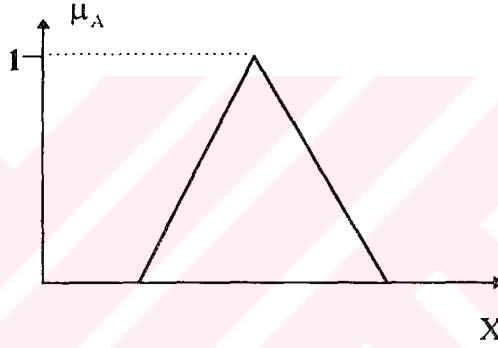
$$\mu_A(x) \rightarrow [0, 1] \quad (2.10)$$

Buna göre, üyelik fonksiyonu gerçel bir sayıdır ve $0 \leq \mu_A \leq 1$ ile gösterilir. Üyelik fonksiyonuna ait ara değerler, **üyelik derecesi** olarak isimlendirilir. Burada 0 üyelik derecesi, kümenin **üyesi olmama**; 1 üyelik derecesi ise kümenin **tam üyesi olma** anlamındadır (Klir and Folger 1988, Togai and Watanabe 1992).

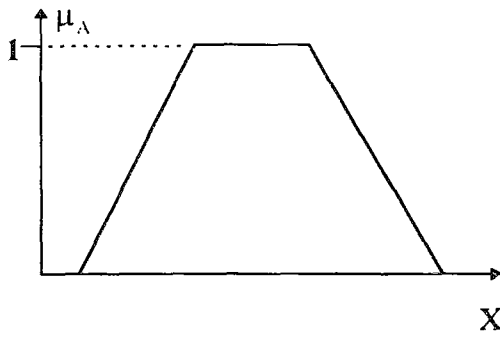
Şekil 2.6' da, bir A bulanık kümesine ait farklı üyelik fonksiyonları verilmiştir (Yager and Filev 1994).



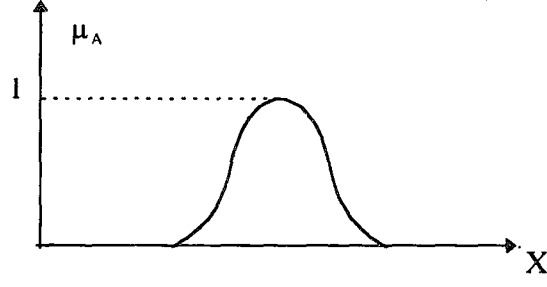
Şekil 2.6. a) Birim aralıkta üyelik fonksiyonu



Şekil 2.6. b) Üçgen şeklinde üyelik fonksiyonu



Şekil 2.6. c) Trapezoidal şeklinde üyelik fonksiyonu



Şekil 2.6. d) Çan eğrisi şeklinde üyelik fonksiyonu

X ayrık ve sonlu olmak üzere, bulanık kümeye ait üyeliklerin toplamı aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$A = \frac{\mu_A(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_A(x_2)}{x_2} + \dots = \sum_i \frac{\mu_A(x_i)}{x_i} \quad (2.11)$$

X sürekli ve sonsuz ise bu gösterim aşağıdaki şekline alır :

$$A = \int \frac{\mu_A(x)}{x} \quad (2.12)$$

Yukarıdaki ifadelerde kullanılan $\frac{\mu_A(x)}{x}$ ifadesinin anlamı, “x’in A’deki üyelik derecesi $\mu_A(x)$ dir” şeklinde anlaşılmalıdır. Yani her iki ifadede de görülen yatay çizgiler bir “bölüm çizgisini değil” daha çok bir “sınırı” ifade etmektedir.

Denklem 2.11’deki “+” işaretleri, “cebrik bir toplamayı değil” fonksiyonlar teorisindeki “birleşimi”, denklem 2.12’deki integral işareti ise “cebrik integrali değil” daha çok sürekli değişkenler için “birleşim kümesini” göstermektedir (Zadeh 1989).

2.3.1. Bulanık küme işlemleri

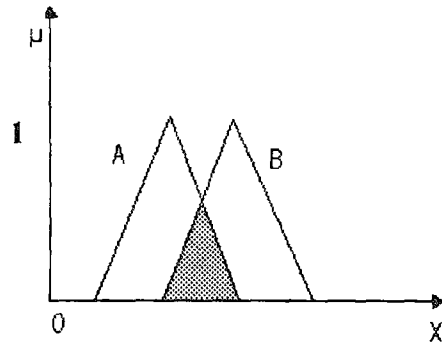
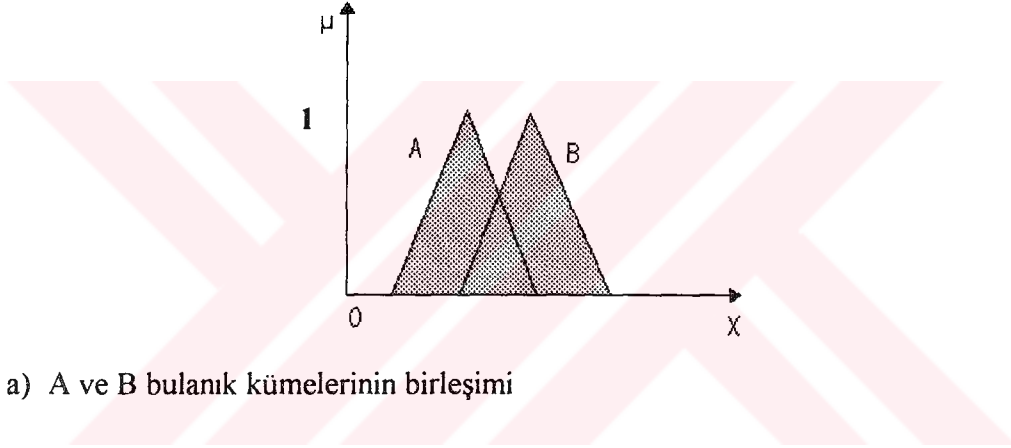
A ve B, X uzayında tanımlı iki bulanık küme olmak üzere,

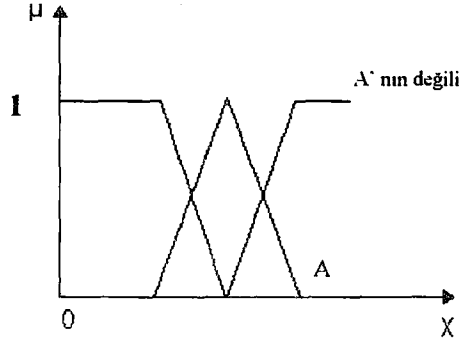
$$\text{Birleşim} \quad : \mu_{A \cup B}(x) = \max[\mu_A(x), \mu_B(x)] = \mu_A(x) \vee \mu_B(x) \quad (2.13)$$

$$\text{Kesişim} \quad : \mu_{A \cap B}(x) = \min[\mu_A(x), \mu_B(x)] = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) \quad (2.14)$$

$$\text{Değil} \quad : \mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (2.15)$$

Bu temel işlemlerle ilgili şekiller aşağıda verilmiştir.





c) A ve A' nın değili

Şekil 2.7. a), b), c) Bulanık kümelerde birleşim, kesişim, değil kümeleri

X uzayında tanımlı A kümesi, bu uzayın bir alt kümesidir. Aynı zamanda klasik kümelerde olduğu gibi, herhangi bir x elemanının \emptyset boş kümesindeki üyeliği sıfır, X uzayındaki üyeliği ise 1 dir. Bunlar kısaca, aşığıdaki gibi ifade edilebilir (Ross 1993).

$$A \subseteq X \rightarrow \mu_A(x) \leq \mu_X(x)$$

$$\forall x \in X, \mu_{\emptyset}(x) = 0$$

$$\forall x \in X, \mu_X(x) = 1$$

(2.16)

X uzayındaki bulanık kümelerin ve bulanık alt kümelerin toplamı, bulanık güç kümesi $P(X)$ ile gösterildiğinde, bulanık kümelerin çakışma özelliğinden dolayı bu kümenin eleman sayısı $n_{P(X)} = \infty$ olarak ifade edilir.

Klasik kümelerde geçerli olan De Morgan kanunları bulanık kümeler için de geçerlidir.

$$\overline{(A \cap B)} = \bar{A} \cup \bar{B}$$

$$\overline{(A \cup B)} = \bar{A} \cap \bar{B}$$

(2.17)

Klasik kümelerdeki tüm işlemler -Excluded Middle kanunları hariç- bulanık kümeler için de geçerlidir. Bu iki kanun, bulanık kümelerin çakışma özelliğinden dolayı geçerliliğini yitirmektedir. Buna göre,

$$\begin{aligned} A \cup \bar{A} &= X \\ A \cap \bar{A} &= \emptyset \end{aligned} \quad (2.18)$$

2.3.2. Bulanık kümelerin özellikleri

Klasik kümelerde görülen birleşim ve kesişim ile ilgili özellikler, bulanık kümelerde de geçerlidir. A ve B iki bulanık küme olmak üzere,

$$\begin{aligned} \text{Değişme özelliği} &: A \cup B = B \cup A \\ &A \cap B = B \cap A \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Birleşme özelliği} &: A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap C \\ &A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup C \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Dağılma özelliği} &: A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C) \\ &A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Aynı olma özelliği} &: A \cup A = A \\ &A \cap A = A \end{aligned} \quad (2.19)$$

$$\begin{aligned} \text{Özdeşlik özelliği} &: A \cup \emptyset = A \\ &A \cap X = A \\ &A \cap \emptyset = \emptyset \\ &A \cup X = X \end{aligned}$$

Geçiş özelliği : Eğer $A \subseteq B \subseteq C$ ise, $A \subseteq C$ dir.

$$\text{Kapsama özelliği} : \overline{\overline{A}} = A$$

2.4. Bulanık Mantık

Çok-seviyeli mantığın kullanımı, Aristo'nun çalışmalarını takiben devam etmiş, daha sonra, 1285 - 1340 yılları arasında William Occam iki-değerli mantığı desteklemiş, ancak bileşenlerden her ikisi de doğru veya yanlışken, "p ise q" nun değerinin ne olacağı tartışılmıştır. 1878 - 1956 yıllarında Lukasiewicz üç seviyeli mantığı ileri sürerek, bunları "doğru" (1), "yanlış" (0) ve yarım doğru veya yarım yanlış olarak nitelendirilebilen "nötr" (1/2) şeklinde isimlendirmiştir. Daha sonraki yıllarda Çin'de ve diğer ülkelerde bulunan mantıkçılar çok-seviyeli mantık ile ilgili çalışmalarını devam ettirmişlerdir. 1965'te Zadeh, bir seminerde sunduğu makalesinde "Bulanık Kümelerin" herhangi bir mantığın temeli olduğunu göstermiş ve burada doğruluk seviyelerinin sayısının önemli olmadığını açıklamıştır. Bunların ışığında, 0 (tamamen yanlış) ve 1 (tamamen doğru) arasındaki tüm mantıksal seviye için BULANIK (FUZZ) kelimesini kullanmıştır (Jamshidi 1993).

Bulanık mantık, adından da anlaşıldığı gibi, daha çok yaklaşık çıkarımlarda bulunmaya dayalı bir mantıktır (Zadeh 1989). İnsanın, özellikle sağduyuya dayalı yaptığı tüm çıkarımların "kesin" den çok "yaklaşık" olması, bulanık mantığı bu derece önemli kılan en büyük faktördür. Bulanık mantık temel olarak, bulanık küme teorisi ve bulanık ölçüm teorisine dayanmaktadır.

Gerçek dünyada, evet-hayır, siyah-beyaz, doğru-yanlış gibi değerlerin arasında pek çok ara değer vardır. Örneğin siyah-beyaz'ın arasındaki gri tonları ifade edebilmek, çok daha hassas bir ifade tarzı oluşturacaktır.

Bulanık mantıkta asıl olan, bazı kesin olmayan ve belirsiz durumlar için tolerans şansının olmasıdır. Bu, bilginin esnek olmasından kaynaklanmaktadır. Aslında sonuçlarda kesinlik ve doğruluk aramak çoğunlukla bedeli arttırır. Kesinliğin çok da gerekli olmadığı durumlarda fazlasını ödemeye gerek yoktur.

Zadeh'in deyişiyile "Bulanık mantığın asıl amacı, kesinden çok yaklaşık muhakemelerle ilgili kavram ve tekniklerin kesin ve hesaplanabilir olmasını sağlamaktır" (Jamshidi 1993).

Klasik mantıkta sadece sembolik ifadeler varken, bulanık mantık hem sembollerle hem de sayılarla işlem yapar. Herhangi bir mantık sistemi bulanıklaştırılabilir, çünkü bulanık mantık teorisi, klasik mantık teorisini kapsamaktadır. Burada, kesin bir çıkarım, yaklaşık çıkarımın sınırlandırılmış şeklidir.

Bulanık kümeleri tanımlamada kullanılan **Dilsel Değişken** (Linguistic variable) kavramı ilk kez Zadeh'in 1973' te IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics' de yayımlanan makalesinde ortaya atılmıştır (Schwartz and Klir 1992).

Dilsel değişkenlerin değeri -sayılar değil- kelimeler veya cümleler olabilir (Giarratano and Riley 1989).

Tablo 2.1' de, bu dilsel değişkenlerin alabileceği bulanık değerler ve Tablo 2.2' de, bileşik bulanık değerlerle ilgili örnekler verilmiştir.

Tablo 2.1. Bulanık değerler

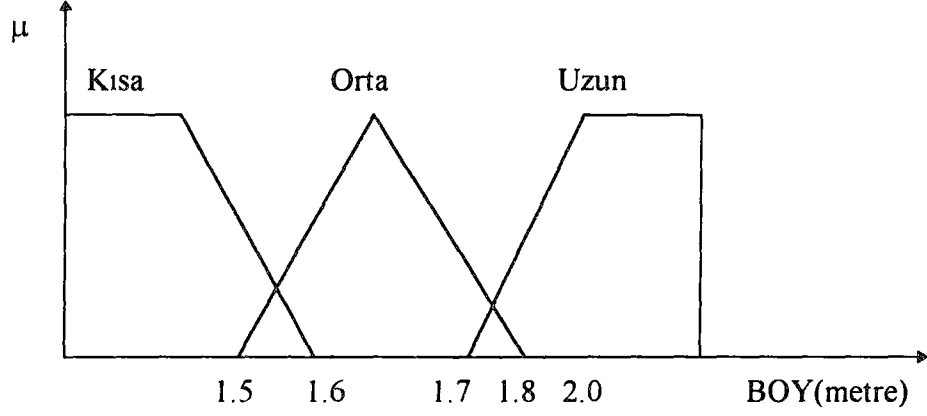
düşük
orta
yüksek
çok
biraz
birkaç
civarında
büyük miktarda

Tablo 2.2.Bileşik bulanık değerler

çok düşük
çok veya az düşük
çok düşük değil
çok yüksek
az yüksek

BOY, bir dilsel değişken olarak ifade edilirse, bu değişkenin alabileceği değerler aşağıdaki gibi belirtilebilir:

$$T(\text{BOY}) = \{ \text{Kısa, Orta, Uzun} \}$$



Şekil 2.8. BOY dilsel değişkenine ait üyelik fonksiyonları

Bu değişkene ait dilsel değerler Şekil 2.8'de bulanık kümelerle ifade edilmiştir. Burada, boyun 2 m.' den uzun olması durumu, 1 üyelik derecesiyle gösterilmiştir. Boyun 1.7 m. den kısa olması durumunda, "Uzun" bulanık kümesine ait üyelik 0 olmakta, 1.55 m.lik bir boy ise, hem "Kısa" hem de "Orta" bulanık kümesinin bir üyesi olarak görünmektedir. O halde 1.55 m. lik bir boyun "Kısa" ya da "Orta" olmasıyla ilgili kesin bir yargı bulunmamaktadır.

Klasik mantıkta bu boy ya "Kısa" ya da "Orta" dır. Oysa bulanık mantıkta, bu ölçü için "Kısa" denilebileceği gibi "Orta" da denilebilir.

Görülmektedir ki Bulanık mantık, hem nitelik olarak hem de detaylarda geleneksel mantık sisteminden farklılıklar göstermektedir. Bu farklar daha ayrıntılı olarak aşağıda açıklanmıştır (Zadeh 1989):

Doğruluk (truth): İki değerli mantıkta doğruluk sadece iki değer alabilir: Doğru veya Yanlış. Bulanık mantıkta ise bir önermenin doğruluk değeri [0, 1] aralığındaki bir alt kümeden oluşur.

İfadeler (predicates): İki değerli mantıkta ifadeler kesindir. **Ölü, çift, ..den büyük** gibi. Bulanık mantıkta ise ifadeler bulanıktır. **Uzun, hasta, yakın, ...den daha büyük** gibi.

Belirti düzenleyiciler (predicate modifiers): Klasik sistemde, en çok kullanılanı, **değil'** dir. Bulanık mantıkta ise, birçok belirti düzenleyici vardır. Örneğin **çok, çok veya az, oldukça, son derece** gibi. Bunlar özellikle dilsel değişkenlere birlikte kullanımda büyük rol oynarlar. Örn: **çok genç, çok genç değil** gibi.

Niceleyiciler (quantifiers): Klasik sistemde niceleyiciler sadece iki tanedir: kesinlik ve ait olma. Bulanık mantıkta ise birçok niceleyici bulunmaktadır: **birkaç, genellikle, çoğunlukla, hemen hemen her zaman, sıkça** gibi.

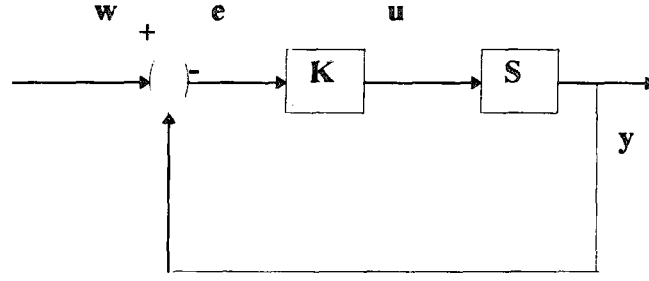
Olasılık (probability): Klasik mantık sistemlerinde, olasılık sayısalıdır. Bulanık mantıkta ise dilsel bulanık ifadelerden faydalanılır. Örn: **muhtemelen, çok muhtemel, yaklaşık 0.5 civarında, yüksek ihtimalle** gibi.

Olabilirlik (possibility): Bulanık mantıkta olabilirlik kavramı ikili mantıktakine göre çok daha derecelendirilmiş durumdadır. Olasılıkta olduğu gibi, olabilirlik ifadeleri de dilsel değişken işlevi görebilirler. Örn: **mümkün, çok mümkün, imkansız** gibi.

2.5. Bulanık Denetim

Genel olarak, matematiğe dayalı denetim (kontrol) teorisi, İkinci Dünya savaşından sonra gelişme göstermiştir. Fakat, tecrübeler, pratikte karşılaşılan olaylara ve önseziye dayalı geribeslemeli denetimin temel prensipleri, yüzyıllardır bilinmekte ve uygulanmaktadır (Yager and Filev 1994).

Bir geribeslemeli denetim sisteminin temel blok diyagramı Şekil 2.9.'da gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Geleneksel geri beslemeli sistemin blok diyagramı

Denetlenecek nesne (araç,motor vs.) sistem olarak isimlendirilmiş ve S ile gösterilmiştir. Geribeslemeli bu sistemin amacı y çıkışının istenen değerde kalmasını sağlamaktır. y çıkışını w referansans girişine yakın değerde tutma işlemi regülasyon olarak isimlendirilir. Denetim sistemi K, çıkışı ise u olarak isimlendirilmiştir. Denetim yönteminin genel ifadesi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$u(k)=f(e(k), e(k-1), \dots, e(k-v),u(k-1), u(k-1), \dots, u(k-v)) \quad (2.20)$$

Burada $e=w-y$, istenen çıkış ile çıkış arasındaki hata, v denetim sisteminin derecesi ve f ise genelde lineer olmayan bir fonksiyondur. Farklı f fonksiyonları ve v' nin farklı değerleri için P (oransal), D (türevsel), I (integral), PI, PID gibi denetim algoritmaları gerçekleştirilebilir. Bunlar genelde, geleneksel denetim algoritmaları olarak isimlendirilir.

Geleneksel denetimin en önemli özelliği, denetim algoritmasının birtakım denklemler yardımıyla analitik olarak tanımlanmasıdır. Genelde böyle bir denetimde sentez yapabilmek için, denetlenen sistemin matematiksel modelinin analitik olarak tanımlanması gerekir. Analitiklik kavramı geleneksel denetim teorisinin esasıdır.

1973 yılında Zadeh, bulanık algoritmalar üzerine yaptığı bir çalışmada denetim algoritmasının mantıksal kurallar yardımıyla kurulabileceği fikrini ortaya atmıştır. O ana kadar, mantığın denetim algoritmalarına uygulanmasıyla ilgili öne sürülen fikirler mevcut olmasına karşın, Zadeh' in öne sürdüğü ile

diğer yaklaşımlar arasındaki temel fark, karmaşık ve tam bir matematiksel modeli kurulamayan sistemlerin davranışlarını yaklaşık ve yeterince efektif olarak tanımlayabilmek, insan gibi düşünmeye ve insan gibi davranmaya dayalı denetim algoritmaları ortaya çıkarmaktır (Zadeh 1973).

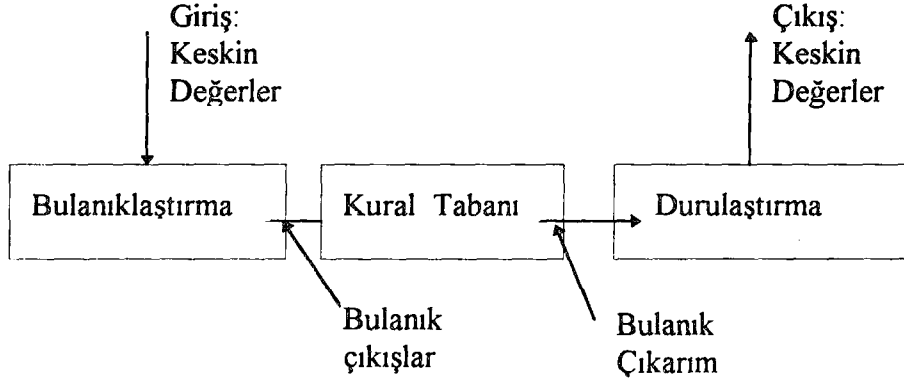
Bulanık denetim ilk olarak, Mamdani ve Assilian tarafından 1975'te, bir model buhar makinasına uygulanmıştır. Aynı zamanlarda ilk kayda değer endüstriyel uygulama, Danimarka' da bir çimento fırınının denetimidir (Schwartz and Klir 1992).

Bulanık denetim sistemleri, bulanık mantık metodlarıyla tanımlanan **kural-tabanlı** sistemlerdir. Buradaki kural-tabanı, insanın tecrübe ve sezgilerine, denetlenen nesnenin (veya sistemin) pratik ve teorik davranışının anlaşılmasına dayalı olarak oluşturulur. Bulanık denetimi özel ve farklı kılan, bir analitik tanıma ihtiyaç duyulmamasıdır. Buradaki kurallar EĞER...O HALDE (IF THEN) şeklindeki önermelerden oluşmaktadır. EĞER A O HALDE B şeklindeki bulanık koşullu bir ifadede A ve B bulanık anlamlar taşırlar. Örneğin:

EĞER (Hava soğuk ise) O HALDE (Suyun ısısını yüksek seviyeye getir).

Burada **Hava** ve **Su** bir dilsel değişken, **soğuk** ve **yüksek** ise bu dilsel değişkenlerin dilsel değerleridir. Tezde, önermelerin “EĞER” ve “O HALDE” arasında kalan kısmı “birincil kısım”, O HALDE’ den sonraki kısım ise “ikincil kısım” olarak isimlendirilecektir.

Şekil 2.10, bir bulanık denetim sistemindeki temel yapıyı açık bir şekilde göstermektedir.

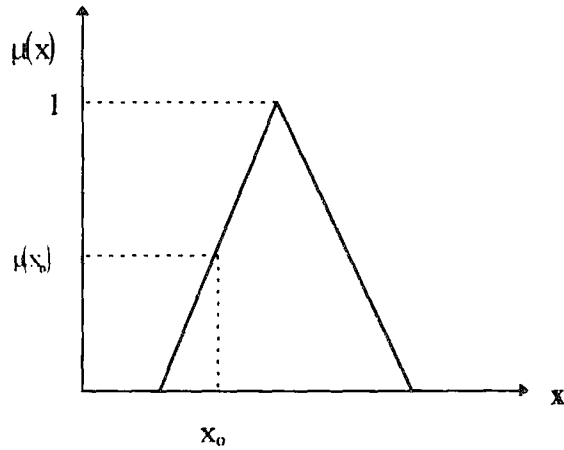


Şekil 2.10. Bir bulanık denetim sisteminin blok diyagramı

Bulanık Denetim genel olarak, gelen keskin (crisp) değerlerin dilsel ya da bulanık üyelik fonksiyonlarına dönüştürüldüğü **Bulanıklaştırma** (Fuzzification) bölümü, buradan elde edilen bulanık değerlerin uygulandığı **Kural-tabanı** (Rule-base) bölümü ve elde edilen bulanık çıktıların tekrar keskin değerlere dönüştürüldüğü **Durulaştırma** (Defuzzification) bölümlerinden oluşmaktadır.

2.5.1. Bulanıklaştırma

Bulanıklaştırma, giriş değişkenleri üzerine tanımlı üyelik fonksiyonlarının gerçek değerlere uygulanarak, herbirine karşı bir bulanık değer elde edilmesidir. Şekil 2.11'de x değişkeninin, x_0 değerine karşı gelen üyelik değeri $\mu(x_0)$ olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.11. x_0 değişkeninin üyelik gösterimi

Kullanılacak üyelik fonksiyonlarının tipi belirlendikten sonra, her dilsel değışkene karşı düşecek dilsel değerleri belirlemek gerekir. Örneğın {Küçük, Orta, Büyük } **tekil** terimlerinden oluşan dilsel değerler, kimi zaman değışkenin alabileceğı değerler açısından yetersiz kalabilir. Bu durumda, { Çok küçük, Çok Büyük } gibi **bileşik** terimler eklemek gerekebilir (Zadeh 1996).

Üyelik fonksiyonlarının oluşturulması, sonuca olan etkileri açısından önemli bir konudur. Aşağıdaki bölümde bununla ilgili kriterler incelenmiştir (Driankov and Hellendoorn 1996).

2.5.2. Üyelik fonksiyonlarının oluşturulması

Bir kapalı-çevrim sistemin kararlılığının nitel olarak belirlenebilmesi için, kuralların birincil ve ikincil kısımlarına ait değışkenlerin dilsel değerleri ve sembolik gösterimleri yeterince bilgi verebilmektedir (Driankov and Hellendoorn 1996). Ancak bu sistemle ilgili sayısal bazı sonuçlar elde edebilmek için, dilsel değerlerin nicelik olarak da belirlenmesi gerekmektedir.

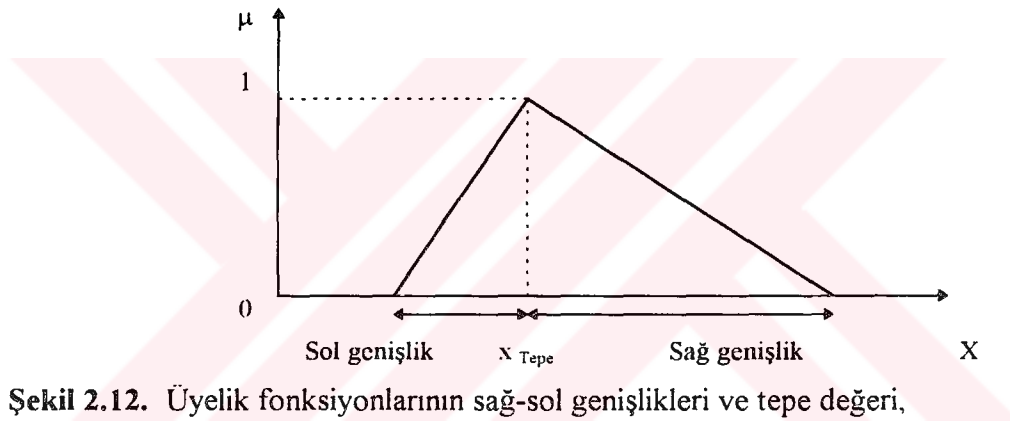
x, y, z dilsel değışkenlerinin alabileceğı dilsel değerleri gösteren kümeler DX, DY, DZ olsun. $DX=DY=DZ=\{NB,NO,NK,Z,PK,PO,PB\}$ olduğu varsayılırsa, herbir değışkenin yedi tane değeri olduğundan, yirmibir tane üyelik fonksiyonunun tanımlanması gerekir. Hesaplamadaki verimlilik, hafızanın verimli kullanımı ve performans gerekliliğı açısından birbirine benzeyen üyelik fonksiyonlarının kullanımı gereklidir. Bu benzerlik, şekillerinin benzerliğı, parametrik ve fonksiyonel benzerlik olarak algılanabilir.

Üyelik fonksiyonlarından, parametrik ve fonksiyonel tanımı açısından en çok kullanılan üçgen şeklinde olanıdır. Üyelik fonksiyonlarının tipi belirlendikten sonra, ilgili değışkene ait alana terimler yerleştirilmelidir.

Bir değişkene ait dilsel değerlerin yerleştirilmesi bulanık denetim sisteminin performansını birçok bakımdan etkileyebilir. Bunlarda detaya inmeden önce üyelik fonksiyonunu karakterize eden bazı parametreleri açıklamak yerinde olacaktır:

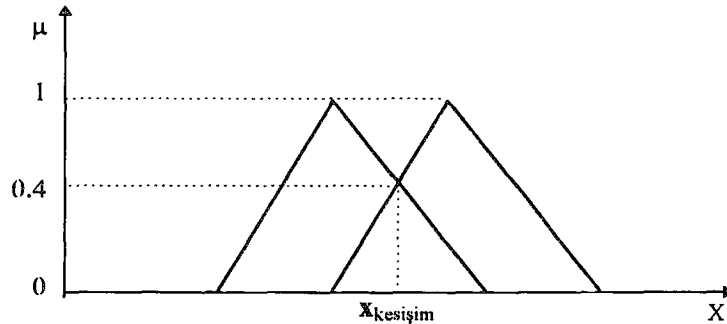
Tepe Değeri: x bir dilsel değişken ve bu değişkenin DX dilsel değerine ait üyelik fonksiyonu μ_{DX} ile verilmek üzere, $\mu_{DX} : X \rightarrow [0,1]$ olsun. μ_{DX} ' in tepe değeri yani $\mu_{DX}(x_{tepe})=1$ dir (Şekil 2.12). Trapezoidal şekilli üyelik fonksiyonlarında tepe değeri belli bir aralıkta oluşur.

Sol ve Sağ Genişlikler: μ_{DX} 'in sağ ve sol genişlikleri Şekil 2.12.' de gösterilmiştir. Sağ ve sol genişliklerin birbirine eşit olduğu durumda üyelik fonksiyonu simetrik, diğer durumda asimetrik olarak isimlendirilir.



Şekil 2.12. Üyelik fonksiyonlarının sağ-sol genişlikleri ve tepe değeri,

Kesişim noktaları: μ_{DX1} ve μ_{DX2} iki üyelik fonksiyonu olmak üzere, Şekil 2.13.'de gösterildiği gibi kesişim durumunda iseler bu kesişim $\mu_{DX1}(x_k) = \mu_{DX2}(x_k) > 0$ olarak belirtilir.

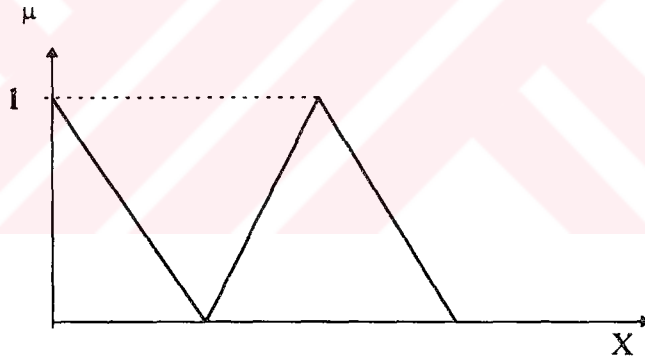


Şekil 2.13. Üyelik fonksiyonlarında kesişim noktası

İki farklı dilsel değeri tanımlayan iki üyelik fonksiyonunun birden fazla kesişim noktası olabilir. İki üyelik fonksiyonu arasındaki kesişim noktalarının oranına, Kesişim-noktası oranı denir.

Yukarıda tanımlanan parametrelerin, üyelik fonksiyonlarını nasıl etkilediği aşağıda açıklanmıştır:

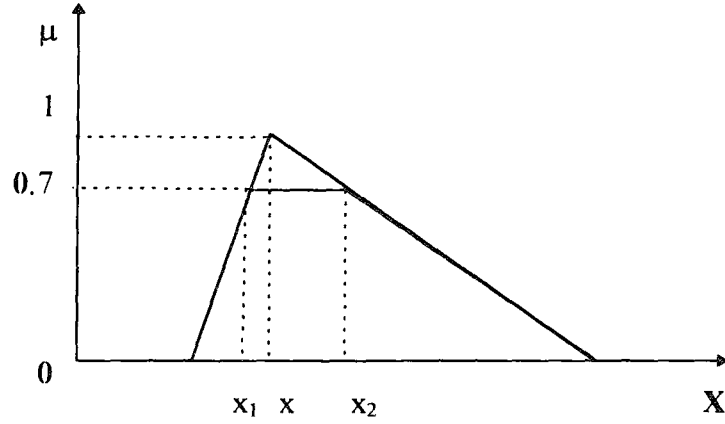
Kesişim noktası seviyesinin etkisi: İlk olarak, DE ile gösterilen terimler kümesinin yerleştirilmesi sırasında, her iki üyelik fonksiyonunun sıfırdan büyük bir kesişim noktası bulunmalıdır. Bu demektir ki, her keskin (crisp) değer, sıfırdan büyük bir üyelik derecesine sahip en azından bir üyelik fonksiyonuna ait olur. Bu koşul sağlanmadığı durumda bazı girişler hiçbir kuralı harekete geçirmeyecek ve çıkış için hiçbir değer ortaya çıkmayacaktır. Daha ötesi, iki üyelik fonksiyonu arasındaki kesişim noktası sıfır ise belli bir an için sadece bir kural harekete geçecektir. Bu durum Şekil 2.14' te gösterilmiştir.



Şekil 2.14 Üyelik fonksiyonları arasındaki kesişim noktası oranı sıfır.

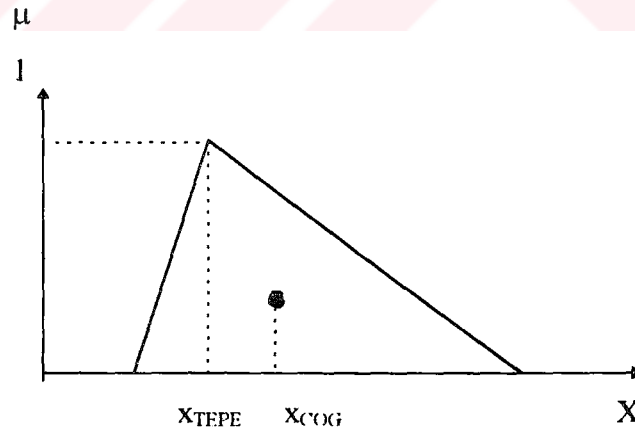
İkinci olarak, üçüncü dereceye kadar lineer sistemler için simetrik üyelik fonksiyonlarında kesişim noktası ve oranı için bazı "optimal" değerler bulunmaktadır. İki -komşu- üyelik fonksiyonunun kesişim noktası seviyesi 0.5 ve kesişim noktası oranı 1 ise bu, sonucun daha yavaş yükselmesini, zamandaki artışın daha hızlı olmasını ve daha yavaş bir inişi sağlar. Kesişim noktası ve oranı ile ilgili bu değerlerin kullanımı bir kurala bağlanmamış olsa da literatürde karşılaşıldığı üzere genelde yapılan bir seçimdir.

Simetrisinin etkisi: Şekil 2.15’ te 0.7 lik bir üyelik değerine karşılık X ekseninde iki değer bulunmaktadır. Buradan elde edilecek x değerinin bir sonraki işlemin girişi olduğu düşünüldüğünde alınacak olan x değeri $x = \frac{x_1 + x_2}{2}$ şeklinde hesaplanmalıdır.



Şekil 2.15. 0.7’ den “kırpılmış” bir üyelik fonksiyonu

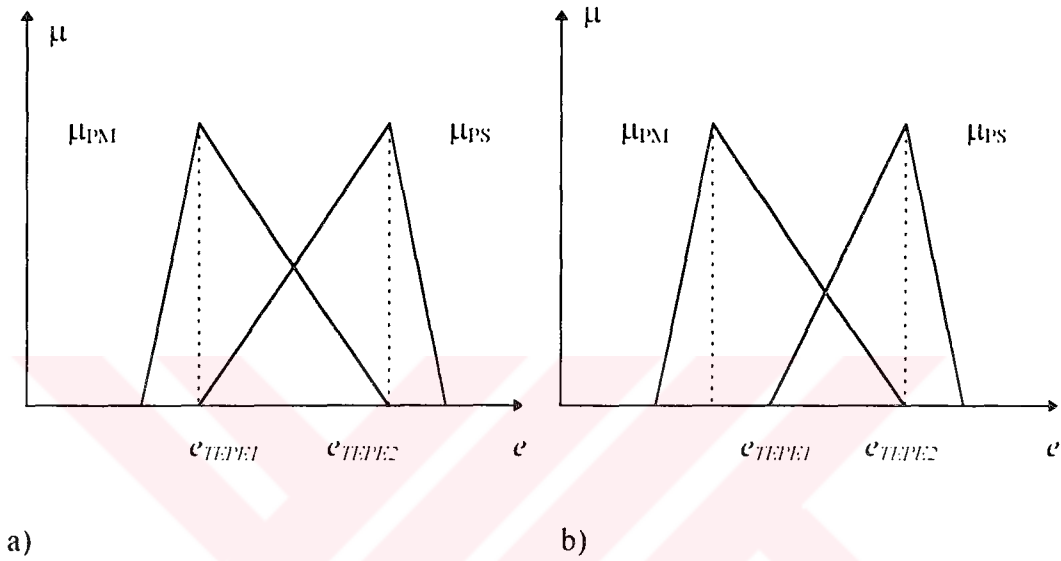
Şekil 2.16’ da, asimetrik bir üyelik fonksiyonunun, Center of Gravity (Ağırlık merkezi) metodu ile hesaplanan x_{COG} değeri ile x_{TEPE} değerinin eşit olmadığı görülmektedir.



Şekil 2.16. Asimetrik bir üyelik fonksiyonu

Simetrisinin sağlanması durumunda $x_{TEPE} = x_{COG}$ olacaktır. 1 üyeliğini veren x değerinin, ağırlık merkezine karşılık düşen x değeri ile aynı olması her zaman tavsiye edilen bir sonuç olduğundan, üyelik fonksiyonlarında simetri, aranan bir özelliktir.

Üyelik fonksiyonlarının genişliğinin yaratacağı etkiyi açıklayan şekiller Şekil 2.17 a, b' de verilmiştir.



a) e değişkeninin PM ve PS üyelik fonksiyonları

b) Aynı üyelik fonksiyonlarının diğer bir gösterimi

“EĞER e PM ise O HALDE // PB dir”

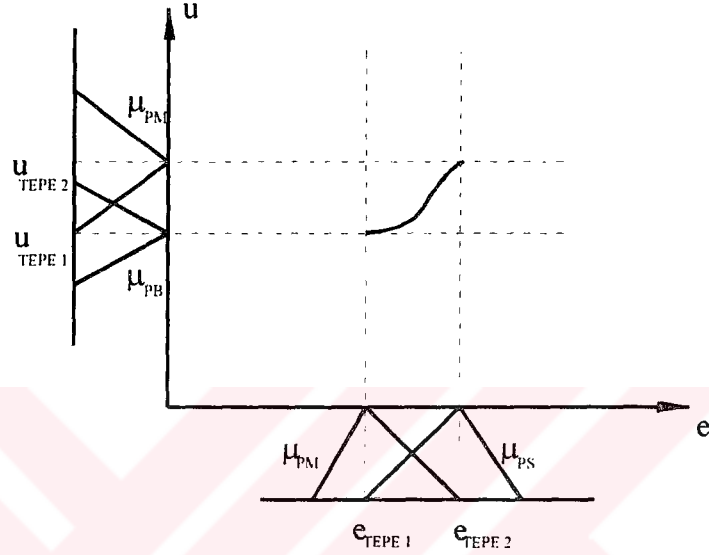
“EĞER e PS ise O HALDE // PM dir”

şeklinde iki kuralın olduğu düşünölsün.

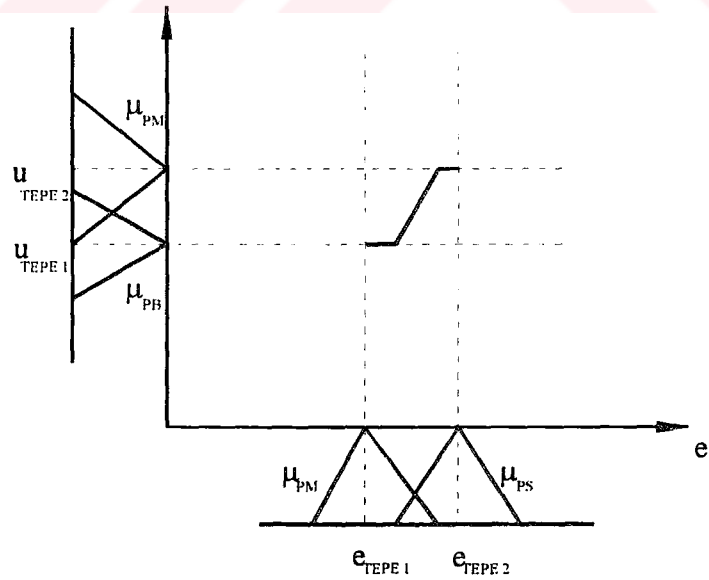
PM ve PS, e değişkenine ait , PB ve PM ise u değişkenine ait değerler olsun. Şekil 2.17 a ve b' de iki farklı μ_{PM} ve μ_{PS} verilmiştir. a' da aşağıdaki koşul sağlanmaktadır:

μ_{PS} 'in sol genişliği, μ_{PM} 'in sağ genişliğine eşit ve ikisi de iki komşu üyelik fonksiyonunun tepe değerleri arasındaki mesafeye eşittir.

Şekil 2.17 b' de bu koşul sağlanmamaktadır. Koşulun sağlanması durumunda e , e_{TEPE1} den e_{TEPE2} ye doğru yumuşak bir şekilde değişecek ve kuralın ikincil tarafının da uygulanmasından sonra elde edilecek u değişkeninin de, u_{TEPE1} den u_{TEPE2} ye olan değişimi yumuşak olacaktır. Şekil 2.18 ve Şekil 2.19' da bu durumlara karşı düşen çıkış değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 2.18. Koşulun sağlanması durumu



Şekil 2.19. Koşulun sağlanmaması durumu

Yukarıda açıklandığı üzere, üyelik fonksiyonlarının şekli, simetrisi, birbirleriyle olan ilişkisi, çıkışa doğrudan etkiyen unsurlardır. Bu nedenle, çok iyi seçilmeleri en az kural tabanı kadar önem taşımaktadır.

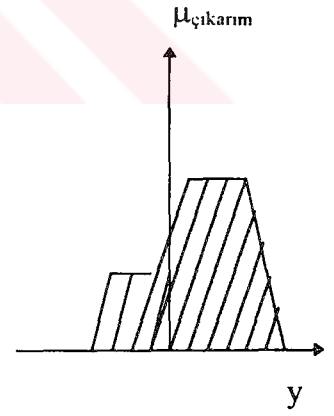
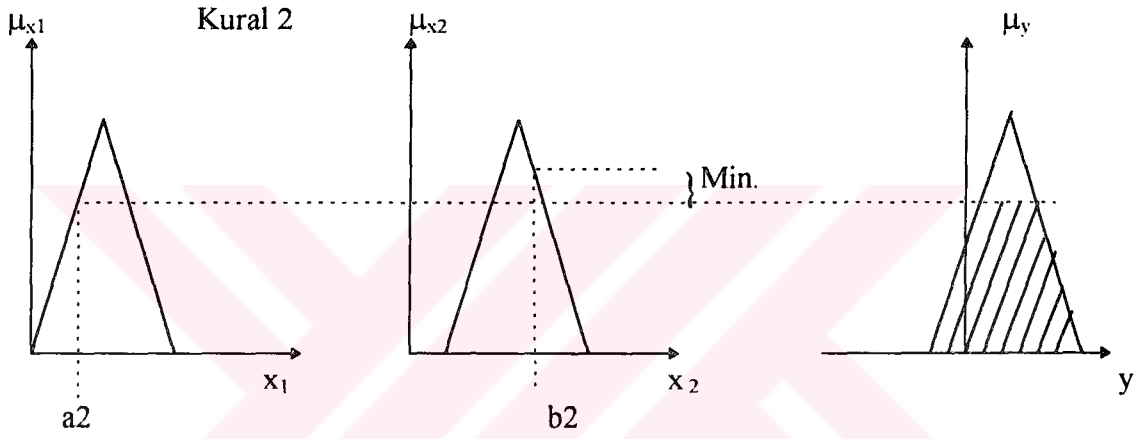
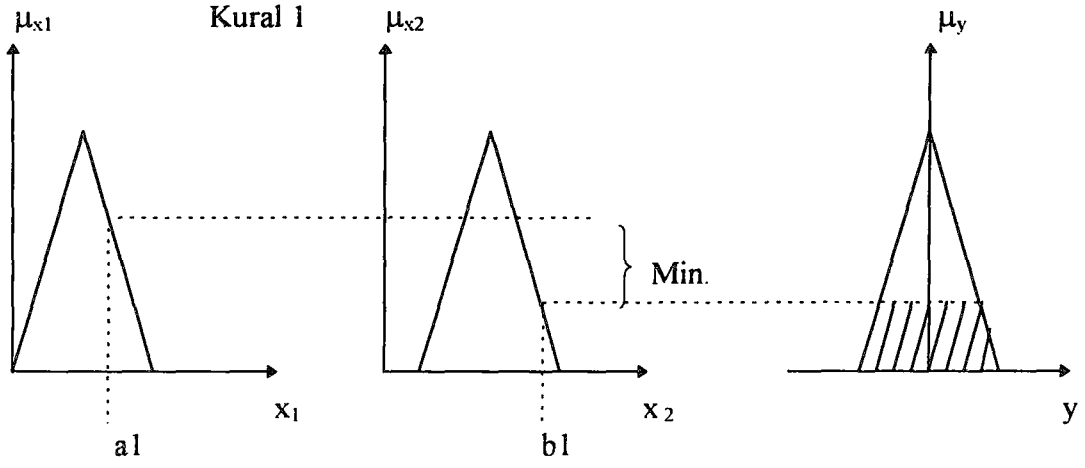
2.5.3. Bulanık kurallar ve çıkarım

Kuralların oluşturulmasında en çok kullanılan yöntem, uzman görüşü ve bilgisine başvurmaktır. Uzman kişinin sistemin denetiminde kullandığı bilgi ve tecrübeler tam olarak kurallara aktarılabildiğinde bu metod en etkin metoddur.

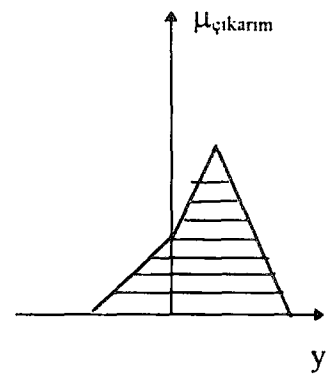
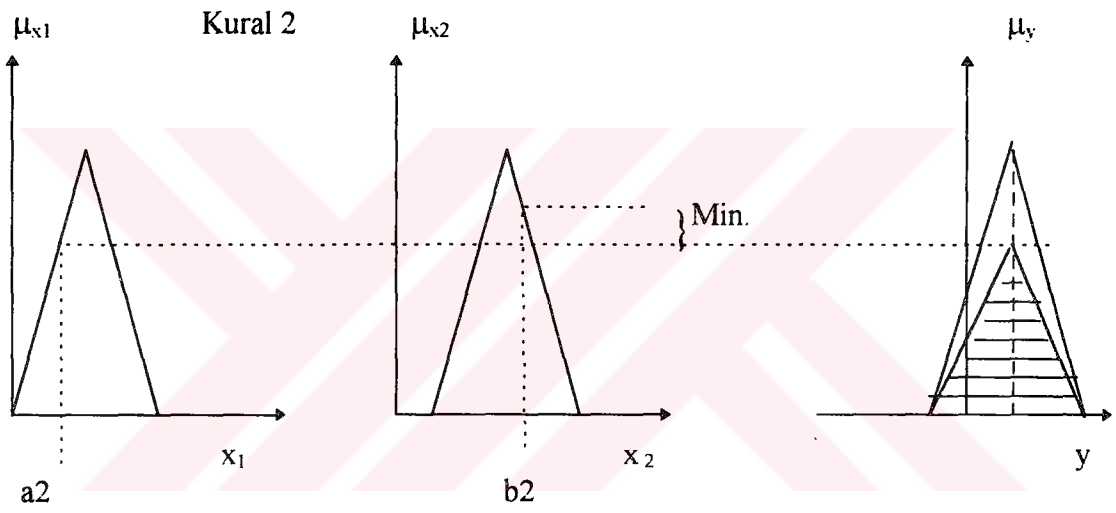
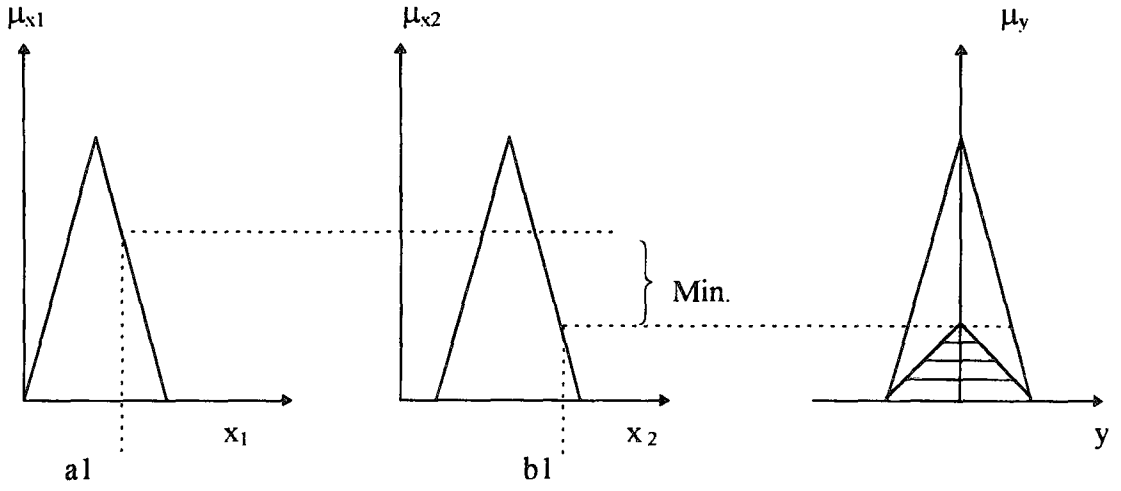
Giriş değerlerinin bulanıklaştırılması ve kuralların uygulanmasından sonra yapılan, çıkarımda bulunmaktır. Klasik mantıkta **çıkartım** (inference), verilen önermelerden bir sonuca varmaktır. Burada da, tüm girişlerin tüm kurallara uygulanmasından sonra varılan sonuç olarak tanımlanabilir. Aşağıda çıkarımla ilgili iki yöntem şekillerle açıklanmıştır. Bunlar:

- Max-min çıkarım yöntemi : Mamdani çıkarımı olarak da anılan bu yöntemde, çıkıştaki bulanık küme girişteki kümelerin VE (MIN) işlemine tabi tutulması sonucunda elde edilir (Yager and Filev 1994). Yöntem, Şekil 2.20.' de gösterilmiştir (Vadiee 1993).

