

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

SENTETİK İŞİTSEL ORTA GECİKMELİ CEVAP İŞARETLERİNİN DALGACIK
DÖNÜŞÜMÜ İLE İYİLEŞTİRİLMESİ

YASEMİN ERKAN

TEMMUZ 2011

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

SENTETİK İŞİTSEL ORTA GECİKMELİ CEVAP İŞARETLERİNİN DALGACIK
DÖNÜŞÜMÜ İLE İYİLEŞTİRİLMESİ

YASEMİN ERKAN

Yüksek Lisans Tezi

Danışman

Doç. Dr. Nurettin ACIR

Temmuz 2011

Yasemin ERKAN tarafından Doç. Dr. Nurettin ACIR danışmanlığında hazırlanan "Sentetik İşitsel Orta Gecikmeli Cevap İşaretlerinin Dalgacık Dönüşümü ile İyileştirilmesi" adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Mahmut TOKMAKÇI (Erciyes Üniversitesi)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mehmet Nadir KURNAZ (Niğde Üniversitesi)

Üye : Doç. Dr. Nurettin ACIR (Niğde Üniversitesi)

ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından .../.../20... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu'nun .../.../20... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../20...

Doç. Dr. Nurettin ACIR
MÜDÜR

ÖZET

SENTETİK İŞİTSEL ORTA GECİKMELİ CEVAP İŞARETLERİNİN DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ İLE İYİLEŞTİRİLMESİ

ERKAN, Yasemin

Niğde Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Nurettin ACIR

Temmuz 2011, 55 sayfa

Bu çalışma, İşitsel Uyarılmış Potansiyellerde (İUP) Orta Gecikmeli Cevapları (OGC) iyileştirmek için yeni bir yaklaşım sunmaktadır. Çalışmada ilk olarak, işitsel uyarılmış potansiyel işaretlerinin kullanıldığı biyomedikal mühendislik uygulamalarında sıkça başvurulan sentetik veri kümelerinin üretimine oldukça önemli bir katkı sağlayacağı düşünülen, sentetik tek tur İUP sinyal üretici yazılım tabanlı olarak sunulmuştur. Üreteç ile gamma-ton fonksiyon tekniğini kullanarak farklı gürültü seviyeleri ve farklı tur sayılarında OGC verileri üretilmiş ve sonra gürültülü sentetik verilere iyileştirme işlemi uygulanmıştır. İyileştirme için Dalgacık Dönüşümü tekniği ve pratik uygulamalarda binlerle ifade edilen tek tur alınarak yapılan çoklu ortalama tekniği kullanılmıştır. DD kullanılarak iyileştirilen OGC ile çoklu ortama ile elde edilen OGC, veritabanında yer alan referans sinyali ile karşılaştırılmış ve her iki yönteminde referans sinyale karşılık başarımları ortalama kare hatası cinsinden hesaplanarak belirlenmiştir. Bunun yanı sıra OGC'nin temel bileşeni olan ve klinik değer taşıyan S30 örüntüsünün genlik ve gecikme değişimi de incelenerek önerilen sistemin biyoelektrik mühendisliğinde kullanılabilirliği sonucuna varılmıştır. Benzetim sonuçları değerlendirildiğinde; OGC'yi elde etmek için, DD ile iyileştirme yönteminin, çoklu ortalama alma metoduna göre düşük tur sayıları için bütün gürültü seviyelerinde daha başarılı olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, bu çalışmada önerilen sistem ile daha az sayıda tek tur ölçüm yapılarak DD tabanlı iyileştirme işlemi ile OGC elde edilebildiği, sentetik işaretler için gösterilmiş ve bununla gerçek OGC işareti ölçümünde harcanan zamanı oldukça kısaltacağı öngörülmüştür. Böylece OGC'deki iyileştirme sağlanmıştır.

Anahtar sözcükler: İşitsel uyarılmış potansiyel, orta gecikmeli cevap, dalgacık dönüşümü, iyileştirme.

SUMMARY

ENHANCEMENT of SYNTHETIC AUDITORY MIDDLE LATENCY RESPONSE SIGNALS by USING WAVELET TRANSFORM

ERKAN, Yasemin

Nigde University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Electrical and Electronics Engineering Department

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Nurettin ACIR

July 2011, 55 pages

This paper presents a new approach for enhancing Middle Latency Response (MLR) in auditory evoked potentials. In this study, we first designed an artificial single trial auditory evoked potential signal generator which contributes to create synthetic data set that are mostly used in biomedical engineering applications. MLR data are generated by using gamma-tone technique at different noise levels with different trial numbers. After noisy data set created, the Wavelet Transform (WT) based denoising process is applied. WT and ensemble averaging method are used for denoising process for enhancing in practical applications. Ensemble averaging method requires thousands of single trials in recording process. The performance of the proposed WT denoising procedure and ensemble averaging technique is evaluated by comparing with reference signal in database in terms of mean square error. The fundamental time specific component of MLR signal is S30. It has a clinical value. After evaluating the variances of amplitudes and latencies in S30, we get the result that the proposed system can be used in neurosensory engineering applications. Simulation results show that denoising process with WT is more successful than the ensemble averaging technique at all noise levels especially for lower number of trials. In result, MLR data can be obtained with a reduced single trial number of records using the proposed WT based denoising procedure. And also it means that the proposed system model may reduce the recording time in real applications. Thus, the enhancement of MLR is provided.

Keywords: Auditory evoked potentials, middle latency responses, wavelet transform, enhancing.

TEŐEKKÖR

Bu tez alıőmasının hazırlanmasında emeği geen danıőmanım Do. Dr. Nurettin ACIR'a, alıőmamızın ilk kısımlarında birlikte alıőma imkanı bulduğum arkadaőım Yemen Alev BAHTİYAR'a, bana verdikleri destek ve gōsterdikleri sabır için canım kızım Ayőe ERKAN'a ve sevgili eőim Erdem ERKAN'a ōzel teőekkōrlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
SUMMARY	iv
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
BÖLÜM I. GİRİŞ	1
1.1.Giriş	1
BÖLÜM II.İŞİTSEL UYARILMIŞ POTANSİYELLER	5
2.1.Kısa Gecikmeli Cevaplar	7
2.1.Orta Gecikmeli Cevaplar	8
2.1. Uzun Gecikmeli Cevaplar.....	8
BÖLÜM III. MATERYAL VE METOD	11
3.1. Veritabanı.....	10
3.2. Dalgacık Dönüşümü (DD)	12
3.2.1. Sürekli Dalgacık Dönüşümü	13
3.2.2. Ayrık dalgacık dönüşümü	14
3.2.3. Ters ayrık dalgacık dönüşümü	15
BÖLÜM IV YAPAY TEK TUR İŞİTSEL UYARILMIŞ POTANSİYEL SİNYAL ÜRETECİ.....	17
4.1. Giriş	17
4.2. İUP İşaretinin Gama-Ton Fonksiyonu ile Temsili	18
4.3. İstenilen SNR Seviyesinde Tek Tur İUP İşaretinin Üretilmesi	22
BÖLÜM V. SENTETİK İŞİTSEL UYARILMIŞ ORTA GECİKMELİ CEVAPLARIN DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ İLE İYİLEŞTİRİLMESİ.....	20
5.1 Veritabanı.....	25
5.2 İUP İşaretinin Dalgacık Analizinde Temel Dalgacık Seçimi	27
5.3 Dalgacık Dönüşümü ile İyileştirme	28
5.3.1 Farklı gürültü seviyelerindeki OGC'nin DD ile iyileştirilmesinin çoklu ortalama alma metodu ile karşılaştırılması	33
5.3.2 Farklı tur sayılarında hazırlanan OGC'nin DD ile iyileştirilmesinin Çoklu ortalama alma metodu ile karşılaştırılması	40

5.3.3İyileştirme sonundaS30 dalgasında genlik ve gecikme değişimi.....	44
BÖLÜM VI. SONUÇ	52
KAYNAKLAR	53

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1	Gama-ton modellemede kullanılan parametreler.....	20
-------------	---	----

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1	Akustik klik ile uyarılmış (sağ kulak) geçiş cevaplı AEP'ye bir örnek.....	7
Şekil 3.1	Üretilen işaret (a) referans OGC (b) -5 dB gürültü ile oluşturulan EEG (c) referans OGC ve EEG nin toplamı ile oluşturulan Gürültülü OGC.....	10
Şekil 3.2	Farklı gürültü seviyelerinde (-5, -10, -15, -20, -25, -30 dB) üretilen OGUP tek tur örnekleri	11
Şekil 3.3	DD ve düzgünleştirme için kullanılan ara yüz.....	12
Şekil 3.4	İşaretin düşük ve yüksek frekans bileşenlerine ayrılması.....	15
Şekil 3.5	DD ile çok seviyeli ayrıştırma.....	15
Şekil 3.6	Sinyalin analiz ve sentezi.....	16
Şekil 4.1	Dördüncü dereceden gama-ton fonksiyonunun üç farklı bileşeni, a) gama zarfı, b) kosinüs ton, ve c) gama-ton ($A=1$, $\beta=1$, $f_c=2$ ve $t_d=0$ için) [42].....	19
Şekil 4.2	İUP işaretinin modellenmesi. Sırasıyla F1'den F7'ye KGUP'un hızlı dalga bileşenleri, S5'te KGUP'un yavaş dalga bileşeni, S15 ve S30'da OGUP'un yavaş dalga bileşenleri.....	21
Şekil 4.3	-5 dB'de üretilmiş yapay tek tur İUP işareti. Sırasıyla en üstte gama-tonla modellenmiş özgün İUP, ortada özbağlanım parametrelerinden üretilmiş EEG ve en altta her ikisinin toplamını temsil eden yapay tek tur İUP işareti.....	23
Şekil 4.4	-30 dB'de üretilmiş yapay tek tur İUP işareti. Sırasıyla en üstte gama-tonla modellenmiş özgün İUP, ortada özbağlanım parametrelerinden üretilmiş EEG ve en altta her ikisinin toplamını temsil eden tek tur İUP işareti.....	24
Şekil 5.1	Farklı gürültü seviyelerindeki (5, 0, -5, -10, -15 dB) tek turlar.....	25
Şekil 5.2	Gürültülü sinyaller (a)4 tur 0 dB (b) 8tur 0 dB (c) 16 tur 0 db (d) 32 tur 0 dB (e) 64 tur 0 dB OGC.....	26
Şekil 5.3	(a)- 10 dB'de üretilen 8 adet tek tur işaretin ortalaması (b) ortalama almada kullanılan tek turlar.....	27
Şekil 5.4	Düzenleştirme için kullanılan iş akış diyagramı.....	29
Şekil 5.5	6 seviyeli Dalgacık Dönüşümü Ağacı (D1-D6, A1-A6).....	30

Şekil 5.6	-10 dB’de 64 turluk OGC ortalaması üstte.(a) OGC’nin 6 seviyeli DD sonucu elde edilen D1-D6 detay katsayıları ve A6 yaklaşım katsayısı, (b) D1-D6 ve A6’ya ters DD uygulanması.....	31
Şekil 5.7	-10 dB 64 turluk işarete DD ile düzgünleştirme işleminin gerçekleştirilmesi (a) OGC ile ilişkili katsayıların alınması. Düz çizgiler ilişkili katsayılar (A6) Kesikli çizgiler gürültü olarak adlandırılan OGC ile ilişkisiz katsayılar(D1-D6) (b) OGC ile ilişkili katsayıların alınarak ve ilişkisiz katsayıların 0’a çekilerek yapılan ters DD sonucu elde edilen işaret,en üstte ise kesikli şekil gürültülü 64 turluk işaretin ortalaması, düz çizgi ise düzgünleştirilen OGC’nin ortalaması.....	32
Şekil 5.8	Çoklu ortalama alma ve DD ile iyileştirme metodunun ortalama kare hatalarının farklı gürültü seviyeleri ile karşılaştırılması. (a) 4 tur (b) 8 tur (c) 16 tur (d) 32 tur (e) 64 tur işaret için elde edilen sonuçlar. (Düz çizgi DD ile iyileştirme , noktalı çizgi çoklu ortalama alma metodu)	33
Şekil 5.9	5 dB’de üretilen 16 tur OGC; çizgili işaretler gürültülü, düz olanlar ise DD ile düzgünleştirildikten sonraki halleridir. Tek turların en üstünde ise çizgili olan sinyal gürültülü, siyah olan sinyal DD ile düzgünleştirilen işaretlerin ortalamasıdır;.....	35
Şekil 5.10	0 dB’de üretilen 16 tur OGC; çizgili işaretler gürültülü, düz olanlar ise DD ile düzgünleştirildikten sonraki halleridir. Tek turların en üstünde ise çizgili olan sinyal gürültülü, siyah olan sinyal DD ile düzgünleştirilen işaretlerin ortalamasıdır;.....	36
Şekil 5.11	-5 dB’de üretilen 16 tur OGC; çizgili işaretler gürültülü, düz olanlar ise DD ile düzgünleştirildikten sonraki halleridir. Tek turların en üstünde ise çizgili olan sinyal gürültülü, siyah olan sinyal DD ile düzgünleştirilen işaretlerin ortalamasıdır;.....	37
Şekil 5.12	-10 dB’de üretilen 16 tur OGC; çizgili işaretler gürültülü, düz olanlar ise DD ile düzgünleştirildikten sonraki halleridir. Tek turların en üstünde ise çizgili olan sinyal gürültülü, siyah olan sinyal DD ile düzgünleştirilen işaretlerin ortalamasıdır;.....	38
Şekil 5.13	-15 dB’de üretilen 16 tur OGC; çizgili işaretler gürültülü, düz olanlar	39

	ise DD ile düzgünleştirildikten sonraki halleridir. Tek turların en üstünde ise çizgili olan sinyal gürültülü, siyah olan sinyal DD ile düzgünleştirilen işaretlerin ortalamasıdır;.....	
Şekil 5.14	Çoklu ortalama alma ve DD ile iyileştirme metodunun ortalama kare hatalarının tur sayısı ile karşılaştırılması. (a) 5d (b)0 dB (c) -5dB (d) -10 dB (e) -15 dB işaret için elde edilen sonuçlar. (Düz çizgi DD ile iyileştirme , noktalı çizgi çoklu ortalama alma metodu)	40
Şekil 5.15	-5dB 4 tur işaretin contour plot çizimi (a) gürültülü turlar (b) gürültüsü giderilmiş turlar.....	41
Şekil 5.16	-5dB 8 tur işaretin contour plot çizimi (a) gürültülü turlar (b) gürültüsü giderilmiş turlar.....	42
Şekil 5.17	-5dB 16 tur işaretin contour plot çizimi (a) gürültülü turlar (b) gürültüsü giderilmiş turlar.....	43
Şekil 5.18	4 turluk veri seti için gürültü gidermede uygulanan çoklu ortalama alma ve DD yöntemlerinin S30 dalgası için değişen gürültü seviyelerine göre genlik kıyaslaması.....	45
Şekil 5.19	8 turluk veri seti için gürültü gidermede uygulanan çoklu ortalama alma ve DD yöntemlerinin S30 dalgası için değişen gürültü seviyelerine göre genlik kıyaslaması.....	45
Şekil 5.20	16 turluk veri seti için gürültü gidermede uygulanan çoklu ortalama alma ve DD yöntemlerinin S30 dalgası için değişen gürültü seviyelerine göre genlik kıyaslaması.....	46
Şekil 5.21	32 turluk veri seti için gürültü gidermede uygulanan çoklu ortalama alma ve DD yöntemlerinin S30 dalgası için değişen gürültü seviyelerine göre genlik kıyaslaması.....	46
Şekil 5.22	64 turluk veri seti için gürültü gidermede uygulanan çoklu ortalama alma ve DD yöntemlerinin S30 dalgası için değişen gürültü seviyelerine göre genlik kıyaslaması.....	47
Şekil 5.23	4 turluk veri seti için gürültü gidermede uygulanan çoklu ortalama alma ve DD yöntemlerinin S30 dalgası için değişen gürültü seviyelerine göre gecikmelerinin kıyaslaması.....	48
Şekil 5.24	8 turluk veri seti için gürültü gidermede uygulanan çoklu ortalama alma ve DD yöntemlerinin S30 dalgası için değişen gürültü	48

	seviyelerine göre gecikmelerinin kıyaslaması.....	
Şekil 5.25	16 turluk veri seti için gürültü gidermede uygulanan çoklu ortalama alma ve DD yöntemlerinin S30 dalgası için değişen gürültü seviyelerine göre gecikmelerinin kıyaslaması.....	49
Şekil 5.26	32 turluk veri seti için gürültü gidermede uygulanan çoklu ortalama alma ve DD yöntemlerinin S30 dalgası için değişen gürültü seviyelerine göre gecikmelerinin kıyaslaması.....	49
Şekil 5.27	64 turluk veri seti için gürültü gidermede uygulanan çoklu ortalama alma ve DD yöntemlerinin S30 dalgası için değişen gürültü seviyelerine göre gecikmelerinin kıyaslaması.....	50

BÖLÜM I

GİRİŞ

1.1 Giriş

İşitsel Uyarılmış Potansiyel (İUP) işaretleri, beynin kulaktan belirli frekanslarla senkron olarak uyarılması sonucunda beynin bu uyarımlara verdiği ortalama cevap işaretleridir. İUP işaretleri 1 boyutlu, 1 veya 1'den fazla kanallı durağan olmayan (nonstationary) zaman serileridir [1]. Bu işaretler zamanla doğrusal değişmeyip, birçok parametreye bağlı olarak (ölçüm yapılan canlı, canlının ölçüm esnasındaki psikolojik, fizyolojik, uyku vs. durumu, ölçüm sisteminden kaynaklanan gürültüler vb.) sürekli değişim gösterdikleri için bir takım ön işlemlerden geçirilmeden zaman domeninde analiz edilmeleri oldukça zordur.

İUP işareti aslında tıpta özellikle de nörolojide çok yaygın kullanılan Elektroensefalogram (EEG) işaretinin özel bir halidir. EEG, canlının herhangi bir uyarıya maruz bırakılmadan yapılan ölçüm neticesinde elde edilen bir boyutlu işaret olmakla birlikte, İUP işaretleri beynin bir darbe kaynağıyla (ses) ani uyarılıp beynin bu uyarıya verdiği doğal cevabın ölçümüdür.

Tıbbi tanı ve araştırmalarda kullanılan beyin elektrik işaretleri, beynin sinirsel faaliyeti sonucu elde edilen biyoelektriksel işaretler olup frekans bileşenleri son derece önemlidir. Bu işaretler, beynin fonksiyonlarına ilişkin anlamlı ve kullanılabilir bilgiler içerir. Bu bilgilerin elde edilebilmesi için biyomedikal işaret işleme alanında çok çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Biyoelektrik işaretlerin analizinde genelde zaman domenindeki davranışlar izlenmektedir. Ancak, son zamanlarda bilgisayar teknolojisindeki ilerleme ile birlikte bu işaretlerin frekans domenindeki davranışları da değerlendirilmektedir. Sonuç olarak, bir işaretin frekans bileşenleri de tanı ve tıbbi araştırmalarda kullanılmaktadır [2]. Fourier Dönüşümü (FD) bir sinyali zaman domeninden frekans domenine aktarmak için kullanılan en temel yöntemdir. FD sinyalin içerdiği frekansları gösterir ancak hangi zaman değerinde hangi frekans değerine sahip olduğu hakkında bilgi veremez yani sadece bütün zaman diliminin frekans değerlerini verir. FD frekans değerleri zamanla değişmeyen sinyaller için oldukça kullanışlı bir yöntemdir. İUP işaretleri durağan olmayıp sürekli değiştiklerinden, FD geçici durum analizlerinde yetersiz kalmaktadır. Bu sebeple farklı

dönüşüm tekniklerinin kullanımına ihtiyaç vardır. Bu ihtiyaca karşılık her ne kadar Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü (KZFD) geliştirilmişse de zaman-frekans bilgisini aynı anda sunabilme konusunda yetersizdir [3,4].

KZFD'de zaman-frekans domeninde elde edilen bilgiler sınırlı bir hassasiyette elde edilebilmektedir. Bu hassasiyet pencerenin büyüklüğüne bağlıdır. Çoğu sinyaller daha hassas yaklaşıma ihtiyaç duyar ve bu pencerenin büyüklüğünün sürekli değişmesi gerekmektedir. KZFD'de zaman penceresi bütün frekanslarda değişmeyen büyüklüktedir.

Dalgacık Dönüşümü (DD), KZFD'nin bir alternatifi olarak zaman-frekans bilgisinin bir arada olduğu bir yöntemdir. DD bir ileri yöntem olup pencere büyüklüğü değiştirilebilir. DD tekniği, durağan veya durağan olmayan sinyallerin zaman-frekans analizine imkan sağlar. Dalgacıklar sonlu süreli dirler bu yüzden bölgesel sinyal özelliklerinin analizini mümkün kılarlar. Dalgacık dönüşümleri tüm sinyal zaman-frekans bilgisini korurlar. Bu sebeplerden dolayı durağan olmayan gerçek sinyallerin dalgacık temelli metotlarla işlenmesi geleneksel metotlardan daha iyi sonuçlar sağlarlar [5]. Dalgacığın en önemli avantajlarından birisi, uzun işaretlerin bölgesel analizine imkan tanınmasıdır.

Literatürde DD metodunu kullanarak İUP işaretleri dört alanda incelenmiştir; i) çok seviyeli analiz, ii) gürültü giderme, iii) öznitelik çıkarma, iv) veri sıkıştırma.

Quiroga ve Garcia [6], İUP işaretlerinde DD ile gürültü giderme çalışmalarını hem sentetik olarak ürettikleri veriler için hem de işitsel ve görsel uyarılmış potansiyelleri kullanarak yapmışlardır. Kullandıkları yöntemle, işaretin DD yapıldıktan sonra işaretle ilişkisiz olduğu belirlenen katsayılar sıfıra çekilerek, kalan katsayıların ters DD alınmış ve her bir tek tur işarettaki gürültü giderilmiştir. Bu işlemin ardından da iyileştirilen tek tur işaretlerin çoklu ortalamasını alıp ortalama bir İUP işareti elde etmişlerdir. Her bir tek tur işaretin önce DD ile sadeleştirilebileceği, ardından ortalama alma işlemine sokulup Wiener filtreden geçirilerek daha düzgün veriler elde edilebileceği gösterilmiştir.

Schiff ve ark. [7], B-Spline temel dalgacık fonksiyonunu kullanarak çok katmalı DD'yi EEG işaretlerinde öznitelik elde etmek için kullanmıştır. Ayrıca Gabor dönüşümü ile dalgacık dönüşümünü performansını ve sürekli DD kullanmak ile çok katmanlı DD kullanmanın performans hızına etkisini araştırmışlardır.

İşitsel uyarılmış potansiyellerin ilk 10 saniyesini kapsayan, Kısa Gecikmeli Cevaplar (KGC) için DD uygulamaları üç alana yayılmıştır; i) sessiz ve gürültülü ortamlarda yapılan güvenilir KGC kaydı için gerekli olan cevap sayısını azaltmak, ii) otomatik dalga tanıma iii) Dalga I-V'in gecikmelerinin doğruluğunun ölçümü.

Woodworth ve ark. [8], güvenilir KGC için cevap sayısını azaltmak amacı ile dalgacık analizinin genel bir formu olan adaptif filtreyi kullanmışlardır. Yaptıkları çalışmanın sonucunda 2000 cevap yerine 400 cevap güvenilir bir ABR için yeterli olmuştur

Delgado ve Özdamar [9], dalgacık analizinin genel bir formu olan uyumlu süzgeci kullanarak 3 temel frekans bileşeninin (200, 500, 900 Hz) dalga I-V' e etkisini araştırmıştır.

Hoppe ve ark. [10], DD ile öznitelik çıkartarak İşitsel Uzun Gecikmeli cevapların (İUGC) olup olmadığını belirlemişlerdir. Öznitelik vektörünü elde ederken sadece birkaç dönüşüm katsayısını kullanmışlardır. Bu vektör sinir ağı kullanarak sınıflandırılmış ve İUGC'ler başarıyla tespit edilmiştir. İUP' de P300 dalgasının tespiti dalgacık analizinde en çok hedeflenen konu olmuştur [11,12].

Yukarıda bahsedilen tekniklerin kullanıldığı İUP işaretlerinin elde edilmesi klinik ve araştırma laboratuvarlarında çok zaman almaktadır. Uyarım verildikten sonra alınan cevap tek tur olarak adlandırılmaktadır. Laboratuvarında çok fazla zaman harcamanın sebebi anlamlı bir İUP işaretini elde etmek için, yüzlerce tek tur (single sweep) ölçüm yapılıp, yani yüzlerce kez uyarım verip, her bir uyarıma verilen cevabı bekleyip, daha sonra bunun çoklu ortalamasının (ensemble average) alınmasının gerekmesidir. İUP ölçümlerinin çok tek tur ölçüm gereksinimi ve dolayısıyla çok zaman isteyen ölçümler olması sebebiyle, kliniklerde kullanımı sınırlıdır. Bunun üstesinden gelebilmek için, tek tur ölçüm sayısını azaltıcı tekniklere oldukça fazla ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tez çalışmasında, bunun yapılabileceği sentetik İUP işaretleri için gösterilmiştir.

Bu tez çalışmasında, İUP'lerden Bölüm II'de detaylı anlatılan Orta Gecikmeli Cevaplar (OGC) DD yöntemi ile iyileştirilmiş ve daha az sayıda tek tur işaret ölçümü ile anlamlı OGC işaretlerinin elde edilebileceği gösterilmiştir. Çalışmada sentetik OGC verileri tarafımızdan tasarlanan tek tur OGC sinyal üretici ile istediğimiz gürültü seviyesinde oluşturulmuş ve sentetik veri tabanımız elde edilmiştir. Hazırlanan veri tabanı üzerinde OGC işaretlerin iyileştirilerek daha az sayıda tek tur işaretlerin ortalamasından elde

edilebileceği gösterilmiştir. Aynı zamanda, bu tez çalışmasında elde edilen sonuçların OGC için yeni ve ilk olması itibariyle de özgünlüğü ortaya konulmuştur.

Tez alışması, altı bölümden oluşmaktadır. Bölüm II'de kullanılacak sinyalin özellikleri sunulmuştur. Bölüm III'te bu tez çalışmasında kullanılan materyal ve metotlar anlatılmıştır. Bölüm IV'te tez çalışmasında kullanılan sentetik OGC veritabanının oluşturulmasında kullanılan İUP işaret üretici sunulmuştur. Bölüm V'te DD ile iyileştirme yöntemi ve benzetim sonuçları değerlendirilmiş olup Bölüm VI'da çalışmanın sonucu sunulmuştur.

BÖLÜM II

İŞİTSEL UYARILMIŞ POTANSİYELLER

Uyarılmış potansiyeller (UP), merkezi sinir sisteminin başlıca duyu yollarının bütünlüğünün kontrolünde kullanılan elektrofizyolojik işaretlerdir. Klinikte elektrofizyolojik olarak en çok görme, işitme ve hissetmeye ilişkin ölçümler yapılır. Hekimler, çoğu zaman rutin muayene bulgularının teşhis koymada yetersiz kaldığı durumlarda, tanıya destek olması amacıyla UP'nin ölçülüp değerlendirilmesine ihtiyaç duyarlar [3].

