İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HİDROLİK OLAYLARDA AÇIĞA ÇIKAN ENERJİNİN SES BİLEŞENİNİN SAPTANMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Mustafa DİKMEN
(501021380)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 7 Mayıs 2007
Tezin Savunulduğu Tarih : 11 Haziran 2007

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Sedat KABDAŞLI

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. İsmail DURANYILDIZ

Prof.Dr. Mete ŞEN

HAZİRAN 2007

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, hidrolik olaylarda açığa çıkan seslerin parametreleri ile dalga parametreleri arasındaki bağlantı incelenmiş, hidrolik olaylarda açığa çıkan enerjinin bir kısmının faz değiştirerek ses enerjisi olarak açığa çıktığını bir takım laboratuvar deneyleri ile sorgulanmıştır.

Çalışmalarım ve öğrenciliğim sırasında benden her türlü yardımını ve desteğini esirgemeyen, akademik çalışmaları bana sevdiren, tecrübe ve bilgisi ile her zaman destek ve yol gösterici olan Sayın hocam Prof. Dr. Sedat Kabdaşlı'ya, yaptığım çalışmalarda bilgisi, tecrübesi ve çalışmaları ile benden her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen Araş. Gör. Yüksek Müh. Veysel Şadan Özgür Kırca'ya ve Hidrolik ve Su Kaynakları Laboratuvarında görev alan, çalışmalarımda, deneylerde emeği geçen, fikir alışverişinde bulunduğum tüm araştırma görevlisi ve yüksek lisans öğrencisi dostlarıma ve laboratuvar personeline sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu zevkli ve zorlu yolda bana olan desteklerini, sabır ve anlayışlarını her zaman sürdüren sevgili arkadaşlarıma, değerli yönetici ve müdürlerime ve her zaman yanımda olan çok değerli aileme sonsuz teşekkürler.

Haziran 2007 Mustafa DİKMEN

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR **iv**
TABLO LİSTESİ **v**
ŞEKİL LİSTESİ **vi**
SEMBOL LİSTESİ **viii**
ÖZET **ix**
SUMMARY **x**
1. GİRİŞ ve ÇALIŞMANIN AMACI **1**
2. HİDROLİK OLAYLARDA AÇIĞA ÇIKAN ENERJİNİN SES BİLEŞENİNİN SAPTANMASI **3**
2.1. Sesin Temel Özellikleri ve İlgili Parametreler 3
2.1.1. Ses dalgaları 3
2.1.2. Ses seviyeleri 4
2.1.2.1. Sesin yoğunluğu 5
2.1.2.2. Sesin basıncı 5
2.1.3. Akustik empedans 6
2.1.4. Hava ve su arasındaki karekteristik faklılıklar 7
2.1.5. Desibel (Db) ölçeği 7
2.2. Suda Ses Açığa Çıkaran Hidrolik Olaylar ve İncelenmeleri 8
2.2.1. Yağışlardan dolayı oluşan sesler 8
2.2.2. Rüzgar etkisi ile oluşan sesler 10
2.2.3. Dalga ve türbülans etkisi ile oluşan sesler 11
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR 13
3.1. Düzenli Dalga Havuzu Deneyleri 13
3.1.1. Sonuçlar 14
3.2. Düzensiz Dalga Kanalı Deneyleri 1 19
3.2.1. Sonuçlar 21
3.3. Düzensiz Dalga Kanalı Deneyleri 2 29
3.3.1. Sonuçlar 30
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA **39**
KAYNAKLAR **40**
EKLER **42**
ÖZGEÇMİŞ **75**

KISALTMALAR

dB	: Desibel Ölçeği
kHz	: Kilohertz
SPL	: Ses Basıncı Seviyesinin Desibel Gösterimi
LDV	: Laser Doppler Velocimetry

TABLO LİSTESİ

		Sayfa No
Tablo 3.1	Bütün Deneylerde Alınan Dalga Yükseklikleri ve Periyotları	14
Tablo 3.2	Her Deney için Hesaplanmış Dalga Boyları ve Dalga Enerjileri	15
Tablo 3.3	Her Deney için Hesaplanmış Ses ve Dalga Enerjilerinin Mukayesesi	18
Tablo 3.4	Bütün Deneylerde Alınan Dalga Yükseklikleri ve Periyotları	21
Tablo 3.5	Her Deney için Hesaplanmış Dalga Yükseklik ve Dalga Enerjileri	22
Tablo 3.6	Her Deney için Hesaplanmış Ses ve Dalga Enerjilerinin Mukayesesi	24
Tablo 3.7	Bütün Deneylerde Alınan Dalga Yükseklikleri ve Periyotları	30
Tablo 3.8	Her Deney için Hesaplanmış Dalga Yükseklik ve Dalga Enerjileri	31
Tablo 3.9	Her Deney için Hesaplanmış Ses ve Dalga Enerjilerinin Mukayesesi	34

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 : Ses Dalgalarının Oluşumu ve İlerleyişi 3
Şekil 3.1 : Dalga Havuzunun Planı ve Yandan Görünümü..... 14
Şekil 3.2 : Deneyin Spektogramı. Sıçrama görüntülerinden biri beyaz elips içinde gösterilmiştir ……. 16
Şekil 3.3 : Deneydeki Sıçramalardan Bir Tanesinin Ses Seviye Yelpazesi .. 17
Şekil 3.4 : Sıçramadan Kaynaklanan Ses Enerjisi (SE_a) ve Dalga Enerjisinin (E_a) 18
Şekil 3.5 : Dalga Kanalının Planı ve Yandan Görünümü…… 19
Şekil 3.6 : Düzensiz Dalga Kanalının Deney Katmanlarının Hazırlanması Esnasında Yukarıdan Görünüşü ……..…… 20
Şekil 3.7 : Düzensiz Dalga Kanalı Deneyleri 1 sırasında Dalga Kıranın Görünümü…….……. 21
Şekil 3.8 : Deneyin Spektogramı. Sıçrama görüntülerinden biri beyaz elips içinde gösterilmiştir……..…..……. 22
Şekil 3.9 : Deneyin zaman serilerinden biri yukarıdaki şekilde gösterilmiştir. ……..…….. 22
Şekil 3.10 : Deneydeki Sıçramalardan Bir Tanesinin Ses Seviye Yelpazesi. 23
Şekil 3.11 : Sıçramadan Kaynaklanan Ses Enerjisi (SE_a) ve Dalga Enerjisinin (E_a) Çıktıları……..…..……. 24
Şekil 3.12 : Ses Basınç Seviyesi (P) ve Dalga Enerjisinin (E_a) Çıktıları…… 25
Şekil 3.13 : Ölçülen Ses Yoğunluk Seviyesi (I) ve Dalga Enerjisinin (E_a) Çıktıları……..…….. 26
Şekil 3.14 : Dalga Boyu (L) ve Ses Enerjisinin (SE_a) Çıktıları…… 27
Şekil 3.15 : Dalga Periyodu (T) ve Ses Enerjisinin (SE_a) Çıktıları……. 27
Şekil 3.16 : Dalga Yüksekliği (H) ve Ses Enerjisinin (SE_a) Çıktıları……. 28
Şekil 3.17 : Dalga Kanalının Planı ve Yandan Görünümü…… 29
Şekil 3.18 : Düzensiz Dalga Deneyleri 2'deki Antiferler ile Hazırlanmış Dalgakıranın Yukarıdan Görünümü…….. 30
Şekil 3.19 : Deneyin Spektogramı. Sıçrama görüntülerinden biri beyaz elips içinde gösterilmiştir..... 32
Şekil 3.20 :1 numaralı deneyin zaman serisi 32
Şekil 3.21 :1. Deneydeki Sıçramalardan Bir Tanesinin Ses Seviye Yelpazesi. 33
Şekil 3.22 : Sıçramadan Kaynaklanan Ses Enerjisi (SE_a) ve Dalga Enerjisinin (E_a) Çıktıları……..…..……. 35
Şekil 3.23 : Ses Basınç Seviyesi (P) ve Dalga Enerjisinin (E_a) Çıktıları…… 35
Şekil 3.24 : Ölçülen Ses Yoğunluk Seviyesi (I) ve Dalga Enerjisinin (E_a) Çıktıları……..…….. 36
Şekil 3.25 : Dalga Boyu (L) ve Ses Enerjisinin (SE_a) Çıktıları…… 37
Şekil 3.26 : Dalga Periyodu (T) ve Ses Enerjisinin (SE_a) Çıktıları……. 37
Şekil 3.27 : Dalga Boyu (L) ve Ses Enerjisinin (SE_a) Çıktıları…… 38
Şekil C.1 : Deneyin Spegtogramı 42
Şekil C.2 : Deneyin Zaman Serisi 42

Şekil C.3 : Deneyin Spegtogramı 43
Şekil C.4 : Deneyin Zaman Serisi 43
Şekil C.5 : Deneyin Spegtogramı 44
Şekil C.6 : Deneyin Zaman Serisi 44
Şekil C.7 : Deneyin Spegtogramı 45
Şekil C.8 : Deneyin Zaman Serisi 45
Şekil C.9 : Deneyin Spegtogramı 46
Şekil C.10 : Deneyin Zaman Serisi 46
Şekil C.11 : Deneyin Spegtogramı 47
Şekil C.12 : Deneyin Zaman Serisi 47
Şekil C.13 : Deneyin Spegtogramı 48
Şekil C.14 : Deneyin Zaman Serisi 48
Şekil C.15 : Deneyin Spegtogramı 49
Şekil C.16 : Deneyin Zaman Serisi 49
Şekil C.17 : Deneyin Spegtogramı 50
Şekil C.18 : Deneyin Zaman Serisi 50
Şekil C.19 : Deneyin Spegtogramı 51
Şekil C.20 : Deneyin Zaman Serisi 51
Şekil C.21 : Deneyin Spegtogramı 52
Şekil C.22 : Deneyin Zaman Serisi 52
Şekil C.23 : Deneyin Spegtogramı 53
Şekil C.24 : Deneyin Zaman Serisi 53
Şekil C.25 : Deneyin Spegtogramı 54
Şekil C.26 : Deneyin Zaman Serisi 54
Şekil C.27 : Deneyin Spegtogramı 55
Şekil C.28 : Deneyin Zaman Serisi 55
Şekil C.29 : Deneyin Spegtogramı 56
Şekil C.30 : Deneyin Zaman Serisi 56
Şekil C.31 : Düzensiz Dalga Deneyleri 1 Deney No:1 Ses Seviye Yelpazesi .. 57
Şekil C.32 : Düzensiz Dalga Deneyleri 1 Deney No:2 Ses Seviye Yelpazesi .. 58
Şekil C.33 : Düzensiz Dalga Deneyleri 1 Deney No:3 Ses Seviye Yelpazesi .. 59
Şekil C.34 : Düzensiz Dalga Deneyleri 1 Deney No:4 Ses Seviye Yelpazesi .. 60
Şekil C.35 : Düzensiz Dalga Deneyleri 1 Deney No:5 Ses Seviye Yelpazesi .. 61
Şekil C.36 : Düzensiz Dalga Deneyleri 1 Deney No:6 Ses Seviye Yelpazesi .. 62
Şekil C.37 : Düzensiz Dalga Deneyleri 1 Deney No:7 Ses Seviye Yelpazesi .. 63
Şekil C.38 : Düzensiz Dalga Deneyleri 1 Deney No:8 Ses Seviye Yelpazesi .. 64
Şekil C.39 : Düzensiz Dalga Deneyleri 2 Deney No:1 Ses Seviye Yelpazesi .. 65
Şekil C.40 : Düzensiz Dalga Deneyleri 2 Deney No:2 Ses Seviye Yelpazesi .. 66
Şekil C.41 : Düzensiz Dalga Deneyleri 2 Deney No:3 Ses Seviye Yelpazesi .. 67
Şekil C.42 : Düzensiz Dalga Deneyleri 2 Deney No:4 Ses Seviye Yelpazesi .. 68
Şekil C.43 : Düzensiz Dalga Deneyleri 2 Deney No:5 Ses Seviye Yelpazesi .. 69
Şekil C.44 : Düzensiz Dalga Deneyleri 2 Deney No:6 Ses Seviye Yelpazesi .. 70
Şekil C.45 : Düzensiz Dalga Deneyleri 2 Deney No:7 Ses Seviye Yelpazesi .. 71
Şekil C.46 : Ses Enerjisi – Dalga Enerjisi Grafikleri Karşılaştırması 72
Şekil C.47 : Dalga Boyu – Ses Enerjisi Grafikleri Karşılaştırması 72
Şekil C.48 : Dalga Periyodu – Dalga Enerjisi Grafikleri Karşılaştırması 73
Şekil C.49 : Ses Yüksekliği – Dalga Enerjisi Grafikleri Karşılaştırması 73
Şekil C.50 : Ölçülen Ses Yoğunluk Seviyesi – Dalga Enerjisi Grafikleri Karşılaştırması 74

SEMBOL LİSTESİ

A_k : Alan
c : Ses dalgasının ilerleme hızıdır
E_a : Birim alandaki toplam dalga enerjisi
f : 1/λ ses dalgası frekansı
g : Yerçekimi ivmesi
H : Dalga yüksekliği
I : Ses dalgasının akustik yoğunluğu
IL : Ses yoğunluk seviyesi
I_1 : Ölçülen yoğunluk seviyesi
I_0 : Referans yoğunluk seviyesi
L : Dalga boyu
Log : 10 tabanında logaritma
λ : Ses dalgası boyu
P : Ses basıncı
P_1 : Ölçülen basınç seviyesi
P_0 : Referans basınç seviyesi
ρ_o : Sesin ilerlediği ortamın özgül kütlesi
SE_a : Sıçramadan dolayı oluşan ses enerjisi
T : Dalga periyodu
U : Düzlem dalgasındaki anlık parçacık hızı
ω : Açısal frekans

HİDROLİK OLAYLARDA AÇIĞA ÇIKAN ENERJİNİN SES BİLEŞENİNİN SAPTANMASI

ÖZET

Bu çalışmada dalga enerjisi ile dalga ses karekteristikleri arasındaki ilişki sorgulanmıştır. Konu hakkındaki temel parametrelerin ve literatür çalışmasının yanısıra, laboratuvar ortamında düzenli ve düzensiz dalgaların hava ve sudaki ses kayıtları alınmış, bu kayıtlar filtre edilip analiz edilmiş ve bahsi geçen dalga ölçümleri ile karşılaştırılmıştır. Sualtı kayıtlarında, su altında ses kayıdı yapabilen hidrofon, ileri derece gelişmiş ses data transfer cihazı kullanılmıştır. Dalga seslerinin kaydedilen zaman serileri; spektral analiz ve ileri derece gelişmiş ses analiz yazılımının da yardımı ile bazı güvenilir filtreler kullanılarak tetkik edilmiştir.

Deney sonuçları, dalga ses karekteristiğini birçok faktörün etkilediğini göstermektedir. Fakat en baskın faktör dalganın kendisidir. Laboratuvar ortamında yapılan deneyler sonucunda elde edilen datalar kullanılarak; ses enerjisi, dalga tarafından yayılan enerjinin değerlendirilmesinde kullanılmıştır.

Haziran 2007 Mustafa DİKMEN

DETERMINING THE SOUND COMPONENT OF THE ENERGY CAUSED BY HYDRAULIC EVENTS

SUMMARY

In this study, the possible relationship between wave energy and wave sound characteristics is questioned. Not only fundamental parameters and very few literatures about the subject are presented, but also some sound recordings of regular waves in a laboratory basin made in air and in water are filtered, analysed and compared with the wave measurements from the aforementioned aspect. For the underwater sound recordings two hydrophones and a sound data converter were used. Recorded time series of wave sound are examined by spectral analyses and some certain filters with the aid of sound analysis software.

Findings showed that a lot of factors influence the wave sound characteristics, but the major one is the wave itself. Using the data of the laboratory experiments the sound energy is also evaluated to define the dissipated energy by wave.

June 2007 Mustafa DİKMEN

1 GİRİŞ ve ÇALIŞMANIN AMACI

Hidrolik ve su kaynakları mühendisliği dalında ses uzun yıllardır önemli bir parametre olmuştur. Su altı kaynaklı seslerin iletiminin ölçülmesi ve uzaktan algılanması haricinde, önemli boyutlarda ses yaratabilen kaynaklar olarak, sudaki hareketler de gelişen teknoloji ile gittikçe daha hassas olarak ölçülebilmektedir.

Sudaki sesin birçok kaynağı vardır. Sismik, organik ve mekanik dış kaynaklar ile suyun hareketi de su altında ve su üstünde ses oluşturmaktadır. Bu sesin nedeni ise enerjinin faz değiştirmesidir. Bütün hidrolik olayların (türbülans, dalga kırılması, yüzey çalkantısı vb.) bir enerji kullanımı sonucu meydana geldiği ve bu enerjinin evrende yok olmadığı düşünülür ise, bu enerjinin iş gören kısmı dışında kalan kısmı ısı, ışıma ve ses enerjisi olarak harcanacaktır.

1930'lu yıllardan itibaren sudaki seslerinin incelenmesi, tespiti ve analizi ile ilgili çalışmalar hız kazanmış; gelişen hidrofon ve sonar sistemleri sonucunda yapılan çalışmalar ve alınan kayıtların analizi ile II. Dünya Savaşı'nda da kullanılan erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesi gibi alanlarda büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. Hill (1962) sesin sudaki oluşumu, dağılımı, yayılması, karekteristiği ve sesin sudaki uygulamaları konularına kitabında ilk olarak detaylı yer ayırmış olan yazardır. Hill (1962) kitabında aynı zamanda o yıllarda yapılan ses kayıtlarının analizleri hakkında bazı önemli bilgi ve başlıklara da yer vermiştir.

Akım dolayısıyla veya dalga etkisiyle oluşan seslerin sebebi çoğunlukla su yüzeyindeki çalkantılardır. Bu kaideye göre en önemli ses kaynağı, su yüzeyinde ortadan kaybolan ve değişik seviyelerde ses oluşturan, boyutları ve tiplerine göre karekterleri değişen hava kabarcıklarıdır. Strasberg (1953), bu kabarcıklardan ses oluşumu hakkında çalışmalar yapmış, Johnson ve Cooke (1979) hava kabarcıklarının sayıları ile, denizdeki seslerin karekteristiklerinin bu hadise ile ilgili büyük bir kısmını tanımlamıştır.

Bir başka hadise de her zaman doğada ve akışkan ile ilgili çalışmalarda karşımıza çıkan türbülans olayının kaynağı olduğu seslerin incelenmesidir (Lighthill,1952) ve (Crighton, 1975). Her ne kadar düşük frekanslı ve zayıf bir ses kaynağı olsa da, akım ve türbülans karekteristikleri ile ilgili önemli bilgiler sunmaktadır (Prosperetti, 1988).

Hidrolik olaylarda açığa çıkan sesler ile ilgili yüksek miktarda çalışma olmasına rağmen, bu sesler ile enerji arasındaki ilişki konusunda pek fazla çalışma yapılmamıştır. Bu çalışmanın amacı laboratuvar ortamında deneyler yaparak hidrolik olaylarda açığa çıkan seslerin ve enerjilerin karekteristiklerinin saptanması ve karşılaştırılmasıdır.

2. HİDROLİK OLAYLARDA AÇIĞA ÇIKAN ENERJİNİN SES BİLEŞENİNİN SAPTANMASI

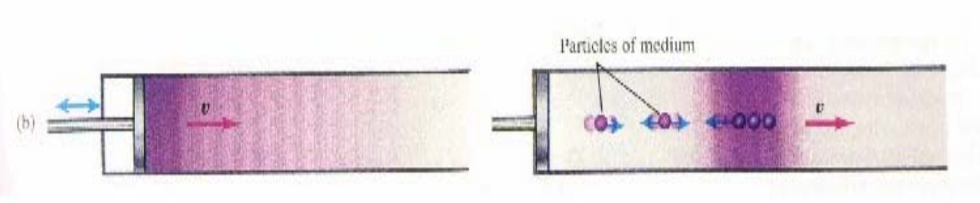
2.1 Sesin Temel Özellikleri ve İlgili Parametreler

2.1.1 Ses Dalgaları

Ses, madde ortamında dalgalar halinde ilerleyen bir enerji fazıdır. Ses dalgaları kısaca, "duyulabilir frekans aralığında yer alan basınç dalgaları (boyuna dalgalar)" olarak tanımlanabilmektedir.

Boyuna dalgalar, maddenin içinde basınç salınımı şeklinde ilerleyen mekanik dalgalardır. Temel karakterleri, parçacıkların dalganın yayılımı yönünde ileri ve geri hareket etmesidir. Bu basınç salınımlarının değişme hızı dalganın frekansını belirler.

Şekil 1, ses dalgalarının nasıl oluştuğunu ve basınç değişimlerinin kaynaktan *v* hızıyla nasıl uzaklaştıklarını göstermektedir. Parçacıkların birbirlerine en yakın olarak gösterildiği noktalarda ses dalgalarının en yüksek basıncı gerçekleşmektedir.



Şekil 2.1: Ses Dalgalarının Oluşumu ve İlerleyişi

Mekanik dalgaların katı madde içinde ilerleyen üç farklı tipi daha vardır. Boyuna dalgaların yanı sıra enine dalgalar da madde içinde ilerler, ve her ikisine birden gövde dalgaları denilebilir. Diğer iki tip olan Rayleigh ve Lowe dalgaları ise katı maddenin yüzeyi boyunca ilerlerler. Enine dalgalar, dalga ilerleme yönüne dik yönde bir elastik deformasyon prensibine dayanırlar. Ses dalgalarının ilerleme hızına göre birçok farklı

sınıflandırma da yapılabilmektedir. Boyuna dalgaların ölçümünde/kaydında, diğer tip dalgalar genellikle kuvvet bir gürültü şeklinde kendilerini belli ederler.

Hava gibi akışkanlar enine deformasyonları kaldıramazlar, dolayısıyla hava ve su içerisinde ancak basınç dalgaları ilerleyebilirler. Diğer taraftan su-katı arayüzünde enerji dönüşümü ile yeni dalga türleri oluşacak, böylece su altı ses kayıtlarında enine dalgalar ve yüzey dalgaları da belirebilecektir.

Ses dalgaları, oluşum şartlarına bağlı olarak, düzlemsel dalgalar, küresel dalgalar veya ikisinin arasında bir biçimde yayılabilirler. Düzlemsel dalgalar, ideal ortamda enerji kaybı olmaksızın dalga yönünde ilerleyen dalgalardır. Diğer taraftan küresel dalgalar ideal ortamda küresel bir kuralı izleyen enerji azalması ile yol alırlar ki, bu da mesafenin karesi ile ters orantılıdır.

Ses dalgalarının ilerlemesi oluşma şartlarına ve yerel şartlara bağlı olarak silindirik dalgalar şeklinde veya başka tip enerji azalma faktörleri ile meydana gelebilir.

Eğer ses ölçümleri kaynağa çok yakın bir noktada gerçekleşirse yakın alan ölçümleri, kaynağa uzak bir noktada gerçekleşirse de uzak alan ölçümleri olarak adlandırılırlar. Bu iki tip ölçüm arasındaki sınır r_o olarak tanımlanır; bu mesafede kaynağın merkezi ve dış kenarı arasındaki uzaklık $\lambda/2\pi$'ye eşittir. Alanı A_k olan bir dairesel kaynak için aşağıdaki eşitlik yazılabilir:

$$r_o = \frac{A_k}{\lambda} = \frac{A_k f}{c} \tag{2.1}$$

burada; λ = ses dalgası boyu

$f = 1/\lambda$ ses dalgası frekansı

c = ses dalgasının ilerleme hızıdır.

2.1.2 Ses Seviyeleri

Ses seviyeleri, direkt olarak matematiksel denklemlerle verilmez, ancak sesin yoğunluğu, ses katarının frekansı, sesin havada veya suda ilerlemesi gibi birçok faktöre bağlı olarak tanımlanabilir.

2.1.2.1 Sesin Yoğunluğu

Bir ses dalgasının akustik yoğunluğu, I, dalga ilerleme yönüne normal birim alandan geçen enerji akımının ortalama değişimi olarak tanımlanabilir. Akustik yoğunluk için genellikle *joule/s/m*^{2} yada *watt/m*^{2} birimi kullanılır.

Bazı durumlarda sesin yüksekliği akustik yoğunluk olarak ifade edilse de, yükseklik ve yoğunluk eşanlamlı olmadığı için genel olarak bu doğru değildir. Ses yüksekliği bağıl bir kavramdır ve her şekilde hem ses yoğunluğunun hem de sesin frekansının ortak bir fonksiyonudur.

2.1.2.2 Sesin Basıncı

Yukarıda da açıklandığı gibi ses dalgaları, parçacıkların sesin ilerleme yönünde sıkışması ve seyrelmesi ile oluşan basınç salınımlarıdır. Dolayısıyla da ses basıncının birimi SI birim sisteminde *N/m*^{2} ya da *Pa* olarak kullanılır.

Ses basıncı, mikrofon ya da hidrofon (sualtı mikrofonu) gibi basınca duyarlı aletler kullanılarak ölçülebilir. Ses yoğunluğu ve ses basıncı şu denklemle birbirleri ile ilişkilendirilmiştir:

$$I = \frac{P^2}{\rho_o c} \tag{2.2}$$

burada; P = ses basıncı

ρ_o = sesin ilerlediği ortamın özgül kütlesi

c = sesin ortamdaki ilerleme hızı olarak verilir.

Düzlem dalgasındaki anlık parçacık hızı, U, ses basıncına aşağıdaki denklemle ilişkilendirilebilir:

$$U = \frac{P}{\rho_o c} \tag{2.3}$$

Parçacıkların ses dalgası etkisiyle yer değiştirme genliği, A, basınç ve açısal frekans cinsinden:

$$A = \frac{P}{\omega \rho_o c} \tag{2.4}$$

şeklinde ifade edilir ki, açısal frekans $\omega = 2\pi f$ 'dir.

Bu denklemler normal koşullarda hem düzlem dalgaları hem de küresel dalgalar için geçerlidir. Eğer ses ölçümleri küçük alanlarda yapıldıysa, cidar etkisi ile meydana gelecek yansımalardan dolayı hassas ölçümler yapmak zor olacaktır. Bu durumda ses basıncı ve yoğunluğu arasındaki ilişki ancak tahmin edilebilecektir. Diğer yandan basınç ve genlik arasındaki ilişki hassasiyetini koruyacaktır.

İnsan kulağı algısının alt limiti olan basınç değeri (20.4 μ Pa, ki bu ileride irdeleneceği üzere yaklaşık olarak 10^{-12} watt/m^2'lik bir yoğunluğa tekabül etmektedir) 1000 Hz'lerdeki frekanslarda kulak zarında 10^{-9} cm mertebesinde bir deplasman yaratacaktır. Bu ise bir hidrojen molekülü çapının yaklaşık 1/10'u kadardır.

Biyolojik akustikle ilgili birçok çalışmada basınç ve parçacık hareketi iki ayrı fiziksel olgu gibi düşünülse de yukarıda gösterildiği gibi basınç ve genlik (veya parçacık hareketi) doğru orantılıdır.

2.1.3 Akustik Empedans

Denklem (2)'de de beliren $\rho_o c$ çarpımı akustik empedans olarak adlandırılır, ve sesin ilerleyeceği ortamdaki şartları tanımlar. Akustik empedansın birimi, *Pa/s/m* veya *kg/m^2/s*'ye eşit olan, *rayl*'dır. Yukarıda da görülebileceği gibi akustik empedans basınç ve anlık parçacık hızı arasındaki orandır.

Akustik empedans ses dalgalarının değerlendirilmesinde önemli bir parametredir, özellikle hava ve suda yapılmış ses ölçümlerinin karşılaştırılmasında anahtar olmaktadır. 20^{o}C sıcaklıkta ve standart atmosferik basınç altındaki havanın akustik empedansı 415 rayl iken, 20^{o}C sıcaklıkta ve standart atmosferik basınç altındaki saf suyun akustik empedansı 1480000 rayl'dır.

2.1.4 Ses Oluşumu/İletimi Açısından Hava ve Su Arasındaki Farklılıklar

Akustik empedanslarının farklılıkları dolayısıyla, havada ve suda ilerleyen aynı yoğunluktaki ses dalgaları havada sudan 60 kat daha fazla basınca sahip olacaklar, diğer yandan suda havadakinden 60 kat daha düşük parçacık genliği yaratacaklardır. Eğer basınç da aynı tutulursa, sudaki genlik havadakinin 3580 katı olacaktır.

Akustik empedanstaki farklılığın yol açtığı diğer bir karakteristik olgu ise, hava-su arayüzünün ses dalgaları açısından çok iyi yansıtıcı olmasıdır. Buna da fizik literatüründe *Lloyd aynası* adı verilmektedir. Bu yansıtıcı, ancak çok küçük oranda bir enerjinin havadan suya/sudan havaya geçmesine olanak vereceği için, havada oluşan ses suya, suda oluşan ses da havaya iletilemeyecektir.

Bu ayna olgusunun diğer bir sonucu olarak sudaki ses dalgaları bu arayüzden zıt kutuplu olarak (yarım çevrim faz farkı ile) yansır. Başka bir değişle bir parçacık sıkışması seyrelme, bir parçacık seyrelmesi ise sıkışma olarak dönecektir.

2.1.5 Desibel (dB) Ölçeği

Ses ölçümleri sırasında çok büyük bir aralıkta değişen ses basıncı ve yoğunluğu değerleri ile karşılaşıldığı için, bu parametreleri logaritmik bir ölçek kullanarak tanımlamak gereklidir. Sesi tanımlamak için en çok kullanılan logaritmik ölçek desibel (dB) ölçeğidir.

I ses yoğunluğunun yoğunluk seviyesi *IL* şu şekilde tanımlanır:

$$IL = 10 \log \frac{I_1}{I_0} \tag{2.5}$$

burada; I_1 = ölçülen yoğunluk seviyesi (watt/m^2)

I_0 = referans yoğunluk seviyesi (watt/m^2)

log = 10 tabanında logaritmadır.

Yoğunluk basıncın karesiyle orantılı olduğu için benzer şekilde ses basıncı seviyesinin desibel gösterimi (*SPL*):

$$SPL = 10\log\frac{P_1^{\,2}}{P_0^{\,2}} = 20\log\frac{P_1}{P_0} \qquad (2.6)$$

şeklinde ifade edilir.

Burada; P_1 = ölçülen basınç seviyesi (Pa)

P_0 = referans basınç seviyesi (Pa)'dir.

Burada önemli bir nokta, desibel ölçeğinin mutlak bir ölçü birimi değil, bağıl bir ölçek olmasıdır. Dolayısıyla yukarıda ifade edilen standart birimlerin dışında başka ölçüm birimleri ve referans seviyeler kullanılabilmektedir. I_0 ve P_0 referans seviyeleri için havada ve suda farklı değerler kullanılmaktadır. Hava ölçümleri için insan kulağının alt algı sınırına tekabül eden $I_0 = 10^{-12}$ watt/m^2 değeri kullanılmaktadır. Basınca çevrildiğinde bu değer efektif (RMS; karesel ortalama) ses basıncı seviyesi olarak $P_{0(hava)}$ = 20,4 μ Pa (veya 0,0002 μ bar) olmaktadır.

Su içindeki ses ölçümleri için ise referans basınç seviyesi $P_{0(su)}$ = 1 μ Pa (veya 0,000001 μ bar) olmaktadır.

Havada ve suda yapılan ses ölçümlerinde referans alınan değerler farklı olduğu için, aynı ses dalgasının bu iki farklı ortamda ölçümleri arasında bu ölçekte 26 dB kadar bir fark olacaktır. dB ölçeğinde kaydedilen bir değerin havada mı yoksa suda mı ölçüldüğünün anlaşılması mümkün değildir. Dolayısıyla genel olarak ses ölçümleri dB ölçeği ile ifade edildiklerinde havada mı yoksa suda mı kaydedildikleri de değerlerin yanında ifade edilir.

2.2 Suda Ses Açığa Çıkaran Hidrolik Olaylar ve İncelenmeleri

2.2.1 Yağışlardan Dolayı Oluşan Sesler

Deniz yüzeyine çarpan yağış, su altında ses meydana gelmesini sağlar. Bir yağış damlası iki farklı mekanizma üzerinden su altı sesi meydana getirir (Franz, 1959). İlki, düşen damlanın, düşme etkisiyle meydana getirdiği ses, ikincisi ise düşen damlanın, düşme etkisiyle yarattığı akım. Yağışın ses etkisi, yağışın şiddetine, damlanın büyüklüğüne, rüzgarın etkisine ve denizdeki mevcut dalganın durumuna göre farklılık gösterir.

Yağmur oluşumu atmosfer içindeki sınır ısısı yayılımını ifade eder. Atmosfer ve deniz sirkülasyonunun lokal, bölgesel ve global iklimin üzerinde önemli bir etkisi vardır.

Yağışın, çarpma etkisiyle meydana getirdiği akustik yayılma Franz (1959) tarafından ellili yılların sonlarına doğru incelenmiş ve son otuz yıldır bu konuda yapılan çalışmalara referans olmuştur. Franz (1959) yağmur etksiyle oluşan sesler ile ilgilenmiş ve yağmurun düşme etkisiyle sık miktarda gaz kabarcığı oluşmasına rağmen, bu kabarcıklardan dolayı çıkan seslerin, yağışın düşme etkisiyle çıkan sesler ile karşılaştırıldığında, toplamda açığa çıkan seslerin çok düşük bir kısmı olduğu sonucuna varmıştır.

Nystuen (1986), bu problemi tekrar incelemiş ve Franz'ın (1959) yağmur etkisiyle oluşan seslerin birincil olarak damlacıkların çarpma etkisiyle oluştuğunu doğru olarak kabul etmesine rağmen, meydana gelen seste Franz'ın (1959) incelediğinden farklı mekanizmalar olduğu sonucuna varmıştır.

Laboratuvar ortamında yapılan deneylerde, Pumphrey ve Crum, 3 mm çapında damlacıkların 60 cm yükseklikten bırakılması ve hidrofon kullanılarak alınan sonuçlarda; damlacığın düşme etkisi ile keskin bir frekans yükselmesi ortaya çıktığı, hidrodinamik yer değiştirmeden kaynaklanan düşük frekanslı bir titreşim ve daha sonra düşme etkisiyle oluşan gaz kabarcıklarının yüksek genlikli titreşimlerinin oluştuğu gözlenmiştir.

Damlacığın likid yüzeye çarpması ile akustik saçılmalar gerçekleşse de, bu saçılmaların frekansı yüzlerce kilohertzlik band genişliğindedir ve genel olarak gözlemlenen yağış yelpazesine bir katkısı yoktur. Yapay olarak oluşturulan bu yağışın ses yelpazesi ölçümlerinin yüzey gerilmesine önemli ölçüde bağlı olduğu gözlemlenmiştir. Yağışın çarpma etkisiyle oluşan gaz kabarcıklarının akustik saçılmada büyük rol oynadığı da yapılan laboratuvar çalışmasının bir başka önemli sonucudur.

Yapılan incelemelerde, yüzey geriliminin düşmesinin hava kabarcığı yayılmasına vesile olduğu ve böylece akustik enerji yayılımının oldukça azaldığı gözlemlenmiştir.

