T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
DOKTORA TEZİ

ZAMAN ORTAMI ELEKTROMANYETİK VERİLERDE GÜRÜLTÜ YOK ETME ÇALIŞMALARI İLE GÖRÜNGE VE ÇEŞİTLİ TEPKİ FONKSİYONLARININ ELDESİ

Ebru ŞENGÜL
Fizik Anabilim Dalı
Tezin Sunulduğu Tarih: **16/09/2011**

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr. Emin U. ULUGERGERLİ

ÇANAKKALE

DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

EBRU ŞENGÜL tarafından **YRD.DOÇ. DR. EMİN U. ULUGERGERLİ** yönetiminde hazırlanan "**ZAMAN ORTAMI ELEKTROMANYETİK VERİLERDE GÜRÜLTÜ YOK ETME ÇALIŞMALARI İLE GÖRÜNGE VE ÇEŞİTLİ TEPKİ FONKSİYONLARININ ELDESİ"** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Emin U. ULUGERGERLİ

Danışman

Doç. Dr. Vildan BİLGİN

Jüri Üyesi

Yrd. Doç Dr. Bülent TANK

Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Tolga BEKLER

Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Cengiz TOĞAY

Jüri Üyesi

Sıra No :

Tez Savunma Tarihi: 16/09/2011

Prof. Dr. İsmet KAYA

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.

Ebru ŞENGÜL

TEŞEKKÜR

Bu tezin gerçekleştirilmesinde, çalışmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen saygı değer danışman hocalarım Yrd. Doç. Dr. Emin ULUGERGERLİ ve Doç. Dr. Hilal GÖKTAŞ'a içtenlikle teşekkür ederim. Çalışmada kullanılan verileri sağlayan Dr. Sergio FONTES'e (Observatório Nacional, RIO DE JANEIRO BREZILYA) teşekkür ederim.

Dr. Şeref ULUOCAK'a, destekleri için sonsuz teşekkürler.

Bu tez, tanıdığım *iyi* insanlardan birine; kardeşim Barış ŞENGÜL'e ithaf edilmiştir.

Ebru ŞENGÜL

SİMGELER VE KISALTMALAR

MT	Manyetotelürik
YTF	Yer tepki fonksiyounu
GYS	Güç yoğunluğu görüngesi
KA	Karma ağırlık
UKA	Uyum denetimli karma ağırlık
İEG	İğnecik- etki-öz güç yoğunlu görüngesi
İEG UKA	İğnecik, etki ve öz güç yoğunluğu denetimli karma ağırlık
ZS	Zaman serisi
EKK	En küçük kareler
YSA	Yapay sinir ağı

ÖZET

ZAMAN ORTAMI ELEKTROMANYETİK VERİLERDE GÜRÜLTÜ YOK ETME ÇALIŞMALARI İLE GÖRÜNGE VE ÇEŞİTLİ TEPKİ FONKSİYONLARININ ELDESİ

Ebru ŞENGÜL

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı Doktora Tezi

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Emin U. ULUGERGERLİ

16/09/2011, 100

Zamana bağlı değişen fiziksel olguların incelenmesinde elde edilen veriler, *zaman serileri (ZS)* olarak tanımlanmaktadır. ZS, o fiziksel olguya ilişkin bilginin yanında, gürültü bileşenlerini de içeren, üstüste binmiş sinyaller biçiminde karmaşık bir yapıdadır. Gözlemlenen olgunun fiziksel anlamının kavranabilmesi için, ZS'deki gürültünün tanımlanması ve yok edilmesi amacına yönelik çalışmalara gereksinim vardır. Bu amaçla veri hazırlama ve değerlendirme başlıkları altında farklı yöntemler kullanılarak uygulamalar gerçekleştirilmektedir. Kullanılan yöntemlerin dayandığı temel sayıltılar ve verideki gürültü türlerine bağlı olarak üstünlük ve zayıflıkları, gürültü bileşenlerini yok etme çalışmalarının başarısını etkilemektedir.

Çalışmada, yerin doğal elektromanyetik alan bileşenlerindeki değişimlerin ölçülmesine dayanan manyetotelürik (MT) yöntem verisi kullanılmıştır. ZS'deki gürültü etkileri, MT bileşenlerinin öz ve çapraz güç görüngelerinde sapmalara ve dolayısıyla yer-elektrik yapıyı tanımlamaya yarayan yer tepki fonksiyonunda (YTF) sistematik hatalara neden olmaktadır. Bu nedenle, alt zaman aralıklarına (segment) ayrılan ZS'lerin sınıflanarak, YTF hesaplamaları öncesinde, gürültülü segmentlerin; elenmesi, ağırlıklandırılması ve tahmin edilmesi biçiminde gürültü yok etme yöntemleri geliştirilmiştir. Çalışmalar, ortalama % 30 hata aralığı kabulü ile yapılmıştır. Bu kritere göre gürültü yok etme çalışmaları, MT bileşenlerinin; 1-öz güç görünge genliklerindeki durağanlığı bozan gürültülü segmentlerin sınıflanması ve elenmesi (GYS sınıflama); 2-segmentlerin ZS dokusunu ve durağanlığını bozan gürültü etkilerinin, 1'deki değişim ile

birlikte değerlendirilerek, gürültülü segmentlerin sınıflanması ve elenmesi (İEG sınıflama); 3- İEG sınıflaması ile tanımlanan gürültülü segmentlerin, ağırlıklandırılarak, çözüme etkisinin azaltılması ve 4- yapay sinir ağı (YSA) modeli ile, verinin zaman ve frekans ortamı niteliklerine bağlı olarak gürültülü segmentlerin tahmin edilmesi ve elenmesi biçiminde özetlenebilir.

Yöntemler, yapay veride denenmiş, ardından 2 farklı arazi verisinde uygulanmıştır. Sonuçta, sınıflama çalışmalarıyla, segmentler arasında zıtlık gösteren ve geleneksel yaklaşımların yetersiz kaldığı gürültü bileşenlerinin yok edilebildiği görülmüştür. İEG ağırlıklandırmalı robust yaklaşımı ile; geleneksel robust yöntemine alternatif olacak biçimde başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Ek olarak YSA'nın hızlı ve otomasyona yönelik üstünlüklerinin, MT verisi gürültü yok etme çalışmalarında uygulanabilirliği gözlenmiştir.

Anahtar sözcükler: Gürültü yok etme, zaman serisi, manyetotelürik, yapay sinir ağı

ABSTRACT

OBTAINING SPECTRUM AND VARIOUS TRANSFER FUNCTIONS VIA NOISE ELIMINATION STUDIES ON TIME DOMAIN ELECTROMAGNETIC DATA

Ebru ŞENGÜL

Çanakkale Onsekiz Mart University

Graduate School

Physics Science Thesis, Ph.D.

Advisor: Dr. Emin U. ULUGERGERLİ

16/09/2011, 100

The data obtained via observing physical events changing with time are defined as *time series (TS)*. TS has a complex structure as summed signals containing noise components in addition to the information related to that physical events. Therefore, studies targeting to definition and reduction of the noise in TS are required in order to understand the physical meaning of the observed events. For this purpose, the applications are carried out by using different methods under the so-called both pre-processing and evaluation of data. The advantage and disadvanage of the methods that depends on the noise types together with their fundamental premises affect the success of the studies on reducing the noise components.

The study uses the magnetotelluric (MT) method data based on measuring the changes in the natural electromagnetic field components of ground. The noise effects in TS cause deviations in auto- and cross-power spectrums of MT components and consequently systematic errors in the Earth response function (ERF) used for defining geoelectrical structure. Thus, the methods on noise reduction have been developed to estimate, classify eliminate, and weight the noisy sub-time segments before Earth response function (ERF) calculations. The studies are carried out by the assumption of an average error range of 30% exist in data sets. According to this criterion, the noise elimination studies can be summarized as 1- classifying and eliminating the noisy segments which impairing the stability of MT components in auto power spectral density (PSD classification); 2- classifying and eliminating the noisy segments by evaluating the noise effects which impairing the TS pattern and stability of the segments together with the change in 1 (IEG

classification); 3- weighing the noise segments defined with IEG classification and reducing its effect on the solution and 4- estimating and eliminating the noise segments with artificial neural network (ANN) depending to the time and frequency characteristics of the data.

The methods have been tested on synthetic data and then applied to two different field data sets. As a result of the classification studies, it is seen that the noise components, which cause contrast between the segments and where the conventional methods are insufficient, can be reduced. With IEG weighed robust approach, successful results have been obtained as an alternative to the conventional robust method. Additionally, the speed and superiority over automation of ANN and the applicability of MT data in noise elimination studies have been observed.

Keywords: Noise elimination, time series, magnetotelluric, artificial neural network.

İÇERİK **Sayfa**

TEZ SINAVI SONUÇ FORMU……..... ii
İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI…… iii
TEŞEKKÜR……..... iv
SİMGELER VE KISALTMALAR……. v
ÖZET ……..... vi
ABSTRACT……..... viii
BÖLÜM 1 – GİRİŞ…….. 1
BÖLÜM 2 – ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR……..... 3
BÖLÜM 3- MATERYAL ve YÖNTEM……... 7
3.1. Kaynak Alanlar……..……..…….... 7
3.2. MT Yöntemde Ölçü Alma Düzeni…….……..... 8
3.3. Elektromanyetik Alan İçin Temel Denklemler…….……..... 9
3.3.1. İletken ortamda elektomanyetik dalganın yayınımı…….…..... 13
3.4. Zaman Serisinden Empedansın Elde Edilmesi……..... 15
3.4.1. Yönsemenin düzeltilmesi…….……..... 16
3.4.2. ZS için istatistiksel yaklaşımlar…….……..... 17
3.4.3. Pencereleme ve Fourier Katsayılarının Hesaplanması…….. 19
3.4.4. Empedansın hesaplanması…….……..... 21
3.5. MT Yöntemde Gürültü…….……..…….. 23
3.6. Uzak İstasyon (Uİ) Yöntemi…….……..…..... 32
3.7. Ağırlıklandıma Yöntemi (Robust Yöntemi) …….……..... 33
3.8. Özgüç görüngesi yoğunluğu (GYS) ile etki değeri- iğnecik- GYS'ye bağlı sınıflama (GYS sınıflaması- İEG sınıflaması).…….……..... 37
3.9. Yapay Sinir Ağı (YSA) Yöntemi ile Sınıflama..... 39
3.9.1. YSA Modeli..... 40
BÖLÜM 4 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA……..... 47
4.1. Yapay Veri..... 49
4.1.1. GYS sınıflaması ile gürültü yok etme..... 52
4.1.2. İğnecik-etki değeri-güç yoğunlu görüngesine (İEG) bağlı sınıflama ile gürültü yoketme..... 56
4.1.3. YSA ile gürültü yok etme..... 58
4.1.4. İEG denetimli KA robust ile gürültü yok etme..... 59
4.2. Arazi Verisi Uygulamaları...... 61

4.2.1. Örnek-1..... 61
4.2.1.1. GYS sınıflaması ile gürültü yok etme..... 65
4.2.1.2. İEG sınıflaması ile gürültü yoketme..... 68
4.2.1.3. YSA ile gürültü yoketme..... 70
4.2.1.4. İEG denetimli, karma ağırlıklandırma (İEG KA) robust yöntemi ile gürültü yok etme..... 75
4.2.2. Örnek-2..... 76
4.2.2.1. GYS sınıflaması ile gürültü yok etme..... 78
4.2.2.2. İEG sınıflaması ile gürültü yok etme..... 82
4.2.2.3. İEG KA robust yöntemi ile gürültü yok etme..... 86
4.3. Tartışma..... 86
BÖLÜM 5 – SONUÇ VE ÖNERİLER …… **92**
KAYNAKLAR……..…….... **96**
Ekler……..……..... I
Çizelgeler……..……..... XV
Şekiller……..……... XVI
Özgeçmiş……..……..... XX

BÖLÜM 1
GİRİŞ

Uygulamalı bilimlerde yapılan araştırmalar genel olarak iki aşamalı olarak gerçekleştirilir; kuramsal çalışma ve gözlem. Her iki aşamada da fiziksel bir büyüklüğün değişimi uzaklık veya zaman gibi bir degişkene bağlı olarak incelenir. Kuramsal çalışmalar ile bir fiziksel büyüklüğün değişimi bilgisayar ortamında elde edilmeye çalışılır. Kuramsal değer olarak adlandırılan bu gözlemler, tamamen denetimli bilgilerden oluşur. Kuramsal calışmalara koşut olarak gerçekleştirilen gözlemler ise bilimsel araştırmaların genelinde önemli bir yer tutar. Bu aşamada elde edilen sayısal gözlem değerleri, denetimli ve denetim dışı bileşenleri birlikte içerir. Araştırmaların sonuçlarında başarı; kuramsal ve gözlemsel verilerin karşılaştırılabilirliğine doğrudan bağlıdır. Karşılaştırılabilirlik ise gözlemlenen veriyi oluşturan denetimli ve denetim dışı bilgilerin birbirine oranı ile ölçülebilir.

Bu çalışma çerçevesinde gözlemlenen sayısal veri sinyal olarak adlandırılırken, gözlemlenen sinyalin içerdiği denetim dışı bilgi gürültü olarak tanımlanmıştır. Gözlemlenen sinyalin bir veya daha fazla sinüsoidalin toplamından oluştuğu kabul edilmiştir. Gürültü bileşenlerinin ise rastgele değerlerden oluştuğu öngörülmüştür. Gözlem değişkeni olarak zaman alınmış, kaydedilen *zaman serilerinden* (ZS) gürültü bileşenlerini yok etmeye yönelik yöntemler incelenmiştir. Bu amaçla jeofizik araştırma yöntemlerinden biri olan manyetotelürik (MT) yöntem ile kaydedilen zaman serilerinde gürültü giderme uygulamaları yapılmıştır. Bu konuda literatürde yer alan çalışmalar Bölüm 2'de özetlenmiş, MT gürültü yok etme uygulamalarına yönelik ihtiyaç ve gereklilik aynı bölümde vurgulanarak, geleneksel MT değerlendirme yöntemleri ile tez kapsamında geliştirilen yöntemler için bir akış şeması sunulmuştur.

Yer-elektrik (geo-electric) yapıyı belirlemek için, yer içinde yayılan doğal elektromanyetik alan bileşenlerinin (elektrik alanının 2 bileşeni E_x, E_y ile manyetik alanının 3 bileşeni; H_x, H_y ve H_z) yeryüzeyinden ölçülmesi temeline dayanan MT yöntemin kuramsal temelleri ve uygulama alanları ise Bölüm 3'te özetlenmiştir. ZS biçiminde kaydedilen MT verisi, Bölüm 3.5'te değinilen farklı gürültü türlerinden etkilenmiş sinyallerden oluşmaktadır. MT yönteminde gürültü yok etme çalışmalarında genel olarak, zaman serisininin dokusu ve enerjisindeki değişiminin zaman ve frekans

ortamında tanımlanması gereklidir. Bu amaçla yapılan değerlendirmelerin temel alındığı yöntem ve yaklaşımlar Bölüm 3'te örneklendirilerek açıklanmıştır.

Bölüm 4'te, geleneksel yaklaşımlar ve çalışma kapsamında geliştirilen ZS gürültü yok etme yöntemlerinin uygulanabilirliği, oluşturulan yapay veride denenmiş, daha sonra MT arazi verilerine uygulanmıştır.

Farklı yaklaşımların birbirlerine göre üstünlük ve çekinceleri Bölüm 4.3'te tartışılmıştır. Elde edilen sonuçlar Bölüm 5'te sunulmuş, sinyal-gürültü içeriğine bağlı olarak seçilecek en uygun yaklaşımla, gürültü bileşenlerinin yok edilmesi ve zamana bağlı ölçülen veriden, o fiziksel olaya ilişkin doğru ve tekrararlanabilir sonuçların elde edilebilmesinin olanaklı olduğu vurgulanmıştır.

BÖLÜM 2
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Yerin manyetik alanındaki değişimlere bağlı gelişen, yerküre üzerindeki değişken, şiddetli, doğal elektrik akımların (telürik akımlar) keşfedilmesi 1800'lü yıllara dayanmaktadır. Doğal elektromanyetik alan değişimlerinin yer altını incelemek amaçlı kullanımı konusundaki ilk uygulamalar; Kato ve Kikuchi (1950), Rikitake (1950), Tikhonov (1950) ve Cagniard (1953)'ın çalışmalarıdır. Ülkemizde MT çalışmaları ise 1950'lerin sonunda başlamıştır (Gürer, 2007).

Cagniard (1953) çalışmasında, ölçülen doğal elektromanyetik alanın elektrik ve manyetik alan bileşenlerinin oranıyla yerin özdirenci arasındaki ilişkiyi tanımlamıştır. Araştırmacı, MT yöntemle ölçülen veriden yer tepki fonksiyonunun (YTF) hesaplanması ve yerin elektrik yapısının belirlenmesinin olanaklı olduğunu kuramsal olarak açıklamıştır.

MT yöntemde YTF'nin elde edilmesine ilişkin ilk yaklaşım en küçük kareler (EKK) yöntemidir (Swift 1967; Sims ve ark., 1971). EKK yaklaşımında, manyetik alan bileşenlerinin gürültüden etkilenmemesi, elektrik alan bileşenlerindeki gürültünün normal dağılım sunması önkoşulu ile empedans bileşenleri hesaplanır (örn. Egbert ve Booker, 1986; Chave ve Thomson, 1989). Ancak MT verisi rastgele bileşenler içeren ve durağan olmayan bir yapıdadır ve EKK tekniği ile kestirilen YTF, gürültü bileşenlerinden fazlasıyla etkilenmektedir. Bu nedenle ölçü alanındaki yerel gürültülerden etkilenmeyen uzak bir bölgede alınan manyetik alan kayıtları kullanılarak (uzak istasyon; Uİ) gürültüyü yoketme yoluna gidilmiştir (Goubau ve ark., 1978; Gamble ve ark.,1979). Bu yöntem için farklı bir alanda eşzamanlı ölçü alma zorunluluğu vardır. Ayrıca Uİ'nin yerinin seçimi önemlidir ve yerel istasyondan uzaklığı 100 m-10 km arasında değişebilir (Özürlan ve Ulugergerli, 2005). Yine de araştırmalar Uİ verisinde de benzer frekanslarda gürültü bileşenleri olabileceğini göstermiştir (Ritter ve ark., 1998).

İlerleyen süreç içinde elektrik ve manyetik bileşenlerdeki gürültüyü yok etmenin etkin bir yolu olarak, tek istasyon ve/veya Uİ verisinin gürültü içeriğine bağlı olarak verinin ağırlıklandırılması temeline dayanan bir yaklaşımla (robust yöntemi), empedans kestirimi yapılmaya başlanmıştır (örn. Egbert ve Booker, 1986; Sutarno ve Vozoff, 1989; Smirnov, 2003). Bu yaklaşımda verideki gürültü etkisiyle oluşan saçılımlar sonucu etkilememektedir. Ancak özellikle tek istasyon verilerinde robust yöntemi, gürültü tüm

kayıtta baskın değilse ve özellikle giriş kanalları gürültüsüz ise kullanışlıdır (Weckmann ve ark., 2005). Eğer Uİ kaydı varsa, Uİ ve robust tekniklerinin birlikte kullanılması verideki gürültüyü temizlemede kullanılan en genel yaklaşımdır (Larsen ve ark., 1996). YTF'nin anılan farklı yollarla elde edilmesine ilişkin ayrıntılı bilgi Jones ve ark., (1989)'de verilmiştir.

Uİ verisinin bulunmaması, baskın gürültü içeriği gibi uygulamada karşılaşılan sorunlar nedeniyle, MT yöntem tek istasyon ölçülerinde sinyal-gürültü ayrımı hala önemli bir problemdir. Bu konudaki yaklaşımlar verideki gürültüye daha duyarlı farklı ağırlıklandırma yöntemlerinin geliştirilmesi ile seçilen nitelik ve sınır değerlerine (kabul kriteri) göre, verinin sınıflanarak (elle ve/veya yapay sinir ağı teknikleri ile) bir ön elemeye tabi tutulması çalışmalarıdır. Örneğin tek istasyonda gürültü yok etme çalışması için Chave ve Thomson (2004), uyum denetimli, karma (kompozit) ağırlıklı ve 2 aşamalı robust yöntemini önermişlerdir. Ön eleme için kullanılan teknikler çeşitlilik göstermekle birlikte Weckmann ve ark. (2005) öz ve çapraz görüngesel güç yoğunluğu (GYS), uyum (coherence) ve tepki fonksiyonunun istatistiksel hatası gibi değişkenlere bağlı görsel düzeltme ve dolayısıyla verinin ön seçilimi çalışmasını önermişlerdir.

Yapay sinir ağı (YSA) yöntemi zaman serileri gürültü analizi çalışmaları ise genellikle, sınıflama ve sinyal dokusu (deseni) tanımlamaya yöneliktir. Manoj ve Nagarajan (2003), ileri beslemeli geri yayılımlı ağ modeli kullanarak MT verisini gürültü içeriğine bağlı sınıflamışlardır.

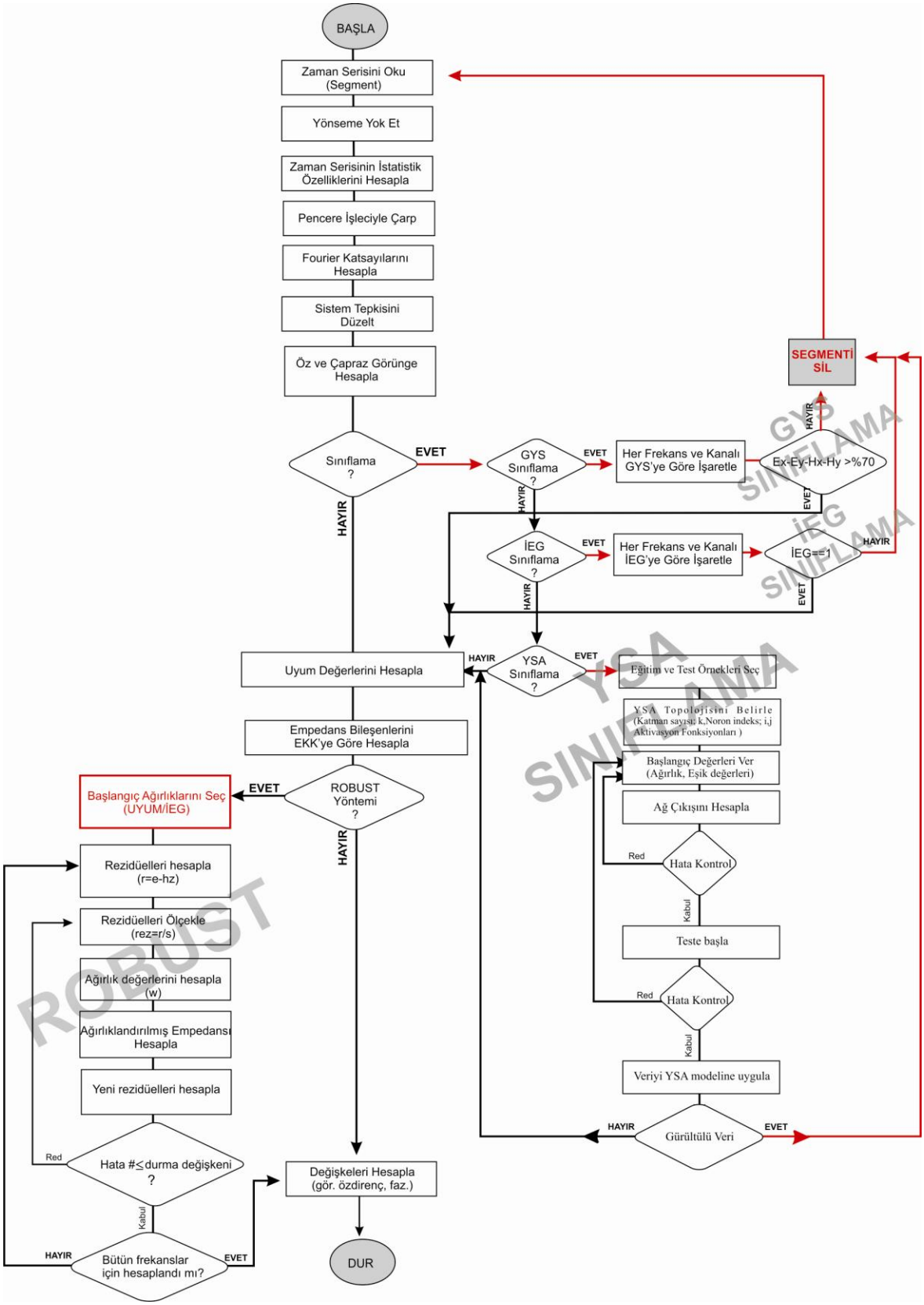
YSA'nın jeofizik problemlere uygulanması 1980'lerden itibaren başlamıştır (Raiche 1991), desen tanıma, sınıflama, optimizasyon, veri süzgeçleme gibi alanlarda jeofiziğin birçok yöntemi için kullanılmıştır.

Van der Baan ve Jutten (2000), jeofizikte YSA kullanılarak gerçekleştirilmiş yayınlara değindikleri çalışmalarında; YSA yapısı ve davranışına ilişkin ayrıntılı bilgi vermişlerdir. Araştırmacılar çalışmalarında "Ağ dizyanı ve eğitimi hala bilimden çok bir sanattır" yaklaşımını, YSA çalışmalarında karşılaşılan sorunlar ile ilgili olarak açıklamışlardır (Van der Baan ve Jutten, 2000). El-Qady ve Ushijima (2001), farklı YSA tanımlarını özetledikleri çalışmalarında, oluşturdukları yapay veri ile eğitim ve test uygulamaları gerçekleştirerek, 1 ve 2 boyutlu doğru akım özdirenç ters çözüm çalışması yapmışlardır.

Zhang ve Paulson (1997), YSA'nın dinamik özdevinir (automata) özelliğinden yararlanarak MT ters çözüm çalışmasında "Hopfield" ağ modelini kullanmışlardır. Spichak ve Popova (2000) sokulum türü jeolojik yapı için MT yontem 3 boyutlu ters çözümünde YSA yaklaşımını kullanmışlardır. Ahl (2003), havadan elektromanyetik verisinin YSA modeli ile 1 boyutlu ters çözümünü gerçekleştirmiştir.

Manoj ve Nagarajan (2003) yaptıkları YSA çalışmasında ise, zaman ortamı veri dokusunun gürültü-sinyal ayrımında önemini vurgulamışlardır. Araştırmacılar MT verilerinde gürültü düzeltme kararında; veri dokusunun % 60, veri genliğinin % 20 ve farklı bileşenler arasındaki uyumun ise % 20 oranında etkin olduğunu söylemişlerdir. Oluşturdukları 3 katmanlı geri yayılımlı YSA modelinde, öğretmenli öğrenme ile iki aşamalı bir çalışma gerçekleştirmişler. İlk aşamada, eğitim verisini görsel olarak veri dokusuna göre iyi/kötü olarak tanımlamışlardır. İlk aşamada geliştirilen YSA'nın sonuçlarını, ikinci aşamada verinin kanallar arası genlik oranları (E_x/H_y gibi) ve iki uyum değişkeni (E_x-H_y gibi) ile birlikte YSA modelinde giriş olarak kullanmışlardır. Araştırmacılar -gürültüsüz veri için, elle yapılan görsel düzeltme ile YSA sonuçlarının aynı, gürültülü veride ise görsel düzeltmeye göre daha iyi olduğunu söylemişlerdir. Ayrıca elle düzeltme ve YSA'nın sonuçlarındaki benzerliğinin, YSA modelinin insan beyni ile ilişkili bir süreci yansıtmasıyla ilgili olduğunu vurgulamışlardır.

Çalışma kapsamında geleneksel YTF eldesine yönelik uygulamalar yanında, MT verisinin zaman ve frekans ortamı niteliklerine bağlı sınıflama ve bu niteliklerin veride tanımlanmasına ilişkin YSA modeli ile gürültü yok etme uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Uygulamada kullanılan akış şeması Şekil 1'de sunulmuştur. Şekilde kırmızı ile işaretli yaklaşımlar, tez çalışması kapsamında geliştirilen gürültü yok etme sürecini ifade ederken, siyah çizgiler ise geleneksel yollarla YTF hesaplanması sürecidir. Elde edilen sonuçlar, geliştirilen gürültü yok etme yöntemlerinin, geleneksel yaklaşımlara oranla daha başarılı sonuçlar ürettiğini göstermiştir.



Şekil 1. MT yöntem YTF hesaplaması için akış şeması.

BÖLÜM 3
MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Kaynak Alanlar

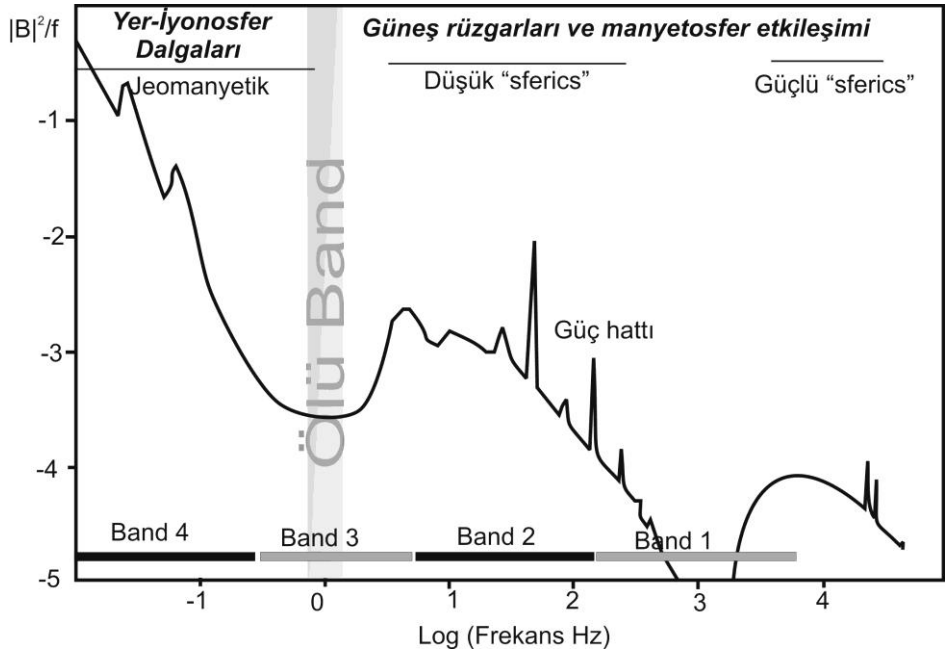
Yer içinde elektromanyetik uyartıma (indüksiyona) neden olan doğal kaynaklı alanlar, geniş bir frekans bandı aralığında, üstüste binmiş sinüsoidal davranış gösteren sinyallerden oluşmaktadır. MT uygulamalarında ilgilenilen 10^{-4} -10^{4} Hz frekans aralığı için üç önemli kaynak alandan bahsedilebilir; atmosferik olaylar, manyetosfer ve iyosferdeki elektromanyetik etkinlik. Nagarajan (2004), MT yöntemde kaynak alanları aşağıdaki biçimde özetlemiştir (Şekil 2).

Manyetosfer etkisi: Yer yüzeyinden 4 bin km yükseklikteki manyetosferik akımlar tarafından uyartılan uzun dalga boylu alanlardır. Periyodu 10- 20.000 s aralığındadır.

İyonosfer etkisi: Güneşin günlük ışımasından (radiation) kaynaklı iyonizasyon iyonosferde değişken akımlar yaratarak, iyonosferin iletken bir duruma gelmesine neden olmaktadır. Bu etkinlik dönemi 4-24 saat aralığında değişen yer manyetik alanının günlük değişimlerine neden olmaktadır. Ayrıca manyetosfer kaynaklı düşey elektrik ve manyetik kaynak alanlar, iletken iyonosferden geçemeyip değişime uğrayarak, yatay düzlemde polarlanmaktadır (Vozoff, 1991).

Atmosferik olaylar: Atmosferik olaylar ile oluşan yüksek frekanslı 20 kHz-200 Hz, alanlardır. Atmosferik olaylardan ~10-50 km yükseklikte gerçekleşen şimşek olayları ile oluşan elektrik boşalımı ise 1 Hz'den büyük frekanslar içerir ve "sferic (küresel)" olarak adlandırılır. Ölçü yakınlarında, aletin ölçü alma aralığını aşacak biçimde aniden genlik artışından kaynaklanan gürültüye neden olurken, Uİ verisinde de gürültü olarak kaydedilir.

Özetle, 1 Hz'den küçük frekanslı etkiler; dış kaynaklı alanları ve 1 Hz'den büyük frekans bandlarında iç kaynaklı alanları tanımlamaktadır (örn. Özürlan ve Ulugergerli, 2005).



Şekil 2. MT yöntem kaynak alanları (Nagarajan, 2004'ten türetilmiştir).

3.2. MT Yöntemde Ölçü Alma Düzeni

Uyartım elektromanyetik alan doğası gereği boşlukta ve ortamda iletilip, yer içinde uzun mesafelerde yayılabilmektedir. Bu nedenle geniş derinlik ölçeğinde kullanım alanı olan MT yöntem ile, derin kabuk çalışmaları, petrol, doğal gaz ve jeotermal alanlar gibi doğal jeolojik oluşumlar ile çarpma krateri yapıları gibi yapıların araştırılması olasıdır.

MT yöntemde doğal elektromanyetik alanın beş bileşeni (E_x, E_y, H_x, H_y, H_z) zamana bağlı olarak yeryüzünden kaydedilir. Elektrik alan bilşenleri mV/km veya mV/m, manyetik alan ise nT veya pT biriminde zamana bağlı olarak sunulmaktadır. Elektrik alanı ölçmek için kullanılan elektrotlar 50-200 m aralığında dirsek (L) veya artı (+) şeklinde yeryüzüne yerleştirilmektedir. Elektrik alanların ölçümünde ölçülen değerlerin genliklerinin çok küçük olması nedeniyle bir metal ve o metalin tuzundan oluşan ($Cu\text{-}CuSO_4$ gibi) ve yüksek ölçü duyarlılığı ve ölçü sırasında gerek elektrot yapısı, gerekse elektrot-yer dokanağından kaynaklanabilecek yan etkileri en aza indirebilen uçlaşmayan (non-polarised) elektrotlar kullanılmaktadır. Manyetik alan ölçümünde kullanılan üç adet manyetik bobin, rüzgar ve diğer etkilerden korunmak için yüzeyin hemen altına gömülmektedir. Veri toplama öncesi ve sırasında;

1. Araştırılan yapının ve ortamın fiziksel özellikleri; varsayılan boyut, derinlik,

uzanım,

2. İletkenlik vb., ortamın jeolojik ve tektonik durumu, ölçü almaya uygunluğu,
3. Hedef yapının özelliklerinden kullanılacak uygun frekans aralığı ve süresinin seçimi

gibi konular dikkate alınarak yöntem uygulanmaktadır.

3.3. Elektromanyetik Alan İçin Temel Denklemler

Yer içinde gelişen elektromanyetik uyartım, Maxwell'in elektromanyetik alanın zaman ve frekans bölgeleri için, madde ve boşluktaki davranışını tanımlamaya yarayan 4 temel denklemi ile açıklanmaktadır.

Elektromanyetik dalganın yayınımı için zaman ortamı Maxwell denklemlerinin türev biçimi (koyu harfler zaman ortamı değişkenleri tanımlamak üzere);

$$\nabla x\mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \qquad \textbf{(3.1)}$$

$$\nabla xH = \mathbf{j} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \qquad \textbf{(3.2)}$$

$$\nabla.\mathbf{B} = 0 \qquad \textbf{(3.3)}$$

$$\nabla.\mathbf{D} = q_v \qquad \textbf{(3.4)}$$

dir. Burada **E yöneyi**; elektrik alan şiddeti (V/m), **B yöneyi**; manyetik indüksiyon veya manyetik akı yoğunluğu (Weber/m^2), **D yöneyi**; elektrik yerdeğiştirme veya elektrik akı yoğunluğu (C/m^2), j; toplam elektrik akım yoğunluğu (A/m^2), q_v; hacim başına birim yük yoğunluğu (C/m^3), ve t zaman (s) değişkenlerini göstermektedir.

(3.1) eşitliği zamanla değişen manyetik alanla uyarılan (indüktif) elektrik alan arasındaki ilişkiyi açıklamaktadır (Faraday indüksüyon yasası). (3.2) eşitliği; yerdeğiştirme akımları ve iletkenlik akımları ile orantılı bir manyetik alanın varlığını (Ampere-Maxwell Yasası), (3.3) eşitliği; manyetik akı yoğunluğunun kaynağının olmadığını yani serbest

manyetik yükün blunmadığını (manyetizma için Gauss Yasası) ve (3.4) eşitliği de elektrik yerdeğiştirme akımlarının kaynağının yük yoğunluğu olduğunu (Gauss Yasası) tanımlamaktadır. Ayrıca;

$$\mathbf{D} = \varepsilon \mathbf{E} \qquad \textbf{(3.5)}$$

$$\mathbf{B} = \mu \mathbf{H} \qquad \textbf{(3.6)}$$

ilişkileri vardır. ε; ortamın dielektrik katsayısı (Farad/m), μ; ortamın manyetik geçirgenliği (Henry/m) ve **H**; manyetik alan şiddetidir (A/m). Kayaçların dielektrik katsayısındaki ve manyetik geçirgenliğindeki değişim, bulk kayaç iletkenlik değişimleri ile karşılaştırıldığında gözardı edilecek kadar azdır. Bu nedenle uygulamalarda kayaçların manyetik geçirgenliği için serbest yüzeyin manyetik geçirgenliği $\mu=\mu_o=4\pi 10^{-7}$ kullanılır (Weaver, 1994). Benzer olarak dielektrik katsayısı $\varepsilon=\varepsilon_0=8{,}85410^{-12}$ olarak alınır.

σ; ortamın iletkenliği (S/m) olmak üzere ohmik iletkenlik davranışı gösterdiği kabul edilen yeryuvarı;

$$\mathbf{j} = \sigma \mathbf{E} \qquad \textbf{(3.7)}$$

denklemini sağlar. Tektür (homojen), tekdüze ve yarı sonsuz ortam, elektromanyetik olarak ε, μ ve σ sabitleri ile tanımlanabilir (Stratton, 1941).

Zamanla değişen alanlar için;

$$\nabla.(\nabla x\mathbf{E}) = -\nabla\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial t}(\nabla.\mathbf{B}) = 0 \qquad \textbf{(3.8.a)}$$

$$\nabla.(\nabla x\mathbf{H}) = \nabla.\mathbf{j} + \nabla.\frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} = \nabla.\mathbf{j} + \frac{\partial}{\partial t}(\nabla.\mathbf{D}) = \nabla.\mathbf{j} + \varepsilon\frac{\partial}{\partial t}(\nabla.\mathbf{E}) = 0 \qquad \textbf{(3.8.b)}$$

yazılabilir. Yarı sonsuz yer modeli için yük yığışımı olmayacaktır ve $\nabla.\mathbf{E}=0$ 'dır. Bu ifade yüklerin korunumunu ifade eden süreklilik kavramı ile açıklanabilir. q_v yük yoğunluğu olmak üzere, süreklilik denklemi;

$$\nabla.\mathbf{j}+\frac{\partial q_v}{\partial t}=\nabla.\sigma\mathbf{E}+\frac{\partial q_v}{\partial t}=0 \qquad \textbf{(3.9.a)}$$

dir. Tektür ortam için; $\nabla.\mathbf{E}=\frac{q_v}{\varepsilon}$ süreklilik denkleminde yerine yazılırsa;

$$\frac{\partial q_v}{\partial t}+\frac{\sigma q_v}{\varepsilon}=0 \qquad \textbf{(3.9.b)}$$

Herhangi bir anda yük yoğunluğu ise;

$$q_v = q_{v0}e^{-\frac{\sigma}{\varepsilon}t} \qquad \textbf{(3.10)}$$

q_{v0}; t=0 anındaki yük yoğunluğudur ve iletken içindeki yük dağılımı zamanla üstel olarak sönümlenmektedir. Sönümlenme zamanı, ortamın iletkenliği ile ters dielektrik sabiti ile doğru orantılıdır. Yarı sonsuz yer modeli için, akımın akışı süresince yük yığışımı olmayacağından, zaman sonsuza giderken q_v terimi sıfıra yakınsar ($\frac{\partial q_v}{\partial t}=0$, Stratton, 1941).

Elektromanyetik dalganın yayınımının tanımlanmasında (3.5) ve (3.6) eşitlikleri (3.1) ve (3.2) denklemlerinde yerine yazılıp yeniden düzenirse;

$$\nabla x\mathbf{E}=-\mu_0\frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} \qquad \textbf{(3.11.a)}$$

$$\mu_0(\nabla x\mathbf{H})=\sigma\mathbf{E}+\varepsilon_0\frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \qquad \textbf{(3.11.b)}$$

Faraday ve Ampere-Maxwell eşitliklerinini döneli ve zamana göre türevi alındığında (3.8) eşitliklerinin sadeleştirilmiş biçimi;

$$\nabla x(\nabla x\mathbf{E})=-\mu_0\nabla x(\frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t}) \qquad \textbf{(3.12.a)}$$

$$\mu_0 \frac{\partial}{\partial t}(\nabla x \mathbf{H}) = \mu_0 \sigma \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} \qquad \textbf{(3.12.b)}$$

(hatırlatma: $\nabla x \nabla x E = \nabla(\nabla.E) - \nabla^2 E$ ve $\nabla(\nabla.E)=0$) dır. (3.12) eşitliklerinden;

$$\nabla^2 \mathbf{E} = \mu_0 \frac{\partial}{\partial t}(\nabla x \mathbf{H}) = \mu_0 \sigma \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} \qquad \textbf{(3.13.a)}$$

$$\nabla^2 \mathbf{H} = -\sigma(\nabla x \mathbf{E}) - \varepsilon_0 \frac{\partial}{\partial t}(\nabla x \mathbf{E}) = \mu_0 \sigma_0 \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} + \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2 \mathbf{H}}{\partial t^2} \qquad \textbf{(3.13.b)}$$

elektromanyetik dalga denklemleri (Helmholtz denklemleri) elde edilir (Ward ve Hohmann, 1987). Elektrik ve manyetik alanların frekans ortamına dönüşümü yapıldığında $\omega = 2\pi f$ açısal frekans olup tekdüze ve tektür ortamda, frekans ortamı elektromanyetik dalga denklemleri;

$$\nabla^2 E + (\omega^2 \mu_0 \varepsilon_0 - i\omega \mu_0 \sigma) E = 0 \qquad \textbf{(3.14)}$$

$$\nabla^2 H + (\omega^2 \mu_0 \varepsilon_0 - i\omega \mu_0 \sigma) H = 0 \qquad \textbf{(3.15)}$$

olarak yazılabilir. Bu esitliklerde

$$k^2 = \omega^2 \mu_0 \varepsilon_0 - i\omega \mu_0 \sigma \qquad \textbf{(3.16)}$$

tanımlaması yapılabilir. (3.14) ve (1.15) eşitlikleri;

$$\nabla^2 E + k^2 E = 0 \qquad \textbf{(3.17)}$$

$$\nabla^2 H + k^2 H = 0 \qquad \textbf{(3.18)}$$

biçiminde sadeleştirilebilir.

k; ortam ile elektromanyetik dalganın etkileşimini tanımlayan yayılma sabitidir (Stratton, 1941). Dalga sayısı olarak da isimlendirilen k'nın gerçel kısmı; yerdeğiştirme

akımlarını, sanal kısmı ise iletkenlik akımlarını ifade eder. Yerdeğiştirme akımları 10^{-5} Hz'den küçük frekanslarda çok küçük değer alacağından ($\omega^2\mu\varepsilon << \omega\mu\sigma$), yer içinde difüzyon süreci ile elektromanyetik uyartım gelişmesine yardımcı olan iletkenlik akımları ile kıyaslandığında, gözardı edilebilir (yarı duraylılık). Bu durumda yarı duraylı olarak tanımlanan k;

$$k^2 = -i\omega\mu_0\sigma \qquad \textbf{(3.19)}$$

olur (Ward ve Hohmann, 1987).

3.3.1. İletken ortamda elektomanyetik dalganın yayınımı

Doğal kaynaklı elektromanyetik alanın yer içine nüfuz etmesi ile gelişen, alan-yer (ortam) etkileşiminin kavranabilmesi için, iletken ortamda elektromanyetik dalganın davranışının incelenmesi gerekir. Basit bir yaklaşımla düzlem dalga davranışı gösteren elektromanyetik dalga bileşenlerinin zaman ortamı genel ifadesi, zaman değişimi $e^{i\omega t}$ ile gösterilmek üzere;

$$\mathbf{E} = E_0 e^{i\omega t+kz} + E_0 e^{i\omega t-kz} \qquad \textbf{(3.20.a)}$$

$$\mathbf{H} = H_0 e^{i\omega t+kz} + H_0 e^{i\omega t-kz} \qquad \textbf{(3.20.b)}$$

biçiminde yazılabilir. Dalga sayısı k=g-is biçiminde yeniden düzenlenirse (Ward ve Hohmann, 1987);

$$g = \omega\left\{\frac{\varepsilon\mu}{2}\left[(1+\frac{\sigma^2}{\varepsilon^2\omega^2}\right]+1\right\}^{1/2} \qquad \textbf{(3.21.a)}$$

$$s = \omega\left\{\frac{\varepsilon\mu}{2}\left[(1+\frac{\sigma^2}{\varepsilon^2\omega^2}\right]-1\right\}^{1/2} \qquad \textbf{(3.21.b)}$$

ve yarı duraylı durum için;

$$g = s = \left\{ \frac{\omega \mu \sigma}{2} \right\}^{1/2} \quad \textbf{(3.21.c)}$$

dalga sayısı;

$$k = g(1 - i) \quad \textbf{(3.21.d)}$$

dir. Elektromanyetik alanın enerjisinin z derinliği ile azaldığı durumda (yer içine nüfuz etmesi) (3.20) eşitlikleri (yarı duraylı durum için);

$$\mathbf{E} = E_0 e^{-igz} e^{-gz} e^{i\omega t} \quad \textbf{(3.22.a)}$$

$$\mathbf{H} = H_0 e^{-igz} e^{-gz} e^{i\omega t} \quad \textbf{(3.22.b)}$$

tanımlanır. Burada $e^{i\omega t} = \cos(\omega t) + i \sin(\omega t)$ tanımı; doğal elektromanyetik alanın zamanla sinüsoidal olarak değiştiğini göstermektedir (Ward ve Hohmann, 1987).

(3.22) eşitliklerinde g; gerçel olduğundan, z derinliğinin artması ile e^{-gz} değeri azalacaktır. Bu durum elektromanyetik alanın sönümünü ifade eder; elektromanyetik alanın genliği belli bir uzaklıkta 1/e'ye bağlı olarak sönümlenir. Buna göre; (3.21) eşitliğinin tersi elektromanyetik deri kalınlığı (skin depth) veya etki derinliği (penetration depth) olarak tanımlanmaktadır ve elektromanyetik alanın yüzeydeki genliğinin % 33'üne indiği, ortama ilişkin sağlıklı bilgi alınabilecek en büyük derinliktir;

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\mu_0 \omega \sigma}} = 503 \left(\frac{1}{f\sigma} \right)^{1/2} \quad \textbf{(3.23)}$$

dir (Cagniard, 1953). Etki derinliği ortamın iletkenliği ve dalganın frekansı ile ters orantılı değişmektedir. İletken bir ortamda, yüksek frekansta araştırma derinliği de sığ olacaktır (f; Hz, σ; S/m ve etki derinliği m).