UP'nin ölçülmesiyle; görme, işitme ve dokunma duyularının normallik seviyeleri belirlenebilmektedir. Beynin, görsel, işitsel ve elektriksel uyarmaya karşı cevabının normal olup olmaması, uyarmanın beyne ulaştığını gösteren UP'deki örüntülerin içerdiği tepe ve vadi noktalarının oluşma sürelerinin, normal değerlerden olan farklılıklarının ölçülmesiyle belirlenir. Kanama, tümör vb. gibi sinir sistemiyle ilgili bozuklukların erken teşhisi mümkün olmaktadır. UP elektrotlar yardımıyla deri üstünden (non-invasive) ölçülür. Ölçülen işaretin gürültü içerisine gömülü olması nedeniyle, İşaret/Gürültü Oranını artıracak bir işlemden sonra teşhis için kullanılabilir. Genelde kullanılan en yaygın yöntem binlerce tek tur aldıktan sonra ortalama alınması ile elde edilen çoklu ortalama alma yöntemidir. Sunulan tez çalışmasında İUP işaretleri kullanıldığından sadece İUP işaretleri anlatılmış olup diğer işaretlere literatürde çok rahat ulaşılabilir [13]. Burada öncelikle İUP'lerin fizyolojik oluşumunu anlattıktan sonra, mühendislik tanımının yapılması uygun olacaktır.

İUP'ler, işitme duyusunun elektriksel aktivitesi sonucu meydana gelirler. Dış ve orta kulak bölümlerinin, ses uyarısını mekanik titreşimlere dönüştürdüğü akustik işaretlerden elde edilirler. Daha sonra, dalgalar şeklinde ana (basilar) membran üzerinden salyangoz içinde dağılmış olan iç ve dış saç hücrelerine kadar yayılırlar, Esas işitme duyusu hücreleri, sayısı yaklaşık 25000 olan ve gelen mekanik dalgaları elektrik potansiyeline çeviren bu saç hücreleridir. Salyangozun akustik özelliği nedeniyle, burada bulunan saç hücreleri, ses dalgalarını frekansa çevirir. Şiddetli ses dalgaları, bu hücrelerin reseptör potansiyellerinde düşüslere neden olur, bu ise ilgili sinir liflerindeki aksiyon potansiyellerinin oluşum frekansını artırır. İşitme siniri yaklaşık olarak 30000 sinir lifinden oluşur, beyin sapı, orta beyin ve beyin kabuğu ile birlikte merkezi işitme yolunu

oluşturur. Beyin kabuğunun elektriksel aktivitesi, toplam şeklinde, İUP olarak ölçülür [3].

İUP beynin kulaktan belirli frekanslarla eşzamanlı olarak uyarılması sonucunda beynin bu uyarımlara verdiği ortalama cevap işaretleridir [1]. İUP işaretleri 1 boyutlu, 1 veya 1'den fazla kanallı durağan olmayan, kaotik zaman serileridir [1]. Bu işaretler zamanla doğrusal değişmeyip, birçok parametreye bağlı olarak sürekli değişim gösterdikleri için bir takım ön işlemlerden geçirilmeden veya farklı domenlerde (frekans, zaman-frekans vs.) ve/veya uzaylarda davranışlarına bakılmadan bir bilgi çıkarımı çok kolay olmamakta, bazı durumlar için ise bu mümkün olmamaktadır. Bu işaretlerin hem tek tur hem de çoklu ortalamalı kayıtları yapılmakta ve işleme tabi tutulmaktadır. Yapılan kayıtlar neticesinde elde edilen ham işaret gürültü içermekte veya istenilen bilgi çıkarımları bu haliyle çok mümkün olmamaktadır. Bu sebeple, bazı etkin mühendislik teknikleri ile işaret iyileştirilmektedir.

İUP'ler audioloji ve benzeri birçok alanda klinik uygulama olarak temel rol üstlenmelerinin yanında beyin dinamiklerinin ortaya konulması anlamında büyük önem taşımaktadırlar. İUP'lerin elektrik potansiyeli olarak bir çok seviyede ölçülebilmesi durumu mühendislerin ileri işaret işleme ve benzeri tekniklerle bu işareti analiz edebilmesi kolaylığını sunmakta ve elde edilen sonuçların işitme, nöroloji ve beyin dinamikleri araştırmacılarına önemli katkılar sağlanmasına imkan tanımaktadır. İUP testlerinin canlının uyutulması veya bayıltılmasına gerek duyulmadan deri üstünden yapılabilmesi klinik uygulamaları önemli ölçüde kolaylaştırmakta ve gittikçe kullanım oranı artmaktadır.

Uyarım-Cevap (Stimulus-Response) ilişkisine göre, İUP'ler;

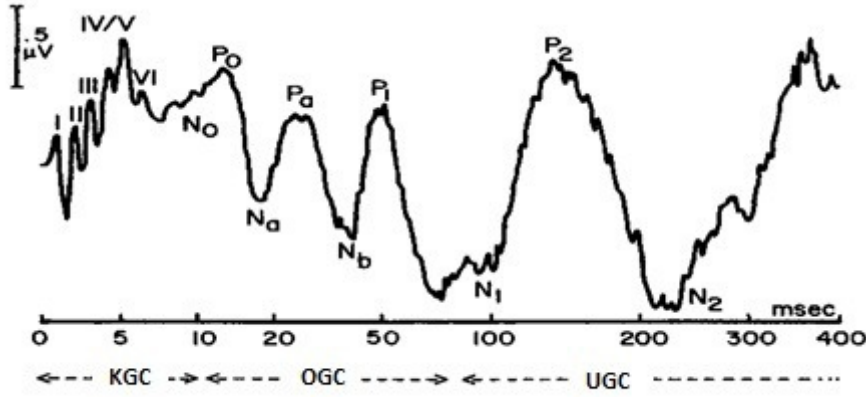
- i) Geçiş Cevapları (Transient Response)
- ii) Kararlı-Durum (Steady-State) Cevapları olmak üzere ikiye ayrılır [1].

Geçiş cevapları genlik ve gecikme terimleri ile zaman domeninde ifade edilirken, Kararlı Durum Cevapları frekans domeninde genlik ve faz terimleri ile tanımlanırlar [1].

Geçiş Cevapları üç alt grup altında toplanmaktadır [1,14];

- i) Kısa Gecikmeli Cevaplar (KGC, (Short Latency Response))

- ii) Orta Gecikmeli Cevaplar (OGC, (Middle Latency Response))
- iii) Uzun Gecikmeli Cevaplar (UGC, (Long Latency Response))



Şekil 2.1 Akustik klik ile uyarılmış (sağ kulak) geçiş cevaplı İUP'ye bir örnek [14].

Bu çalışmada, yukarıda bahsedilen ölçümlerden geçici cevaplardan olan OGC işareti incelenmiştir.

2.1 Kısa Gecikmeli Cevaplar

Kayıt esnasında uyarımdan hemen sonra ilk 10 msn periyodunda oluşan elektrik potansiyeli işareti KGC olup literatürde işitsel beyin sapı cevabı olarak da tanımlanmıştır. Bu işaretler ilk defa 1967 yılında Sohmer ve Feinmesser tarafından kaydedilmiştir [15]. Bu işaretler beyin sapındaki işitsel yapıların aktivasyonundan elde edilirler ve özellikle nörolojik ve işitsel problemlerde son 20 yıldır geniş bir klinik uygulama alanı bulmuşlardır. KGC işaretlerinin genlikleri doğal EEG aktivitesinin sadece 1/100'ü kadardır ve bu nedenle ortalama alma tekniği ile kaydedilmektedir. 7 adet pozitif tepeden oluşur ve literatürde dalgalar pozitif tepelerine göre Roma rakamlarıyla gösterilir [16]. Bunlar içinde en belirgin olan dalga V, eşik üstü şiddette yaklaşık 6. msn'de görülür. Cevaplar 8. sinir ve beyin sapı aktivitesini yansıtır. Bu seviyeden itibaren oluşan biraz daha uzun cevaplar, beyin sapı cevabının yavaş dalga bileşeni (slow wave component) olarak adlandırılır. Uyarımdan sonra, eşik üstü şiddette 12. msn'de, eşik seviyesinde 20 msn'de ortaya çıkar ve frekansa göre eşik bulunmasında kullanılır [17].

2.2 Orta Gecikmeli Cevaplar

Orta gecikmeli cevaplar (OGC), uyarı sonrası 10-50 msn arasında oluşan potansiyellere denilmektedir [18]. (Bazen 80 msn'ye kadar görülen bileşenler de OGC işaretine dahil edilmektedir). Bu cevapların, korteksten kaynaklanan nörolojik tepkiler olduğu düşünülmektedir. Bazı araştırmacılar kaynaklandıkları zannedilen bölgeden dolayı bu dalgalara birincil korteks cevapları adını vermektedirler [19].

OGC, KGC'den daha büyük periyotlu dalgalardan oluşmakta ve harflerle simgelenmektedirler. OGC'nin en belirgin bileşeni yaklaşık 32 msn (30-35 msn) gecikme oluşan Pa (S30) dalgasıdır. Pb dalgası, UGC'nin P₁ dalgası ile aynı olup, her iki sınıfta da değerlendirilmektedir. OGC'nin temel frekans bileşenlerinin 40 Hz civarında olduğu tespit edilmiştir [17,20].

Pa bileşeni beyin sapı cevaplarında olduğu gibi, işitme eşiklerine yakın bir şiddet düzeyinde dahi kaydedilebilmekte olmasından dolayı bazı laboratuarlarda işitsel eşiklerin bulunmasında kullanılmaktadır. Fakat KGC'den daha az kararlı olmaları sebebiyle işitsel uygulamalardaki kullanılabilirlikleri sınırlıdır [21]. Bilgisayarların devreye girmesiyle ilk elde edilen cevaplar OGC'dir. Ancak bunların önemli bir bölümünün kafatası kaslarından kaynaklandığı daha sonra anlaşılmıştır. OGC'nin sinirsel oluşma kaynağı kulağın hemen üstündeki temporal bölgenin işitsel korteksidir [20,22].

2.3 Uzun Gecikmeli Cevaplar

Uzun gecikmeli cevaplar (UGC), uyarının başlangıcından 50 msn sonra oluşan dalgalardır. Bunlar yüksek genlikli periyodu büyük dalgalardan oluşurlar ve 500 msn'ye kadar görülürler. UGC'nin en belirgin bileşenleri 100 msn civarında görülen N₁ dalgası ile 180 msn civarında oluşan P₂ dalgası ve 300 msn civarında görülen P₃₀₀ dalgasıdır [20].

Uzun gecikmeli cevapların en önemli özelliklerinden biri, dikkat veya uyku gibi durumlardan fazlaca etkilenmeleridir [23]. Bu nedenle UGC'nin klinik olarak en büyük dezavantajı uyuyan, anestezi altında ve davranış bozukluğu olan canlılara uygulanamamasıdır. KGC'nin bulunup klinik uygulamaya girmesiyle UGC klinik

önemi ortadan kalkmıştır. UGC'nin kortikal cevaplar olduğunun bilinmesine rağmen, kaynağı konusunda hala çelişkiler vardır.

UGC'de, N1 ve P2 bileşenlerinin kaynağının supratemporal kortekste birincil işitme alanı olduğu tezi ileri sürülürken; ön korteksin UGC'nin kaynağı olduğu da iddia edilmiştir [24].

Ölçülen İUP işaretleri genel olarak beyinde uyartıma ilişkin çoklu kaynaklarda üretilen elektrik aktiviteleri ile uyartıma ilişkin olmayan girişim işaretlerinin (EEG ve diğer gürültü faktörleri) toplamı şeklindedir [25]. İUP işaretinin genliği, arka plandaki EEG işaretinin genliğinden çok küçük olması nedeniyle, İUP işaretlerinde tek tur ölçümlerde bilgi çıkarımı çok zor olmakta ve hatta KGC'de mümkün olmamaktadır. İUP'nin ölçümü için en yaygın metot olan çoklu ortalama metodunda, tek tur işaret ölçümleri ihmal edilmekte ve turdan tura değişim (trial to trial variation) gözlenememektedir. Oysa turdan tura işaret değişiminin beyin dinamikleri açısından fizyolojik bir değeri vardır ve son derece önemlidir [26]. Dolayısıyla çoklu ortalama tekniği, binlerce tur kaydı için harcanan vakte rağmen, turdan tura değişimi gözlemlemeye cevap veren bir yöntem değildir. Bu sebeple, bu tez çalışmasında her bir tek tur üzerinde işlem yapmayı sağlayan DD ile iyileştirme yönteminden faydalanılacaktır. Böylelikle çok daha az zaman harcayarak elde edilen tek tur işaretler iyileştirilecektir. İşaretin iyileştirilmesi işaretin görsel analizini kolaylaştırdığı gibi, tek turlarda önemli olan dalga bileşenlerinin elenmesi engellenecektir. Bu beklenti oldukça önemlidir.

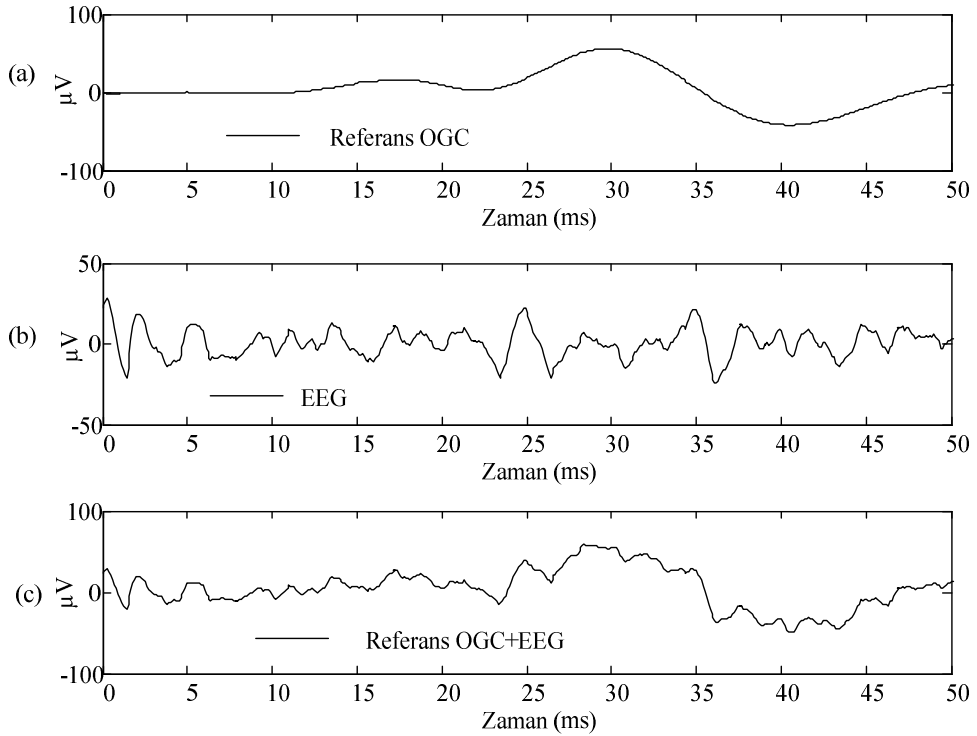
BÖLÜM III

MATERYAL VE YÖNTEMLER

3.1 Veritabanı

Bu tez çalışmasında yapılan hesapsal işlemler, Matlab ortamında kodlanarak 1.90 GHz hızında kişisel bilgisayarda yapılmıştır. Yani temel materyallerimizden biri Matlab yazılımıdır.

Bu çalışmada sentetik olarak üretilen işaretlerin örnekleme frekansı 10 kHz'dir ve üretilen işaret 512 veri noktasından oluşmaktadır. İUP sinyali ölçümünde ilk uyarım verildikten hemen sonra alınan cevaba tur denilmektedir. Bu çalışmada elde ettiğimiz sentetik işaretlerde uyarım 0. saniyede başlatılmış ve bu doğrultuda veriler kaydedilmiştir. Veri tabanını oluşturmak için Bölüm 4'te anlatılacak olan "Sentetik Tek Tur İşitsel Uyarılmış Potansiyel Sinyal Üreteci" kullanılmıştır [27]. Bu tez çalışmasında yukarıda bahsedilen cevaplardan OGC işaretleri sentetik olarak üretilmiştir. Üretilen OGC işaretleri sentetik olup gerçekte birimsizdir. Ancak, literatürde yer alan ölçülmüş gerçek OGC işaretlerinin genliğine uygun olarak normalize edilmiş ve mikro volt birimine karşılık düşen aralık kullanılmıştır. Veritabanı oluşturulurken aşağıda sunulan işlem her bir işaret için tekrarlanmıştır.

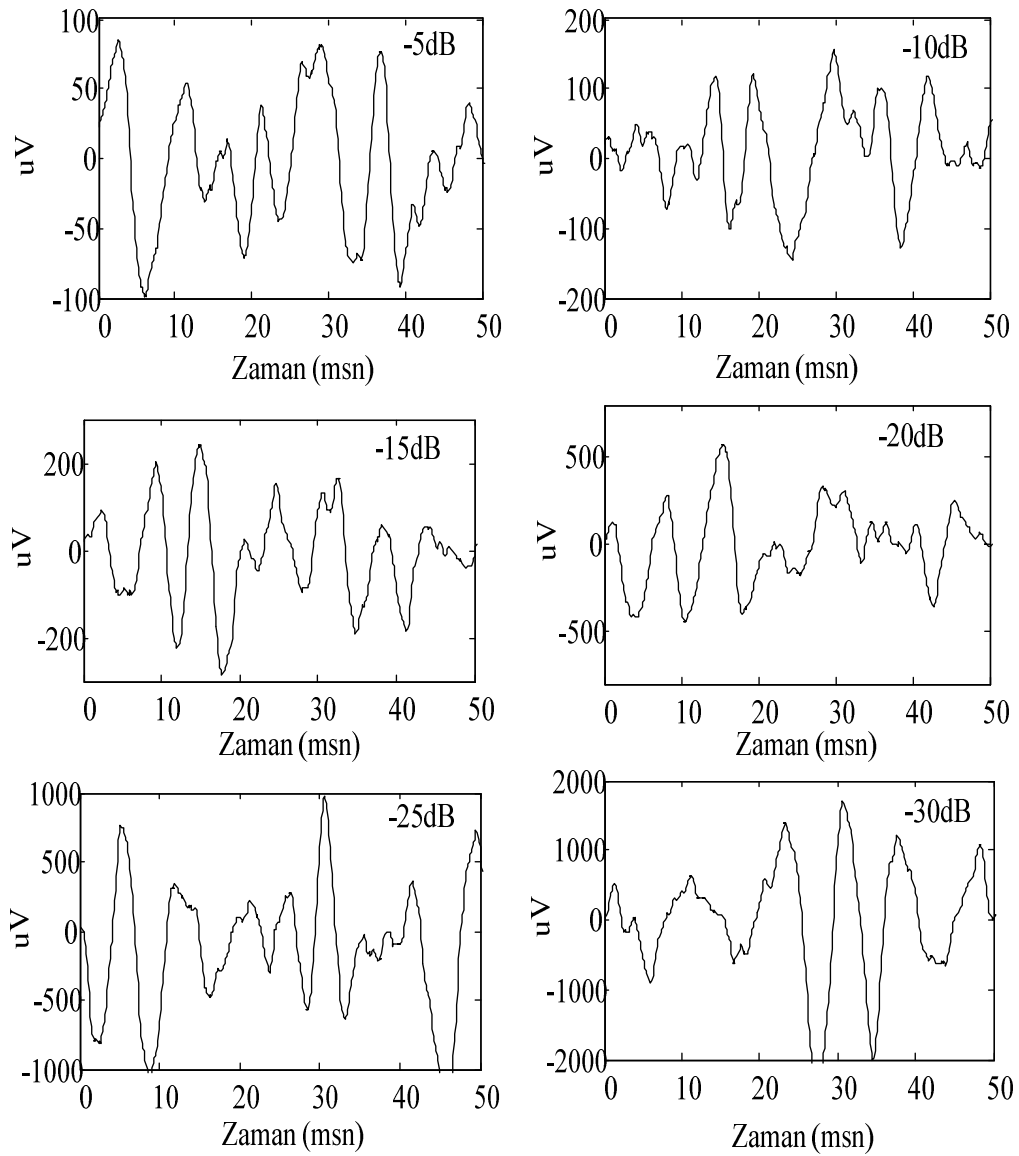


Şekil 3.1. Üretilen sentetik işaret (a) referans OGC (b) -5 dB gürültü ile oluşturulan EEG (c) referans OGC ve EEG nin toplamı ile oluşturulan gürültülü OGC

Referans OGC olarak adlandırılan saf OGC'ye EEG gürültülerinin eklenmesi ile, EEG içinde kaybolmuş, gürültülü bir OGC elde edilmiştir.

Şekil 3.1 (a)'da referans OGC gösterilirken (b)'de üzerine eklenecek olan EEG gürültüsü, (c)'de ise arka plan EEG gürültüsü ve referans OGC'nin toplamı ile oluşturulan gürültülü OGC gösterilmiştir.

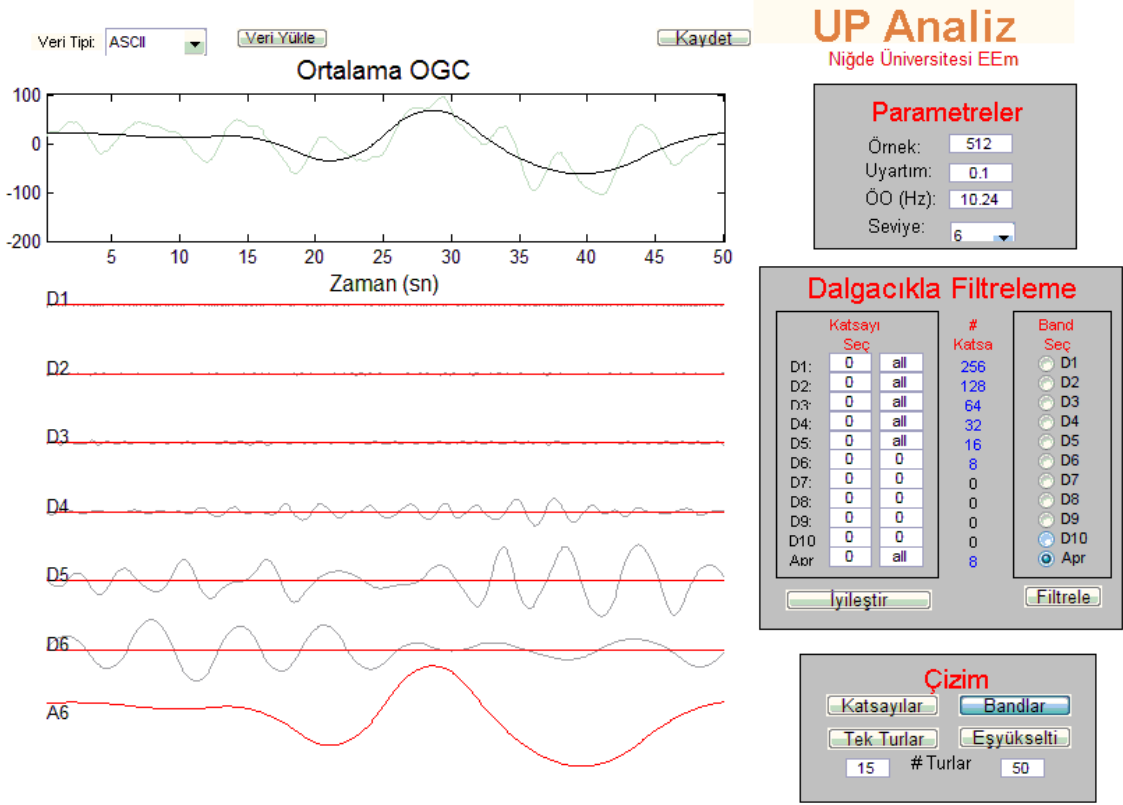
Çalışmada kullanılmak üzere oluşturulan OGC ile farklı gürültü seviyeleri ve farklı tur sayıları kullanılarak bir veritabanı elde edilmiştir. Veritabanındaki her bir işaret kümesi; 4, 8, 16, 32, 64 turluk OGC işaretinin her biri için 5 dB, 0dB, -5 dB, -10 dB ve -15 dB gürültü seviyelerinde 25 adet veri kümesi veri dosyası biçiminde kaydedilmiştir.



Şekil 3.2. Farklı gürültü seviyelerinde (-5, -10, -15, -20, -25, -30 dB) üretilen OGUP tek tur örnekleri.

Şekil 3.2’de farklı gürültülerde üretilen tek tur OGC görülmektedir. Gürültü seviyesi arttıkça oluşturulan işaretin genliği de oldukça artmaktadır. Şekil 3.1 (a)’daki referans OGC’nin Şekil 3.2’deki hiçbir tek tur içinde gözle seçilememektedir.

Veri tabanı ile ilgili daha ayrıntılı bilgi Bölüm 5.1’de verilecektir.



Şekil 3.3. DD ve iyileştirme için kullanılan arayüz

İyileştirme işlemleri yapılırken yukarıdaki şekil 3.3’te gösterilen matlab ortamındaki arayüz, üretilen işaretler için kullanılmıştır [6].

3.2 Dalgacık Dönüşümü (DD)

İşaretlerde frekansa bağlı geçici çözünürlükleri optimize etmek için KZFD’ne alternatif olarak DD geliştirilmiştir. Dalgacıklar durağan veya durağan olmayan sinyallerin zaman-ölçek analizi için olanak sağlar. DD tüm sinyal frekans-zaman bilgisini korurlar. Bu sebeplerden dolayı durağan olmayan gerçek doğal sinyallerin dalgacık temelli metotlarla işlenmesi geleneksel metotlardan daha iyi sonuçlar sağlarlar [2]. Dalgacığın en önemli avantajlarından birisi, büyük işaretlerin bölgesel analizine olanak tanınmasıdır. Örneğin EEG durağan olmayan bir sinyaldir ve uyarımdan sonraki gecikmeler önemli bilgiler sunar.

Dalgacık fonksiyonu olan ψ ' nin 2 temel özelliği sağlıyor olması gerekmektedir. Bu iki temel özellik denklemler 3.4 ve 3.5'te verilmiştir.

$$i) \quad \int_{-\infty}^{\infty} \psi(x) dx = 0 \quad (3.4)$$

$$ii) \quad \int_{-\infty}^{\infty} \psi^2(x) dx = 1 \quad (3.5)$$

Denklemler 3.4'teki özelliğe göre dalgacık fonksiyonunun ortalaması sıfırdır.

3.2.1 Sürekli dalgacık dönüşümü

DD, $f(\cdot) \in L^2(\mathfrak{R})$ şeklinde tanımlı herhangi bir fonksiyonu, ana dalgacık fonksiyonunu, $\psi : \mathfrak{R}^n \rightarrow \mathfrak{R}$, ölçekleyerek ve öteleyerek elde edilen fonksiyon grubunu kullanarak ayrıştırabilen zaman-frekans dönüşüm tekniğidir [28].

Sürekli dalgacık dönüşümü (CWT), işaretin ψ dalgacık fonksiyonunun ölçeklendirilmiş ve kaydırılmış haliyle çarpılıp tüm zaman boyunca toplanmasından elde edilir.

$$CWT(a, b) = \int x(t) \psi_{a,b}^*(t) dt$$

(3.6)

Denklemler 3.6'da $a \in \mathfrak{R}^+$ ölçek parametresini, $b \in \mathfrak{R}^+$ zaman (konum) parametresini, * kompleks eşleniği ifade etmektedir. Sürekli DD sonucu, ölçek ve pozisyonun fonksiyonu olan çok sayıda C katsayılarından oluşmaktadır. Ana dalgacık $\psi(t)$ ' den elde edilen $\psi_{a,b}^*(t)$ fonksiyonu a ölçeği ve b zamanında Denklemler 3.7'deki gibi yazılmaktadır.

$$\psi(t)_{a,b} = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (3.7)$$

Sürekli DD'nin bu tanımlamalara göre, "dalgacık analizi, ana dalgacıkla sinyalin arasındaki benzerliğin ölçümüdür" denebilir. Hesaplanan sürekli DD katsayıları sinyal ile ana dalgacığın bulunulan ölçekteki yakınlığını verir. İnceleme anında bulunulan ölçekte sinyalin temel frekans bileşenleri mevcut ise ana dalgacıkla sinyal arasındaki benzerlik en fazla olacaktır. Bu ölçekte hesaplanan dalgacık katsayıları da yüksek olacaktır[2,36].