Yağış sebebi ile oluşan su altı sesleri mekanizmasının temel nedeni likid yüzeye çarpan yağış damlalarıdır. Bu seslerin frekans aralığı yağışın ve rüzgarın şiddetine, damlacığın büyüklüğüne bağlı olarak artar ya da azalır.

2.2.2 Rüzgar Etkisi ile Oluşan Sesler

Rüzgarın denizler üzerindeki etkisi dinamik oşinografi için birinci derecede önemli bir etkendir. Deniz akımlarının oluşması, momentum transferi, hava-deniz yüzeyindeki sıcaklık ve gaz geçişleri, türbülans meydana gelmesi, deniz üst tabakasının çalkalanması ve dalga oluşmasında rüzgar en önemli faktördür. Rüzgar etkisi ile ses oluşumu da bu nedenle sadece akustik bir bakış açısı değil, önemli bir ilgi alanıdır. Yapılan araştırmalarda rüzgarın nasıl çevre sesi oluşturduğu konusunda çeşitli çalışmalar bulunmuştur. Çıkan sesin, rüzgarın hızına, kırılan dalgalardan oluşan kabarcık dağılımına ve denizde oluşturduğu hareketlere bağlı olduğu gözlemlenmiştir Farmer ve Vagle (1988).

Rüzgar dolayısı ile denizlerde oluşan ses kayıtlarının alınması, diğer hidrolik olaylarda alınan kayıtlara göre daha zordur. Denizdeki vasıtaların trafiği nedeni ile oluşan sesler, yağış nedeni ile oluşan sesler ve rüzgar etkisi ile oluşan sesler birlikte kaydedilerek birbirinden ayrıştırılır. Ayrıca üst üste aynı noktada, aynı parametreler ile aynı şartlarda çalışma yapma olanığı da yoktur. Shonting ve Middleton (1987), hidrofon ve basınç ölçen düzenek kullanarak doğal ortamda ses ve ses basıncı verileri toplamış ve bu verileri değerlendirerek, rüzgar nedeni ile deniz ortamında oluşan ses, ses basıncı ve akustik enerji ilişkisi hakkında bir çalışma yapmışlardır.

Bu çalışmada çevre sesi basıncı ve rüzgar hızı arasında önemli bir bağ olduğu ve çevre sesi basıncının rüzgar hızındaki ani değişimleri zayıf ve güçlü rüzgar şartlarında da çok yakın olarak takip ettiği gözlemlenmiştir.

Ses basıncı yelpazesi, 5-40 kHz arasında değişen rüzgar hızlarında aşağıdaki karekteristkleri göstermiştir.

- Basınç yelpazesi, sıfır rüzgar hızı ve sakin deniz şartlarında düzdür.
- Artan hızlı rüzgarlarda, ses enerji yoğunluğu da bütün frekanslarda artma eğilimi içerisindedir. Artma miktarı frekans ile ters orantılıdır.
- 4,5-8,5 m/s'lik rüzgar hızlarında, düzgün eğimli bir basınç yelpazesinde tepe ve çukur noktalar meydana gelmektedir.

Rüzgar nedeni ile oluşan su altı seslerinden asıl kayda değer olanı rüzgar dalgası sebebi ile oluşan seslerdir. Rüzgar nedeni ile diğer hidrolik olaylar (türbülans, akım vb) da meydana gelse de, bu olaylarda açığa çıkan seslerin frekansları, rüzgar dalgası sebebi ile çıkan seslere oranla çok düşük miktarlarda kalmaktadır.

2.2.3 Dalga ve Türbülans Etkisi ile Oluşan Sesler

Hidrolik olaylarda açığa çıkan seslerin önemli unsurlarından biri de türbülans ve dalgalardır. Derin veyahutta sığ sulardada meydana gelen dalgaların hareketi, kırılması ve türbülans olayları esnasında açığa çıkan enerjinin bir bölümü de faz değiştirerek ses olarak açığa çıkar.

Dalgaların kinematiği ve dalganın kırılmasının hemen ardından bu dalgaların bir takım akustik özellikleri Nadaoka (1986) ve Skjelbreia (1987) tarafından lazer-Doppler hız ölçer (LDV) kullanılarak, dalga kırılma noktalarındaki hız alanı ve türbülans yoğunluğu gözlemlenmiş ve bunların akustik etkilerini incelemiştir.

Dalgaların kırılması esnasında oluşan su altı sesleri ile ilgili bir çok gözlem Kerman (1984) tarafından gerçekleştirilmiştir. Kerman (1984), dalga kırılması yüksek frekanslı çevresel sesin kaynağı olmasına rağmen, dalga kırılmasının içindeki hangi mekanizmanın bu sesi ortaya çıkardığına dair bir çalışma yapmıştır. Dalga kırılma sesi, en azından plajlarda gerçekleşenler, herkes tarafından çok rahatlıkla tanınabilir ya da ayırt edilebilir. Dalga kırılması sebebi ile oluşan su altı sesleri ilk olarak II. Dünya Savaşı sırasında incelenmiştir (Knudsen, 1948) . Dalga kırılmasının seslerinin incelenmesi, dalga kırılması sırasında açığa çıkan enerjinin incelenmesi, dalga kırılmasının akustik karekterinin değerlendirilmesi, özellikle fiziksel yapısının ve kaynağın mekanizmasının çözülebilmesi için eldeki verilerin incelenmesi açısından önemlidir. Çalışmanın tekrarlanabilirliği ve kontrol edilebilirliği açısından, laboratuvar ortamında yapılması daha sağlıklıdır.

Dalgaların kırılması esnasında iki temel özellik ortaya çıkar, köpüklenme ve sıçrama. Köpüklenme ile hava kabarcıkları suyun içerisine karışır ve tek ile çift fazlı kaynaklara sebep olurlar. Sıçrama, güçlü çift kutuplu kaynağa tekabül eden hızlı momentum değişimine neden olur.

Türbülans olayında meydana gelen ses frekansı ise oldukça küçük olmakla beraber akımın ve dalganın hidrolik karekterinin anlaşılması açısından oldukça önemlidir.

Türbülans esnasında da yayılan kabarcıklar vasıtası ile, hidrofon kullanılarak düşük frekanslı sesler ölçülebilir ve ses ile basınç yayılımı takip edilebilir. Böylece faz değiştirerek sese dönüşen hidrolik enerji hakkında daha fazla bilgi sahibi olabiliriz.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde yer alan deney çalışmaları İstanbul Teknik Üniversitesi Hidrolik ve Su Kaynakları Laboratuvarı'nda 22 m x 6m'lik dalga havuzunda ve 24 m x 1 m x 1m'lik düzensiz dalga kanalında gerçekleştirilmiştir.

Ses ölçümleri havuz ve kanal içerisine yerleştirilen hidrofon ile yapılmıştır. İleri derece gelişmiş bir ses modelleyicisi kullanılarak ses verileri yaklaşık olarak 44.1 kHz'lik bir modelleme oranı ile dijital hale getirilerek bilgisayara aktarılmıştır. Aynı zamanda profesyonel bir ses kayıt ve analiz yazılımı da verilerin kaydedilmesi ve işlenmesinde kulanılmıştır. Dalga propları ve dalga monitörü de sisteme adapte edilerek çalışan sistemin dalga verileri alınmıştır.

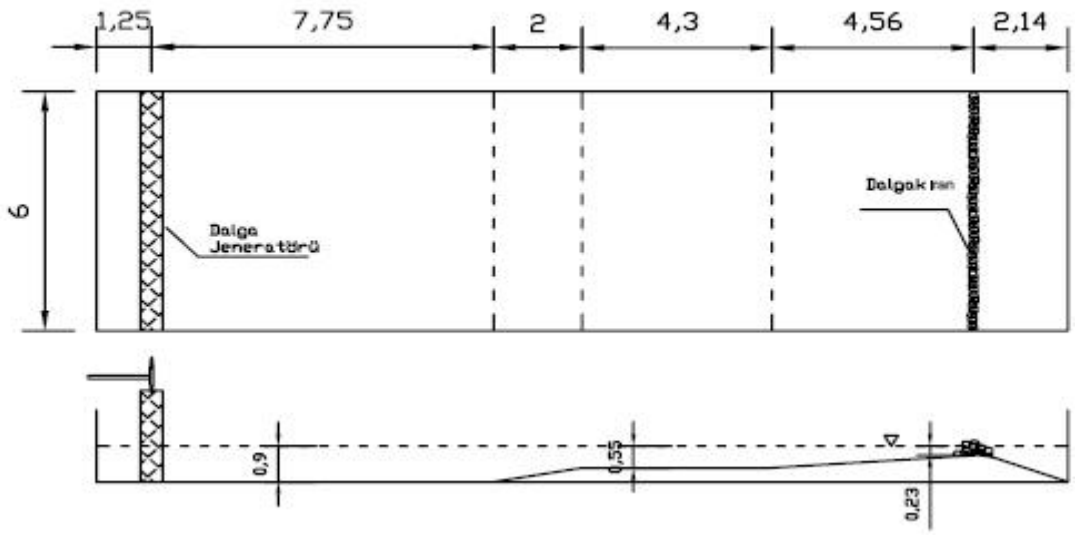
Farklı dalga iklimlerinde gerçekleştirilen deneylerden alınan datalar ile dalga enerjisi ve ses enerjisi arasındaki ilişki incelenmiştir.

Dalga jeneratörü çalışırken, dalga ses kayıtlarında bir gürültüye rastlandı. Aynı zamanda dalga jeneratörünü çalıştıran alternatif akımdan dolayı da alınan ses kayıtlarında oldukça kuvvetli bir gürültü tespit edildi. Bu sebeple, dış etkenli kaynaklardan meydana gelen bu gürültüleri temizlemek için, ses filtreleyici bir yazılım kullanıldı ve bu sesler ayrıştırıldı.

3.1 Düzenli Dalga Havuzu Deneyleri

Bu deney çalışmaları İstanbul Teknik Üniversitesi Hidrolik ve Su Kaynakları Laboratuvarı'nda 22 m x 6m'lik dalga havuzunda gerçekleştirilmiştir. Havuzdaki ortalama su derinliği 60 cm'dir. Havuzun bir ucunda dalga üretmekte kullanılan düzenli dalga jeneratörü bulunmaktadır (Şekil 3.1).

Antifer ve 10-15 cm'lik küp bloklarından oluşan bir dalgakıran hattı, havuzun diğer ucuna dalgaların yansımasını ve solmasını engellemek için konulmuşur. Havuzun içine, dalga kırana doğru tatlı bir eğimle giden çakıl konulmuştur.



Şekil 3.1: Dalga Havuzunun Planı ve Yandan Görünümü

Toplamda yaklaşık ikişer dakika süren dokuz deney yapılmıştır. Her biri için dalga kayıtları, dalga propları ve dalga monitörü ile; ses kayıtları, düzenli dalga havuzu içine yerleştirilen hidrofon ve ileri derece gelişmiş bir ses modelleyicisi kullanılarak alınmıştır.

3.1.1 Sonuçlar

Dalga profilleri kırılma öncesinde kaydedilmiştir. Her dalganın yükseklik ve periyotları, sisteme adapte edilen dalga propları ve dalga monitörü ile alınmış ve Tablo 3.1'de verilmiştir.

Yukarıda belirtildiği üzere, dalga havuzu bütün dalgaların kırılacağı ve yansıma yapmadan sönümleneceği şekilde hazırlanmıştır.

Aynı zamanda dalga havuzunun tabanındaki çakıllar da yapılan deneyler esnasında yerlerinde kalmışlar ve herhangi bir şekilde hareket etmemişlerdir. Başka bir deyiş ile her dalganın enerjisi tamamı ile başka bir iş yapmadan harcanmıştır.

Tablo 3.1: Bütün Deneylerde Alınan Dalga Yükseklikleri ve Periyotları

Deney No.	Dalga Periyodu, T(s)	Dalga Yüksekliği, H (cm)
1	1.06	6.11
2	1.07	4.62
3	1.07	4.34
4	1.12	6.23
5	1.07	4.42
6	1.35	2.70
7	1.21	2.85
8	1.06	2.43
9	1.25	3.53

Bunu başka bir şekilde ifade edersek, dalga enerjisi fazını kinetik/potansiyel enerjiden ses enerjisine değiştirmiştir.

Küçük genlikli dalga teorisinde (CERC, 1973), sinüsodial tekil dalga enerjisi her alan için aşağıdaki şekilde verilmiştir:

$$E_a = \frac{\rho g H^2}{8} \tag{3.1}$$

E_a Birim alandaki toplam dalga enerjisi,

g Yerçekimi ivmesi

H Dalga yüksekliği

Aynı zamanda dalga boyu, L, aşağıdaki şekilde de ifade edilebilir:

$$L = \frac{gT^2}{2\pi}\tanh(\frac{2\pi d}{L}) \tag{3.2}$$

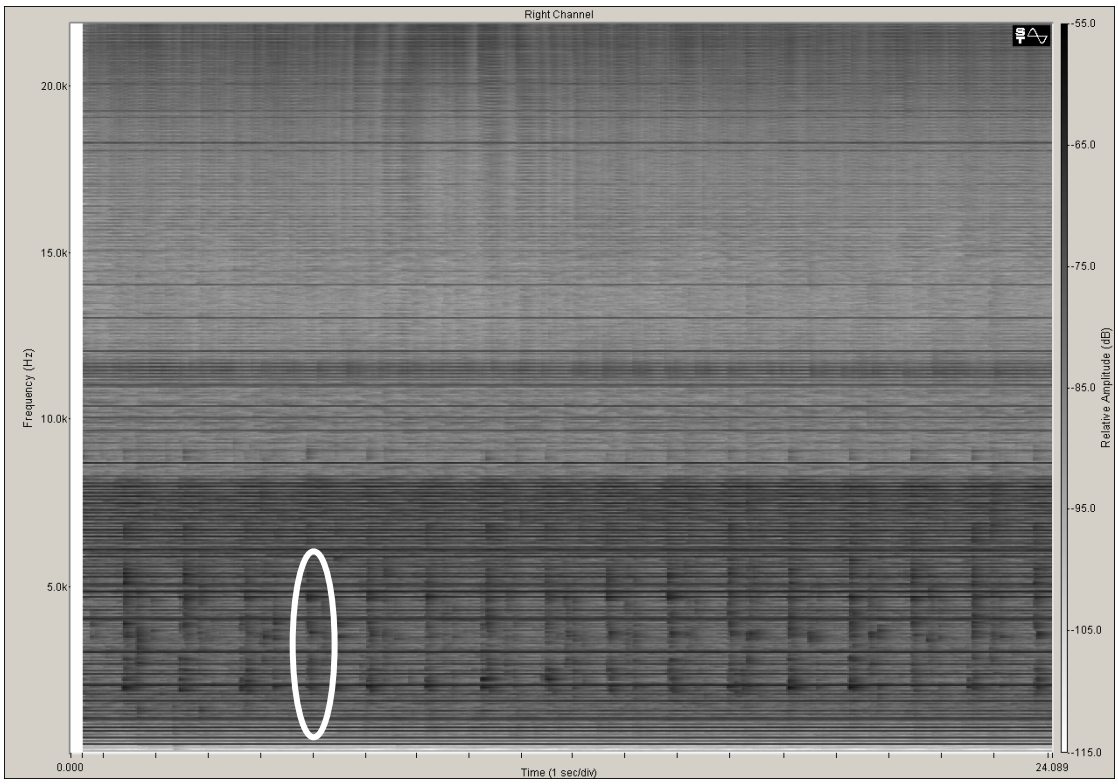
(3.1) ve (3.2) denklemleri kullanılarak, her deneyi yapılmış dalga için dalga enerjisi ve dalga boyları hesaplanmış ve Tablo 3.2'de gösterilmiştir.

Başka bir deyiş ile, daha önceki kısımlarda belirtildiği üzere, sesin yoğunluğu birim zamanda birim alandan geçen sesin enerjisini tanımlar. Ses kayıtları analiz edildiğinde, dalga enerjisi ve ses enerjisi arasında düşürücü faktörü ile birlikte şüphesiz bir bağ olduğu beklenir. Buna rağmen bu iki enerji fazı arasında herhangi bir bağ olmayabilir. Bütün deneylerdeki her dalga serisi için ses enerjilerini tanımlamak için, her kayıdın SPL ses yelpazesi analiz edilmiştir. Gürültülerin filtre edilmesinden sonra, çevreden su seslerinin alınması daha kolaydır.

Tablo 3.2 Her Deney için Hesaplanmış Dalga Boyları ve Dalga Enerjileri

Deney No.	Dalga Periyodu, T (s)	Dalga Boyu, H (cm)	Dalga Uzunluğu, L (cm)	Dalga Enerjisi, E_a (joule/m^2)
1	1.06	6.11	1.53	4.588
2	1.07	4.62	1.56	2.609
3	1.07	4.34	1.55	2.314
4	1.12	6.23	1.66	4.759
5	1.07	4.42	1.56	2.390
6	1.35	2.70	2.13	0.895
7	1.21	2.85	1.85	0.994
8	1.06	2.43	1.54	0.721
9	1.25	3.53	1.96	1.527

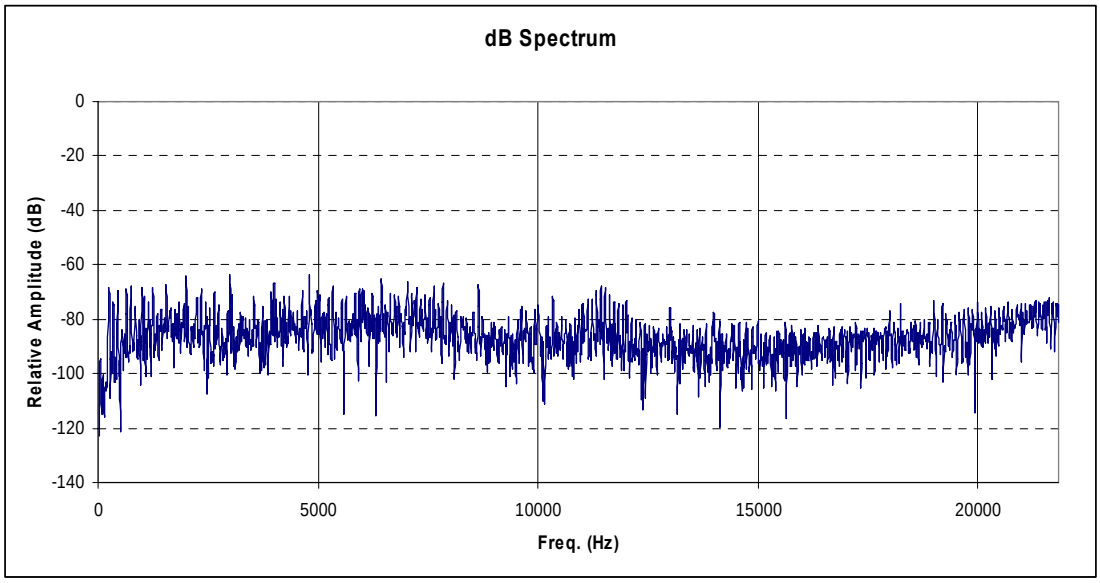
Üç boyutlu, gölgeli taranmış (frekans-seviye-zaman) spektogram olarak adlandırılan bu grafiksel metot, dalga ses yelpazesinin karekteristiğini belirlemede kullanılır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2: Deneyin Spektogramı. Sıçrama görüntülerinden biri beyaz elips içinde gösterilmiştir.

Görüldüğü üzere büyük çoğunluktaki ses enerjisi frekansları 3.5 kHz ile 4.8 kHz frekans aralığındadır, fakat bu sesin tamamı ile yayılması 2 kHz ile 9 kHz arasındadır. 1. deneyin spektogramı olan Şekil 3.2'de, ardışık olarak ilerleyen kara lekeler piston sesi ve dalganın sıçrama sesidir. Dalga sıçrama lekesi beyaz elips ile işaretlenmiştir.

Bu kısa sıçrama zamanına (Bir deney için 0.25 sn) tekabül eden güç yelpazesi, Şekil 3.3'te verilen Hanning metodu ile 4096 frekans aralığında gösterilmiştir. Bu çevresel gürültünün düz basınç yelpazesi bu sıçrama basınç yelpazesinden çıkartılmıştır. Daha sonra her bulunan frekans için sesin yoğunluğu dar bant frekansı ile çarpılmak kaidesi ile bulunmuştur. Bu değerlerin 2 kHz ile 9 kHz arasında ortalamalarının alınması ile esas ses enerjisi bulunmuştur.



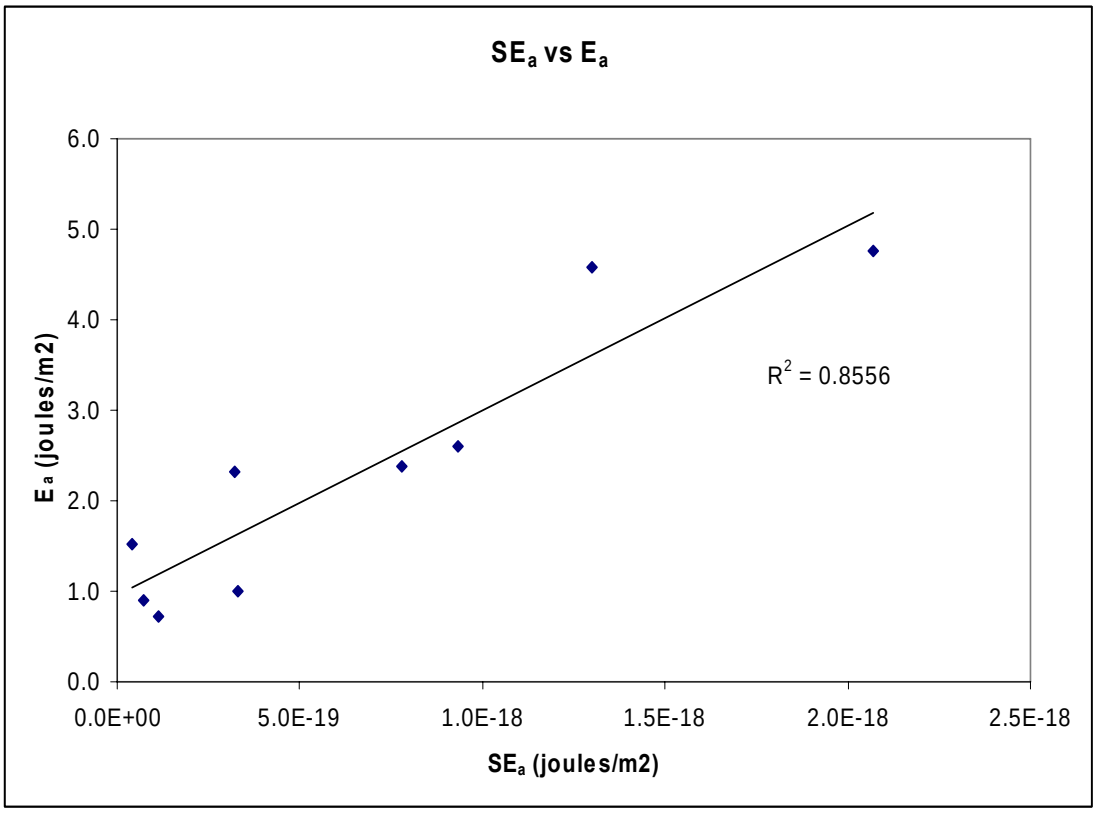
Şekil 3.3: 1. Deneydeki Sıçramalardan Bir Tanesinin Ses Seviye Yelpazesi

Yapılan her deney için, hesaplanan sıçrama sesleri ve dalga enerjileri Şekil 3.4'te verilmiştir ve bu iki parametre karşılıklı olarak gösterilmiştir.

Tabi ki bu hesaplamalara dahil olmayan, düşürücü factor, sesin etrafı çevrili havuzda yansıması ve temizlenemeyen gürültüler gibi oldukça faktör vardır. Fakat ses enerjisi ve dalga enerjisi arasında önemli bir bağ vardır (Şekil 3.4).

Tablo 3.3: Her Deney için Hesaplanmış Ses ve Dalga Enerjilerinin Mukayesesi

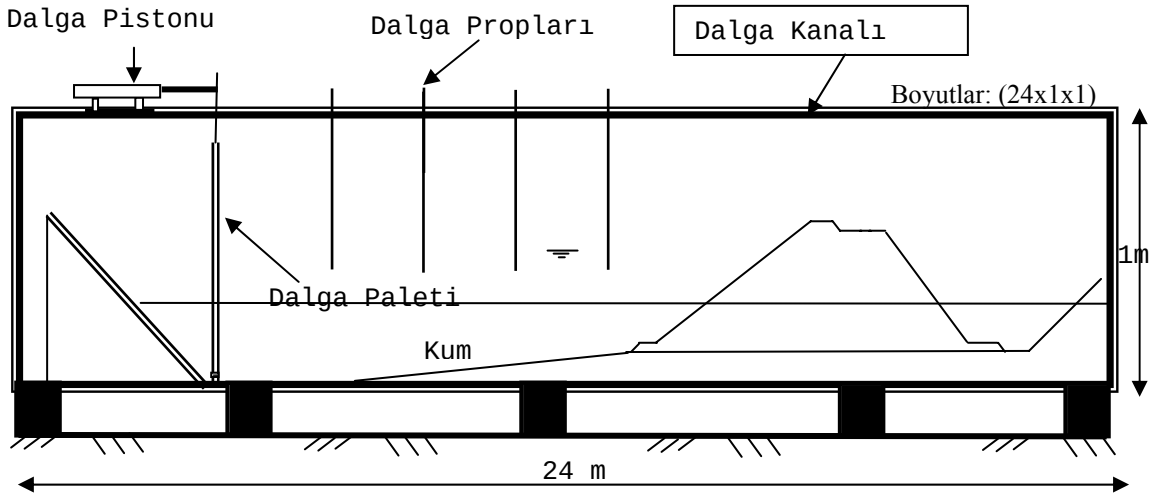
Deney No.	Sıçramadan dolayı oluşan ses enerjisi, SE_a (joules/m^2)	Dalga Enerjisi, E_a (joules/m^2)
1	1.298E-18	4.588
2	9.337E-19	2.609
3	3.195E-19	2.314
4	2.070E-18	4.759
5	7.775E-19	2.390
6	7.143E-20	0.895
7	3.285E-19	0.994
8	1.129E-19	0.721
9	4.196E-20	1.527



Şekil 3.4: Sıçramadan Kaynaklanan Ses Enerjisi (SE_a) ve Dalga Enerjisinin (E_a) Çıktıları

3.2 Düzensiz Dalga Kanalı Deneyleri 1

Bu deney çalışmaları İstanbul Teknik Üniversitesi Hidrolik ve Su Kaynakları Laboratuvarı'nda 24 m x 1m x 1m'lik düzensiz dalga kanalında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.5: Dalga Kanalının Planı ve Yandan Görünümü

Havuzun bir ucunda dalga üretmekte kullanılan düzensiz dalga jeneratörü bulunmaktadır (Şekil 3.5). İlk katmanında 18-30g arasında küçük taşlar (Prototipte 0.4-2 ton), ikinci katmanda 30-60g arasında taşlardan (Prototipte 2-4 ton) ve en son katmanda 60-100g arasında (Prototipte 4-6 ton) oluşan bir dalgakıran hattı, havuzun diğer ucuna dalgaların yansımasını ve solmasını engellemek ve dalgaların tamamı ile kırılması için konulmuşur. Düzensiz Dalga Kanalının deney düzeneğinin hazırlanması esnasında yukarıdan görünümü (Şekil 3.6)'da verilmiştir.

Ses ölçümleri havuz içerisine yerleştirilen hidrofon ile yapılmıştır. Dalga kırılmasından dolayı oluşan sesleri ve yine dalga kırılması esnasında oluşan hava kabarcıkları nedeni ile açığa çıkan sesleri incelemek için hidrofon, dalga kanalına hidrolik olayları etkilemeyecek bir mesafede yerleştirilmiştir. Deneyler 8 farklı dalga ikliminde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.6: Düzensiz Dalga Kanalının Deney Katmanlarının Hazırlanması Esnasında Yukarıdan Görünüşü



Şekil 3.7: Düzensiz Dalga Kanalı Deneyleri 1 sırasında Dalga Kıranın Görünümü

3.2.1 Sonuçlar

Dalga profilleri kırılma öncesinde kaydedilmiştir. Her dalganın yükseklik ve periyotları, sisteme adapte edilen dalga propları ve dalga monitörü ile alınmış ve Tablo 3.4'te verilmiştir.

Tablo 3.4: Bütün Deneylerde Alınan Dalga Yükseklikleri ve Periyotları

Deney No.	Dalga Periyodu, T(s)	Dalga Yüksekliği, H (cm)
1	0.89	4,9
2	0.94	5,9
3	1.05	4,6
4	1.05	6,6
5	1.10	6,4
6	1.11	9,3
7	1.20	6,6
8	1.28	11,6

Yukarıda belirtildiği üzere, dalga kanalı bütün dalgaların kırılacağı ve yansıma yapmadan sönümleneceği şekilde hazırlanmıştır.

Aynı zamanda dalga kıran üzerindeki antiferler de yer değiştirmemiştir. Başka bir deyiş ile her dalganın enerjisi tamamı ile başka bir iş yapmadan harcanmıştır.

Bunu başka bir şekilde ifade edersek, dalga enerjisi fazını kinetik/potansiyel enerjiden ses enerjisine değiştirmiştir.

Küçük genlikli dalga teorisinde (CERC, 1973), sinüsodial tekil dalga enerjisi her alan için aşağıdaki şekilde verilmiştir:

$$E_a = \frac{\rho g H^2}{8} \tag{3.3}$$

E_a Birim alandaki toplam dalga enerjisi,

g Yerçekimi ivmesi

H Dalga yüksekliği

ρ Sesin ilerlediği ortamın özgül kütlesi

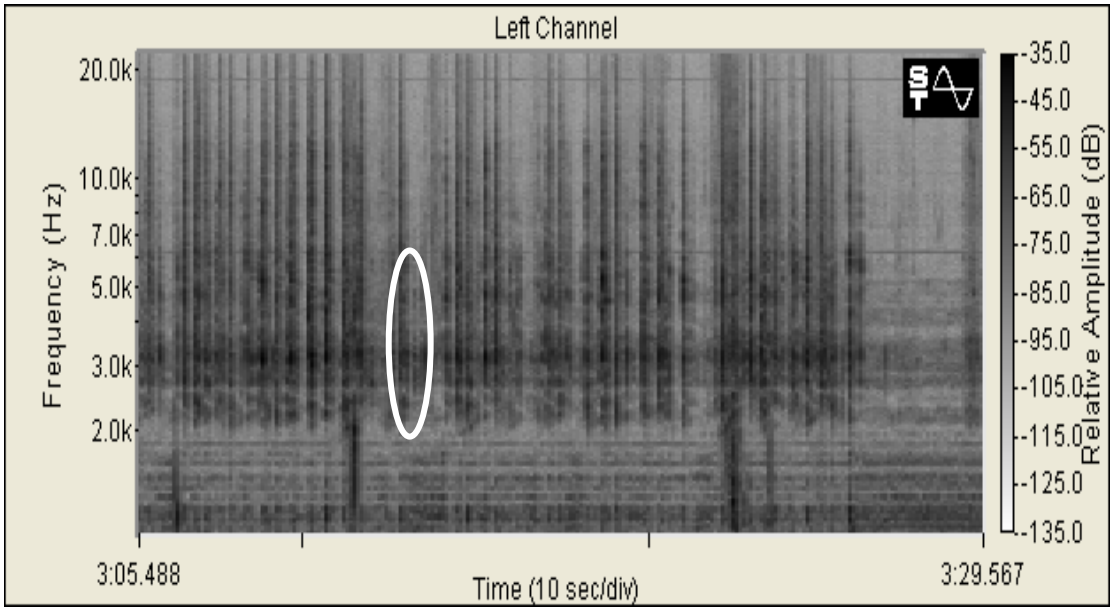
(3.3) denklemi kullanılarak, her deneyi yapılmış dalga için dalga enerjisi ve dalga yükseklikleri hesaplanmış ve Tablo 3.5'te gösterilmiştir.

Tablo 3.5 Her Deney için Hesaplanmış Dalga Yükseklik ve Dalga Enerjileri

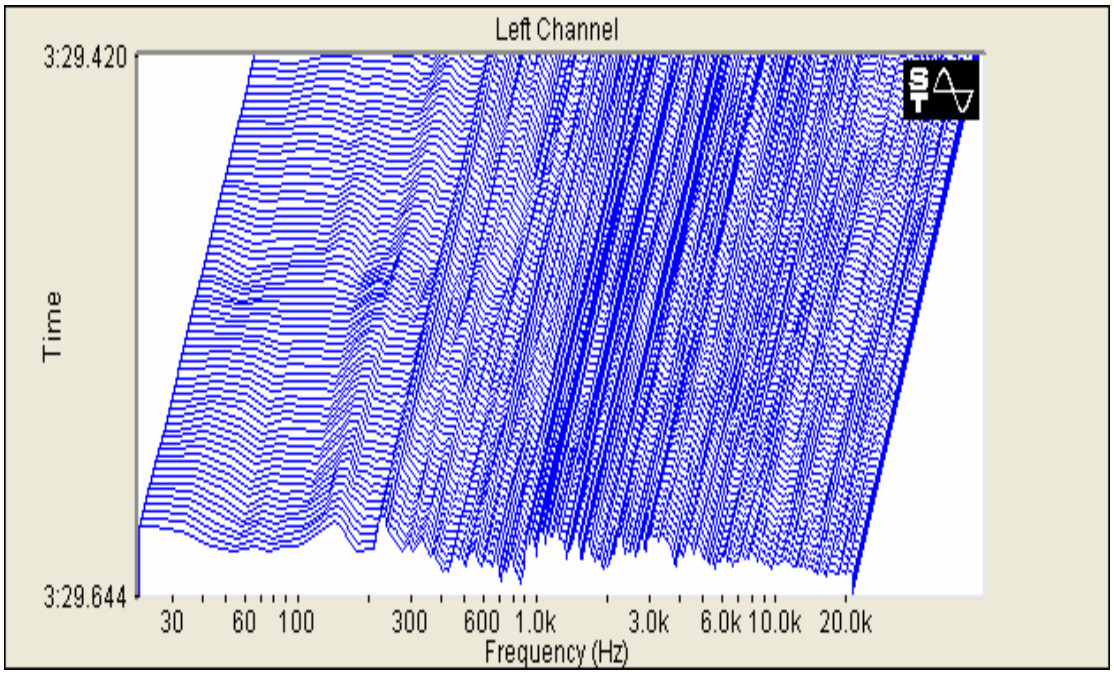
Deney No.	Dalga Periyodu, T (s)	Dalga Boyu L (m)	Dalga Yüksekliği, H (cm)	Dalga Enerjisi, E_a (joule/m^2)
1	0.89	1,307	4,9	2,907
2	0.94	1,421	5,9	4,310
3	1.05	1,632	4,6	2,650
4	1.05	1,671	6,6	5,333
5	1.10	1,632	6,4	5,091
6	1.11	2,510	9,3	10,702
7	1.20	1,909	6,6	5,419
8	1.28	2,603	11,6	16,616

Daha önceki kısımlarda belirtildiği üzere, sesin yoğunluğu birim zamanda birim alandan geçen sesin enerjisini tanımlar. Ses kayıtları analiz edildiğinde, dalga enerjisi ve ses enerjisi arasında düşürücü faktörü ile birlikte bir bağ olduğu beklenir. Buna rağmen bu iki enerji fazı arasında herhangi bir bağ olmayabilir. Daha önceki düzenli dalga havuzu deneyinde belirtildiği üzere bütün deneylerdeki her dalga serisi için ses enerjilerini tanımlamak için, her kayıdın SPL ses yelpazesi analiz edilmiştir.