- Max-product çıkarım yöntemi : Bu yöntemle ilgili grafiksel gösterim Şekil 2.21'de verilmiştir (Vadiee 1993).



Şekil 2.20 Max-Min çıkarım yöntemi



Şekil 2.21 Max-Product çıkarım yöntemi

Şimdiye kadar anlatılanların ışığında, olayları açıklamak bakımından bir örnek verilecektir:

Bir seradaki bitkilerin günlük sulama miktarı, bulanık mantık yardımıyla belirlenecektir. Burada hava sıcaklığı ve toprağın nemi ölçülerek su miktarı tespiti yapılacaktır.

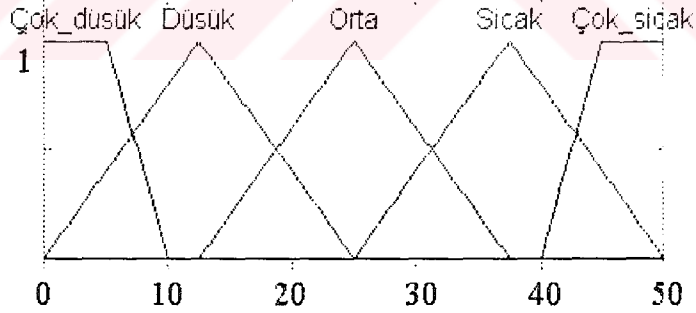
Sistemde giriş değişkenleri **Sıcaklık** ve **Nem**, çıkış değişkeni ise **Su miktarı** dır. Bu değişkenlerin alabileceği dilsel değerler,

$D(\text{Sıcaklık}) = \{\text{Çok düşük, Düşük, Orta, Sıcak, Çok sıcak}\}$

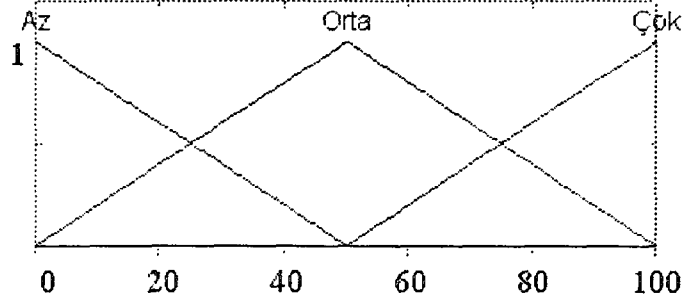
$D(\text{Nem}) = \{\text{Az, Orta, Çok}\}$

$D(\text{Su miktarı}) = \{\text{Çok az, Az, Orta, Fazla, Çok fazla}\}$

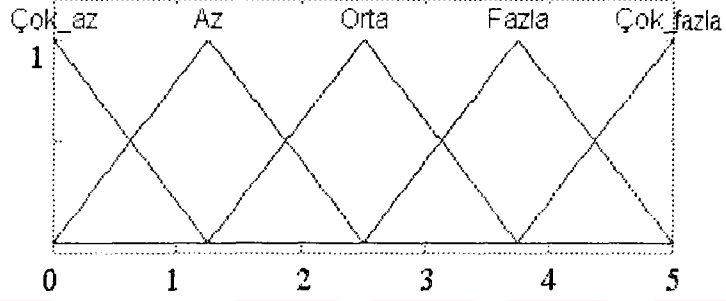
Şekil 2.22 a, b, c' de, **Sıcaklık**, **Nem** ve **Su miktarı** değişkenlerinin üyelik fonksiyonları, Şekil 2.23' te ise iki kural olması durumu için örnek bir çıkarım şekli gösterilmiştir.



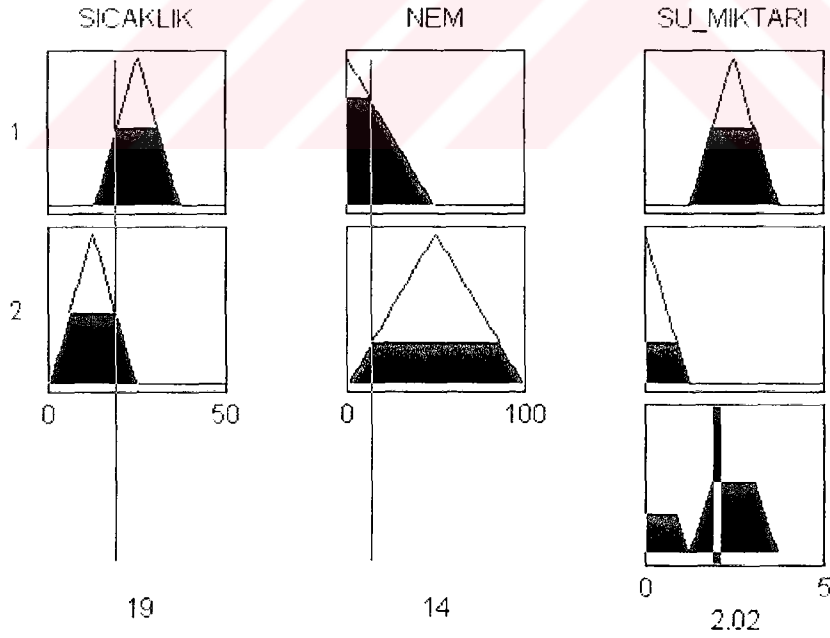
Şekil 2.22. a) **Sıcaklık** giriş değişkenine ilişkin üyelik fonksiyonları



Şekil 2.22. b) Nem giriş değişkenine ilişkin üyelik fonksiyonları



Şekil 2.22 c) Su miktarı çıkış değişkenine ilişkin üyelik fonksiyonları



Şekil 2.23. Üyelik fonksiyonları ve iki kural sonucunda yapılan çıkarım

Çıkarımın gösterildiği şekil, aşağıdaki gibi iki kuralın olması durumu içindir :

Sıcaklık Orta ve Nem Az ise Su miktarı Orta

Sıcaklık Düşük ve Nem Orta ise Su miktarı Çok Az

2.5.4. Durulaştırma

Bulanıklaştırılan giriş değerleri tüm kurallara tabi tutulduktan sonra, her giriş için bulanık bir çıkarım değeri oluşur. Bu bulanık değerlerin tekrar -giriş değerleri gibi- keskin değerler haline dönüştürülmeleri olayına **durulaştırma** denir. Aşağıda, en çok kullanılan durulaştırma yöntemleri şekillerle açıklanmıştır (Driankov, Hellendoorn 1996):

- Ağırlık merkezi (Center-of-gravity/area) yöntemi,
- Toplamın merkezi (Center-of-sums) yöntemi,
- En büyük alanın merkezi (Center-of-largest-area) yöntemi,
- İlk En Büyük (First-of-maxima) yöntemi,
- En büyük orta (Middle-of-maxima) yöntemi,
- Yükseklik (Height) yöntemi.

Aşağıdaki incelemeler sırasında,

DY : Y dilsel değişkeninin alabileceği dilsel değerlerin kümesi,

DX : bu dilsel değerlerden biri,

m : kural sayısı,

U : tüm denetim çıkışları kümesi,

DU : denetim çıkışlarından biri,

$\mu_{i_1}(u_i)$: u_i çıkışına karşı düşen üyelik değeri,

$\mu_{KIDU^{(k)}}(u_i)$: kırılmış üyelik fonksiyonunun u_i değerine karşılık düşen max. değeri,

x^* : girişteki keskin değer,

u^* : durulaştırma sonucu elde edilen keskin değer,

ve m adet kuralın genel ifadesi,

EĞER $x_1 \in DX^{(k)}$ ve ...ve $x_n \in DX_n^{(k)}$ ise, O HALDE $u \in DU^{(k)}$ $k=1, \dots, m$

olarak gösterilecektir.

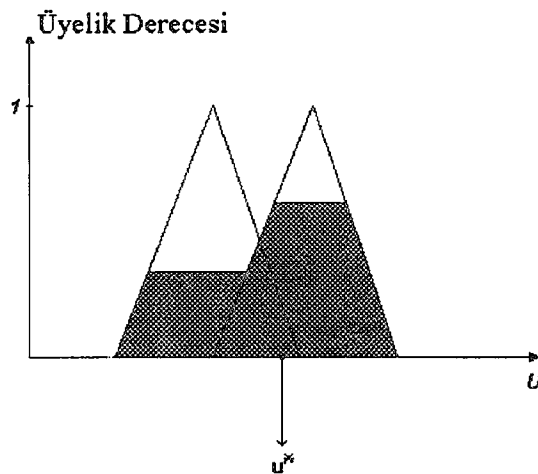
- **Ağırlık merkezi yöntemi:** Bu yöntem literatürde en çok karşılaşılan ve en iyi bilinen bir yöntemdir. Şekil 2.24. bu işlemin grafiksel olarak ne şekilde yapıldığını göstermektedir. Durulaştırılan çıkış u^* ile gösterilmek üzere,

Ayrık zamanda ($U=\{u_1, \dots, u_2\}$)

$$u^* = \frac{\sum u_i \cdot \mu_u(u_i)}{\sum \mu_u(u_i)} = \frac{\sum_{i=1}^l u_i \cdot \max(\mu_{KDU^{(k)}}(u_i))}{\sum_{i=1}^l \max(\mu_{KDU^{(k)}}(u_i))} \quad \text{şeklinde,}$$

Sürekli zamanda ise,

$$u^* = \frac{\int u \cdot \mu_u(u) du}{\int \mu_u(u) du} = \frac{\int u \cdot \max(\mu_{KDU^{(k)}}(u)) du}{\int \max(\mu_{KDU^{(k)}}(u)) du} \quad \text{olarak ifade edilebilir.}$$



Şekil 2.24. Ağırlık Merkezi Durulaştırma yöntemi

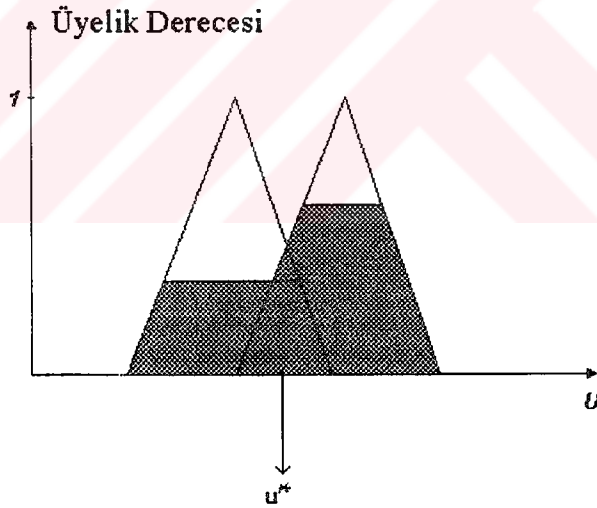
- **Toplamların merkezi yöntemi:** Basit fakat daha hızlı bir yöntemdir. Hızlı olması, en çok kullanılan yöntemlerden biri olmasının başlıca nedenidir.

Ayrık zamanda,

$$u^* = \frac{\sum_{i=1}^l u_i \cdot \sum_{k=1}^n \mu_{KDU^{(k)}}(u_i)}{\sum_{i=1}^l \sum_{k=1}^n \mu_{KDU^{(k)}}(u_i)} \quad \text{şeklinde,}$$

Sürekli zamanda ise,

$$u^* = \frac{\int_u u \cdot \sum_{k=1}^n \mu_{KDU^{(k)}}(u) du}{\int_u \sum_{k=1}^n \mu_{KDU^{(k)}}(u) du} \quad \text{şeklinde ifade edilir.}$$

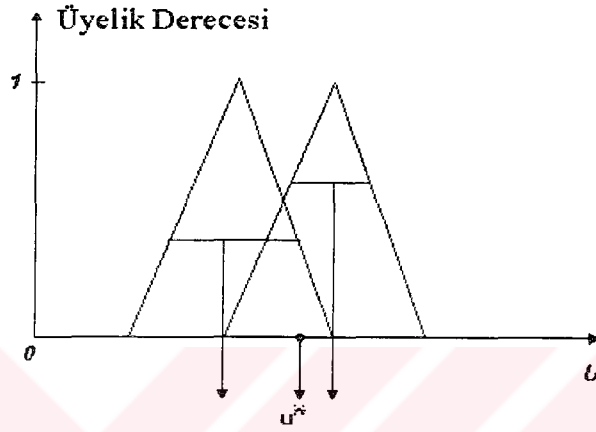


Şekil 2.25. Toplamların merkezi yöntemi

- **Yükseklik yöntemi:** Bu yöntem kırılmış çıkışların birleşimini kullanmak yerine, her denetim çıkışının kırıldığı seviyeyi kullanır.

$c^{(k)}$, DU denetim çıkışına ait tepe değeri ve f_k , $KDU^{(k)}$ kırılmış çıkışının yüksekliği olmak üzere, m kurallı bir sistemin Yükseklik yöntemi ifadesi.

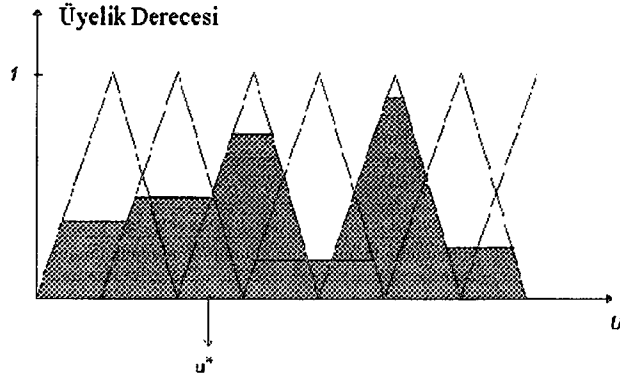
$$u^* = \frac{\sum_{k=1}^m c^{(k)} \cdot f_k}{\sum_{k=1}^m f_k} \quad \text{şeklinde verilir.}$$



Şekil 2.26. Yükseklik yöntemi

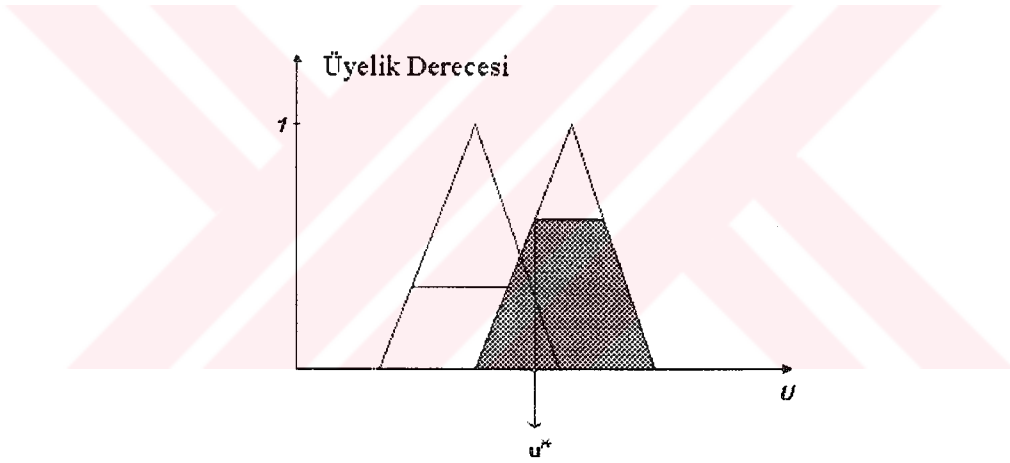
- **En büyük alanın merkezi yöntemi:** Bu yöntem, U' nun konvex olmadığı durumlarda kullanılabilir. Yöntem en büyük alanlı konvex bulanık alt kümeyi hesaplar.

Burada u^* ilgili bulanık alt küme alanının merkezindedir. Bu yöntem diğerlerine göre biraz daha karmaşıktır çünkü, ilk olarak konvex bulanık alt kümelerinin bulunması gerekmektedir. Yöntemle ilgili grafik gösterim Şekil 2.27' de verilmiştir.



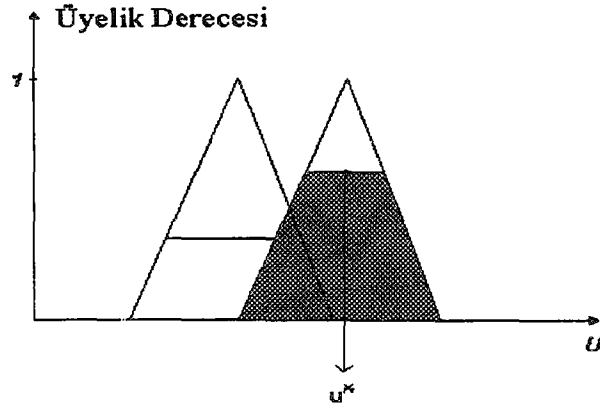
Şekil 2.27. En büyük alanın merkezi yöntemi

- **İlk en büyük yöntem:** Bu yöntem I denetim çıkışı kullanır ve maksimum üyelik derecesine sahip I 'nin en küçük değerini alır. Yöntemle ilgili grafik gösterim Şekil 2.28' de verilmiştir.



Şekil 2.28. İlk en büyük yöntem

- **En büyük orta yöntem:** En büyük - ilk yöntemine benzer şekilde, maksimum üyelik derecesini veren aralığın orta noktası u^* değerini verir. Yöntemle ilgili grafik gösterim Şekil 2.29'da verilmiştir.



Şekil 2.29. En büyük - orta yöntemi

2.6. Bulanık Denetim Uygulamaları

Son yıllarda bulanık mantıkla denetim uygulamalarında son derece önemli bir artış olmuştur. Burada, hepsinden bahsetmek mümkün olmamakla birlikte, çok kısaca değinilecektir.

Daha önce de bahsedildiği gibi, bulanık küme teorisinin denetim problemlerindeki ilk uygulaması Mamdani ve Assilian tarafından ortaya konulmuştur. Bu uygulama, sonraki birçok uygulamanın öncüsü olmuştur. Bulanık mantık uygulamalarına örnek olarak, ılık su işleminin denetimi, trafik denetimi, ark kaynağı denetimi, otomobil hız denetimi, model arabalar, çimento fırını denetimi, robot denetimi, nükleer reaktör denetimi, merdiven denetimi, uyarlamalı denetim, biyolojik işlemlerin denetimi sayılabilir. Bunlar arasında ilk endüstriyel uygulama, çimento fırınının denetimidir.

Yasunobu ve Miyamoto, Japonya'daki bir otomatik tren sisteminin denetiminde bulanık mantık kullanmışlardır. Sabit hız ve otomatik duruş denetiminin esas olarak sağlandığı bu sistem 1987 yılından beri kullanılmaktadır (Berenji 1992).

Sugeno, bir model helikopterin bulanık mantık denetimi ile ilgili birçok proje başlatmıştır. Bunlar arasında insansız helikopter denetimi sayılabilir.

Bulanık denetimle kontrol uygulamalarına evlerde kullanılan pek çok alette de rastlamak mümkündür. Bunlara örnek olarak, Matsushita ve Hitachi'nin çamaşır makinası, Sanyo ve Matsushita'nın Video kamerası, Toshiba, Sharp, Sanyo ve Hitachi'nin mikrodalga fırınları, Canon'un fotoğraf makinası sayılabilir (Berenji 1992).

Uygulamalardan sadece birkaçına değinilmiş olmasına rağmen, bulanık mantığın, birbirinden farklı alanlara uygulandığı göze çarpmaktadır. Hiç şüphesiz ki, yakın gelecekte bulanık mantığın uygulanacağı daha pekçok alan ortaya çıkacaktır.



BÖLÜM 3.

AYRIK ZAMANLI İŞARETLER ve İŞARET İŞLEME

3.1. Giriş

Bu bölümde, ayrik zamanlı işaretler ve bu işaretlerin işlenmesi ile ilgili temel tanımlamalara yer verilmiş, 4. ve 5. Bölümlerde incelenecek konularla ilgili açıklama ve tanımlar yapılmıştır. Bu bölümün amacı, 2. Bölümde tanıtımı yapılan Bulanık Mantıkla, ayrik zamanda işaret işleme kuramının bağdaşımını sağlayacak alt yapının oluşturulmasıdır. Esas olarak, ayrik zamanlı işaretlerin işlenmesi çok kapsamlı bir konu başlığı olduğundan, literatürde mevcut olan temel prensiplerin ve ayrik zamanda işaret işleme tekniklerinin mümkün olduğunca kısa ve öz olarak ele alınması öngörülmüştür (Ziemer et al 1989, Higgins 1990, Stearns and David 1989).

3.2. Ayrik Zamanlı İşaretlerin Tanımı

Ayrik zamanlı işaret, ayrik zamanda tanımlanmış bir zaman serisidir. Bu seri, sürekli zamandaki bir işaretin belirli bir örnekleme periyodu ile örneklenmesi ile elde edilen ya da doğal olarak ayrik zamanda üretilmiş bir işaretin tanımlanması amacıyla kullanılır. Genel olarak $x(t)$ sürekli zaman değişkeninin örneklenmiş hali $[x_k]$ ile gösterilir.

$$[x_k] = [x_0, x_1, x_2, x_3, \dots, x_{N-1}] \quad (3.1)$$

Bu notasyonda k , zaman endeksi olarak tanımlanır ve 0 ile $N-1$ arasında değerler alır. Örneğin, sürekli zamanda sinüsoidal bir değişim gösteren bir $x(t)$ değişkeni, T düzgün örnekleme periyodu ile örneklendiğinde,

$$x(kT) = \sin(\omega kT) \quad k= 0,1,\dots,N-1 \quad (3.2)$$

ayrık zaman serisi elde edilir. Burada,

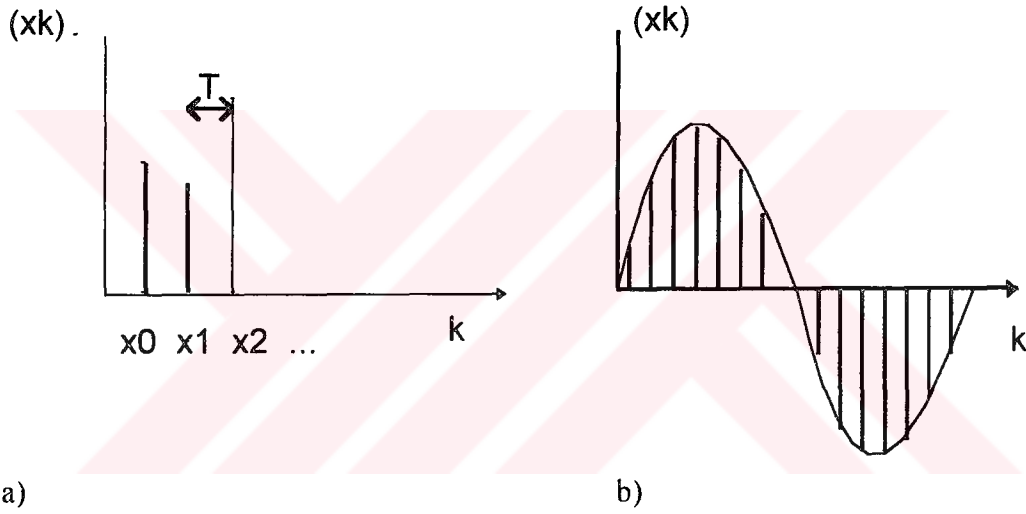
k : zaman endeksi,

ω : sinüzoidin açısal frekansı,

T : örnekleme periyodu,

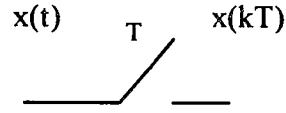
N : serinin eleman sayısıdır.

Şekil 3.1'de, genel bir ayrık zaman işaretinin ve yukarıda verilen sinüsoidal ayrık zaman değişimi gösterilmiştir.



Şekil 3.1. a) Genel ayrık zaman işareti
b) Sinüzoidal işaret

Yukarıda da değinildiği gibi, sürekli zaman işaretleri, belirli ve düzgün bir örnekleme periyodu ile örneklenerek eşdeğer bir ayrık zaman işaretine dönüştürülebilirler. Esas olarak ses, görüntü, vs. gibi fiziksel işaretler normal olarak sürekli zaman formundadırlar. Bu işaretlerin sayısal olarak işlenmesi için, örnekleme yöntemi ile ayrık zamana aktarılması gereklidir. Şekil 3.2'de sürekli zaman işaretlerinin ayrık zamanda işlenmesine ilişkin temel prensip şeması gösterilmiştir. Bu anlamda, örnekleme olayı sürekli zamandan ayrık zamana geçişi sağlamaktadır.



Şekil 3.2. Sürekli zaman işaretinin ayırık zamanda örneklenmesi

Doğal olarak örneklemenin, sürekli zaman işaretinin bilgisel özelliğini en az kayıpla ayırık sisteme aktaracak şekilde gerçekleşmesi gereklidir. Bu özellik, işaret işlemede çok temel bir yer tutan örnekleme kuramı ile açıklanır (Ziemer et al 1989, Higgins 1990, Stearns and David 1989).

Bu kurama göre, herhangi bir sürekli zaman işareti örneklendiğinde, örneklenmiş ayırık zaman işaretinin başka özellikteki bir sürekli zaman değişiminden ayırt edilebilmesi için, örnekleme frekansı ($f_s = 1/T_s$), işaretin içerdiği en büyük frekans bileşeninin iki katından büyük olmalıdır. Aksi durumda, örneklenen işaretin aynısı, tamamen farklı bir sürekli zaman işaretinin örneği ile çakışabilir. Bu amaçla, örnekleme periyodunun sınırlı olduğu uygulamalarda, sürekli zaman-ayırık zaman dönüşümü öncesinde bir ön süzgeçleme uygulanır (Ziemer et al 1989, Higgins 1990, Stearns and David 1989).

Ayrık zamanlı işaretlerin sürekli zaman işaretlerinden oluşturulmasında, bir diğer önemli nokta da seviyelendirme (quantization). Ayrık zamanlı işaretler, uygulamada, sayısal işlemcilerle işlendiklerinden, sürekli zamandan örneklenecek, ayırık zamana dönüştürme sırasında sürekli zaman işaretinin sonlu sayıdaki seviyeye dönüştürülmesi de gereklidir. Seviyelendirmede temel faktör, ayırık işareti işleyecek olan sayısal işlemcinin kelime uzunluğudur (word length).

Örneğin, 8 bitlik işlem yapan bir işlemci $2^8=256$ farklı seviyede veri işleyebilir. Bu nedenle sürekli zaman işaretinin 8 bit çözünürlüğünde seviyelendirilmesi gerekir.

3.3. Ayırık Zamanlı Fourier Donüşümü

Ayrık zaman işaretleri, sürekli zaman işaretlerinde olduğu gibi bazı durumlarda zaman domeninde, bazı durumlarda da frekans domeninde incelenebilirler. Frekans domeni ile zaman domeni arasındaki geçiş, ayırık Fourier dönüşümü ile sağlanır. Ayırık zamanda tanımlı ve N elemandan oluşmuş bir $[x_k]$ serisinin frekans domeni karşılığı, Ayırık Fourier Dönüşümü ile (AFD) aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$[x_k] = [x_0, x_1, x_2, \dots, x_{N-1}]$$

olmak üzere,

$$[X_m] = \text{AFD} [x_k] \quad (3.3)$$

Burada, $[X_m]$, AFD'nin sonucunda elde edilen frekans serisi olup,

$$[X_m] = [X_0, X_1, \dots, X_{N/2}] \quad (3.4)$$

şeklinde dir. AFD'ün bir özelliği olarak dönüşüm sonucu elde edilen $[X_m]$ serisi ilk $N/2$ terimden sonra simetrik tir. Matematiksel olarak, herhangi bir $[x_k]$ serisi ile $[X_m]$ serisi arasındaki bağıntı ya da AFD,

$$X_m = \sum_{k=0}^{N-1} x_k e^{j(2\pi mk/N)} \quad m = 0, 1, \dots, \frac{N}{2} \quad (3.5)$$

bağıntısı ile tanımlanır. Genel olarak $[x_k]$ reel serisi için $[X_m]$, karmaşık sayılardan oluşmuştur (Stearns and David 1989).

Bu nedenle $[X_m]$ serisinin herhangi bir elemanı,

$$X_m = |X_m| e^{j\theta_m} \quad (3.6)$$

şeklinde kutupsal formda gösterilebilir.

AFD, ayrık işaretlerin incelenmesinde çok yoğun olarak kullanılan bir dönüşümdür (Ziemer et al 1989, Higgins 1990, Stearns and David 1989). Eşdeğer olarak, AFD ile aynı sonuçları veren, fakat çok daha az sayıda işlemle elde edilmesi nedeniyle, gerçek zaman uygulamalarında büyük kolaylık sağlayan bir başka dönüşüm de Hızlı Fourier Dönüşümüdür (HFD). Esasen HFD, algoritmik olarak bir zaman serisinin AFD dönüşümünü daha az sayıda işlemle ve daha az bellek gereksinimi ile gerçekleştiren bir yöntem olarak açıklanabilir.

AFD dönüşümü için ters dönüşüm de tanımlıdır. Bu şekilde zaman domeni ile frekans domeni arasında karşılıklı bir geçiş söz konusudur. AFD'nün tersi matematiksel olarak ,

$$[x_k] = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} X_m e^{j(2\pi mk/N)} \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (3.7)$$

ile verilir (Stearns and David 1989).

3.4. Güç Yoğunluğu Tayfı

Herhangi bir işaretin güç yoğunluğu tayfı, P_m ile gösterilir ve fiziksel olarak işaretin taşıdığı toplam gücün ya da enerjinin frekanslara dağılımını belirtir. Tanım olarak ,

$$P_m = \frac{|X_m|^2}{N} \quad m = 0, 1, \dots, \frac{N}{2} \quad (3.8)$$

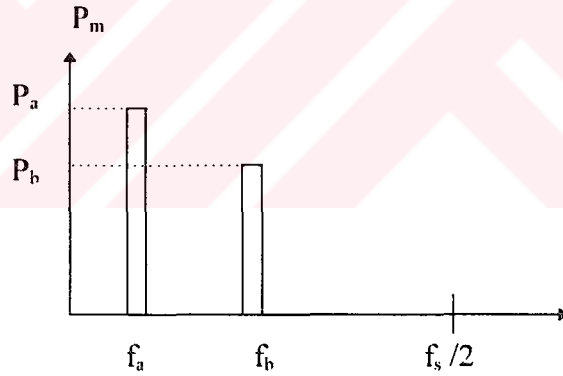
ile verilir.

Bir işaretin sahip olduğu ya da taşıdığı toplam güç ise,

$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{N^2} \sum_{m=0}^{N-1} |X_m|^2 \\ &= \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} P_m \end{aligned} \quad (3.9)$$

ifadesi ile verilir.

Bölüm 4. ve 5.'te de inceleneceği gibi, tayf analizi, işaret işlemede çok önemli uygulamalara temel oluşturur. Özellikle zaman domeni incelemesinde, tespit edilmesi mümkün olmayan çeşitli özellikler, tayf analizi ile kolaylıkla belirlenebilir. Tayf analizine örnek olarak, iki saf sinüsoidal işaretin toplamından oluşmuş ve ayrık zamanda örneklenmiş bir işaretin güç yoğunluğu tayfı, Şekil 3.3.'te gösterilmiştir. Burada P_a , birinci sinüsoidal işarete ilişkin gücü, P_b , de ikinci sinüsoidal işarete ilişkin gücü göstermektedir.



Şekil 3.3. İki sinüsoidal bileşen içeren işaretin güç yoğunluğu tayfı

Güç tayfında dikey eksen P_m ($m=0,1,..N/2$) terimlerini, yatay eksen de frekansı göstermektedir. Frekans eksenini, 0 Hz'den başlayarak örnekleme frekansının yarısına kadar, $N/2$ eşit frekans bölgesine ayırılır. Frekans eksenini bazı durumlarda, Hz yerine rad/s olarak ölçeklenir ve $0.. \pi$ aralığında gösterilir, dikey eksen için genellikle dB kullanılır ($dB=10\log_{10}$) (Stearns and David 1989).

Tayf analizinde en önemli kavramlardan birisi, frekans çözünürlüğüdür. Bu büyüklük, güç yoğunluğu tayfında ayırt edilebilecek en küçük frekans bandını belirler. Frekans çözünürlüğü, AFD'nün simetri dışı içerdiği frekans sayısı (m) ve örnekleme frekansı f_s cinsinden,

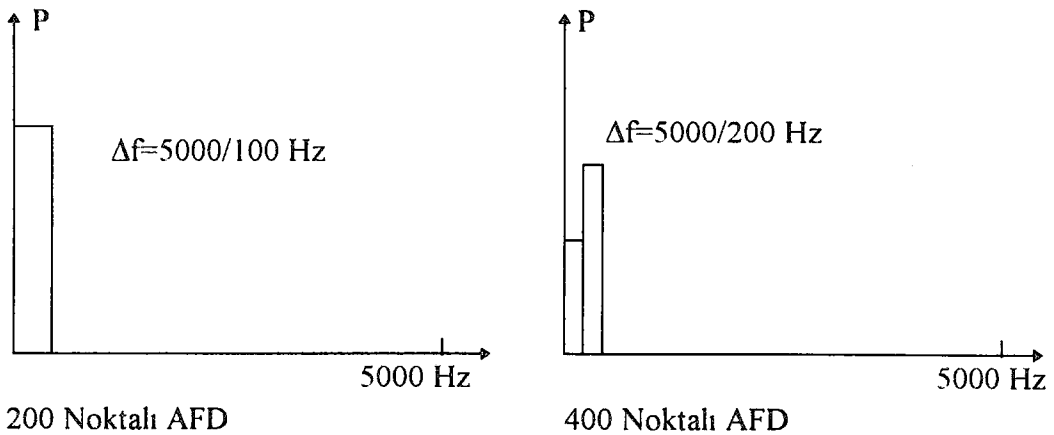
$$\Delta f = f_s / 2m \quad (3.10)$$

ile verilir. Sayısal olarak bir örnek vermek gerekirse, 10 kHz ile örneklenmiş bir ayrık işaretin, simetri dışı 100 bileşenden ($f_s = 10000$, $m=100$) oluşmuş AFD'nde ayırt edilebilecek en küçük frekans,

$$\Delta f = 10000 / (2 \cdot 100) = 50 \text{ Hz'dir.}$$

Bunun fiziksel anlamı şu şekilde açıklanabilir: 20 Hz ve 40 Hz'lik iki sinüs işaretininin toplamından oluşmuş ve 10 kHz'de örneklenmiş bir ayrık zaman işaretinin 200 noktalı bir AFD ile elde edilecek güç tayfında, her bileşen 50 Hz'lik bandları kapsayacağından 1. terim dışında herhangi bir terim görülmeyecektir. Bir başka deyişle bu iki sinüs işareti tek bir işaret olarak gözlenecektir.

Bu iki işaretin ayrıştırılabilmesi için AFD'nin daha yüksek sayıdaki nokta ile gerçekleştirilmesi ve bu şekilde frekans çözünürlüğünün artırılması gereklidir. Şekil 3.4'te bu durum örneklenmiştir.



Şekil 3.4. AFD'nde frekans çözünürlüğünün belirtilmesi

Şekil 3.4'teki ikinci durumda, AFD 400 Nokta için hesaplanmış olduğundan frekans çözünürlüğü iki katına çıkmış ve işaretler birbirinden ayrıştırılmıştır. Bu konu daha detaylı olarak 4. Bölümde tekrar ele alınacaktır.

3.5. z Dönüşümü ve Ayrık Zaman Transfer Fonksiyonu

z dönüşümü, ayrık zaman serilerini z domenine dönüştürmek amacıyla oluşturulmuş bir dönüşümdür. Sürekli sistemlerdeki Laplace dönüşümü ve 's' domeni analizine benzer olarak, ayrık sistemlerde z dönüşümü tanımlanmıştır.

$[x_k]$ ayrık zaman serisi tüm k'lar için tanımlı ise $X(z)$ "z" domeni ifadesi,

$$X(z) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x_k z^{-k} \quad (3.11)$$

ile hesaplanır (Stearns and David 1989).

Pratik uygulamalarda, genellikle sonlu sayıda eleman kullanıldığından, (3.11)'de verilen sonsuz toplamın sınırları $(0 \dots N/2)$ şeklindedir (Stearns and David 1989).

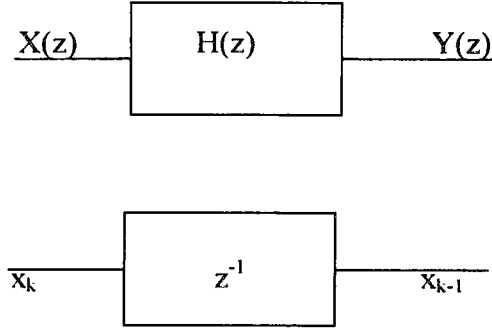
Herhangi bir x_k örneği ile çarpım durumunda, z^{-k} , kT saniyelik ya da k örneklik bir gecikmeye karşılık gelir. Bu işlem özellikle, ayrık zaman işaret işleme sistemlerinin modellenmesinde pratiklik sağlar. z^{-1} , birim geciktirme elemanı ya da bir örneklik geciktirici olarak yorumlanabilir.

Laplace dönüşümüne benzer olarak z dönüşümü ve z değişkeni, fark denklemlerinin çözümünde ve ayrık transfer fonksiyonlarının tanımlanmasında kolaylık sağlamaktadır. Belli başlı ayrık zaman fonksiyonları için z dönüşümü tabloları kullanılabilir.

z dönüşümü ve z değişkeni yardımıyla, ayrık zaman transfer fonksiyonu kavramı da açıklanabilir. Sürekli zaman ve 's' domenine benzer olarak, ayrık zamanda işlem yapan bir sistemin transfer fonksiyonu,

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} \quad (3.12)$$

ile verilir.



Şekil 3.5. Ayrık zaman sisteminin blok diyagramı ve transfer fonksiyonu z^{-1} olan ayrık sistemin blok gösterimi

Şekil 3.5'te, birim geciktirme elemanına ilişkin blok diyagramı ve transfer fonksiyonu gösterilmiştir.

Ayrık zaman transfer fonksiyonlarının gösteriminde,

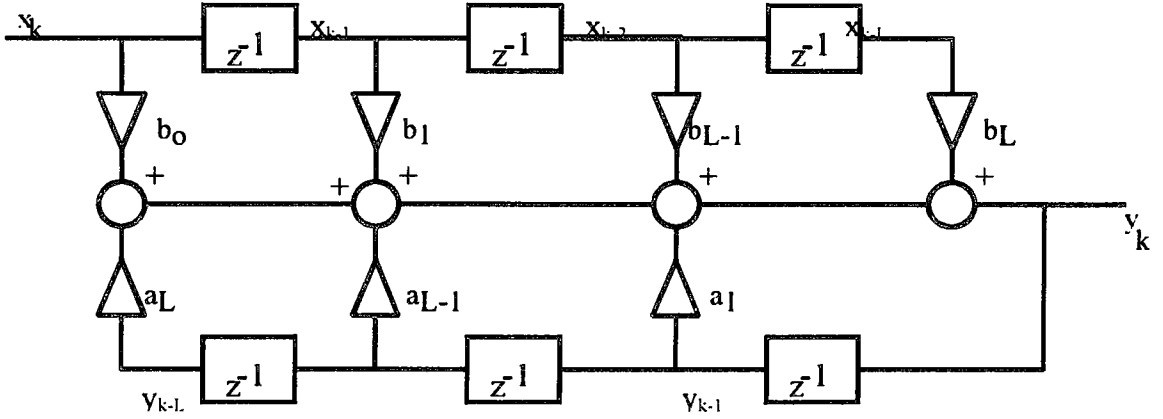
$$H(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_L z^{-L}}{1 + a_1 z^{-1} + \dots + a_L z^{-L}} \quad (3.13)$$

genel şekli kullanılır. Burada $[a_n]$ ve $[b_n]$, L. derece doğrusal ve zamanla değişmeyen ayrık zamanlı sistemin cevabını ya da davranışını belirleyen katsayılarıdır. Bu sistemin ayrık zamanda giriş çıkış bağıntısı ise ,

$$y_k = \sum_{n=0}^L b_n x_{k-n} - \sum_{n=1}^L a_n y_{k-n} \quad (3.14)$$

ile verilir.

Şekil 3.6'da bu sisteme ilişkin blok diyagramı gösterilmiştir (Stearns and David 1989).



Şekil 3.6. Genel ayrık zaman sisteminin blok diyagramı

3.6 Ayrık Zamanda İşaret İşleyiciler ve Süzgeçler

Şekil 3.6'daki sistem genel olarak, bir ayrık zaman işaret işleyicisinin çalışmasının anlatılması amacıyla da incelenebilir. Genel olarak, tüm doğrusal zamanla değişmeyen sistemler, sayısal süzgeç (digital filter) adı ile adlandırılırlar (Stearns and David 1989).

Bu tezde genellikle süzgeç tanımı, frekans cevabı ile ilişkili olarak kullanılacaktır. Bu anlamda, ayrık zamanda süzgeçler, geçirme ya da durdurma bandlarına göre aşağıdaki şekilde sıralanabilirler:

- BGS Band geçiren süzgeç
- AGS Alçak geçiren süzgeç
- YGS Yüksek geçiren süzgeç
- BDS Band durduran süzgeç

Bu süzgeçlerin ayrık zaman sistemleri ile gerçekleştirilmesi, iki temel şekilde olabilir. Bunlar,

IIR (Infinite Impulse Response) Sonsuz İtke Cevaplı,

FIR (Finite Impulse Response) Sonlu İtke Cevaplı süzgeç sistemleridir.

İtke (Impuls) cevabı, ayrık zaman sistemleri için çok kullanılan bir özelliktir. Birim itki fonksiyonu $[u_k]$. ayrık zamanda ,

$$[u_k] = \begin{cases} 1 & k = 0 \\ 0 & k = 1, \dots, \infty \end{cases} \quad (3.15)$$

ile tanımlanır.

FIR süzgeçlerin genel gösterimi, (3.13) ve (3.14) ifadesi ile verilen genel terimlerden çıkartılabilir. Bir ayrık zaman sisteminin FIR olması için, $[a_n] = 0$ olması gereklidir. Bir başka deyişle FIR süzgecin çıkışı $[y_k]$, sadece giriş serisi $[x_k]$ 'ya ve katsayılarına $[b_n]$ bağlıdır. Bu nedenle birim itki cevabı sonludur. Bir FIR süzgecin transfer fonksiyonu ve giriş çıkış ilişkisi aşağıdaki şekilde gösterilir.

$$H(z) = b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_L z^{-L} \quad (3.16)$$

$$y_k = \sum_{n=0}^L b_n x_{k-n} \quad (3.17)$$

FIR süzgeçlerden farklı olarak, IIR süzgeçlerin çıkışı $[y_k]$; giriş serisi $[x_k]$ 'ya, $[a_n]$, $[b_n]$ katsayılarına ve en önemlisi, çıkışın önceki değerlerine $[y_{k-n}]$ 'e bağlıdır. Bu nedenle IIR süzgecin itki cevabı, sonsuza kadar devam eder. L. dereceden IIR süzgecinin transfer fonksiyonu ve giriş çıkış ilişkisi (3.13) ve (3.14) ile verilen bağıntıların aynısıdır.

IIR ve FIR süzgeçlerinin tasarımları ve analizleri, bu tez çalışmasının kapsamını aşan karmaşıklıktadır (Oppenheim et al 1983, Ziemer et al 1989, Higgins 1990, Stearns and David 1989). Ancak gelişen bilgisayar olanakları ve destek yazılımları sayesinde,

işaret işlemede uzman olmayanların bile kararlı ve istenilen özellikleri sağlayan sayısal süzgeç tasarımları mümkün olmuştur. Ek A'da, bilgisayar destekli IIR süzgeç tasarımları ile ilgili örnekler verilmiştir.



BÖLÜM 4.

GÜRÜLTÜLÜ İŞARETLER ve GÜRÜLTÜ AZALTMA YÖNTEMLERİ

4.1. Giriş

İşaret işlemenin en önemli problemlerinden biri, gürültülü işaretlerdeki gürültünün azaltılması, bir başka deyişle işaret/gürültü oranının iyileştirilmesidir (Ziemer et al 1989, Higgins 1990). Bu bölümde, literatürde sunulan gürültü azaltma yöntemlerinin genel bir değerlendirmesi verilmiş ve yöntemlerin örneklerle açıklanması üzerinde durulmuştur. Ayrıca, tayf analizinin zamana bağlı incelenmesi ve işaretlerin zaman-frekans analizi kavramı açıklanmıştır. Bu çerçevede, AFD yerine kullanılacak bir model geliştirilmiş ve AFD ile elde edilen frekans zaman değişimi ile karşılaştırılması yapılmıştır. Bu bölümün amacı, işaret/gürültü oranının iyileştirilmesine yönelik alternatif yaklaşımlar geliştirmek için bir temel oluşturmaktır.

4.2. Gürültünün Tanımı ve Çeşitleri

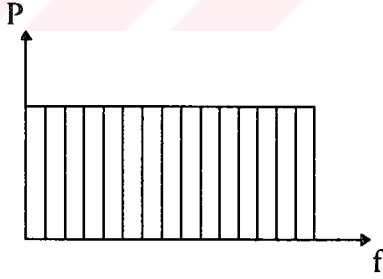
İşaret işlemenin en önemli uygulamaları, ses ve görüntü işleme, sismik ve jeolojik araştırmalar, biyomedikal uygulamalar, veri iletişimi olarak sıralanabilir (Stearns and Widrow 1985, Haykin 1986, Stearns and David 1989, Ziemer et al 1989, Higgins 1990). Tüm bu uygulamalarda incelenen işaretler, bazı nedenlerle istenmeyen bileşenler içerirler. Genel olarak asıl işaretin (bilgiyi taşıyan) dışındaki tüm bileşenler **gürültü** olarak adlandırılırlar. Örnek olarak, haberleşmede iletilen ses ve görüntü işaretleri atmosferik etkiler, elektromagnetik girişimler ve benzeri sebeplerle gürültü ile karışırlar. Sonuçta, alıcıya ulaşan işaret, vericinin gönderdiği işarete göre önemli ölçüde bozulmaya uğrar. Gürültünün bu tip bir uygulamadaki etkisi, iletilen ses ve görüntü kalitesinde düşüş, hatta kayıplar şeklindedir. Benzer şekilde, biyomedikal araştırmalarda, tanı işaretlerinin gürültü içermesi, işaretlerin yorumlanmasında

zorluklara ve hatalara yolaçabilmektedir (Stearns and Widrow 1985, Ziemer et al 1989, Stearns and David 1989, Higgins 1990, Vashegi 1995).

Gürültülü işaretlerin tanımlanması ve sınıflandırılması, 3. Bölümde verilen güç tayfına ilişkin özelliklerden hareketle yapılabilir. Bu anlamda, üç farklı gürültüden söz edilebilir (Higgins 1990). Bunlar,

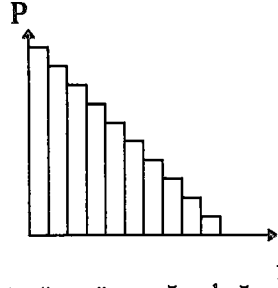
- Beyaz Gürültü (white noise),
- Pembe Gürültü (pink noise),
- Renkli Gürültü (colored noise - band limited white noise) olarak tanımlanır.

Beyaz gürültü, beyaz rengin tüm temel renkleri eşit oranda içermesinden öykünülerek, adlandırılmıştır. Bu tip gürültü, güç yoğunluğu tayfının tüm bileşenlerine, yani tüm frekanslara eşit olarak dağılmıştır. Beyaz gürültü, literatürden de bilindiği gibi gürültü azaltma ya da giderme yöntemlerinde en çok kullanılan gürültü tipidir (Ziemer et al 1989, Higgins 1990, Stearns and David 1989, Stearns and Widrow 1985, Roberts 1986). Beyaz gürültüye en iyi örnek, FM radyo ve TV alıcılarında, işaret olmadığı durumda oluşan ses ve görüntüdür. Şekil 4.1'de beyaz gürültünün tipik güç yoğunluğu tayfi görülmektedir.



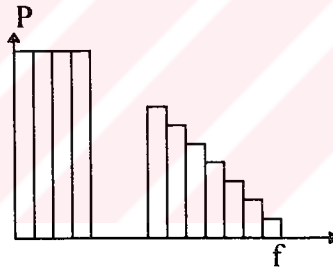
Şekil 4.1. Beyaz gürültünün güç yoğunluğu tayfi

Pembe gürültüde, beyaz gürültüden farklı olarak, güç yoğunluğu tayfi bileşenleri, frekansla ters orantılı olarak azalan bir şekildedir (Higgins 1990). Düşük frekanslardaki gücü yüksek, yüksek frekanslardaki gücü düşüktür (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Pembe gürültünün güç yoğunluğu tayfi

Renkli gürültü terimi, belirli bir ya da birkaç frekans bölgesinde yoğunlaşmış gürültülerin tanımlanması için kullanılır (Stearns and Widrow 1985). Uygulama alanına bağlı olarak, farklı unsurlardan kaynaklanabilir. Örneğin, rüzgarlı bir havada mikrofonla kayıt edilen bir ses işaretinde, asıl işaretin yanı sıra, rüzgarın oluşturduğu ve güç yoğunluğu tayfinin düşük frekans bölgesinde yoğunlaşmış bir gürültü eklenecektir. Benzer şekilde, bir uçağın ya da askeri bir aracın içerisinden yapılan bir telsiz haberleşmesinde, uçak ya da araç motorunun oluşturacağı akustik gürültü de renkli gürültüye örnek olarak gösterilebilir.



Şekil 4.3. Renkli gürültünün güç yoğunluğu tayfi

Herhangi bir işaretin ne kadar gürültü içerdiği, ya da ne kadar temiz olduğunun belirtilmesi için **işaret gürültü oranı** (İGO) tanımlanmıştır. Bu tanım, logaritmik olarak bilgi içeren işaretin toplam gücününün, gürültünün toplam gücüne oranıdır (Pastacı 1996) .

$$\text{İGO} = 10 \log_{10} \frac{P_i}{P_g} \quad (4.1)$$

Burada,

P_i : İşaretin toplam gücü,

P_g : Gürültünün toplam gücüdür.

Yukarıda sözü edilenler dışında, literatürde, zamana bağlı değişimi nedeniyle itkisel gürültü (impulsive noise) olarak adlandırılan bir başka gürültü tipi de verilmiştir (Vashegi 1995). İtkisel gürültünün özelliği, çok kısa sürede oluşup sönmesidir. Bu özelliğinden ötürü, tayf analizinin yeterince küçük zaman dilimleri için elde edilmesi gereklidir.

4.3. Gürültünün Azaltılması

Ayrıntı 4.1 ve 4.2’de değinildiği gibi, işaretlerdeki gürültünün azaltılması, işaret işleme uygulamalarında büyük önem taşımaktadır. Bir çok durumda, gürültünün tamamen giderilerek bilgi içeren işaretin tümüyle geri kazanılması mümkün olmamaktadır. Bu anlamda amaç, (4.1) ile verilen İGO’nun iyileştirilmesidir. İdeal durumda, gürültüsüz işaretle gürültü gücü 0’a yaklaşacağından, İGO sonsuza doğru gidecektir. Bu nedenle İGO, belirli bir gürültü azaltma yöntemin değerlendirilmesi için somut bir ölçüt oluşturmaktadır. Literatürde İGO oranının yükseltilmesi için çeşitli yöntemler sunulmuştur. Bu yöntemler aşağıdaki gibi gruplandırılabilir:

- Sabit katsayılı ve frekans cevaplı AGS, YGS ya da BGS ile gerçekleştirilen yöntemler,
- Uyarlamalı süzgeçleme yöntemleri,
- Tayf çıkarımı ve ters HFD temelli yöntemler.