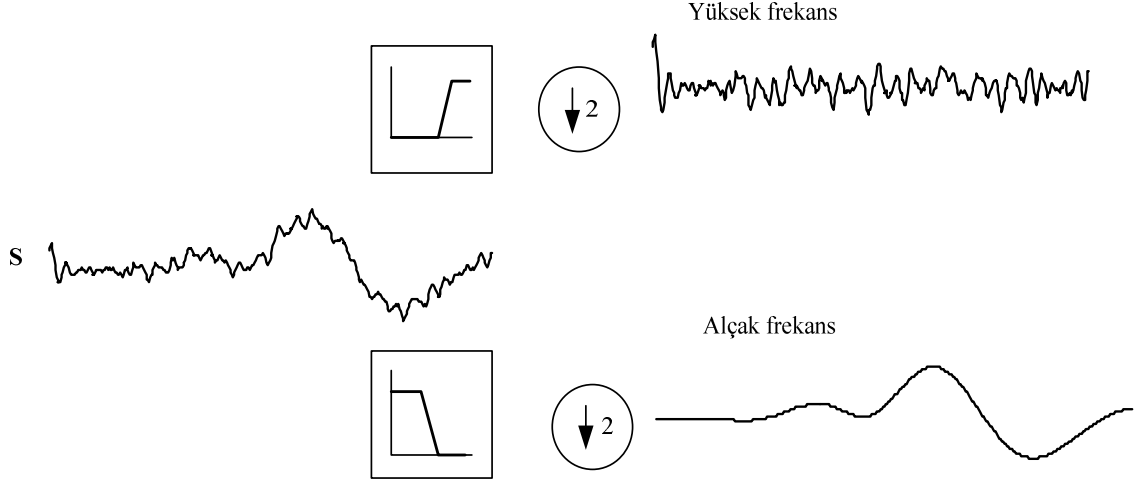
3.2.2 Ayrık dalgacık dönüşümü

Sürekli DD'deki hesap yükünü azaltmak için ayrık DD geliştirilmiştir. Ayrık DD'de ikinin katlarını temel alacak bir şekilde ölçek ve zaman değerleri seçerek sürekli DD'nin sadeleştirilmesi yapılmış analizlerin çok daha etkin olacağı düşünülmüştür. Dalgacık katsayılarını hesaplamada kullanılan bu yöntem ayrık dalgacık dönüşümü denmektedir. Hem sürekli DD'nin genel yapısından gelen fazlaca gereksizliği azaltmak yani sadece yeterli düzeyde/sayıda öteleme ve ölçekleme yapmak hem de işareti istenilen yeterli frekans bantlarında inceleyebilmek amacıyla $a=2^j$ ve $b=k2^j$ seçilerek ayrık DD'ye geçilmektedir. Parametrelerin böyle seçimi değişkenleri ikinin katları oranında verecektir. Bu şekilde elde edilen ölçeklemeye ve dalgacıkları ifade etmek için diydik terimi kullanılmaktadır.

$J > 0$ ve $k \geq 0$ tam sayılar olmak üzere, a ve b parametrelerin yerine konmasıyla $\psi_{j,k}(t)$, Denklem 3.8'deki hale gelmiştir.

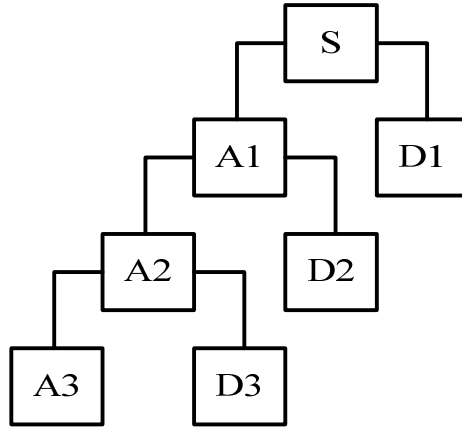
$$\psi_{j,k}(t) = \left(2^{\frac{-j}{2}}\right) \psi(2^{-j}t - k) \quad (3.8)$$

Ayrık DD'de 2 kanal alt band geçiren bir filtre kullanılmaktadır. Temel olarak sinyal alçak ve yüksek frekans bileşenlerine ayrılmaktadır. Birçok işaret için sahip olduğu düşük frekanslı bileşenler önemlidir. Düşük frekans bileşenleri işaretler için genellikle incelenen işaretin temel özelliklerini içermektedir. Yüksek frekanslı bileşenler işaretin detaylarını vermektedir. Buradan yola çıkarak ayrık dalgacık dönüşümü için iki temel bileşen vardır: i) yaklaşıklık katsayıları (approximation coefficients, A), ii) detay katsayıları (detail coefficients, D) [4,37].



Şekil 3.4. İşaretin düşük ve yüksek frekans bileşenlerine ayrılması

DD’de kullanılan yaklaşıklıklar, yüksek ölçekli, düşük frekanslı bileşenler olmakla beraber detaylar da düşük ölçekli, yüksek frekanslı bileşenlerdir. Şekil 3.4’te görüldüğü gibi birbirini tümleyen filtrelerden geçirilen S işareti, düşük ve yüksek frekans bileşenlerine ayrılmıştır.

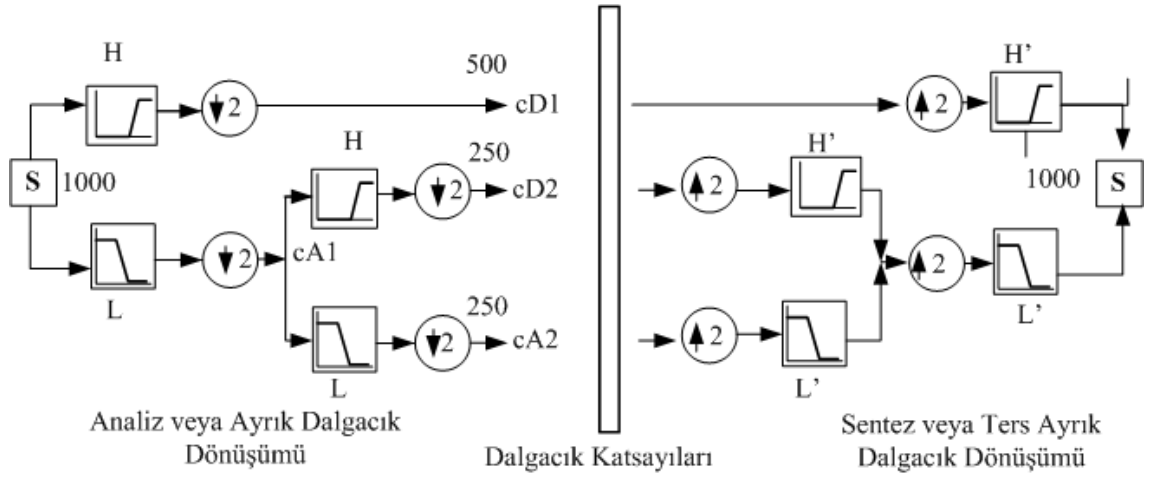


Şekil 3.5. DD ile çok seviyeli ayrıştırma [29]

DD ile elde edilen sinyalin 1. yaklaşıklığı yani A1, tekrar DD ile ayrıştırılabilir. Bu yolla bir sinyalin çok seviyeli yaklaşıklığı elde edilebilir. Şekil 3.5’te çok seviyeli ayrıştırma örneği görülmektedir.

3.2.3 Ters ayırık dalgacık dönüşümü

Sinyalin, analiz ile elde edilen bileşenlerinden tekrar elde edilmesi işlemine “*Sentez*” veya “Geriçatım (Reconstruction)” denir.



Şekil 3.6. Sinyalin analiz ve sentezi

Ters DD işleminde, ayrıştırma sonucunda elde edilen dalgacık katsayılarından sinyalin sentezi gerçekleştirilir. Örneğin j . seviye ayrıştırma için elde edilen j . yaklaşıklık katsayısı (A_j) ve 1'den j 'ye kadar olan detay katsayıları (D_1-D_j) Şekil 3.7'de verilen yöntem kullanılarak tekrar sentezlenebilir. Sentez işleminde, yukarı doğru örnekleme işlemi gerçekleştirilir. Yukarı doğru örnekleme işleminde, Dalgacık katsayıları dizilerinde her iki örnek arasına bir "0" genlikli örnek eklenir. Dikkat edilirse sinyal bu işlem sonunda kayıpsız olarak tekrar elde edilebilir. Şekil 3.6'da analiz ve sentez basamakları gösterilmiştir.

BÖLÜM IV

SENTETİK TEK TUR İŞİTSEL UYARILMIŞ POTANSİYEL SİNYAL ÜRETECİ

Bu bölümde, sunulan tez çalışmasında kullanılan veritabanının oluşturulması için geliştirilen sayısal sinyal üretici tasarımı sunulmuştur.

4.1. Giriş

İUP, beynin senkron olarak işitsel uyarılması sonucunda, meydana gelen elektrik aktivitelerin, voltaj değişimi olarak tanımlanabilir [1]. Ölçülen İUP işaretleri genel olarak beyinde uyartıma ilişkin çoklu kaynaklarda üretilen elektrik aktiviteleri ile uyartıma ilişkin olmayan girişim işaretlerinin (EEG ve diğer gürültü faktörleri) toplamı şeklindedir [25]. İUP işaretinin genliği, arka plandaki EEG işaretinin genliğinden çok küçük olması nedeniyle, İUP işaretlerinde tek tur ölçümlerde bilgi çıkarımı çok zor olmakta ve hatta kısa gecikmeli işaretlerde mümkün olmamaktadır. İUP'un ölçümü için en yaygın metot olan çoklu ortalama metodunda, tek tur işaret ölçümleri ihmal edilmekte ve turdan tura değişim gözlenememektedir. Oysa, turdan tura işaret değişiminin beyin dinamikleri açısından fizyolojik bir değeri vardır ve son derece önemlidir [26]. Dolayısıyla çoklu ortalama tekniği, turdan tura değişimi gözlemlemeye cevap veren bir yöntem değildir. Oysaki, literatürde de çokça yer aldığı gibi, İUP işareti durağan olmayan ve karakteristikleri turdan tura değişen bir işarettir [1,26].

Literatürde, yukarıdaki amaca dönük farklı yöntemlerin kullanıldığı ve farklı özgünlükleri ön plana çıkan çok sayıda çalışma mevcuttur [3,6]. Bu çalışmaların her birinde farklı teknikler belli başarımlarda kullanılmıştır. Bu çalışmaların bir kısmında çoklu ortalamalı işaretler kullanılmakla birlikte bir kısmında ise sentetik İUP işaretleri kullanılmıştır. Ancak, sentetik İUP işaretlerinin temel karakteristiğini belirleyen gecikme ve genlik değerleri pek de dikkate alınmamıştır. Çalışmaların bir kısmında da çoklu ortalamalı işarete ölçülen EEG işareti eklenerek gürültülü bir tek tur işaret elde edilmeye çalışılmıştır. Yani önerilen yöntemin başarımının objektif ve etkin bir şekilde sunulabilmesi için sentetik İUP işaretlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun içinde hem İUP işaretinin hem de eklenen gürültünün deterministik bir yöntemle üretilmesi gerekmektedir. Ancak, literatürde bu böyle değildir. Genelde ölçülmüş işaretler kullanılmıştır. Bizim önerdiğimiz sistemde, hem İUP işareti gama-ton modeli ile

üretilebilmekte hem de EEG işareti öz bağlanım işlemi ile istenilen SNR seviyesinde kestirilerek üretilebilmektedir. Bu iki işaretin toplamı tek tur İUP işaretini temsil etmektedir. Sonuç olarak, bu üreteç ile bilinen yöntemler kullanılarak her hangi bir İUP mühendislik uygulamasında kullanılabilir olan yazılım tabanlı özgün bir sinyal üretici sunulmuştur. Önerilen sistem sentetik veri kümesine ihtiyaç duyulan İUP uygulamalarının hepsinde kullanılabilir.

4.2 İUP İşaretinin Gama-Ton Fonksiyonu ile Temsili

Birçok araştırmacının ileri sürdüğü gibi kısa gecikmeli cevaplar (KGC) hızlı ve yavaş dalga bileşenlerinden oluşmaktadır [30]. Bunlardan yavaş bileşen 5 ms civarında geniş bir pozitif kırılmayı temsil ederken, 100 Hz ve altında bir enerji değerine sahiptir. Hızlı bileşenler literatürde yaygın olarak yer aldığı gibi Dalga I'den başlayıp Dalga VII'ye kadar devam eden yedi adet dalga tipinden oluşan ve yavaş dalga S5'e binen bileşenlerdir [31]. Bir başka deyişle KGC Denklem 4.1'de belirtildiği gibi hızlı ve yavaş dalga bileşenlerinin toplamıdır.

$$KGC(t) = F1(t) + F2(t) + F3(t) + F4(t) + F5(t) + F6(t) + F7(t) + S5(t) \quad (4.1)$$

Burada, $F1(t), F2(t), F3(t), F4(t), F5(t), F6(t), F7(t)$, KGUP'un klasik yedi dalga tipi (Dalga I-Dalga VII) olan hızlı dalga bileşenlerini, $S5(t)$ ise yavaş dalga bileşenini temsil etmektedir.

Orta gecikmeli cevaplar (OGC) hızlı bileşen içermezken on beşinci ve otuzuncu milisaniyelerde pozitif tepe değerine sahip S15 ve S30 yavaş dalga bileşenlerinden oluşmaktadır. KGC'de olduğu gibi OGC'de iki yavaş dalga bileşenin toplamı şeklinde ifade edilebilir.

$$OGC(t) = S15(t) + S30(t) \quad (4.2)$$

Denklem 4.2' de $S15(t)$ ve $S30(t)$ yukarıda anılan iki yavaş dalga bileşenini temsil etmektedir.

Sonuç olarak özgün bir İUP işareti KGC ve OGC'nin toplamı şeklinde $n(t)$ ile temsil edilen gürültü faktörü de dahil edilerek Denklem 4.3'teki gibi yazılabilir [31].

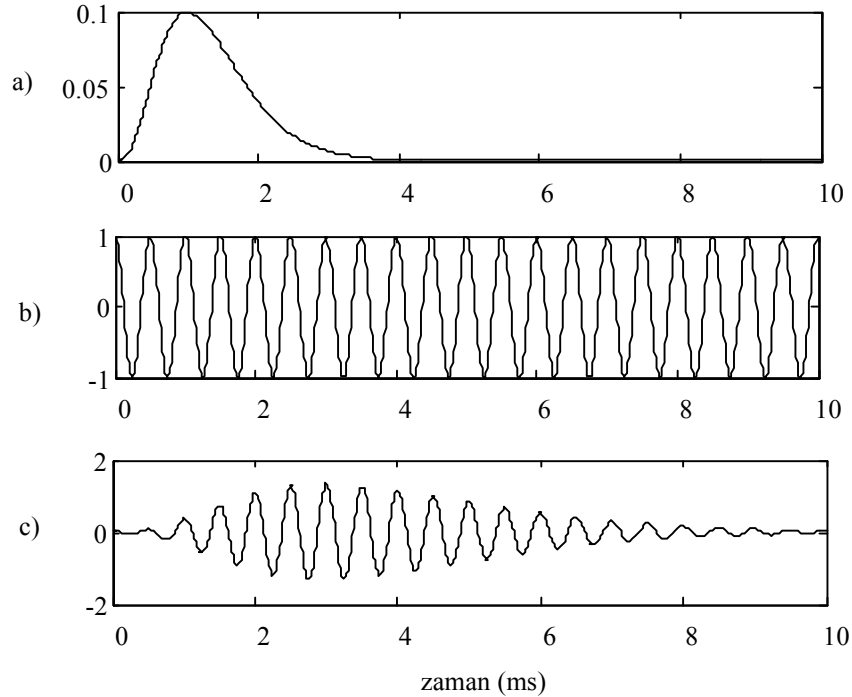
$$\dot{I}UP(t) = KGC(t) + OGC(t) + n(t) \quad (4.3)$$

Gama-ton fonksiyonu öncelikle işitsel modellemede başarıyla kullanılmıştır. Bu çalışmamızda, gama-ton fonksiyonu kullanılarak İUP işaretinin hızlı ve yavaş bileşenleri ayrı ayrı elde edilmiştir.

Gama-ton artan bir polinom, azalan bir üstel fonksiyon ve kosinüs dalgasından oluşur. Genel ifadesi Denklem 4.4'te verildiği gibidir.

$$\text{gama}(t) = At^{M-1}e^{-bt} \cos(w_c t + \varphi) \quad (4.4)$$

Denklem 4.4'ün ilk bölümü olan $At^{M-1}e^{-bt}$ bütün fonksiyonun zarfı olup gama dağılımıdır. Bu gama dağılımı ile tekdüze taşıyıcının (ton) çarpılması sonucu gama-ton ifadesi elde edilir. Verilen formülde M tam sayısı gama-tonun derecesini, w_c merkez frekansını, b bant genişliğini, φ başlangıç fazını belirtir.



Şekil 4.1. Dördüncü dereceden gama-ton fonksiyonunun üç farklı bileşeni, a) gama zarfı, b) kosinüs ton, ve c) gama-ton ($A=1$, $\beta=1$, $fc=2$ ve $t_d=0$ için) [42].

Şekil 4.1'de gama zarfına, tona ve sonuç fonksiyonunun verildiği bir örnek sunulmuştur.

Denklem (4.4), dördüncü dereceden ($M = 4$) gama-ton fonksiyonu için, gecikme değerleri de dikkate alınarak İUP için Denklem 4.5'teki gibi yeniden düzenlenirse;

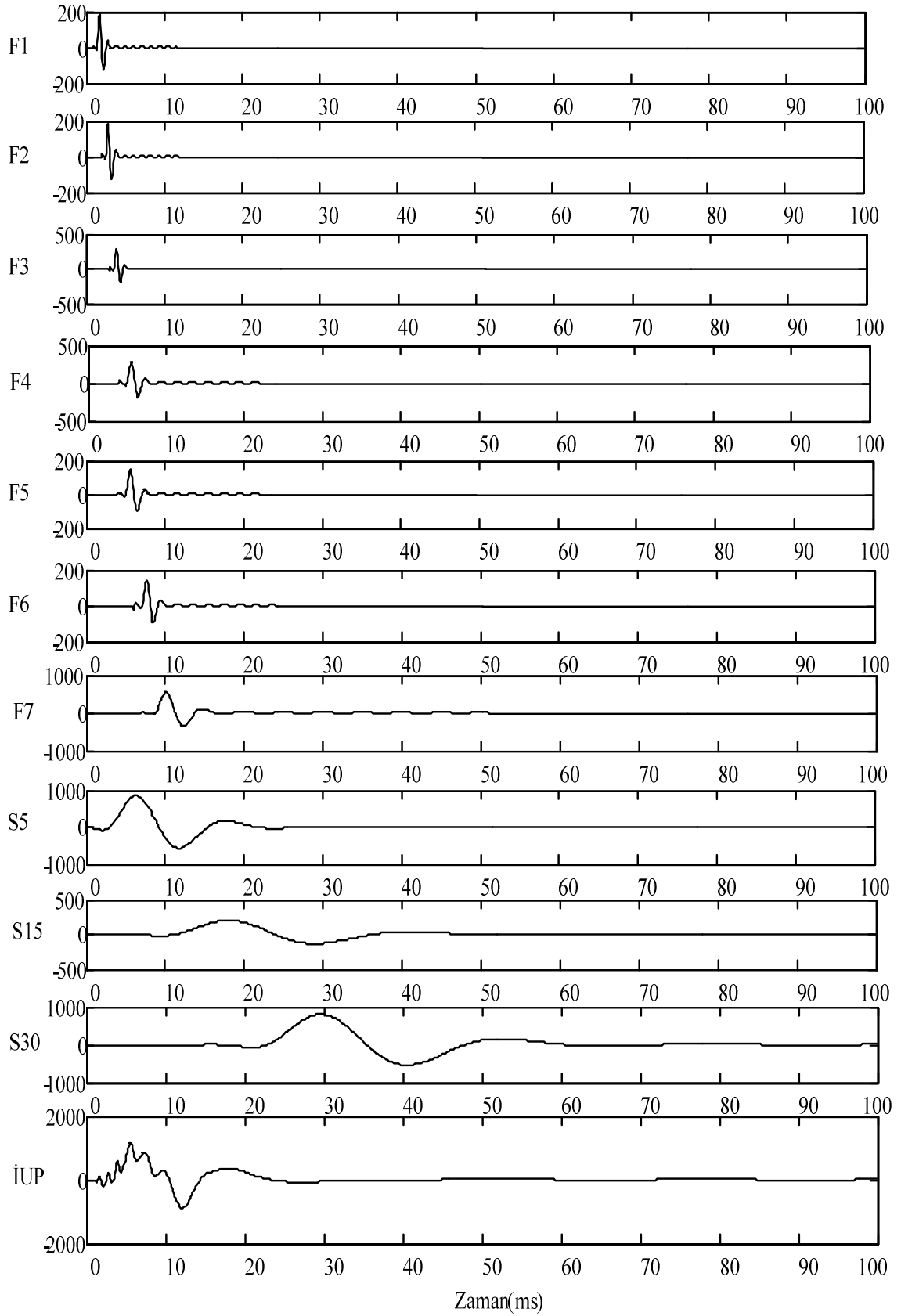
$$\text{İUP}(t) = \alpha A(t - t_d)^3 e^{-\beta(t-t_d)} \cos(w_c(t-t_d)) \quad (4.5)$$

ifadesi elde edilir [42]. Burada, w_c radyan cinsinden merkez frekansını, β gama zarfının bant genişliğini ve t_d ise zaman ekseninde gecikmeyi temsil etmektedir. Gama-tonun gücünü w_c 'den bağımsız elde edebilmek için $A = w_c^{7/2}$ seçilmiştir. Bu denklemde biz genliğin tipik morfolojik değerlerini dikkate alarak A katsayısına çarpan olarak bir α eklenmiştir.

Dikkat edilirse, Denklem 4.4'teki b parametresi Denklem 4.5'te βw_c ye dönüştürülmüştür. βw_c merkez frekansa bağlı olarak gama-tonun bant genişliğidir. Aynı β değeri için; bant genişliği, düşük merkez frekanslarda dar ve yüksek merkez frekanslarda geniştir. Yavaş KGC bileşenlerinden S5' in merkez frekansı 80 Hz, OGC' nin yavaş bileşenleri olan S15 ve S30'un merkez frekansları 40 Hz seçilmiştir. Bütün bileşenlere $\beta = 0.8$ olarak alınmıştır. Bu modellemede kullanılan parametreler Çizelge 4.1'dedir. Çizelge 4.1'de kullanılan parametre değerleri belirlenirken, Hekimoğlu'nun çalışmasından [31] faydalanılmıştır.

Çizelge 4.1. Gama-ton modellemede kullanılan parametreler.

Bileşenler	β (beta)	$fc=wc/2\pi$	α	td (ms)
F1	0.8	900	-1	1
F2	0.8	900	-2	2
F3	0.8	900	-1.5	3
F4	0.8	500	-2	4.8
F5	0.8	500	-1	5.4
F6	0.8	500	-1	6
F7	0.8	200	-6	5
S5	0.8	80	-15	1.5
S15	0.8	40	-10	1
S30	0.8	40	-20	17



Şekil 4.2 İUP işaretinin modellenmesi. Sırasıyla F1'den F7'ye KGUP'un hızlı dalga bileşenleri, S5'te KGUP'un yavaş dalga bileşeni, S15 ve S30'da OGUP'un yavaş dalga bileşenleri.

Sonuç olarak Şekil 4.2'den görüldüğü gibi morfolojik yapısı gerçek ölçülmüş İUP işaretine uygun bir İUP elde edilmiştir. Şekil 4.2'de en sonda İUP olarak toplam işaret sunulmuştur.

4.3 İstenilen SNR Seviyesinde Tek Tur İUP İşaretinin Üretilmesi

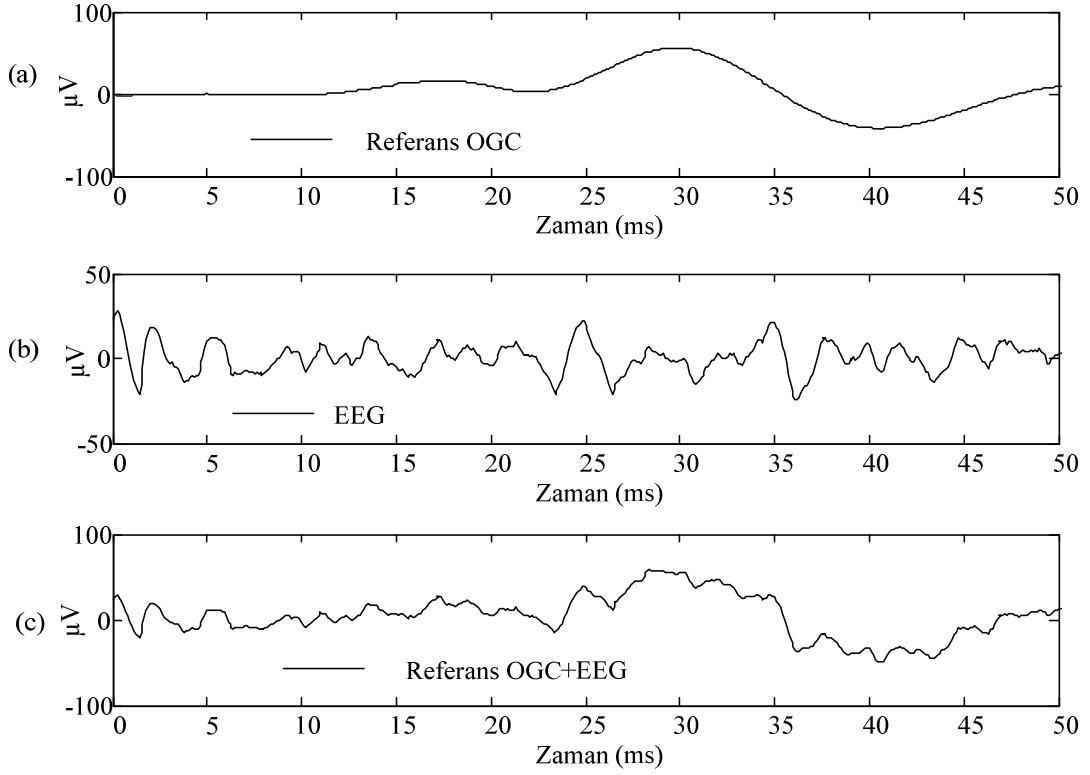
Tek tur İUP işareti bir önceki bölümde tanımlanan modellenmiş İUP işareti ile aşağıda sunulacak olan arka plan EEG işaretinin toplamı şeklinde tanımlanabilir.

$$\text{Tek Tur İUP}(t) = \text{İUP}(t) + \text{EEG}(t) \quad (4.6)$$

Burada EEG işareti özbağlanım parametreleri 4. dereceden hesaplanarak belirlenmiştir. Burada EEG, amaca bağlı olarak yüksek dereceden de belirlenebilir. İstenilen SNR seviyesinde EEG işareti Denklem 4.7'de uygun bir $n(t)$ seçilerek üretilebilir [32].