Üç boyutlu, gölgeli taranmış (frekans-seviye-zaman) spektogram olarak adlandırılan bu grafiksel metot, dalga ses yelpazesinin karekteristiğini belirlemede kullanılır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8: Deneyin Spektogramı. Sıçrama görüntülerinden biri beyaz elips içinde gösterilmiştir



Şekil 3.9: Deneyin zaman serilerinden biri yukarıdaki şekilde gösterilmiştir.

Görüldüğü üzere büyük çoğunluktaki ses enerjisi frekansları 2.5 kHz ile 4.0 kHz frekans aralığındadır, fakat bu sesin tamamı ile yayılması 2 kHz ile 7 kHz arasındadır. 3. deneyin spektogramı olan Şekil 3.8'de, ardışık olarak ilerleyen kara lekeler piston sesi ve dalganın sıçrama sesidir. Dalga sıçrama lekesi beyaz elips ile işaretlenmiştir.

Bu kısa sıçrama zamanına tekabül eden güç yelpazesi, Şekil 3.10'da verilen Hanning metodu ile 4096 frekans aralığında gösterilmiştir. Bu çevresel gürültünün düz basınç yelpazesi bu sıçrama basınç yelpazesinden çıkartılmıştır. Daha sonra her bulunan frekans için sesin yoğunluğu dar bant frekansı ile çarpılmak kaidesi ile bulunmuştur. Bu değerlerin 2 kHz ile 7 kHz arasında ortalamalarının alınması ile esas ses enerjisi bulunmuştur.

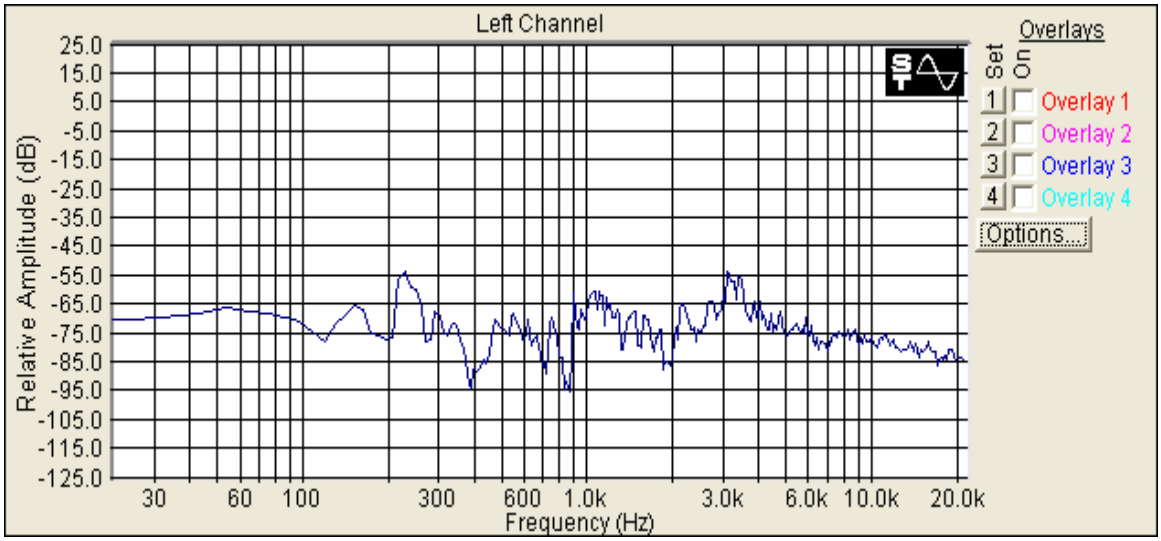
I ses yoğunluğunun yoğunluk seviyesi IL:

$$IL = 10 \log \frac{I_1}{I_0} \tag{3.4}$$

Ses basıncı seviyesinin desibel gösterimi (*SPL*):

$$SPL = 10\log\frac{P_1^{\,2}}{P_0^{\,2}} = 20\log\frac{P_1}{P_0} \qquad (3.5)$$

(3.4) ve (3.5) formülleri kullanılarak hesaplanan ses basıncı ve ses yoğunluğu değerleri ile bu değerlerin 2 kHz ile 7 kHz arasında ortalamalarının alınması ile hesaplanan esas ses enerjisi Tablo (3.5)'te gösterilmiştir.



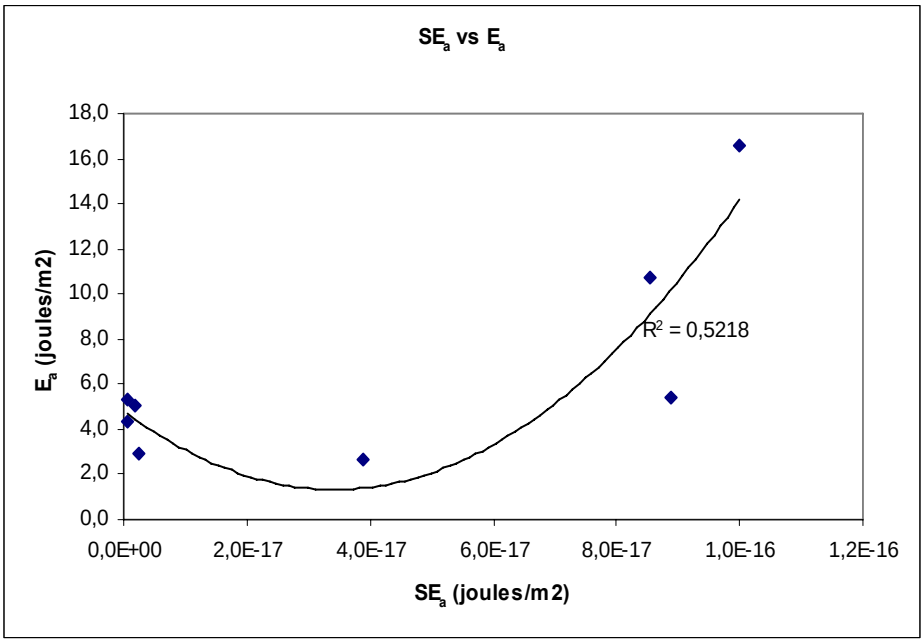
Şekil 3.10: Deneydeki Sıçramalardan Bir Tanesinin Ses Seviye Yelpazesi

Tablo 3.5: Her Deney için Hesaplanmış Ses ve Dalga Enerjilerinin Mukayesesi

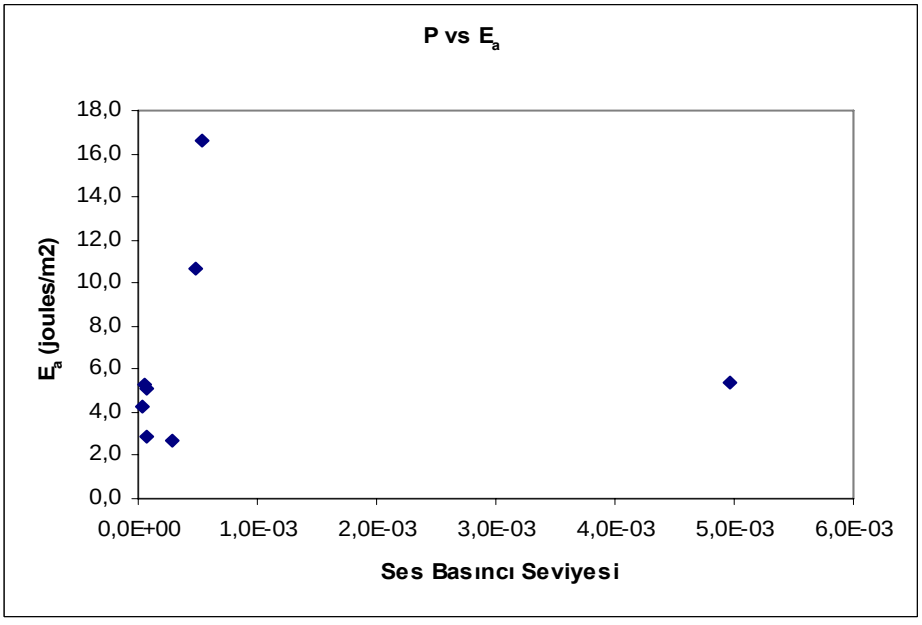
Deney No	Ses Basınç Seviyesi, P (Pa)	Ölçülen Ses Yoğunluk Seviyesi, I (joules/s/m²)	Sıçramadan dolayı oluşan ses enerjisi, SE_a (joules/m^2)	Dalga Enerjisi, E_a (joules/m^2)
1	7,689E-05	8,069E-15	2,484E-18	2,907
2	4,396E-05	2,340E-15	7,549E-19	4,310
3	2,810E-04	1,249E-13	3,872E-17	2,650
4	4,726E-05	2,300E-15	6,926E-19	5,333
5	6,927E-05	5,781E-15	1,748E-18	5,091
6	4,904E-04	2,947E-13	8,545E-17	10,702
7	4,962E-03	3,030E-13	8,890E-17	5,419
8	5,322E-04	3,021E-13	1,001E-16	16,616

Yapılan her deney için, hesaplanan sıçrama sesleri ve dalga enerjileri Şekil 3.11'de verilmiştir ve bu iki parametre karşılıklı olarak gösterilmiştir.

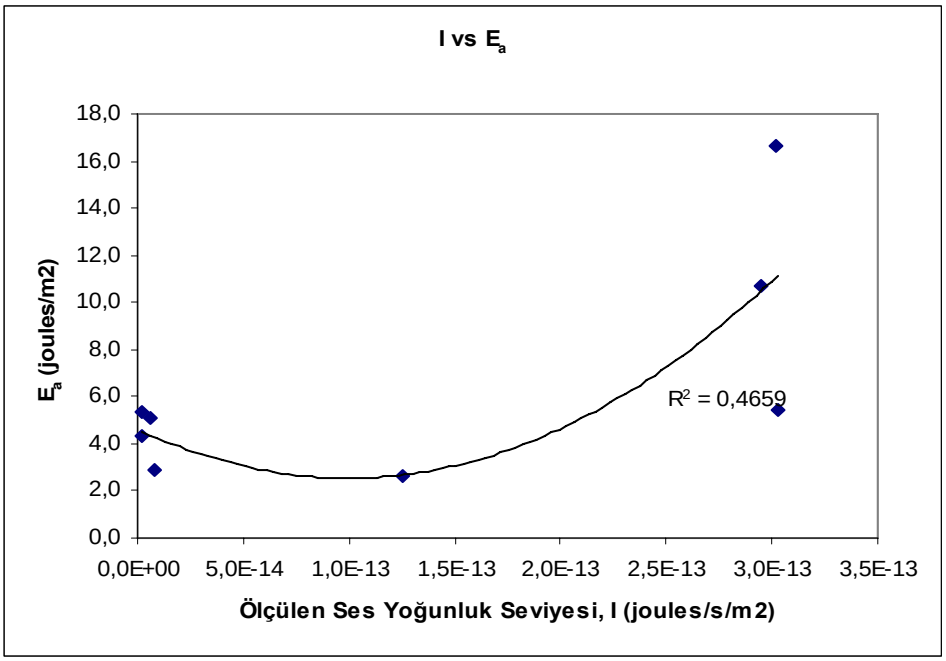
Deneylerde hesaplanan ses basınç seviyesi (P) ve ölçülen yoğunluk seviyesi (I) ile dalga enerjisi arasındaki ilişki de sorgulanmış ve Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'te gösterilmiştir.



Şekil 3.11: Sıçramadan Kaynaklanan Ses Enerjisi (SE_a) ve Dalga Enerjisinin (E_a) Çıktıları



Şekil 3.12: Ses Basınç Seviyesi (P) ve Dalga Enerjisinin (E_a) Çıktıları



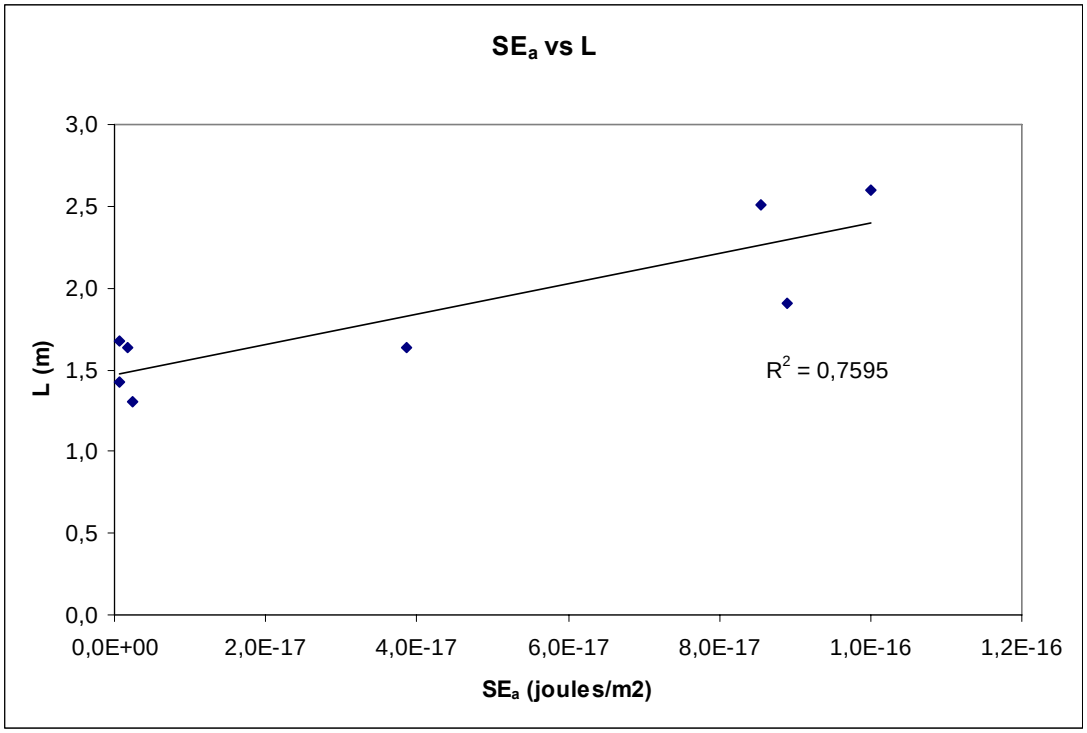
Şekil 3.13: Ölçülen Ses Yoğunluk Seviyesi (I) ve Dalga Enerjisinin (E_a) Çıktıları

Şekil 3.11, Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'te düzensiz dalga kanalı deneyleri 1'de elde edilen frekans değerlerinden hesaplanan ses basınç seviyesi, ölçülen ses yoğunluk seviyesi ve gerçekleşen hidrolik olaylarda açığa çıkan ses enerjisi ile dalga enerjisinin ilişkileri gösterilmiştir. Tabi ki bu hesaplamalara dahil olmayan, düşürücü faktör, sesin cam kanalda yansıması ve temizlenemeyen gürültüler gibi oldukça faktör vardır. Fakat ses enerjisi ile dalga enerjisi arasında ve ölçülen ses yoğunluğu ile dalga enerjisi arasında önemli bir bağ vardır (Şekil 3.11, Şekil 3.13). Fakat ses basıncı ile dalga enerjisi arasındaki bağ ihmal edilebilecek derecede azdır (Şekil 3.12).

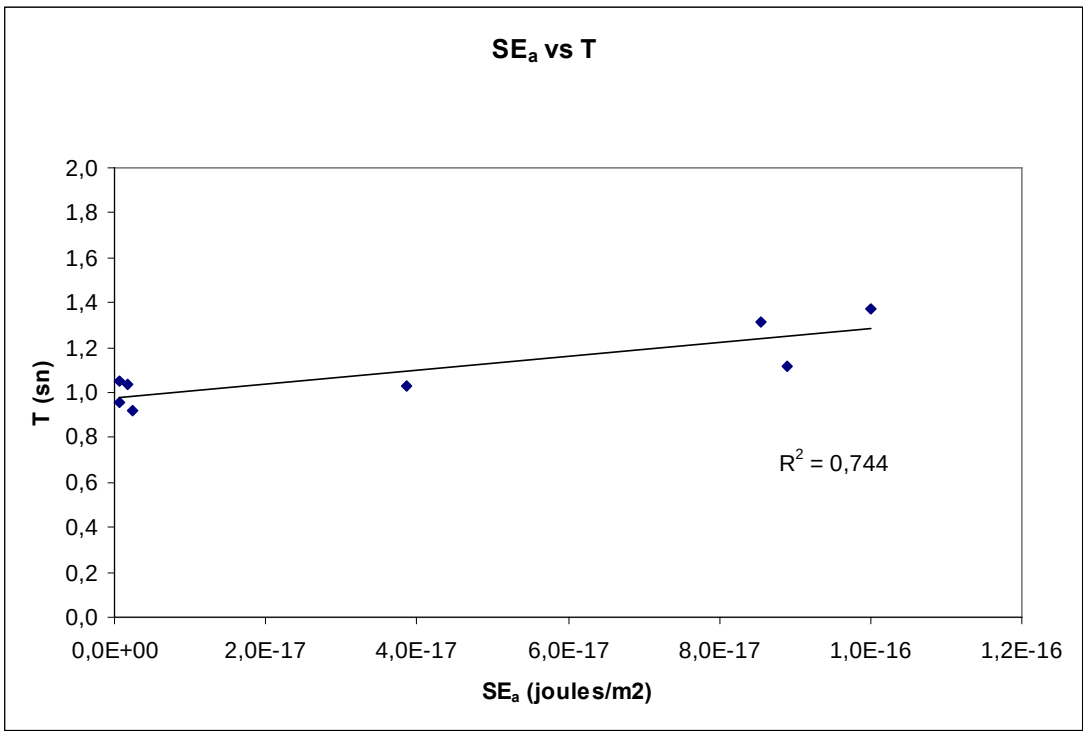
Aynı şekilde düzensiz dalga kanalı deneyleri 1'de hesaplanan dalga yüksekliği, dalga boyu ve dalga periyodu ile ses enerjisi arasındaki ilişkiler incelenmiş ve Şekil 3.14, Şekil 3.15 ve Şekil 3.16'da gösterilmiştir.

Düzensiz dalga kanalı deneyleri 1'de dalga propları ve dalga monitörü kullanılarak, ses enerjisinin hesaplandığı aralıkta elde edilen dalga boyu, dalga yüksekliği ve dalga periyodu ile gerçekleşen hidrolik olaylarda açığa çıkan ses enerjisinin ilişkileri gösterilmiştir. Tabi ki bu hesaplamalara dahil olmayan, düşürücü faktör, sesin cam

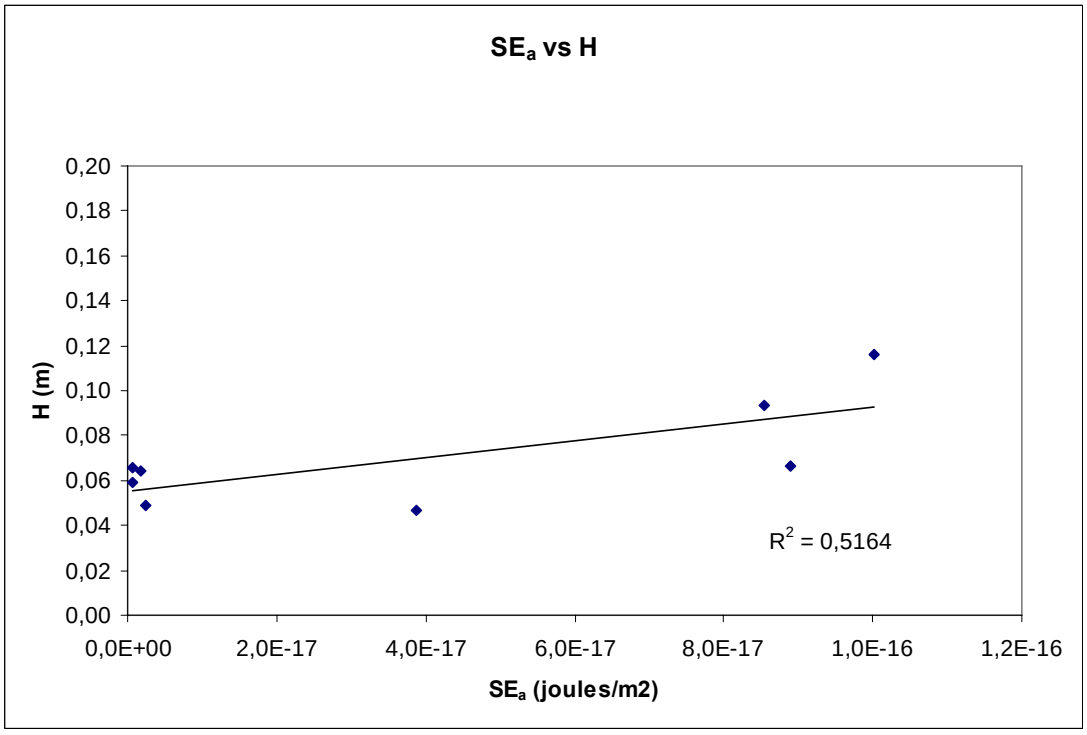
kanalda yansıması ve temizlenemeyen gürültüler gibi oldukça faktör vardır. Fakat ses enerjisi ile dalga boyu, dalga yüksekliği ve dalga periyodu arasında önemli bir bağ vardır (Şekil 3.14, Şekil 3.15, Şekil 3.16)



Şekil 3.14: Dalga Boyu (L) ve Ses Enerjisinin (SE_a)



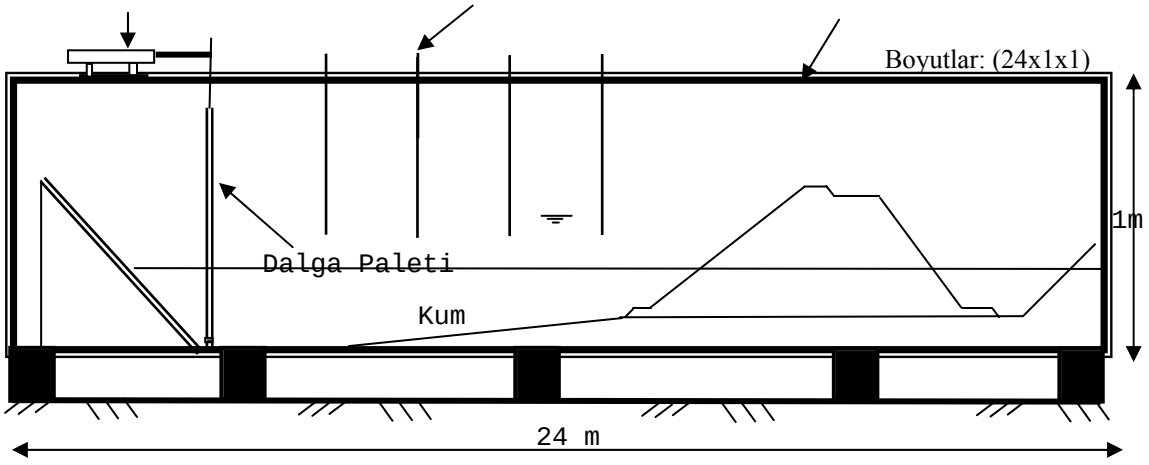
Şekil 3.15: Dalga Periyodu (T) ve Ses Enerjisinin (SE_a) Çıktıları



Şekil 3.16: Dalga Yüksekliği (H) ve Ses Enerjisinin (SE_a) Çıktıları

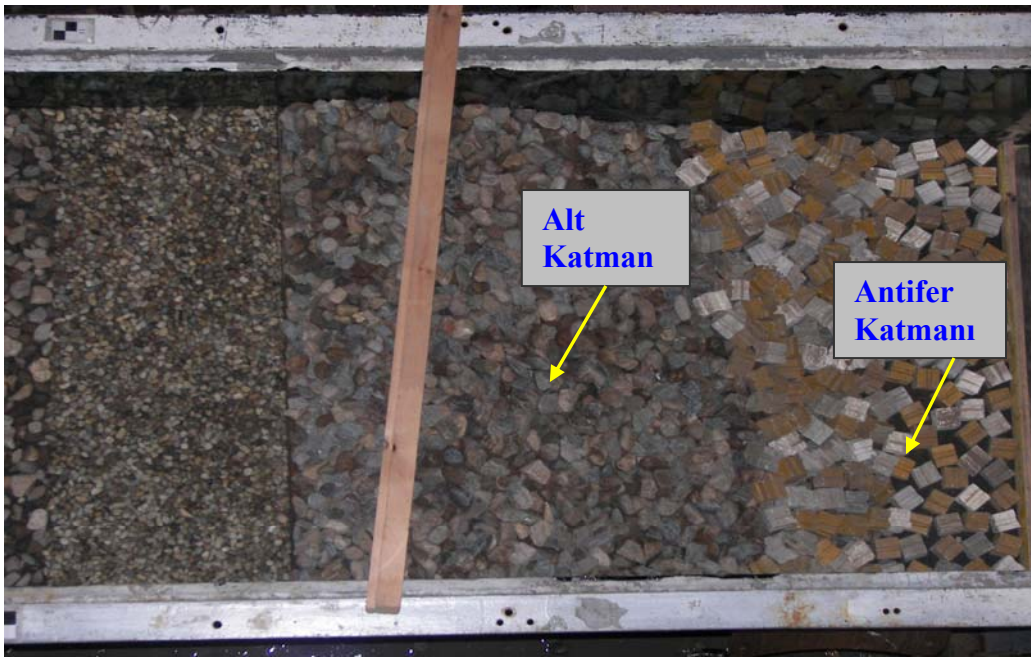
3.3 Düzensiz Dalga Kanalı Deneyleri 2

Bu deney çalışmaları İstanbul Teknik Üniversitesi Hidrolik ve Su Kaynakları Laboratuvarı'nda 24 m x 1m x 1m'lik düzensiz dalga kanalında gerçekleştirilmiştir. Havuzun bir ucunda dalga üretmekte kullanılan düzensiz dalga jeneratörü bulunmaktadır (Şekil 3.17). Antiferlerden oluşan bir dalgakıran hattı, kanalın diğer ucuna dalgaların yansımasını ve solmasını engellemek ve tamamen kırılmaları için konulmuşur.



Şekil 3.17: Dalga Kanalının Planı ve Yandan Görünümü

Ses ölçümleri havuz içerisine yerleştirilen hidrofon ile yapılmıştır. Dalga kırılmasından dolayı oluşan sesleri ve yine dalga kırılması esnasında oluşan hava kabarcıkları nedeni ile açığa çıkan sesleri incelemek için hidrofon, dalga kanalına hidrolik olayları etkilemeyecek bir mesafede yerleştirilmiştir. Deneyler 7 farklı dalga ikliminde gerçekleştirilmiştir. Dalgakırandaki antifer katman yerleşimininin yukarıdan görünümü (Şekil 3.18)'de verilmiştir.



Şekil 3.18: Düzensiz Dalga Deneyleri 2'deki Antiferler ile Hazırlanmış Dalgakıranın Yukarıdan Görünümü

3.3.1 Sonuçlar

Dalga profilleri kırılma öncesinde kaydedilmiştir. Her dalganın yükseklik ve periyotları, sisteme adapte edilen dalga propları ve dalga monitörü ile alınmış ve Tablo 3.6'da verilmiştir.

Tablo 3.6: Bütün Deneylerde Alınan Dalga Yükseklikleri ve Periyotları

Deney No.	Dalga Periyodu, T(s)	Dalga Yüksekliği, H (cm)
1	0,856	5,0
2	1,024	6,3
3	0,995	8,4
4	1,267	6,2
5	1,123	7,2
6	1,476	7,5
7	1,495	7,3

Yukarıda belirtildiği üzere, dalga kanalı bütün dalgaların kırılacağı ve yansıma yapmadan sönümleneceği şekilde hazırlanmıştır.

Aynı zamanda dalga kıran üzerindeki antiferler de yer değiştirmemiştir. Başka bir deyiş ile her dalganın enerjisi tamamı ile başka bir iş yapmadan harcanmıştır.

Bir başka deyişle daha önceki deneylerde de belirttiğimiz gibi, dalga enerjisi fazını kinetik/potansiyel enerjiden ses enerjisine değiştirmiştir.

Küçük genlikli dalga teorisinde (CERC, 1973), sinüsodial tekil dalga enerjisi her alan için aşağıdaki şekilde verilmiştir:

$$E_a = \frac{\rho g H^2}{8} \tag{3.6}$$

E_a Birim alandaki toplam dalga enerjisi,

g Yerçekimi ivmesi

H Dalga yüksekliği

ρ Sesin ilerlediği ortamın özgül kütlesi

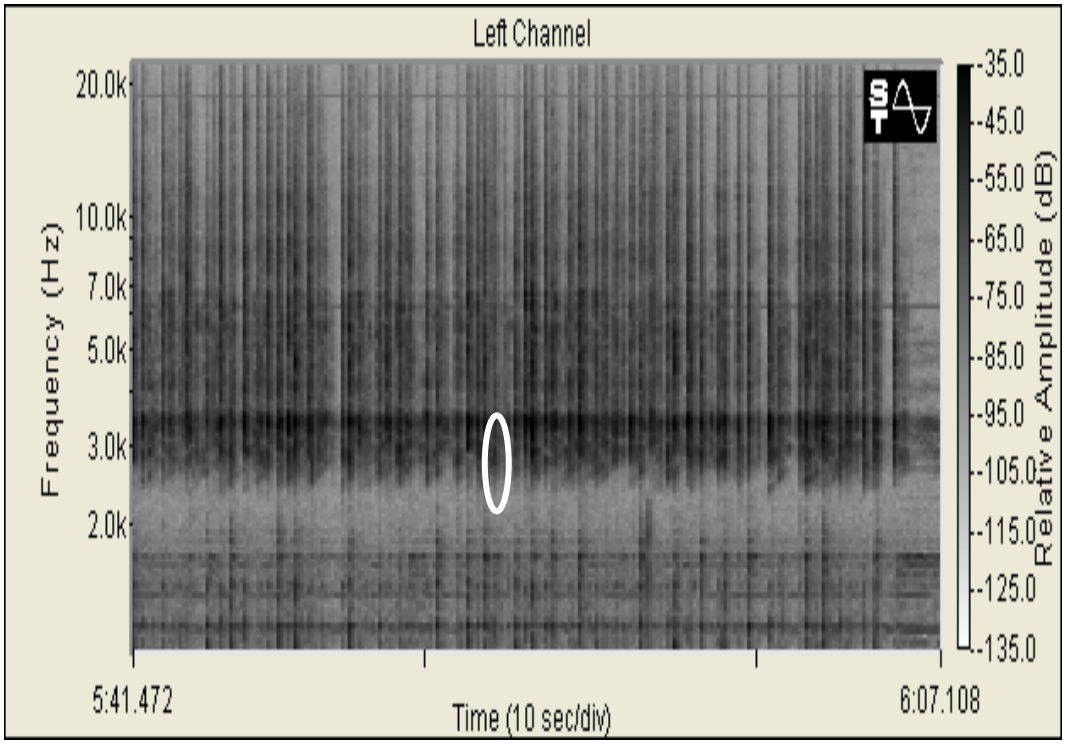
(3.6) denklemi kullanılarak, her deneyi yapılmış dalga için dalga enerjisi ve dalga yükseklikleri hesaplanmış ve Tablo 3.7'de gösterilmiştir.

Tablo 3.7: Her Deney için Hesaplanmış Dalga Yükseklik ve Dalga Enerjileri

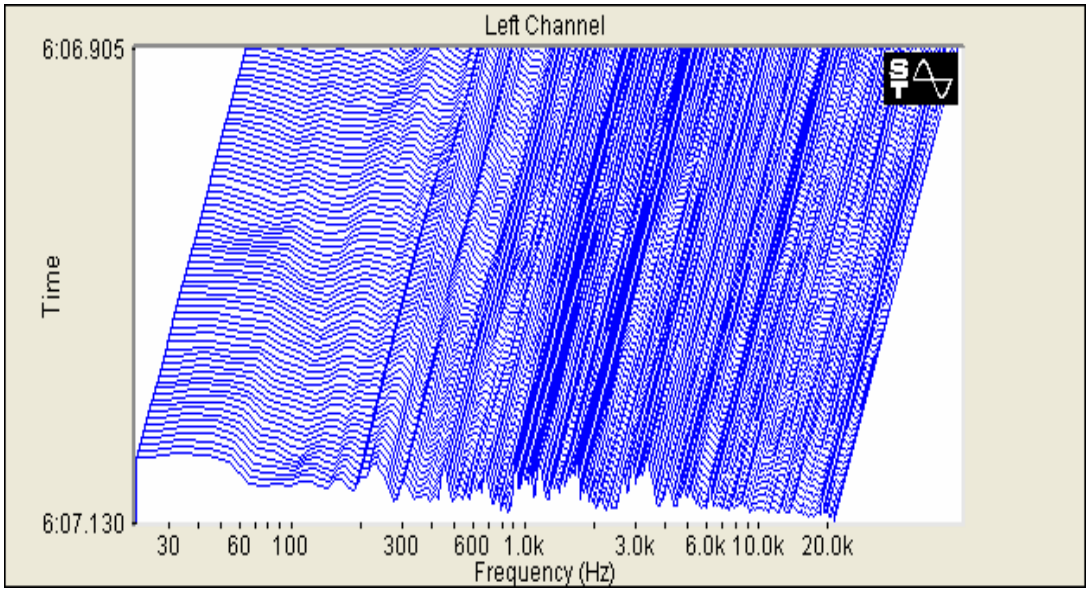
Deney No.	Dalga Periyodu, T (s)	Dalga Boyu L (m)	Dalga Yüksekliği, H (cm)	Dalga Enerjisi, E_a (joule/m^2)
1	0,856	1,143	5,0	3,113
2	1,024	1,591	6,3	4,818
3	0,995	1,522	8,4	8,625
4	1,267	2,351	6,2	4,714
5	1,123	1,909	7,2	6,312
6	1,476	2,903	7,5	6,983
7	1,495	3,029	7,3	6,484

Daha önceki kısımlarda belirtildiği üzere, sesin yoğunluğu birim zamanda birim alandan geçen sesin enerjisini tanımlar. Ses kayıtları analiz edildiğinde, dalga enerjisi ve ses enerjisi arasında düşürücü faktörü ile birlikte bir bağ olduğu beklenir. Buna rağmen bu iki enerji fazı arasında herhangi bir bağ olmayabilir. Daha önceki düzenli dalga havuzu deneyinde belirtildiği üzere bütün deneylerdeki her dalga serisi için ses enerjilerini tanımlamak için, her kayıdın SPL ses yelpazesi analiz edilmiştir.