4.3.1. Sabit katsayılı süzgeçlerle gürültünün azaltılması

Bu alt bölümde, gürültülü bir işaretin, sabit katsayılı süzgeçler ile gürültüsünün azaltılması üzerinde durulacaktır. Bu yöntemde temel yaklaşım, zamana göre durağan bir tayf dağılımı için, işaretin ve gürültünün ayırt edilmesi ve işaretin uygun

bir süzgeç ile gürültüden ayrıştırılmasıdır. Yöntemin uygulanması için, öncelikle tek bir frekans bileşeninden oluşmuş bir sinüsoidin, beyaz gürültü ile karışımından oluşmuş bir gürültülü işaret incelenecektir. İşaret ve gürültüye ait temel büyüklükler aşağıda tanımlanmıştır. İşarete ilişkin güç yoğunluğu tayfi Şekil 4.4'te verilmiştir.

Örnekleme frekansı, $f_s=10$ kHz,

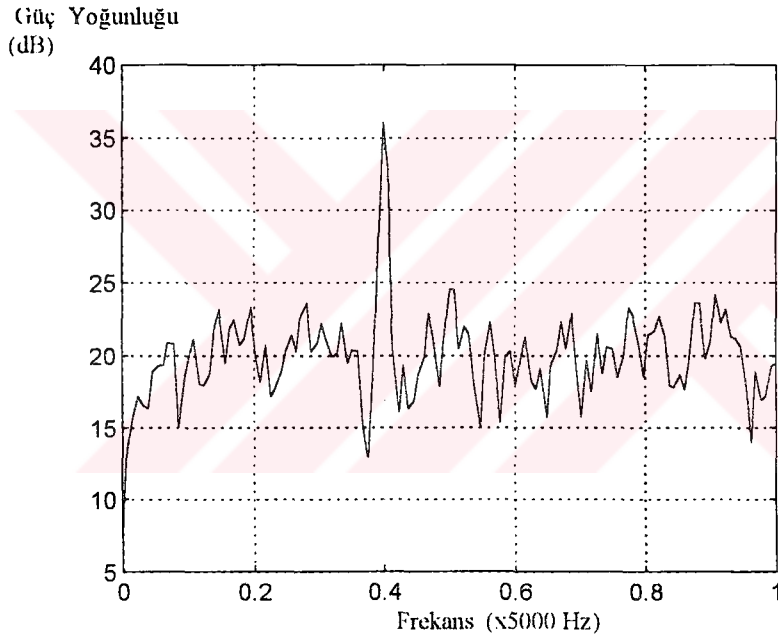
Örnekleme periyodu, $T_s=10^{-4}$ s,

İşaret, $[x_k] = 10 \sin(2\pi f k 10^{-4})$, $k=0,1,\dots,999$

$f = 2000$ Hz,

Gürültü, $[n_k] = 20$ dB (Beyaz gürültü),

AFD nokta sayısı 1000.



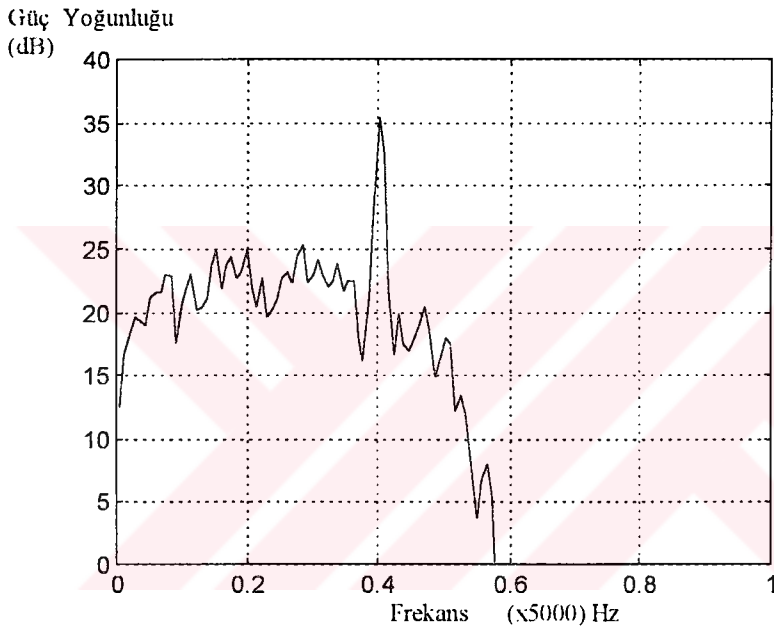
Şekil 4.4. Gürültü içeren sinüsoidal bir işaretin güç yoğunluğu tayfi

Güç yoğunluğu tayfi incelendiğinde, bilgi içeren sinüsoidal işaretin, beyaz gürültüden belirgin olarak ayırt edilebildiği görülmektedir. Bu tip bir durumda, işaretin bulunduğu frekans bölgesine göre, alt geçiren, üst geçiren ya da band geçiren bir süzgeç ile gürültü azaltılabilir.

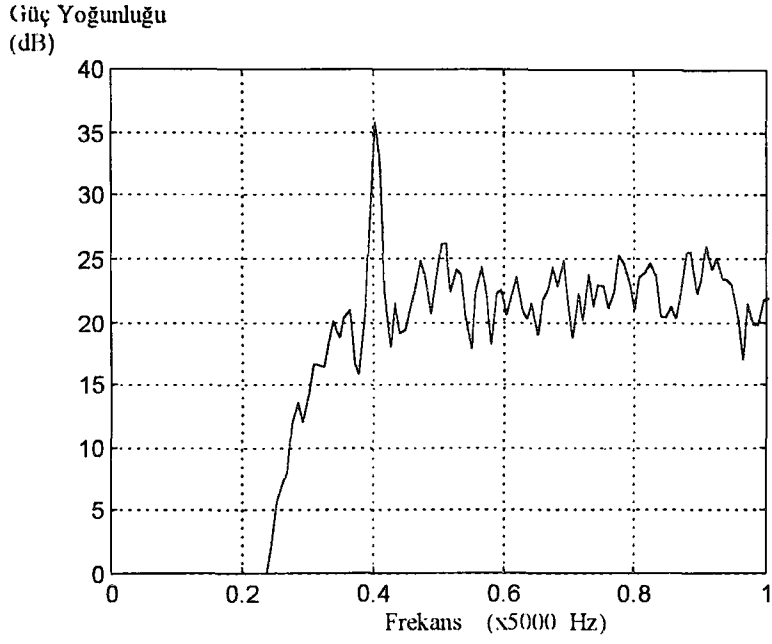
Eğer işaret alt frekans bölgesinde ise, uygulanacak süzgeç alt geçiren, üst frekans bölgesinde ise üst geçiren, orta bölgede ise band geçiren tipte olacaktır.

Şekil 4.5.'te, örnek işaretin süzgeçlenmiş durumdaki güç yoğunluğu tayfları görülmektedir. Süzgeçlerin tümü bilgisayar destekli olarak tasarlanmıştır.

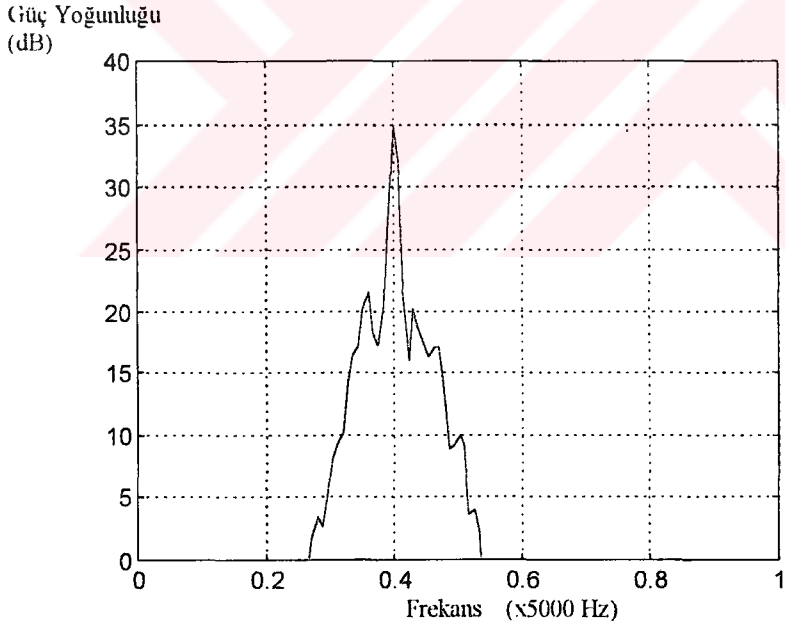
Tasarım verileri, süzgeçlerin alt kesim, üst kesim ya da band geçirme frekansları, ve derecesidir. Tüm örneklerde 6. Dereceden ($L=6$), IIR Butterworth süzgeçler kullanılmıştır.



Şekil 4.5. a) Alt geçiren süzgeçleme ile elde edilen işaretin güç yoğunluğu tayfi (alt kesim 2250 Hz)



Şekil 4.5. b) Üst geçiren süzgeçleme ile elde edilen işaretin güç yoğunluğu tayfi (üst kesim 1750 Hz)



Şekil 4.5. c) Band geçiren süzgeçleme ile elde edilen işaretin güç yoğunluğu tayfi (alt ve üst kesim 1750-2250 Hz)

İkinci örnek olarak, birbirinden farklı frekansta iki sinüsoidal işarete beyaz gürültü eklenmesinden oluşmuş 1000 örneklilik bir işaret incelenecektir. Yukarıdaki analizden tek fark, işaretin iki ayrı frekans bileşeni içermesidir.

$$f_s = 10000 \text{ Hz,}$$

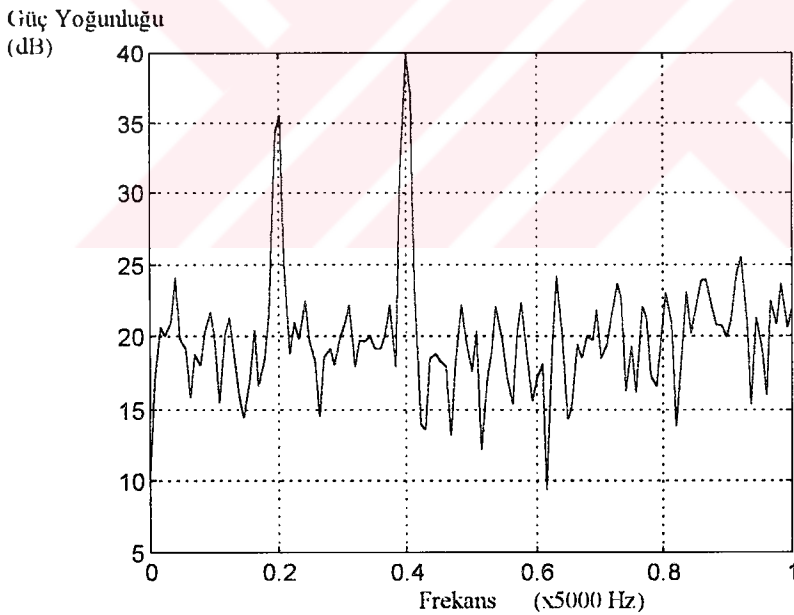
$$\text{İşaret, } [x_k] = 10\sin(2\pi f_1 k 10^{-4}) + 15\sin(2\pi f_2 k 10^{-4}), \quad k=0,1,\dots,999$$

$$f_1 = 1000 \text{ Hz,}$$

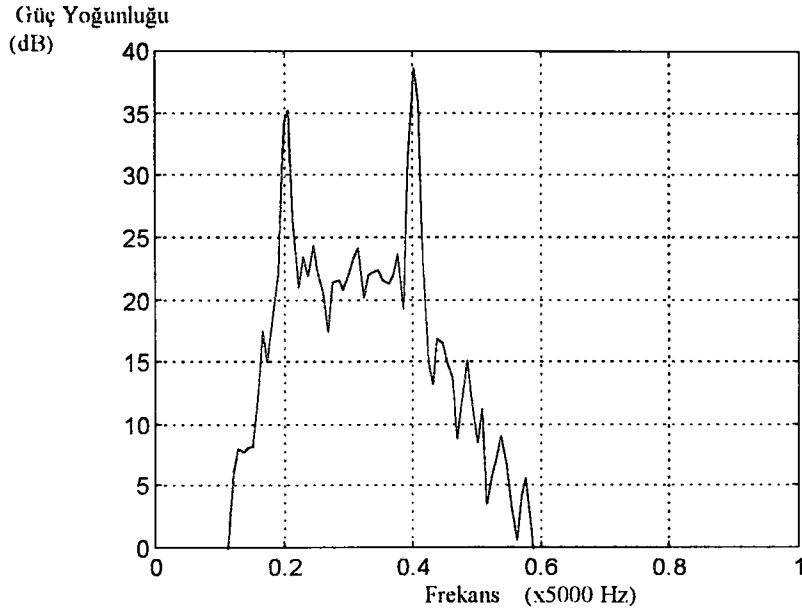
$$f_2 = 2000 \text{ Hz,}$$

$$\text{Gürültü, } [n_k] = 20 \text{ dB (Beyaz gürültü).}$$

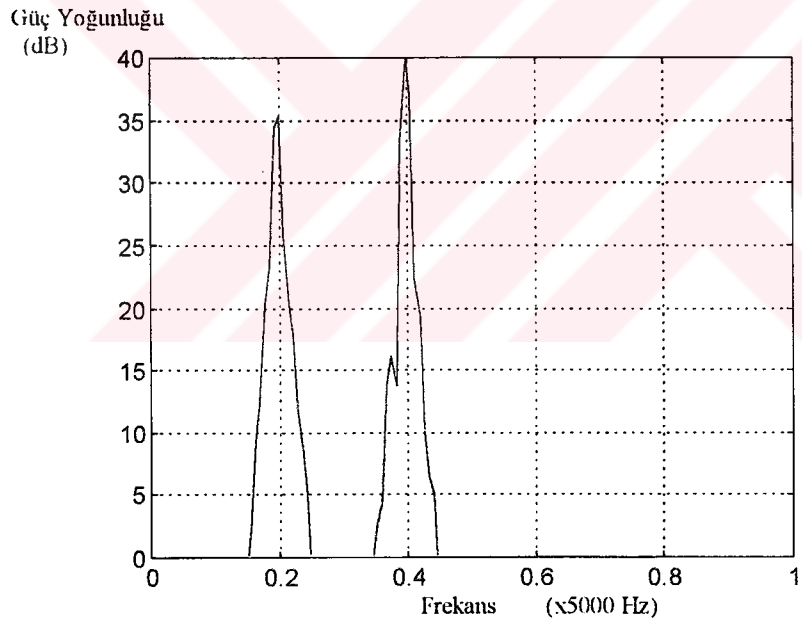
Şekil 4.6'da, incelenen gürültülü işaretin güç yoğunluğu tayfi görülmektedir. Bu işaretin temizlenmesi için, iki farklı yaklaşım uygulanabilir. Birinci yaklaşımda, her iki frekans bileşenini kapsayacak şekilde bir tek band geçiren süzgeç kullanılabilir. Bu durumda, geçirme bandındaki gürültü bileşenleri geçeceğinden, süzgeç sonrasındaki İGO iyileştirilmesi belirli bir oranda sağlanabilecektir.



Şekil 4.6. İki sinüsoidal bileşen ve gürültüden oluşmuş işaret



Şekil 4.7. a) İki sinüsoidal bileşen ve gürültüden oluşmuş işaretin band geçiren süzgeç ile temizlenmesi (tek süzgeç)



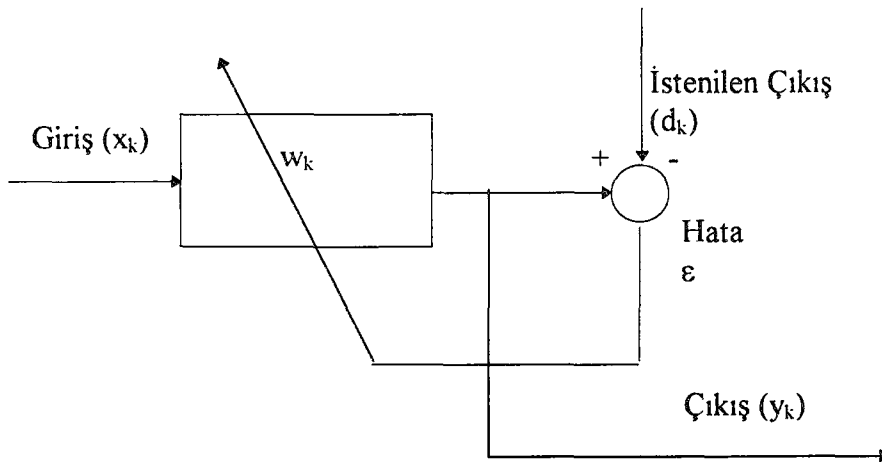
Şekil 4.7. b) İki sinüsoidal bileşen ve gürültüden oluşmuş işaretin band geçiren süzgeç ile temizlenmesi (iki süzgeç; 900-1100 Hz, 1900-2100 Hz)

Şekil 4.7 b'de, bu tip bir süzgeçleme uygulandığında güç tayfı görülmektedir. Bu yaklaşımdan farklı olarak, her iki işaret bileşeni için iki ayrı band geçiren süzgeç uygulanabilir. Bu durumda, herbir süzgecin geçirme bandı çok dar seçilebileceğinden

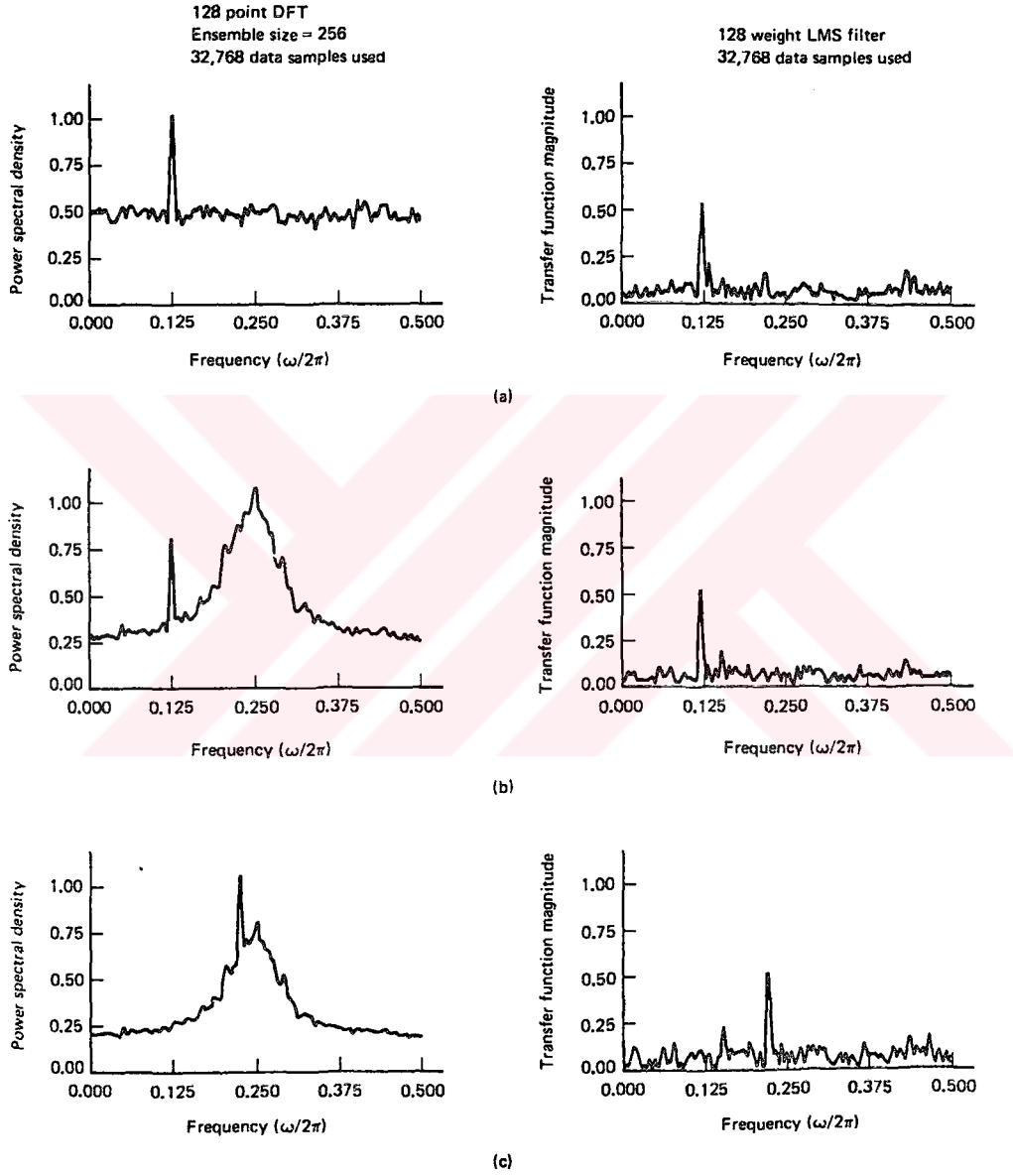
İGO, yukarıdaki yaklaşıma göre çok daha yüksek olarak gerçekleşecektir. Yukarıdaki analizlerden görüldüğü gibi, asıl işaretin gürültüden belirgin olarak ayrılması durumunda, sabit katsayılı süzgeçlerle İGO oldukça yükseltilebilmektedir. Ancak, burada dikkat edilmesi gereken en önemli husus, yukarıdaki incelemenin, asıl işaretin tayf dağılımının durağan olması hali için geçerli olduğudur.

4.3.2. Uyarlamalı süzgeçleme ile gürültünün azaltılması

Uyarlamalı (adaptif) işaret işleme, özellikle 1970'lerden başlayarak yoğun uygulama alanı bulmuştur (Stearns and Widrow 1985, Haykin 1986). Temel olarak uyarlamalı süzgeç, işaretin istatistiksel özelliklerinden faydalanarak, katsayıları ardışık tekrarlama ile belirli bir eniyi (optimum) çalışma noktasına yakınsayan ve işlenen işaretin özelliklerine göre katsayılarını kendi kendine değiştirebilen bir FIR süzgeçtir. Katsayıların ayarlanmasında, işaretin ve gürültünün öz ve çapraz ilişkilerinden kaynaklanan ve kestirime dayanan değişik yöntemler kullanılır (Stearns and Widrow 1985, Haykin 1986). Bu anlamda uyarlamalı süzgeç, yukarıda gözle belirlenen geçirme bandlarını, kendiliğinden belirleyen bir süzgeç sistemi olarak değerlendirilebilir. İGO iyileştirilmesi açısından, durağan bir işaret için uyarlamalı süzgecin aynı dereceden bir sabit katsayılı süzgece göre herhangi bir üstünlüğü olmadığı söylenebilir. Şekil 4.8.'de, uyarlamalı süzgeç sistemine ilişkin blok diyagramı verilmiştir.



Şekil 4.8. Uyarlamalı süzgecin blok gösterimi



Şekil 4.9. Literatürden alınan uyarlamalı süzgeç sistemine ilişkin güç yoğunluğu yayları (Stearns and Widrow 1985)

Uyarlamalı süzgeçlemede temel yaklaşım, süzgecin $[x_k]$ giriş işaretini, $[d_k]$ ile belirlenen ve istenilen (desired response) bir çıkış değişimine olabildiğince yakın hale getirmesidir. 4.3.1 ayrıtında incelen problemin bir benzerinin, uyarlamalı süzgeç ile çözümü literatürden alınan bir örnekte görülmektedir (Şekil 4.9) (Stearns and Widrow 1985). Uyarlamalı yöntemlerin genel olarak sakıncaları, oldukça yüksek donanım gerektirmeleri ve yakınsama sürelerinin, etkinlikleri (süzgeç dereceleri) ile ters orantılı olarak değişmesidir.

4.3.3.Tayf çıkarımı (Spectral subtraction) ve ters AFD ile gürültünün azaltılması

Bu yöntemdeki yaklaşım, gürültülü işaretin güç yoğunluğu ya da genlik tayfının belirli bir eşik seviyesi temel alınarak kesilmesi ve elde edilen tayfa uyacak ayrık zaman serisinin ters AFD dönüşüm yolu ile elde edilmesidir (Vashegi 1995). 4.3.1’de kullanılan örneğe ait tayf incelendiğinde, gürültüye ilişkin tayf dağılımın eşik seviyesinin 20 dB düzeyinde olduğu görülmektedir. Bu durumda tüm tayfdan ortalama gürültü seviyesi olan 20 dB çıkartıldığında bir önceki duruma göre daha az gürültü içeren yapay bir güç yoğunluğu tayfi elde edilir. Bu tayfa karşılık gelen $[x_k]$ ayrık zaman serisi, Ters AFD yardımıyla hesaplanırsa, İGO öncekine göre oldukça iyileştirilebilir. Yine bu yöntemde incelenen işaretin tayf şeklinin durağan olması önem taşımaktadır.

Matematiksel olarak bu işlem, aşağıdaki şekilde formüle edilebilir. Gürültünün güç yoğunluğu tayfi $N_m(f)$, gürültülü işaretin güç yoğunluğu tayfi da $X_m(f)$ ise çıkartma işlemi,

$$|Y_m(f)| = |X_m(f) - N_m| \quad (4.2)$$

şeklinde gerçekleştirilir. Burada $N_m(f)$ 'in ortalama ya da istatistiksel olarak kestirilmiş bir değer olması önem taşımaktadır. Bu işlemle elde edilen $|Y_m(f)|$ Ters AFD yardımıyla ayrık zaman serisine dönüştürülebilir. Tayf çıkarımı yönteminde, sadece

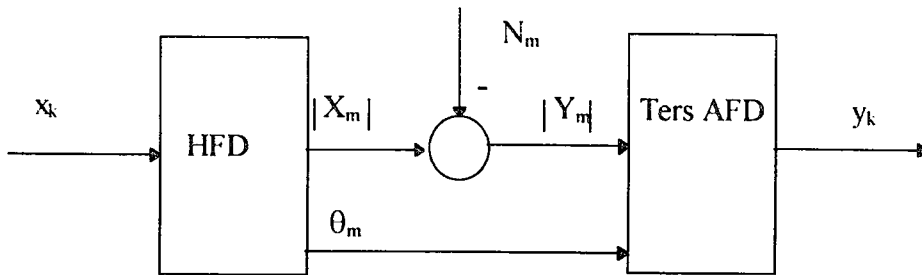
genlik ya da mutlak değerler çıkartılır, gürültülü işaretin güç tayfindaki q_m faz değerleri aynen kullanılır. Bu şekilde elde edilen $|Y_m(f)|$ ve $q_m(f)$ değerleri ile belirlenen karmaşık sayılar kullanılarak,

$$Y_m = |Y_m(f)| \cos q_m(f) + j |Y_m(f)| \sin q_m(f) \quad (4.3)$$

$$[x_k] = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} Y_m e^{j(2\pi mk/N)} \quad k=0,1,\dots,N-1 \quad (4.4)$$

$[x_k]$ çıkış serisi elde edilir (Vashegi 1995).

Yöntemin uygulanmasındaki en önemli sorunlar, tayfin her bileşeninde gürültü düzeyinin ortalama olarak kestirilmesi ve değişimlerin Ters AFD ile ayrık zamana yansıtılmasıdır. Çıkartma esnasında bazı frekans bileşenleri için sonuç negatif çıkabilir. Bu hallerde, ya çıkartma işlemi yapılmadan o frekans bileşeni için gürültülü değer aynen kullanılır, ya da kestirilen gürültü düzeyi küçültülür. Doğal olarak bu tip durumlar, çıkıştaki İGO açısından ve işaretin kalitesi açısından olumsuz etkiler yaratır. Doğru uygulanmadığında, tayf çıkarımı yöntemi, işarete ek bozulmalara yol açabilir; hatta, başlangıca göre daha kötü bir İGO elde edilebilir (Vashegi 1995). Şekil 4.10.'da tayf çıkarımı sisteminin prensip blok diyagramı görülmektedir.



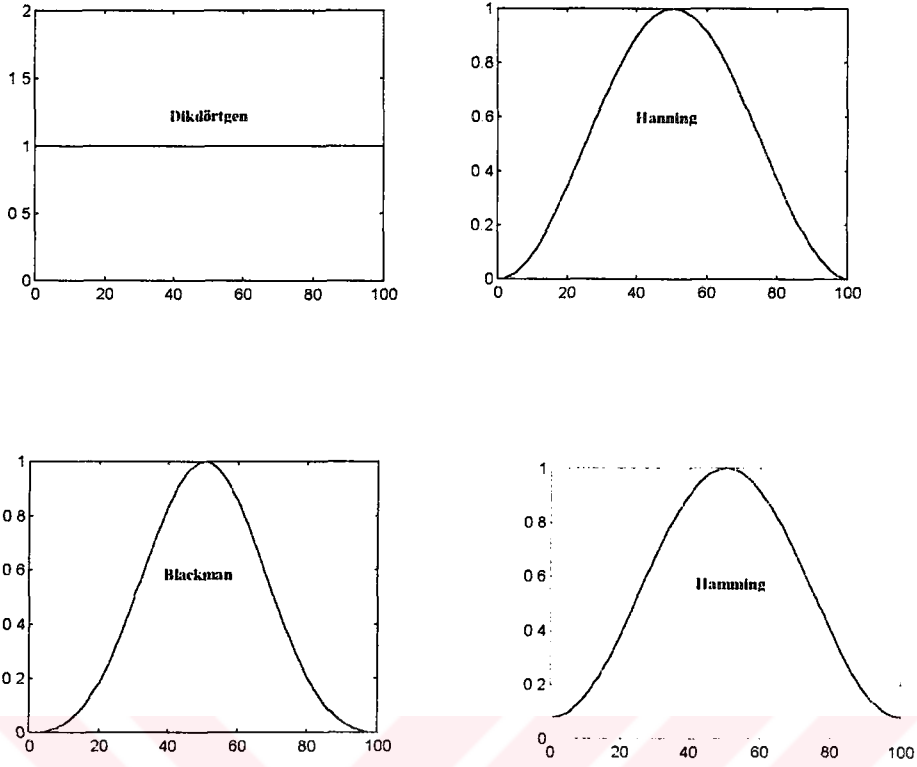
Şekil 4.10. Tayf çıkarımı yönteminin blok diyagramı

4.4. Zaman -Frekans Analizi ve Gürültü Azaltma Açısından Önemi

Yukarıda açıklanan yöntemlerden, sabit katsayılı süzgeçleme ve tayf çıkarımı yönteminde, işaretin tayf dağılımının durağan olması ön koşulu geçerlidir. Her iki yaklaşımda da, gürültünün işareten ayrıştırılabilmesi için, ilgilenilen zaman diliminde, hangi bileşenlerin gürültü, hangi bileşenlerin işaret olduğunun belirlenmesi, ve işaretin mevcut olduğu frekans bölgelerinin uygun süzgeçlerden geçirilmesi öngörülmüştür. Burada en önemli nokta, tayf analizinde zaman parametresinin de dikkate alınmasının gerekliliğidir.

Oldukça fazla sayıda ya da sonsuz uzunlukta örnekten oluşan bir işaretin analizinde, işaretin güç yoğunluğu tayfi incelemesinin yapılabilmesi için veriler, sonlu uzunlukta bloklar halinde işlenir. Bu amaçla, sonsuz sayıda örnekten oluşan $[x_k]$ giriş serisi, pencere fonksiyonu olarak adlandırılan bir fonksiyonla çarpılarak sonlu sayıda (N) örnek içeren bir alt seri ya da veri parçası elde edilir. Daha sonra, N elemanlı alt seri ve N noktalı AFD yardımıyla tayf dağılımı hesaplanarak, işaretin içerdiği frekans bileşenleri elde edilir. Pencerelemede iki temel sorunla karşılaşılır. Bunlardan biri, kullanılan pencere fonksiyonunun yarattığı ve gerçek işarete mevcut olmayan bir takım tayf bileşenlerinin (side lob) güç tayfına yansımaları, diğeri de sonlu uzunlukta veriden oluşan alt serinin içerdiği tayf bileşenlerinin, pencerenin tanımladığı zaman dilimi içerisindeki değişimlerinin belirsiz olmasıdır. Bir başka deyişle, elde edilen tayf dağılımı, bu zaman dilimi içinde oluşup ve belki de sona ermiş tüm bileşenleri içermektedir. Eğer işaret, ses ve müzik gibi hızlı değişen bir tayf dağılımına sahipse, bu sakınca daha da belirginleşir. Bu sakıncanın giderilmesi için pencere boyu, daha kısa zaman dilimlerini kapsayacak şekilde seçilebilir. Ancak bu durumda da, daha az sayıda örnek alınacağından, tayfdaki frekans çözünürlüğü kötüleşecektir. Bu kez de, birbirinden yeterince uzak olmayan tüm bileşenler aynı frekans bandında gözlenecektir.

Şekil 4.11'de literatürde kullanılan çeşitli pencere fonksiyonları verilmiştir. Herhangi bir uygulama için kullanılacak pencerenin boyu ve tipinin belirlenmesi literatürde de tartışılan bir problemdir (Oppenheim et al 1983, Higgins 1990).



Şekil 4.11. Çeşitli pencere fonksiyonları (100 nokta için)

Yukarıdaki saptama doğrultusunda, zaman-frekans çözünürlüğünün etkileşimini göstermek mümkündür. Bu amaçla, örnek olarak, sonsuz uzunlukta ve f_s örnekleme frekansı ile örneklenmiş bir ayrık zaman serisi incelenebilir. N örneklilik bir pencere için, tayfda $N/2$ farklı frekans bileşeni oluşacaktır. Tayfdaki en yüksek frekans bileşeni $f_s/2$ olacağından, elde edilecek frekans çözünürlüğü,

$$\Delta f = \frac{f_s / 2}{N / 2} \quad (4.5)$$

şeklindedir. Veri penceresi N adet veri içerdiğinden ve her veri T_s zaman aralığı ile sıralandığından, incelenen zaman dilimi ya da çözünürlüğü,

$$\Delta t = \frac{1}{f_s} N \quad (4.6)$$

olacaktır. Bu iki ifadeden, zaman çözünürlüğü ve frekans çözünürlüğünün, birbirlerinden bağımsız olarak arttırılamayacağı açık olarak görülmektedir. (4.5) ve (4.6) bağıntıları birleştirilerek ,

$$\Delta f \Delta t = 1 \text{ elde edilir.}$$

Bu durumda, frekans çözünürlüğünün arttırılması halinde zaman çözünürlüğü, aksi durumda da frekans çözünürlüğü kötüleşecektir.

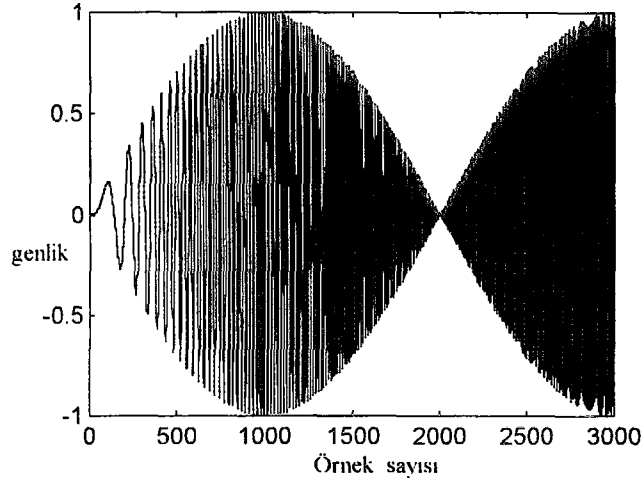
Bu temel çelişkiye çözüm olarak, son yıllarda dalgacık (wavelet) analizi ve dönüşümü kullanılmaya başlanmıştır (Rioul 1991). Bu dönüşüm, sabit "Q" analizi olarak adlandırılan bir özelliğe olanak sağlamaktadır. Sabit "Q" analizinde düşük frekanslar için düşük zaman çözünürlüğü, yüksek frekanslar için de yüksek zaman çözünürlüğü elde etmek mümkün olmaktadır.

Pencereleme ve zaman frekans analizine örnek olarak, zaman içinde tayf dağılımı değişen bir işaret incelenecektir. Bu amaçla, frekansı ve genliği zamana bağlı değişen bir sinüs dalgası seçilmiştir. Genlik, düşük frekanslı bir sinüs işaretinin mutlak değeri ile, frekans ise zamanın karesi ile değişmektedir.

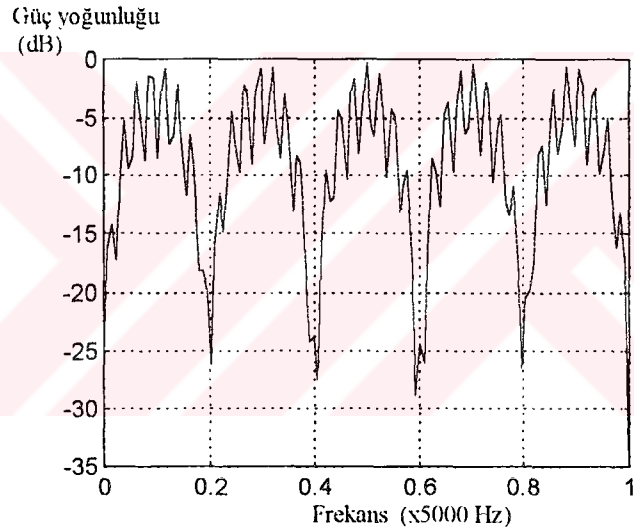
$$[x_k] = |\sin 5 \pi k 10^{-4}| (\sin 5000\pi (k 10^{-4})^2) \quad k=0,1,\dots,9999$$

Öncelikle 10000 örnekten oluşan ve 10 kHz'de örneklenmiş bu sinüs dalgasının herhangi bir pencere kullanmadan güç yoğunluğu tayfi hesaplanmıştır.

Şekil 4.12'de incelenen sinüsoidal işaretin zamana bağlı değişimi, Şekil 4.13'de de, 10000 örnek kullanılarak elde edilmiş güç yoğunluğu tayfi görülmektedir.



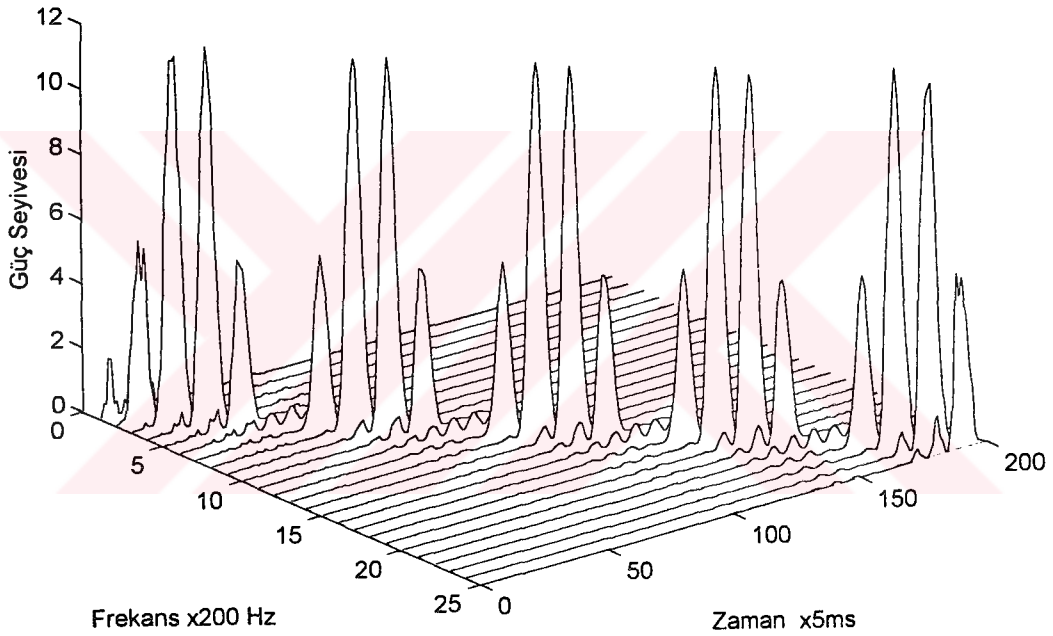
Şekil 4.12. Genliği ve frekansı zamana bağlı değişen işaret (ilk 3000 örnek)



Şekil 4.13. Pencereleme kullanılmadan elde edilen güç yoğunluğu tayfi

Güç yoğunluğu tayfi incelendiğinde, işaretin zaman içindeki tayf dağılımı hakkında bilgi taşımadığı ve bu şekli ile işaretin modellenmesinde kullanılamayacağı görülmektedir. Tayfin zamana bağlı değişimini inceleyebilmek için, bu kez 10000 noktalık AFD yerine 50 örnek uzunluğundaki dikdörtgen pencerelerle elde edilmiş veri blokları ve 50 noktalık AFD'ler yardımıyla, ardışık olarak 200 adet güç yoğunluğu tayfi elde edilmiştir. Bu yaklaşım, literatürde benzeri işaretlerin modellenmesinde kullanılan Kısa Süreli AFD (Short Time Fourier Transformation)

olarak bilinen yöntemin aynısıdır (Rioul 1991). Şekil 4.14'te, elde edilen 200 adet güç yoğunluğu tayfi üç boyutlu olarak görülmektedir. Burada zaman eksenini, 5 ms'lik zaman dilimlerinden oluşmuş 200 adımı kapsamaktadır. Bu şekli ile güç yoğunluğu tayfi, işaretin zaman içindeki frekans ve genlik değişimini aslına uygun olarak yansıtabilmektedir. Zaman çözünürlüğünün artırılması, kaçınılmaz olarak frekans çözünürlüğünü düşürmüştür. AFD 50 nokta için hesaplandığından, tayfta 25 farklı frekans görülebilmektedir. Bir başka deyişle 5 ms aralığında işaretin frekansı değişmesine rağmen tayfta gözlenememiştir.

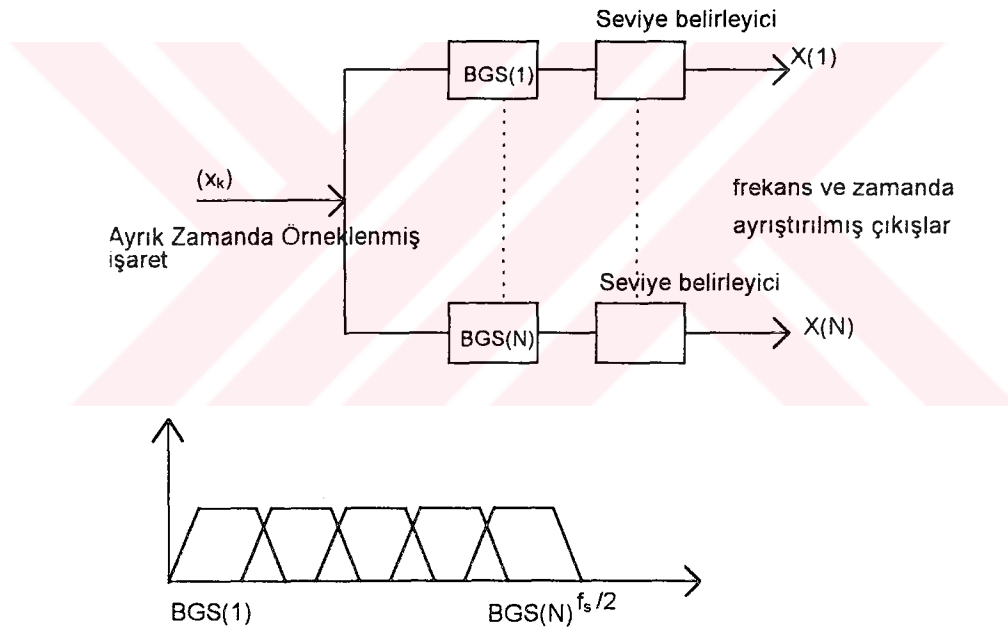


Şekil 4.14. 50 noktalı AFD'nden elde edilen güç tayfları

Yukarıda sözü edilen pencereleme problemi, özellikle tayf dağılımı oldukça hızlı ve rastgele değişen konuşma ve müzik işaretlerinin işlenmesinde sorun yaratmaktadır. Bu tip işaretlerin gürültü içermesi durumunda, gürültü ile asıl işaretin etkin bir şekilde ayrıştırılabilmesi için, tayf dağılımının zamana bağlı değişiminin duyarlı olarak

incelenmesi büyük önem taşımaktadır. Ancak yukarıda da değinildiği gibi, AFD esaslı yaklaşımlar, bu anlamda zaman frekans çelişkisi yaratmaktadırlar.

İşaretin zamana bağlı frekans içeriğinin ne şekilde değiştiğinin belirlenmesi için, farklı bir yaklaşım olarak AFD'ye ihtiyaç duymayan bir şekilde modellenmesi amacıyla, bu tezde, band geçiren süzgeç grubu ve seviye belirleyiciden oluşan bir model geliştirilmiştir. Aslında bu yaklaşım, değişik çalışmalarda farklı şekillerde belirtilmekle birlikte, işaret modellemesi ve gürültü azaltma amacıyla ve bu şekliyle kullanılmamıştır (Higgins 1990, Rioul 1991). Şekil 4.15'te, AFD esaslı güç yoğunluğu tayfi hesabı yerine kullanılabilir ve tayfin zamana bağlı değişimini belirleyen Band Geçiren Süzgeç Grubu (BGS) ve seviye belirleyici sistemi prensip olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.15. BGS blok diyagramı ve süzgeçlerin frekans bandları

Sistemin prensibi oldukça basittir. x_k giriş işareti, n adet ve geçirme bandları $0-f_s/2$ aralığına eşit olarak yayılmış BGS'lerden geçirilir. Daha sonra, bandlara ayrılmış işaret bileşenlerinin mutlak değeri ve toplamları alınarak, güç seviyeleri belirlenir. Bu şekilde elde edilen bandlardaki güç seviyesi ile AFD ile elde edilen güç seviyesi

arasında teorik olarak bir fark yoktur. Bu işlem, matematiksel olarak şu şekilde açıklanabilir:

Herhangi bir sürekli zaman işareti x_c 'nin, T_0 süresince içerdiği ortalama güç (Ziemer et al 1989),

$$P = \frac{1}{T_0} \int_{t_0}^{t_0+T_0} |x_c|^2 dt \quad (4.7)$$

ile verilir. Ayırık zamanda bu integral, toplam olarak

$$P = \frac{1}{NT_s} \sum_{k=1}^N |x_k|^2 T_s \quad (4.8)$$

şeklinde yazılabilir. Burada

x_k : x_c 'nin ayırık zaman eşdeğeri,

N : örnek sayısı,

T_s : örnekleme periyodudur.

Sadeleştirme yapıldığında,

$$P = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N |x_k|^2 \quad (4.9)$$

elde edilir. Burada x_k herhangi bir frekans bandındaki ayırık zaman işaretidir.

P_m , N noktalı AFD ile elde edilmiş güç yoğunluğu tayfının m 'inci bileşeni olmak üzere, m 'inci frekans bandındaki güç seviyesi,

$$P = 2P_m \quad (4.10)$$

ile verilir (Stearns and David 1989). İşaretin belirli bir frekans bandındaki güç değeri, kullanılan hesap yöntemine göre değişmeyeceğinden, (4.9) ve (4.10) ifadeleri aynı sonucu verecektir. Farklı olarak, ilk ifadede AFD kullanılmasına gerek olmaksızın ortalama güç seviyesi hesaplanabilmektedir. (4.9) ve (4.10) ile verilen, ortalama güç bağıntılarının özdeşliğinden,

$$\frac{1}{N} \sum_1^N |x_k|^2 = 2P_m \quad (4.11)$$

elde edilir.

BG süzgecin herhangi bir bandından elde edilmiş x_k ayrık zaman serisi elemanları ile, P_m arasındaki ilişki de,

$$\sum_1^N |x_k|^2 = 2P_m N \quad (4.12)$$

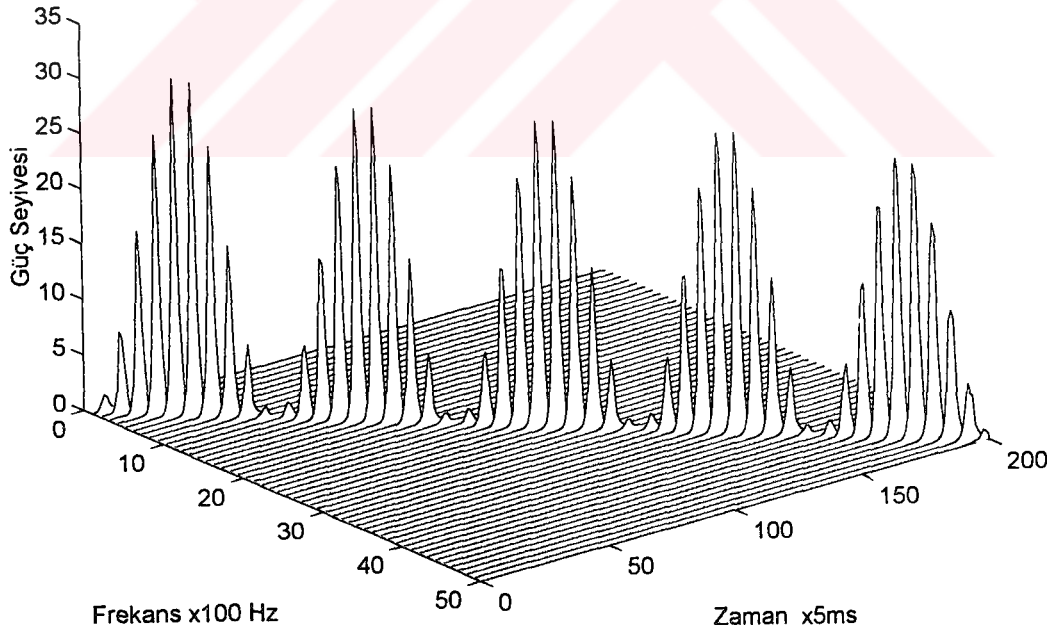
şeklinde belirlenebilir.

Bu şekilde, AFD kullanılmadan da herhangi bir işaretin herhangi bir frekans bandındaki ortalama gücünün ve güç yoğunluğu tayfi bileşenlerinin elde edilebileceği sonucu çıkar. Güç tayfinin AFD yerine BGS ile elde edilmesindeki en önemli üstünlük, AFD yaklaşımında sözkonusu olan zaman-frekans çözünürlüğü etkileşiminin ortadan kalkmasıdır. BGS yaklaşımında frekans çözünürlüğü, kullanılan BGS sayısına, zaman çözünürlüğü ise seviye hesabında kullanılan ardışık örnek sayısına bağlıdır ve en önemlisi, bu iki değişken birbirlerinden bağımsız olarak seçilebilir. Bu durumda, herhangi bir ayrık zaman işareti istenilen frekans çözünürlüğü ve zaman çözünürlüğü ile modellenebilmektedir. Bir başka deyişle, işaretin zaman içindeki gücünün, frekans bandlarındaki dağılımı AFD yaklaşımına göre daha esnek bir şekilde izlenebilir.

Bu özelliği nedeniyle, BGS modelinin AFD temelli yöntemlerden daha farklı bir modelleme özelliğine sahip olduğu söylenebilir. Bu yöntem yardımıyla, işaretlerin

frekans bandlarındaki güçlerinin zamana bağlı değişimleri, isteğe bağlı olarak değişken bir çözünürlükle elde edilebilmektedir. BGS modelinin tayf analizi amacıyla kullanılabilirliğinin sınanması için, yukarıda incelenen örnek işaretin analizi yapılmıştır. Burada 50 adet 6. derece IIR süzgeç kullanılmıştır. Şekil 4.16'da, örnek işaretin güç yoğunluğu tayfi dağılımının zamana bağlı değişimi görülmektedir. Karşılaştırma yapılabilmesi için, hesaplamada AFD ile aynı sayıda (50) örnek kullanılmıştır. Bu nedenle, AFD ile BGS modellerinin zaman çözünürlükleri aynıdır (5 ms). Ancak BGS modelinde 50 süzgeç kullanıldığından, frekans çözünürlüğü (ayrıt edilebilen frekans bandı sayısı) AFD yaklaşımından 2 kat daha yüksektir (AFD yaklaşımında 25 frekans bandı mevcut iken, BGS yaklaşımında 50 frekans bandı elde edilmiştir).

Şekil 4.14'te verilen dağılımla karşılaştırıldığında, güç yoğunluğu tayfi açısından, işaretin zaman-frekans modelinin oldukça gerçekçi olduğu görülmektedir. Bu model, bir sonraki bölümde verilecek olan ve bu tez çalışmasında gerçekleştirilen Bulanık Mantık Temelli gürültü azaltma sisteminin önemli bir unsurunu oluşturacaktır.



