T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
EĞİTİM BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GÜZEL SANATLAR EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
MÜZİK EĞİTİMİ BİLİM DALI

KLASİK TÜRK MÜZİĞİ ÇALGILARINDAN KANUN VE TAMBURUN TONAL KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Ramiz GÖKBUDAK

DOKTORA TEZİ

Danışman
Yrd. Doç. Dr. Nurtuğ BARIŞERİ

Konya–2011

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın oluşmasında emeği geçen danışmanlarım Yrd. Doç. Dr. Nurtuğ BARIŞERİ ve Prof.Dr. Mehmet ÇALIŞKAN'a, TİK üyeleri Prof.Dr. Rıza OĞUL ve Yrd.Doç.Dr. Özer KUTLUK'a, Prof.Dr. Ayhan ZEREN ve Prof. M. Salih ERGAN'a, Prof.Dr. Fuat YÖNDEMLİ'ye, çalgı seçiminde görev alan ve çalgıları sağlayan değerli öğretim elemanı ve öğrenci arkadaşlarıma, Selçuk Üniversitesi radyo-televizyon uygulama biriminde görevli öğretim elemanı arkadaşlarıma, özverileri, destekleri, emekleri ve sabırlarıyla bana güç veren eşim Prof. Z. Seçkin GÖKBUDAK'a, çocuklarım Cemil Yener ve Demirhan GÖKBUDAK'a, annem Göksel GÖKBUDAK ve kardeşim Şayeste GÖKBUDAK'a ye teşekürlerimi sunarım.

T. C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
Eğitim Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü

Öğrencinin

Adı Soyadı: Ramiz GÖKBUDAK

Numarası: 045117011002

Ana Bilim / Bilim Dalı: Güzel Sanatlar Eğitimi Ana Bilim Dalı - Müzik Eğitimi Bilim Dalı

Programı: Doktora

TezDanışmanı: Yrd. Doç Dr. Nurtuğ BARIŞERİ

Tezin Adı: Klasik Türk Müziği Çalgılarından Kanun ve Tamburun Tonal Karakteristiklerinin Belirlenmesi

ÖZET

Bu araştırmada mızraplı Klasik Türk Müziği çalgılarından Kanun ve Ud' un tonal karakteristikleri incelenmiştir. Araştırmalar çalgıların frekans aralıkları ve davranışları, seslerinin harmonik yapıları, "formant"ları, ses basınç düzeyleri ve yönelme özelliklerinin belirlenmesine yönelik çalışmaları içermektedir. İncelenecek çalgılar o çalgıları çalan eğitimciler ve deneyimli öğrencilerden oluşan bir çalgı değerlendirme jürisi tarafından, birçok çalgı içerisinden seçilmiştir. Bundan sonra yukarıda belirtilen özellikleri bakımından çalgıların incelenmesine geçilmiştir. Çalgı sesleri bilgisayar ortamına yüksek hassasiyette bir ölçme mikrofonu (Earthworks M30) ve kaliteli ses kartları (M-Audio firewire solo-Presonus Firestudio) kullanılarak, yansımasız bir kayıt odasında aktarılmıştır. Aktarılan bu sesler wav formatında ve 24 bit 48 kHz. kalitesindedir. Seslerin analizleri Wavelab 6 ve ARTA yazılımlarında yapılmıştır. Yönelim özellikleri incelemesi için çalgı sesleri, yine yansımasız kayıt odasında Cubase 5 yazılımı ile, toplam 8 doğrultuda 8 ayrı mikrofon kullanılarak, her bir doğrultu Presonus Firestudio ses kartı üzerinden sekiz ayrı kanala kaydedilmiştir.

Çalışma sonunda kanun ve tambur çalgılarının frekans aralıkları ve davranışları, seslerinin harmonik yapıları, "formant"ları, ses basınç düzeyleri ve yönelme özellikleri ile ilgili veriler elde edilmiştir. Ulaşılan bu verilerin ses kayıt uygulamaları ve çalgı yapımı alanlarına katkı sağlayacağı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Kanun, Tambur, Tonal karakteristik, Harmonik, Frekans cevap, Formant, Ses basınç seviyesi

T. C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
Eğitim Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü

Öğrencinin

Adı Soyadı Ramiz GÖKBUDAK

Numarası:045117011002

Ana Bilim / Bilim Dalı: Fine Arts Education – Music Education

Programı: Doctorate

Tez Danışmanı: Asist. Prof. Dr. Nurtuğ BARIŞERİ

Tezin İngilizce Adı: Determination of Tonal Characteristics of Classical Turkish Musical İnstruments Kanun and Tambur

SUMMARY

The research findes out Kanun and Tanbur's tonal characteristics which of those are Turkish Classical Music instruments with plectrum. İn this study it is tried to find out instruments' frequency intervals and behaviour, harmonic structure of the sounds, formants, sound pressure levels and their directivites. The designated instruments have been choosen out of many other instruments by an instrument evaluation commitee, consisted of music educators and experienced students. The sound of the instruments have been recorded to the computer by using high sensitivity measurement microphone and high quality sound cards ((M-Audio firewire solo-Presonus Firestudio) in a special non-echoing recording room.

Those transferred sounds are in a wav format and in a quality of 24 bit 48 kHz. The analyses of the sounds have been done by using Wavelab 6 and ARTA softwares. In order to search their directivity attributions, instruments' sound have been recorded into eight different channels by using 8 differnet microphones in total 8 directions with Cubase 5 software and in non-echoing recording room. Each directions have been recorded into eight channels through Presonus Firestudio sound card. The collected data provides information about Kanun and Tanbur instruments' frequency intervals and behaviour, harmonic structure of their sounds, formants, sound pressure levels and their directivites. It is believed that the obtained information will contribute sound recording applications and can be used to form the instruments.

Key Words: Kanun, Tambur, Tonal characteristics, Harmonic, Frequency, envelope, Formant, Sound pressure level

İÇİNDEKİLER

BİLİMSEL ETİK SAYFASI i
DOKTORA TEZİ KABUL FORMU ii
TEŞEKKÜRLER iii
ÖZET v
SUMMARY vi
KISALTMALAR viii
TABLOLAR LİSTESİ x
ŞEKİLLER LİSTESİ xii
BİRİNCİ BÖLÜM 1
1.GİRİŞ 1
1.1.Araştırmanın Amaçları 3
1.2.Araştırmanın Önemi 4
1.3.Araştırmanın Varsayımları 4
1.4.Araştırmanın Sınırlılıkları 5
İKİNCİ BÖLÜM 6
2. SES VE ALGILANMASI 6
2.1 Sesin Oluşumu 6
2.2. Ses Dalgasının Karakteristikleri 9
2.2.1.Genlik 9
2.2.2. Frekans 10
2.2.3. Dalga Boyu ve Periyot 11
2.2.4. Ses Hızı 11
2.2.5. Faz 11
2.2.6. Harmonikler 12
2.2.7. Ses Zarfı 13
2.3. Seslerin Algılanması 14
2.3.1. İnsanın İşitme Fizyolojisi 15
2.3.2. İşitmenin Hassasiyeti 17
2.3.3. Binaural İşitme 17
2.3.4. Perde(Pitch) 18
2.3.5. Ses Yoğunluğu(Gürlük) 18
2.3.6. Tını (Timbre) 19
2.3.7. Maskeleme 19
2.3.8. Kritik Bölgeler 20
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM 21
3. ÇALGILARIN TONAL KALİTESİNİN ANALİZİ 21
DÖRDÜNCÜ BÖLÜM 26
4. YÖNTEM 26
4.1 Araştırma modeli 26
4.2. Yapılan Çalışmalar 26
4.3.Seçilen Çalgıların İncelenmesi 28
4.4. Evren ve örneklem 29
4.4.1. Kanun 29
4.4.2.Tambur 31
4.5. Verilerin toplanması ve ölçülmesinde kullanılan yazılımlar ve donanımlar 33
4.5.1. Wavelab Yazılımı 33

4.5.2. ARTA Yazılımı 34
4.5.3. TrueRTA 35
4.5.4. Cubase 36
4.5.6. Mikrofon ve Ses Kartı 37
BEŞİNCİ BÖLÜM 39
5. BULGULAR 39
5.1. Kanun Çalgısı 39
5.1.1. Kanun Çalgısının frekans Cevap Anahtarı ve Formantlar 39
5.1.2. Kanun Çalgısının Seslerinin Harmonik İçerikleri 40
5.1.2.1. Kanun Çalgısının G2(97.999 Hz.) Sesinin İncelenmesi 41
5.1.2.2. Kanun Çalgısının G3 (196.00 Hz.) Sesinin İncelenmesi 43
5.1.2.3. Kanun Çalgısının G4(392 Hz.) Sesinin İncelenmesi 46
5.1.2.4. Kanun Çalgısının G5(783.99 Hz.) Sesinin İncelenmesi 48
5.1.2.5. Kanun Çalgısının E3(164.81 Hz.) Sesinin İncelenmesi 51
5.1.2.6. Kanun Çalgısının E4(329.63 Hz.) Sesinin İncelenmesi 53
5.1.2.8. Kanun Çalgısının E6(1318.5 Hz.) Sesinin İncelenmesi 58
5.1.2.9. Kanun Çalgısının C3(130.81 Hz.) sesinin incelenmesi 60
5.1.2.10. Kanun Çalgısının C4(261.63 Hz.) sesinin incelenmesi 62
5.1.2.11. Kanun Çalgısının C5(523.25 Hz.) sesinin incelenmesi 64
5.1.2.12. Kanun Çalgısının C6(1046.5 Hz.) sesinin incelenmesi 66
5.1.2.13. Kanun çalgısının D3(146.83 Hz.) sesinin incelenmesi 68
5.1.2.14. Kanun çalgısının D4(293.66 Hz.) sesinin incelenmesi 71
5.1.2.15. Kanun çalgısının D5(587.33 Hz.) sesinin incelenmesi 73
5.1.2.16. Kanun çalgısının D6(1174.7 Hz.) sesinin incelenmesi 75
5.1.2.17. Kanun çalgısının A2(110 Hz.) sesinin incelenmesi 77
5.1.2.18. Kanun çalgısının A3(220 Hz.) sesinin incelenmesi 79
5.1.2.19. Kanun çalgısının A4(440 Hz.) sesinin incelenmesi 81
5.1.2.20. Kanun çalgısının A5(880 Hz.) sesinin incelenmesi 83
5.1.2.21. Kanun çalgısının F#3(185.00 Hz.) sesinin incelenmesi 85
5.1.2.23. Kanun çalgısının F#5(739.99 Hz.) sesinin incelenmesi 89
5.1.2.24. Kanun çalgısının B2(123.47 Hz.) sesi 91
5.1.2.25. Kanun çalgısının B3(246.94 Hz.) sesi 93
5.1.2.26. Kanun çalgısının B4(493.88 Hz.) sesi 95
5.1.2.27. Kanun çalgısının B5(987.77 Hz.) sesi 97
5.1.3. Kanun Sesinin Zaman Analizi 99
5.1.3.1. Kanun Sesinin Zaman-Frekans Analizi 103
5.1.4. Kanun Çalgısının Ses Yönelim Özellikleri 105
5.1.5. Kanun Çalgısının Ses Basınç Seviyesi 109
5.2.2.1. Tambur Çalgısının A2(110 Hz.) Sesi 112
5.2.2.6. Tambur Çalgısının F#3 (185.0 Hz.) Sesi 124
5.2.2.7. Tambur Çalgısının G3 (196.0 Hz.) Sesi 126
5.2.2.8. Tambur Çalgısının A3 (220 Hz.) Sesi 129
5.2.2.9. Tambur Çalgısının B3 (246.94 Hz.) Sesi 131
5.2.2.10. Tambur Çalgısının C4 (261.63 Hz.) Sesi 133
5.2.2.11. Tambur Çalgısının D4 (293.66 Hz.) Sesi 135
5.2.2.12. Tambur Çalgısının E4 (329.63 Hz.) Sesi 137
5.2.2.13. Tambur Çalgısının F#4 (369.99 Hz.) Sesi 139
5.2.2.14. Tambur Çalgısının G4 (392.00 Hz.) Sesi 141
5.2.2.15. Tambur Çalgısının A4 (440.0 Hz.) Sesi 143
5.2.3. Tambur Sesinin Zaman Analizi 146

5.2.3.1. Tambur Sesinin Zaman-Frekans Analizi..... 149
5.2.4. Tambur Çalgısının Ses Yönelim Özellikleri 151
ALTINCI BÖLÜM 158
6. GENEL SONUÇLAR, YORUMLAR VE ÖNERİLER 158
6.1.Kanun Çalgısı ile Yapılan Çalışmalardan Elde Edilen Sonuçlar 158
6.1.1. Frekans Cevap Anahtarı ve Formantlar 158
6.1.2. Harmonik İçerik 159
6.1.3. Kanun Seslerinin Zaman Analizi 159
6.1.4. Kanun Çalgısının Yönelim Özellikleri..... 159
6.1.5. Kanun Çalgısının Ses Basınç Seviyesi..... 160
6.1.1. Frekans Cevap Anahtarı ve Formantlar 160
6.1.2. Harmonik İçerik 161
6.1.3. Tambur Seslerinin Zaman Analizi 161
6.1.4. Tambur Çalgısının Yönelim Özellikleri..... 161
6.1.5. Tambur Çalgısının Ses Basınç Seviyesi..... 161
KAYNAKÇA 163

KISALTMALAR

dB:Desibel

Hz: Hertz

kHz: Kilohertz

SPL: Sound Pressure Level

EQ: Ekolayzer

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo-1: G2 Sesinin Harmonik Bileşenleri 41
Tablo-2: G2 Sesinin Oktav Bandları Tablosu 42
Tablo-3: G3 Sesinin Harmonik Bileşenleri 44
Tablo-4: G3 Sesinin Oktav Bandları Tablosu 45
Tablo-5: G4 Sesinin Harmonik Bileşenleri 46
Tablo-6: G4 Sesinin Oktav Bandları 47
Tablo-7: G5 Sesinin Harmonik Bileşenleri 49
Tablo-8: G5 Sesinin Oktav Bandları 50
Tablo-9: E3 Sesinin Harmonik Bileşenleri 51
Tablo-10: E3 Sesinin Oktav Bandları 52
Tablo-11: E4 Sesinin Harmonik Bileşenleri 53
Tablo-12: E4 Sesi Oktav Bandları 55
Tablo-13: E5 sesinin Harmonik Bileşenleri 56
Tablo-14: E5 sesinin Oktav Bandları 57
Tablo-15: E6 sesinin Harmonik Bileşenleri 58
Tablo-16: E6(1318.5 Hz.) oktav bandları 59
Tablo-17: C3 sesinin Harmonik Bileşenleri 60
Tablo-18: C3 (130.81 Hz.) oktav bandları 61
Tablo-19: C4 sesinin Harmonik Bileşenleri 62
Tablo-20: C4 oktav bandları 63
Tablo-21: C5 sesinin Harmonik Bileşenleri 64
Tablo-22: C5 oktav bandları 65
Tablo-23: C6 sesinin Harmonik Bileşenleri 66
Tablo-24: C6 oktav bandları 67
Tablo-25: D3 sesinin Harmonik Bileşenleri 69
Tablo-26: D3 oktav bandları 70
Tablo-28: D4 oktav bandları 72
Tablo-29: D5 sesinin Harmonik Bileşenleri 73
Tablo-30: D5 oktav bandları 74
Tablo-31: D6 Sesinin Harmonik Bileşenleri 75
Tablo-32: D6 oktav bandları 76
Tablo-33: A2 Sesinin Harmonik Bileşenleri 77
Tablo-34: A2 oktav bandları 78
Tablo-35: A3 Ssesinin Harmonik Bileşenleri 79
Tablo-36: A3 oktav bandları 80
Tablo-37: A4 sesinin Harmonik Bileşenleri 81
Tablo-38: A4 oktav bandları 82
Tablo-39: A5 sesinin Harmonik Bileşenleri 83
Tablo-40: A5 oktav bandları 84
Tablo-41: F#3 Sesinin Harmonik Bileşenleri 85
Tablo-42: F#3 oktav bandları 86
Tablo-43: F#4 sesinin Harmonik Bileşenleri 87
Tablo-44: F#4 oktav bandları 88
Tablo-45: F#5 sesinin Harmonik Bileşenleri 89
Tablo-46: F#5 oktav bandları 90
Tablo-47: B2 sesinin Harmonik Bileşenleri 91
Tablo-48: B2 oktav bandları 92

Tablo-49: B3 Ssesinin Harmonik Bileşenleri 93
Tablo-50: B3 oktav bandları 94
Tablo-51: B4 Ssesinin Harmonik Bileşenleri 95
Tablo-52: B4 oktav bandları 96
Tablo-53: B5 sesinin Harmonik Bileşenleri 97
Tablo-54: B5 oktav bandları 98
Tablo-55: Kanun Seslerinin Çıkış ve Düşüş Süreleri 100
Tablo-56: Tambur A2 Sesinin Harmonik Bileşenleri 112
Tablo-57: Tambur A2 Sesi Oktav Bandları Frekans-Kazanç Değerleri 114
Tablo-58: Tambur B2 Sesinin Harmonik Bileşenleri 115
Tablo-59: B2 Sesi Oktav Bandları Frekans-Kazanç Değerleri 116
Tablo-60: Tambur C3 Sesinin Harmonik Bileşenleri 117
Tablo-61: Kanun C3 Sesi Oktav Bandları 118
Tablo-62: Tambur Çalgısının D3Sesinin Harmonik Bileşenleri 119
Tablo-63: Tambur D3 Sesi Oktav Bandları 121
Tablo-64: Tambur E3 sesinin Harmonik Bilesenleri 122
Tablo-65: Tambur E3 Sesi Oktav Bandları Frekans-Kazanç Değerleri 123
Tablo-66: Tambur F#3 sesinin Harmonık Bilesenleri 124
Tablo-67: Tambur F#3 Sesi Oktav Bandları Frekans-Kazanç Değerleri 125
Tablo-68: Tambur G3 sesinin Harmonik Bileşenleri 127
Tablo-70: Tambur A3 Sesi Harmonık Bilesenleri 129
Tablo 71: Tambur A3 Sesi Oktav Bandları Frekans-Kazanç Değerleri 130
Tablo-72: Tambur B3 Sesi Harmonık Bilesenleri 131
Tablo-73 : Tambur B3 Sesinin Oktav Bandları ve Frekans-Kazanç Değerleri 132
Tablo-74: Tambur C4 Sesinin Bileşenleri 133
Tablo-75: Tambur C4 Sesi Oktav Bandları ve Frekans-Kazanç Değerleri 134
Tablo-76: Tambur D4 Sesinin Bileşenleri 135
Tablo-77: Tambur D4 Sesi Oktav Bandları Frekans-Kazanç Değerleri 136
Tablo-78: Tambur E4 Sesinin Bileşenleri 137
Tablo-79: Tambur E4 Sesi Oktav Bandları Frekans-Kazanç Değerleri 138
Tablo-80: Tambur F#4 Sesinin Bileşenleri 139
Tablo-81: Tambur F#4 Sesi Oktav Bandları Frekans-Kazanç Değerleri 140
Tablo-82: Tambur G4 Sesinin Bileşenleri 141
Tablo-83: Tambur G4 Sesi Oktav Bandları Frekans-Kazanç Değerleri 142
Tablo-84: Tambur A4 Sesinin Bileşenleri 143
Tablo-85: Tambur A4 Sesi Oktav Bandları Frekans-Kazanç Değerleri 145
Tablo-86: Tamburun Ses Zarfı Evrelerinin İncelenmesi 146

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil-1: Ses dalgasının yayılımında partiküllerin dairesel, boyuna ve enine hareketleri..... 7
Şekil-2: Hava moleküllerinin sıkışması ve çözülmesi 8
Şekil-3: Saf bir sinüs dalgası üzerinde dalga boyu, periyod, tepe ve rms ögelerinin gösterilmesi 10
Şekil-4: Ses dalgasının tam bir devir hareketinin oluşması 10
Şekil-5: Bir keman ve viyolaya ait sesin harmonik bileşenleri..... 12
Şekil-6: Kanun çalgısına ait bir sesin dalga şekli..... 13
Şekil-7: İnsan kulağının işitme aralığı 14
Şekil-8: Kulağın Yapısı..... 15
Şekil-9: Işitmenin Yoğunluk bölgeleri..... 17
Şekil-10: İşitme Sisteminin Eş Gürlük Eğrileri..... 19
Şekil-11: Ses Zarfının Evreleri..... 23
Şekil-12: Tamburun Ses Aralığı..... 32
Şekil-13: Wavelab 6 Yazılımından Bir Pencere 34
Şekil-14: ARTA Yazılımından Bir Pencere..... 35
Şekil-15: TrueRTA Yazılımı Ana Penceresi..... 36
Şekil-16: Cubase 5 Yazılımı Ana Penceresi 37
Şekil- 17: Earthworks M30 Ölçme mikrofonu Özellikleri..... 38
Şekil-18: Kanun Çalgısı Seslerinin Çıkıcı Gamda Dalga Şekli 39
Şekil-19: Kanun Çalgısının Frekans Spektrumu..... 40
Şekil-20: Kanun G2 Sesinin Frekans Spektrumu..... 41
Şekil-21: Kanun G2 Sesi Oktav Bandları 42
Şekil-22: Kanun G3 Sesinin Frekans Spektrumu..... 43
Şekil-23: G3 Sesinin Oktav Bandları Tablosu 45
Şekil-24: Kanun G4 Sesinin Frekans Spektrumu..... 46
Şekil-25: G4 Sesinin Oktav Bandları..... 47
Şekil-26: Kanun G5 Sesi Frekans Spektrumu..... 48
Şekil-27: G5 Sesi Oktav Bandları..... 50
Şekil-28: E3 Sesinin Frekans Spektrumu..... 51
Şekil-29: E3 Sesi Oktav Bandları..... 52
Şekil-30: E4 Sesinin Frekans Cevap Spektrumu..... 53
Şekil-31: E4 Sesi Oktav Bandları..... 54
Şekil-32: E5 Sesinin Frekans Spektrumu..... 55
Şekil-33: E5 Sesi Oktav Bandları..... 56
Şekil-34: E6 Sesinin Frekans Spektrumu..... 58
Şekil-35: E6 Sesi Oktav Bandları..... 59
Şekil-36: C3 Sesinin Frekans Spektrumu..... 60
Şekil-37: C3 Sesi Oktav Bandları 61
Şekil-38: C4 Sesinin Frekans Spektrumu..... 62
Şekil-39: C4 Sesi Oktav Bandları 63
Şekil-40: C5 Sesinin Frekans Spektrumu..... 64
Şekil-41: C5 Sesi Oktav Bandları 65
Şekil-42: C6 Sesinin Frekans Spektrumu..... 66
Şekil-43: C6 Sesi Oktav Bandları 67
Şekil-44: D3 Sesinin Frekans Spektrumu 68
Şekil-45: D3 Sesi Oktav Bandları..... 70

Şekil-46: D4 Sesinin Frekans Spektrumu 71
Şekil-47: D4 Sesi Oktav Bandları 72
Şekil-48: D5 Sesinin Frekans Spektrumu 73
Şekil-49: D5 Sesi Oktav Bandları 74
Şekil-50: D6 Sesinin Frekans Spektrumu 75
Şekil-51: D6 Sesi Oktav Bandları 76
Şekil-52: A2 Sesinin Frekans Spektrumu 77
Şekil-53: A2 Sesi Oktav Bandları 78
Şekil-54: A3 Sesinin Frekans Spektrumu 79
Şekil-55: A3 Sesi Oktav Bandları 80
Şekil-56: A4 Sesinin Frekans Spektrumu 81
Şekil-57: A4 Sesi Oktav Bandları 82
Şekil-58: A5 Sesinin Frekans Spektrumu 83
Şekil-59: A5 Sesi Oktav Bandları 84
Şekil-60: F#3 Sesinin Frekans Spektrumu 85
Şekil-61: F#3 Sesi Oktav Bandları 86
Şekil-62: F#4 Sesinin Frekans Spektrumu 87
Şekil-63: F#4 Sesi Oktav Bandları 88
Şekil-64: F#5 Sesinin Frekans Spektrumu 89
Şekil-65: F#5 Sesi Oktav Bandları 90
Şekil-66: B2 Sesinin Frekans Spektrumu 91
Şekil-67: B2 Sesi Oktav Bandları 92
Şekil-68: B3 Sesinin Frekans Spektrumu 93
Şekil-69: B3 Sesi Oktav Bandları 94
Şekil-70: B4 Sesinin Frekans Spektrumu 95
Şekil-71: B4 Sesi Oktav Bandları 96
Şekil-72: B5 Sesinin Frekans Spektrumu 97
Şekil-73: B5 Sesi Oktav Bandları 98
Şekil-74: Kanun Çalgısının G2 Sesinin Dalga Şekli 99
Şekil-75: Kanun Çalgısında G2 sesinin çıkış(attack) evresi 101
Şekil-76: Kanun çalgısında G2 sesinin İlk düşüş(decay) evresi 101
Şekil-77: Kanun Çalgısında G2 sesinin Tutunma(sustain) Evresi 102
Şekil-78: Kanun çalgısında G2 sesinin sönüş(release) evresi 102
Şekil-79: Kanun G2, A4 ve E6 Seslerinin Zaman-Frekans Karakteristiği 104
Şekil-80: Kanun A2 Sesinin 60 ms. İçerisindeki Frekans Spektrumu 105
Şekil- 81: Kanun Çalgısı 125 Hz. ve 160 Hz. Frekanslarının Yönel Özelliği 106
Şekil- 82: Kanun Çalgısı 200 Hz. ve 250 Hz. Frekanslarının Yönel Özelliği 106
Şekil- 83: Kanun Çalgısı 315 Hz. ve 400 Hz. Frekanslarının Yönel Özelliği 107
Şekil- 84: Kanun Çalgısı 500 Hz. ve 630 Hz. Frekanslarının Yönel Özelliği 107
Şekil- 85: Kanun Çalgısı 800 Hz. ve 1000 Hz. Frekanslarının Yönel Özelliği 108
Şekil- 86: Kanun Çalgısının Yönelgenlik Sonogramı 108
Şekil-87: Kanun G2, C4 ve E6 Sesleri Ses Basınç Seviyeleri 109
Şekil-88: Tambur Çalgısının Frekans Cevap Anahtarı 111
Şekil-89: Tambur'da Çıkıcı Gam Dalga Şekli(A2-A4 arası) 111
Şekil-90: Tambur A2 Sesi Frekans Spektrumu 112
Şekil-91: Tambur A2 Sesi Oktav Bandları 113
Şekil-92: Tambur B2 Sesi Frekans Spektrumu 114
Şekil-93: Tambur B2 Sesi Oktav Bandları 116
Şekil-94: Tambur C3 Sesi Frekans Spektrumu 117
Şekil-95: Kanun C3 Oktav Bandlari 118

Şekil-96:Tambur Çalgısının D3Sesinin Frekans Spektrumu 119
Şekil 97: Tambur D3 Oktav Bandları 120
Şekil-98: Tambur Çalgısının E3 Sesinin Frekans Spektrumu 121
Şekil-99: Tambur E3 Sesi Oktav Bandları 123
Şekil-100: Tambur Çalgısının F#3 Sesinin Frekans Spektrumu 124
Şekil-101: Tambur F#3 Sesi Oktav Bandları 125
Şekil-102: . Tambur G3 Sesi Frekans Spektrumu 126
Şekil-103: Tambur G3 Sesi Oktav Bandları 128
Şekil-104 : Tambur A3 Sesi Frekans Spektrumu 129
Şekil-105: Tambur A3 Sesi Oktav Bandları 130
Şekil-106: Tambur B3 Sesi Frekans Spektrumu 131
Şekil-107: Tambur B3 Sesinin Oktav Bandları 132
Şekil-108: Tambur C4 Sesinin Frekans Spektrumu 133
Şekil-109: Tambur C4 Sesinin Oktav Bandları 134
Şekil-110: Tambur D4 Sesi Frekans Spektrumu 135
Şekil-111: Kanun D4 Sesi Oktav Bandları 136
Şekil-112: Tambur E4 Sesinin Frekans Spektrumu 137
Şekil-113: Tambur E4 Sesi Oktav Bandları 138
Şekil-114: Tambur F#4 Sesinin Frekans Spektrumu 139
Şekil-115: Tambur F#4 Sesi Oktav Bandları 140
Şekil-116: Tambur G4 Sesi Frekans Spektrumu 141
Şekil-117: Tambur G4 Sesi Oktav Bandları 142
Şekil-118: Tambur A4 Sesi Frekans Spektrumu 143
Şekil-119: Tambur A4 Sesi Oktav Bandları 145
Şekil-120: Tambur E3 Sesi Dalga Şekli 146
Şekil-121: Tambur Çalgısında Ses Zarfı(Envelop)'nın Çıkış ve Düşüş Evresi 148
Şekil-122: Tambur A2, E3, A4 Seslerinin Zaman-Frekans Spektrumları 150
Şekil-123: Tambur 125 Hz. ve 160 Hz. Frekanslarının Yönel Özelliği 153
Şekil-124: Tambur 200 Hz. ve 250 Hz. Frekanslarının Yönel Özelliği 153
Şekil-125: Tambur 315 Hz. ve 400 Hz. Frekanslarının Yönel Özelliği 153
Şekil-126: Tambur 500 Hz. ve 600 Hz. Frekanslarının Yönel Özelliği 154
Şekil-127: Tambur 800 Hz. ve 1000 Hz. Frekanslarının Yönel Özelliği 154
Şekil-128: Tambur Çalgısının Frekans Yönelim Sonogramı 155
Şekil-129: Tambur A2 Sesi Oktav Bandları Ses Basınç Seviyeleri 155
Şekil-130: Tambur A4 Sesi Oktav Bandları Ses Basınç Seviyeleri 156
Şekil-131: Tambur Ahenk Teli Sesi Oktav Bandları Ses Basınç Seviyeleri 157

BİRİNCİ BÖLÜM

1.GİRİŞ

Müzikal sesler kendi karmaşıklıkları içerisinde çok değişkendirler. Örneğin bu sesler tek bir çalgının veya insan sesinin sinüs dalgasına yakın, daha basit bir yapıda olabileceği gibi, senfonik bir orkestranın karmaşık ses yapısı şeklinde olabilirler. Bütün çalgı ve insan seslerinin, her bir nota için değişik bir tonal yapıya sahip olduğu bilinmektedir. Müzikal bir ses içerisinde, tek bir frekansa sahip basit seslerin aksine, farklı birçok frekans bulunabilir. Temel frekans ve onun düzenli katlarından oluşan frekanslara harmonikler denilmektedir. Harmonik yapı, çalgının ses rengini belirleyen en önemli ögelerdendir. Harmonik içerik, bir çalgının gövdesinin şekline, büyüklüğüne, kullanılan ağacın türüne ve durumuna, hatta cilasına bağlı olarak o çalgıya özgü bir şekilde oluşacaktır. Ses rengi ve tınısı beğenilen birçok keman arasından, bazılarının neden çok daha kaliteli oldukları, tam olarak çözülebilmiş değildir (Everest, 2001).

Kaliteli bir çalgıdan beklenen, kendi ses aralığındaki tüm frekansları dengeli ve olabildiğince güçlü bir şekilde üretebilmesidir. Fakat çalgıların doğal yapılarından da kaynaklanabilecek nedenlerden dolayı, çalgıların kendi ses aralıklarındaki bazı bölgelerde, ses düzeylerinde ani iniş ve çıkışlar olduğu bilinmektedir. Dünyada birçok sanatçı, gerek konserlerinde gerekse stüdyo kayıtlarında, olabildiğince dengeli ve güçlü ses üretebilen çalgıları tercih etmektedirler. Benzer biçimde ülkemizde de, klasik Türk müziği çalgı icrası yapan müzisyenlere baktığımızda, onların da konser ve kayıtlarında, herkesin elinde olmayan, özel yapım çalgılar kullandıkları görülmektedir.

Kayıtta özel fikirlerin gerçekleştirilmesi ve uygun kayıtlar yapabilmek için, özellikle insan sesi, müzik aletleri ve müzik aleti topluluklarının akustik özelliklerinin bilinmesi, temel bir gereksinimdir (Dickreiter, 1984).

Ses ve müzik teknolojileri, son yıllarda ülkemizde müzik alanında adını sıkça duymaya başladığımız, ses ve müziğin teknolojik boyutlarını kapsayan bir bilim dalı olarak karşımıza çıkmaktadır. Üniversitelerde “Tonmeister” veya kayıt mühendisi yetiştirmek üzere, ses ve müzik teknolojileri bölümleri açılmış, müzik eğitimi veren birimlerde “ses ve müzik

teknolojileri" adı altında müzik yapımının teknolojik boyutlarının anlatıldığı dersler, akademik programlara girmeye başlamıştır. Ses kayıt teknik ve teknolojileri ile müzik aletleri akustiği**,** bu derslerin en temel konularından ikisidir. Günümüzde teknolojinin müziğin her aşamasına girmesi ve ilgili işlemleri hızlandırması, teknolojinin her alanda olduğu gibi müzik alanında da belirleyici rolünü devam ettirmektedir.

Müzik aletlerinin frekans aralıkları, temel frekans ve harmonikleri, "formant" ları, ses basınç seviyeleri, yönelme özellikleri gibi çalgının tonal karakteristiklerine ilişkin bilgiler, ses ve müzik teknolojileri ile çalgı yapımı (organoloji) alanlarının konularındandır. Çalgıların tonal karakteristiklerine ilişkin bu bilgilerin bilinmesi, gerek müzik aletlerinin seslerinin kaydedilmesinde gerekse konser seslendirmelerinde, kayıt mühendisi veya "Tonmeister" ın, iyi bir kayıt ve konser sesi elde edebilmesi için önemlidir. Ayrıca bu bilgiler standart çalgı yapımına katkı sağlayacaktır. Bu bilgiler ışığında en iyi ve en doğal sesin elde edilmeye çalışılması ve standart çalgılar yapılması hedeflenmektedir. Bu bağlamda çalgıların tonal kalitelerini belirleyecek olan tonal karakteristiklerinin belirlenmesi fazlasıyla önem arz etmektedir.

Konuyla ilgili birçok kaynakta, farklı müzik türlerinde kullanılan müzik aletlerinin akustik özelliklerine ait bilgiler mevcuttur. Fakat klasik Türk müziği çalgılarına ait benzer bilgiler çok sınırlıdır veya hemen hemen yoktur. Elde edilecek bu bilgilerin Türk müziği çalgı literatürüne sağlayacağı katkıların yanı sıra, bu tür çalgılarda bir standartlaşmaya da yol açabilecektir. Böylelikle, standart olmayan ya da standart dışı çalgı üretimi engellenerek, kültürel mirasımız korunacaktır.

Bu araştırmanın konusu, klasik Türk müziği çalgılarından kanun ve tamburun frekans aralıkları, seslerinin temel frekans ve harmonikleri, "formant"ları, ses basınç seviyeleri ve yönelme özelliklerinin belirlenmesidir.

1.1.Araştırmanın Amaçları

Bu çalışmanın genel amacı, telli klasik Türk müziği çalgılarından kanun ve tamburun tonal karakteristiklerini belirlemektir.

Telli klasik Türk müziği çalgılarından kanun çalgısının tonal karakteristiklerini belirlemek:

1) Telli klasik Türk müziği çalgılarından kanun çalgısının frekans cevap anahtarı nedir?

2) Telli klasik Türk müziği çalgılarından kanun çalgısının harmonik içeriğinini belirlenmesi
3) Telli klasik Türk müziği çalgılarından kanun çalgısının formantlarının belirlnemesi.

4) Telli klasik Türk müziği çalgılarından kanun çalgısının zaman analizinin yapılması
5) Telli klasik Türk müziği çalgılarından kanun çalgısının yönelim özeliklerinin belirlenmesi
6) Telli klasik Türk müziği çalgılarından kanun çalgısının ses basınç seviyelerinin belirlenmesi

Telli klasik Türk müziği çalgılarından tambur çalgısının tonal karakteristiklerini belirlemektir

1) Telli klasik Türk müziği çalgılarından tambur çalgısının frekans cevap anahtarı nedir?

2) Telli klasik Türk müziği çalgılarından tambur çalgısının harmonik içeriğinini belirlenmesi

3) Telli klasik Türk müziği çalgılarından tambur çalgısının formantlarının belirlenmesi.

4) Telli klasik Türk müziği çalgılarından tambur çalgısının zaman analizinin yapılması

5) Telli klasik Türk müziği çalgılarından tambur çalgısının yönelim özeliklerinin belirlenmesi

6) Telli klasik Türk müziği çalgılarından tambur çalgısının ses basınç seviyelerinin belirlenmesi

1.2.Araştırmanın Önemi

Yukarıda da bahsedildiği gibi, bu alanda literatüre girmiş, Türk müziği çalgılarının tonal karakteristiklerine yönelik yeterli düzeyde çalışmalar olmadığından, yapılan bu çalışma klasik Türk müziği çalgılarının akustik özelliklerinin belirlenmesi, bunun sonucunda da ses kayıt mühendisliği veya "tonmeister"lik alanları ile çalgı yapım alanına sağlayacağı standartlar bakımından önem arz etmektedir. Bu çalışmanın, Türk müziği çalgıları ile veya bu çalgıların da içinde bulunduğu müzik toplulukları ile gerçekleştirilecek kayıt, konser seslendirme ve radyo-tv programları gibi her tür müzik yapım projesine, Türk müziği çalgı yapım alanına, teknik olarak önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir. Akustik çalgılarla gerçekleştirilen gerek kayıt gerekse konser seslendirmelerinde, çalgıların doğal seslerine yakın tonlar elde edilmesi esastır. Bunu sağlayabilmek için çalgıların akustik özelliklerinin bilinmesi gerekir. Bu nedenlerle, yapılması düşünülen "Klasik Türk Müziği Çalgılarından Kanun ve Tamburun Tonal Karakteristiklerinin Belirlenmesi " isimli çalışma, sonuçları bakımından önem arz etmektedir.

1.3. Varsayımlar

1- Seçilen araştırma yönteminin, kullanılacak çalgı, yazılım ve donanımın araştırma için geçerli ve güvenilir olduğu,
2- Kayıt yapılacak ortamın ideal olduğu,
3- Çalgıların kayıtlarında çalacak icracıların yeterli düzeyde çalgılarına hakim oldukları,
4- Çalgı seçim jürisinin, çalgının tonal kalitesini belirleyecek, yeterli düzeyde değerlendirme yetisine sahip olduğu varsayılmaktadır.