Ortamın iletkenliğinde yanal bir değişim olmadıkça, yer içinde manyetik alan tarafından uyartılan elektrik alan yeryüzüne paraleldir (Başokur, 2008). Bu kısıtlama ile kartezyen koordinat sisteminde düşey z ekseni boyunca ilerleyen elektomanyetik dalga

gözönüne alınır, x ve y düzleminin dalganın uçlaşma düzlemi olduğu düşünülürse, elektrik alanın x ve y'ye göre türevleri ile $\mathbf{E_y}$ ve $\mathbf{E_z}$ bileşenleri sıfır olacaktır. Buradan $\mathbf{E_x}$ ve $\mathbf{H_y}$'nin z derinliğine bağlı değişimleri için elektromanyetik dalganının iletken yarı sonsuz ortamda yayınımı tanımlanabilir (Ek-1). Ayrıca $\mathbf{E_x}$ ve $\mathbf{H_y}$ dik bileşenleri arasındaki doğrusal ilişki, karmaşık (complex) Z tensörü ile ifade edilebilir. Böylece yarı sonsuz tekdüze ortam için dik (ortoganal) elektromanyetik alan bileşenlerinin oranından, yüzeydeki empedans (direnti); $Z_{xy}=E_x/H_y$ biçiminde hesaplanır. Empedansın hesaplanmasına ilişkin ayrıntılı bilgi Bölüm 3'te sunulmuştur. Ayrıca özdirenç; $\rho = (\frac{1}{\sigma})$ ilişkisinden;

$$\rho_{xy} = \frac{1}{2\pi\mu f}\left|Z_{xy}\right|^2, \text{ (Ohm-m)} \qquad \textbf{(3.24)}$$

elde edilir. Ortam tektür değilse özdirence; görünür özdirenç (g. özdirenç) denir ve farklı yönlerde alınan ölçüler için; $Z_{xy} \neq Z_{yx}$ 'dir. Bu durumda, $\mu=\mu_0=4\pi 10^{-7}$ Henry/m için Cagnigard-Tikhanov görünür özdireç bağıntıları;

$$\rho_{xy} = \frac{0.2}{f} Z_{xy}^{\ 2} \qquad \text{ve} \quad \rho_{yx} = \frac{0.2}{f} Z_{yx}^{\ 2} \qquad \textbf{(3.25)}$$

dır (Vozoff, 1991). Ayrıca ortam tektür olmadığında empedansın fazı, im; sanal, re; gerçek kısmı göstermek üzere ;

$$\vartheta_{xy} = \arctan(\frac{\text{im}(Z_{xy})}{\text{re}(Z_{xy})}) \text{ ve } \vartheta_{yx} = \arctan(\frac{\text{im}(Z_{yx})}{\text{re}(Z_{yx})}) \qquad \textbf{(3.26)}$$

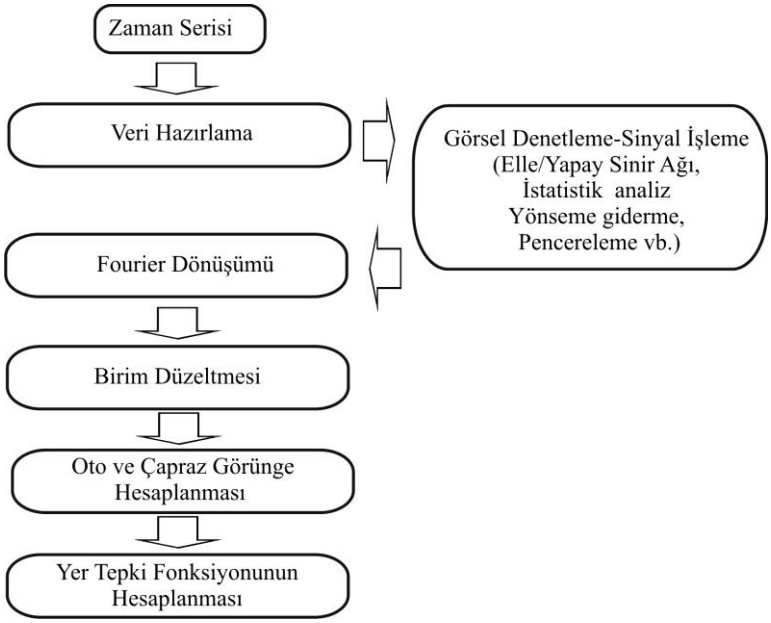
dir.

3.4. Zaman Serisinden Empedansın Elde Edilmesi

MT yöntem veri değerlendirme çalışmaları; "***veri hazırlama***" aşaması ve ardından farklı yöntemlerle **"*YTF hesaplanması*"** aşamaları olmak üzere iki adımda gerçekleştirilir. Zaman ve frekans bölgesinde gerçekleştirilen analiz ve veri işlem süreçlerini içeren uygulamaların kavramsal akış şeması Şekil 3'te sunulmuştur.

Şekil 3'teki akış şemasından da izlenebileceği gibi değerlendirmeler, veri hazırlama aşamasında, zaman serinin görsel olarak denetlenmesi ile başlar. Uygulamacı zaman serilerinin her penceresini görsel olarak denetler, genellikle genlikteki ani ve düzensiz değişimlere bakarak veriyi iyi veya kötü olarak işaretler. Bu işlem doğası gereği öznel ve büyük veri hacmi için oldukça zaman alıcıdır. Ayrıca aynı kişi farklı zamanlarında farklı sonuçlar elde edebilir.

Denetleme işleminin temel kuralı Manoj ve Nagarajan (2003)'te de vurgulandığı gibi "*sorun varsa at kurtul*"dur, Manoj ve Nagarajan, (2003), elle yapılan görsel denetlemeye karşı YSA yöntemi ile sınıflama çalışması önermişlerdir. Bu konuda ayrıntılı bilgi Bölüm 3.9'da yeralmaktadır.

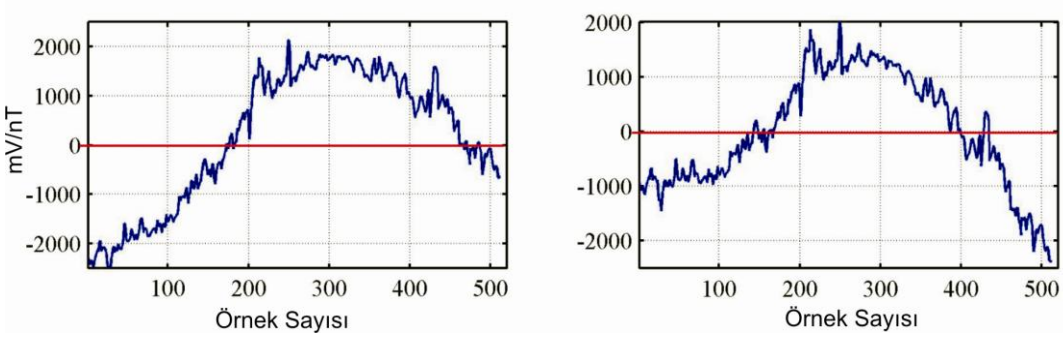


Şekil 3. MT yöntem YTF hesaplanması için akış şeması (Manoj, 2004'ten değiştirilerek).

3.4.1. Yönsemenin düzeltilmesi

Bir çok zaman serisi dokusu, bölgesel ve yerel (trend-yönseme ve mevsimsel dalgalanmalar- seasonality) değişimler içeren iki sınıfta tanımlanmaktadır (StatSoft, 2008). İstatistiksel olarak yönseme; verinin ortalama değerinden zaman içinde sapması yeni bir ortalama değerde durağan olmayan veri durumuna gelmesi olarak tanımlanır. Araştırmalar sıcaklık değişimi ölçü aletini etkilediğinde veride bu gibi alçak frekanslı gürültülerin etkili

olabileceğini göstermiştir. Bu tür bir gürültü, veriye alçak frekansları süzecek bir süzgeç uygulanarak giderilebileceği gibi, zaman ortamında verinin en büyük ve en küçük değerlerlerinin orta noktasından geçen sıfır çizgisini en küçük karelerle bulup her noktada genlik değerinden sıfır çizgisi değeri çıkarılarak da yönseme olarak giderilebilir (Şekil 4). Yönseme doğrusal değilse çeşitli derecelerde polinomlara yaklaştırılarak giderilmeye çalışılmaktadır.



(a) **(b)**

Şekil 4. (a) Yönseme içeren ve (b) yönsemesi giderilmiş ZS örneği.

3.4.2. ZS için istatistiksel yaklaşımlar

İstatistiksel yaklaşımlarla, MT analiz çalışmalarında elde edilen fiziksel olaya ilişkin değişkenlerin hata sınırlarının belirlenmesi hedeflenmektedir. Bu amaçla kullanılan verinin ortalaması, standart sapması gibi tanımlayıcı istatistik değerlendirmelerin yanında verinin durağanlığının ve bağımsızlığının incelenmesi sinyal-gürültü karakterini belirlemek bakımından yararlıdır.

İstatistik olarak durağanlık; veri boyundan daha kısa zaman aralıklarında (istatistiksel olarak örneklem veya çalışmada kullandığımız ifadesiyle segment) hesaplanan istatistik özelliklerinin önemli ölçüde değişmemesi olarak tanımlanır. MT gibi doğal kaynaklı fiziksel olaylar durağan olmayan bir yapıdadır (Weckmann ve ark., 2005). Bu durumda verinin durağan davrandığı alt zaman pencerelerine ayrılarak incelenmesi önerilmektedir (Lamarque, 1999).

Alt segmentlerdeki verinin durağanlığının belirlenmesi için istatistik testler uygulanmaktadır. Bu testler ile verinin aynı toplumdan geldiği ve birbirinden bağımsız

olduğu kabulü yani rastgeleliği (H0: veriler tektürdür hipotezi) veya tersi (H1: veriler tektür değildir hipotezi) şeklindeki iki varsayım kontrol edilmektedir. Bunun için Lamarque (1999) istatistik hipotez testlerinden " Run" testini önermiştir. Bir işaret testi olan Run testi ile, verinin tüm değerleri tek tek ortanca değer (ortalama değer veya mod da kullanılmaktadır) ile karşılaştırılır, büyük olanlar +, küçük olanlar – ile işaretlenir. Beklenen run sayısı olarak az olan işaret sayısı seçilir (expected run). Bulunan run sayısı z_r değişkenine dönüştürülür (veri sayısı >20 ise). Hesaplanan z_r degerine karşılık gelen yanılma olasılığı (P değeri) z_α tablosundan bulunur (veya belirlenen P güven aralığı için z_α değeri hesaplanan z_r ile kaşılaştırılır). Çalışmada Lamarque (1999)'da önerildiği gibi % 90 anlamlılık düzeyi dikkate alınmıştır (% 95 anlamlılık derecesinde- güven aralığında için, $\alpha = 0.05$, $z_\alpha = 1.96$, % 90 güven aralığı $\alpha = 0.01$, $z_\alpha = 2.54$).

n_1; birinci tür , n_2; ikinci tür örnek adeti, r: run sayısı olmak üzere;

$$z_r = \frac{r - \left(\frac{2n_1n_2}{n_1n_2} + 1\right)}{\sqrt{\frac{2n_1n_2(2n_1n_2 - n_1 - n_2)}{(n_1 + n_2)^2(n_1 + n_2 - 1)}}} \qquad \textbf{(3.27)}$$

biçiminde hesaplanan z_r, belirlenen güven aralığı için tablodan elde edilen z_α değeri ile karşılaştırılır (Siegel, 1956).

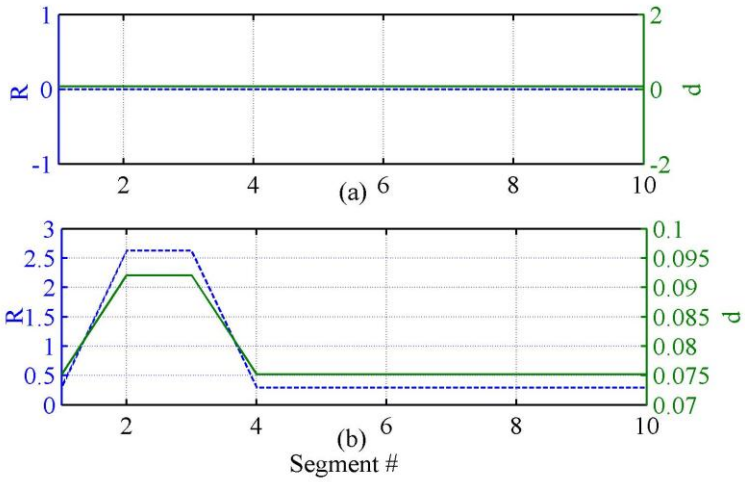
Alt segmentlere ayırılmış verinin herbir değerinin o segmenti tanımlamadaki yeteneği; herbir değerin segmentin ortalamasına olan yakınlığı (veya değişintisinin segmentin değişintisine yakınlığı) ile ilgilidir (Karasar, 2004). Segmentin tanımlayıcı istatistik özellikleri biliniyorsa, serinin her bir elemanı; x ve ortalaması; $\bar{x}$ ise, serinin değişintisi (variance);

$$\sigma^2 = \frac{1}{N}\sum_{1}^{N}(x - \bar{x})^2 \qquad \textbf{(3.28)}$$

n; veri sayısı (örneklem hacmi) olmak üzere, d etki değeri;

$$d = \frac{\sigma z_\alpha}{\sqrt{n}} \qquad \textbf{(3.29)}$$

ile hesaplanmaktadır (Karasar, 2004). α güven aralığında hangi z_α değerinin kullanılacağı istatistik tablolardan okunur. Örneğin 0.05 s zaman örneklemeli, t=[0, 25.55] s zaman aralığında, her segment 512 değerlikli 10 segmentten oluşan x=Sin(2π5t) verisinin etki değeri: 0.075187± 1.4628e-017 ve z_r: 0 ±0 olarak hesaplanır. Yani veri durağandır ve segmentlerin her bir değeri o segmenti tanımlama yeteneğindedir. Verinin 2 ve 3. segmentlerine basamak sinyalinin türevi birim dürtü sinyali eklenerek (birim dürtü sinyali: $\delta(t) = \frac{1}{a\sqrt{\pi}} e^{-\frac{t^2}{a^2}}$, a=1.45 ve t-256 zaman kayması için) yapay bir gürültü oluşturulduğunda etki değeri: 0.075187± 0.0070933 ve z: 0.76032 ±0.98217 olarak değişir (Şekil 5). Veri gürültü nedeniyle bu segmentlerde tektür değildir (bağımsız, rastgele değildir). Ayrıca sabit örnek sayısı içeren 10 segment içinde 2. ve 3. segmentlerin her bir değeri, o segmentlerin bağımsız değişkenleridir ve segmentlerin etki değerini gürültüsüz segmentlere oranla ortalamadan saptırır. Etki değeri yüzde olarak ifade edildiğinde, gürültülü 2. ve 3. segmentler, tüm verinin durağanlığının bozulmasında % 100 oranında etkindir diyebiliriz.



Şekil 5. Yapay veri etki değeri (d) ve Run testi sonucu (R) (a) gürültüsüz, (b) gürültülü veri.

3.4.3. Pencereleme ve Fourier katsayılarının hesaplanması

MT değerlendirme çalışmalarının bu aşamasında (Şekil 3), ZS'den frekans bilgisinin elde edilip, YTF'nin hesaplanması işlemleri gerçekleştirilir. Frekans ortamına, genellikle

zamana bağlı kaydedilen sürekli MT verisi ayrıklaştırılarak ayrık Fourier dönüşümü (FD) ile Fourier katsayıları hesaplanır bu amaçla öncelikle ZS pencerelenir.

Verinin zaman ortamında pencerelenmesi, alt segmentlere ayrılan MT ZS'nin pencere işleciyle çarpılması (frekans ortamında ise pencere işlecinin frekans ifadesiyle verinin evrişimidir). Pencereleme seçiminde, pencere kenarlarındaki süreksizlikler nedeniyle görüngede oluşan dalgalanmaları önleyecek biçimde kenarları yumuşak geçişle sıfırlanan Kosinüs (cosinus) pencereleri kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında "Hamming" penceresi kullanılarak veri pencerelenmiştir. y; çıkış x; giriş verisi ve a=0.5 katsayısı, N veri boyu olmak üzere Hamming penceresi için kullanılan matematiksel ifade ve pencereleme işlemi;

$$w(n) = a(1+\cos(-\pi - \pi/n), \qquad 0 \le n \le N/12 \tag{3.30.a}$$

$$y(n) = w(n)x(n) \tag{3.30.b}$$

biçimindedir.

MT değerlendirmenin bu aşamasında zaman serisi analizleri ile zaman ortamında sinyal/gürültü oranı arttırılmış veri frekans ortamına, FD işlemi ile geçirilir. x(ndt) ayrık verisinin FD;

$$X(f) = \frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1} x(ndt)e^{-2\pi fndt} \tag{3.31}$$

genlik ve faz görüngeleri ise;

$$|X(f)| = \sqrt{X_{re}{}^2 + X_{im}{}^2} \tag{3.32}$$

$$\Theta(f_n) = \arctan\left(\frac{X_{im}}{X_{re}}\right) \tag{3.33}$$

dir. Verinin tümüne FD uygulanabileceği gibi, her bir zaman segmentlerine ayrı ayrı FD uygulanabilir. Bu konuda 2 farklı yaklaşım vardır. Bunlardan ilki pencerelenmiş verinin

tüm kaydın gürültülü bölümlerinin tanımlanmasını daha kolaylaştırdığı, diğeri ise, veri güçlü harmonik sinyaller sunuyorsa pencerelenerek FD alındığında görüngede kaymalar olabileceği yönündedir. Smirnov ve Varentsov (2004), uzun periyodlu kayıtlarda parçalı FD'nü önermişlerdir.

Frekans ortamına geçirilen verinin elektromanyetik alan bileşenlerinin özelliklerini belirlemek amacıyla, ortalamaları özgörünge veya çapraz görünge değişimleri hesaplanmaktadır. X'in f_i frekansı etrafında ve $[f_{i-m}, f_{i+m}]$ kapalı aralığındaki ortalama özgörünge veya özgörünge yoğunluğu (*; karmaşık eşlenik);

$$\langle X(f_i)\rangle = \sqrt{\frac{1}{2m+1}\sum_{k=j-m}^{j+m} X_k X_k^*} = \langle X_j X_j^*\rangle^{1/2} \qquad \textbf{(3.34)}$$

dir. Benzer biçimde iki farklı bileşenin çapraz görüngesi;

$$\langle X(f_i), Y(f_i)\rangle = \left(\frac{1}{2m+1}\sum_{k=j-m}^{j+m} X_k Y_k^*\right)^{1/2} = \langle X_j Y_j^*\rangle^{1/2} \qquad \textbf{(3.35)}$$

olur. (3.34) ve (3.35) denklemlerinin kareleri sırasıyla özgüç görünge ve çapraz güç görünge yoğunluklarını verir. Çapraz görünge kullanılan iki verinin uyumu ise;

$$\mathrm{coh}\langle X(f_i), Y(f_i)\rangle = \frac{1}{2m+1}\sum_{k=j-m}^{j+m} \frac{X_k Y_k^*}{\sqrt{(X_k X_k^*)(Y_k Y_k^*)}} = \mathrm{coh}\langle XY^*\rangle \qquad \textbf{(3.36)}$$

ile ifade edilir (Vozoff, 1991). Birden fazla tekrarlı bileşeni bulunan uzun dönemli veride birbirine dik elektrik ve manyetik alanlar arasında bulunan uyum sinyal ayırıcı olabilmektedir. İstatistik yöntemlerden bilindiği gibi, uyum analizi, iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkinin gücünü ve yönünü belirlemek amacıyla yapılır. İlişki katsayısı 0–1 aralığında değişir ve yüksek tutarlık (1) elde edilen verilerin güvenirliliğinin de yüksek olduğunu ifade etmektedir (Vozoff, 1991).

3.4.4. Empedansın hesaplanması

Tek istasyon MT kaydında elektromanyetik alanın birbirine dik elektirk ve manyetik bileşenleri arasındaki doğrusal ilişkiyi sağlayan elektromanyetik empedans, ε' gürültüsü

varlığında;

$$X_{ij} = Z_{ij} Y_i + Z_{ji} Y_j + \varepsilon' \qquad \textbf{(3.37)}$$

biçiminde ifade edilebilir. Denklemde çıkış değişkeni X_{ij}; doğal elektromanyetik alanın iki yatay elektrik alan bileşeninin (E_x, E_y) veya manyetik alanın düşey bileşeninin (H_z) karmaşık Fourier katsayılarını, giriş değişkeni Y_{ij} ise; iki manyetik alan bileşeninin karmaşık Fourier katsayılarını göstermektedir. (3.37) denkleminin çözümü bir doğrusal regresyon problemidir ve |E-ZH| ifadesinin ortalama karesel hatasınının en küçük değerininin bulunmasını sağlayan; en küçük kareler yaklaşımı (EKK) Bölüm 2'de de vurgulandığı gibi, MT empedansın (Z) eldesinde ilk yaklaşımdır (Swift 1967; Sims ve ark., 1971). Z; empedans ifadesi

$$Z = \left\langle EH^* \right\rangle \left\langle HH^* \right\rangle^{-1} \qquad \textbf{(3.38)}$$

olarak gösterilir. Bu yaklaşım yatay manyetik alan verisinin gürültüden etkilenmemiş, elektrik alan gürültüsünün ise ilişkisiz ve Gaussian dağılım sunması koşulunu gerektirir (Egbert ve Booker, 1986; Chave ve Thomson, 1989). Bu ön koşullar altında empedans; en küçük kareler çözümü ile empedans elde etmek için; $\langle \overline{E_{ij} H_{ij}^*} \rangle$ ve $\langle \overline{H_{ij} H_{ij}^*} \rangle$ terimleri sırasıyla ortalama çapraz ve özgüç görüngeleri ve *; karmaşık eşlenik olmak üzere, $\langle \overline{E_{ij} E_{ij}^*} \rangle, \langle \overline{E_{ij} H_{ij}^*} \rangle$ eşitliklerinin kombinasyonundan 8 farklı doğrusal denklem yazılabilir ve bu eşitliklerin çözümünden 6 tane Z_{ij} bileşeni hesaplanabilir (Sims ve ark., 1971). Örneğin ;

$$\langle \overline{E_x H_x^*} \rangle = Z_{xx} \langle \overline{H_x H_x^*} \rangle + Z_{xy} \langle \overline{H_y H_x^*} \rangle \qquad \textbf{(3.39.a)}$$

$$\langle \overline{E_x H_y^*} \rangle = Z_{xx} \langle \overline{H_x H_y^*} \rangle + Z_{xy} \langle \overline{H_y H_y^*} \rangle \qquad \textbf{(3.39.b)}$$

$$Z_{xy} = \frac{\langle \overline{H_x H_x^*} \rangle \langle \overline{E_x H_y^*} \rangle - \langle \overline{H_x H_y^*} \rangle \langle \overline{E_x H_x^*} \rangle}{\langle \overline{H_x H_x^*} \rangle \langle \overline{H_y H_y^*} \rangle - \langle \overline{H_x H_y^*} \rangle \langle \overline{H_y H_x^*} \rangle} \qquad \textbf{(3.39.c)}$$

veya

$$\langle \overline{E_x E_y^*} \rangle = Z_{yx} \langle \overline{H_x E_y^*} \rangle + Z_{yy} \langle \overline{H_y E_y^*} \rangle \quad \textbf{(3.40.a)}$$

$$\langle \overline{E_x H_y^*} \rangle = Z_{yx} \langle \overline{H_x H_y^*} \rangle + Z_{yy} \langle \overline{H_y H_y^*} \rangle \quad \textbf{(3.40.b)}$$

$$Z_{xy} = \frac{\langle \overline{H_x E_y^*} \rangle \langle \overline{E_x H_y^*} \rangle - \langle \overline{H_x H_y^*} \rangle \langle \overline{E_x E_y^*} \rangle}{\langle \overline{H_x E_y^*} \rangle \langle \overline{H_y H_y^*} \rangle - \langle \overline{H_x H_y^*} \rangle \langle \overline{H_y E_j^*} \rangle} \quad \textbf{(3.40.c)}$$

dir. Z_{yx} , Z_{xx} ve Z_{yy} empedans bileşenleri de benzer biçimde hesaplanmaktadır (Vozoff, 1991). Ayrıca bileşenler arasındaki uyum katsayısı (çoklu uyum), elektrik ve manyetik alan bileşenlerinin birbiriyle doğrusal ilişkili olduğu yaklaşımı altında kestirilen/ölçülen verinin enerjileri oranıdır ve Bölüm 3.4.3'te de belirtildiği gibi, düşük uyum değeri veri kalitesinin bir belirtecidir (Weckmann ve ark., 2005).

$$r_b^2 = \frac{Z_1 \langle Y_1 X^* \rangle + Z_2 \langle Y_2 X^* \rangle}{\langle X X^* \rangle} \quad \textbf{(3.41)}$$

MT verisinden EKK ile empedans kestirimi, daha önce de değinildiği gibi manyetik alan bileşenlerindeki ilişkisiz gürültünün küçük miktarlarına duyarlı olduğu bilinen Gauss–Markov istatistik modeline dayanır (örn. Smirnov, 2003; Chave ve Thomson, 2004). Ancak bu koşullar -veriye eklenen gürültü nedeniyle- sağlanamadığından, elde edilen empedanslarda sapmalar (bias) oluşmaktadır. Bu nedenle sinyal/gürültü oranını arttıracak iyileştirme çalışmaları ve gürültü bileşenlerinin etkilerini yok edecek empedans hesaplanma yöntemleri MT değerlendirme çalışmalarında önem kazanmıştır. Kullanılan bu yöntemeler sinyal ve gürültü karakteristiğine bağlı olarak değişmektedir.

3.5. MT Yöntemde Gürültü

MT yöntemde gürültünün kesin tanımı genellikle sinyal ve gürültü kaynaklarının benzer görüngesel özellikte olması nedeniyle oldukça güçtür (Manoj ve Nagarajan, 2003). Ancak gürültü genel olarak;

1-sistematik

2-rastgele

gürültü biçiminde sınıflandırılabilir. Ayrıca gürültü kaynağına göre; ***etken*** ve ***edilgen*** (active-passive) gürültü (örn. Junge, 1996), farklı bileşenlere etkisine göre ***ilişkili*** ve ***ilişkisiz*** gürültü olarak da sınıflanabilir. Bunun yanında gürültü türleri ZS dokusundaki etkisine bağlı olarak ***kısa zaman ölçekli-orta genişlikli, sürekli - geçici, kümeler – iğnecikler*** biçiminde olmasına göre de tanımlanıp sınıflandırılabilir.

MT verisi, ölçü yapılan bölgeye, ölçü süresine, atmosferik koşullara ve alette oluşabilecek sorunlara göre anılan gürültü türlerinden ayrı ayrı etkilenebileceği gibi, bu gürültülerin toplamı olacak biçimde oluşan gürültü etkilerini de veride görmek olanaklıdır. Bu durumda ölçülen bileşenler;

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}^{MT} + \mathbf{E}^{1} + \mathbf{E}^{2} \qquad \textbf{(3.42.a)}$$

$$\mathbf{H} = \mathbf{H}^{MT} + \mathbf{H}^{1} + \mathbf{H}^{2} \qquad \textbf{(3.42.b)}$$

dir. 1. tür gürültü genellikle endüstriyel alanlardaki topraklanma düzenekleri, elektrikli tren rayları, madencilikte kullanılan elektrikli araçlar, elektrik ana dağıtım hatlarında kullanılan kablolardaki kaçaklar nedeni ile oluşur. Genellikle belirli bir frekans ve harmoniklerinde baskın olan bu tür gürültü (örneğin elektrik dağıtım hatları için 50-60 Hz frekanslı ve bunun harmoniklerini içeren gürültü türü) kültürel gürültü olarak da tanımlanır. Bu tür gürültülerden elektrik alan kayıtları manyetik alanlardan daha çok etkilenmektedir (Zonge ve Hughes, 1987). 2. tür gürültü, veride iğnecikler (pick veya impulsive etki) ve/veya veri kaybı biçiminde gözlenir. Ölçü aleti kablo bağlantılarındaki bozukluklar, sıcaklık değişiminin alette oluşturabileceği sorunlar ve atmosferik olaylar bu tür gürültü kaynaklarındandır. Manyetik algılayıcının (sensörün) yakınlarında yeralan ferromanyetik malzemelerin manyetik kanallarda neden olduğu etkiler de ikinci tür gürültü kapsamında değerlendirilebilir. Ayrıca rüzgar veya deniz hareketleri bu tür gürültülerdir ve Junge (1996), bu etkileri manyetik kanallarda gelişigüzel değişimlerin nedeni olarak belirtmiştir.

Chave ve Thomson (2004), kuzey ışıkları etkisiyle kısa zaman ölçekli gürültüler ile yermanyetik salınımlar gibi orta genlikli kaynakların kısa ve geçici zaman ölçekli gürültü etkisinden bahsetmişlerdir. Benzer biçimde ***atmosferik olaylar*** ile ZS dokusunda ve kanalların öz güç yoğunluğu görüngelerinde (GYS) oluşan değişimler Nagarajan (2004)

tarafından vurgulanmıştır (Şekil 6). Manoj ve Nagarajan (2003) ise, yaptıkları çalışmada farklı istasyonlarda kaydedilmiş ve gürültüden etkilenmiş MT zaman serisi örneklerini sunmuşlardır (Şekil 7). Bütün bu etkiler 2. tür gürültü sınıfında değerlendirilebilir. Araştırmacılar Şekil 7.a'da ***yermanyetik (jeomanyetik) salınımların*** etkisi ile E_x ve H_y bileşenlerinin dokusunda oluşan bozucu etkiyi vurgulamışlardır. Şekil 7.b'de gürültü, E_x ve H_y ZS'lerinin mutlak genliklerinin ani artışı ve ardından sinyalin sönümlenmesi ile oluşan ***basamak*** türü bir doku oluşturmuştur. E_y ve H_x kanallarında ise gürültü, kısa zaman ölçekli, genlikte ani değişim ile ***iğnecik*** (impulsive, spike) türü bir gürültüye neden olmuştur. Ayrıca H_z kanalını etkileyen ***rastgele*** gürültü ani genlik değişimi ve ZS dokusunda değişimin nedenidir.

Bunların yanısıra, Şekil 6.a'da aynı renkle işaretli veri ile Şekil 7.b'de yeralan E_y ve H_x bileşenlerindeki iğnecik etkisi, kanallar arasında yüksek uyum gösterir biçimde aynı zaman ölçeğinde yer almaktadır. Şekil 7.b'de sunulan E_x ve H_y bileşenlerindeki basamak türü gürültü ise aynı zaman penceresi için benzer olarak kanallar arası yüksek uyum sunmaktadır.

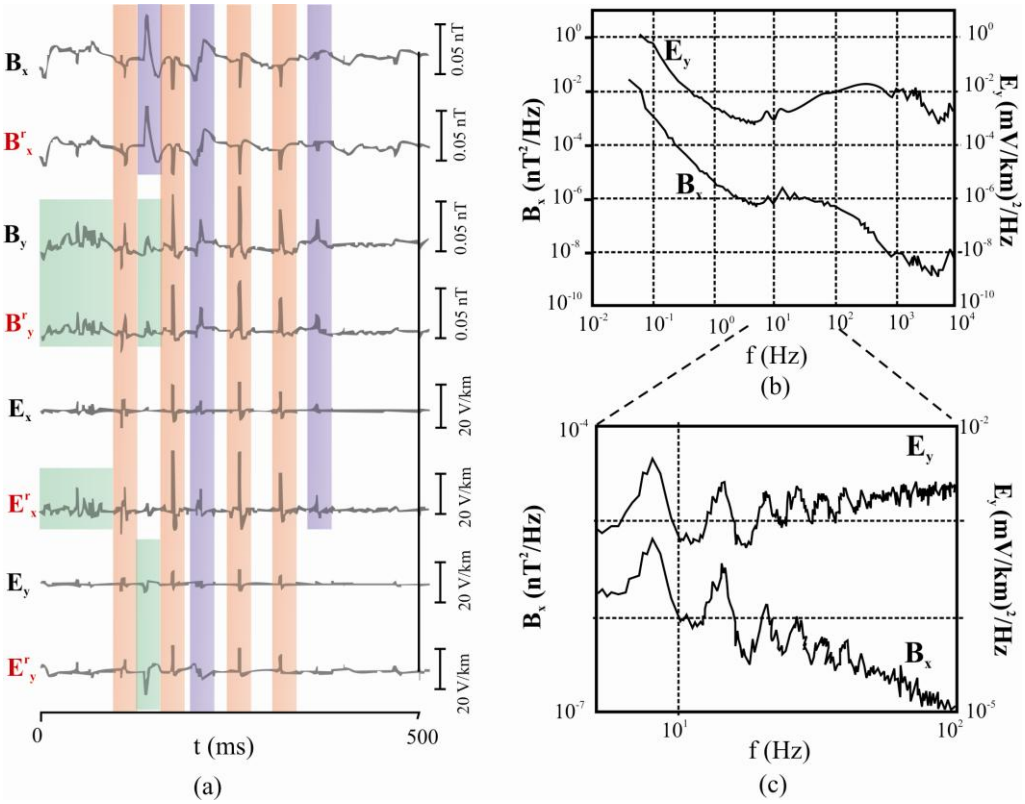
Şekil 8'de tek nokta basamakları (single point steps; box-car shift) biçiminde sinyal dokusunu değiştiren 2. tür gürültüden etkilenmiş E_x ZS sunulmuştur (Nowozynski, 2004).

Atmosferik gürültüden etkilenmiş E ve H kanalları ZS örneği Şekil 9'da yer almaktadır ve Lamarque (1999), rastgele gürültünün genliğinin her iki kanalda da aynı miktarda olduğunu ancak gürültünün manyetik ZS değerlerinden 5 kat daha büyük genlikli olduğunu söylemiştir. Ayrıca araştırmacı bu iki kanalın durağan olmamakla birlikte yüksek uyum gösterdiğini vurgulamıştır (Şekil 9).

Şekil 10 ve Şekil 11'de ise 1. tür gürültüden etkilenmiş ZS örnekleri bulunmaktadır. 2-0.125 Hz frekans bandında pencerelenmiş gürültülü ZS örneğinde 0.8 Hz frekanslı sistematik gürültü, 3 farklı frekans bandında kaydedilmiştir (Şekil 10, Fontes ve ark., 1988, elektirikli çit etkisiyle oluşan gürültü örneği). Şekilde özellikle x yönündeki dönemsel veya tekrarlı etki görsel olarak oldukça belirgindir. Şekil 11'de ise Lamarque (1999), 79 Hz frekanslı endüstüriyel gürültünün H_y kanalını etkilerken E_x kanalını etkilemediğini, böylelikle E_x kanalında durağanlık varken kanallar arasında gürültünün uyumsuz olduğunu söylemiştir.

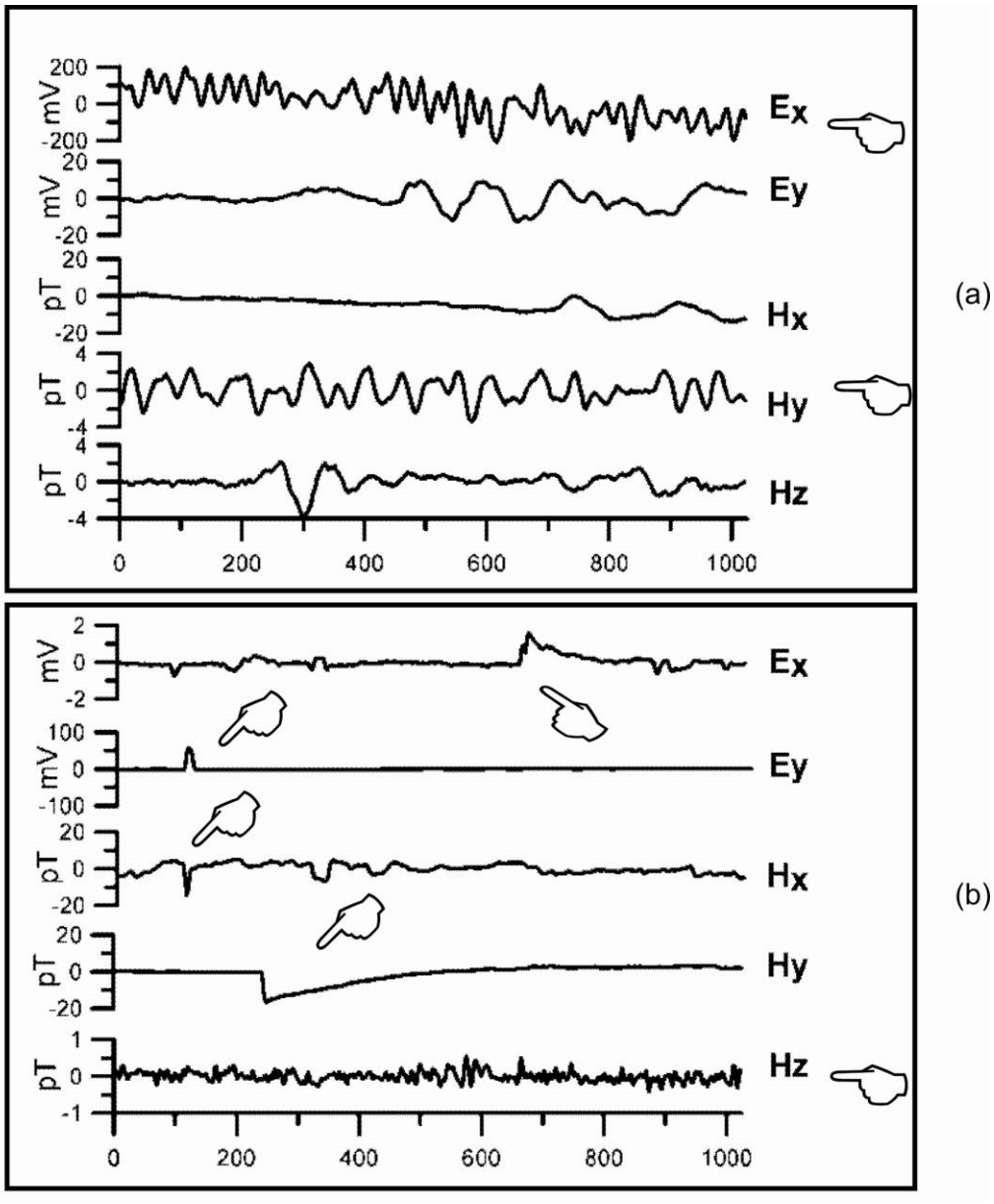
Junge (1996), kültürel gürültüyü tanımlamak için, kaynağı bilinen gürültüden etkilenmiş 3 farklı MT verisini örneklendirmiştir (Şekil 12). İlki düşük iletkenlik sunan granitik yapı üzerinde alınan ölçülerde korozyonsuz boru hattının manyetik alan bileşenlerindeki etkisidir (Şekil 12.a). Şekil 12.b'de yer alan ZS ise, hareketli askeri radar vericisinden etkilenmiş manyetik alan bileşenlerini göstermektedir. Geçici kümelenmeler biçiminde ZS dokusunu bozan bu etkinin frekansı genellikle 100 Hz'in üstündedir (Junge, 1996) ve gürültü manyetik bileşenlerde ilişkilidir. Şekil 12.c'de ise, 70 m derinlikte yer alan deniz tabanı manyetik bobinlerin geminin hareketi sırasında kaydettiği ZS yer almaktadır. 1 dk genişliğinde, 160 nT genliğindeki bu etki, iğnecik türü gürültü için iyi bir örnektir.

2 farklı istasyonda kaydedilen manyetik bileşenin görüngesindeki kültürel gürültü etkisi ise Şekil 13'te sunulmuştur. 1. istasyon şehir merkezine 30 km uzakta yer almaktadır ve güç kaynağı nedeniyle oluşan etkiler (50 Hz ve harmonikleri) bu istasyon verisinde belirgin biçimde gözlenmiştir (Junge, 1996).

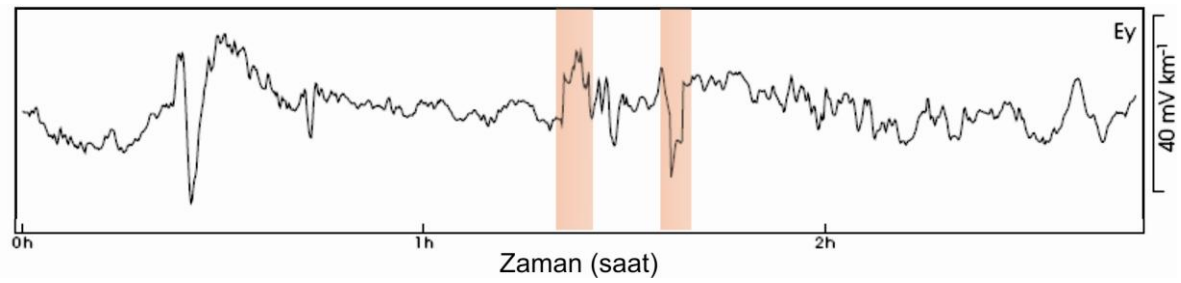


Şekil 6. Gürültülü MT verisi örnekleri (a) MT ZS (b) Elektrik ve manyetik kanalların GYS değişimi (c) 10^1-10^2 frekans aralığı için GYS değişimleri (Nagarajan, 2004'ten türetilmiştir).

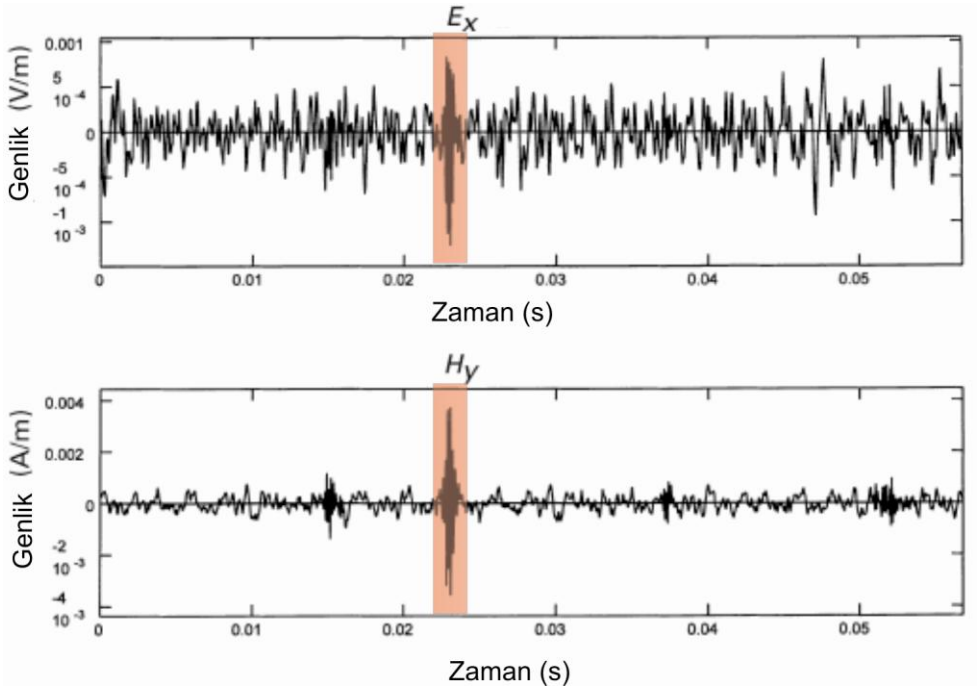
Sonuç olarak, 1. tür gürültü, zaman serisinin genliğinde ve dokusunda değişime neden olurken verinin durağanlığını bozmaktadır. Bu tür gürültü aynı zamanda verinin GYS'inde sapmaya ve saçılmaya neden olmaktadır. Sistematik gürültü ise ZS dokusunda değişime neden olmakta, eğer tüm kayıtta baskın ise ZS'nin durağanlığını bozmamakla birlikte görüngede tekrarlı ve/veya bir frekansta baskın ani değişimlere neden olmaktadır. Gürültünün kaynağına ve ölçü istasyonuna bağlı olarak da zaman veya frekans ortamında gürültülü kanallar arasında yüksek uyum oluşabilmektedir.



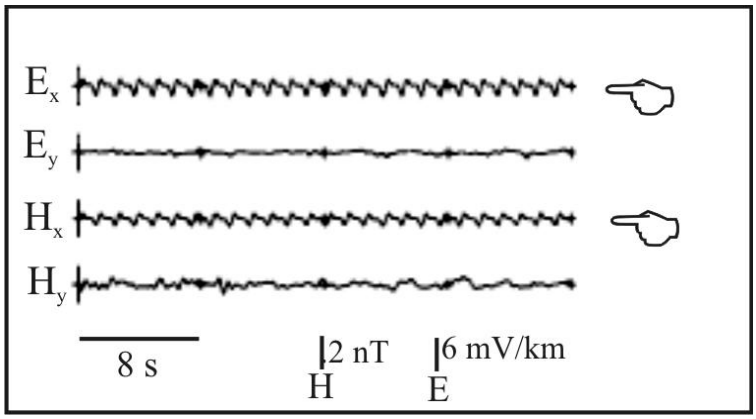
Şekil 7. Gürültülü MT ZS örnekleri (a) yermanyetik salınımlar (b) basamak, iğnecik ve rastgele gürültü etkileri (Manoj ve Nagarajan, 2003).



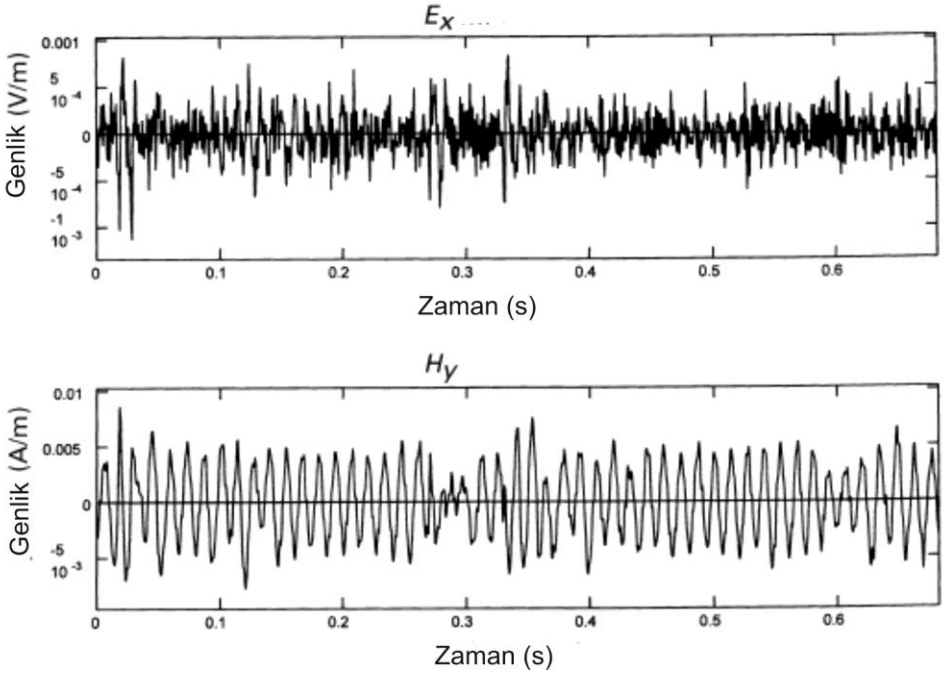
Şekil 8. Tek nokta basamakları biçimindeki gürültüden etkilenmiş MT ZS örneği (box-car shift noise, Nowozynski, 2004).



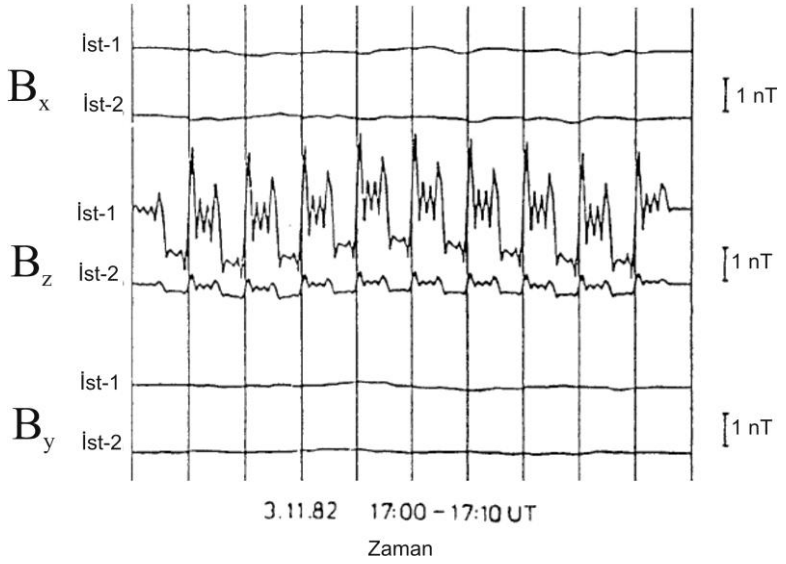
Şekil 9. Atmosferik gürültü örneği (Lamarque, 1999).