Şekil 4.16. BGS ile elde edilen güç yoğunluğu tayfi

BÖLÜM 5.

BULANIK MANTIK TEMELLİ SÜZGEÇLEME ve GÜRÜLTÜ AZALTMA SİSTEMLERİ

5.1. Giriş

Bu bölümde, bulanık mantık temelli gürültü azaltma sisteminin iki farklı şekli gerçekleştirilecek ve bu iki sistemin karşılaştırılması yapılacaktır. Birinci yaklaşım, ana fikir olarak literatürdeki bir örnekten hareketle oluşturulmuş olup, esasen daha sonra gerçekleştirilecek ve bu tez çalışmasında oluşturulan yeni bir yaklaşım ile karşılaştırma yapılabilmesi amacıyla ele alınmıştır.

4. Bölümde de vurgulandığı gibi, gürültü içeren bir işaretin gürültü oranının azaltılabilmesi için, öncelikle zaman içerisinde hangi frekans bileşenlerinden oluştuğunun belirlenmesi gerekir. Özellikle beyaz gürültü, tüm frekans bandlarına yaklaşık eşit olarak yayılmış ve güç yoğunluğu tayfi bileşenleri genlik olarak oldukça tekdüzedir. Buna karşın, ses ve konuşma işaretleri, zaman içinde belirli frekans bandlarında yoğunlaşmakta ve ani değişimler göstermektedirler. Bu nedenlerden dolayı, beyaz gürültü karışmış bir konuşma işaretinin frekans bileşenlerinin zamana bağlı değişimleri incelendiğinde, asıl işareti içeren bölgeler, gürültü içeren bölgelerden kolaylıkla ayırt edilebilmektedir.

Bilgi taşıyan işaretin, zamana göre hangi frekans bileşenlerinden oluştuğunun belirlenmesi, bir inceleme ve karar verme mekanizması sonucu gerçekleşir. Bu karar, belirli parametre ve ölçütlerden yararlanılarak olduğundan, sözkonusu ölçütlerin bulanık mantık kurallarına, parametrelerin de bulanık mantık üyelik fonksiyonlarına aktarılabilmesi durumunda, gözle ve deneyimlerle yapılan işlemin bir bulanık mantık karar verici ile gerçekleştirilmesi mümkün olacaktır. Bu şekilde, gürültüyü asıl

işaretten ayırt edebilen ve asıl işareti koruyarak, gürültüyü azaltabilen sistemlerin tasarlanabilmesi imkanı doğmaktadır.

5.2. Bulanık Mantık Temelli Band Geçiren Süzgeç ile Gerçekleştirilen Gürültü Azaltma Sistemi

Bu yöntem, 4.3.1 ayırıtında incelenen, sabit katsayılı süzgeçlerle gürültü temizleme yönteminin geliştirilmesi ile elde edilmiştir. Ana fikir, Knight and Akbarzadeh (1993)'den alınmıştır. Bu yaklaşım prensip olarak, işarete ilişkin güç tayfının analizi ile, asıl işarete ait band aralığının belirlenmesi, ve bu banda uygun olarak, bir band geçiren süzgecin kesim frekanslarının belirlenmesinden oluşmuştur. Bulanık mantık karar verici ile süzgeçleme sisteminin bağdaşımını gözlemek ve ileride geliştirilecek alternatif yaklaşımla karşılaştırmak amacıyla, sistemin bilgisayar ortamında gerçekleştirilmesi uygun görülmüştür.

İşaretin güç yoğunluğu tayfi incelenerek, band geçiren süzgecin alt ve üst kesim frekanslarının belirlenmesinde iki temel kriter kullanılmaktadır. Bunlar, frekans bileşenlerinin seviyeleri ve tayf dağılımını belirleyen zarfin eğimidir. Özellikle, gürültülü konuşma işaretlerinin incelenmesi ile işaret içeren frekans bandı hakkında şu önermelerde bulunabilir (Knight and Akbarzadeh 1993):

1. En yüksek seviyeli bileşen, merkez frekansıdır,
2. Alt ve üst kesim frekansları, seviyenin orta düzeyde ve tayf zarfının çok keskin iniş ve çıkışlar göstermediği bölgelerdedir.

Dolayısıyla, gürültü karışmış halde, geçirme bandı bu özellikte olan bir band geçiren süzgeç yardımı ile, asıl işaretin süzgeçlenmesi mümkün olacaktır. Bu temel önermeler, bulanık mantık esasları ile genişletildiğinde, güç yoğunluğu tayfının seviyesini ve eğimini inceleyerek, alt ve üst kesim frekanslarını belirleyen bir bulanık mantık karar verme mekanizması elde edilebilir.

Sistemin en önemli üstünlüğü, oldukça karmaşık ve istatistiksel yaklaşımlarla elde edilebilecek uyarlamalı süzgeçlere benzer bir işlevi, son derece basit bir şekilde ve ardışık hesaplamaya gerek olmadığı için de oldukça hızlı gerçekleştirebilmesidir. Adımlar halinde sistemin tasarımı aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

1. Güç tayfının elde edilmesi: Bu işlem için iki temel yaklaşım kullanılabilir. Bunlar,

- a) HFD yöntemi,
- b) BGSŞ modelidir.

Referans çalışmada, HFD yöntemi kullanıldığından, bu tezde de güç tayfının elde edilmesi için HFD'nden yararlanılmıştır.

2. Güç tayfının seviyesinin ve zarf eğiminin belirlenmesi: Bu amaçla, N noktalı HFD'nden elde edilen ve en büyük değerine göre 1'e normalize edilen N/2 adet güç tayfi bileşeni, öncelikle 4'lü gruplara ayrılmıştır. Bu işlemde amaç, ani iniş çıkışların bir ölçüde zayıflatılarak, bulanık mantık karar vericinin hatalı alt ve üst kesim frekansları belirleme riskini azaltmaktır. Örneğin 512 noktalı bir HFD ile güç tayfi elde edildiğinde, 256 adet güç tayfi bileşeni ve 64 adet dörtlük grup oluşur. Daha sonra, her dörtlünün ortalama seviyesi ve eğimi belirlenir. Bu şekilde her N örnek için, N/8 adet ortalama seviye ve N/8 adet ortalama eğim belirlenmiş olur. Herhangi bir dörtlüye ait ortalama seviye,

$$S_o^i = \frac{1}{4} \sum_{j=4(i-1)}^{4i-1} P_j \quad (5.1)$$

ve ortalama eğim, doğrusal birleştirme (regresyon) yöntemi yardımıyla ,

$$E_o^i = \frac{4 \sum_{j=4(i-1)}^{4i-1} f_j P_j - \sum_{j=4(i-1)}^{4i-1} f_j \sum_{j=4(i-1)}^{4i-1} P_j}{4 \sum_{j=4(i-1)}^{4i-1} f_j^2 - (\sum_{j=4(i-1)}^{4i-1} f_j)^2} \quad (5.2)$$

ile bulunur. Burada,

S_o^i : i'nci dörtlüye ilişkin ortalama seviye,

E_o^i : i'nci dörtlüye ilişkin ortalama eğim,

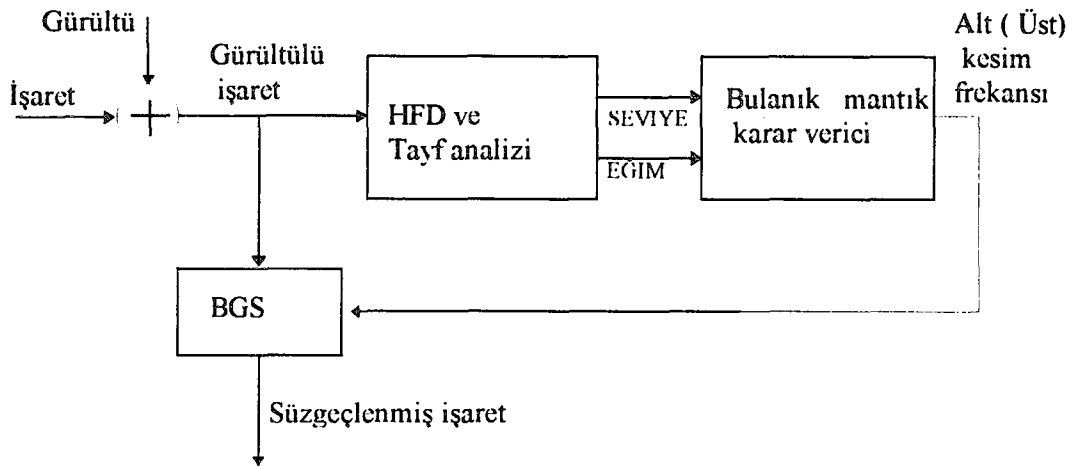
P_j : Güç tayfi (y eksen) bileşenleri,

f_j : Frekans (x eksen) bileşenleridir.

3. Merkez frekansın seçimi: Merkez frekans, incelenen güç tayfindaki en büyük ortalama seviyeli frekans bileşeni (ortalama seviyesi en büyük olan dörtlünün orta noktası) olarak alınır.

4. Alt ve Üst kesim noktalarının belirlenmesi: Merkez frekans, 3.'te verilen şekilde seçildikten sonra, üyelik fonksiyonları ve kural tabanı yardımıyla, her frekans bileşeni için alt ve üst kesim frekansı olabilme oranı (olabilirlik) belirlenir. Burada, bulanık mantık karar sistemine giren keskin (crisp) değerler SEVİYE ve EĞİM, durulaştırma sonucu elde edilen keskin sonuç ise OLABİLİRLİK değeridir. Alt kesim frekansı için 0 Hz ile merkez frekansı arasında kalan dörtlülere ilişkin EĞİM ve SEVİYE kullanılır. Üst kesim frekansı için de, merkez frekanstan en yüksek frekansa kadar olan dörtlülere ilişkin EĞİM ve SEVİYE değerleri bulanık mantık karar vericiye girerek, herbir dörtlü için bir OLABİLİRLİK değeri elde edilir. Bu işlem sonucunda, OLABİLİRLİK değeri en yüksek olan dörtlülerden, alt ve üst kesim frekansları belirlenir.

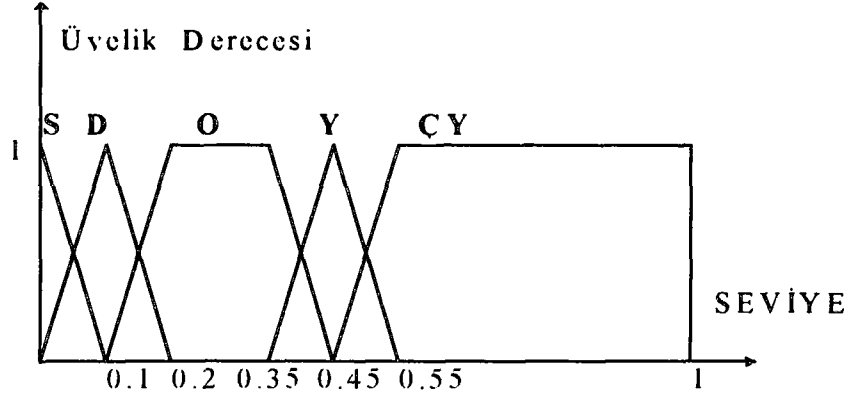
5. Süzgeç tasarımı: Bulanık mantık karar verici çıkışı, yukarıdaki şekilde karar ürettiğinde, işaretin mevcut olduğu band aralığında, süzgeç tasarım algoritması yardımıyla, band geçiren süzgecin katsayıları belirlenir. Bu şekilde de, oldukça basit bir yaklaşımla süzgecin geçirme bandı “gözle” olduğu gibi zamana ve işarete bağlı bir şekilde ayarlanabilmektedir. Sistemin prensip blok diyagramı Şekil 5.1'de görülmektedir.



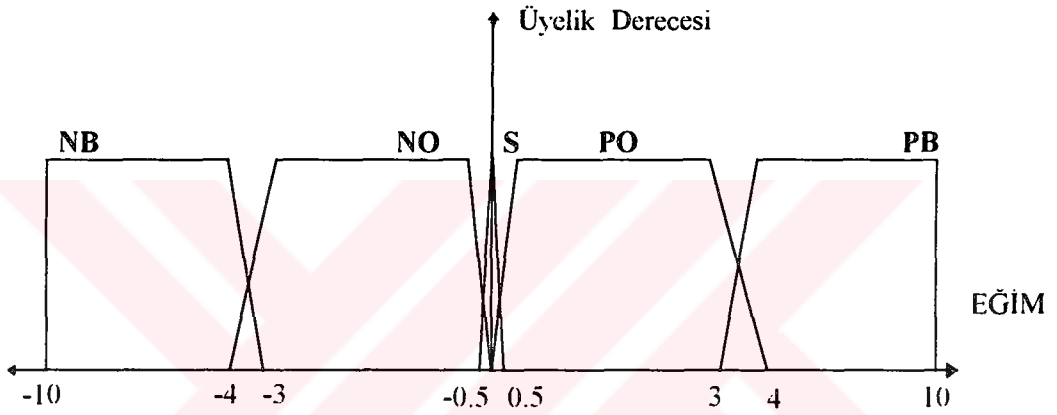
Şekil 5.1.Bulanık mantık temelli BGS sisteminin prensip blok diyagramı

Bulanık mantık karar verici, iki giriş ve bir çıkış değişkeni ile tasarlanmıştır. İlk giriş değişkeni SEVIYE, ikinci giriş değişkeni de EĞİM olarak adlandırılmıştır. Çıkış değişkeni, SEVIYE ve EĞİM değişkenleri incelenen dördlünün, alt ya da üst kesim frekansı olabilirliğine ilişkin olup, OLABİLİRLİK olarak adlandırılmıştır. Değişkenlere ilişkin üyelik fonksiyonları şu şekildedir:

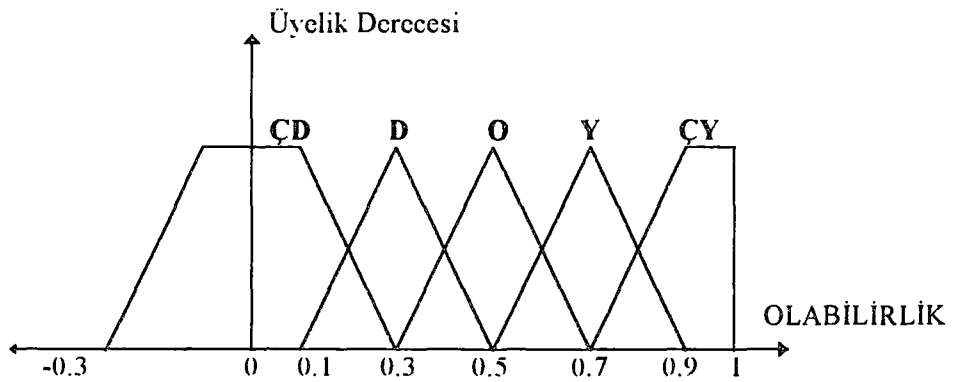
SEVIYE	EĞİM	OLABİLİRLİK
S (Sıfır)	NB (Negatif Büyük)	ÇD (Çok Düşük)
D (Düşük)	NO (Negatif Orta)	D (Düşük)
O (Orta)	S (Sıfır)	O (Orta)
Y (Yüksek)	PO (Pozitif Orta)	Y (Yüksek)
ÇY (Çok Yüksek)	PB (Pozitif Büyük)	ÇY (Çok Yüksek)



Şekil 5.2. SEVİYE (1.giriş) değişkenine ilişkin üyelik fonksiyonları



Şekil 5.3. EĞİM (2.giriş) değişkenine ilişkin üyelik fonksiyonları



Şekil 5.4. Alt (Üst) kesim OLABİLİRLİK (çıkış) değişkenine ilişkin üyelik fonksiyonları

Yukarıdaki değişkenler yardımıyla oluşturulan kurallar, Tablo 5.1 ve 5.2’de verilmiştir. Üst ve alt kesim frekansların belirlenmesinde iki ayrı kural tabanı kullanılmıştır.

Tablo 5.1. Alt kesim frekansına ilişkin çıkarım kuralları

OLABİLİRLİK	SEVİYE					
		S	D	O	Y	ÇY
	NB	ÇD	ÇD	ÇD	ÇD	ÇD
	NO	ÇD	ÇD	D	D	ÇD
EĞİM	S	ÇD	ÇD	D	ÇD	ÇD
	PO	ÇD	O	ÇY	D	ÇD
	PB	ÇD	D	ÇD	ÇD	ÇD

Tablo 5.2. Alt kesim frekansına ilişkin çıkarım kuralları

OLABİLİRLİK	SEVİYE					
		S	D	O	Y	ÇY
	NB	ÇD	D	ÇD	ÇD	ÇD
	NO	ÇD	O	ÇY	D	ÇD
EĞİM	S	ÇD	ÇD	D	ÇD	ÇD
	PO	ÇD	ÇD	D	D	ÇD
	PB	ÇD	ÇD	ÇD	ÇD	ÇD

Sistemin yazılım olarak gerçekleştirilmesinde, işaret işleme ve bulanık mantık alt yordamları mevcut olan bir yazılım paketinden yararlanılmıştır. Gerçekleştirilen uygulama yazılımında aşağıdaki işlemler yapılmıştır.

1. Öncelikle, WAV formatlı ses dosyası okunarak bir diziye atanmıştır. MS WINDOWS işletim sisteminin çoklu ortam özelliklerinden biri olan WAV formatı herhangi bir müzik ya da konuşma işaretinin standartlaştırılmış örnekleme frekanslarında ve çözünürlükte, mono ya da stereo olarak kayıt edilmesine ve işlenmesine olanak sağlar. Bu çalışmada 11025 Hz’de örneklenmiş ve 8 bit çözünürlükteki, mono kayıtlı WAV formatlı dosyalar kullanılmıştır. 8 bit çözünürlük 0-255 arasında 256 farklı seviye tanımladığından, bu dosyada kayıtlı

bulunan işaret 0-255 arasında sayılardan oluşmuştur. Okuma sonrası sıfır seviyeye karşılık gelen 128 sayısı tüm diziden çıkartılarak işaret öncelikle +128 -128 arasında değişen alternatif bir işarete dönüştürülür.

2. Daha sonra, belirli bir genlikte ve eleman sayısı 1. aşamada okunan işarete eşit bir beyaz gürültü işareti oluşturulmuştur. Bu işlem için yazılım paketinde mevcut olan bir rastgele sayı üreticinden yararlanılmıştır.

3. 1. ve 2. adımda elde edilen işaretler toplanarak gürültülü işaret elde edilmiştir.

4. Gürültülü işaretin ilk N elemanı için, N noktalı HFD yardımıyla güç tayfi elde edilmiştir. Bulanık mantık karar vericide oluşabilecek taşmaların önlenmesi için, güç tayfinin tüm bileşenleri en büyük bileşene bölünerek 1'e normalize edilmiştir. Normalize edilmiş güç tayfi, dörderli gruplara ayrılmış ve her grup için ortalama seviye ve eğim değerleri (5.1) ve (5.2) bağıntıları yardımıyla hesaplanmıştır.

6. En büyük ortalama seviye değerine sahip dördlünün, frekans eksenindeki konumundan, merkez frekansı belirlenmiştir.

7. Giriş ve çıkış değişkenleri, üyelik fonksiyonları ve kural tabanı belirlenmiş olan bulanık mantık karar verici yardımıyla, 0 ile merkez frekansı arasındaki dördlülerin alt kesim, merkez frekansı ile en yüksek frekans arasındaki dördlülerin de üst kesim frekansı olabirlikleri elde edilmiştir. Sonuçta, alt ve üst kesim frekansı olabirliği en yüksek olan dördlülerin frekans eksenindeki konumlarından, alt ve üst kesim frekansları belirlenmiştir.

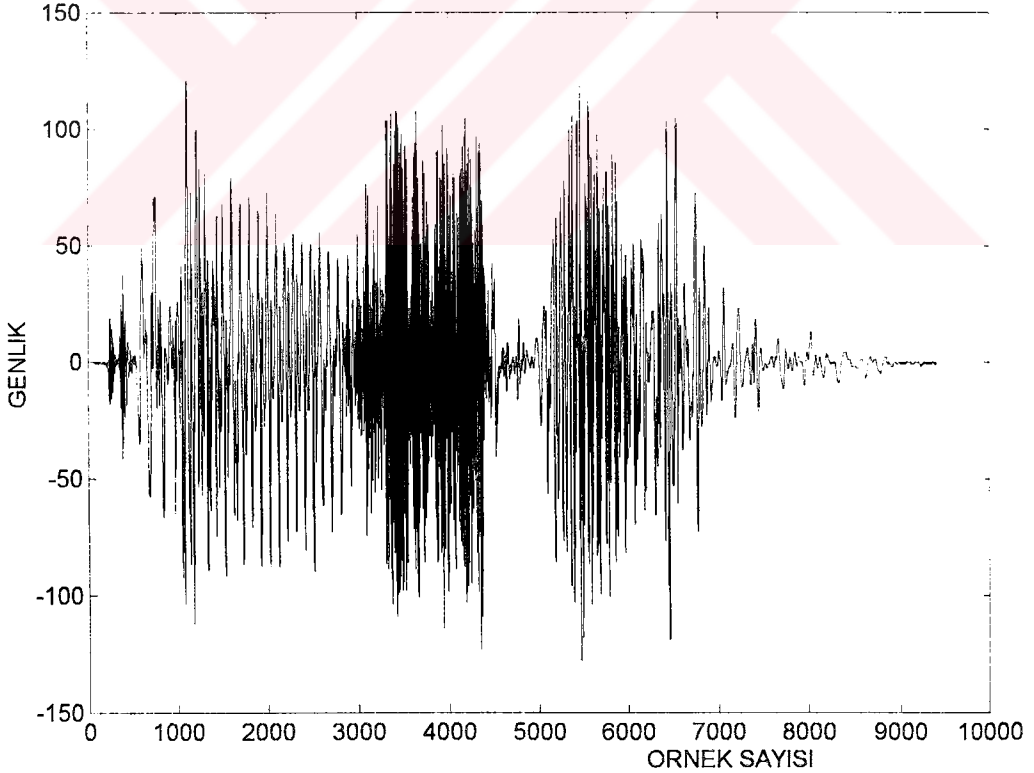
8. Yukarıda belirlenen frekanslara uygun süzgeç katsayıları, süzgeç tasarım alt yordamı ile belirlenmiştir.

9. Gürültülü işaretin ilk N elemanlık parçası, 8. adımda tasarlanan süzgeçten geçirilerek bir çıkış dizisine atanmıştır.

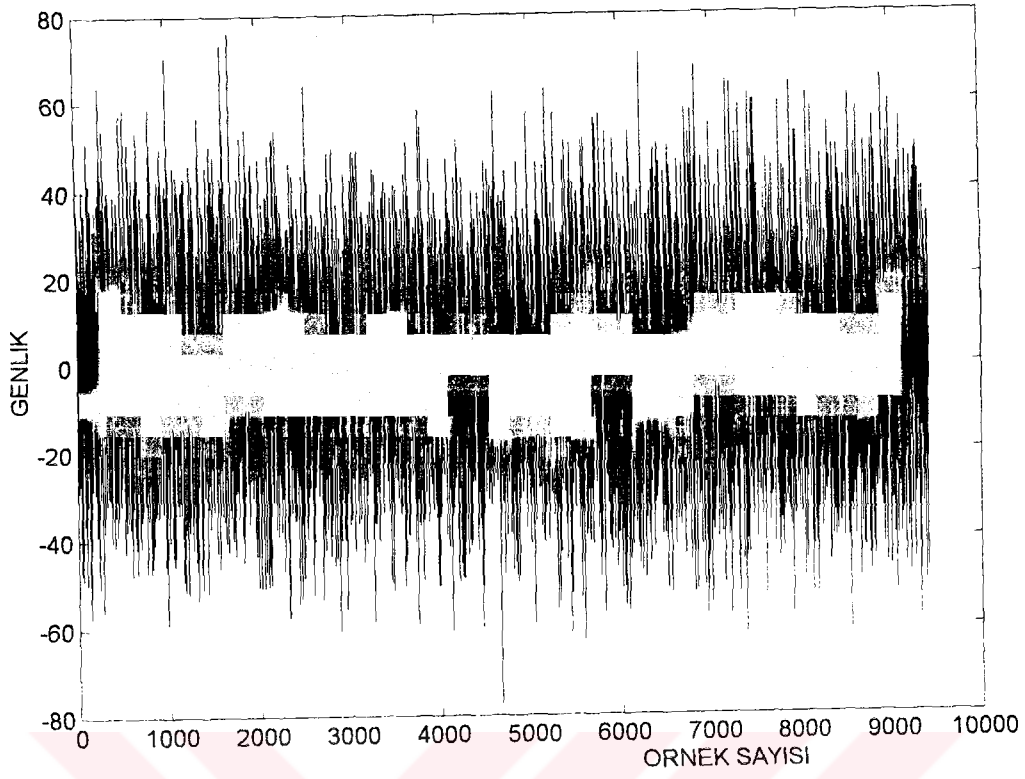
10. İşaretin bir sonraki N elemanlık parçası için, 4. adıma dönülerek işlemlere devam edilmiştir.

11. Sonuçta, işaretin tamamı bu şekilde süzgeçlenerek, gürültüsü azaltılmış işaret elde edilmiştir.

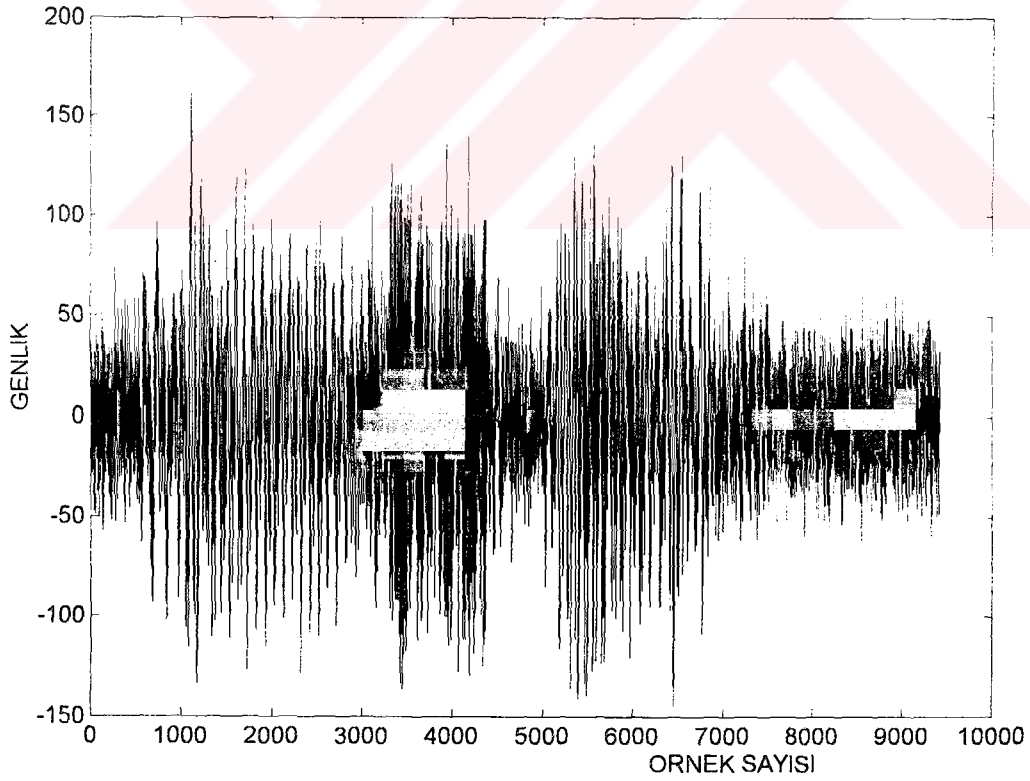
Sistemin çalışması “Konuşma” sözcüğüne ait WAV formatlı dosya ile denenmiştir. Şekil 5.5’ te örnek işaretin değişimi, Şekil 5.6’ da gürültünün değişimi, Şekil 5.7’de de gürültü karıştırılmış durumdaki işaretin değişimi görülmektedir. Görülen durumda İGO 5 dB düzeyindedir. Şekil 5.8’de işaretin 512 örneklilik pencereler için 512 noktalı HFD ile elde edilmiş güç tayfları, üç boyutlu olarak görülmektedir. Şekil 5.9’da, bulanık mantık karar vericinin her 512’lik pencere için belirlediği alt ve üst kesim frekansların değişimleri verilmiştir. Şekil 5.10’da, gürültüsü azaltılmış işaretin değişimi görülmektedir. Çıkışta İGO, 8 dB’e yükselmiştir.



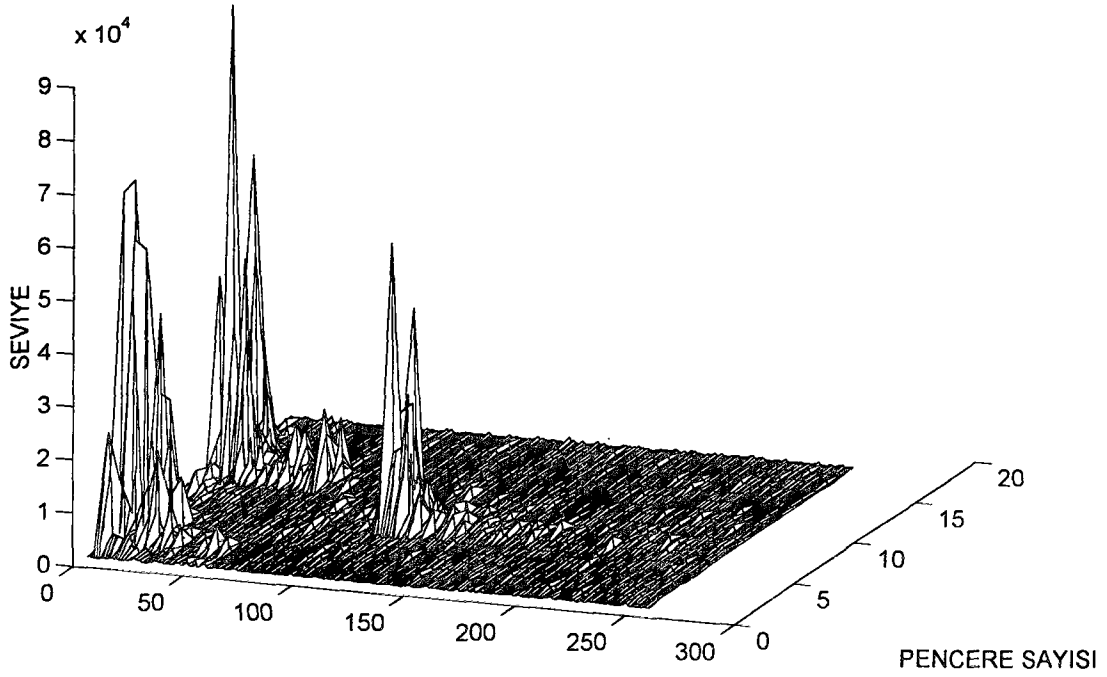
Şekil 5.5. “Konuşma” sözcüğüne ilişkin işaret



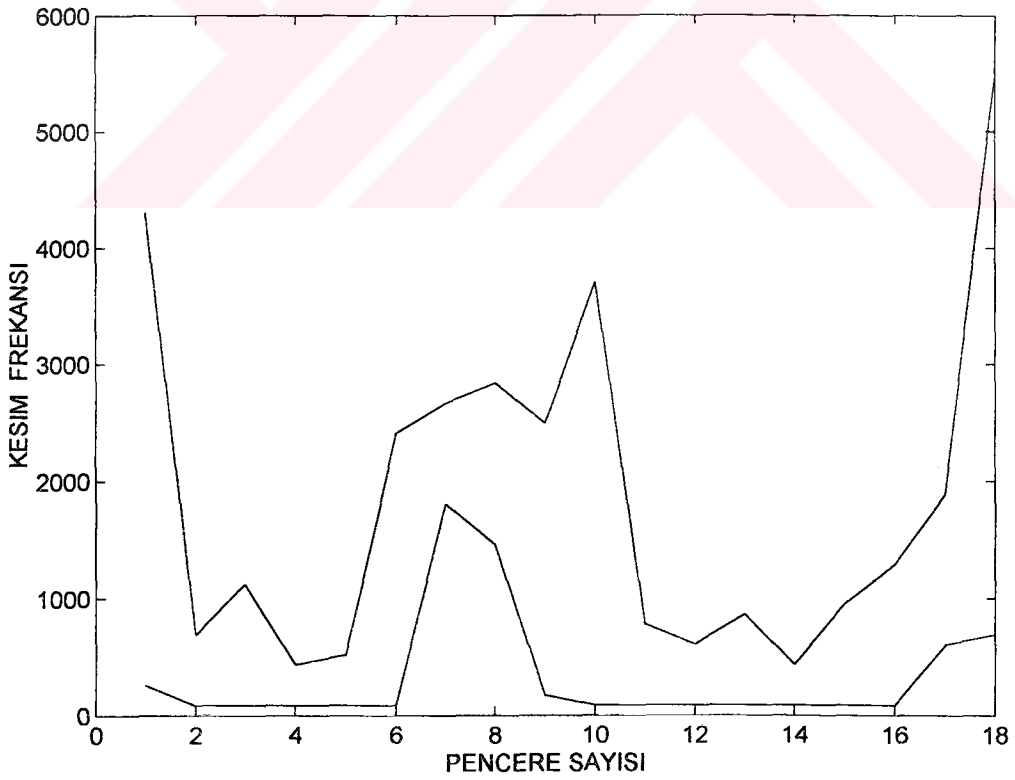
Şekil 5.6. Üretilen beyaz gürültü işareti



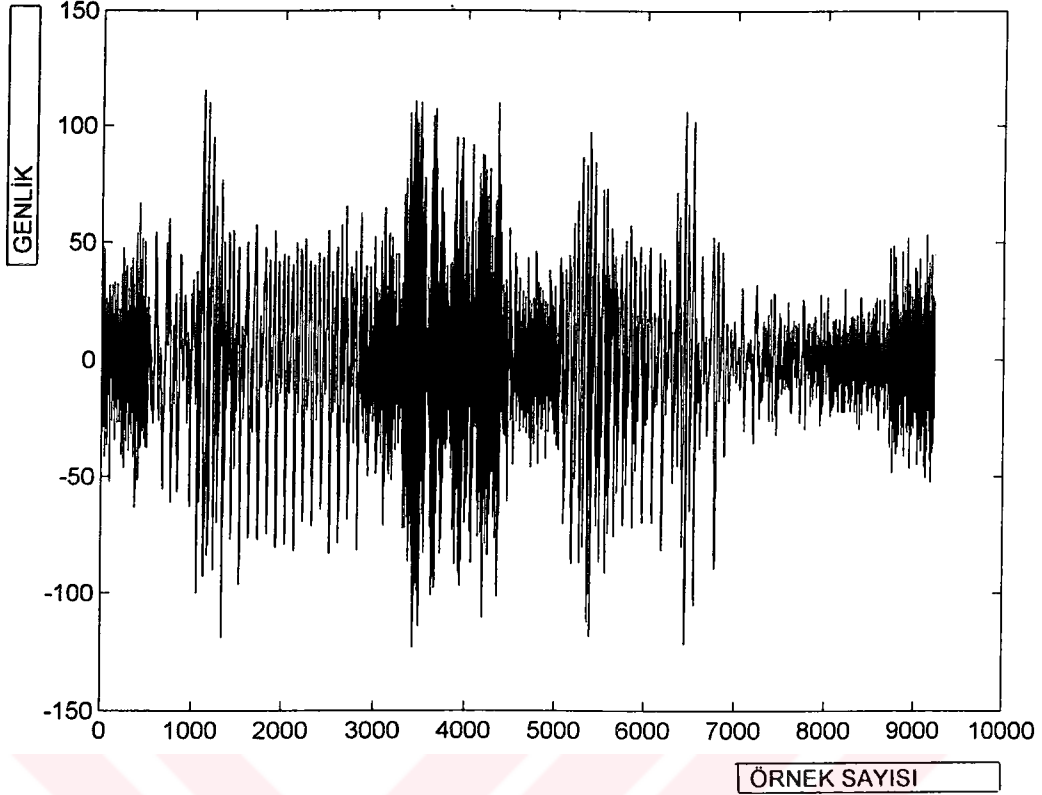
Şekil 5.7. Gürültülü işaret ("Konuşma", Girişteki İGO = 5 dB)



Şekil 5.8. 512 örneklilik pencerelerle elde edilmiş güç tayfları



Şekil 5.9. Bulanık mantık karar vericinin belirlediği Alt ve Üst kesim frekansları



Şekil 5.10. Gürültüsü azaltılmış işaret

Yazılım, 512 yerine 1024, 256, 128'lik pencereler için çeşitli örnekler ve farklı İGO değerleri için çalıştırılarak aşağıdaki saptamalar yapılmıştır.

1- Düşük gürültü seviyeleri için ($\text{İGO} > 20$ dB) band geçiren süzgeç, işaret değişimini normal bir şekilde izlemektedir. Bu belirlemeden bulanık mantık karar vericinin ürettiği kararların başarılı olduğu söylenebilir.

2- Pencerelemenin getirdiği frekans-zaman çözünürlüğü etkileşimi yöntemin başarısını olumsuz olarak etkilemektedir. Konuşma örneklerindeki ses (frekans bandı) değişimlerinin ani olarak izlenebilmesi için 128 örneklik pencereler dahi yeterli olmamaktadır. Daha düşük sayıda örnek kullanıldığında ise frekans çözünürlüğü kötüleştiğinden işaretin gürültüsü etkin bir şekilde azaltılamamaktadır.

3- Band geçiren süzgecin geçirme bandının her pencere için değişmesi çıkıştaki seste akustik bozulmalara yol açmaktadır.

4- İşaretin seviyesinin zayıfladığı (gürültününün işarete yakın değerler aldığı) pencerelerde bulanık mantık karar verici hatalı sonuçlar üretebilmektedir.

5- Pencereler ses değişimleri ile senkronize olmadığından, özellikle 256 örnekten büyük pencere boyları için, güç tayflarında işaretin hem düşük frekanslı hem de yüksek frekanslı bileşenleri görülmektedir. Bunun sonucunda, band geçiren süzgecin geçirme bandı genişlemekte ve süzgeçleme etkisi ortadan kalkmaktadır.

6- İGO 5dB'ten daha küçük değerlerde sistemin çalışması çok sağlıklı değildir.

5.3. Gürültü Azaltmada Bulanık Mantık Temelli Yeni Bir Yaklaşım

Gürültülü işaretlerin gürültü oranlarının azaltılmasının, bulanık mantık denetleyici temelli band geçiren süzgeç sistemi ile gerçekleştirilmesinde oluşan ve yukarıda sıralanan sakıncaların giderilmesi için sözkonusu probleme yeni bir çözüm geliştirilmiştir.

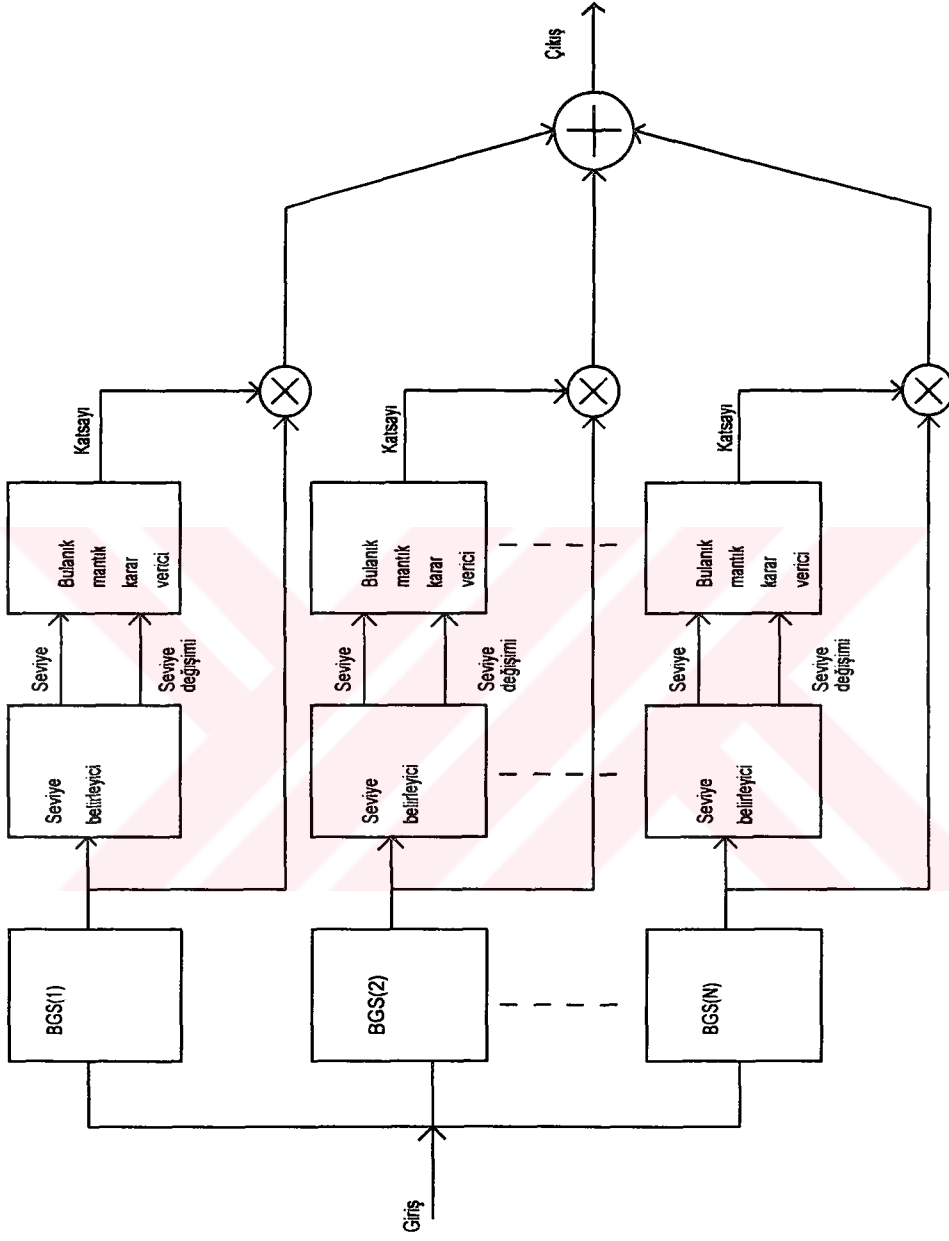
Yöntem, prensip olarak, zamana bağlı frekans bileşenleri belirlenmiş bir işaretin, belirli ölçütlere bağlı olarak incelenmesi ve bu inceleme sonucunda sadece gürültü içeren bölgelerin yok edilmesine ya da büyük oranda zayıflatılmasına dayanmaktadır. Önerilen yöntem üç aşamalı olarak gerçekleştirilmektedir.

Öncelikle, gürültülü işaretin zaman-frekans eksenlerinde ayrıştırılması gerçekleştirilir. Bu amaçla 4. Bölümde incelenen KSFD ya da BGSŞ yaklaşımından biri kullanılabilir. KSFD'ne göre, özellikle frekans ve zaman çözünürlüklerinin bağımsız olarak seçilebilmesine olanak sağlaması nedeniyle bu sistemde BGSŞ yaklaşımı kullanılmıştır. Bu amaçla, incelenilen işaret istenilen sayıdaki BGS'ten geçirilerek öncelikle frekans bileşenlerine ayrıştırılmıştır. Daha sonra, her frekans bileşeninin genliğinin mutlak değeri alınmış ve istenilen uzunluktaki işaret parçalarına bölünerek, her parçanın ortalama değeri hesaplanmıştır. Bu şekilde işaret, frekans bileşenlerinin ortalama seviyelerinin zamana bağlı değişimlerinin incelenebileceği bir şekle getirilmiştir. Burada amaç, gürültülü işaretin, belirli bir zaman diliminde, hangi

frekans bileşenlerinden oluştuğunun ve bu bileşenlerin seviyelerinin belirlenmesidir. Bu şekilde, sadece gürültü içeren işaret parçalarının belirlenmesi ve yok edilmesi mümkün olabilmektedir. İncelenen işaretler (özellikle konuşma işaretleri), ses değişimlerine göre, zamana bağlı olarak çeşitli frekanslarda bileşenler içermektedirler. Oysa, beyaz gürültü niteliğindeki gürültü işaretleri, zamana bağlı olarak tüm frekans bileşenlerine hemen hemen eşit yayılmış ve seviye olarak oldukça tekdüze bir değişim göstermektedirler. Ayrıca, sesin temel karakterini belirleyen frekans bileşenlerine oranla, beyaz gürültü seviyesi genel olarak oldukça düşük kalmaktadır. Bu nedenle, frekans bileşenlerinin seviyelerinin zamana bağlı değişimlerinden, sadece gürültü içeren bölgelerin belirlenmesi, İGO ve işaretin niteliğine göre belirli bir başarı ile gerçekleştirilebilmektedir.

İkinci aşamada, herbir frekans bandındaki bileşenlerin, zamana bağlı değişimlerinden sadece gürültü içeren parçaların belirlenmesi gerçekleştirilir. Bu aşamada gerekli olan karar verme işleminde bulanık mantıktan yararlanılmıştır. Bulanık mantık sistemi için giriş değişkenleri, işaret parçalarına ait seviyeler ve bu seviyelerin değişimleri, çıkış ise işaret parçasının çarpılacağı katsayı değeridir.

Son aşamada, her işaret parçası, bulanık mantık karar vericinin ürettiği katsayı ile çarpılır. Bu işlemle sadece gürültü içeren işaret parçaları "0", bilgi içeren işaret parçaları da "1" ile çarpılarak, sadece gürültü içeren kısımlar yok edilir, diğer kısımlar aynen korunur. Bulanık mantık temelli karar verme sistemi, işaret parçasının kesin olarak gürültü ya da kesin olarak bilgi içerdiği durumların dışında seviye ve seviye değişimine göre "0" ve "1" arasında bir katsayı üretir. Bu durumdaki işaret parçalarının genliklerinin bir miktar düşürülerek çıkışa aktarılması sözkonusudur. Bu işlem sonucunda, gürültü içeren parçalardan arındırılmış olan işaretin tüm bantlardaki bileşenleri toplanarak işaret yeniden sentezlenir.

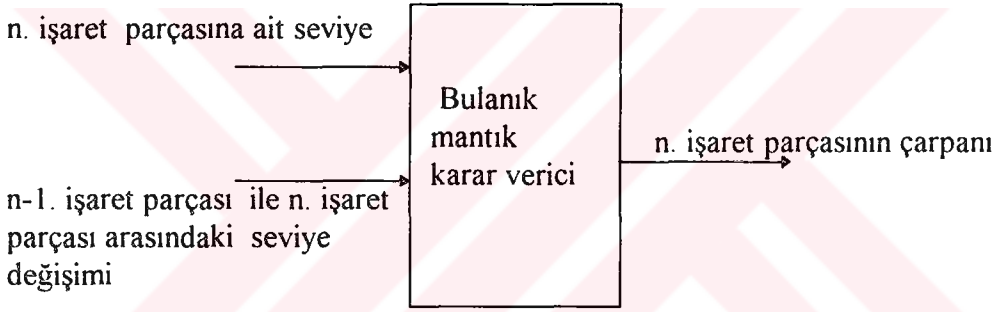


Şekil 5.11. Sistemin blok diyagramı

Sonuçta girişe göre gürültüsü olabildiğince azaltılmış bir işaret elde edilir. Şekil 5.11’de sistemin prensibine ait blok diyagramı verilmiştir.

Yöntemin başarısı, gürültülü işaretin, zaman-frekans düzleminde sadece gürültü içeren bölgelerin diğer bölgelere göre kapladığı alana bağlıdır. Bu açıdan, özellikle tek konuşmacının sesinden oluşmuş konuşma işaretleri için önerilen yöntem oldukça elverişlidir.

İşaretin, BGSŞ ile zaman-frekans ayrışımının ne şekilde oluşturulduğu, 4. Bölümde verildiğinden, bu ayrıtta ağırlıklı olarak bulanık mantık karar vericinin tanıtımı ve işleyişi üzerinde durulacaktır. Bulanık mantık temelli karar vericiye ilişkin blok diyagramı Şekil 5.12’ de gösterilmiştir.



Şekil 5.12. Bulanık mantık karar vericiye ilişkin blok diyagramı

Karar vericinin 1. girişi, işaret parçasına ilişkin ortalama seviyedir. Bu büyüklük, incelenen işaret parçasının sadece gürültü mü yoksa işaret mi içerdiğine ilişkin en önemli bilgiyi verir. Bu giriş değişkeni için, üç üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Bunlar: DÜŞÜK, ORTA ve YÜKSEK olarak adlandırılmışlardır.

YÜKSEK seviye, işaret parçasının seviye bakımından diğer işaret parçalarından (özellikle sadece gürültü içerenlerden) belirgin bir şekilde ayrıştırılabildiği seviyeleri kapsamaktadır.

DÜŞÜK seviye, sadece gürültü içeren işaret parçalarını kapsamaktadır.

ORTA seviye, yukarıdaki iki seviye bölgesinin ortasında yer almaktadır. İGO ve asıl işaretin özelliklerine göre, bu seviyede asıl işaretin düşük seviyeli bileşenleri ya da gürültü olabilir.

Yukarıda incelenen SEVİYE değişkeninin yanısıra, işaret parçalarının seviye değişimi de SDEG giriş değişkeni olarak kullanılmıştır. Bu değişken, özellikle seviyenin ORTA olduğu durumlarda, incelenen işaret parçasının sadece gürültü mü, yoksa asıl işaretin detaylarını mı içerdiğinin belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır. Burada gürültünün, asıl işarete göre oldukça tekdüze (genlik olarak değişimi düşük) olması özelliğinden yararlanılmıştır. SDEG giriş değişkeni, SEVİYE giriş değişkenine benzer olarak üç bölgeye ayrılmıştır; ancak işaret parçaları arasındaki fark pozitif ya da negatif olabileceğinden, SDEG giriş değişkeni için beş üyelik fonksiyonu oluşturulmuştur. Bunlar, PYÜKSEK (pozitif yüksek), PORTA (pozitif orta) , SIFIR, NORTA (negatif orta) , NYÜKSEK (negatif yüksek) olarak adlandırılmışlardır. Şekil 5.13'te SEVİYE ve Şekil 5.14'te SDEG değişkenlerine ilişkin üyelik fonksiyonları gösterilmiştir.

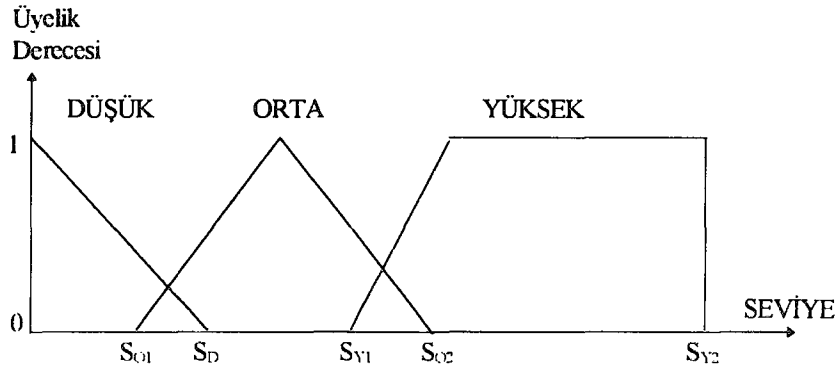
Bulanık mantık karar verici çıkışı, ilgili işaret parçasının çarpılacağı katsayıdır. KATSAYI olarak adlandırılan bu değişken de üç bölgeye ayrılmıştır. Bu bölgeler YÜKSEK, ORTA ve DÜŞÜK üyelik fonksiyonları ile tanımlanmışlardır.

YÜKSEK üyelik fonksiyonu, bilgi içerdiği kesin olan işaret parçaları için kullanılmıştır.