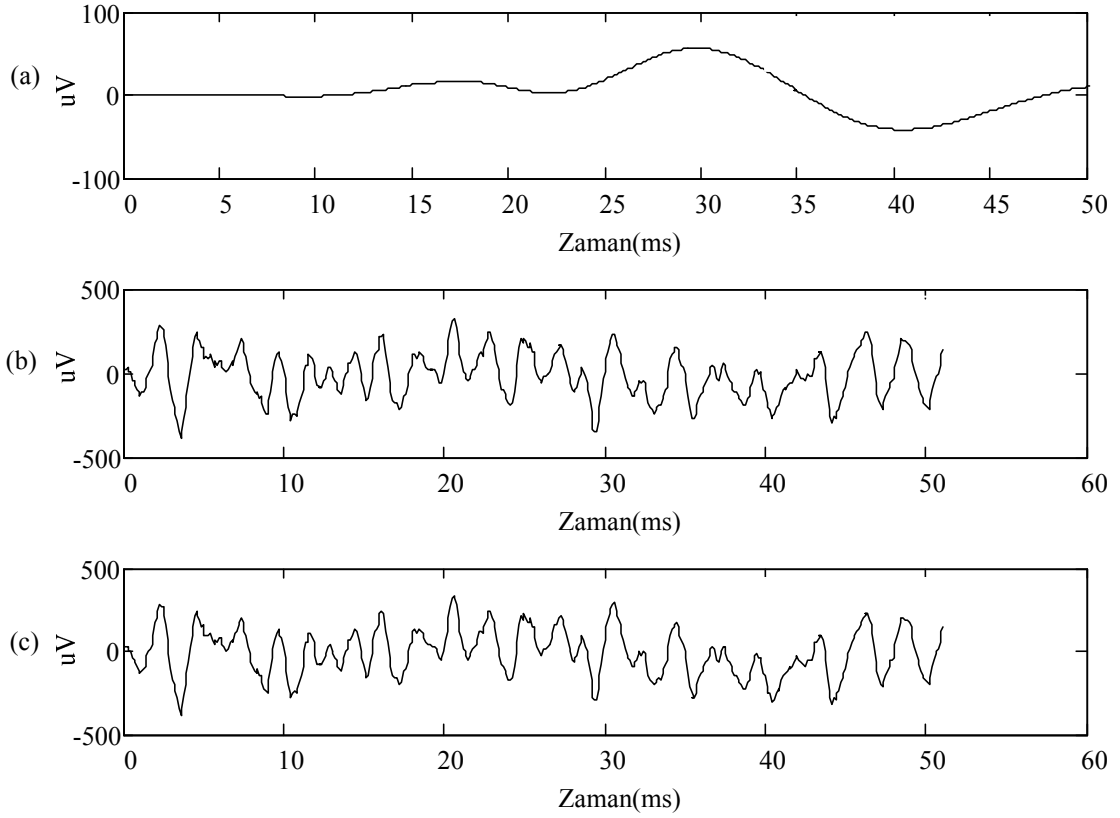
$$\text{EEG}(t) = 1.508eeg_i(t-1) - 0.1587eeg_i(t-2) - 0.3109eeg_i(t-3) - 0.0510eeg_i(t-4) + n(t) \quad (4.7)$$

Denklem 4.7'de, $n(t)$ Gauss dağılımlı beyaz gürültüyü temsil etmektedir. Burada bir İUP işaretinin eldesi için üretilecek birden fazla sayıdaki tek tur İUP işareti oluşturulurken, her bir tur için bağımsız farklı başlangıç değerleri için Denklem (4.7) çalıştırılmalıdır. Bu şekilde tek tur işaretler arasındaki ilişkisizlik kabulü sağlanmış olur. Çünkü, İUP modellerinde özgün İUP ile EEG'nin ilişkisiz ve tek tur İUP'larda özgün İUP'ların ilişkili ve aynı olduğu kabul edilirken, EEG'ler de ilişkisiz/istatistiiki bağımsız kabul edilirler. Bu yazılım tabanlı sinyal üreticinde bu sağlanmaktadır. Örnek olarak Şekil 4.3'te -5dB SNR'yi sağlayan ($n(t)$ 'nin kovaryansı ölçeklenerek) bir sentetik tek tur İUP işareti görülmektedir.



Şekil 4.3 -5 dB’de üretilmiş sentetik tek tur İUP işareti. Sırasıyla en üstte gama-tonla modellenmiş özgün İUP, ortada özbağlanım parametrelerinden üretilmiş EEG ve en altta her ikisinin toplamını temsil eden sentetik tek tur İUP işareti.

Bir önceki örnekte, Şekil 4.3’ten anlaşılacağı gibi -5 dB özgün İUP işaretinin şeklini biraz bozmakla birlikte tanımlı dalga tipleri etiketlenebilecek durumdadır. Bu durum genelde uzun gecikmeli İUP’da olur ve o sebeple uzun gecikmeli İUP’lar az sayıda ortalama ile elde edilebilir.



Şekil 4.4 -30 dB’de üretilmiş sentetik tek tur İUP işareti. Sırasıyla en üstte gama-tonla modellenmiş özgün İUP, ortada özbağlanım parametrelerinden üretilmiş EEG ve en altta her ikisinin toplamını temsil eden tek tur İUP işareti.

Ancak, KGC’lerde genelde -20 veya -30 dB’lerde bir SNR oranı mevcuttur. Şekil 4.4’ten de görüldüğü gibi KGC ve OGC ölçümlerinde tek tur işaretlerin klinik ve beyin dinamiği araştırmalar açısından değeri olmakla birlikte tanımlı dalga formlarını görmek imkansızdır ve budurumda çok fazla sayıda (bazen 2000 tekrarlı) tek tur ölçümlerin yapılması gerekir. Şekil 4.4’te de -30dB’de üretilmiş tek tur bir İUP işareti görülmektedir.

BÖLÜM V

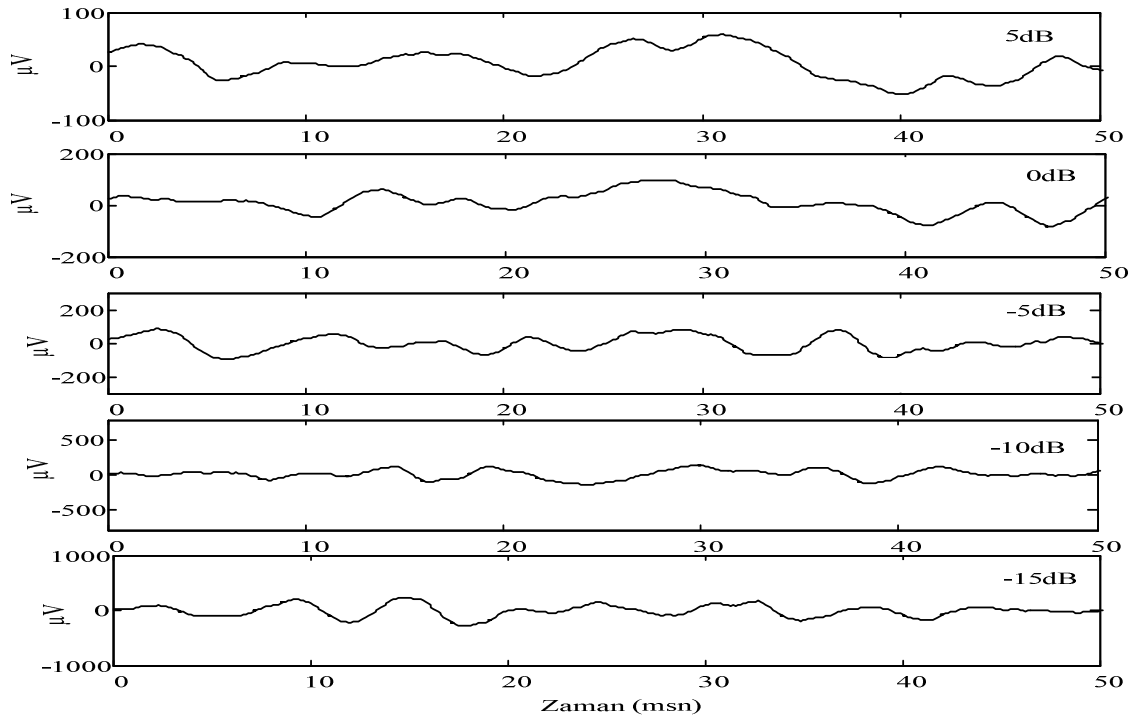
SENTETİK İŞİTSEL UYARILMIŞ ORTA GECİKMELİ CEVAPLARIN DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ İLE İYİLEŞTİRİLMESİ

5.1 Veritabanı

Verileri oluşturmak için Bölüm IV’te anlatılan Sentetik Tek Tur İşitsel Uyarılmış Potansiyel Sinyal Üretici kullanılmıştır. Üretilen OGC işaretleri sentetik olup gerçekte birimsizdir. Ancak, literatürde yer alan ölçülmüş gerçek OGC işaretlerinin genliğine uygun olarak normalize edilmiş ve mikro volt birimine karşılık düşen aralık kullanılmıştır. OGC’nin gecikme ve genlik değişimlerinin izlenmesi sinir sisteminin dinamiklerinin belirlenmesinde oldukça önem taşıdığı için alınan ölçümler 10 kez tekrarlanıp genlik ve gecikme değerleri kaydedilerek standart sapmaları hesaplanmıştır. Veriler iki farklı şekilde gruplanmıştır.

a) Gürültü seviyelerine göre: 5 dB, 0 dB, -5 dB, -10 dB, -15 dB,

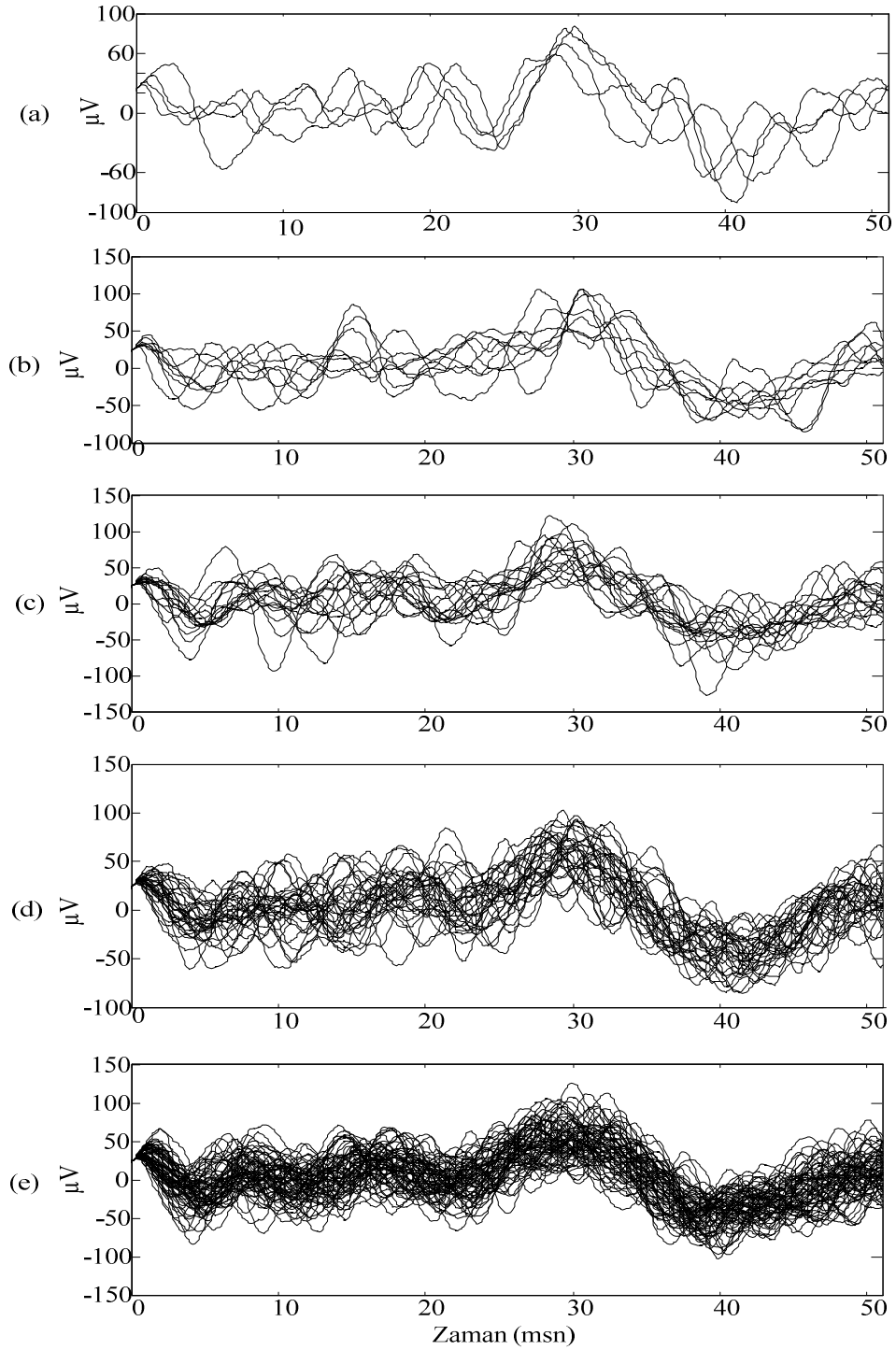
b) Tur sayılarına göre: 4, 8, 16, 32, 64 tur



Şekil 5.1. Farklı gürültü seviyelerindeki (5, 0, -5, -10, -15 dB) tek turlar

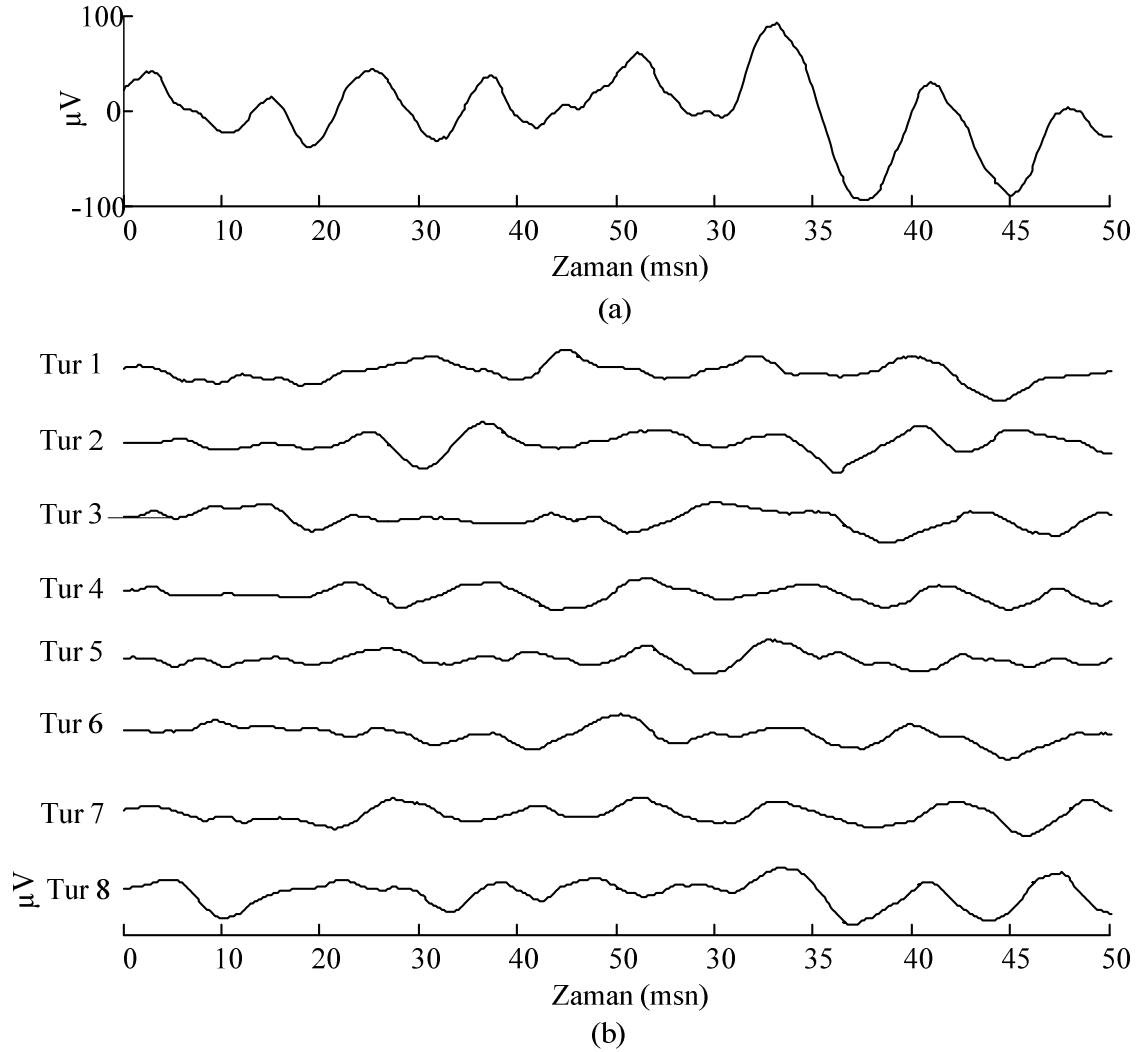
Şekil 5.1’de 5, 0, -5, -10, -15 dB gürültü seviyelerindeki OGC’nin tek turları gösterilmiştir. OGC işaretleri gerçek canlı ölçümlerinde -10 dB’den daha gürültülü olmadığından veritabanı 5 dB ile -15 dB arasında 5’er adım aralıklarla oluşturulmuştur.

Burada eklenen gürültüler Bölün VI'te ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Gürültü seviyesi arttıkça genlikler oldukça artmaktadır. Elde edilen gürültülü işaretin genliği eklenen gürültüyle orantılı arttığından referans işaret gürültülü işaretin içinde tamamen seçilemez hale gelmektedir. Farklı gürültü seviyeleri ile çalışmadaki amacımız referans OGC sinyali gürültülü işaretin içinde farklı seviyelerde kaybolmasına rağmen DD ile hangi oranda iyileştirildiğinin araştırılmasıdır.



Şekil 5.2. Gürültülü sinyaller (a) 4 tur 0 dB (b) 8 tur 0 dB (c) 16 tur 0 dB (d) 32 tur 0 dB (e) 64 tur 0 dB OGC

Şekil 5.2’de 4, 8, 16, 32, 64 tur olarak, 0 dB’de üretilen OGC işaretleri gösterilmiştir. Verilen ilk uyarımdan sonra alınan cevaba tek tur denilmektedir. Çoklu ortalama tekniğinin sağlıklı bir şekilde kullanılabilmesi için binlerce tek tur ölçümünün yapılmasının gerekli olduğu hatırlatmasını yaparak bu çalışmada daha az sayıda tek tur ölçümü alınarak OGC işareti elde dileyebilmektedir. Çalışmada ayrıca her bir gürültü seviyesi için 4, 8, 16, 32, 64 turluk ölçümler alınmıştır.



Şekil 5.3. (a)-10 dB’de üretilen 8 adet tek tur işaretin ortalaması (b) ortalama almada kullanılan tek turlar

Şekil 5.3’te sentetik olarak -10 dB’de üretilen 8 turluk OGC ve en üstünde de bu cevapların ortalaması verilmiştir.

5.2 İUP İşaretinin Dalgacık Analizinde Temel Dalgacık Seçimi

Dalgacık türleri çeşitli aileler olarak gruplandırılmıştır. Şu anda 1’den 10’a kadar dalgacık türü içeren 10 farklı dalgacık ailesi vardır [5]. Her bir aile farklı matematiksel

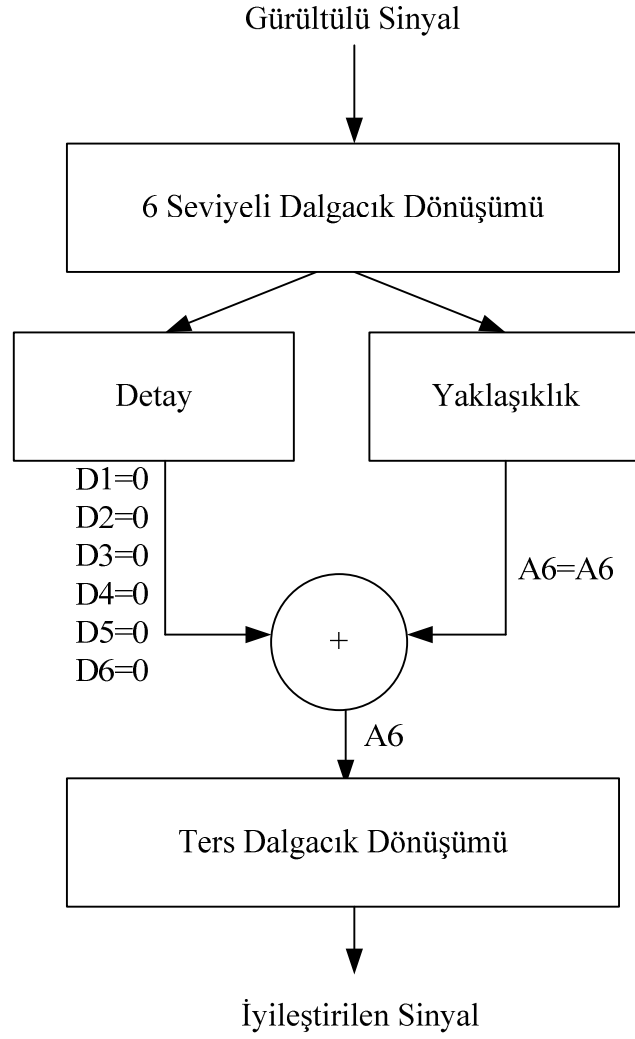
özelliklere sahiptir. Aynı sinyale uygulanmaları halinde farklı sonuçlar alınır. İUP işaretinin şekli ile uygulanacak dalgacığın şeklinin eşleştirilmesi İUP'nin bileşenlerinin yapısına daha odaklanabilmeyi ve sentezlenirken de beklenmeyen etkilerin minimize edilmesini sağlar.

Bertrand ve ark., [33] genellikle İUP işareti için basit şekilli oldukları için ortogonal ve periyodik ayrık dalgacığı tavsiye etmişlerdir. Daha özel olarak Quiroga ve ark., İUP işareti için basit şekilli, antisimetrik olduğundan iyi şeklinden ve neredeyse optimal zaman-frekans geri dönüşümünden dolayı "quadratic B-spline" dalgacığı kullanmışlardır [34].

Yapılan bu çalışmada da temel dalgacık olarak İUP sinyallerine olan benzerliği nedeniyle zaman-frekans domeninde, kullanılan OGC'nin bileşenleri ile iyi örtüşme sağladığı için "quadratic bi-orthogonal B-Spline" dalgacığı kullanılmıştır.

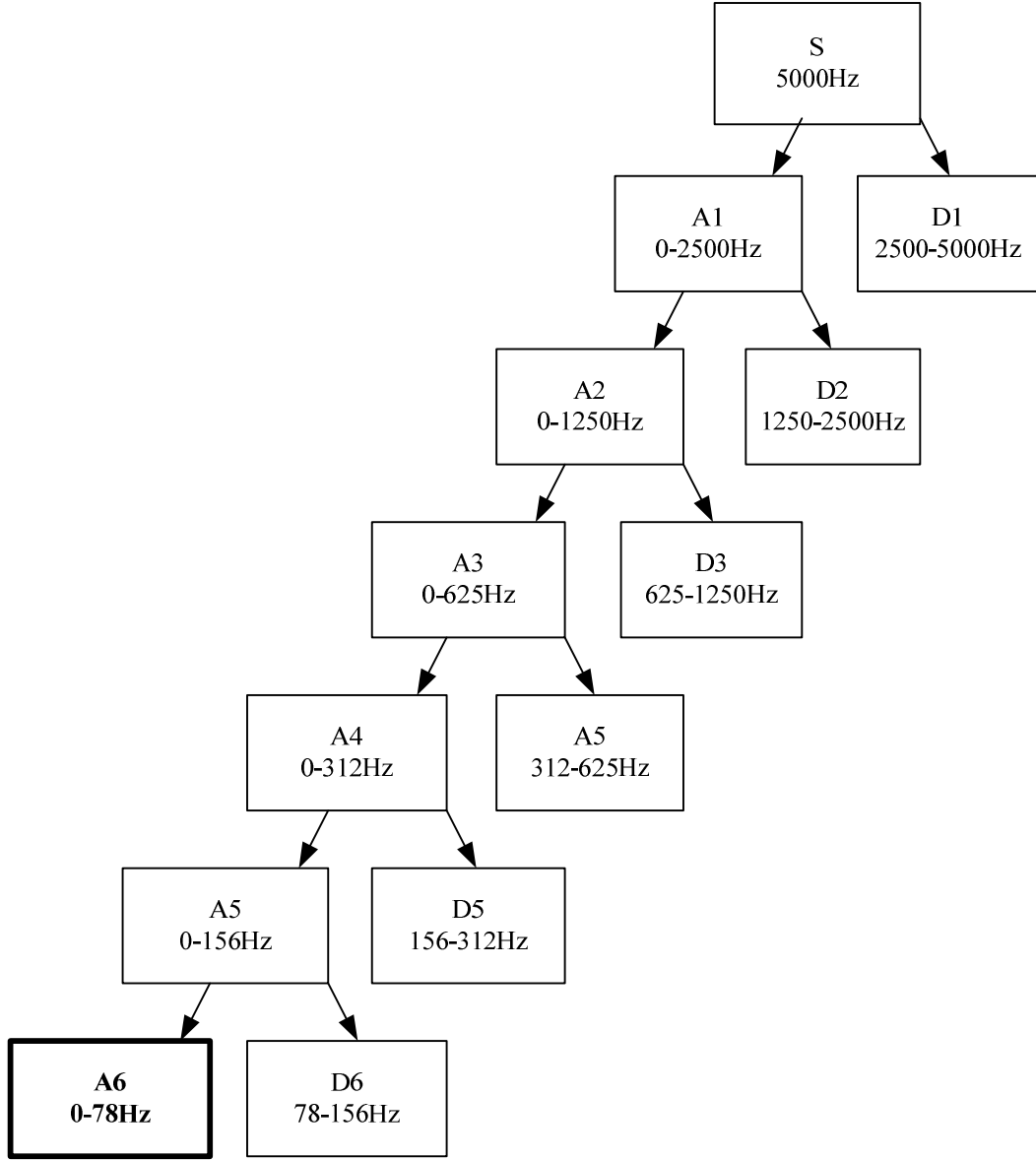
5.3 Dalgacık Dönüşümü İle İyileştirme

Yapılan çalışmada 5, 0, -5, -10, -15 dB'lik gürültü seviyelerinde ve 4, 8, 16, 32, 64 turlardan oluşan sentetik OGC'nin veri kümeleri kullanılarak, bu işaretlerin iyileşme performansları zaman ve genlik ölçümlerine göre kaydedilmiştir. DD 6. seviyeden yapılmıştır. Çünkü pratikte OGC'nin temel frekans bileşeni 40 Hz civarındadır. İşaretin 10 KHz örnekleme frekansında üretildiği göz önüne alındığında, işaret 6 seviyeye ayrıştırarak istenilen frekans aralığı elde edilebilmektedir [35].