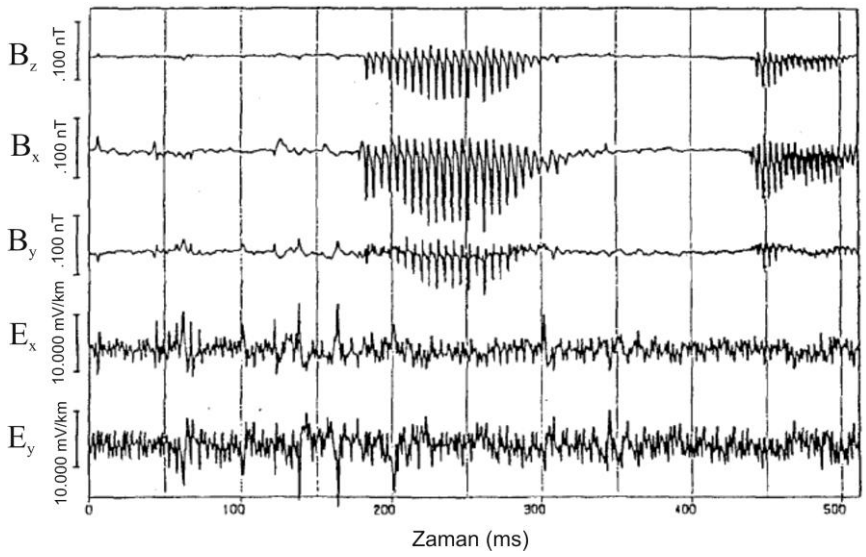
Şekil 10. 4 Kanal MT ZS, dönemsel gürültü örneği (Fontes ve ark., 1988).



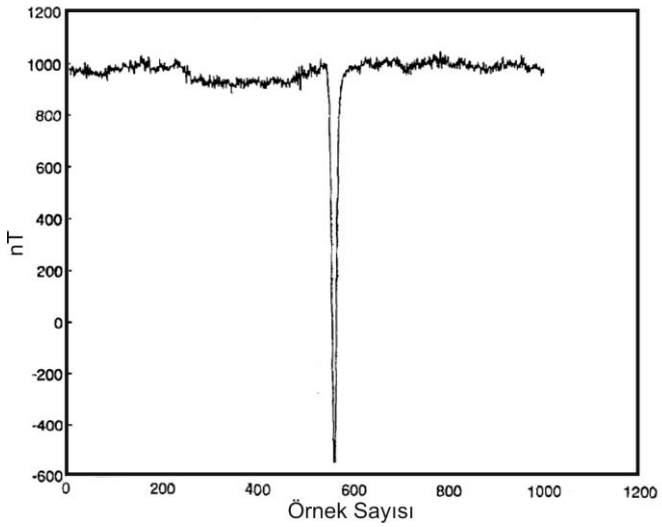
Şekil 11. H_y kanalında dönemsel endüstrüyel gürültü örneği (Lamarque, 1999).



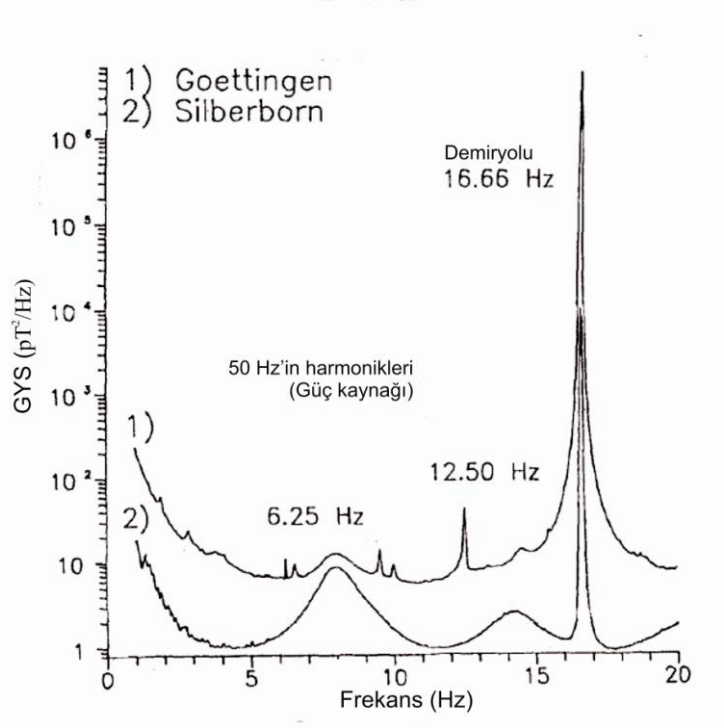
Şekil 12. (a) Korozyonsuz boru hattından etkilenmiş gürültülü ZS örneği, istasyon 1 (İst-1) ve istasyon 2 (İst- 2) H kanalı kayıtları (Junge, 1996).



Şekil 12. (b) Kümelenme türü gürültüden etkilenmiş ZS örneği (Junge, 1996).



Şekil 12. (c) İğnecik türü gürültüden etkilenmiş ZS örneği (Junge, 1996).



Şekil 13. Endüstrüyel gürültüden etkilenmiş manyetik bileşenlerin ortalama GYS değişimleri (Junge, 1996).

Bu durumda E_g; gürültü bileşenini göstermek üzere (3.42.a) eşitliğinden, öz güç yoğunluğu görüngesi;

$$\begin{aligned}\left\langle EE^{*}\right\rangle &= \left\langle E_{MT}+E_{g}\right\rangle\left\langle E_{MT}^{*}+E_{g}^{*}\right\rangle \\ &= \left\langle E_{MT}E_{MT}^{*}\right\rangle + 2\left\langle E_{MT}E_{g}\right\rangle + \left\langle E_{MT}E_{g}^{*}\right\rangle \end{aligned} \qquad \textbf{(3.43)}$$

olur. Burada $2\left\langle E_{MT}E_{g}\right\rangle$ terimi gürültü ilişkisiz ise 0 olacaktır. Bu durumda;

$$\left\langle EE^{*}\right\rangle = \left\langle E_{MT}E_{MT}^{*}\right\rangle + \left\langle E_{MT}E_{g}^{*}\right\rangle \qquad \textbf{(3.44)}$$

dir. Çapraz güç görünge yoğunluğu da benzer olarak;

$$\begin{aligned}\left\langle EH^{*}\right\rangle &= \left\langle E_{MT}+E_{g}\right\rangle + \left\langle H_{MT}^{*}+H_{g}^{*}\right\rangle \\ &= \left\langle E_{MT}H_{MT}^{*}\right\rangle + \left\langle E_{MT}H_{g}^{*}\right\rangle + \left\langle E_{g}H_{MT}^{*}\right\rangle + \left\langle E_{g}H_{g}^{*}\right\rangle \end{aligned}$$

$$= \left\langle E_{MT} H^{*}_{MT} \right\rangle \qquad \textbf{(3.45)}$$

olur. Z_{ij} empedans bileşeni ise;

$$Z_{ij} = Z_{ij}(1 + \frac{\left\langle E_{ig} E^{*}_{ig} \right\rangle}{\left\langle E_{iMT} E^{*}_{iMT} \right\rangle}) \text{veya } Z_{ij} = Z_{ij}(1 + \frac{\left\langle H_{jg} H^{*}_{jg} \right\rangle}{\left\langle H_{jMT} H^{*}_{jMT} \right\rangle})^{-1} \qquad \textbf{(3.46)}$$

dır (Simpson ve Bahr, 2005). Elektrik kanallarındaki ilişkisiz gürültü, (3.46) eşitliğinden de izlenebileceği gibi sinyal/gürültü oranına da bağlı olarak, Z_{ij} empedans bileşenlerinde yukarı doğru sapmaya (upward bias) ve benzer olarak manyetik kanallarındaki ilişkisiz gürültü, empedansın aşağı doğru sapmasına (downward bias) neden olacaktır (Goubau ve ark., 1978).

3.6. Uzak İstasyon (Uİ) Yöntemi

Tek istasyon verisinden empedans kestiriminde genellikle elektrik alandan daha az gürültü içeren, yatay manyetik alan kayıtları kullanılarak (3.44) ve (3.45) eşitliklerinin çözümünden öz ve çapraz güç görüngeleri hesaplanmaktadır. Ancak gürültü varlığında bu yaklaşım daha önce de vurgulandığı gibi Gauss modeline uymaz ve EKK tekniği ile empedans hesaplamalarında istenmeyen sapmalar oluşur (Bölüm 3.5). Bu sorunu gidermek için kullanılan Uİ yöntemi, ölçü noktasından belirli bir uzaklıkta- yerel gürültüden uzakta-kaydedilen elektromanyetik alan bileşenleri ile yerel alan kayıtları arasında öz ve çapraz güç görüngelerinin hesaplanması ile YTF'nin elde edilmesi işlemleridir (Goubau ve ark., 1978; Gamble ve ark., 1979). Vozoff (1991)'a göre Uİ kaydı birkaç yüz metreden birkaç km'ye kadar değişebilir.

Uİ varlığında (3.38) bağıntısı R; elektromanyetik alan bileşenlerini (genellikle yatay manyetik alan bileşenleri) göstermek üzere;

$$Z^{R} = \langle \overline{ER^{*}} \rangle \langle \overline{HR^{*}} \rangle^{-1} \qquad \textbf{(3.47)}$$

biçiminde genelleştirilebilir. Uİ yöntemi manyetik alandaki ilişkisiz, yerel gürültüyü yok etmede işe yarayabilir. Ancak yapılan araştırmalar Uİ ile yerel alan kayıtlarında, aynı

bandlarda gürültü olabileceğini göstermiştir (örn. Rittler ve ark., 1998). Bu durumda ölçü noktası ile benzer gürültüden etkilenen (yüksek ilişkili gürültü durumu) Uİ verileri EKK ile empedans kesitiriminde kullanışlı olmayacaktır. Ayrıca eş zamanlı ölçü alabilecek ikinci bir alete gereksinim duyulması yöntemin çekincelerindendir.

3.7. Ağırlıklandırma Yöntemi (Robust Yöntemi)

Yapılan çalışmalar, empedansın elde edilmesinde geleneksel EKK yönteminin yanında verinin gürültü içeriğine bağlı olarak ağırlıklandırması yolu (robust yöntemi) ile daha durağan (unbiased) sonuçlara ulaşıldığını göstermiştir (örn. Egbert ve Booker, 1986). Böylelikle verideki gürültü nedeniyle oluşan sapmaları düzeltmenin etkin bir yolu olarak günümüze robust yöntemi ile empedans hesaplamaları etkin olarak kullanılmaktadır.

Hampel (2000), "robust" terimini ilke defa Box (1953) ve Box ve Andersan (1955) tarafından kullanıldığını ve ayrıca Huber ve Hampel (1964)'ın robust yaklaşımıyla ilgili ilk kuramsal çalışmalarının ardından, yöntemin geliştirilmeye başlandığını söylemiştir. (Hampel, 2000). Robust; "yaklaşık parametrik modeller statistiğidir" (Hampel, 2000). MT yöntem ERF hesaplamalarında kullanılan robust yöntmeleri;

1. Hatanın (artık değerlerin) hesaplanması,
2. Hatanın ölçeklendirilmesi,
3. Ağırlık fonksiyonunun belirlenmesi

işlemlerine bağlı olarak değişiklik gösterir. Bu yöntemde gürültü etkisi ile, ölçülen ve hesaplanan X çıkış değerleri arasındaki fark olan hatanın, genlik boyutu (Chave ve Thomson, 2004) ile gerçel ya da sanal bileşenleri kullanılmaktadır (Smirnov, 2003). Kabaca, hatanın her bir frekans için yinelemeli olarak en küçük değerinin bulunması biçiminde uygulanan robust yönteminde, ağırlıklandırılmış EKK'den farklı olarak ölçek değişkenli bir işlem uygulanmaktadır. Sutarno (2005), en çok kullanılan 3 farklı ölçek değişkeninden bahsetmiştir. Hesaplama kolaylığı bakımından hataların medyanından mutlak sapması (MAD) ve bunun uyarlanmış biçimleri, MT robust yönteminde en yaygın kullanılan ölçek değişkenleridir. Ayrıca ağırlık değerleri hatalardaki büyük değişimlerin etkisini en aza indirmek için *veri uyarlanabilir* seçilmektedir. Ölçeklenmiş hatanın doğrusal veya üstel bir fonksiyonu biçiminde hesaplanan ağırlık değerleri etkisiyle, regresyon değişkenlerinin birkaç uç değeri (saçılım) sonucu etkilememektedir.

MT yöntemde kullanılan farklı robust yöntemleri arasında en genel yaklaşım Huber M-kestirimi (Huber, 1981) robust yöntemidir (Smirnov, 2003).

Bu yöntemde özetle – Bölüm 3.5 'te örneklendirilen farklı zaman ve frekans ölçeğindeki ε' gürültüsü varlığında; EKK yöntemi ile (3.37) eşitliğine denk, dizey biçimindeki e=hz+ε' eşitliğinin (Chave ve Thomson, 2004) çözümünden empedans (z), regresyon hatası (r, rezidüel) ve ölçek değeri (s) olmak üzere ilksel değişkenler hesaplanır. Herhangi bir ω frekansı için, i; ilişkili bileşen indisi olmak üzere hata, ölçülen (e) ve hesaplanan (e') çıkış değişkenleri arasındaki farktır ve kısaca hata (r)

$$r_i = \left| e_i - e_i^{'} \right| \qquad \textbf{(3.48)}$$

gösterilebilir. Ölçek MAD;

$$s_{MAD} = \frac{\text{med}\{\left| r_i - \text{med}(r_i) \right|\}}{\sigma_{MAD}} \qquad \textbf{(3.49)}$$

Normal dağılımda MAD'ın beklenen değeri; normal dağılım için % 95 güven limitlerinde σ_{MAD}; 0.6745σ'dir (Ripley, 2004), ve ölçeklendirilmiş hatalar genel olarak;

$$rez = \frac{r}{s} \qquad \textbf{(3.50)}$$

biçiminde ifade edilebilir. Huber (1981) diyagonal ağırlık değerleri ise;

$$v_{ii} = \begin{cases} 1 & \left| rez_i \right| \le k \\ \dfrac{k}{\left| rez_i \right|} & \left| rez_i \right| > k \end{cases} \qquad \textbf{(3.51)}$$

dir. k sabiti 1-2 aralığında değişmektedir (1; çok gürültülü veri, 2; kaliteli veri için kullanılır, Hampel, 2000). k=1.5; en çok kullanılan ara değerdir (örn. Sutarno, 2005) ve genellikle orta kalitedeki veri için tercih edilir (k=1.4; Egbert ,1997; k=1.345; Hampel, 2000).

v_{ii} ağırlıklarına bağlı olarak yeniden hesaplanan empedans ***dizey biçiminde***;

$$z_i^v = (h^* vh)^{-1}(h^* ve) \qquad \textbf{(3.52)}$$

dir (örn. Chave ve Thomson, 2004, 6 eşitliği). Ağırlıklar, maksimum yineleme sayısına veya ağırlıklandırılmış hatanın gücünün; her yinelemedeki değişimine (Chave ve Thomson, 1989), bağlı olarak yenilenir (çalışmada j yineleme sayısı ve yinelemenin sonlanması; dur=rvr* değişimine bağlı olmak üzere, $dur_{j+1} = dur_j$ eşitliğinde yineleme sonlandırılmıştır).

Yapılan uygulamalar gürültü seviyesi arttıkça geleneksel M-kestirimi robust yaklaşımının durağan sonuçlar üretmediği göstemiştir (örn. Sutarno, 2005; 2008, Table 1). v_{ii} ağırlıkları büyük r değerleri için yavaş biçimde düşer ve asla 0 olmaz (Chave ve Thomson, 2004). Bu durumda, ani sapmalar için Huber ağırlıkları ile YTF değerlerinde yeterli bir düzelme sağlanamamaktadır. Bu nedenle MT analizde, ölçek ve ağırlıkların hesaplanmasında farklı yaklaşımlar kullanılmaya başlanmıştır. Bu yaklaşımlar içinde özellikle verideki saçılım arttığında, "***hat"*** dizeyinin istatistik özelliklerine bağlı olarak hesaplanan otomatik kesme değeri denetimli ağırlıklandırma işlemi, yaygın olarak kullanılan robust yöntemidir. Bu yöntemde kullanılan ve köşegen elemanları $0 \le Hat_{ii} \le 1$ değişen *hat* dizey;

$$Hat = h(R^* h)^{-1} R^* \qquad \textbf{(3.53)}$$

dir (Huber, 1981). (3.53) eşitlğinde h: yerel istasyon ve R; Uİ verisi varlığında Uİ kaydı yatay manyetik alan bileşenlerini (Uİ verisi kullanılmıyorsa veya yoksa yerel alan yatay manyetik alan bileşenlerini) göstermektedir. *Hat* dizeyine bağlı hesaplanan hatalar ise I; birim dizey olmak üzere;

$$r = (I - Hat)e \qquad \textbf{(3.54)}$$

dir (Chave ve Thomson, 1989, 25 eşitliği). Ayrıca ölçek;

$$s_d = s_{MAD}\sqrt{1-Hat_{ii}} \quad \textbf{(3.55)}$$

biçiminde düzenlenir (örn. Sutarno, 2005).

Thomson (1977), ZS'ndeki çok sayıda saçılmanın olumsuz etkilerini yok etmek için üstel bir ağırlık fonksiyonunun önermiştir (Chave ve ark. 1987).

$$v_{ii} = \exp(-e^{-\xi^2})\exp(e^{-\xi(|rez_i|-\xi)}) \quad \textbf{(3.56)}$$

ξ ; Huber ağırlıklarındaki k'ya benzer bir sabit olup azalmanın başladığı hatanın boyutunu tanımlar (Chave ve Thomson, 1989). Ağırlık fonksiyonlarının sayısı arttırılabilir, örneğin Welch ağırlık fonksiyonu;

$$v_{ii} = \exp(-rez_i^2) \quad \textbf{(3.57)}$$

biçimindedir. *Hat* dizeyi ile hesaplanan ağırlıklar, j yineleme sayısı olmak üzere;

$$w_{ii}^{j} = w_{ii}^{j-1}\exp(-e^{-u_0^2})\exp(e^{-u_0(y_i-u_0)}) \quad \textbf{(3.58)}$$

biçimindedir (Chave ve Thomson 2004). Eşitikte y;

$$y = \frac{MHat_{ii}}{2} \quad \textbf{(3.59)}$$

ve M ise bir önceki yinelemeden elde edilen u^{k-1}'in izidir. Ayrıca burada u_0;

$$u_0 = 1+\log M \quad \textbf{(3.60)}$$

dır (Chave ve Thomson 2004).

Chave ve Thomson (2004), yukarıda da vurgulandığı gibi, Huber M-kestirimi ile empedans eldesinde karşılaşılan sorunlar nedeniyle 2 döngüden oluşan bir robust yöntemi önermişlerdir. Bölüm 4'te uygulamaları sunulan bu yöntemde, *hat* dizeyinin köşegen elemanlarına ve dolayısıyla sadece manyetik alan bileşenine bağlı sınır değeri ile

uyarlanmış ölçek değişkeni kullanmışlardır. Yaklaşım aşağıdaki biçimde özetlenebilir.

1. (3.38)'nin EKK ile çözümünden başlangıç değişkenleri (empedans, hata ve ölçek) hesaplanır.
2. Dış döngüde (3.58) eşitliğinden *hat* dizey ağırlıkları elde edilir ve bu ağırlıklar ile (3.52) eşitliğinin çözümünden yeni empedans, hata ve ölçek hesaplanır.
3. İç döngüde bir önceki yinelemeden elde edilen hata ve ölçek değişkenleri kullanılarak, Huber ve *hat* dizeyi ağırlıklarının çarpımı olan "***karma***"; u=vw ağırlığı ile z_u yinelemeli biçimde hesaplanır. Yineleme, ağırlıklandırılmış hatanın gücü, sınır değerinin altına düşene kadar devam eder. Son olarak da sabitlenen ölçek ve hatalar ile (3.56) eşitliğinden Thomson ağırlıkları ile ağırlıklandırılan değişkenlerden empedans kesitirimi yapılmış olur.

Basit bir doğrusal başlangıç modeli için, hata genlikleri ve farklı ağırlık fonksiyonları kullanılarak elde edilen kestirimler Ek-2, Şekil 1'de sunulmuştur (tüm ağırlık fonksiyonları için k=1.5 alınmıştır). Verideki saçılma arttıkça (gürültü) farklı ağırlık fonksyionlarının sonuçları birbirinden ayrılmaktadır. Ancak, verinin ağırlıklandırılması yöntemi olan robust yaklaşımında, veride gürültü baskın ise, sonuçların gürültüyü izleyen biçimde yönelim sunacağı unutulmamalıdır.

3.8. Özgüç görüngesi yoğunluğu (GYS) ile etki değeri- iğnecik- GYS'ye bağlı sınıflama (GYS sınıflaması- İEG sınıflaması)

MT ZS'deki farklı gürültü bileşenleri, verinin öz ve çapraz güç görüngesinde saçılmaya (Şekil 13) ve bu nedenle de YTF'de sistematik hatalara neden olmaktadır. Weckman ve ark. (2005), bu etkiyi farklı frekans değerleri için incelemişler ve yaptıkları gürültü yoketme çalışmalarıyla giderilebileceğini vurgulanmıştır. Araştırmacılar, veri hazırlama aşamasında, güç yoğunluğu görüngesi, uyum ve YTF'nin fiziksel ve istatistiksel değişimlerine dayanan bir görsel denetim ile, belirli bir gürültü kabulü çerçevesinde, ön eleme çalışması gerçekleştirmişlerdir. Benzer olarak öz güç yoğunluğu görüngesinin (***GYS***) istatistiksel özelliklerine bağlı olarak bir sınıflama yapılabilmekte ve bu ani değişimlerin etkisi yok edilebilmektedir (Şengül, 2009; Şengül ve ark., 2010). Herhangi bir görsel düzeltmeye gerek kalmaksızın gürültü etkisiyle GYS değerlerinin durağanlığını bozan zaman pencerelerinin ön elemesi, GYS sınıflamasının temelini oluşturmaktadır. Bu amaçla tüm zaman serisi sabit sayıda değer içeren segmentlere ayrılır ve bu segmentlerin

YTF hesaplamasında kullanılan kanallar için (yatay elektrik ve manyetik alan bileşenleri) eş zamanlı olarak GYS indeksine bağlı *eleme kriterini* geçmesi beklenir.

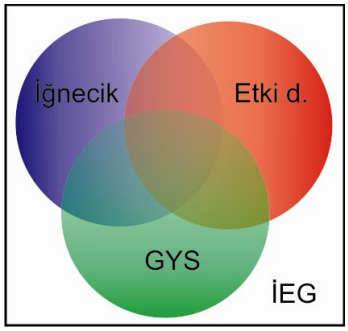
Herhangi bir f frekans değeri (veya $[f_i\ f_{i+n}]$ aralığı) için, bir X kanalının, i; segment numarası, S^f_{iGYS}; i. segmentin GYS değeri ve K^f_{GYS}; bütün kaydın GYS değerini göstermek üzere, GYS sınıflama indeksi;

$$\text{İnd}_{iGYS} = \begin{cases} 1, & S^f_{iGYS} \geq \text{medyan}(K^f_{GYS}) \pm \text{std} \\ 0, & S^f_{iGYS} < \text{medyan}(K^f_{GYS}) \pm \text{std} \end{cases} \quad \textbf{(3.61)}$$

biçimindedir. GYS sınıflamasında süreç, ***toplam frekans sayısı için***, 4 kanal verisinin her bir segmentinin, incelenen frekans değerlerinde, GYS indeksi ortalaması kritik değerden küçük ise –örneğin % 70'ten- o segmentin elenmesi biçimindedir. Bu kritik değerin % 100'e eşit alınması daha güçlü bir sınıflama (4 kanalın da tüm segment ve frekanslarda GYS indeksinin 1 olması durumu), dar hata aralığının kabulü ve az sayıda segmentin sınıflamayı geçmesi anlamına gelirken, % 70'nin altında olması ise kabul edilen hata aralığının artması anlamına gelmektedir. Böylelikle kanallar arasında yüksek uyum sunan gürültülü segmentler ile uyum göstermese bile kanallarda birden fazla frekansta (% kriterine bağlı olarak), baskın gürültü içeren segmentler elenir.

Verinin frekans ortamı özelliklerine bağlı GYS sınıflamasının yanında, ZS dokusunu bozan etkiler için de ortak bir sınıflama ile gürültü yok etme yoluna gidilebilir. Bu amaçla tüm ZS'nin her segmenti iğnecik, etki ve GYS değişimlerine bağlı olarak 0-1 (gürültülü-gürültüsüz) olarak indekslenir.

Bu çalışmada; segmentin iğnecik indeksinin 0 olması (gürültülü) için; ikinci türev hesaplamaları ile belirlenen iğneciklerin mutlak genliğinin, segmentin ortalama mutlak genliğinden en az 2 katı fazla olması ön koşulu MT veri karakterine en uygun yaklaşım olarak belirlenmiştir. Verinin etki değerlerine göre 0 (gürültülü) indeksi ise, segmentlerin yüzde etki değerlerinin % 70'ten büyük ve eşit olduğu durumları tanımlamaktadır.Sonuç olarak İEG indeksi, anılan 3 niteliğe bağlı değişimin kesişim kümesidir ve YTF eldesinde kullanılan kanalların aynı anda gürültüsüz olarak tanımlandığı segmentlerin seçiliminde bir değişken olarak kullanılabilir (Şekil 14).



Şekil 14. İEG indeksi şeması.

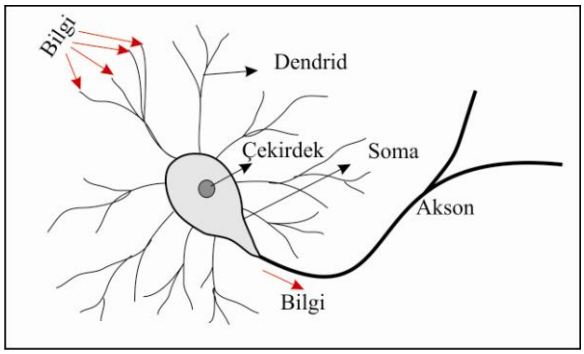
3.9. Yapay Sinir Ağı (YSA) Yöntemi ile Sınıflama

MT zaman serisini görsel olarak düzeltmek daha önce de vurgulandığı gibi öznel ve oldukça zaman alıcı bir iştir. Bu nedenlerle verinin görsel olarak düzeltilmesine bir seçenek ve otomasyon getirmek için günümüz teknolojisinde sıkça kullanılan yapay sinir ağı (YSA) yöntemi, MT yöntem ZS analiz çalışmalarında da kullanılmıştır.

Zurada (1992)'ye göre YSA fiziksel bir hücre sistemidir ve insan beyninin öğrenme ve karar verme gibi işlevleri örnek alınan YSA yönteminde bilgi, elde edilebilir, saklanabilir ve sonra yeniden kullanılabilir. Bu yöntemde, nöron, sinir veya süreç (process) elemanı gibi adlar da verilen hücreler, insan beyni sinir hücresine benzetilmektedir. Nöronlar, dentridler aracılığıyla diğer hücrelere bağlanmakta ve hücreye bilgi girişi bu birimler ile sağlanmaktadır. YSA yönteminde ise topolojiye bağlı olarak hücreler farklı biçimlerde birbirlerine bağlanır ve katmanları (ağı) oluşturur. YSA'da girişler ile bu girişlerle ilgili ağırlıkların çarpımlarının toplamı olan *toplam fonksiyonu* net girişi hesaplar. Aktivasyon fonksiyonu (etkinleştirme fonksiyonu, transfer fonksiyonu olarak da isimlendirilir) ise işlem süresince net çıkışı hesaplamakta kullanılır. İnsan beyninde ise bu işlemlerin sinir hücresi gövdesinde gerçekleştiği ve aksonlar aracılığıyla bilgi çıkışı sağlandığı bilinmektedir (Şekil 15).

YSA'nın sağladığı en önemli yenilik YSA modelinin, ilgilenilen probleme yönelik ***öğrenme*** becerisi geliştirilebilmesi ve çözüme ilişkin ***karar verme*** yeteneklerinin kullanılabilmesidir. Bunun için ağın eğitilmesi gerekir. Farklı öğrenme algoritmaları kullanılarak, modelin hatasını en küçük yapan değişkenlerin yinelemeli biçimde hesaplanması sürecine ***eğitim*** denir. YSA öğrendikten sonra, daha önce kullanılmayan veri grubu ağa giriş verisi olarak sokulup, ağın karar vermesi istenir. Bir kural olmamakla

birlikte genellikle eğitim örneklerinin % 80'i ağa verilip ağ eğitilirken, geri kalan % 20'si ile de ağ test edilir.



Şekil 15. İnsan beyni nöron yapısı (Van der Baan ve Jutten, 2000; Şekil 1.a'dan değiştirilerek).

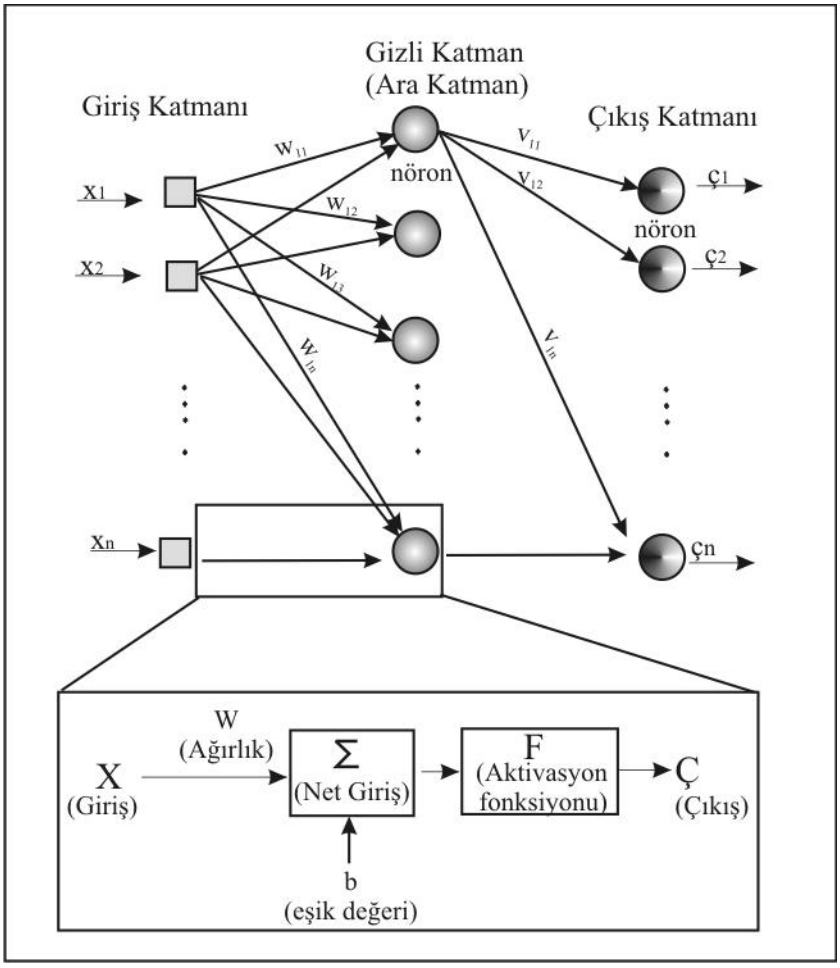
3.9.1. YSA Modeli

YSA'nın tarihsel gelişimi içinde birçok model geliştirilmiştir. YSA modelleri genel olarak;

1. Ağ topolojisine (kaç katman, kaç nöron)
2. Bağlantı biçimine (katmanlar arası ve sinirler arası bağlantı vb.)
3. Öğrenme yöntemine (danışmalı-danışmasız öğrenme vb.)

bağlı olarak değişir. Doğrusal olmayan problemlerin çözümünde çok katmanlı ileri beslemeli ağlar, en çok tercih edilen YSA modelleridir. Bu tür ağlarda veri akışı girişten çıkışa doğru tek yönlüdür ve aynı katmandaki nöronlar arası bağ bulunmamaktadır (Şekil 16). Ayrıca bu YSA modelinin uygulama kolaylığı ve probleme kolay uyarlanabilmesi uygulanabilirliğini arttırmaktadır (Şahin, 2005).

Giriş, gizli ve çıkış katmanlarından oluşan YSA modelinde süreç (proses) giriş katmanındaki verinin ağırlıklarla çarpılarak nöronlara ve toplama fonksiyonuna gelmesiyle başlar (Şekil 16).



Şekil 16. Bir ara katmandan (gizli katman) oluşan ileri beslemeli ağ mimarisi (Şengül, 2008a).

Şekil 16'da sunulan modele göre; X; giriş verisi, W; ağırlık değerleri, k; katman (tabaka-layer) sayısı, i; nöron sayısı ve b; eşik (veya sapma) değeri olmak üzere net giriş T;

$$T_i^k = \sum_{j=1}^{n_k} (x_j w_{ji}) + b_i \qquad \textbf{(3.62)}$$

dir. T net girişi, φ; aktivasyon fonksiyonunun (Şekild 16'da F ile gösterilmiştir) serbest değişkenidir ve Ç çıkış;

$$Ç_i^k = \varphi(T_i^k) \qquad \textbf{(3.63)}$$

olarak ifade edilir. Eşik değeri giriş verisinden bağımsız olarak ***aktivasyon*** fonksiyonunun konumunu kaydırmak için sabit bir sayı olarak toplam değere eklenir (Elmas, 2003). YSA

modellerinde, sadece binary çıkış üreten, doğrusal ve doğrusal olmayan fonksiyonlar gibi farklı aktivasyon fonksiyonları kullanılmaktadır (örn. Van der Baan ve Jutten, 2000, Şekil 1.d ve EK-3, Çizelge 1). Eğrisel aktivasyon fonksiyonları örneğin [0 1] aralığında çıkış üreten "Sigmoid" sürekli fonksiyonu, öğrenen modellerde en çok kullanılan fonksiyonlardır (Elmas, 2003).

Bundan sonraki aşamada ağın eğitilmesi ile ağ parametrelerinin güncellenmesi gerekir. Bu tür ağ modellerinde genellikle danışmalı öğrenme algoritması olan geri yayılım algoritması kullanılmakta ve bazen bu ağlara *geriye yayılım ağları* da denmektedir. Değişkenler genel olarak hatanın çıkıştan girişe doğru dağıtılması biçiminde güncellenir. Bu nedenle türevlenebilir bir aktivasyon fonksiyonu seçilmelidir. Örnekler ve beklenen çıkışlar verilerek eğitilen ağ (ö*ğretmenli öğrenme işlemi)*, bu örneklerden yola çıkarak bir genelleme yapabilmektedir. Bu tür YSA modellerinde öğrenme, (çok katmanlı ağ modelleri) *genelleştirilmiş delta kuralına* dayanır (Öztemel, 2003). Bu işlem toplam hatadan, ağırlık ve eşik değerlerindeki değişimin belirlenmesi ve çıkıştan başa doğru hatanın dağıtılması, yani nöronların bağlantılarındaki ağırlıkların yenilenmesi biçiminde olmaktadır (ağırlıklar gizli katman-çıktı katmanı arasındaki bağlantılar için ve ara katman-giriş katmanı arasındaki ağırlıkların değiştirilmesi biçiminde gelişir).

i. nöron için oluşan; h_i hedef ve $Ç_i$ çıkış değeri arasındaki toplam karesel hatanın (E) geriye yayılması; E'nin en küçük değerini aldığı noktanın yinelemeli olarak bulunabilmesine dayanmaktadır. Aşağıdaki matematiksel türetim ve analiz Efe ve Kaynak (2000)'den düzenlenerek aktarılmıştır. W_{ij}; i. ve j. nöronların bağlantısının ağırlık değeri;

$$\Delta W = -\eta \frac{\partial E}{\partial W_{ij}^{k}} \qquad \textbf{(3.64)}$$

türev zincir kuralı ile çözüldüğünde;

$$\Delta W = -\eta \frac{\partial E}{\partial Ç_i^{k+1}} \frac{\partial Ç_i^{k+1}}{\partial T(net)_i^{k+1}} \frac{\partial T(net)_i^{k+1}}{\partial W_{ij}^{k}} \qquad \textbf{(3.65.a)}$$

$$\Delta W = -\eta (h_i - Ç_i^{k+1}) \frac{d\vartheta(T(net)_i^{k+1})}{dT(net)_i^{k+1}} \frac{\partial}{\partial W_{ij}^{k}} (\sum W_{ij}^{k} Ç_i^{k}) \qquad \textbf{(3.65.b)}$$

$$\Delta W = -\eta(h_i - Ç_i^{k+1})\vartheta'(T(net)_i^{k+1})Ç_i^k \quad \textbf{(3.65.c)}$$

elde edilir. δ ifadesi; k+1. katmandaki hata için (k+1. katman çıkış katmanı ise, k. katman ara katman olarak düşünülebilir)

$$\delta_i^{k+1} = E_i\vartheta'(net) \quad \textbf{(3.66)}$$

dir. Her bir çıkış nöronundan gelen hatanın kullanılması ile ağırlık parametresindeki değişim;

$$\Delta W_i^k = \eta\delta_i^{k+1}Ç_i \quad \textbf{(3.67)}$$

olur. Bu aşamada ara katman ile çıktı katmanı arasında değişken güncelleme; a. yinelemede;

$$W_{ij}^k(a) = W_{ij}^{k+1}(a-1) + \Delta W_{ij}^k(a) \quad \textbf{(3.68)}$$

dır. Benzer biçimde eşik değerlerinin güncellenen değeri;

$$b_i^k(a) = b_i^{k+1}(a-1) + \Delta b_i^k(a) \quad \textbf{(3.69)}$$

olur.

Eğitim algoritmalarının bazı üstünlük ve zayıflıkları vardır. Bu zayıflıklardan biri olan türev değerlerindeki ani sıçramalar, μ; momentum çarpanı ile düzeltilebilmektedir. Momentum katsayısı, ağın öğrenme sırasında yerel bir en küçük değere (lokal minimum) takılıp kalmasını engeller (Öztemel, 2003). Genellikle 0-1 aralığında seçilen momentum katsayısı bellek gereksinimini arttırırken, hata yüzeyindeki küçük değişimler süzgeçlenmiş olmaktadır. μ=0 için algoritma *ölçünlü* (*standart) geriye yayılım algoritması* olarak tanımlanır (Şahin, 2005). Momentumlu ağırlıklar;

$$W_{ij}^k(a) = \mu W_{ij}^{k+1}(a-1) - \Delta W_{ij}^k(a) \quad \textbf{(3.70)}$$

biçiminde elde edilir.

Öğrenme hızı, öğrenme katsayısına (ağırlıkların değişiminde adım büyüklüğüne) bağlı olarak değişebilmektedir. Bu katsayının belirlenmesinde ise bir kural olmayıp, küçük öğrenme katsayısı için hatanın en küçük değerinin bulunması fazla zaman alırken, çok büyük değerlerde tehlikeli biçimde ıraksama oluşabilmektedir. Bu değer genellikle pozitif ve 0-1 aralığında bir sayı seçilmektedir (Elmas, 2003). Problem türüne göre uyarlanabilir öğrenme oranının ($\Delta\eta$) belirlenmesi YSA çalışmalarında yaygın olarak kullanılan yaklaşımdır.

Ağın eğitimi başlangıçta belirlenen bir yineleme sayısına veya atanan hata değerine kadar devam eder.

Giriş verisinin seçimi ağın eğitimini etkileyen önemli bir olgudur. Eğitim ve test işlemi için, tüm veri kümesini tanımlayacak en uygun örneklerin giriş verisi olarak belirlenmesi YSA'nın başarısını etkilemektedir. Ayrıca bir zaman serisinde yapılacak YSA çalışması için başlangıçta ön işlemlerin yapılması (varsa yönsemesinin giderilmesi gibi) gereklidir. Manoj ve Nagarajan (2003)'ın da vurguladığı gibi, verinin normalize edilerek ölçeklendirilmesi ise, girişlerdeki aşırı değerlerin etkisinin azalıp ağın yanlış yönlenmesini engelleyeceği gibi, farklı ortamlardan gelen verilerin aynı ölçekte birlikte değerlendirilmelerine de olanak sağlayacaktır.

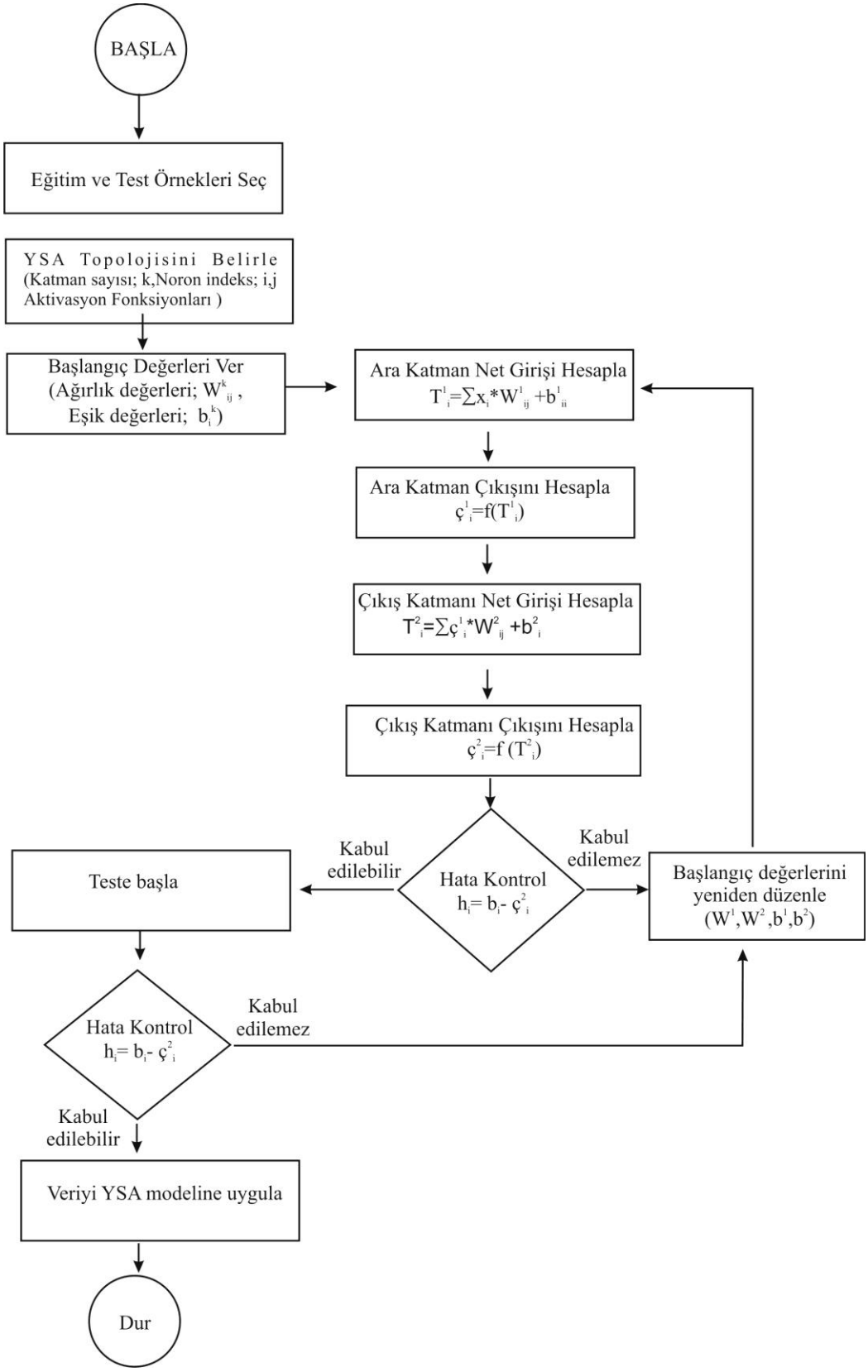
YSA eğitimi için fazla sayıda veriye gereksinim olması bu yöntemin diğer bir çekincesidir. Ancak araştırmalar yeterli veri olmaması durumunda giriş kümesinin kendi içinde türetilerek kullanılabileceğini göstermiştir. Diğer bir çekince de elle yapılan sınıflamaların YSA sonuçları ile bazen yüksek benzerlik sunmasıdır. Bu durumu Manoj ve Nagarajan (2003), ağın işleyişinin insan beyninin çalışmasını örnek almasından kaynaklandığını belirtmişlerdir.

YSA modelinde gizli katmandaki nöron (sinir) sayısının ne olması gerektiği konusunda bir sınırlama yoktur, genellikle deneme yanılma yoluyla belirlenir. Az miktarda belirlenen nöron, ağın öğrenme yeteneğini olumsuz yönde etkilerken (Elmas, 2003), aşırı sayıda seçilmesi ağın ezberlemesine neden olmaktadır. Bu durum sadece o veri için doğru tahmin yapan modelin bir sonraki veri için yetersiz kalmasına yol açmaktadır.Van Der Baan ve Jutten (2000), ara katmandaki nöron sayısının eğtim veri sayısından büyük

olmaması gerektiğini söylemişlerdir. Araştırmacılar, ağın hata değişimine bakarak, deneme yanılma yoluyla küçük nöron sayısından başlayarak en uygun sayıyı bulmayı önermişlerdir.

MT analizde Manoj ve Nagarajan (2003), YSA'nın yaygın biçimi *ileri beslemeli ağ modelini* kullanarak gürültü yok etme uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar geliştirdikleri 3 katmanlı ağ modelini eğitmek için *geri yayılımlı* öğrenme algoritmasını ve aktivasyon fonksiyonu olarak da geri yayılımlı ağlarda kullanılan "*Sigmoid"* fonksiyonu kullanılmıştır.

Şengül (2008b) ise, çok katmanlı ileri beslemeli geri yayılımlı YSA modeli ile, zaman ve frekans ortamı verinin sınıflanmasına yönelik bir çalışma yapmıştır. Akış şeması Şekil 17'de sunulan çalışmada, sınıflandırılmak istenen veriyi tanımlayacak uygun eğitim verisi belirlendiğinde, ağın örnekleri başarı ile sınıfladığı gözlenmiştir.



Şekil 17. İki katmanlı ileri beslemeli, geri yayılımlı YSA akış şeması.