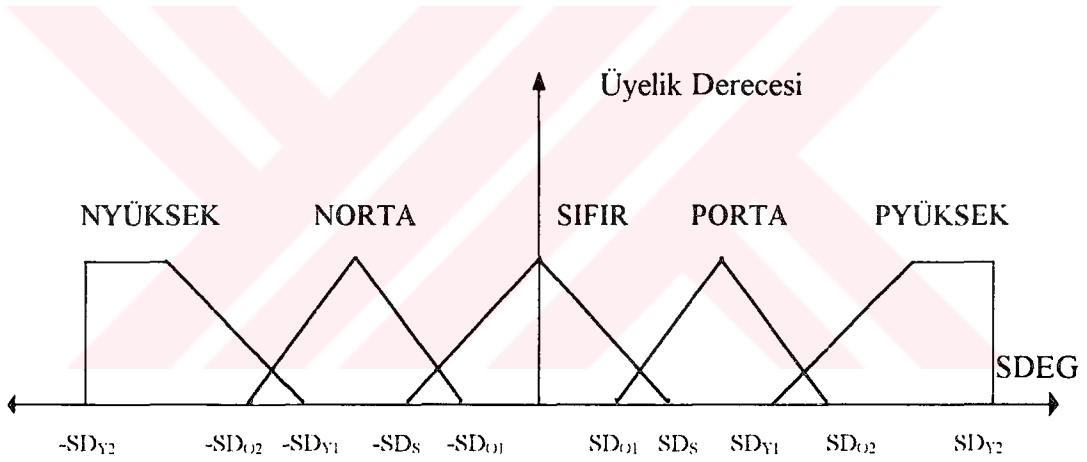
ORTA üyelik fonksiyonu, kararların kesin olmadığı durumlar için kullanılmıştır.

DÜŞÜK üyelik fonksiyonu, bulanık mantık karar vericinin kesin olarak sadece gürültü içerdiğine karar verdiği işaret parçaları için kullanılmıştır.

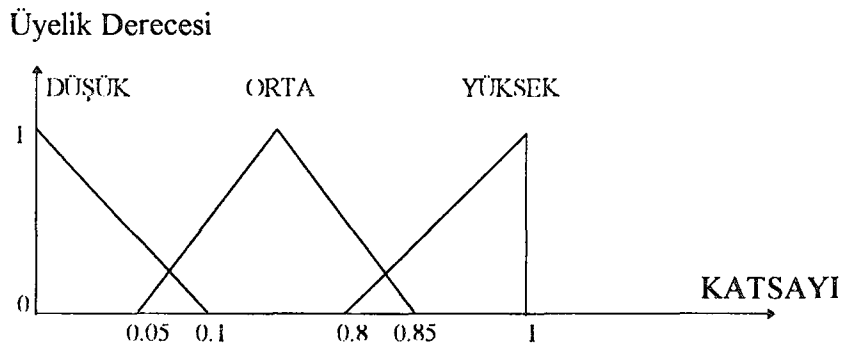
KATSAYI çıkış değişkenine ilişkin üyelik fonksiyonları Şekil 5.15.'te gösterilmiştir. Yukarıda açıklanan giriş ve çıkış değişkenlerine ilişkin bulanık mantık kural tabanı tablo halinde Tablo 5.3' te verilmiştir.



Şekil 5.13. SEVİYE Giriş değişkenine ilişkin üyelik fonksiyonları



Şekil 5.14. SDEG Giriş değişkenine ilişkin üyelik fonksiyonları



Şekil 5.15. KATSAYI Çıkış değişkenine ilişkin üyelik fonksiyonları

Kuralların oluşturulmasında şu temel önermeler kullanılmıştır.

- 1- İşaret parçasının seviyesi YÜKSEK ise katsayı YÜKSEK' tir.
- 2- İşaret parçasının seviyesi ORTA ve seviye değişimi YÜKSEK ise, katsayı YÜKSEK'tir.
- 3- İşaret parçasının seviyesi DÜŞÜK ise katsayı DÜŞÜK 'tür.
- 4- İşaret parçasının seviyesi ORTA ve seviye değişimi SIFIR ise, katsayı DÜŞÜK'tür.
- 5- İşaret parçasının seviyesi ORTA ve seviye değişimi ORTA ise, katsayı ORTA'dır.
- 6- İşaret parçasının seviyesi ORTA ve seviye değişimi YÜKSEK ise katsayı YÜKSEK'tir.

Tablo 5.3. Bulanık mantık karar vericiye ilişkin kural tabanı

KATSAYI	SEVİYE			
		DÜŞÜK	ORTA	YÜKSEK
	NBÜYÜK	DÜŞÜK	YÜKSEK	YÜKSEK
	NORTA	DÜŞÜK	ORTA	YÜKSEK
SDEG	SIFIR	DÜŞÜK	DÜŞÜK	YÜKSEK
	PORTA	DÜŞÜK	ORTA	YÜKSEK
	PBÜYÜK	DÜŞÜK	YÜKSEK	YÜKSEK

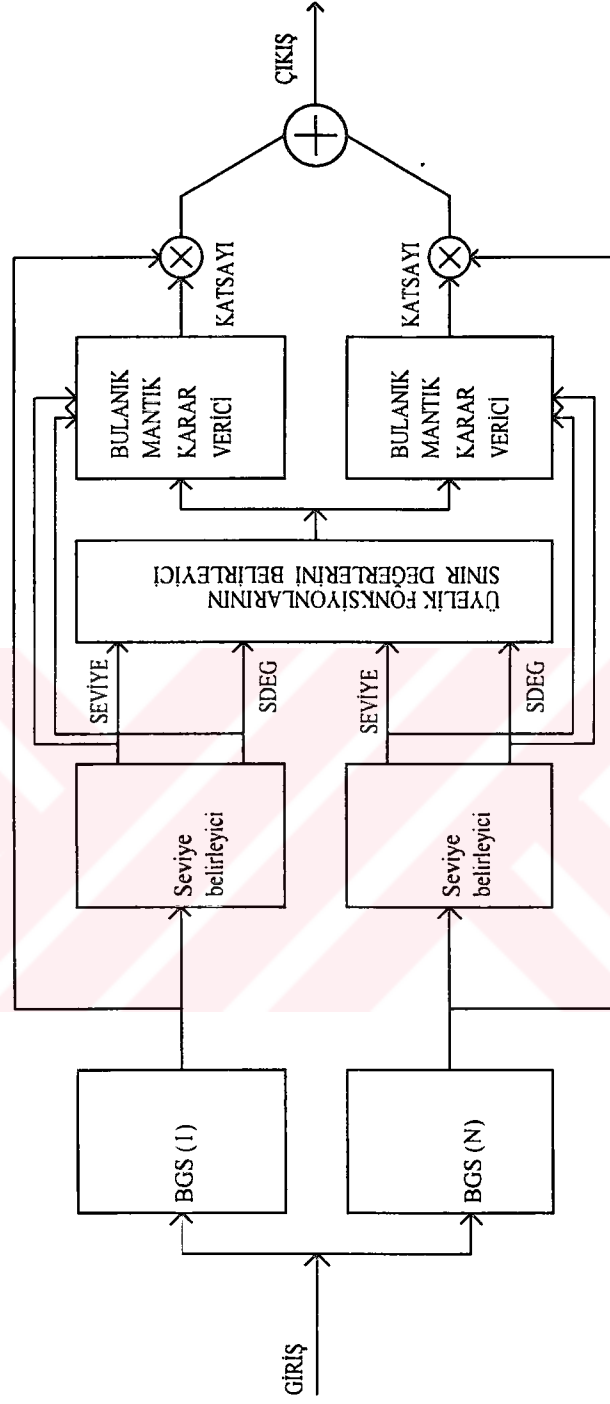
KATSAYI çıkış değişkeni dışındaki tüm üyelik fonksiyonlarının yatay eksen sınırları (S ve SD değerleri), işaretin özellikleri ve İGO'na bağlı olarak değişeceğinden, bu sınırların belirlenmesinde iki yaklaşım sözkonusudur. Birinci yaklaşımda, gürültü oranı azaltılmak istenilen işaretin, BSGS ile zaman frekans analizi yapılarak elde edilen SEVİYE ve SDEG değerleri incelenerek, üyelik fonksiyonlarına ait sınırlar kullanıcı tarafından, her örnek için özel olarak tanımlanabilir. Diğer yaklaşımda ise, bu işlem uygun bir algoritma ile otomatik olarak gerçekleştirilebilir. Doğal olarak pratiklik açısından bu tip bir uyarlamalı yaklaşım daha üstündür. Bu tezde ikinci yaklaşım tercih edilmiştir.

İşlemin otomatik olarak gerçekleştirilmesi için şu yaklaşım kullanılmıştır. Çeşitli sözcüklere ilişkin gürültü içermeyen ses örnekleri incelenerek, en yüksek frekans

bandındaki (örneğin, 25 süzgeç, için 11025 Hz örnekleme frekansında, yaklaşık 5250-5500 Hz aralığındaki) süzgeçin çıkışında genel olarak oldukça düşük seviyede ve çoğu durumda da hemen hemen hiç işaret bileşeninin bulunmadığı tespit edilmiştir. Bunun yanısıra, beyaz gürültü tüm frekans bantlarına (tayf bileşenlerine) eşit olarak dağılmaktadır (Roberts 1986). Bu iki tespit sonucu, işaretin en yüksek frekans bandındaki seviyesinin, gürültü için bir ölçü oluşturacağı belirlenmiştir. Sonuç olarak, SEVİYE ve SDEG giriş değişkenlerine ait üyelik fonksiyonlarının sınırları aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur:

En yüksek frekans bandındaki süzgeç çıkışından elde edilen seviye değerlerinin ortalama değeri, bir katsayı (burada $k=3$) ile çarpılarak seviye giriş değişkeninin DÜŞÜK üyelik fonksiyonunun sınırı (S_D) olarak alınmıştır. Seviye değişkeninin YÜKSEK değerinin üst sınırı olarak (S_{Y2}), tüm bantlardaki işaret parçalarının en büyük seviye değeri alınmıştır. Seviye giriş değişkeninin ORTA üyelik fonksiyonunun üst sınırı (S_{O2}) için, her bir bandın seviye değerlerinin ortalamalarına bakılmış ve ortalaması en büyük olan bandın değeri bir katsayı ($k=1.5$) ile çarpılmıştır. SEVİYE değişkeninin YÜKSEK, ORTA ve DÜŞÜK üyelik fonksiyonlarının üç temel sınırı belirlendikten sonra, bu değerler ışığında ve bulanık mantıkta üyelik fonksiyonlarının sınırlarının oluşturulması ile ilgili özellikler (Vadiee 1993) yardımıyla, S_{O1} ve S_{Y1} değerleri de geometrik olarak türetilmiştir.

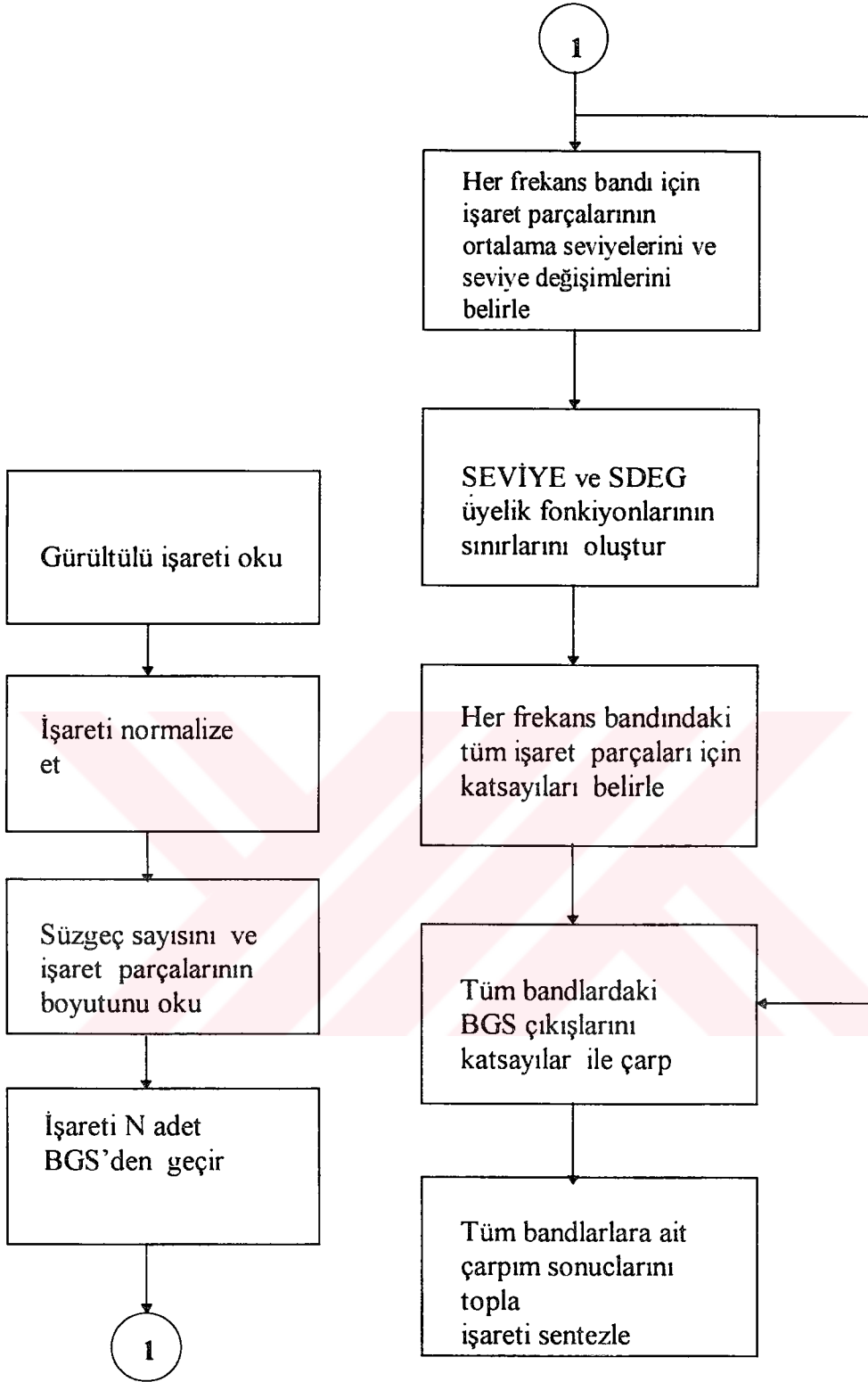
SDEG giriş değişkenine ilişkin SIFIR üyelik fonksiyonunun sınırı (SD_S) olarak, işaretin en yüksek frekans bandında oluşturduğu en büyük değer alınmıştır. Çünkü seviye değişimi genellikle -sadece beyaz gürültü içeren- bu bantta en küçük değeri almaktadır. PYÜKSEK üyelik fonksiyonunun üst sınırı (SD_{Y2}) için, tüm bantlardaki tüm işaret parçalarına ilişkin en yüksek seviye değişimi değeri alınmış ve diğer sınırlar geometrik olarak bu değerlerden türetilmiştir. Sınırların otomatik olarak belirlenmesi ile ilgili bir örnek EK D' de verilmiştir. Bu şekilde, işaretin özelliklerine ve İGO'na göre bulanık mantık karar vericinin, kendisini otomatik olarak uyarlaması sağlanmıştır.



Şekil 5.16. Uyarlamalı sistemin blok diyagramı

Elde edilen sonuçlardan, yukarıda açıklanan sınır belirleme mantığının oldukça başarılı olduğu görülmüştür. Şekil 5.16 da uyarlamalı sistemin blok diyagramı verilmiştir.

Bulanık mantık karar verici için, durulaştırma yönteminin belirlenmesi de önem taşımaktadır. Farklı durulaştırma yöntemleri ile yapılan denemelerde, durulaştırma yönteminin sonuçları belirgin bir şekilde etkilediği gözlenmiştir. Durulaştırma yönteminin seçiminde şu kriter kullanılmıştır: Özellikle, bulanık mantık karar vericinin, incelenen işaret parçasının sadece gürültü içerdiğini belirlemesi durumunda, katsayısının 0'a olabildiğince yakın, asıl işarete ilişkin bilgi içerdiğini belirlemesi durumunda da 1'e olabildiğince yakın olması gerekmektedir. Bu şekilde, asıl işareti tanımlayan belirgin işaret parçalarının, kayıpsız olarak çıkışa aktarılması söz konusu olacaktır. Bu kriter doğrultusunda, önerilen sistem için "En Büyük Orta" ya da "MOM" olarak bilinen durulaştırma yönteminin, diğer uygulamalarda daha sık tercih edilen "Ağırlık Merkezi" yöntemine göre daha iyi sonuçlar vereceği belirlenmiştir.



Şekil 5.17. Önerilen sistemin yazılımına ait işlemlerin blok gösterimi

Yukarıda temel prensipleri açıklanan gürültü azaltma sisteminin, yazılım olarak gerçekleştirilmesine ilişkin blok diyagramı Şekil 5.17’de verilmiştir. Blok gösterimdeki işlemler şu aşamalarda açıklanabilir.

1. Öncelikle WAV formatlı ses dosyası okunarak bir diziye atanır. Okuma sonrası sıfır seviyeye karşılık gelen 128 sayısı tüm diziden çıkartılarak, işaret +128 -128 arasında değişen alternatif bir işarete dönüştürülür. Daha sonra, belirli bir genlikte ve eleman sayısı 1. aşamada okunan WAV formatlı işarete eşit bir beyaz gürültü işareti oluşturulur.

2. 1. aşamada elde edilen eleman sayıları eşit iki dizi toplanarak, incelenecek gürültülü işaret elde edilir. Bu dizi daha sonra, en büyük değerine bölünerek 1’e normalize edilir.

3. Belirlenmiş sayıdaki band geçiren süzgeçin alt ve üst kesim frekansları, geçirme bandları 0 Hz ile örnekleme frekansının yarısı olan 5512.5 Hz bölgesine eşit olarak yayılacak şekilde belirlenir. Çalışmada, 20 - 50 adet band geçiren süzgeç kullanılmıştır. Genel olarak, süzgeç sayısının artırılması, sonuçlar için olumlu bir etki yaratmakla birlikte, bellek gereksinimi ve işlem sayısı nedeniyle programın çalışma süresini önemli ölçüde arttırmaktadır.

4. 3. aşamada belirlenen geçirme bandlarına bağlı olarak, süzgeç sayısı kadar IIR süzgeç tasarımı yine yazılım tarafından gerçekleştirilir.

5. Gürültü karışmış işaret, ardışık olarak yukarıda tasarlanan BGS’lerden geçirilir. Bu işlem 1’den, süzgeç sayısına kadar devam eden bir döngü ile gerçekleştirilir (Döngünün 1. adımında tüm işaret 1.süzgeçten geçirilir, 2. adımında 2. süzgeçten geçirilir ve işlem süzgeç sayısına kadar yinelenir). Bu işlem sonucunda, süzgeç sayısı kadar satır, işaretin eleman sayısı kadar da sütundan oluşmuş bir matris elde edilir. Bu matrisin 1. satırı, işaretin 1. süzgeçten geçirilmiş şeklini, yani 1. banttaki bileşenini, 2. satırı da 2. banttaki bileşenini içermektedir.

6. Yukarıdaki şekilde elde edilen matrisin her satırı, önceden belirlenmiş sayıdaki elemandan oluşan işaret parçalarına ayrılır. Her işaret parçasının mutlak değeri alınarak, ortalama değeri (SEVİYE) hesaplanır (Bulanık mantık karar vericinin küçük sayılarla işlem yapmasını önlemek amacıyla seviye değerleri 100 ile çarpılmıştır). Benzer şekilde, işaret parçalarının bir önceki ortalama değeri ile farkı alınarak, işaret parçaları arasındaki seviye değişimi de (SDEG) belirlenir. Buradan elde edilen SEVİYE ve SDEG dizileri iki ayrı matrise atanır.

7. Bulanık mantık karar verici giriş büyüklükleri, bu şekilde elde edildikten sonra, SEVİYE ve SDEG değerlerini içeren matrislerin satırlarından (her satır bir banda karşılık gelmektedir) ve kurulan algoritmadan yararlanılarak, üyelik fonksiyonlarının tüm sınırları, incelenen işarete uygun olarak belirlenir.

8. SEVİYE ve SDEG giriş değerleri, her band için bulanık mantık karar vericiye girerek, o bandın tüm işaret parçaları için birer çarpan elde edilir. Bu işlem, yine tüm bandlar için bir döngü ile tekrarlanır. Sonuçta, bulanık mantık karar verici çıkışları (KATSAYI değerleri) yine bir matrise yazılır. Bu matrisin satır-sütun sayısı, 7. aşamada oluşturulan matrislere eşittir. Matrisin elemanları, tüm bandlardaki işaret parçalarının çarpılacağı sayılardan oluşmuştur. Örneğin 1. satırın ilk elemanı 1. bandın, ilk işaret parçası için karar verilen çarpanı içermektedir.

9. Bulanık mantık karar vericiden elde edilen bu katsayılarla, 5. Aşamada elde edilen BGS çıkışları çarpılarak, sadece gürültü içeren işaret kısımlarının temizlenmesi gerçekleştirilir. Örneğin ilk süzgecin ilk işaret parçasını oluşturan sayıdaki elemanı, ilk işaret parçası için belirlenmiş katsayı ile çarpılır. Bu işlem, tüm bandlar ve tüm işaret parçaları için döngüsel olarak gerçekleştirilir. Sonuçlar bir matrise yazılır. Bu matrisin satır sayısı BGS sayısına, sütun sayısı da işaretin eleman sayısına eşittir.

10. 9. aşamada elde edilen, bandlara ayrılmış ve gürültülü kısımları yok edilmiş işaret bileşenleri, basitçe toplanarak işaretin yeniden sentezlenmesi gerçekleştirilir. Bu işlem, 9. aşamada elde edilen matrisin satırlarının alt alta toplanması ile

gerçekleştirilir. Bu şekilde, işaretin sadece gürültü içeren bölgeleri hemen hemen yok edilmiş olunur.

11. Elde edilen işaret, yine WAV formatına çevrilerek işlem tamamlanır.

Kullanılan uygulama yazılımı ve 6, 7, 9 ve 11. adımlarda sözü edilen matris işlemleri EK C' de verilmiştir.

Sistemin çalışmasının daha iyi açıklanabilmesi için bir örnek yardımıyla yukarıdaki her aşama için elde edilen çıkışlar verilecektir. Bu amaçla “Doktora” sözcüğünün kayıtlı olduğu bir ses dosyası kullanılacaktır. Basitlik açısından süzgeç sayısı 5 olarak seçilmiş, ve 150 elemanlık işaret parçaları kullanılmıştır.

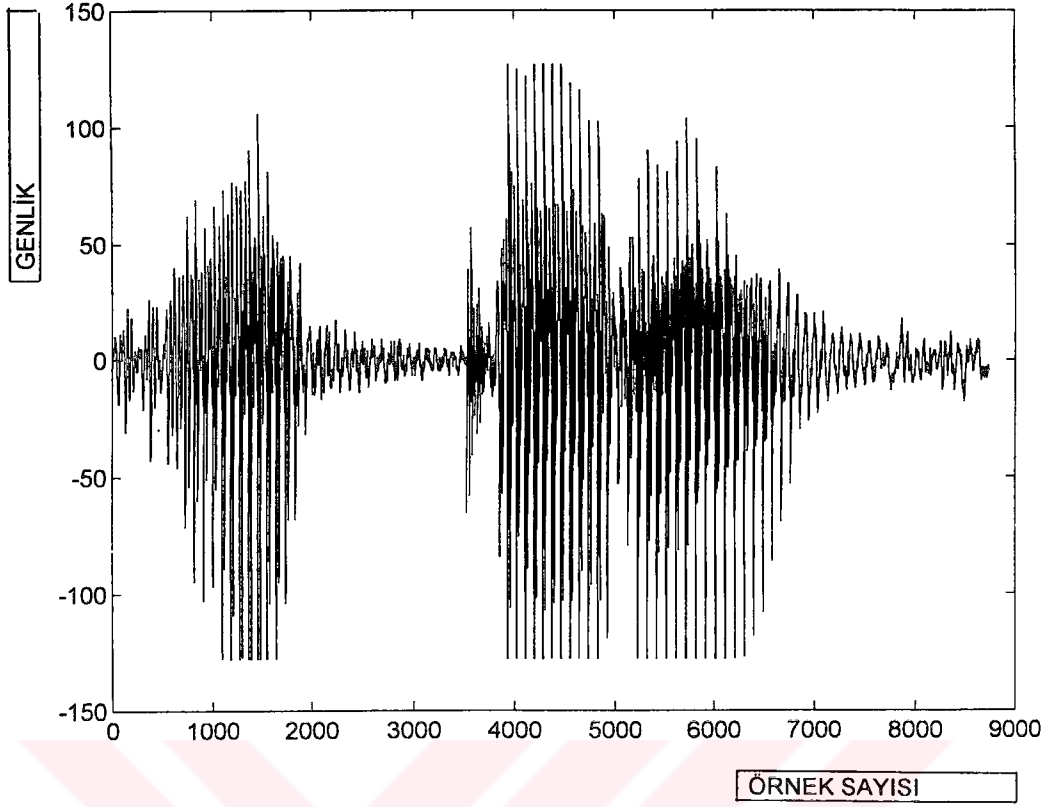
Şekil 5.17’de, “Doktora” sözcüğüne ait işaretin değişimi görülmektedir. Yukarıda da değinildiği gibi, 8 bit çözünürlükteki WAV formatlı dosyalar işaretleri 0-255 arasındaki 256 farklı seviyede saklamaktadır. Bu nedenle, tüm işaretten 128 çıkartılarak, işaret +128 -128 aralığına indirgenir.

Bu örnek için İGO, 10 dB düzeyindedir. Şekil 5.19’ da asıl işaret ve üretilen beyaz gürültünün toplamı normalize edilmiş durumda görülmektedir. Şekil 5.20’de, gürültülü işaretin 5 adet BGS’ten geçirilmesi ile elde edilen çıkış işaretleri toplu halde gösterilmiştir.

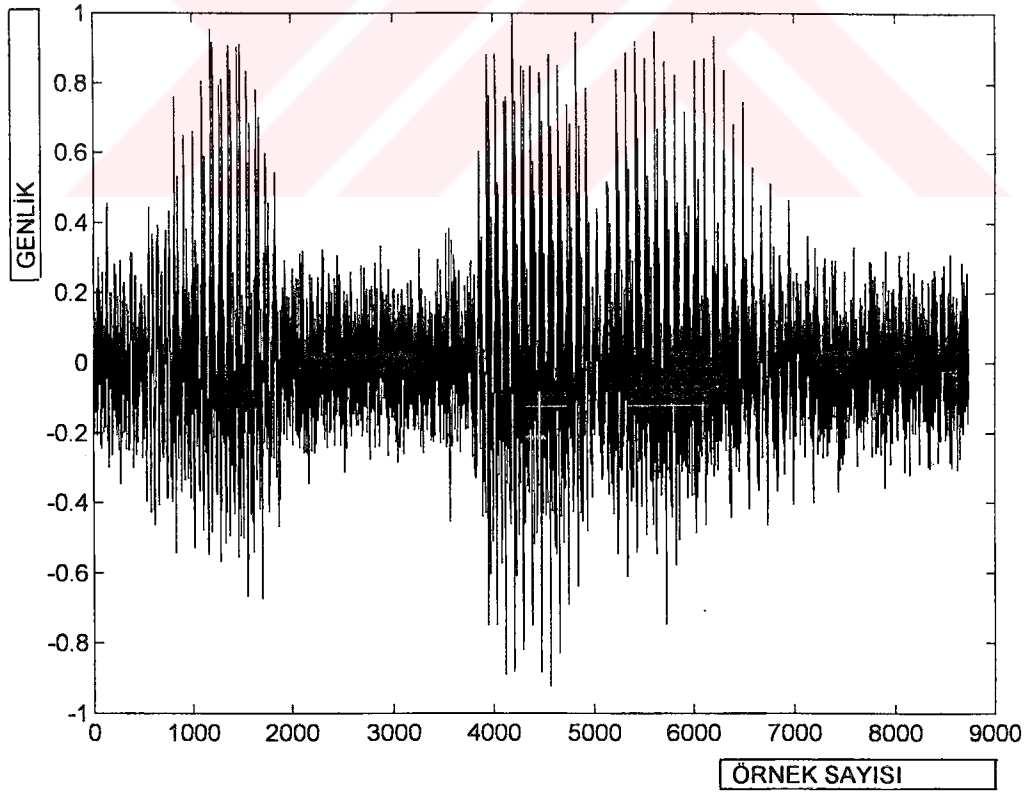
Şekil 5.21, ve 5.22’de BGS çıkışından elde edilen 5 adet işaret bileşeninin 150’şer elemanlık işaret parçalarına bölünmesi ile elde edilen SEVİYE ve SDEG değerleri görülmektedir.

Şekil 5.23’te bulanık mantık karar vericinin SEVİYE ve SDEG giriş büyüklüklerine karşılık ürettiği KATSAYI değerleri 5 band için toplu halde görülmektedir.

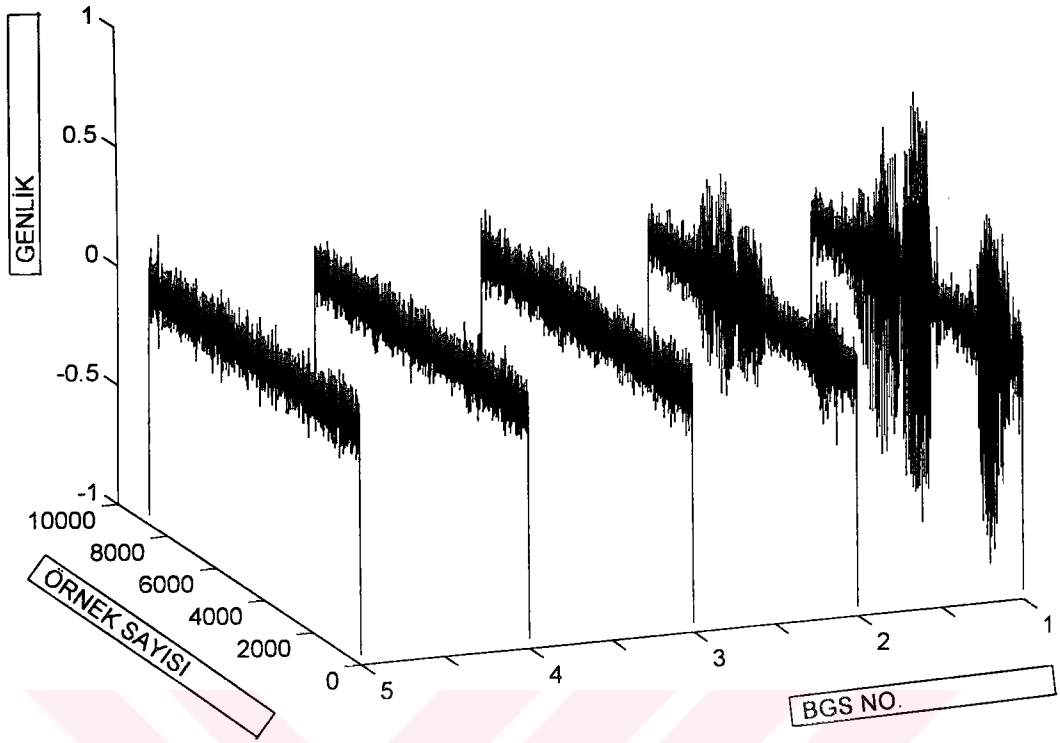
Şekil 5.24’te elde edilen katsayılar ile BGS çıkışlarının çarpımından elde edilen, gürültüsü azaltılmış işaretin her bandtaki değişimi görülmektedir. Şekil 5.25’te tüm bandlardaki, bileşenlerinin toplanması ile sentezlenen çıkış işareti gösterilmiştir.



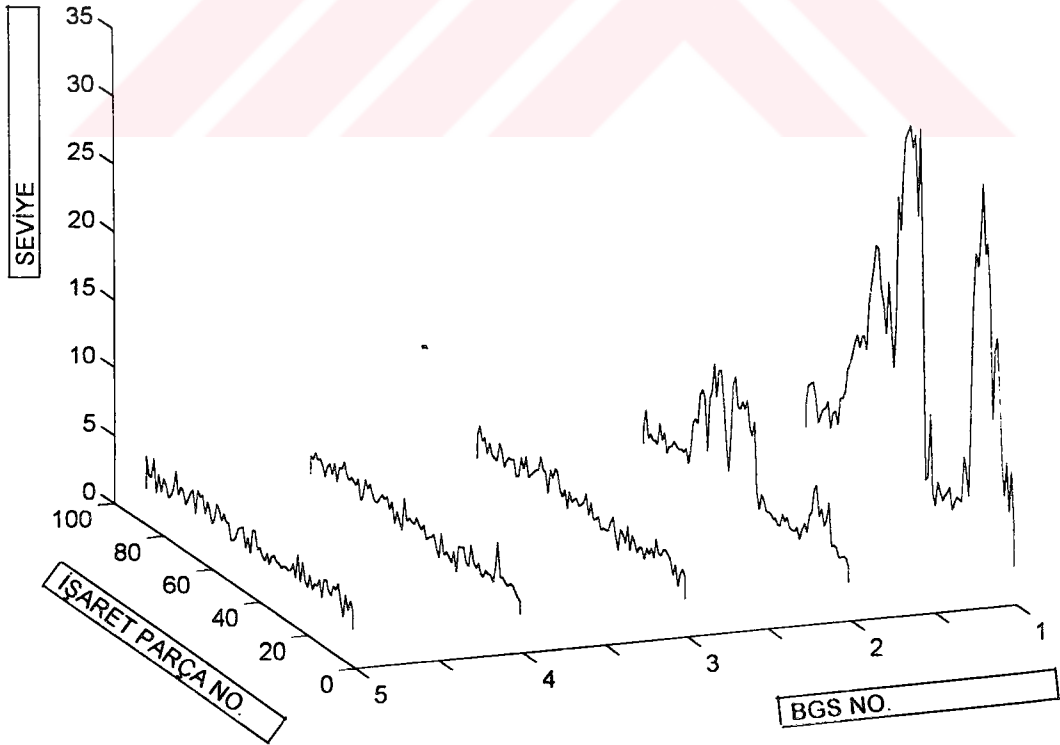
Şekil 5.18. “Doktora” sözcüğüne ilişkin ses işareti



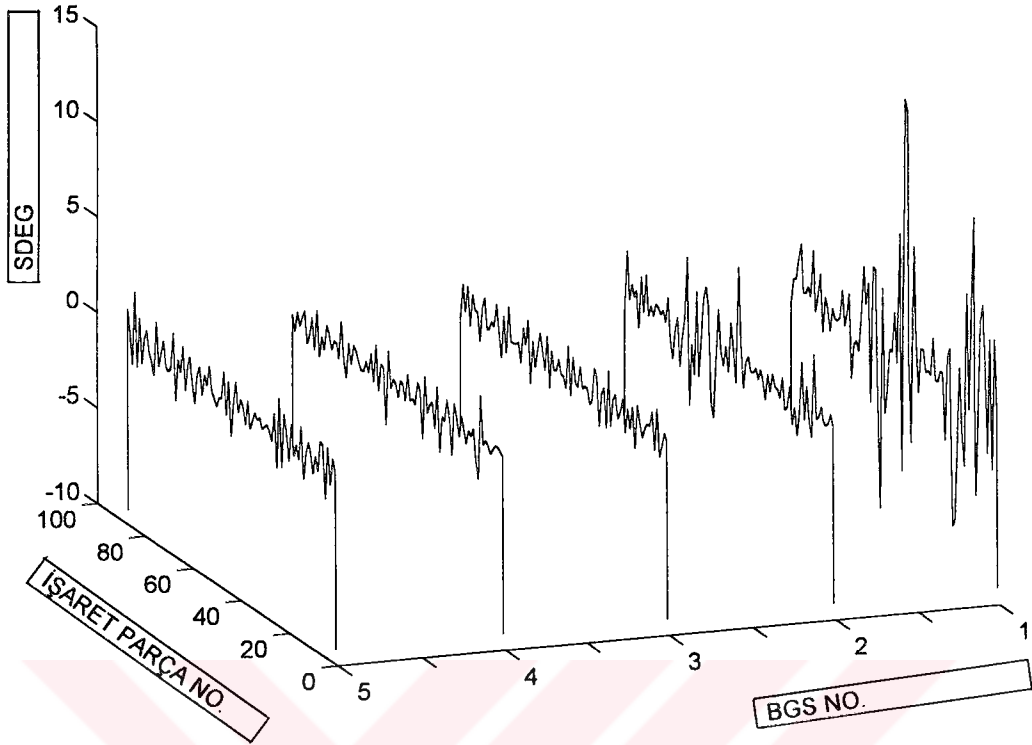
Şekil 5.19. Normalize edilmiş gürültülü işaret



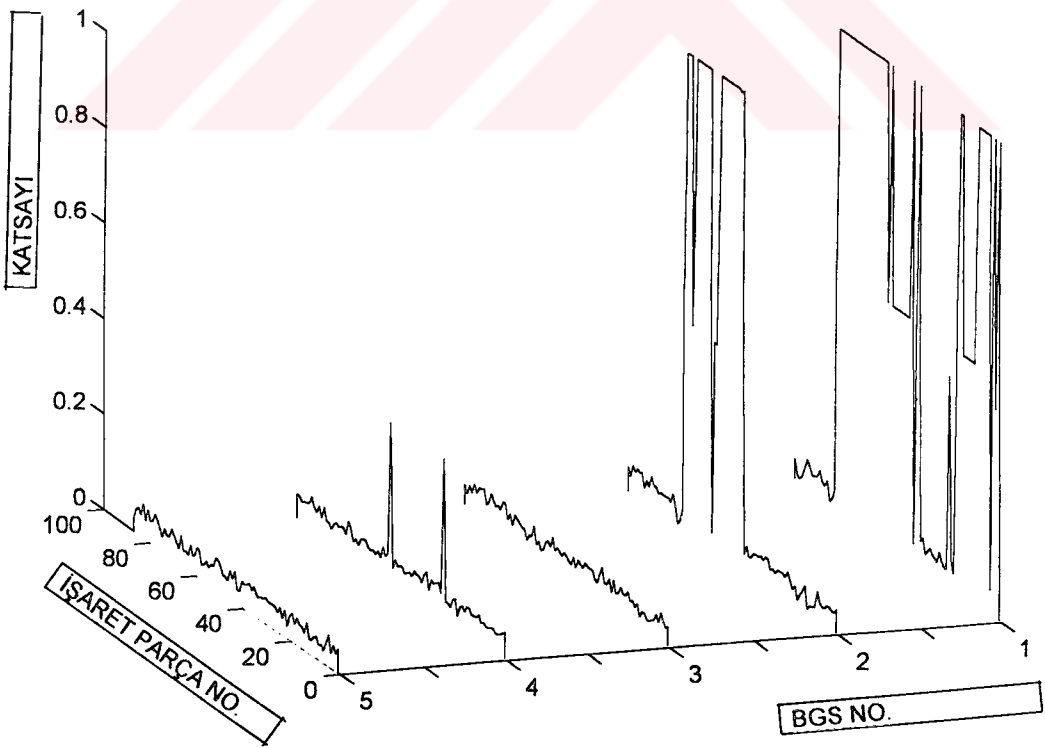
Şekil 5.20. Beş adet BGS çıkışındaki işaretlerin değişimleri



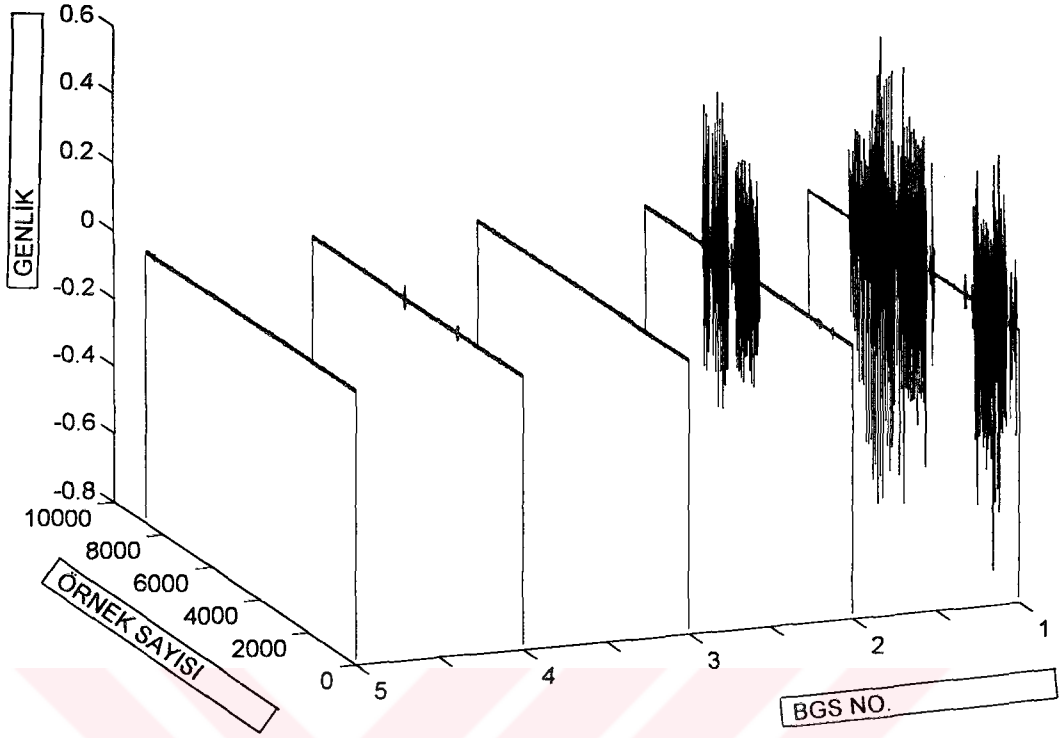
Şekil 5.21. SEVIYE Giriş değişkeninin bandlardaki değişimi



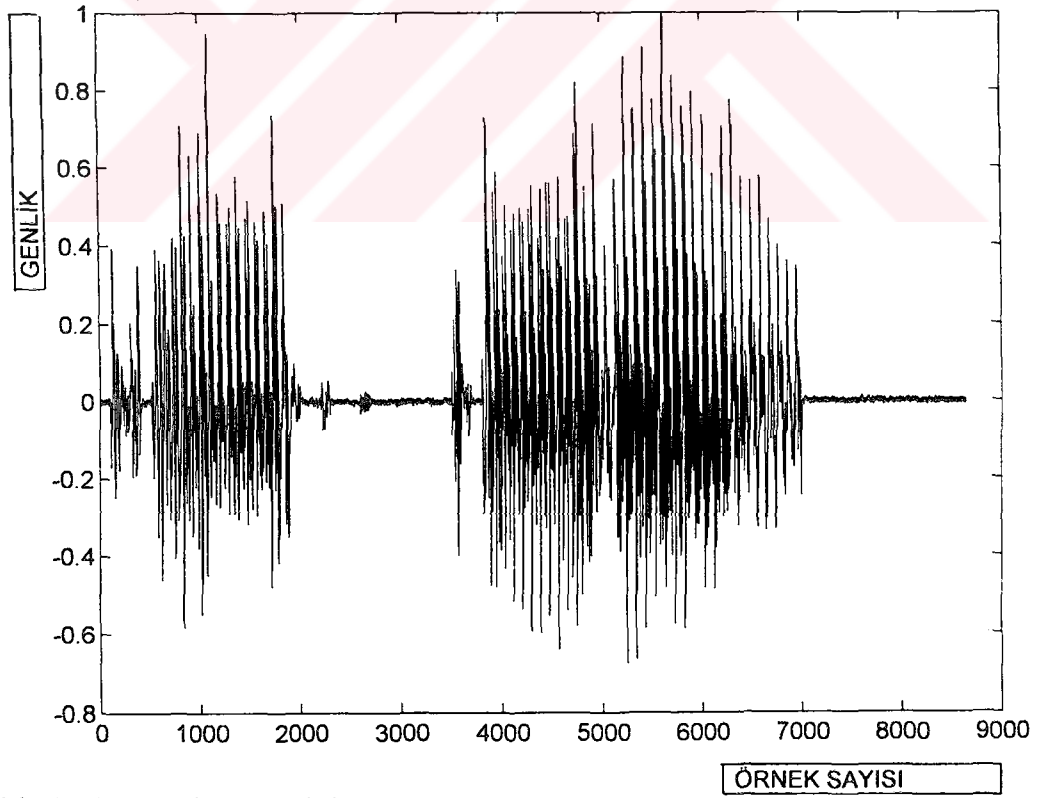
Şekil 5.22. SDEG Giriş değişkeninin bandlardaki değişimi



Şekil 5.23. KATSAYI Çıkış değişkeninin bandlardaki değişimi



Şekil 5.24. BGS çıkışlarının KATSAYI değerleri ile çarpılmış şekli



Şekil 5.25. Gürültüsü azaltılmış işaret

Sistemin çalışması bu şekilde örneklendikten sonra, özellikle bulanık mantık karar vericinin giriş üyelik fonksiyonlarının sınırlarının, işaret özelliklerine göre otomatik olarak uyarlanma yeteneğinin incelenmesi için daha yüksek sayıda süzgeçlerle gerçekleştirilmiş örnekler üzerinde durulacaktır. Bu amaçla

- 1- “Konuşma”,
- 2- “Öğretmen”,
- 3- “Doktora”,

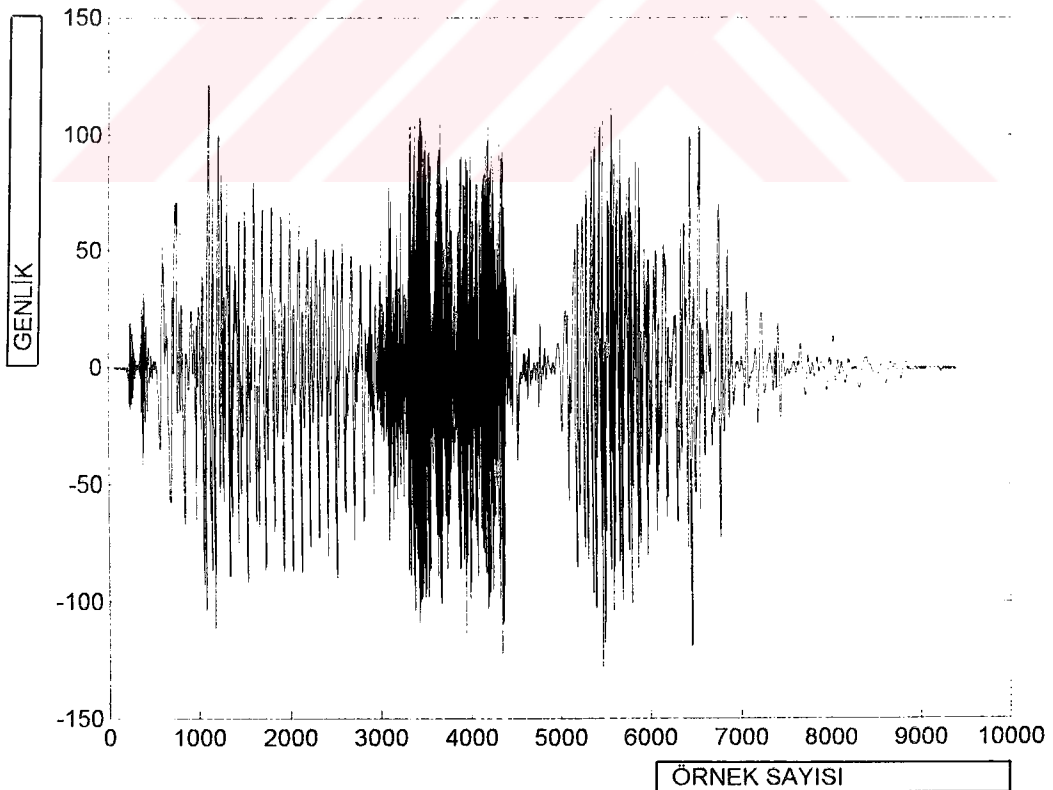
sözcüklerine ilişkin ses işaretleri kullanılacaktır. “Konuşma” örneği için üç farklı gürültü seviyesi ($\text{İGO}=5 \text{ dB}$, 2.5dB ve 0 dB), diğer örnekler için iki farklı gürültü (5 dB , 0 dB) seviyesi için sonuçlar verilmiştir. Tüm örneklerde 50 elemanlık işaret parçaları kullanılmış olup, BGS sayısı 25'tir. Sonuçlar tüm örnekler için oldukça başarılıdır. Sistemin kendi kendini uyarlama özelliği, değişik İGO oranı ve işaret özelliklerinde üyelik fonksiyonlarının sınırlarını en iyi sonuçların alınacağı şekilde ayarlamasını sağlamıştır. Bu özellik sayesinde yöntemin uygulanması pratikleşmiştir.

Uygulama sırasında, kullanıcı tarafından belirlenmesi gereken tek parametre, işaret parçalarının eleman sayısıdır. Bu değer büyük seçildiğinde çıkıştaki sesler daha yumuşak olmakla birlikte işaretin değişimi ani olarak izlenememekte ve bazı seslerin kaybedilmesine yol açmaktadır. Bu nedenle 200, 150, 100 ve 50 elemanlık işaret parçalarından en iyi sonuç alınan tercih edilmelidir.

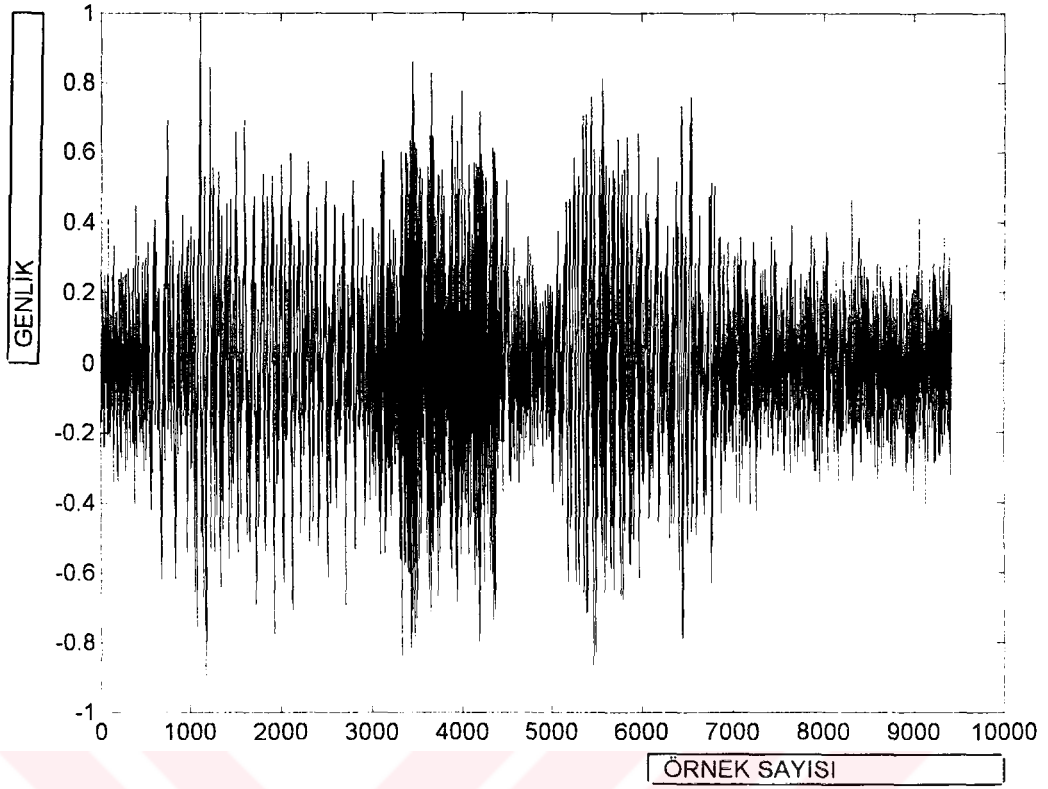
Şekil 5.26'da “Konuşma” sözcüğüne ilişkin asıl işaret, Şekil 5.27'de İGO 5 dB için normalize edilmiş gürültülü işaret görülmektedir. Şekil 5.28 ve 5.29'da SEVİYE ve SDEG değerlerinin 25 adet BGS ve 50 elemanlık işaret parçaları için elde edilmiş değişimleri görülmektedir. Şekillerde X eksenini frekansla ilişkili olup, filtre sayısını göstermektedir. Her band yaklaşık 220 Hz'lik ($5512.5/25$) bir frekans bölgesine karşı gelmektedir. Y eksenini, zamanla ilişkili olup, işaret parçalarının sayısını göstermektedir. Her işaret parçası yaklaşık 4.5 ms'lik ($50/11025$) bir zaman dilimini kapsamaktadır. Z eksenini, ortalama seviye ve seviye değişimini göstermektedir. Bu değerlerden yararlanılarak uyarlanma mantığı ile belirlenmiş bulanık mantık üyelik

fonksiyonları Şekil 5.30 ve 5.31’de görülmektedir. Şekil 5.32’de, bulanık mantık karar vericinin ürettiği katsayı değerleri görülmektedir. Şekil 5.33’te katsayı değerleri ile BGS çıkışlarının çarpımından elde edilen işaret bileşenlerinden sentezlenen gürültüsü azaltılmış işaret görülmektedir. Şekil 5.26 ve 5.27 ile karşılaştırıldığında ve ses örnekleri dinlendiğinde önerilen yöntemin 5.2. ayrıtında incelenen yöntemden hem gürültünün azaltılması, hem de akustik kalite bakımından oldukça üstün olduğu gözlenmektedir.