Üç boyutlu, gölgeli taranmış (frekans-seviye-zaman) spektogram olarak adlandırılan bu grafiksel metot, dalga ses yelpazesinin karekteristiğini belirlemede kullanılır (Şekil 3.19).



Şekil 3.19: Deneyin Spektogramı. Sıçrama görüntülerinden biri beyaz elips içinde gösterilmiştir.



Şekil 3.20: 1 numaralı deneyin zaman serisi yukarıdaki şekilde gösterilmiştir.

Görüldüğü üzere büyük çoğunluktaki ses enerjisi frekansları 2.8 kHz ile 3.6 kHz frekans aralığındadır, fakat bu sesin tamamı ile yayılması 2.5 kHz ile 7 kHz arasındadır. 1. deneyin spektogramı olan Şekil 3.19'da, ardışık olarak ilerleyen kara lekeler piston sesi ve dalganın sıçrama sesidir. Dalga sıçrama lekesi beyaz elips ile işaretlenmiştir.

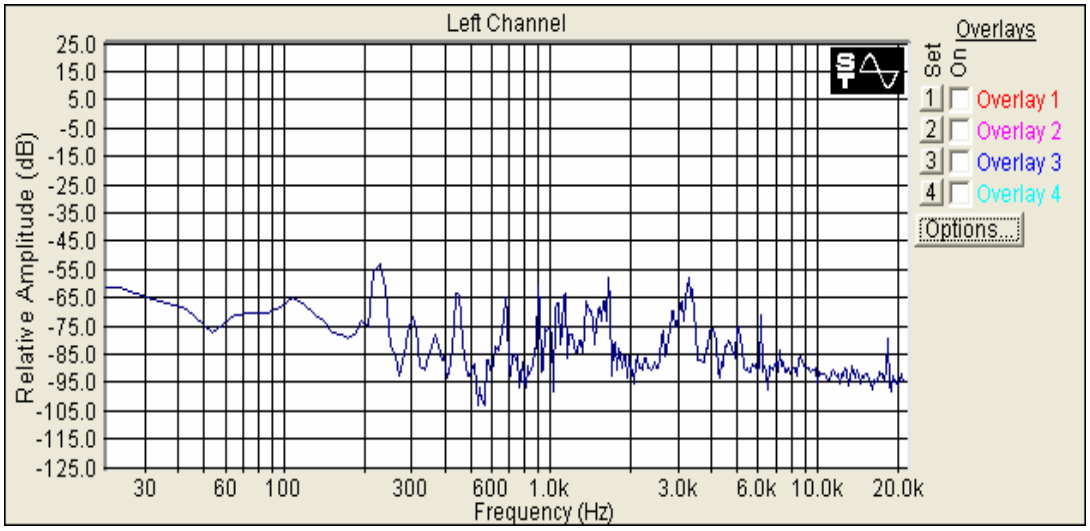
Bu kısa sıçrama zamanına tekabül eden güç yelpazesi, Şekil 3.21'de verilen Hanning metodu ile 4096 frekans aralığında gösterilmiştir. Bu çevresel gürültünün düz basınç yelpazesi bu sıçrama basınç yelpazesinden çıkartılmıştır. Daha sonra her bulunan frekans için sesin yoğunluğu dar bant frekansı ile çarpılmak kaidesi ile bulunmuştur. Bu değerlerin 2.5 kHz ile 7 kHz arasında ortalamalarının alınması ile esas ses enerjisi bulunmuştur.

I ses yoğunluğunun yoğunluk seviyesi *IL*:

$$IL = 10\log\frac{I_1}{I_0} \tag{3.7}$$

Ses basıncı seviyesinin desibel gösterimi (*SPL*):

$$SPL = 10\log\frac{P_1^{\,2}}{P_0^{\,2}} = 20\log\frac{P_1}{P_0} \tag{3.8}$$



Şekil 3.21: 1. Deneydeki Sıçramalardan Bir Tanesinin Ses Seviye Yelpazesi

(3.7) ve (3.8) formülleri kullanılarak hesaplanan ses basıncı ve ses yoğunluğu değerleri ile bu değerlerin 2.5 kHz ile 7 kHz arasında ortalamalarının alınması ile hesaplanan esas ses enerjisi Tablo (3.8)'de gösterilmiştir.

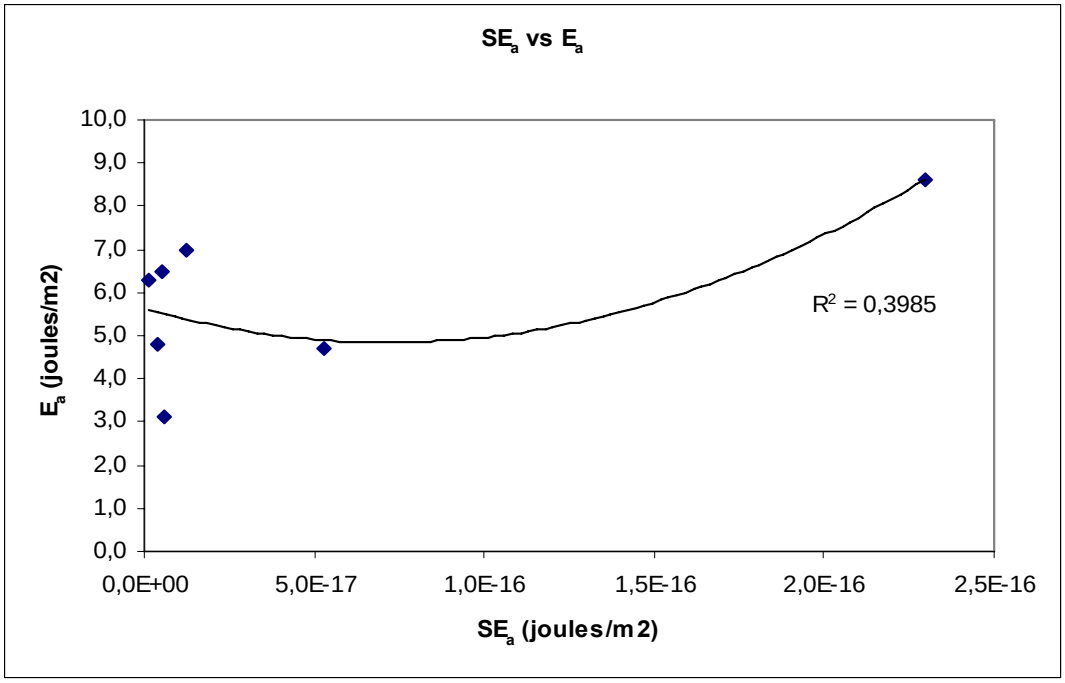
Tablo 3.8: Her Deney için Hesaplanmış Ses ve Dalga Enerjilerinin Mukayesesi

Deney No	Ses Basınç Seviyesi, P (Pa)	Ölçülen Ses Yoğunluk Seviyesi, I (joules/s/m²)	Sıçramadan dolayı oluşan ses enerjisi, SE_a (joules/m^2)	Dalga Enerjisi, E_a (joules/m^2)
1	8,700E-05	1,951E-14	6,128E-18	3,113
2	8,074E-05	1,272E-14	3,972E-18	4,818
3	8,583E-04	8,417E-13	2,295E-16	8,625
4	3,268E-04	1,683E-13	5,285E-17	4,714
5	5,747E-05	5,470E-15	1,563E-18	6,312
6	1,141E-04	4,037E-14	1,231E-17	6,983
7	9,095E-05	1,598E-14	5,059E-18	6,484

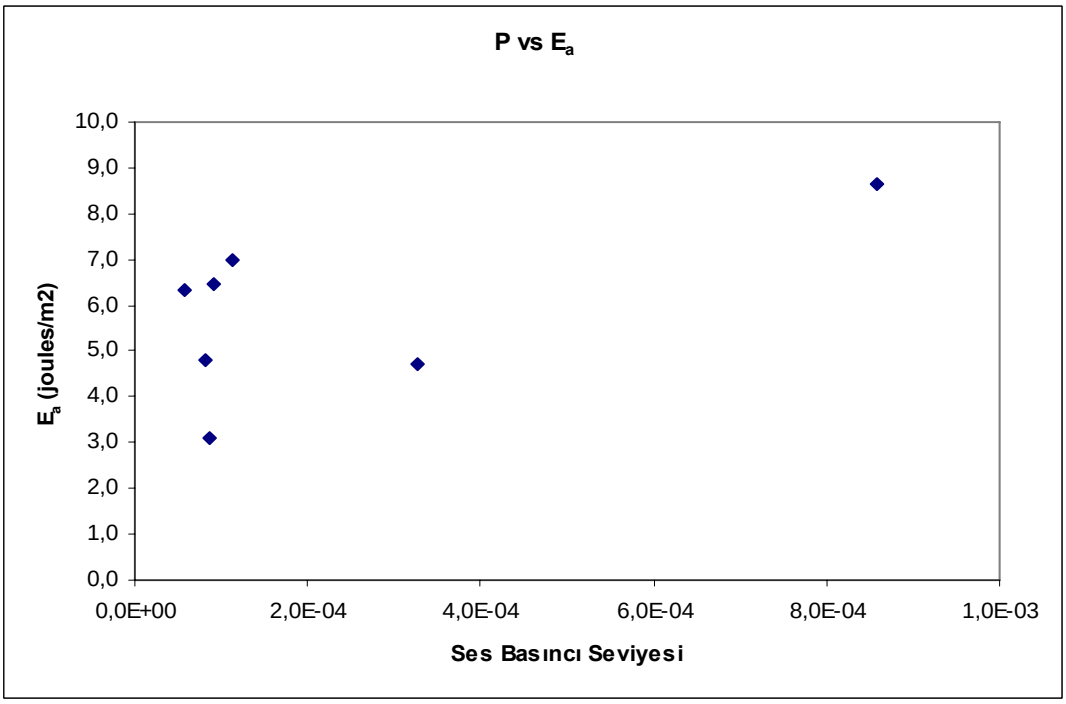
Yapılan her deney için, hesaplanan sıçrama sesleri ve dalga enerjileri Şekil 3.22'de verilmiştir ve bu iki parametre karşılıklı olarak gösterilmiştir.

Deneylerde hesaplanan ses basınç seviyesi (P) ve ölçülen yoğunluk seviyesi (I) ile dalga enerjisi arasındaki ilişki de sorgulanmış ve Şekil 3.23 ve Şekil 3.24'te gösterilmiştir.

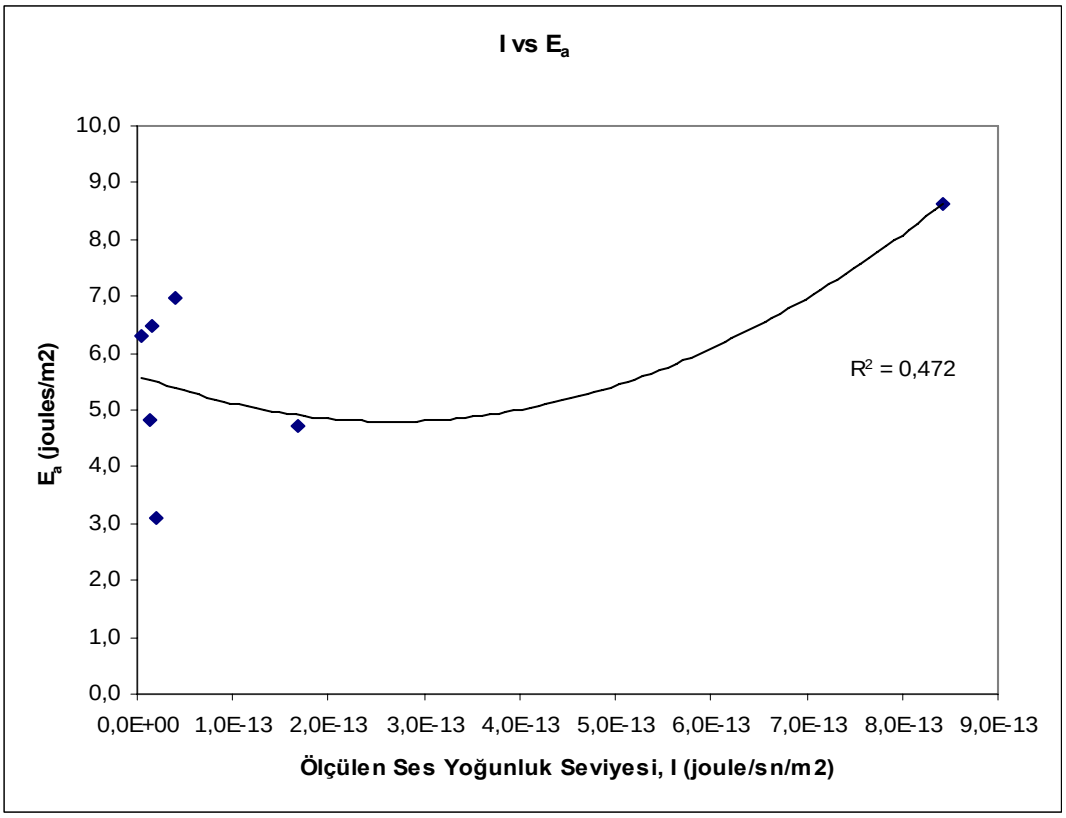
Tabi ki bu hesaplamalara dahil olmayan, düşürücü faktör, sesin cam kanalda yansıması ve temizlenemeyen gürültüler gibi oldukça faktör vardır. Fakat ses enerjisi ve dalga enerjisi arasında önemli bir bağ vardır (Şekil 3.22).



Şekil 3.22: Sıçramadan Kaynaklanan Ses Enerjisi (SE_a) ve Dalga Enerjisinin (E_a) Çıktıları



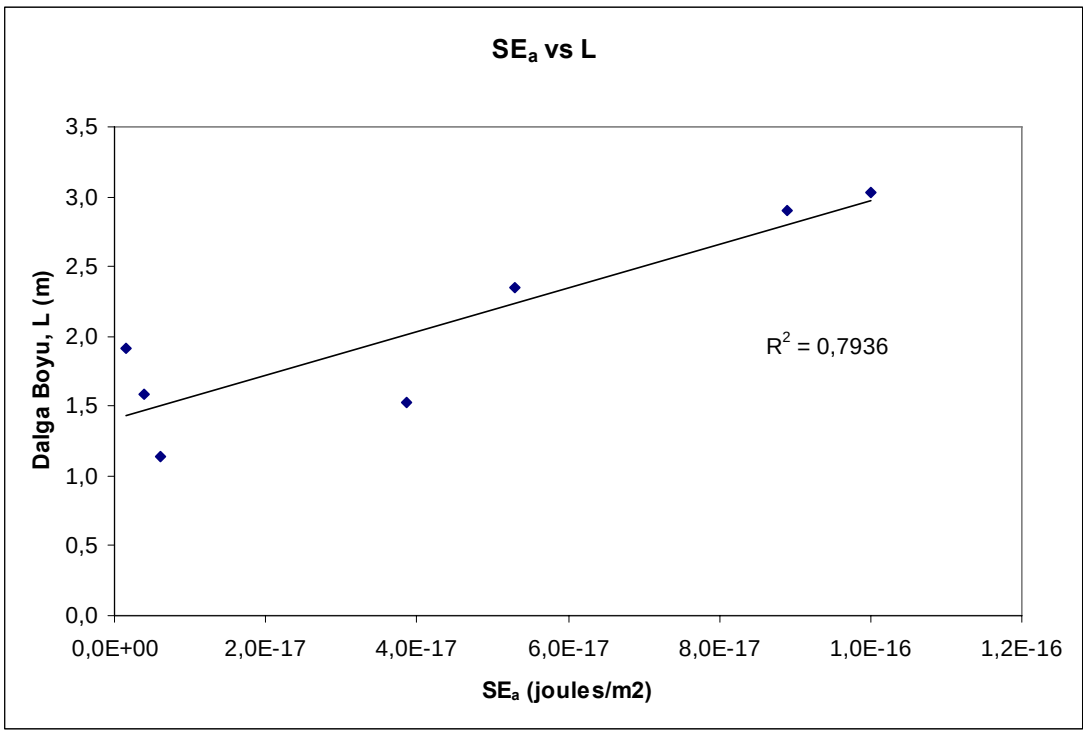
Şekil 3.23: Ses Basıncı seviyesi (P) ve Dalga Enerjisinin (E_a) Çıktıları



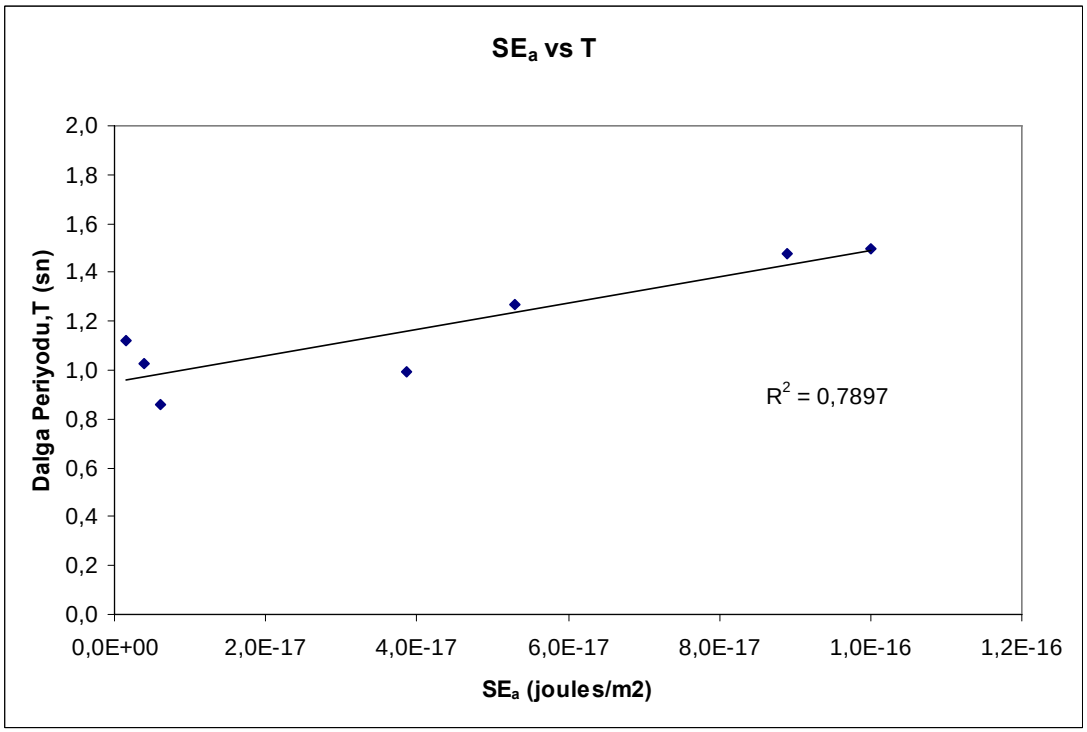
Şekil 3.24: Ölçülen Ses Yoğunluk Seviyesi (I) ve Dalga Enerjisinin (E_a) Çıktıları

Şekil 3.22, Şekil 3.23 ve Şekil 3.24'te düzensiz dalga kanalı deneyleri 2'de elde edilen frekans değerlerinden hesaplanan ses basınç seviyesi, ölçülen ses yoğunluk seviyesi ve gerçekleşen hidrolik olaylarda açığa çıkan ses enerjisi ile dalga enerjisinin ilişkileri gösterilmiştir. Tabi ki bu hesaplamalara dahil olmayan, düşürücü faktör, sesin cam kanalda yansıması ve temizlenemeyen gürültüler gibi oldukça faktör vardır. Fakat ses enerjisi ile dalga enerjisi arasında ve ölçülen ses yoğunluğu ile dalga enerjisi arasında önemli bir bağ vardır (Şekil 3.22, Şekil 3.24). Fakat ses basıncı ile dalga enerjisi arasındaki bağ ihmal edilebilecek derecede azdır (Şekil 3.23).

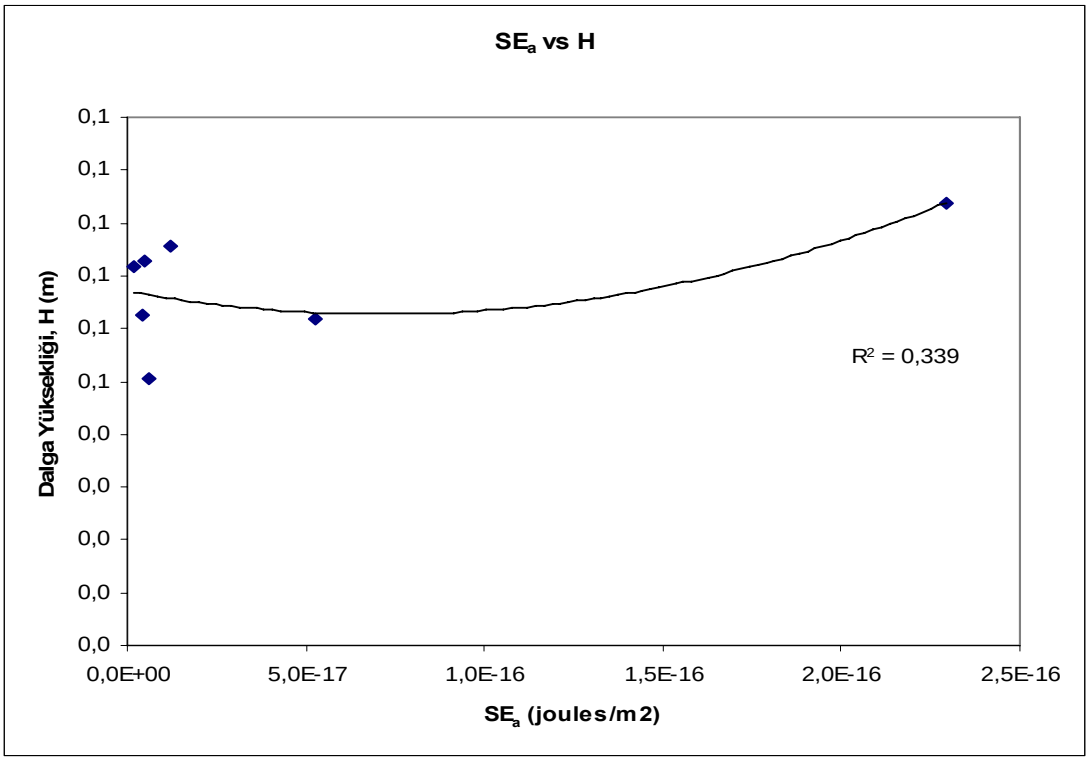
Aynı şekilde düzensiz dalga kanalı deneyleri 2'de hesaplanan dalga yüksekliği, dalga boyu ve dalga periyodu ile ses enerjisi arasındaki ilişkiler incelenmiş ve Şekil 3.25, Şekil 3.26 ve Şekil 3.27'de gösterilmiştir.



Şekil 3.25: Dalga Boyu (L) ve Ses Dalga Enerjisi (SE_a) Çıktıları



Şekil 3.26: Dalga Periyodu (T) ve Ses Dalga Enerjisi (SE_a) Çıktıları



Şekil 3.27: Dalga Yüksekliği (H) ve Ses Dalga Enerjisi (SE_a) Çıktıları

Düzensiz dalga kanalı deneyleri 2'de dalga propları ve dalga monitörü kullanılarak, ses enerjisinin hesaplandığı aralıkta elde edilen dalga boyu, dalga yüksekliği ve dalga periyodu ile gerçekleşen hidrolik olaylarda açığa çıkan ses enerjisinin ilişkileri gösterilmiştir. Tabi ki bu hesaplamalara dahil olmayan, düşürücü faktör, sesin cam kanalda yansıması ve temizlenemeyen gürültüler gibi oldukça faktör vardır. Fakat ses enerjisi ile dalga boyu, dalga yüksekliği ve dalga periyodu arasında önemli bir bağ vardır (Şekil 3.25, Şekil 3.26, Şekil 3.27).

4 SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bu çalışmada hidrolik olaylarda açığa çıkan ses bileşenin saptanması, hidrolik olaylarda açığa çıkan enerjinin bir kısmının faz değiştirerek ses enerjisi olarak açığa çıktığı İstanbul Teknik Üniversitesi Hidrolik ve Su Kaynakları Laboratuvarı'nda düzenli dalga havuzu ve düzensiz dalga kanalında değişik dalga iklimlerinde, bir takım laboratuvar deneyleri ile sorgulandı.

Yukarıdaki literatürde de belirtildiği üzere, su altı akustiği ve sudaki sesler ile ilgili bir çok çalışma olmasına rağmen, halihazırda dalga, türbülans gibi hidrolik olaylar ile ses arasındaki enerji ilişkisi ile ilgili kaynak bulunmamaktadır.

Sonuçlar, dalga ve ses karekteristiğine bir çok faktörün etki ettiğini gösterse de, oluşturulmuş dalga enerjisi ile ses enerjisi ve ölçülen ses yoğunluğu arasında önemli bir doğrusal bağ vardır. Aynı zamanda dalga periyodu, dalga yüksekliği ve dalga boyu ile ses enerjisi arasında da yine önemli bir doğrusal bağ vardır. Başka bir açıdan da gürültüler tamamı ile kayıtlardan temizlenememektedir ve düzenli dalga havuzu ile düzensiz dalga kanalı içindeki yansımalar ihmal edilmektedir. Bu konu üzerinde ayrıntılı olarak çalışmaya değerdir ve sonuçlar bize dalga ses enerjisinin ve ölçülen ses yoğunluğunun, dalga enerjisinden bağımsız olmadığını; dalga yüksekliği, dalga boyu ve dalga periyodunun da dalga ses enerjisinden bağımsız olmadığını göstermektedir.

KAYNAKLAR

A) Kitap ve Kitap Bölümleri için gösterim

Creasey, D. J., 1981. "Underwater Acoustics", Phys Educ , Vol. 16, UK.

Hill, M. N., 1962. "*The Sea*", John Wiley and Sons, USA.

Nystuen J. A., 1988. "*The Sound Generated by Precipitation Striking the Ocean Surface*", Sea Surface Sound, 485-499, Kluwer.

Prosperetti, A., 1988. "*Bubble Dynamics in Oceanic Ambient Noise*", Sea Surface Sound, 151-171, Kluwer.

Pumphrey, H.C., Crum, L.A., 1988. "*Acoustic Emissions Associated with Drop Impact*", Sea Surface Sound, 463-483, Kluwer.

Tucker, D. G., 1966. "*Applied Underwater Acoustics*", Pergamon, Oxford.

Kinsler, L. E., 1962. "*Fundamentals of Acoustics*", John Wiley, New York.

Lee, D., 1988. "*Ocean acoustic propagation by finite difference methods*", Pergamon, Oxford.

Lurton, X., 2002. "An Introduction to Underwater Acoustics, Principles and Applications", Praxis Publishing, Chichester, UK.

Kabdaşlı, S., 1992. "Kıyı Mühendisliği", İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.

Ilgaz, C., Karahan, M.E., Bulu, A., 2000. "Akışkanlar Mekaniği ve Hidrolik Problemleri", Çağlayan Kitapevi, Beyoğlu, İstanbul.

B) Süreli Dergilerdeki Makaleler için gösterim

Franz, G.J., 1959. "*Splashes as Source of Sounds in Liquids*", Journal of Aqustic Society of America, 79, 972-986.

Johnson, B.D., Crooke, R. C., 1979. "*Bubble Populations and Spectra in Coastal Waters*", Journal of Geophysical Research, 84, 3761-3766.

Nystuen J. A., 1986. "*Rainfall Measurements Using Underwater Ambient Noise*", Journal of Acoustic Society of America, 79, 972-982.

Strasberg, M., 1959. "*The Pulsation Frequency of Non Spherical Gas Bubbles in Liquids*", Journal of Aqustic Society of America, 31 , 1654-1667.

Crighton, D.G., 1975. "*Turbulant Sound*", Prog. Aerospace Sci., 16, 31.

C) Özel Sayılardaki Yayınlar için gösterim

Lighthill, M.J., 1952. "*Turbulent Noise*", Proceedings, Royal Society of London, A211, p. 564, UK.

D) Akademik Konferanslarda Sunulan Bildiriler için gösterim

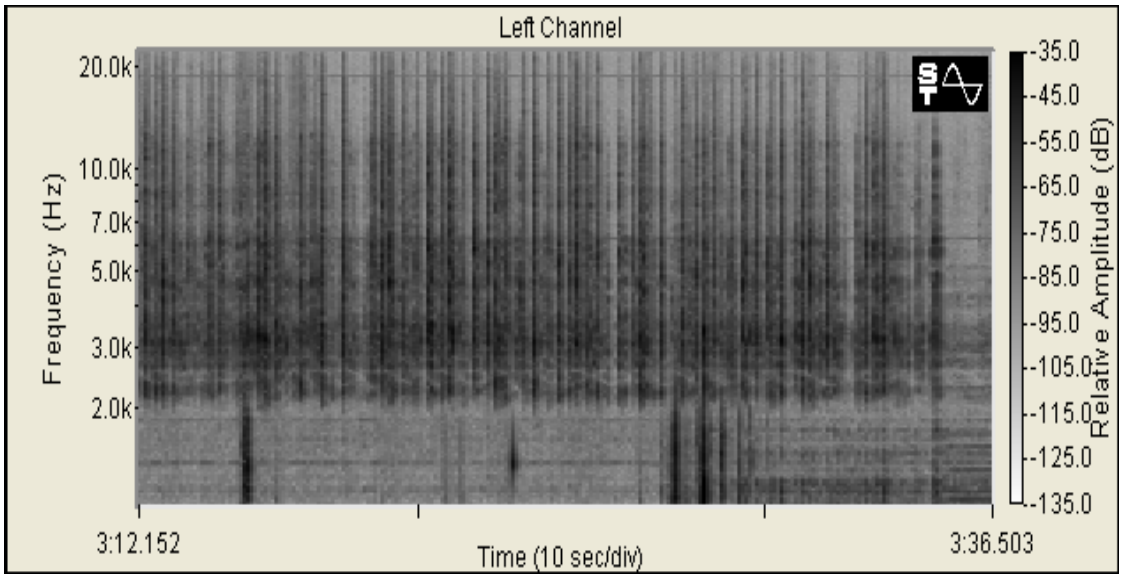
Gausland, I., 1998. "*Physics of Sound in Water*", 3rd Chapter in the Proceedings of "The Seismic and Marine Mammals Workshop", 23-25 June, London, UK.

E) Kişisel Görüşme

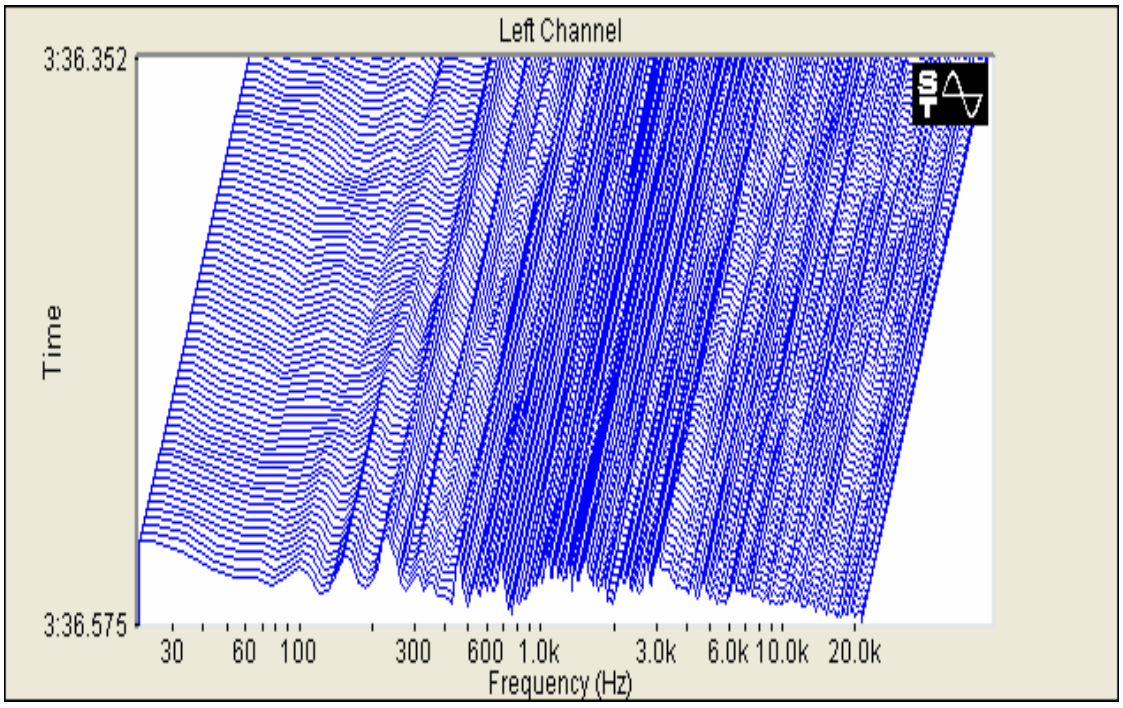
Kırca V. Ş. Ö., 2006. Kişisel görüşme.