BÖLÜM 4
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde MT veri değerlendirmede, ***gürültü yok etme uygulamaları*** 2 farklı arazi verisi ile bir yapay veri kullanılarak örneklendirilmiştir. Geliştirilen gürültü yok etme yöntemlerinin üstünlüğü ve çekinceleri yapay veri uygulamasında incelenmiş daha sonra bu yöntemler MT arazi verilerine kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar aynı nitelikler için aynı ölçek kullanılarak, geleneksel MT değerlendirme çalışmalarıyla birlikte grafiklenerek sunulmuştur. Uygulamada kullanılan işlem adımları aşağıdaki biçimdedir:

1. Zaman serisinde herhangi bir görsel seçim yapılmamıştır.
2. Zaman serisi sabit örnekli alt segmentlere ayrılmış, bu segmentlerden doğrusal yönseme giderilmiş, pencerelenerek Fourier dönüşümü ile frekans ortamına geçirilmiştir.
3. YTF hesaplamaları öncesinde her segmentin zaman ve frekans ortamı istatistik özellikleri (etki değeri, iğnecik, doğrusal ilişki katsayısı gibi) incelenmiştir. Bilindiği gibi doğrusal ilişki katsayısı, iki degiskenin ortalamaları etrafında birlikte gösterdikleri değişimin ölçüdür ve değişintinin, iki değişkenin standart sapmalarının çarpımına oranıdır (n; veri sayısı, σi; i. verinin standart sapması ve doğrusal ilişi kaysayısı $R_{XY} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sigma_x \sigma_y}$).
4. Veriye ölçek düzeltmesi uygulanmış, farklı MT bileşenlerinden öz ve çapraz güç görünge yoğunlukları hesaplanmıştır. Çapraz güç hesaplamalarında yatay manyetik alan bileşenleri kullanılmıştır. Ayrıca Örnek-1 için Uİ verisi çapraz güç görüngesi hesaplamalarında kulanılarak, tek istasyondan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.
5. Gürültülü veriden doğrudan EKK ve Bölüm 3'te açıklanan verinin ağırlıklandırılması (robust) yöntemleriyle YTF hesaplanmıştır. Robust yönteminde, Bölüm 3, (3.41) eşitliğindeki, ölçülen çıkış ve hesaplanan çıkış değerleri arasındaki hatanın bir ölçüsü olan çoklu karesel uyumun gerçel değerleri başlangıç ağırlık değerleri olarak kullanılmıştır (Uyum denetimli karma ağırlıklı robust; UKA robust). $\bar{X}$ ifadesi Uİ için manyetik alan bileşenleri, *; karmaşık eşlenik, S_{XY}

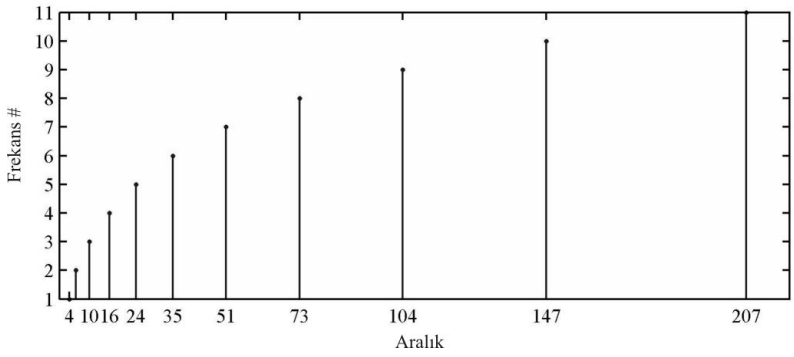
(3.35) eşitliğinin karesi çapraz güç görünge yoğunlukları (S_{XX} öz güç yoğunluğu) olmak üzere uyum (veya çoklu uyum);

$$\gamma_{ij} = \frac{|S_{YX}(\bar{S}_{XX})^{-1}\bar{S}_{XY}|^2}{S_{YY}\bar{S}^{*}_{XY}(\bar{S}^{*}_{XX})^{-1}S_{XX}(\bar{S}_{XX})^{-1}\bar{S}_{XY}} \qquad \textbf{(4.1)}$$

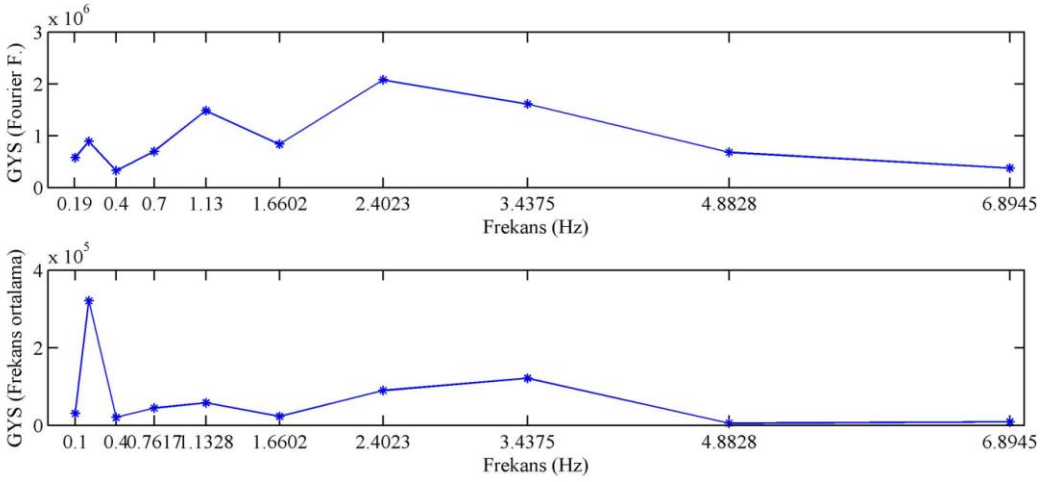
dır (Chave ve Thomson, 2004). Bu ifade, gerçel ve genlik için aynı değeri verirken, sanal kısmı 0 olarak elde edilmektedir. Geleneksel UKA robust yönteminde uyum denetimli başlangıç ağırlıkları, segmentlerin tanımlanan frekans aralığında, toplam uyumunun en küçük değeri temel alınarak 0-1 olarak belirlenmektedir.

6. YSA modelinde bir kural olmayıp problem türüne göre ağ topolojisi deneme yanılma yoluyla belirlenmektedir. Bu çalışmada eğitim süresi, modeli oluşturmada bir kriter olarak dikkate alınmıştır. 3 katmanlı YSA modeli yapay veride test edilmiş arazi verilerinde genişletilmiş gürültü tanımı için uygulanmıştır.

Değerlendirme çalışmalarında frekans ortamı hesaplamalar doğrudan ilgilenilen frekans değerleri için yapılabileceği gibi, logaritmik artan aralıklar için, ortalama alınarak hesaplanan frekans değerlerine göre de yapılabilir (Şekil 18 a). Bu çalışmada da uygulanan ortalama alma işlemi, zaman ortamı pencereleme ve örnekleme aralığına bağlı olarak tanımlanan kesme frekans değerine göre seçilen frekans aralıkları için yapılmıştır (Simpson ve Bahr, 2005). Örneğin değerlendirmede verinin GYS değişimi, doğrudan incelenen frekans değerleri yerine ortalama alma işlemi ile yığınsal olarak hesaplandığında, düşük frekanslardaki düşük genlikli etkiler ön plana çıkacaktır (Şekil 16 b). Bu durum özellikle GYS indeksleme çalışmalarında düşük frekanslardaki gürültüleri sınıflarken önem kazanmaktadır.



(a)



(b)

Şekil 18. (a) Fourier frekanslarından ortalama frekans değeri hesaplamada kullanılan frekans aralıkları örneği (b) Örnek-2 verisi E_x kanalı 1. segment, GYS'nin Fourier frekansına ve ortalama frekansa göre değişimleri.

4.1. Yapay Veri

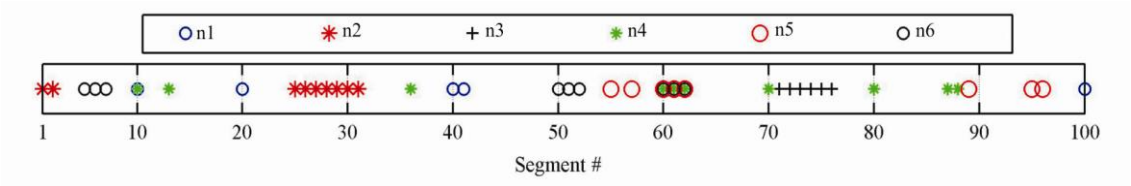
İlk örnek uygulama için zaman ortamında [-1 1] genlikli ve rastgele değerlikli iki yapay manyetik alan bileşeni (H_x ve H_y) oluşturulmuştur. Gerçek arazi verisinin tersine, rastgele seçilen yapay veri -gürültü eklenmediğinde- birbirinden bağımsız ve ortagonaldir. Kuramsal Z empedans köşegen elemanları, Goubau ve ark., (1978)'da da önerildiği gibi Z_{xy}~ Z_{yx} olarak belirlenmiştir. Ayrıca bütün empedans bileşenleri birbirinden farklı ve frekanstan bağımsız seçilmiştir.

Verinin örnekleme frekansı 20 Hz, bir segment için veri sayısı 512 olarak belirlenmiştir. Kuramsal empedans değerleri ve gürültüsüz manyetik alan bileşenleri ile (3.38) eşitliğinden frekans ortamı elektrik alan değerleri hesaplanmıştır.

Gürültü yok etme uygulaması için rastgele değerlikli ZS'ye, farklı frekans ve zaman ölçeğinde, farklı genliklerde, iğnecik (örneğin Ricker dalgacığı) ve dönemsel (sinüs fonksiyonu) gürültü eklenmiştir (Çizelge 1). Gürültü bileşenlerinin hangi segmentleri etkilediği Şekil 19'da yer almaktadır.

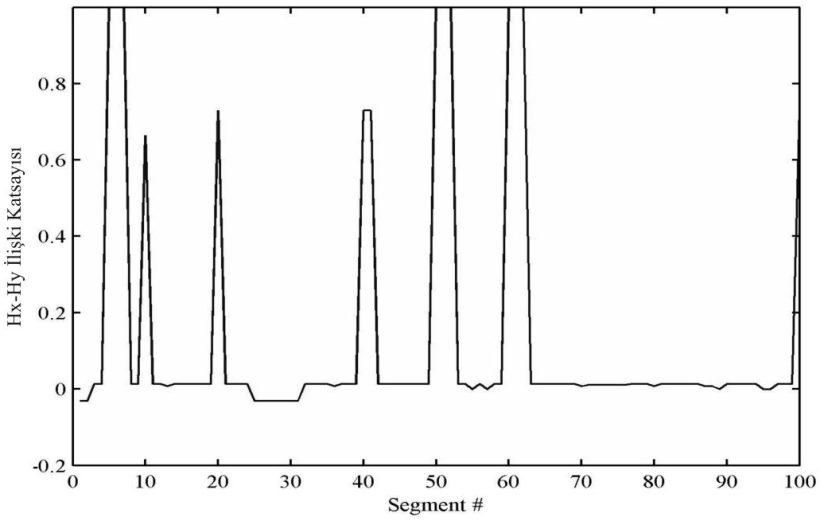
Çizelge 1. Yapay veri için kullanılan gürültü türleri

n1	H_x ve H_y kanalları ilişkili rastgele gürültü; $H_x=H_y+n1$
n2	Dönemsel gürültü; $\text{Sin}(2\pi f_1 t)$, f_1= 0.48828 Hz, [-1,1] aralığında genlikleri normalize edildi
n3	İğnecik etkisi; $3(1\text{-}2(\pi^2 f_2^2)(t-100dt)^2 e^{(-\pi^2 f_2^2)}(t-100dt)^2)$, f_2=6.8945 Hz
n4	İğnecik ve dönemsel gürültü; $3(1\text{-}2(\pi^2 f_3^2)(t-356dt)^2 e^{(-\pi^2 f_3^2)}(t-356dt)^2+\sin(2\pi f_4 t))$, f_3=1.1328, f_4=2.4023 Hz, [-1, 1] aralığında genlikleri normalize edildi
n5	İğnecik ve dönemsel gürültü; n4 genlik normalize edilmeden kullanıldı
n6	H_x ve H_y kanalları ilişkili iğnecik etkisi; $H_y=H_x+n3$

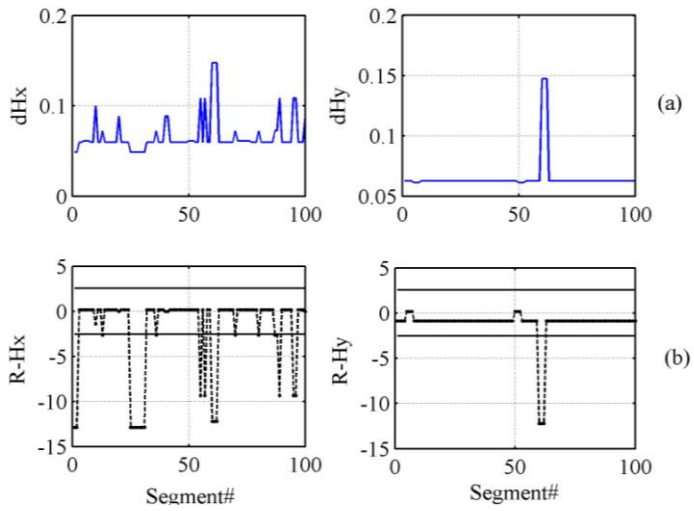


Şekil 19. Yapay veri için gürültülü segment numaraları ve gürültü türleri (6 gürültü türü de 60, 61 ve 61. segmentlerde etkindir).

Gürültülü H_x ve H_y zaman ortamı verilerinin, doğrusal ilişki katsayısı özellikle bütün gürültü türlerinin etkin olduğu 60, 61 ve 62. segmentler ile 1. ve 6. gürültü türlerinin eklendiği segmentlerde beklendiği gibi yüksektir (Şekil 20). Ayrıca gürültü etkisiyle verinin durağan ve bağımsız olma koşulu bozulmuştur (Şekil 21). Şekil 21.b'de sürekli düz çizgiler saçılımın kabul edilebileceği sınır değerlerini göstermektedir.

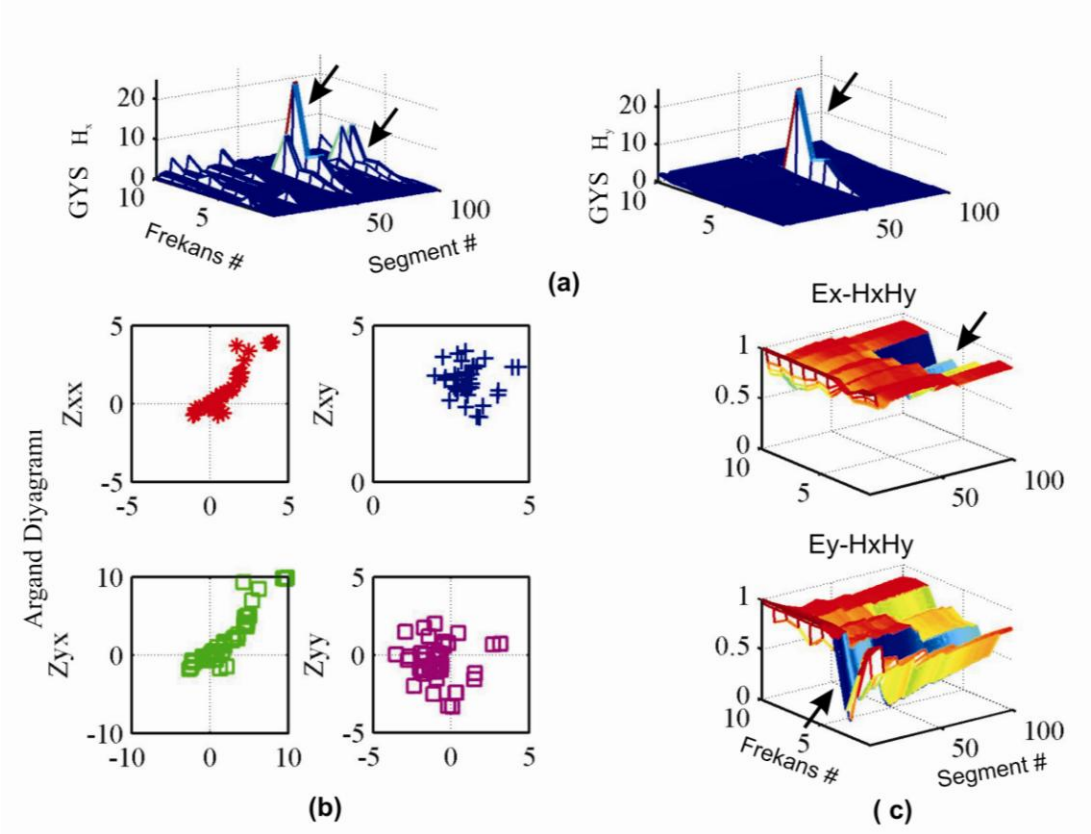


Şekil 20. Hx-Hy bileşenleri segmentler arası doğrusal ilişki katsayısı değişimi.



Şekil 21. H_x ve H_y verisi (a) etki değeri (b) Run testi sonuçları (sürekli düz çizgiler % 90 güven aralığı için tanımlı aralık).

Gürültülü verinin GYS ve çoklu uyum değerlerindeki değişim, frekans ve segment sayılarına göre Şekil 22.a ve c'de grafiklenmiştir. Ayrıca yatay eksen empedansın gerçel bileşeni düşey eksen ise sanal bileşeni olmak üzere, empedanstaki değişim Argand diyagramı biçiminde sunulmuştur (Şekil 22.b). Eğer gürültü bazı kanalları ve segmentleri etkilediyse, her bir segmentten elde edilen empedans bileşenlerine bağlı olarak, Argand diyagramında saçılım ve kümelenmeler olacaktır (örn. Weckmann ve ark., 2005).



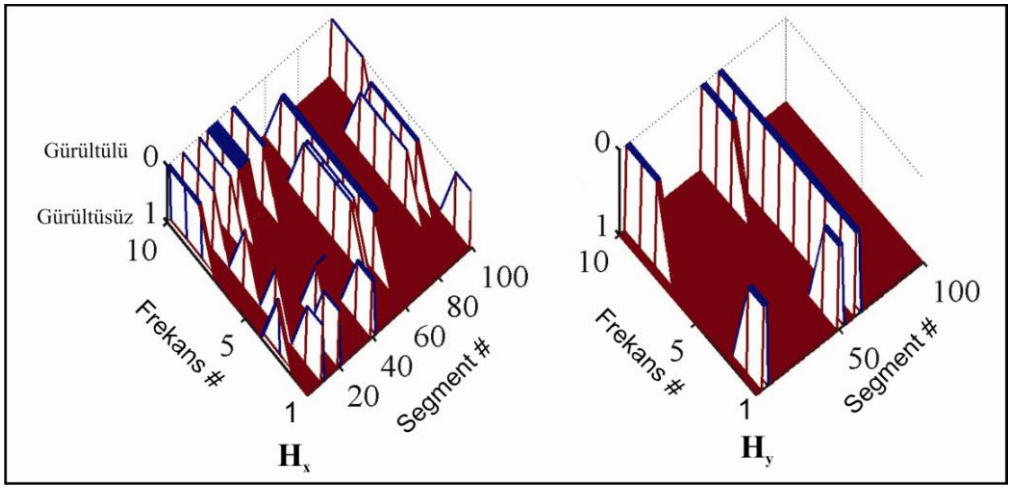
Şekil 22. Gürültülü yapay veri (a) H kanalları GYS değerleri (b) empedansın Argand diyagramı (c) E_x-H_xH_y ve E_y-H_xH_y uyumunun segment ve frekans sayısına bağlı değişimleri.

Şekil 22.a'da GYS değerlerindeki ani artışlar gürültülü segmentlere karşılık gelmektedir (okla gösterilen). Gürültü etkisiyle her segment için hesaplanan frekanstan bağımsız empedans değerlerindeki saçılım, Argand diyagramından izlenebilmektedir. Ayrıca Şekil 22.c'de gürültü etkisiyle aynı frekans değeri için bazı segmentlerin çoklu uyum değerlerinde (E_x-H_xH_y ve E_y-H_xH_y) düşüş ve düzensizlik gözlenmektedir (okla işaretlenmiştir). Kanallar arası ilişkili gürültü varsa çoklu uyum değerlerinin yüksek olması beklenir, bu örnekte E kanalları gürültüsüz seçildiğinden uyumun gürültü varlığında düşüş göstermesi beklenen bir durumdur.

4.1.1. GYS sınıflaması ile gürültü yok etme

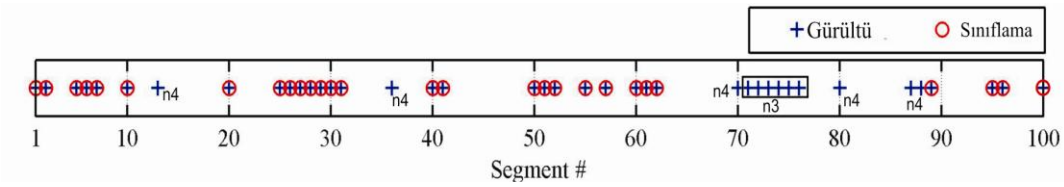
GYS sınıflaması ile gürültü yok etme çalışması için, GYS'de sapmaya neden olan etkiler, eşitlik (3.61)'de açıklandığı gibi, her segment ve her frekans için 0-1 (gürültülü-gürültüsüz veri) biçiminde işaretlenerek GYS indeksi oluşturulmuştur (Şekil 23). Daha

sonra bu indekse göre kanaların (H_x, H_y) incelenen her frekans ve her segment için ön eleme kriterini sağlayıp sağlamadığı incelenmiştir. Kriteri sağlayan segmentler empedans kestiriminde kullanılırken, gürültülü segmenter elenmiştir (***GYS Sınıflama***).



Şekil 23. Yapay veri GYS indeksi.

Bu çalışmada GYS sınıflamasında seçilen kriter, incelenen 10 frekans değerleri için, 4 kanal verisinin her bir segmentinin, GYS indeksi ortalaması % 70'ten küçük ise, yani gürültü en az bir kanalda 10 frekans içinden en az 3 frekansta baskınsa o segmentin elenmesi biçimindedir. GYS sınıflaması ile 40 gürültülü segment içinde 28 tanesi elenmiştir (gürültülü verinin % 70'i). Hangi tür gürültülerin elendiği Şekil 24'te sunulmaktadır.

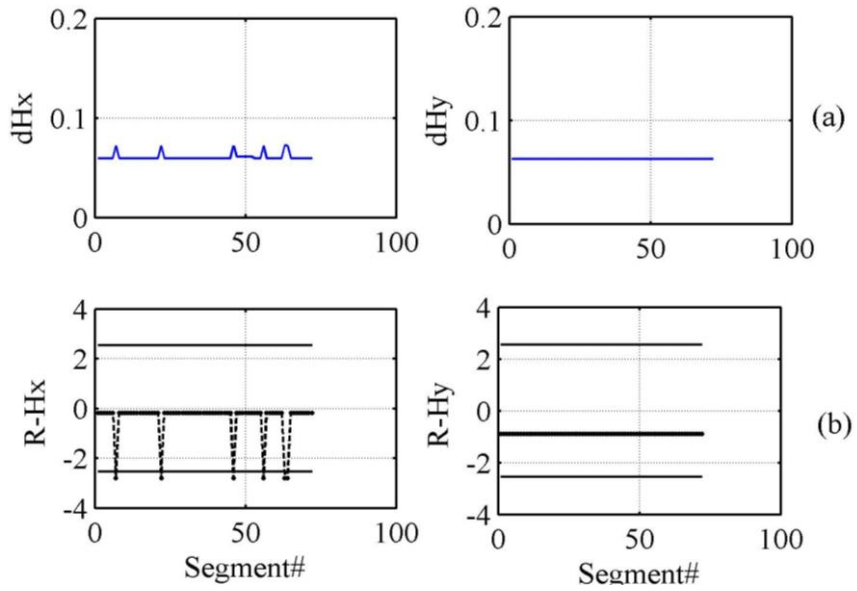


Şekil 24. GYS sınıflaması ile belirlenen gürültü türleri ve segment numaraları.

GYS sınıflaması ardından yapılan ön eleme ile başlangıç empedans değerlerine ulaşılmıştır (Çizelge 2). Elenen gürültülü segmentler, etki ve Run testi sonuçlarından da izlenebileceği gibi zaman serisinde sapmalara neden olan segmentlerdir (Şekil 25).

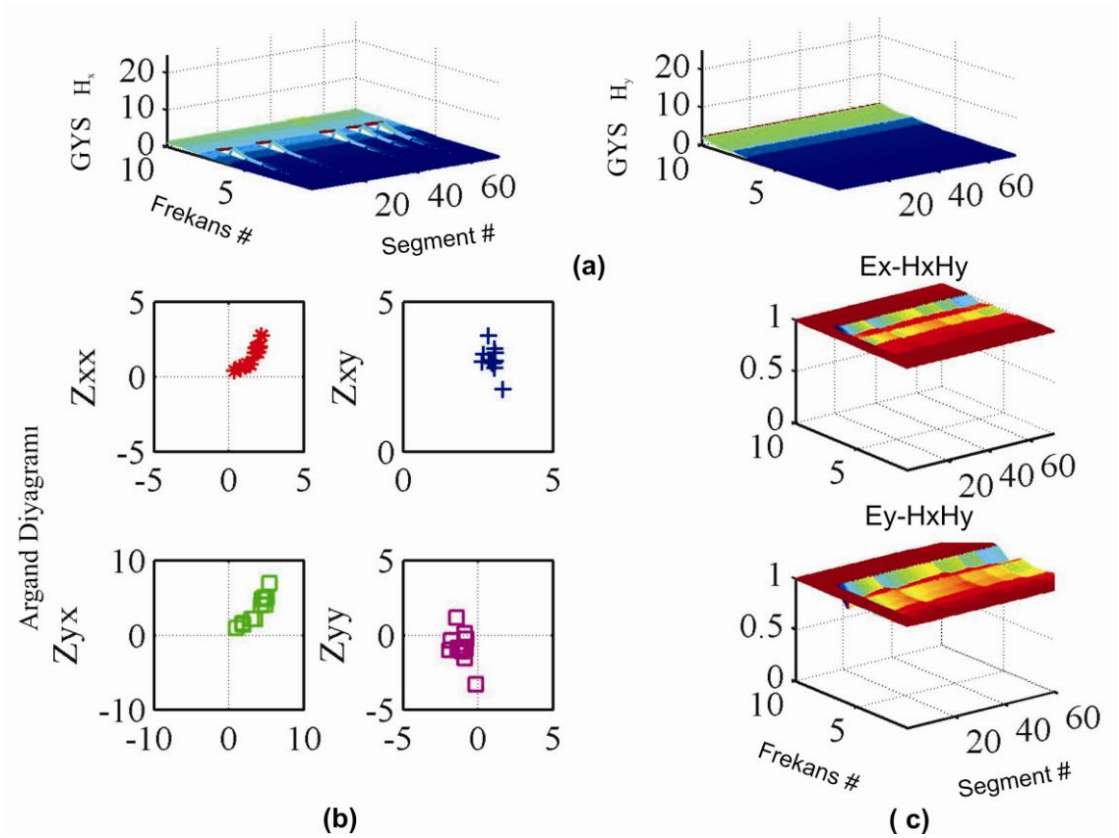
Ön eleme ardından Şekil 22.a'da sunulan, H_x ve H_y kanalları GYS değerlerindeki ani değişimler Şekil 26.a'da ortadan kalkmıştır. Buna bağlı olarak da empedanstaki saçılmalar

Şekil 22.b'ye göre düzelme göstermiştir (Şekil 26.b) .

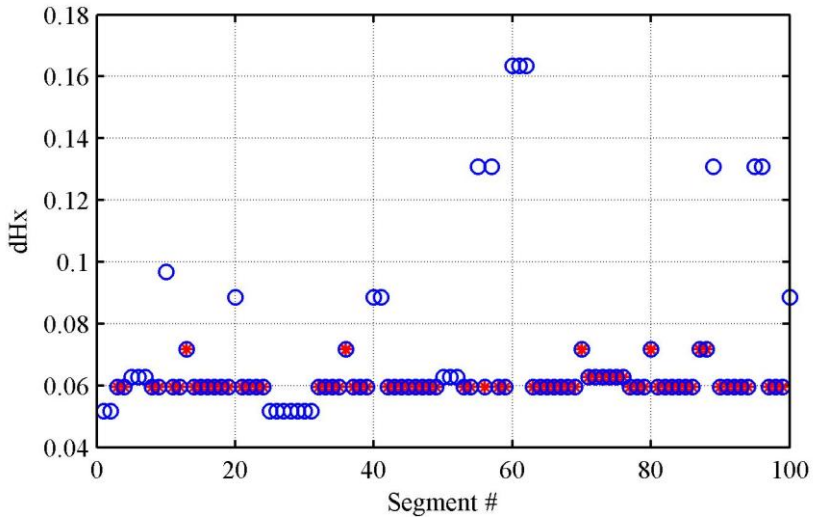


Şekil 25. GYS sınıflaması ile yapılan ön eleme ardından H kanalları (a) etki değeri (b) Run testi sonuçları.

GYS sınıflamasında seçilen kritik değer için, 2 ve/veya 1 frekans ve tek bir kanalda baskın olan gürültü türleri elenemediğinden (n3 ve n4 gürültü türleri) Argand diyagramında, empedansın varyansındaki değişimlere bağlı olarak, hala saçılmalar vardır. Elenmeyen ve elenen gürültülü segmentlerin zaman ortamı etki değerleri Şekil 27'de birlikte grafiklenmiştir.



Şekil 26. Gürültülü veride GYS sınıflaması sonrası (a) H kanalları GYS (b) empedansın Argand diyagramı (c) E_x-H_xH_y ve E_y-H_xH_y uyumu segment ve frekans sayısına bağlı değişimleri.

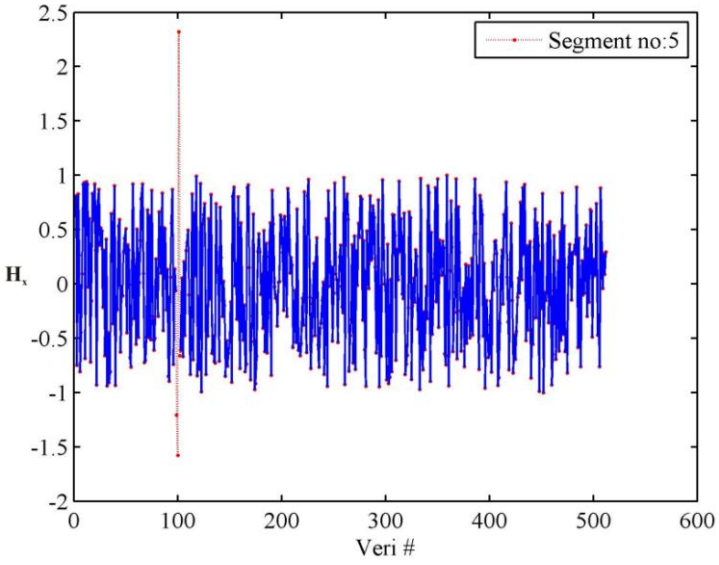


Şekil 27. Zaman ortamı verinin etki değeri değişimi (o; GYS sınıflaması ile elenen segmentler) .

4.1.2. İğnecik-etki değeri-güç yoğunlu görüngesine (İEG) bağlı sınıflama ile gürültü yoketme

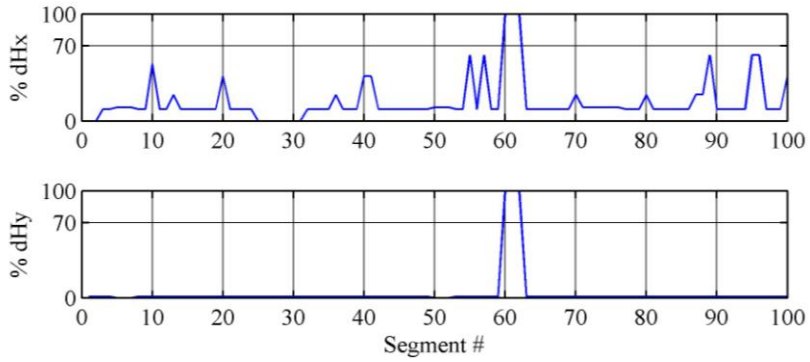
Gürültü, verinin zaman ve frekans ortamı dokusunu bozmaktadır. Bu nedenle İEG sınıflamasında verideki gürültü bileşenleri zaman ve frekans ortamında, verininin 3 farklı niteliğine bağlı olarak tanımlanmıştır:

1. Zaman ortamı verinin genliğini bozan iğnecik etkisi ($İnd_i$): Yönsemesi giderilmiş ve pencerelenmiş ZS'nin her bir segmentinin iğnecik denetimi ile gürültülü segmentler belirlenir. Burada iğnecik; segmentin genliğine bağlıdır ve bu tanımda; segmentteki ortalama mutlak genliğin en az iki katı alınmıştır (Şekil 28).



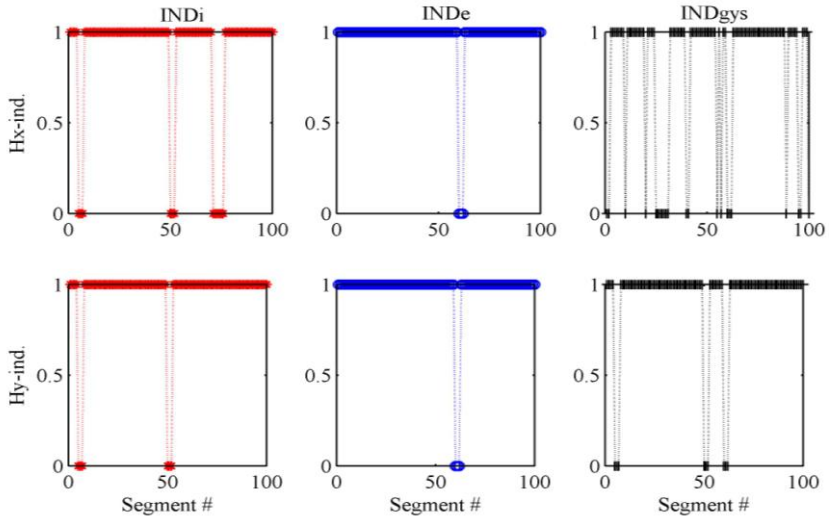
Şekil 28. Yapay veri ZS, iğnecik etkisi örneği .

2. Zaman serisinin etki değeri ($İnd_e$): Bölüm 3'te ayrıntılı açıklandığı gibi sabit örnekli segmentlerin her bir değerinin, tüm segmenti tanımlamadaki yeteneğinin bir ölçüsüdür ve gürültü etkisiyle segmentlerin etki değerleri, bütün ZS kaydının etki değerinden sapma gösterir. Bu sapma % biçimde ifade edildiğinde yapay veride en az % 70 oranında hatalı segmentler gürültülü olarak tanımlanmıştır (Şekil 29).
3. GYS sapmalarına bağlı gürültü ($İnd_{gys}$): Bölüm 4.1.1.'de açıklandığı gibi verideki gürültü etkisi, frekans ortamı verinin GYS indeksi ile sınıflanabilmektedir.



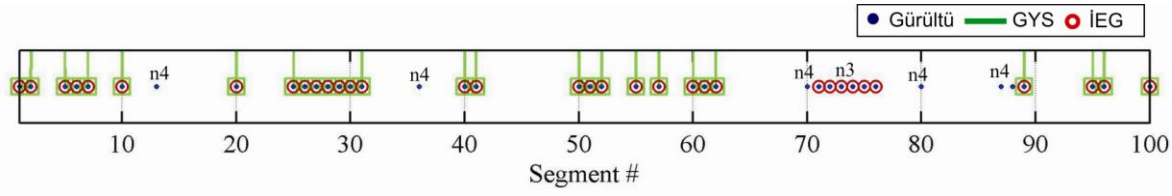
Şekil 29. Yüzde etki değerleri ($İnd_e$).

Bu yaklaşıma göre İEG indeksi H_x kanalı için =[$İnd_i$,$İnd_e$,$İnd_{gys}$], benzer biçimde H_y kanalı içinde hesaplanan İEG değerleri Şekil 30'da yeralmaktadır. Her iki kanalın da İEG indeksine göre gürültüsüz olduğu (İEG=1) segmentler YTF hesaplamalarında kullanılmış, gürültülü segmentler elenmiştir.



Şekil 30. Yapay veri, İEG indeksi (0; gürültülü, 1;gürültüsüz segment).

Yapılan sınıflama ile GYS sınıflamasında elenemeyen n3 gürültü türü elenmiştir. n4 gürültüsü ise, iğnecik tanımının genlikle ilişkilendirilmesi nedeniyle elenememiştir (Şekil 31). Aynı karakterdeki n5 gürültüsü, n4'ün aksine İEG indeksine bağlı sınıflama ile yok edilmektedir (EK-4, Şekil 1).



Şekil 31. Yapay veri sınıflama sonrası elenen gürültülü segmentler (n3 ve n4 ; sırasıyla 3. ve 4. tür gürültüyü ifade etmektedir).

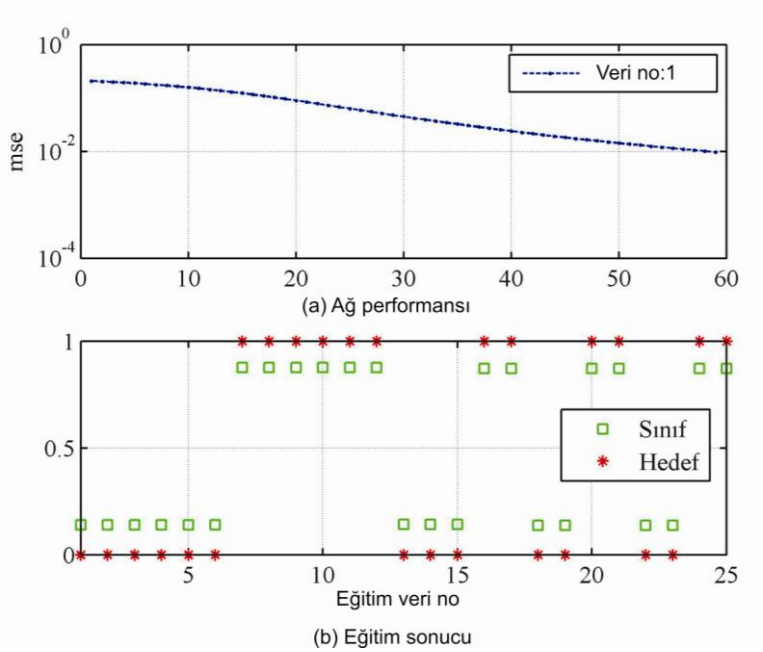
4.1.3. YSA ile gürültü yok etme

GYS sınıflaması ardından yok edilemeyen n3 ve n4 türü gürültülerin veriden giderilebilmesi için 72 segment ZS içindeki iğnecikleri gürültü olarak tanımlayarak bir YSA modeli oluşturulmuştur. Bu yaklaşımda iğnecik gürültüsü genlikten bağımsız seçilmiştir ve İEG indeksinde belirlenemeyen iğnecikli segmentler tanımlanmıştır (EK-4, Şekil 1; iğnecik gürültülü veri örneği).

Modelde standart geri yayılım algoritması ile giriş, gizli ve çıkış olmak üzere 3 katman kullanılmıştır. Gizli katman 15 nöron ve çıkışta ise 1 nöron ile oluşturulan YSA modelinde (giriş katmanı-gizli katman arasındaki ağırlık dizeyi 15x512 boyutlu ve gizli katman-çıkış kaatmanı arasındaki ağırlık dizeyi 15x1 boyutundadır), gürültülü segmentlerin % 50'si eğitim ve test amaçlı kullanılmıştır (12 gürültülü segmentin 6'sı eğitim ve test amaçlı kullanılmıştır). Anılan gürültü tanımı sadece H_x kanalında olduğu için YSA sadece bu kanala uygulanabilmiştir.

Eğitim için başlangıç ağırlık değişkenleri rastgele seçilmiş eğitim birkaç saniyede tamamlanmıştır (örneğin Şekil 32.a'da sunulan 1. segmentin eğitimi 0.190442 s sürmüştür). Şekil 32 b'de eğitim verisi sunulmuştur. Verinin beklenen sınıfı (hedef) kırmızı ile gösterilirken (öğretmenli öğrenme yaklaşımı), YSA eğitimi sonucu ağın ulaştığı sınıflar yeşil ile grafiklenmiştir.

Bu örnekte GYS sınıflaması ve ardından YSA yöntemi kullanıldığında gürültülü segmentlerin sınıflanıp yok edilebildiği gözlenmiştir (Çizelge 2). Gürültü yok etme çalışması ardından (GYS+YSA) 40 gürültülü segment de elenerek, verinin GYS, empedans ve çoklu uyum değişimlerinde başlangıçta tanımlanan kuramsal değerlere ulaşılmıştır (EK-4, Şekil 2).



Şekil 32. Yapay veri, YSA eğitim sonuçları (a) ağ performansı (b) egitim sonucu.

4.1.4. İEG denetimli KA robust ile gürültü yok etme

Bu bölümde İEG denetimli karma ağırlıklar (KA) kullanarak yapılan robust hesaplamalarıyla, gürültülü segmentlerin elenmesi yerine, bu segmentlerin çözüme olan etkisinin azaltılması yönünde bir çalışma yapılmıştır. Bu amaçla İEG indeksine göre her iki kanalın da gürültüsüz tanımlandığı segmentler (EK-4, Şekil 3), Bölüm 3'te açıklanan robust yönteminde, başlangıç ağırlıkları olarak kullanılmıştır. Sonuçta hesaplanan empedans değerleri, örneğin Z_{xx} bileşeni için genlik bazında EKK yönteminde % 94 hatalı iken UKA robust yönteminde; ortalama % 31, İEG denetimli KA robust hesaplamalarında ise % 16'ya düşmüştür (Çizelge 2, 9).

Çizelge 2. Yapay veri empedans ve hata değişimleri

	Teorik Empedans ***Zxx Zxy*** ***Zyx Zyy***		***2-2i 3-3i*** ***5-5i -1+1i***
1	EKK (gürültü eklenmemiş veri)	Ortalama	2+2i 3+3i 5+5i -1-1i
		Empedansın hatası	0 0 0 0
2	EKK	Empedans	0.04-0.15i 3.10+3.25i 0.12-0.38i -0.75-0.36i

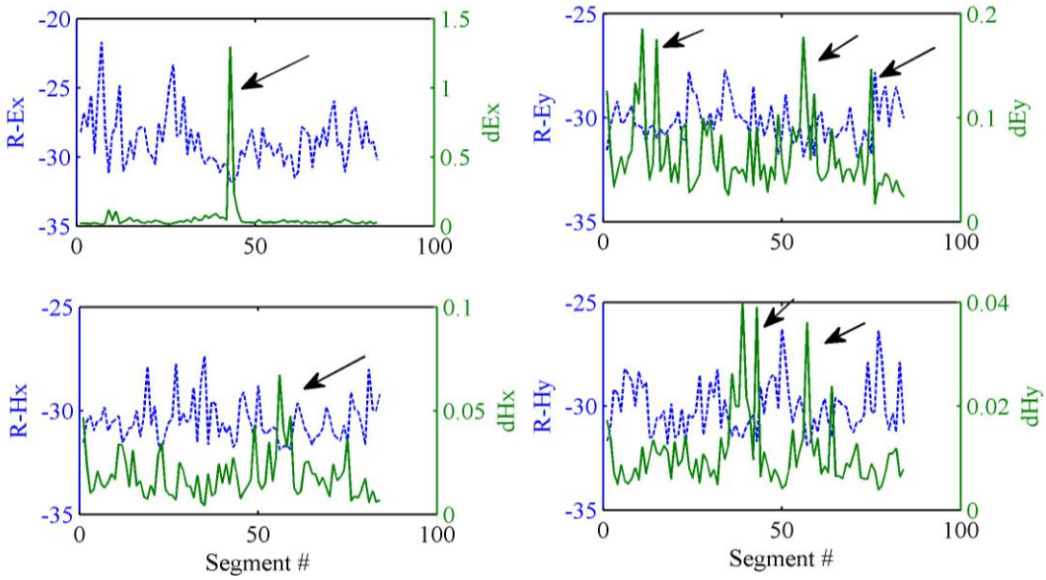
		Empedansın hatası	0 1.03 6.12 0
3	UKA Robust	Empedans	1.6-1.1i 2.8-2.8i 4.4-4.2i -1.0+1.0i
		Emepdansın hatası	0 1.03 6.12 0
4	***GYS sonrası EKK***	***Empedans***	***2+2i 3+3i*** ***5+5i -1-1i***
		Empedansın hatası	***0 0.09*** ***0.48 0***
5	***GYS sonrası UKA robust***	***Empedans***	***1.5-1.9i 3.1-2.9i*** ***4.7-4.9i -0.9+1.0i***
		Empedansın hatası	***0 0.09*** ***0.48 0***
6	***İEG sonrası EKK***	***Empedans***	***2+2i 3+3i*** ***5+5i -1-1i***
		Empedansın hatası	***0 0.094*** ***0 0***
7	***İEG sonrası UKA robust***	***Empedans***	***1.9-1.8i 3.06-2.7i*** ***4.8-4.8i -0.9+1.02i***
		Empedansın hatası	***0 0.09*** ***0.49 0***
8	***GYS+YSA***	***Empedans***	***2+2i 3+3i*** ***5+5i -1-1i***
		Empedansın hatası	***0 0.1*** ***0.7 0***
9	***İEG KA robust***	***Empedans***	***1.7-1.7i 2.8-2.7i*** ***4.9-4.4i -1.0+1.0i***
		Empedansın hatası	***0 1.0303*** ***6.1214 0***

4.2. Arazi Verisi Uygulamaları

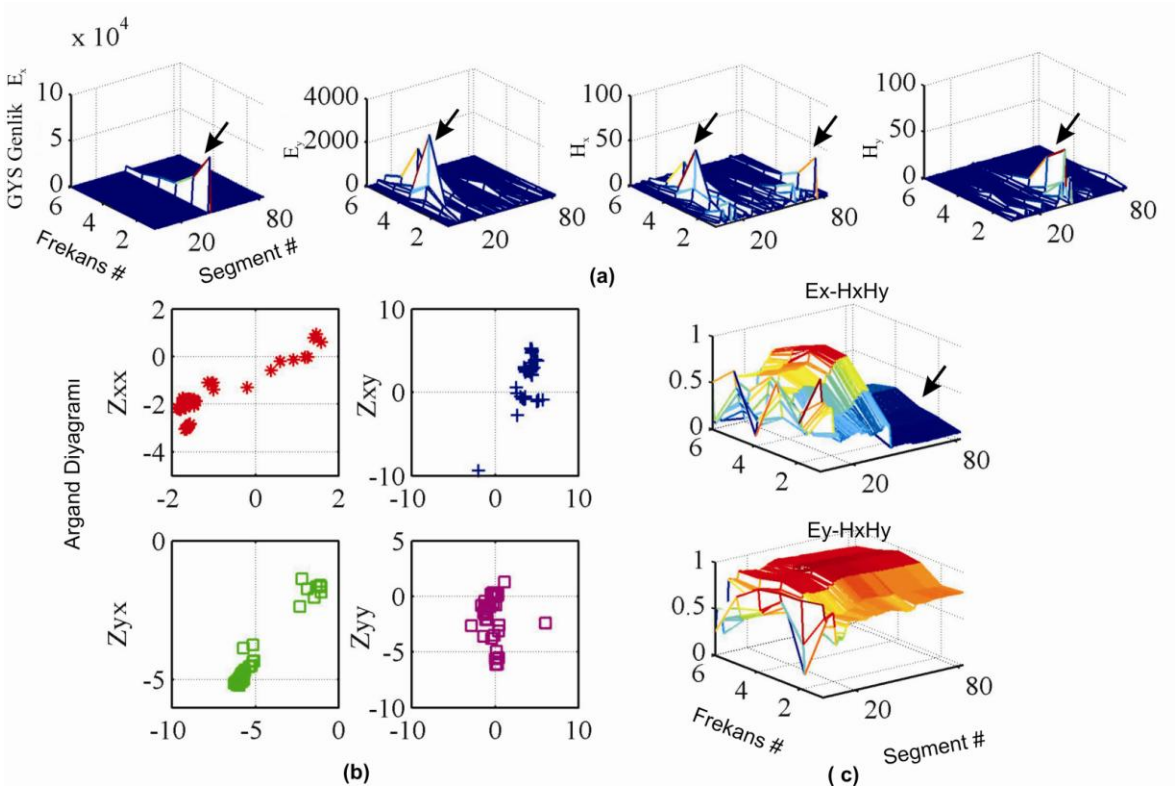
4.2.1. Örnek-1

Örnek-1'de Ulugergerli ve ark., (2011)'ında konumu ayrıntılı olarak sunulan, Sao Joaquim do Pacui (SJP) istasyonu MT verisi ile Uİ olarak Tatuoca (TTA) istasyon verisi kullanılmıştır. Örnekler 1 Hz frekans örneklemelidir ve 84 segmentten oluşmaktadır. 1024 örnekli zaman ortamı segmentler, % 90 güven aralığı için tektür değildir ve bazı segmentlerin etki değerleri, gürültü etkisiyle tüm kaydın etki değerinden sapma göstermektedir (örn. Şekil 33, oklarla işaretlenen). Ayrıca frekans ortamı gürültü bileşenlerinin yatay elektrik ve manyetik alanlara etkisi, bazı frekanslar için, kanallar arasında yüksek ilişki gösterir biçimde, segmentlerin GYS değerlerinde sapmalara neden olmuştur (Şekil 34. a okla işaret edilen).