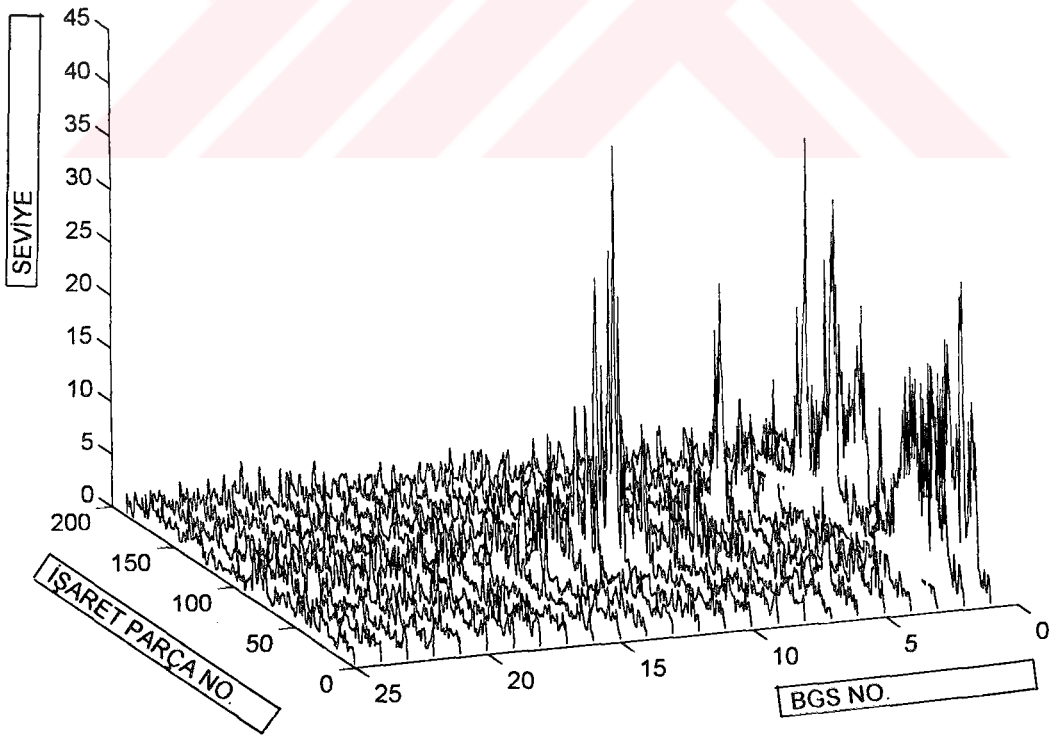
Yöntemin İGO oranına bağlı kararlılığının sınanması için yukarıdaki işlemler, “Konuşma” örneğinin İGO 2.5dB ve İGO 0 dB için tekrarlanmıştır. İGO = 2.5 dB için alınan sonuçlar Şekil 5.34-5.40’ta , İGO =0 dB için alınan sonuçlar Şekil 5.41-5.47’de verilmiştir. Benzer olarak “Öğretmen” sözcüğüne ilişkin İGO =5 dB, ve İGO=0 dB için gürültülü ve gürültüsü azaltılmış işaretlerin değişimleri ve üyelik fonksiyonlarının sınırları Şekil 5.48-5.56’da verilmiştir. Son örnek olarak incelenen “Doktora” örneğine ilişkin sonuçlar Şekil 5.57-5.65’te görülmektedir. Tüm gürültülü ve gürültüsü azaltılmış işaretleri içeren WAV formatlı ses dosyaları bir disket ile Ekler kısmında verilmiştir.



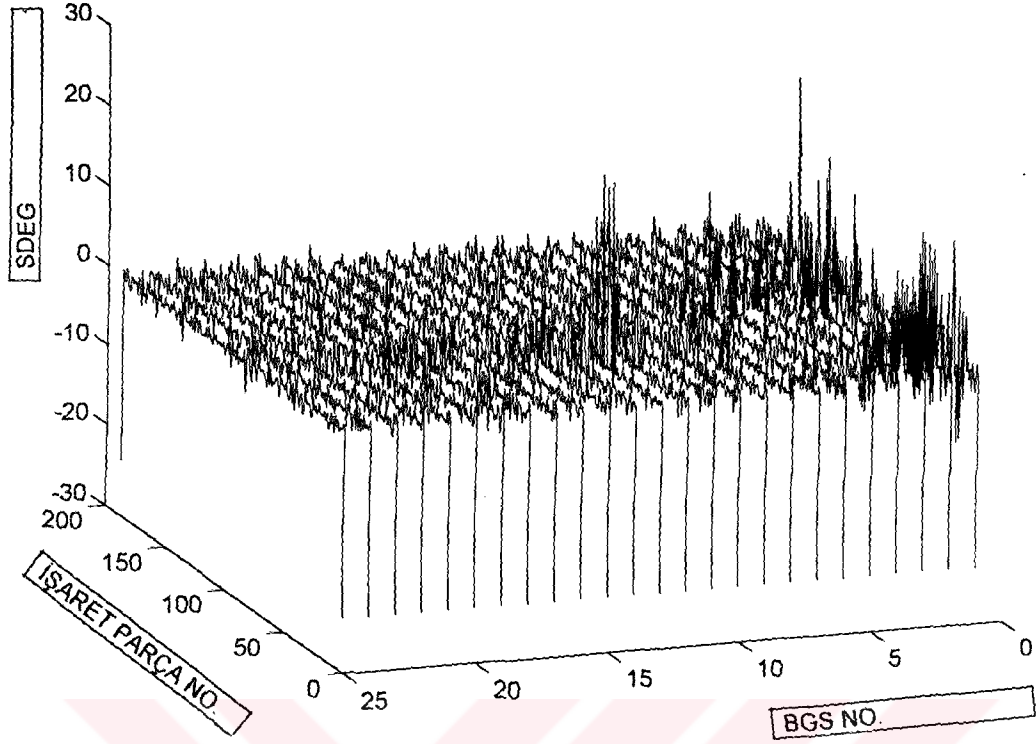
Şekil 5.26. “Konuşma” sözcüğüne ilişkin ses işareti



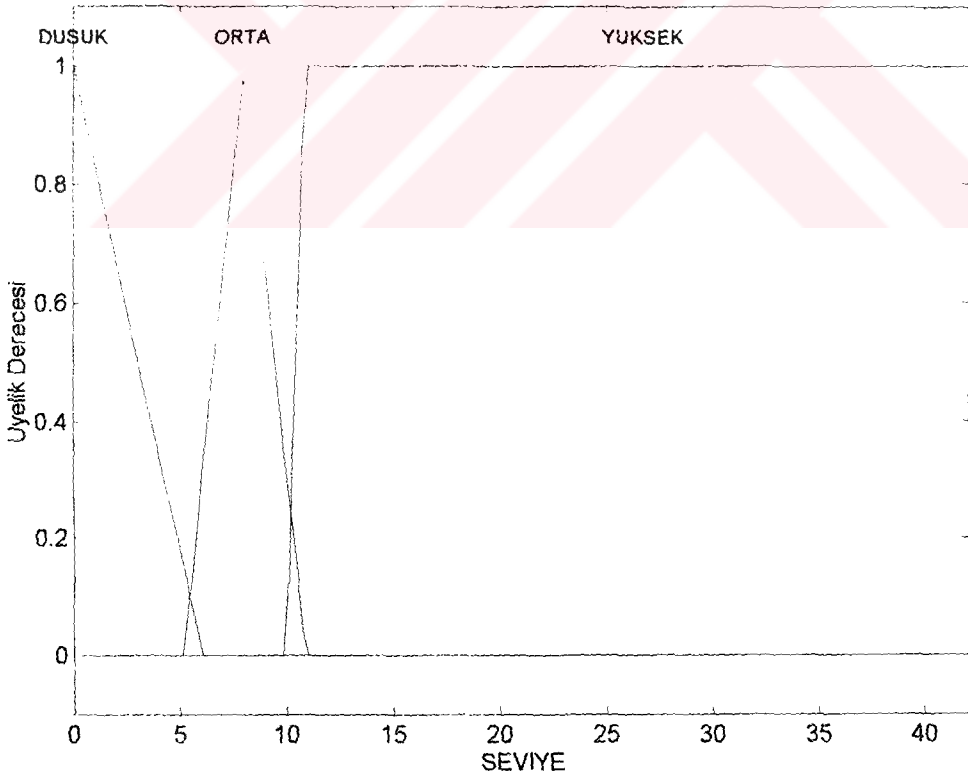
Şekil 5.27. Gürültülü işaret ("Konuşma", Girişteki İGO=5 dB)



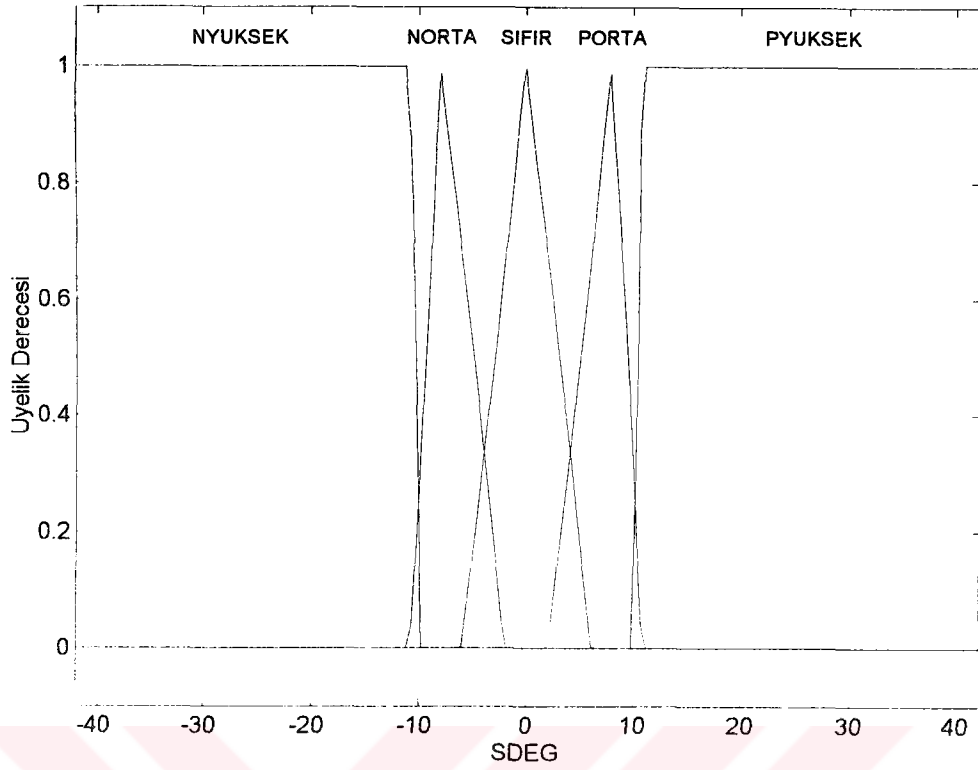
Şekil 5.28. SEVİYE giriş değişkenine ait değerler ("Konuşma", Girişteki İGO=5 dB)



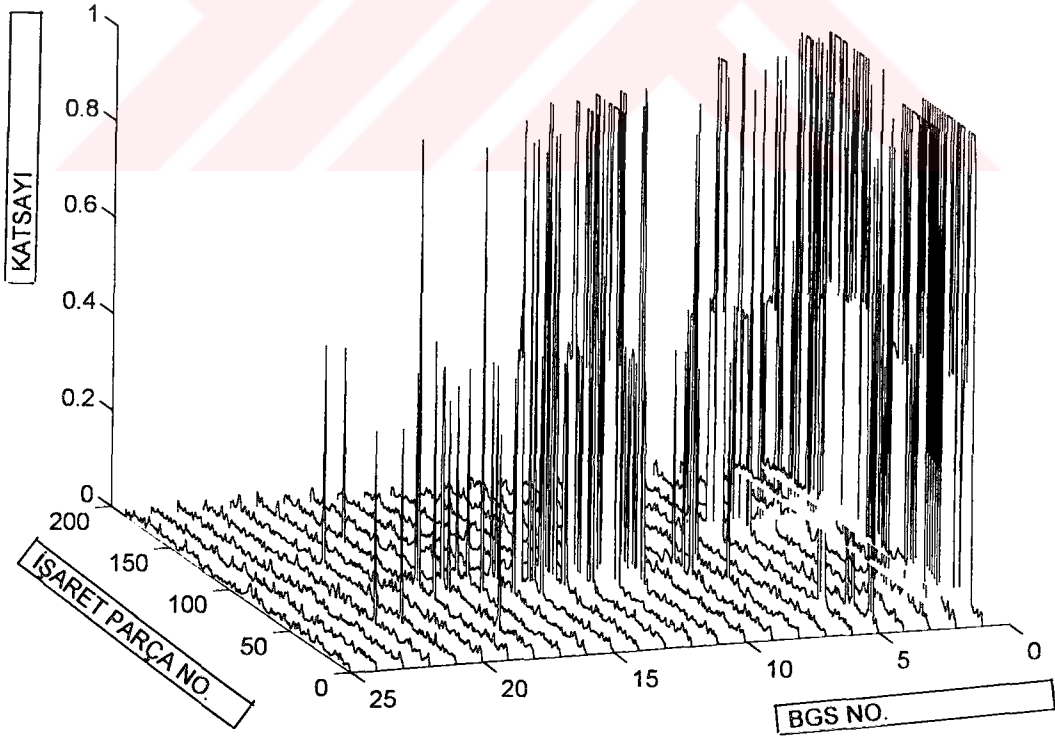
Şekil 5.29. SDEG giriş değişkenine ait değerler ("Konuşma", Girişteki İGO=5 dB)



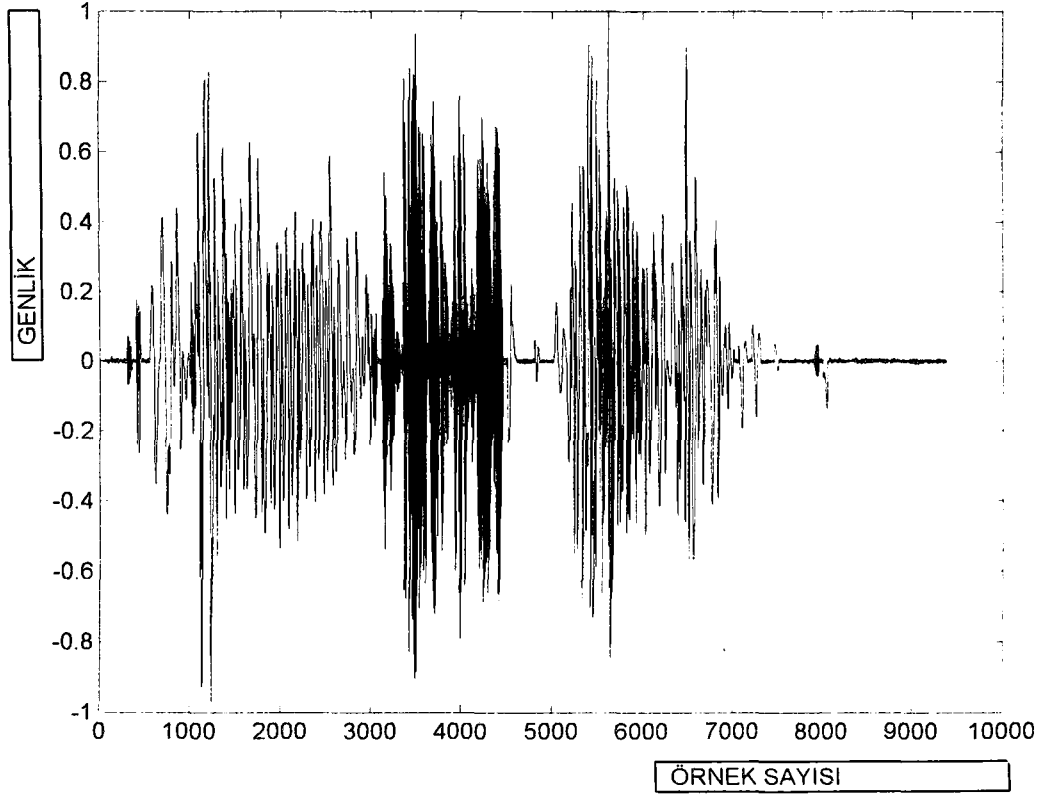
Şekil 5.30. SEVIYE giriş değişkeninin üyelik fonksiyonlarına ilişkin sınırlar ("Konuşma", Girişteki İGO=5 dB)



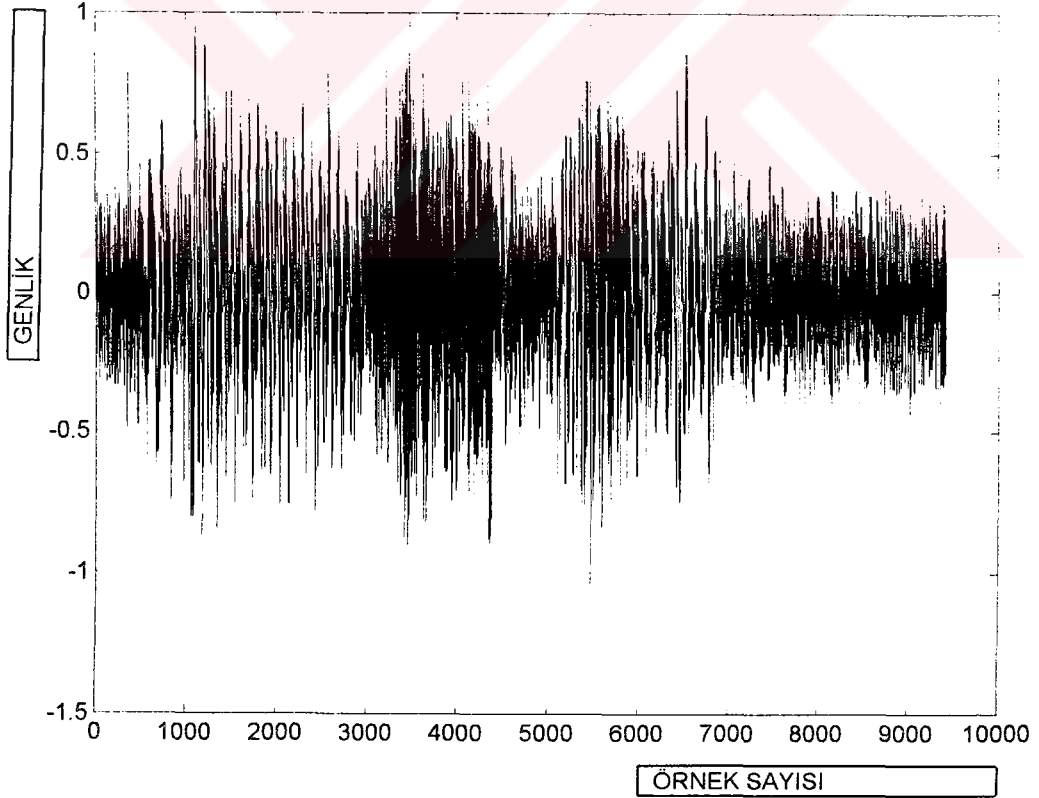
Şekil 5.31. SDEG giriş değişkeninin üyelik fonksiyonlarına ilişkin sınırlar ("Konuşma", Girişteki İGO=5 dB)



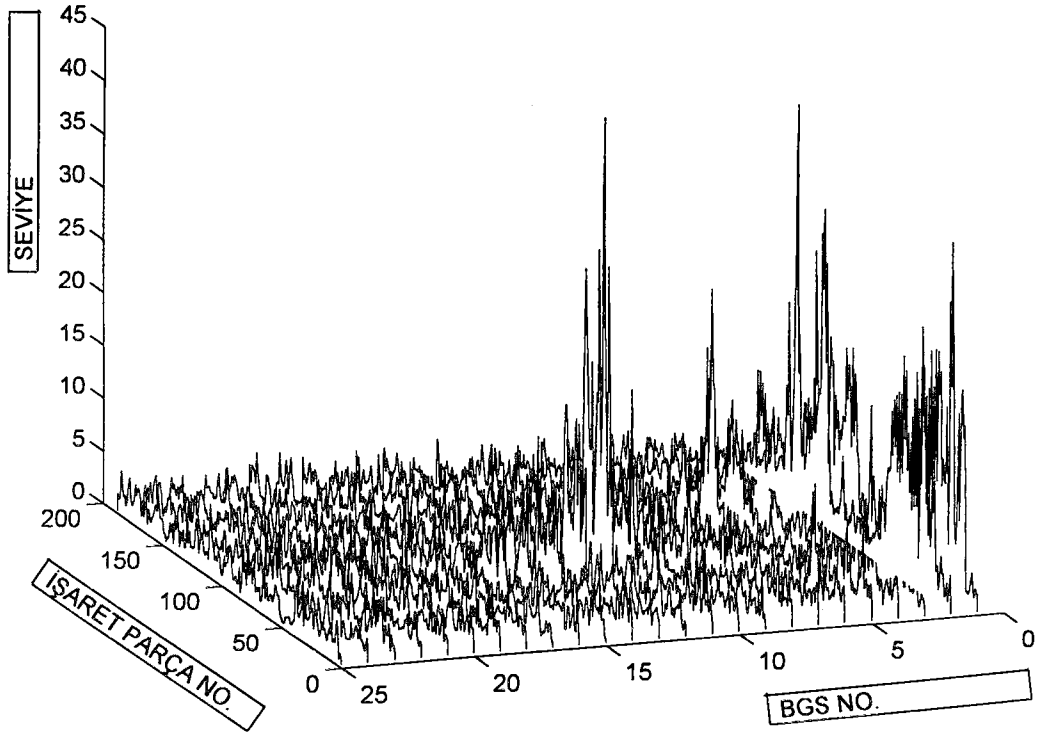
Şekil 5.32. KATSAYI Çıkış değişkenine ait değerler ("Konuşma", Girişteki İGO=5 dB)



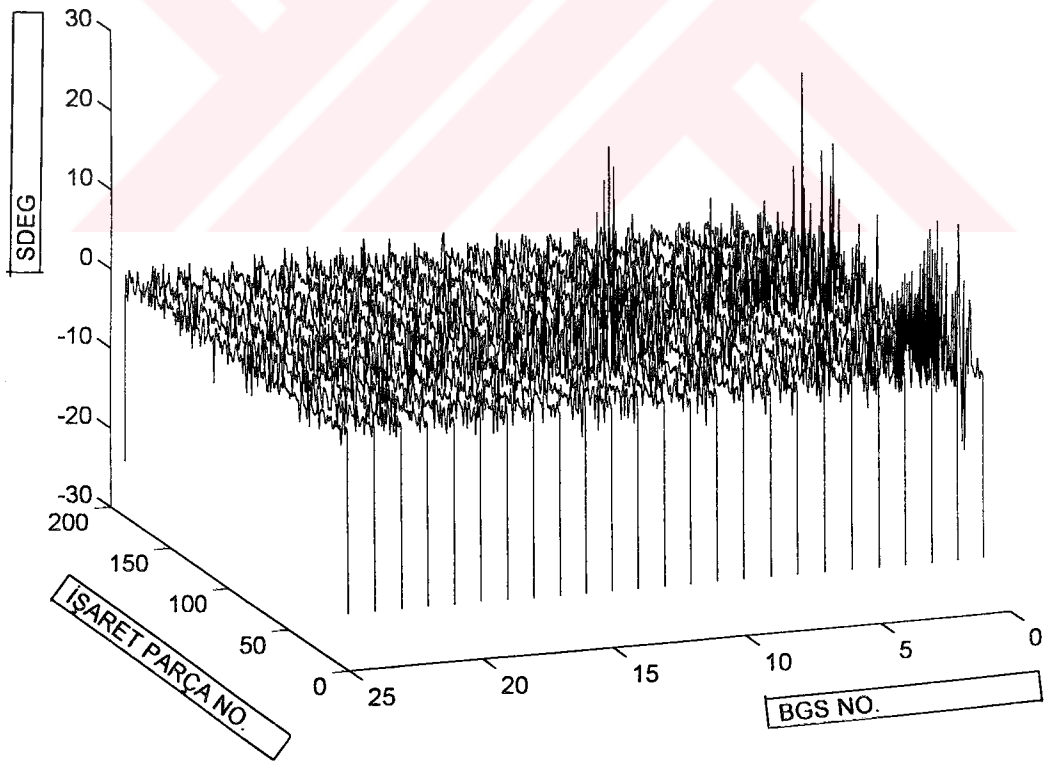
Şekil 5.33. Gürültüsü azaltılmış işaret (“Konuşma”, Girişteki İGO=5 dB)



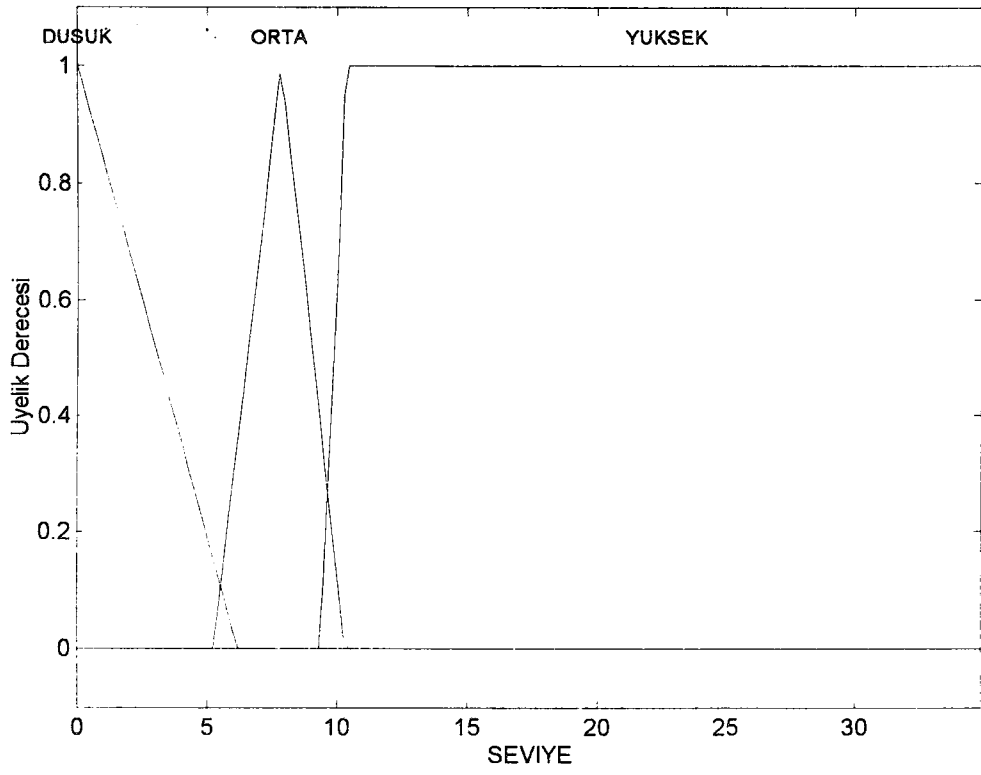
Şekil 5.34. Gürültülü işaret (“Konuşma”, Girişteki İGO=2.5 dB)



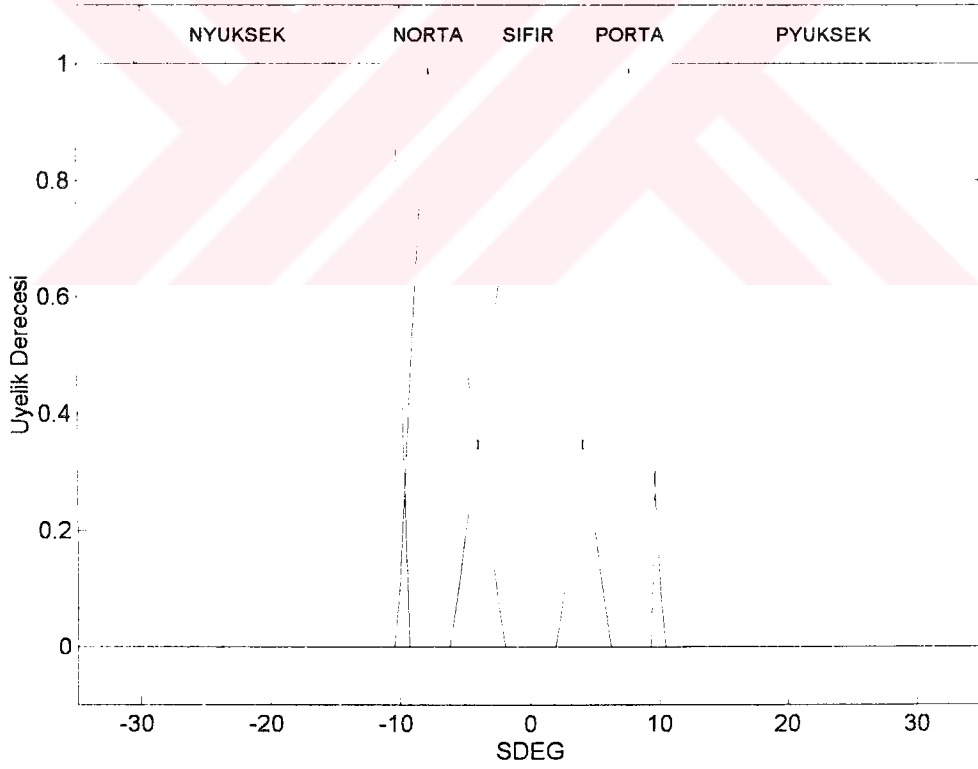
Şekil 5.35. SEVİYE giriş değişkenine ait değerler ("Konuşma", Girişteki İGO=2.5 dB)



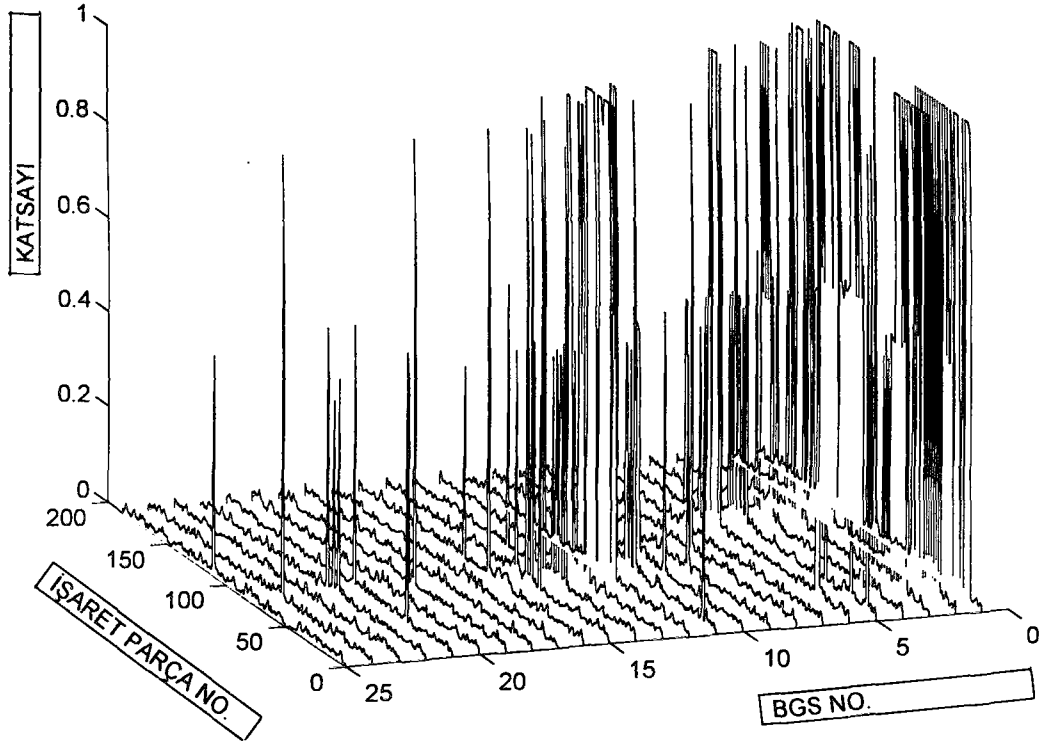
Şekil 5.36. SDEG giriş değişkenine ait değerler ("Konuşma", Girişteki İGO=2.5 dB)



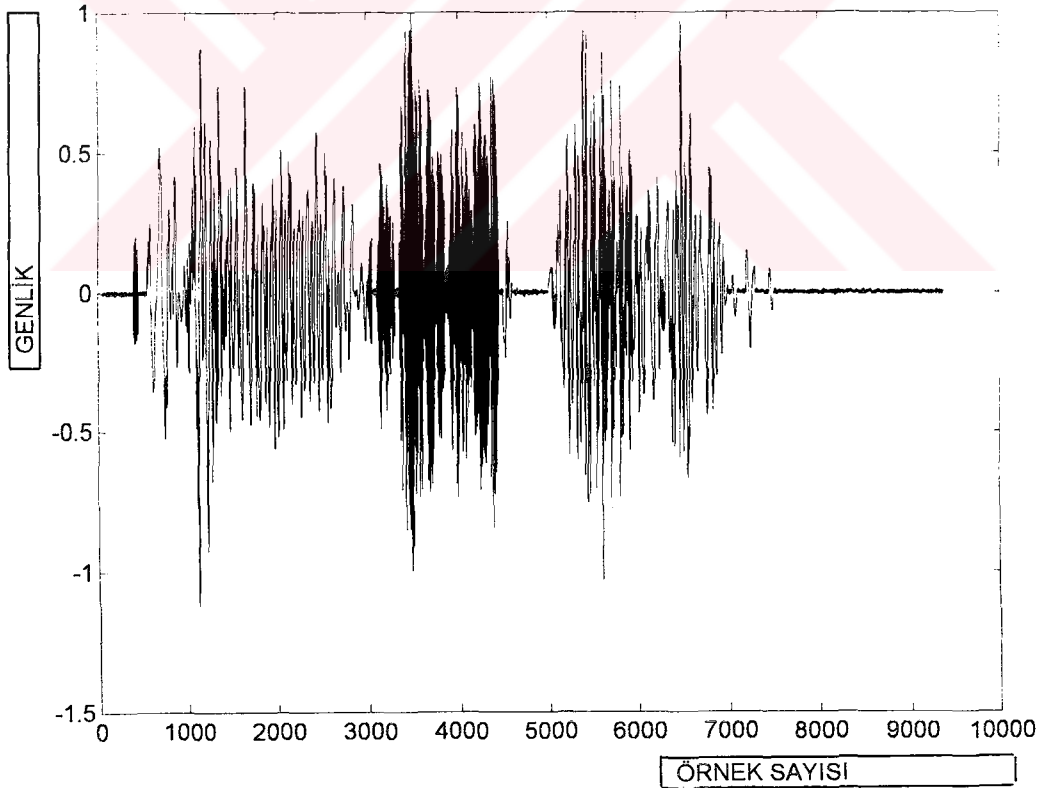
Şekil 5.37. SEVIYE giriş değişkeninin üyelik fonksiyonlarına ilişkin sınırlar ("Konuşma", Girişteki İGO=2.5 dB)



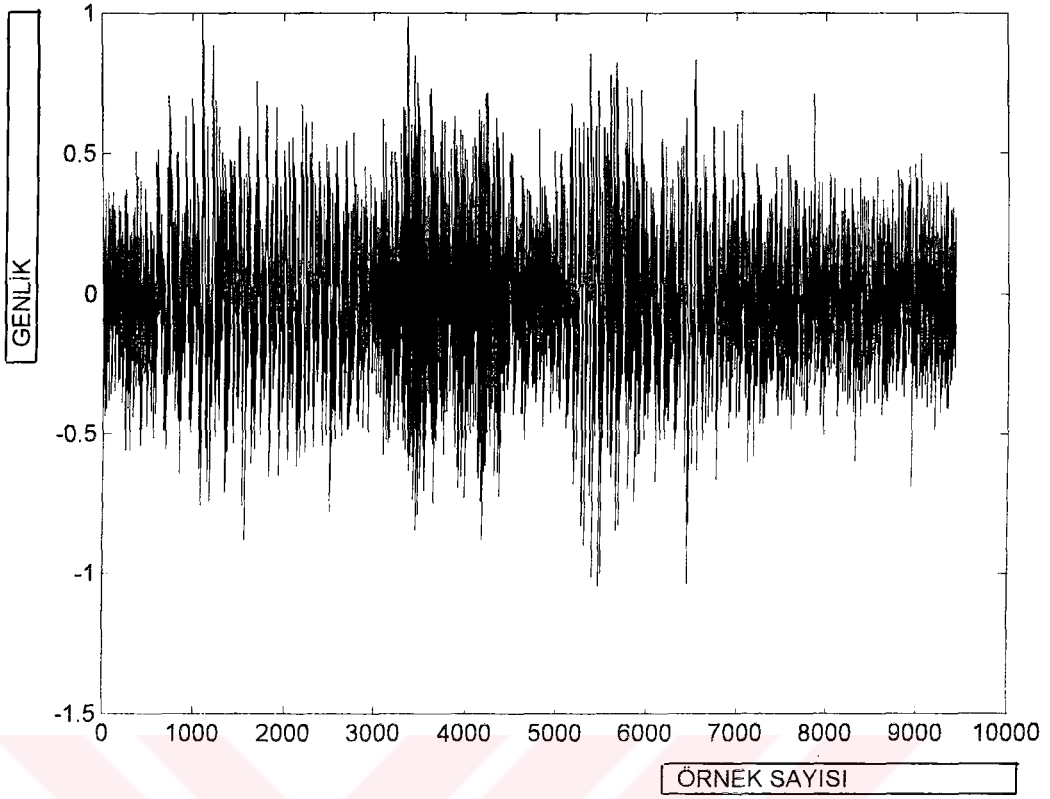
Şekil 5.38. SDEG giriş değişkeninin üyelik fonksiyonlarına ilişkin sınırlar ("Konuşma", Girişteki İGO=2.5 dB)



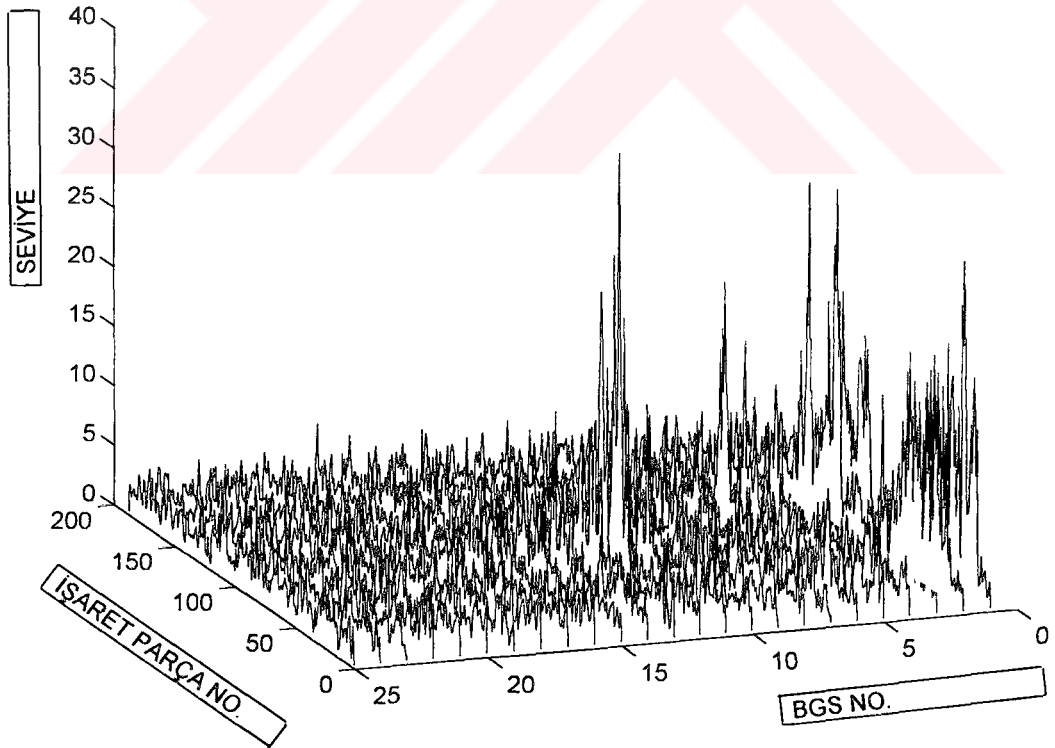
Şekil 5.39. KATSAYI Çıkış değişkenine ait değerler ("Konuşma", Girişteki İGO=2.5 dB)



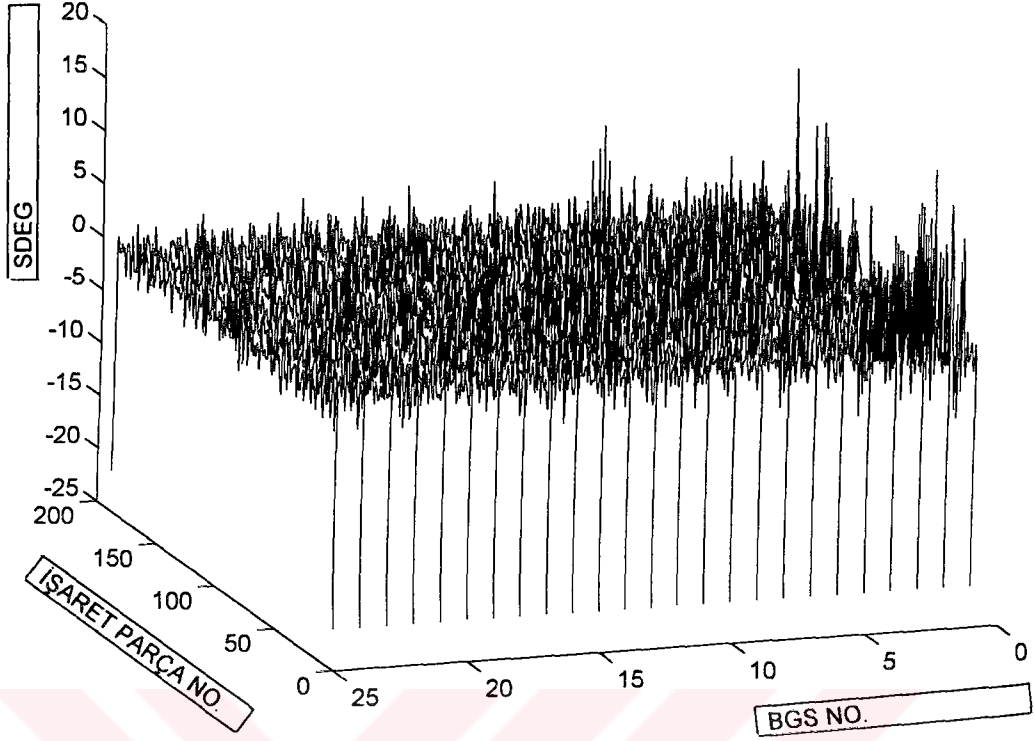
Şekil 5.40. Gürültüsü azaltılmış işaret ("Konuşma", Girişteki İGO=2.5 dB)



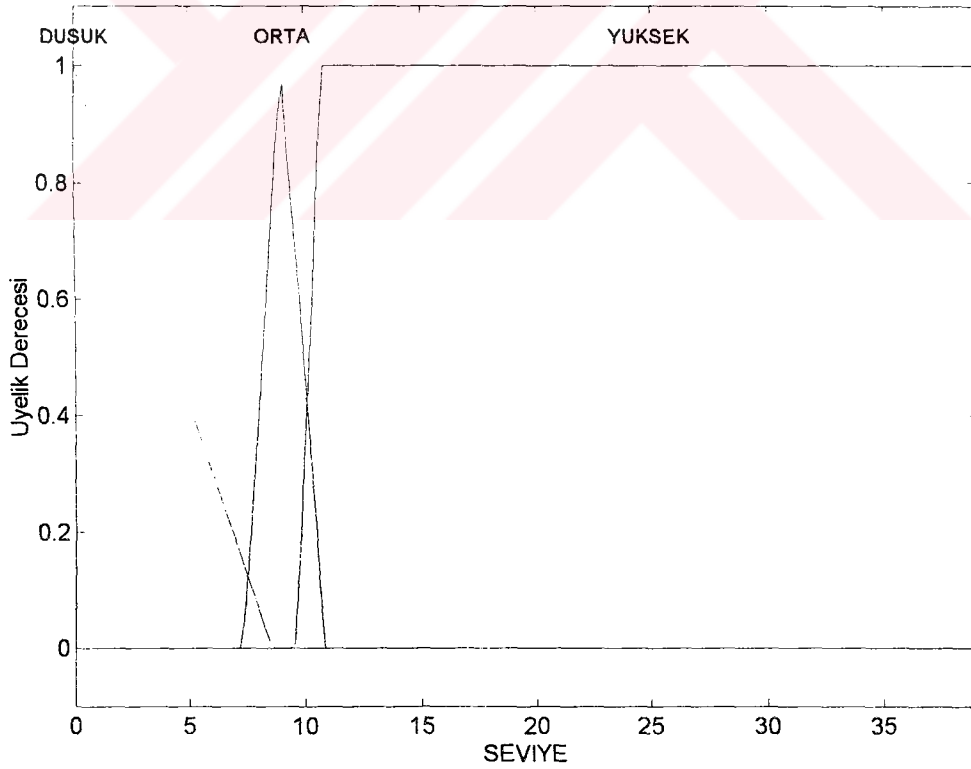
Şekil 5.41. Gürültülü işaret ("Konuşma", Girişteki İGO=0 dB)



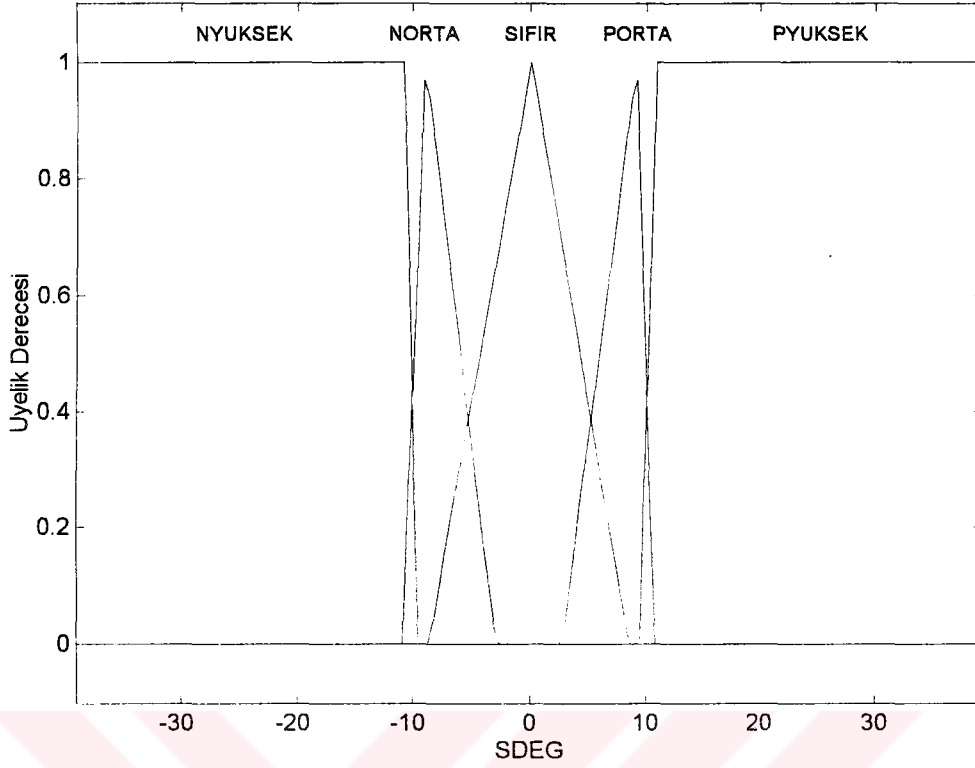
Şekil 5.42. SEVIYE giriş değişkenine ait değerler ("Konuşma", Girişteki İGO=0 dB)



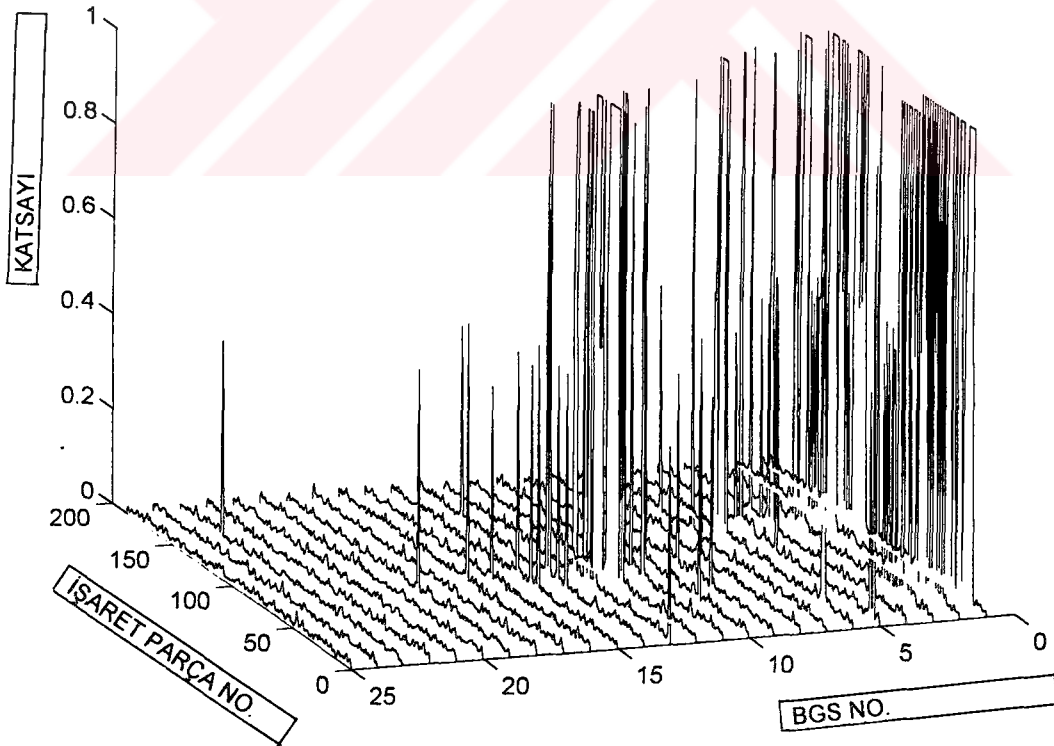
Şekil 5.43. SDEG giriş değişkenine ait değerler (“Konuşma”, Girişteki İGO=0 dB)