Düzensiz Dalga Kanalı Deneyleri 1

Deney No:1

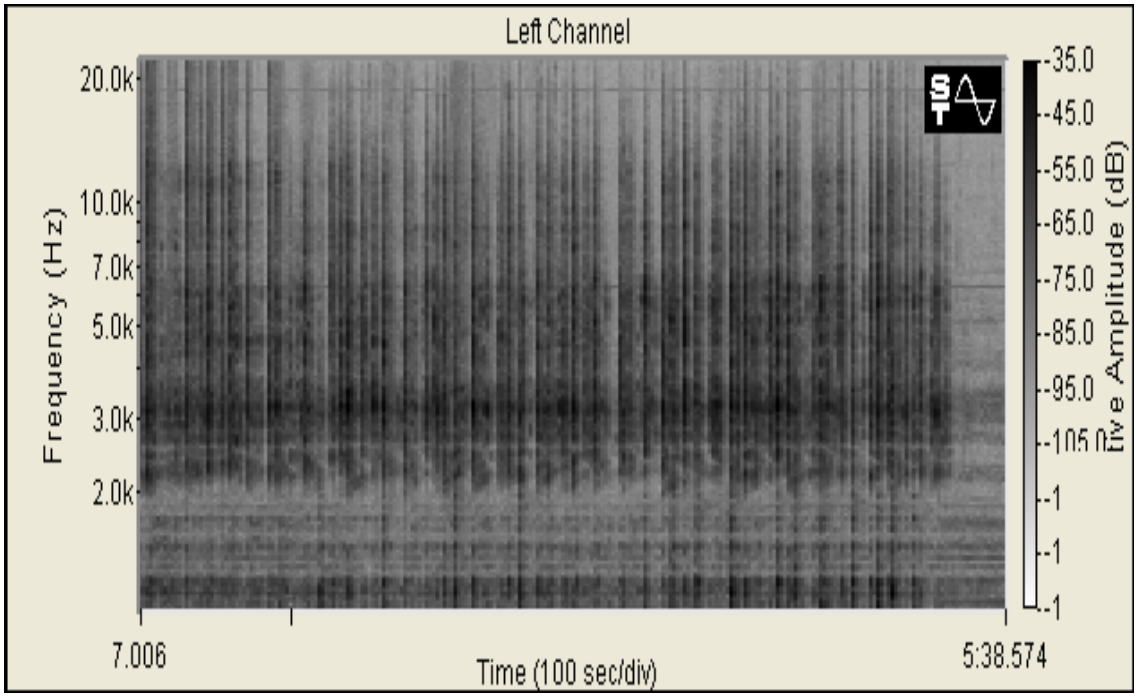


Şekil C.1 Deneyin Spektogramı

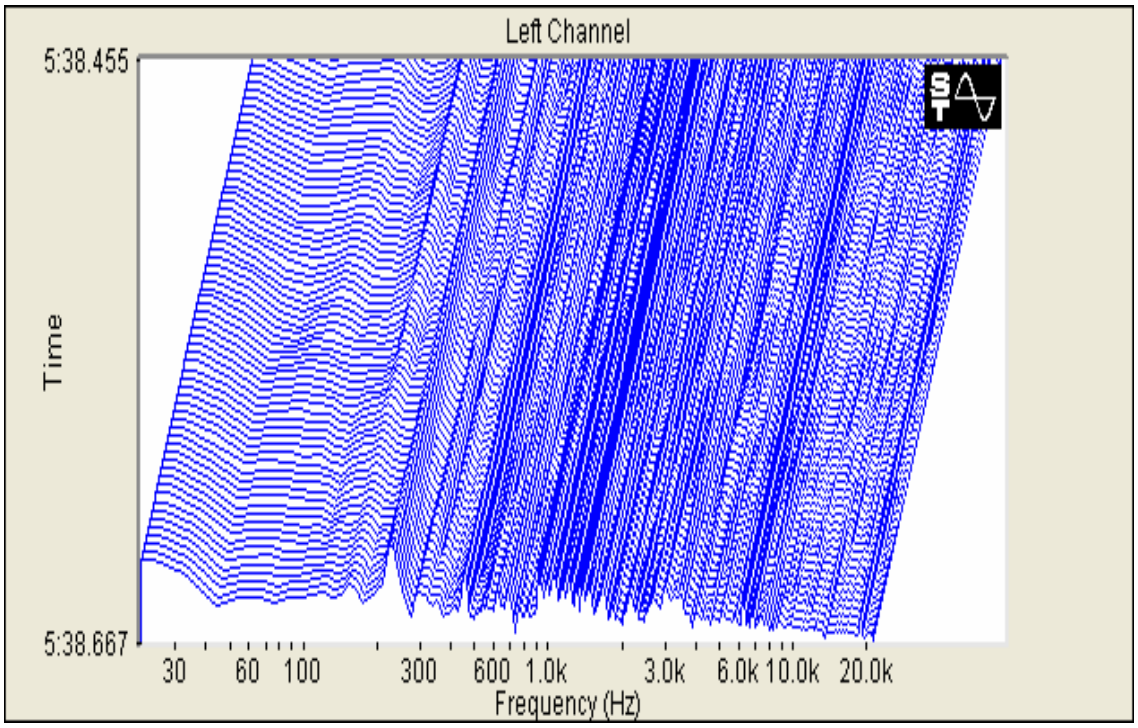


Şekil C.2 Deneyin Zaman Serisi

Deney No:2

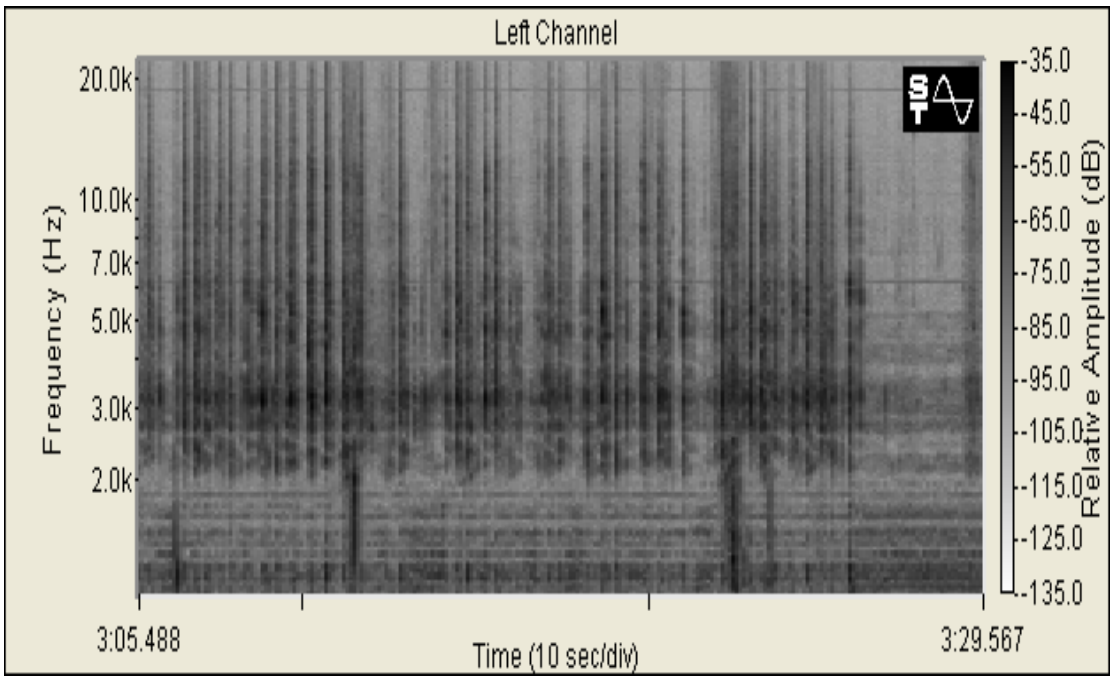


Şekil C.3 Deneyin Spektogramı

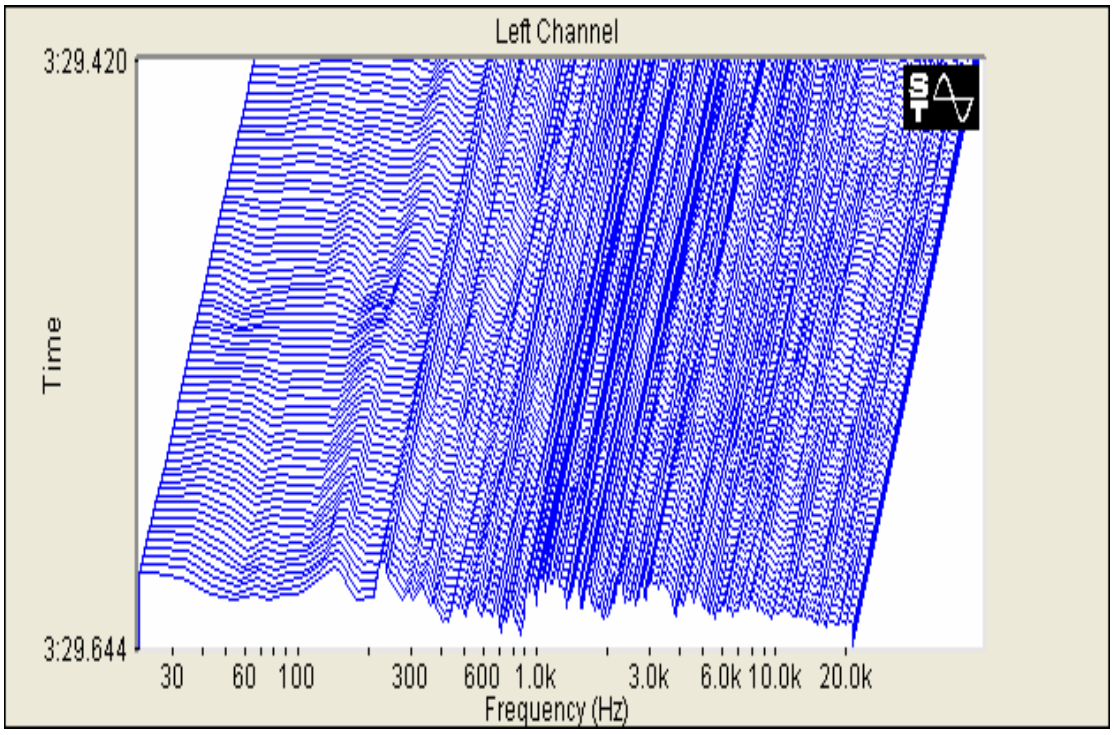


Şekil C.4 Deneyin Zaman Serisi

Deney No:3

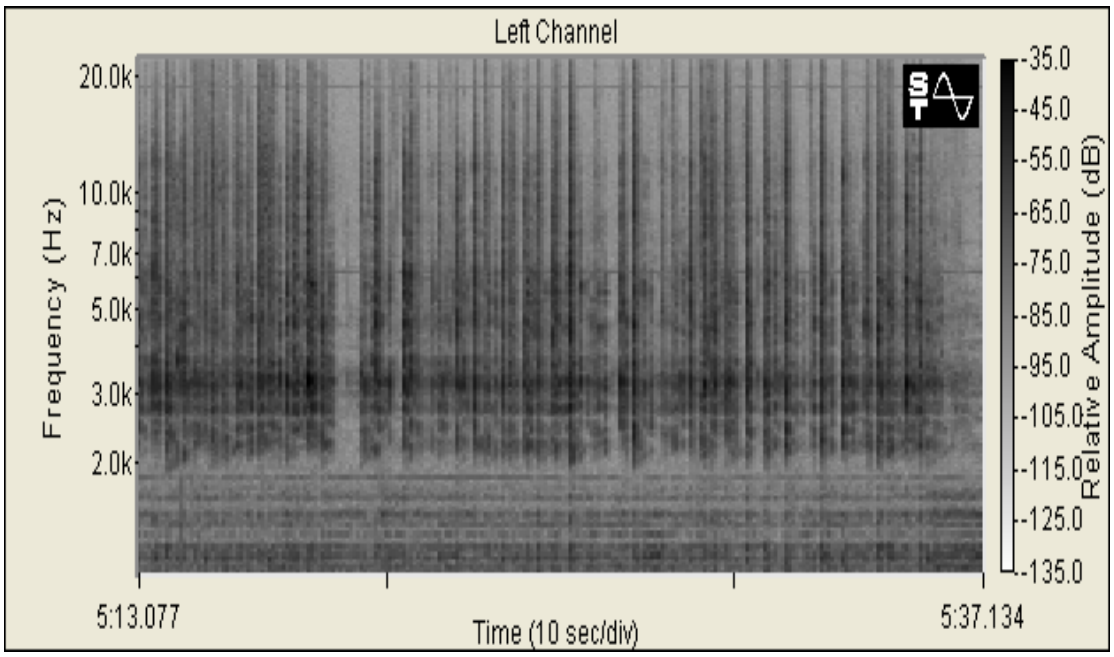


Şekil C.5 Deneyin Spektogramı

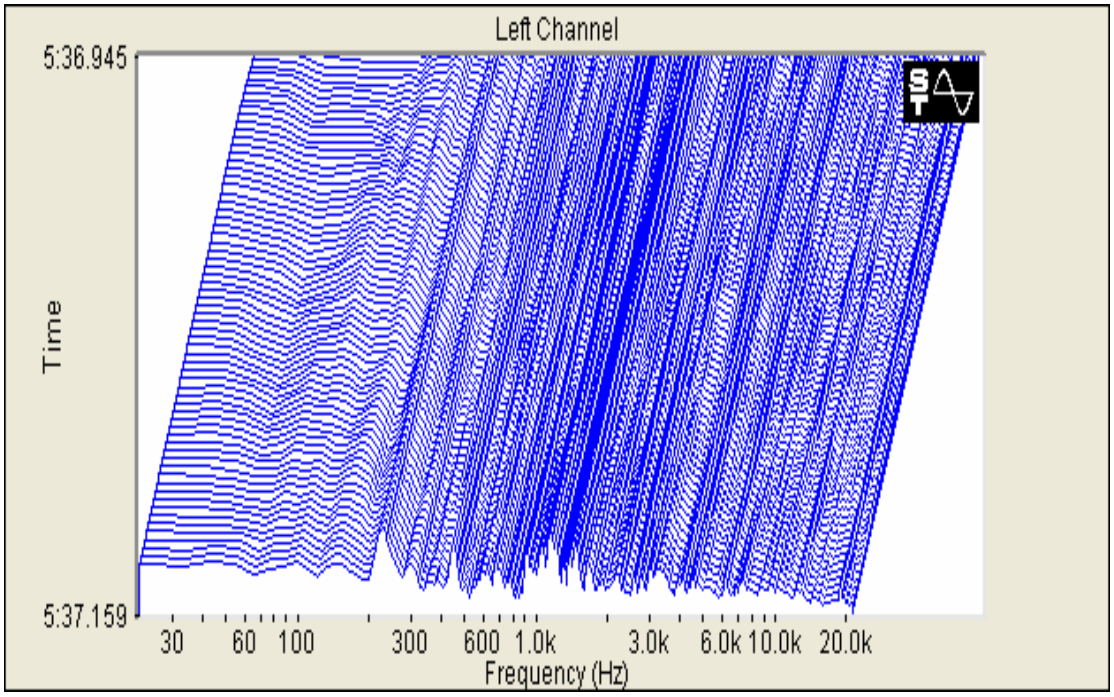


Şekil C.6 Deneyin Zaman Serisi

Deney No:4

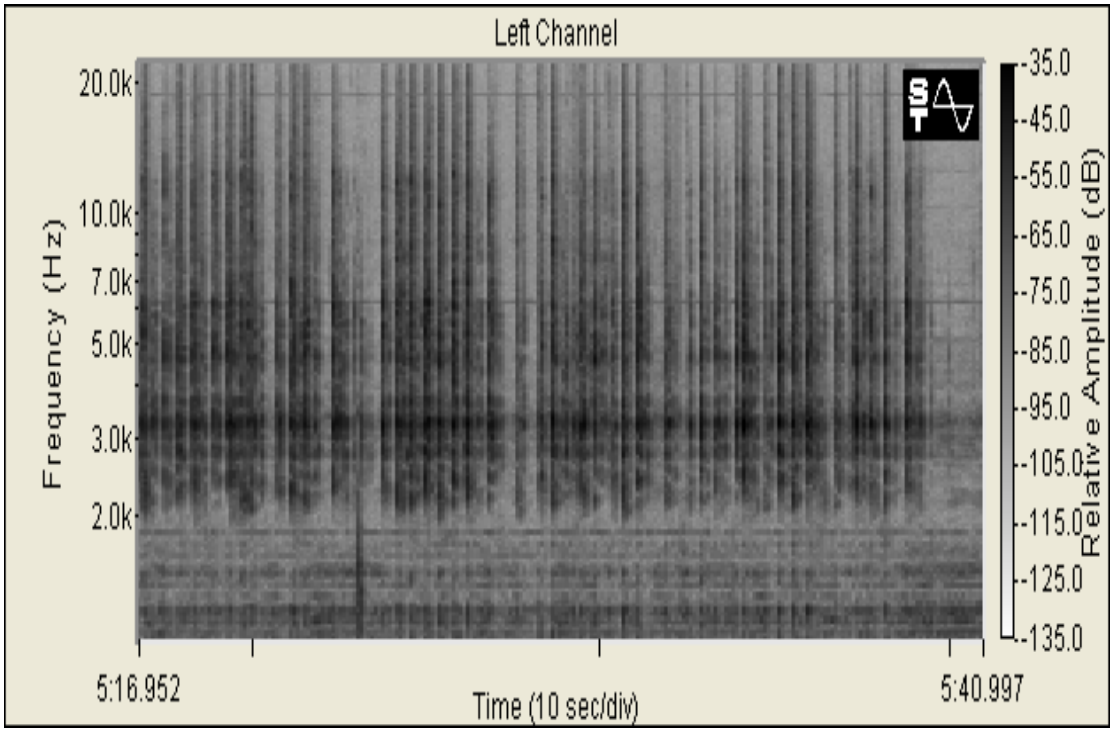


Şekil C.7 Deneyin Spektogramı

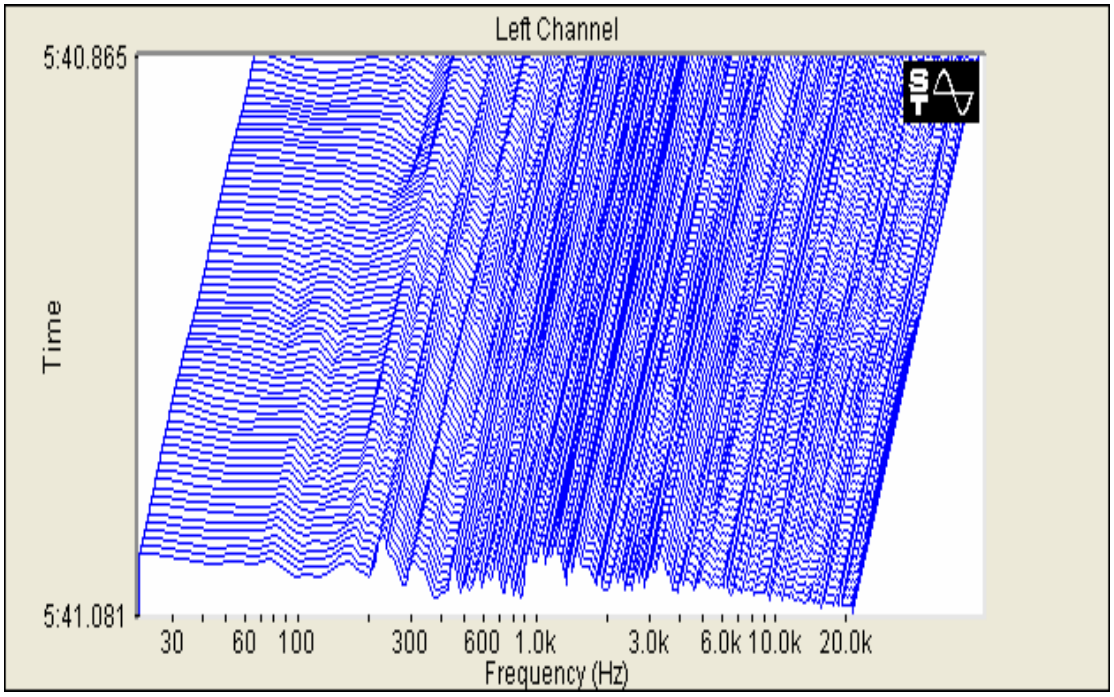


Şekil C.8 Deneyin Zaman Serisi

Deney No:5

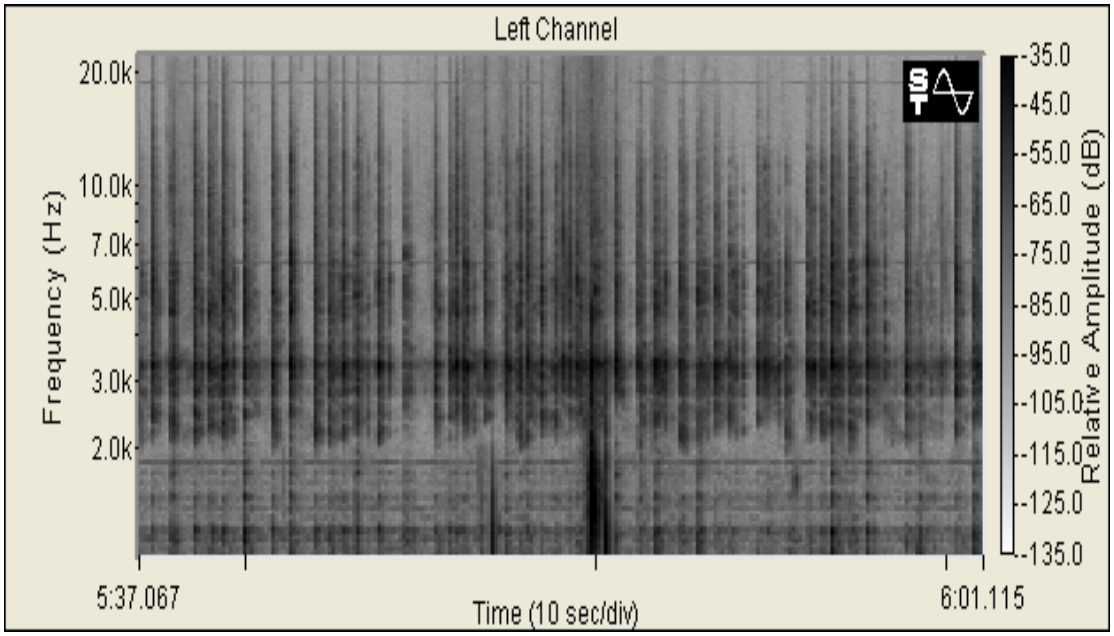


Şekil C.9 Deneyin Spektogramı

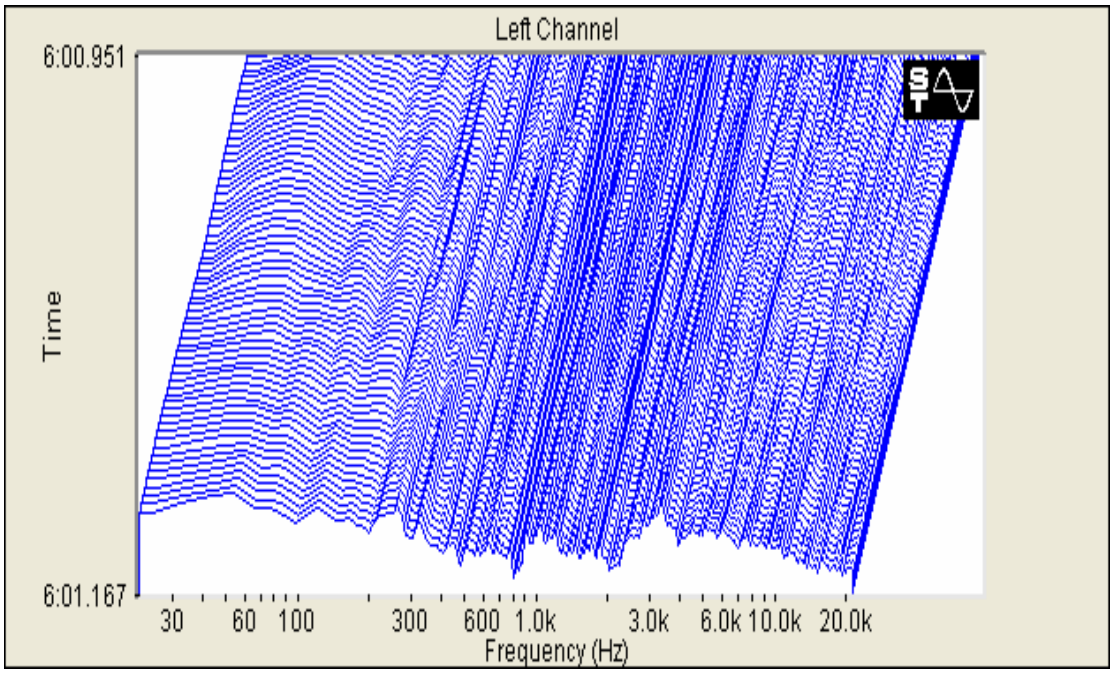


Şekil C.10 Deneyin Zaman Serisi

Şekil No:6

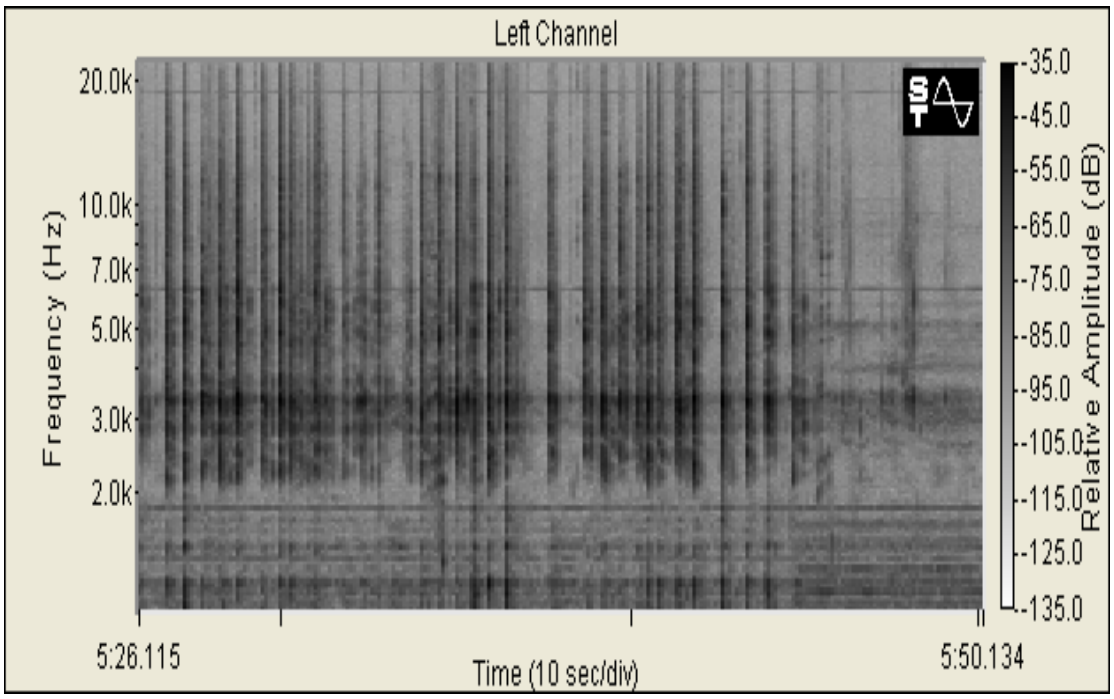


Şekil C.11 Deneyin Spektogramı

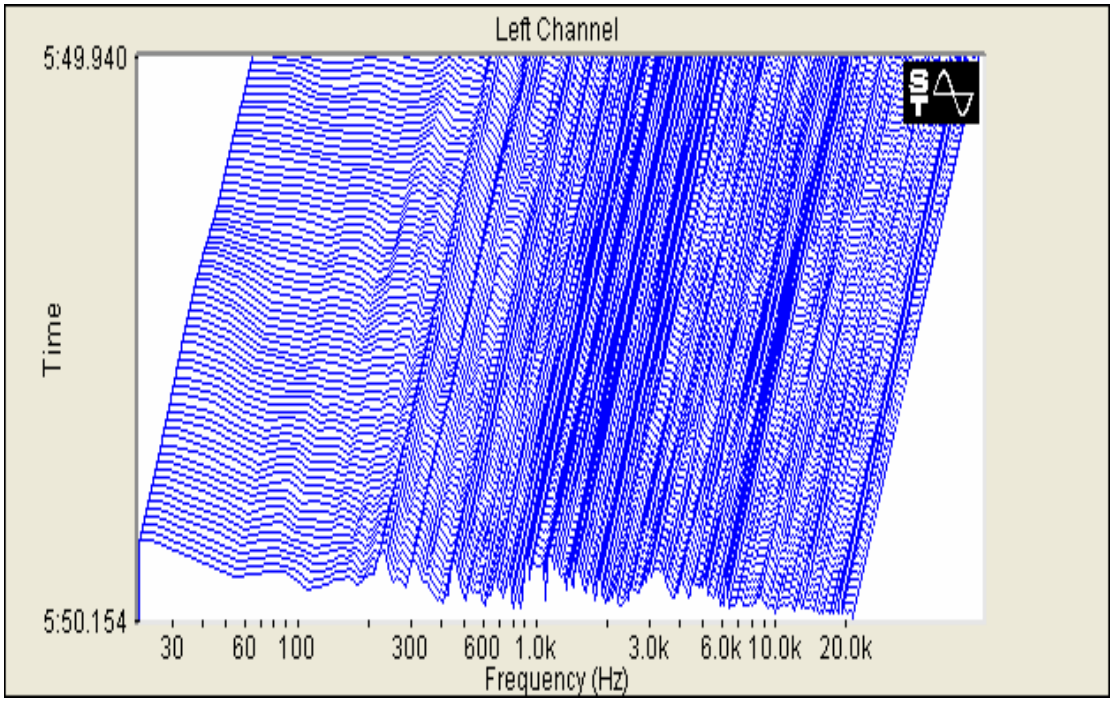


Şekil C.12 Deneyin Zaman Serisi

Deney No:7

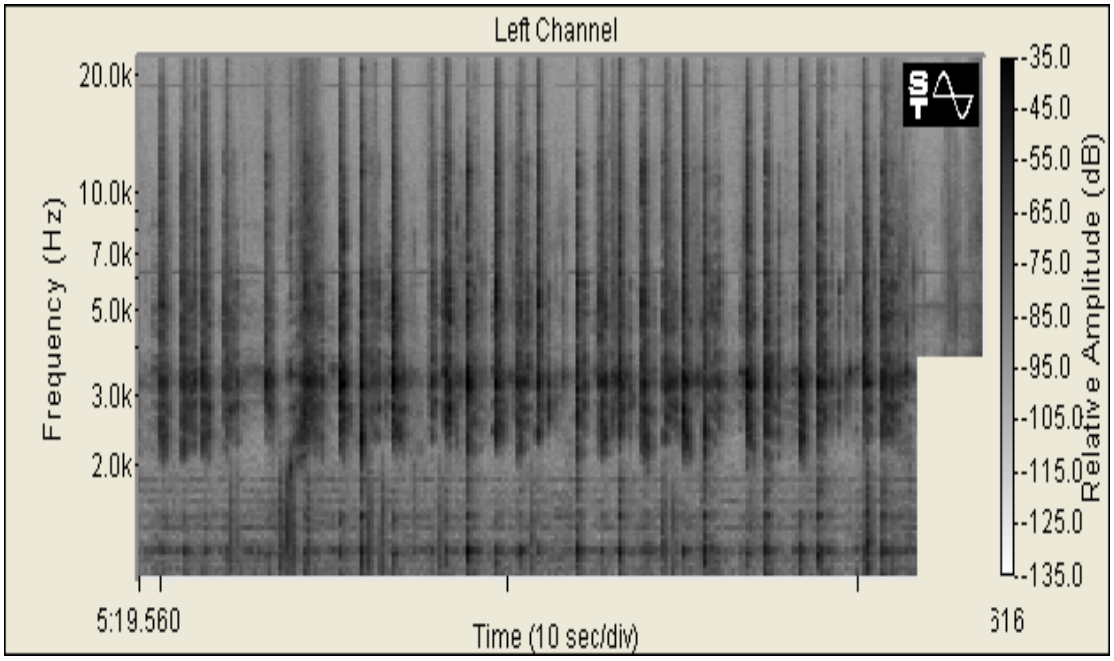


Şekil C.13 Deneyin Spektogramı

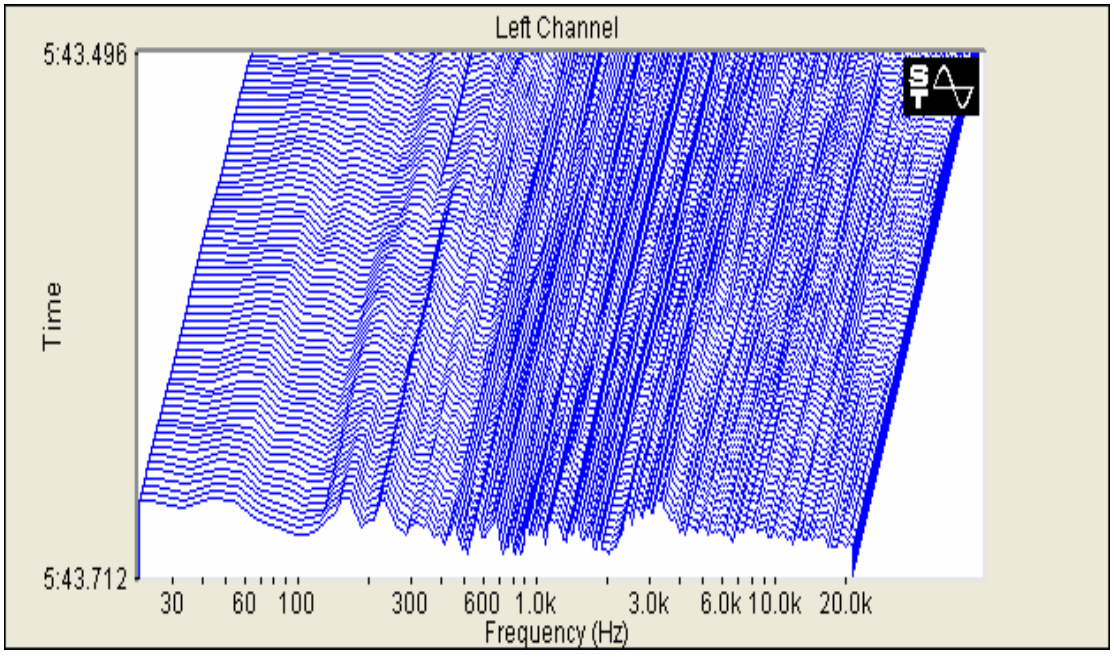