Argand diyagramında, EKK ile kestirilen empedansın segmentlere göre değişimi grafiklenmiştir ve gözlenen saçılımlar gürültü etkisiyle oluşmuştur (Şekil 34. b). Ayrıca Şekil 34.c'de gürültülü verinin çoklu uyum değerlerindeki değişim yeralmaktadır. Okla işaret edilen düşük uyum değerleri, izleyen bölümlerde açıklanan gürültü yok etme uygulamasıyla düzeltilmiştir.

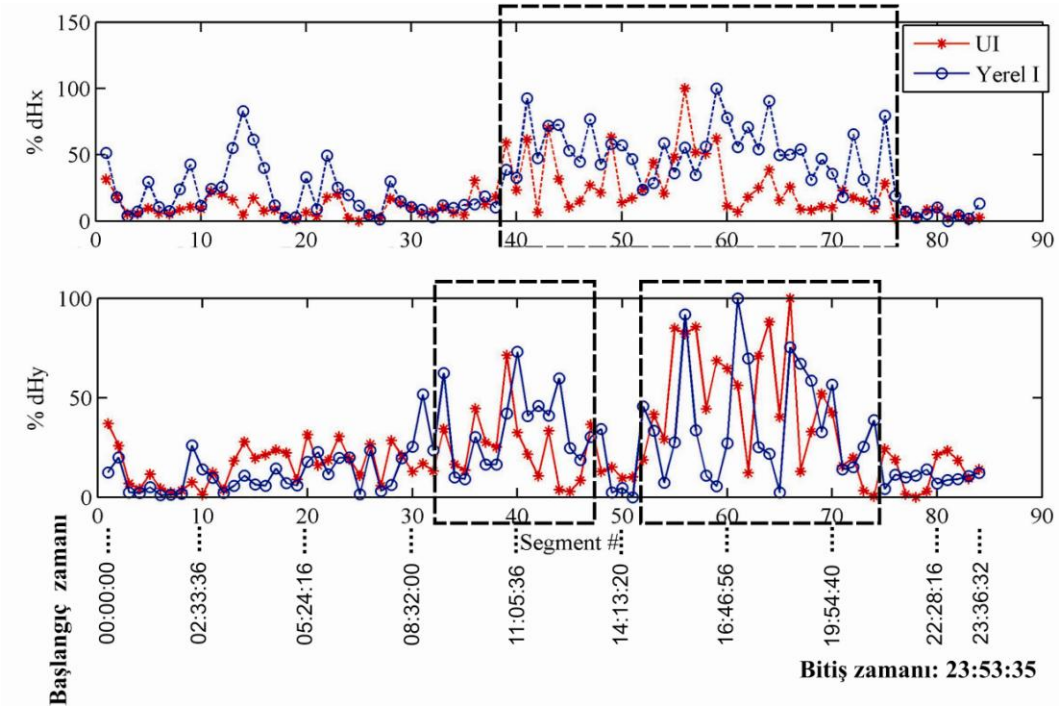


Şekil 33. Örnek-1, zaman ortamı yatay elektrik ve manyetik alan verisinin Run testi ve etki değeri sonuçları.



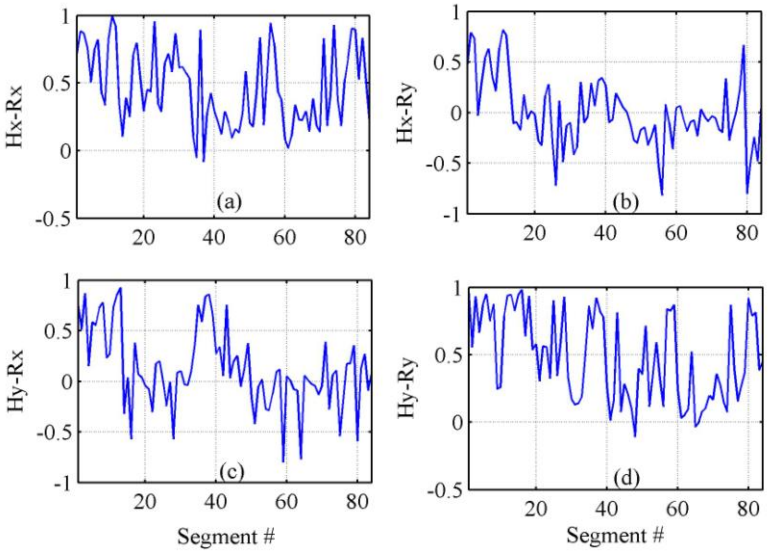
Şekil 34. Örnek-1 (a) 4 kanalın GYS değerleri (b) empedansın Argand diyagramı (5. frekans için) (c) E_x-H_xH_y ve E_y-H_xH_y uyumunun segment ve frekans sayısına bağlı değişimleri.

Manyetik kanallardaki gürültüyü yok etmek için, gürültünün kanallar arası ilişkisiz olduğu Uİ verisinden yararlanmak Bölüm 3'te de açıklandığı gibi MT değerlendirmede geleneksel yöntemlerden birisidir. Bu amaçla kullanılan zaman ortamı Uİ verisinin sabit örnekli segmentleri tektür değildir ve etki değerleri yerel istasyona kıyasla daha düşük genliklidir. Ancak incelenen yerel istasyon ve Uİ zaman serilerinin yüzde etki değerlerindeki sapmalar, benzer zaman aralığında yoğunlaşmıştır (Şekil 35'te dikdörtgen işaretli alanlar, örn. H_x-R_x ve H_y -R_y bileşenleri yüzde etki değerleri).

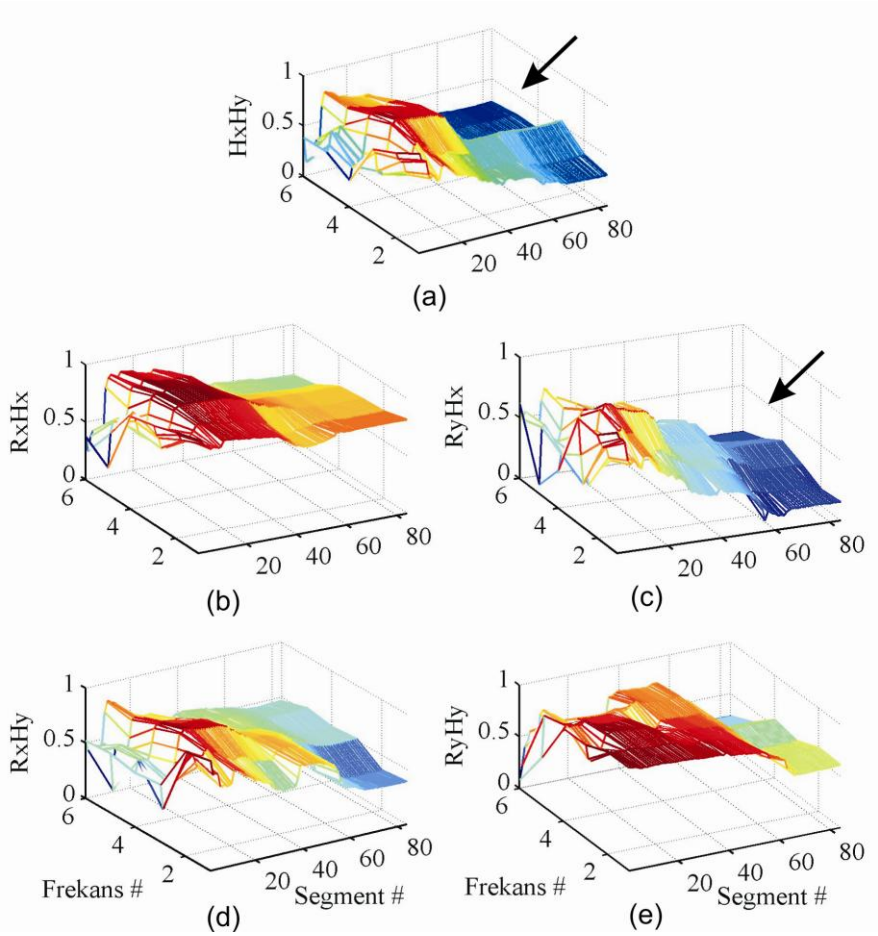


Şekil 35. Yerel istasyon ve Uİ zaman ortamı yüzde etki değerleri değişimleri .

Bu aşamada zaman ortamı Uİ verisinin yatay manyetik alan bileşenleri ile yerel istasyon verisi arasındaki uyum değerleri incelenmiştir. Zaman serisinin Şekil 36.a, b, c, ve d'de sunulan ortalama doğrusal ilişki katsayıları sırasıyla 0.4629, -0.0022, 0.1244 ve 0.4796'dir. Ayrıca frekans ortamı verinin uyumu, H_x-H_y ve H_x-R_y bileşenlerinde (Şekil 37.a ve c) aynı segment ve frekanslarda benzer ve düşüktür değerliklidir.

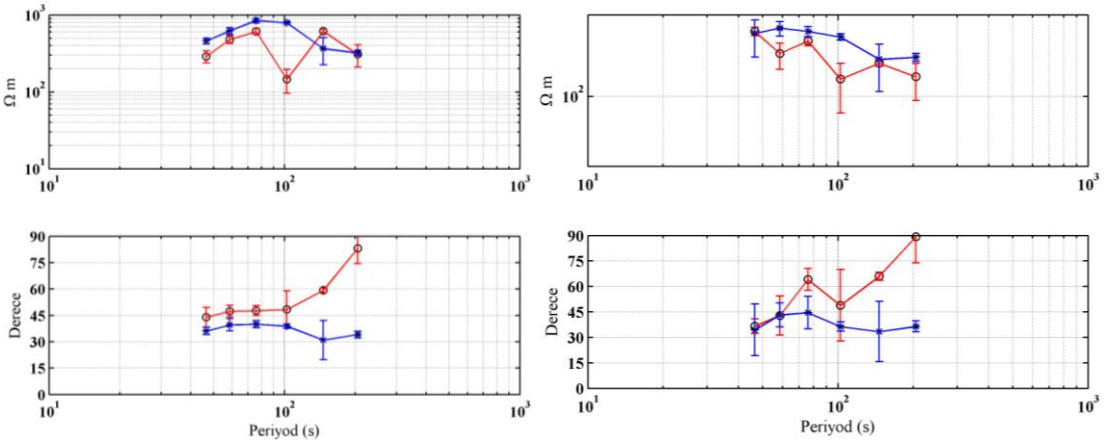


Şekil 36. Zaman ortamı Uİ ve yerel istasyon yatay manyetik alan bileşenlerinin segmentlere göre doğrusal ilişki katsayıları.

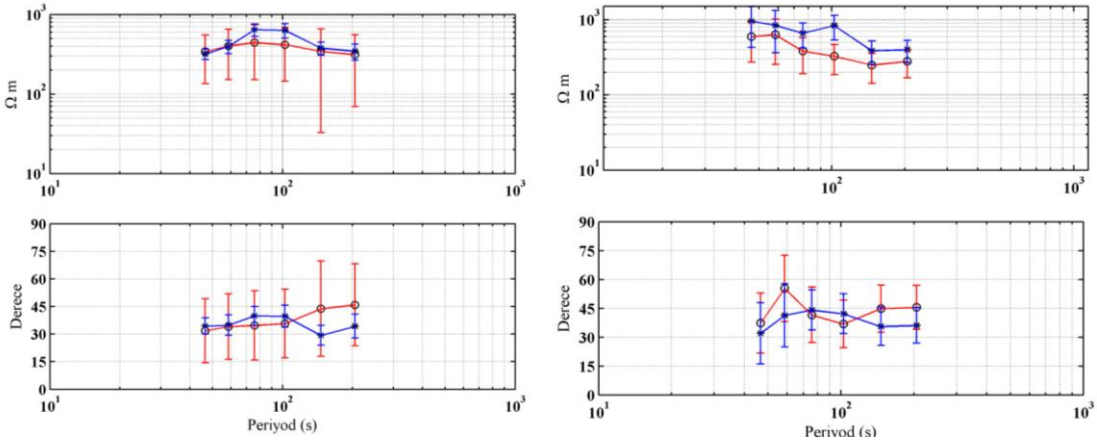


Şekil 37. Frekans ortamı verinin, çoklu uyum değişimleri (R_{ij}; Uİ ve H_{ij}; yerel istasyon bileşenleri).

Gürültülü verinin EKK ile hesaplanan g. özdirenç değerlerinde xy yönünde özelikle 3. frekansta, eğrinin yöneliminde sapma, g. özdirenç ve fazın yx bileşeni 2. frekansta geniş hata aralığı gibi düzensizlikler vardır (Şekil 38.a). Uİ verisi kullanılarak EKK yöntemi ile hesaplanan değişkenlerde anılan gürültü etkilerinde bir düzelme olmamıştır (Şekil 38. b). UKA robust yöntemi verideki saçılmalardan daha az etkilendiği için, EKK'ye oranla eğrinin yöneliminde iyileşme sağlamıştır, ancak sonuçlar büyük hata aralığı sunmaktadır (Şekil 38. c). Şekil 38.d'de ise, Uİ ile yerel istasyon uyumlarının yüksek olduğu segmentlerin çözüme olan katkısını arttıracak yönde bir etki yapan robust yaklaşımı, yerel istasyon UKA robust sonuçlarıyla kıyaslandığında, gürültü etkilerini düzeltme konusunda zayıf kalmıştır (Şekil 38.d).



(a) EKK **(b) UI EKK**

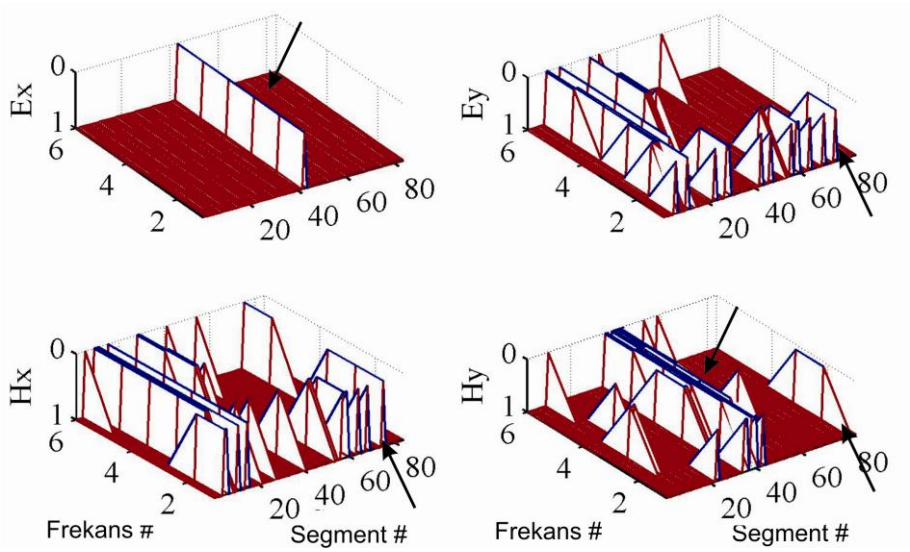


(c) UKA Robust **(d) UI+ UKA Robust**

Şekil 38. Örnek-1, gürültülü veriden (a) EKK (b) Uİ EKK (c) uyum denetimli UKA robust (d) Uİ ile birlikte UKA robust (e) KA robust yöntemleri ile hesaplanan g. özdirenç ve faz eğrileri (kırmızı; xy, mavi; yx).

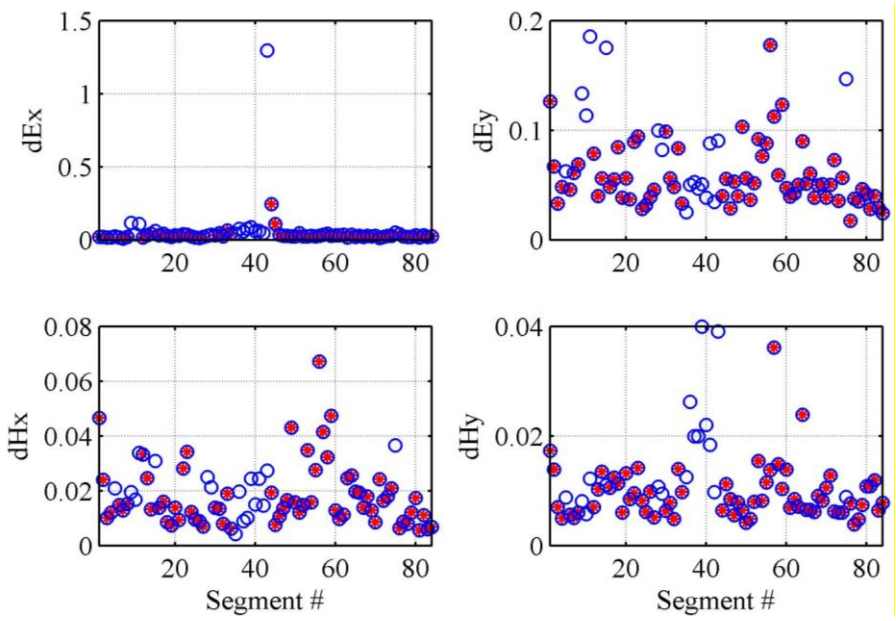
4.2.1.1. GYS sınıflaması ile gürültü yok etme

Verinin GYS indeksi Şekil 39'da sunulmaktadır. Kanallar arasında yüksek uyum gösteren gürültü, indekste 0 olarak işaretlenmiştir (örn. Şekil 39, okla gösterilen değerler). Sınıflama kriterine bağlı yapılan ön eleme sonrası, veriden 17 gürültülü segment (verinin yaklaşık % 20'si) elenmiştir.



Şekil 39. Örnek-1 GYS indeksi.

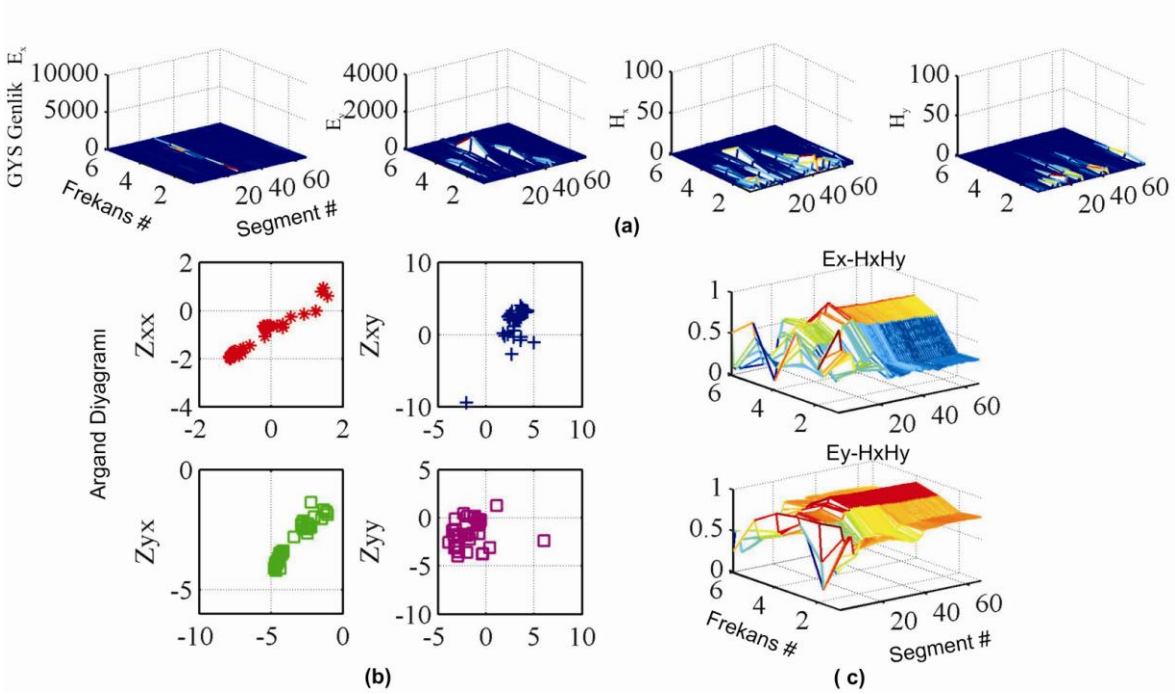
Eleme sonrası segmentlerin etki değerlerindeki aşırı sapmalar büyük oranda düzelmiştir (Şekil 40). GYS sınıflamasına bağlı yapılan elemede tüm kanalların aynı anda seçilen kriteri sağlaması istendiğinden, gürültü içeriği baskın olmamasına karşın bazı segmentlerin de değerlendirme dışında tutulması kaçınılmazdır.



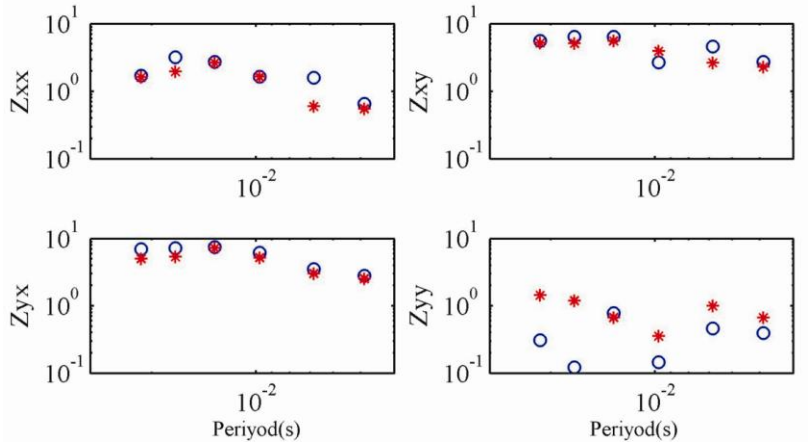
Şekil 40. Örnek-1, zaman serisinin etki değerleri, GYS sınıflaması öncesi; (o) ve sonrası; (*), (o; elenen segmentleri göstermektedir).

Veriden gürültü bileşenleri elendikten sonra GYS değerlerinde Şekil 37'de okla işaret edilen sapmalar Şekil 41.a'da gözlenmemektedir. Rastgele seçilen 5. frekans için,

EKK ile kestirilen empedansın Argand diyagramı Şekil 41.b'de yer almaktadır. Empedansta sağlanan iyileşme Argand diyagramından çok net izlenmemekle birlikte, gürültülü ve gürültüsüz verinin empedans genliklerinin karşılaştırmalı biçimde sunulduğu Şekil 42'de açıkça görülmektedir. Ayrıca uyum değerlerinde Şekil 41.c'de izlenen düşüşler gürültü ile birlikte ortadan kalkmıştır. Sonuç olarak g. özdirenç ve faz değerleri, düşük hata aralığı ile eğri yönelimi bakımından ise saçılımsız olarak elde edilmiştir (Şekil 43).

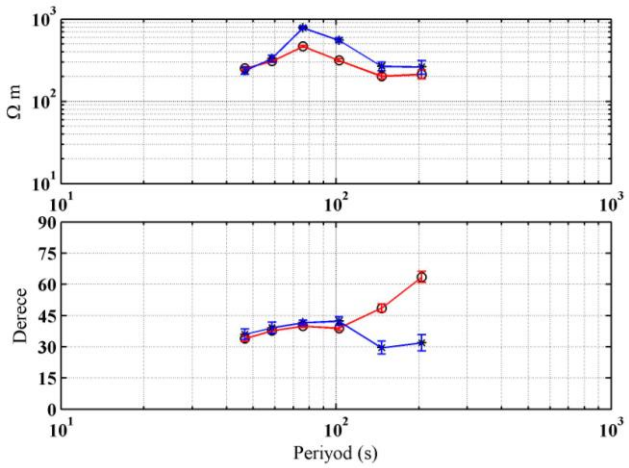


Şekil 41. Örnek-1, GYS sınıflaması sonrası (a) 4 kanalın GYS değerleri (b) empedansın Argand diyagramı (5. frekans için) (c) E_x-H_xH_y ve E_y-H_xH_y uyumunun segment ve frekans sayısına bağlı değişimleri.



Şekil 42. Örnek-1, GYS sınıflaması öncesi; (o) ve sonrası; (*), EKK ile hesaplanan

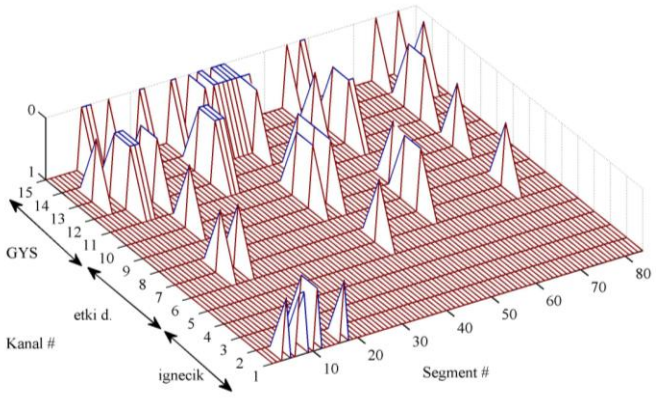
empedans bileşenlerinin genlik değişimleri.



Şekil 43. Örnek-1, GYS sınıflaması sonrası EKK yöntemi ile hesaplanan g. özdirenç ve faz değişimleri (kırmızı; xy, mavi; yx).

4.2.1.2. İEG sınıflaması ile gürültü yoketme

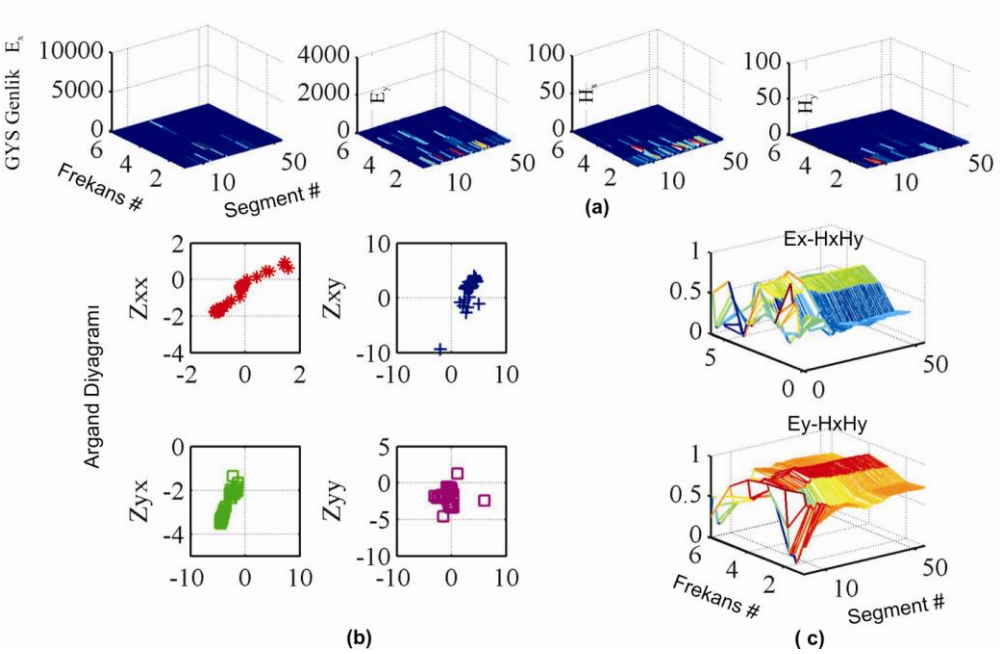
Gürültülü Örnek-1 verisinde E_x kanalı; 5, E_y kanalı;1 iğnecikli segment içerirken, H_x ve H_y kanallarında tanımlı iğnecik yoktur (EK-5, Şekil 1). Şekil 44'te Örnek-1 için tanımlanmış İEG gürültü indeksi yeralmaktadır. YTF hesaplamasında kullanılan kanalların eş zamanlı olarak İEG indeksinde gürültüsüz tanımlanmış zaman pencerelerinin seçilmesi ile gürültü yok etme uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşım ile 29 gürültülü segment (verinin yaklaşık % 35'i) elenmiştir.



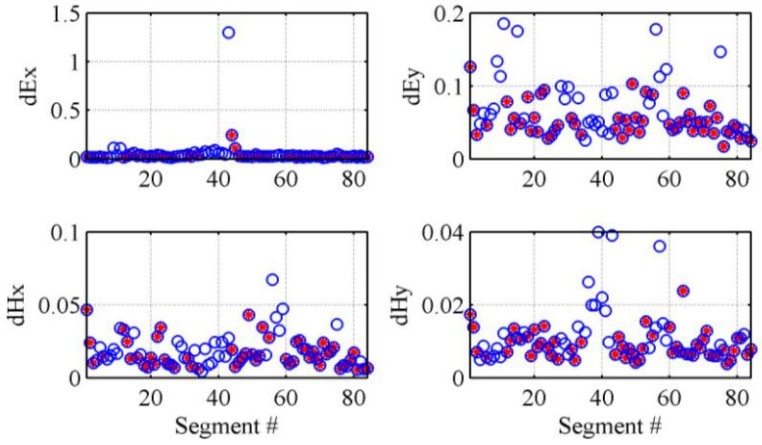
Şekil 44. Örnek-1, 5 kanalın İEG gürültü indeksi.

İEG sınıflaması ile yapılan ön eleme sonucunda, GYS değerlerindeki ani artışlar yok edilmiş, empedansın segmentlere göre saçılımları (özellikle Z_{yx} için) azalmış, düşük çoklu uyum gösteren segmentler elenmiştir (Şekil 45).

Elenen gürültülü segmentler Şekil 46'de sunulan büyük değerlikli etki değerlerine karşılık gelmektedir. Ayrıca özellikle Z_{yy} bileşeni empedans genliklerindeki saçılımların düzeldiği Şekil 47'den izlenebilmektedir.

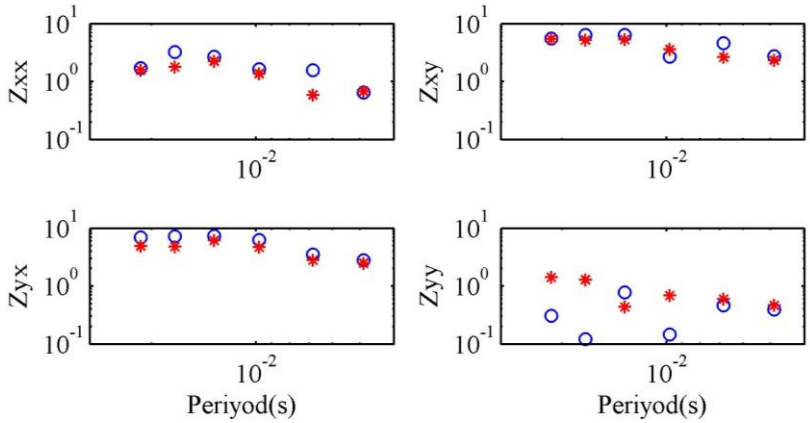


Şekil 45. Örnek-1, İEG sınıflaması sonrası (a) 4 kanalın GYS değerleri (b) empedansın Argand diyagramı (5. frekans için) (c) E_x-H_xH_y ve E_y-H_xH_y uyumunun segment ve frekans sayısına bağlı değişimleri.



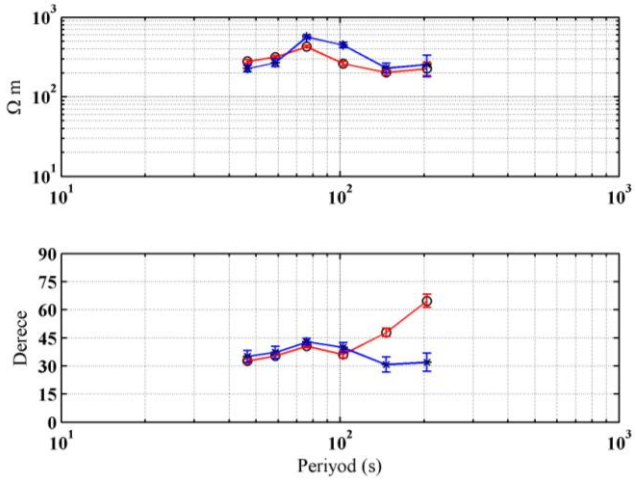
Şekil 46. Örnek-1, zaman serisinin etki değerleri, İEG sınıflaması öncesi; (o) ve

sonrası; (*), (o; elenen segmentleri göstermektedir).



Şekil 47. Örnek-1, İEG sınıflaması öncesi; (o) ve sonrası; (*), EKK ile hesaplanan empedans bileşenlerinin genlik değişimleri.

Gürültü yok etme çalışması ardınan hesaplanan g. özdirenç ve faz değişimleri, EKK ve UKA robust yöntemleri için eğri yönelimi ve hata aralığı bakımından gürültülü veriye göre düzelme göstermiştir (Şekil 48).



Şekil 48. Örnek-1, İEG sınıflaması sonrası EKK yöntemi ile hesaplanan g. özdirenç ve faz değişimleri (kırmızı; xy, mavi; yx).

4.2.1.3. YSA ile gürültü yoketme

Şekil 17'de akış şeması yer alan ve yapay veride test edilen YSA ile, hiç bir düzeltme yapılmamış gürültülü Örnek-1 verisinde gürültü yok etme çalışması yapılmıştır.

Ancak arazi verisi uygulamasında, yapay veriden farklı olarak gürültü tanımı genişletilmiştir. Gürültü olarak, zaman ve frekans ortamında veri dokusunu bozan etkiler; ind_i=iğnecik, ind_e=etki değeri ve ind_{gys}=GYS indeksinin bir kombinasyonu olacak biçimde hedefex ve hedefhx indeksleri belirlenmiştir (örn. hedefex=[ind_i,ind_e,ind_{GYS}]). Ayrıca en uygun ağ topolojisinin belirlenmesi amacıyla, ağ ara katmanındaki nöron sayısı ile, veri ve ağırlıkların ölçeklenmesine ilişkin uygulamalar yapılmıştır. Bu uygulamalardan bazıları EK-5, Şekil 2'de sunulmuştur (Örnek-1 E_x kanalı verisi; sabit yineleme sayısı; 1000 için; 3 katmanlı YSA modeline deneme sonuçları). Deneme çalışmalarında en küçük katman ve nöron sayısı ile, en kısa eğitim süresinde en doğru tahmini yapacak ağın belirlenmesi hedeflenmiştir. Seçilen ağ değişkenlerinin, daha önce de vurgulandığı gibi problem türüne ve veriye bağlı olduğu unutulmamalıdır.

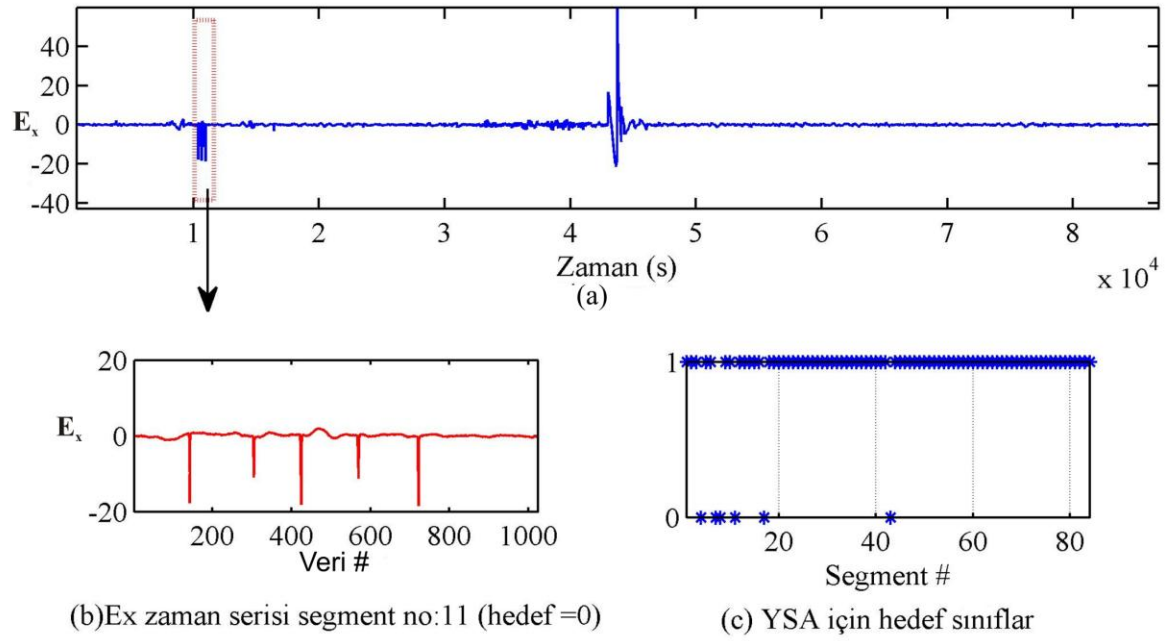
Örnek-1'de YSA yöntemi ile gürültü tahmini için bir sonraki aşama, eğitim ve sınıflanacak verinin seçilmesi aşamasıdır. Bu amaçla ilk olarak E_x ile eğitilen ağın, diğer kanalların (örn. E_y ve H_y) gürültüsünü sınıflamadaki başarısı test edilmiştir:

1. *E_x ölçeklenmeden*; % 70.23 doğrulukla E_y sınıflama, % 84.52 doğrulukla H_y sınıflama.
2. *E_x [-1 1] aralığında ölçeklendi;* % 52.38 doğrulukla E_y sınıflama, % 42.85 doğrulukla H_y sınıflama.
3. *E_x ve ağırlıklar [-1,1] aralığında ölçeklendikten sonra;* % 82.1429 doğrulukla Ey sınıflama, % 84.5238 doğrulukla H_y sınıflama.

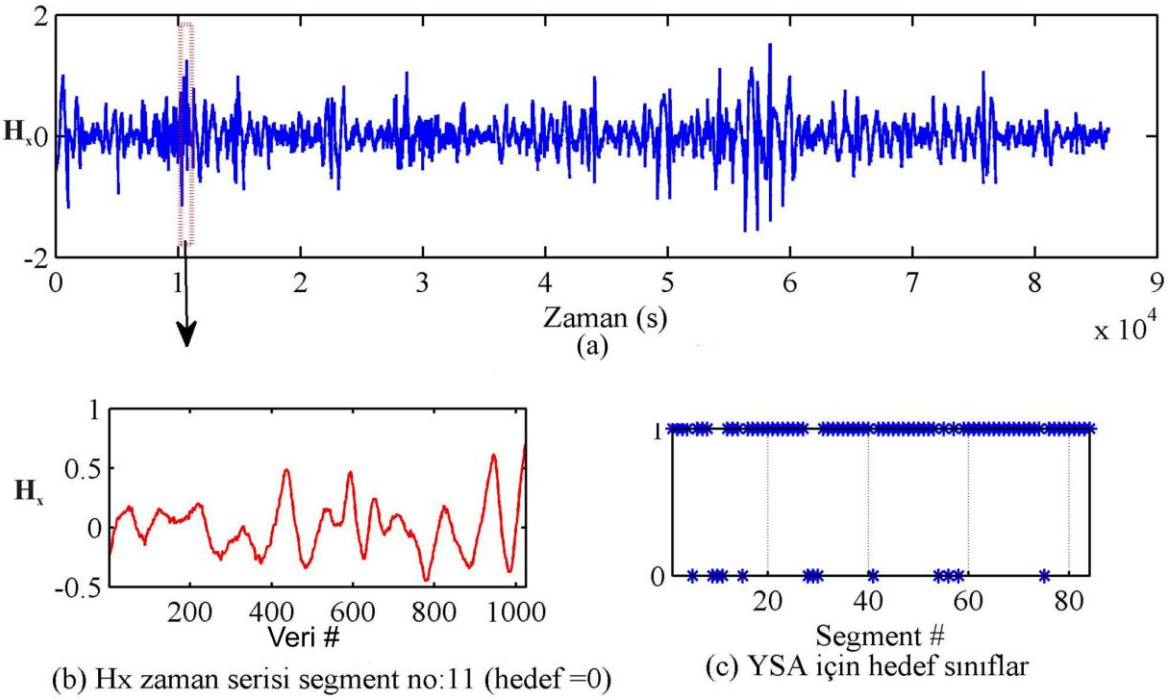
Daha sonra Bölüm 2'de vurgulandığı gibi Manoj ve Nagarajan (2003)'ın, MT verilerinde YSA ile gürültü tanımlama çalışmalarında, farklı bileşenler arasındaki uyumun % 20 oranında etkin olduğunu yaklaşımından hareketle, kanalların zaman ortamı doğrusal ilişki katsayıları (EK-5, Şekil 3) ve gürültü indekslerinin kanallar arası ilişkisi incelenmiştir (örn Şekil 49.c ve Şekil 50. c, E_x ve H_x kanalları İEG gürültü indeksi). İEG gürültü indeksinin kanallar arası doğrusal ilişki katsayıları: E_x-E_y: 0.03, Ex-Hx: 0.01, E_x-H_y: 0.02, E_y-H_x: 0.81, E_y-H_y: -0.16, H_x-H_y: -0.08'dır. Elde edilen veriler ışığında E_y ve H_x kanalları arasında yüksek uyum gözlenmiştir ve E_y ile eğitilen ağ ile H_x kanalındaki gürültü tahmin edilmiştir veya sınıflanmıştır (benzer olarak E_x kanalı eğilerek H_y kanalı sınıflanmıştır).

Yönsemesi giderilmiş zaman serisinde E_x ve H_x verisi için hedef sınıflama değerleri

ve ZS değişimleri Şekil 49 ve Şekil 50'de sunulmuştur.

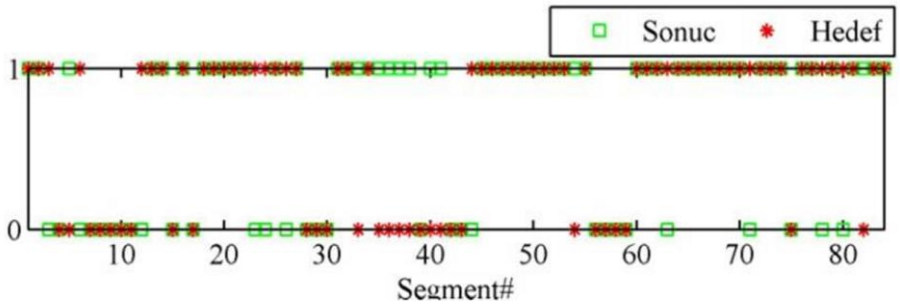


Şekil 49. (a) E_x zaman serisi (b) gürültülü segment örneği (c) YSA için hedeflenen sınıflama (hedef=0 gürültülü segment).



Şekil 50. (a) H_x zaman serisi (b) gürültülü segment örneği (c) YSA için hedeflenen sınıflama (hedef=0 gürültülü segment).

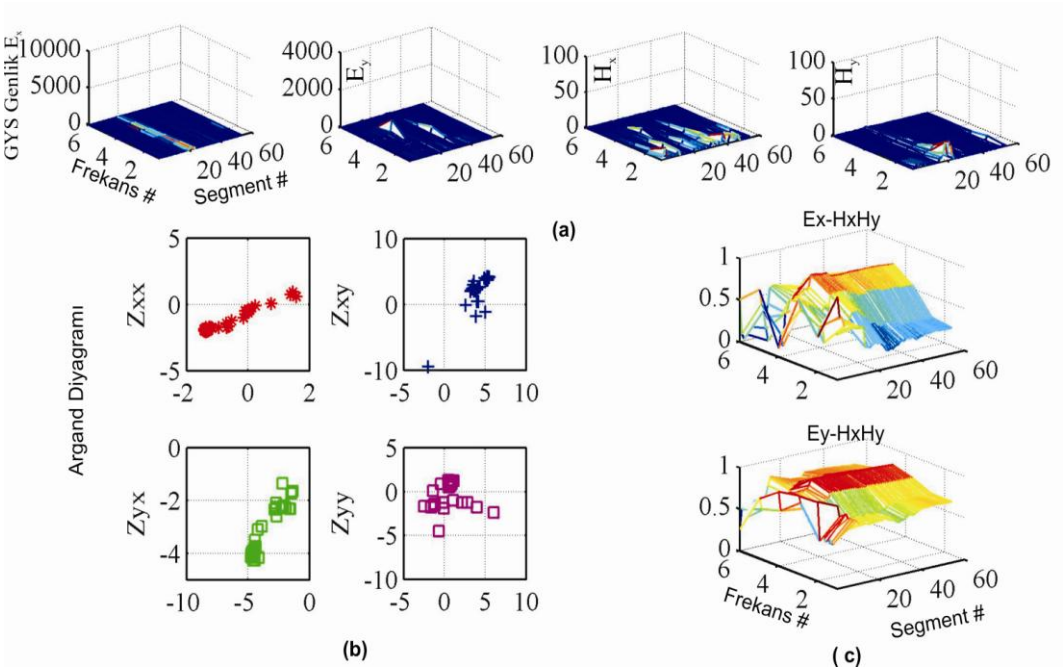
YSA eğitimi 3-10 s sürmüştür. Tüm hedef değerlerinin eş zamanlı olarak gürültüsüz olarak tanımlandığı segmentler YTF eldesinde kullanılmıştır. Böylelikle 36 segment gürültülü olarak tanımlanıp elenmiştir. Hedeflenen sınıflama ile YSA sınıflaması karşılaştırıldığında ağın % 75 doğrulukla sonuca ulaştığı belirlenmiştir (Şekil 51).



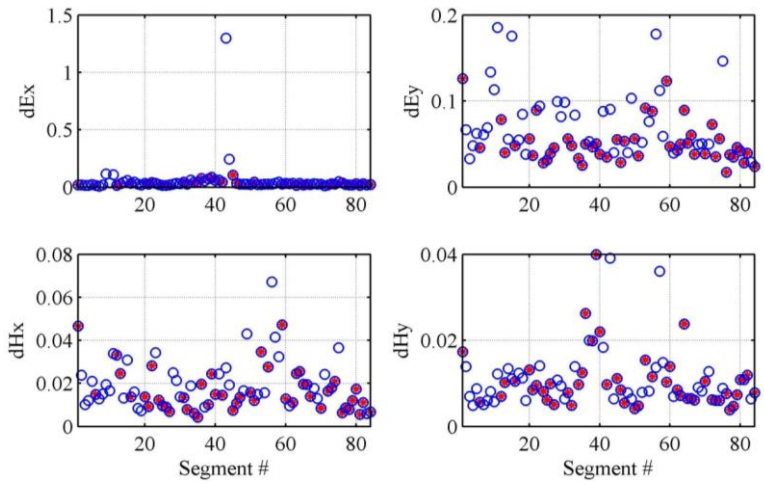
Şekil 51. Örnek-1 İEG indeksine göre beklenen (hedef; kırmızı) ve YSA ile elde edilen sonuçlar (yeşil).

Elenen gürültülü segmentlerin etkisiyle zaman ve frekans ortamında veri dokusunda oluşan iyileşmeler GYS, empedans ve uyum değerlerinden de izlenebilmektedir (Şekil 52). Elenen segmentlerin etki değerleri değişimleri Şekil 53'te sunulmuştur, Şekilden YSA'nın gürültülü segmentleri bulma konusunda H_y bileşeninde diğer bileşenlere oranla daha az başarılı olduğu söylenebilir (Şekil 53, elenemeyen büyük değerlikli H_y etki değeri).

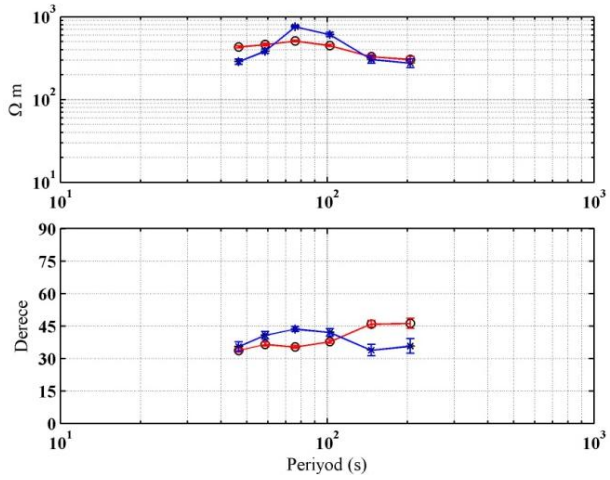
EKK ile hesaplanan Şekil 54'de sunulan g. özdirenç ve faz değerleri orjinal veriye oranla, gerek eğri yönelimi gerekse de hata aralığı bakımından düzelme göstermiştir. Bu düzelme empedans genlik saçılımlarındaki azalmayla da gözlenebilmektedir (Şekil 55).