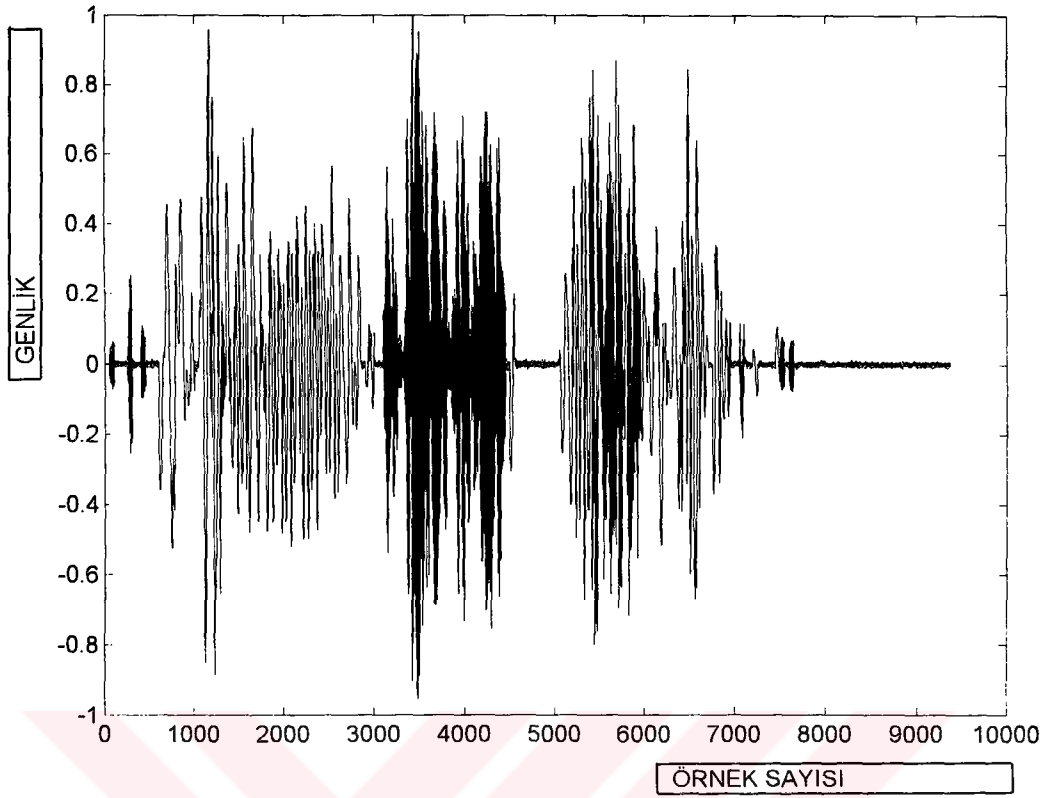
Şekil 5.44. SEVIYE giriş değişkeninin üyelik fonksiyonlarına ilişkin sınırlar (“Konuşma”, Girişteki İGO=0 dB)



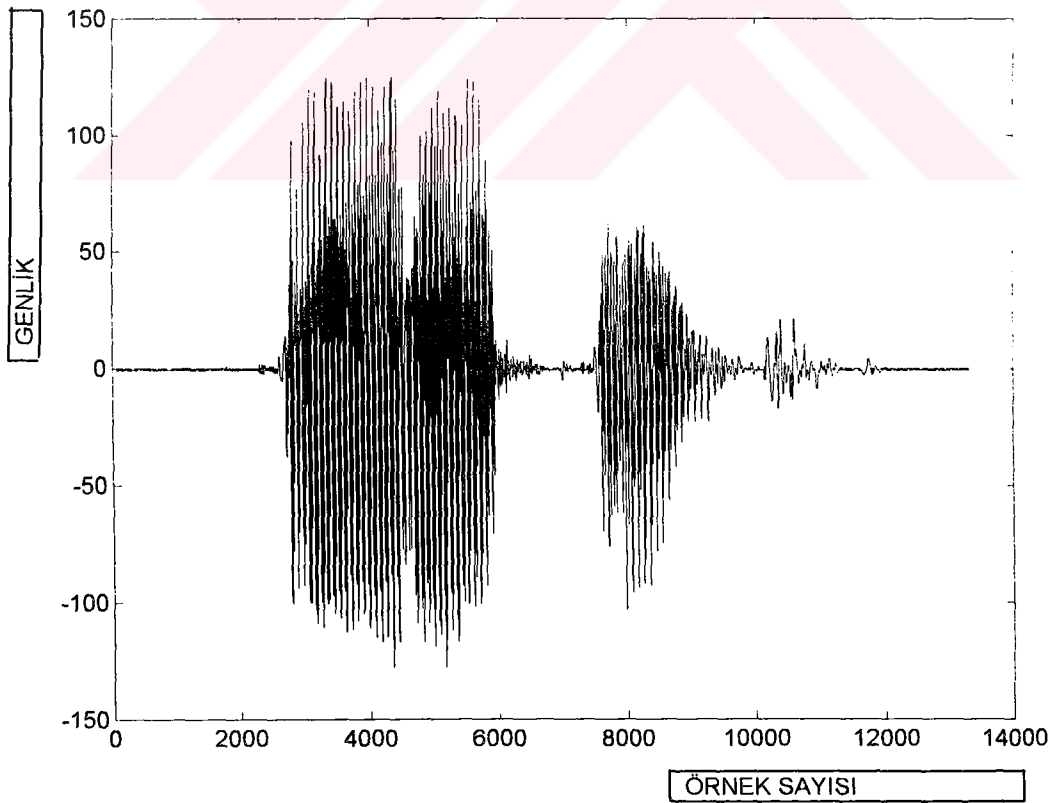
Şekil 5.45. SDEG giriş değişkeninin üyelik fonksiyonlarına ilişkin sınırlar (“Konuşma”, Girişteki İGO=0 dB)



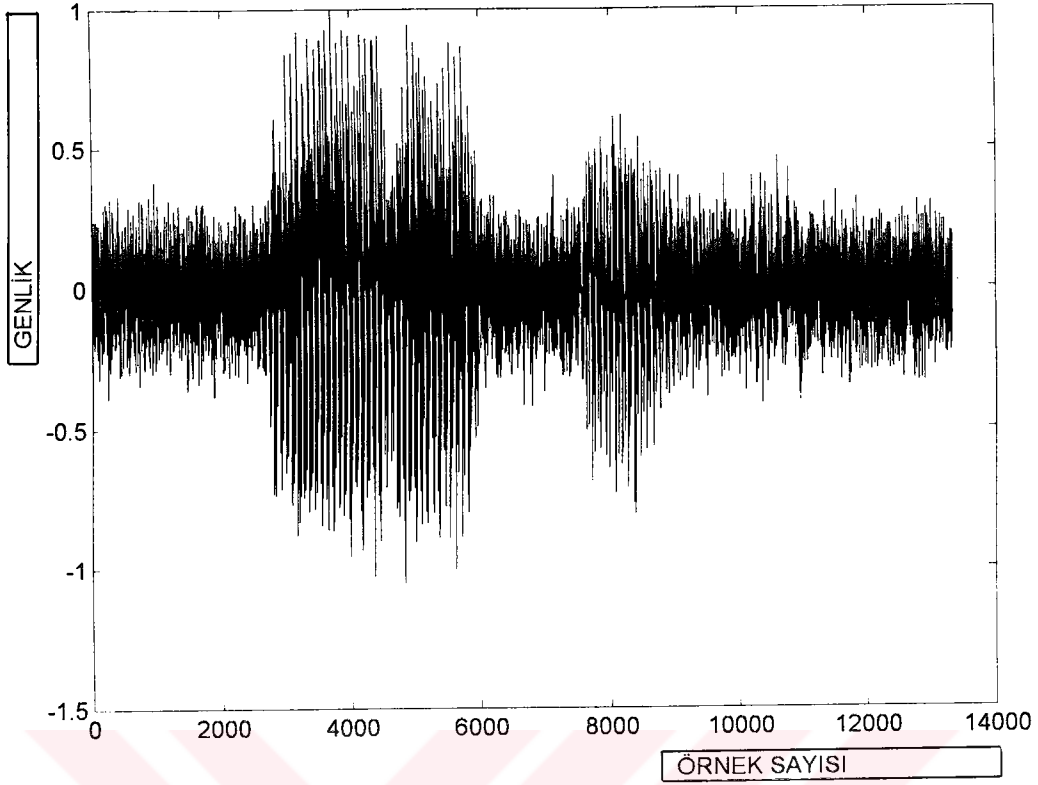
Şekil 5.46. KATSAYI Çıkış değişkenine ait değerler (“Konuşma”, Girişteki İGO=0 dB)



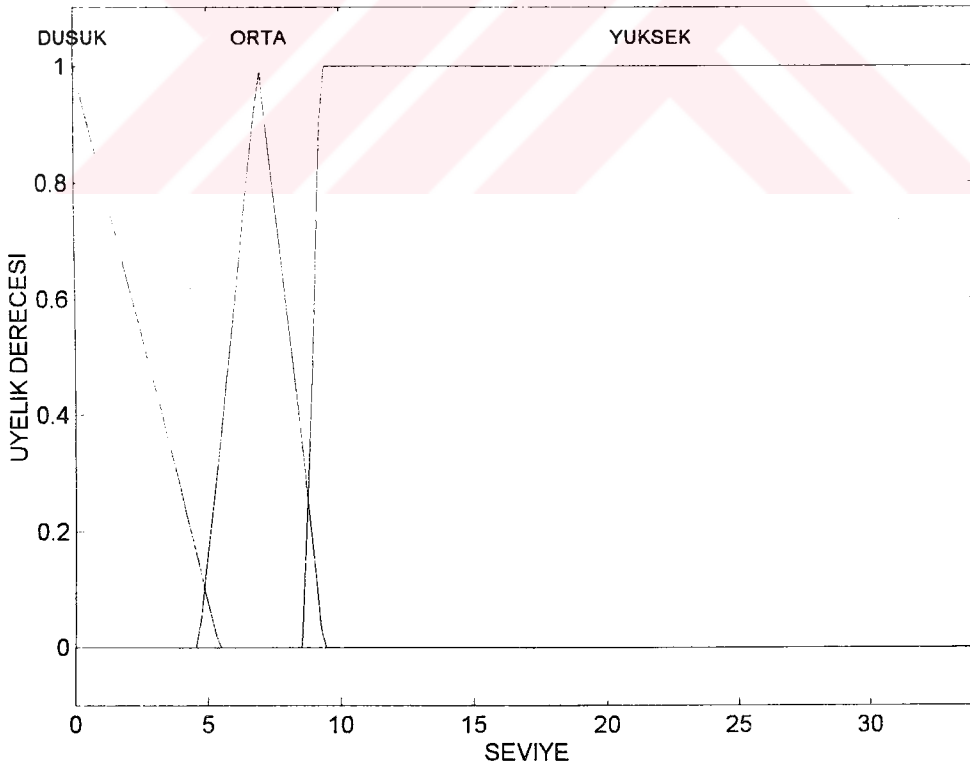
Şekil 5.47. Gürültüsü azaltılmış işaret (“Konuşma”, Girişteki İGO=0 dB)



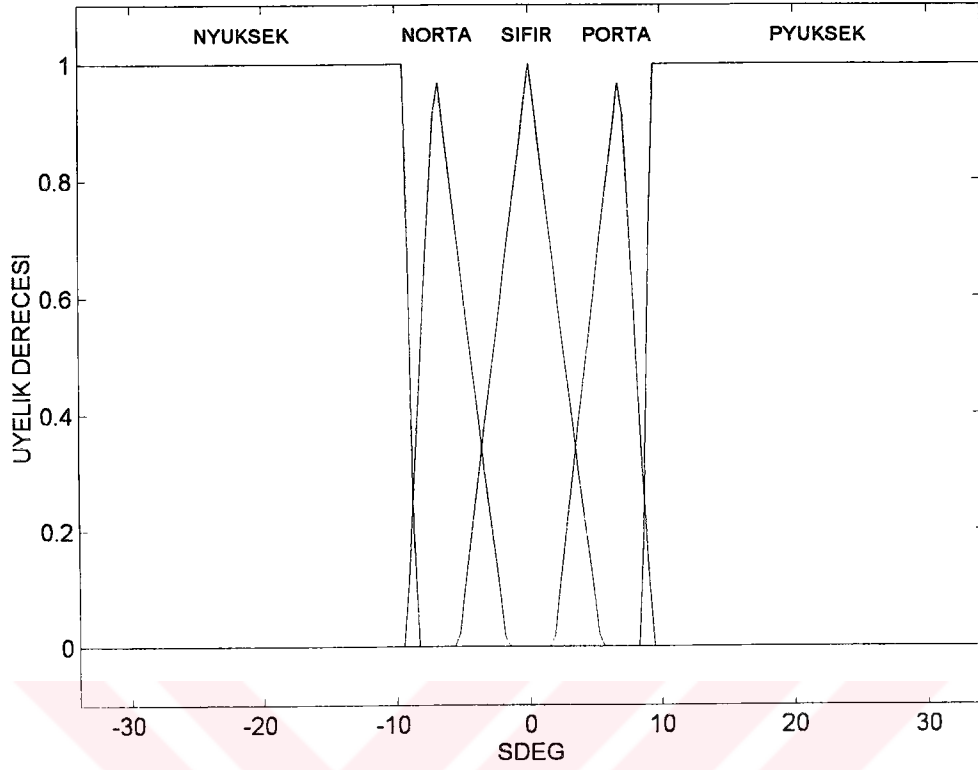
Şekil 5.48. “Öğretmen” sözcüğüne ilişkin ses işareti



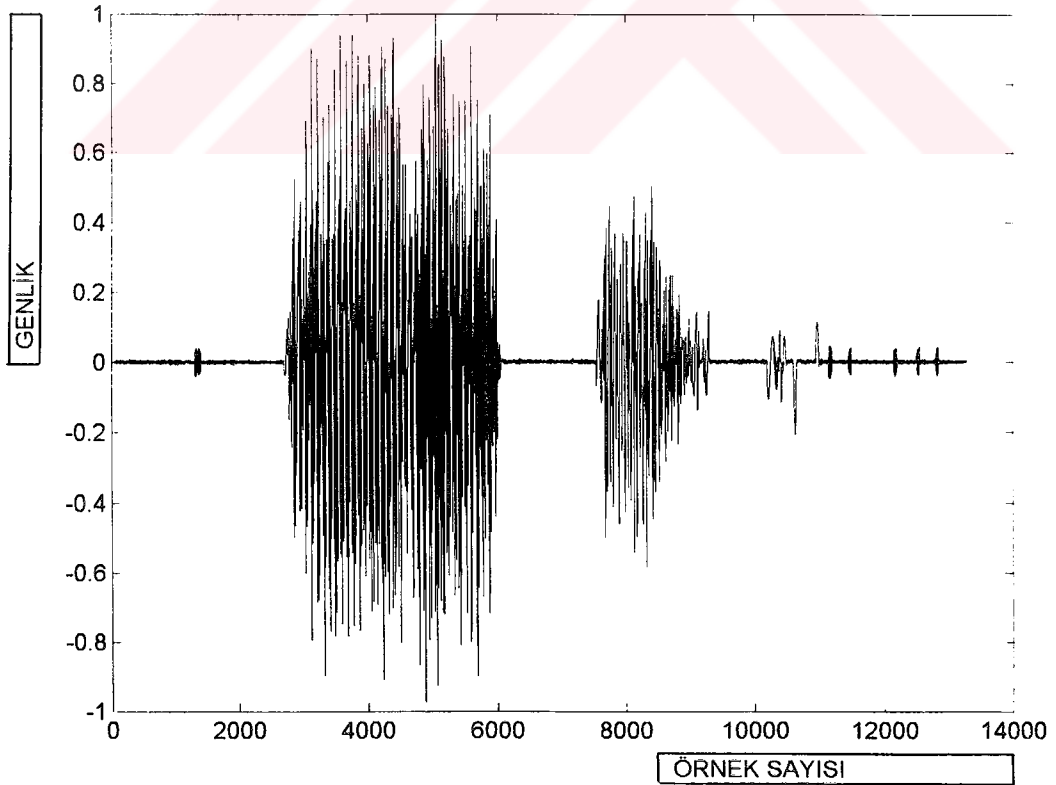
Şekil 5.49. Gürültülü işaret ("Öğretmen", Girişteki İGO=5 dB)



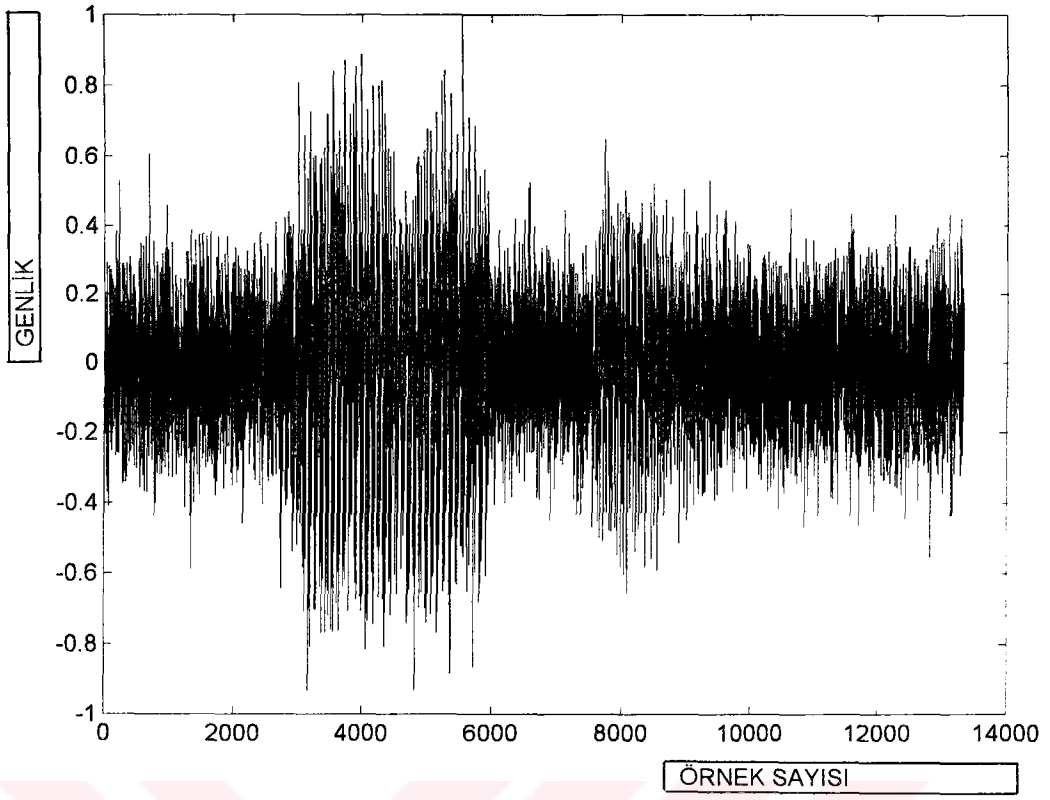
Şekil 5.50. SEVİYE giriş değişkeninin üyelik fonksiyonlarına ilişkin sınırlar ("Öğretmen", Girişteki İGO=5 dB)



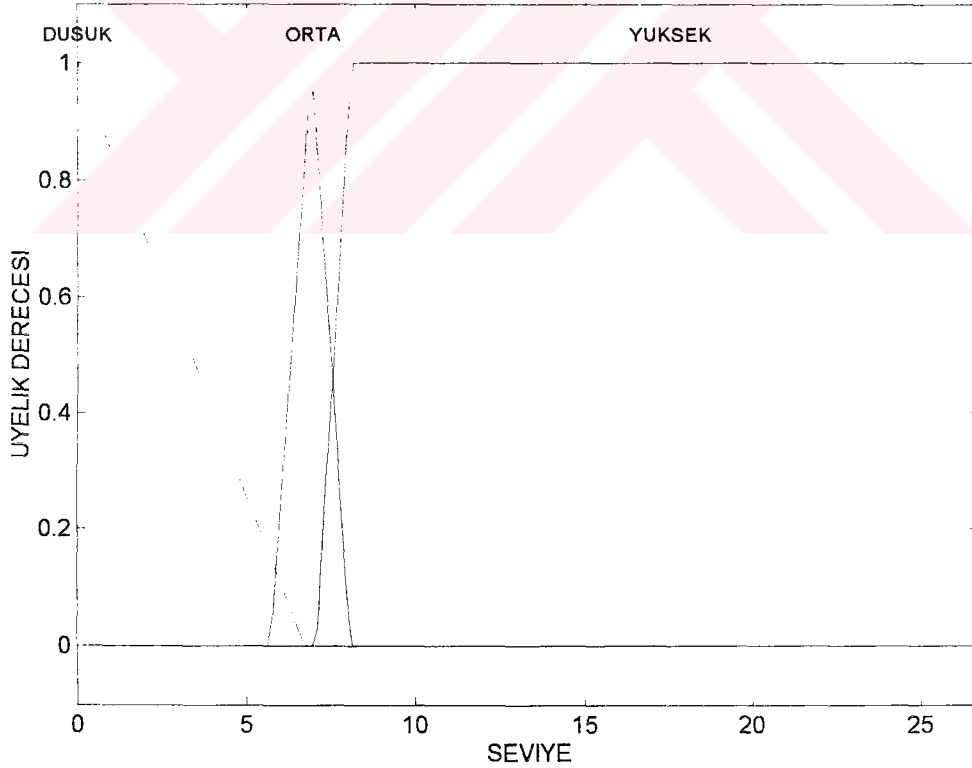
Şekil 5.51. SDEG giriş değişkeninin üyelik fonksiyonlarına ilişkin sınırlar (“Öğretmen”, Girişteki İGO=5 dB)



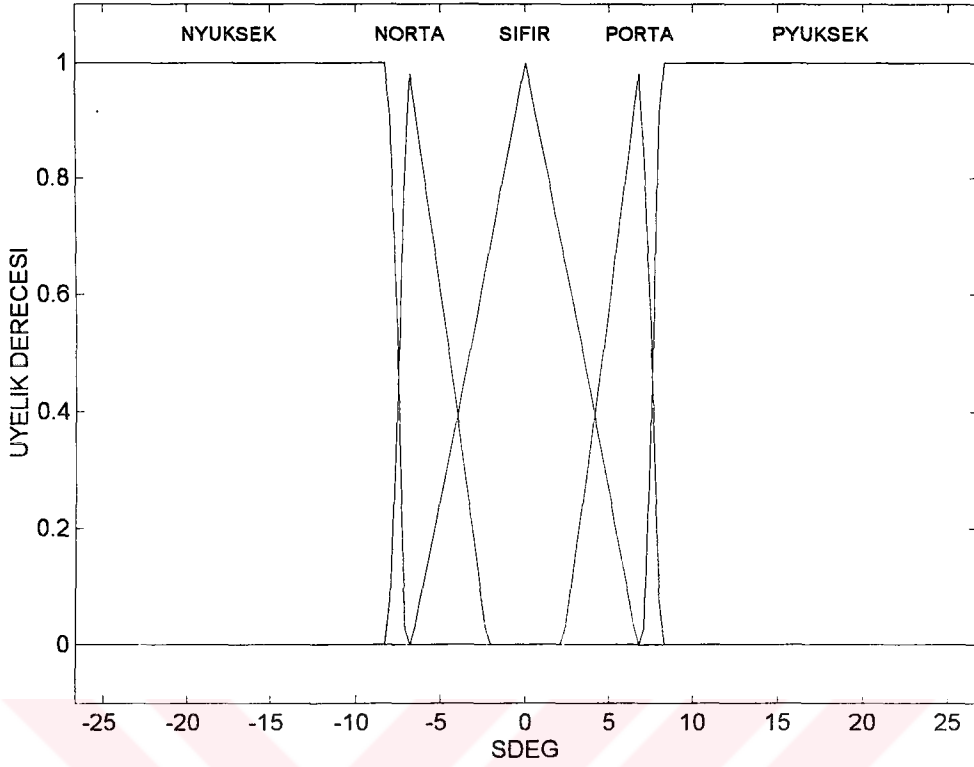
Şekil 5.52. Gürültüsü azaltılmış işaret (“Öğretmen”, Girişteki İGO=5 dB)



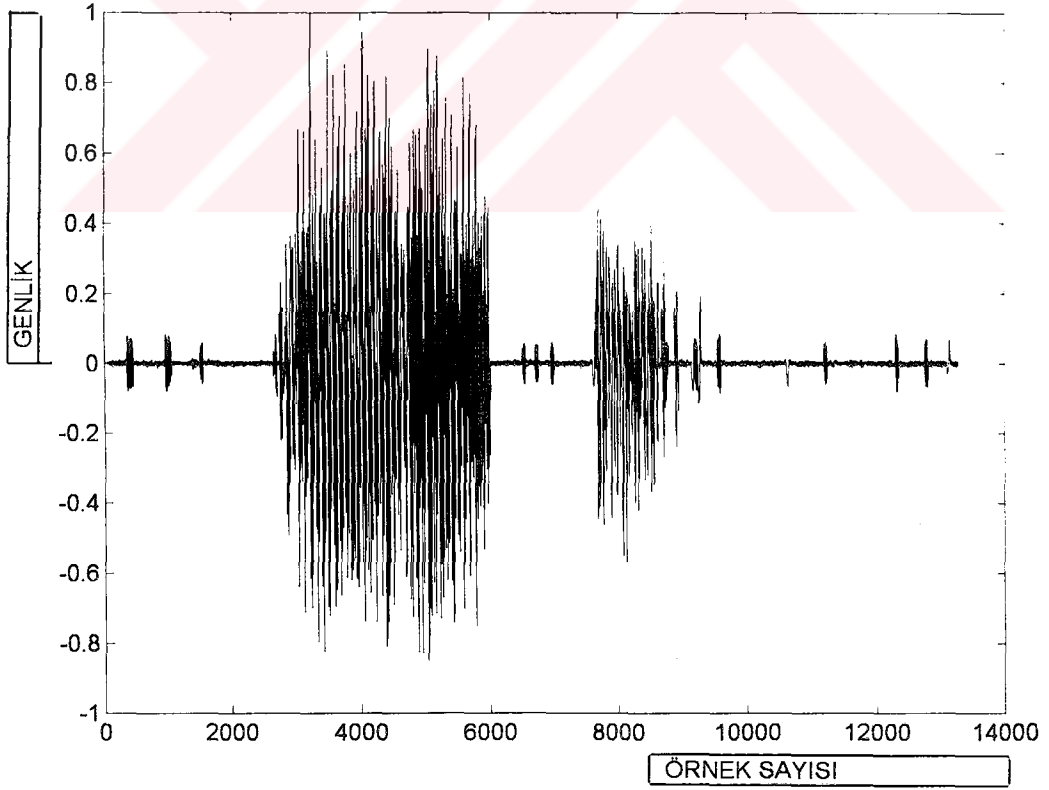
Şekil 5.53. Gürültülü işaret ("Öğretmen", Girişteki İGO=0 dB)



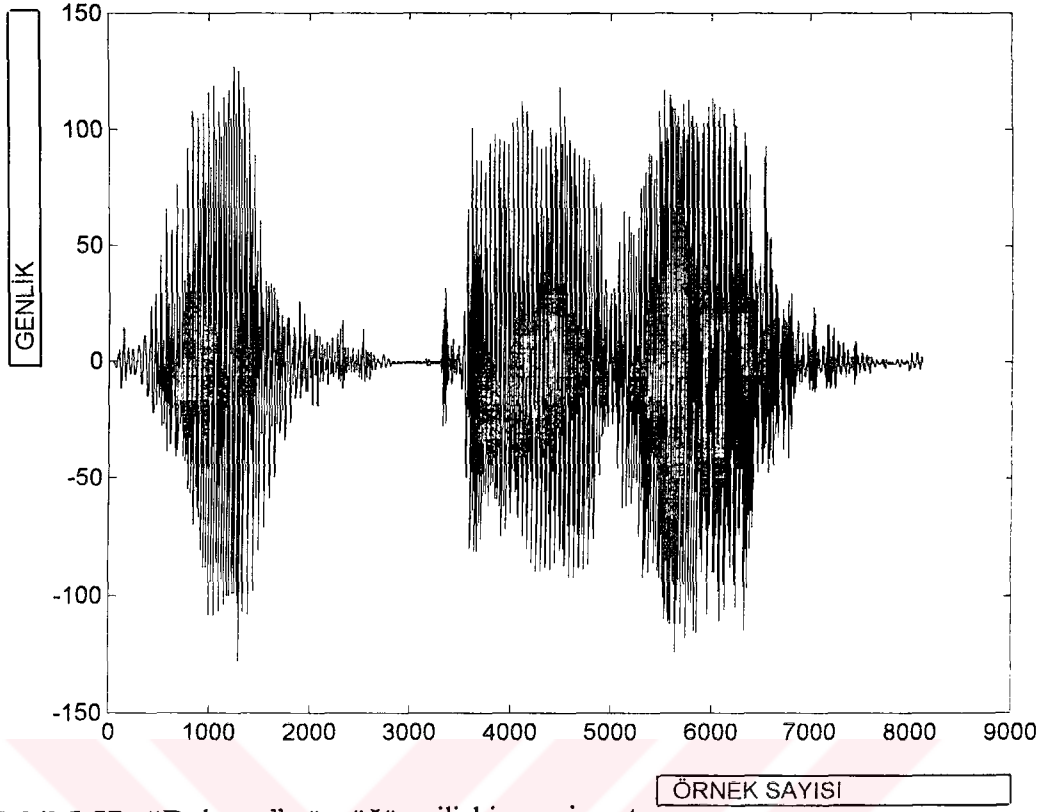
Şekil 5.54. SEVIYE giriş değişkeninin üyelik fonksiyonlarına ilişkin sınırlar ("Öğretmen", Girişteki İGO=0 dB)



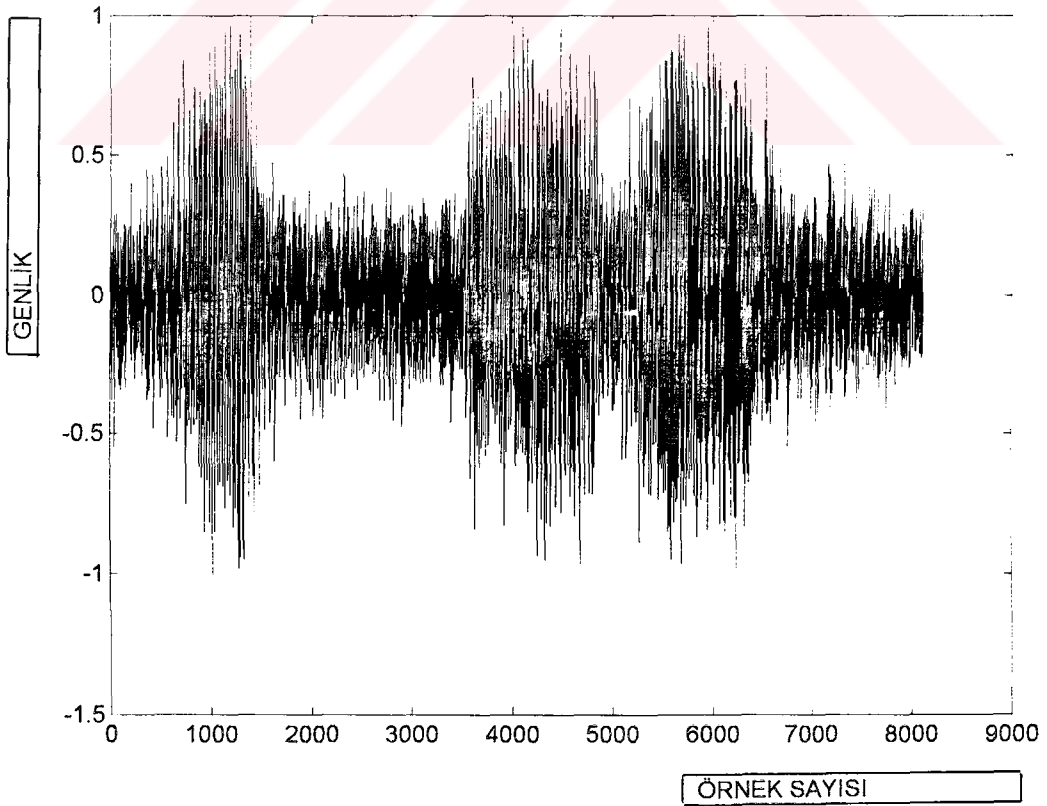
Şekil 5.55. SDEG giriş değişkeninin üyelik fonksiyonlarına ilişkin sınırlar (“Öğretmen”, Girişteki İGO=0 dB)



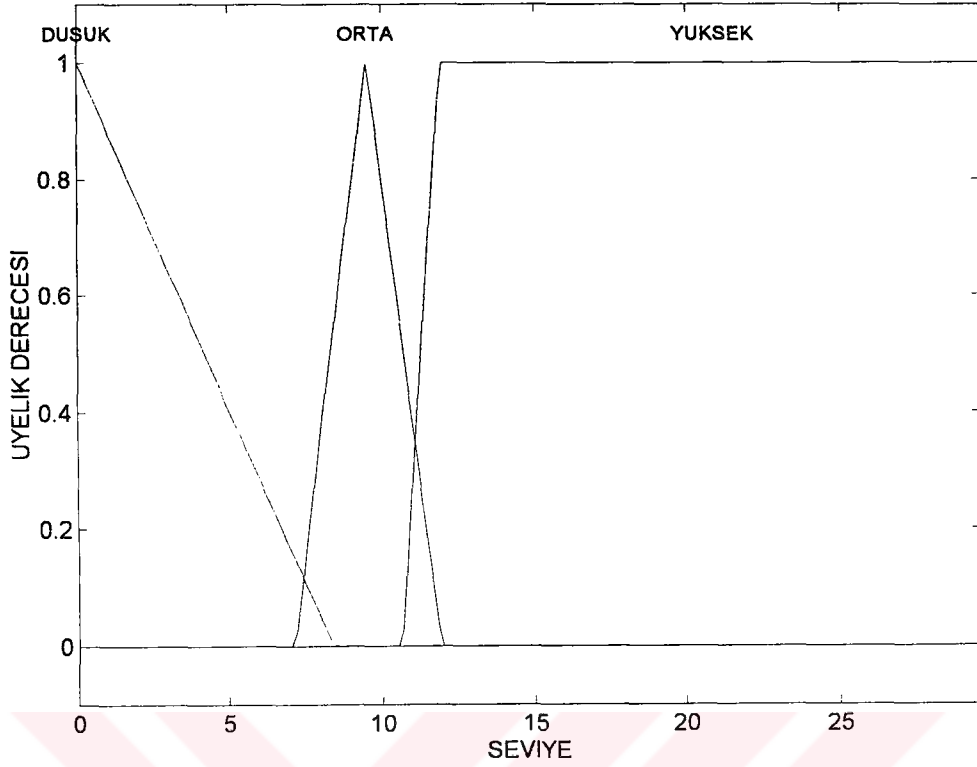
Şekil 5.56. Gürültüsü azaltılmış işaret (“Öğretmen”, Girişteki İGO=0 dB)



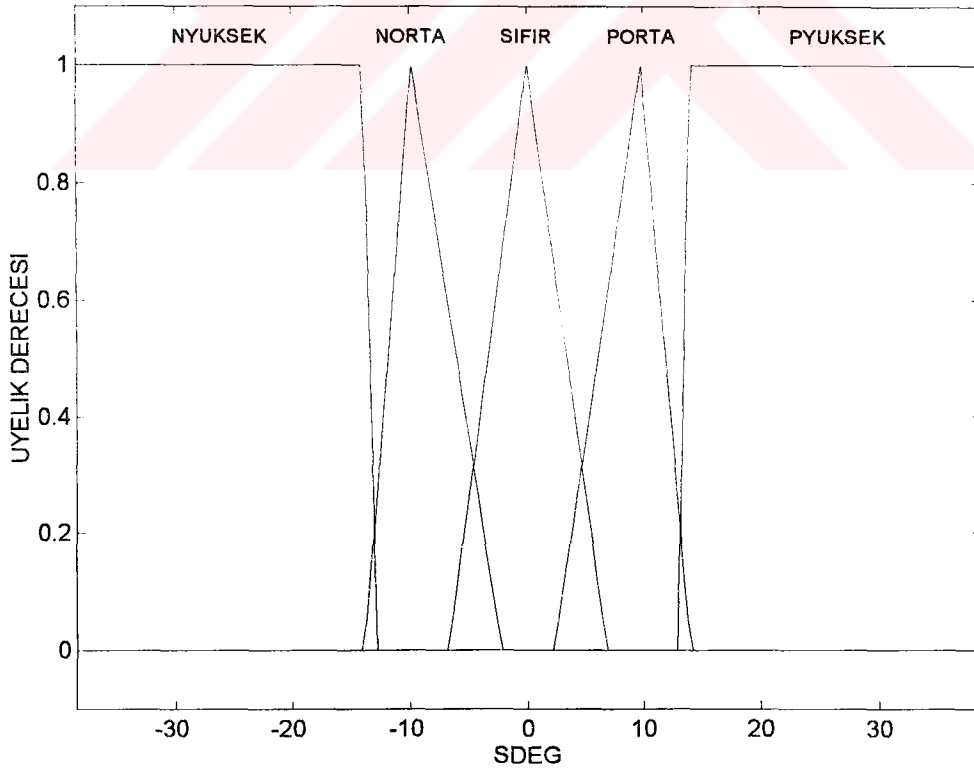
Şekil 5.57. “Doktora” sözcüğüne ilişkin ses işareti



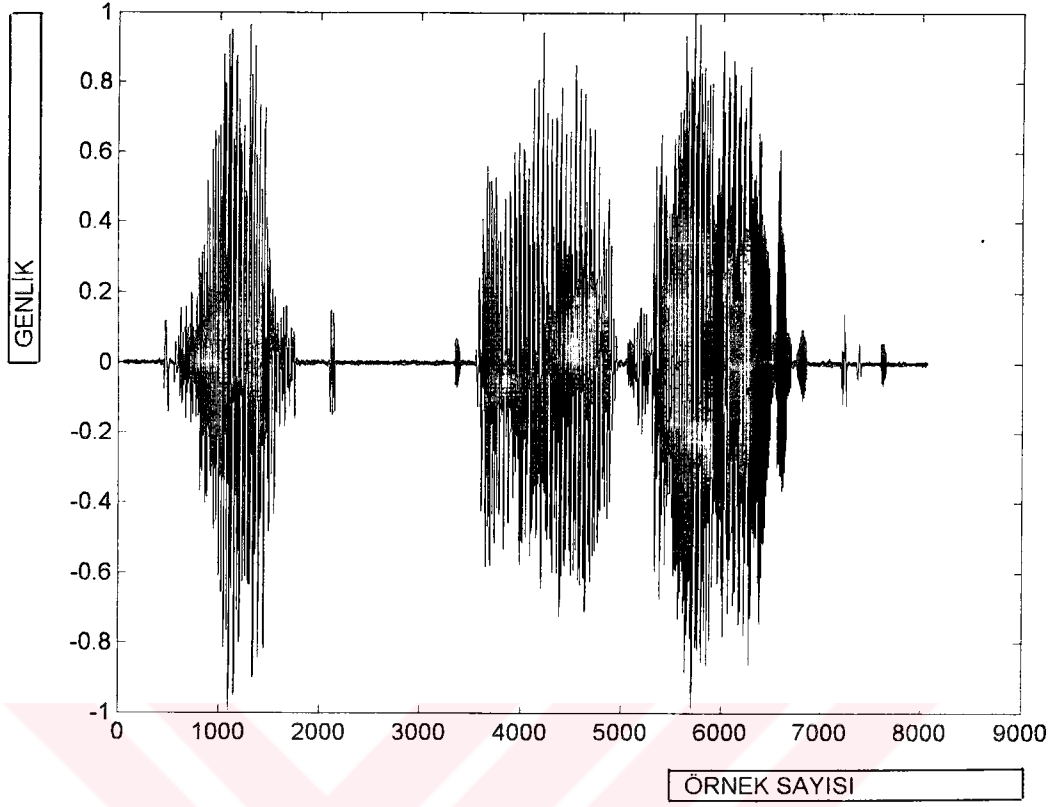
Şekil 5.58. Gürültülü işaret (“Doktora”, Girişteki İGO=5 dB)



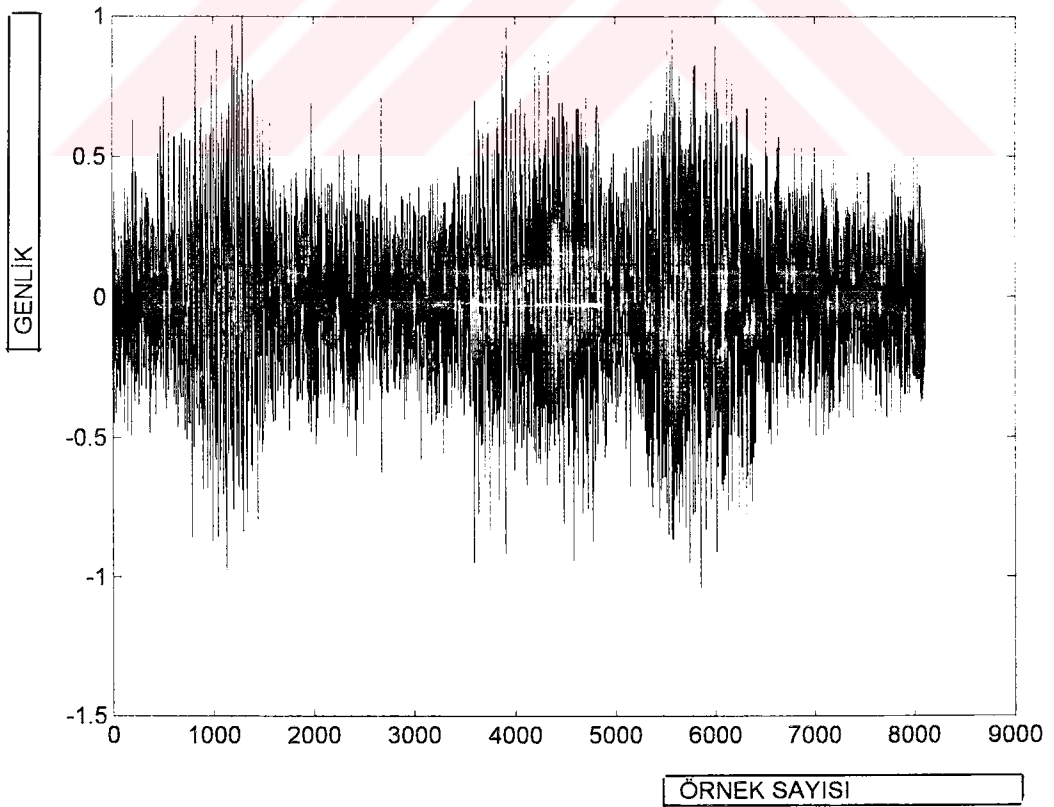
Şekil 5.59. SEVIYE giriş değişkeninin üyelik fonksiyonlarına ilişkin sınırlar ("Doktora", Girişteki İGO=5 dB)



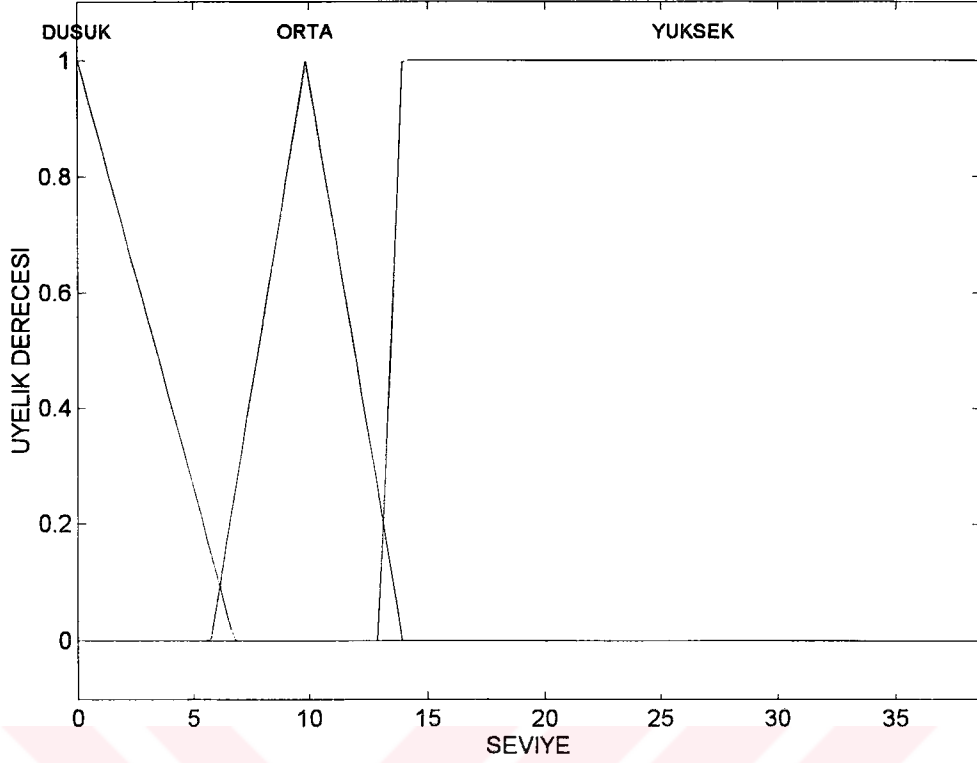
Şekil 5.60. SDEG giriş değişkeninin üyelik fonksiyonlarına ilişkin sınırlar ("Doktora", Girişteki İGO=5 dB)



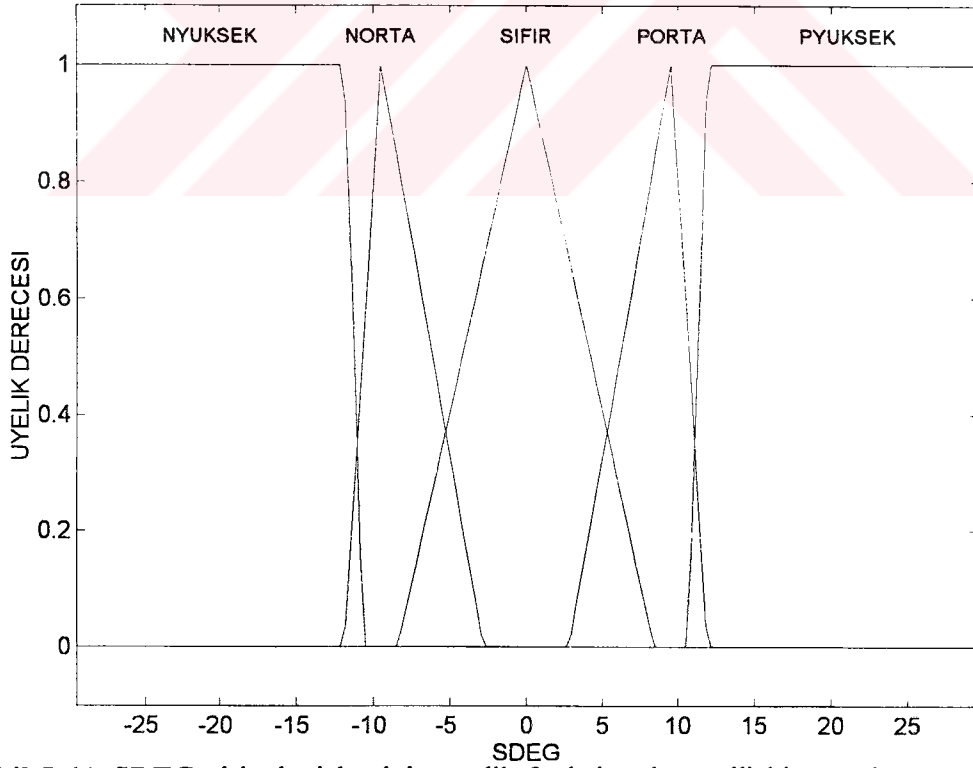
Şekil 5.61. Gürültüsü azaltılmış işaret (“Doktora”, Girişteki İGO=5 dB)



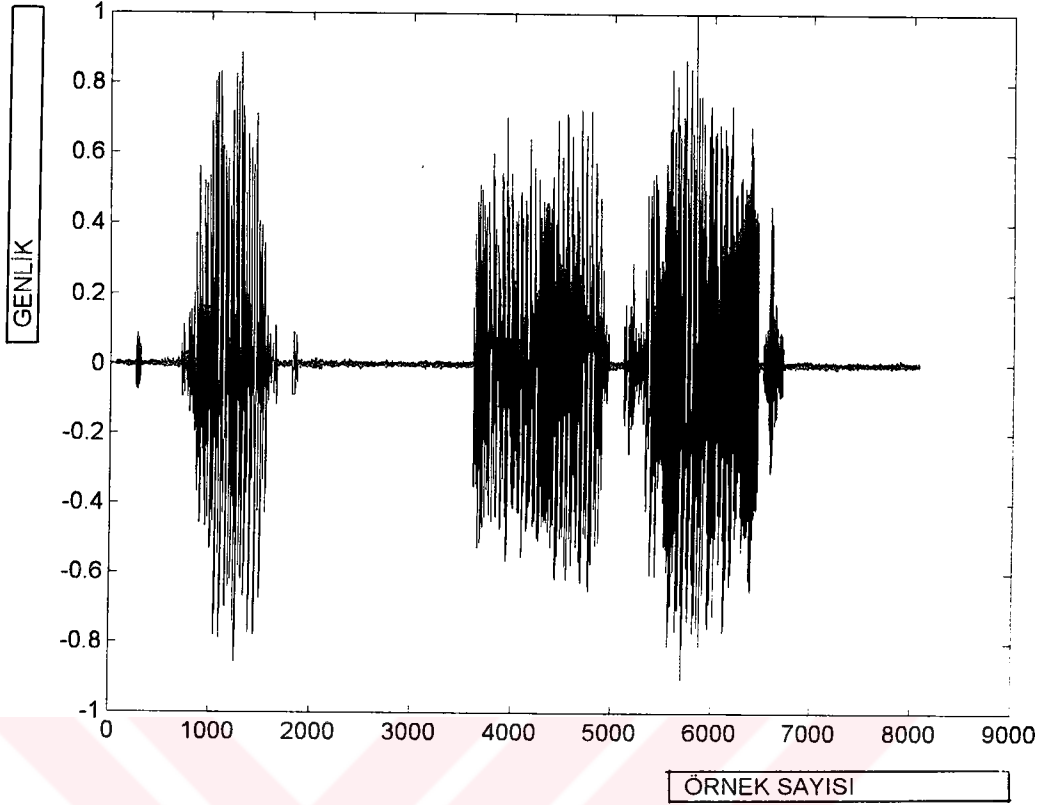
Şekil 5.62. Gürültülü işaret (“Doktora”, Girişteki İGO=0 dB)



Şekil 5.63. SEVIYE giriş değişkeninin üyelik fonksiyonlarına ilişkin sınırlar (“Doktora”, Girişteki İGO=0 dB)



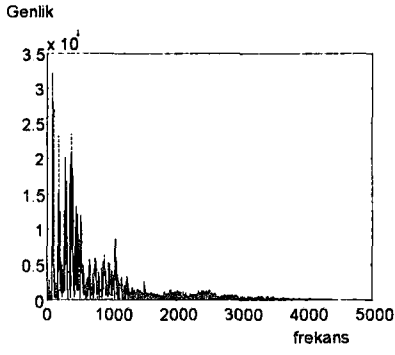
Şekil 5.64. SDEG giriş değişkeninin üyelik fonksiyonlarına ilişkin sınırlar (“Doktora”, Girişteki İGO=0 dB)



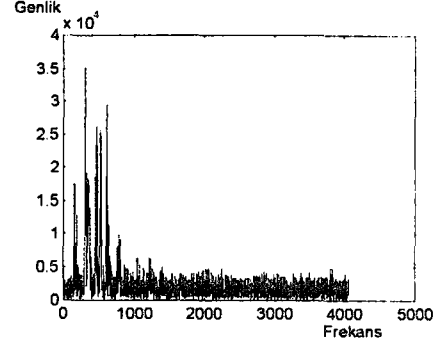
Şekil 5.65. Gürültüsü azaltılmış işaret (“Doktora”, Girişteki İGO=0 dB)

“Doktora” (İGO = 5 dB) örneği için temiz, gürültülü ve temizlenmiş işaretin HFD ile elde edilen genlik tayfları Şekil 5.66’da verilmiştir. Şekillerden inceleneceği gibi uygulanan yöntem tayf çıkarımına benzer bir etki yaratmaktadır.