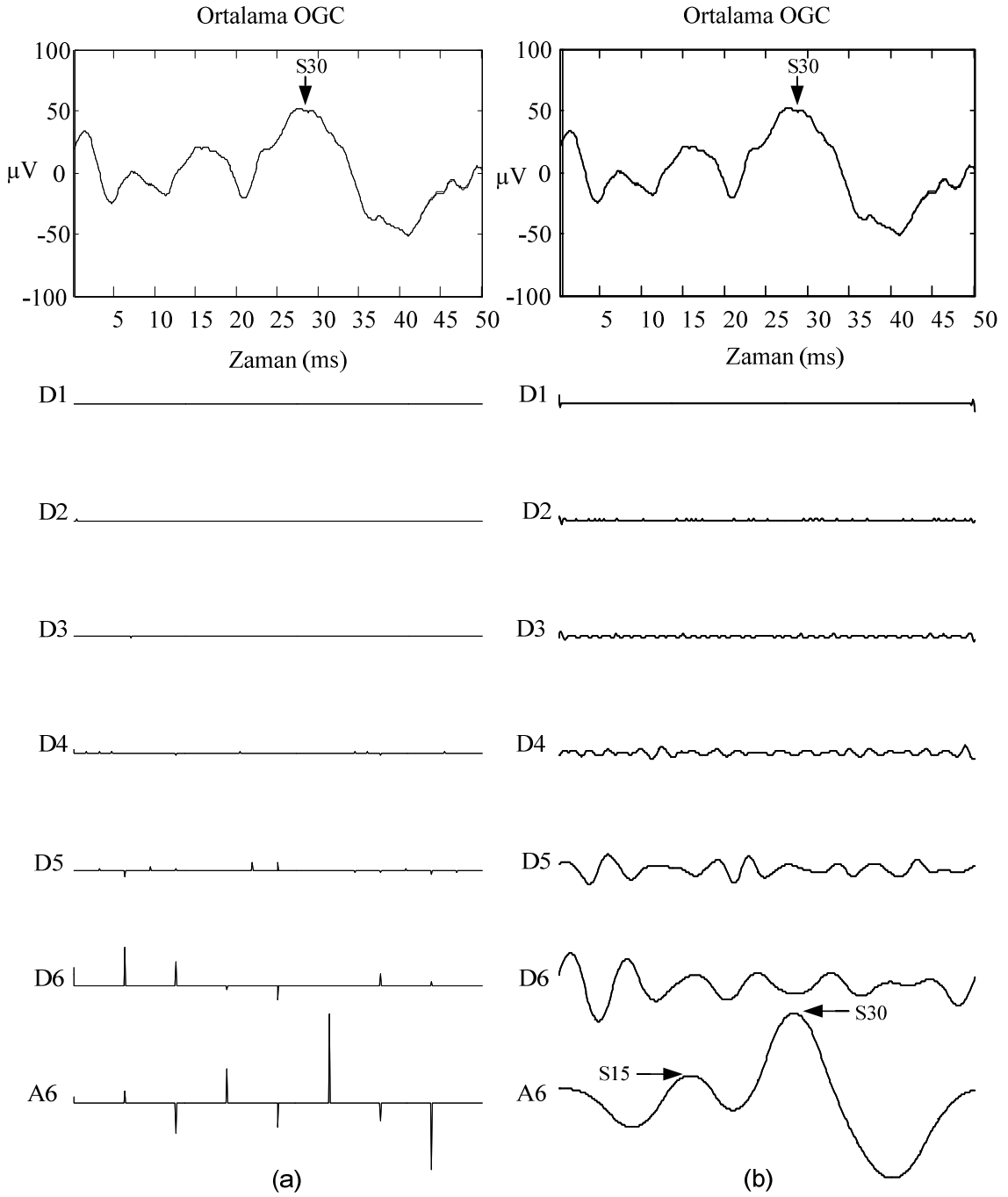
Şekil 5.4 İyileştirme için kullanılan iş akış diyagramı

Şekil 5.4'te yapılan iyileştirme işlemi adım adım gösterilmiştir. 6 seviyeli DD ardından elde edilen detay ve yaklaşıklık katsayılarından detaylar temel işaretimiz ile ilişkisiz, yaklaşıklık katsayısı ise temel işaretle ilişkili olarak değerlendirilerek bir çeşit filtreleme işlemi sonucu detay katsayılarının hepsi 0 yapılmıştır. Kalan yaklaşıklık katsayıları ile ters DD yapılmış ve sonuçta iyileştirilmiş sinyal elde edilmiştir.



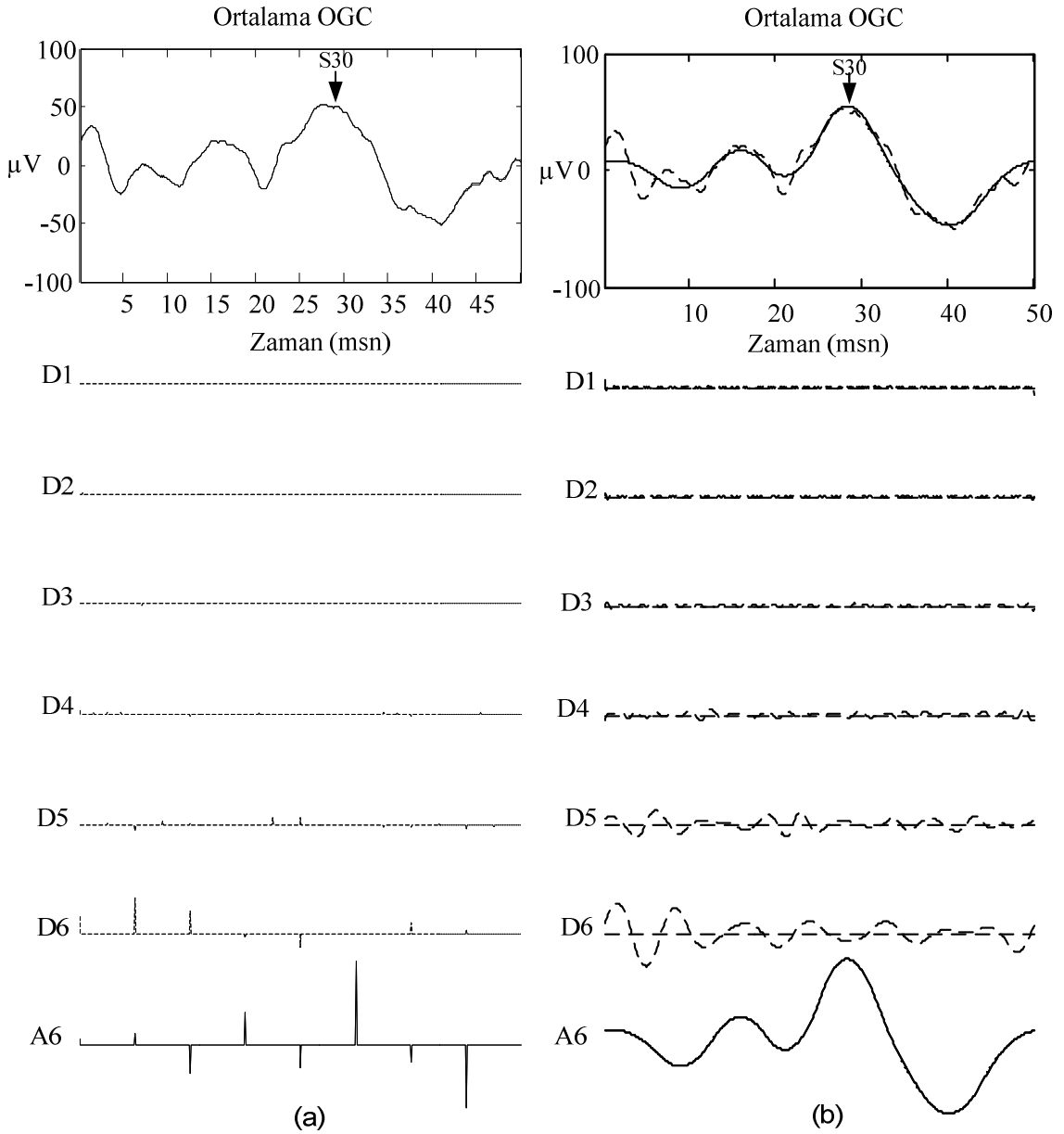
Şekil 5.5. 6 seviyeli dalgacık dönüşümü ağacı (D1-D6, A1-A6)

Şekil 5.5'te de S ile gösterilen DD'de kullanılan OGC'tır. Bu işaretin 6 seviyeli DD ile elde edilen A6 yaklaşıklık bandının frekans aralığı, 78 Hz'den küçük olan sinyal bileşenlerini kapsamaktadır. Bu sebeple DD ile iyileştirme işlemi için A6 yaklaşıklık bandı kullanılmıştır. Şekil 5.5'teki DD ağacından da görüleceği gibi 1. seviyeden DD yapıldıktan sonra, 2. seviyeden DD yapmaya düşük frekans aralığına sahip olan yaklaşıklık bandını temsil eden A1 üzerinden devam edilmiştir. Daha sonraki seviyelere ulaşmak için de DD yaklaşıklık bantları üzerinden (A2, A3, A4, A5) devam edilmiştir. Son seviyede de 0-78 Hz frekans aralığına sahip olan A6 yaklaşıklık bandı elde edilmiş olur. 40 Hz'lik frekans bileşenlerine sahip olan OGC da bu katsayılar içinde barındığı düşünülmektedir.



Şekil 5.6. -10 dB’de 64 turluk OGC ortalaması üstte.(a) OGC’nin 6 seviyeli DD sonucu elde edilen D1-D6 detay katsayıları ve A6 yaklaşıklık katsayısı, (b) D1-D6 ve A6’ya ters DD uygulanması

Şekil 5.6 (a)’da -10 dB, 64 turdan oluşan OGC’nin 6 seviyeli DD sonucu elde edilen D1, D2, D3, D4, D5, D6, A6 dalgacık katsayıları, ters DD sonucu elde edilen işaretler (b) şıkında sunulmuştur. A6 yaklaşıklık katsayısının OGC’nin temel bileşenleri olan S30 ve S15 sinyallerini içinde barındırdığı net bir şekilde görülebilmektedir. En üstte verilen kısım ise kullanılan -10 dB, 64 turluk işaretin çoklu ortalamasıdır.



Şekil 5.7. -10 dB 64 turluk işarete DD ile iyileştirme işleminin gerçekleştirilmesi (a) OGC ile ilişkili katsayıların alınması. Düz çizgiler ilişkili katsayılar (A6) Kesikli çizgiler gürültü olarak adlandırılan OGC ile ilişkisiz katsayılar(D1-D6) (b) OGC ile ilişkili katsayıların alınarak ve ilişkisiz katsayıların 0'a çekilerek yapılan ters DD sonucu elde edilen işaret, en üstte ise kesikli şekil gürültülü 64 turluk işaretin ortalaması, düz çizgi ise iyileştirilen OGC'nin ortalaması

Şekil 5.7'da ise Şekil 5.5'te kullanılan işarete iyileştirme işlemi yapılmıştır. Yani iyileştirme işlemi için Şekil 5.7 (a)'da OGC ile ilişkili katsayıları içinde barındıran A6 katsayıları alınmıştır. Şekilde de düz çizgi ile gösterilmiştir. OGC ile ilişkisiz katsayılar sıfıra çekilerek yeni katsayı kümesi elde edilmiştir. Şekil 5.7 (b)'de ise yeni katsayılarla ters DD uygulanıp iyileştirilen OGC elde edilmiştir. (b) şikkında kesikli çizgiler elenen bileşenleri temsil ederken düz çizgide yeni iyileştirilen işareti göstermektedir.

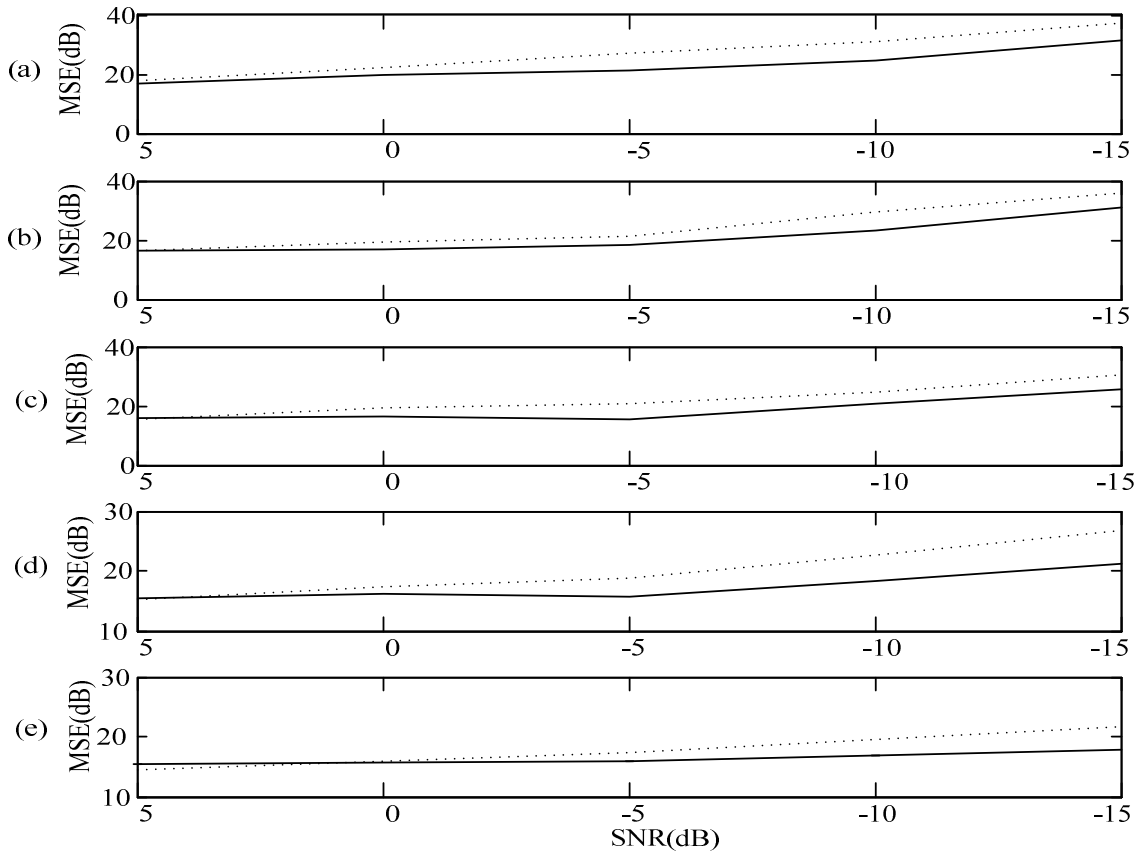
5.3.1 Farklı gürültü seviyelerindeki OGC'nin DD ile iyileştirilmesinin çoklu ortalama alma metodu ile karşılaştırılması

İUP için oldukça popüler olarak kullanılan çoklu ortalama alma metodu kullanılan her bir tek turu toplayıp ortalaması alınarak elde edilir. Daha önce de belirtildiği gibi çoklu ortalama alma metodunda her bir turun toplanması ile ölçüm için önemli sayılabilecek veriler de kaybolabilmektedir. DD ile iyileştirme işleminde ise her bir tek tura bu işlem uygulanıp tek turlar üzerinden iyileştirme işlemi yapılmaktadır.

Performans karşılaştırılması için ortalama kare hataları (MSE, mean square error) dB cinsinden aşağıdaki formülde belirtildiği gibi hesaplanmıştır.

$$MSE(dB) = 10 \log \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (iMLR - rMLR)^2 \right) \quad (5.1)$$

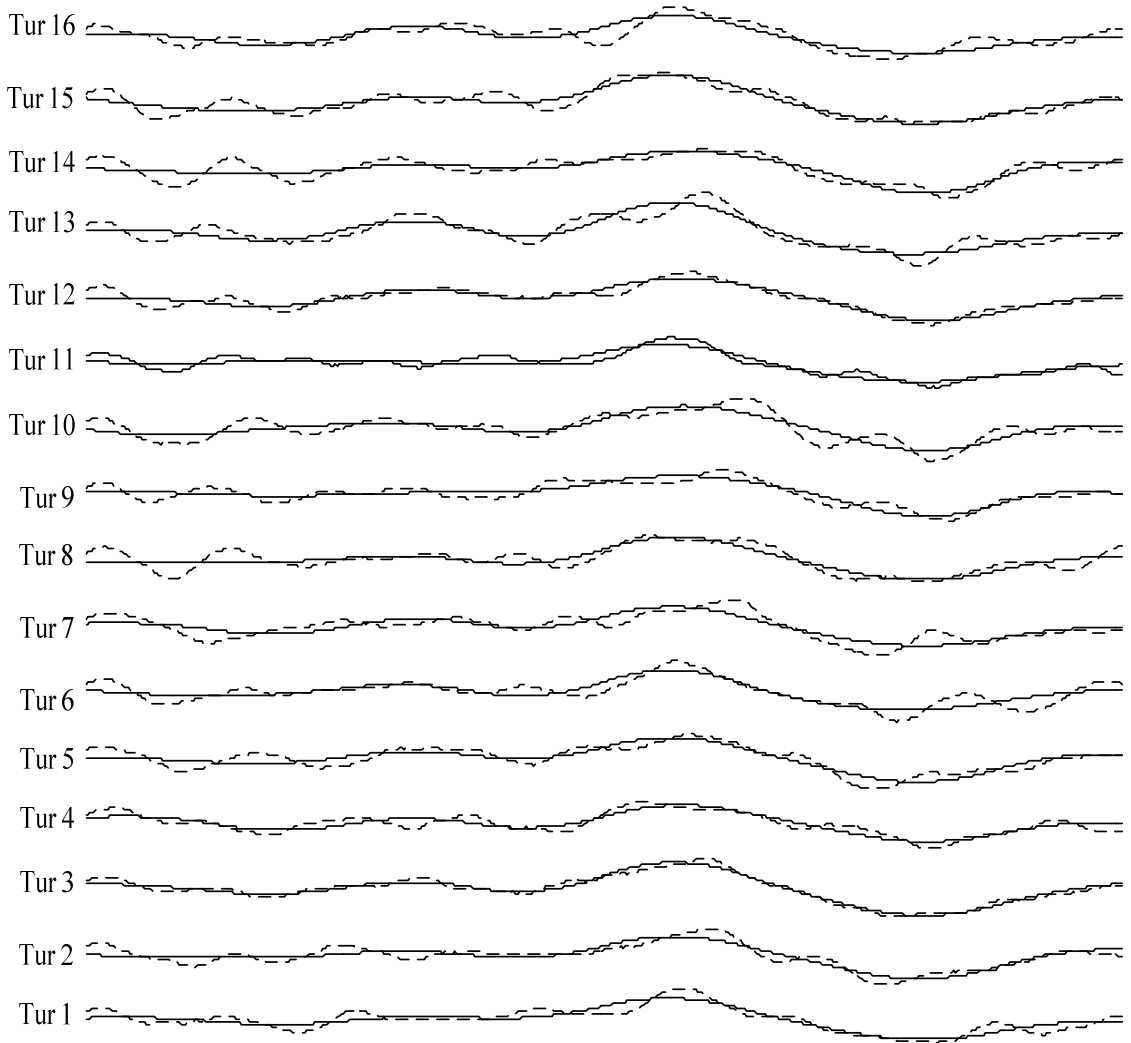
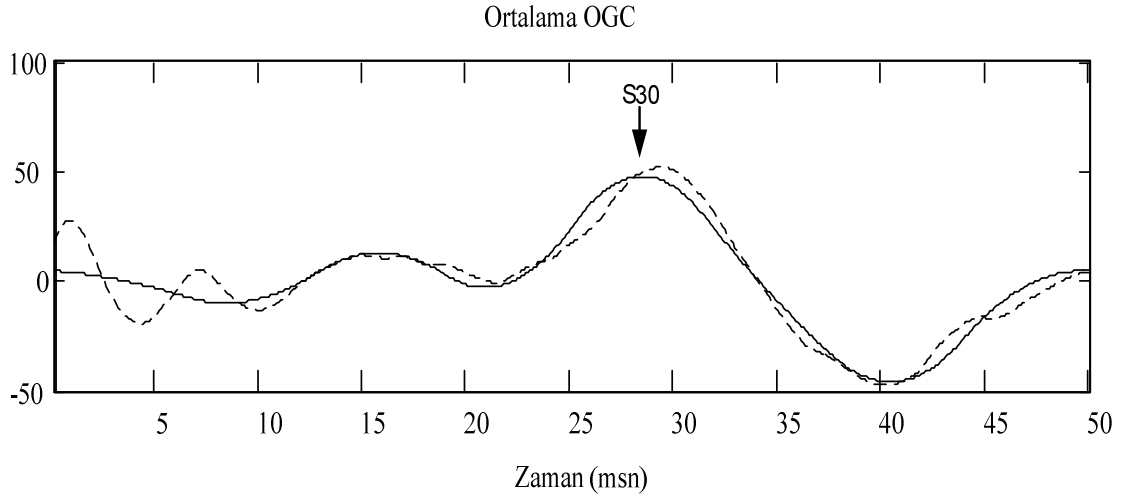
Eşitlik 5.1'de N sinyalin uzunluğunu belirtirken, *iMLR* iyileştirilmiş OGUP vektörü *rMLR* ise referans OGUP vektörünü temsil etmektedir.



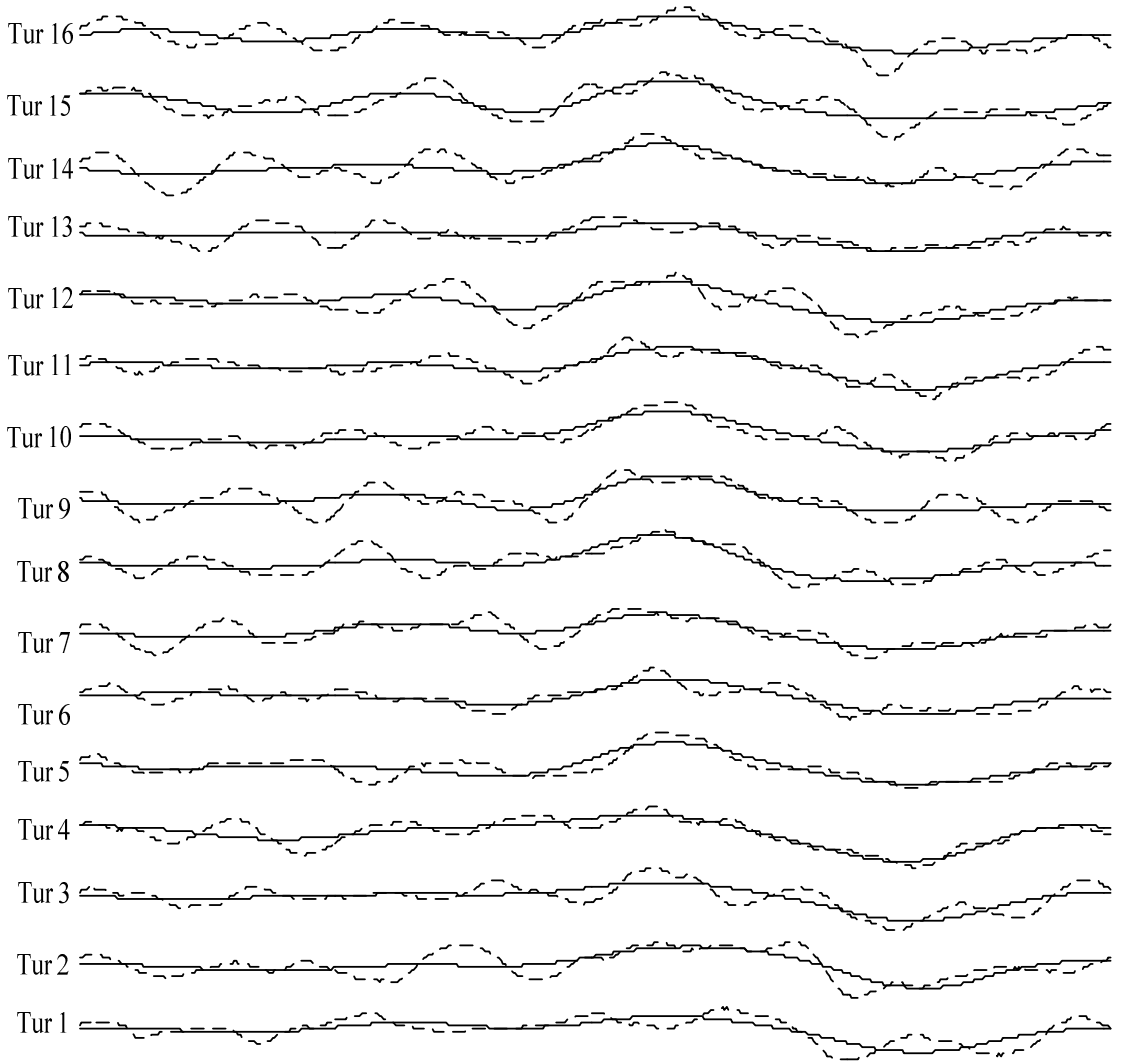
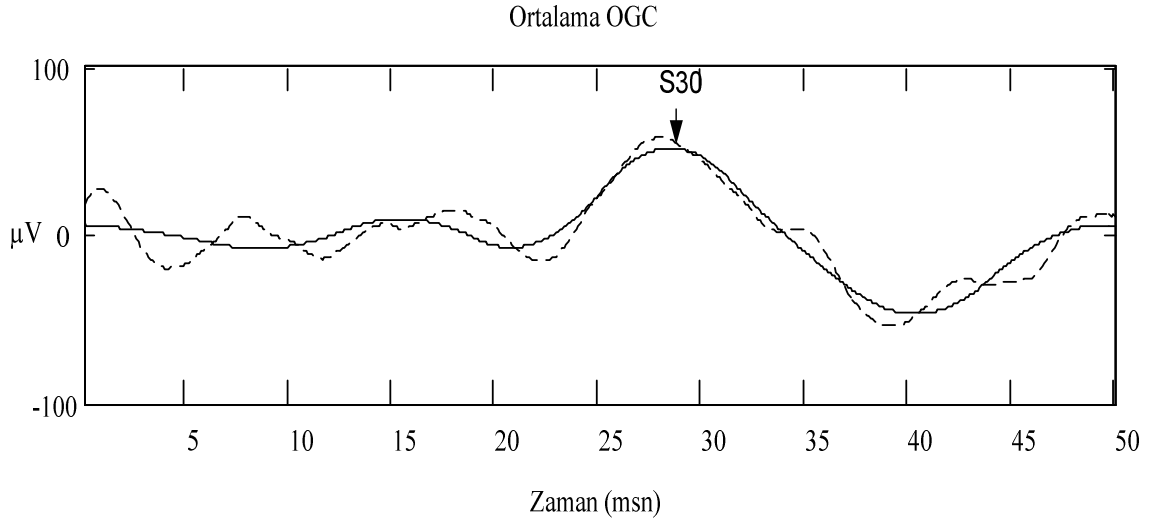
Şekil 5.8. Çoklu ortalama alma ve DD ile iyileştirme metodunun ortalama kare hatalarının farklı gürültü seviyeleri ile karşılaştırılması. (a) 4 tur (b) 8 tur (c) 16 tur (d) 32 tur (e) 64 tur işaret için elde edilen sonuçlar. (Düz çizgi DD ile iyileştirme, noktalı çizgi çoklu ortalama alma metodu)

İyileştirme işleminin DD ve çoklu ortalama alma metodunun performanslarının üretilen gürültülü işaretlerdeki gürültü seviyesi farklılıklarına göre karşılaştırılması Şekil 5.8’de gösterilmiştir. Şekilde kıyaslanan üretilen her bir veri setinin hem çoklu ortalama alma metodu ile hem de DD ile gürültü iyileştirme işlemi sonucunda elde edilen ortalama kare hatalarının dB cinsinden değerleri ile üretilen işaretlerdeki gürültü seviyeleridir. Şekil 5.8’den da anlaşılacağı gibi DD ile iyileştirme işlemi çoklu ortalama alma metoduna göre her bir SNR seviyesinde daha başarılıdır. Ortalama kare hata gürültü seviyeleri arttırıldığında artmakta ancak bu miktar DD ile gürültü giderme işleminde her zaman daha az olmaktadır. Ancak çoklu ortalama alma metodunun DD ile düzleştirme metodundan daha başarılı olduğu 5 dB’deki 64 turluk grup mevcuttur. Tur sayısı fazlaştığında ortalama alma metodu daha iyi çalıştığı literatürde bilinen bir durumdur. Bizim bu çalışmadaki amacımız zaten tur sayısı mümkün olduğunca azaltmak olduğundan diğer gürültü seviyeleri ve tur sayılarındaki DD ile iyileştirme başarımları daha iyi olmuştur. Şekil 5.8’de düz çizgiler DD metodunu, çizgili olan ise çoklu ortalama metodunu temsil etmektedir.