1.4. Sınırlılıklar

1- Bu çalışmada çalgıların frekans yönelimi incelemelerinde 125 ile 1000 Hz. Arasındaki frekanslar dikkate alınmıştır.
2- Bu çalışmada klasik Türk müziği çalgılarının doğal sesleri(diyez, bemol, koma olmayan sesler) kaydedilerek frekans, "formant", ses yönelim ve akustik güç gibi fiziksel özellikleri incelenecektir. Yarım ve komalı sesler dikkate alınmamıştır.
3- Bu çalışma, tez projesine ayrılan bütçe ile sınırlıdır.
4- Kemençe ve rebab çalgıları ile yapılacak olan çalışmalar, yeterli sayıda kemençe ve rebab çalgısına ulaşılamadığından gerçekleştirilememiş, ud çalgısı ise perdesiz olmasından dolayı örneklem olarak alınmamıştır.

İKİNCİ BÖLÜM

2. SES VE ALGILANMASI

2.1 Sesin Oluşumu

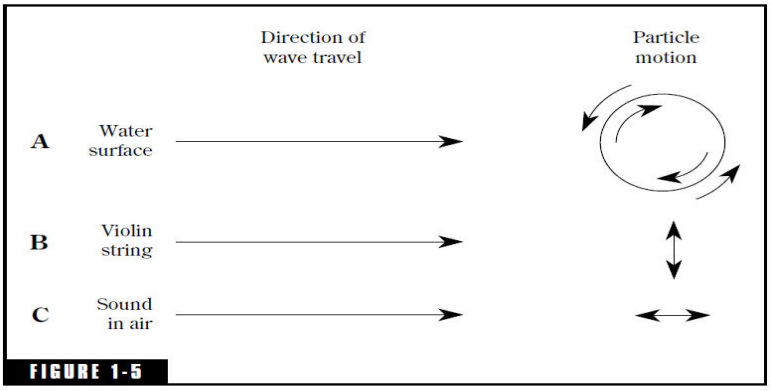
Bu bölümde sesin oluşumu hakkında genel bilgiler verilip bu bilgiler ışığında müzik biliminin fiziksel temelleri ortaya konulmaya çalışılacaktır. Bu temel bilgilerin ele alınması, bu çalışmanın anlaşılabilirliğini sağlaması açısından gereklidir.

Öncelikle müzik fiziğinin en temel ögesi olan sesin varlığından söz edebilmek için, kulağı uyarabilecek nitelikte bir ses kaynağına, bu kaynaktan çıkan titreşimleri kulağımıza kesintisiz ve yeterli şiddette ileten iletici bir ortama ve bu titreşimleri değerlendirecek bir alıcıya gerek vardır (Zeren, 1995).

Kulağı uyaran etkenler her zaman yinelenen (periyotlu) bir hareket sonucu oluşurlar. Bir cismin konumunun bir referans cismine veya noktasına göre değişmesine hareket deniyor. Hareket eden cismin boyutları, referans cismine veya hareketin oluştuğu uzay parçasına göre çok küçük sayılabiliyorsa, bu cismi uzayda hareket eden bir nokta olarak düşünebiliriz. Noktalar uzayda üç, iki ya da bir boyutlu, herhangi bir yinelenen hareket yapabilir. Hareket ne kadar karışıksa, o hareketin sonucu olarak oluşan uyarıcı etkenler ve bu etkenlerin uyarısıyla algıladığımız sesler de o kadar karışık olur. Çok karışık seslere gürültü diyoruz. Yuvarlanan bir kaya parçasının veya yıldırım düşmesi sırasında karmaşık hareketler yapan hava kütlelerinin oluşturduğu sesler birer gürültüdür. Çalgılarımızdaki tellerin, hava sütunlarının, çubukların hareketinden doğan müzik sesleri ise gürültülere göre çok daha basit yapıdadır. Ama yine de en basit sesler değildir. En basit sesler bir cismin bir boyut üzerinde yaptığı yinelenen hareketten doğmalıdır. Doğada basit ses oluşmaz. Ancak bir ses çatalından veya bir elektronik osilatörden böyle basit sesler elde edebiliriz. Bu en basit seslerin oluşumlarını ve yapılarını inceleyerek, daha karışık olan müzik seslerinin ve daha da karışık olan gürültülerin yapılarını anlayabiliriz. Çünkü en karmaşık bir ses bile çeşitli basit seslerin bir bileşkesidir; basit seslere ayrılabilir ve bu basit sesleri birleştirerek yeniden oluşturulabilir (Zeren, 1995: 13). Sonuç olarak titreşen bir kütle ve bu titreşimlerin harekete geçirdiği hava molekülleri ses dalgalarını oluşturur ve kulağımıza ulaşan bu titreşimleri beynimiz ses olarak algılar.

Ses farklı iletici ortamlarda farklı dalga şekilleri oluşturur. Hava, gaz ve sıvı ortamlarda boyuna dalgalar şeklinde hareket ederken katı iletici ortamlarda boyuna dalgalar yanında enine dalgalar da gözlemlenir. Bu nedenle katılarda oluşan dalgalar genellikle karmaşık dalga şekillerine sahiptir. Ses dalgalarını bir havuza taş attığımızda oluşan su yüzeyindeki dalgalara benzetebiliriz. Burada su yüzeyindeki dalgalar taşın çarptığı noktadan uzağa doğru hareket halindedir. Benzer şekilde havadaki ses basınç dalgaları da, ses kaynağından uzaklaşarak hareket ederler. Bu benzer iki durum arasındaki tek fark, ses basınç dalgalarının dışarı doğru, üç boyutlu küresel bir düzlemde yayılmasıdır.

Şekil-1: Ses dalgasının yayılımında partiküllerin dairesel, boyuna ve enine hareketleri

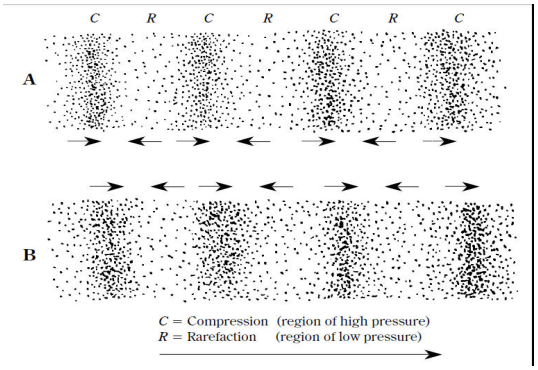


Particles involved in the propagation of sound waves can dance in circular, transverse, or longitudinal motions.

(Everest, 2001:6)

Hava içerisindeki ses dalgaları sıkışma ve çözülme bölgelerinden oluşur. Titreşen bir kütlenin etkilediği hava molekülleri sütunlar halinde sıkışıp çözülerek, birbirlerini etkilemek suretiyle titreşimleri algılayıcıya ulaştırırlar. Burada esas olan referans hava basıncında oluşan değişimlerdir ki, basınçtaki bu değişimler sesi oluşturur. Titreşen bir kütle atmosferik basınçta periyodik değişimlere neden olur ve kulağımıza ulaşan bu değişimler ses olarak algılanır. Ses, kulağımıza barometre ile ölçülebilen, atmosferik basınçtaki periyodik değişimler şeklinde gelir. Ses olarak isimlendirdiğimiz bu basınç değişimleri, bir barometre üzerinde gözlenebilen, oldukça küçük değerlerdedir ve oldukça hızlı gerçekleşmektedir.

Şekil-2: Hava moleküllerinin sıkışması ve çözülmesi



(Everest, 2001:7)

Artan hava basıncıyla oluşan daha büyük yoğunluktaki bölgeler ile azalan hava basıncının oluşturduğu daha az yoğunluktaki bölgeler (sıkışma ve çözülme bölgeleri) tüm hareket boyunca aynı hızda (ses hızında) birbirini izler. Titreşen moleküller, yalnızca ileri-geri titreşirler. Bu nedenle ses dalgası hava moleküllerini taşımaz fakat titreşen hava moleküllerinin komşu molekülleri harekete geçirmesiyle enerji, ses enerjisi taşınır.

Örneğin, titreşen bir cisim, bir gitar teli, bir insanın ses teli veya bir hoparlör, normal konumundan dışarıya doğru hareket ederek, hava moleküllerini zorlayarak ses kaynağından uzakta bir bölgeye sıkıştırır. Böylece normal atmosferik basınçtan daha yüksek bir basınç değerine sahip sıkışma bölgeleri oluşur. Yine aynı şekilde titreşen kütlenin veya cismin normal durumundan içeri doğru hareket etmesiyle de, normal basınç seviyesinden daha düşük seviyede basınç değerine sahip çözülme bölgeleri oluşur. Titreşen bir gövdenin içeri ve dışarı doğru hareketlerinin yinelenmesiyle, normal basınç seviyesinden daha düşük ve daha yüksek sıkışma bölgeleri oluşur. Yüksek basınç bölgeleri ses dalgasının kaynaktan dışarı doğru hareket etmesine neden olacaktır. Burada ilginç ve önemli olan şey, hava molekülleri hava içerisinde ses hızıyla hareket etmezler. Yalnızca ses dalgasının kendisi, yüksek basınç sıkışma dalgası şeklinde, düşük basınç bölgelerine karşı baskı yapmaya devam ederek, atmosfer boyunca hareket eder. (Huber, Runstein, 2005:56) Ses dalgasının şekli veya dalga şekli, esas olarak, zaman içerisinde ve belirli bir ortam boyunca hareket eden ses basınç veya voltaj seviyesinin, grafik olarak gösterilmesidir.

Ses oluşumu ve dalga hareketiyle ilgili temel bilgiler, konunun anlaşılabilmesi için bu bölümde örneklerle ele alınmıştır. Araştırmanın amacı Türk müziği çalgılarının tonal

karakteristiklerini belirlemek olduğuna göre bir ses dalgasının oluşumu ve karakteristiklerinin bilinmesi önemlidir.

2.2. Ses Dalgasının Karakteristikleri

Sesin temel özellikleri olan genlik, frekans, dalga boyu, periyod, ses hızı, faz, harmonik içerik, ses zarfı konuları bu bölümde anlatılacaktır. Bu karakteristikler bir ses dalgasının diğerinden ayırt edilmesini sağlarlar.

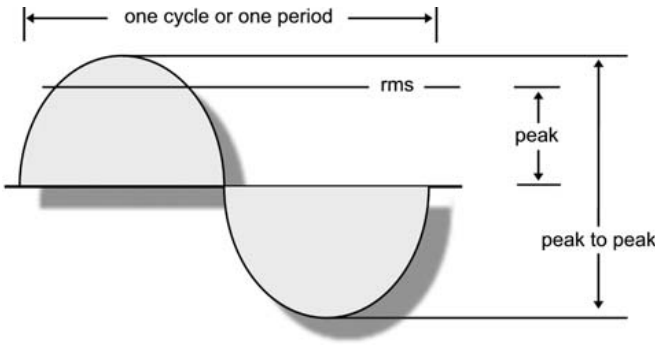
2.2.1.Genlik

Bir ses dalgasının veya dalga şeklinin merkez çizgisinden yukarıya ve aşağıya olan uzaklığıdır. Örneğin, şekil 3 de bir saf sinüs dalgasında görüldüğü gibi referans çizgisinin altındaki ve üstündeki mesafe genlik olarak isimlendirilir. Başka bir deyişle genlik, sıkışma ve gevşeme bölgelerinin referans seviyesine göre uzaklığını ve konumunu ifade eder. Referans seviyesine göre daha büyük mesafe ve hareket, ortam boyunca daha yoğun basınç değişimi, daha yoğun elektriksel sinyal seviyesi değişimi, daha yoğun fiziksel yer değiştirme anlamına gelecektir.

Merkez çizgisine olan uzaklık arttıkça ortamdaki basınç değişimi, elektirik sinyal seviyesi veya fiziksel hareket daha şiddetli olacaktır. Bir dalga şekli üzerindeki pozitif ve negatif maximum uzaklıktaki noktalara tepe değeri denir. Pozitif ve negatif tepe noktaları arasındaki toplam mesafe ise tepeden tepeye genlik değeri denir. RMS (root mean sequare) değeri ise zaman içerisinde oluşan dalga şekline anlamlı ortalama bir genlik değeri tanımlamak için oluşturulmuştur. (Huber, Runstein, 2005:37)

rms voltajı = 0.707 x tepe voltaj değeri,
tepe voltaj değeri = 1.414 x rms voltaj değeri

Şekil-3: Saf bir sinüs dalgası üzerinde dalga boyu, periyod, tepe ve rms ögelerinin gösterilmesi

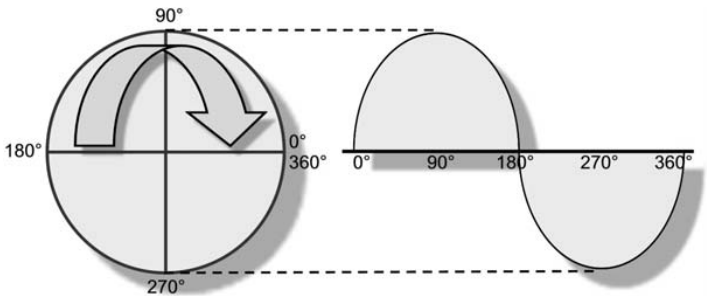


(Huber, Runstein, 2005:56)

2.2.2. Frekans

Frekans, titreşen hava moleküllerinin saniyedeki devir sayısıdır. Titreşen bir kütlede, bir elektrik sinyali veya bir akustik jeneratörde, pozitif ve negatif genliğin oluşturduğu tam devir yinelenerek devam eder. 1 saniye içerisinde oluşan bu tam devirlerin sayısı frekansı verir. Aşağıdaki şekilde saf sinüs eğrisi şeklinde bir ses dalgası görülmektedir.

Şekil-4: Ses dalgasının tam bir devir hareketinin oluşması



(Huber, Runstein, 2005:56)

2.2.3. Dalga Boyu ve Periyot

Frekansı oluşturan tam bir devir hareketinin başlangıç ve bitiş noktası arasındaki uzaklıktır. λ Sembolü ile gösterilir. Zeren (1995) dalga boyunu bir titreşimin tamamlanması sürecinde (yani 1 periyotluk süre içinde) dalganın ortamda aldığı yol olarak tanımlamaktadır. Periyot ise tam bir devir hareketinin oluşması için geçen süre olarak tanımlanır (bkz.şekil 3).

Dalga boyu (λ) = Ses hızı (V) / Frekans (f)
Periyot (T) = 1 / Frekans (f)

2.2.4. Ses Hızı

Dalga hızı bir dalganın ortamda aldığı yolun, o yolu almak için harcanan zamana oranıdır. Dalganın birim zamanda aldığı yoldur. Hız = Alınan yol / Harcanan zaman
Bir ses dalgasının hızı havada 20 santigrad derece ısıda saniyede ortalama 344 metre veya 1130 feet olarak belirlenmiştir. Her 1 santigrad derecelik ısı artışı için, ses hızı yaklaşık 0.60 metre artmaktadır. Ses hızı katı, sıvı ve gaz şeklinde olabilen iletici ortamın özelliklerine göre farklılık göstermektedir (Zeren, 1995).

2.2.5. Faz

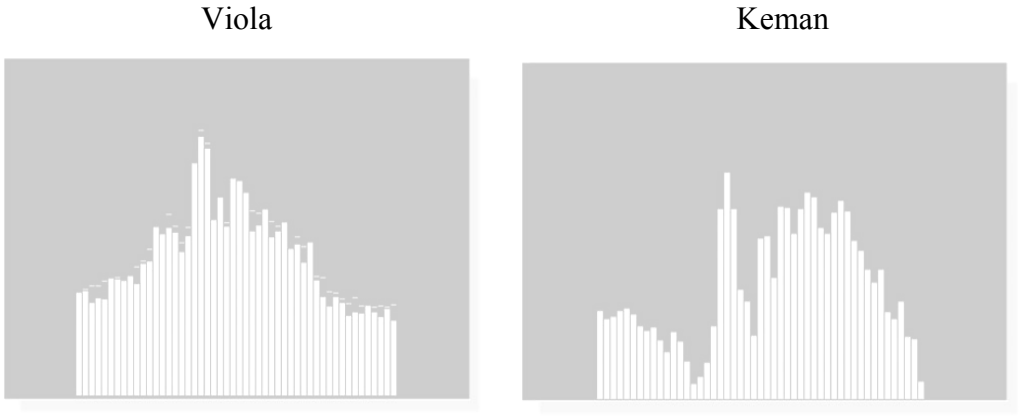
Bir ses dalgasının oluşumunda dairesel hareket veya devir genlik-zaman ekseninde herhangi bir noktadan başlayabilir ve bu oluşan sese ait, zaman içerisinde farklı noktalarda farklı genliğe sahip dalga şekilleri bunu takip eder. Fazı, aynı frekans ve genlikte fakat dairesel periyodları farklı zamanlarda başlayan iki saf sinüs dalgası üzerinde açıklayacak olursak, bu iki dalga şeklinin birbirlerinden farklı fazlarda olduğunu söyleyebiliriz. Başka bir deyişle birbirlerine göre farklı zamanlarda oluşan iki veya daha fazla dalga şekli arasındaki gecikme faz olarak tanımlanır. Fazdaki değişim derece (°) ile ifade edilir (Huber, Runstein, 2005).

2.2.6. Harmonikler

Yukarıdaki örneklerde geçen saf sinüs eğrisi biçimindeki dalga şekilleri tek bir frekanstan oluşur. Konuların daha anlaşılabilir olması açısından şekil ve tanımlamalarda çoğunlukla o kullanılır. Fakat doğada tek bir frekansa sahip dalga şekli yok denecek kadar azdır. Örneğin müzik aletleri nadiren saf sinüs dalgası üretirler. Eğer böyle olmasaydı, tüm çalgılar aynı sesi çıkarırlar, çalgıların kendilerine özgü sesleri-tınıları oluşmazdı. Bir çalgının üretmiş olduğu herhangi bir ses veya nota, temel bir frekans (F) ve bu temel frekansın 2(F), 3(F), 4(F)… şeklinde devam eden üst bölümlerinden (Upper partials-overtones) oluşur. Temel frekansın katları şeklinde oluşan bu üst frekanslara harmonikler denilmektedir. Ziller, ksilofonlar ve perküsyon çalgılardan bazıları, harmonik yapıları bakımından temel frekansın katları şeklinde oluşan düzenli bir harmonik yapıya sahip değillerdir. Kulak, sesleri müzikal oktav dediğimiz temel frekansın katları şeklinde algılar. Aşagıdaki örnek 100 Hz. lik temel frekansa sahip bir sesin 1,2,3,…n katı şeklinde devam eden harmonik bileşenlerini göstermektedir.

Temel frekans	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8. Harmonik
100 Hz	200	300	400	500	600	700	800 Hz.

Şekil-5: Bir keman ve viyolaya ait sesin harmonik bileşenleri



(Huber, Runstein, 2005)

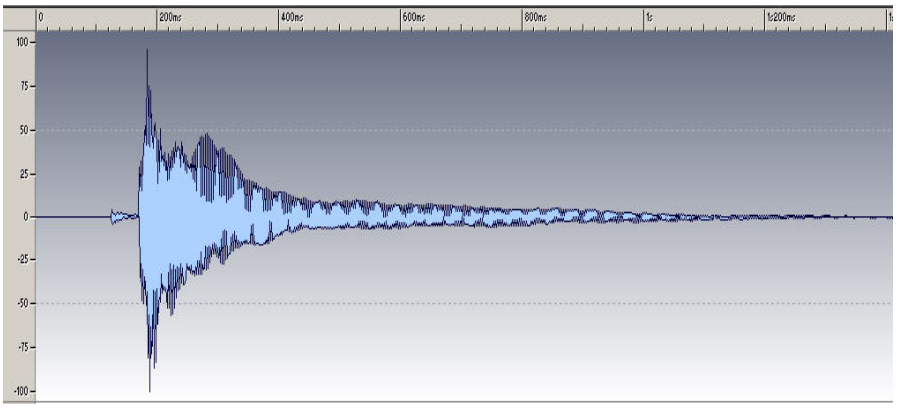
Yukarıdaki harmonik bileşenlerin gösterildiği keman ve viyolaya ait şekillerde görülmektedir ki, her çalgının kendine özgü harmonik yapısı vardır. Bir çalgının karakteristik sesini belirleyen harmonikler ve bu harmoniklerin bağıl güçleri, çalgının ses rengini(Timbre)

oluşturur. Bir çalgının harmonik dengesini değiştirirsek, çalgının kendine özgü ses karakteri değişecektir. Örneğin bir kemanın üst harmoniklerini seviye olarak azaltırsak, keman viola gibi ses verecektir.

2.2.7. Ses Zarfı

Bir sesin kendine özgü ses rengi, tınısı o sesi tanımlamamızda kendi başına yeterli değildir. Her sese ait ses zarfı da, bu tanımlamada dikkate alınması gereken bir özelliktir. Ses zarfı, bir ses dalgasının genliğinin zaman içerisindeki değişimini ifade eder. Çıkış, devamlılık ve düşüş olmak üzere üç evreden oluşur. Bazı kaynaklarda ise çıkış, ilk düşüş, yarı kararlı hal ve sönüş olmak üzere dört evreden oluşur. Sesleri birbirinden ayırt etmemizi sağlayan, sesin temel özelliklerinden birisidir. Aşağıdaki şekilde sesin çıkış süresi yaklaşık 25 ms., ilk düşüş 20 ms., yarıkararlı evre 100 ms. ve sönüş evresi ise 3.5 saniye civarındadır.

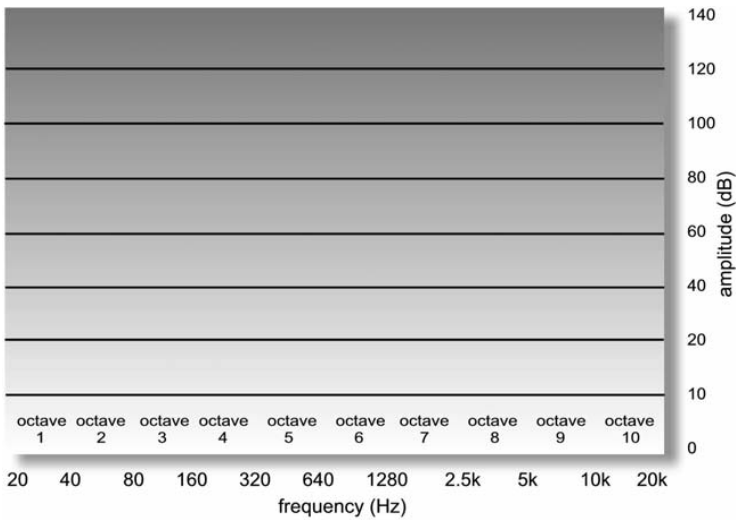
Şekil-6: Kanun çalgısına ait bir sesin dalga şekli



2.3. Seslerin Algılanması

Çevremizde, farklı ses kaynaklarından çıkan çeşitli frekans ve genlikte birçok ses dalgası oluşmaktadır. Bu ses dalgalarından, işitme sistemimiz yaklaşık 15-20 Hz. ile 15000-20000 Hz. arasındaki titreşimleri yeterli genlikte iseler duyabilmektedir. Aşağıdaki şekil işitme sistemimizin duyarlı olduğu frekans aralığını göstermektedir ve bu aralık 10 oktavdan oluşmaktadır. Bu aralıktaki tüm frekanslara işitme sistemimiz eşit hassasiyette değildir. Bir sesin algılanabilmesi için belirli bir enerjiye sahip olması gerekir. Bu sınır işitme eşiği denilen 0 dB SPL ile acı duyma eşiği olan 140 dB SPL arasındadır.(Zeren,1995)

Şekil-7: İnsan kulağının işitme aralığı



(Huber, Runstein, 2005)

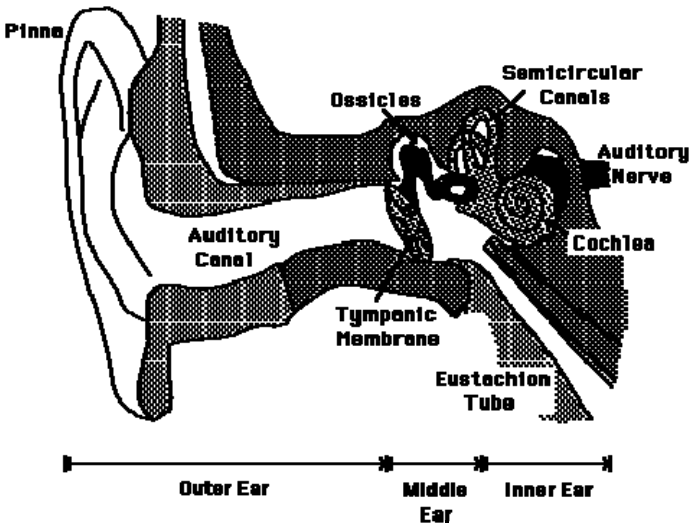
Psikoakustik, duyduğumuz, işittiğimiz her şeye karşı subjektif (nesnel) tepkimizi açıklayan ve inceleyen bilim dalıdır. Akustikle ilgili konularda, temel konusu sese verdiğimiz tepki olması nedeniyle, psikoakustik en son hakemdir. Psikoakustik, akustik uyarıcılar ve onları çevreleyen tüm bilimsel, nesnel ve fiziksel özellikler ile onların neden olduğu fiziksel ve psikolojik tepkiler arasındaki ilişkiyi araştırır. Psikoakustik, akustik ses sinyalleri ile, işitme sistemi fizyolojisi ve sese karşı psikolojik algılama, insanların işitme ile ilgili davranışsal tepkilerini açıklamak için, insan işitme duyusunun yeteneği , sınırları ve beyinde oluşan işitsel karmaşık süreç arasında ilgi kurmaya çalışır. İşitme, sesin yoğunluğuna, frekansına, zamana bağlı karakteristiklerine (ki bunlar işitme sistemimizin ip uçlarını bulup,

aynı anda çevremizde oluşan birçok bağımsız sesin mesafe, yön, yoğunluk, perde ve tonunu belirlemesini sağlar), fiziksel özelliklerine davranışsal tepkileri kapsar.

2.3.1. İnsanın İşitme Fizyolojisi

İnsan kulağı üç ana bölümden oluşur: gelen hava titreşimlerini güçlendiren dış kulak, bu titreşimleri mekanik titreşimlere dönüştüren orta kulak, ve bu mekanik titreşimleri filtre ederek hidrodinamik ve elektro-kimyasal titreşimlere dönüştüren iç kulak. Sonuç olarak bu elektro-kimyasal sinyaller sinirler aracılığıyla beyne gönderilir. Bu üç ana bölüm ortak bir şekilde işitme sistemi olarak tanımlanır.

Şekil-8: Kulağın Yapısı



(Huber, Runstein, 2005)

Dış ve orta kulak, kaynağından yayılan ses enerjisinin "preamplifier" ı gibi, işitme olayının hassasiyetini artırır. Dış kulaktaki pinna, işitme kanalının aldığından daha çok dalga yakalar ve daha çok ses enerjisini güçlendirir. İşitme kanalı, 2-5 kHz. Arasındaki sinyalleri güçlendiren, yarı kapalı bir tüp resonatör gibi çalışır.

Orta kulağın içindeki kulak zarı, işitme kanalından gelen titreşimleri alır ve onları küçük kemikler (ossicles) boyunca iç kulağa bağlantıyı sağlayan oval pencereye (oval window) aktarır. Küçük kemikler, bir tür amplifikatör görevi yaparlar, kazanır, fakat aynı zamanda bu

kemikler, gürültülü yüksek seslere karşı korunmak için, kas hareketiyle ses sinyallerini zayıflatırlar.

İç kulak, hepsi birlikte titreşimleri sinirsel işaret kodlarına dönüştüren karmaşık mekanizmayı oluşturan, bedenin denge organı olarak görev yapan yarı dairesel kanallardan ve "basilar membrane" ile "corti" organını içeren salyangozdan oluşur. Corti organı, iç kulaktaki duyar elemandır ve salyangozun üç bölümünden birisinin içinde, "basilar membrane" üzerinde yer almaktadır. Üzerinde dört sıra tüylü hücre bulunur. Bunların üzerinde, sıvıyla dolu tympanic ve vestibular kanallar içinde, basınç değişimlerine duyarlı olarak hareket eden "tectoral membrane" vardır. "Basilar membrane" boyunca dağılmış, "cohlea" sarmalını takip eden 15000 -20000 tüylü hücre vardır ve bunlar yaklaşık 1500 bölünmüş perdeyi (çözebilir) ayırt edebilirler.

Yer teorisine göre ses perdesi , "basilar membrane" boyunca maksimum uyarılmanın oluştuğu tüylü hücre topluluğunca belirlenir. Diğer taraftan zamanlama ve frekans teorisi, "basilar membrane"ın oval penceredeki "stapes"lerin hareketi ile, ses dalgasının basınç değişimlerine uyumlu bir şekilde, yukarı ve aşağıya doğru hareket ettiği var sayımını anlatır. Her bir yukarı ve aşağı hareket sinirsel bir ateşlemeyle sonuçlanır. Böylece frekans direkt olarak ateşleme oranıyla kodlanır. Örnek olarak 400 Hz.lik bir ses, tüylü hücrelerin saniyede 400 Hz. ateşlenmesiyle sonuçlanır. Sayı 1000 Hz.den fazla olursa, frekans bağımsız hücreler tarafından tanımlanamaz ve doğru ateşleme oranını oluşturmak için birçok tüylü hücrenin ateşlemesi birleştirilir.

Karmaşık işitsel üretim sürecinin daha fazlası, bilginin kullanılmasını içeren işitme sinirleriyle beyne ulaşan sinirsel işaretlerde, beyinde oluşur. İşitme siniri "cochlea"dan ve yarım daire kanallardan elektriksel akım alarak, beynin her iki işitme alanıyla bağlantı kurar.

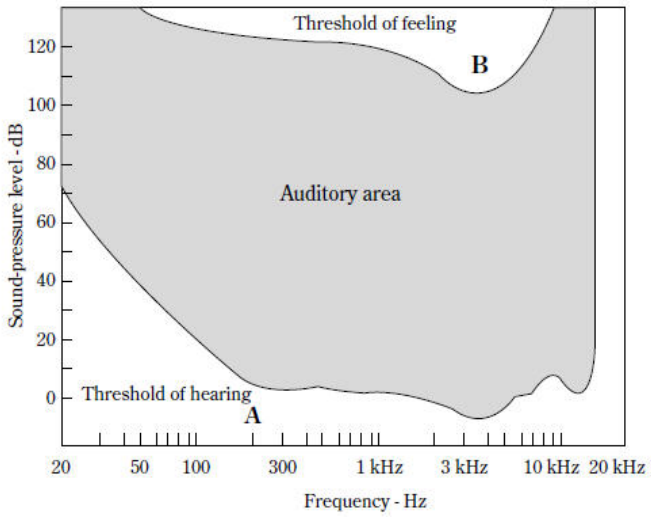
İlaveten, psikolojik olarak sağ ve sol kulağın sesi bulma kapasitelerinde farklılık yoktur fakat sağ ve sol beyin iki ayrı yarım olarak çalışır. Sol yarım küre en çok sözlü bilgileri işler, değerlendirir. Böylece beynin sol tarafına bağlı olan sağ kulak konuşulan kelimeler için algısal olarak daha üstün olabilir. Diğer taraftan, melodik bilgiyi işleyen sağ yarım küreye bağlı sol kulak, melodileri algılamada daha iyi olabilir.

2.3.2. İşitmenin Hassasiyeti

Algılayabildiğimiz en düşük ses seviyesinin ve kulaklarımızın hasara uğramadan işitebileceği en yüksek ses seviyesinin güçleri arasındaki oran 1,000,000,000,000:1 dir. Bu durum kulağımızın geniş bir dinamik alana sahip olduğunu gösterir. Bu dinamik alan içerisinde kulak, artan ses yoğunluğuna logaritmik bir şekilde yanıt verir.

İşitme sınırına yakın çok yumuşak sesler için, kulak düşük frekanslara karşı güçlü bir şekilde ayırd edicidir. 60 phons civarındaki orta sesler için ayırım öyle çok belirgin değildir ve 120 phons civarındaki çok güçlü sesler için işitme yanıtı düze yakındır. İnsan işitmesinin bu yönü, yumuşak ve daha yumuşak sesler verildikçe bas seslerdeki gittikçe artan kayıpları kulağın algılayacağını işaret eder.

Şekil-9: Işitmenin Yoğunluk bölgeleri



(Everest, 2001:53)

2.3.3. Binaural İşitme

Binaural işitme, birbirinden biraz farklı mesafedeki kulakların, sesin konumlandırılmasını, sesin zaman, faz ve şiddetindeki küçük değişimleri farkedebilmesiyle ilgilidir. Kulak 30 milisaniyelik zaman farklılıklarını ayırt edebilir. Sağ ve sol her iki kulağın algılamalarının

karşılaştırması ve ses yoğunluğunun değerlendirilmesi, bilinçli olmaksızın ses kaynağının yaklaşık yerinin belirlenmesi, işitme sistemimiz tarafından otomatik olarak yapılmaktadır.

2.3.4. Perde(Pitch)

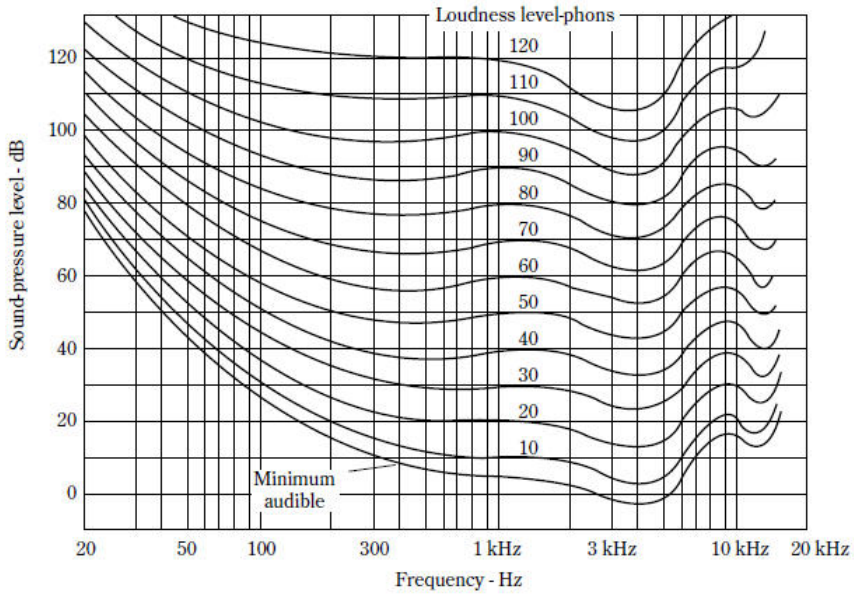
Psikoakustikte perde terimi frekansın psikolojik algılaması olarak düşünülür değerlendirilir. Perde ile frekans arasındaki ilişkiyi bulmak için, bir sesin frekansına karşılık hangi perdenin anlaşıldığı konusunda, birçok araştırma yapılmıştır. Müzikte perde, ses dizisi içindeki tek bir sesin konumu olarak tanımlanır. Perde, seslerin dinleyiciler tarafından en düşükten en yükseğe doğru bir aralıkta konumlandırılabildiği, sesin bir özelliğidir. Sesler, onları oluşturan ses dalgalarının titreşimlerinin frekanslarına göre, perde olarak daha yüksek veya daha düşüktür. Müzik nota yazım sistemi, kulağın frekanslara karşı tepkisi logaritmik olduğundan, logaritmik bir ölçme sistemi kullanır. Örnek olarak, bir oktavın frekans aralığı 100 ile 200 Hz arasında ve diğer oktavın frekans aralığı 1000 ile 2000 Hz arasında olmasına rağmen, iki farklı oktav iki nota arasındaki perde farkıyla aynı sürede işitilir. İşitebildiğimiz frekans aralığı yaklaşık 20 ile 20000 Hz arasındadır ve kulağımızın en hassas olduğu bölge 1000 ile 5000 Hz arasındadır.

2.3.5. Ses Yoğunluğu(Gürlük)

Gürlük, seslerin bir aralıkta sessizlikten yüksek sesliye doğru artarak sıralanabilirliği açısından, ses yoğunluğunun subjektif olarak algılanmasıdır. Yoğunluk birim alandaki ses gücü olarak tanımlanır. Şekil-10'da insan kulağı için eş gürlük eğrileri görülmektedir.

Her bir eğri, eşit gürlükte algılanan frekansların aralığını tanımlar. Bu eğrilerin, 1000 Hz. frekansı ile kesiştiği noktalarda ses basınç seviyesi(SPL) ve gürlük seviyesi "phons" değerleri birbirine eşittir. Bu eğriler kulağımızın düşük frekanslara daha az hassas olduğunu ve insan işitme sisteminin maksimum hassasiyette olduğu bölgenin yaklaşık 1000 ile 5000 Hz arasında olduğunu göstermektedir. Şekilde nokta ile çizilen eğri işitme sınırını gösterir. Standart işitme sınırı 1000 Hz de 0 dB olarak kabul edilir, fakat gerçek eğriler 1000 Hz de ölçülen işitme sınırının 4 dB civarında olduğunu gösterir.

Şekil-10: İşitme Sisteminin Eş Gürlük Eğrileri



(Everest, 2001:51)

2.3.6. Tını (Timbre)

Sesler genel olarak perdeleriyle, yoğunluklarıyla ve kendilerine özgü ses renkleriyle(tını) nitelendirilir. Tını, aynı yoğunluk ve perdedeki iki ayrı sesi dinleyicinin ayırt edebilmesiyle ilgili, sesin niteliğidir. Tını esas olarak sesin harmonik içerikleri ve vibrato, çıkış-kalış süresi gibi sesin dinamik özellikleri ile belirlenir. Tını, aynı anda çalan farklı enstürmanlar tarafından üretilen sesleri ayırt etmemizi sağlayan niteliktir.