Şekil C.14 Deneyin Zaman Serisi

Deney No:8



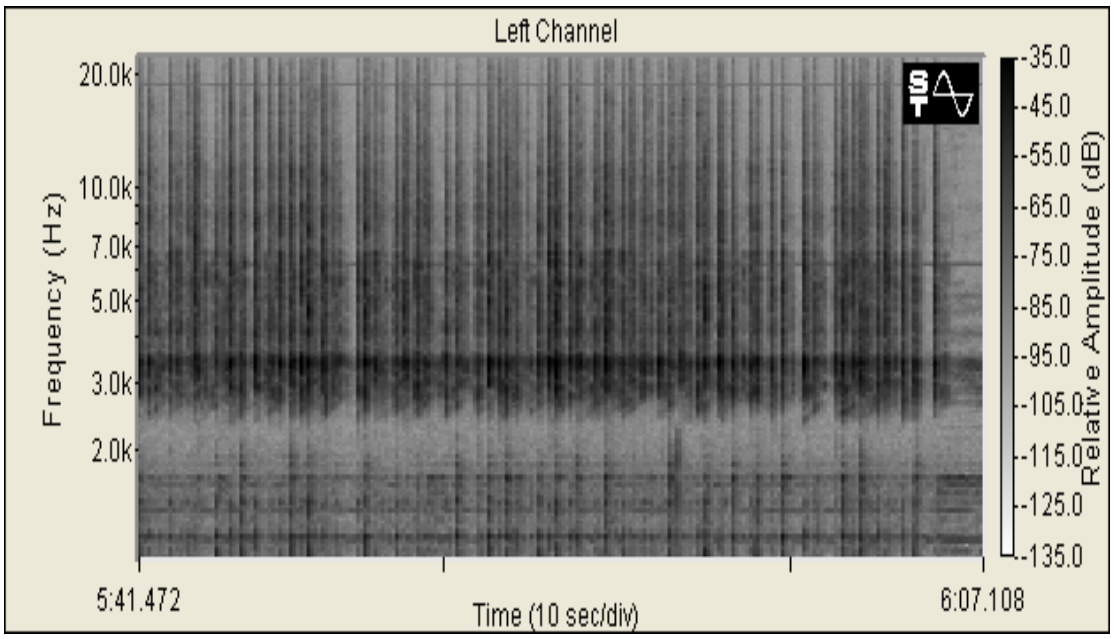
Şekil C.15 Deneyin Spektogramı



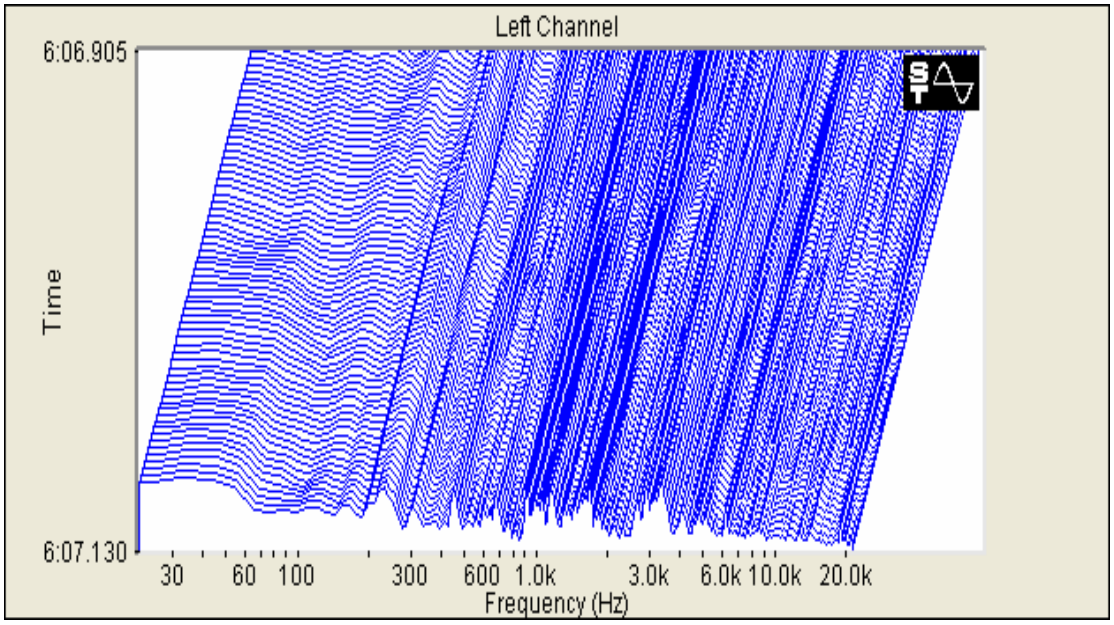
Şekil C.16 Deneyin Zaman Serisi

Düzensiz Dalga Kanalı Deneyleri 2

Deney No:1

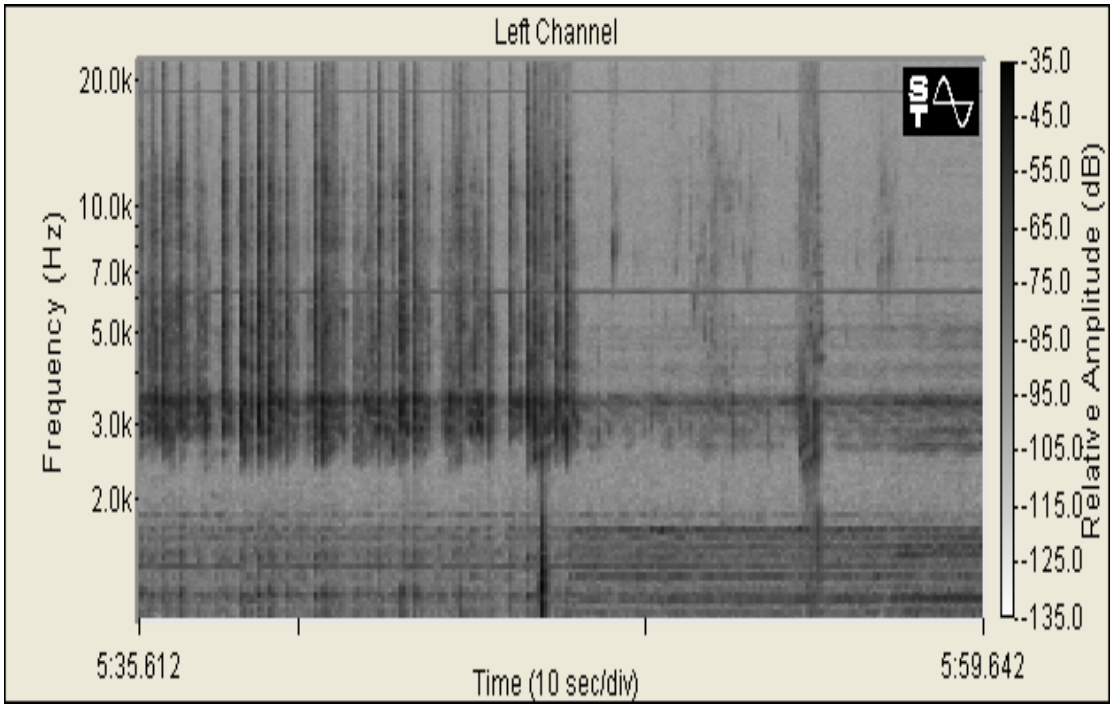


Şekil C.17 Deneyin Spektogramı

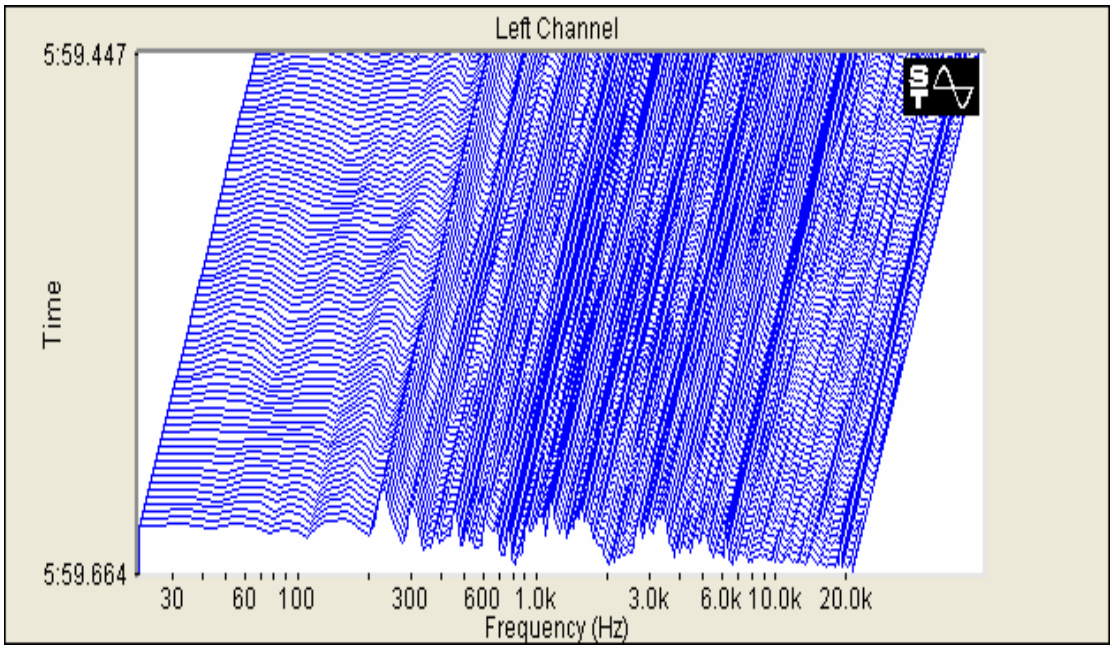


Şekil C.18 Deneyin Zaman Serisi

Deney No:2

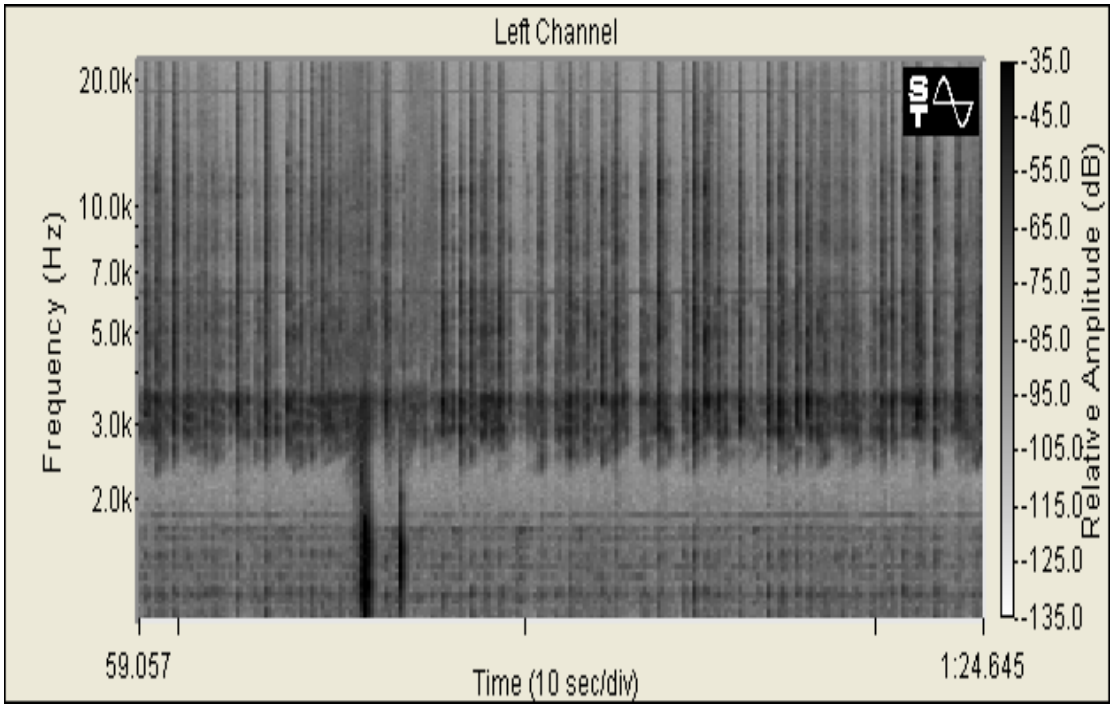


Şekil C.19 Deneyin Spektogramı

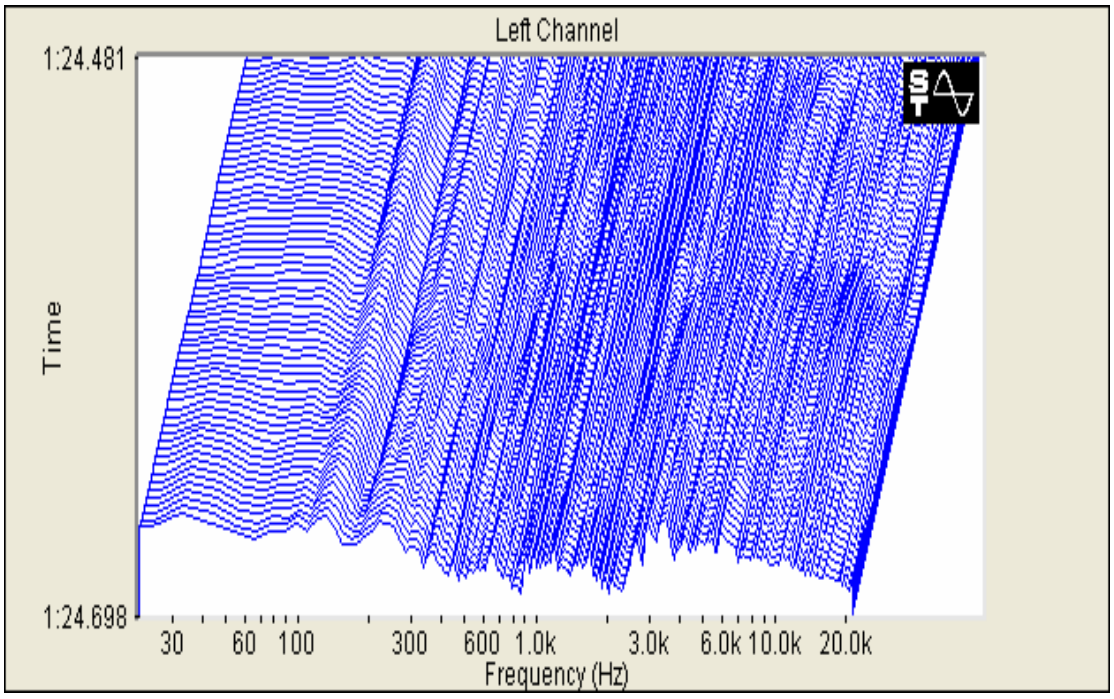


Şekil C.20 Deneyin Zaman Serisi

Deney No:3

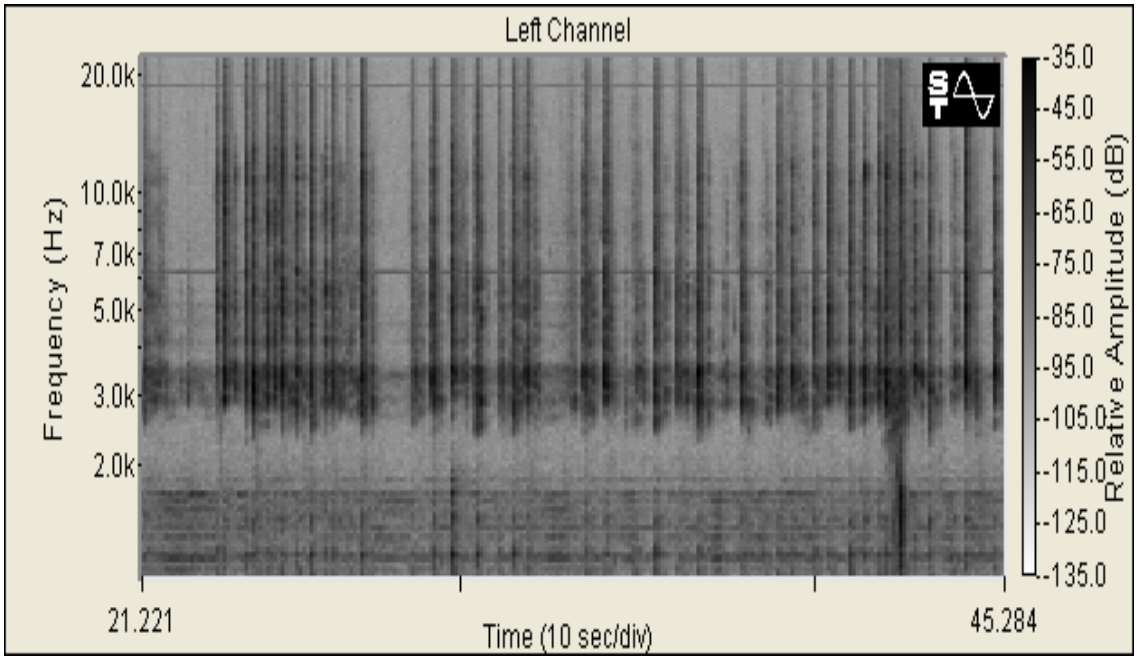


Şekil C.21 Deneyin Spektogramı

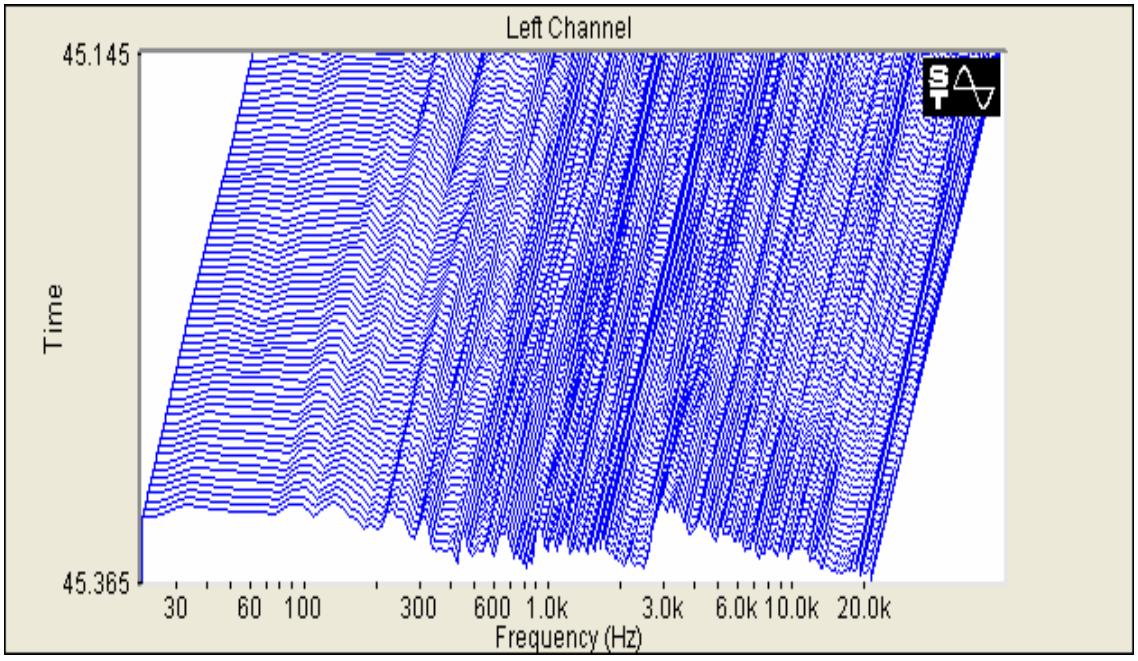


Şekil C.22 Deneyin Zaman Serisi

Deney No:4

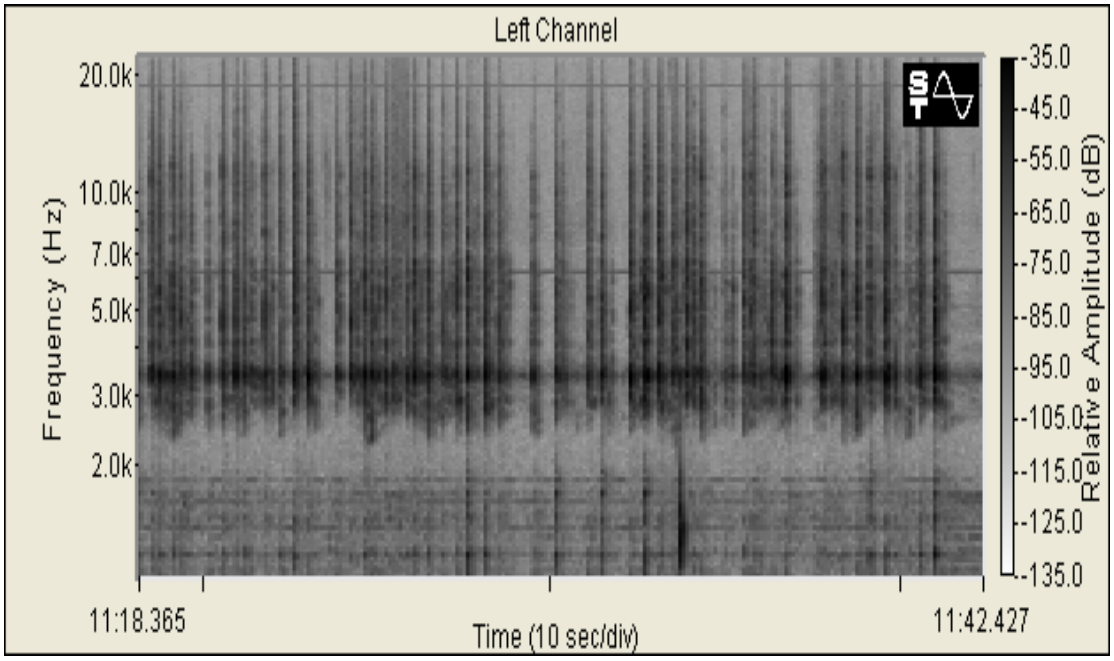


Şekil C.23 Deneyin Spektogramı

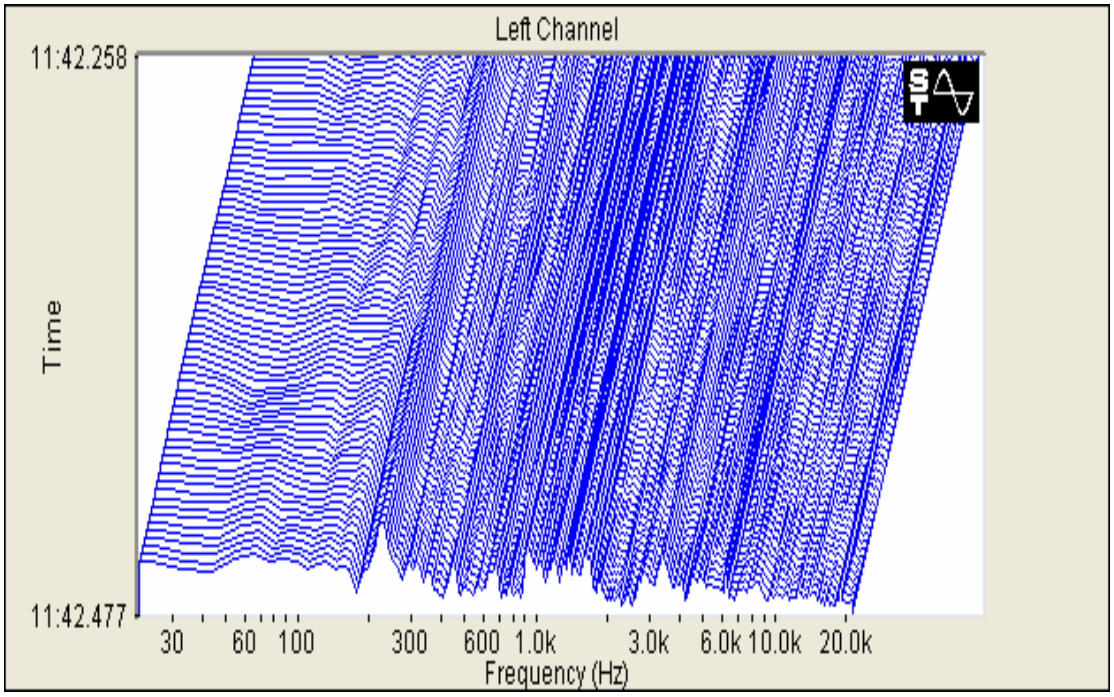


Şekil C.24 Deneyin Zaman Serisi

Deney No:5

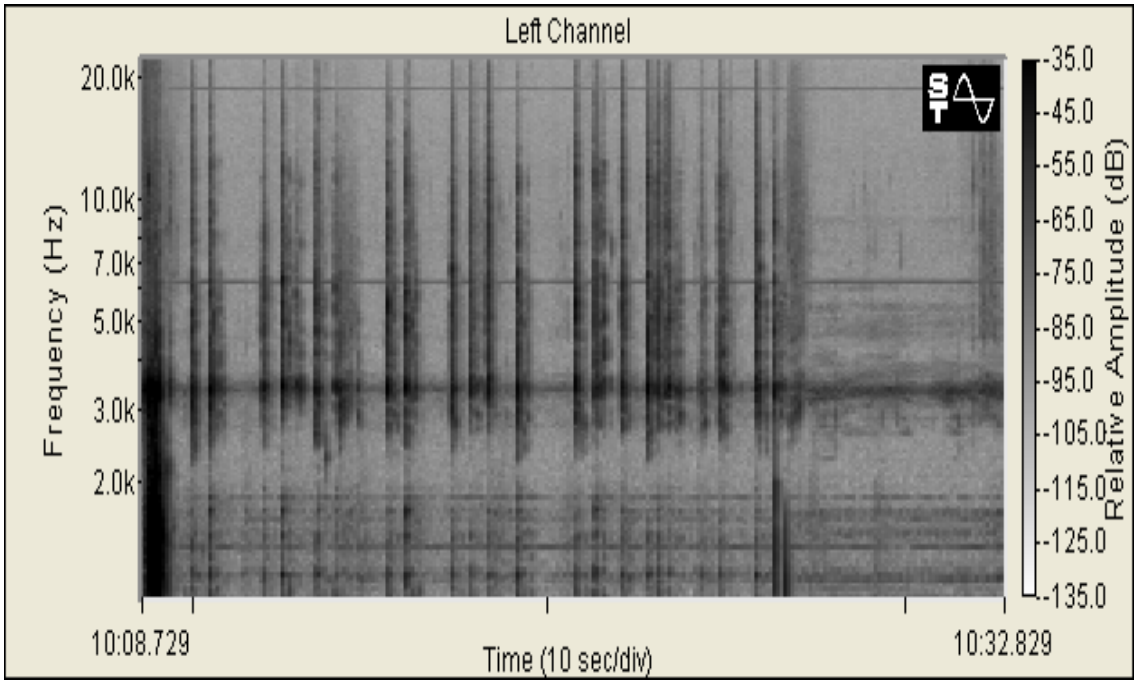


Şekil C.25 Deneyin Spektogramı

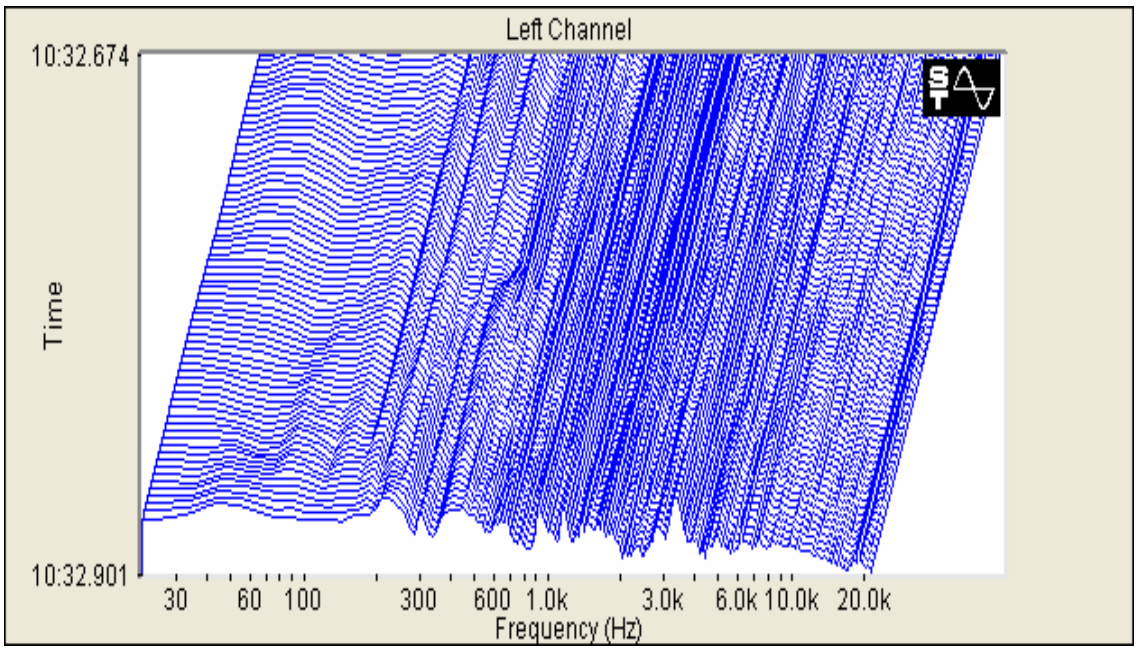


Şekil C.26 Deneyin Zaman Serisi

Deney No:6

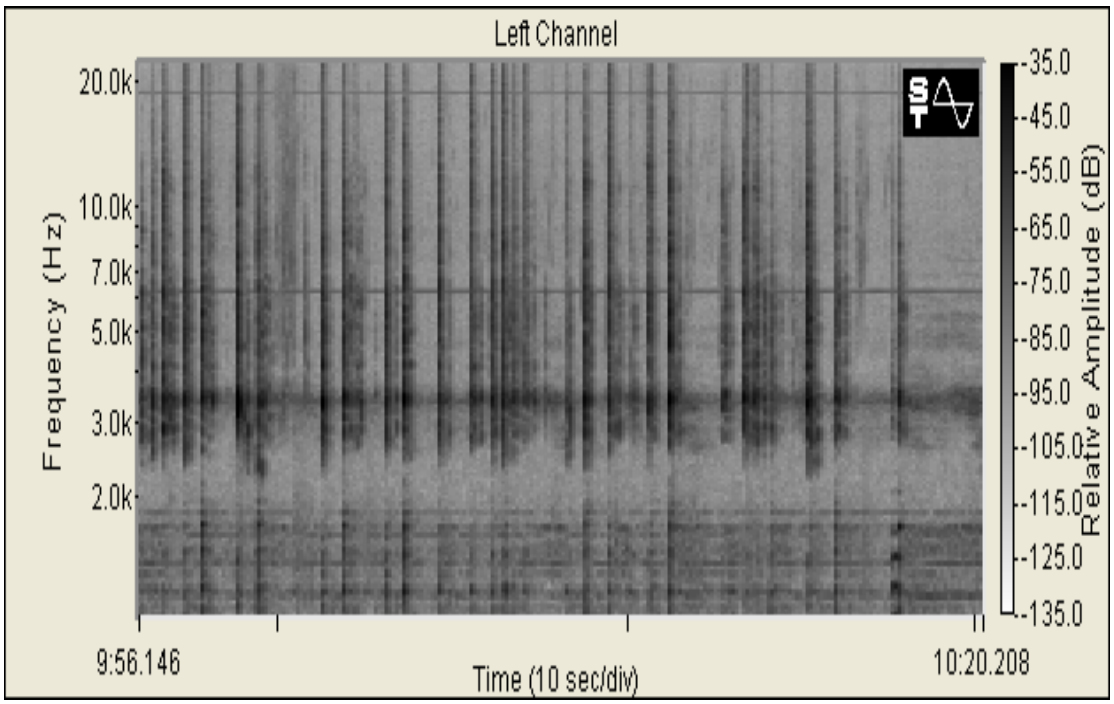