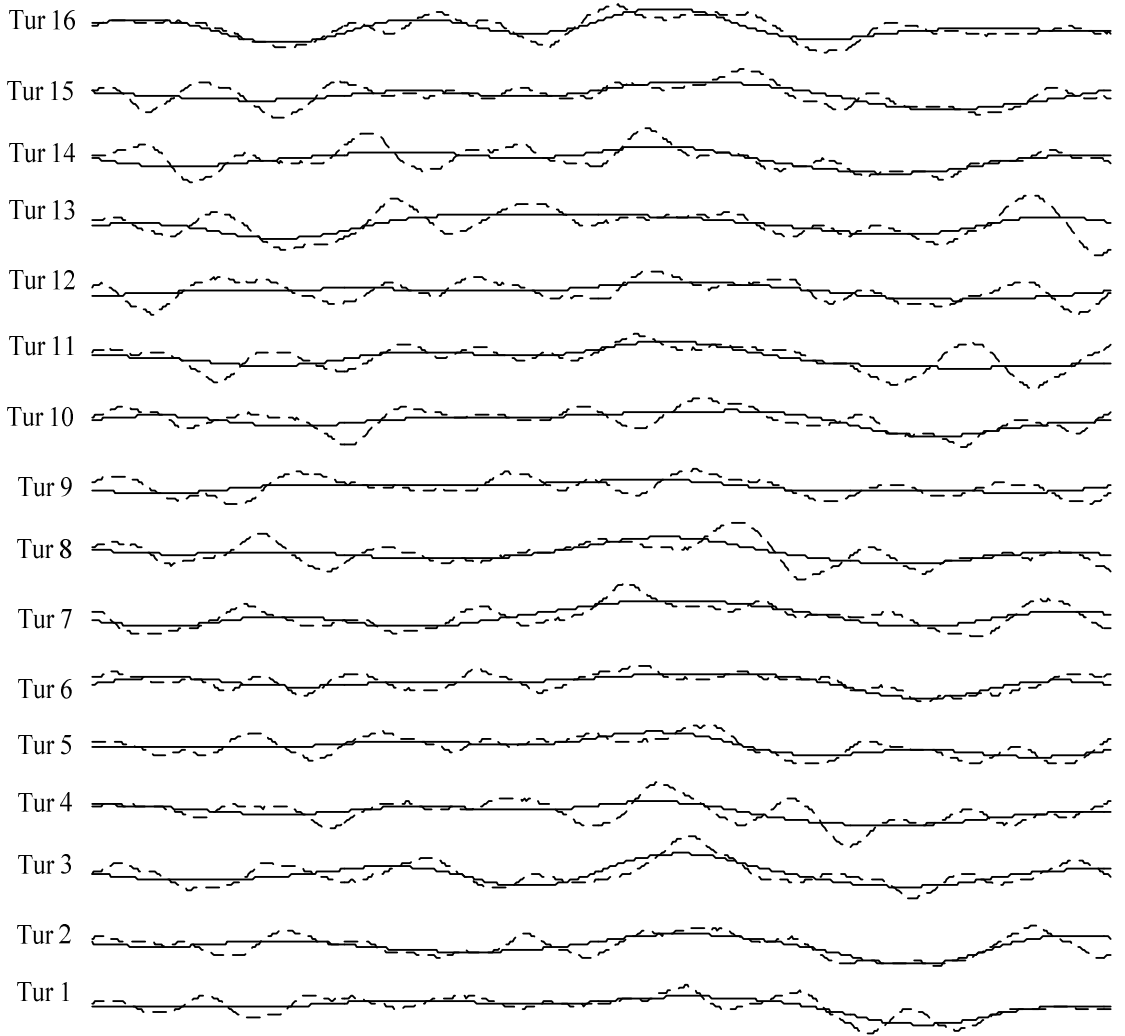
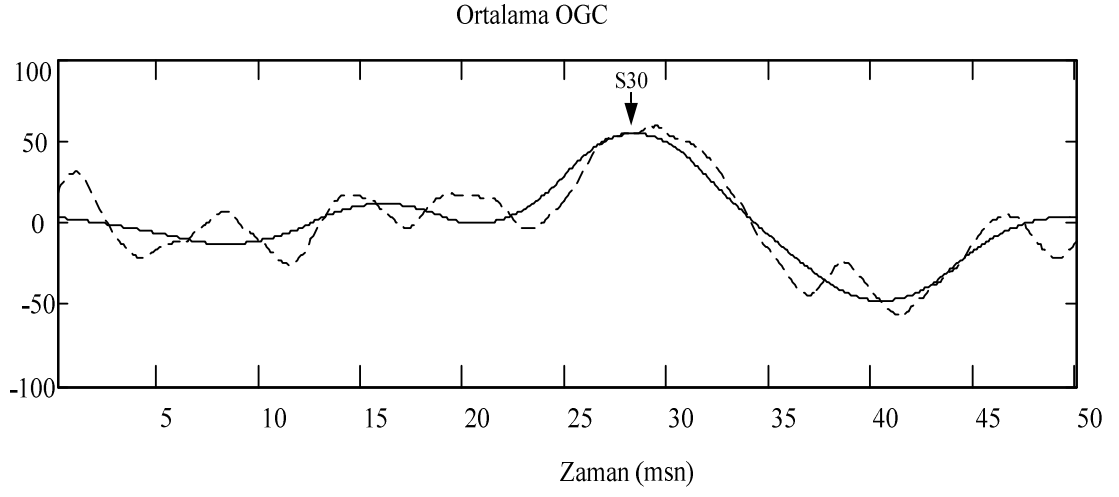
Şekil 5.9’dan Şekil 5.13.’e kadar 5, 0, -5, -10, -15 dB’de üretilen 16 tek tur OGC ve en üstte de bunların ortalaması gösterilmiştir. İyileştirme işlemi uygulandıktan sonra (düz çizgiler) S30 dalgasının ayırt edilebilir hale geldiği görülmektedir. Ancak bu S30 dalgası gürültü giderme işlemi uygulanmadan önce (kesikli çizgiler) EEG işaretinin içinde kaybolduğu için sinyal içinde kolayca ayırt edilememektedir. Aşağıda gösterilen 16 tek tur işaret için birçok farklılık söz konusudur. Örnek verecek olursak. Bazı turlarda S30 dalgası ortalama işarete göre daha önce veya sonra gerçekleşmiştir. Şekillerde görüleceği gibi tek turlardan OGC’yi ayırt etmek çok zordur. Hatta gürültü seviyesi arttığında OGC’yi görebilmek imkânsız hale gelmektedir. Ortalamaları alınsa dahi bozuk bir şekil elde edilmektedir. Ancak DD ile iyileştirme metoduyla işaret ilgili frekans bantlarına ayrıldığı için gürültüler yüksek oranda azaltılmıştır.



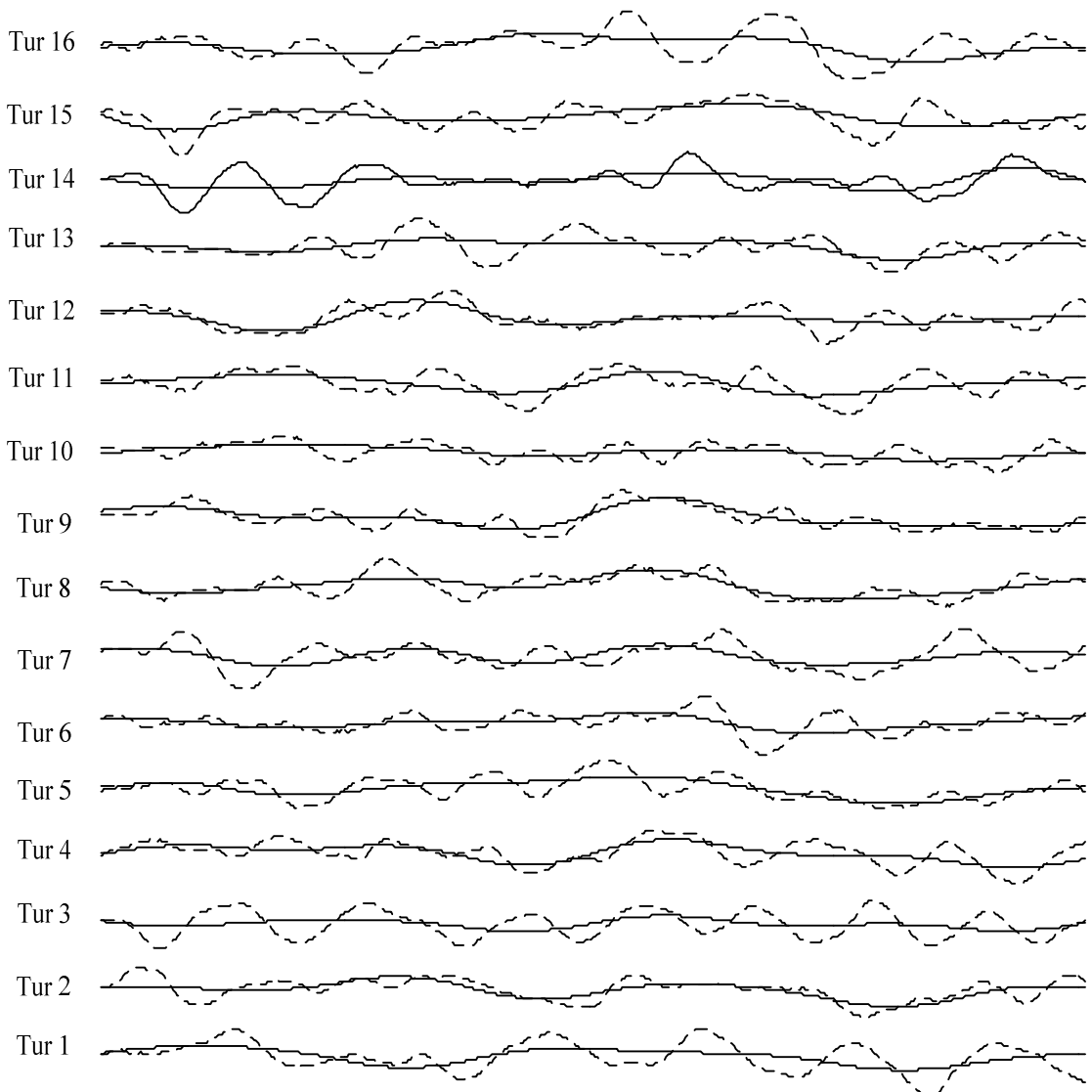
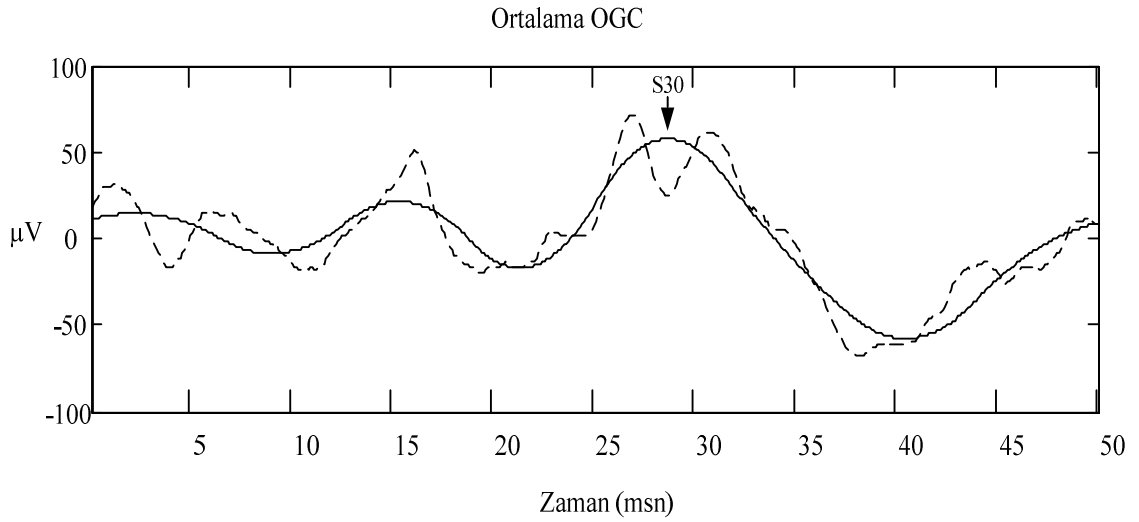
Şekil 5.9 5 dB'de üretilen 16 tur OGC; çizgili işaretler gürültülü, düz olanlar ise DD ile iyileştirildikten sonraki halleridir. Tek turların en üstünde ise çizgili olan sinyal gürültülü, siyah olan sinyal DD ile iyileştirilen işaretlerin ortalamasıdır;



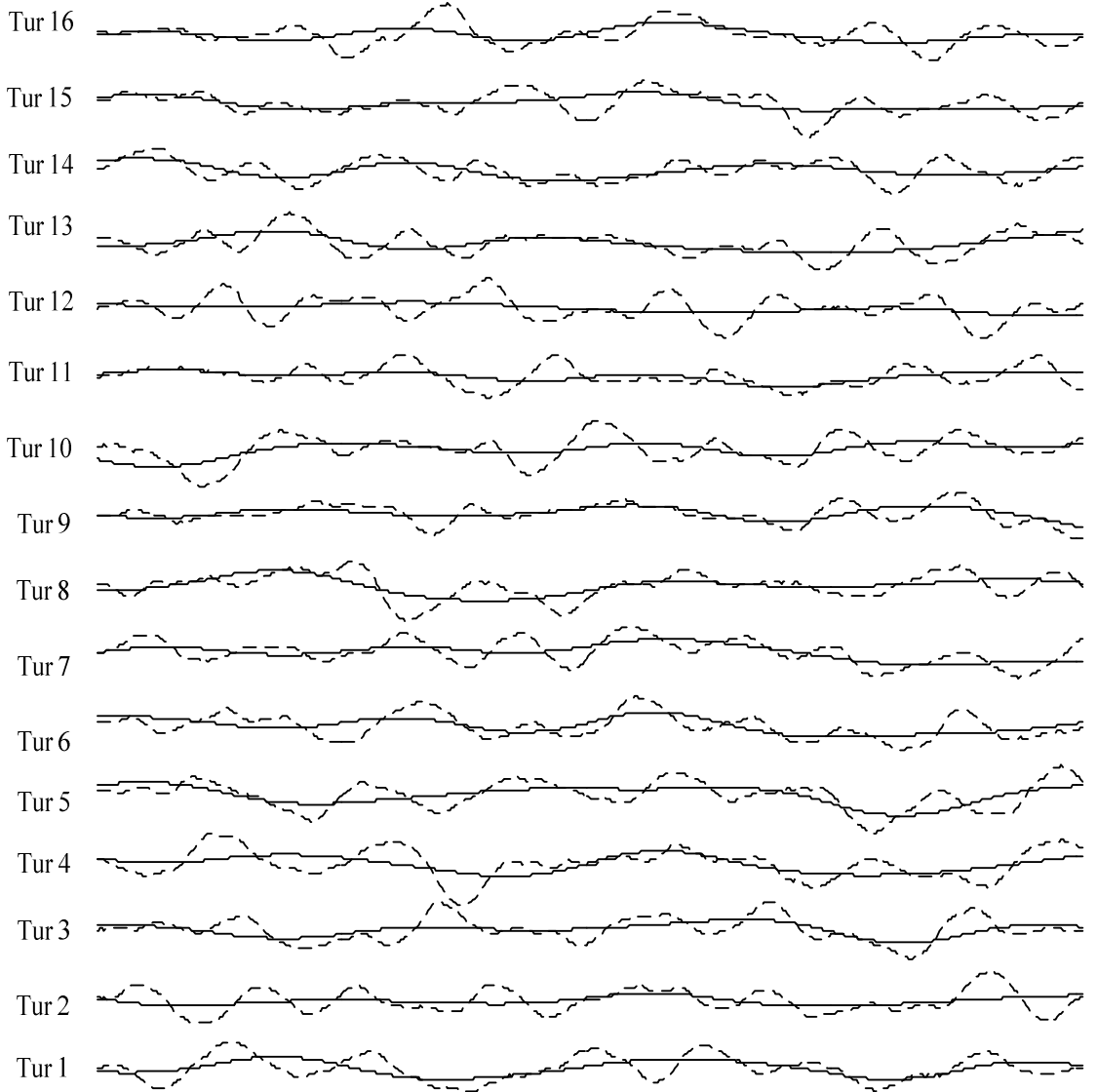
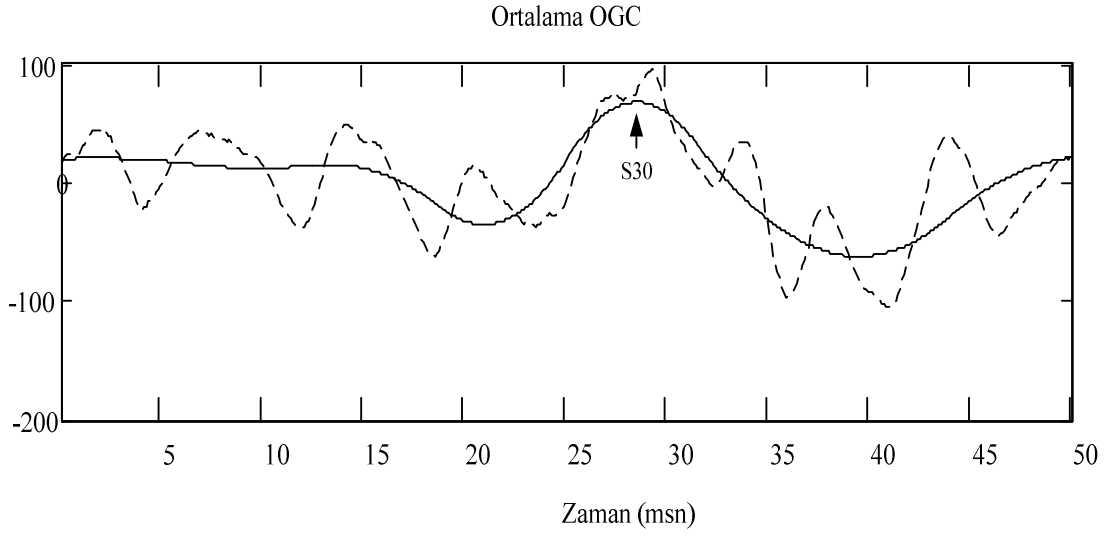
Şekil 5.10. 0 dB'de üretilen 16 tur OGC; çizgili işaretler gürültülü, düz olanlar ise DD ile iyileştirildikten sonraki halleridir. Tek turların en üstünde ise çizgili olan sinyal gürültülü, siyah olan sinyal DD ile iyileştirilen işaretlerin ortalamasıdır;



Şekil 5.11. -5 dB'de üretilen 16 tur OGC; çizgili işaretler gürültülü, düz olanlar ise DD ile iyileştirildikten sonraki halleridir. Tek turların en üstünde ise çizgili olan sinyal gürültülü, siyah olan sinyal DD ile iyileştirilen işaretlerin ortalamasıdır;



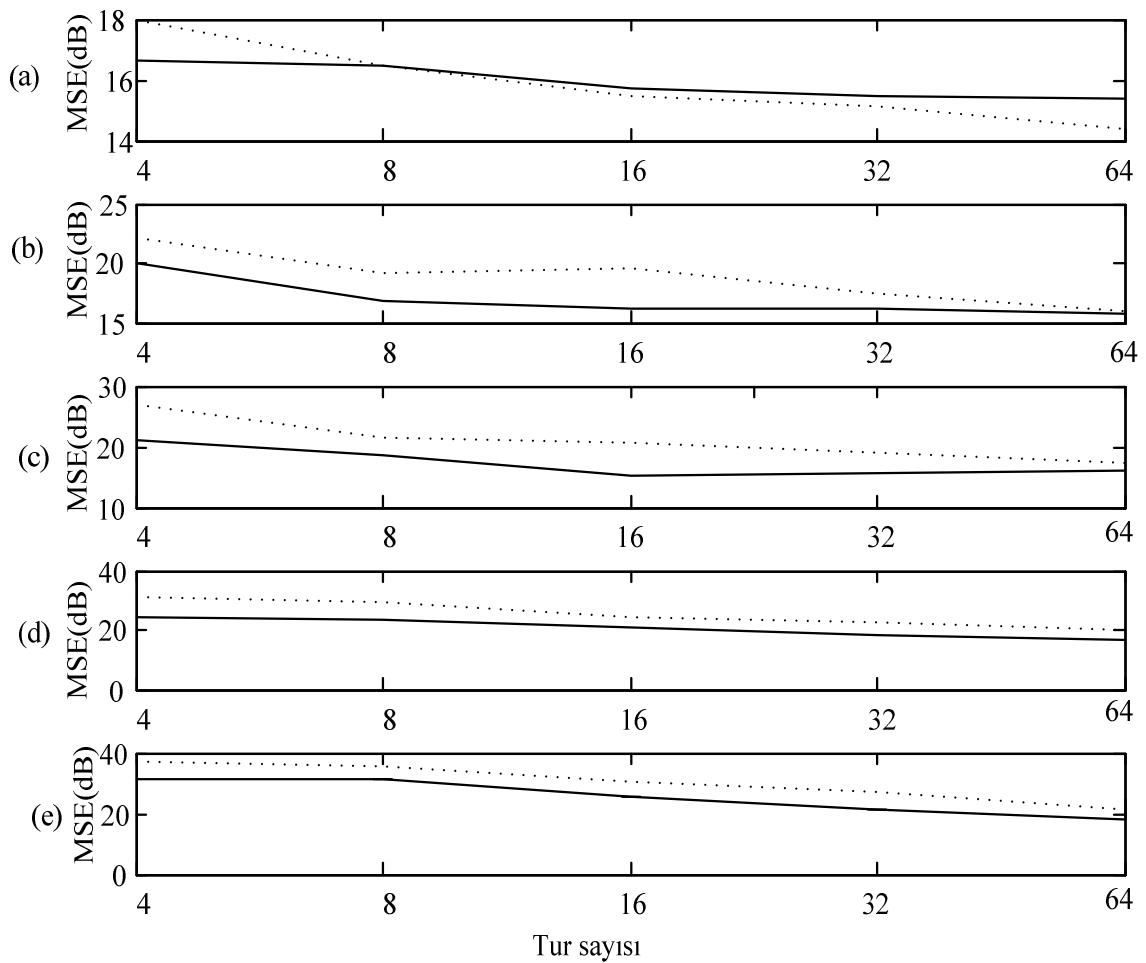
Şekil 5.12. -10 dB’de üretilen 16 tur OGC; çizgili işaretler gürültülü, düz olanlar ise DD ile iyileştirildikten sonraki halleridir. Tek turların en üstünde ise çizgili olan sinyal gürültülü, siyah olan sinyal DD ile iyileştirilen işaretlerin ortalamasıdır;



Şekil 5.13. -15 dB’de üretilen 16 tur OGC; çizgili işaretler gürültülü, düz olanlar ise DD ile iyileştirildikten sonraki halleridir. Tek turların en üstünde ise çizgili olan sinyal gürültülü, siyah olan sinyal DD ile iyileştirilen işaretlerin ortalamasıdır;

5.3.2 Farklı tur sayılarında hazırlanan OGC'nin DD ile iyileştirilmesinin çoklu ortalama alma metodu ile karşılaştırılması

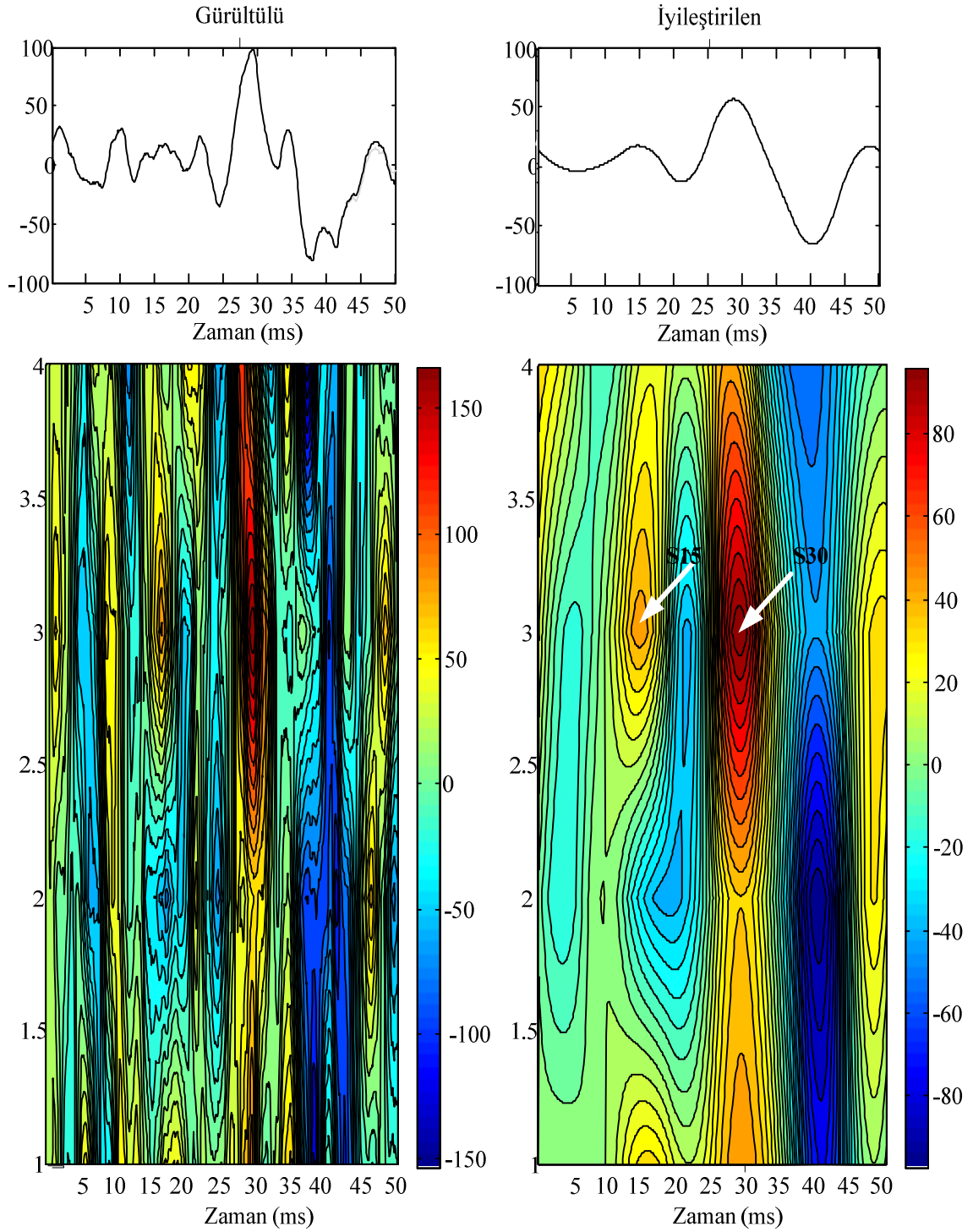
İyileştirme işleminin DD ve çoklu ortalama alma metodunun performanslarının üretilen gürültülü işaretlerdeki tur sayısı farklılıklarına göre karşılaştırılması Şekil 5.14'te gösterilmiştir. Şekilde kıyaslanan üretilen her bir veri setinin hem çoklu ortalama alma metodu ile hem de DD ile gürültü iyileştirme işlemi sonucunda elde edilen ortalama kare hatalarının dB cinsinden değerleri ile üretilen işaretlerdeki tur sayılarıdır.