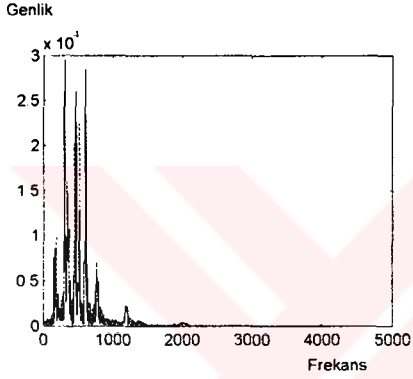
Bulanık mantık temelli süzgeç sisteminin, girişteki İGO’nı çıkışta ne oranda yükselttiğinin belirlenmesi, gürültünün hangi etkinlikte azaltıldığı açısından somut bir ölçüt oluşturmaktadır. Bu nedenle yukarıdaki tüm örnekler için çıkıştaki İGO değerleri belirlenmiştir (Tablo 5.4). Bu işlemde, aşağıdaki yöntemden yararlanılmıştır.



a) Temiz işaret



b)Gürültülü işaret



c) Temizlenmiş işaret

Şekil 5.66. HFD ile elde edilen güç tayfları (“Doktora” Girişteki İGO=5 dB)

Öncelikle gürültülü işaret süzgeçten geçirilerek çıkıştaki gürültülü işaretin gücü hesaplanmıştır (P_1). Daha sonra bu çıkışa ilişkin katsayı değerleri ile gürültüsüz işaret çarpılarak, gürültüsüz işaretin çıkıştaki gücü belirlenmiştir (P_2). Bu iki büyüklüğün farkı çıkıştaki gürültünün gücünü vereceğinden çıkış için,

$$\text{İGO} = 10 \log (P_2/P_2 - P_1) \quad (5.1)$$

yardımıyla süzgecin gürültüyü bastırma miktarı oldukça pratik olarak hesaplanabilir.

Tablo 5.4. Tüm ses örnekleri için İGO oranları

	İGO Giriş (dB)	İGO Çıkış (dB)
“Konuşma”	5	19
	2.5	17
	0	13
“Öğretmen”	5	18
	0	12
“Doktora”	5	18
	0	13

Değerlerden de anlaşılacağı gibi, her durumda süzgeç girişine göre çıkıştaki İGO oldukça yükselmektedir. İGO'nun logaritmik bir ifade olması da dikkate alınır, gürültünün büyük oranda bastırıldığı söylenebilir. Örneğin girişte 5 dB İGO için, işaret gücünün, gürültü gücüne oranı 3.16 iken, çıkışta 19 dB için bu oran yaklaşık 80'e ulaşmaktadır. Ayrıca, yöntemin ardışık olarak uygulanması ile bu oran daha da yükseltilebilir.

Bu şekilde, bulanık mantık temelli gürültü azaltma sistemi örneklerle açıklanmış olmaktadır. Yöntemin belirgin üstünlükleri ve diğer yöntemlerle karşılaştırılması Sonuçlar ve Tartışma bölümünde verilecektir.

BÖLÜM 6.

SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu bölümde, tez çalışmasının genel bir değerlendirmesi yapılarak, elde edilen önemli sonuçlar verilecektir. Ayrıt 5.2'de verilen bulanık mantık temelli gürültü azaltma sisteminin varolan yöntemlerle karşılaştırması yapılarak, üstünlükleri değerlendirilecek ve sonraki çalışmalar için bazı öneriler tartışılacaktır.

Bu doktora tezinin temel problemi olan, gürültülü işaretlerin gürültü oranlarının bulanık mantık temelli bir sistemle azaltılması, ağırlıklı olarak bilgisayar ortamındaki konuşma işaretleri üzerinde yoğunlaştırılmıştır. Bu amaçla, 4. Bölümden başlayarak sistematik bir yaklaşımla mevcut yöntemler incelenmiş ve gürültünün süzülmesi için gerekli alt yapı oluşturulmaya çalışılmıştır.

İlk yaklaşım olarak, sinüsoidal bileşenler ve beyaz gürültüden oluşan deneme amaçlı işaretlerin alt. üst ve band geçiren süzgeçlerle gürültüden arındırılması bilgisayar ortamında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalardan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Basit sinüsoidal işaretler için band geçiren süzgeçlerle gürültünün ayrıştırılması, oldukça etkin bir şekilde mümkün olmaktadır. Ancak, işaretin çok sayıda frekans bileşeni içermesi durumunda kullanılması gereken süzgeç sayısı artmaktadır.

- Güç yoğunluğu tayfi yardımıyla gürültünün belirlenmesinde, işaretin gerçekçi bir zaman-frekans modelinin kullanılması gerekmektedir. Bu gereksinim, pencereleme problemini beraberinde getirmektedir. İşaretin sonlu sayıdaki örneğinden elde edilecek güç yoğunluğu tayfi kullanılarak süzgeçlerin tasarlanmasında, frekans zaman çözünürlüğü etkileşimi nedeniyle bir problem yaşanmaktadır. Eğer güç yoğunluğu tayfi, pencere boyu çok kısa tutularak elde edilirse, az sayıda veri

kullanıldığından, tayftaki frekans çözünürlüğü düşmekte, işaretle birlikte gürültü de geniş bandlardan geçmektedir. Eğer pencere boyu uzun seçilirse, bu kez de zaman içinde oluşup sona eren ve işarete ait değişimlerle birlikte gürültüyü de içeren kısımların süzgeçlerden geçmesi söz konusudur.

- Band geçiren süzgeçler dışındaki yaklaşımlarda da, (işaretin istatistiksel özelliklerinin kullanıldığı tayf çıkarımı ve uyarlamalı süzgeçleme yöntemlerinde) yine pencereleme sorunu ve yakınsama problemleri söz konusudur. Tayf çıkarımı yönteminde, HFD alınıp işlendikten sonra Ters AFD kullanılması, yöntemin gerektirdiği matematiksel işlem sayısını arttırmaktadır. Ayrıca, çıkartma işlemi sonrasında “Müzikal Gürültü” ve pencereler arası sıçramaların yarattığı etkiler ancak çok aşamalı işlemler ile temizlenebilmektedir.

Uyarlamalı süzgeçlemede yakınsama sorunu, yöntemin karakteristik olarak hızlı değişen tayf özellikleri nedeniyle ses işaretlerine başarıyla uygulanmasında güçlükler yaratmaktadır.

Gürültü azaltmada temel gereksinimin, işaretin zaman-frekans analizinin (modelinin) gerçekçi olarak elde edilebilmesi olduğu 4. Bölümdeki incelemelerden belirlendikten sonra, bu amaçla HFD yerine kullanılacak farklı bir model geliştirilmiştir. Bu modelde, incelenen ayırık zaman işareti, istenilen frekans çözünürlüğüne bağlı olarak, seçilen sayıdaki band geçiren süzgeç grubundan geçirilerek, öncelikle frekans ekseninde bir ayırıştırma elde edilmiştir. Frekans ayırışımı bu şekilde gerçekleştirildikten sonra, elde edilen işaret bileşenlerinin genlik ya da seviyeleri, bir seviye belirleyici ile tespit edilmiştir. Burada, basit bir mutlak değer alıcı ve ortalama alıcı kullanılmıştır.

Bölüm 4.'te ayrıca, geliştirilen bu yöntemin AFD ile karşılaştırılması verilmiştir. Bu amaçla, genliği ve frekansı zamana bağlı ve hızlı bir değişim gösteren bir deneme işareti kullanılmıştır. AFD ve BGSŞ ile elde edilen sonuçlardan, BGSŞ'nun aynı zaman çözünürlüğü için, frekans çözünürlüğünün daha iyi olduğu kanıtlanmıştır. Ayrıca, BGSŞ yaklaşımında, işaretin gürültüden ayırıştırıldıktan sonra yeniden

sentezlenmesinin, HFD ve Ters HFD ile gerçekleştirilen bir sisteme göre çok daha basit olduğu belirlenmiştir.

Bölüm 5.'te, 4. bölümde elde edilen belirlemeler ışığında, öncelikle sabit katsayılı BGS yönteminin bulanık mantık ile birleştirilmiş şekilde uygulandığı bir sistem oluşturularak, işaretin gürültü oranının azaltılması problemi incelenmiştir. Burada kullanılan sistemin temel prensibi, Akbarzadeh and Knight (1993)'ten alınmıştır. Bu bölümün 1. ayırıtında, bu amaçla HFD yardımıyla elde edilmiş güç yoğunluğu tayfının, bulanık mantık temelli bir karar verme yöntemi ile incelenerek BGS'in alt ve üst kesim frekanslarının belirlenmesi esasına dayanan bir sistem bilgisayar ortamında gerçekleştirilmiştir.

Sistemin değişik ses işaretleri ve gürültü seviyeleri için incelenmesinden şu sonuçlar elde edilmiştir:

- BGS'in alt ve üst kesim frekanslarının, sadece tayf dağılımından yararlanılarak elde edilmesi durumunda, seçilen pencereye göre geçirme bandlarında ani sıçramalar oluşabilmektedir. Bu sıçramalar, elde edilen çıkış işaretinde akustik bozulmalara neden olmaktadır.

- Pencere boyu kısaltıldığında, frekans çözünürlüğü kötüleşmekte ve çıkışta süzgecin geçirme bandındaki değişime bağlı olarak, ıslık sesine benzer bir bozulma oluşmaktadır.

Bu belirlemeler ışığında, problemin çözümünde BGS yerine, gürültünün belirlendiği frekans bandlarının sürekli bir şekilde bastırılması esasına dayanan yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Bu anlamda literatüre tezin en önemli katkısı bu yöntemdir.

Geliştirilen yöntemde, işaretin sadece frekans bileşenleri değil, aynı zamanda bu bileşenlerin zamana göre değişimleri de incelenmiştir. Bu şekilde, gürültünün işareten ayrıştırılması, diğer yaklaşımlara göre oldukça etkin bir şekilde gerçekleştirilebilmiştir. Burada temel yaklaşım, BGSG ile zaman-frekans değişimi

elde edilen işaretlerin, hem frekans bileşenlerinin seviyelerine, hem de bu seviyelerin değişimlerine bağlı bir karar verme şeklindedir. Karar verme işlemi, bulanık mantıkla gerçekleştirilmiştir. Karar verme aşamasındaki temel kriter, şu şekilde özetlenebilir:

- Düşük frekanslı bileşenler, işaretin geneline göre oldukça yüksek seviyelidirler.
- Yüksek frekanslı bileşenlerin seviyeleri yüksek olmamakla birlikte, seviyelerinin zamana göre değişim hızları yüksektir.
- Beyaz gürültüye ait bileşenlerin seviyeleri, zamana göre oldukça durağandır.

Bu kriterler, bulanık mantık kuramının temel yaklaşımları yardımıyla, bir bulanık mantık sistemine uyarlanmıştır. Bulanık mantık denetleyici ya da karar verici, BGSB ile ayrıştırılan işaretlerin frekans bileşenlerine ait seviye ve bu seviyelerin zamana bağlı değişimlerine bakarak, her bir frekans bandı için o andaki işaretin gürültü mü, bilgi içeren işaret mi olduğuna karar vermektedir. Karar sonucunda, işaretin incelenen parçasının ne oranda bastırılacağı belirlenmektedir. Karar verme mekanizması bulanık olduğundan, bastırma oranı işaretin durumuna göre değişmektedir.

Yöntemin uygulanmasında en önemli aşama, kullanılacak bulanık kuralların ve üyelik fonksiyonlarının belirlenmesidir. Bulanık mantık kurallarının belirlenmesinde, gürültüsüz işaret, gürültü karışmış işaret ve sadece gürültüden oluşmuş işaretler incelenerek gürültünün işareten ayırt edilebilmesine olanak sağlayacak bir kural tabanı oluşturulmuştur.

Yöntemin uygulanması açısından bir diğer önemli nokta da, üyelik fonksiyonlarının sınırlarının, incelenen örneklere bağımlı olmasıdır. İncelenen işaretin özelliklerine ve işarete karışmış gürültü seviyesine göre, üyelik fonksiyonlarının sınırları farklılıklar göstermektedir. Bu durumda, her örnek için üyelik fonksiyonlarının sınırlarının yeniden oluşturulması gereksinimi, uygulama açısından önemli bir zorluk yaratmıştır. Bu sorunun aşılması için, üyelik fonksiyonlarının sınırlarını, gürültülü

işaretin özelliklerine göre kendi kendine ayarlayabilen bir Uyarlamalı Bulanık Mantık Sistemi gerçekleştirilmiştir. Sınırların otomatik olarak belirlenmesinde en önemli ölçüt, gürültü seviyesinin ve seviye değişiminin belirlenerek bu değerlerin bir anlamda bir eşik olarak kullanılmasıdır. Bu amaçla, özellikle konuşma işaretleri için geçerli olacak bir varsayım kullanılmıştır. Çeşitli konuşma örnekleri incelenerek, normal konuşma işaretlerinde, 4-5 kHz bandında hemen hemen hiç bileşenin bulunmadığı saptanmıştır. Bu saptamadan yararlanılarak, en yüksek banda ait BGS çıkışından, işarete karışmış gürültünün seviyesinin kestirimi yapılmıştır. Bu gürültü seviyesi, düşük üyelik fonksiyonunun sınırı olarak alındığından, sadece gürültü içeren işaret parçalarının tümüyle bastırılması sağlanmıştır. Bu şekilde, işarete mevcut olan gürültü seviyesine göre, sistemin bastırma oranının uyarlamalı olarak değiştirmesi sağlanmıştır. Böylece, geliştirilen sistemin, belirli bir İGO değeri için mümkün olan en iyi çıkışı üretmesi mümkün kılınmıştır.

Bu açıklamalar ışığında, geliştirilen sistemin esas olarak işlevi şu şekilde açıklanabilir. Bilgisayar ortamında kayıt edilmiş bir işaret, belirli sayıdaki ve geçirme bandları 0 ile örnekleme frekansının yarısı arasına eşit olarak yayılmış BGS'ten geçirilir. Her band çıkışı, belirli sayıdaki örneklerden oluşan işaret parçalarına ayrılır. Bu işaret parçalarının, mutlak değerlerinin ortalamaları alınır. Tüm bandlardaki tüm işaret parçaları için, ortalama seviye ve seviye değişimleri belirlenir. Bu değerlerden yararlanılarak, bulanık mantık karar vericide kullanılacak üyelik fonksiyonlarının sınırları belirlenir. Yukarıda elde edilen seviye ve seviye değişim değerleri tüm bandlardaki tüm işaret parçaları için bulanık mantık karar vericiye girerek, her işaret parçası için bir çarpan elde edilir. Bu şekilde elde edilen çarpanlar, ilgili işaret parçasının gürültü mü, asıl işaret mi olduğuna bağlı olarak 0 ile 1 arasında bir değerdir. Sonuçta, elde edilen çarpan değerleri ile, BGS çıkışlarından elde edilmiş işaretler çarpılır ve bandlara ayrılmış işaret bileşenleri toplanarak, işaret yeniden sentezlenir. Asıl işaretin büyük bir kısmı çıkışa aktarılırken, sadece gürültü içeren kısımlar büyük oranda bastırılmış olunur.

Yöntemin, diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında göze çarpan en önemli üstünlükleri aşağıdaki başlıklarla sıralanabilir.

1- Önerilen yöntem oldukça basit bir mantıkla ve karmaşık matematiksel ve istatistiksel temellere gereksinim olmaksızın geliştirilmiştir.

2- Etki olarak, karmaşık uyarlamalı süzgeçlere benzer bir işlevi gerçekleştirmektedir.

3- Tayf çıkartımı yöntemine göre, oldukça pratik uygulanmakta, frekans-zaman çözünürlüğü çelişkisi yaşanmamakta ve ters AFD dönüşümüne gereksinim duyulmamaktadır. Tayf çıkartımı yönteminde oluşan “Müzik Gürültüsü” etkisi, önerilen yöntemde özellikle üyelik fonksiyonlarının sınırları otomatik olarak belirlendiğinde söz konusu olmamaktadır.

4- Ayrıt 5.1’de verilen ve Bulanık mantık temelli BGS yaklaşımında gözlenen olumsuz etkilerin tümü, önerilen yöntemde giderilmiştir.

a) Tek süzgecin bandlarının işarete bağlı olarak kaydırılması yerine çok sayıda süzgeç kullanımı, çıkışta elde edilen İGO ve akustik kalite açısından, önerilen yöntemin daha başarılı olmasını sağlamıştır.

b) HFD yerine BGS kullanımı, işaretin frekans bileşenlerinin zamana bağlı olarak etkin bir şekilde incelenebilmesini sağlamıştır.

c) Bulanık mantık karar vericinin, gürültü seviyesine göre üyelik fonksiyonlarının sınır değerlerini otomatik olarak belirlemesi, sistemin pratikliğini ve sonuçları olumlu olarak etkilemiştir.

Önerilen yöntemin şu aşamadaki en önemli sakıncası, gerçek zamanda bilgisayar ortamındaki kadar etkin uygulanmasının mümkün olmamasıdır. Ancak bu kısıtlamanın, hızla gelişen Sayısal İşaret İşlemcileri ve Mikro Denetleyici teknolojisi ile yakın bir gelecekte aşılabileceği söylenebilir. Günümüz teknolojisi ile sistemin bazı kısımlarının (örneğin BGS’ın) donanımsal olarak gerçekleşmesi durumunda, düşük bir gecikmeyle gerçek zamanda uygulanabileceği kesin olmamakla birlikte ifade edilebilir.

Bilgisayar ortamında gerçeklenmesi durumunda, sistemin daha etkin olarak uygulanabilmesi için, özellikle bulanık mantık karar vericinin oluşturulmasında daha ileri düzeyli çalışmalar yapılmalıdır. Değişik VE - VEYA oluşturma yöntemleri, üyelik fonksiyonlarının daha çok sayıda derecelendirilmesi ve kullanılacak farklı durulaştırma yöntemlerinin, daha başarılı sonuçlar için araştırmaya değer olduğu söylenebilir. Bulanık mantık karar verici için, işaretin daha farklı özelliklerinden (rneğin, istatistiksel büyüklüklerinden) oluşturulacak ek giriş değişkenlerinin ve ek kuralların, sadece gürültü içeren işaret parçalarının belirlenmesinde, iki giriş değişkenine göre daha fazla bilgi verebileceği öngörülebilir.



KAYNAKLAR

1. ABUT, N. ve ÇAKIR, B., 1996. Bulanık Mantık Ders Notları. KOÜ Fen Bil. Enst.
2. ARAKAWA, K., 1996. Median filter based on fuzzy rules and its application to image restoration. Fuzzy Sets and Systems Vol. 77, No. 1,3-13 .
3. BERENJI, H. R., 1992. in: R. R. Yager, L. A. Zadeh (Editors), An Introduction to Fuzzy Logic Applications in intelligent Systems. Kluwer Academic Publishers, 69-95.
4. BERNARD, J., 1988. Use of Rule-Based System for Process Control. IEEE Control Systems Magazine, October, 3-13.
5. BETIN, F., DELOIZY, M. and GOELDEL, C., 1994. Application of Fuzzy Logic in the Speed Control of a Step Motor.
6. BEZDEK, J. C., 1992. Editorial. Fuzzy Models-What Are They, and Why? IEEE Trans. Fuzzy Systems, Vol. 1, No. 1, 1-6.
7. BEZDEK, J.C., 1993. Fuzzy Models- What Are They, and Why?. IEEE Trans. Fuzzy Systems, Vol. 1, No. 1, 1-6.
8. BOSTON, J. R., 1993. A Fuzzy Model of Signal Detection Incorporating Uncertainty. Second IEEE Int. Conference on Fuzzy Systems, Vol. 1, 1107-1112.
9. CHIU, S. and CHAND, S., 1993. Adaptive Traffic Signal Control Using Fuzzy Logic. Second IEEE Int. Conference on Fuzzy Systems, Vol. 1, 1371-1376, California.
10. DİZDAROĞLU, B., GANGAL, A., KAYIKÇIOĞLU, T. ve ATASOY, A. 1997. İşaret Örneklemede Bulanık Mantık Yöntemi. 5. Sinyal İşleme ve Uygulamaları Kurultayı Bildiri Kitabı. 855-860.
11. DONESCU, V. and NEACSU, D. O., 1995. A Systematic Design Method of Fuzzy Logic Speed Controllers for High Performance Motor Drives.
12. DRIANKOV, D., HELLENDORRN, H. and REINFRANK, M., 1996. An Introduction to Fuzzy Control. 2nd Edition, Springer, 103-144, Germany.
13. EPHRAIM, Y., 1992. Statistical-Model-Based Speech Enhancement Systems. Proceedings of The IEEE, Vol. 80, No. 10, 15526-1555.

- 14.FAVILLA, J., MACHION, A. and GOMIDE, F., 1993. Fuzzy Traffic Control:Adaptive Starategies. Second IEEE Int. Conference on Fuzzy Systems, Vol. 1, 506-511, California.
- 15.GEORGESCU, C., AFSHARI, A. and Bornard G., 1993. Fuzzy Predictive PID Controllers A Heating Control Application. Second IEEE Int. Conference on Fuzzy Systems, Vol. 1, 1091-1097, California.
- 16.GIARRATANO, J. and RILEY, G., 1989. Expert Systems Principles and Programming. PWS-Kent Publishing, 256-346, Boston.
- 17.HALE, C. and NGUYEN, C., 1995. Voice command recognition using fuzzy logic. Proceedings of the 1995 Wescon Conference, 608-613,USA.
- 18.HAYKIN, S., LI, X. B., 1995. Detection of Signals in Chaos. Proceedings of IEEE, Vol. 83, No. 1., 95-121.
- 19.HAYKIN, S.,1986. Adaptive Filter Theory. Prentice-Hall, 1-590, New Jersey.
- 20.HIGGINS, R. J., 1990. Digital Signal Processing in VLSI. Prentice-Hall, 1-575, New Jersey.
- 21.HLAWATSCH, F. and BOUDREAUX G. F., 1992. Linear and Quadratic Time-Frequency Signal Representations. IEEE SP Magazine, Apr., 21-57.
- 22.JAMSHIDI, M., 1993. Introduction. in: M. Jamshidi, N. Vadiiee and T. J. Ross (Editors), Fuzzy Logic and Control. Prentice Hall, 2-9, New Jersey.
- 23.KÓCZY, L.T., 1996. Fuzzy If...Then Rule Models and Their Transformation Into One Another. IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics- Part A:Systems and Humans, Vol. 26, No. 5, 621-637.
- 24.KABRISKY, M., ROGERS, S. K. and BASHIR, N. A., 1989. Reconstruction of Multilated Speech. IEEE AES Magazine, Sep., 39-43.
- 25.KAWAJI, S., and MATSUNAGA, N., 1990. Generation of Fuzzy Rules for Servomotor. International Workshop on Intelligent Motion Control, Boğaziçi University, 77-82, İstanbul.
- 26.KLIR, G. J. and FOLGER, T. A., 1988. Fuzzt Sets, Uncertainty, and Information. Prentice-Hall, 1-355, New Jersey.
- 27.KNIGHT, R. J. and AKBARZADEH, M. T., 1993. Using Fuzzy Logic to Automatically Configure a Digital Filter. in: M. Jamshidi, N. Vadiiee and T. J. Ross (Editors), Fuzzy Logic and Control. Prentice Hall, 1-389, New Jersey.
- 28.LEA, R.N., HOBLIT J. and JANI Y., 1993. Fuzzy Logic Based Robotic Arm Control.

29. MADAU, D.P., YUAN, F. and DAVIS, L.I., 1993. Fuzzy Logic Anti-Lock Brake System for a Limited Range Coefficient of Friction Surface. Second IEEE Int. Conference on Fuzzy Systems, Vol. 1, 883-889, California.
30. MENDEL J.M., 1995. Fuzzy Logic Systems for Engineering: A tutorial. Proceedings of The IEEE, Vol. 83, No. 3, 345-377.
31. NAUNIN, D. and KARAALI, C., 1993. Cascaded Position Control for an Intelligent Synchronous Servodrive Using Fuzzy Logic. The European Power Electronics Association. 447-452, Brighton.
32. NISHIMORI, K., HIRAKAWA, S. and TOKUTAKA, H., 1993. Fuzzification of Control Timing in Driving Control of a Model Car. Second IEEE Int. Conference on Fuzzy Systems, Vol. 1, 297-302, California.
33. OPPENHEIM, A. V. and SCHAFER R. W., 1989. Discrete-Time Signal Processing. Prentice-Hall, 1-875, New Jersey.
34. OPPENHEIM, A. V., WILLSKY, A. S. and YOUNG, I. T., 1983. Signals and Systems. Prentice-Hall, 1-793, New Jersey.
35. PASTACI, H., 1996. Modern Elektronik Sistemler. YTÜ Yayınları, 1- 52, İstanbul.
36. PEDRYCZ, W., 1993. Fuzzy Control and Fuzzy Systems. 2nd Edition, John Wiley & Sons Inc., 104-107, New York.
37. PIELEMEIER, W. J. and WAKEFIELD, G. H., 1996a. Time-Frequency Analysis of Musical Signals. Proceedings of the IEEE, Vol. 84, No. 9, 1216-1230.
38. PIELEMEIER, W. J. and WAKEFIELD, G. H., 1996b. A high Resolution Time-Frequency Representation for Musical Instrument Signals. J. Acoust. Soc. Am., Vol. 99, No. 4, 2382-2395.
39. RIOUL, O. and VETTERLY, M., 1991. Wavelets and Signal Processing. IEEE SP Magazine, Oct.91, 15-37.
40. ROBERTS G., 1986. Measurements of, with, and in the Presence of Noise. in: B. M. Oliver and J. M. Cagle (Editors), Electronic Measurements and Instrumentation. McGraw-Hill, 65-105, Singapore.
41. ROSS, T. J., 1993. Set Theory- Classical and Fuzzy Sets. in: M. Jamshidi, N. Vadiiee and T. J. Ross (Editors), Fuzzy Logic and Control. Prentice Hall, 10, New Jersey.
42. RUSSO, F. and RAMPONI, G., 1996. Fuzzy filter for images corrupted by impulse noise. IEEE Signal Processing Letters, Vol. 3, No. 6, 168-170.

43. SATO, M., KITAGAWA, T. and SEKIGUCHI, T., 1993. Fuzzy Logic Based Banknote Transfer Control. Second IEEE Int. Conference on Fuzzy Systems, Vol. 1, 279-284, California.
44. SCHWATRZ, D.G. and KLIR, G.J., 1992. Fuzzy Logic Flowers in Japan. IEEE Spectrum, July, 32-34. Vol. 1, 128-133, California.
45. SMITH, S.M., RAE, G.J.S. and ANDERSON, D.T., 1993. Applications of Fuzzy Logic to the Control of an Autonomous Underwater Vehicle. Second IEEE Int. Conference on Fuzzy Systems, Vol. 1, 1099-1106, California.
46. STEARNS, S. D. and DAVID, R. A., 1989. Signal Processing Algorithms. Prentice-Hall, 1-315, New Jersey.
47. SUCHER, R., 1995. Recursive nonlinear filter for removal of impulse noise. Proceedings of the 1995 IEEE International Conference on Image Processing. Vol.1, 183-186.
48. TOGAI, M. and WATANABE, H., 1992. Expert System on a Chip: An Engine for Approximate Reasoning. in: A. Kandel (Editor), Fuzzy Expert Systems. CRC Press, 259-274, Florida.
49. TULUNAY, E., 1987. Review of Microprocessor Based Process Control with Particular Reference to Turkish Cement Industry. International Federation of Automatic Control, Symposium on Microcomputer Application on Process, A3, 7-11, İstanbul.
50. VADIEE, N., 1993. Fuzzy Rule-Based Expert Systems II. in: M. Jamshidi, N. Vadiee and T. J. Ross (Editors), Fuzzy Logic and Control. Prentice Hall, 1-389, New Jersey.
51. VASHEGI, S., 1996. Advanced Signal Processing and Digital Noise Reduction. Wiley-Teubner, 1-328.
52. VIJEH, N., 1993. Self Organizing Fuzzy Logic Control of a Level Control Rig. Second IEEE Int. Conference on Fuzzy Systems, Vol. 1, 303-308, California.
53. WANG, J. H. and YU, M.D., 1995. Image restoration by adaptive fuzzy optimal filter. Proceedings of the 1995 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics Vol.1, 845-848.
54. WANG, L.X. and MENDEL, J.M., 1993. Fuzzy Adaptive Filters, with Application to Nonlinear Channel Equalization. IEEE Trans. Fuzzy Systems, Vol. 1, No. 3, 161-170.
55. WIDROW, B. and STEARNS, S., 1985. Adaptive Signal Processing. Prentice-Hall, 1-474, New Jersey.

56. YAGER, R. R. and FILEV, D. P., 1994. Essentials of Fuzzy Modeling and Control. John Wiley & Sons, Inc, 1-387, Canada.
57. YAMAKAWA, T., UCHINO, E., MIKI, T. and NAKAMURA, S., 1993. Hardware Implementation of Fuzzy Filtering. Second IEEE Int. Conference on Fuzzy Systems, Vol. 1, 535-542.
58. ZADEH, L.A., 1973. Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes. IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-3, No. 1, 28-44.
59. ZADEH, L.A., 1989. Knowledge Representation in Fuzzy Logic. IEEE Trans. Knowledge and Data Engineering, Vol. 1, No. 1, 89-100.
60. ZADEH, L.A., 1996. Fuzzy Logic=Computing with Words. IEEE Trans. Fuzzy Systems, Vol. 4, No. 2, 103-111.
61. ZADEH, L.A., 1965. Fuzzy Sets. Inform. Control. Vol. 8, 338-353.
62. ZIEMER, R. E., TRANTER, W. H. and FANNIN D. R., 1989. Signals and Systems: Continuous and Discrete. 2nd Edition, Macmillan Publishing Company, New York.

BİLGİSAYAR DESTEKLİ BUTTERWORTH TİPİ ALÇAK , YÜKSEK, BAND GEÇİREN SÜZGEÇ TASARIM ÖRNEKLERİ

Aşağıda, kullanılan süzgeç tasarım yazılımına ilişkin komutlar verilmiştir.

[B,A] = BUTTER (N,Wn)

N. dereceden Alt geçiren IIR süzgecin a_k , b_k katsayılarını hesaplar. Burada, W_n normalize edilmiş kesim frekansı olup, $0 < W_n < 1$ olmalıdır. 1, örnekleme frekansının yarısına karşılık gelmektedir. Örneğin 10 KHz'de örneklenmiş bir ayrık zaman serisi için $W_n = 0.5$ olarak verilirse, kesim frekansı $(10000/2)0.5 = 2500\text{Hz}$ şeklinde oluşur.

[B,A] = BUTTER(N,Wn,'high')

N. dereceden Üst geçiren IIR süzgecin a_k , b_k katsayılarını hesaplar. Kesim frekansı yine W_n ile verilir.

[B,A] = BUTTER(N, [W_A W_U])

2N. Dereceden Band geçiren süzgecin a_k , b_k katsayılarını hesaplar. Burada W_A normalize alt kesim, W_U , normalize üst kesim frekanslarıdır.

Örnek :

6. Derece $W_n = 0.45$ Alt geçiren süzgeç katsayıları

[B,A] = BUTTER (6, 0.45)

B = [0.0180 0.1080 0.2701 0.3601 0.2701 0.1080 0.0180]
A = [1.0000 -0.5935 0.9092 -0.2944 0.1490 -0.0205 0.0025]

Örnek :

6. Derece $W_n = 0.35$ Yüksek geçiren süzgeç katsayıları

[B,A] = BUTTER (6, 0.35, 'high')

B = [0.1029 -0.6177 1.5442 -2.0589 1.5442 -0.6177 0.1029]
A = [1.0000 -1.7829 1.9699 -1.2291 0.4882 -0.1079 0.0106]

Örnek:

6. Derece $W = [0.35 0.45]$ Band geçiren süzgeç katsayıları

[B, A]=butter(3,[0.35 0.45])

$$B = [0.0029 \quad 0.0000 \quad -0.0087 \quad 0.0000 \quad 0.0087 \quad 0.0000 \quad -0.0029]$$
$$A = [1.0000 \quad -1.6814 \quad 3.3214 \quad -2.8715 \quad 2.6957 \quad -1.1030 \quad 0.5321]$$

a_k ve b_k katsayıları belirlendikten sonra herhangi bir x_k serisinin süzgeçten geçmiş şekli y_k aşağıdaki bağıntı ile belirlenir.

$$y_k = \sum_{n=0}^L b_n x_{k-n} - \sum_{n=1}^L a_n y_{k-n}$$



BULANIK MANTIK TEMELLİ GÜRÜLTÜ AZALTMA YAZILIMI

```

clear;
xbgs=0;xb=0;xcki=0;

% Herbir parçadaki örnek sayısı
u=50;

% .wav soyadlı dosyanın (temiz ses) okunması
xses=(wavread('ogret')-128);

%Örnekleme frekansı
ofr=11025;

% Okunan .wav dosyasının örnek sayısı
osay=size(xses);

%Parca sayısı
psay=osay(1,2)/u;

%Üretilen beyaz gürültü
xgrt=15*randn(size(xses));

%Girişteki işaret/gürültü oranı
igo=10*log10(sum(psd(xses))/sum(psd(xgrt)))

%Gürültülü işaret
xk=xses+xgrt;

%Gürültülü işaretin normalize edilmesi
xk=(xk/max(xk));

%Filtre sayısı
fisay=input('Filtre sayısı ?');

for j=1: fisay
    Ak(j)=10+(j-1)*(ofr/2)/fisay;
    Uk(j)=j*((ofr/2)/fisay);

    [b,a]=butter(3,[Ak(j) Uk(j)]*2/ofr);

    % Band geçiren süzgeç çıkışı (xk nın süzgeçlenmiş şekli)
    xb=filter(b,a,xk);

```

```

%xb lerden oluşan matris
xbgs(j,1:osay(1,2))=xb;

end;

% xbgs' nin mutlak değeri
xmutlak=abs(xbgs);

% Her parçaya ait toplam değer
xtop=0;
for j=1:fisay
    tp=1;
    for sut=1 : osay(1,2)/u
        for top=1:u
            xtop=xtop+xmutlak(j,tp);
            tp=tp+1;
        end;

        % Her parçanın ortalama seviye değeri
        xort(j,sut)=(xtop/(u))*100 ;
        if sut ~= 1
            % Parçalar arasındaki seviye değişimi
            xdeg(j,sut)=(-xort(j,sut-1)+xort(j,sut));
        end; %if end

        xtop=0;
    end;

    % j. filtre için ortalama seviye değeri dizisi
    xortj=(xort(j,1:osay(1,2)/u));
    xdeg(1,1)=0;
    % j. filtre için seviye değişimi dizisi
    xdegj=xdeg(j,1:osay(1,2)/u);
    % Bulanık mantık karar verici 1. Girişi (SEVIYE)
    Seviye(j,1:osay(1,2)/u) =xortj;
    % Bulanık mantık karar verici 2. Girişi (SDEG)
    Sdeg(j,1:osay(1,2)/u)=xdegj;

end;

% SEVIYE giris degiskenine ait üyelik fonksiyonlarının sınırlarının bulunması

% DÜŞÜK üyelik fonksiyonunun sınırı SO2
Sd= 3* mean(xort(fisay,1:osay(1,2)/u));

% ORTA üyelik fonksiyonunun üst sınırı
So2=1.5*max((mean(xort(1:fisay,1:osay(1,2)/u'))));

```

```

% ORTA üyelik fonksiyonunun alt sınırı
So1=Sd*0.85;

% YÜKSEK üyelik fonksiyonunun üst sınırı
Sy2=max(max(xort));

% DÜŞÜK üyelik fonk. Sınırı ile ORTA üyelik fonk. alt sınırı arasındaki fark
fark=Sd-So1;

% YÜKSEK üyelik fonksiyonunun üst sınırı
Sy1=So2-fark;

% ORTA üyelik fonksiyonunun (üçgen) tepe değerinin olduğu nokta
Sorta=((So2-So1)/2)+So1

if So1<0 So1=0
end;

% BULANIK MANTIK ÇIKARIM SİSTEMİ' nin oluşturulması

a=newfis('adaptif');
a=setfis(a,'DefuzzMethod','mom');

% SEVIYE giriş değişkenine ait üyelik fonk. nin oluşturulması

a=addvar(a,'input','SEVIYE',[0 Sy2]);

a=addmf(a,'input',1,'DUSUK','trimf',[0 0 Sd]);

a=addmf(a,'input',1,'ORTA','trimf',[So1 Sorta So2]);

a=addmf(a,'input',1,'YUKSEK','trapmf',[Sy1 So2 Sy2 Sy2]);

% TUREV giriş değişkenine ait üyelik fonk. nin oluşturulması

a=addvar(a,'input','SDEG',[-Sy2 Sy2]);

a=addmf(a,'input',2,'NYUKSEK','trapmf',[-Sy2 -Sy2 -So2 -Sy1]);

a=addmf(a,'input',2,'NORTA','trimf',[-So2 -(Sorta) -Sd/3]);

a=addmf(a,'input',2,'SIFIR','trimf',[-Sd 0 Sd]);

a=addmf(a,'input',2,'PORTA','trimf',[Sd/3 (Sorta) So2]);

```

```

a=addmf(a,'input',2,'PYUKSEK','trapmf',[(Sy1) So2 Sy2 Sy2]);

% CARPAN cikis degiskenine ait üyelik fonk.nin olusturulmasi

a=addvar(a,'output','KATSAYI',[0 1]);

a=addmf(a,'output',1,'DUSUK','trimf],[-0.1 0 0.1]);

a=addmf(a,'output',1,'ORTA','trimf',[0.05 0.5 0.85]);

a=addmf(a,'output',1,'YUKSEK','trimf',[0.8 1 1]);

% BULANIK MANTIK KURALLARININ SİSTEME EKLENMESİ

kurlist=[1 1 1 1 1;1 3 1 1 1;1 2 1 1 1;1 5 2 1 1;1 4 2 1 1 ;
         2 1 1 1 1; 2 3 2 1 1; 2 2 2 1 1; 2 5 3 1 1; 2 4 3 1 1; 3 0 3 1 1];

a=addrule(a,kurlist);

% Degiskenlere ait üyelik fonk.nin cizdirilmesi.

plotmf(a,'input',1);
ylabel('Üyelik Derecesi');
figure;
plotmf(a,'input',2);
ylabel('Üyelik Derecesi');
figure;
plotmf(a,'output',1);
ylabel('Üyelik Derecesi');

for j=1:fisay

% SEVİYE ve SDEG giriş değerlerinin bir matrise atanması
fuzgiris(1,1:osay(1,2)/u)=Seviye(j,1:osay(1,2)/u);
fuzgiris(2,1:osay(1,2)/u)=Sdeg(j,1:osay(1,2)/u);

% Oluşturulan matrisin Bulanık mantık karar vericiye sokulması ve
% KATSAYI değerlerinin elde edilmesi
Katsayi(j,1:osay(1,2)/u)=(evalfis(fuzgiris',a))';

```

```

end;

for i=1 : fisay
    for d=1 : osay(1,2)/u
        for sut=1+(d-1)*u :((d-1)*u) + u
            % i. Filtre için işaretin KATSAYI değerleriyle çarpılmış şekli
            xcki(i,sut)=xbgs(i,sut)*Katsayi(i,d);
        end;
    end;
end

xtemiz=0;
for t=1:fisay

    sd(t,1:osay(1,2)-u)=xcki(t,1:osay(1,2)-u);
    % Gürültüsü azaltılmış ses
    xtemiz=sd(t,1:osay(1,2)-u)+xtemiz;

end;

% Gürültüsü azaltılmış sesin dinletilmesi
sound(xtemiz,ofr);

```


MATRİS İŞLEMLERİ

Kullanılan değişkenler ve anlamları:

- u : işaret parçalarındaki örnek sayısı (skaler)
 x_{ses} : WAV formatlı dosyadan okunan dizi $(1, o_{say})$ boyutlu satır matrisi
 o_{say} : x_{ses} dizisinin örnek sayısı (skaler)
 p_{say} : işaret parçalarının sayısı (skaler) o_{say}/u
 x_{grt} : üretilen beyaz gürültü. $(1, o_{say})$ boyutlu satır matrisi.
 x_k : normalize edilmiş gürültülü işaret.
 s_{say} : süzgeç sayısı.
 x_{bgs} : x_k dizisinin ardışık olarak s_{say} adet BGS'den geçirilmesi ile oluşan (s_{say}, o_{say}) boyutlu matris.
 x_{ort} : x_{bgs} matrisinin u adetlik elemanlarından hesaplanmış (s_{say}, p_{say}) boyutlu seviye değerleri matrisi.
 x_{deg} : x_{ort} matrisinin elemanlarının farkları ile oluşturulan seviye değişimi (s_{say}, p_{say}) boyutlu matrisi.
 $x_{fg}(i)$: i 'nci süzgeç için oluşturulan $(2, p_{say})$ boyutlu bulanık mantık karar verici giriş matrisi.
 $x_{kats}(i)$: i 'nci süzgeç için bulanık mantık karar verici çıkışından elde edilen (s_{say}, p_{say}) boyutlu katsayı matrisi.
 x_{cks} : x_{kats} matrisi elemanları ile x_k elemanlarının çarpımı ile elde edilmiş (s_{say}, o_{say}) boyutlu çıkış matrisi.
 x_t : Gürültüsü azaltılmış çıkış işareti. $(1, o_{say})$ boyutlu satır matris.

$$x_k = [x_k(1), \dots, x_k(o_{say})]$$

$$x_{bgs} = \begin{bmatrix} x_{bgs}(1,1) & \dots & x_{bgs}(1, o_{say}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{bgs}(s_{say},1) & \dots & x_{bgs}(s_{say}, o_{say}) \end{bmatrix}$$

$$x_{ort} = \begin{bmatrix} x_{ort}(1,1) & \dots & x_{ort}(1, p_{say}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{ort}(s_{say},1) & \dots & x_{ort}(s_{say}, p_{say}) \end{bmatrix}$$

$$x_{deg} = \begin{bmatrix} x_{deg}(1,1) & \cdot & x_{deg}(1, p_{say}) \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ x_{deg}(s_{say}, 1) & \cdot & x_{deg}(s_{say}, p_{say}) \end{bmatrix}$$

$$x_{fg}(1) = \begin{bmatrix} x_{ort}(1,1) & \cdot & x_{ort}(1, p_{say}) \\ x_{deg}(1,1) & \cdot & x_{deg}(1, p_{say}) \end{bmatrix} \quad x_{fg}(s_{say}) = \begin{bmatrix} x_{ort}(s_{say}, 1) & \cdot & x_{ort}(s_{say}, p_{say}) \\ x_{deg}(s_{say}, 1) & \cdot & x_{deg}(s_{say}, p_{say}) \end{bmatrix}$$

$$x_{kats} = \begin{bmatrix} x_{kats}(1,1) & \cdot & x_{kats}(1, p_{say}) \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ x_{kats}(s_{say}, 1) & \cdot & x_{kats}(s_{say}, p_{say}) \end{bmatrix}$$

$$x_{cks} = \begin{bmatrix} x_{cks}(1,1) & \cdot & x_{cks}(1, o_{say}) \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ x_{cks}(s_{say}, 1) & \cdot & x_{cks}(s_{say}, o_{say}) \end{bmatrix}$$

$$x_{cks}(1,1) = x_k(1) x_{kats}(1,1)$$

·

$$x_{cks}(1,u) = x_k(u) x_{kats}(1,1)$$

$$x_{cks}(1,u+1) = x_k(u+1) x_{kats}(1,2)$$

·

·

$$x_{cks}(s_{say}, 1) = x_k(1) x_{kats}(s_{say}, 1)$$

·

$$x_{cks}(s_{say}, u) = x_k(u) x_{kats}(s_{say}, 1)$$

$$x_{cks}(s_{say}, u+1) = x_k(u+1) x_{kats}(s_{say}, 2)$$

·

·

$$x_{cks}(s_{say}, o_{say}) = x_k(o_{say}) x_{kats}(s_{say}, p_{say})$$

$$x_t(1) = \sum_{i=1}^{S_{say}} x_{cks}(i,1)$$

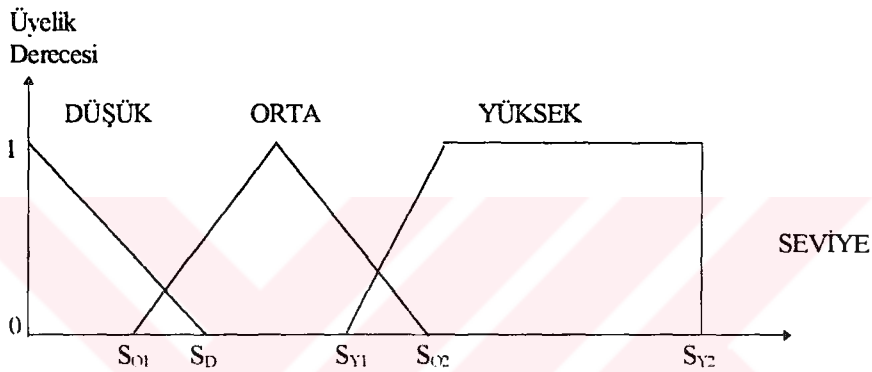
$$x_t(O_{say}) = \sum_{i=1}^{S_{say}} x_{cks}(i, O_{say})$$

$$x_t : [x_t(1), \dots, x_t(O_{say})]$$

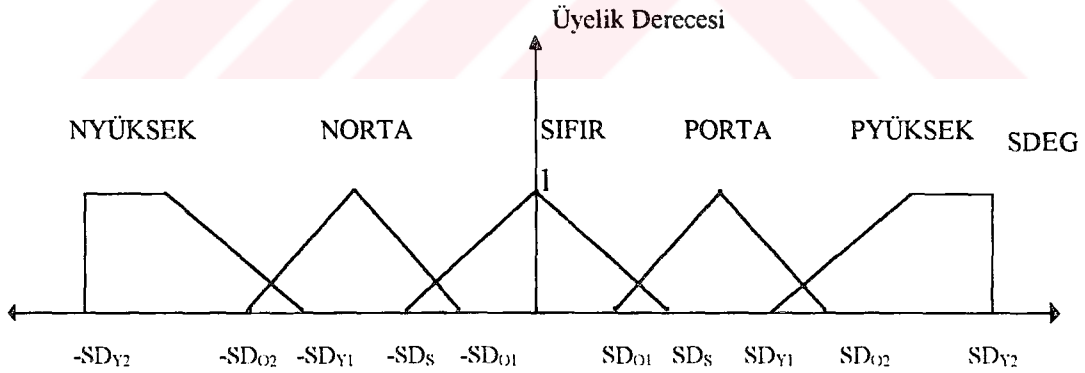


BULANIK MANTIK KARAR VERİCİYE İLİŞKİN ÜYELİK FONKSİYONLARININ SINIRLARININ OLUŞTURULMASI

5.3'te verildiği gibi, SEVİYE ve SDEG giriş değişkenlerine ilişkin üyelik fonksiyonlarının sınırlarının, incelenen işaretin özelliklerine ve işarete karışmış olan beyaz gürültünün seviyesine göre değiştirilmesi gereklidir. Bu şekilde yöntemin uygulanmasında önemli bir pratiklik sağlanacaktır. Şekil D.1'de SEVİYE, Şekil D.2'de SDEG giriş değişkenlerinin üyelik fonksiyonlarına ilişkin sınırlar gösterilmiştir.



Şekil D.1. SEVİYE Giriş değişkenine ilişkin üyelik fonksiyonları



Şekil D.2. SDEG Giriş değişkenine ilişkin üyelik fonksiyonları

Örnek olarak ayrıt 5.3'te ilk olarak incelenen "Doktora" sözcüğüne ait işaret için sınır değerlerin nasıl oluştuğu aşağıda açıklanacaktır. Öncelikle 8632 örnekten oluşan bu işaret, 5 adet BGS'den geçirilmiş ve 100'er örneklilik 86 adet işaret parçası elde edilmiştir. (Bkz. Şekil 5.21., 5.22.)

Her bandtaki ortalama ve en büyük seviye değerleri Tablo D.1’de verilmiştir

Tablo D.1. Ortalama ve en büyük seviye değerleri

Bandlar	1.	2.	3.	4.	5.
Ortalama Seviye	12.08	5.39	3.65	3.56	3.47
En büyük Seviye	31.64	12.83	5.51	4.93	4.62

Bu değerlerden yararlanılarak SEVİYE giriş değişkeninin sınırları şu şekilde belirlenir:

1- S_{Y2} : Bulanık mantık karar vericinin SEVİYE girişinde oluşacak en büyük değere eşit olmalıdır. Bu nedenle Tablo D.1’de görülen enbüyük değer olan 31.64 olarak alınır.

2- S_D : 5.3.’te de belirtildiği gibi en yüksek bandtaki süzgecin sadece gürültü içerdiği öngörüldüğünden SEVİYE giriş değişkeninin DÜŞÜK üyelik fonksiyonunun üst sınırı S_D değeri 5. bandta oluşan değerden yararlanılarak belirlenmektedir. Sadece gürültü içeren işaret parçalarının etkin olarak bastırılması için bu değer en yüksek frekanslı bandta ölçülen ortalamanın 3 katı olarak alınmıştır. ($3 \times 3.47 = 10.41$)

3- S_{O2} : SEVİYE giriş değişkeninin ORTA üyelik fonksiyonunun üst sınırı, S_{O2} , tüm bandlardaki seviye değerlerinin ortalamalarından, en büyük olan ortalama değer 1.5 katı olarak alınmıştır. Örnekte 1. band değerinden yararlanılarak $12.08 \times 1.5 = 18.12$ olarak alınmıştır.

4- S_{O1} : SEVİYE giriş değişkeninin ORTA üyelik fonksiyonunun alt sınırı, S_{O1} . S_D değerinin 0.85 katı (çeşitli ses örnekleri için yapılan denemelerden sonra bu değer en iyi sonucu verdiği karar verilmiştir) kadar alınmıştır ($10.41 \times 0.85 = 8.85$).

5- S_{Y1} : SEVİYE giriş değişkeninin YÜKSEK üyelik fonksiyonunun alt sınırı hesaplanırken, simetri sağlanması bakımından, $S_D - S_{O1}$ değeri S_{O2} den çıkarılmıştır ($18.2 - (10.41 - 8.85) = 16.64$).

Tablodaki değerlerden yararlanılarak SDEG giriş değişkeninin sınırları şu şekilde belirlenir:

1- SD_S : SDEG giriş değişkeninin SIFIR üyelik fonksiyonunun sınırı olarak, işaretin en yüksek frekans bandında oluşan enbüyük SEVİYE değerinden yararlanılmıştır. Örnekte 5. bandtaki 3.47 değerinin 3 katı SD_S değerini oluşturur.

2- SD_{Y2} : SDEG giriş değişkeninin PYÜKSEK üyelik fonksiyonunun üst sınırı SD_{Y2} için SEVİYE girişinde oluşacak en büyük değer alınmıştır. Örnekte görüldüğü gibi bu değer 31.64 tür.

SDEG için yukarıdaki iki değer bulunduktan sonra diğer sınır değerleri de, SEVIYE giriş değişkeninin sınırlarının hesaplanmasında madde 4'te olduğu gibi hesaplanmıştır.



ÖZGEÇMİŞ

Nevcihan Duru, 1968 yılında İzmit'te doğdu. İlk, orta, lise öğrenimini İzmit'te tamamladı. 1984 yılında girdiği Kocaeli Mühendislik Fakültesi Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden, 1988 yılında mezun oldu. Aynı yıl, Kocaeli Mühendislik Fakültesinde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. 1989 yılında Yıldız Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Programında yüksek lisans eğitimine başladı ve 1991' de Yüksek Mühendis ünvanı aldı. 1991 yılında, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Doktora programına başladı.

Halen, Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Bilimleri Mühendisliği Bölümünde Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır. Evli ve bir çocuk annesi olan Nevcihan Duru, İngilizce bilmektedir.