2.3.7. Maskeleme

Eş zamanlı maskeleme, daha güçlü seslerin varlığında bazı seslerin kaybolduğu, insan işitme sisteminin bir özelliğidir. Örneğin çok güçlü beyaz gürültülerin varlığında, daha zayıf birçok ses maskelenir veya 500 Hz. lik bir ses daha yumuşak olan 600 Hz. lik bir sesi maskeleyebilir. Güçlü olan sese maskeleyen daha yumuşak ve zayıf olan sese ise maskelenen

denir. İnsan işitmesinin bu yönü, algısal ses kodlayıcıların tasarımı için, önemli muhtemel etkiler içerir.

Algısal ses kodlayıcılarının amacı, dinleyici açısından bilgi kaybı ve bozulma olmaksızın kodlanacak datanın miktarının en az düzeye indirilmesidir. Datanın azaltılması, kritik band, minimum işitme sınırı ve maskeleme olayı kavramlarına dayanan, psikoakustik algoritmalarla uyumlu olarak yapılabilir. Kodlanacak ses sinyalleri minimum işitme sınırı ve maskeleme eğrisiyle karşılaştırılır. Bir ses sinyali kodlamanın minimum seviyesinin altına düştüğü zaman sinyal en az bilgi ile kodlanır ve işitme sınırının altındaki sinyaller, kulak bunları işitemediğinden dolayı atılır.

2.3.8. Kritik Bölgeler

Kritik bir bölge, frekansların en küçük bölgesidir ve "basilar membran" ın aynı bölümünü harekete geçirir. Kulak düşük frekanslarda birbirinden birkaç Hz. farklı sesleri ayırd edebilir. Yüksek frekanslarda ise bu ayırımın yapılabilmesi için sesler arasında Hz olarak yüzlerle ifade edilen büyüklükte farklar olması gerekir. Zaten tüylü hücreler kendi sınırlı bölgelerindeki en güçlü uyarıya yanıt verirler ve buna kıritik bölge denir. Kritik bölge kavramı ilk olarak Fletcher tarafından 1940 yılında ortaya atılmıştır ve kapsamlı bir şekilde denenmiştir. Yapılan deneyler göstermiştir ki düşük frekanslarda kritik bölgeler, yüksek frekanslardaki kritik bölgelerden daha dardır. Kritik bölgenin dörte üçü 5000 Hz in altındadır. Kritik bölgeler değişken merkez frekanslarıyla bir spektrum analizöre benzerler ve herhangi bir ses kendini merkez olarak alan kritik bir bölge oluşturacaktır.

Kritik bölgeler bir başka yolla da açıklanabilir. Perdeleri birbirine yakın eşit gürlükteki iki ses birbirinden bağımsız ayrı ayrı seslendirildiğinde, onların birleşmiş gürlükleri, beraber seslendirildiklerinde, tek başına seslendirilmelerinden önemsiz bir miktarda, biraz daha güçlü olacaktır. İç kulağın basilar membranı üzerinde, onların aynı sinir uçları için yarıştığı yerde, aynı kritik banttaki sesler için bunlar söylenebilir. İki sesin perdesi büyük ölçüde farklı ise, birleşmiş seslerin algılanan gürlükleri oldukça büyük olacaktır. Çünkü bunlar basilar membran'ın üzerini kaplamazlar ve aynı tüylü hücreler için yarışırlar. Sesler birbirinden apayrı frekansta ise (Kritik bölge içinde değil), birleşmiş ses, tek başına her bir sese göre iki misli daha gür algılanabilir. Kritik bölgeler teorisi, kulağın bölge içindeki ve dışındaki

enerjiyi ayırt ettiğini göstermesi nedeniyle önemli bir işitsel kavramdır. Bölge içindeki enerji maskelemenin gelişmesine yardımcı olur.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. ÇALGILARIN TONAL KALİTESİNİN ANALİZİ

3.1. Çalgı Seslerinin Harmonik Yapıları

Bu bölümde çalgıların tonal kalitesinin belirlenmesinde önemli bir etken olan harmoniklerin ses rengine olan etkileri ele alınacaktır. Bu harmoniklerin içeriklerinin incelenmesinde Fourier analizi metodu kullanılmaktadır.

Fourier analizi sonucunda oluşturulan Fourier spektrumu karmaşık periyodik dalgaların harmonik içeriklerini gösteren bir grafiktir. Örneğin bir piyanonun 440 Hz (A4) tuşuna bastığımızda duyduğumuz ses, temel frekans 440 Hz ve onun sırayla 2, 3, 4, …n katından oluşan farklı genlikte düzenli harmoniklerden ve herhangi bir kurala bağlı olmaksızın yine bu sesin içerisinde bulunan düzensiz harmoniklerden oluşur. Ses kalitesi veya ses rengini belirlemede harmoniklerin genliklerinin belirleyiciliği fazdan daha fazladır. Forier spectrum bize ses dalgalarının renkleri ile ilgili en önemli bilgileri gösterir. Herhangi bir müzik sesinin harmonik içeriğini belirlemede elektronik bir araç olan Fourier analizörü kullanılır. Günümüzde Fourier analizi, bilgisayarlar için hazırlanmış yazılımlarla bilgisayar ortamında yapılabilmektedir.

Fourier spektrumunda gözlenen harmonik yapı ile ses kalitesi veya rengi arasında genel bir ilgi kurulabilir. Tek bir frekansa sahip basit bir sinüs dalgası saf ve yalın bir ses verir. Basit bir sesin, yani saf sinüs dalgası şeklinde olan bir ses, harmonik bileşenleri açısından incelendiğinde tek bir frekansa sahip olduğu bilinmektedir. Bu tür seslerin algıda uyandırdığı etki, ses kalitelerinin “renksiz ve basit” olduğu şeklindedir. Buna karşılık yüksek genlik değerlerinde harmoniklerden oluşan bir ses daha zengindir. Harmonik içeriği zengin sesler ise

algıda “daha zengin ve renkli” bir etki bırakırlar. Harmoniklerin düşük veya yüksek genlik değerlerinde olması ses kalitesinin daha zengin veya basit olmasını belirlemektedir (Berg ve Stork, 1995:105). Yüksek genlik değerlerine sahip uyumsuz harmonikleri olan kare ve diğer dalgalar, boşluktan gelen veya tahtamsı bir ses üretirler (örneğin klarinet). Çok düşük genlik değerlerinde sadece uyumsuz harmoniklere sahip üçgen dalgalar, sinüs dalgası ve kare dalga arasında bir yerdedir ki ses renkleri de ağaç-ahşap karekterinden biraz daha farklıdır.

Berg ve Stork’un(1995) alto flüt, klarinet, keman ve krumhorn’un Fourier spektrum ve dalga şekilleri üzerine yapmış olduğu çalışmada bir alto blok flütün sinüs dalgasına yakın karekterde bir ses verdiği görülmektedir. Fourier spektrumu çok basit bir yapıdadır ve düşük genlikte birkaç üst harmonikten oluşmaktadır. Bir ortaçağ çalgısı olan Krumhorn’un ise karmaşık bir dalga şekli ile çok zengin ve kamışsı bir sese sahip olduğu belirtilmektedir. Bunun fourier spektrumuna bakıldığında çok fazla sayıda harmoniklerden oluştuğu, bazı harmoniklerin genliklerinin temel frekanstan daha yüksek olduğu görülür. Bu çalışmada, harmoniklerin genlikleri temel frekanstan daha büyük olsa bile, o sesin temel frekansın perdesinde duyulacağı belirtilmiştir. Çünkü bütün frekanslar o temel frekansın harmonikleridir. Klarinet ve kemanın spektra ve dalga şekillerine baktığımızda yüksek genlikli üst seslerin çokluğu ve dalga şekillerinin karmaşıklığı dikkat çeker. Klarinet sesinin Fourier spektrumu, kare dalgaya benzer ses karekterine sahip, yüksek genlikte az sayıda düzensiz harmonikten oluşur. Kemanın ses eğrisine veya dalga şekline bakıldığında kare dalgalara benzemediği görülür. Çünkü genlik ve harmoniklerin fazları kare dalgaların karekterlerinden farklıdır. Kemanın ses eğrisi veya dalga şekli orta karmaşıklıktadır. Fourier spektrumuna baktığımızda harmonikler sayı bakımından ortalama bir sayıdadır.

Berg ve Stork’un (1995) çalışmasında sesin basitliği ile Fourier spektrumunun basitliği arasında, harmoniklerin azlığı ve genliklerinin düşüklüğü bakımından ilişki görülürken, zengin seslerin Fourier spektrumunda çok sayıda ve yüksek genlikte harmonikler olduğu görülmektedir. Seslerin kendine özgü karekteristik ses renklerinin oluşmasında düzensiz harmoniklerin, genliğin, harmoniklerin sayısının belirleyici bir role sahip olduğuna dikkat çekilmektedir. Bununla beraber ses rengine etki eden başka başka faktörlerin de olduğu tartışılmıştır.

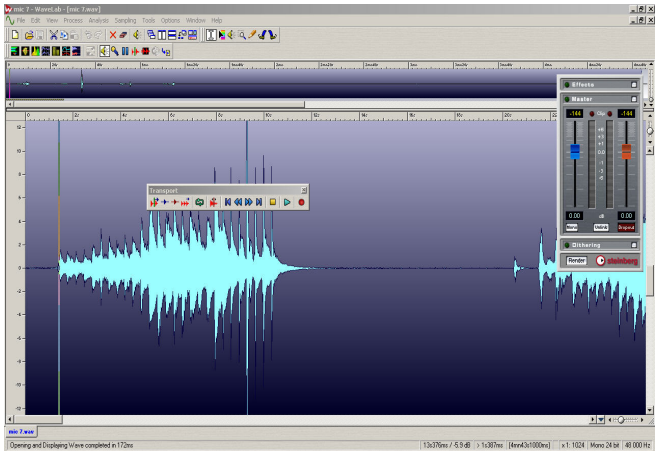
3.2. Çıkış ve Düşüş Transit Dalgaları

Bir çalgının tonal kalitesinin nasıl algılandığı konusunda, çıkış(attack) ve düşüş(decay) evresinde çok kısa zaman aralıklarında oluşan transit dalgalar(transient) çok önemli bir etkiye sahiptir. İşitme sistemimiz milisaniyeler içerisinde oluşan bu transit dalgalara duyarlıdır. Bu nedenle cıkış ve düşüş transit dalgaları algıladığımız sesin ton kalitesi üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir (Berg ve Stork, 1995: 104).

Müzikal bir ses bir bütün olarak algılanırken akustik bakımından bir birini izleyen ve ses zarfı olarak ifade edilen farklı üç bölümden oluşur; "attack"(çıkış), "quasi-stationary condition"(yarı kararlı hal) ve "decay"(düşüş). Bazı kaynaklarda ise ses zarfı çıkış(atacak), düşüş(decay), devamlılık(sustain) ve sönüş(release) evreleri şeklinde verilmektedir.

Tüm çalgısal sesler doğal olarak "attack" ile başlarken, yalnızca "quasi-stationary condition" (yarı kararlı hal)'e sahip yaylı ve nefesli çalgılar, akustik davranış süreleri esnasında biraz farklılık gösterir. Piyano ve telleri çekilerek çalınan harpsikord gibi çalgıların da ait olduğu tüm vurmalı çalgılar, direkt olarak "attack"(çıkış) döneminden "decay"(iniş) dönemine geçerler. Elektrik gitar bu duruma bir istisna oluşturur : "quasi-stationary condition"(yarı kararlı hal) dönem etkisi vererek çok yavaş bir şekilde söner gider. Nefesli ve yaylı çalgılar görece kısa düşüş süresine sahiptirler. Bir sesin üç bölümlü zaman davranışı, onun için, bir uzayın, ortamın sese olan tepkisine uyumludur, sesin yansımasıyla "attack"(çıkış dönemi), "quasi-stationary condition"(yarı kararlı hal) dönemi ve "decay"(düşüş) dönemi oluşur. Çalgının titreşen gövdesi sonucu sesin ortaya çıkması, benzer şekilde sesi çevreleyen odanın etkisi doğrultusunda değişiklik gösterir. (Dickreiter,1989:36).

Şekil-11: Ses Zarfının Evreleri



3.3. Formantlar

"Formant" lar resonans gibidir. Çalınmakta olan sese bakılmaksızın, spektrumda sabit bir durumda olan harmonikleri güçlendirirler. Çalgının belirli bir ses bölgesinde sesin aniden yükselmesi olayı olarak da tanımlanabilir. "Formant" lar özellikle yaylı çalgıların, ağaç ve bakır nefeslilerin bir özelliğidir. Onlar aynı zamanda konuşmada ünlü harflerdeki farklılıklardan sorumludur. Bu nedenledir ki, "Formant" lar çalgı sesine bir çeşit sesli harf etkisi verir. Parlak, açık ünlü harf sesi "ah" keman, trompet ve obuada olmalıdır. Fagot sesi en iyi "oh" "formant"ı ile tanımlanabilir. "Nasal formant" olarak tanımlanan "formant" şekli ise 1800 ile 2000 Hz. aralığına yerleşmiş ve saksafon çalgısında karakteristik bir şekilde vardır. (Dickreiter,1989).

3.4. "Vibrato" Etkisi

Müzikal bir sesin perdesinde oluşan periyodik değişimler sonucu oluşur. Sese ayırıcı bir renk katar. Keman çalan bir solistin vibratoları, solo keman sesini ona eşlik eden yaylı grubunun seslerinden ayırd etmemizde önemli bir etkiye sahiptir.

3.5. "Chorus" Etkisi

Aynı çalgılardan oluşan bir topluluğun çaldığı müziği bu çalgılardan bir tanesi çaldığında, toplu çalınandan çıkan sesin niteliğiyle, tek çalgıdan çıkan sesin niteliği farklıdır. Bu toplu çalmadan dolayı ortaya çıkan duruma "chorus" etkisi denilmektedir. Aynı anda bir arada çalan benzer çalgıların konumları, fazları, küçük miktarlardaki frekans farklılıkları ve ses kaliteleri, "chorus" etkisini oluşturan faktörlerdir.(Berg-Stork, 1995:108)

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

4. YÖNTEM

4.1 Araştırma modeli

Yapılacak olan araştırma deneysel yöntemler kullanılarak laboratuar ortamında gerçekleştirilecektir.

Öncelikle, farklı şahıslar veya firmalar tarafından imal edilmiş telli klasik Türk müziği çalgılarını akustik olarak dinleyecek, bunların içerisinden tınısı en güzel olanı belirleyecek olan jüri, Konya Selçuk Üniversitesi Dilek Sabancı Devlet Konservatuarı, Eğitim Fakültesi Güzel Sanatlar Eğitimi Bölümü Müzik Eğitimi Anabilim Dalı öğretim elemanları ve öğrencilerinden oluşturulmuştur.

4.2. Yapılan Çalışmalar

Araştırmada incelenecek çalgıları belirlemek üzere çalgı değerlendirme-seçme jürileri oluşturulmuş, yapılan oturumlar sonucunda araştırma çalışmalarında kullanılmak üzere birer adet kanun ve tanbur çalgısı belirlenmiştir.

Yapılan bu oturumlarda jüri üyelerinden "algıda tonal bakımdan en güzel etkiyi bırakan" yani ses renginden en çok etkilendikleri tek bir çalgıyı belirlemeleri istenmiştir. Jüri üyeleri konservatuvar öğretim elemanları, öğrencileri ve eğitim fakültesi güzel sanatlar eğitimi bölümü müzik eğitim anabilim dalı öğretim elemanlarından, alanla doğrudan ilişkili kişiler arasından seçilmiştir. İşitme-algılama her ne kadar kişisel de olsa, tercihlerin birçok çalgı arasından iki veya en fazla üç çalgıya yönlendiği gözlenmiştir. Bu durum yapılan çalışmanın hassasiyetini artırmak açısından önem arz etmekte, belirli bir birikime sahip kişilerle yapılan çalgı seçimleri neticesinde belirlenecek çalgılarla yapılacak araştırma çalışmalarının daha doğru olacağı düşünülmektedir.

Jüri üyeleri gözleri bağlı, çalgıların hemen tüm ses alanını kapsayan bir eseri bu çalgılardan dinleyerek bir çalgıyı belirlemişler, tüm jüriden en çok oy alan çalgı araştırmaya esas olacak çalgı olarak belirlenmiştir. Bazı jüri üyelerinin kendilerine ait çalgıları da

seçmelere katılmış olup, yapılan incelemede çoğunun kendi çalgılarına oy vermediği gözlemlenmiştir.

Ayrıca tez öneri formunda da belirtildiği gibi çalgı seçimleri ulaşılabilen çalgılarla gerçekleştirilmiş, farklı insanları ortak bir zamanda bir araya getirmek, çalgıları temin etmek oldukça güç olmuştur.

Kanun seçmeleri 26.10.2007 tarihinde Selçuk Üniversitesi Dilek Sabancı Konservatuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

Seçmelere katılan kanun çalgıları yapımcı isimleri ile aşağıda sıralanmıştır.

1- Ejder Güleç
2- İbrahim Bakım
3- Semih Sandı
4- Ömer Akpınar
5- Mehmet Yücel
6- Kenan Özten
7- Sadettin Savdı

Ejder Güleç yapımı kanun'lardan seçmelere üç adet çalgı getirilmiş olup bunlar bir ön elemeyle tek çalgıya indirilmiştir. Bu esnada jüri üyeleri gözleri açık üç sazı dinlemiş ve el kaldırma suretiyle oy vererek tercihlerini belirtmişlerdir. Bu kanunlar arasından 5 oy Ejder Güleç, 4 oy Ömer Akpınar, 2 oy Semih Sandı ve birer oy da İbrahim Bakım ve Mehmet Yücel yapımı kanunlar almıştır.

Kanun seçiminde en çok oy alan çalgı Ejder Güleç'e ait kanun olmuştur.

Seçmelere katılan tambur çalgıları yapımcılarına göre aşağıda belirtilmiştir.

1- Fehmi Usta
2- Onnik Usta
3- Faruk Şahin
4- Mehmet Yalgın
5- Barış Yekta Karatekeli
6- Sacit Gürel
7- Burak Albayrak

28 Aralık 2007 tarihinde yapılan tambur seçmelerinde Barış Yekta Karatekeli yapımı tambur 8 oy, Faruk Şahin yapımı tambur 6 oy, Sacit Gürel yapımı tambur 4 oy, Mehmet Yalgın yapımı tambur 1 oy ve Burak Albayrak yapımı tambur 1 oy almıştır.

Görüldüğü üzere en çok oyu Barış Yekta Karatekeli yapımı tambur almıştır.

4.3.Seçilen Çalgıların İncelenmesi

Oluşturulan jüriler tarafından belirlenen çalgıların bilgisayar ortamında akustik özelliklerinin ve tonal karakteristiklerinin incelenmesi aşamasında, yansımasız odada bu çalgıların sesleri kaydedilmiştir. Daha sonra ise bu kayıtların bilgisayar ortamında akustik analizler yapabilen Wavelab, Cubase, ARTA ve TrueRTA gibi yazılımlarla incelenmiştir. Bu çalışmada Earthworks M30 akustik ölçme mikrofonu ve bu mikrofon ile uyumlu SPL kalibratörü kullanılmıştır.

Söz konusu müzik aletlerinin en pesten en tize doğru bütün tam sesleri tek tek, enstrümantasyon tipi bir ölçüm mikrofonu ve nitelikli bir ses kartı kullanılarak bilgisayara kaydedilmiştir. Kaydedilen bu sesler, ses analizi yapabilen yazılımlar ile incelenerek, her bir çalgının akustik özellikleri belirlenmiştir. Burada kullanılan tüm malzemelerin kalitesi, araştırmanın sonucunu etkilemesi bakımından önem arz etmektedir. Örneğin, seçilen ölçüm mikrofonu çalışılan frekans aralığında 0 dB seviyesinde, frekans cevap çizelgesinde düz bir grafik oluşturmalı, frekans tepkisi (cevabı) ve doğrusallığı olabildiğince kusursuz olmalıdır. Bu niteliklerde bir ölçüm mikrofonunun seçilmesi, bu bakımdan önemlidir. Kullanılacak ses kartı da doğrusallığı yüksek, nitelikli bir Sayısal-analog dönüştürücüye (DAC) ve giriş-çıkış

bağlantı uçlarına (konnektörlerine), aynı zamanda düşük gecikme (Latency) değerlerine sahip olmalıdır. Ayrıca yapılan bu kayıtları doğru işitebilmek veya dinleyebilmek, aynı zamanda yorumlayabilmek için de, yüksek hassasiyette stüdyo referans ses monitörleri ve kaliteli bir kayıt amaçlı ses karıştırıcı (Mixer) gerekmektedir.

Yapılan bu kayıtların ses analiz programları kullanılarak incelenmesiyle, söz konusu Türk müziği çalgılarının frekans aralıkları, akustik güç düzeyleri, yönelme özellikleri, "formant"ları, tonal kaliteleri, akustik özellik ve davranışlarıyla ilgili bilgilere ulaşılmıştır.

4.4. Evren ve örneklem

Bu çalışmanın evreni tüm Türk müziği çalgılarını kapsamakta, örneklemimiz ise mızraplı Türk müziği çalgılarından kanun ve tambur'dan oluşmaktadır.

4.4.1. Kanun

Klasik Türk müziğinde kullanılan önemli mızraplı çalgılarımızdandır. Ortadoğu ülkelerinde de yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalgının, daha önceleri Eski Mısırlılar ve Sümerlerde atası sayılabilecek benzerlerinin olduğu bilinmektedir. Bugünkü şeklini 1600'lerde almıştır. Ünlü Türk filozofu Farabi'nin bu eski çalgılardan yola çıkarak kanun çalgısınının ilk tasarımını ve yapımını gerçekleştiren kişi olduğu ayrıca zaman içerisinde çalgıda bazı değişiklikler yaptığı farklı Türk kaynaklarında belirtilmektedir. Evliya Çelebi ise ünlü Seyahatname'sinde kanun çalgısının ilk olarak Ali Şah isimli bir şahıs tarafından yapıldığını belirtmektedir. Bazı yabancı müzik kaynaklarında ise kanun, bir Arap çalgısı olarak tanıtılmaktadır. Günümüzde klasik Türk müziğinde, Türk pop müziğinde ve Türk halk müziğinde yaygın kullanımıyla, tanınan önemli çalgılardan biridir. Göksel Baktagir gibi ileri düzeydeki kanun icracıları, klasik gitar veya arp tekniği kullanarak, kanun ile çok sesli melodiler çalabilmektedir. Bu yönüyle diğer Türk müziği çalgılarına göre daha farklı ve gelişmiş icralara olanak tanıyan bir çalgı olarak karşımıza çıkmaktadır.

Kanununda tel olarak uzunca bir dönem, bağırsaktan yapılan teller kullanılmıştır. 19. Yüzyılda gelişen teknolojiyle birlikte naylon misina çalgı telleri ortaya çıkmış ve ülkemizde II. Dünya Savaşı sonrası kanun çalgılarında artık bağırsak teller yerine bu misina teller kullanılmaya başlanmıştır. Naylon misina tellerin kullanılmasıyla kanun çalgısının ses

seviyesi oldukça yükselmiştir. Kanun çalgısında bağırsaktan yapılan teller yerine ilk misina tel uygulaması 1950 yılında Cafer AÇIN tarafından gerçekleştirilmiştir.

Önceleri kanun çalgısında mandal sistemi yoktu. Yarım veya komalı sesler, sol elin işaret parmağı tırnağıyla tel üzerindeki belirli bölgelere bastırılarak elde ediliyordu. Bu özelliğin olmaması çalgıya icrada büyük zorluklar getiriyordu. Hacı Arif Bey mandalsız en iyi kanun çalan önemli müzisyenlerden birisiydi. Rauf Yekta'nın "Türk Musikisi" kitabına göre Kanun çalgısında ilk mandal sistemi 1880'lerde tellerin altına iki veya üç madeni parça (mandal) konularak oluşturuldu. Mahmut Ragıp Gazimihal'e göre de ilk mandal sistemi kanun çalgısına yüzyılın başlarında (1900'lerde) İstanbul'da uygulanmıştır. Kanun çalgısının günümüzde üretilen modellerinde ise her üçlü tel grubuna 6 ile 15 arasında mandal takılabilmektedir. Bu şekilde yarım ve komalı sesler çok daha kolay elde dilebilmektedir.

Kanun çalgısı boyu 95-100 cm., eni 38-40 cm., ve derinliği 4-6 cm. arasında olan dik yamuk şeklindedir. Boyutları ülkelere göre farklılıklar gösterip tel sayıları farklı olabilir. Dik yamuk şeklinde yapılmasının nedeni tel boylarını ayarlayıp bas frekanslardan (uzun teller) tiz frekanslara (kısa teller) doğru, sesler elde edebilmek içindir. Göğüs tahtası genellikle çınar ağacından, kenarları gürgen veya ladin, burguluk ve alt tabla ise ıhlamur ağacından yapılır. Alt tablada kullanılan ağaç malzeme çalgının tonunu çok etkilemektedir. Alt tablası ıhlamur ağacından yapılan kanunların ses renkleri daha yumuşak ve güzel olmakta, alt tablasında daha sert ağaç kullanılan kanunların ses renkleri ise oldukça metalik olmaktadır. Eşik üzerinden geçen gergin teller eşiğin altında bulunan deriye baskı uygular. Tellerdeki titreşim bu deri aracılığıyla hem gövdeye hemde dolayısıyla çalgının içindeki havaya aktarılır. Çalgı sesinin oluşması için gerekli rezonans (titreşim) bu şekilde oluşur.

Cafer açın'ın yapmış olduğu iyileştirme çalışmalarıyla alt ve üst tabla arasındaki boşluk 6 cm. den 4.5-5 cm. ye indirilmiş böylece çalgı sesi daha çabuk dışarıya verir hale gelmiştir. Bu durum, ses zarfında çıkış (attack) süresinin kısalması ve çalgı sesinin perküsyon etkisi karekterinin artması anlamına gelmektedir. Sonuç olarak Açın'ın yapmış olduğu bu çalışma hızlı parçaların veya pasajların icrasının bu değişikliklerle daha kolay ve dinleyici açısından daha anlaşılır olmasını sağlamıştır. Çalgıdaki tüm tellerin frekans değerleri tablolaştırılmış ve mandal sistemi ölçülendirilmiştir. Uygulanan farklı bir eşik sistemiyle çalgının ses rengi daha açık bir hale getirilmiştir.

Kanunda teller her ses için üç tel olmak üzere 24-25 ses olarak sıralanır. Toplam 72 ile 75 arasında tel takılır. Tel kalınlıkları tiz tarafta 0.60 mm. den başlar, pes seslere doğru 0.10 mm. artarak 1.20 mm. ye kadar kalınlaşır. Kanunun 75 telinde yaklaşık 441 Kg. kuvvet gerilim vardır. Gerilimden dolayı teller eşik vasıtası ile deri üzerine 13.5 Kg/m. basınç uygular. Bu basınç bölgeseldir. Kenarlara gidildikçe sıfıra kadar düşer. Kanunun 3.5 oktav ses genişliği vardır. En tiz sesi sol(Re) 1173.37 Hz., en pes sesi re(La) 110 Hz. dir.

Ayrıca mızraplı çalgılarımızdan en fazla ses yoğunluğuna sahip olan çalgı olarak karşımıza çıkar. Bu konuda Aydoğdu Kanun'un ses yoğunluğuyla ilgili olarak aşağıdaki bilgilere dikkat çekmektedir.

> *"Laboratuar ortamında yapılan ölçümlerde "Tanbur"un orta oktav ses yoğunluğu -6. 66 desibel, "Ud"un orta oktav ses yoğunluğu -13. 70 desibel iken "Kânun"un orta oktav ses yoğunluğu ise +2. 21 desibeldir. Bu da şunu göstermektedir, bu üç çalgıyı beraber bir eserin icrasında kullanırsak, "Ud"un sesi tamamen kaybolacak, "Kânun"her iki çalgıdan daha güçlü olarak işitilecektir. Müziğimizin en büyük sorunlarından biri de çalgılarımızın yerleşim düzenidir, çalgılar yerleştirilirken ses sahalarına dikkat edilmelidir ayrıca çalgıların armonik ve melodik yapılarına göre de yerleşim düzeninde kullanılmaları bir başka önemli konudur"* (www.tahiraydogdu.com, 2011:1)

Yukarıda kanun ve tambur çalgılarına ilişkin verilen ses yoğunluğu değerleri ses basınç seviyeleri (dB SPL) değildir. Bu değerler çalgıların birbirlerine göre ses seviyelerin farkını belirlemektedir. Yukarıdaki ölçümlerden farklı olarak bu çalışmada söz konusu çalgılara ait ses basınç seviyeleri 94 dB. kalibratör kullanmak suretiyle "dB SPL" olarak ölçülmüştür (bkz.3.3.3).

4.4.2.Tambur

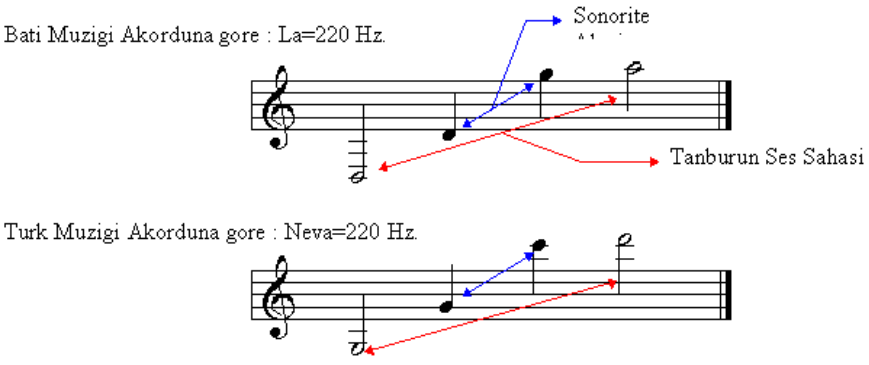
Türk müziğinin en eski sazlarından olan tambur, klasik Türk müziğinin önemli mızraplı sazıdır. Gövdesi yarım elma şeklinde, uzun saplı ve çeşitli ebatlardadır. Teknesi karpuz dilimi şeklinde ince ağaç parçalarının, kıvrılarak birleştirilmesinden meydana gelir. Bu ağaçlar ise erik, dut, ceviz, pelesenk, gül, kelebek, paoros, patuk, vengi, vobinga, makase, tik, ardıç, abanoz gibi sert ve kıymetli ağaçlardır.

Ses tablası (göğüs) beyaz çam denilen ladin ağacından yapılır. Sap üzerine bağırsak iplikler veya misinalarla perdeler sarılır ve bu perdeler ile ses aralıkları tesbit edilir. İki oktavlık ses dizisi 50 kadar perde ile taksim edilir. Taksimatlar Türk müziği ses sistemine göre yapılır. Tamburun 3 oktav ses sahası vardır. Bazı tamburlarda sapın ucu ses tablosunun üzerine doğru uzatılır ve ses sahası 4 oktava kadar artırılır. Kaba yegahtan tiz nevaya (110 Hz. den 1760 Hz.)'e kadar ses sahası genişletilir.

Tamburun 7 teli vardır. Telleri çelik ve pirinçtendir. Mızrabı ise "Bağa" denilen deniz kaplumbağasının karın altı kemiğinden yapılır. Mızraplı saz olmasına rağmen icracılar tarafından yay ile de çalınmaktadır. Tamburda teller 4 grup halinde takılır. Alttan birinci, ikinci ve üçüncü teller çift, dördüncü tel ise tek olarak takılır. Birinci teller 220 Hz. frekanslı yegah sesine (La sesi), ikinci teller 146 Hz. frekanslı kaba rast (Re sesi) veya 164 Hz. frekanslı kaba dügah sesine üçüncü teller birinci teller gibi 220 Hz. frekanslı yegah sesine, dördüncü tel ise 110 frekanslı kaba yegah sesine (La sesi) akort edilir. (Açın C., sf 118, 1994)

Buna göre tamburun ses sahası ve karakteristik ses renginin elde edildiği bölge (sonorite) asağıda verilmiştir. 2/4'lük nota ile yazılan sesler tamburun ses sahasını, 1/4'lük notalarla yazılan bölüm ise sonorite alanını göstermektedir.

Şekil-12: Tamburun Ses Aralığı



(www.turkmusikisi.com)

Geleneksel tambur icrasında kaba rast ile tiz hüseyni hatta tiz acem arasındaki bölge kullanılmaktadır. Ancak tamburun karakteristik sesini duyurabildigi alan (sonoritesi) rast veya acemaşiran perdeleri ile tiz segah veya tiz çargah perdeleri arasinda kalan bölümüdür.

Tamburun 7 telinde toplam 78.5 Kg. kuvvet gerilim vardır. Tamburdaki gerilimin fazla oluşu sazın fiziksel yapısını zorlar. Sapında az da olsa bir bükülme yapabilir. Bu bükülmeyi önlemek için saplarına esnemeyecek ağaçlar kullanılır. İcracı için tamburun önemli yeri sapıdır. (Açın, 1994:118)

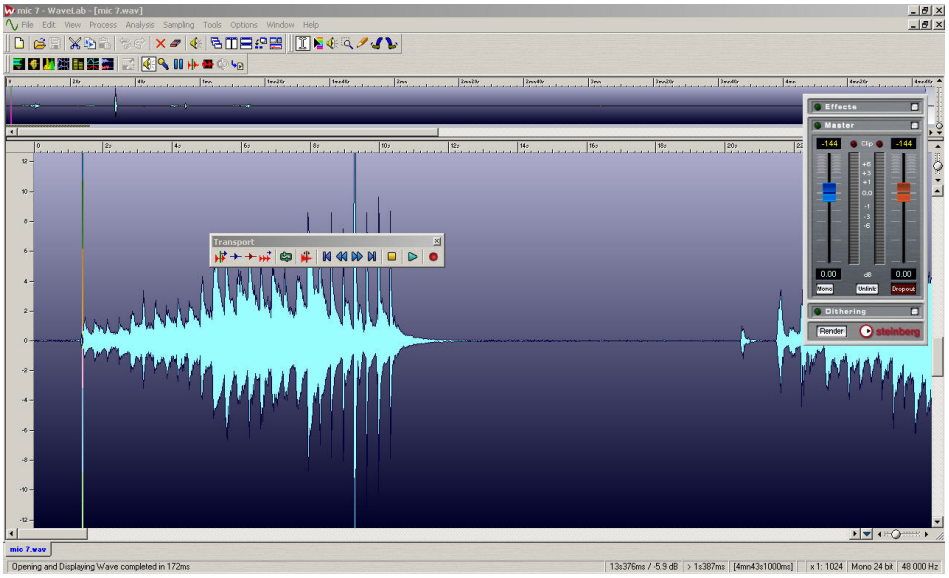
4.5. Verilerin toplanması ve ölçülmesinde kullanılan yazılımlar ve donanımlar

Bu çalışmaya konu olan kanun ve tambur çalgılarının sesleri bilgisayar ortamında Wavelab, TrueRTA ve ARTA ses analiz yazılımları ile incelenmiştir. Bu çalgıların frekans ve zaman analizleri Wavelab ve ARTA yazılımları ile, ses basınç seviyeleri incelemesi ise TrueRTA yazılımı ile yapılmıştır. Çalgıların ses-frekans yönelim özellikleri ile ilgili inceleme için aynı anda 8 mikrofon ile 180 derecelik bir alan ierisinde ses kaydı yapılmış olup, bu çalışma için "Cubase" isimli, ses ve "midi" sinyallerini kaydedebilen bir yazılım kullanılmıştır.

4.5.1. Wavelab Yazılımı

Wavelab bilgisayar yazılımı ses sinyallerini kaydetmeye, analiz etmeye ve gerektiğinde kaydedilen bu sesler üzerinde "editing" dediğimiz düzenleme-düzeltme işlemlerini yapmamıza olanak sağlayan bir yazılımdır. Sesler mono, stereo veya 8 kanala kadar çok kanallı kaydedilebilmektedir. Wavelab yazılımı gerçek zamanlı (real time) ses analizine de olanak sağlamaktadır. Böylece mikrofon ve ses kartı aracılığıyla bilgisayar ortamına alınan seslere ait dalga şekilleri wavelab yazılımının ilgili fonksiyonu seçilerek anında gözlenebilmektedir. Wavelab yazılımında ekrana gelen dalga şekli milisaniyeler seviyesinde gözlenebilmektedir. Bu da bize o ses dalgasının zaman analizini yapabilme, yani ses zarfına ait çıkış-devamlılık-sönüş sürelerini gözlemleyebilme olanağı sağlamaktadır. Ayrıca kaydedilen sesler frekans özellikleri bakımından da incelenebilmekte, çalgının işitme aralığımızdaki tüm frekanslarla ilgili davranışı belirlenebilmektedir. Aşağıdaki grafik "Wavelab 6" yazılımının ana penceresinden bir görünümdür.

Şekil-13: Wavelab 6 Yazılımından Bir Pencere

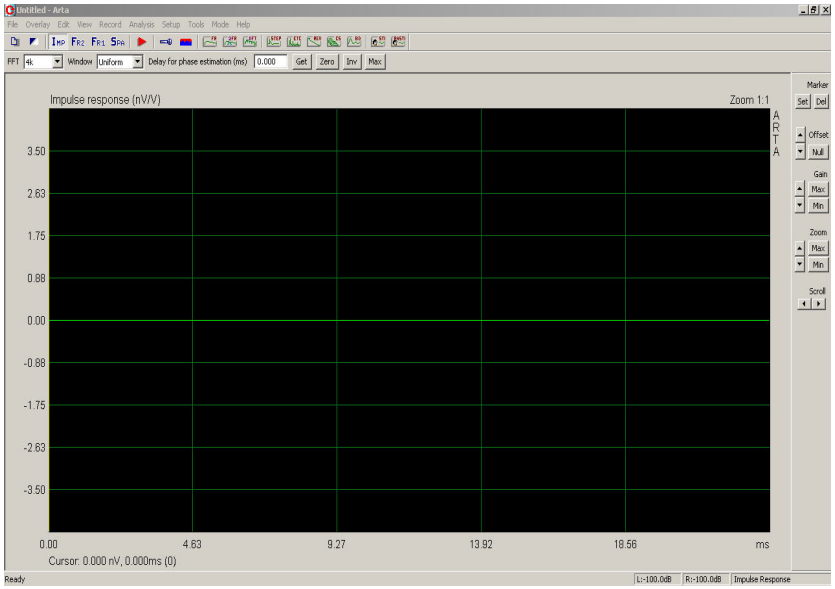


4.5.2. ARTA Yazılımı

ARTA yazılımı da ses dalgalarının fiziksel özellikleri bakımından birçok davranışını analiz etmeye yarayan bir yazılımdır. Bu yazılımda analiz ve gözlemler ya gerçek zamanlı (real time) veya daha önceden kaydedilmiş "wav" formatındaki ses dosyalarının bu yazılım içerisine aktarılması suretiyle olmaktadır. Yani bu yazılım doğrudan seslerin kaydına olanak sağlamamaktadır. Bundan dolayı bu çalışmada çalgıların ses kayıtları önceden "Wavelab" ve "Cubase" yazılımları ile yapılmıştır.