Şekil C.27 Deneyin Spektogramı

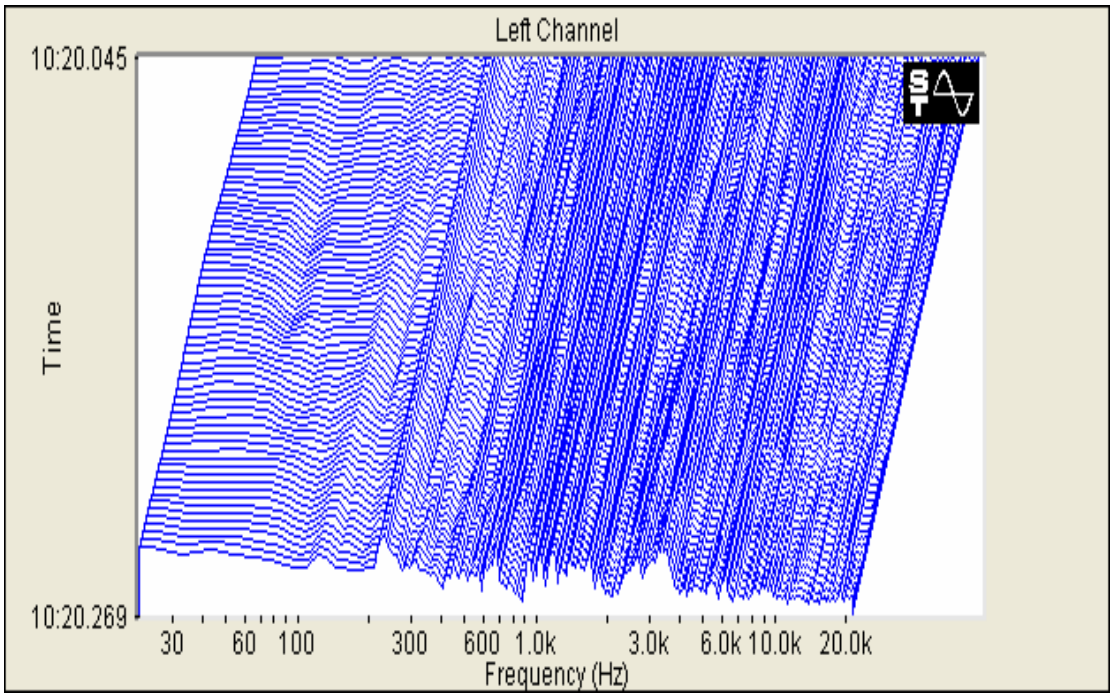


Şekil C.28 Deneyin Zaman Serisi

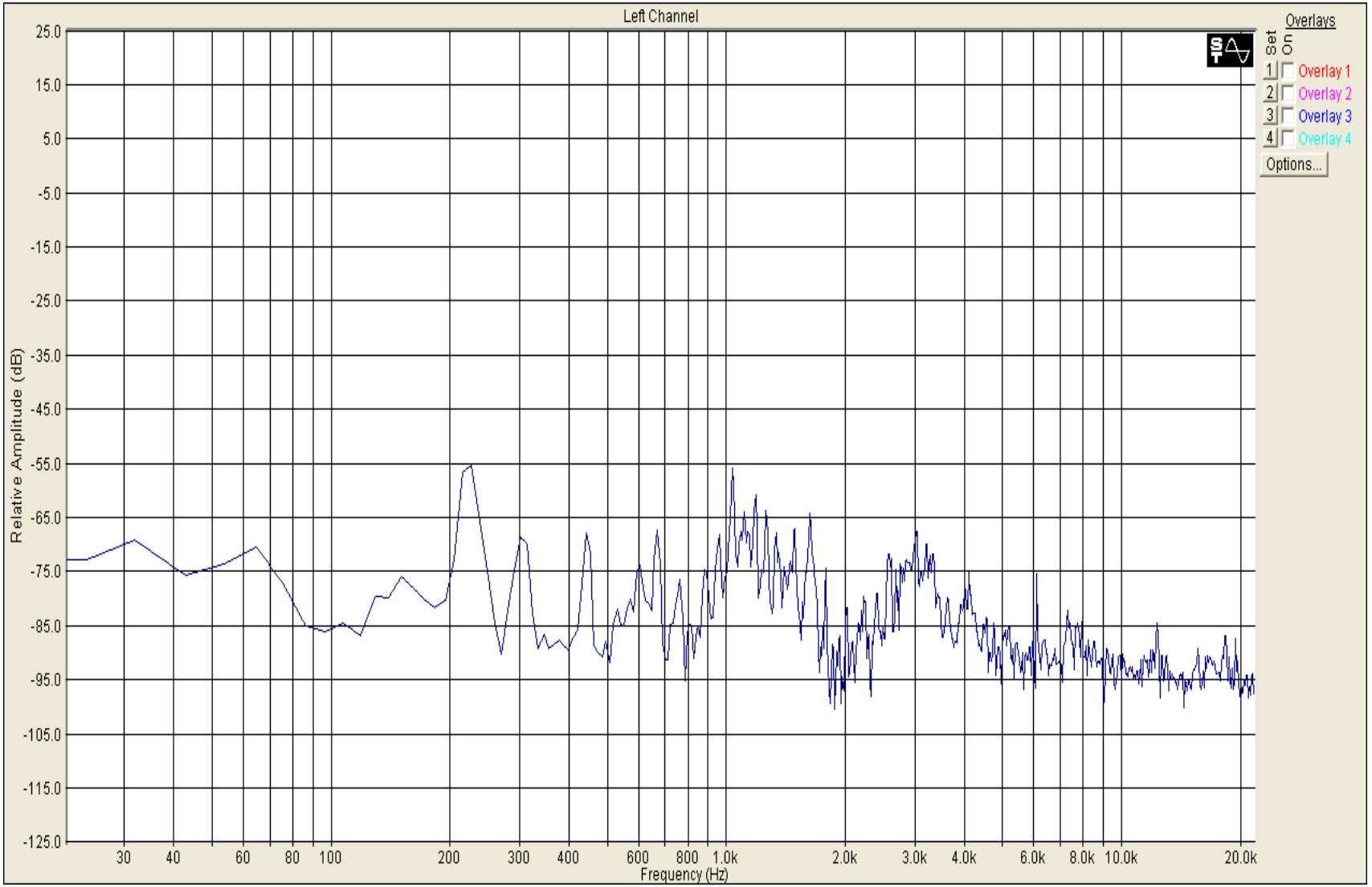
Deney No:7



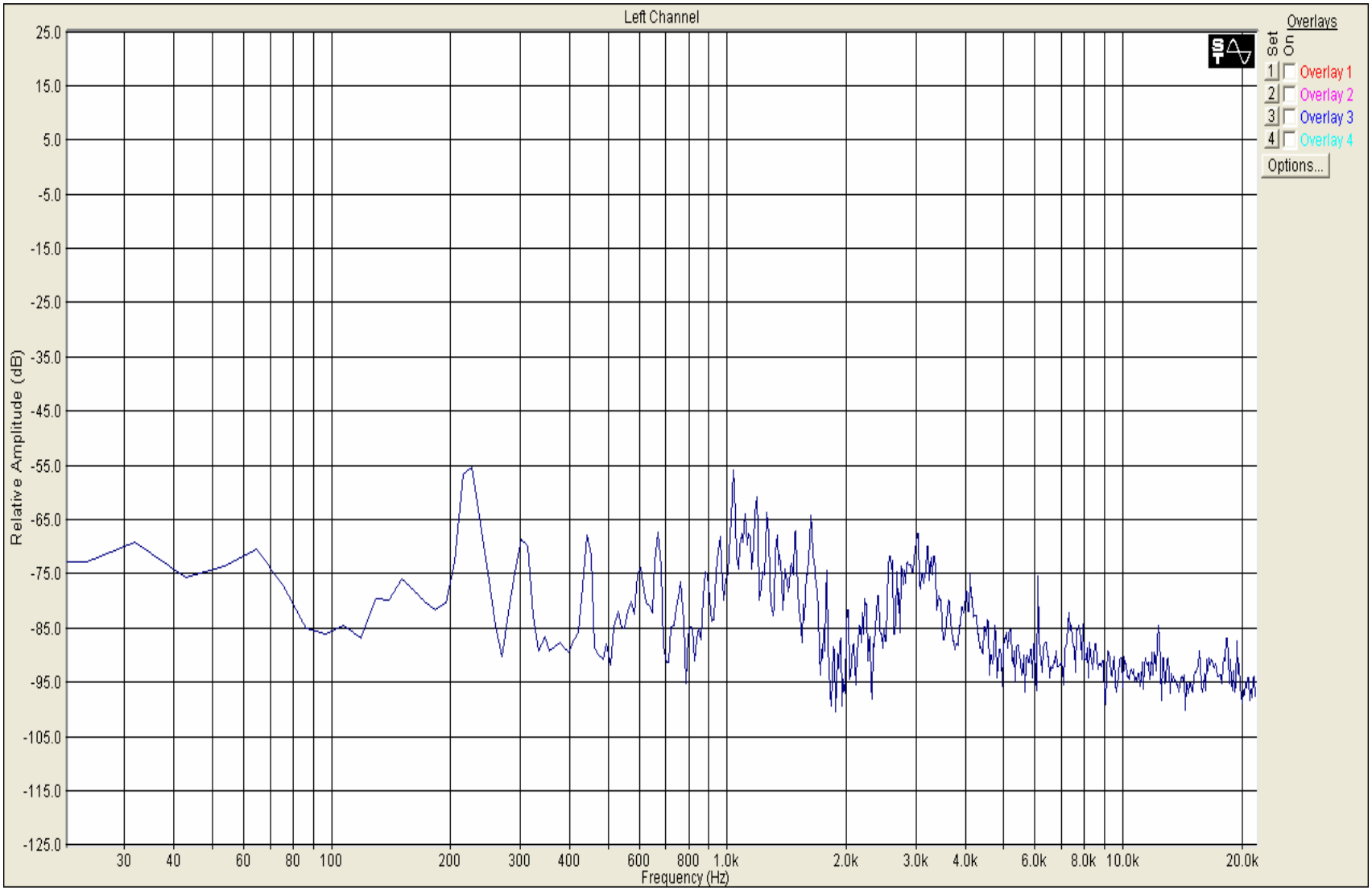
Şekil C.29 Deneyin Spektogramı



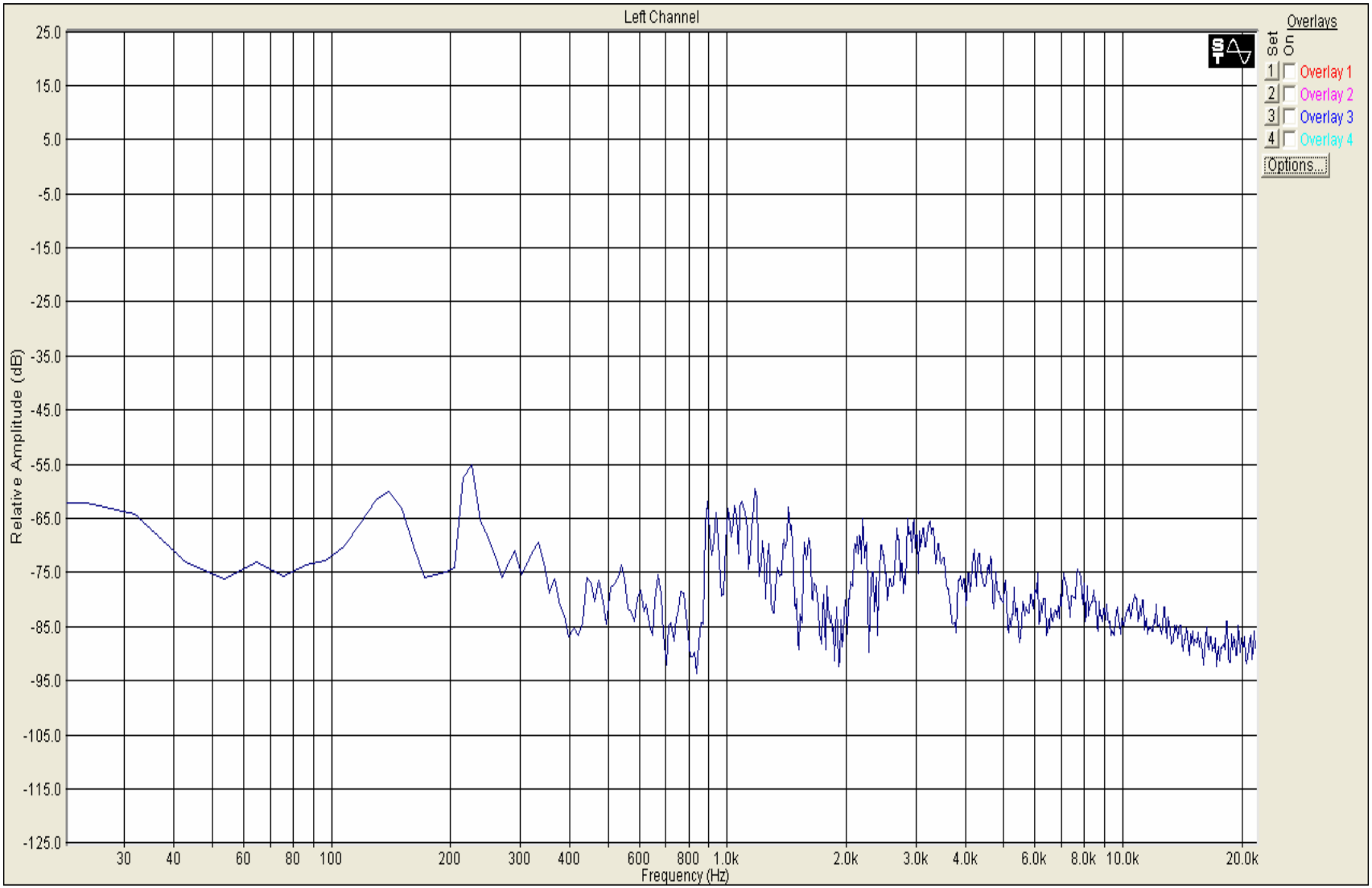
Şekil C.30 Deneyin Zaman Serisi



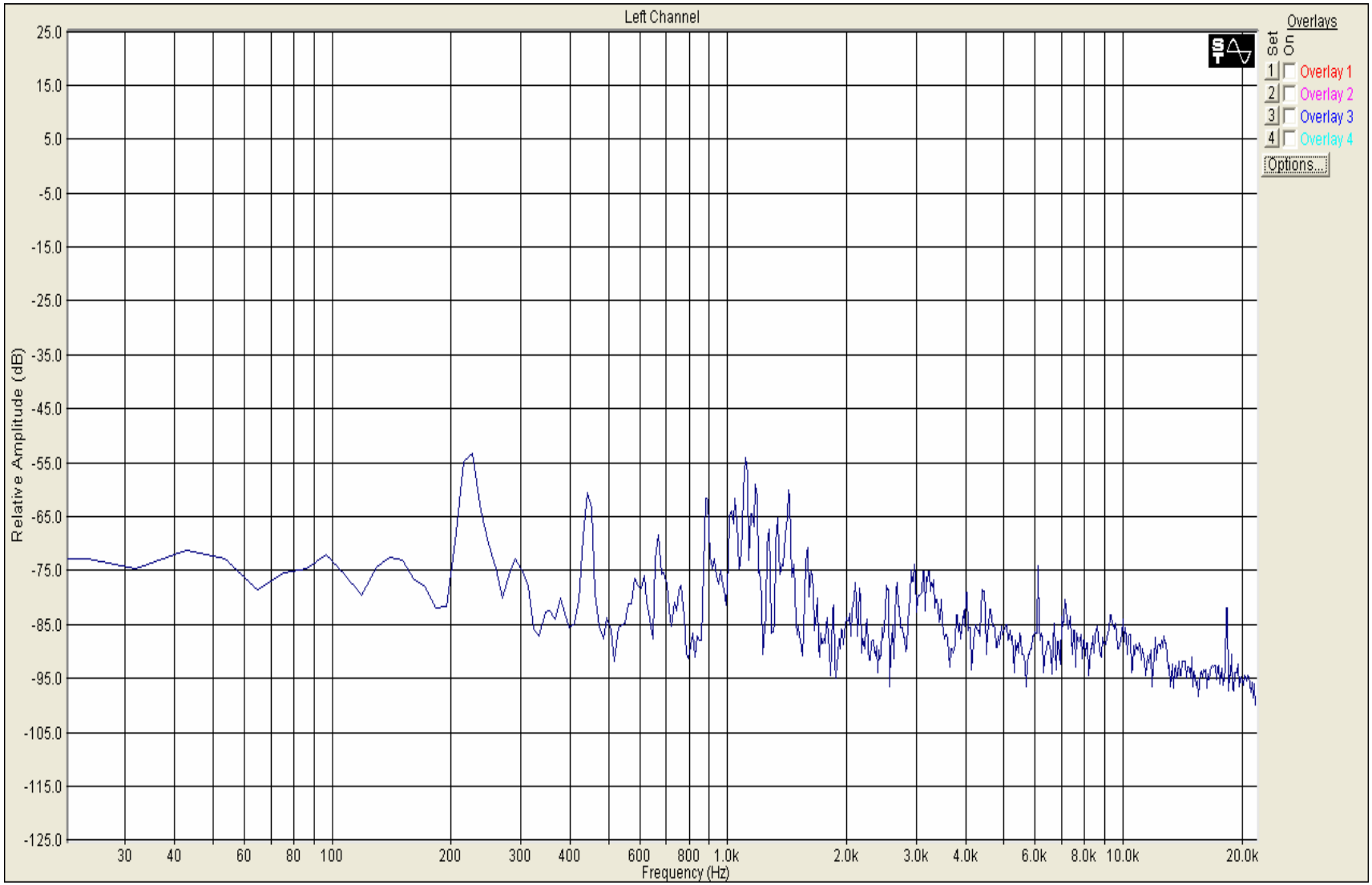
Şekil C.31 Düzensiz Dalga Deneyleri 1 Deney No:1 Ses Seviye Yelpazesi



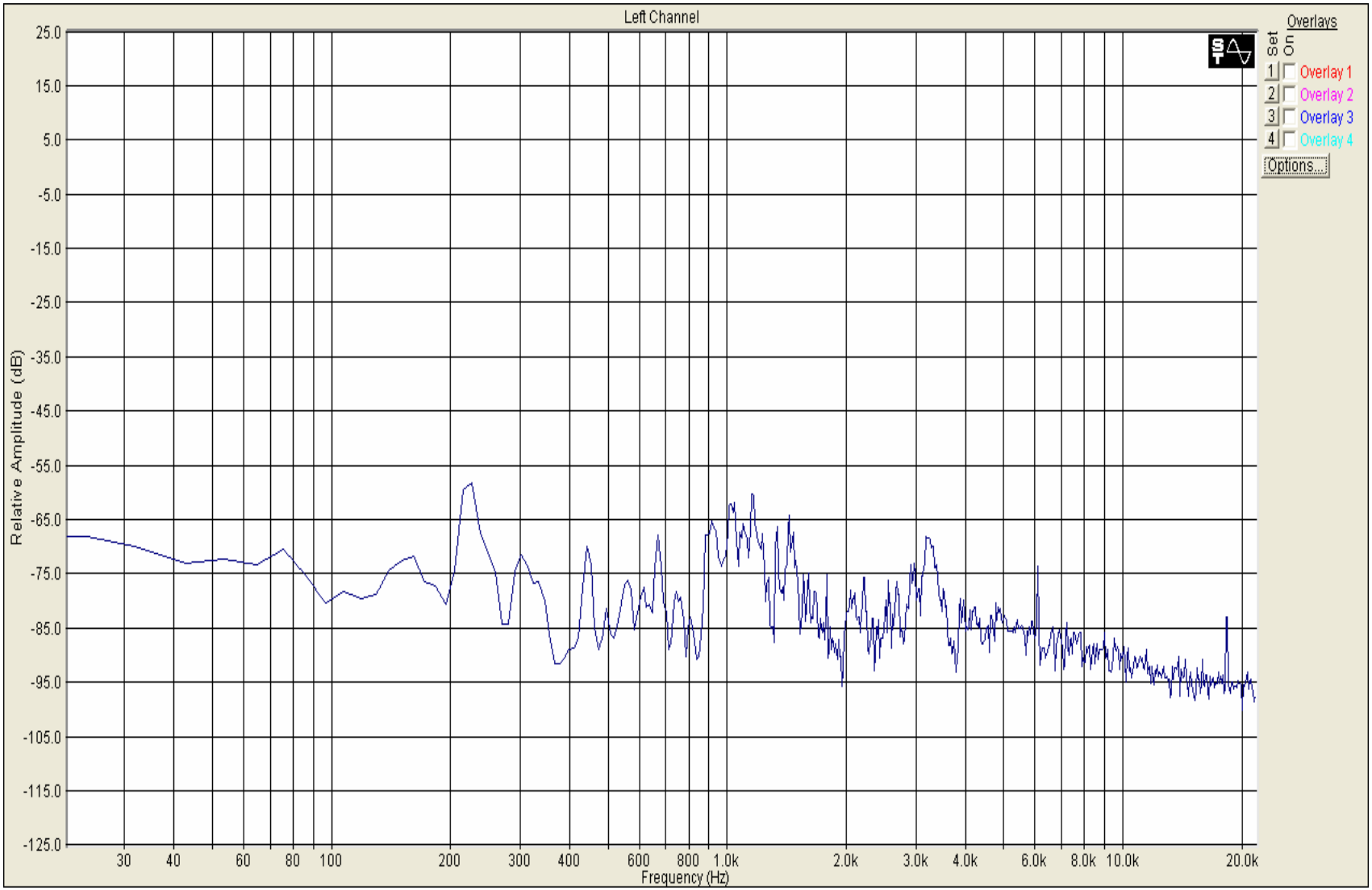
Şekil C.32 Düzensiz Dalga Deneyleri Deney 1 No:2 Ses Seviye Yelpazesi



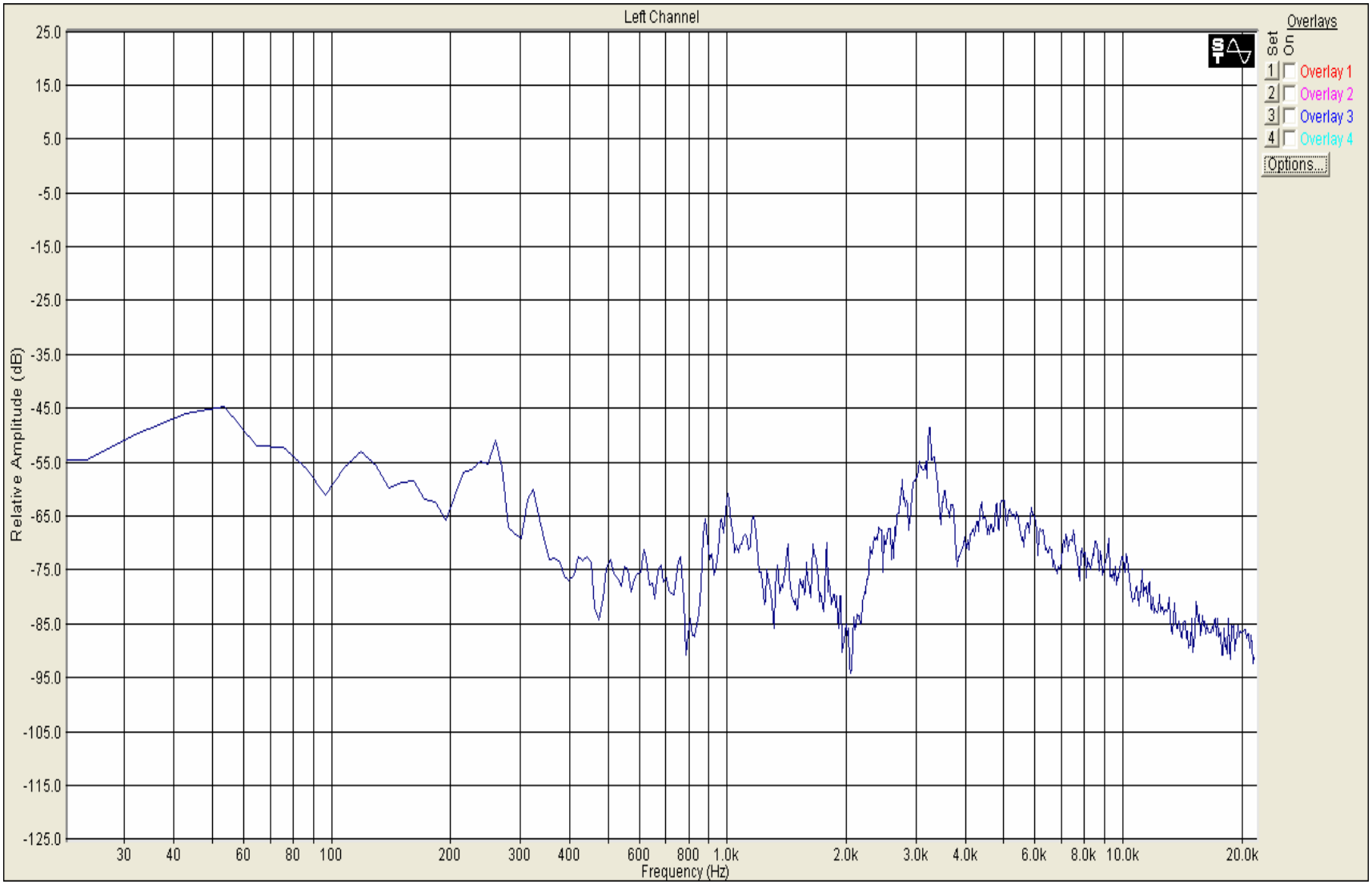
Şekil C.33 Düzensiz Dalga Deneyleri 1 Deney No:3 Ses Seviye Yelpazesi



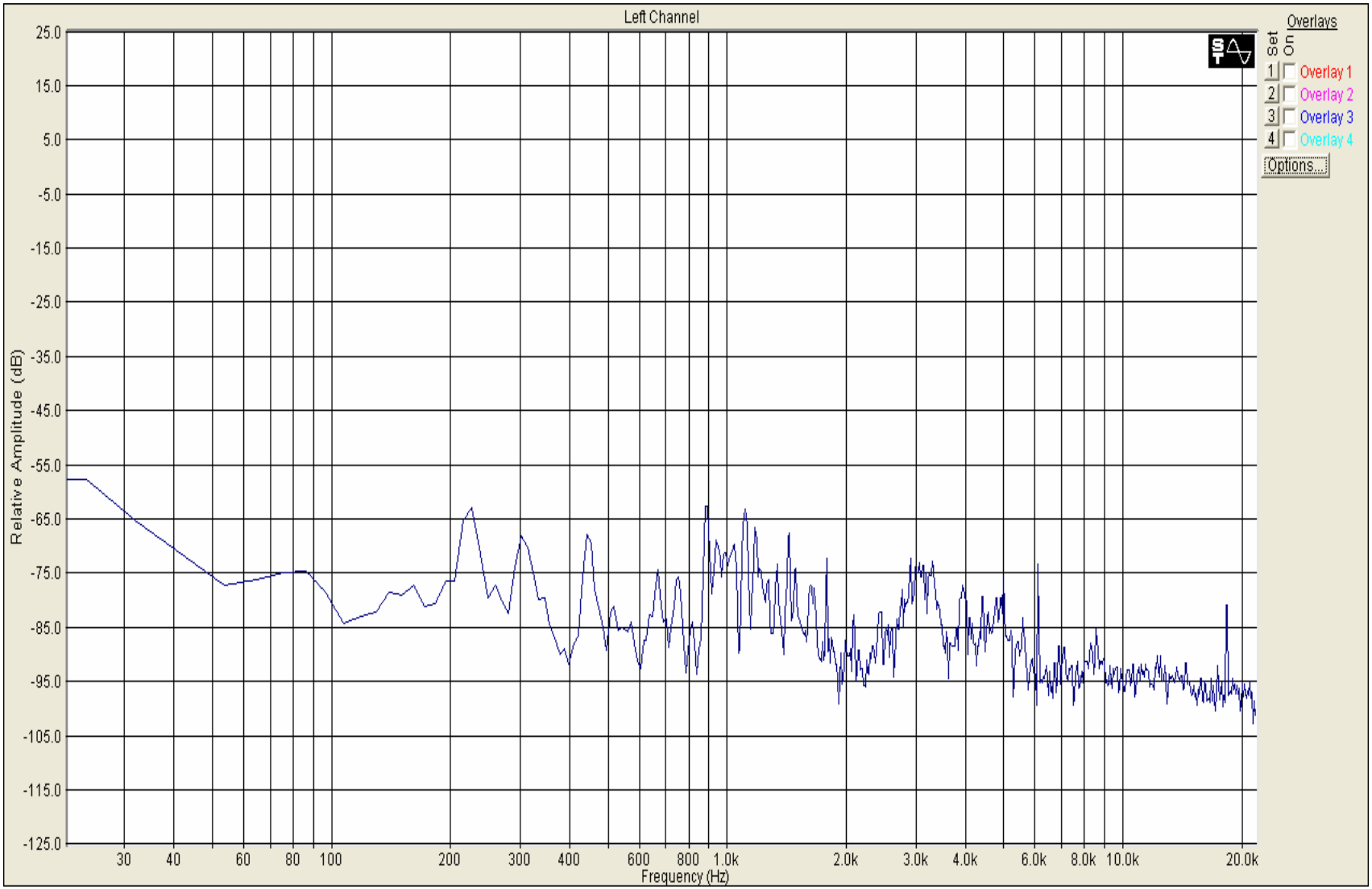
Şekil C.34 Düzensiz Dalga Deneyleri 1 Deney No:4 Ses Seviye Yelpazesi



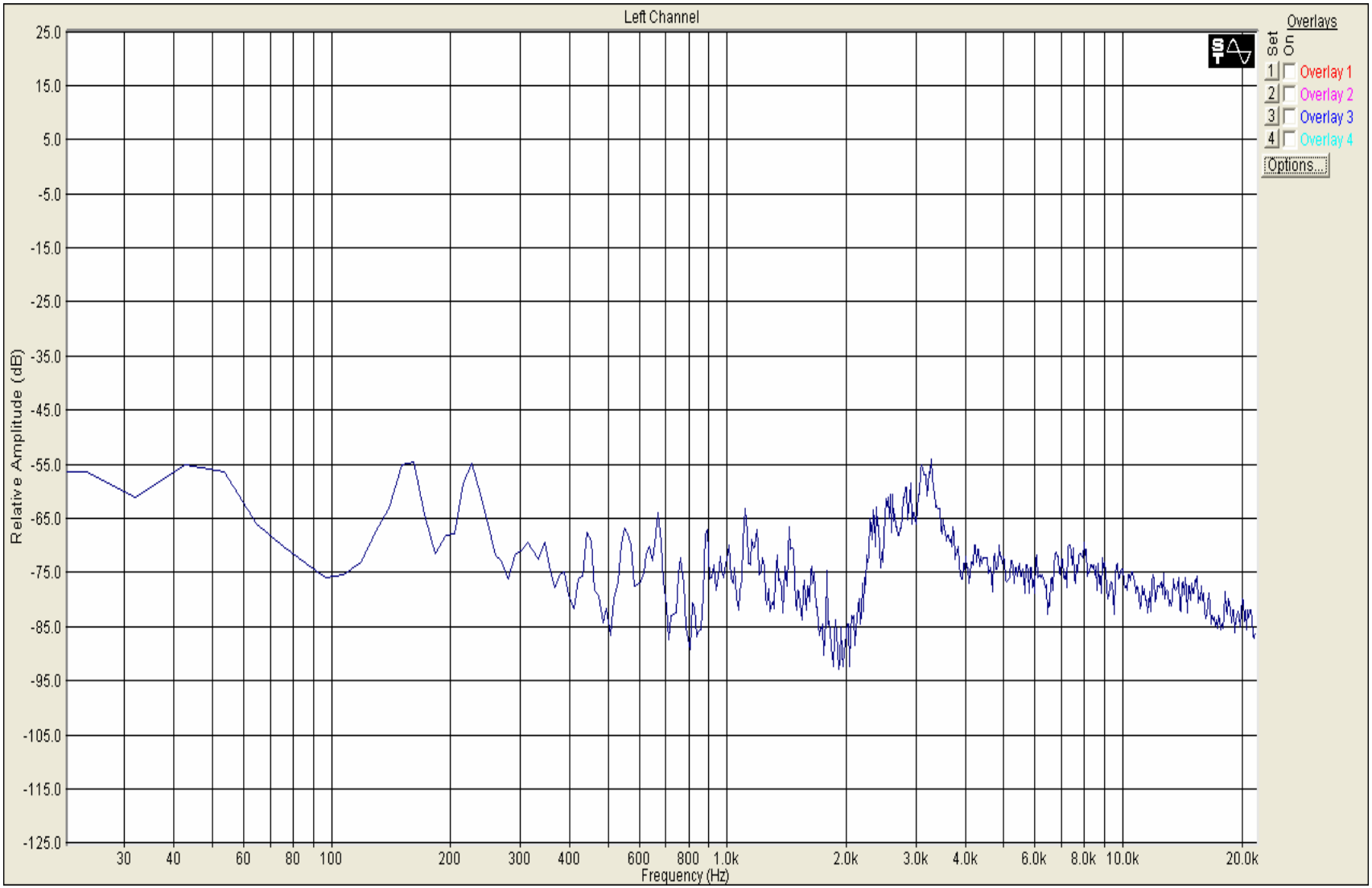
Şekil C.35 Düzensiz Dalga Deneyleri 1 Deney No:5 Ses Seviye Yelpazesi



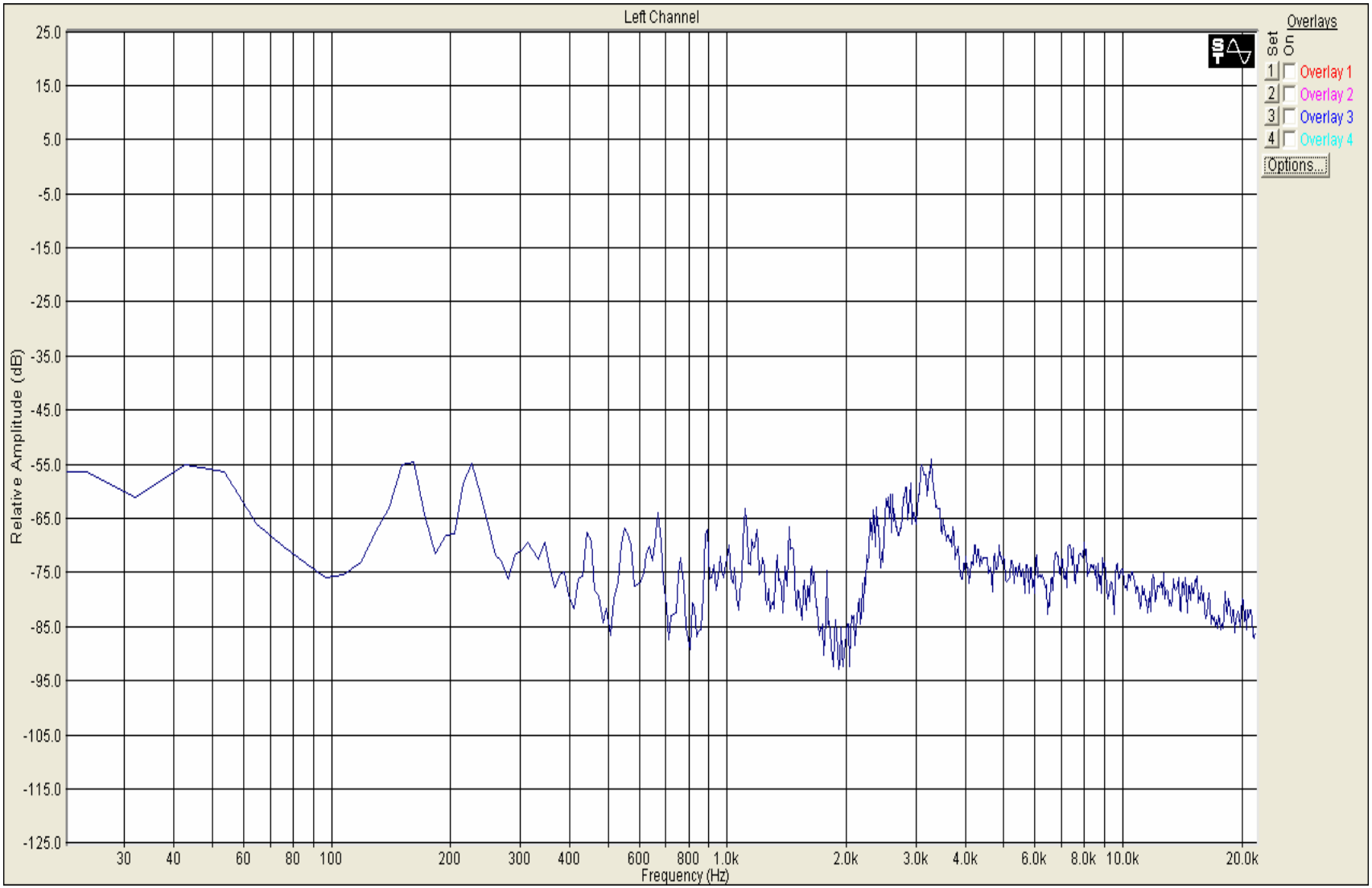
Şekil C.36 Düzensiz Dalga Deneyleri 1 Deney No:6 Ses Seviye Yelpazesi



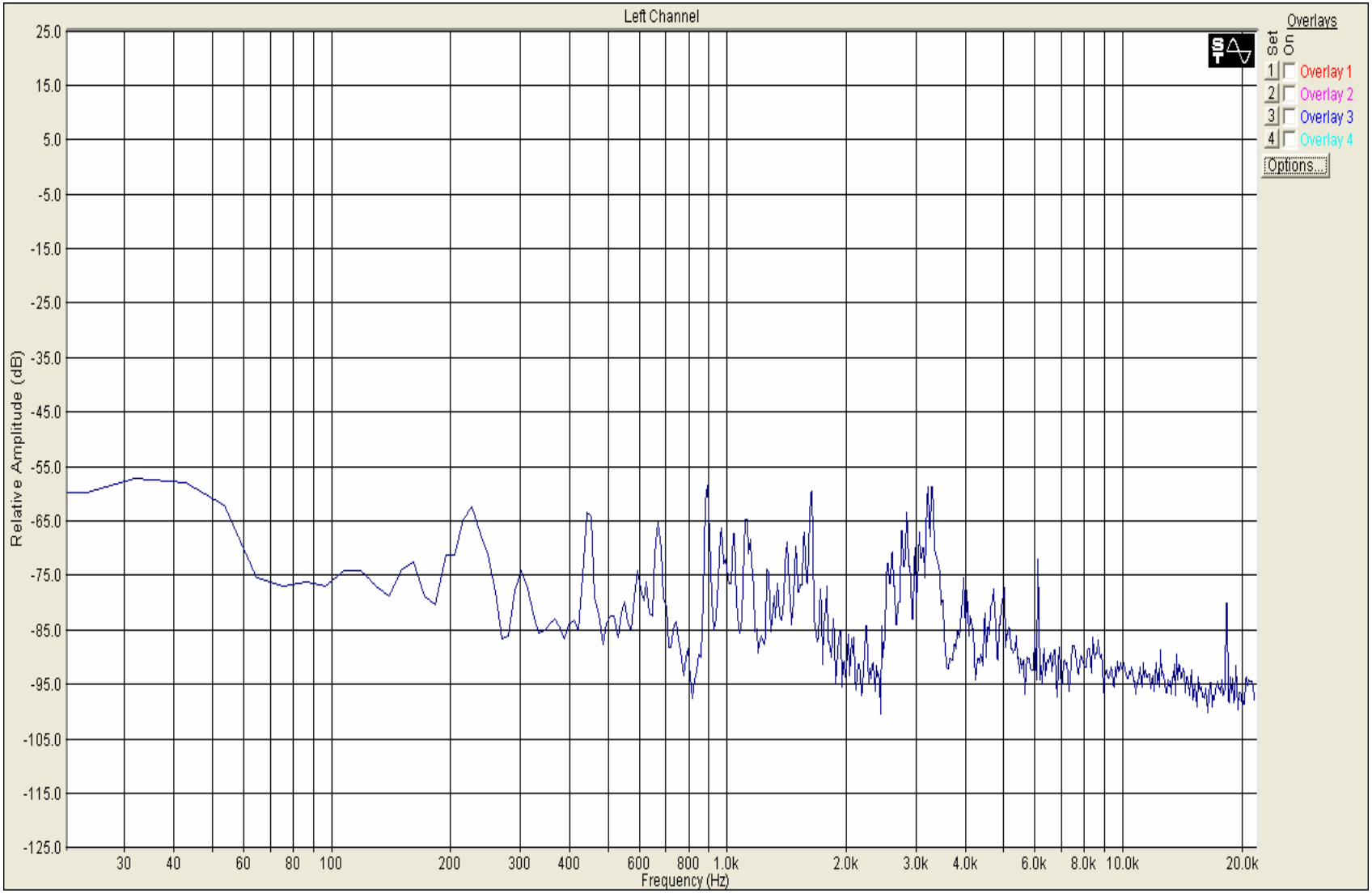
Şekil C.37 Düzensiz Dalga Deneyleri 1 Deney No:7 Ses Seviye Yelpazesi