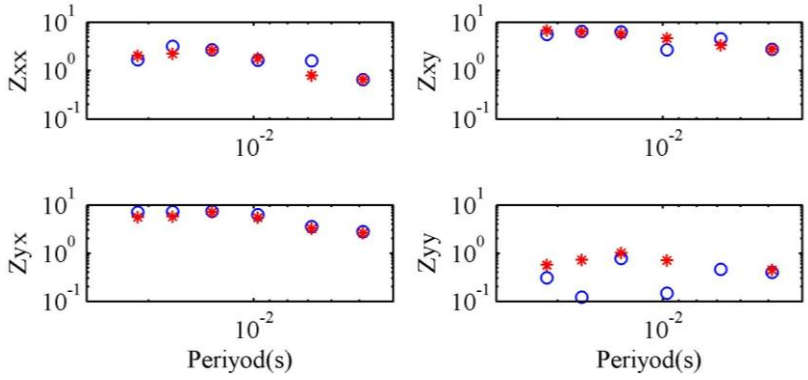
Şekil 52. Örnek-1, YSA sınıflaması sonrası (a) 4 kanalın GYS değerleri (b) empedansın Argand diyagramı (5. frekans için) (c) E_x-H_xH_y ve E_y-H_xH_y uyumunun segment ve frekans sayısına bağlı değişimleri.



Şekil 53. Örnek-1, 4 kanal verisinin etki değerleri, YSA sınıflaması öncesi; (o) ve sonrası; (*), (o; elenen segmentleri göstermektedir).



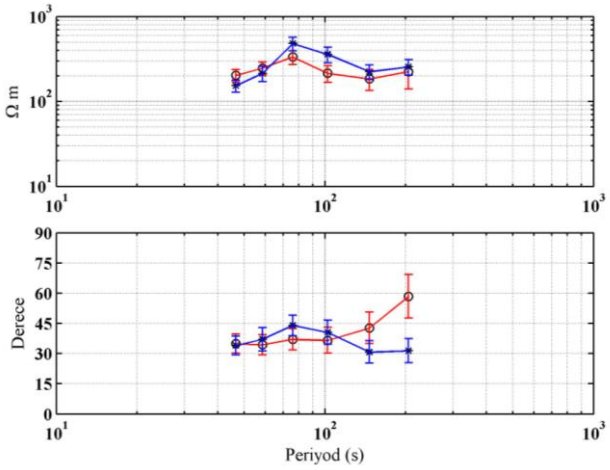
Şekil 54. YSA sınıflaması sonrası EKK yöntemi ile hesaplanan g. özdirenç ve faz eğrileri (kırmızı; xy, mavi; yx).



Şekil 55. Örnek-1, YSA sınıflaması öncesi; (o) ve sonrası; (*), EKK ile kestirilen empedans bileşenlerinin genlik değişimleri.

4.2.1.4. İEG denetimli, karma ağırlıklandırma (İEG KA) robust yöntemi ile gürültü yok etme

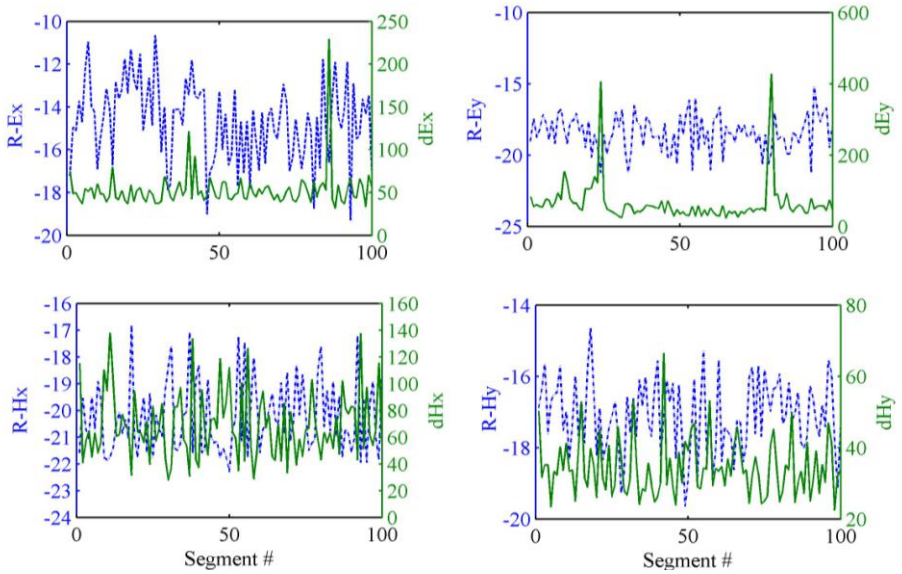
Bölüm 4.1.4'te açıklandığı gibi KA Robust hesaplamalarında başlangıç ağırlığı olarak Şekil 44'te grafiklenen İEG ağırlıkları kullanılmıştır. Hiç segment kaybı olmadan düzeltilmiş g. özdirenç ve faz eğrileri Şekil 56'te sunulmaktadır.



Şekil 56. İEG denetimli, karma ağırlıklandırma (KA) robust yöntemi ile hesaplanan g. özdirenç ve faz eğrileri (kırmızı; xy, mavi; yx).

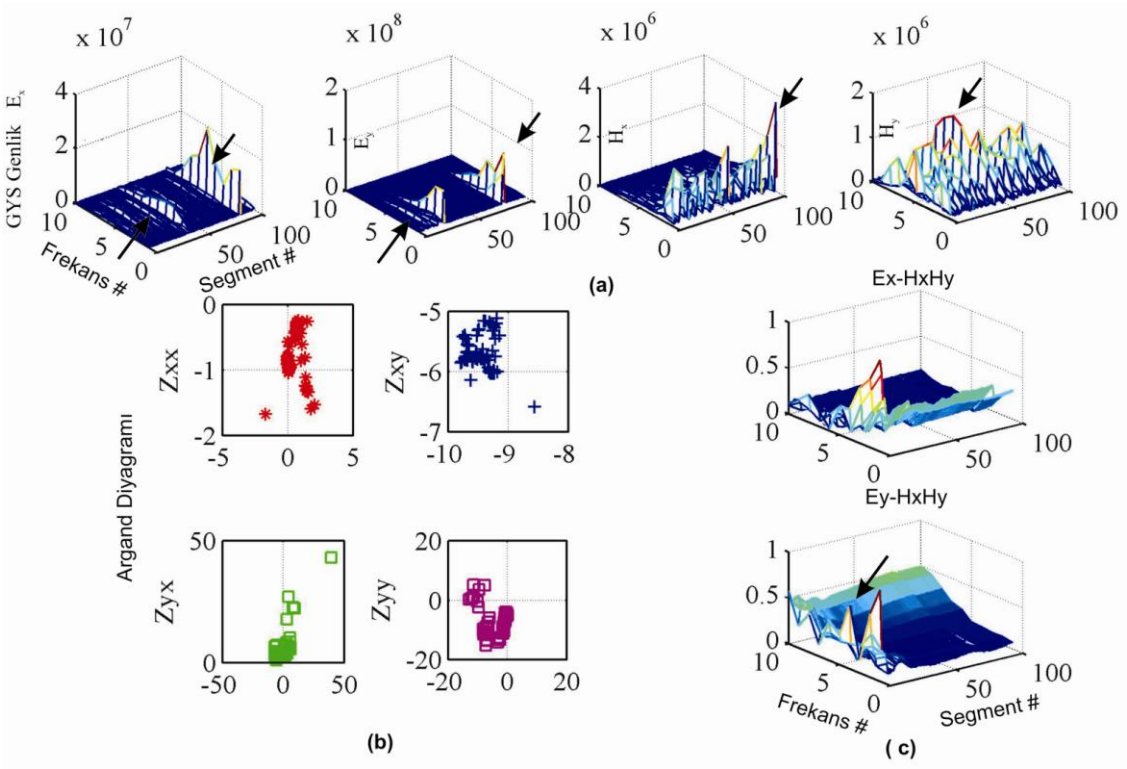
4.2.2. Örnek-2

Örnek-2, 20 Hz frekans örneklemeli, 512 değerlikli 100 zaman penceresinden oluşan MT kara verisidir. Veri, tektonik olarak etkin olmayan tortul bir havzada alınmıştır (1996 yılı kaydı, Carnaúba dos Dantas, Brezilya). Empedans hesaplaması için belirlenen frekans aralığı ölü band (ÖB,1 Hz civarı) olarak adlandırılan sinyal gücünün en düşük olduğu frekansları da içermektedir. Sabit değerlikli segmentler, istatistiksel olarak tektür olmayan bir yapıdadır ve segmentlerin etki değerleri durağan değildir (Şekil 57).



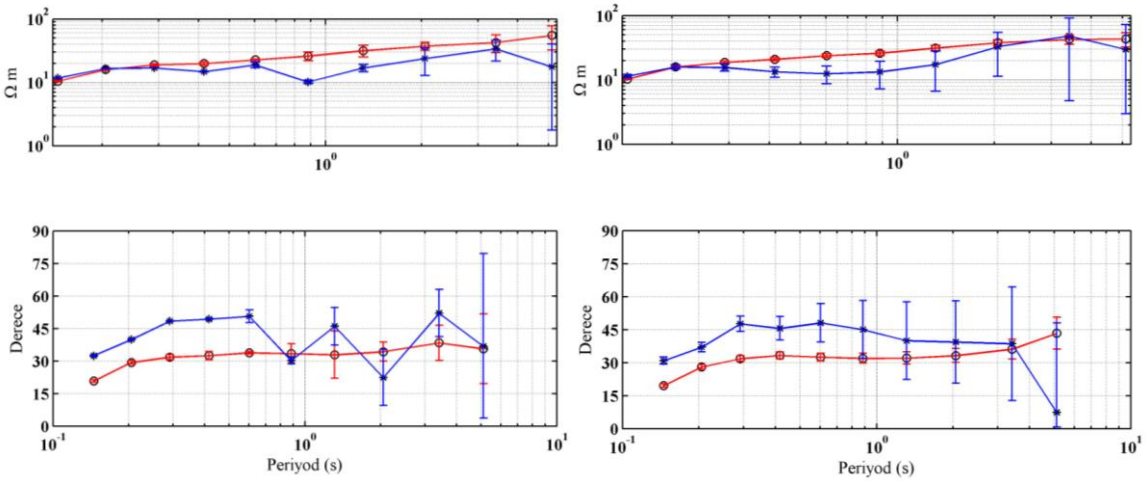
Şekil 57. Örnek-2, 4 kanal zaman serisi etki değerleri ve Run testi sonuçları.

Bu istasyon için kaydedilmiş herhangi bir Uİ ölçüsü bulunmamaktadır. Değerlendirmenin ilk aşamasında geleneksel EKK yaklaşımıyla YTF hesaplanmıştır. Gürültü nedeniyle verinin GYS değerlerinde ani yükselmeler ve düzensizlik vardır (Şekil 58. a'da oklarla gösterilmiştir). Empedans bileşenlerinin Argand diyagramında ise (örneğin rastgele 4. frekans için Şekil 58.b) saçılımlar dikkat çekicidir. Ek olarak Şekil 58.c'de grafiklenen verinin çoklu uyum değerlerinde okla işaret edilen 4. frekanstaki artış gürültü yok etme çalışmasıyla ilerleyen bölümde yok edilmiştir.

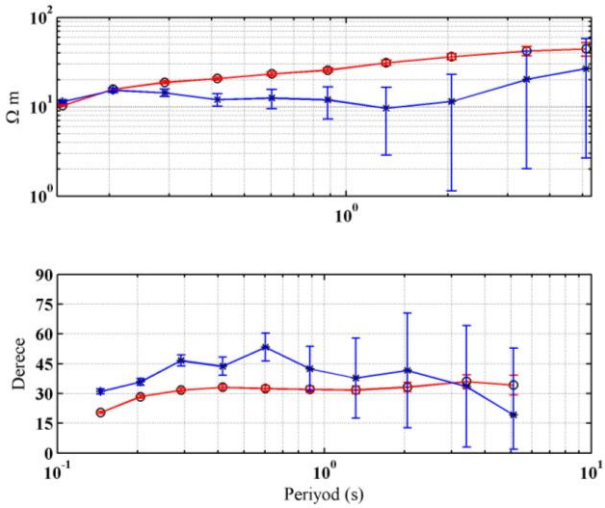


Şekil 58. Örnek-2, (a) 4 kanalın GYS değerleri (b) empedansın Argand diyagramı (5. frekans için) (c) E_x-H_xH_y ve E_y-H_xH_y uyumunun segment ve frekans sayısına bağlı değişimleri.

Gürültülü veriden EKK ile hesaplanan g. özdirenç ve faz eğrileri, özellikle ölü band etrafında ve yx doğrultusunda salınım göstermektedir (Şekil 59.a). UKA ve KA robust yöntemlerinin her ikisi ile elde edilen sonuçlarda ise hala geniş hata aralığı vardır ancak eğri yöneliminde düzelme gözlenmektedir (Şekil 59.b ve c).



(a) EKK **(b) UKA**

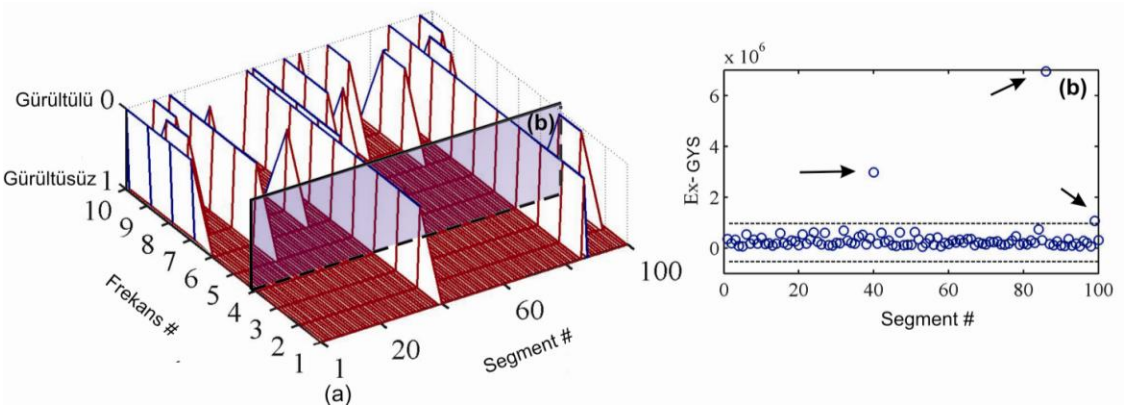


(c) KA

Şekil 59. Örnek-2, gürültülü veriden (a) EKK yöntemi (b) UKA (c) KA robust yöntemi ile elde edilen g. özdirenç ve faz değerleri (kırmızı; xy, mavi; yx).

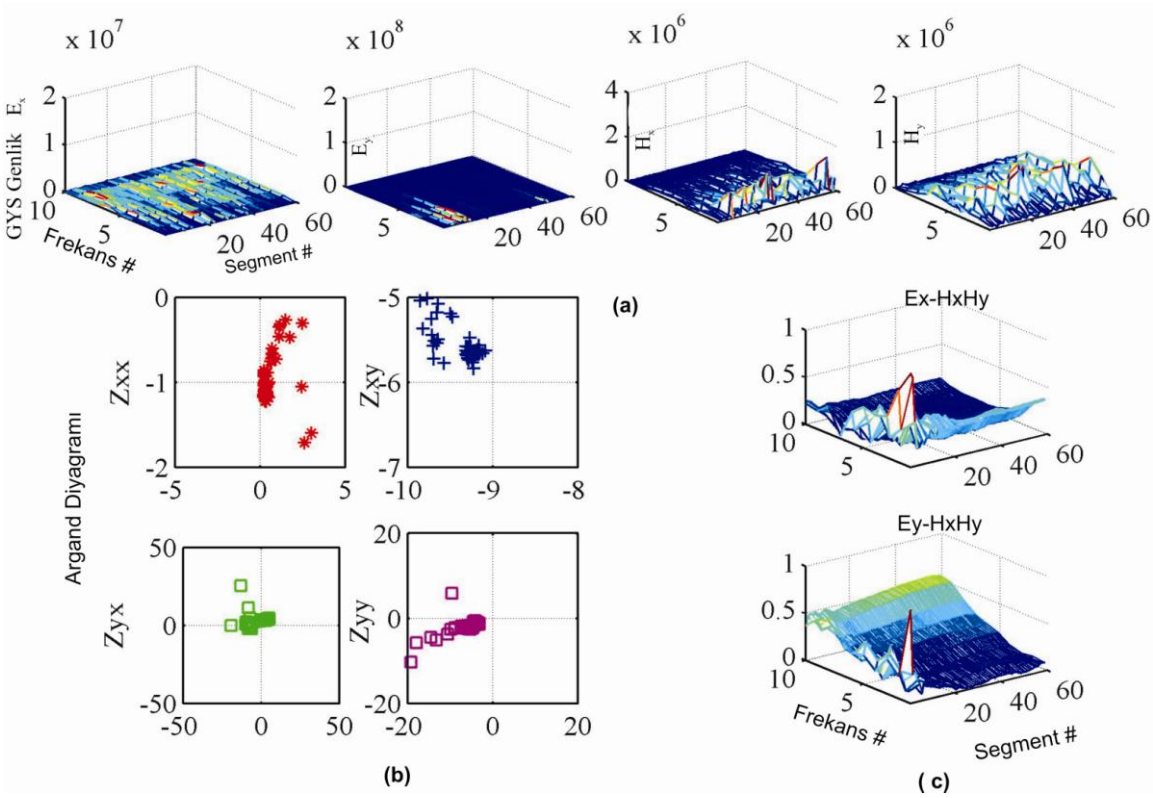
4.2.2.1. GYS sınıflaması ile gürültü yok etme

GYS sınıflaması için E_x kanalının GYS indeksi (Şekil 60.a) ve 4. frekans için GYS değerleri Şekil 60. b'de sunulmaktadır. İndekse göre, bazı segmentlerde (80. segment gibi) ilgilenilen tüm frekanslarda baskın ve kanallar arası yüksek ilişki sunan gürültü içeriği ile dikkat çekicidir (EK-5, Şekil 4).



Şekil 60. Örnek-2, E_x kanalı (a) GYS'ye bağlı sınıflama indeksi (b) 4. frekans için GYS değişimi (mavi daireler orjinal veriyi, siyah noktalı çizgiler sınır değerlerini göstermektedir).

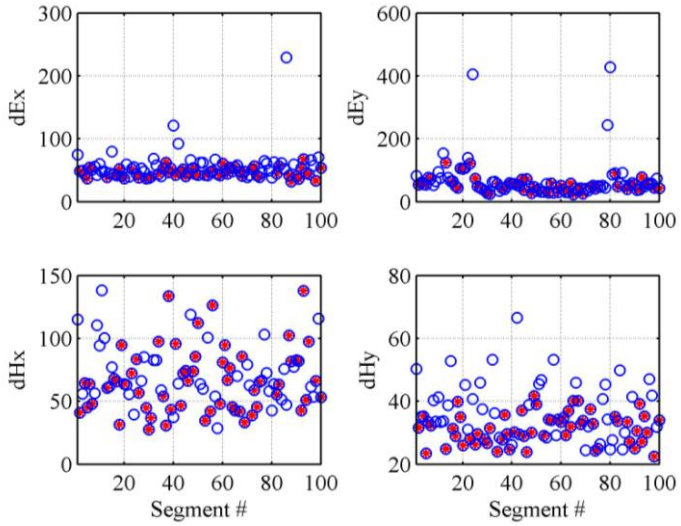
GYS sınıflaması sonucu % 70 sınıflama kriteri için 41 gürültülü segment elenmiştir (verinin % 41'i). Yapılan gürültü yok etme çalışmaları sonrası 4 kanal verisinin GYS değişimi ve E_x-H_xH_y ile E_y-H_xH_y çoklu ilişkileri frekans ve segmente göre grafiklenmiştir. Ayrıca kestirilen empedans bileşenlerinin Argand diyagramları çizilmiştir. Grafikler incelendiğinde; Şekil 58. a'da 4 kanal verisinin GYS grafiklerinde oklarla işaret edilen ani değişimler, GYS sınıflaması ile yok edildiği için Şekil 61.a'da görülmemektedir. Şekil 58. b 'de özellikle Z_{yx} ve Z_{yy} bileşenlerindeki saçılımlar Şekil 61.b'de düzelme göstermiştir. Ek olarak E_x-H_xH_y uyumunda Şekil 58. c'ye kıyasla daha düzenli bir değişim, E_y-H_xH_y uyum değerinde ise özellikle 4. frekans etrafında bir düşüş gözlenmektedir (Şekil 58.c ve Şekil 61.c).



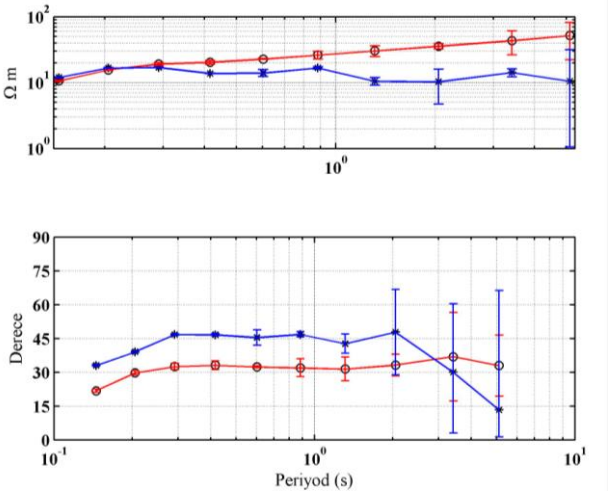
Şekil 61. Örnek-2, GYS sınıflaması sonrası (a) 4 kanalın GYS değerleri (b) empedansın Argand diyagramı (5. frekans için) (c) E_x-H_xH_y ve E_y-H_xH_y uyumunun segment ve frekans sayısına bağlı değişimleri.

GYS sınıflamasında elenen 41 segment ve etki değeri değişimleri Şekil 62'da yer almaktadır, kanallarda etki değerinde durağanlığı bozan segmentler elenmiştir.

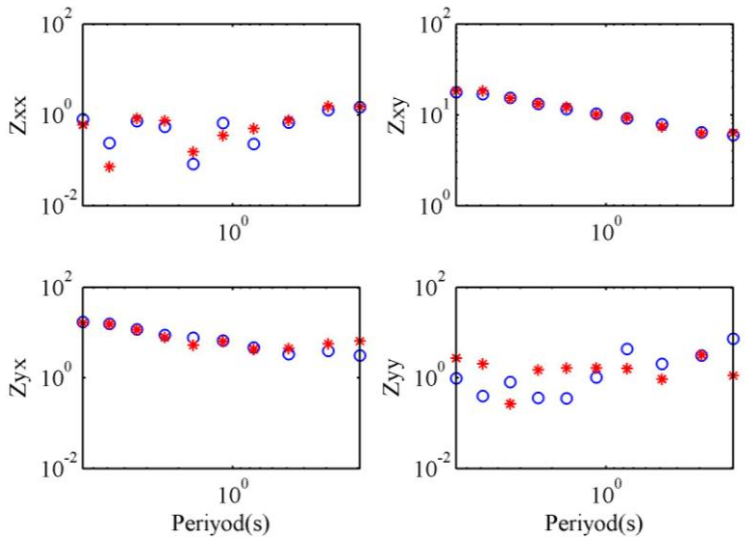
EKK ile elde edilen g. özdirenç ve faz değerleri, gürültülü veriden hesaplananlara göre iyileşme göstermiştir. Örneğin yx yönündeki gör. özdirenç hata ortalaması 5.12 iken, UKA robust tekniğinde 14, GYS ile gürültü yok etme sonrası ise 3'e düşmüştür (Şekil 63 a). Ayrıca ölü banddaki salınımlar öne eleme sonrası giderilmiştir. Empedansın genliğindeki değişim, gürültülü veriden EKK ile elde edilenlerle birlikte Şekil 64'te yer almaktadır. Argand diyagramına benzer biçimde Z_{xy} ve Z_{yx} bileşenlerindeki düzelme empedans genlik değişimlerinden de izlenebilmektedir.



Şekil 62. Örnek-2, zaman serisinin etki değeri değişimi (o; GYS sınıflaması ile elenen segmentler) .



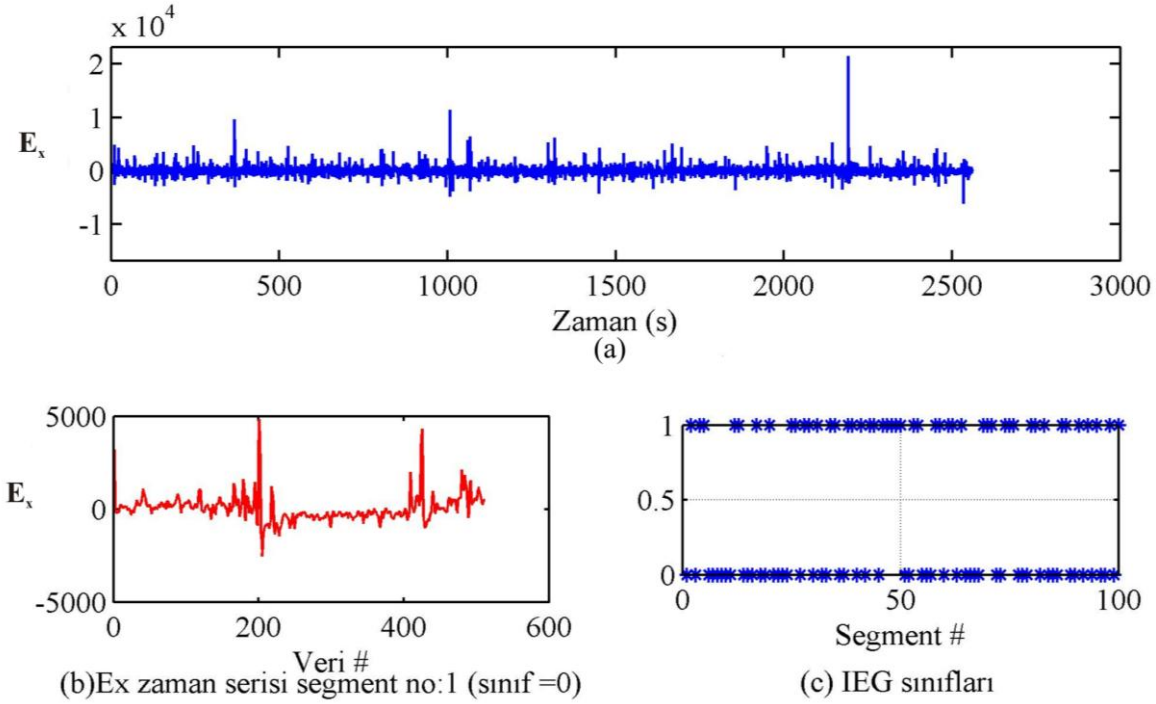
Şekil 63. Örnek-2, GYS sınıflaması sonrası EKK yöntemi ile hesaplanan g. özdirenç ve faz eğrileri (kırmızı; xy, mavi; yx).



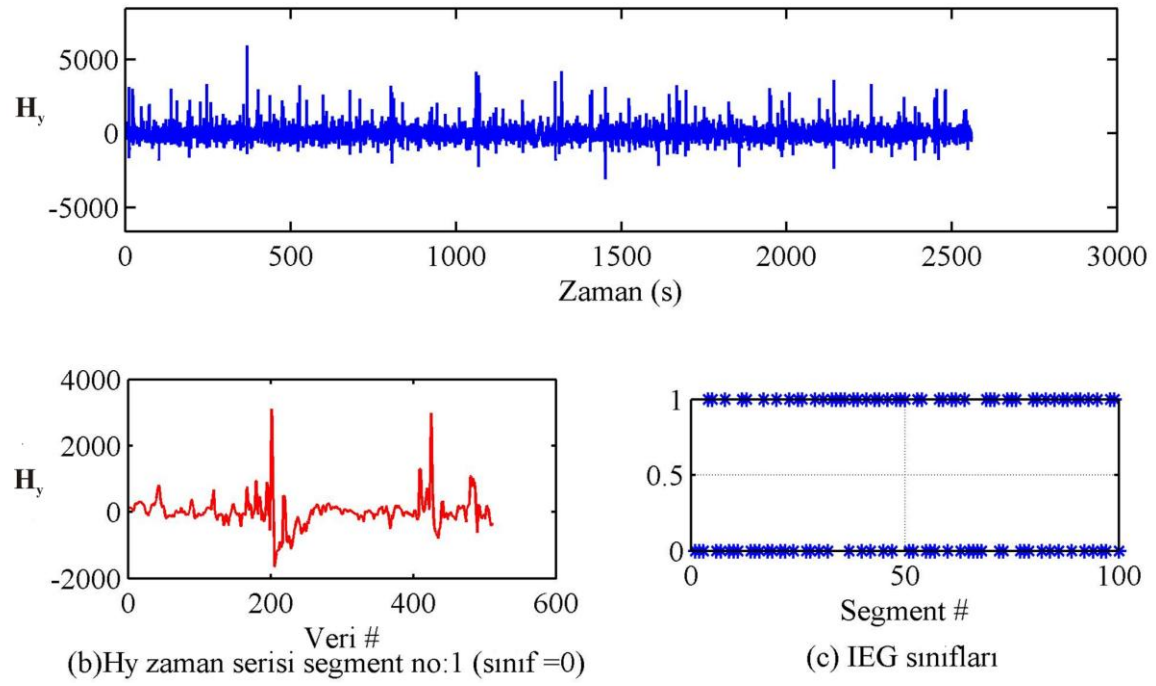
Şekil 64. Örnek-2, GYS sınıflaması öncesi; (o) ve sonrası; (*), EKK ile kestirilen empedans bileşenlerinin genlik değişimleri.

4.2.2.2. İEG sınıflaması ile gürültü yok etme

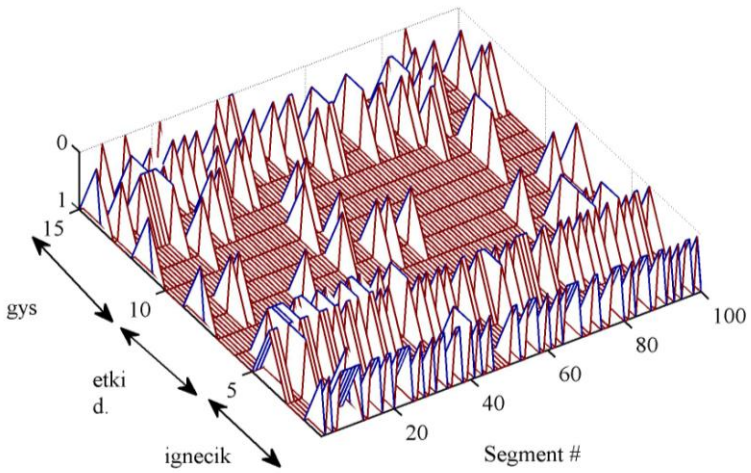
Örnek-2 verisinde genlik denetimli iğnecik gürültüsü içeren segment sayıları E_x, E_y, H_x ve H_y kanalları için sırasıyla; 53, 2, 2 ve 49'dur (EK-5, Şekil 5). Ayıca gürültülü olarak nitelenen E_x ve E_y kanalının 1. segmentlerinin uyum değerleri yüksektir (ilişkili gürültü Şekil 65 ve Şekil 66). Etki değerlerine bağlı gürültülü segment sayısı ise E_x; 1, E_y; 2, H_x; 9 ve H_y;1'dir (Şekil 67). Bu kriterlere bağlı olarak İEG sınıflaması ile Örnek-2'de 69 segment elenmiştir (verinin % 69). Elenen segment sayısı oldukça fazladır ancak sonuçlar kalan segmentlerin GYS ve etki değerlerindeki saçılımların düzeldiğini göstermektedir (Şekil 68 ve Şekil 69). Şekil 56 c'de sunulan 4. frekans için E_y-H_xH_y bileşeni, yüksek uyum değeri 1. segmenttedir ve bu segment İEG'de de elenmiştir (Şekil 68. c).



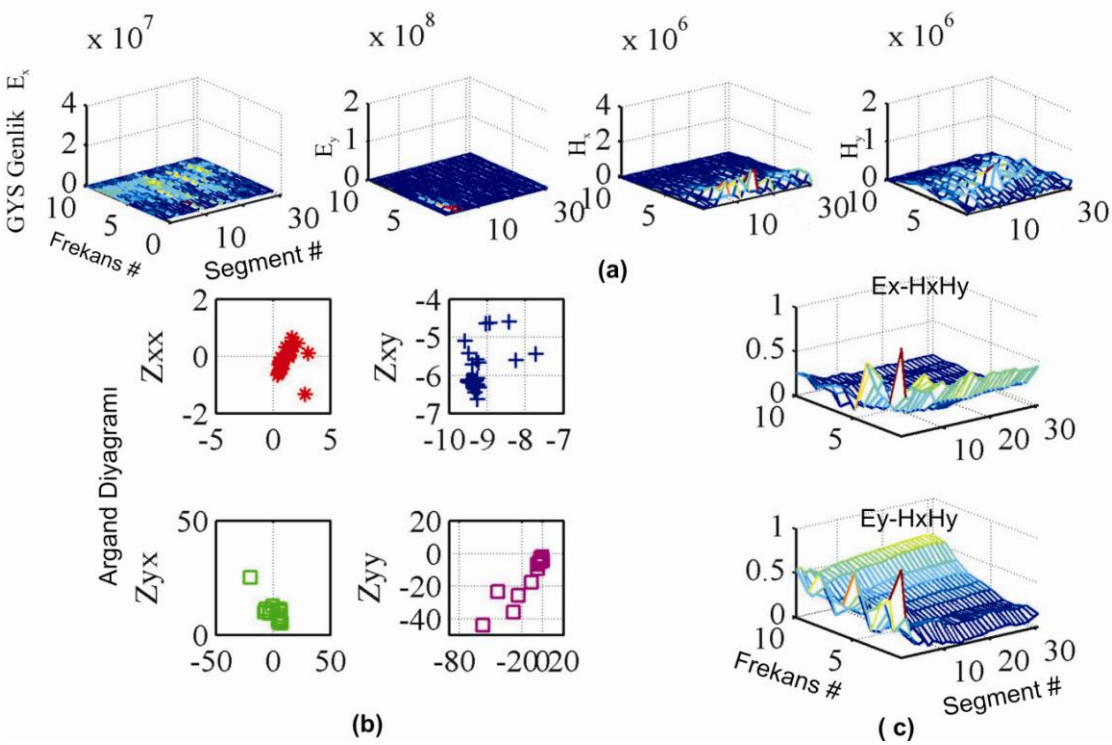
Şekil 65. Örnek-2, (a) E_x ZS (b) iğnecik gürültüsü içeren segment örneği (c) E_x kanalı için İEG sınıfları.



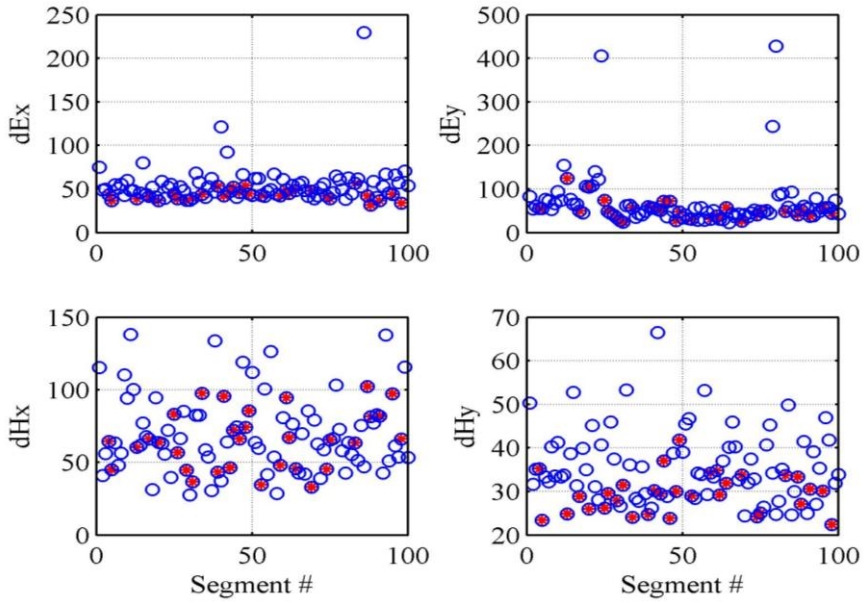
Şekil 66. Örnek-2, (a) H_y ZS (b) iğnecik gürültüsü içeren segment örneği (c) H_y kanalı için İEG sınıfları.



Şekil 67. Örnek-2, 5 kanal verisi İEG indeksi.

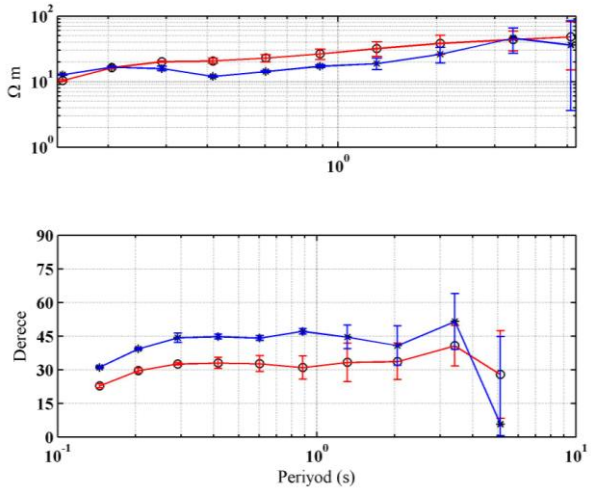


Şekil 68. Örnek-2, İEG sınıflaması sonrası (a) 4 kanalın GYS değerleri (b) empedansın Argand diyagramı (5. frekans için) (c) E_x-H_xH_y ve E_y-H_xH_y uyumunun segment ve frekans sayısına bağlı değişimleri.

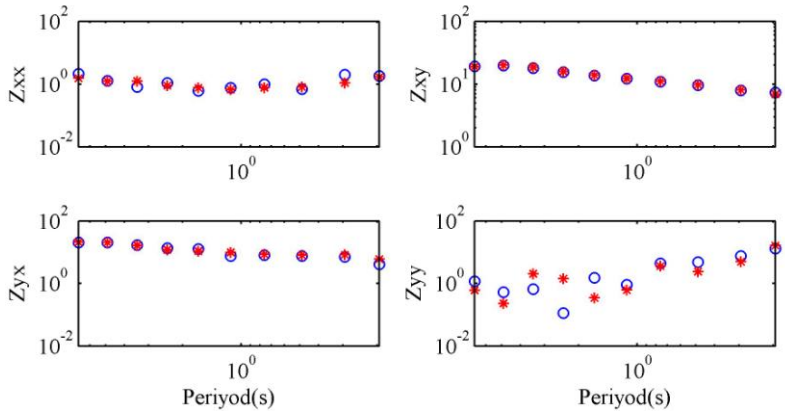


Şekil 69. Örnek-2, zaman serisinin etki değeri değişimi (o; İEG sınıflaması ile elenen segmentler) .

İEG sınıflaması ardından EKK ile hesaplanan g. özdirenç ve faz değişkenleri Şekil 70'de sunulmuştur. Empedans genliğindeki değişim ise Şekil 71'de yer almaktadır. Her iki Şekil için de, başlangıç verisine oranla iyileşme sağlanmıştır.



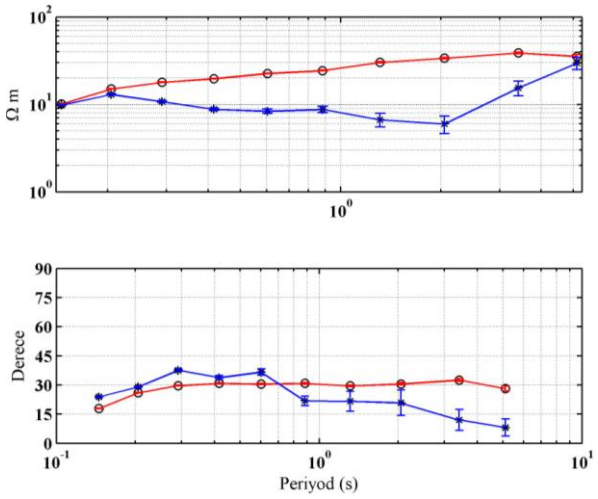
Şekil 70. Örnek-2, İEG sınıflaması sonrası EKK yöntemi ile hesaplanan g. özdirenç ve faz eğrileri (kırmızı; xy, mavi; yx).



Şekil 71. Örnek-2, İEG sınıflaması öncesi; (o) ve sonrası; (*), EKK ile kestirilen empedans bileşenlerinin genlik değişimleri.

4.2.2.3. İEG KA robust yöntemi ile gürültü yok etme

İEG kontıollü KA robust yöntemi ile hata aralığı düşük, ölü banddaki salımlar azalmış ve veri kaybı olmadan YTF hesaplanmıştır (Şekil 72).



Şekil 72. Örnek-2, İEG KA robust sonucu (kırmızı; xy, mavi; yx).

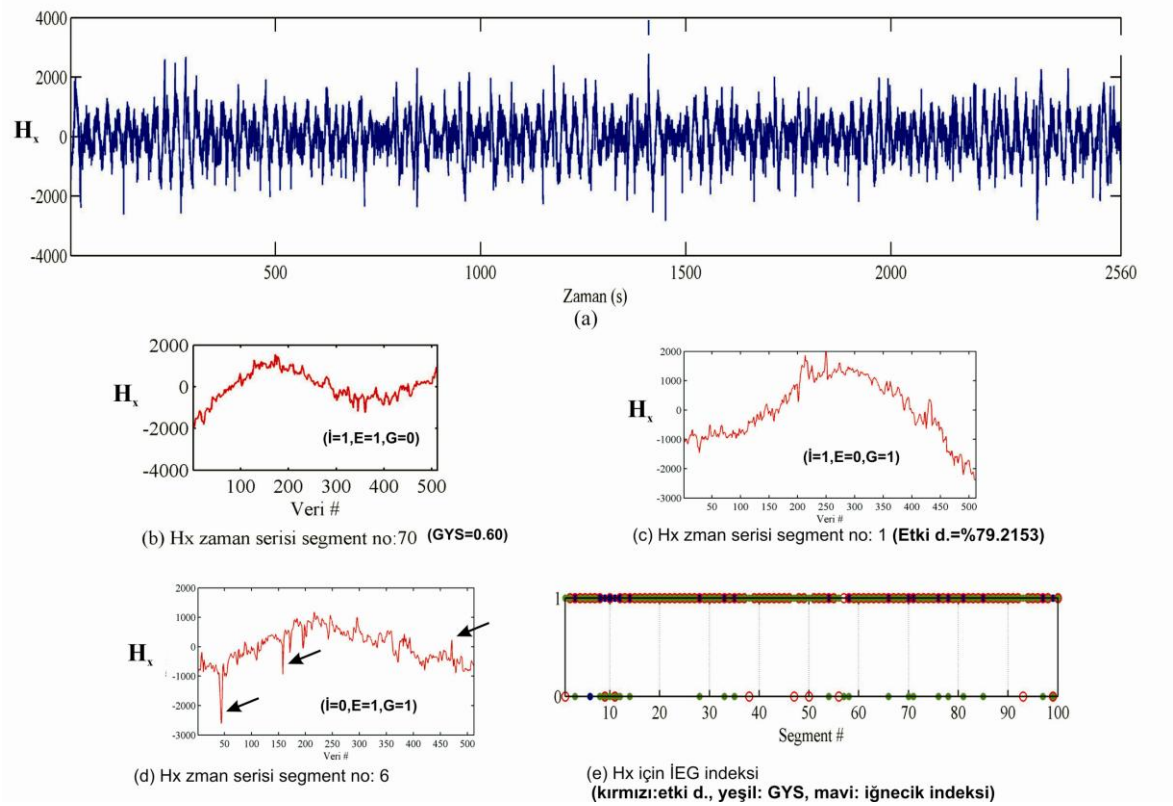
4.3. Tartışma

Gürültü yok etme uygulamaları sonrası verideki iyileşmeler, MT verilerinin doğası gereği (farklı gürültü ve veri yapısı gibi) tüm örnekler için belli bir iyileşme oranı ile tanımlanamaz. Ancak çalışmada, geliştirilen gürültü yok etme yöntemlerinden elde edilen

sonuçlar, geleneksel yöntemlerle elde edilenlere göre, verinin zaman ve frekans ortamı niteliklerine bağlı olarak karşılaştırılmıştır.

1. Segmentlerin zaman ortamı etki değerleri incelendiğinde, gürültülü segmentlerin ön elemesi için kullanılan yöntemlerden İEG yöntemi, tüm kaydın durağanlığını bozan segmentleri eleme konusunda GYS sınıflamasından daha başarılı olmuştur. Ancak bu yöntemde GYS sınıflamasına göre daha kapsamlı bir gürültü tanımı yapıldığından (İEG sınıflamasında segmentin elenmesi için GYS indeksinin 0 olması gerek koşuldur ama yeter koşul değildir) elenen segment sayısı GYS sınıflamasına göre daha fazladır. Ayrıca İEG indeksindeki 3 nitelik, bazı segmentler için ortak olsa da, Şekil 73'te sunulduğu gibi bazı segmentlerde farklılık göstermektedir. Bu durum her bir segmentteki farklı gürültü türlerine olan duyarlılığı arttırmaktadır ve yöntemin üstünlüklerinde biridir.

Örnek-1 GYS sınıflamasında, verinin yaklaşık % 20'si, İEG sınıflamasında % 35'i elenmiş, Örnek-2'de ise GYS'de % 41'i İEG sınıflamasında ise % 69'u elenmiştir.

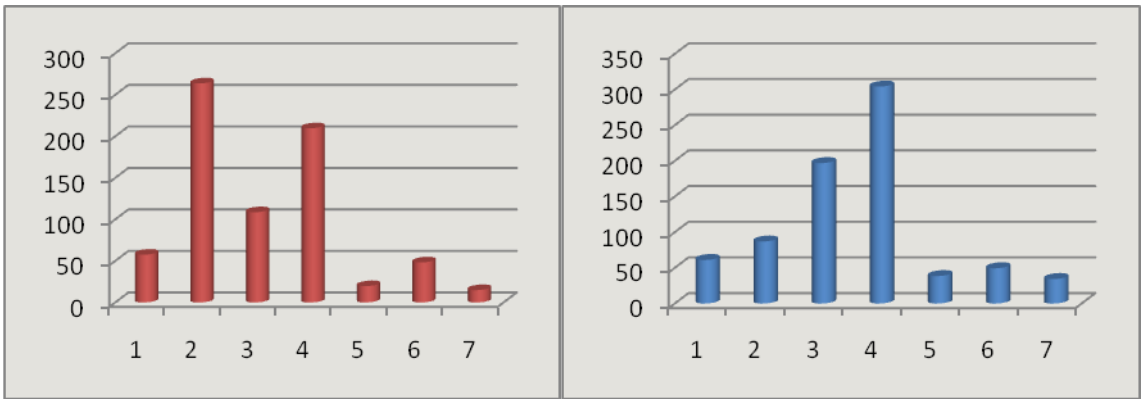


Şekil 73. Örnek-2, H_x zaman serisi ve İEG indeksleri.