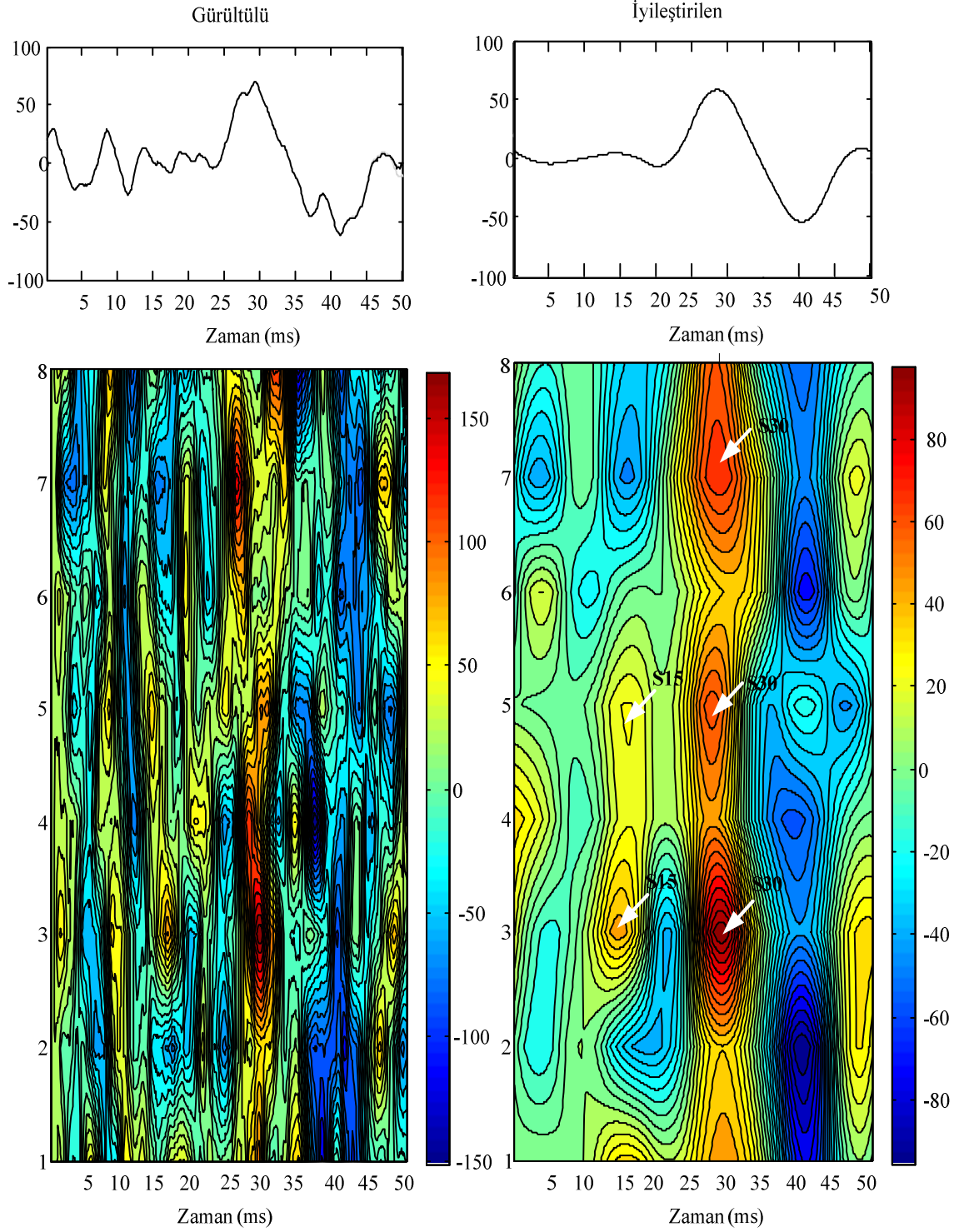
Şekil 5.14. Çoklu ortalama alma ve DD ile iyileştirme metodunun ortalama kare hatalarının tur sayısı ile karşılaştırılması. (a) 5d (b)0 dB (c) -5dB (d) -10 dB (e) -15 dB işaret için elde edilen sonuçlar. (Düz çizgi DD ile iyileştirme , noktalı çizgi çoklu ortalama alma metodu)

Şekil 5.14'ten de anlaşılacağı gibi DD ile iyileştirme işlemi çoklu ortalama alma metoduna göre, (a) şıkında görülen 5 dB'lik işaretin 32 ve 64 turluk grupları dışında her bir tur sayısında daha başarılıdır. Özellikle yüksek gürültü seviyelerine sahip işaretlerde mse (dB) cinsinden olan başarımlarının farkı oldukça fazladır. Ortalama kare hata, tur sayıları arttırıldığında azalmakta ancak bu miktar DD ile iyileştirme işleminde

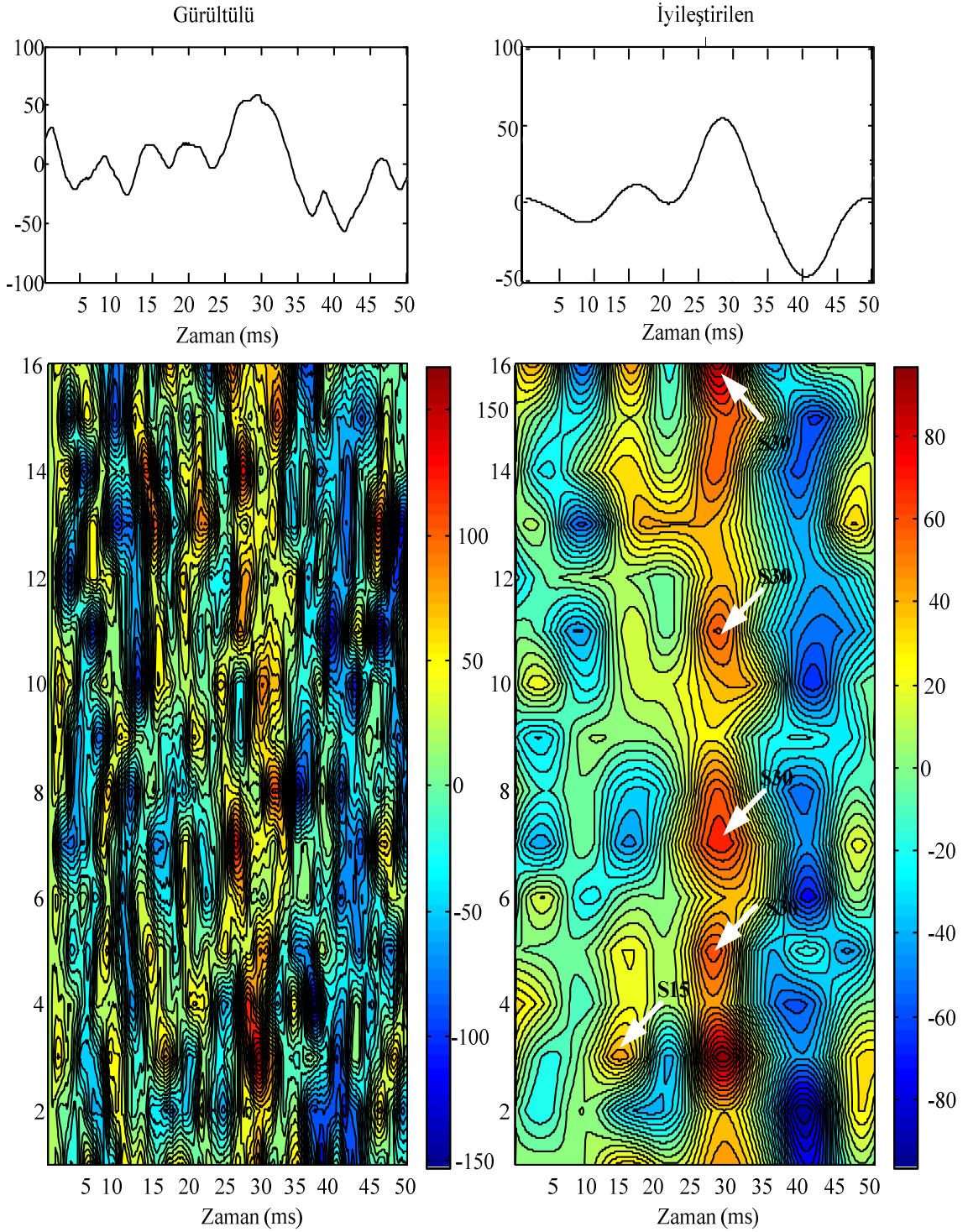
her zaman daha az olmaktadır. Şekil 5.14'te kesikli çizgiler çoklu ortalama metodunu, düz kesintisiz çizgiler DD ile iyileştirme yöntemini temsil etmektedir.



Şekil 5.15. -5dB 4 tur işaretin eş yükselti çizimi (a) gürültülü turlar (b) gürültüsü giderilmiş turlar



Şekil 5.16. -5dB 8 tur işaretin eş yükselti çizimi (a) gürültülü turlar (b) gürültüsü giderilmiş turlar



Şekil 5.17. -5dB 16 tur işaretin eş yükselti çizimi (a) gürültülü turlar (b) gürültüsü giderilmiş turlar

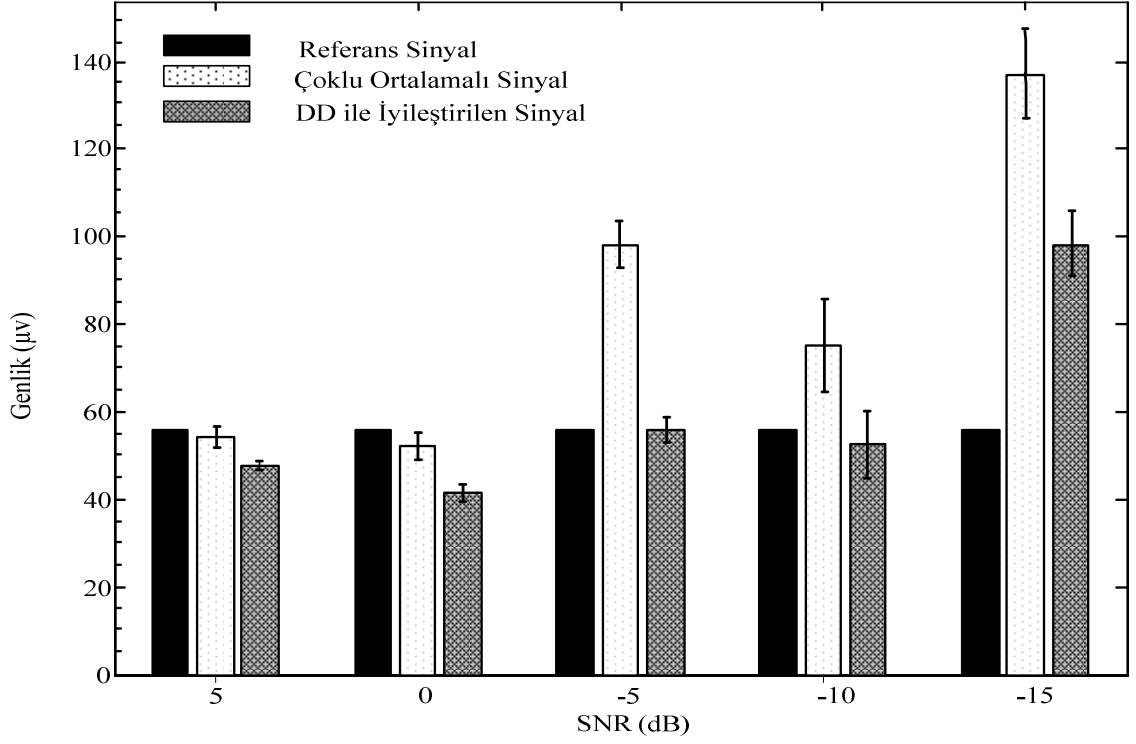
OGUP sinyali için en yüksek genlik değeri S30'da görülmektedir. Aşağıdaki şekilden de görüleceği gibi DD ile gürültüsü giderilen işaretle negatif ve pozitif tepelerin yerleri daha belirgin hale gelip gürültüler büyük oranda giderilmiştir. Şekil 4.15, Şekil 4.16 ve 4.17'de da farklı turlar için (4, 8, 16 tur) eş yükselti çizimleri yapılmıştır. Eş yükselti çizimlerinde kırmızı renk en yüksek pozitif genliği, mavi renk ise en yüksek negatif

genliği temsil etmektedir. Bu Şekillerde de DD ile başarılı bir Şekilde gürültülerin giderildiği görülebilmektedir. S30 ve S15'in yerleri iŐaretlenmiŐtir. S15 örüntüsünün belirlenmesinde kararlı bir sonuĉ alınamadığından S30 örüntüsünün genlik ve gecikme değişimini aşağıda sunulmuştur.

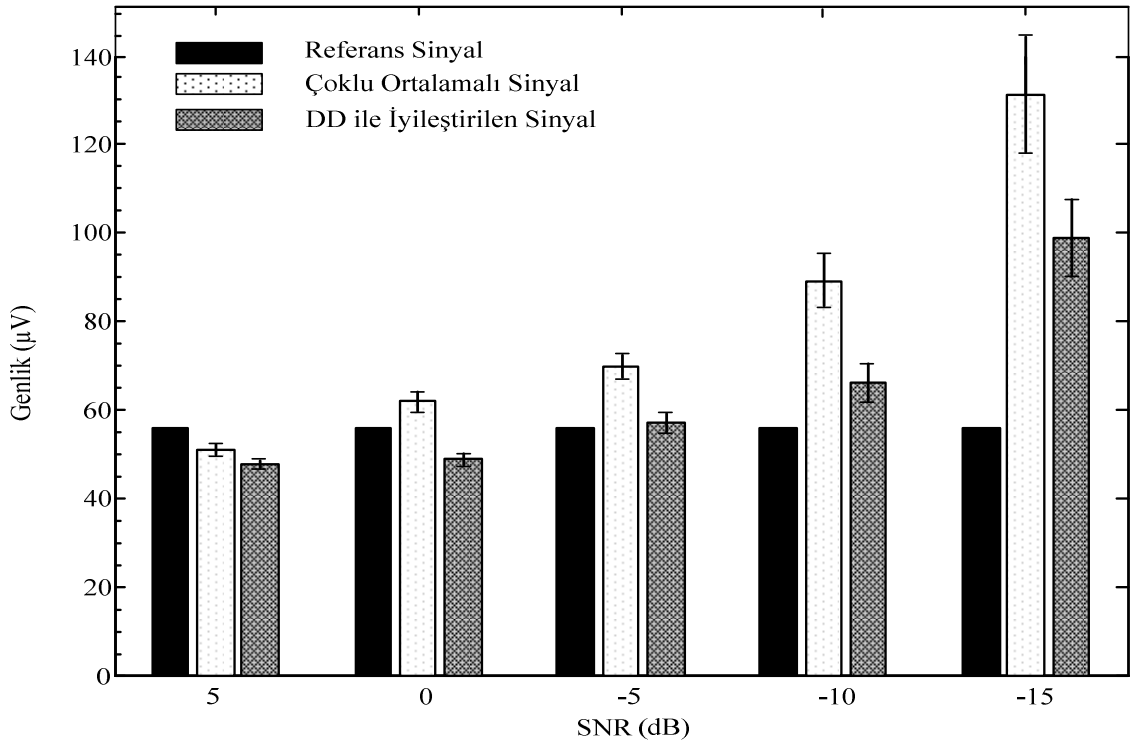
5.3.3 İyileştirme sonunda S30 dalgasında genlik ve gecikme değişimi

Uyartım potansiyelinin gecikme ve genlik değişimlerinin izlenmesi sinir sisteminin dinamiklerinin belirlenmesinde oldukça önemlidir. S30 bileşeni sentetik olarak üretilen sinyalde 29.9. saniyede ve 56 μV genlik değerinde oluşmaktadır. OGC'nin en belirgin bileşeni olan S30 dalgası her iki gürültü giderme metodu için ve üretilen her bir turdaki veri seti için genlik ve gecikme grafikleri ile aşağıda gösterilmiştir. Şekil 5.18, 5.19, 5.20, 5.21 ve 5.22.'de 4, 8, 16, 32, 64 turdaki veri setlerinin S30 dalgası için özel olarak her iki yöntemin saf, gürültüsüz, referans işarete olan genlik farkı gösterilmiştir. Őekillerden de görüleceği gibi düşük SNR seviyelerinde genlikler her iki metotta da yükselmiŐtir. Ancak bu yükseliş çoklu ortalama metodunda çok daha fazla olmuştur. Ayrıca tur sayısı da arttıkça genlik seviyelerin gerĉek veriye yakınlığı artmıştır. Tabii yine bu yakınlık DD yönteminde daha fazla olmuştur. Şekillerde dikkati ĉeken bir diğer nokta ise çoklu ortalama alma metodunda istenmeyen derecede yüksek genlik ve gecikmelerin var olmasıdır. ĉünkü kullanılan tur sayısı oldukça az olduğundan çoklu ortalama alma yöntemi sonucu özellikle yüksek gürültü seviyelerinde baŐarım çok kötü olmuştur.

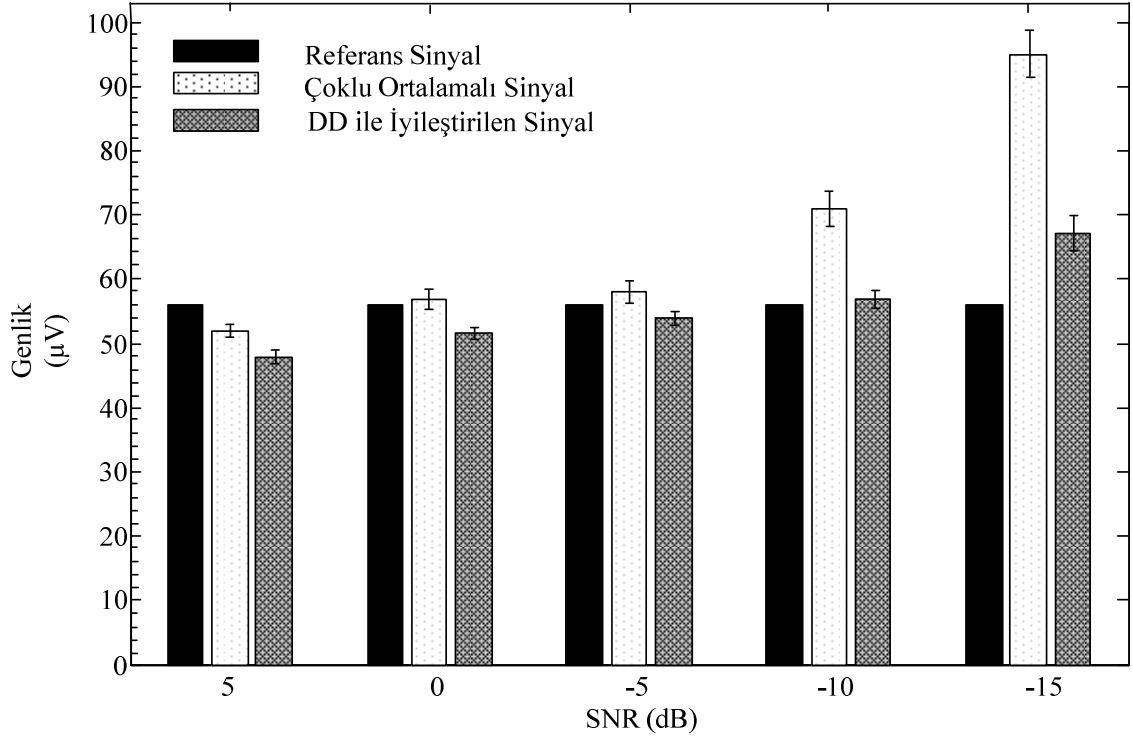
Ayrıca aşağıdaki Şekillerde dikkat edilmesi gereken bir nokta da her bir sütun üzerindeki uçları kapalı ĉizgiler standart sapmayı temsil etmektedir. 4, 8, 16, 32, 64 tur ve 5, 0, -5, -10, -15 dB'deki veri kümesinden, gürültü rastgele olduğundan, her birinden 10 farklı küme hazırlanmıŐ ve bunların da standart sapması hesaplanmıştır. Her bir durum için olan standart sapma da Şekillerde belirtilmiŐtir. ĉizgi bulunmayan sütunlardaki standart sapma sıfıra çok yakın olduğu için ĉizilememiŐtir.



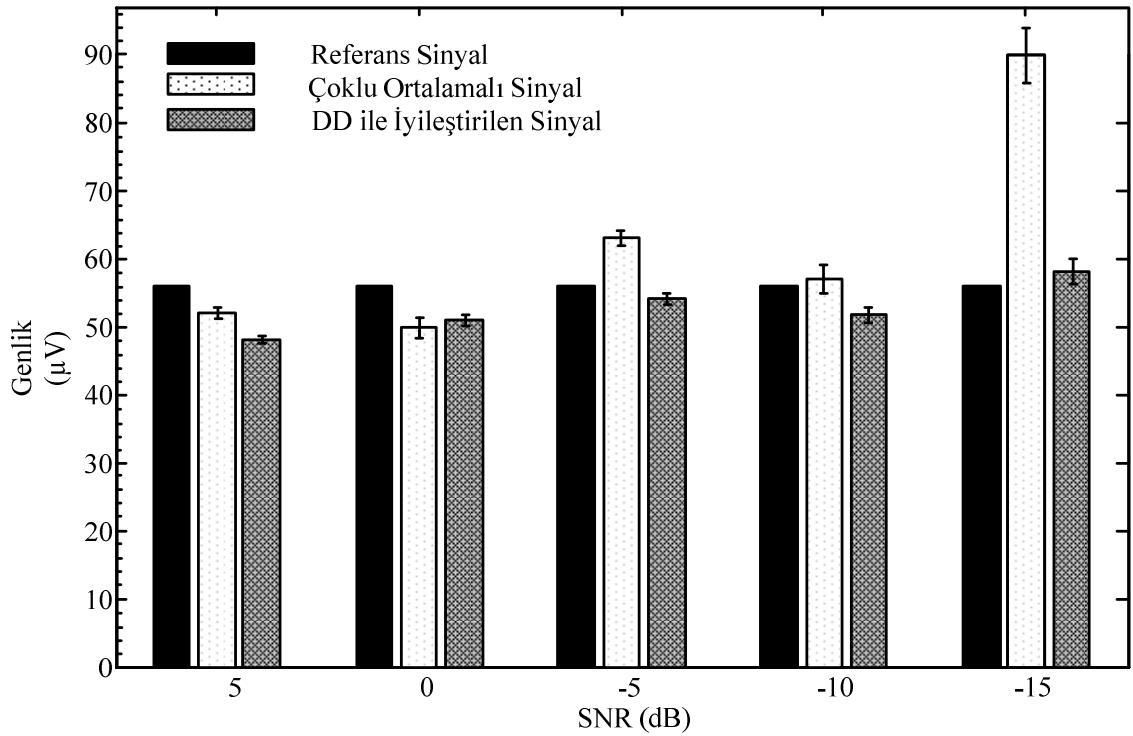
Şekil 5.18. 4 turluk veri seti için gürültü gidermede uygulanan çoklu ortalama alma ve DD yöntemlerinin S30 dalgası için değişen gürültü seviyelerine göre genlik kıyaslaması



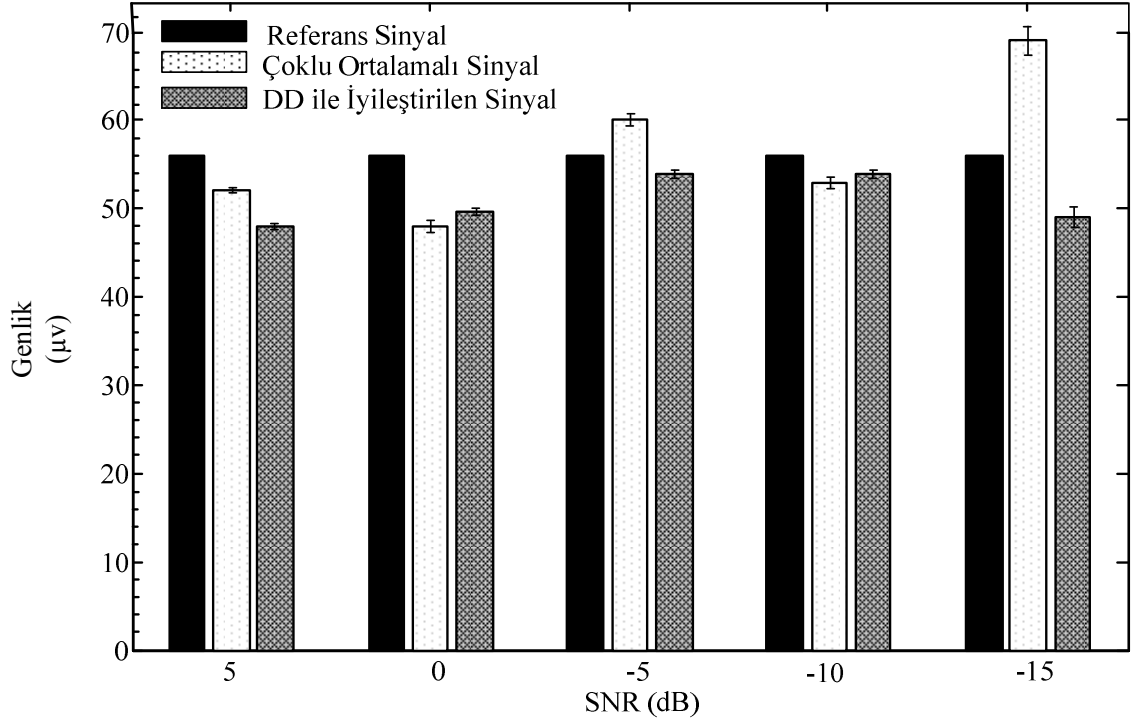
Şekil 5.19. 8 turluk veri seti için gürültü gidermede uygulanan çoklu ortalama alma ve DD yöntemlerinin S30 dalgası için değişen gürültü seviyelerine göre genlik kıyaslaması



Şekil 5.20. 16 turluk veri seti için gürültü gidermede uygulanan çoklu ortalama alma ve DD yöntemlerinin S30 dalgası için değişen gürültü seviyelerine göre genlik kıyaslaması