"ARTA" yazılımı ses dalgalarının zaman, frekans, ses basınç seviyesi, enerji düşüş ve daha başka birçok özellikleri açısından incelenmesine olanak tanıyan bir yazılımdır. "Wavelab" yazılımından en önemli farkı, ölçme mikrofonlarının 94 dB seviyesine bir kalibratör yardımıyla kalibre edilmesini sağlayıp, ses kaynağının ses basınç seviyesini (SPL-dB) ve çalgının ses yönelim özelliklerini belirlememizi sağlayan fonksiyonlarıdır.

Şekil-14: ARTA Yazılımından Bir Pencere



Bu yazılımın "directivite" fonksiyonu kullanılarak ses yönelim özellikleri ile ilgili bir inceleme yapılacak ise çalışılacak ses dosyalarının ".pir" uzantılı "ARTA" yazılımına özgü formata dönüştürülmesi gerekmektedir. Bunun için "ARTA" yazılımında incelenek ses, öncelikle "file" menüsü içerisinden "import" seçeneği ile açılacaktır. Sonra "wav" formatındaki bu sesin ".pir" uzantılı olarak kaydedilmesi gerekmektedir. Bu şekilde ".pir" uzantılı hale dönüştürülmüş ses dosyaları, yazılımın her fonksiyonu ile incelenebilmektedir.

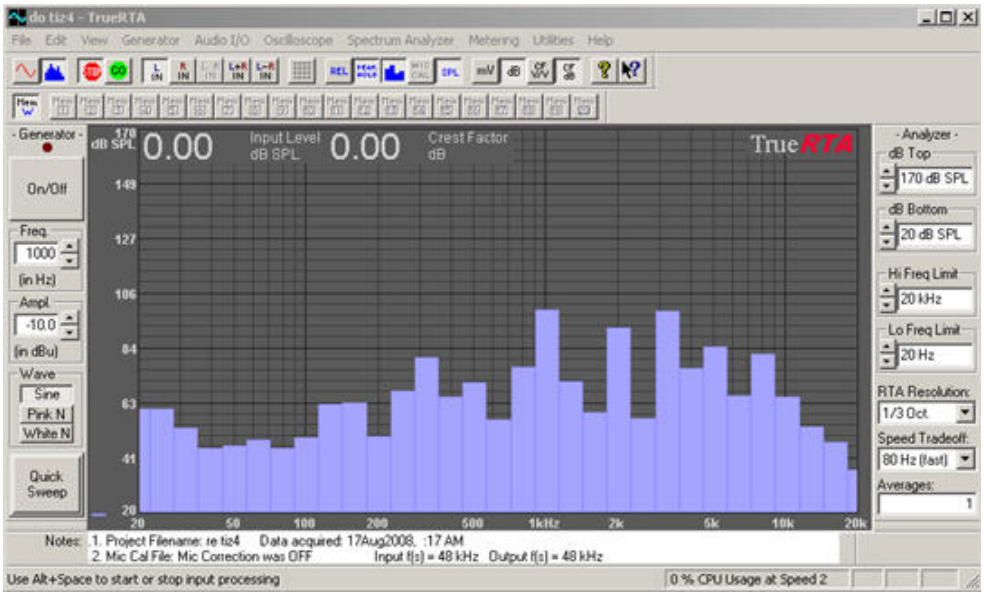
Bu çalışmada ses dalgaları hem "Wavelab" hem de "ARTA" yazılımlarında incelenerek sonuçların güvenilirliğinin kontrol edilmesine yardımcı olmuştur ve iki yazılım arasında sonuçlar açısından önemli bir fark olmadığı gözlenmiştir.

4.5.3. TrueRTA

"TrueRTA" tamamen gerçek zamanlı ses analizi yapabilen bir yazılımdır. 94 dB referans ses basınç seviyesine göre ölçme mikrofonu kalibrasyonuna olanak tanımakta ve böylece ses dalgalarının ses basınç seviyeleri (SPL dB) belirlenebilmektedir. Bu araştırmada

incelenen çalgıların ses basınç seviyeleri, “TrueRTA” yazılımıyla belirlenmiştir. Aşağıdaki şekil “TrueRTA” yazılımından örnek bir penceredir.

Şekil-15: TrueRTA Yazılımı Ana Penceresi



4.5.4. Cubase

“Cubase”yazılımı müzik yapımlarında kullanılan, hem çok kanallı ses hem de “midi” kayıt imkanı sunan bir yazılımdır. Çok kanallı ses kayıt işlemi gerçek zamanlı (real time) veya üst üste kayıt (overdubbing) yöntemleriyle yapılabilmektedir. Ayrıca “midi” özellikli elektronik tuşlu çalgılardan gönderilen “midi" sinyallerini kaydedebilmektedir. Yapılan tüm kayıtlar üzerinde düzenleme-düzeltme imkanı sunmaktadır. Araştırmanın amacında belirtilen çalgıların yönelim özellikleriyle ilgili tüm ses kayıtları “Cubase” yazılımında gerçekleştirilmiştir. Aşağıdaki resim “Cubase 5” yazılımında birbirinden ayrı kayıt kanallarını göstermektedir.

Şekil-16: Cubase 5 Yazılımı Ana Penceresi

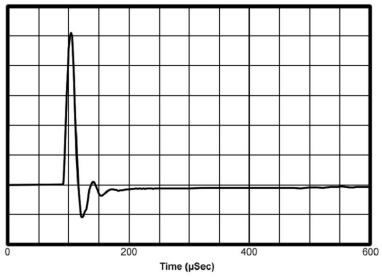


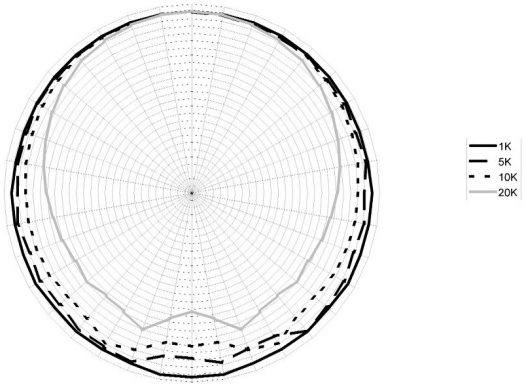
4.5.6. Mikrofon ve Ses Kartı

Bu çalışmada "Earthworks M-30" ölçme mikrofonu, "M-Audio firewire solo" ve "Presonus firestudio" ses kartları kullanılmıştır.

"Earthworks M30" ölçme mikrofonu çembersel yönelgenlik özelliğinde, ölçüm amaçlı tasarlanmış, 5 Hz ile 30 kHz arasındaki frekanslara duyarlı, yüksek hassasiyette bir mikrofondur. Mikrofonun çalışabilmesi için 48 volt "Phantom Power" güç desteğine ihtiyaç vardır. Aşağıdaki grafiklerde mikrofonun frekans yönelim davranışı ve milisaniye derecesindeki basınç değişimlerine hassasiyeti gösterilmektedir. Yani bu mikrofon çok küçük zaman dilimlerindeki basınç değişimlerini bile duyabilmektedir. Bu özelliği ile yapılan incelemelerde daha hassas sonuçlar verdiği söylenebilir.

Şekil- 17: Earthworks M30 Ölçme mikrofonu Özellikleri





Bu mikrofonla birlikte kullandığımız yukarıda bahsi geçen ses kartları ise 24 bit kayıt yapabilen yüksek kalitede cihazlardır. “M-Audio firewire solo” ses kartı tek mikrofon, 2 adet “line in” giriş özelliklerine, “Presonus Firestudio” ses kartı ise aynı anda 8 mikrofon veya 8 adet “line in” girişe sahiptir. Her iki ses kartı da +48 Volt mikrofon besleme özelliğine sahiptir.

BEŞİNCİ BÖLÜM

5. BULGULAR

Bu bölümde telli-mızraplı Türk müziği çalgılarından kanun, tambur frekans cevap anahtarı ve formantları, harmonik içeriğininin ,ses zaman analizinin, yönelim özeliklerinin, ses basınç seviyelerinin belirlenmesine yönelik inceleme yapılmıştır.

5.1. Kanun Çalgısı

1989 Aralık ayında Ejder Güleç (İzmir) tarafından yapılan kanunda taban kontrplak(kaplamalı), burgu tahtası ıhlamur, burgular gül ağacından yapılmıştır. Mandal tahtası kaplamalı gürgen, göğüs çınar, kafesler kelebek, ana kasa gül-kelebek ağaçlarından, eşik kelebek üzeri abanoz ağaçları kullanılarak yapılmıştır. Alt uzunluk 88 cm. yan uzunluk 43.5 cm., üst uzunluk 26 cm. ve derinlik 5 cm. dir. Standart kanunlar 26 ses olara yapılmaktadır fakat bu kanun 27 ses olarak imal edilmiştir (G2-E6).

5.1.1. Kanun Çalgısının Frekans Cevap Anahtarı ve Formantlar

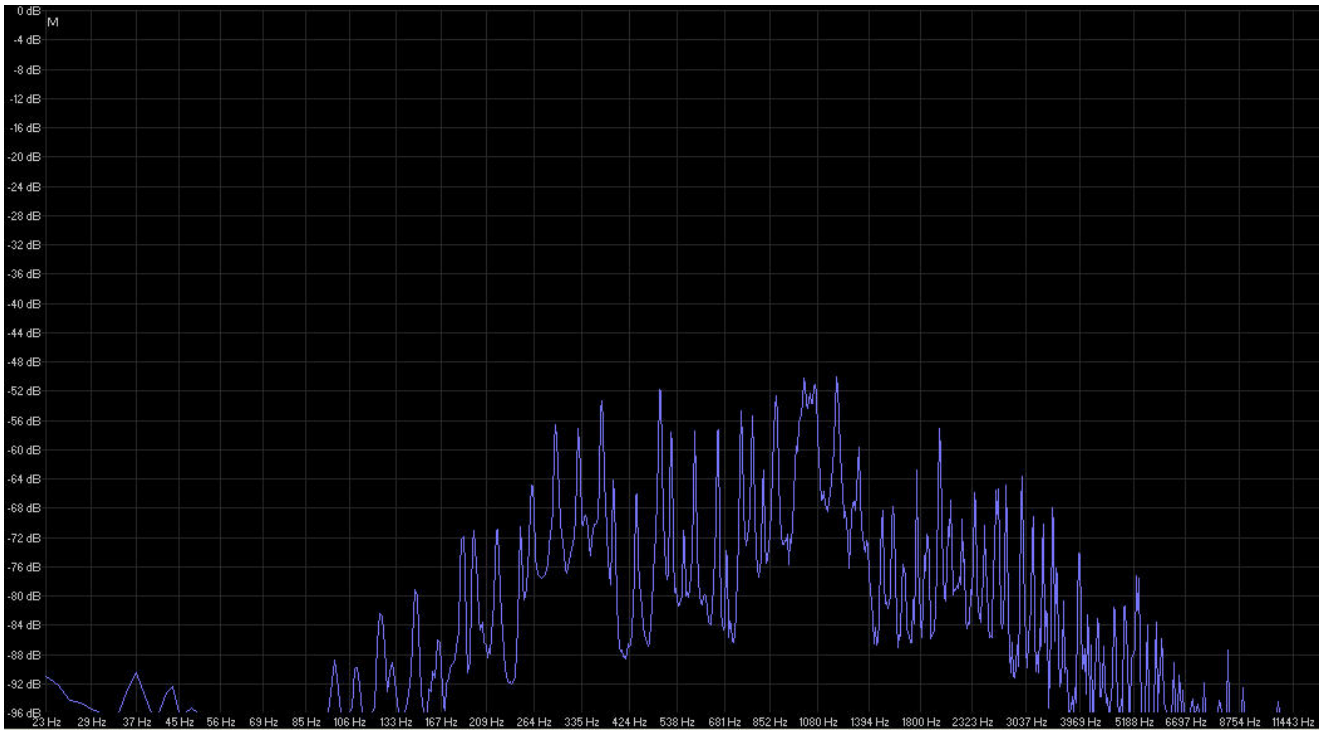
İncelenen kanunda 27 ses vardır ve bu sesler çıkıcı gam şeklinde çalındığında, bu seslere ait dalga şekli grafiği aşağıda verilmiştir. Bilgisayar ortamında oluşan bu dalga şekli yine bilgisayar ortamında incelenerek frekans, genlik, formant, ses zarfı gibi sese ait karakteristik ögeler bakımından incelenmiştir.

Şekil-18: Kanun Çalgısı Seslerinin Çıkıcı Gamda Dalga Şekli



Kanun çalgısının en pes G2 (98 Hz) sesinden en tiz E6 (1318 Hz) sesine kadar tüm sesler ARTA yazılımında spektrum analizör modülüyle incelenip frekans cevap anahtarı aşağıda gösterilmiştir.

Şekil-19: Kanun Çalgısının Frekans Spektrumu



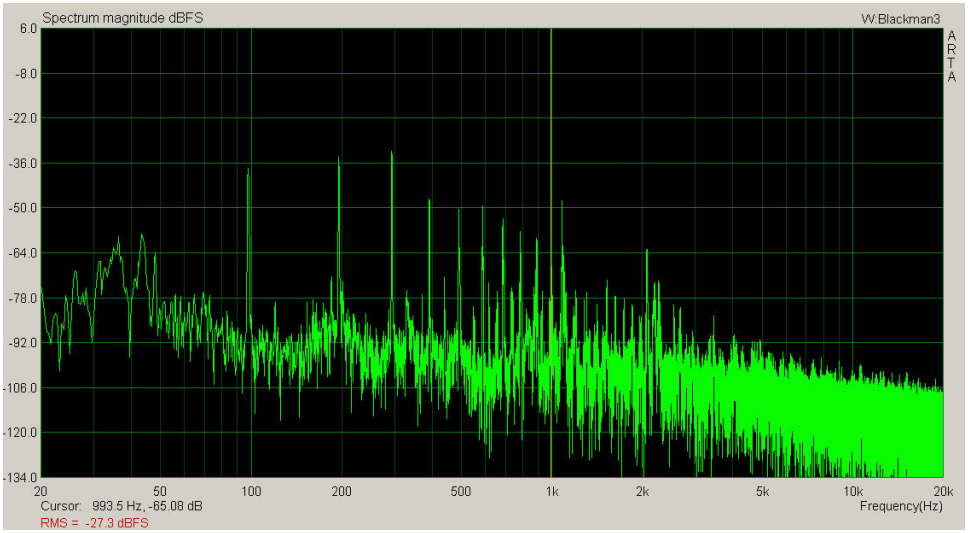
300 Hz. in altındaki bölgede frekans genlikleri, daha bas frekanslara doğru gidildikçe belirgin bir biçimde düşmektedir. 300 Hz. ile 1200 Hz. arasındaki bölgede frekans genlikleri yüksektir. 1200 Hz.'in üzerindeki bölgede frekans genlikleri 1980 Hz.bölgesi hariç genelde düşüktür. 1980 Hz. de genlik katakteristik bir biçimde yüksektir.

5.1.2. Kanun Çalgısının Seslerinin Harmonik İçerikleri

Harmonikler çalgının ses kalitesini etkileyen sese ait önemli bileşenlerdir. Çalgı sesi içerisindeki temel frekansın 2, 3, 4… katları şeklinde oluşan ve yüksek genlik değerlerindeki harmoniklerin zenginliği çalgı sesine de zenginlik katacaktır. Sesin içerisinde harmonikler gibi çalgı sesinin kalitesini etkileyen önemli bir diğer bileşen de uyumsuz-düzensiz üst seslerdir(overtones). Harmonikler gibi temel frekansın katları şeklinde oluşmazlar. Düzensiz bir şekilde değişik frekanslarda ortaya çıkarlar ve sese zenginlik ve farklılık katarlar.

5.1.2.1. Kanun Çalgısının G2(97.999 Hz.) Sesinin İncelenmesi

Şekil-20: Kanun G2 Sesinin Frekans Spektrumu



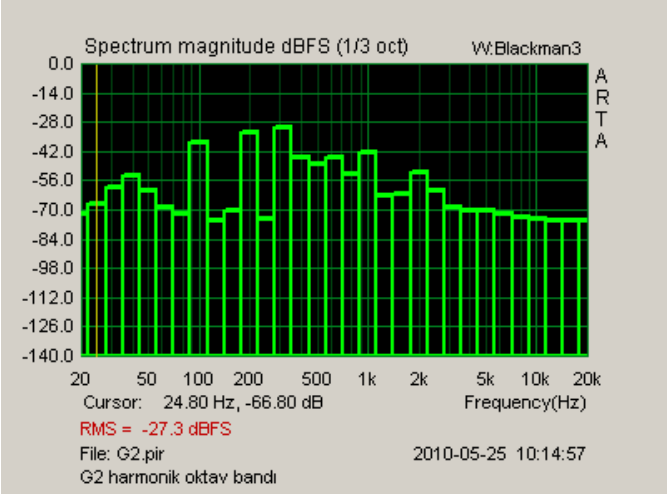
Tablo-1: G2 Sesinin Harmonik Bileşenleri

Kanun G2 sesinin karakteristik harmonikleri		Kanun G2 sesinin alt ve üst uyumsuz sesleri	
Frekans(Hz)	Genlik(dB)		
97.8	-37.59	35.5	-64.48
195.6	-34.20	43.2	-58.27
293.3	-32.45	120.1	-79.33
391.1	-47.34	329.0	-75.58
489.6	-50.36	369.1	-82.54
588.1	-49.34	439.1	-71.82
686.3	-53.41	549.3	-80.65
783.3	-57.33	617.4	-73.00
891	-59.55	658.1	-76.05
993.5	-65.08	733.2	-74.87
1081.8	-47.83	928.0	-76.0

2069.1	-63.76		

Kanun çalgısının G2 sesi ARTA yazılımının spektrum analizör modülünde incelendiğinde ikinci ve üçüncü harmoniklerin temel frekans ve diğer harmoniklere göre daha güçlü olduğu gözlenmektedir. İlk on harmonik genlikleri bakımından karakteristiktir. Onuncu harmonikten sonra, yani 1081 Hz. ile 2069 Hz. arasındaki bölgede harmonikler kaybolmaktadır. Ayrıca 35.5Hz. ile 928.0 Hz. arasındaki bölgede düzenli harmoniklere göre daha küçük genlik değerlerinde düzensiz üst ve alt sesler gözlenmektedir. G2 sesi Harmonik içerik olarak zengin bir karakter sergilemektedir. Aşağıdaki G2 sesine ait oktav bandları grafiği ve frekans-desibel tablosu, harmoniklerin genel dağılımını ve seviyelerini göstermektedir.

Şekil-21: Kanun G2 Sesi Oktav Bandları



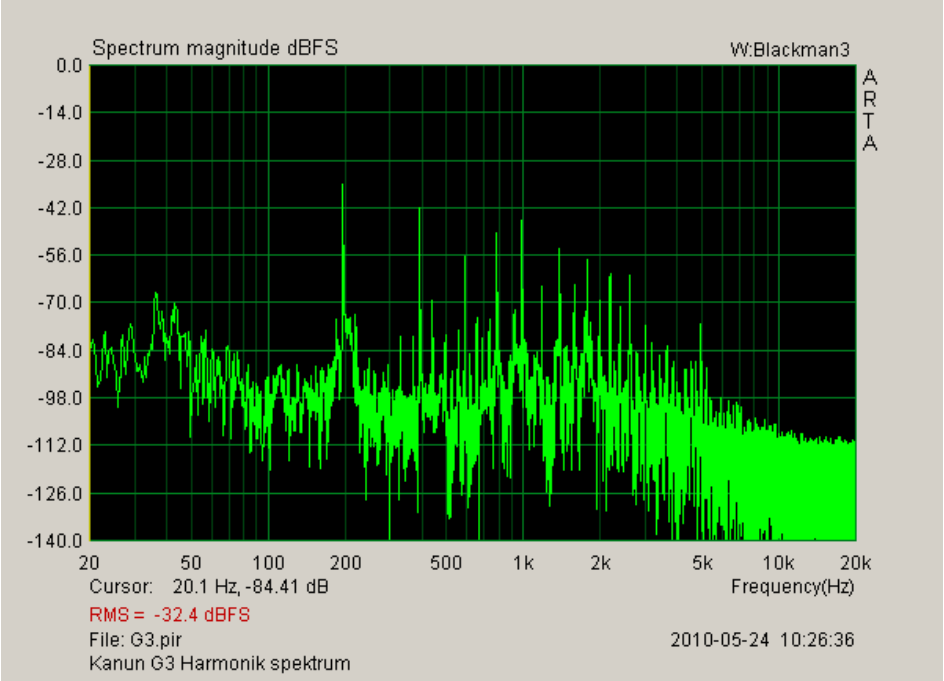
Tablo-2: G2 *Sesinin* Oktav Bandları Tablosu

G2(97.999 Hz) Oktav Bandları	
1 Hz.(-61 dB)	198 Hz.(-32 dB)
2 Hz.(-63 dB)	250 Hz.(-73 dB)
3 Hz.(-65 dB)	314 Hz.(-29 dB)
3 Hz.(-67 dB)	396 Hz.(-44 dB)
4 Hz.(-61 dB)	500 Hz.(-47 dB)
6 Hz.(-60 dB)	629 Hz.(-44 dB)
7 Hz.(-67 dB)	793 Hz.(-52 dB)
9 Hz.(-70 dB)	1000 Hz.(-42 dB)

12 Hz.(-71 dB)	1259 Hz.(-63 dB)
15 Hz.(-73 dB)	1587 Hz.(-62 dB)
19 Hz.(-71 dB)	2000 Hz.(-51 dB)
24 Hz.(-66 dB)	2519 Hz.(-60 dB)
31 Hz.(-58 dB)	3174 Hz.(-68 dB)
39 Hz.(-53 dB)	4000 Hz.(-69 dB)
49 Hz.(-60 dB)	5039 Hz.(-69 dB)
62 Hz.(-68 dB)	6349 Hz.(-71 dB)
78 Hz.(-71 dB)	8000 Hz.(-73 dB)
99 Hz.(-37 dB)	10079 Hz.(-73 dB)
125 Hz.(-74 dB)	12699 Hz.(-74 dB)
157 Hz.(-70 dB)	16000 Hz.(-74 dB)
	20158 Hz.(-74 dB)

5.1.2.2. Kanun Çalgısının G3 (196.00 Hz.) Sesinin İncelenmesi

Şekil-22: Kanun G3 Sesinin Frekans Spektrumu

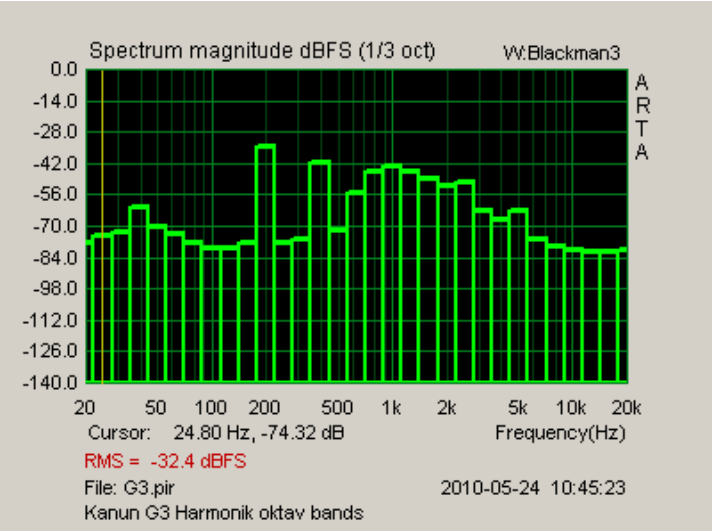


Tablo-3: G3 Sesinin Harmonik Bileşenleri

Kanun G3 sesinin karakteristik harmonikleri		**Kanun G3 sesinin karakteristik üst ve alt sesleri**	
Frekans(Hz)	Genlik(dB)	Frekans(Hz)	Genlik(dB)
195.9	-35.28	330	-79.90
392.2	-42.07	369.1	-87.37
589.2	-56.29	439.5	-69.35
783.7	-49.59	494.4	-79.51
983.6	-45.96	555.5	-78.27
1182.1	-64.92	658.1	-74.33
1380.2	-54.37	738.6	-75.07
1578.7	-64.79	920.7	-72.28
1780.2	-57.24	3002.2	-76.51
1982.3	-69.47	4951.9	-76.14
2184.8	-61.36		
2388.1	-71.56		
2593.1	-61.95		

Kanun çalgısının G3 sesi ARTA yazılımının spektrum analizör modülünde incelendiğinde temel frekans 195.5 Hz. diğer harmonik bileşenlere göre genlik bakımından daha güçlüdür. Birinci, üçüncü ve dördüncü harmoniklerin diğer harmonik bileşenlere göre daha güçlü oldukları gözlenmektedir. Genel olarak bakıldığında oniki tane harmonik bileşen karakteristik bir görünüm sergilemektedir. Bunlar dışında yukarıdaki tabloda görüleceği üzere 330 Hz. ile 4951.9 Hz. arasında yaklaşık on kadar düşük genlikte uyumsuz üst ses gözlemlenmiştir. Bu sese ait aşağıdaki oktav bandları grafiği ve frekans-desibel tablosu, harmoniklerin genel dağılımını ve seviyelerini göstermektedir.

Şekil-23: G3 Sesinin Oktav Bandları Tablosu

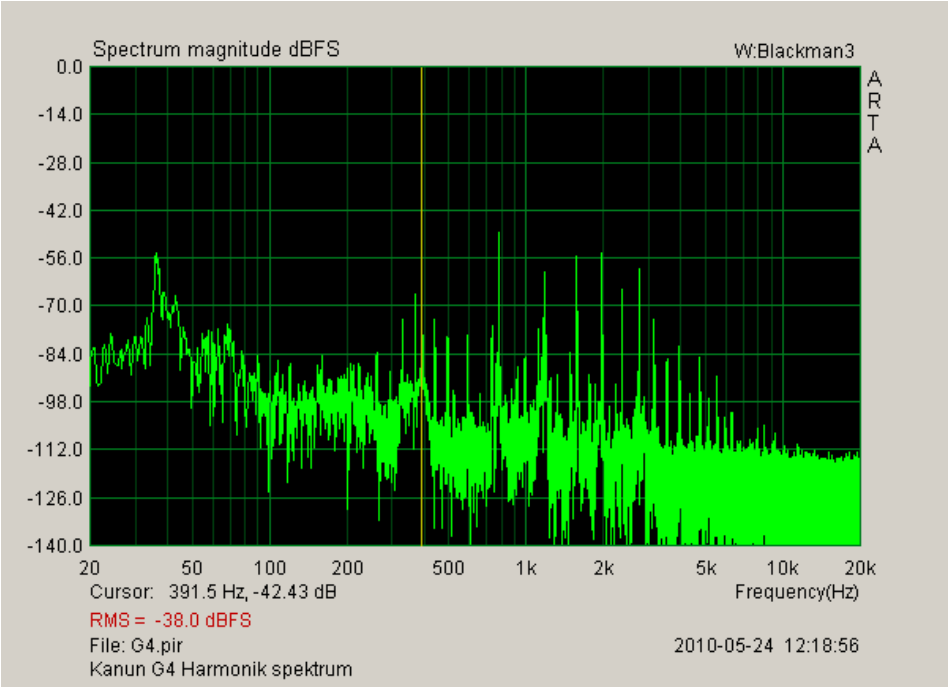


Tablo-4: G3 Sesinin Oktav Bandları Tablosu

G3(392 Hz) Oktav Bandları	
1 Hz.(-66 dB)	250 Hz.(-77 dB)
2 Hz.(-69 dB)	314 Hz.(-75 dB)
3 Hz.(-63 dB)	396 Hz.(-41 dB)
3 Hz.(-64 dB)	500 Hz.(-71 dB)
4 Hz.(-65 dB)	629 Hz.(-55 dB)
6 Hz.(-73 dB)	793 Hz.(-45 dB)
7 Hz.(-74 dB)	1000 Hz.(-42 dB)
9 Hz.(-74 dB)	1259 Hz.(-45 dB)
12 Hz.(-77 dB)	1587 Hz.(-48 dB)
15 Hz.(-79 dB)	2000 Hz.(-51 dB)
19 Hz.(-77 dB)	2519 Hz.(-50 dB)
24 Hz.(-74 dB)	3174 Hz.(-62 dB)
31 Hz.(-72 dB)	4000 Hz.(-66 dB)
39 Hz.(-61 dB)	5039 Hz.(-62 dB)
49 Hz.(-70 dB)	6349 Hz.(-75 dB)
62 Hz.(-73 dB)	8000 Hz.(-78 dB)
78 Hz.(-77 dB)	10079 Hz.(-80 dB)
99 Hz.(-79 dB)	12699 Hz.(-81 dB)
125 Hz.(-79 dB)	16000 Hz.(-81 dB)
157 Hz.(-77 dB)	20158 Hz.(-80 dB)
198 Hz.(-34 dB)	

5.1.2.3. Kanun Çalgısının G4(392 Hz.) Sesinin İncelenmesi

Şekil-24: Kanun G4 Sesinin Frekans Spektrumu

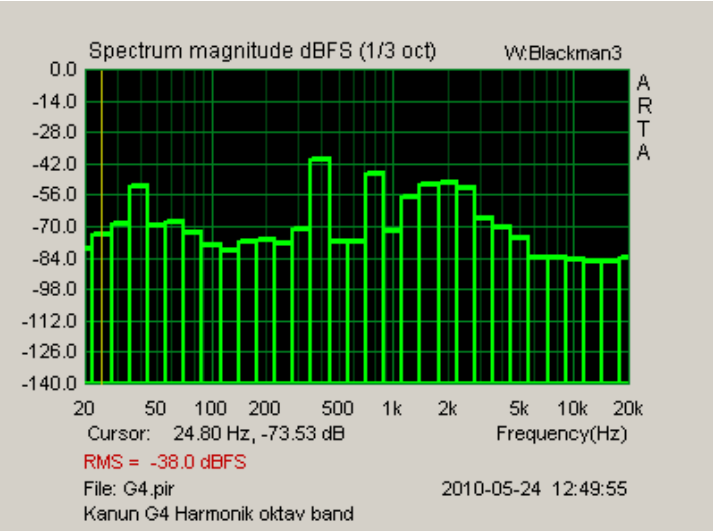


Tablo-5: G4 Sesinin Harmonik Bileşenleri

Kanun G4 sesinin karakteristik harmonikleri		**Kanun G4 sesinin karakteristik üst sesleri**	
Frekans(Hz)	Genlik(dB)	Frekans(Hz)	Genlik(dB)
391.5	-42.43	440.2	-73.90
783.7	-48.53	493.7	-79.14
1175.9	-60.00	586.7	-78.36
1570.3	-55.29	738.3	-75.98
1961.8	-54.51	926.1	-87.68
2356.2	-65.38	989.5	-85.03
2745.8	-59.28	1108.2	-82.87
3147.6	-73.79	1484.3	-83.75
3544.2	-85.58		
3941.2	-81.66		

Kanun çalgısının G4 sesi ARTA yazılımının spektrum analizör modülünde incelendiğinde temel frekans 391.5 Hz. diğer harmonik bileşenlere göre genlik bakımından daha güçlüdür. Birinci harmonik bileşen (783.7 Hz.) diğer harmoniklere göre en yüksek genlik değerine sahiptir. Onuncu harmoniğe kadar tüm harmonik bileşenler karakteristik bir görünüm sergilemektedir. Düşük genlik değerlerinde, 440 Hz. ile 1484 Hz. arasında yaklaşık sekiz adet uyumsuz üst ses gözlenmektedir. G4(391.5 Hz.) sesine ait aşağıdaki oktav bandları grafiği ve frekans-desibel tablosu, harmoniklerin genel dağılımını ve seviyelerini göstermektedir.

Şekil-25: G4 Sesinin Oktav Bandları



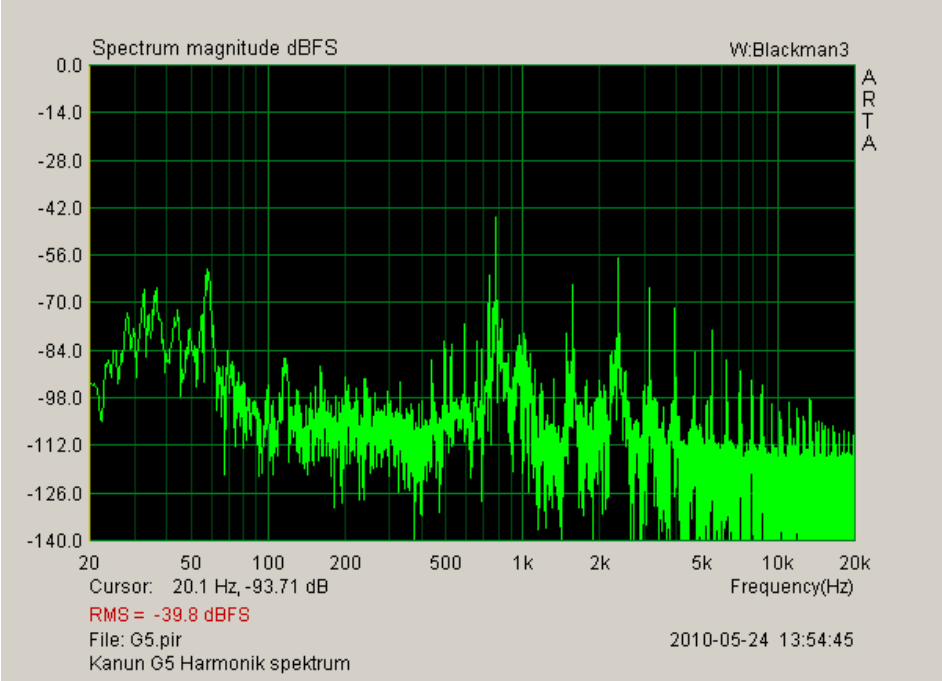
Tablo-6: G4 Sesinin Oktav Bandları

G4(392 Hz.) oktav bandları	
1 Hz.(-66 dB)	250 Hz.(-77 dB)
2 Hz.(-60 dB)	314 Hz.(-70 dB)
3 Hz.(-60 dB)	396 Hz.(-40 dB)
3 Hz.(-67 dB)	500 Hz.(-76 dB)
4 Hz.(-70 dB)	629 Hz.(-76 dB)
6 Hz.(-71 dB)	793 Hz.(-46 dB)
7 Hz.(-71 dB)	1000 Hz.(-71 dB)
9 Hz.(-79 dB)	1259 Hz.(-56 dB)
12 Hz.(-77 dB)	1587 Hz.(-50 dB)
15 Hz.(-84 dB)	2000 Hz.(-50 dB)
19 Hz.(-79 dB)	2519 Hz.(-52 dB)

24 Hz.(-73 dB)	3174 Hz.(-65 dB)
31 Hz.(-68 dB)	4000 Hz.(-69 dB)
39 Hz.(-51 dB)	5039 Hz.(-74 dB)
49 Hz.(-69 dB)	6349 Hz.(-83 dB)
62 Hz.(-67 dB)	8000 Hz.(-83 dB)
78 Hz.(-72 dB)	10079 Hz.(-84 dB)
99 Hz.(-77 dB)	12699 Hz.(-84 dB)
125 Hz.(-80 dB)	16000 Hz.(-84 dB)
157 Hz.(-76 dB)	20158 Hz.(-83 dB)
198 Hz.(-75 dB)	

5.1.2.4. Kanun Çalgısının G5(783.99 Hz.) Sesinin İncelenmesi

Şekil-26: Kanun G5 Sesi Frekans Spektrumu

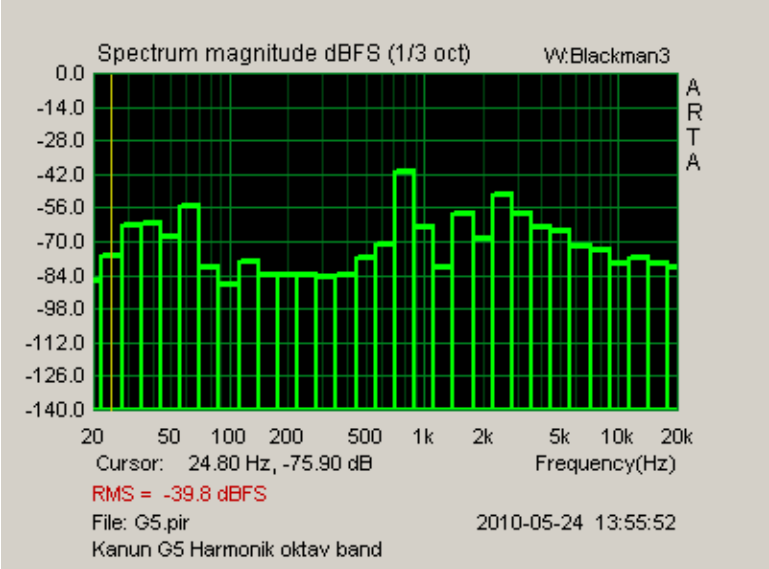


Tablo-7: G5 Sesinin Harmonik Bileşenleri

Kanun G5 sesinin karakteristik harmonikleri		**Kanun G5 sesinin karakteristik üst sesleri**	
Frekans(Hz)	Genlik(dB)	Frekans(Hz)	Genlik(dB)
783.3	-51.41	440.2	-86.94
1569.9	-64.90	493.7	-81.28
2349.6	-56.91	522.6	-82.45
3134.4	-65.43	586.7	-76.25
3929.8	-71.69	659.2	-81.52
4704.3	-84.53	738.6	-62.11
5504.9	-78.12		
6296.3	-86.82		
7070.1	-90.17		
7860.4	-92.67		

Kanun çalgısının G5 (783.99Hz) sesinin incelenmesi sonucunda temel frekans 783.3 Hz. diğer harmonik bileşenlere göre en güçlü görünmekte ve onu ikinci harmonik (2349.6 Hz) izlemektedir. Birinci ve üçüncü harmonikler yaklaşık aynı genlik değerindedirler. İkinci harmonik (2349.6 Hz)'den itibaren harmoniklerin genlikleri düzenli bir görünümde azalmaktadır. Yukarıdaki tablodan da görüldüğü gibi farklı genliklerde, karakteristik olan sekiz adet düzenli harmonik gözlenmiştir. Düzensiz üst sesler veya harmonik olmayan bileşenler olarak nitelenebilecek dikkat çeken frekanslar ise, temel frekans (783.3 Hz.)'ın altında düşük genlik değerlerinde oluşmaktadır. G5 (783.99Hz) sesine ait aşağıdaki oktav bandları grafiği ve frekans-desibel tablosu, harmoniklerin genel dağılımını ve seviyelerini göstermektedir.