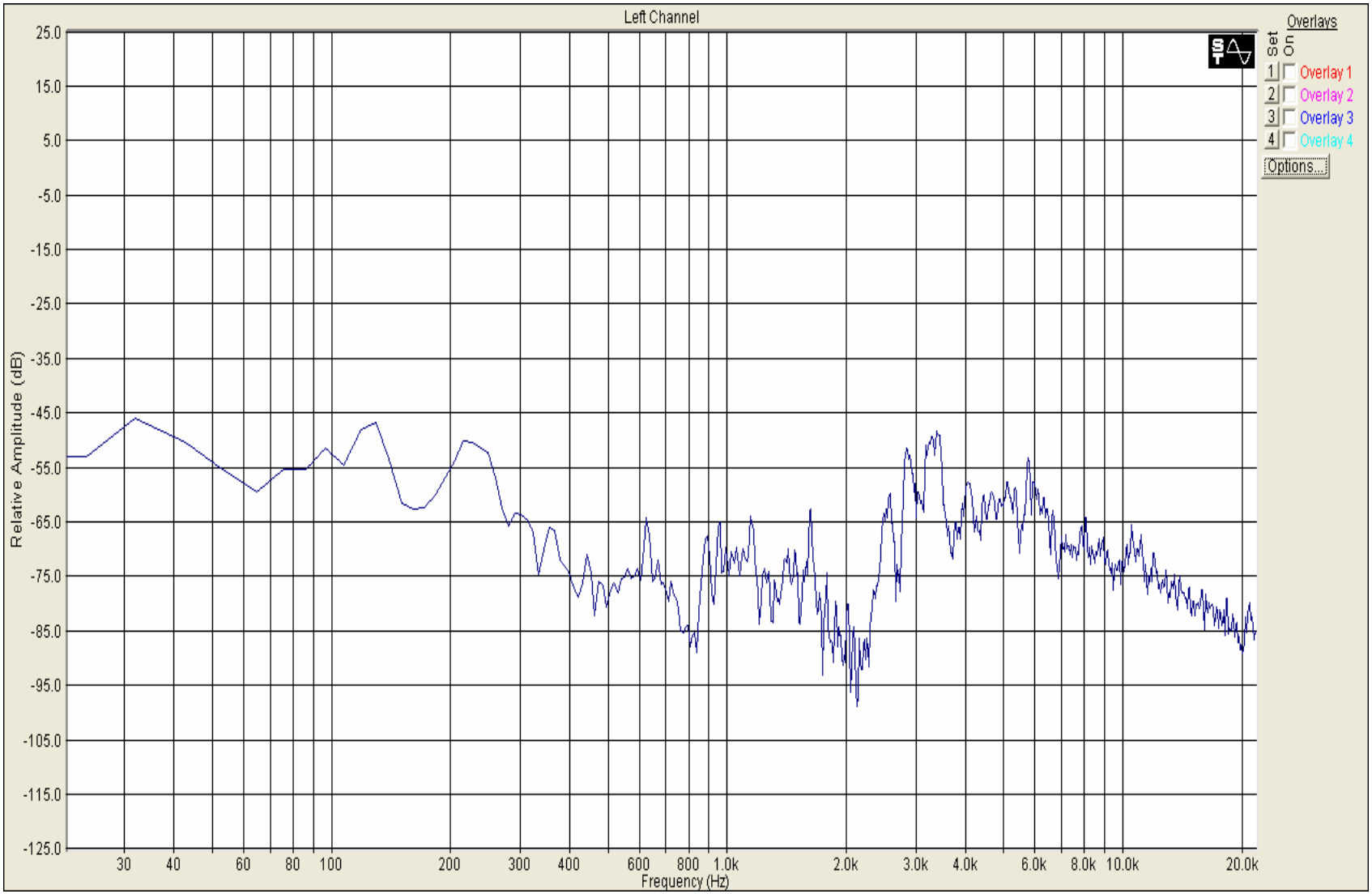
Şekil C.38 Düzensiz Dalga Deneyleri 1 Deney No:8 Ses Seviye Yelpazesi



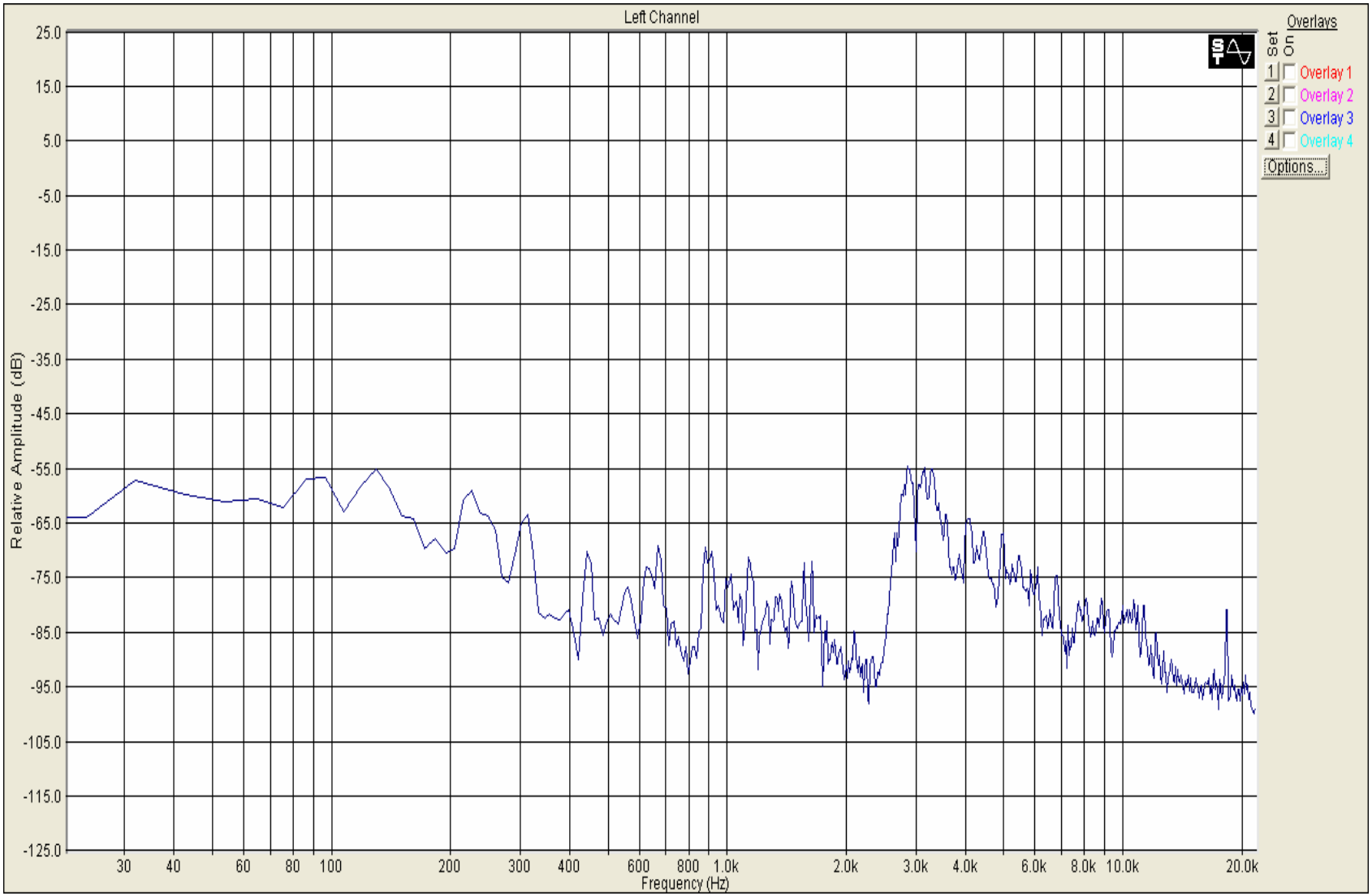
Şekil C.39 Düzensiz Dalga Deneyleri 2 Deney No:1 Ses Seviye Yelpazesi



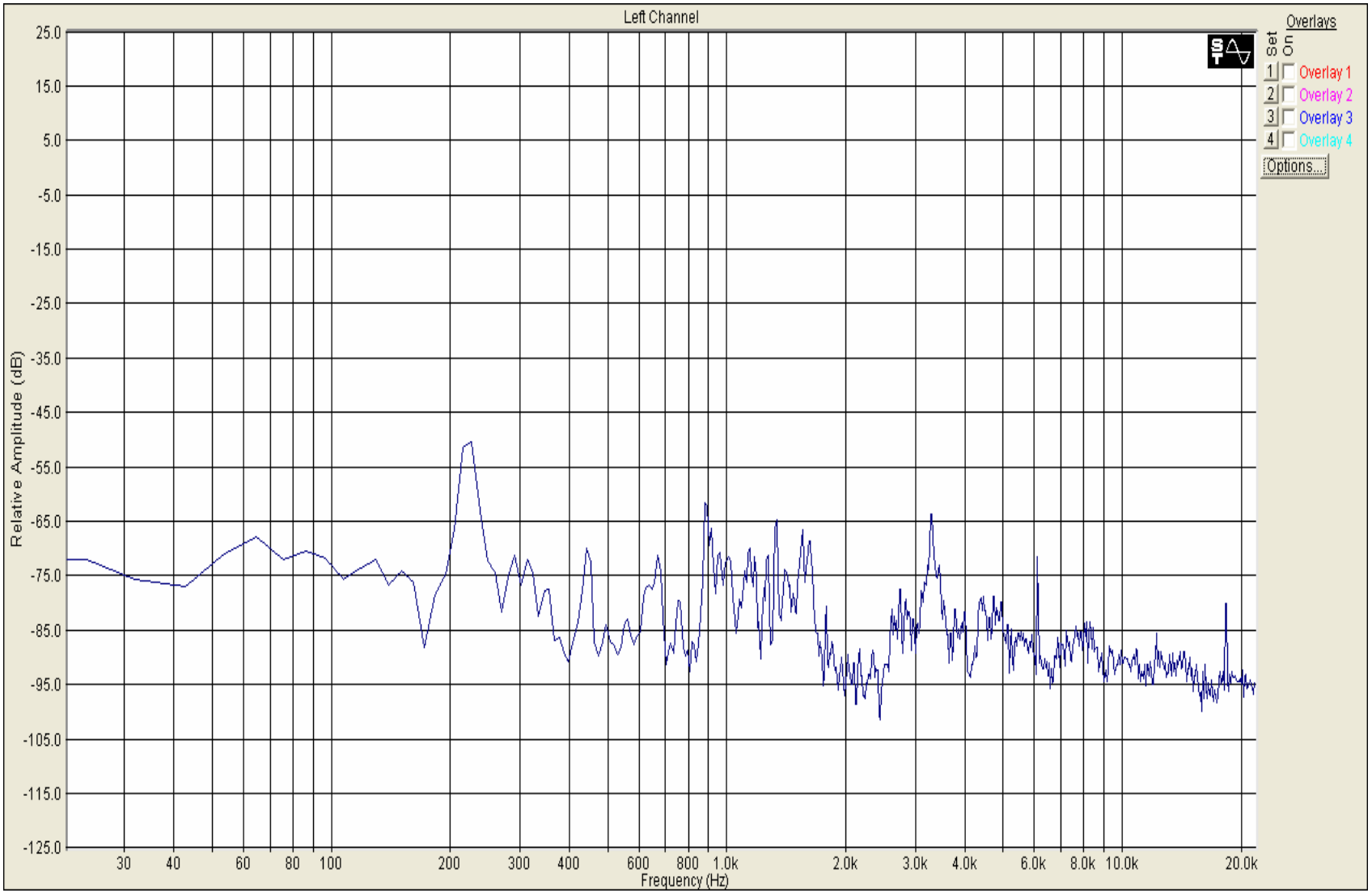
Şekil C.40 Düzensiz Dalga Deneyleri 2 Deney No:2 Ses Seviye Yelpazesi



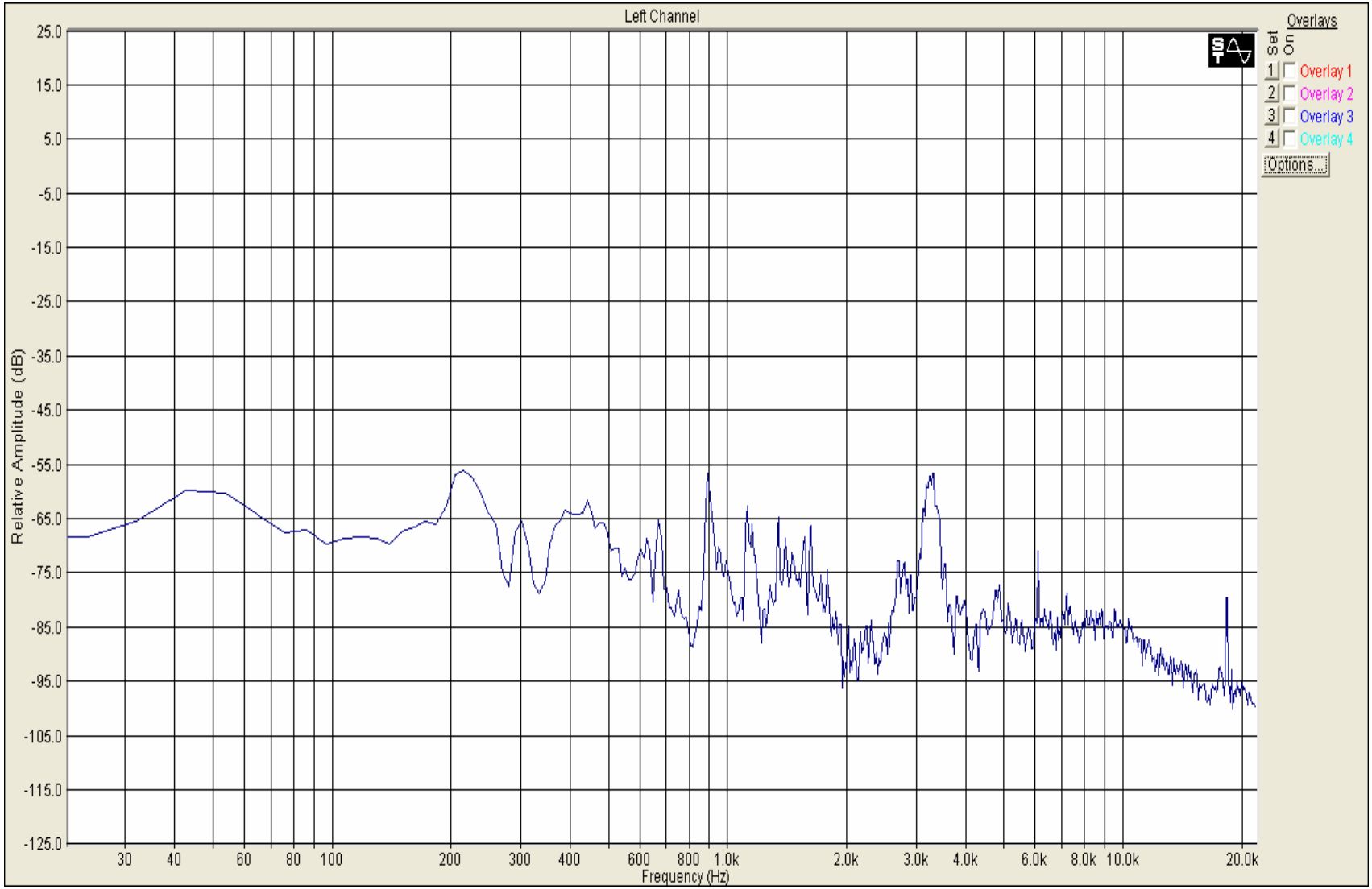
Şekil C.41 Düzensiz Dalga Deneyleri 2 Deney No:3 Ses Seviye Yelpazesi



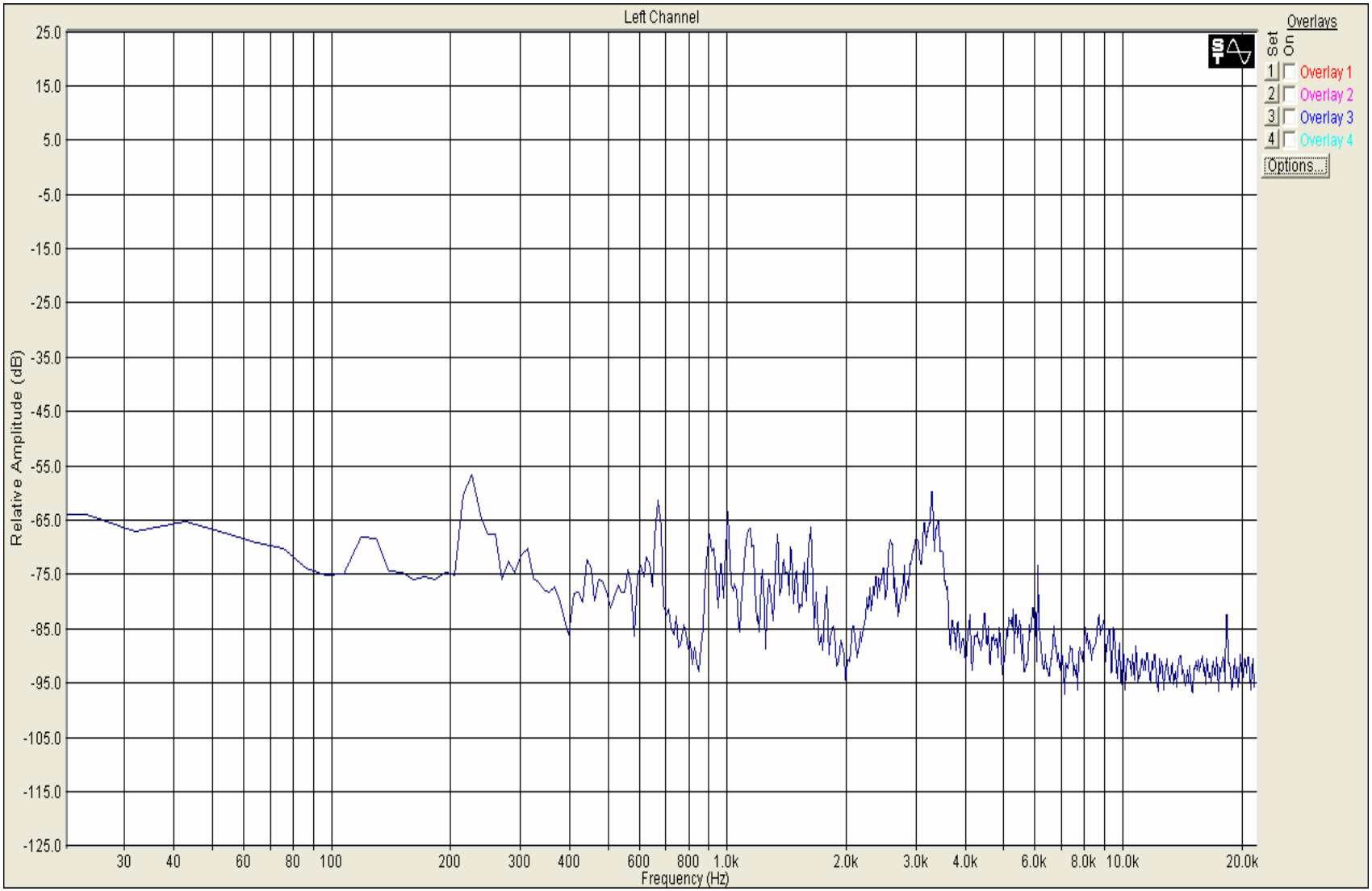
Şekil C.42 Düzensiz Dalga Deneyleri 2 Deney No:4 Ses Seviye Yelpazesi



Şekil C.43 Düzensiz Dalga Deneyleri 2 Deney No:5 Ses Seviye Yelpazesi

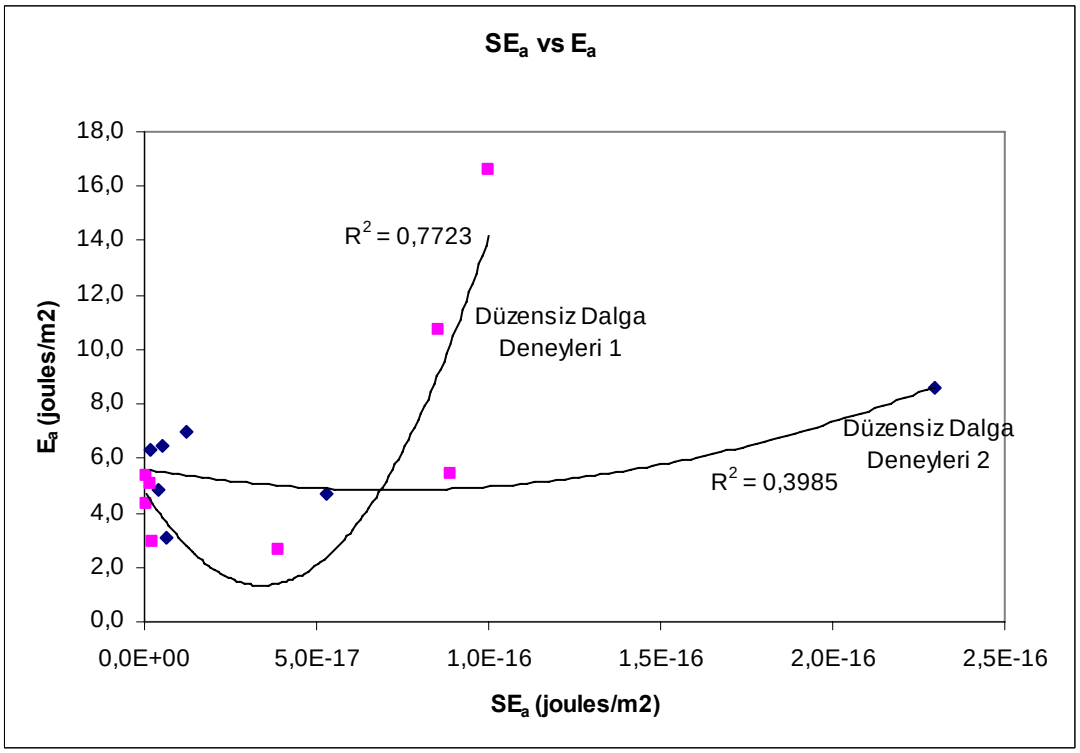


Şekil C.44 Düzensiz Dalga Deneyleri 2 Deney No:6 Ses Seviye Yelpazesi

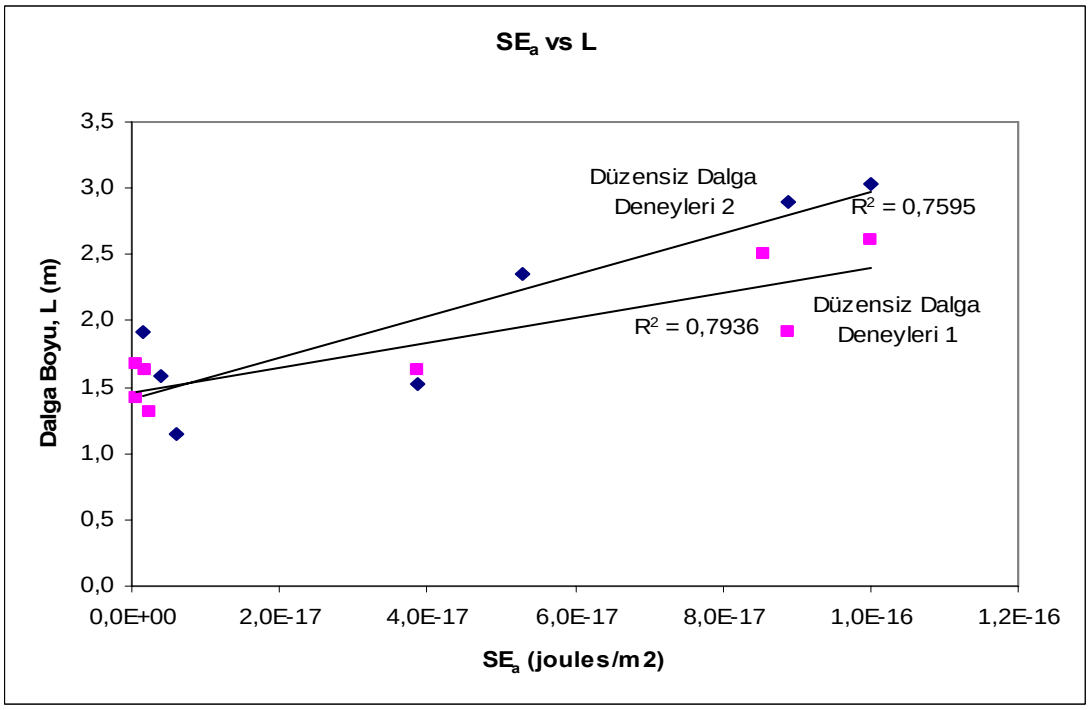


Şekil C.45 Düzensiz Dalga Deneyleri 2 Deney No:7 Ses Seviye Yelpazesi

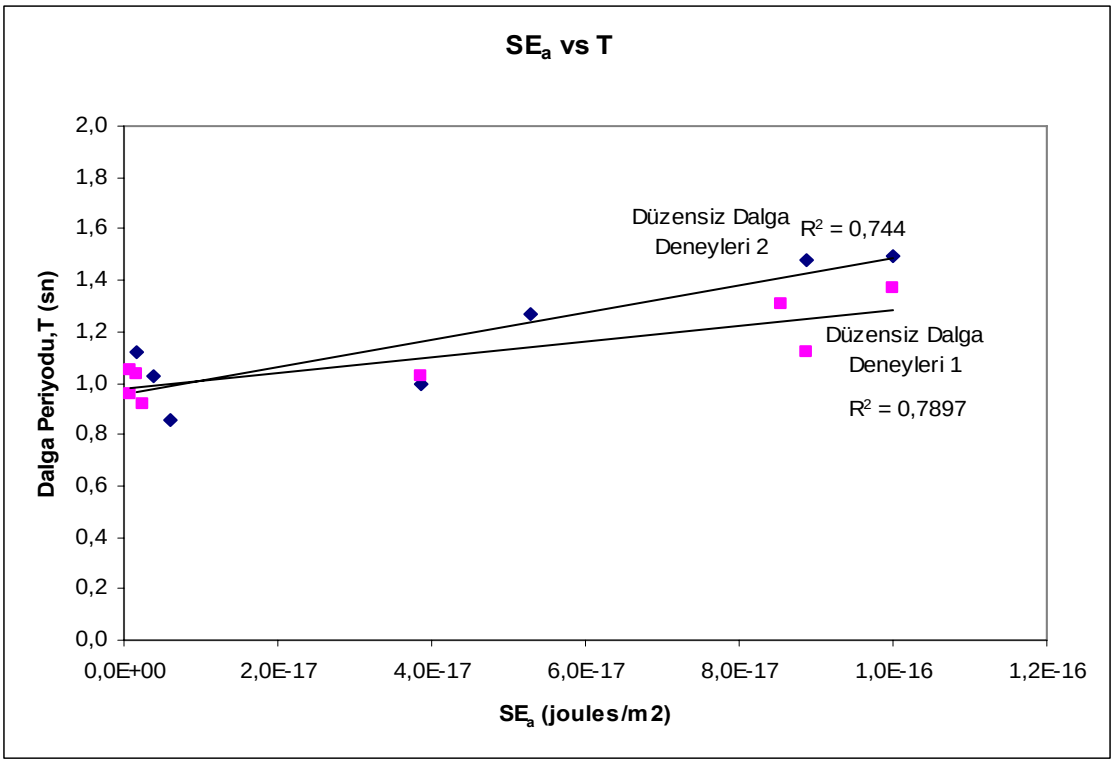
Düzensiz Dalga Kanalı Deneyleri Grafiksel Karşılaştırma



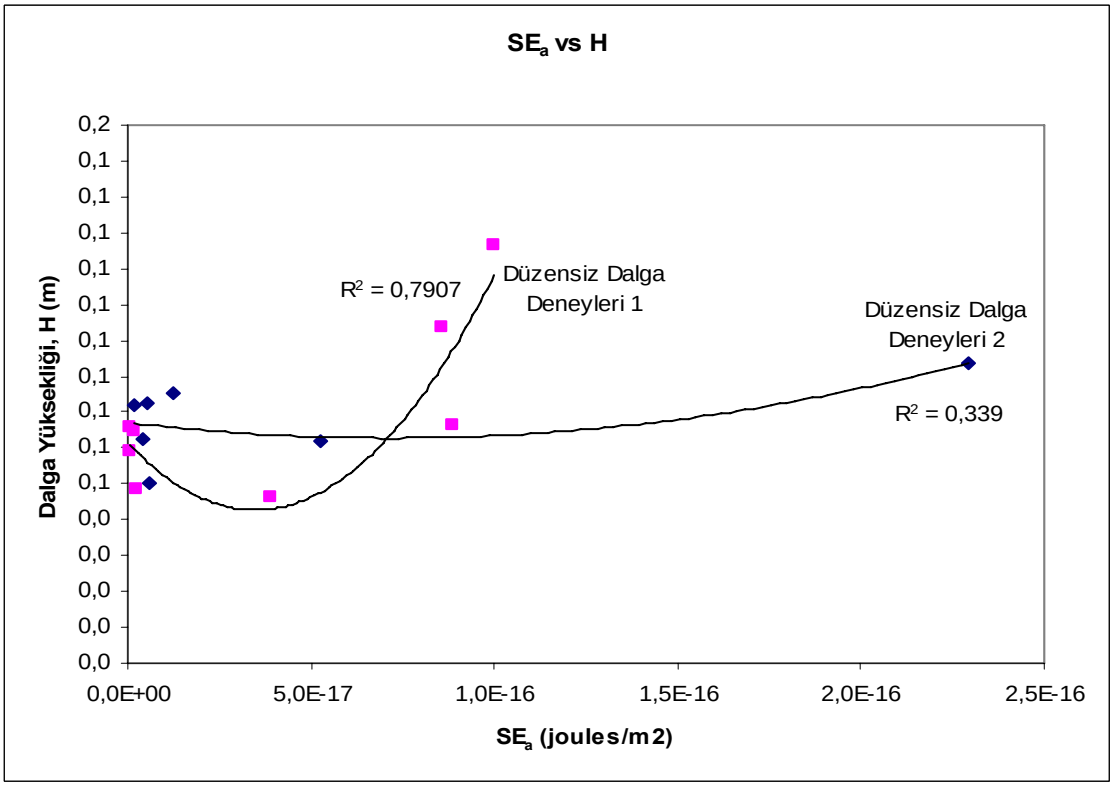
Şekil C.46: Ses Enerjisi – Dalga Enerjisi Grafikleri Karşılaştırması



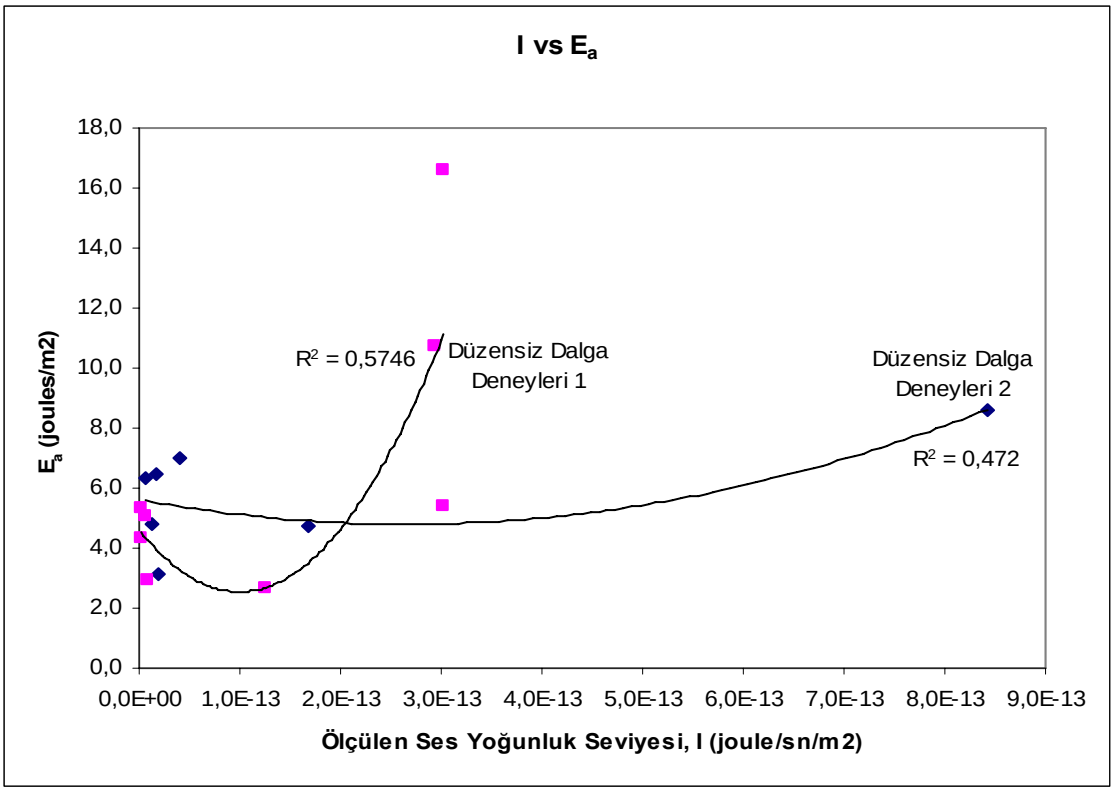
Şekil C.47: Dalga Boyu – Ses Enerjisi Grafikleri Karşılaştırması



Şekil C.48: Dalga Periyodu – Ses Enerjisi Grafikleri Karşılaştırması



Şekil C.49: Dalga Yüksekliği – Ses Enerjisi Grafikleri Karşılaştırması



Şekil C.50: Ölçülen Ses Yoğunluk Seviyesi – Dalga Enerjisi Grafikleri Karşılaştırması

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa DİKMEN, 1980 yılında Zonguldak'ta doğdu. 1998 ylında TED Zonguldak Koleji'nden mezun oldu ve aynı sene İstanbul Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü kazanarak 2002 yılında İnşaat Mühendisi olarak mezun oldu. 2003 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Hidrolik ve Su Kaynakları programında yüksek lisans yapmaya hak kazandı. 2005 yılında TML İnşaat AŞ. Libya Bölgesi'nde çalışmaya başladı. Halen aynı şirkette çalışmaya devam etmektedir.