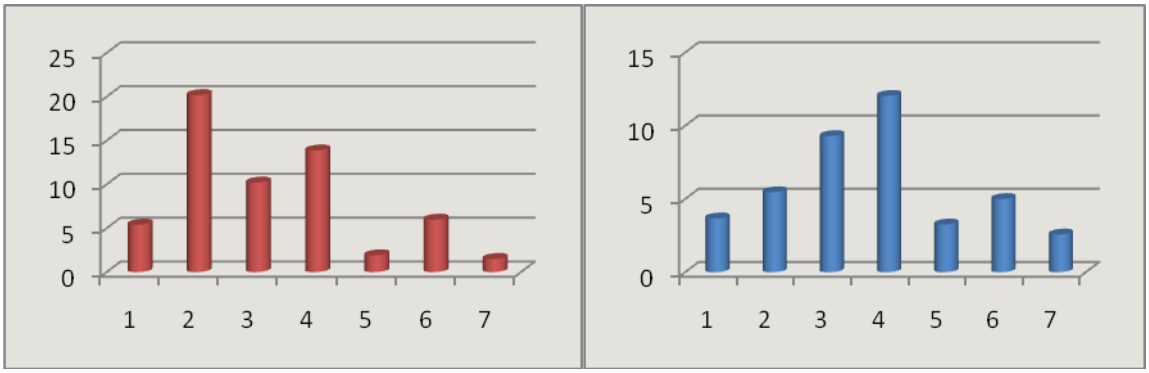
2. Örnek-1'de, düşük uyum gösteren segmentler GYS ve İEG sınıflamalarının her ikisinde de elenmiştir (Şekil 41 ve Şekil 45). Örnek-2'de ise, *ilişkili gürültü* içerdiği bilinen segmentler (yüksek uyum değerleri) GYS ve İEG sınıflaması ile yok edilmiştir (Şekil 61 ve Şekil 68).

3. Gürültü yok etme çalışmaları sonrası g. özdirenç ve faz değerlerinde oluşan iyileşme, eğri yönelimindeki ve farklı segmentlerdeki gürültü bileşenleri nedeniyle oluşan hata aralığındaki değişim ile ifade edilebilir. Örnek-1'in g. özdirenç ve faz değerlerinin, incelenen 6 frekans için ortalama hataları Şekil 74'te grafiklenmiştir. Grafiklerde; 1: EKK, 2: UKA robust, 3: Uİ EKK, 4: Uİ UKA robust, 5: İEG sınıflama EKK, 6: İEG KA robust, 7: GYS sınıflama EKK yöntemleri ile hesaplanan sonuçları göstermektedir. 1, 2, 3 ve 4 geleneksel MT değerlendirme uygulamalarıdır. 5, 6 ve 7 ise geliştirilen gürültü yok etme yöntemlerini göstermektedir ve bu yöntemlerin ortalama hata değerleri, geleneksel yaklaşımlara göre daha düşüktür.

Şekil 75'te Örnek-2'nin incelenen 10 frekans için grafiklenen ortalama hataları; 1: EKK, 2: UKA robust, 3: İEG sınıflama EKK, 4: İEG KA robust, 5: GYS sınıflama EKK yöntemleri için grafiklenmiştir. Bu örnekte hata aralığı yanında özellikle ölü banddaki salınımların yok edilmesi de verinin iyleşmesininde önemli bir göstergedir. Verinin 1. frekansındaki saçılımı, çalışmada değinilen gürültü yok etme yöntemleri dışında süzgeçleme yöntemi ile de giderilebilir. Ancak çalışma kapsamında, sadece bu veri için örneklendirilebilicek bu uygulamaya yer verilmemiştir. Örnek-2'de özellikle yx doğrultusundaki veri iyileştirme yöntemlerinin hata değişimleri, geleneksel yöntemlere oranla daha küçüktür.

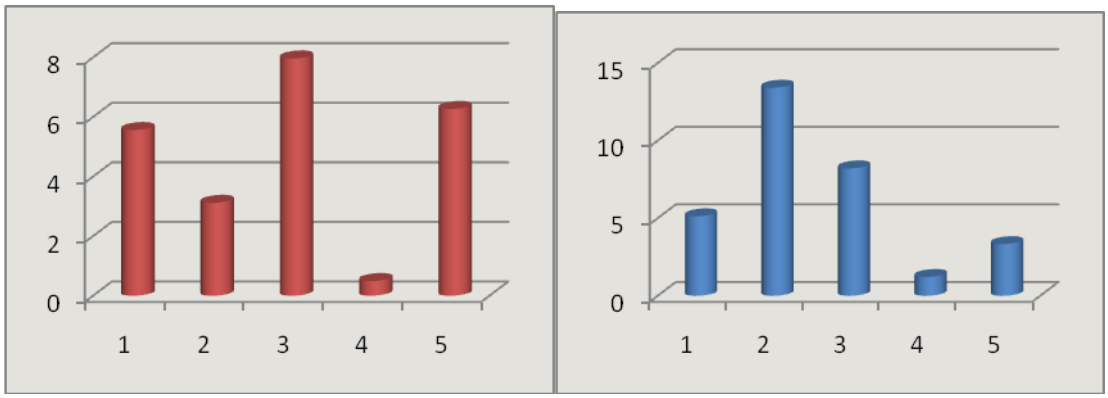


(a) g. özdirenç xy doğrultusu **(b) g. özdirenç yx doğrultusu**

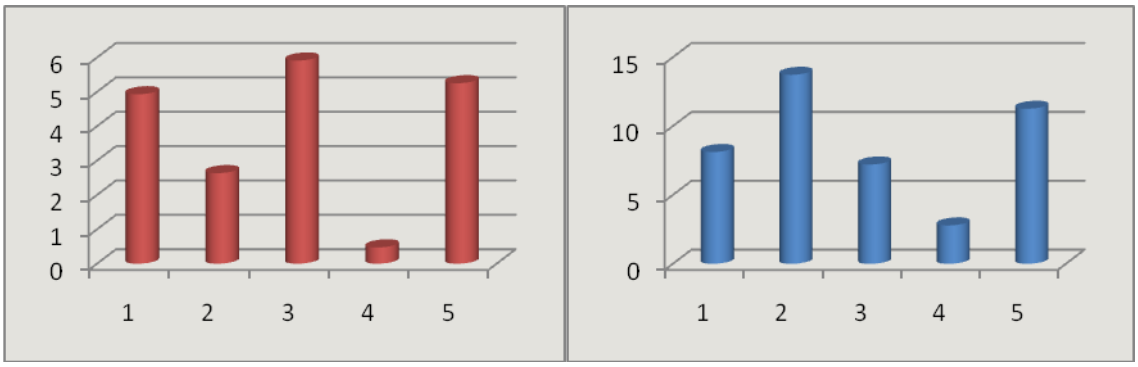


(c) faz xy doğrultusu **(d) faz yx doğrultusu**

Şekil 74. Örnek-1, g. özdirenç ve faz hatalarının ortalaması. 1: EKK, 2: UKA robust, 3: Uİ EKK, 4: Uİ UKA robust, 5: İEG sınıfama EKK, 6: İEG robust, 7: GYS sınıflama EKK sonuçlarını göstermektedir.



(a) g. özdirenç xy doğrultusu **(b) g. özdirenç yx doğrultusu**



(c) faz xy doğrultusu **(d) faz yx doğrultusu**

Şekil 75. Örnek-2, g. özdirenç ve faz hatalarının ortalaması. 1: EKK, 2: UKA robust, 3: İEG sınıflama EKK, 4: İEG robust, 5: GYS sınıflama EKK sonuçlarını göstermektedir.

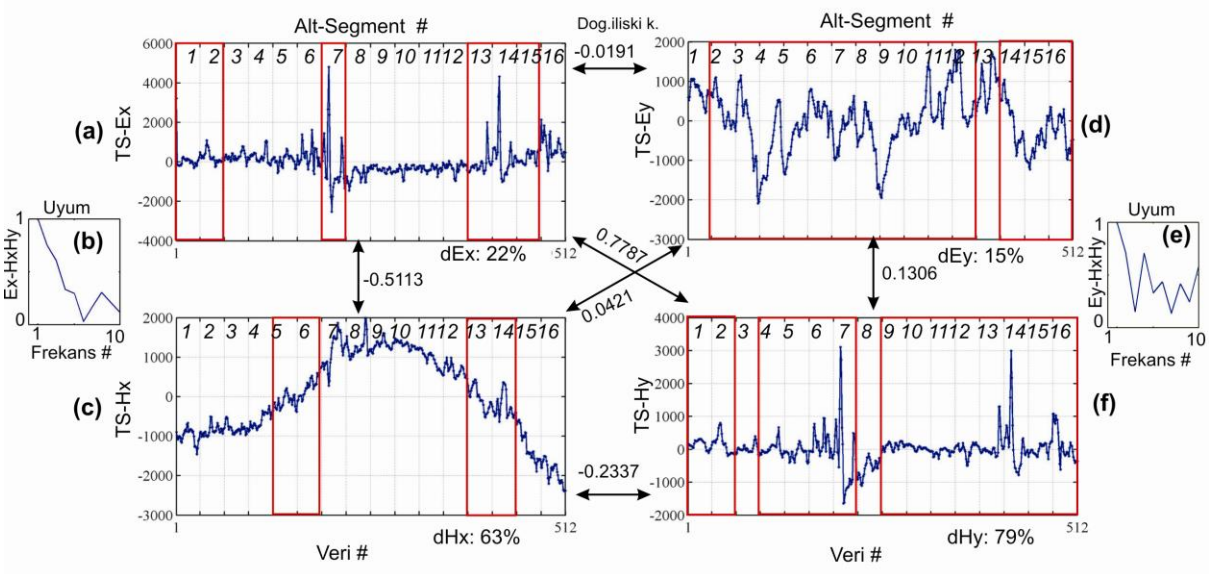
4. Uİ verisi, Örnek-1'deki anılan gürültü etkilerini düzeltme konusunda, EKK ve UKA yöntemlerinin her ikisi için de zayıf kalmıştır (Şekil 38. b). Uİ ile yerel istasyon zaman ortamı etki değerleri incelendiğinde, benzer zaman aralıklarında veride duraysızlık gözlenmektedir (Şekil 35). İki istasyon arasındaki yüksek uyum, gürültü yok etmede bir kriter olarak dikkate alınmamalıdır (ilişkili gürültü etkisi).

5. Gürültü yok etme çalışmalarında YSA'nın sinyal dokusuna duyarlı ve hızlı karar verme becerisi kullanılmak istenmiştir. Bu amaçla ölçünlü geri yayılım algoritması ile, ara katmanda 15, çıkış katmanında 1 nöron olmak üzere 3 katmanlı ağ modeli oluşturulmuştur. YSA'nın çok çözümlüğü farklı ağ topolojisiyle aynı sonuçlara ulaşmayı olanaklı kılmaktadır. Ağ topolojisi ve öğrenme algoritması, eğitim hızını arttıracak yönde tasarlanmış ve modelin olabilirliği yapay veride doğrulanmıştır. Ancak yapay verinin gürültü içeriği arazi verisine göre daha basit olduğundan arazi örnekleri için, ağa daha kapsamlı gürültü tanımı yapılması gereği ortaya çıkmıştır. Bu amaçla eğitim verilerinin İEG indeksi ağa gürültü olarak tanıtılmıştır. Ağ eğitimi her iki örnek için de (yapay ve arazi verisi örnekleri) birkaç saniyede tamamlanmıştır. Gürültü tanımı sadece eğitim verisinde yapılmış, diğer kanalların gürültüsü konusunda ağın karar vermesi istenmiştir. Tüm verinin İEG indeksi (hedefex, hedefey, hedefhx, hedefhy'nin eş zamanlı olarak gürültüsüz olduğu segmentler) dikkate alındığında ağ yaklaşık % 75 doğrulukla 36 segmenti gürültülü olarak tanımlamıştır (Şekil 51.c). Örnek 2 için YSA ile gürültü tahmin etme ve yok etme uygulaması sonuçları ise EK-6'de yer almaktadır. Her iki örnek için de eğitim ve sınıflama verisi, kanallar arası yüksek ilişki sunan bileşenler dikkate alınarak seçilmiştir. Örnek 2'de 31 segment gürültülü olarak sınıflanıp YTF öncesi elenmiştir (EK-6). YSA ile gürültü yok etme çalışması g. özdirenç ve faz değerlerine, gürültülü veriye oranla ***iyileşme*** olarak yansımıştır.

Çalışma kapsamında geliştirilen gürültü yok etme yöntemleri, tüm kayıt -Lamarque (1999)'da önerildiği gibi- daha dar zaman aralıklı alt segmentler biçiminde değerlendirilip, MT analizde önemli nitelik değerlerine bağlı kriterler ışığında (örneğin alt segmentlerde verinin tektür ve bağımsızlığı gibi) uygulanabilir. Örneğin Şekil 76'da sunulan tek istasyon Örnek-2 verisinde (doğrusal yönsemesi düzeltilmiş zaman serisi), kırmızı bloklar biçiminde gösterilen alt segmentler (2^5 örnekli alt segment için), bağımsız olarak işaretli verileri göstermektedir. Şekil 76'da işaretlenen alt segmentlerin elenmesi, tüm bloğun tektür olmasını sağlayabilir. Ancak H_y zaman serisinde bu koşulu sağlayan alt segment

sayısı tüm bloğun sadece % 12.5'sidir ve bu durum neredeyse tüm kanalın zaten elenmesi anlamına gelmektedir (Şekil 76 f).

Ayrıca örnekte E_x-H_y doğrusal ilişki katsayısı 0.7, H_y kanalı için etki değeri % 79 (etki değerinin artması gürültülü segmente işaret eder) ve kullanılan GYS indeksi 0.3'tür (0; gürültülü, 1; gürültüsüz veri). İEG indeksine göre ise bu segment 0 işaretli (gürültülü), İEG KA robust ağırlık değeri ise 0.1'dir (0.1; gürültülü veri). Çalışma kapsamında, kullanılan tüm yöntemlerde, bu segmentin gürültülü olarak tanımlanması tercih edilmiştir. Elde edilen sonuçlar bu yaklaşımın, tüm kayıttaki ZS genliklerindeki ve uyum değerlerindeki saçılımların giderebildiğini göstermiştir.



Şekil 76. Örnek-2, doğrusal yönseme giderildikten sonra zaman serisi 1. segment ve bağımsız alt segmentler (kırmızı dikdörtgenler bloklar) (a) E_x kanalı (b) E_x-H_xH_y uyum (c) H_x kanalı (d) E_y kanalı (e) E_y-H_xH_y uyum (f) H_y kanalı (çift yönlü oklar; rakamlarla belirtilen, doğrusal ilişki katsayılarının ilgili kanallarını işaret eder).

BÖLÜM 5
SONUÇ VE ÖNERİLER

Zaman serileri biçiminde kaydedilen MT yöntem verisi, tanımsal bazı sinyallerle bunlara eklenmiş rastgele gürültüden oluşmaktadır. Farklı gürültü yok etme yaklaşımlarıyla, bu karmaşık yapıdaki veriden, gürültü bileşenleri yok edilerek en uygun YTF'ye ulaşılması hedeflenmektedir. Bu amaçla yapılan istatistik yaklaşımlardan, temelde verinin gürültü içeriği ve/veya sinyal uyumuna bağlı ağırlıklandırılması (robust istatistiği) yöntemleri, elektrik ve manyetik kanallardaki gürültüyü yok etmede yaygın bir uygulama alanı bulmuştur. Ayrıca ölçü alanındaki yerel gürültüden etkilenmeyen ve eş zamanlı kaydedilen Uİ verisinin varlığında, yerel istasyon ile Uİ verisinden çapraz güç hesaplamaları, özellikle manyetik alandaki gürültüyü yok etmede tercih edilen bir uygulamadır. Doğrudan EKK ile yapılan hesaplamalar yerine Uİ ve ağırlıklandırma yaklaşımlarının birlikte kullanılması ise, günümüzde geleneksel YTF hesaplaması olarak kabul görmüştür. Ancak MT yöntemde; gürültünün çeşitliliği, gürültü ve sinyalin benzer görüngesel özellikler göstermesi, Uİ kaydının hiç olmaması veya yerel gürültüden etkilenmesi, sinyal uyumunun düşük olması veya gürültü etkisiyle yanıltıcı olması gibi nedenlerle geleneksel yaklaşımlar gürültü yok etmede zayıf kalmaktadır.

Bu nedenle çalışmada, farklı gürültü türlerinden etkilenen MT verilerinin zaman ve frekans ortamı niteliklerine bağlı sınıflama ve ağırlıklandırma yöntemleri ile veriden gürültüyü yok etme uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla MT kaydı alt zaman segmentlerine ayrılmıştır. Kullanılan eşit örnekli segmentler, MT veri karakteristiği ve gürültü etkisiyle durağan ve rastgele olmayabilir. Çalışmada kullanılan gürültü tanımı segmentlerin zaman ve frekans ortamı niteliklerindeki durağanlığın bozulmasına neden olan olgulardır. Bu olgulardan ilki, zaman serisinin mutlak genliğinde artışa neden olan iğnecik etkisidir. İğnecik veya tek nokta basamakları biçiminde ZS dokusunu bozan bu etkiler, atmosferik olaylar gibi 1. tür gürültü ile oluşmaktadır. Diğer bir olgu, sabit değerlikli segmentlerdeki her bir verinin tüm segmenti tanımlamadaki yeteneğinin bir ölçüsü olan etki değeridir. Etki değeri, segmentlerin zaman ortamı genliğinin standart sapmasıyla doğru, segmentteki örnek sayısıyla ters orantılıdır ve iğnecik veya dönemsel gürültü varlığında artmaktadır. Frekans ortamında gürültü tanımı ise, iğnecik veya dönemsel gürültü nedeniyle kanalların GYS değerlerindeki durağanlığının bozulmasıdır.

Uygulamada 3 farklı veri seti kullanılmıştır. İlk uygulamada kullanılan yapay veri, rastgele ve tektür segmentlere, farklı zaman ve frekans ölçeğinde gürültü eklenmesiyle oluşturulmuştur. Kuramsal empedans, frekanstan ve birbirinden bağımsız seçilmiştir. Gürültü; iğnecik, dönemsel ve bunların toplamı olacak biçimde H_x ve H_y kanallarına eklenmiştir. Yapılan gürültü yok etme çalışmalarının, farklı frekans ve genlikteki gürültüyü yok etmedeki yeteneği incelenmiştir.

İkinci uygulamada, 1 Hz örneklemeli, 84 segment ve her segment 1024 örnekli kara MT verisi için yapılmıştır. Bu veri için Uİ kaydı bulunmaktadır. Son uygulama 20 Hz örneklemeli, her biri 512 değerlikli 100 segmentten oluşan tek istasyon kara MT verisidir. Bu veri ölü band olarak da tanımlanan sinyal gücünün zayıf olduğu frekans aralığını da kapsayan 10 frekans için incelenmiştir.

Uygulama sonuçları aynı nitelikler aynı ölçekte olmak üzere grafiklenerek, geleneksel MT değerlendirme çalışmaları ile karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Değerlendirmede EMI tarafından üretilen ölçüm aygıtı için geliştirilen MTR95 programı temel alınmış ve bu algoritma geliştirilmiştir.

GYS sınıflaması; YTF eldesinde kullanılan 4 kanal verisinin, eş zamanlı olarak gürültüden etkilenmediği dar zaman pencerelerinin (segmentlerin) seçilmesi ile yapılmıştır. Gürültünün verideki etkisi, bu zaman pencerelerinde, aynı frekans değeri için GYS genliklerindeki saçılmadır ve her segment ve frekans için veri 0-1 (gürültülü-gürültüsüz veri) biçiminde işaretlenerek GYS indeksi oluşturulmuştur. Çalışmada % 30 hata kabul kriteri ile, göreceli olarak geniş hata aralığı seçilmiş, bu yöntemin en genel uygulanabilirliği gösterilmiştir. Bu yöntemde, YTF hesaplamasında kullanılan kanalların, aynı anda gürültüsüz olarak tanımlandığı segmentlerin seçilmesi zorunluluğu, kanallar arası ilişkili gürültü ile kanallarda baskın ama ilişkisiz gürültüyü yok etmede başarılı sonuçlar vermektedir. Ancak, örneğin 4 kanaldan birindeki güçlü gürültü varlığı (ilişkisiz gürültü durumu) ile bazı kanalların gürültüsüz segmentlerinin de elenmesi, yöntemin çekincelerindendir.

İEG sınıflamasında kullanılan iğnecik gürültüsü, doğrusal yönsemesi giderilmiş zaman segmentlerindeki mutlak genliğin ani artışlarıdır. Verinin etki değerleri ise zaman serisinin genliğe göre yüzde oranı olarak düzenlenmiş, segmentlerin etki değerlerinin % 70'ten büyük ve eşit olduğu segmentler 0 (gürültülü) olarak indekslenmiştir.

İEG indeksi her bir nitelik ve her bir kanal için ayrı ayrı belirlenmiştir. İEG sınıflaması GYS sınıflamasından farklı olarak 4 kanalın da İEG indeksinin 1 olduğu gürültüsüz segmentlerin tanımlanıp seçilmesi (gürültülü segmentlerin elenmesi) biçiminde uygulanmıştır. Bu sınıflamada, zaman ve frekans ortamı veride durağanlığı bozan etkilerin birlikte değerlendirilmesi, yöntemin bir üstünlüğüdür. Ancak GYS sınıflamasına göre çok daha fazla sayıda segmentin elenmesi yöntemin en önemli çekincesidir. Bunun önüne geçebilmek için İEG indeksine göre segmentlerin elenmesi yerine, gürültüsüz segmentlerin çözüme etkisini arttıracak yönde İEG indeksinin KA robust yönteminde başlangıç ağırlıkları olarak kullanılması yoluna gidilmiştir. Geleneksel MT değerlendirmede UKA, Bölüm 3'te de vurguladığı gibi, verideki saçılımlardan etkilenmediği için EKK yönteminden daha iyi sonuçlar üretmektedir. Ancak uyum değişkeni, gürültü kanalar arası ilişkili ise, YTF'deki saçılımları düzeltmede beklendiği gibi yeterli olmamaktadır. Uyum yerine İEG indeksine bağlı başlangıç ağırlık değerleri ile gürültü yok etmede daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Diğer bir gürültü yok etme uygulaması olarak, oluşturulan YSA modeli, yapay veri ve arazi verilerinde gürültülü segmentleri belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Mühendislik çalışmalarında yaygın olarak kullanılan ölçünlü geri yayılımlı, danışmanlı öğrenme ve uyarlanabilir öğrenme oranlı YSA modelinde, katmanlardaki nöronların sayısı, deneme yanılma yoluyla belirlenmiş, eğitimin başarısı ve süresi bu belirlemede bir kriter olarak dikkate alınmıştır. YSA modeli yapay veride kullanılarak sonuçlar test edilmiş daha sonra arazi verilerine aynı model uygulanmıştır. Ayrıca yapay veriden farklı olarak Örnek-1 ve Örnek-2'de veri dokusunu daha iyi tanımlamak için, gürültü İEG indeksine bağlı tanımlanmıştır. Örneklerde sadece 2 eğitim kanalı için indeks oluşturulmuş, diğer kanallardaki gürültü YSA ile tahmin edilmiştir. Bu yaklaşım işlem yükü ve zaman bakımından bir üstünlük sağlamaktadır. Ancak YSA doğası gereği çok çözümlüdür. YSA çalışmalarında kabul edilmiş tek bir yaklaşımın olmayışı, her problem için deneme yanılma yoluyla ağ değişkenlerinin belirlenmesi, YSA modeli oluşturma aşamasında karşılaşılan zorluklardır. Ayrıca ağın topolojisi; ara katman sayısı, ara katmanlarda kullanılan nöron sayısı, öğrenme oranı, ağın *öğrenmesini* ve öğrenme *zamanını* etkileyen önemli değişkenlerdir. Katman ve nöron sayısının aşırı artması (veri sayısından çok büyük) ağın öğrenme sürecinin % 100 başarıyla tamamlanmasına ancak öğrenme yerine ağın ezberlemesine yol açmaktadır.YSA'nın başarılı sonuç vermesi için diğer bir unsur eğitim verisinin tüm seriyi tanımlayacak biçimde seçilmesidir. Mümkünse sınıflanmak istenen gruplardan eşit sayıda örnek ağa sunularak bir eğitim yapılmalıdır. Aksi halde ağ, veri

sayısına bağlı olarak yanlış gruba doğru bir yönelim sergileyecektir. Bu amaçla örneklerde verinin uyumu (doğrusal ilişki katsayılarındaki değişim) dikkate alınarak ağ eğitilmiş ve sınıflanmıştır. Yapay veride % 100 doğru sınıflama yapan YSA modeli, örneğin Örnek-1'de % 75 doğrulukla sınıflama yapabilmiştir. Buna rağmen YSA ile sınıflanan veriden hesaplanan YTF, gürültülü veriden EKK ile hesaplananlara oranla eğri yönelimi ve hata oranları bakımından iyileşme göstermiştir.

Ayrıca eğitim verisi için İEG indeksine bağlı yapılan gürültü tanımı, Manoj ve Nagarajan (2003)'ın YSA ile gürültü yok etme uygulamasının (bknz. Bölüm 2) birinci adımında yaptıkları, verinin her bir değerinin görsel olarak denetlenmesi ile yapılan gürültü tanımından daha etkin ve otomasyona yönelik bir çalışma olmuştur.

Sonuç olarak, MT yöntemde geleneksel YTF hesaplama yöntemleri, gürültüyü yok etme konusunda yetersiz kalmaktadır. Çalışma kapsamında geliştirilen bütün gürültü yok etme yöntemleri, bu boşluğu doldurur nitelikte uygulanabilir ve etkindir.

Ancak geliştirilen sınıflama yöntemleri ile, verideki gürültünün tanımlanıp elenmesi çalışmalarının başarılı olabilmesi için, gürültünün segmentler arasında zıtlık oluşturacak biçimde "geçici" olması gerekmektedir. Ayrıca burada örneklendirilen sınıflama kriterleri ile, bu yöntemler için genel bir yaklaşım yapılmıştır. Seçilen sınıflama kriterlerinin, sinyal-gürültü durumuna göre her veriye özel olarak düzenlenmesi önerilebilir.

YSA çalışması, hesaplama zamanı ve işlem yükü bakımından anılan sınıflama yöntemlerine göre daha üstündür ve başlangıç değerlendirmesi olarak iyi bir yaklaşım sağlamaktadır. Ancak en uygun YSA modelinin oluşturulması süreci ve eğitim verisinin seçimi konuları, bu yöntemin gürültü yok etme uygulamalarında tercih edilebilirliğini olumsuz yönde etkilemektedir.

MT verisinin bileşenler arası uyum değerleri, ilişkili gürültü varlığında, gürültü yok etme çalışmaları için yanıltıcı olmaktadır. Bu nedenle UKA ve Uİ (veya Uİ+UKA) yöntemleri yerine İEG indeksine bağlı başlangıç ağırlıkları ile KA robust yöntemi daha elverişlidir. Bu yaklaşım özellikle gürültülü segmentlerin elenmesi ile ortaya çıkacak veri kaybına da yol açmadığı için, MT değerlendirme çalışmalarında önerilmektedir.

KAYNAKLAR

Ahl A., 2003. Automatic 1D Inversion of Multifrequency Airborne Electromagnetic Data with Artificial Neural Networks: Discussion and a Case Study. *Geophysical Prospecting*, 51: 89–98.

Başokur A. T., (2008). *Manyetotellürik Yöntemde Temel Kavramlar*. 1 Eylül 2011, http://geop.eng.ankara.edu.tr.

Box G. E. P., 1953. Non-normality and Tests on Variances. *Biometrika*, 40: 318–335.

Box G. E. P. ve Andersen S. L., 1955. Permutation Theory in the Derivation of Robust Criteria and the Study of Departures from Assumption. *J. Royal Statist. Soc*. B., 17: 1–34.

Cagniard L., 1953. Basic Theory of the Magnetotelluric Method of Geophysical Prospecting. *Geophysics*, 18: 605-635.

Chave A. D., Thomson D. J. ve Ander M. E., 1987. On the Robust Estimation of Power Spectra, Coherences, and Transfer Functions. *Journal of Geophysical Research*, 92 (B1): 633–648.

Chave A. D. ve Thomson D. J., 1989. Some Comments on Magnetotelluric Response Function Estimation. *J. Geophys. Res.,* 94: 14215–14225.

Chave A. D. ve Thomson D. J., 2004. Bounded Influence Magnetotelluric Response Function Estimation. *Geophys. J. Int.*, 157: 988–1006.

Efe M. ve Kaynak O., 2000. *Yapay Sinir Ağları ve Uygulamaları*. Boğaziçi Üniv. Yay., 148 s.

Egbert G. D. ve Booker J. R., 1986. Robust Estimation of Geomagnetic Transfer Functions. *Geophys. J. Roy Astr. Soc*., 87: 173-194.

Egbert G. D. ve Livelybrooks D. W., 1996. Single Station Magnetotelluric Impedance Estimation: Coherence Weighting and Regression M-Estimate. *Geophysics* 61: 964–970.

Egbert G. D., 1997. Robust Multiple-Station Magnetotelluric Data Processing. *Geophys. J. Int.*, 130: 475–496.

Elmas Ç., 2003. *Yapay Sinir Ağları*. Seçkin Yayınevi, 192 s.

El-Qady G. ve Ushijima K., 2001. Inversion of DC Resistivity Data Using Neural Networks. *Geophysical Prospecting*, 49: 417-430.

Fontes S. L., Harinarayana T., Dawes G. J. K. ve Hutton V. R. S., 1998. Processing of Noisy Magnetotelluric Data Using Digital Filters and Additional Data Selection Criteria. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 52: 30-40.

Gamble T. D., Goubau W. M. ve Clarke J., 1979. Magnetotelluric with a Remote Magnetic Reference. *Geophysics*, 44 (1): 53-68.

Goubau W. M., Gamble T. D. ve Clarke J., 1978. Magnetotelluric Data Analysis: Removal of Bias. *Geophysics*, 43: 1157-1166.

Gürer, A. 2007. Türkiye'de Manyetotelürik Yöntem: Tarihçesi ve Gelişimi. *İstanbul Üniv. Müh.Fak.Yerbilimleri Dergisi*, 20 (2): 51-62.

Hampel F., 2000. *Robust Inference*. Seminar für Statick, ETH, Zurich, Research Report No: 93, 31 p.

Huber P. J., 1981. *Robust statistics*. John Wiley and Sons, Inc., 308 p.

Jones A.G., Chave A. D., Egbert G., Auld D. ve Ahr K., 1989. A Comparison of Techniques for Magnetotelluric Response Function Estimation. *Journal of Geophysical Research*, 94 (10): 201-213.

Junge A., 1996. Characterization of and Correction for Cultural Noise. *Surveys in Geophysics*, 17: 361-391.

Karasar N., 2004. *Bilimsel Araştırma Yöntemleri*. Nobel Yayın Dağıtım, 292 s.

Kato Y. ve Kikuchi T., 1950. Sci. Rep. Tohuko Univ. Ser. V. *Geophysics*, 2: 139.

Lamarque G., 1999. Improvement of MT Data Processing Using Stationary and Coherence Tests. *Geophysical Prospecting*, 47: 819–840.

Larsen J. C., Mackie R. L., Manzella A., Fiordelisi A. ve Rieven S., 1996. Robust Smooth Magnetotelluric Transfer Function. *Geophys. J. Int.*, 124: 801-819.

Manoj C. ve Nagarajan N., 2003. The Application of Artificial Neural Networks to Magnetotelluric Time-Series Analysis. *Geophys. J. Int.*, 153: 409–423.

Manoj C., 2004. Magnetotelluric Time Series Processing. *MT Data Interpretation workshop,* October, 13 – 16, 2004, Navi Mumbai, India**.**

Nowozynski K., 2004. Estimation of Magnetotelluric Transfer Functions in the Time Domain over a Wide Frequency Band, *Geophys. J. Int.*, 158: 32-41.

Oettinger, G., Haak V. ve Larsen J. C., 2001. Noise Reduction in Magnetotelluric Time-Series with a New Signal–Noise Separation Method and Its Application to a Field Experiment in the Saxonian Granulite Massif. *Geophys. J. Int*., 146**:** 659–669.

Öztemel E., 2003. *Yapay Sinir Ağları*. Papatya Yay., 232 s.

Özürlan G. ve Ulugergerli E. U., 2005. *Jeofizik Mühendisliğinde Elektromanyetik Yöntemler*. Birsen Yayınevi, İstanbul, 250 s.

Raiche A., 1991. A Pattern Recognition Approach to Geophysical Inversion Using Neural Nets. *Geophys. J. Int*., 105: 629–648.

Rikitake T., 1950. Electromagnetic Induction within the Earth and Its Relation to the Electrical State of the Earth's Interior. 2., *Bull. Earthquake Res. Inst., Univ. Tokyo, 28*: 263–283.

Ripley D., 2004. *Robust Statics. M.Sc. in Applied Statistics.* MT2004, Report, 11 p.

Rittler O., Junge A. ve Dawes G. J. K., 1998. New Equipment and Processing for Magnetotelluric Remote Reference Observations. *Geophys. J. Int*., 132: 535-548.

Siegel S., 1956. Nonparametric Statistics. *The American Statistician*. 11 (3): 13-19.

Simpson F. ve Bahr K., 2005. *Practical Magnetotellurics*. Cambridge University Pres., 254 p.

Sims W., Bostick F. ve Smith H., 1971. The Estimation of Magnetotelluric Impedance Tensor Elements from Measured Data. *Geophysics*, 36: 938-942.

Smirnov M. Y., 2003. Magnetotelluric Data Processing with a Robust Statistical Procedure Having a High Breakdown Point. *Geophys. J. Int.*, 152: 1–7.

Smirnov M. ve Varentsov I., 2004. Magnetotelluric Data Processing, from Theory to Practice. *17th EM induction Workshop*, MTDIW, Navi Mumbai, India.

Spichak V. ve Popova I., 2000. Artificial Neural Network Inversion of Magnetotelluric Data in Terms of Three-Dimensional Earth Macroparameters. *Geophysical Journal International*, 142: 15–26.

StatSoft, (2008). *Statistica*. 1 Eylül 2010, http://www.statsoft.com/textbook.

Stratton J. A., 1941. *Electromagnetic Theory*. McGraw-Hill Book. Co., 615 p.

Sutarno D. ve Vozoff K., 1989. Robust M-Estimation of Magnetotelluric Impedance Ttensor. *Expl, Geophys.*, 20: 383-398.

Sutarno D., 2005. Development of Robust Magnetotelluric Impedance Estimation Review. *Indoneosian Journal of Physics*. 16: 79-89.

Sutarno D., 2008. Constrained Robust Estimation of Magnetotelluric Impedance Functions Based on a Bounded-Influence Regression M-Estimator and the Hilbert Transform. *Nonlin. Processes Geophys.*, 15: 287–293.

Swift C. M., 1967. A Magnetotelluric Investigation of an Electrical Conductivity Anomaly in the Southwestern United States. (Ph.D. dissertation), Mass. Institute of Technology.

Şahin M., 2005. Çeşitli Geriye Yayılım Yapay Sinir Ağı Algoritmalarının Karşılaştırılması ve Bazı Uygulamaları. (Yüksek Lisans Tezi), Çanakkale.

Şengül E., 2008a. Classification in Magnetotelluric Time Series by Using Artificial Neural Network. *The 18th International Geophys. Congress & Exhibition by UCTEA*, Ankara, 62.

Şengül E., 2008b. Applications of Signal Classification by Using Back Propagation Artificial Neural Network. *The 18th International Geophys. Congress & Exhibition by UCTEA*, Ankara, 80.

Şengül E., 2009. Manyetotelürik Yöntemde Gürültü Yoketme Çalışmaları. *Uluslararası Kocaeli Deprem Sempozyumu*, Kocaeli, 68.

Şengül E., Ulugergerli E.U. ve Göktaş H., 2010. Noise Elimination Study for a Single Station Magnetotelluric Data. Geophysical Research Abstract, *EGU 2010*, Vienna, 12:3751.

Tikhonov A. N., 1950. Determination of the Electrical Characteristics of the Deep Strata of the Earth's Crust. *Dok. Akad. Nauk. SSSR*, 73(2): 295-297.

Tradd D. O. ve Travassos J. M., 2000. Wavelet Filtering of Magnetotelluric Data. G*eophysics*, 65 (2): 482–491.

Ulugergerli E., 1993. Mayetotelürik Verilerinin Tekil Değer Ayrışımı Yöntemi ile Sönümlü En Küçük Kareler Ters Çözümü. (Yüksek Lisans Tezi), Ankara.

Ulugergerli E. U., Fontes S. L., Carvalho R. M, Germano C. R. ve Carrasquilla A., 2011. Magnetotelluric Response Estimates Under the Equatorial Electrojet in Brazil. *12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society*, Rio de Janeiro, Brazil.

Van der Baan M. ve Jutten C., 2000. Neural Networks in Geophysical Applications. *Geophysics*, 65: 1032 - 1047.

Vozoff K., 1991. The Magnetotelluric Method. In: M.N. Nabighian (Ed). *Electromagnetic Methods in Applied Geophysics,* SEG, Tulsa, OK, 2: 641-711.

Ward S. H. ve Hohmann G. W., 1987. Electromagnetic Theory for Geophysical Applications. *Electromagnetic Methods in Applied Geophysics*, 1: 130-311.

Weaver J. T., 1994. *Mathematical Methods for Geo-electromagnetic Induction.* Research Studies Press Ltd., Taunton, Somerset, England, 316 p.

Weckmann U., Magunia A. ve Ritter O., 2005. Effective Noise Separation for Magnetotelluric Single Site Data Processing Using a Frequency Domain Selection Sheme. *Geophys. J. Int.*, 161: 635-652.

Zhang Y. ve Paulson K. V., 1997. Magnetotelluric Inversion Using Regularized Hopfield Neural Networks. *Geophysical Prospecting*, 45: 725–743.

Zonge K. L. ve Hughes L. J., 1987. *Controlled Source Audio-Frequency Magnetotellurics*. In: Nabighian, M.N. (Ed). SEG pub., No: 3.

Zurada, J. M, 1992. *Introduction to Artificial Neural Systems.* West, St. Paul, 759 p.

EKLER

EK-1

İLETKEN ORTAMDA EMPEDANS VE GÖRÜNÜR ÖZDİRENCİN ELDE EDİLMESİ

Kartezyen koordinat sisteminde düşey z ekseni boyunca ilerleyen elektomanyetik dalga için Maxwell eşitliklerinden elde edilen dalga denkleminin, düzlem dalga için çözümünde dönel işlemi;

$$\nabla x\mathbf{E} = \begin{vmatrix} i & j & k \\ \partial x & \partial y & \partial z \\ E_x & 0 & 0 \end{vmatrix} = j\left(\frac{\partial \mathbf{E}_x}{\partial z}\right) \qquad \textbf{(EK-1.1)}$$

olur. Ortama ilişkin sabitler iletken ortamda; $\mu \neq \mu_0, \varepsilon \neq \varepsilon_0, \sigma \neq 0$ olur. Faraday eşitliğinden yararlanarak elektrik alanın yöne bağlı değişiminin frekans ortamı tanımı tekrar yazılırsa;

$$\frac{\partial E_x}{\partial z} = -i\mu\omega H_y \qquad \textbf{(EK-1.2.a)}$$

$$\frac{\partial E_x}{\partial z} = Ae^{i\omega t+kz} - Be^{i\omega t-kz} \qquad \textbf{(EK-1.2.b)}$$

dır. Manyetik alan ise;

$$H_y = -\frac{k}{i\omega\mu}(Ae^{i\omega t+kz} + Be^{i\omega t-kz}) \qquad \textbf{(EK-1.3)}$$

biçiminde bulunur. (Ulugergerli, 1993). Çözümlerden de görülebileceği gibi Maxwell denklemleri elektromanyetik alanın birbirine dik bileşenleri arasında doğrusal ilişki olduğunu gösterir. Yarı sonsuz tekdüze ortam için ortoganal elektromanyetik alan bileşenlerinin oranından, yüzeydeki empedans Z ;

$$Z = -\frac{i\omega\mu}{k}\frac{(Ae^{i\omega t+kz} + Be^{i\omega t-kz})}{(Ae^{i\omega t+kz} - Be^{i\omega t-kz})} \qquad \textbf{(EK-1.4.a)}$$

veya

$$Z = -\frac{i\omega\mu}{k}\frac{(Ae^{kz} + Be^{-kz})}{(Ae^{kz} - Be^{-kz})} \qquad \textbf{(EK-1.4.b)}$$

yazılabilir. Bu eşitlik $(AB)^{1/2}$ ile bölünüp, $(A/B)^{1/2}$ =exp(ln(A/B) ^{½}) özelliği kullanılarak düzenlenirse;

$$Z = -\frac{i\omega\mu}{k}\frac{(\frac{A}{\sqrt{AB}}e^{kz} + \frac{B}{\sqrt{AB}}e^{-kz})}{(\frac{A}{\sqrt{AB}}e^{kz} - \frac{B}{\sqrt{AB}}e^{-kz})} \qquad \textbf{(EK-1.4.c)}$$

$$Z = -\frac{i\omega\mu}{k}\frac{(\sqrt{\frac{A}{B}}e^{kz} + \sqrt{\frac{A}{B}}e^{-kz})}{(\sqrt{\frac{A}{B}}e^{kz} - \sqrt{\frac{A}{B}}e^{-kz})} \qquad \textbf{(EK-1.4.d)}$$

elde edilir. α=ln(sqrt(A/B)) için

$$Z = -\frac{i\omega\mu}{k}(\frac{e^{kz+\alpha} + e^{-kz-\alpha}}{e^{kz+\alpha} - e^{-kz-\alpha}}) \qquad \textbf{(EK-1.4.e)}$$

$$Z = -\frac{i\omega\mu}{k}\coth(kz + \alpha) \qquad \textbf{(EK-1.4.f)}$$

Bir ortamda herhangi z_1 ve z_2 derinlikleri için empedans ise;

$$Z_1 = -\frac{i\omega\mu}{k}\coth(kz_1 + \alpha) \qquad \textbf{(EK-1.5.a)}$$

$$Z_2 = -\frac{i\omega\mu}{k}\coth(kz_2 + \alpha) \qquad \textbf{(EK-1.5.b)}$$

olur. Buradan:

$$\coth^{-1}(-\frac{kZ_1}{i\omega\mu}) = kz_1 + \alpha \qquad \textbf{(EK-1.6)}$$

$$\alpha = -\coth^{-1}(-\frac{kZ_1}{i\omega\mu}) - kz_1 \qquad \textbf{(EK-1.7)}$$

dır ve

$$Z_2 = -\frac{i\omega\mu}{k}\coth(kz_2 - kz_1 - \coth^{-1}(\frac{Z_1 k}{i\omega\mu}) \qquad \textbf{(EK-1.8.a)}$$

bağıntısı elde edilir. Eğer z_1 sonsuz ve z_2=0 ise;

$$Z_2 = -\frac{i\omega\mu}{k}\coth(k_0 - k_\infty - \coth^{-1}(\frac{Z_1 k}{i\omega\mu}) \qquad \textbf{(EK-1.8.b)}$$

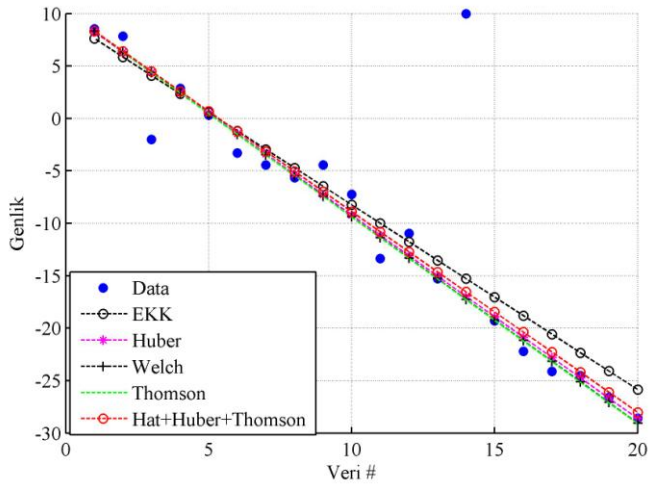
$$Z_2 = Z_{yüzey} = \frac{i\omega\mu}{k} = \frac{i\omega\mu}{\sqrt{i\omega\mu\sigma}} = \sqrt{\frac{i\omega\mu}{\sigma}} = \left|\frac{E_x}{H_y}\right|_{yüzey} \qquad \textbf{(EK-1.8.c)}$$

elde edilir.

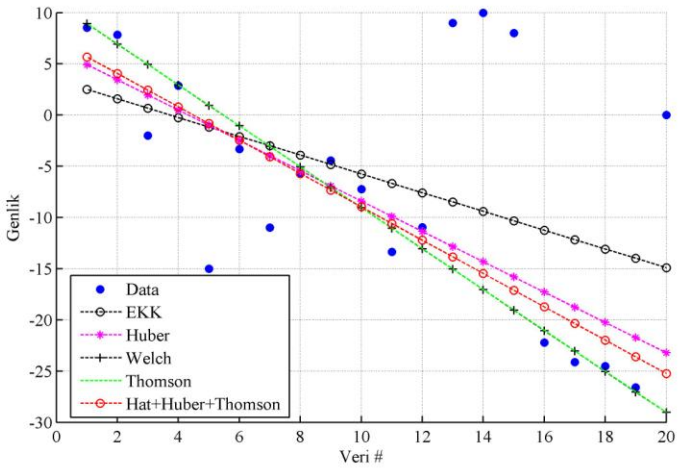
EK-2

DOĞRUSAL BİR MODEL İÇİN EKK VE AĞIRLIKLANDIRMA YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

y=10+2x+a, a; normal dağılım sunan [-2.2588, 3.5784] aralığında değişen rastgele sayıları göstermek üzere doğrusal modeli için farklı robust yaklaşımları ile elde edilen sonuçlar Şekil A1'de sunulmuştur.



(a)



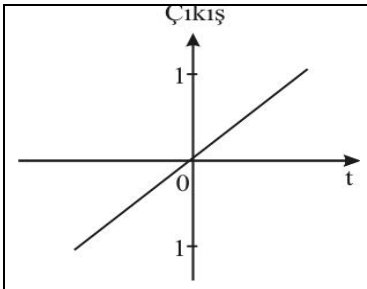
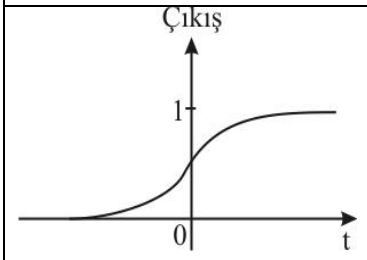
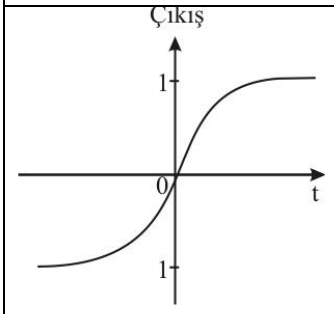
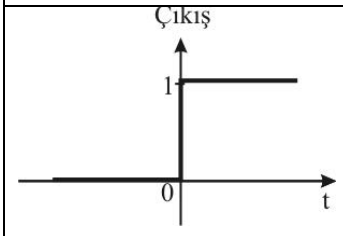
(b)

Şekil 1. (a) Az saçılımlı (b) çok saçılımlı veri için EKK, Huber, Welch, Thomson ağırlıkları ve karma ağırlıklar ile elde edilen kestirimler.