Şekil-27: G5 Sesi Oktav Bandları

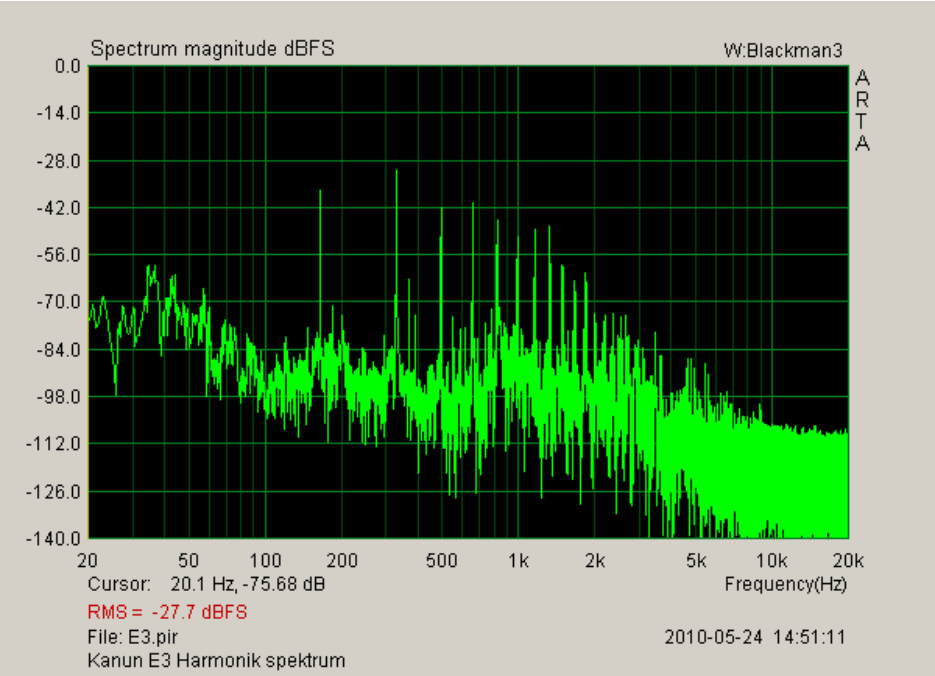


Tablo-8: G5 Sesinin Oktav Bandları

G5(783.99 Hz.) oktav bandları		
1 Hz.(-73 dB)	62 Hz.(-55 dB)	2000 Hz.(-68 dB)
2 Hz.(-75 dB)	78 Hz.(-80 dB)	2519 Hz.(-50 dB)
3 Hz.(-69 dB)	99 Hz.(-87 dB)	3174 Hz.(-57 dB)
3 Hz.(-70 dB)	125 Hz.(-77 dB)	4000 Hz.(-63 dB)
4 Hz.(-71 dB)	157 Hz.(-83 dB)	5039 Hz.(-65 dB)
6 Hz.(-78 dB)	198 Hz.(-83 dB)	6349 Hz.(-71 dB)
7 Hz.(-78 dB)	250 Hz.(-83 dB)	8000 Hz.(-73 dB)
9 Hz.(-80 dB)	314 Hz.(-84 dB)	10079 Hz.(-78 dB)
12 Hz.(-83 dB)	396 Hz.(-83 dB)	12699 Hz.(-76 dB)
15 Hz.(-91 dB)	500 Hz.(-76 dB)	16000 Hz.(-78 dB)
19 Hz.(-85 dB)	629 Hz.(-71 dB)	20158 Hz.(-80 dB)
24 Hz.(-75 dB)	793 Hz.(-40 dB)	
31 Hz.(-63 dB)	1000 Hz.(-63 dB)	
39 Hz.(-62 dB)	1259 Hz.(-80 dB)	
49 Hz.(-67 dB)	1587 Hz.(-58 dB)	

5.1.2.5. Kanun Çalgısının E3(164.81 Hz.) Sesinin İncelenmesi

Şekil-28: E3 Sesinin Frekans Spektrumu

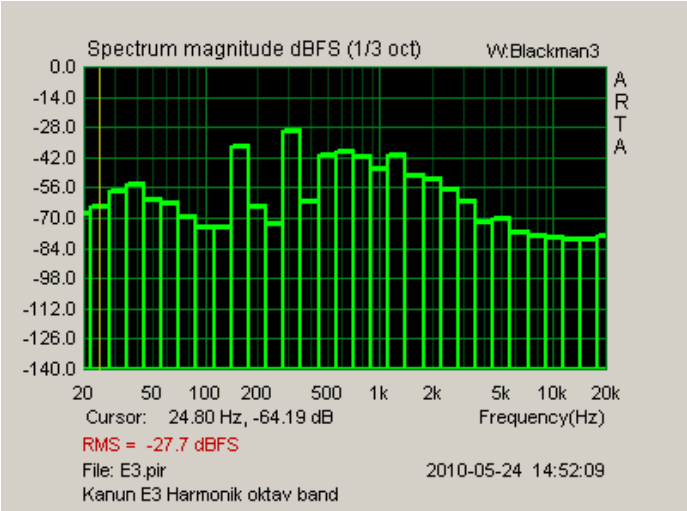


Tablo-9: E3 Sesinin Harmonik Bileşenleri

Kanun E3 sesinin karakteristik harmonikleri		**Kanun E3 sesinin karakteristik üst sesleri**	
Frekans(Hz)	Genlik(dB)	Frekans(Hz)	Genlik(dB)
164.8	-36.90	184.9	-71.29
329.2	-30.84	369.5	-63.47
494.4	-42.15	391.8	-74.10
659.2	-40.75	549.3	-74.56
825.8	-45.58	587.8	-78.00
991.7	-50.99	617.4	-77.53
1159.1	-48.58	735.0	-76.23
1326.8	-47.68		
1489	-59.28		
1652.3	-63.72		
1839.8	-61.85		
1982.3	-73.46		

Kanun çalgısının E3 (164.81 Hz.) sesi incelendiğinde, birinci harmonik (329.2 Hz.)'in temel frekans 164.8 Hz. den yaklaşık 7 dB. daha güçlü olduğu görülmektedir. İlk yedi harmonik belirgin bir şekilde güçlü olup, bundan sonrakilerde genlik giderek düşmektedir. Karakteristik düzensiz üst sesler ise harmoniklere göre daha düşük genlik değerlerinde, yukarıdaki tabloda görüleceği üzere 184.9 Hz. ile 735 Hz. arasında oluşmaktadır. E3 (164.81 Hz) sesine ait aşağıdaki oktav bandları grafiği ve frekans-desibel tablosu, harmoniklerin genel dağılımını ve seviyelerini göstermektedir.

Şekil-29: E3 Sesi Oktav Bandları



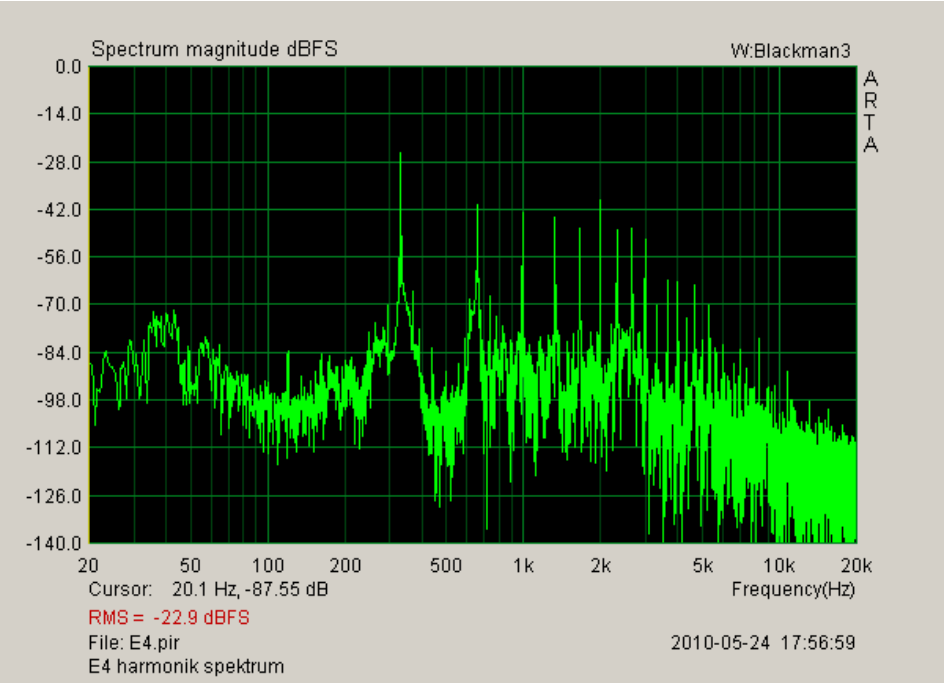
Tablo-10: E3 Sesinin Oktav Bandları

E3(164.81 Hz)oktav bandları		
1 Hz.(-79 dB)	62 Hz.(-62 dB)	2000 Hz.(-51 dB)
2 Hz.(-68 dB)	78 Hz.(-69 dB)	2519 Hz.(-56 dB)
3 Hz.(-70 dB)	99 Hz.(-74 dB)	3174 Hz.(-62 dB)
3 Hz.(-70 dB)	125 Hz.(-74 dB)	4000 Hz.(-72 dB)
4 Hz.(-66 dB)	157 Hz.(-36 dB)	5039 Hz.(-70 dB)
6 Hz.(-68 dB)	198 Hz.(-64 dB)	6349 Hz.(-76 dB)
7 Hz.(-71 dB)	250 Hz.(-72 dB)	8000 Hz.(-78 dB)
9 Hz.(-71 dB)	314 Hz.(-29 dB)	10079 Hz.(-79 dB)
12 Hz.(-75 dB)	396 Hz.(-61 dB)	12699 Hz.(-79 dB)
15 Hz.(-76 dB)	500 Hz.(-40 dB)	16000 Hz.(-79 dB)
19 Hz.(-67 dB)	629 Hz.(-39 dB)	20158 Hz.(-77 dB)

24 Hz.(-64 dB)	793 Hz.(-41 dB)	
31 Hz.(-57 dB)	1000 Hz.(-46 dB)	
39 Hz.(-54 dB)	1259 Hz.(-41 dB)	
49 Hz.(-61 dB)	1587 Hz.(-50 dB)	

5.1.2.6. Kanun Çalgısının E4(329.63 Hz.) Sesinin İncelenmesi

Şekil-30: E4 sesinin frekans cevap spektrumu



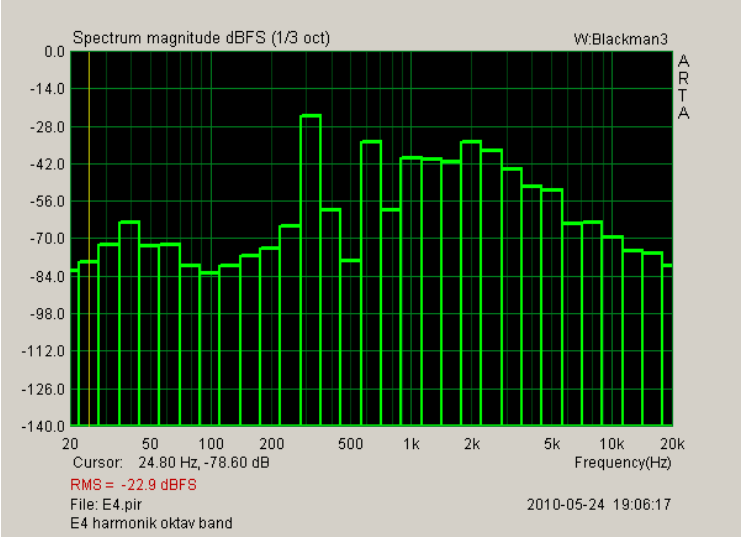
Tablo-11: E4 sesinin harmonik bileşenleri

Kanun E4 sesinin karakteristik harmonikleri		**Kanun E4 sesinin karakteristik üst sesleri**	
Frekans(Hz)	Genlik(dB)	Frekans(Hz)	Genlik(dB)
330	-25.57	120.1	-83.64
659.5	-40.59	294.8	-70.08
990.2	-43.01	369.1	-75.72
1320.6	-44.52	738.6	-67.56
1652.3	-47.76	782.2	-73.69
1983.8	-39.15		
2316.3	-48.22		
2646.6	-47.37		

2983.2	-51.01		
3317.9	-70.38		
3650.8	-62.62		
3989.1	-63.37		
4330.1	-73.86		
4666.6	-64.12		
5303.1	-70.40		

Kanun çalgısının E4 (329.63 Hz.) sesi incelendiğinde, temel frekans (330 Hz.)'ın diğer harmonik bileşenlerden daha güçlü olduğu görülmektedir. Harmonik bileşenler sekizinci harmoniğe kadar genlikleri yüksek, sekizinciden sonra yavaş yavaş düşmektedir. Karakteristik düzensiz üst sesler ise harmoniklere göre daha düşük genlik değerlerinde, yukarıdaki tabloda görüleceği üzere 294.8 Hz. ile 782.2 Hz. arasında oluşmaktadır. E4 (329.63 Hz) sesine ait aşağıdaki oktav bandları grafiği ve frekans-desibel tablosu, harmoniklerin genel dağılımını ve seviyelerini göstermektedir.

Şekil-31: E4 Sesi Oktav Bandları

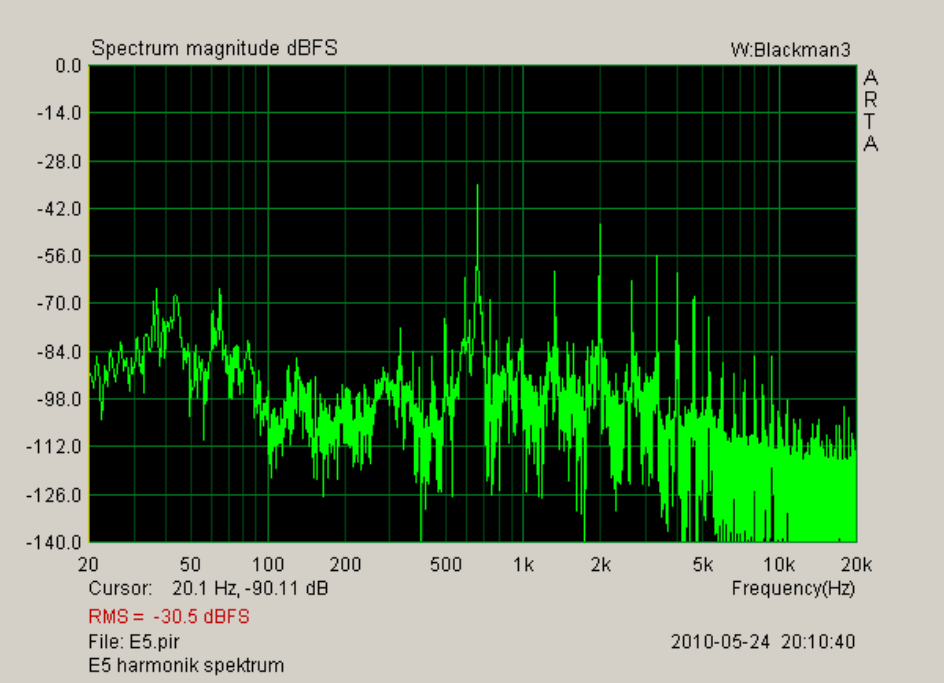


Tablo-12: E4 Sesi Oktav Bandları

1 Hz.(-69 dB)	49 Hz.(-72 dB)	1587 Hz.(-41 dB)
2 Hz.(-66 dB)	62 Hz.(-71 dB)	2000 Hz.(-33 dB)
3 Hz.(-67 dB)	78 Hz.(-79 dB)	2519 Hz.(-37 dB)
3 Hz.(-62 dB)	99 Hz.(-82 dB)	3174 Hz.(-43 dB)
4 Hz.(-62 dB)	125 Hz.(-79 dB)	4000 Hz.(-50 dB)
6 Hz.(-64 dB)	157 Hz.(-76 dB)	5039 Hz.(-51 dB)
7 Hz.(-71 dB)	198 Hz.(-73 dB)	6349 Hz.(-64 dB)
9 Hz.(-74 dB)	250 Hz.(-65 dB)	8000 Hz.(-63 dB)
12 Hz.(-71 dB)	314 Hz.(-24 dB)	10079 Hz.(-69 dB)
15 Hz.(-79 dB)	396 Hz.(-59 dB)	12699 Hz.(-74 dB)
19 Hz.(-81 dB)	500 Hz.(-78 dB)	16000 Hz.(-75 dB)
24 Hz.(-78 dB)	629 Hz.(-33 dB)	20158 Hz.(-79 dB)
31 Hz.(-72 dB)	793 Hz.(-59 dB)	
39 Hz.(-63 dB)	1000 Hz.(-39 dB)	

5.1.2.7. Kanun Çalgısının E5(659.26 Hz.) Sesinin İncelenmesi

Şekil-32: E5 Sesinin Frekans Spektrumu

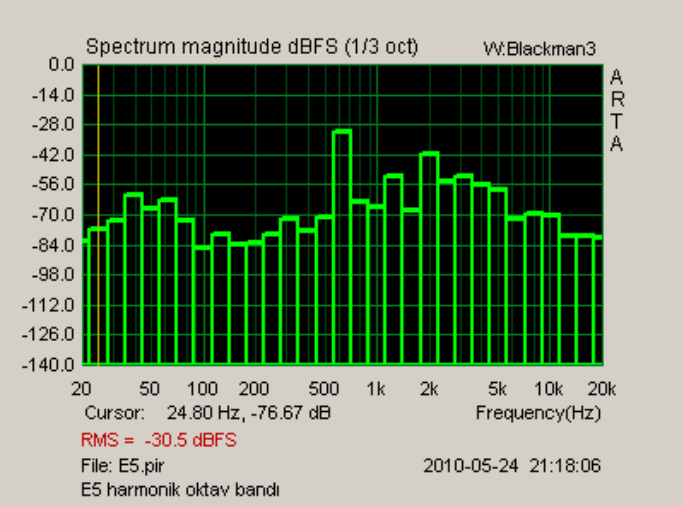


Tablo-13: E5 sesinin Harmonik Bileşenleri

Kanun E5 sesinin karakteristik harmonikleri		**Kanun E5 sesinin karakteristik üst sesleri**	
Frekans(Hz)	Genlik(dB)	Frekans(Hz)	Genlik(dB)
659.2	-35.03	329.2	-77.06
1319.8	-60.45	493.7	-74.51
1980.80	-46.60	587.8	-62.49
2639.6	-63.09	738.6	-68.89
3304.3	-56.05		
3967.5	-61.16		
4621.6	-67.75		
5298.0	-73.93		
5968.9	-87.54		

Kanun çalgısının E5(659.26 Hz.) sesi incelendiğinde, temel frekans(659.2 Hz.)'ın diğer harmonik bileşenlere göre daha güçlü olduğu görülmektedir. Temel frekanstan sonra en güçlü harmonik bileşen ikinci harmonik(1980.80 Hz.)'dir. Dördüncü harmonikten sonra harmonik bileşenlerin genlikleri gittikçe düşmektedir. Karakteristik olabilecek, düşük genliklerde dört tane uyumsuz üst ve alt ses gözlenmiştir. E5(659.26 Hz.) sesine ait aşağıdaki oktav bandları grafiği ve frekans-desibel tablosu, harmoniklerin genel dağılımını ve seviyelerini göstermektedir.

Şekil-33: E5 Sesi Oktav Bandları

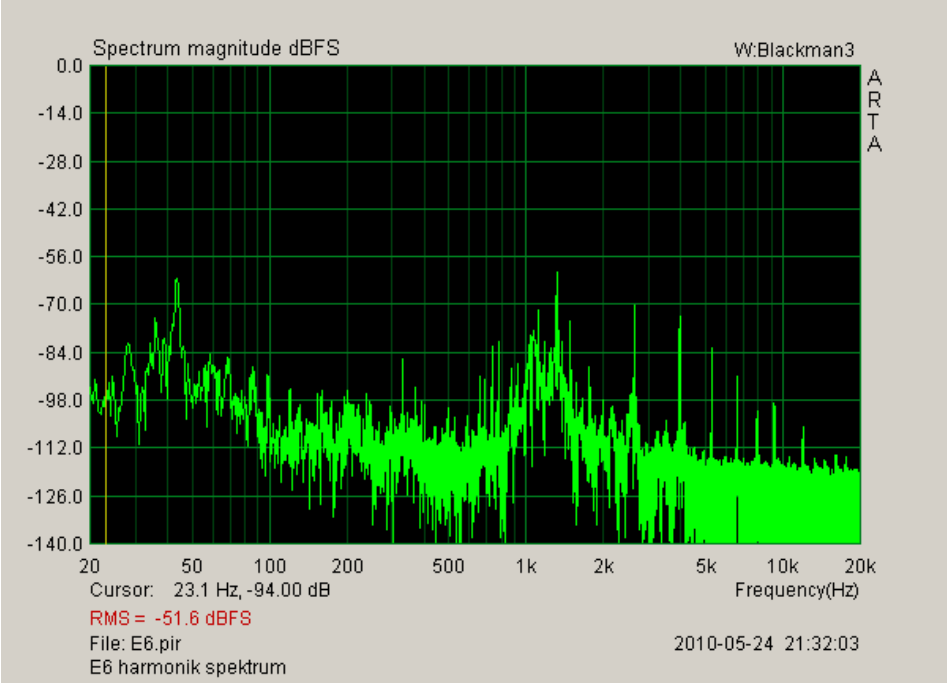


Tablo-14: E5 sesinin Oktav Bandları

E5(659.26 Hz.) oktav bandları		
1 Hz.(-76 dB)	49 Hz.(-66 dB)	1259 Hz.(-52 dB)
2 Hz.(-74 dB)	62 Hz.(-62 dB)	1587 Hz.(-67 dB)
3 Hz.(-75 dB)	78 Hz.(-72 dB)	2000 Hz.(-41 dB)
3 Hz.(-74 dB)	99 Hz.(-84 dB)	2519 Hz.(-53 dB)
4 Hz.(-71 dB)	125 Hz.(-79 dB)	3174 Hz.(-51 dB)
6 Hz.(-68 dB)	157 Hz.(-83 dB)	4000 Hz.(-55 dB)
7 Hz.(-76 dB)	198 Hz.(-83 dB)	5039 Hz.(-58 dB)
9 Hz.(-81 dB)	250 Hz.(-78 dB)	6349 Hz.(-71 dB)
12 Hz.(-78 dB)	314 Hz.(-71 dB)	8000 Hz.(-68 dB)
15 Hz.(-84 dB)	396 Hz.(-77 dB)	10079 Hz.(-69 dB)
19 Hz.(-81 dB)	500 Hz.(-70 dB)	12699 Hz.(-79 dB)
24 Hz.(-76 dB)	629 Hz.(-30 dB)	16000 Hz.(-79 dB)
31 Hz.(-72 dB)	793 Hz.(-63 dB)	20158 Hz.(-80 dB)
39 Hz.(-60 dB)	1000 Hz.(-65 dB)	

5.1.2.8. Kanun Çalgısının E6(1318.5 Hz.) Sesinin İncelenmesi

Şekil-34: E6 Sesinin Frekans Spektrumu



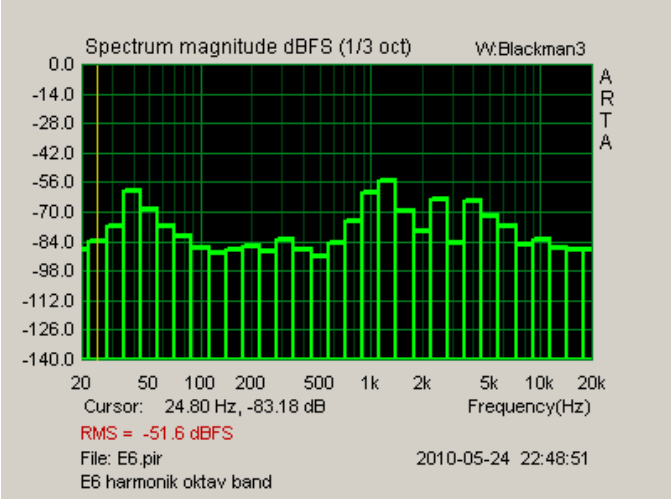
Tablo-15: E6 sesinin Harmonik Bileşenleri

Kanun E6 sesinin karakteristik harmonikleri		**Kanun E6 sesinin karakteristik üst sesleri**	
Frekans(Hz)	Genlik(dB)	Frekans(Hz)	Genlik(dB)
1319.1	-60.50	43.6	-62.20
2633.8	-70.06	329.6	-86.02
3969.4	-73.59	738.3	-82.36
5269.8	-82.86	780	-80.81
6607.5	-90.87	1108.9	-71.74
7917.1	-101.00		
9227.8	-99.02		

İncelenen E6(1318.5 Hz.) sesi kanun çalgısının en tiz sesidir. Temel frekans 1319.1 Hz. en güçlü bileşendir. İkinci harmonikten sonra harmoniklerin genlikleri karakteristik bir biçimde düşmektedir. Genlikleri düşük de olsa yedi harmonik incelemede görülebilmektedir.

E6 sesi tiz bir karaktere sahip olmasına rağmen, alt bölgede yaklaşık 43.6 Hz. lik düzensiz bir bileşen dikkat çekmektedir. Bundan başka karakteristik olan uyumsuz bileşenler yukarıdaki tabloda gösterilmiştir. E6(1318.5 Hz.) sesine ait aşağıdaki oktav bandları grafiği ve frekans-desibel tablosu, harmoniklerin genel dağılımını ve seviyelerini göstermektedir.

Şekil-35: E6 Sesi Oktav Bandları

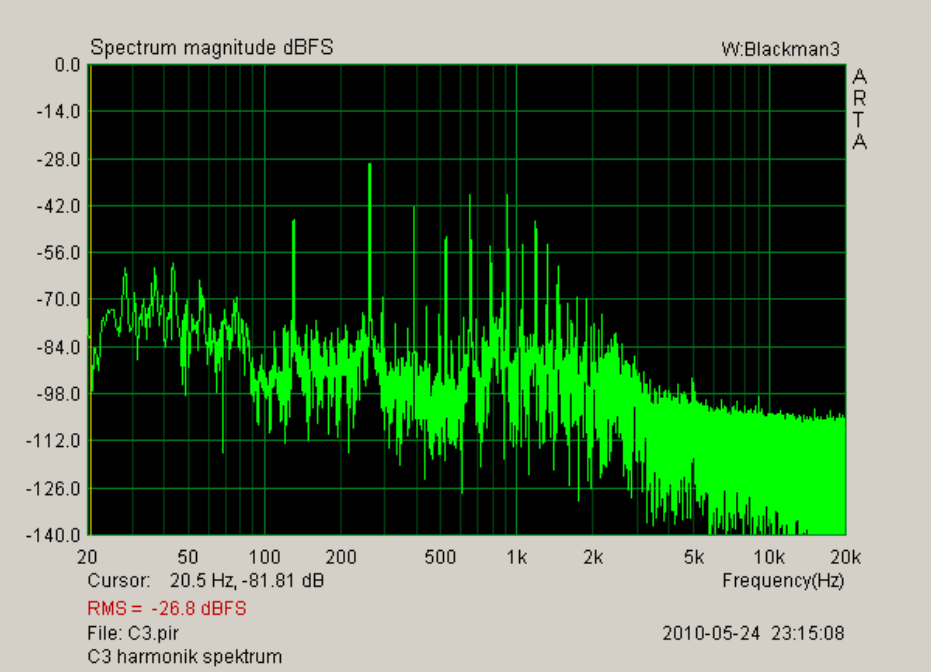


Tablo-16: E6(1318.5 Hz.) oktav bandları

E6(1318.5 Hz.) oktav bandları		
1 Hz.(-83 dB)	49 Hz.(-68 dB)	1259 Hz.(-54 dB)
2 Hz.(-78 dB)	62 Hz.(-76 dB)	1587 Hz.(-68 dB)
3 Hz.(-76 dB)	78 Hz.(-81 dB)	2000 Hz.(-78 dB)
3 Hz.(-74 dB)	99 Hz.(-86 dB)	2519 Hz.(-63 dB)
4 Hz.(-76 dB)	125 Hz.(-89 dB)	3174 Hz.(-84 dB)
6 Hz.(-76 dB)	157 Hz.(-87 dB)	4000 Hz.(-64 dB)
7 Hz.(-78 dB)	198 Hz.(-85 dB)	5039 Hz.(-71 dB)
9 Hz.(-84 dB)	250 Hz.(-88 dB)	6349 Hz.(-76 dB)
12 Hz.(-86 dB)	314 Hz.(-82 dB)	8000 Hz.(-85 dB)
15 Hz.(-87 dB)	396 Hz.(-87 dB)	10079 Hz.(-82 dB)
19 Hz.(-87 dB)	500 Hz.(-90 dB)	12699 Hz.(-86 dB)
24 Hz.(-83 dB)	629 Hz.(-84 dB)	16000 Hz.(-87 dB)
31 Hz.(-76 dB)	793 Hz.(-73 dB)	20158 Hz.(-87 dB)
39 Hz.(-59 dB)	1000 Hz.(-60 dB)	

5.1.2.9. Kanun Çalgısının C3(130.81 Hz.) sesinin incelenmesi

Şekil-36: C3 Sesinin Frekans Spektrumu

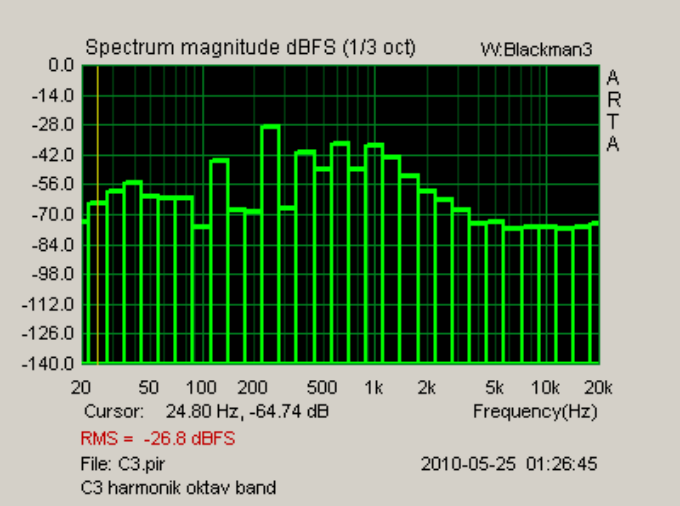


Tablo-17: C3 sesinin Harmonik Bileşenleri

Kanun C3 sesinin karakteristik harmonikleri		**Kanun C3 sesinin karakteristik üst ve alt sesleri**	
Frekans(Hz)	Genlik(dB)	Frekans(Hz)	Genlik(dB)
130.7	-46.38	28.2	-60.54
261.1	-29.42	37.0	-60.61
391.8	-42.66	43.6	-59.17
522.6	-51.21	55.7	-64.02
653.0	-38.91	77.6	-69.40
784.4	-53.98	292.6	-69.50
919.6	-38.77	329.2	-77.12
1052.5	-53.70	370.6	-78.41
1186.9	-46.85	440.2	-80.92
1321.3	-53.42	489.3	-74.39
1459.0	-60.16	617.1	-75.13
1595.9	-71.07	870.1	-67.78
1733.3	-69.42		
1872.4	-69.97		

C3 (130.81 Hz.) sesi incelendiğinde ilk dikkat çeken durum birinci harmoniğin(261.1 Hz.) temel frekans 130.81 Hz. den 16 dB , ikinci harmoniğin(391.8 Hz.) 4 dB daha güçlü olmasıdır. İlk sekiz harmonikten sonra, diğer harmoniklerin genlikleri gittikçe düşmektedir. Düzensiz alt ve üst sesler olarak yukarıdaki tabloda verilen 28.2 Hz. ile 870.1 Hz. arasındaki bazı frekanslar belirlenmiştir. Düzensiz bileşenlerin genlikleri harmonik bileşenlere göre oldukça düşüktür. C3(130.81 Hz.) sesine ait aşağıdaki oktav bandları grafiği ve frekans-desibel tablosu, harmoniklerin genel dağılımını ve seviyelerini göstermektedir.

Şekil-37: C3 Sesi Oktav Bandları

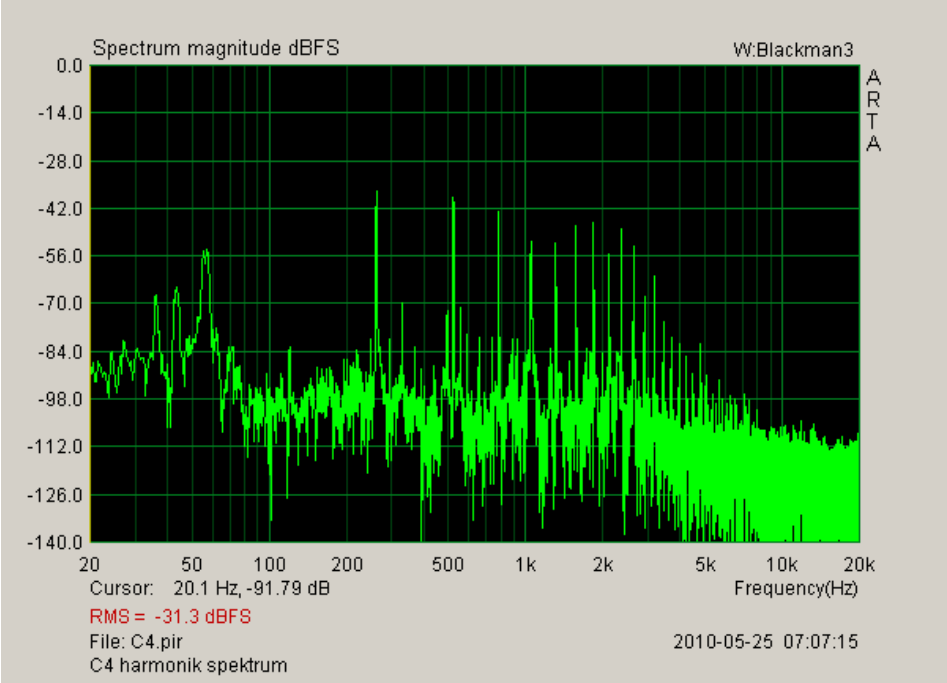


Tablo-18: C3 (130.81 Hz.) oktav bandları

C3(130.81 Hz.) oktav bandları		
1 Hz.(-68 dB)	62 Hz.(-62 dB)	2000 Hz.(-58 dB)
2 Hz.(-66 dB)	78 Hz.(-62 dB)	2519 Hz.(-62 dB)
3 Hz.(-67 dB)	99 Hz.(-75 dB)	3174 Hz.(-67 dB)
3 Hz.(-67 dB)	125 Hz.(-44 dB)	4000 Hz.(-73 dB)
4 Hz.(-62 dB)	157 Hz.(-67 dB)	5039 Hz.(-72 dB)
6 Hz.(-65 dB)	198 Hz.(-68 dB)	6349 Hz.(-76 dB)
7 Hz.(-68 dB)	250 Hz.(-28 dB)	8000 Hz.(-75 dB)
9 Hz.(-67 dB)	314 Hz.(-66 dB)	10079 Hz.(-75 dB)
12 Hz.(-70 dB)	396 Hz.(-40 dB)	12699 Hz.(-76 dB)
15 Hz.(-72 dB)	500 Hz.(-48 dB)	16000 Hz.(-75 dB)
19 Hz.(-72 dB)	629 Hz.(-36 dB)	20158 Hz.(-74 dB)
24 Hz.(-64 dB)	793 Hz.(-48 dB)	
31 Hz.(-58 dB)	1000 Hz.(-37 dB)	
39 Hz.(-55 dB)	1259 Hz.(-42 dB)	
49 Hz.(-61 dB)	1587 Hz.(-51 dB)	

5.1.2.10. Kanun Çalgısının C4(261.63 Hz.) sesinin incelenmesi

Şekil-38: C4 Sesinin Frekans Spektrumu

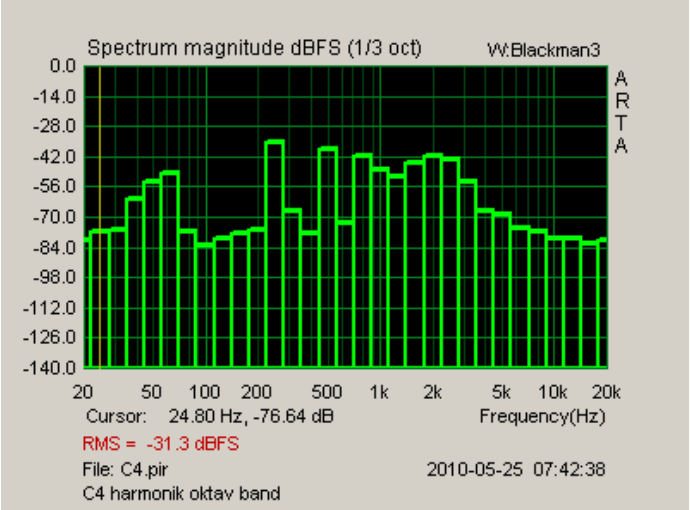


Tablo-19: C4 sesinin Harmonik Bileşenleri

Kanun C4 sesinin karakteristik harmonikleri		**Kanun C4 sesinin karakteristik üst ve alt sesleri**	
Frekans(Hz)	Genlik(dB)	Frekans(Hz)	Genlik(dB)
261.8	-36.78	36.3	-67.61
522.2	-38.78	43.6	-65.03
784.8	-43.00	56.0	-57.99
1046.3	-51.92	329.6	-69.72
1309.2	-52.23	4810.9	-81.57
1573.2	-47.17		
1836.9	-46.35		
2101.7	-55.59		
2365.4	-48.26		
2632.0	-53.02		
2901.1	-67.85		
3170.3	-62.12		
3437.3	-75.35		

Kanun çalgısının C4(261.63 Hz) sesinin temel frekans ve harmonikleri, dokuzuncu harmoniğe(2632.0 Hz.) kadar yüksek genlikli karakteristik bir görünüm sergilemektedir. Dokuzuncu harmonikten sonra harmoniklerin genlikleri giderek azalmaktadır.Temel frekansın(261.63 Hz.) altında üç adet ve üstünde iki adet olmak üzere beş tane düzensiz alt ve üst ses belirlenmiştir. C4(261.63 Hz) sesine ait aşağıdaki oktav bandları grafiği ve frekans-desibel tablosu, harmoniklerin genel dağılımını ve seviyelerini göstermektedir.