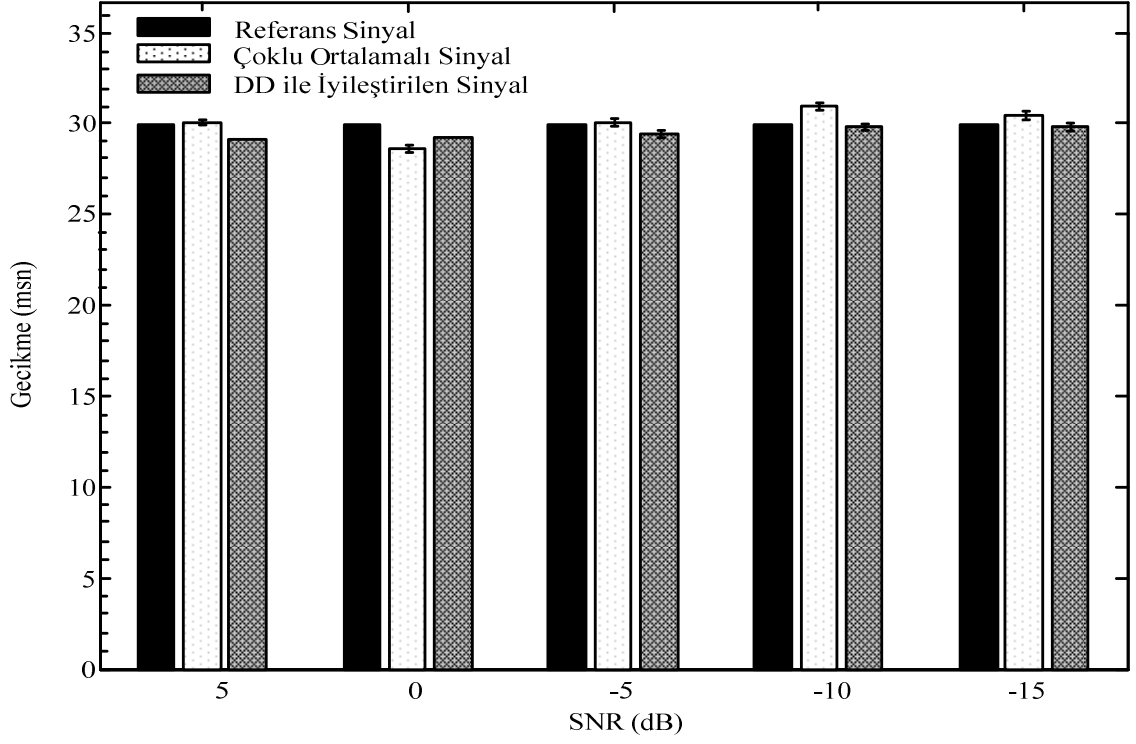


Şekil 5.21. 32 turluk veri seti için gürültü gidermede uygulanan çoklu ortalama alma ve DD yöntemlerinin S30 dalgası için değişen gürültü seviyelerine göre genlik kıyaslaması

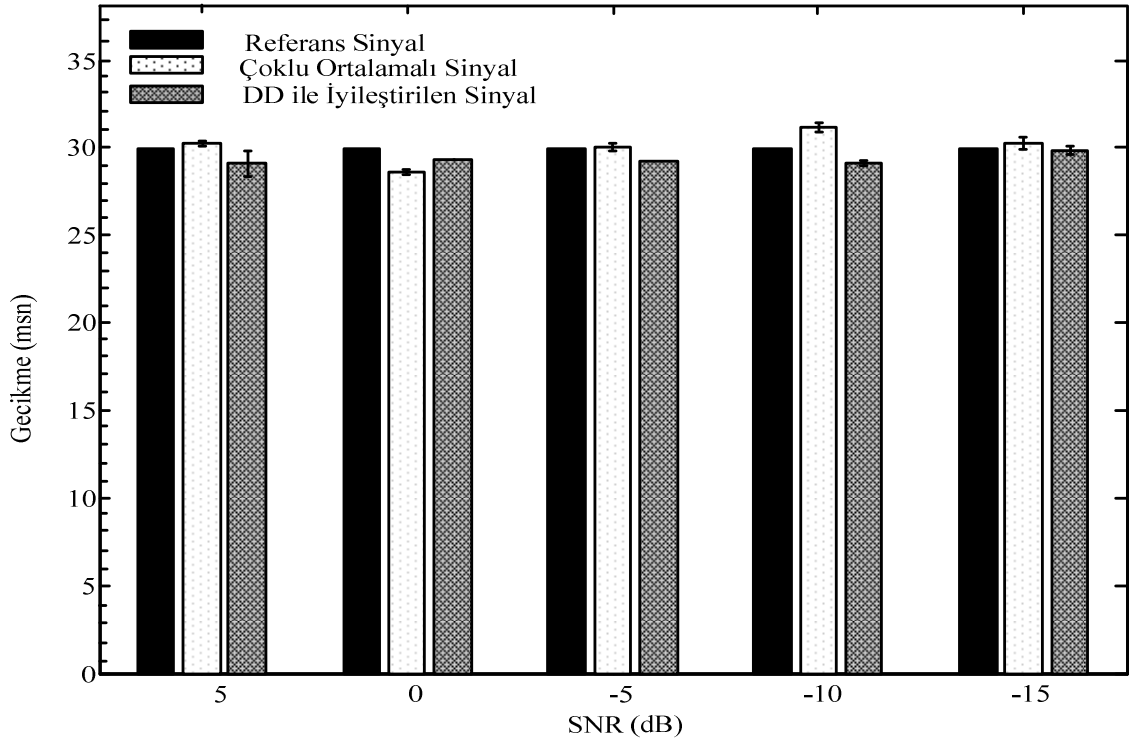


Şekil 5.22. 64 turluk veri seti için gürültü gidermede uygulanan çoklu ortalama alma ve DD yöntemlerinin S30 dalgası için değişen gürültü seviyelerine göre genlik kıyaslaması

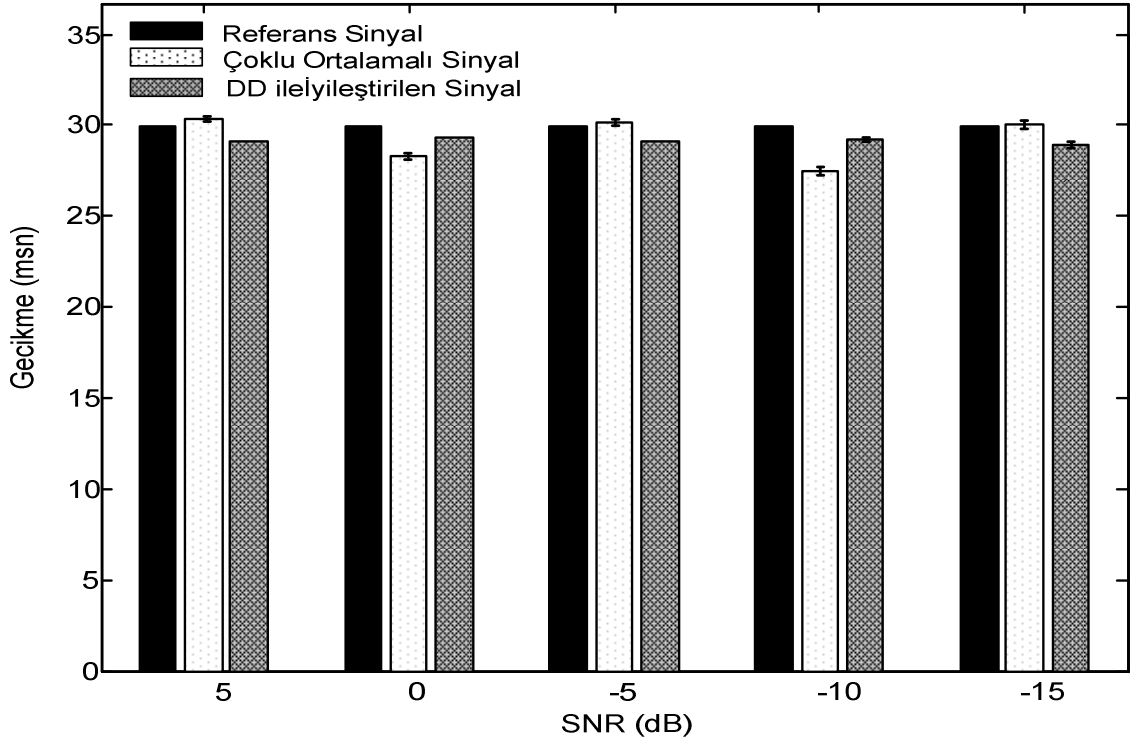
Şekil 5.23, 5.24, 5.25, 5.26 ve 5.27’de ise 4, 8, 16, 32, 64 turdaki veri setlerinin S30 dalgası için özel olarak her iki yöntemin saf, gürültüsüz, referans işaretin zaman eksenindeki gecikmelerine göre farkları ele alınmıştır.



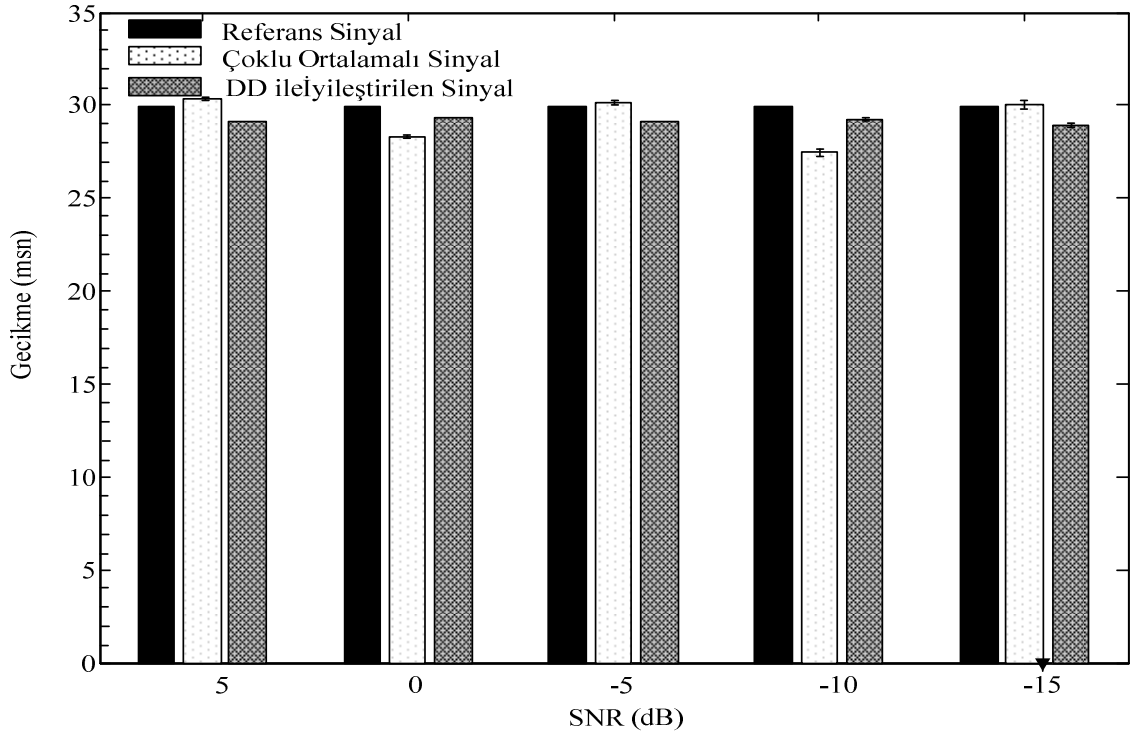
Şekil 5.23. 4 turluk veri seti için gürültü gidermede uygulanan çoklu ortalama alma ve DD yöntemlerinin S30 dalgası için değişen gürültü seviyelerine göre gecikmelerinin kıyaslaması



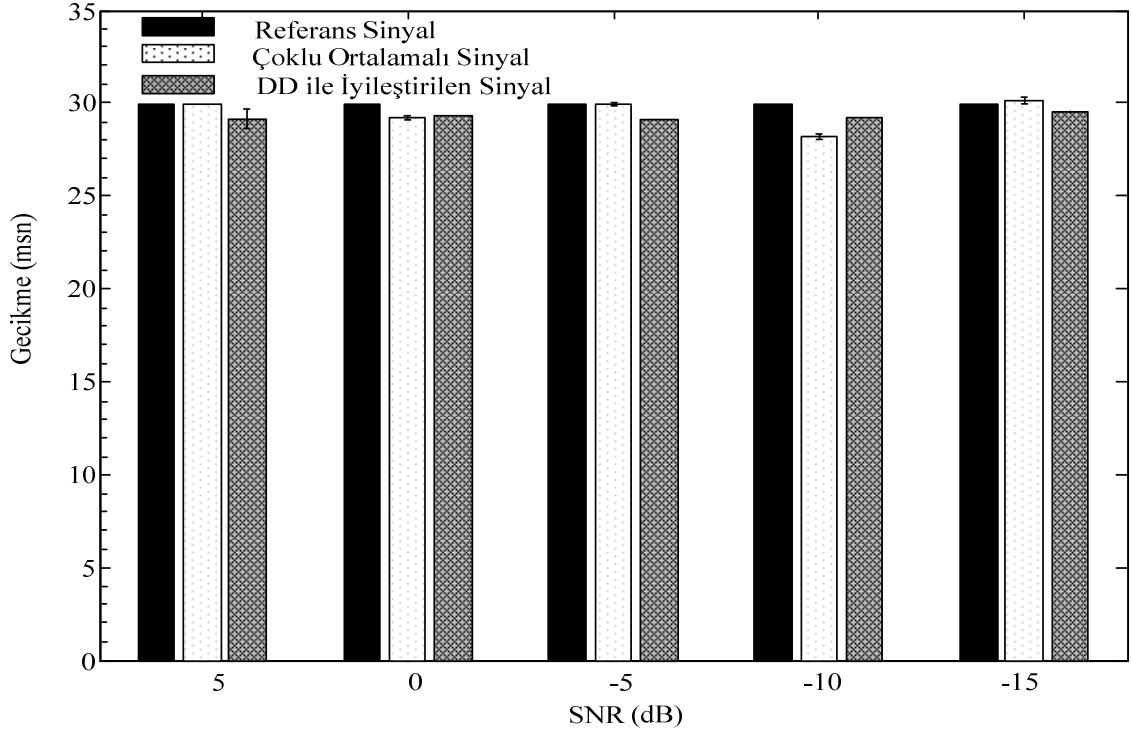
Şekil 5.24. 8 turluk veri seti için gürültü gidermede uygulanan çoklu ortalama alma ve DD yöntemlerinin S30 dalgası için değişen gürültü seviyelerine göre gecikmelerinin kıyaslaması



Şekil 5.25. 16 turluk veri seti için gürültü gidermede uygulanan çoklu ortalama alma ve DD yöntemlerinin S30 dalgası için değişen gürültü seviyelerine göre z gecikmelerinin kıyaslaması



Şekil 5.26. 32 turluk veri seti için gürültü gidermede uygulanan çoklu ortalama alma ve DD yöntemlerinin S30 dalgası için değişen gürültü seviyelerine göre gecikmelerinin kıyaslaması



Şekil 5.27. 64 turluk veri seti için gürültü gidermede uygulanan çoklu ortalama alma ve DD yöntemlerinin S30 dalgası için değişen gürültü seviyelerine göre zaman eksenindeki yerlerinin kıyaslaması

Yukarıdaki grafiklerden de anlaşılacağı üzere önerilen iyileştirme yöntemi, referans işarete, göre genlik değişimini kabul edilebilir seviyede küçük tutabilmektedir. Önerilen iyileştirme yöntemi, özellikle yüksek gürültü oranlarında, referans işarete çoklu ortalama tekniğinden daha yakın sonuçlar üreterek yüksek başarımlı göstermektedir. Genlik değişimini gösteren grafiklerdeki standart sapma değerleri de incelendiğinde önerdiğimiz yöntemin çoklu ortalama göre daha kararlı çalıştığı rahatlıkla görülebilir. Gecikme, yani S30 dalgasının oluşma zamanı değişimine ilişkin net bir sonuç görülmemekle birlikte, gecikmede her iki yöntemde referans işaretin gecikme değerlerine oldukça yakındır. Bu durumu grafiklerde yer alan standart sapma büyüklükleri doğrulamaktadır. Sonuç olarak önerilen yöntem az sayıda tek tur ölçüm ile OGC örüntüsünü oluşturabilmektedir. Bu yüksek gürültü oranlarında oldukça önemlidir ve önerilen yöntem yüksek gürültü oranlarında oldukça kullanışlıdır.

BÖLÜM VI

SONUÇ

Bu çalışmada, ilk olarak çalışmada kullanılmak üzere sentetik tek tur İUP işaretini istenilen SNR seviyesinde üretilebilen yazılım tabanlı bir işaret üretici sunulmuştur. Önerilen sistemde kullanılan yöntemler literatürde mevcut olan yöntemler olmasına karşın, önerilen sistem bütünü itibarıyla özgün ve sentetik veri kümelerine ihtiyaç duyulan mühendislik problemlerinde rahatlıkla kullanılabilir. Bu üreteç, aynı zamanda biyomedikal mühendisliği eğitiminde eğiticilerin işitsel uyarılmış potansiyelleri daha anlaşılır bir şekilde sunmasını da desteklemektedir.

Ölçülen İUP işaretleri genel olarak işaretlerinde tek tur ölçümlerde bilgi çıkarımı çok zor olmakta ve hatta kısa gecikmeli işaretlerde mümkün olmamaktadır. Bu sebeple İUP işaretlerinden anlamlı bir işaret elde edebilmek için genellikle çoklu ortalama alma metodu kullanılmaktadır. Çoklu ortalama alma metodun da tek tur işaret ölçümleri ihmal edilip turdan tura değişim gözlenememektedir. Oysa turdan tura işaret değişiminin beyin dinamikleri açısından fizyolojik bir değeri vardır ve son derece önemlidir. Dolayısıyla çoklu ortalama tekniği, binlerce tur kaydı için harcanan vakte rağmen, turdan tura değişimi gözlemlemeye cevap veren bir yöntem değildir. Bu sebeple, bu tez çalışmasında her bir tek tur üzerinde işlem yapmayı sağlayan DD ile iyileştirme yönteminden faydalanılmıştır. Böylelikle çok daha az zaman harcayarak elde edilen tek tur işaretler iyileştirilmiştir.

İyileştirme işleminin performansını ölçmek için geniş bir sentetik veri kümesi hazırlanmıştır. Veri kümesinde ilk grubu 5 farklı gürültü seviyesindeki OGC işaretleri oluşturmuştur. İkinci grubu ise çoklu ortalama alma metodunda kullanılan tur sayısına göre oldukça az denilebilecek düzeyde, 5 farklı tur sayısında bir araya getirilen OGC işaretleri oluşturmaktadır. Bu işaretlere iyileştirme işlemi uygulanıp, 2 yönteminde referans işaretle olan ortalama kare hataları hesaplanmıştır. Ayrıca OGC'nin en temel bileşeni olan S30 dalgası özel olarak incelenip, bu iki yöntemin genlik ve gecikme değerleri yine referans işaretle karşılaştırılmıştır.

Bu şekilde hazırlanan her bir veri seti için alınan sonuçlar şöyledir. DD ile iyileştirme işlemi çoklu ortalama alma metoduna göre her bir gürültü seviyesinde daha başarılıdır. Alınan tek turlardan OGC'yi ayırt etmek çok zordur. Hatta gürültü seviyesi arttığında

referans OGC gürültü içinde kaybolmaktadır. Gürültü seviyesi yüksek iken ortalamaları alınsa dahi bozuk bir şekil elde edilmektedir. Ancak DD ile iyileştirme metoduyla işaret ilgili frekans bantlarına ayrıldığı için gürültüler yüksek oranda azaltılmaktadır. Ortalama kare hata gürültü seviyeleri arttırıldığında artmakta ancak bu miktar DD ile gürültü giderme işleminde her zaman daha az olmaktadır.

Tur sayılarının karşılaştırıldığı ikinci durumda ise, DD ile iyileştirme işlemi çoklu ortalama alma metoduna göre her bir tur sayısında daha başarılıdır. Ortalama kare hata, tur sayıları arttırıldığında azalmakta, ancak hata miktarı DD ile iyileştirme işleminde her zaman daha az olmaktadır.

OGC'deki temel bileşen olan S30 dalgasının genlik ve gecikme değerleri, her iki metot için referans işaretle karşılaştırılması sonucu ise, yüksek gürültü seviyelerinde genliklerin, her iki metotta da referans sinyalden çok yüksek olduğu gözlenmiştir.. Ancak bu yükseliş çoklu ortalama metodunda çok daha fazla olmuştur. Ayrıca tur sayısı da arttıkça genlik seviyelerinin referans sinyale yakınlığı artmıştır. Bu yakınlık DD yönteminde daha fazla olmuştur. Çoklu ortalama alma metodunda istenmeyen derecede yüksek genlik ve gecikmeler görülmektedir. Çünkü kullanılan tur sayısı oldukça az olduğundan çoklu ortalama alma yönteminin başarımı yüksek gürültü seviyelerinde, önerilen DD yönteminden çok daha kötü olmuştur.

Bu tez çalışmasında her bir tek tur üzerinde işlem yapmayı sağlayan DD ile iyileştirme yönteminin çoklu ortalama alma metoduna göre daha başarılı olduğu sentetik işaretler üzerinde gösterilmiştir. Böylelikle çok daha az zaman harcayarak elde edilen tek tur işaretler iyileştirilmiştir. Ayrıca bu yöntemin diğer İUP işaretleri içinde kullanılması mümkündür. Bu sonuçlar klinikte gerçek OGC verileri kullanırken büyük avantaj sağlayacağı düşünülmektedir. Daha sonraki çalışma olarak, gerçek verilerle çalışmak planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Regan, D., Human brain electrophysiology: Evoked potentials and Evoked magnetic fields in science and medicine, Elsevier, NY, 1989.
- [2] Polikar, R., The Engineer's Ultimate Guide To Wavelet Analysis The Wavelet Tutorial., <Http://Engineering.Rowan.Edu/~Polikar/Wavelets/Wtpart3.Html>, 1999.
- [3] Yazgan, E., Korurek, M., Tıp Elektronigi, İTÜ Matbaası, 220, 1996.
- [4] Daubechies, I., The Wavelet Transform, Time-Frequency Localization and Signal Analysis. IEEE Trans. Inf. Theory, 36(5), 961–1005, 1990.
- [5] Miner, N.E., An Introduction to Wavelet Theory and Analysis. Sandia Report, NM, 1-25, October, 1998.
- [6] Quiroga, R.Q. and Garcia, H., Single-trial event-related potentials with wavelet denoising, Clin. Neurophysiology, 114, 376-390, 2003.
- [7] Schiff, S.J., Aldrouby, A., Unser, M., Sato, S., Fast Wavelet Transformation of EEG, Electroenceph. Clin. Neurophysiol, 91, 442-455, 1994.
- [8] Woodworth, W., Reisman, S., & Fontaine, A.B., The detection of auditory evoked responses using a matched filter, IEEE Trans. Biomed. Eng., 30, 369–376, 1983.
- [9] Delgado, R.E., & Özdamar, Ö., Automated auditory brainstem response interpretation. IEEE Eng. Med. Biology Magazine, 27–237, 1994.
- [10] Hoppe, U., Weiss, S., Stewart, R.W., & Eysholdt, U. An automatic sequential recognition method for cortical auditory evoked Potentials, IEEE Trans. Biomed. Eng., 48, 154–164, 2001.
- [11] Quiroga, R.Q., Rosso, O.A., Başar, E., & Schürmann, M., Wavelet entropy in event-related Potentials, A new method shows ordering of EEG oscillations, Biological Cybernetics, 84, 291–299, 2001
- [12] Demiralp, T., Ademoglu, A., Istefanopulos, Y., Başar- Eroglu, C., & Başar, R., Wavelet analysis of oddball P300, Int. J. Psychophysiol, 39, 221–227, 2001.
- [13] Lins, O.G., Picton, P.E., Picton, T.W., Champagne, S.C., Durieux-Smith, A., Auditory steady-state responses to tones amplitude-modulated at 80-110 Hz., Journal of Acoustical Society of America, 97(5), 3051-3063, 1995.
- [14] Durrant, J.D., Lovrinic, J.H., Bases of Hearing Science, Baltimore, Maryland, Williams & Wilkins, 1995.
- [15] Sohmer, H., Feinmesser, M., Cochlear action potentials recorded from the external ear in man. AnnOtol. Rhinol. Laryngol, 76, 427-435, 1967.

- [16] Moller, A.R., Neural generators of auditory evoked potentials, In: Principles and Applications in Auditory Evoked Potentials. Jacopson, J.T., ed., Allyn and Bacon, Simon and Schuster, Inc., Needham Heights, Massachusetts, 1994.
- [17] Muş N., Özdamar Ö, İşitsel Beyin Sapı Cevapları, 1. Baskı. Ankara, 1996.
- [18] Mendel, M.I., Goldstein, R., Stability of the early components of the averaged electroencephalic response, J. Speech Hearing Res., 12, 351-361, 1969.
- [19] Kraus, N., Özdamar, Ö., Hier, D., Stein, L., Auditory middle latency responses in patients with cortical lesions, Electroenceph. Clin. Neurophysiol, 54, 275-287, 1982.
- [20] Özdamar, Ö., Kraus, N., Auditory middle-latency responses in humans, Audiology, 22, 34-49, 1983.
- [21] Pocket, S., Anesthesia and the electrophysiology of auditory consciousness, Consciousness and Cognition, 8, 45-61, 1999.
- [22] Kraus, N., Kileny, McGee, P.T., Middle latency auditory evoked potentials, Handbook of Clinical Audiology. J. Katz (ed.). Baltimore, Maryland, Williams & Wilkins, 387-423, 1994.
- [23] Williams, H.L., Tepas, D.I., Morlock, H.L., Evoked responses to clicks and electroencephalographic stages of sleep in man, Science, 138, 685-686, 1962.
- [24] Kooi, K.A., Tipton, A.C., Marshall, R.E., Polarities and field configurations of the vertex components of the human auditory evoked response, Reinterpretation, Electroenceph. Clin. Neurophysiol, 31, 166-169, 1971
- [25] Georgiadis, S.D., Ranta-aho, P.O., Tarvainen, M.P., and Karjalainen, P.A., Single-trial dynamical estimation of event related potentials a Kalman filter-based approach, IEEE Trans. Biomed. Eng., 52, 1397-1406, 2005.
- [26] Qiu, W., Chang, C., Liu, W., Poon, P.W. F., Hu, Y., Lam, F. K., Hamernik, R.P., Wei, G., and Chan, F. H. Y., Real-time data-reusing adaptive learning of a radial basis function network for tracking evoked potentials, IEEE Trans. Biomed. Eng., 53, 226-237, 2006.
- [27] Bahtiyar, Y.A., Erkan, Y., Acır, N., Yapay Tek Tur İşitsel Uyarılmış Potansiyel Sinyal Üretici, 14th. National Biomedical Engineering Meeting, İzmir, 20-22 May 2009. (IEEE Explorer tarafından taranmaktadır).
- [28] Zhang Q, Benveniste A. Wavelet Networks. IEEE Trans. Neural Networks, 1992; 3: 889-898.
- [29] Matlab Wavelet Toolbox. İnternet Sitesi. <http://www.mathworks.com>. Erişim Tarihi: 16.05.2007

- [30] Özdamar, Ö., Fast and slow components of the human auditory brainstem responses, *Neuroscience Abstracts*, 6, 595, 1980.
- [31] Hekimoğlu, Y., Analysis and modelling of click and chirp evoked ASSRs, *Doktora Tezi*, University of Miami, 2003.
- [32] Yu, X.H., Zhang, Y.S., and He, Z.Y., Peak component latency-corrected average method for evoked potential waveform estimation, *IEE Trans. Biomed. Eng.* 41, 11, 1072-1082, Nov. 1994
- [33] Bertrand, O., Bohorquez, J., & Pernier, J., Timefrequency digital filtering based on an invertible wavelet transform: An application to evoked potentials. *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, 41, 77–88, 1994.
- [34] Quiroga, R.Q., Sakowitz, O.W., Başar, E., & Schürmann, M., Wavelet Transform in the analysis of the frequency composition of evoked potentials. *Brain Research Protocols*, 8, 16–24, 2001.
- [35] Erkan, Y., and Acir, N., Wavelet Denoising of Middle Latency Response in Auditory Evoked Potentials, *Proc. Of International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications* İstanbul, 631-634, 15-18 June, 2011.
- [36] Torrence, C., Compo, P.C., A Practical Guide To Wavelet Analysis. *Bulletin Of American Meteorological Society*, 79(1), 61-78, 1998
- [37] Misiti, M., Misiti, Y., Oppenheim, G., Poggi, J.M. *Wavelet Toolbox Users Guide*, Copyright by The Math Works, Inc, 1996-1997