EK-3

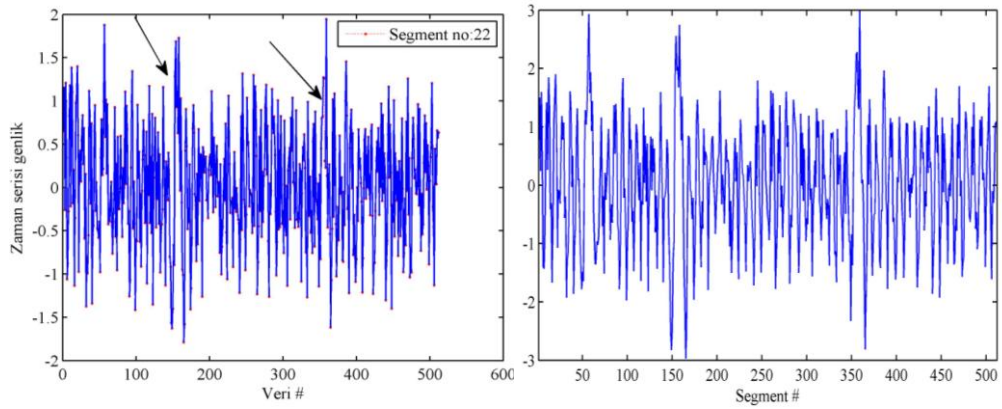
YSA AKTİVASYON FONKSİYONLARI

Çizelge 1. YSA ağlarında kullanılan çeşitli aktivasyon fonsiyonları

	Doğrusal aktivasyon fonksiyonu,sürekli çıkış sağlar, çıkış girişe eşittir. $f(x) = x$
	Logaritma Sigmoid aktivasyon fonksiyonu, çıkış 0/-1 arasında değişir. $f(t) = \frac{1}{1+\exp(-\beta t)}$ β ;eğim sabiti (genellikle 1 alınır).
	Tanjant sigmoid Çıkış -1/+1 arasında değişir.
	Eşik aktivasyon fonksiyonu, net çıkış >0 ise çıkış=1, net çıkış >0 ise çıkış=0 dır.

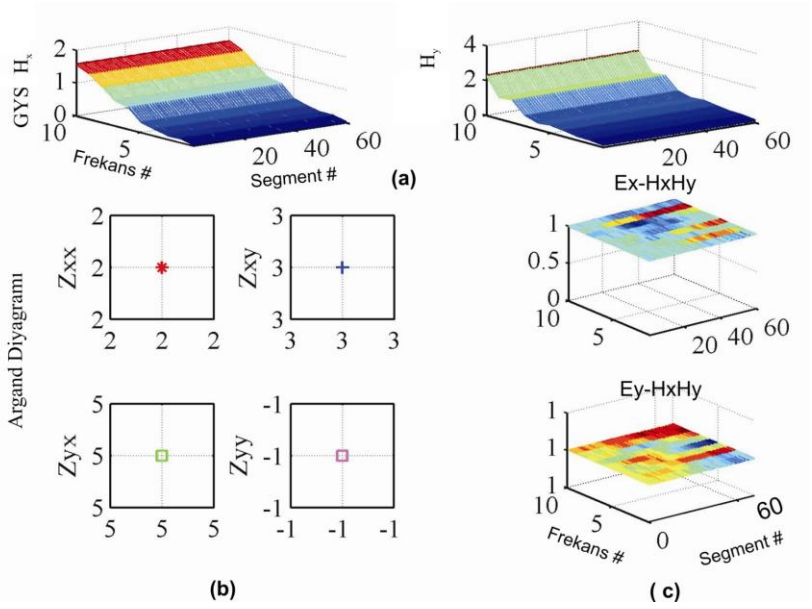
EK-4

YAPAY VERİ DEĞİŞİMLERİ

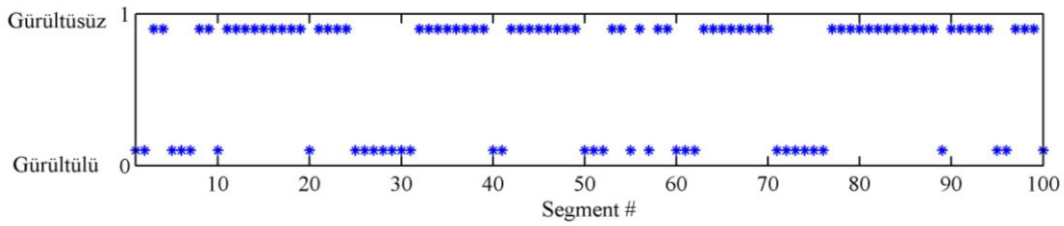


(a) **(b)**

Şekil 1. Yapay veri (a) n3 türü gürültü örneği, segment no:80 (b) n5 türü gürültü örneği, segment no:96.



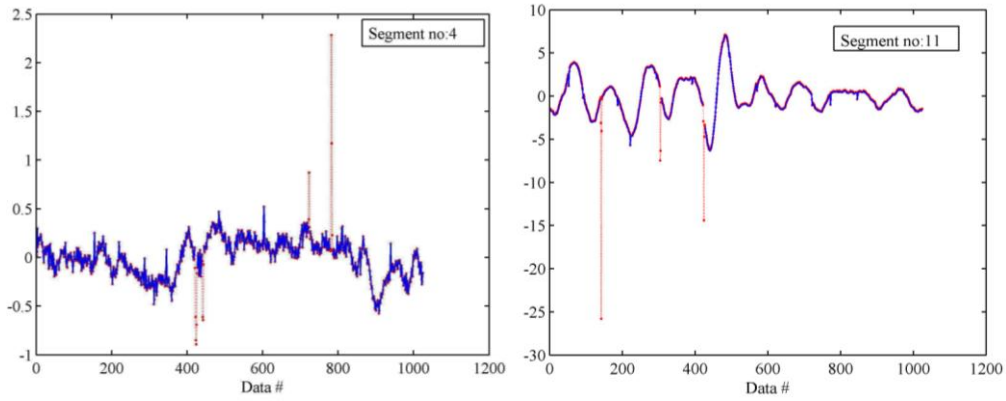
Şekil 2. Yapay veri, GYS ve YSA sınıflaması sonrası (a) H kanalları GYS (b) Empedansın Argand diyagramı (c) E_x-H_xH_y ve E_y-H_xH_y uyumu segment ve frekans sayısına bağlı değişimleri.



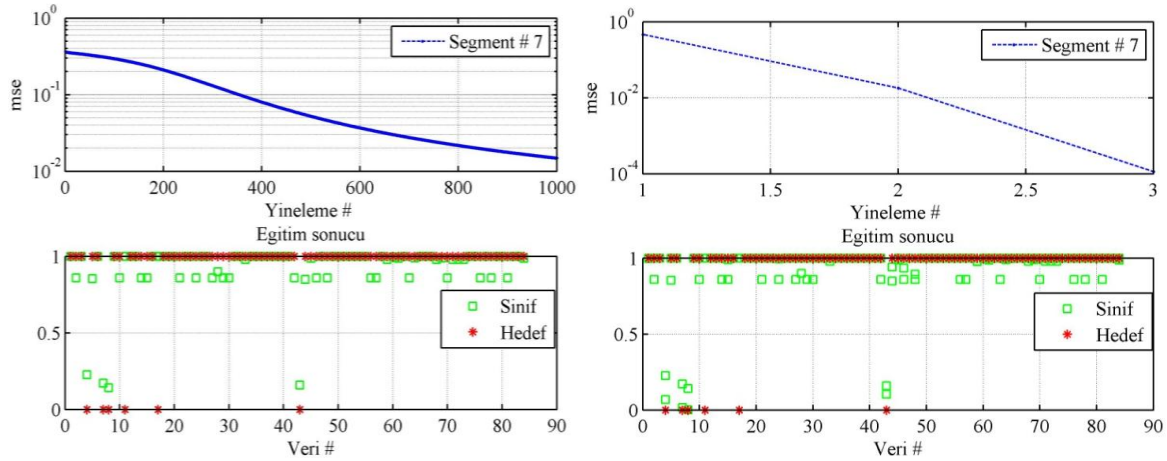
Şekil 3. Yapay veri İEG indeksi.

EK-5

ARAZİ VERİSİ DEĞİŞİMLERİ

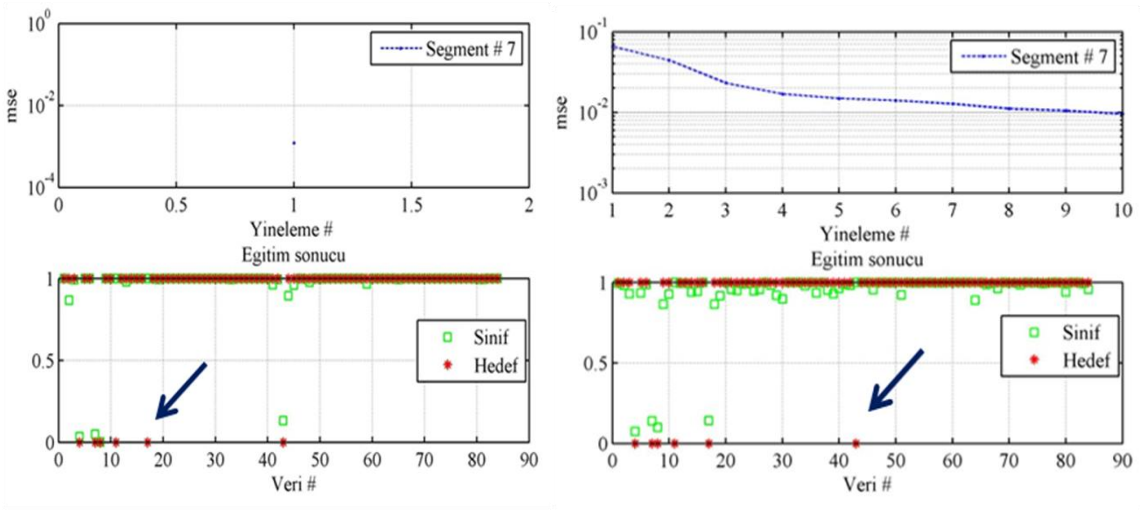


Şekil 1. Örnek-1 (a) E_x kanalı 4. segment ZS (b) E_y kanalı 11. segment ZS iğnecik etkisi.



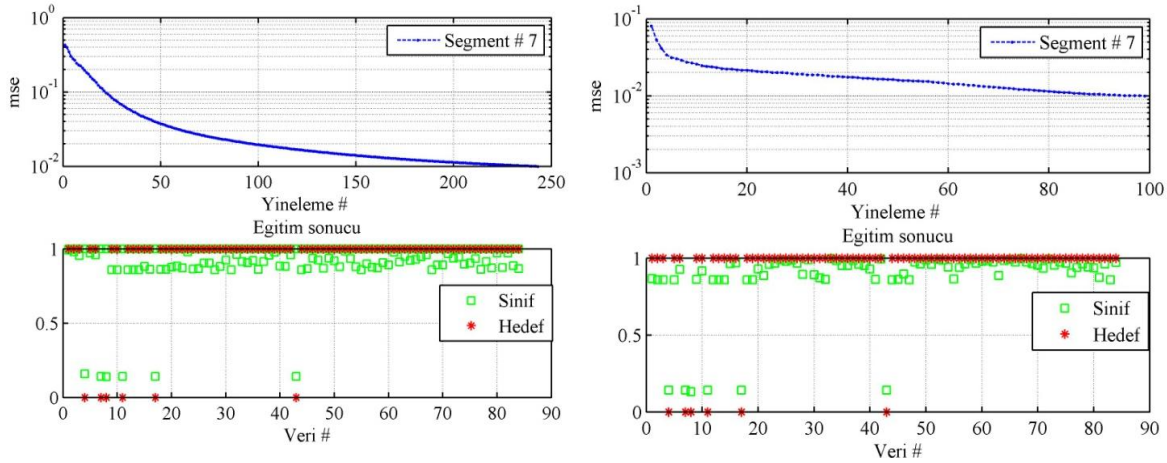
(a) **(b)**

Şekil 2. Nöron1=1024 için 7. segmentin ağ performansı, ve eğitim sonucu (a) eğitim süresi: 264.856947 s (b) ağırlıklar ve veri [-1 1] aralığında ölçeklendi, eğitim süresi: 78.543596 s.



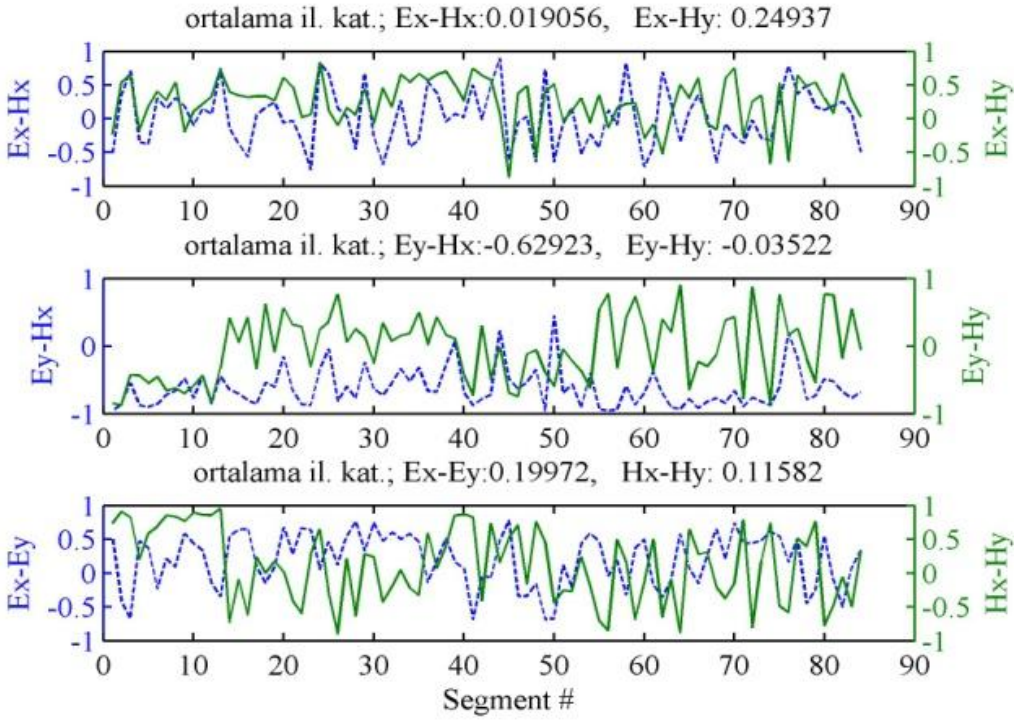
(c) **(d)**

Şekil 2. (c) nöron1=512, veri ve ağırlıklar [-1 1] aralığında ölçeklendi, eğitim süresi: 29.442462 s (d) nöron1=128 , veri ve ağırlıklar [-1 1] aralığında ölçeklendi, eğitim süresi: 10.918092 s.

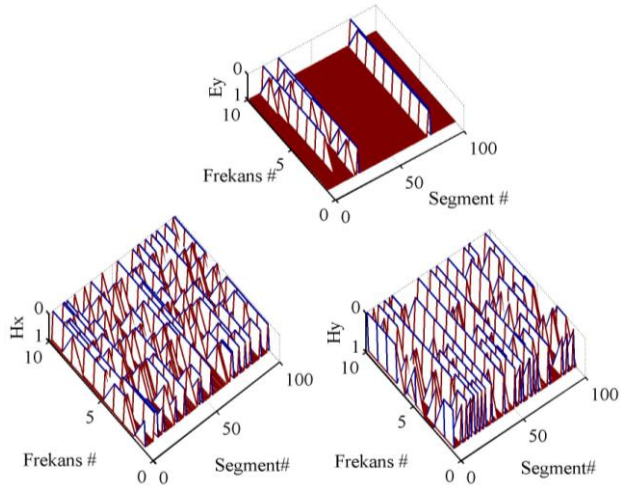


(e) **(f)**

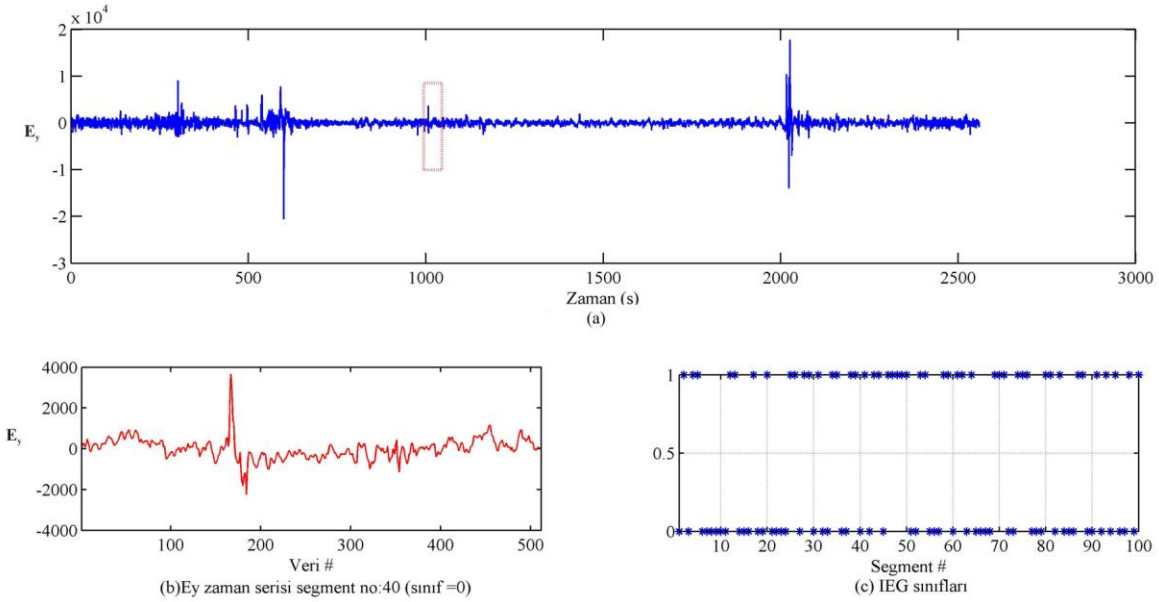
Şekil 2. nöron1=15 (e) veri ve ağırlıklar ölçeklenmedi, egitim süresi: 3.174224 s (f) veri ve ağırlıklar [-1 1] aralığında ölçeklendi, eğitim süresi: 2.105543 s.



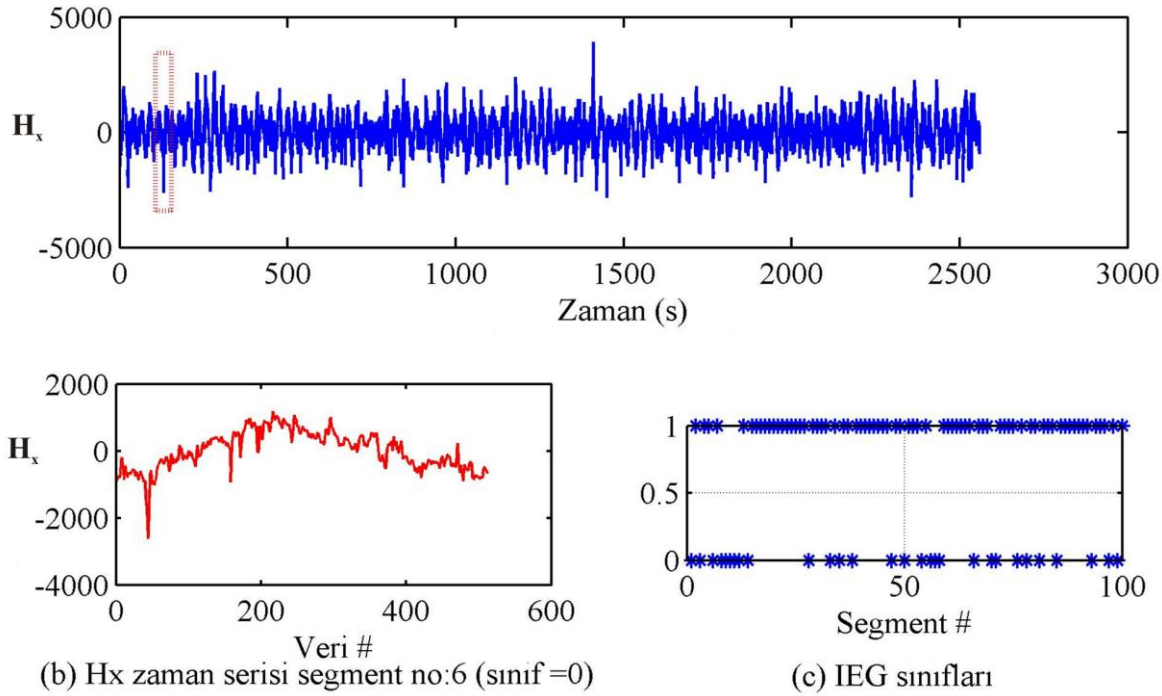
Şekil 3. Örnek-1 ZS, kanallar arası doğrusal ilişki katsayıları.



Şekil 4. Örnek-2, E_y, H_x ve H_y kanalları GYS indeksi.



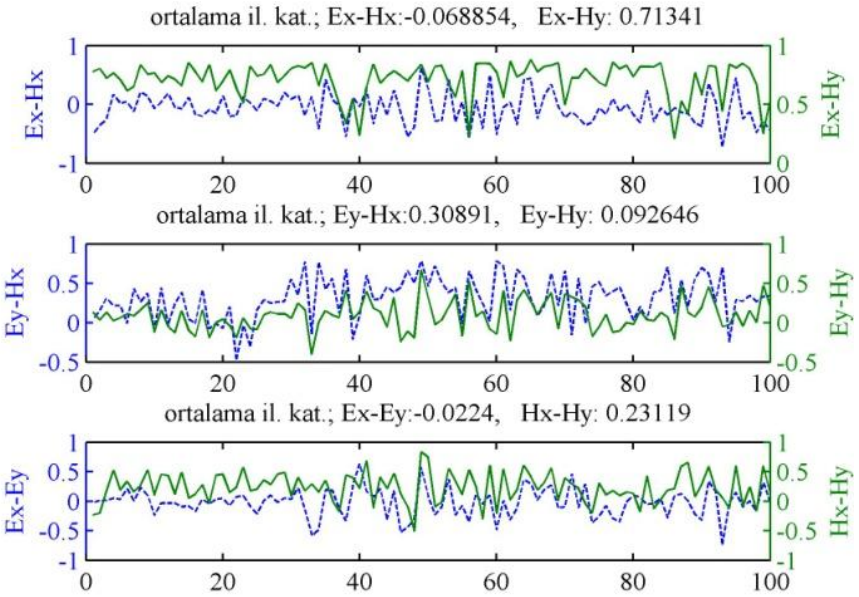
Şekil 5. Örnek-2, (a) E_y ZS (b) iğnecik gürültüsü içeren segment örneği (c) İEG sınıfları.



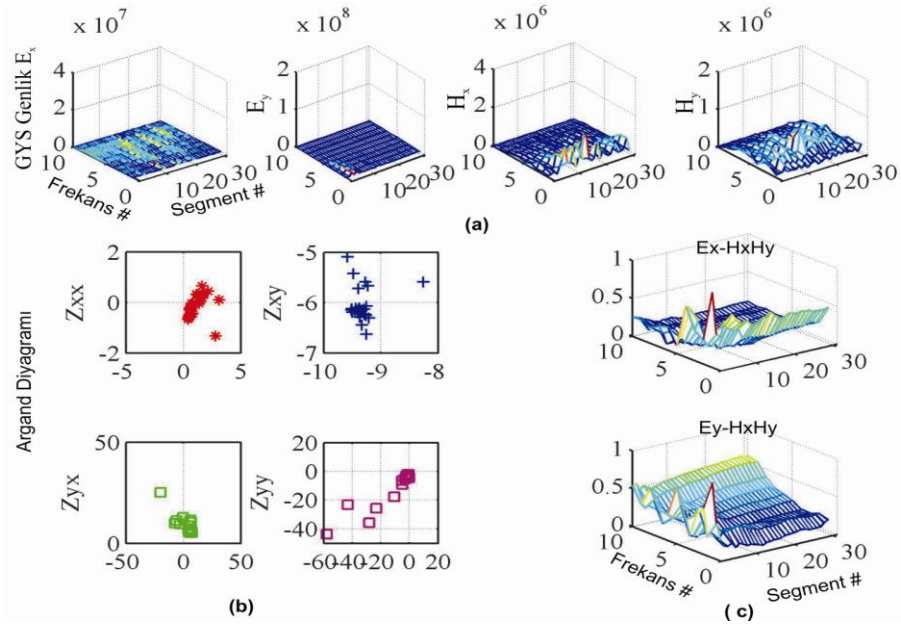
Şekil 6. Örnek-2, (a) H_x ZS (b) iğnecik gürültüsü içeren segment örneği (c) İEG sınıfları.

EK-6

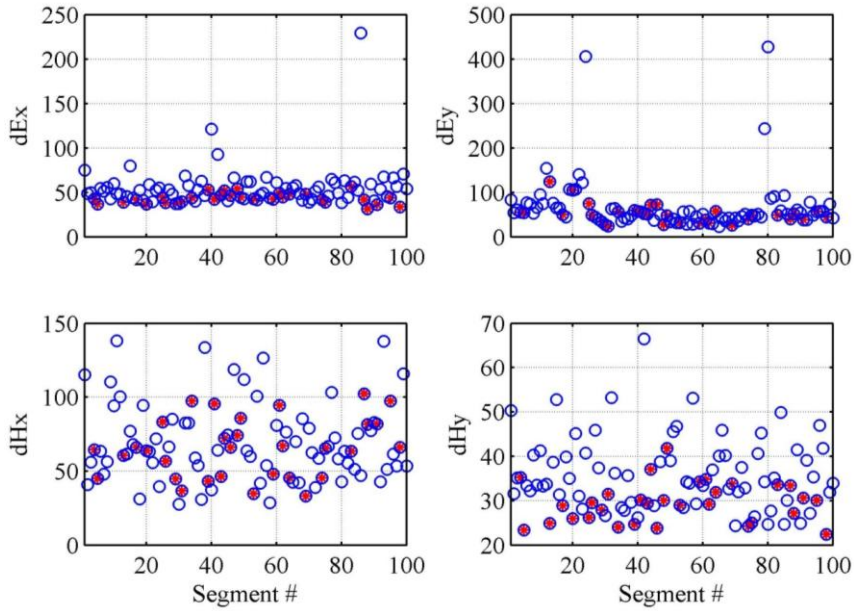
ÖRNEK-2 VERİSİ YSA YÖNTEMİ İLE GÜRÜLTÜ YOK ETME



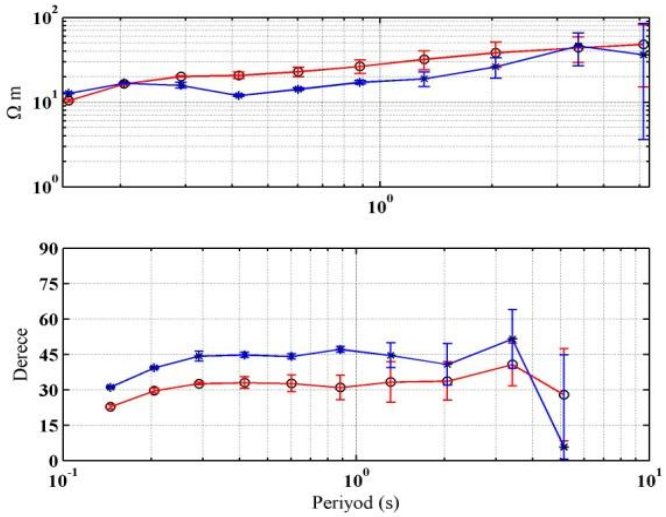
Şekil 1. Örnek-2, ZS kanallar arası doğrusal ilişki katsayısı değişimleri.



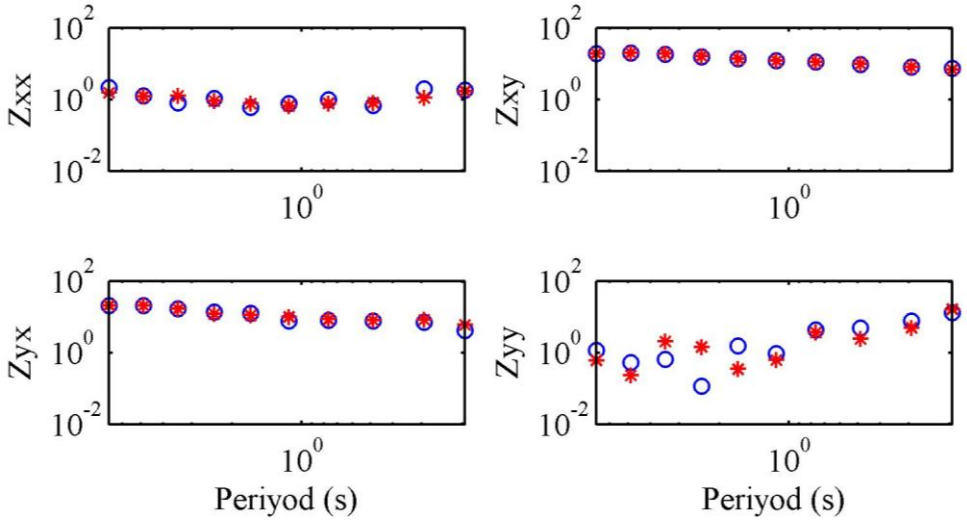
Şekil 2. Örnek-2, YSA sınıflaması sonrası (a) 4 kanalın GYS değerleri (b) empedansın Argand diyagramı (5. frekans için) (c) E_x-H_xH_y ve E_y-H_xH_y uyumunun segment ve frekans sayısına bağlı değişimleri.



Şekil 3. Örnek-2, **ZS etki değeri değişimi (o; YSA ile elenen segmentler).**



Şekil 4. Örnek-2, YSA sınıflaması sonrası EKK yöntemi ile hesaplanan g. özdirenç ve faz eğrileri (kırmızı; xy, mavi; yx).



Şekil 5. Örnek-2, YSA sınıflaması öncesi; (o) ve sonrası; (*), EKK ile kestirilen empedans bileşenlerinin genlik değişimleri.

ÇİZELGELER **Sayfa No**

Çizelge 1. Yapay veri için kullanılan gürültü türleri..... 50
Çizelge 2. Yapay veri empedans ve hata değişimleri..... 59

ŞEKİLLER **Sayfa No**

Şekil 1. MT yöntem YTF hesaplaması için akış şeması..... 6
Şekil 2. MT yöntem kaynak alanları..... 8
Şekil 3. MT yöntem YTF hesaplanması için akış şeması..... 16
Şekil 4. (a)Yönseme içeren ve (b) yönsemesi giderilmiş ZS örneği..... 17
Şekil 5. Sentetik sinyal etki değeri (d) ve Run testi sonucu (R)
(a) gürültüsüz (b) gürültülü veri..... 19
Şekil 6. Gürültülü MT verisi örnekleri (a) MT ZS (b) Elektrik ve manyetik
kanalların GYS değişimi (c) 10^1-10^2 frekans aralığı için GYS değişimleri..... 26
Şekil 7. Gürültülü MT ZS örnekleri (a) yermanyetik salınımlar (b) basamak,
iğnecik ve rastgele gürültü etkileri..... 27
Şekil 8. Gürültülü MT ZS..... 28
Şekil 9. Atmosferik gürültü örneği..... 28
Şekil 10. 4 Kanal MT ZS, dönemsel gürültü örneği..... 28
Şekil 11. H_y kanalında dönemsel endüstrüyel gürültü örneği..... 29
Şekil 12. (a) Korozyonsuz boru hattından etkilenmiş gürültülü ZS örneği..... 29
Şekil 12. (b) Kümelenme türü gürültüden etkilenmiş ZS örneği..... 30
Şekil 12. (c) İğnecik türü gürültüden etkilenmiş ZS örneği..... 30
Şekil 13. Endüstrüyel gürültüden etkilenmiş manyetik bileşenlerin ortalama
GYS değişimleri..... 31
Şekil 14. İEG indeksi şeması..... 39
Şekil 15. İnsan beyni nöron yapısı..... 40
Şekil 16. Bir ara katmandan oluşan ileri beslemeli ağ mimarisi..... 41
Şekil 17. İki katmanlı ileri beslemeli geri yayılımlı YSA akış şeması..... 46
Şekil 18. (a) Fourier frekanslarından ortalama frekans değeri hesaplamada
kullanılan frekans aralıkları örneği (b) Örnek-2 verisi E_x kanalı 1. segment,
GYS'nin Fourier frekansına ve ortalama frekansa göre değişimleri..... 49
Şekil 19. Yapay veri için gürültülü segment numaraları ve gürültü türleri 50
Şekil 20. Hx-Hy bileşenleri segmentler arası doğrusal ilişki katsayısı değişimi.... 51
Şekil 21. H_x ve H_y verisi (a) etki değeri (b) Run testi sonuçları..... 51
Şekil 22. Gürültülü yapay veri (a) H kanalları GYS değerleri (b) empedansın
Argand diyagramı (c) E_x-H_xH_y ve E_y-H_xH_y uyumunun segment ve frekans
sayısına bağlı değişimleri..... 52
Şekil 23. Sentetik veri GYS indeksi..... 53

Şekil 24. GYS sınıflaması ile belirlenen gürültü türleri ve segment numaraları.... 53
Şekil 25. GYS sınıflaması ile yapılan ön eleme ardından H kanalları (a) etki değeri (b) Run testi sonuçları..... 54
Şekil 26. Gürültülü veride GYS sınıflaması sonrası (a) H kanalları GYS (b) empedansın Argand diyagramı (c) E_x-H_xH_y ve E_y-H_xH_y uyumu segment ve frekans sayısına bağlı değişimleri..... 55
Şekil 27. Zaman ortamı verinin etki değeri değişimi..... 55
Şekil 28. Yapay veri iğnecik etkisi örneği..... 56
Şekil 29. Yüzde etki değerleri..... 57
Şekil 30. Yapay veri, İEG indeksi 57
Şekil 31. Yapay veri sınıflama sonrası elenen gürültülü segmentler..... 58
Şekil 32. YSA (a) ağ performansı ve (b) eğitim sonucu..... 59
Şekil 33. Örnek-1, zaman ortamı yatay elektrik ve manyetik alan verisinin Run testi ve etki değeri sonuçları..... 61
Şekil 34. Örnek-1 (a) 4 kanalın GYS değerleri (b) empedansın Argand diyagramı (5. frekans için) (c) E_x-H_xH_y ve E_y-H_xH_y uyumunun segment ve frekans sayısına bağlı değişimleri..... 62
Şekil 35. Yerel istasyon ve Uİ zaman ortamı etki değerleri yüzdeleri..... 63
Şekil 36. Zaman ortamı Uİ ve yerel istasyon yatay manyetik alan bileşenlerinin segmentlere göre doğrusal ilişki katsayıları..... 63
Şekil 37. Frekans ortamı verinin, çoklu uyum değişimleri..... 64
Şekil 38. Örnek-1, gürültülü veriden (a) EKK (b) Uİ EKK (c) uyum denetimli UKA robust (d) Uİ ile birlikte UKA robust (e) KA robust yöntemleri ile hesaplanan g. özdirenç ve faz eğrileri..... 65
Şekil 39. Örnek-1 GYS indeksi..... 66
Şekil 40. Örnek-1, zaman serisinin etki değerleri..... 66
Şekil 41. Örnek-1, GYS sınıflaması sonrası (a) 4 kanalın GYS değerleri (b) empedansın Argand diyagramı (5. frekans için) (c) E_x-H_xH_y ve E_y-H_xH_y uyumunun segment ve frekans sayısına bağlı değişimleri..... 67
Şekil 42. Örnek-1, GYS sınıflaması öncesi ve sonrası EKK ile kestirilen emepdans bileşenlerinin genlik değişimleri..... 67
Şekil 43. Örnek-1, GYS sınıflaması sonrası EKK yöntemi ile hesaplanan g. özdirenç ve faz değişimleri..... 68
Şekil 44. Örnek-1, 5 kanalın İEG gürültü indeksi..... 68

Şekil 45. Örnek-1, İEG sınıflaması sonrası (a) 4 kanalın GYS değerleri (b) empedansın Argand diyagramı (5. frekans için) (c) E_x-H_xH_y ve E_y-H_xH_y uyumunun segment ve frekans sayısına bağlı değişimleri..... 69
Şekil 46. Örnek-1, zaman serisinin etki değerleri..... 69
Şekil 47. Örnek-1, İEG sınıflaması öncesi ve sonrası , EKK ile kestirilen empedans bileşenlerinin genlik değişimleri..... 70
Şekil 48. Örnek-1, İEG sınıflaması sonrası EKK yöntemi ile hesaplanan g. mzdirenç ve faz değişimleri 70
Şekil 49. (a) E_x zaman serisi (b) gürültülü segment örneği (c) YSA için hedeflenen sınıflama..... 72
Şekil 50. (a) H_x zaman serisi (b) gürültülü segment örneği (c) YSA için hedeflenen sınıflama..... 72
Şekil 51. Ex kanalı (a) YSA ağ performansı (b) eğitim sonucu (c) İEG indeksine göre beklenen ve YSA ile elde edilen sonuçlar..... 73
Şekil 52. Örnek-1, YSA sınıflaması sonrası (a) 4 kanalın GYS değerleri (b) empedansın Argand diyagramı (5. frekans için) (c) E_x-H_xH_y ve E_y-H_xH_y uyumunun segment ve frekans sayısına bağlı değişimleri..... 74
Şekil 53. Örnek-1, 4 kanal verisinin etki değerleri..... 74
Şekil 54. YSA sınıflaması sonrası EKK yöntemi ile hesaplanan g. özdirenç ve faz eğrileri..... 75
Şekil 55. Örnek-1, YSA sınıflaması öncesi ve sonrası EKK ile kestirilen empedans bileşenlerinin genlik değişimleri..... 75
Şekil 56. İEG denetimli, karma ağırlıklandırma (KA) robust yöntemi ile hesaplanan g. özdirenç ve faz eğrileri..... 76
Şekil 57. Örnek-2, 4 kanal zaman serisi etki değerleri ve Run testi sonuçları..... 76
Şekil 58. Örnek-2, (a) 4 kanalın GYS değerleri (b) empedansın Argand diyagramı (5. frekans için) (c) E_x-H_xH_y ve E_y-H_xH_y uyumunun segment ve frekans sayısına bağlı değişimleri..... 77
Şekil 59. Örnek-2, gürülütülü veriden (a) EKK yöntemi (b) UKA (c) KA robust yöntemi ile elde edilen g. özdirenç ve faz değerleri 78
Şekil 60. Örnek-2, E_x kanalı (a) GYS'ye bağlı sınıflama indeksi (b) 4. frekans için GYS değişimi..... 79
Şekil 61. Örnek-2, GYS sınıflaması sonrası (a) 4 kanalın GYS değerleri (b) empedansın Argand diyagramı (5. frekans için) (c) E_x-H_xH_y ve E_y-H_xH_y uyumunun segment ve frekans sayısına bağlı değişimleri..... 80

Şekil 62. Örnek-2, zaman serisinin etki değeri değişimi..... 81
Şekil 63. Örnek-2, GYS sınıflaması sonrası EKK yöntemi ile hesaplanan g. özdirenç ve faz eğrileri 81
Şekil 64. Örnek-2, GYS sınıflaması öncesi ve sonrası EKK ile kestirilen empedans bileşenlerinin genlik değişimleri..... 82
Şekil 65. Örnek-2, (a) doğrusal yönsemesi giderilmiş E_x zaman serisi (b) iğnecik gürültüsü içeren segment örneği (c) E_x kanalı için İEG sınıfları..... 83
Şekil 66. Örnek-2, (a) doğrusal yönsemesi giderilmiş H_y zaman serisi (b) iğnecik gürültüsü içeren segment örneği (c) H_y kanalı için İEG sınıfları..... 83
Şekil 67. Örnek-2, 5 kanal verisi İEG indeksi. 84
Şekil 68. Örnek-2, İEG sınıflaması sonrası (a) 4 kanalın GYS değerleri (b) empedansın Argand diyagramı (5. frekans için) (c) E_x-H_xH_y ve E_y-H_xH_y uyumunun segment ve frekans sayısına bağlı değişimleri..... 84
Şekil 69. Örnek-2, zaman serisinin etki değeri değişimi..... 85
Şekil 70. Örnek-2, İEG sınıflaması sonrası EKK yöntemi ile hesaplanan g. özdirenç ve faz eğrileri..... 85
Şekil 71. Örnek-2, İEG sınıflaması öncesi; (o) ve sonrası; (*), EKK ile kestirilen empedans bileşenlerinin genlik değişimleri..... 86
Şekil 72. Örnek-2, İEG KA robust sonucu..... 86
Şekil 73. Örnek-2, H_x zaman serisi ve İEG indeksleri..... 87
Şekil 74. Örnek-2, g. özdirenç ve faz hatalarının ortalaması..... 89
Şekil 75. Örnek-2, g. özdirenç ve faz hatalarının ortalaması..... 89
Şekil 76. Ornek-2, doğrusal yönseme giderildikten sonra zaman serisi 1. segment ve bağımsız alt segmentler (kırmızı dikdörtgenler bloklar) (a) E_x kanalı (b) E_x-H_xH_y uyum (c) H_x kanalı (d) E_y kanalı (e) E_y-H_xH_y uyum (f) H_y kanalı..... 91

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER:

Ad Soyad: Ebru ŞENGÜL

Doğum Yılı/Yeri: 14.09.1975/Kayseri

EĞİTİM DURUMU:

Üniversite	**Fakülte/Enstitü**	**Öğrenim Alanı**	**Derece**	**Mezuniyet Yılı**
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi	Fen Bilimleri Enstitüsü	Fizik	Doktora	2011
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi	Fen Bilimleri Enstitüsü	Jeofizik	Yüksek Lisans	2005
Dokuz Eylül Üniversitesi	Fen Bilimleri Enstitüsü	Jeofizik	Yüksek Lisans	2002
Dokuz Eylül Üniversitesi	Mühendislik Fakültesi	Jeofizik	Lisans	1998

BİLİMSEL FAALİYETLERİ:

Uluslararası Hakemli Dergilerde Yayınlanan Makaleler

1-Kaya, M.A.**,** Özürlan, G., **Şengül, E.**, 2007. Delineation of soil and groundwater contaminationusing geophysical methods at a waste disposal site in Çanakkale, Turkey. Environmental Monitoring and Assessment, 135, 441-446.

Yazılan Ulusal Kitaplar veya Kitaplarda Bölümler

Tutkun, S.Z., Yıldırım, H., Türkeş, M., Kaya, M.A., Ekinci, Y.L., **Şengül, E.**, Ateş, Ö. 2006. Arkeoloji ve Yer Bilimleri, Sevim Buluç Anı Kitabı, Tolun, V., Takaoğlu, T. (Der.), s. 145-167.

Uluslararası Bilimsel Toplantılarda Sunulan ve Basılan Bildiri ve Posterler

Şengül, E., Ulugergerli, E.U, Göktaş, H., 2010. Noise Elimination Study for a Single

Station Magnetotelluric Data, Geophysical Research Abstract, Vol. 12, EGU 2010, Vienna.

Şengül, E., 2009. Manyetotelürik yöntemde gürültü yoketme çalışmaları, Uluslararası Kocaeli Deprem Sempozyumu, Kocaeli, 17-18 Ağustos 2009.

Şengül, E., 2008. Manyetotelürük zaman serisinde yapay sinir ağı ile sınıflama çalışması,Uluslararası Jeofizik Kongre ve Sergisi, Ankara.

Şengül, E., 2008. Geri yayılımlı yapay sinir ağı ile sinyal sınıflama Uygulamaları.Uluslararası Jeofizik Kongre ve Sergisi, Ankara.

Kaya, M.A., Özurlan, G**., Şengül, E**. 2005. Delineation of groundwater contamination using geophysical methods at a waste disposal site on the Dardanelles (Çanakkale) Strait, Turkey. International Earth Sciences Colloquium on the Aegean Regions (IESCA 2005).

Şengül, E., Kocahan, Ö., Özmaya, S., Özel, M.E., Demircan, O., 2005. Chemical Analysis of Some Meteorite Claims in Turkey, Recent Advances in Space Technologies (RAST 2005), İstanbul Turkey.

Kocahan, Ö., Özmaya, S., **Şengül, E**., Özel, M.E., 2005. Preparation of the Meteorite/Impact Crater Data Base for Turkey, Recent Advances in Space Technologies (RAST 2005), İstanbul Turkey.

Kaya, M.A., Özürlan, G., **Şengül, E**., 2004. Investigation of Underground Water and Soil Pollution Near Open Waste Disposal Site of Çanakkale Using Applied Gephysical Methods (Resistivity-VLF-SP-Seismic), The 16th International Geophysical Congress and Exhibition of Turkey, 7-10 December, Ankara Turkey.

Drahor, M.G., **Şengül, E**., 1999. A New Correction Thecnique in The Self Potantial Methods and Its Aplication to The Archaelogical Prospection, 2nd Balkan Geophysical Congress and Exhibition, İstanbul.

Ulusal Bilimsel Toplantılarda Sunulan ve Basılan Bildiri ve Posterler

Şengül, E. Tek İstayon Manyetotelürik Zaman Serisi Analizleri ve Gürültü Yok Etme Çalışmaları, 3. Yer Elektrik Çalıştayı, 24-26 Mayıs 2010.

Kocahan, Ö., **Şengül, E.**, M.E. Özel, 2008. Uydu Görüntülerinde Hough Dönüşümü ile Krater Bulma Çalışmaları. Yüzeye Yakın Yapıların Belirlenmesinde Jeofizik Ve Uzaktan Algılama Sempozyumu, s 73 – 76, 29 Nisan – 2 Mayıs 2008, İzmir.

Şengül E., Ekinci Y.L., Bekler T. ve Kaya M.A., 2006. Elektrik Özdirenç Tomografi Yönteminin Atık Alanı Uygulamaları, Radyasyon ve Çevre Toplantısı, Çanakkale.

Ekinci Y.L., **Şengül** E, 2006. Manyetik Yöntem ile Gömülü Zehirli Atık Varillerinin Belirlenmesi, Radyasyon ve Çevre Toplantısı, Çanakkale.

Ekinci Y.L., Ertekin C. ve **Şengül** E., 2006. Gama Işını Spektrometresinin Yerbilimlerinde Kullanımı, Radyasyon ve Çevre Toplantısı, Çanakkale**.**

Şengül, E., Hüşan, U., 2004. Çanakkale Arama Kurtarma Acil Yardım Derneği "ÇAKAY". I. Ulusal Sivil Toplum Kuruluşları Kongresi, 4-6 Haziran 2004, Çanakkale.

Baba, A., Kaya, M.A., Tutkun, S.Z., Deniz, O., **Şengül, E.,** Gürçay, S.,2003. Çanakkale Kenti Yeni Yerleşim Alanının Yerleşime Uygunluğunun İncelenmesi, Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara.

Kaya, M.A., Şeren, A., **Şengül, E.,** Balkaya, Ç., Yiğit, P. 2003.Amorium Antik Kenti 2002 Yılı Arkeoloji Jeofiziği Araştırmaları.15. Jeofizik Kurultayı ve Sergisi, 20-24 Ekim İzmir.

Kaya, M.A., Baba, A., **Şengül, E**., Balkaya, Ç., 2003. Çanakkale Düzensiz Katı Atık Depolama Sahasının Çevre Kirliliğine Etkilerinin Jeofizik Yöntemlerle Araştırılması. Deprem Sempozyumu, Kocaeli.

Kaya, M.A. Özer, M.F., Tutkun, S.Z., Baba, A., Güven,T., Çetinol,T., **Şengül, E.**, Deniz, O., Gürçay, S., 2003. Çanakkale Kenti Yerleşim Alanında Jeofizik-Jeolojik Uygulamalar. Deprem Sempozyumu, Kocaeli.

Drahor, M.G., **Şengül, E**., 1999. Arkeojeofizik Aramacılıkta Doğal Gerilim Yöntemi. Arkeoloji ve Jeofizik, Çalıştayı, İzmir.

Drahor, M.G., **Şengül, E**., 1999.Acemhöyük, Amorium, Burgaz ve Ulucak Höyükte Uygulanan Geniş Ölçekli Jeofizik Çalışmalar. Arkeoloji ve Jeofizik Çalıştayı, İzmir.

İŞ DENEYİMİ

Kurum/Kuruluş	Ülke	Şehir	Bölüm/Birim	Görev Türü	Görev Dönemi
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi	Türkiye	Çanakkale	Jeofizik Müh.	Araştırma Görevlisi	2002-2007
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi	Türkiye	Çanakkale	Jeofizik Müh.	Öğretim Görevlisi	Devam Ediyor

İLETİŞİM

Adres: ÇOMÜ Müh-Mim Fak. Jeofizik Mühendisliği Bölümü Tezioğlu Yerleşkesi Çanakkale 17100 Çanakkale/Türkiye

E posta: ebrusengul@gmail.com