Şekil-39: C4 Sesi Oktav Bandları

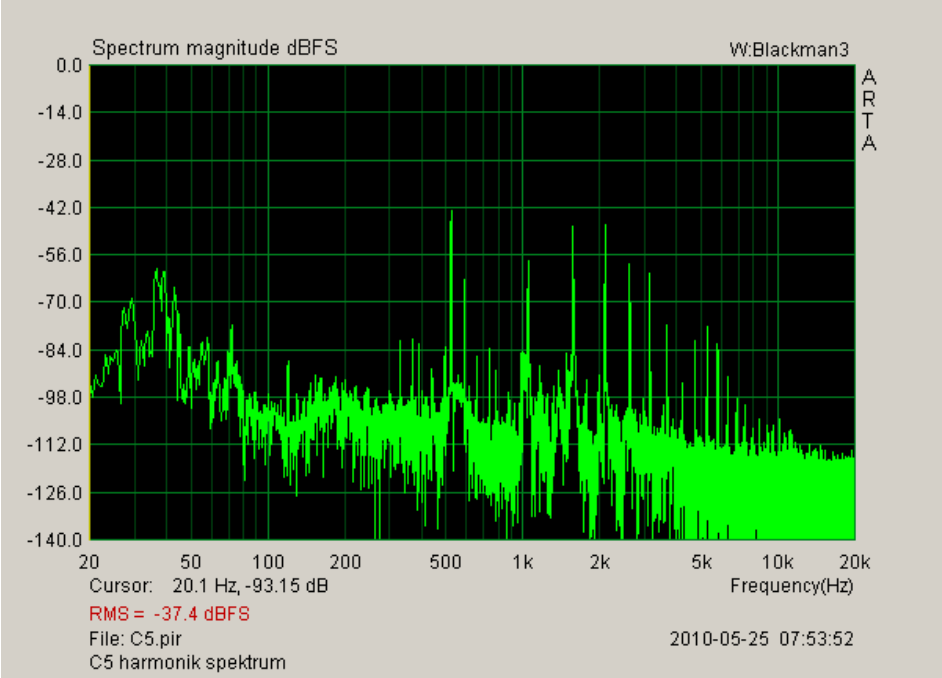


Tablo-20: C4 oktav bandları

C4(261.63 Hz) oktav bandları		
1 Hz.(-76 dB)	49 Hz.(-53 dB)	1259 Hz.(-50 dB)
2 Hz.(-78 dB)	62 Hz.(-49 dB)	1587 Hz.(-44 dB)
3 Hz.(-67 dB)	78 Hz.(-76 dB)	2000 Hz.(-41 dB)
3 Hz.(-72 dB)	99 Hz.(-82 dB)	2519 Hz.(-42 dB)
4 Hz.(-70 dB)	125 Hz.(-79 dB)	3174 Hz.(-53 dB)
6 Hz.(-74 dB)	157 Hz.(-77 dB)	4000 Hz.(-66 dB)
7 Hz.(-74 dB)	198 Hz.(-75 dB)	5039 Hz.(-68 dB)
9 Hz.(-79 dB)	250 Hz.(-35 dB)	6349 Hz.(-75 dB)
12 Hz.(-78 dB)	314 Hz.(-67 dB)	8000 Hz.(-76 dB)
15 Hz.(-78 dB)	396 Hz.(-76 dB)	10079 Hz.(-79 dB)
19 Hz.(-80 dB)	500 Hz.(-38 dB)	12699 Hz.(-79 dB)
24 Hz.(-76 dB)	629 Hz.(-72 dB)	16000 Hz.(-81 dB)
31 Hz.(-75 dB)	793 Hz.(-41 dB)	20158 Hz.(-80 dB)
39 Hz.(-60 dB)	1000 Hz.(-47 dB)	

5.1.2.11. Kanun Çalgısının C5(523.25 Hz.) sesinin incelenmesi

Şekil-40: C5 Sesinin Frekans Spektrumu

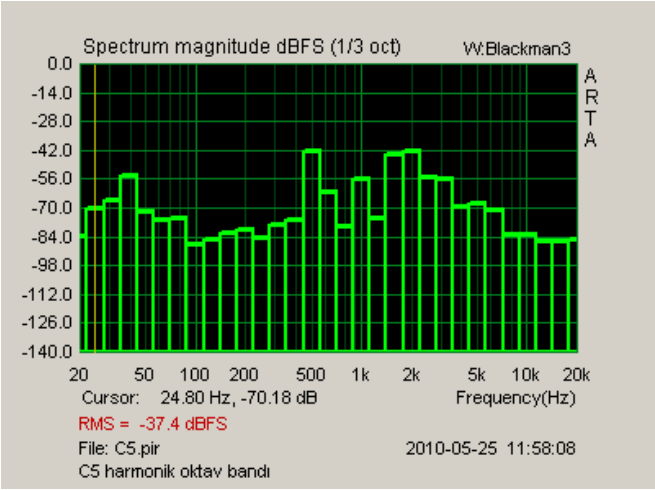


Tablo-21: C5 sesinin Harmonik Bileşenleri

Kanun C5 sesinin karakteristik harmonikleri		Kanun C5 sesinin karakteristik üst ve alt sesleri	
Frekans(Hz)	Genlik(dB)	Frekans(Hz)	Genlik(dB)
522.6	-43.01	28.2	-77.46
1045.9	-57.69	37.7	-65.05
1569.6	-47.40	56.61	-74.79
2095.1	-46.99	72.19	-74.68
2618.4	-58.45	120.1	-87.18
3143.9	-61.48	329.6	-81.41
3669.4	-76.84	370.2	-80.94
4197.9	-93.82	391.8	-82.04
4732.5	-81.13	440.2	-89.49
5257.0	-77.30	586.7	-63.32
5788.7	-82.12	658.1	-86.08
		738.6	-83.54

Kanun çalgısının C5(522.6 Hz.) sesi incelendiğinde düşük genlikte de olsalar, düzensiz alt ve üst seslerin çokluğu dikkat çekmektedir. Bunların çoğu, temel frekans 522.6 Hz.'in altında oluşmaktadır. Temel frekansın üstünde düşük genlik değerlerinde üç tane düzensiz üst ses dikkat çekmektedir. Üçüncü harmonikden(2095.1 Hz.) itibaren harmoniklerin genlikleri azalmaya başlamaktadır. Temel frekans 522.6 Hz. diğer harmoniklere göre biraz daha güçlü görünmektedir. C5(522.6 Hz.) sesine ait, oktav bandları grafiği ve frekans-desibel tablosu aşağıda verilmiştir.

Şekil-41: C5 Sesi Oktav Bandları

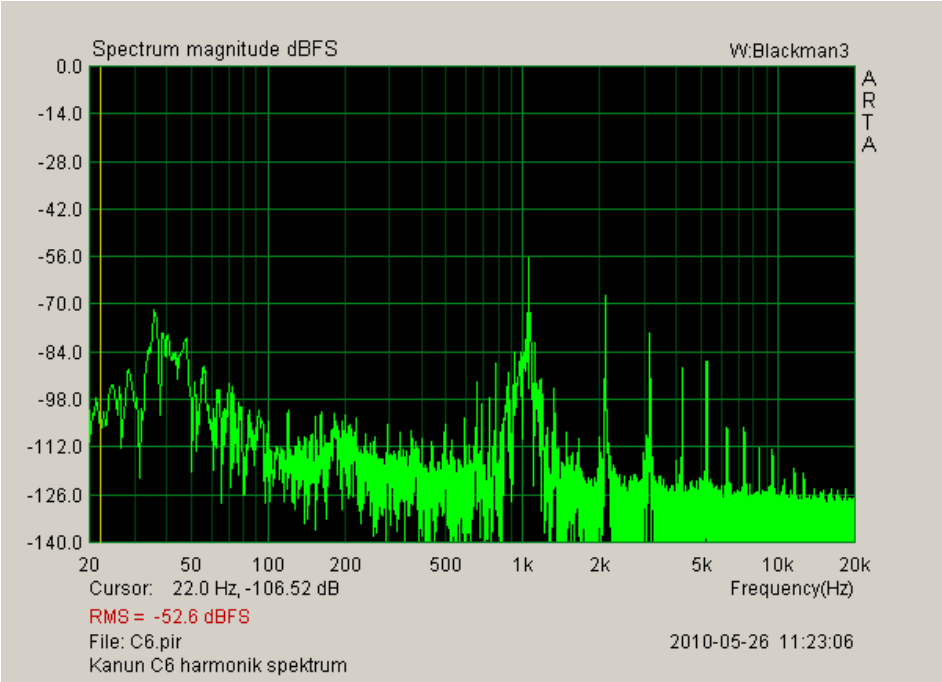


Tablo-22: C5 oktav bandları

C5(522.6 Hz.) oktav bandları		
1 Hz.(-68 dB)	49 Hz.(-71 dB)	1259 Hz.(-75 dB)
2 Hz.(-66 dB)	62 Hz.(-75 dB)	1587 Hz.(-43 dB)
3 Hz.(-64 dB)	78 Hz.(-74 dB)	2000 Hz.(-42 dB)
3 Hz.(-66 dB)	99 Hz.(-87 dB)	2519 Hz.(-54 dB)
4 Hz.(-64 dB)	125 Hz.(-84 dB)	3174 Hz.(-55 dB)
6 Hz.(-65 dB)	157 Hz.(-81 dB)	4000 Hz.(-69 dB)
7 Hz.(-69 dB)	198 Hz.(-80 dB)	5039 Hz.(-67 dB)
9 Hz.(-73 dB)	250 Hz.(-84 dB)	6349 Hz.(-70 dB)
12 Hz.(-74 dB)	314 Hz.(-78 dB)	8000 Hz.(-82 dB)
15 Hz.(-83 dB)	396 Hz.(-75 dB)	10079 Hz.(-82 dB)
19 Hz.(-83 dB)	500 Hz.(-41 dB)	12699 Hz.(-85 dB)
24 Hz.(-70 dB)	629 Hz.(-61 dB)	16000 Hz.(-86 dB)
31 Hz.(-65 dB)	793 Hz.(-78 dB)	20158 Hz.(-84 dB)
39 Hz.(-54 dB)	1000 Hz.(-55 dB)	

5.1.2.12. Kanun Çalgısının C6(1046.5 Hz.) sesinin incelenmesi

Şekil-42: C6 Sesinin Frekans Spektrumu



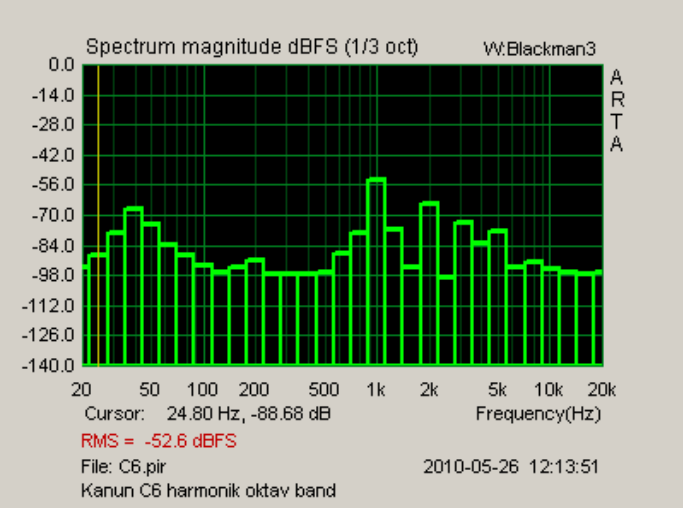
Tablo-23: C6 sesinin Harmonik Bileşenleri

Kanun C6 sesinin karakteristik harmonikleri		Kanun C6 sesinin karakteristik üst ve alt sesleri	
Frekans(Hz)	Genlik(dB)	Frekans(Hz)	Genlik(dB)
1047.7	-56.45	35.9	-71.87
2095.8	-67.53	48.0	-79.92
3145.0	-78.58	658.1	-92.77
4194.6	-88.64	780.0	-87.29
5248.9	-86.68	926.1	-84.07
6309.1	-106.32	1325.3	-94.86
7343.3	-106.10		
8437.1	-112.48		
9453.0	-112.63		

C6(1046.5 Hz.) sesi içerisinde temel frekansın(1047.7 Hz.) diğer harmonik bileşenlere göre daha güçlü olduğu gözlenmektedir. Genlikler açısından ilk dört harmonik karakteristiktir. Dördüncü harmonikten sonra harmonik bileşenlerin genlikleri aniden

düşmektedir. Temel frekansın alt bölgelerinde beş adet ve üst bölgelerinde bir adet karakteristik uyumsuz alt ve üst frekanslar gözlemlenmiştir. C6(1046.5 Hz.) sesine ait, oktav bandları grafiği ve frekans-desibel tablosu aşağıda verilmiştir.

Şekil-43: C6 Sesi Oktav Bandları



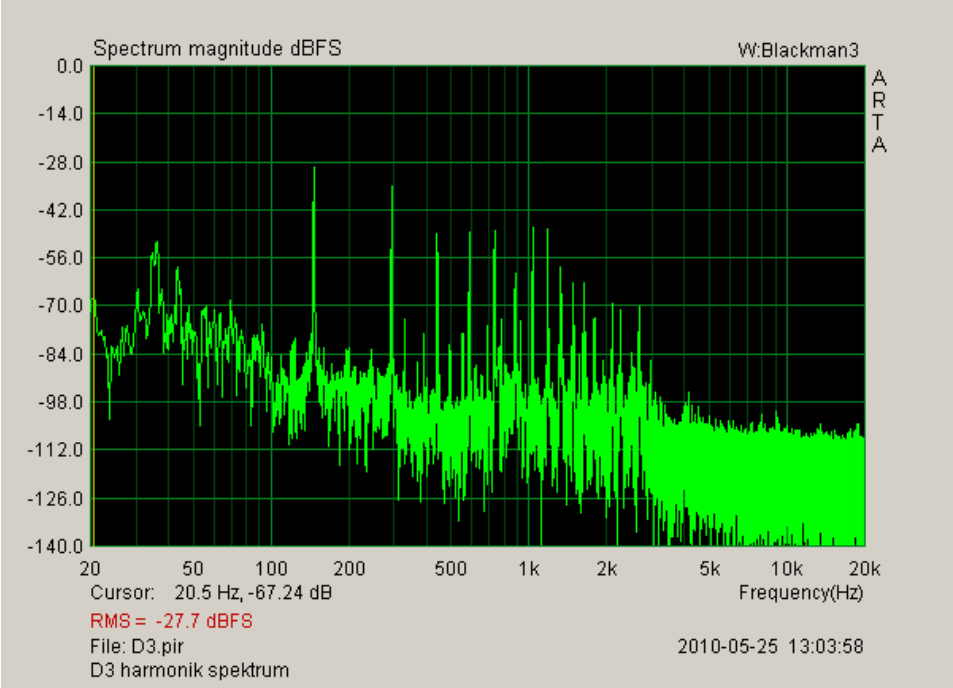
Tablo-24: C6 oktav bandları

C6(1046.5 Hz.)oktav bandları	
1 Hz.(-88 dB)	314 Hz.(-97 dB)
2 Hz.(-88 dB)	396 Hz.(-96 dB)
3 Hz.(-80 dB)	500 Hz.(-96 dB)
3 Hz.(-83 dB)	629 Hz.(-87 dB)
4 Hz.(-84 dB)	793 Hz.(-77 dB)
6 Hz.(-86 dB)	1000 Hz.(-53 dB)
7 Hz.(-91 dB)	1259 Hz.(-76 dB)
9 Hz.(-91 dB)	1587 Hz.(-93 dB)
12 Hz.(-95 dB)	2000 Hz.(-64 dB)
15 Hz.(-95 dB)	2519 Hz.(-98 dB)
19 Hz.(-94 dB)	3174 Hz.(-72 dB)
24 Hz.(-88 dB)	4000 Hz.(-82 dB)
31 Hz.(-78 dB)	5039 Hz.(-77 dB)
39 Hz.(-67 dB)	6349 Hz.(-93 dB)
49 Hz.(-73 dB)	8000 Hz.(-91 dB)
62 Hz.(-83 dB)	10079 Hz.(-94 dB)
78 Hz.(-88 dB)	12699 Hz.(-96 dB)
99 Hz.(-93 dB)	16000 Hz.(-97 dB)
125 Hz.(-96 dB)	20158 Hz.(-96 dB)
157 Hz.(-94 dB)	
198 Hz.(-90 dB)	

250 Hz.(-97 dB)	

5.1.2.13. Kanun çalgısının D3(146.83 Hz.) sesinin incelenmesi

Şekil-44: D3 Sesinin Frekans Spektrumu

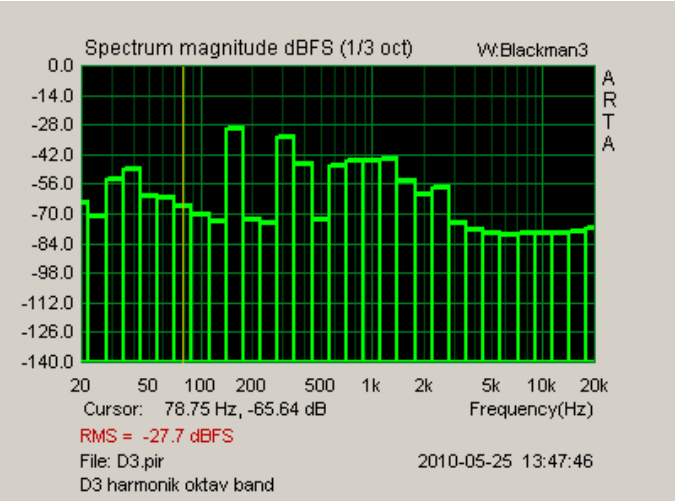


Tablo-25: D3 sesinin Harmonik Bileşenleri

Kanun D3 sesinin karakteristik harmonikleri		**Kanun D3 sesinin karakteristik üst ve alt sesleri**	
Frekans(Hz)	Genlik(dB)	Frekans(Hz)	Genlik(dB)
146.9	-29.72	36.04	-48.25
293.3	-34.95	43.65	-56.95
439.8	-48.87	55.64	-65.01
588.1	-48.69	63.73	-64.23
736.1	-47.82	90.48	-69.22
885.1	-60.70	328.5	-74.0
1033.1	-47.21	391.5	-84.80
1182.5	-47.42	549.7	-83.30
1325.3	-58.45	686.3	-75.71
1484.6	-63.48	783.3	-74.10
1636.2	-63.17	928.0	-74.29
1790.4	-73.59		
1943.8	-86.06		
2100.6	-69.16		

Kanun çalgısının D3(146.83 Hz.) sesinin incelenmesi sonucu karakteristik bulunan harmonikler ve uyumsuz alt-üst sesler yukarıdaki tabloda belirtilmiştir. Temel frekans (146.83 Hz.) harmoniklere göre daha güçlü görünmektedir. Harmonikler yedinciden(1182.5 Hz.) itibaren düşüşe geçmekte ve giderek kaybolmaktadır. Oluşan uyumsuz alt ve üst seslerin beştanesi temel frekansın altında, altı tanesi ise temel frekansın üstünde oluşmaktadır. D3(146.83 Hz.) sesine ait, oktav bandları grafiği ve frekans-desibel tablosu aşağıda verilmiştir.

Şekil-45: D3 Sesi Oktav Bandları

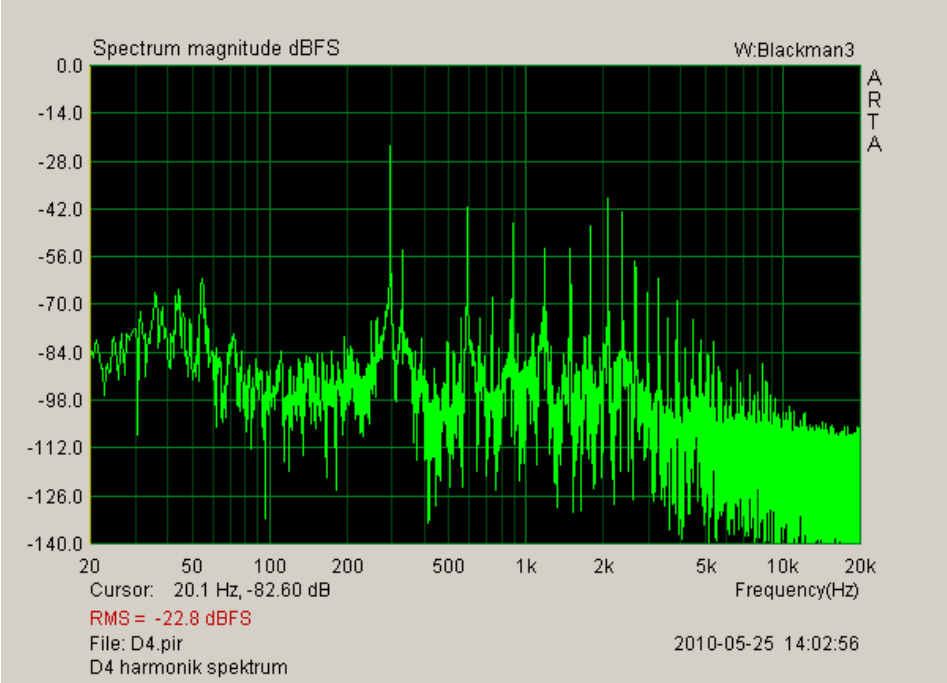


Tablo-26: D3 oktav bandları

1 Hz.(-61 dB)	99 Hz.(-69 dB)	5039 Hz.(-79 dB)
2 Hz.(-66 dB)	125 Hz.(-73 dB)	6349 Hz.(-79 dB)
3 Hz.(-61 dB)	157 Hz.(-29 dB)	8000 Hz.(-78 dB)
3 Hz.(-61 dB)	198 Hz.(-72 dB)	10079 Hz.(-78 dB)
4 Hz.(-68 dB)	250 Hz.(-73 dB)	12699 Hz.(-78 dB)
6 Hz.(-65 dB)	314 Hz.(-33 dB)	16000 Hz.(-78 dB)
7 Hz.(-75 dB)	396 Hz.(-46 dB)	20158 Hz.(-76 dB)
9 Hz.(-70 dB)	500 Hz.(-72 dB)	
12 Hz.(-72 dB)	629 Hz.(-46 dB)	
15 Hz.(-78 dB)	793 Hz.(-44 dB)	
19 Hz.(-64 dB)	1000 Hz.(-44 dB)	
24 Hz.(-70 dB)	1259 Hz.(-43 dB)	
31 Hz.(-53 dB)	1587 Hz.(-54 dB)	
39 Hz.(-48 dB)	2000 Hz.(-60 dB)	
49 Hz.(-61 dB)	2519 Hz.(-57 dB)	
62 Hz.(-62 dB)	3174 Hz.(-73 dB)	
78 Hz.(-65 dB)	4000 Hz.(-77 dB)	

5.1.2.14. Kanun çalgısının D4(293.66 Hz.) sesinin incelenmesi

Şekil-46: D4 Sesinin Frekans Spektrumu



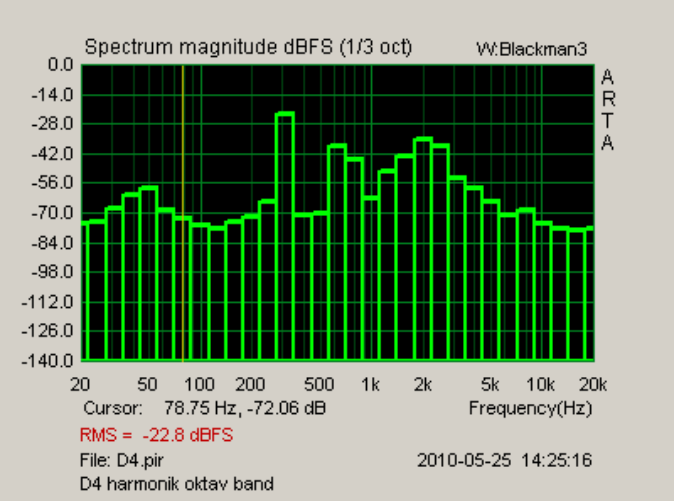
Tablo-27: D4 sesinin Harmonik Bileşenleri

Kanun D4 sesinin karakteristik harmonikleri		**Kanun D4 sesinin karakteristik üst ve alt sesleri**	
Frekans(Hz)	Genlik(dB)	Frekans(Hz)	Genlik(dB)
294.1	-23.73	54.9	-62.34
589.2	-41.53	329.6	-54.02
884.4	-46.41	392.2	-79.94
1179.9	-53.43	493.7	-80.72
1475.8	-53.69	554.8	-73.9
1771.7	-47.19	659.5	-73.98
2068.7	-38.77	738.6	-68.15
2366.1	-42.75	1062.7	-78.39
2655.8	-57.27		
2968.1	-66.59		
3264.8	-62.36		

3565.8	-73.70		
3867.9	-68.99		
4436.6	-74.51		

D4(293.66 Hz.) sesi incelendiğinde, bu sese ait karakteristik harmonik ve uyumsuz alt-üst sesler yukarıdaki tabloda gösterilmiştir. Temel frekansın (293.66 Hz.) diğer harmoniklere göre oldukça güçlü olduğu görülmektedir. Altıncı harmonik(2068.7 Hz.) harmonikler arasında en yüksek genlik değeriyle dikkat çekmektedir. Harmoniklerin genliklerinin altıncı harmonikten sonra giderek düştüğü gözlenmektedir. D4(293.66 Hz.) sesine ait oktav bandları grafiği ve frekans-desibel tablosu aşağıda verilmiştir.

Şekil-47: D4 Sesi Oktav Bandları



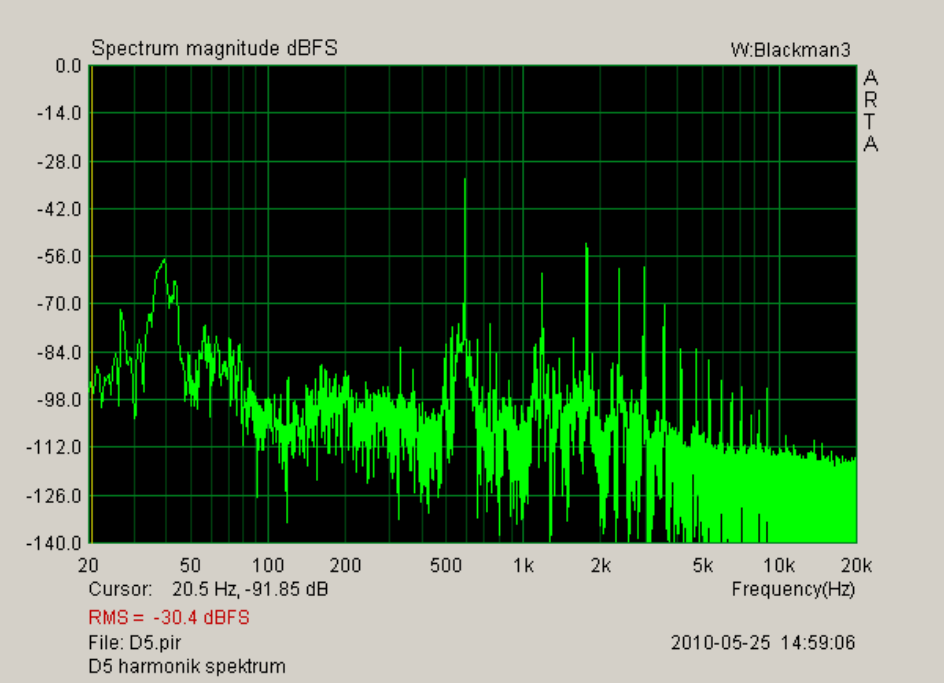
Tablo-28: D4 oktav bandları

D4(293.66 Hz.) oktav bandları		
1 Hz.(-70 dB)	49 Hz.(-58 dB)	1259 Hz.(-50 dB)
2 Hz.(-67 dB)	62 Hz.(-68 dB)	1587 Hz.(-43 dB)
3 Hz.(-62 dB)	78 Hz.(-72 dB)	2000 Hz.(-34 dB)
3 Hz.(-63 dB)	99 Hz.(-75 dB)	2519 Hz.(-38 dB)
4 Hz.(-62 dB)	125 Hz.(-76 dB)	3174 Hz.(-53 dB)
6 Hz.(-68 dB)	157 Hz.(-73 dB)	4000 Hz.(-58 dB)
7 Hz.(-76 dB)	198 Hz.(-71 dB)	5039 Hz.(-64 dB)
9 Hz.(-73 dB)	250 Hz.(-64 dB)	6349 Hz.(-71 dB)
12 Hz.(-75 dB)	314 Hz.(-23 dB)	8000 Hz.(-68 dB)
15 Hz.(-77 dB)	396 Hz.(-71 dB)	10079 Hz.(-75 dB)

19 Hz.(-75 dB)	500 Hz.(-69 dB)	12699 Hz.(-76 dB)
24 Hz.(-74 dB)	629 Hz.(-38 dB)	16000 Hz.(-77 dB)
31 Hz.(-67 dB)	793 Hz.(-44 dB)	20158 Hz.(-77 dB)
39 Hz.(-61 dB)	1000 Hz.(-63 dB)	

5.1.2.15. Kanun çalgısının D5(587.33 Hz.) sesinin incelenmesi

Şekil-48: D5 Sesinin Frekans Spektrumu

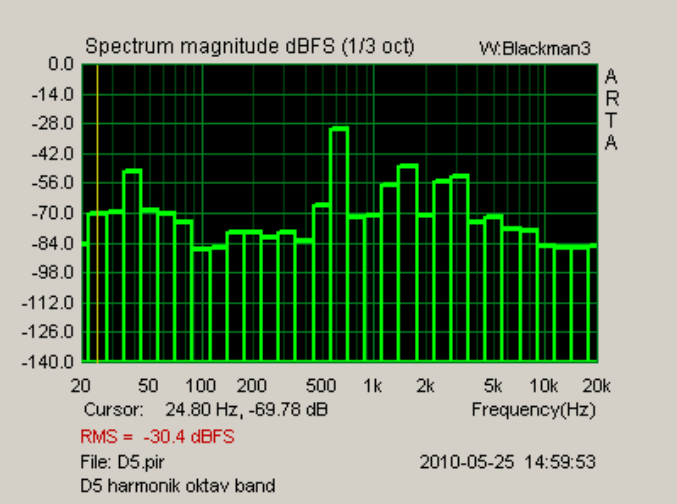


Tablo-29: D5 sesinin Harmonik Bileşenleri

Kanun D5 sesinin karakteristik harmonikleri		**Kanun D5 sesinin karakteristik üst ve alt sesleri**	
Frekans(Hz)	Genlik(dB)	Frekans(Hz)	Genlik(dB)
586.7	-33.39	39.2	-56.87
1176.6	-60.9	56.8	-76.35
1763.3	-52.18	329.6	-82.73
2354.0	-59.80	658.1	-80.35
2946.5	-59.01	738.6	-75.64
3533.6	-70.39	1379.5	-86.17
4125.0	-83.16	1571.4	-79.94
4720.8	-83.03		

D5(587.33 Hz.) sesi incelendiğinde temel frekansın(586.7 Hz.) diğer harmonik bileşenlerden daha güçlü olduğu görülmektedir. Harmoniklerin genlikleri dördüncü harmonikten(2946.5 Hz.) sonra giderek düşmektedir. Karakteristik olan harmonikler ve uyumsuz alt-üst sesler yukarıdaki tabloda belirtilmiştir. Neredeyse harmonikler kadar uyumsuz alt-üst sesler gözlenmektedir. D5(587.33 Hz.) sesine ait oktav bandları grafiği ve frekans-desibel tablosu aşağıda verilmiştir.

Şekil-49: D5 Sesi Oktav Bandları

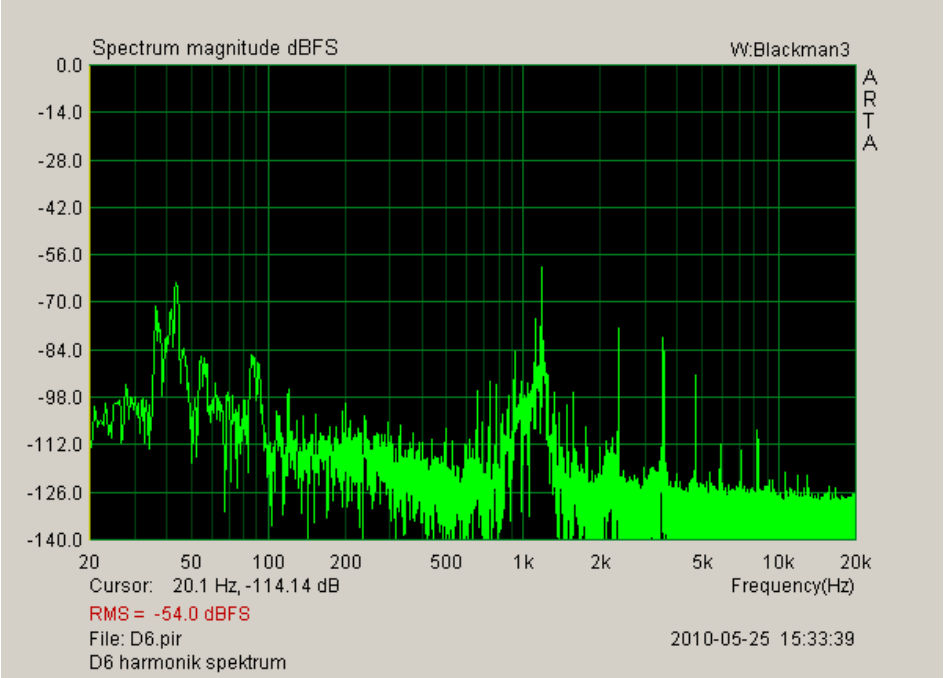


Tablo-30: D5 oktav bandları

D5(587.33 Hz.) oktav bandları		
1 Hz.(-78 dB)	49 Hz.(-68 dB)	1259 Hz.(-56 dB)
2 Hz.(-73 dB)	62 Hz.(-70 dB)	1587 Hz.(-47 dB)
3 Hz.(-67 dB)	78 Hz.(-74 dB)	2000 Hz.(-70 dB)
3 Hz.(-63 dB)	99 Hz.(-86 dB)	2519 Hz.(-54 dB)
4 Hz.(-69 dB)	125 Hz.(-86 dB)	3174 Hz.(-52 dB)
6 Hz.(-74 dB)	157 Hz.(-79 dB)	4000 Hz.(-73 dB)
7 Hz.(-78 dB)	198 Hz.(-78 dB)	5039 Hz.(-71 dB)
9 Hz.(-80 dB)	250 Hz.(-81 dB)	6349 Hz.(-76 dB)
12 Hz.(-79 dB)	314 Hz.(-78 dB)	8000 Hz.(-77 dB)
15 Hz.(-80 dB)	396 Hz.(-82 dB)	10079 Hz.(-85 dB)
19 Hz.(-84 dB)	500 Hz.(-66 dB)	12699 Hz.(-85 dB)
24 Hz.(-69 dB)	629 Hz.(-30 dB)	16000 Hz.(-86 dB)
31 Hz.(-69 dB)	793 Hz.(-71 dB)	20158 Hz.(-85 dB)
39 Hz.(-50 dB)	1000 Hz.(-71 dB)	

5.1.2.16. Kanun çalgısının D6(1174.7 Hz.) sesinin incelenmesi

Şekil-50: D6 Sesinin Frekans Spektrumu

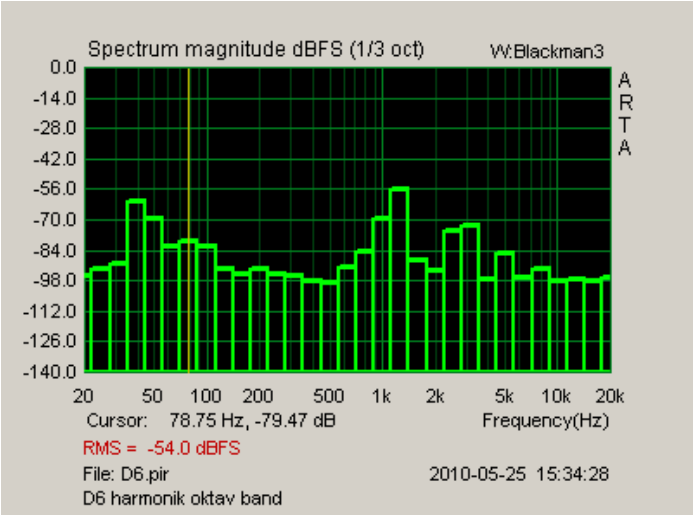


Tablo-31: D6 Sesinin Harmonik Bileşenleri

Kanun D6 sesinin karakteristik harmonikleri		**Kanun D6 sesinin karakteristik üst ve alt sesleri**	
Frekans(Hz)	Genlik(dB)	Frekans(Hz)	Genlik(dB)
1174.4	-59.48	36.67	-69.90
2350.7	-77.59	43.6	-64.37
3526.6	-80.22	88.92	-77.73
4704.7	-91.47	926.1	-84.77
		1108.0	-74.89

D6(1174.7 Hz.) sesi içerisinde karakteristik olarak bir, iki ve üçüncü harmonikler gözlenmiştir. Yani harmonik sayısı alt oktavlardaki D3, D4 ve D5 seslerinin harmonik sayılarına göre daha düşüktür. Düzensiz alt ve üst sesler ise harmoniklere göre daha düşük genlik değerlerindedir ve yukarıdaki tabloda da görüldüğü gibi temel sesin alt bölgelerinde oluşmaktadır. D6(1174.7 Hz.) sesine ait oktav bandları grafiği ve frekans-desibel tablosu aşağıda verilmiştir.

Şekil-51: D6 Sesi Oktav Bandları

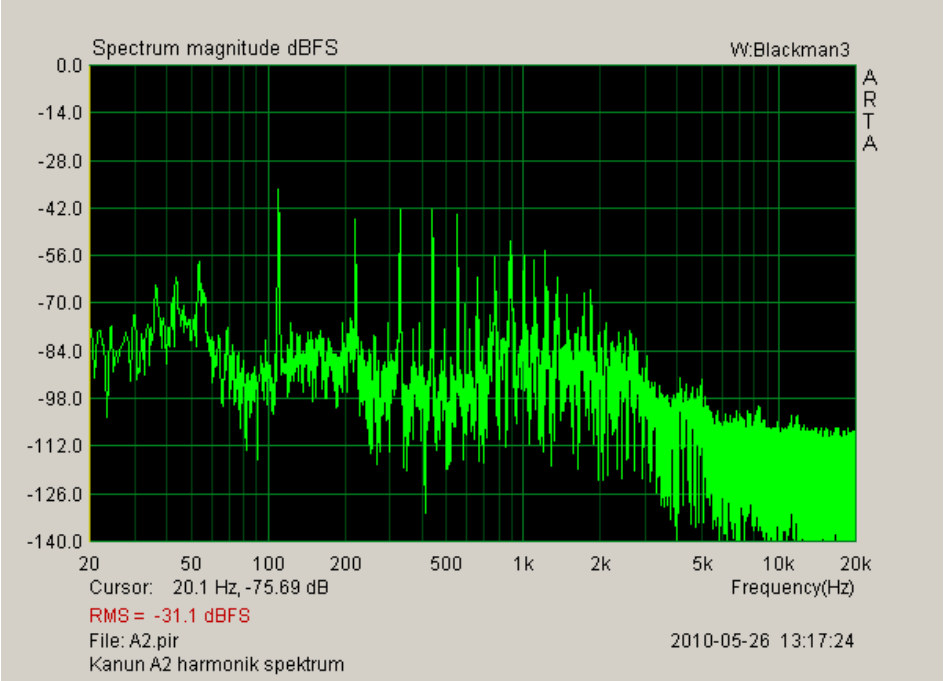


Tablo-32: D6 oktav bandları

D6(1174.4 Hz.) oktav bandları		
1 Hz.(-89 dB)	49 Hz.(-69 dB)	1259 Hz.(-55 dB)
2 Hz.(-98 dB)	62 Hz.(-82 dB)	1587 Hz.(-88 dB)
3 Hz.(-85 dB)	78 Hz.(-79 dB)	2000 Hz.(-93 dB)
3 Hz.(-82 dB)	99 Hz.(-81 dB)	2519 Hz.(-74 dB)
4 Hz.(-88 dB)	125 Hz.(-92 dB)	3174 Hz.(-72 dB)
6 Hz.(-85 dB)	157 Hz.(-94 dB)	4000 Hz.(-97 dB)
7 Hz.(-89 dB)	198 Hz.(-92 dB)	5039 Hz.(-85 dB)
9 Hz.(-91 dB)	250 Hz.(-94 dB)	6349 Hz.(-96 dB)
12 Hz.(-91 dB)	314 Hz.(-95 dB)	8000 Hz.(-92 dB)
15 Hz.(-92 dB)	396 Hz.(-98 dB)	10079 Hz.(-97 dB)
19 Hz.(-95 dB)	500 Hz.(-98 dB)	12699 Hz.(-97 dB)
24 Hz.(-92 dB)	629 Hz.(-91 dB)	16000 Hz.(-97 dB)
31 Hz.(-89 dB)	793 Hz.(-84 dB)	20158 Hz.(-96 dB)
39 Hz.(-61 dB)	1000 Hz.(-69 dB)	

5.1.2.17. Kanun çalgısının A2(110 Hz.) sesinin incelenmesi

Şekil-52: A2Sesinin Frekans Spektrumu

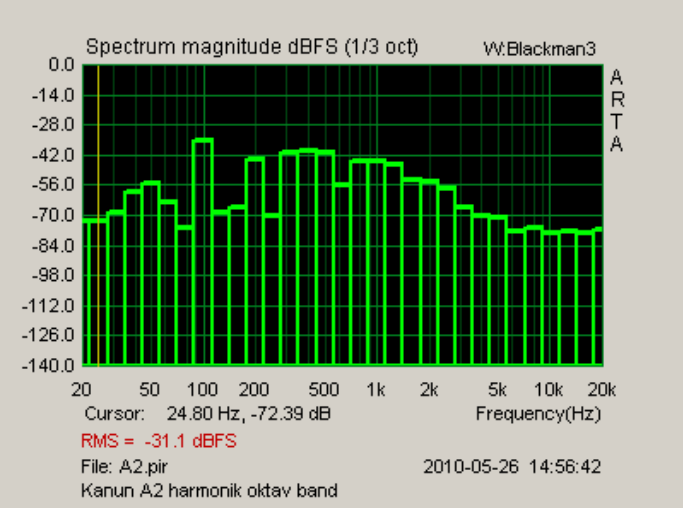


Tablo-33: A2 Sesinin Harmonik Bileşenleri

Kanun A2 sesinin karakteristik harmonikleri		**Kanun A2 sesinin karakteristik üst ve alt sesleri**	
Frekans(Hz)	Genlik(dB)	Frekans(Hz)	Genlik(dB)
109.5	-36.28	36.6	-65.72
219.4	-45.23	43.6	-62.42
330.0	-42.30	53.8	-57.69
440.2	-47.32	123.0	-75.83
551.5	-43.98	132.2	-81.83
659.5	-62.57	195.9	-75.74
774.9	-56.17	260.7	-79.26
887.7	-51.66	293.7	-76.00
1004.9	-56.00	369.5	-77.77
1104.5	-57.18	392.2	-75.69
1216.6	-54.54	490.7	-77.53
1359.0	-62.20	587.4	-70.43
1475.8	-67.50	617.4	-77.64
1719.7	-67.01		
1838.0	-66.14		

A2(110 Hz.) sesi incelemesinde temel frekansın (109.5 Hz.) harmonik bileşenlerden daha güçlü olduğu görülmektedir. Birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü harmonikler, sonrakilere göre beligin bir şekilde daha güçlüdür. Üç tanesi temel frekansın altında ve on tanesi de üstünde olmak üzere toplam onüç tane genlik değerleri düşük uyumsuz alt ve üst ses gözlemlenmiştir. A2(110 Hz.) sesine ait oktav bandları grafiği ve frekans-desibel tablosu aşağıda verilmiştir.

Şekil-53: A2 Sesi Oktav Bandları

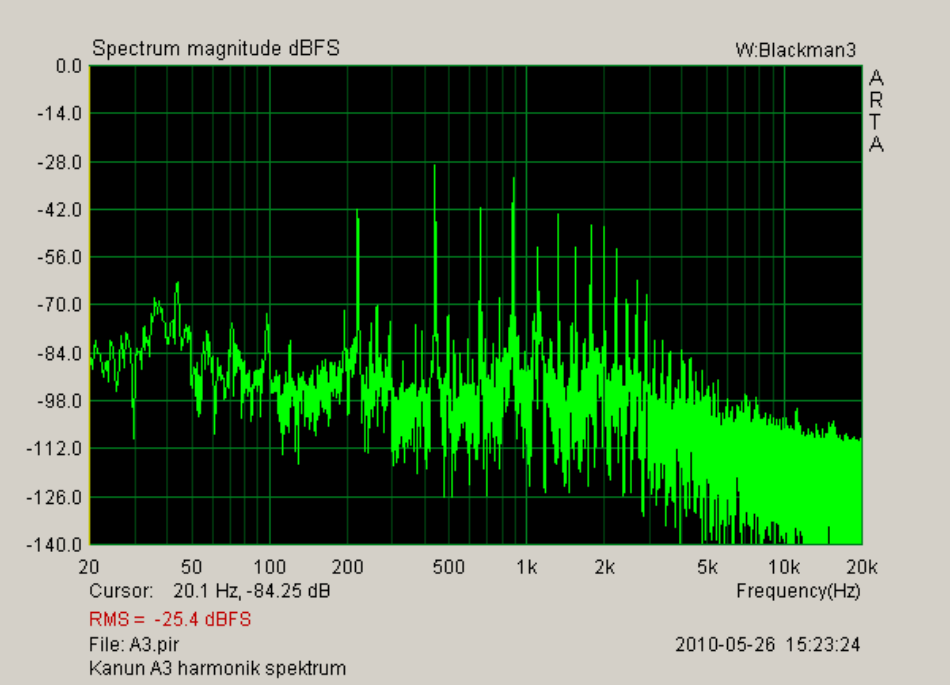


Tablo-34: A2 oktav bandları

A2(110 Hz.) oktav bandları		
1 Hz.(-49 dB)	49 Hz.(-55 dB)	1587 Hz.(-53 dB)
2 Hz.(-48 dB)	62 Hz.(-63 dB)	2000 Hz.(-54 dB)
3 Hz.(-56 dB)	78 Hz.(-75 dB)	2519 Hz.(-57 dB)
3 Hz.(-68 dB)	99 Hz.(-35 dB)	3174 Hz.(-66 dB)
4 Hz.(-67 dB)	125 Hz.(-68 dB)	4000 Hz.(-69 dB)
6 Hz.(-69 dB)	157 Hz.(-66 dB)	5039 Hz.(-70 dB)
7 Hz.(-71 dB)	198 Hz.(-43 dB)	6349 Hz.(-77 dB)
9 Hz.(-71 dB)	250 Hz.(-69 dB)	8000 Hz.(-75 dB)
12 Hz.(-76 dB)	396 Hz.(-39 dB)	10079 Hz.(-78 dB)
15 Hz.(-75 dB)	500 Hz.(-40 dB)	12699 Hz.(-77 dB)
19 Hz.(-72 dB)	1000 Hz.(-44 dB)	16000 Hz.(-78 dB)
24 Hz.(-72 dB)	1259 Hz.(-46 dB)	20158 Hz.(-76 dB)
31 Hz.(-68 dB)	629 Hz.(-55 dB)	
39 Hz.(-58 dB)	793 Hz.(-44 dB)	

5.1.2.18. Kanun çalgısının A3(220 Hz.) sesinin incelenmesi

Şekil-54: A3 Sesinin Frekans Spektrumu

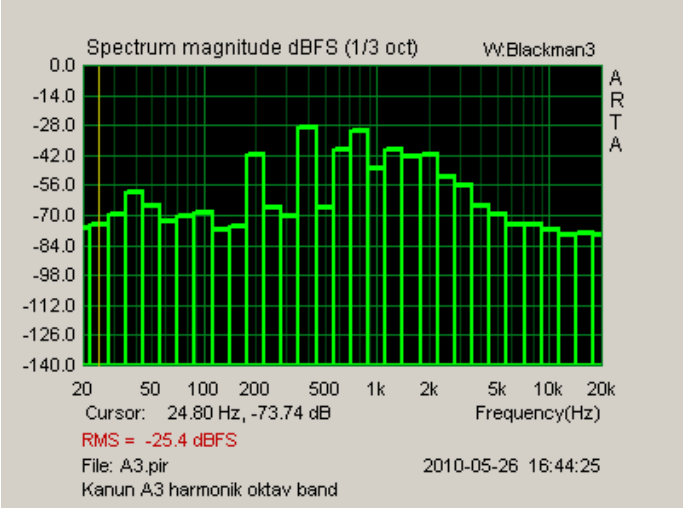


Tablo-35: A3 Ssesinin Harmonik Bileşenleri

Kanun A3 sesinin karakteristik harmonikleri		**Kanun A3 sesinin karakteristik üst ve alt sesleri**	
Frekans(Hz)	Genlik(dB)	Frekans(Hz)	Genlik(dB)
220.1	-41.82	35.9	-67.81
439.8	-29.21	43.9	-63.34
660.3	-41.43	57.1	-77.39
882.9	-32.95	71.4	-74.20
1102.7	-53.14	97.8	-72.68
1324.6	-43.35	120.1	-80.31
1547.6	-52.96	195.6	-71.71
1771.0	-46.45	246.8	-75.48
1994.4	-46.90	261.1	-70.45
2218.1	-53.57	294.1	-75.03
2443.4	-68.17	369.9	-75.60
2675.9	-63.02	391.1	-77.59
2904.8	-66.96	494.4	-72.78
3130.4	-80.24	783.7	-67.83

A3(220 Hz.) sesinin birinci ve üçüncü harmoniklerinin temel frekansdan yaklaşık 10 dB. daha güçlü oldukları görülmektedir. İkinci ve beşinci harmoniklerin genlik değerlerinin temel frekansın genlik değerine yakın olduğu görülmektedir. Dokuzuncu harmonik(2218 Hz.)'den sonra harmonik bileşenlerin genlikleri belirgin bir şekilde düşüşe geçmektedir. Yedi tanesi temel frekansın altında ve yedisi de üstünde olmak üzere ondört adet, harmoniklere göre düşük genlik değerlerinde, uyumsuz alt ve üst ses gözlemlenmiştir. A3(220 Hz.) sesine ait oktav bandları grafiği ve frekans-desibel tablosu aşağıda verilmiştir.

Şekil-55: A3 Sesi Oktav Bandları

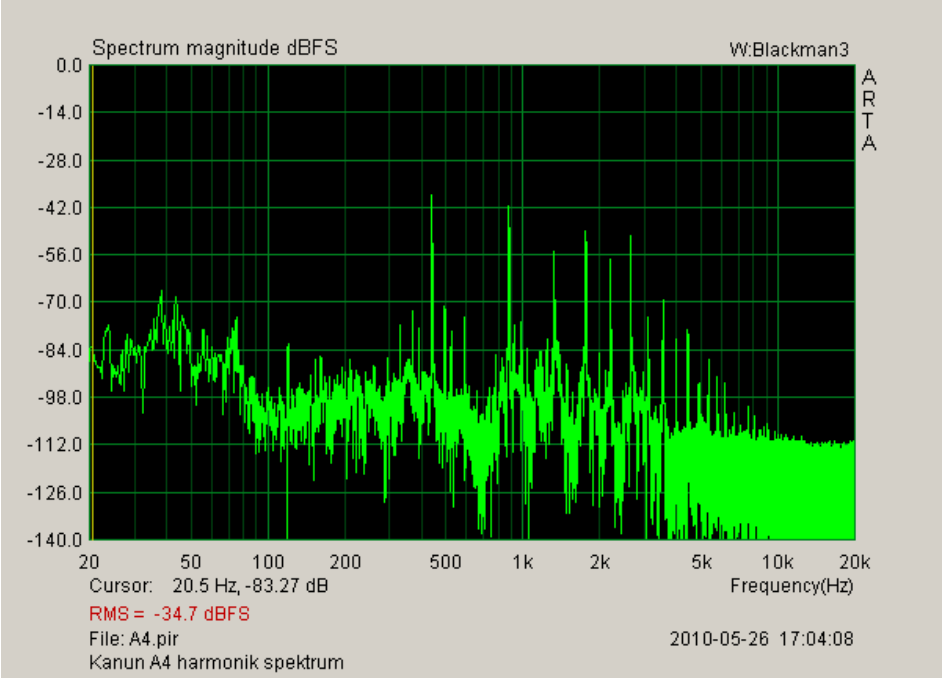


Tablo-36: A3 oktav bandları

A3(220 Hz.) oktav bandları		
1 Hz.(-61 dB)	49 Hz.(-65 dB)	1259 Hz.(-38 dB)
2 Hz.(-65 dB)	62 Hz.(-72 dB)	1587 Hz.(-42 dB)
3 Hz.(-67 dB)	78 Hz.(-69 dB)	2000 Hz.(-41 dB)
3 Hz.(-65 dB)	99 Hz.(-68 dB)	2519 Hz.(-51 dB)
4 Hz.(-63 dB)	125 Hz.(-76 dB)	3174 Hz.(-55 dB)
6 Hz.(-64 dB)	157 Hz.(-75 dB)	4000 Hz.(-65 dB)
7 Hz.(-64 dB)	198 Hz.(-41 dB)	5039 Hz.(-69 dB)
9 Hz.(-65 dB)	250 Hz.(-65 dB)	6349 Hz.(-74 dB)
12 Hz.(-71 dB)	314 Hz.(-70 dB)	8000 Hz.(-74 dB)
15 Hz.(-74 dB)	396 Hz.(-28 dB)	10079 Hz.(-76 dB)
19 Hz.(-75 dB)	500 Hz.(-65 dB)	12699 Hz.(-78 dB)
24 Hz.(-73 dB)	629 Hz.(-39 dB)	16000 Hz.(-77 dB)
31 Hz.(-69 dB)	793 Hz.(-30 dB)	20158 Hz.(-78 dB)
39 Hz.(-59 dB)	1000 Hz.(-48 dB)	

5.1.2.19. Kanun çalgısının A4(440 Hz.) sesinin incelenmesi

Şekil-56: A4 Sesinin Frekans Spektrumu

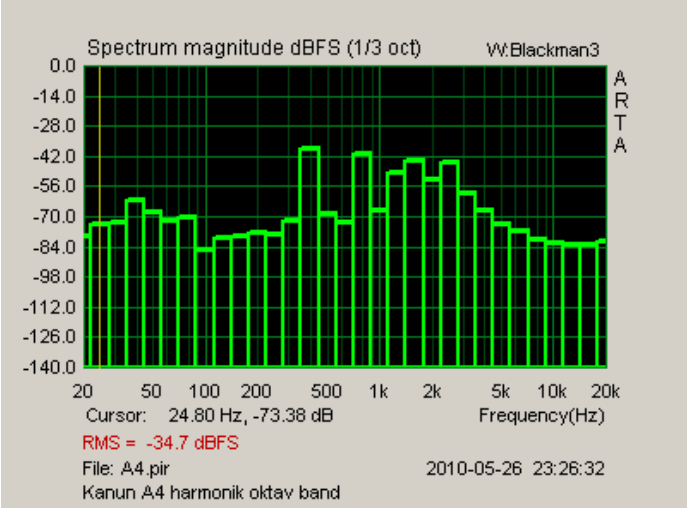


Tablo-37: A4 sesinin Harmonik Bileşenleri

Kanun A4 sesinin karakteristik harmonikleri		**Kanun A4 sesinin karakteristik üst ve alt sesleri**	
Frekans(Hz)	Genlik(dB)	Frekans(Hz)	Genlik(dB)
440.2	-38.19	38.1	-66.33
881.1	-41.68	43.6	-68.52
1321.3	-55.13	56.0	-77.88
1763.3	-48.79	75.4	-74.60
2208.6	-57.47	120.1	-82.11
2649.9	-50.49	329.6	-76.62
3090.50	-74.28	369.9	-72.65
3541.3	-69.51	392.2	-77.58
3986.6	-80.72	493.7	-71.02
4428.2	-78.24	522.6	-78.73
		586.7	-74.25
		920.7	-79.82
		984.7	-75.57

A4(440 Hz.) sesi incelendiğinde temel frekans(440.2 Hz.) ve birinci harmonik(881.1 Hz.) genliklerinin hemen hemen aynı olduğu gözlenmektedir. Beşinci harmonikten sonra harmonik genlikleri belirgin bir şekilde düşmektedir. Sekiz adet temel frekansın(440.2 Hz.) altında ve beş adet üstünde olmak üzere düşük genlik değerlerinde onüç adet düzensiz alt ve üst ses gözlemlenmiştir. A4(440 Hz.) sesine ait oktav bandları grafiği ve frekans-desibel tablosu aşağıda verilmiştir.

Şekil-57: A4 Sesi Oktav Bandları

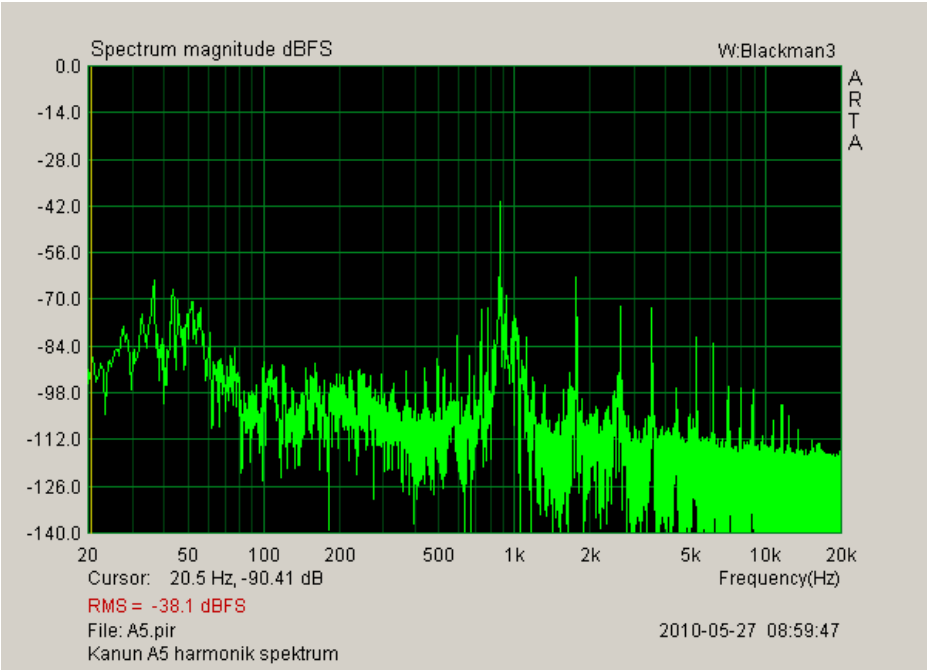


Tablo-38: A4 oktav bandları

A4(440 Hz.) oktav bandları		
1 Hz.(-67 dB)	49 Hz.(-68 dB)	1259 Hz.(-49 dB)
2 Hz.(-64 dB)	62 Hz.(-71 dB)	1587 Hz.(-43 dB)
3 Hz.(-56 dB)	78 Hz.(-69 dB)	2000 Hz.(-52 dB)
3 Hz.(-57 dB)	99 Hz.(-85 dB)	2519 Hz.(-44 dB)
4 Hz.(-56 dB)	125 Hz.(-79 dB)	3174 Hz.(-58 dB)
6 Hz.(-62 dB)	157 Hz.(-78 dB)	4000 Hz.(-66 dB)
7 Hz.(-64 dB)	198 Hz.(-77 dB)	5039 Hz.(-73 dB)
9 Hz.(-70 dB)	250 Hz.(-78 dB)	6349 Hz.(-76 dB)
12 Hz.(-71 dB)	314 Hz.(-71 dB)	8000 Hz.(-80 dB)
15 Hz.(-79 dB)	396 Hz.(-38 dB)	10079 Hz.(-81 dB)
19 Hz.(-78 dB)	500 Hz.(-68 dB)	12699 Hz.(-82 dB)
24 Hz.(-73 dB)	629 Hz.(-72 dB)	16000 Hz.(-82 dB)
31 Hz.(-72 dB)	793 Hz.(-40 dB)	20158 Hz.(-81 dB)
39 Hz.(-62 dB)	1000 Hz.(-66 dB)	

5.1.2.20. Kanun çalgısının A5(880 Hz.) sesinin incelenmesi

Şekil-58: A5 Sesinin Frekans Spektrumu

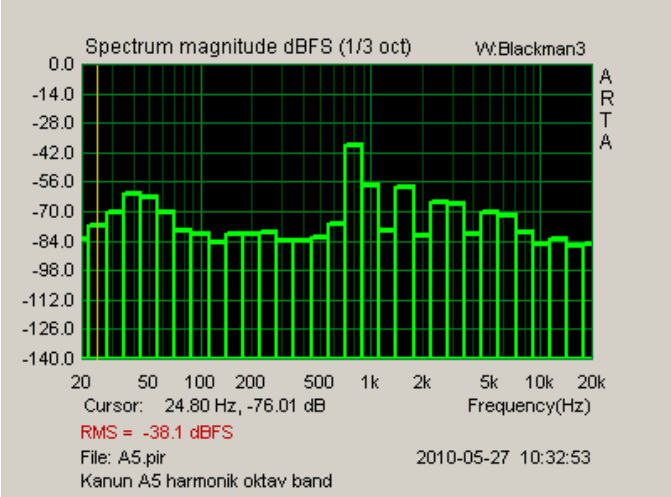


Tablo-39: A5 sesinin Harmonik Bileşenleri

Kanun A5 sesinin karakteristik harmonikleri		**Kanun A5 sesinin karakteristik üst ve alt sesleri**	
Frekans(Hz)	Genlik(dB)	Frekans(Hz)	Genlik(dB)
879.6	-40.46	36.6	-64.18
1759.6	-63.49	43.6	-67.11
2638.9	-72.05	586.7	-81.17
3521.9	-72.47	738.6	-73.23
4400.4	-96.45	781.9	-72.45
5295.4	-81.26	989.9	-75.03
6162.6	-83.10		
7073.4	-95.91		
7928.5	-96.49		
8870.0	-97.19		

Yapılan incelemede, A5(880 Hz.) sesinin temel frekansının(880 Hz.), harmoniklere ve diğer uyumsuz bileşenlere göre çok daha güçlü olduğu görülmektedir. Harmoniklerin genlikleri altıncı harmonikten sonra belirgin bir şekilde düşmektedir. Gözlemlenen uyumsuz alt ve üst frekanslar genelde temel frekansın(880 Hz.) altındadır. Bir tanesi temel frekansın üzerindedir. Bunların genlikleri harmoniklere göre çok da düşük değildir. A5(880 Hz.) sesine ait oktav bandları grafiği ve frekans-desibel tablosu aşağıda verilmiştir.

Şekil-59: A5 Sesi Oktav Bandları

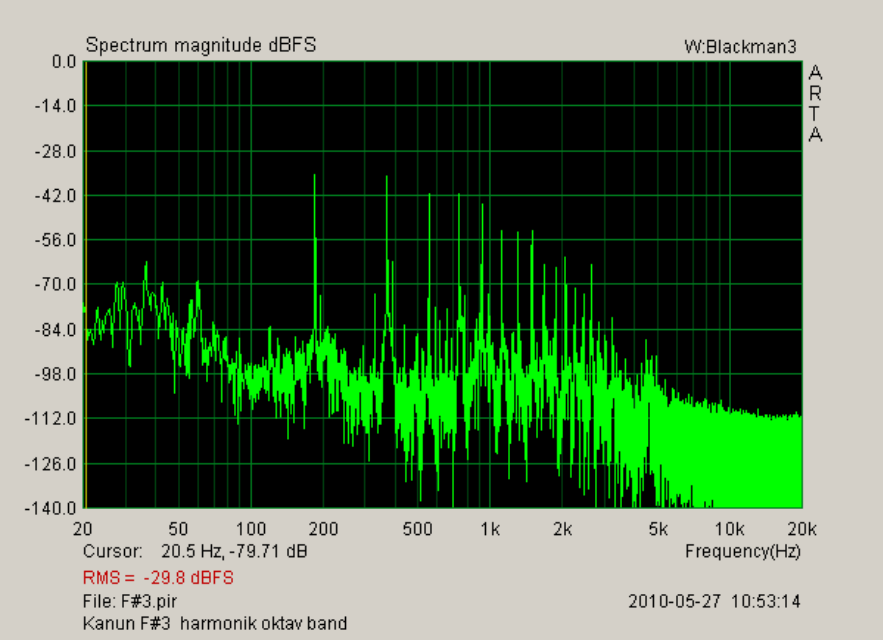


Tablo-40: A5 oktav bandları

A5(880 Hz.) oktav bandları		
1 Hz.(-77 dB)	49 Hz.(-63 dB)	1259 Hz.(-78 dB)
2 Hz.(-74 dB)	62 Hz.(-70 dB)	1587 Hz.(-58 dB)
3 Hz.(-69 dB)	78 Hz.(-78 dB)	2000 Hz.(-81 dB)
3 Hz.(-70 dB)	99 Hz.(-80 dB)	2519 Hz.(-65 dB)
4 Hz.(-76 dB)	125 Hz.(-84 dB)	3174 Hz.(-65 dB)
6 Hz.(-72 dB)	157 Hz.(-80 dB)	4000 Hz.(-80 dB)
7 Hz.(-75 dB)	198 Hz.(-80 dB)	5039 Hz.(-70 dB)
9 Hz.(-81 dB)	250 Hz.(-79 dB)	6349 Hz.(-71 dB)
12 Hz.(-79 dB)	314 Hz.(-83 dB)	8000 Hz.(-79 dB)
15 Hz.(-84 dB)	396 Hz.(-83 dB)	10079 Hz.(-85 dB)
19 Hz.(-82 dB)	500 Hz.(-81 dB)	12699 Hz.(-82 dB)
24 Hz.(-76 dB)	629 Hz.(-75 dB)	16000 Hz.(-86 dB)
31 Hz.(-69 dB)	793 Hz.(-38 dB)	20158 Hz.(-85 dB)
39 Hz.(-61 dB)	1000 Hz.(-57 dB)	

5.1.2.21. Kanun çalgısının F#3(185.00 Hz.) sesinin incelenmesi

Şekil-60: F#3 Sesinin Frekans Spektrumu

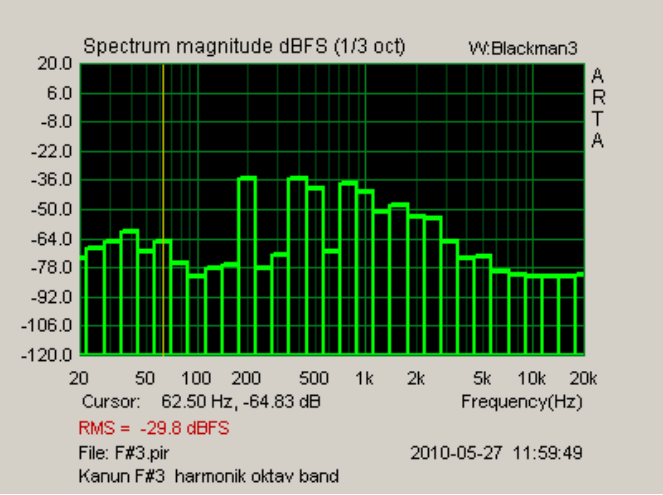


Tablo-41: F#3 Sesinin Harmonik Bileşenleri

Kanun F#3 sesinin karakteristik harmonikleri		**Kanun F#3 sesinin karakteristik üst ve alt sesleri**	
Frekans(Hz)	Genlik(dB)	Frekans(Hz)	Genlik(dB)
184.9	-35.67	36.6	-62.99
370.2	-36.13	42.8	-69.36
555.5	-41.42	60.1	-68.78
741.9	-41.54	195.9	-73.40
927.6	-44.87	329.6	-73.20
1115.1	-53.27	392.2	-62.98
1303.3	-53.44	587.8	-77.17
1490.8	-53.29	617.4	-81.24
1670.3	-63.82	658.1	-77.58
1871.7	-64.62	986.9	-72.97
2060.3	-61.33		
2252.6	-71.17		
2446.3	-73.05		
2643.3	-63.71		

F#3(185.00 Hz.) sesinin icelenmesinde temel frekans(185 Hz.) ve ilk dört harmoniğin genliklerinin yüksekliği dikkat çekmektedir. Dördüncü harmonik(927.6 Hz.)'den sonra harmoniklerin genliklerinin kademeli olarak giderek azaldığı gözlenmektedir. Üç adet temel frekansın altında yedi adet temel frekansın üstünde olmak üzere harmoniklere göre düşük genlik değerlerinde toplam onüç adet uyumsuz alt ve üst ses belirlenmiştir. F#3(185.00 Hz.) sesine ait oktav bandları grafiği ve frekans-desibel tablosu aşağıda verilmiştir.

Şekil-61: F#3 Sesi Oktav Bandları

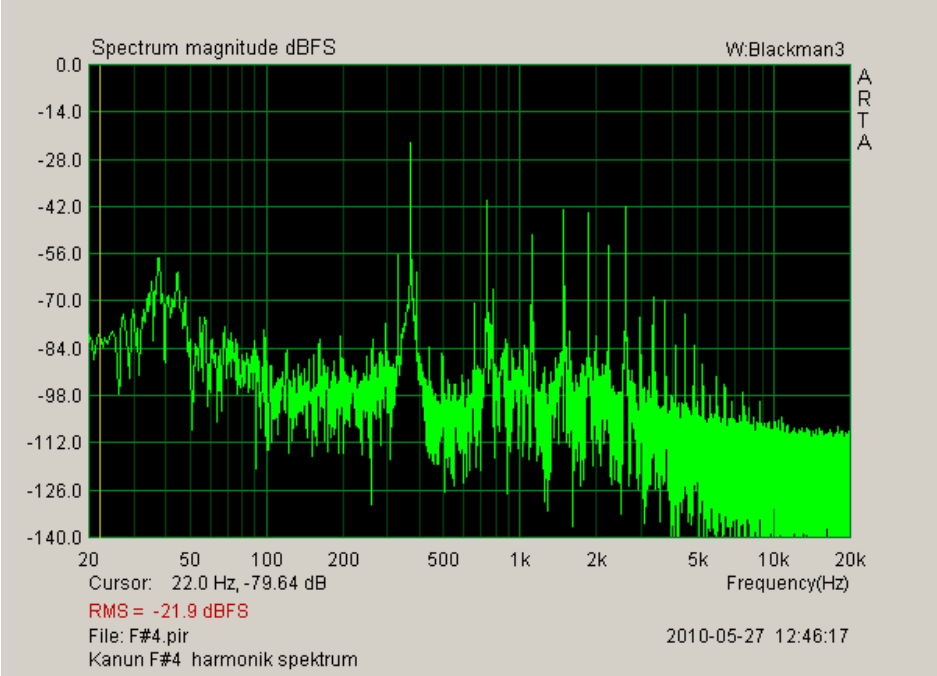


Tablo-42: F#3 oktav bandları

F#3(185.00 Hz.) oktav bandları		
1 Hz.(-75 dB)	49 Hz.(-69 dB)	1259 Hz.(-50 dB)
2 Hz.(-67 dB)	62 Hz.(-64 dB)	1587 Hz.(-47 dB)
3 Hz.(-64 dB)	78 Hz.(-75 dB)	2000 Hz.(-52 dB)
3 Hz.(-63 dB)	99 Hz.(-81 dB)	2519 Hz.(-54 dB)
4 Hz.(-64 dB)	125 Hz.(-77 dB)	3174 Hz.(-64 dB)
6 Hz.(-65 dB)	157 Hz.(-76 dB)	4000 Hz.(-72 dB)
7 Hz.(-72 dB)	198 Hz.(-34 dB)	5039 Hz.(-71 dB)
9 Hz.(-79 dB)	250 Hz.(-77 dB)	6349 Hz.(-79 dB)
12 Hz.(-74 dB)	314 Hz.(-71 dB)	8000 Hz.(-80 dB)
15 Hz.(-73 dB)	396 Hz.(-35 dB)	10079 Hz.(-81 dB)
19 Hz.(-73 dB)	500 Hz.(-39 dB)	12699 Hz.(-82 dB)
24 Hz.(-68 dB)	629 Hz.(-70 dB)	16000 Hz.(-82 dB)
31 Hz.(-65 dB)	793 Hz.(-37 dB)	20158 Hz.(-80 dB)
39 Hz.(-60 dB)	1000 Hz.(-41 dB)	

5.1.2.22. Kanun çalgısının F#4(369.99 Hz.) sesinin incelenmesi

Şekil-62: F#4 Sesinin Frekans Spektrumu

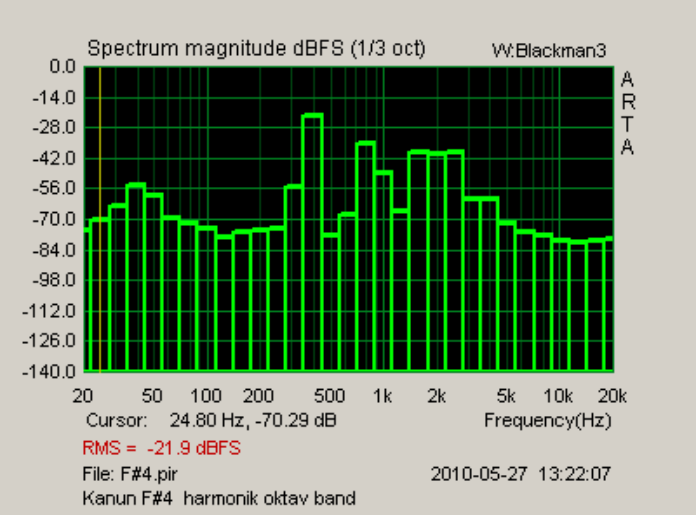


Tablo-43: F#4 sesinin Harmonik Bileşenleri

Kanun F#4 sesinin karakteristik harmonikleri		**Kanun F#4 sesinin karakteristik üst ve alt sesleri**	
Frekans(Hz)	Genlik(dB)	Frekans(Hz)	Genlik(dB)
370.2	-22.94	37.7	-57.41
738.6	-40.36	44.7	-61.49
1111.8	-50.47	57.1	-75.01
1483.5	-42.77	195.9	-85.94
1854.1	-43.67	262.2	-81.23
2225.8	-53.57	294.1	-76.60
2599.0	-42.20	330.0	-56.56
2966.7	-74.85	660.3	-70.61
3347.5	-69.01	1574.0	-78.86
3725.8	-69.59	1981.9	-80.23
4102.7	-83.26		
4480.6	-74.14		
4860.0	-82.96		

F#4(369.99 Hz.) sesinde temel frekansın diğer güçlü harmonik bileşenlere göre yaklaşık 20 dB. daha yüksek bir genlik değerine sahip olduğu görülmektedir. İlk altı harmonik genel olarak yüksek genlik değerlerine sahiptir. Altıncı harmonik(2599.0 Hz.)'den itibaren harmoniklerin genlikleri karakteristik bir şekilde düşmektedir. Yedi tanesi temel frekansın altında ve üç tanesi de üstünde olmak üzere on adet karakteristik düzensiz alt ve üst ses gözlenmiştir. F#4(369.99 Hz.) sesine ait oktav bandları grafiği ve frekans-desibel tablosu aşağıda verilmiştir.

Şekil-63: F#4 Sesi Oktav Bandları

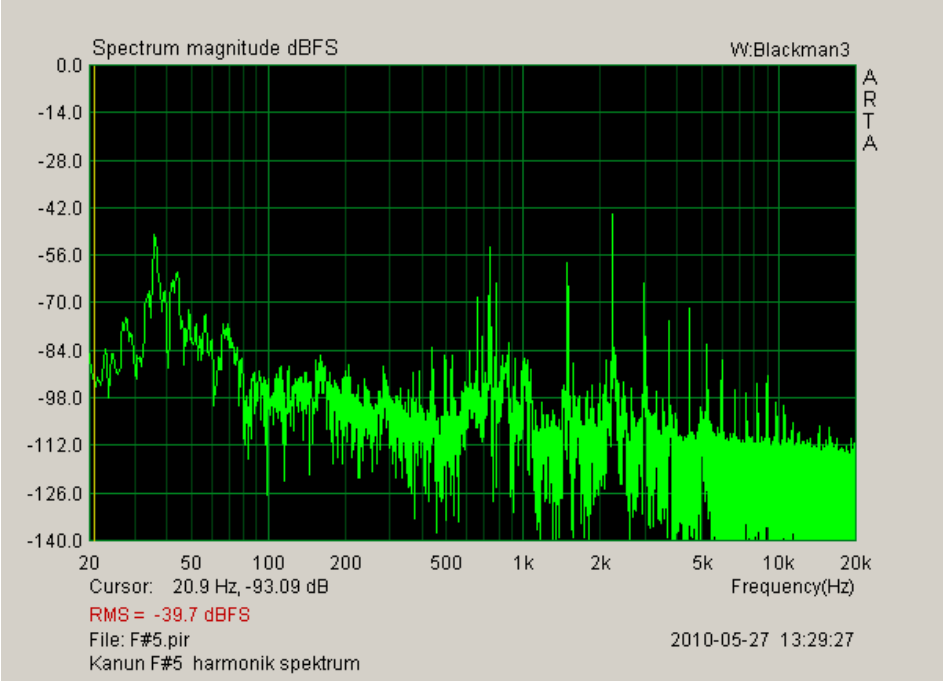


Tablo-44: F#4 oktav bandları

F#4(369.99 Hz.) oktav bandları		
1 Hz.(-67 dB)	49 Hz.(-58 dB)	1259 Hz.(-65 dB)
2 Hz.(-75 dB)	62 Hz.(-69 dB)	1587 Hz.(-38 dB)
3 Hz.(-60 dB)	78 Hz.(-71 dB)	2000 Hz.(-39 dB)
3 Hz.(-60 dB)	99 Hz.(-74 dB)	2519 Hz.(-38 dB)
4 Hz.(-65 dB)	125 Hz.(-77 dB)	3174 Hz.(-60 dB)
6 Hz.(-69 dB)	157 Hz.(-75 dB)	4000 Hz.(-60 dB)
7 Hz.(-71 dB)	198 Hz.(-74 dB)	5039 Hz.(-71 dB)
9 Hz.(-74 dB)	250 Hz.(-73 dB)	6349 Hz.(-75 dB)
12 Hz.(-78 dB)	314 Hz.(-54 dB)	8000 Hz.(-77 dB)
15 Hz.(-76 dB)	396 Hz.(-22 dB)	10079 Hz.(-79 dB)
19 Hz.(-74 dB)	500 Hz.(-77 dB)	12699 Hz.(-80 dB)
24 Hz.(-70 dB)	629 Hz.(-67 dB)	16000 Hz.(-79 dB)
31 Hz.(-63 dB)	793 Hz.(-35 dB)	20158 Hz.(-78 dB)
39 Hz.(-54 dB)	1000 Hz.(-48 dB)	

5.1.2.23. Kanun çalgısının F#5(739.99 Hz.) sesinin incelenmesi

Şekil-64: F#5 Sesinin Frekans Spektrumu

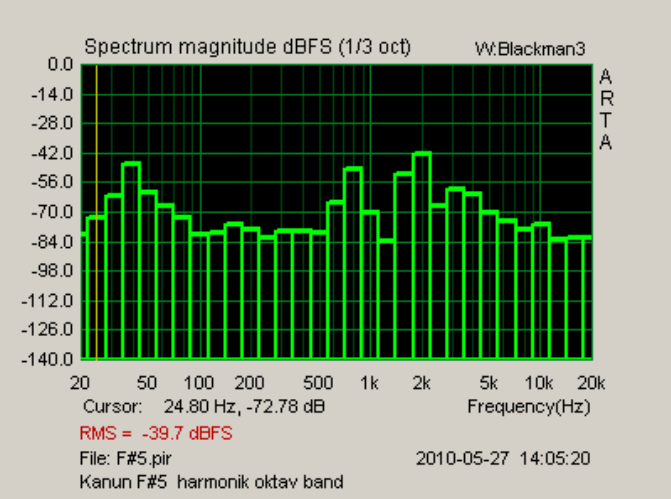


Tablo-45: F#5 sesinin Harmonik Bileşenleri

Kanun F#5 sesinin karakteristik harmonikleri		**Kanun F#5 sesinin karakteristik üst ve alt sesleri**	
Frekans(Hz)	Genlik(dB)	Frekans(Hz)	Genlik(dB)
738.6	-53.78	35.9	-50.02
1487.5	-58.44	43.9	-60.78
2229.9	-44.08	68.1	-77.49
2973.3	-64.02	659.2	-68.34
3720.3	-75.38	781.1	-64.38
4468.1	-71.74		
5218.5	-82.11		
5968.1	-86.67		
6721.8	-95.71		
7439.2	-96.66		
8231.0	-93.89		
8990.8	-91.64		

F#5(739.99 Hz.) sesi incelendiğinde, ikinci harmonik(2229.9 Hz.)'in temel frekansa ve diğer harmonik bileşenlere göre daha güçlü olduğu görülmektedir ve harmoniklerin genlikleri ikinci harmonikten sonra düşüşe geçmektedir. Dört tanesi temel frekans(738.6 Hz.)'in altında ve bir tanesi de üstünde olmak üzere toplam beş adet karakteristik uyumsuz alt ve üst ses belirlenmiştir. F#5(739.99 Hz.) sesine ait oktav bandları grafiği ve frekans-desibel tablosu aşağıda verilmiştir.

Şekil-65: F#5 Sesi Oktav Bandları

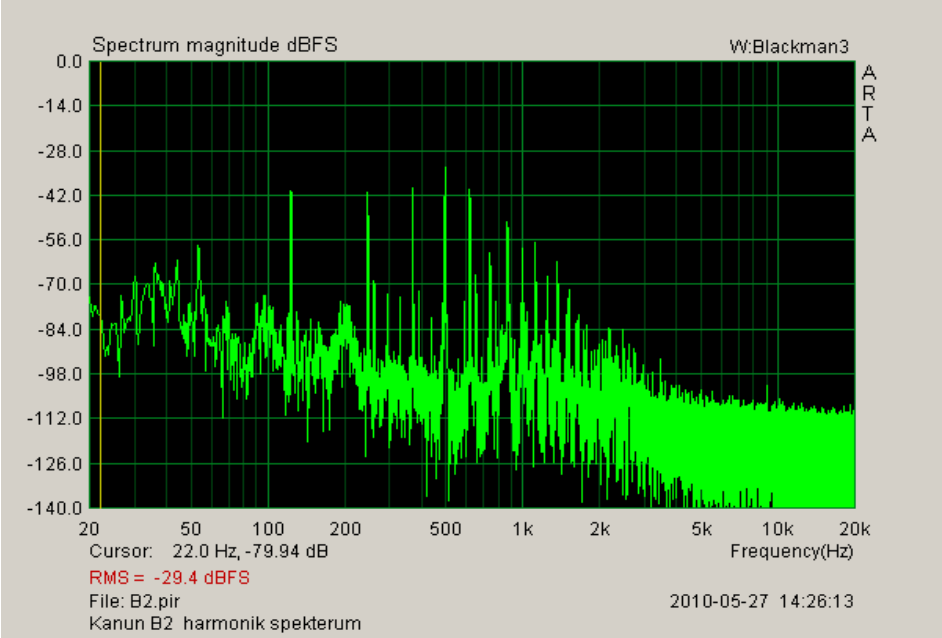


Tablo-46: F#5 oktav bandları

F#5(739.99 Hz.) oktav bandları		
1 Hz.(-67 dB)	49 Hz.(-60 dB)	1259 Hz.(-83 dB)
2 Hz.(-69 dB)	62 Hz.(-66 dB)	1587 Hz.(-51 dB)
3 Hz.(-75 dB)	78 Hz.(-72 dB)	2000 Hz.(-41 dB)
3 Hz.(-77 dB)	99 Hz.(-80 dB)	2519 Hz.(-66 dB)
4 Hz.(-73 dB)	125 Hz.(-79 dB)	3174 Hz.(-58 dB)
6 Hz.(-69 dB)	157 Hz.(-75 dB)	4000 Hz.(-61 dB)
7 Hz.(-72 dB)	198 Hz.(-78 dB)	5039 Hz.(-70 dB)
9 Hz.(-75 dB)	250 Hz.(-81 dB)	6349 Hz.(-74 dB)
12 Hz.(-77 dB)	314 Hz.(-78 dB)	8000 Hz.(-77 dB)
15 Hz.(-82 dB)	396 Hz.(-79 dB)	10079 Hz.(-75 dB)
19 Hz.(-80 dB)	500 Hz.(-79 dB)	12699 Hz.(-82 dB)
24 Hz.(-72 dB)	629 Hz.(-65 dB)	16000 Hz.(-81 dB)
31 Hz.(-62 dB)	793 Hz.(-49 dB)	20158 Hz.(-81 dB)
39 Hz.(-47 dB)	1000 Hz.(-70 dB)	

5.1.2.24. Kanun çalgısının B2(123.47 Hz.) sesi

Şekil-66: B2 Sesinin Frekans Spektrumu

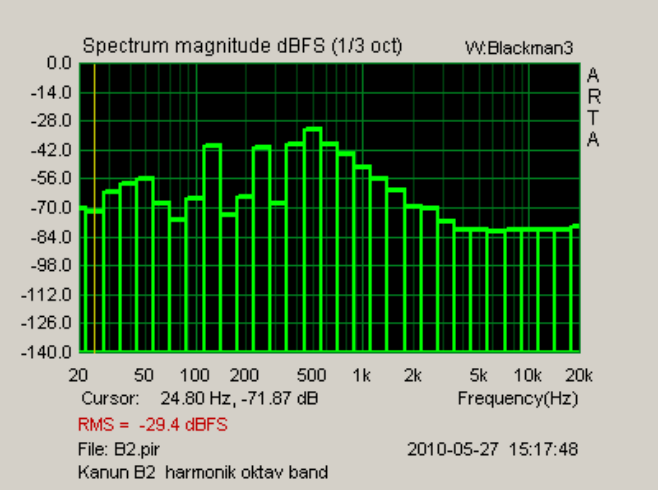


Tablo-47: B2 sesinin Harmonik Bileşenleri

Kanun B2 sesinin karakteristik harmonikleri		**Kanun B2 sesinin karakteristik üst ve alt sesleri**	
Frekans(Hz)	Genlik(dB)	Frekans(Hz)	Genlik(dB)
123.0	-40.61	36.3	-63.32
246.1	-41.03	43.9	-62.39
369.5	-39.80	53.8	-58.69
494.8	-33.30	69.9	-76.99
618.9	-40.13	96.3	-74.65
743.8	-59.87	201.8	-77.16
869.0	-50.37	260.7	-68.63
989.9	-58.69	293.3	-72.82
1113.30	-56.62	329.6	-74.09
1250.2	-67.42	391.5	-72.30
1363.0	-62.69	439.5	-80.46
1512.1	-71.46	587.8	-75.32
		651.5	-73.26
		783.3	-75.13

Kanun çalgısının B2(123.47 Hz.) sesi incelendiğinde üçüncü harmonik(494.8 Hz.) bileşenin en yüksek genlik değerine sahip olduğu görülmektedir. İlk dört harmonikten sonra harmoniklerin genlikleri düşmeye başlamaktadır. Beş tanesi temel frekans(123.0 Hz)'in altında ve dokuz tanesi de üstünde olmak üzere toplam ondört adet uyumsuz alt ve üst ses belirlenmiştir. B2(123.47 Hz.) sesine ait oktav bandları grafiği ve frekans-desibel tablosu aşağıda verilmiştir.

Şekil-67: B2 Sesi Oktav Bandları

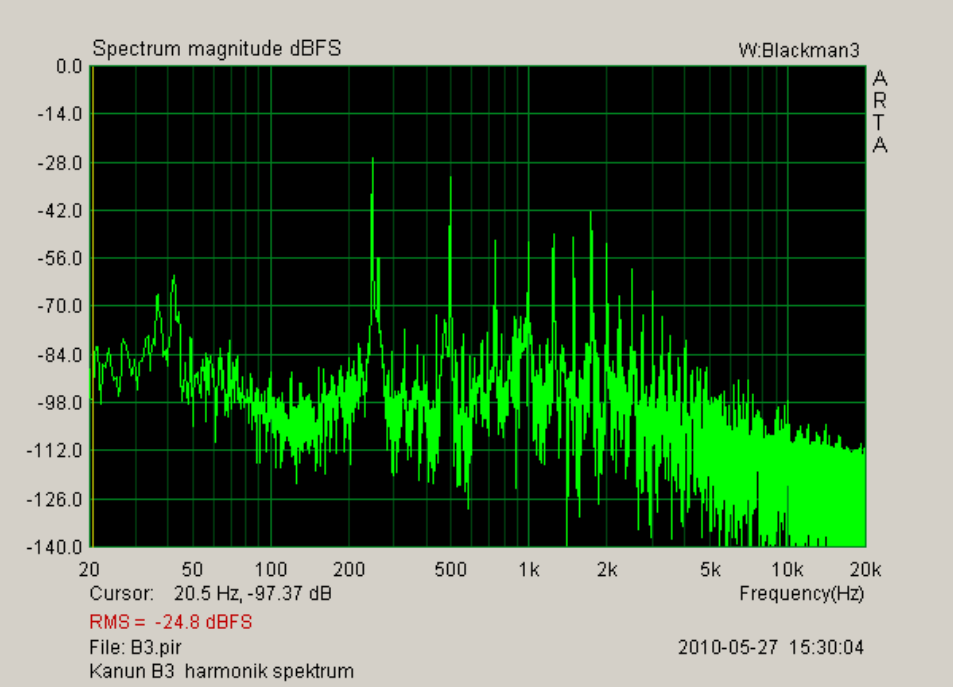


Tablo-48: B2 oktav bandları

B2(123.47 Hz.) oktav bandları		
1 Hz.(-72 dB)	49 Hz.(-55 dB)	1259 Hz.(-55 dB)
2 Hz.(-68 dB)	62 Hz.(-67 dB)	1587 Hz.(-61 dB)
3 Hz.(-64 dB)	78 Hz.(-75 dB)	2000 Hz.(-69 dB)
3 Hz.(-73 dB)	99 Hz.(-65 dB)	2519 Hz.(-69 dB)
4 Hz.(-63 dB)	125 Hz.(-39 dB)	3174 Hz.(-76 dB)
6 Hz.(-62 dB)	157 Hz.(-72 dB)	4000 Hz.(-80 dB)
7 Hz.(-74 dB)	198 Hz.(-64 dB)	5039 Hz.(-80 dB)
9 Hz.(-72 dB)	250 Hz.(-40 dB)	6349 Hz.(-81 dB)
12 Hz.(-75 dB)	314 Hz.(-67 dB)	8000 Hz.(-80 dB)
15 Hz.(-81 dB)	396 Hz.(-38 dB)	10079 Hz.(-80 dB)
19 Hz.(-70 dB)	500 Hz.(-32 dB)	12699 Hz.(-80 dB)
24 Hz.(-71 dB)	629 Hz.(-38 dB)	16000 Hz.(-80 dB)
31 Hz.(-62 dB)	793 Hz.(-43 dB)	20158 Hz.(-78 dB)
39 Hz.(-57 dB)	1000 Hz.(-50 dB)	

5.1.2.25. Kanun çalgısının B3(246.94 Hz.) sesi

Şekil-68: B3 Sesinin Frekans Spektrumu

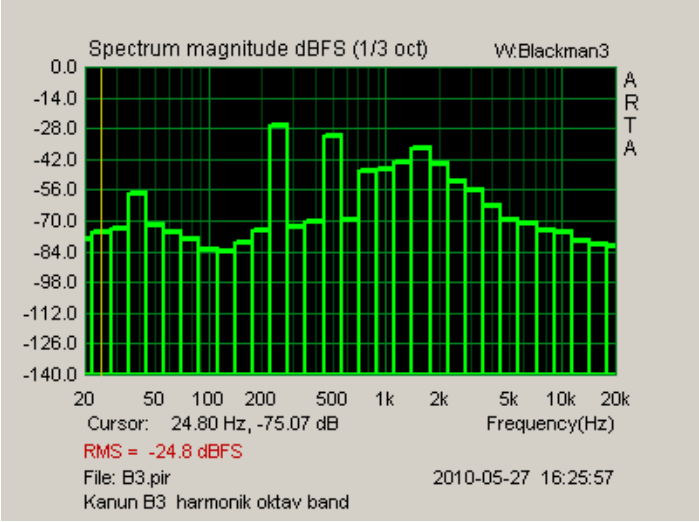


Tablo-49: B3 Ssesinin Harmonik Bileşenleri

Kanun B3 sesinin karakteristik harmonikleri		**Kanun B3 sesinin karakteristik üst ve alt sesleri**	
Frekans(Hz)	Genlik(dB)	Frekans(Hz)	Genlik(dB)
247.2	-26.84	36.6	-66.59
494.8	-32.45	42.1	-60.94
741.9	-51.10	294.1	-83.14
989.9	-51.17	329.6	-76.92
1239.6	-49.18	369.1	-87.78
1488.3	-49.77	439.8	-72.65
1737.7	-42.29	555.2	-78.24
1988.2	-51.91	658.4	-79.76
2239.7	-66.96	686.6	-77.61
2493.9	-59.12	783.7	-77.96
2749.5	-72.42	871.2	-72.88
3001.1	-65.74	927.6	-73.06
3262.2	-72.83		
3516.7	-78.52		

Kanun çalgısının B3(246.94 Hz.) temel sesi ikinci harmonikten biraz daha güçlü görünmektedir. Altıncı harmonik(1737.7 Hz.)'den itibaren harmonik bileşenlerin genlikleri düşüşe geçmektedir. On tanesi temel frekans(246.94 Hz.)'ın üstünde iki tanesi de altında olmak üzere toplam on iki adet karakteristik, genlikleri harmoniklere göre düşük üst ve alt ses belirlenmiştir. B3(246.94 Hz.) sesine ait oktav bandları grafiği ve frekans-desibel tablosu aşağıda verilmiştir.

Şekil-69: B3 Sesi Oktav Bandları

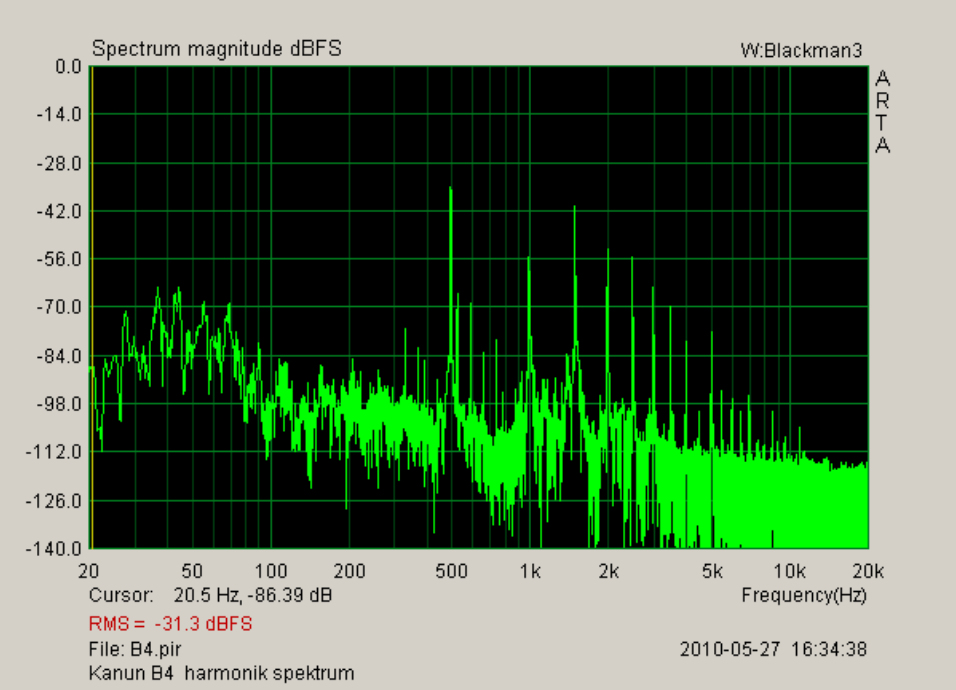


Tablo-50: B3 oktav bandları

B3(246.94 Hz.) oktav bandları		
1 Hz.(-75 dB)	49 Hz.(-71 dB)	1259 Hz.(-42 dB)
2 Hz.(-70 dB)	62 Hz.(-74 dB)	1587 Hz.(-36 dB)
3 Hz.(-68 dB)	78 Hz.(-78 dB)	2000 Hz.(-44 dB)
3 Hz.(-71 dB)	99 Hz.(-82 dB)	2519 Hz.(-51 dB)
4 Hz.(-70 dB)	125 Hz.(-83 dB)	3174 Hz.(-55 dB)
6 Hz.(-70 dB)	157 Hz.(-79 dB)	4000 Hz.(-63 dB)
7 Hz.(-73 dB)	198 Hz.(-73 dB)	5039 Hz.(-68 dB)
9 Hz.(-77 dB)	250 Hz.(-26 dB)	6349 Hz.(-70 dB)
12 Hz.(-75 dB)	314 Hz.(-72 dB)	8000 Hz.(-74 dB)
15 Hz.(-82 dB)	396 Hz.(-70 dB)	10079 Hz.(-74 dB)
19 Hz.(-77 dB)	500 Hz.(-31 dB)	12699 Hz.(-78 dB)
24 Hz.(-75 dB)	629 Hz.(-68 dB)	16000 Hz.(-80 dB)
31 Hz.(-72 dB)	793 Hz.(-47 dB)	20158 Hz.(-80 dB)
39 Hz.(-57 dB)	1000 Hz.(-46 dB)	

5.1.2.26. Kanun çalgısının B4(493.88 Hz.) sesi

Şekil-70: B4 Sesinin Frekans Spektrumu

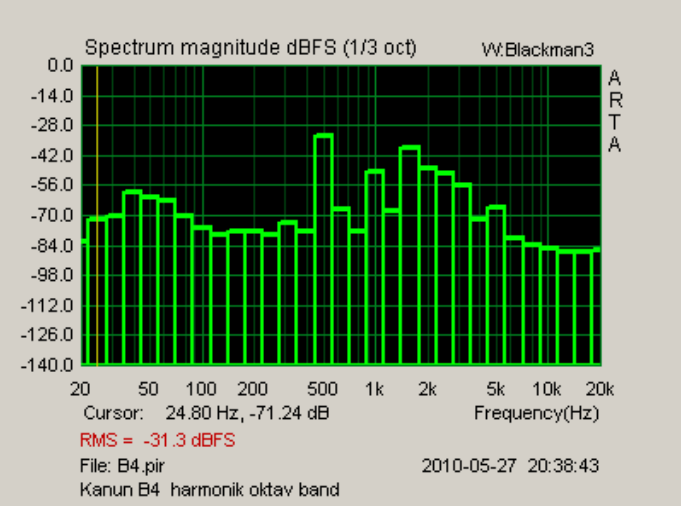


Tablo-51: B4 Ssesinin Harmonik Bileşenleri

Kanun B4 sesinin karakteristik harmonikleri		**Kanun B4 sesinin karakteristik üst ve alt sesleri**	
Frekans(Hz)	Genlik(dB)	Frekans(Hz)	Genlik(dB)
493.7	-35.14	36.6	-64.11
987.7	-55.50	44.3	-64.05
1483.5	-40.78	55.3	-68.55
1979.7	-53.35	69.2	-68.69
2476.0	-55.64	329.6	-76.40
2968.9	-64.01	369.9	-81.74
3470.2	-69.89	586.7	-68.71
3968.6	-79.88	658.1	-83.19
4453.5	-100.13	738.6	-79.48
4967.7	-77.06	1130.9	-91.14
		1240.4	-90.77

B4(493.88 Hz.) sesi incelendiğinde, temel frekans(493.88 Hz.)'in ikinci harmonik(1483.5 Hz.)'den 5 dB. daha güçlü olduğu görülmektedir. Dördüncü harmonikten sonra harmoniklerin genliklerinin giderek azalmakta olduğu gözlenmektedir. Temel frekansın altında altı adet üstünde beş adet olmak üzere toplam onbir adet uyumsuz alt ve üst ses belirlenmiştir. B4(493.88 Hz.) sesine ait oktav bandları grafiği ve frekans-desibel tablosu aşağıda verilmiştir.

Şekil-71: B4 Sesi Oktav Bandları

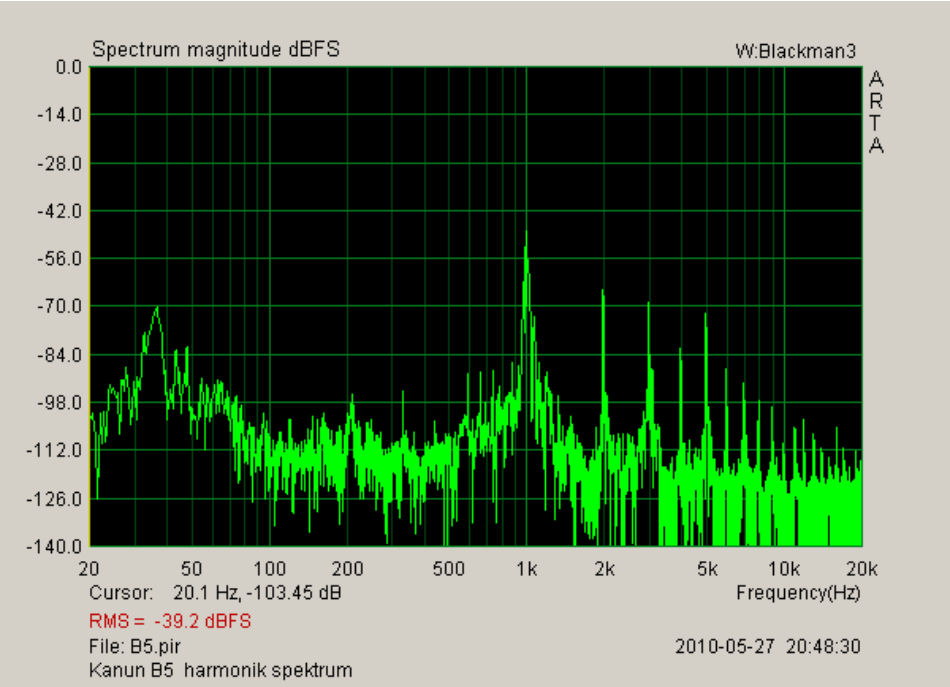


Tablo-52: B4 oktav bandları

B4(493.88 Hz.) oktav bandları		
1 Hz.(-66 dB)	49 Hz.(-61 dB)	1259 Hz.(-67 dB)
2 Hz.(-57 dB)	62 Hz.(-62 dB)	1587 Hz.(-38 dB)
3 Hz.(-55 dB)	78 Hz.(-70 dB)	2000 Hz.(-47 dB)
3 Hz.(-58 dB)	99 Hz.(-75 dB)	2519 Hz.(-50 dB)
4 Hz.(-62 dB)	125 Hz.(-78 dB)	3174 Hz.(-56 dB)
6 Hz.(-71 dB)	157 Hz.(-77 dB)	4000 Hz.(-71 dB)
7 Hz.(-74 dB)	198 Hz.(-77 dB)	5039 Hz.(-66 dB)
9 Hz.(-79 dB)	250 Hz.(-79 dB)	6349 Hz.(-80 dB)
12 Hz.(-81 dB)	314 Hz.(-73 dB)	8000 Hz.(-83 dB)
15 Hz.(-82 dB)	396 Hz.(-77 dB)	10079 Hz.(-85 dB)
19 Hz.(-81 dB)	500 Hz.(-32 dB)	12699 Hz.(-86 dB)
24 Hz.(-71 dB)	629 Hz.(-67 dB)	16000 Hz.(-86 dB)
31 Hz.(-70 dB)	793 Hz.(-76 dB)	20158 Hz.(-85 dB)
39 Hz.(-58 dB)	1000 Hz.(-49 dB)	

5.1.2.27. Kanun çalgısının B5(987.77 Hz.) sesi

Şekil-72: B5 Sesinin Frekans Spektrumu

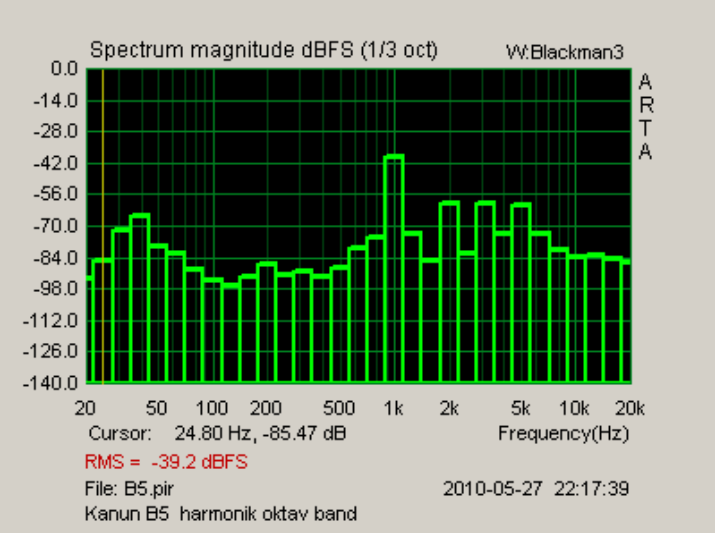


Tablo-53: B5 sesinin Harmonik Bileşenleri

Kanun B5 sesinin karakteristik harmonikleri		**Kanun B5 sesinin karakteristik üst ve alt sesleri**	
Frekans(Hz)	Genlik(dB)	Frekans(Hz)	Genlik(dB)
988.0	-48.14	36.6	-70.09
1975.0	-65.06	45.8	-97.60
2972.5	-68.69	63.0	-91.26
3951.8	-82.32	120.0	-103.21
4961.8	-78.60	208.7	-95.78
5957.2	-88.36	329.6	-94.71
6936.0	-92.39	586.3	-89.55
7937.3	-97.29	658.1	-89.22
8942.1	-99.19	738.3	-88.51
10957.4	-105.41	877.4	-86.54
11901.5	-108.51	1192.0	-89.12

B5(987.77 Hz.) sesinde uyumsuzların daha çok temel frekans(988 Hz.)'ın altında oluştuğu gözlenmektedir. Temel frekansın üzerinde bir adet uyumsuz bileşen gözlenmiştir. Toplam onbir adet uyumsuz bileşen vardır. Temel frekans(988 Hz.) harmonik bileşenlere göre daha güçlüdür. Dördüncü harmonikten sonra harmonik genlikleri düşüşe geçmektedir. B5(987.77 Hz.) sesine ait oktav bandları grafiği ve frekans-desibel tablosu aşağıda verilmiştir.

Şekil-73: B5 Sesi Oktav Bandları



Tablo-54: B5 oktav bandları

B5(987.77 Hz.) oktav bandları		
1 Hz.(-80 dB)	49 Hz.(-78 dB)	1259 Hz.(-73 dB)
2 Hz.(-77 dB)	62 Hz.(-81 dB)	1587 Hz.(-85 dB)
3 Hz.(-78 dB)	78 Hz.(-89 dB)	2000 Hz.(-59 dB)
3 Hz.(-80 dB)	99 Hz.(-93 dB)	2519 Hz.(-82 dB)
4 Hz.(-81 dB)	125 Hz.(-96 dB)	3174 Hz.(-59 dB)
6 Hz.(-86 dB)	157 Hz.(-91 dB)	4000 Hz.(-73 dB)
7 Hz.(-88 dB)	198 Hz.(-87 dB)	5039 Hz.(-60 dB)
9 Hz.(-90 dB)	250 Hz.(-91 dB)	6349 Hz.(-72 dB)
12 Hz.(-88 dB)	314 Hz.(-90 dB)	8000 Hz.(-80 dB)
15 Hz.(-91 dB)	396 Hz.(-92 dB)	10079 Hz.(-83 dB)
19 Hz.(-93 dB)	500 Hz.(-88 dB)	12699 Hz.(-82 dB)
24 Hz.(-85 dB)	629 Hz.(-79 dB)	16000 Hz.(-84 dB)
31 Hz.(-71 dB)	793 Hz.(-74 dB)	20158 Hz.(-85 dB)
39 Hz.(-65 dB)	1000 Hz.(-39 dB)	

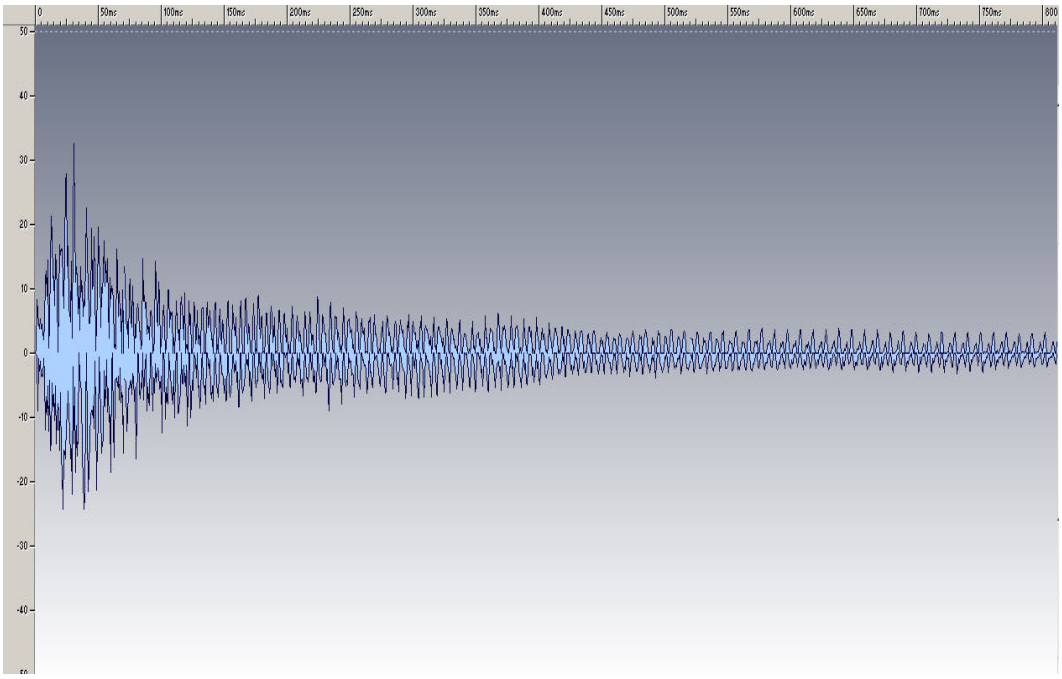
5.1.3. Kanun Sesinin Zaman Analizi

Daha önce müzik aletleri akustiği konulu bölümde belirtildiği gibi, sesin fiziksel özelliklerinden olan ve çok küçük zaman aralıklarında, genliğin değişmesiyle oluşan çıkış(attack), düşüş (decay), yarı kararlı hal-devamlılık(sustain-quassi steady state) ve sönüş(release) evrelerinden oluşan ses zarfı(envelope), her çalgının kendine özgü ses renginin oluşmasında, diğer ögelerle birlikte belirleyici bir role sahiptir.

Kanun çalgısı, gergin teller mızrapla çekilerek çalındığı için, genlik-zaman analizinde vurmalı çalgılara benzer bir davranış sergilemektedir. Yapılan incelemede dalga şekillerinin genel olarak çıkış(attack) ve sönüş evrelerinden oluştuğu gözlenmiştir. Çıkış(attack), ilk düşüş(decay), yarı kararlı hal(sustain) ve sönüş(release) evrelerini karakteristik bir biçimde oluşturan dalga şekillerine nadiren rastlanılmıştır. Kanun çalgısının ses zarfına ait zaman analizi aşağıdaki tabloda tüm teller için ayrı ayrı belirtilmiştir.

Yapmış olduğumuz gözlemlerde Kanunun en pes sesi Sol (G2) notası, sesin ilk oluşması ile tamamen sönmesine kadar geçen süre yaklaşık 5 sn dir.

Şekil-74: Kanun Çalgısının G2 Sesinin Dalga Şekli

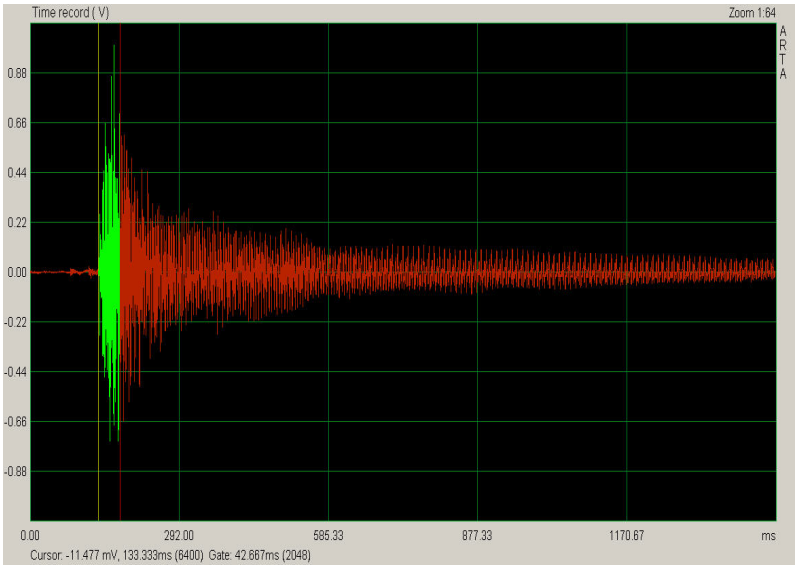


Tablo-55: Kanun Seslerinin Çıkış ve Düşüş Süreleri

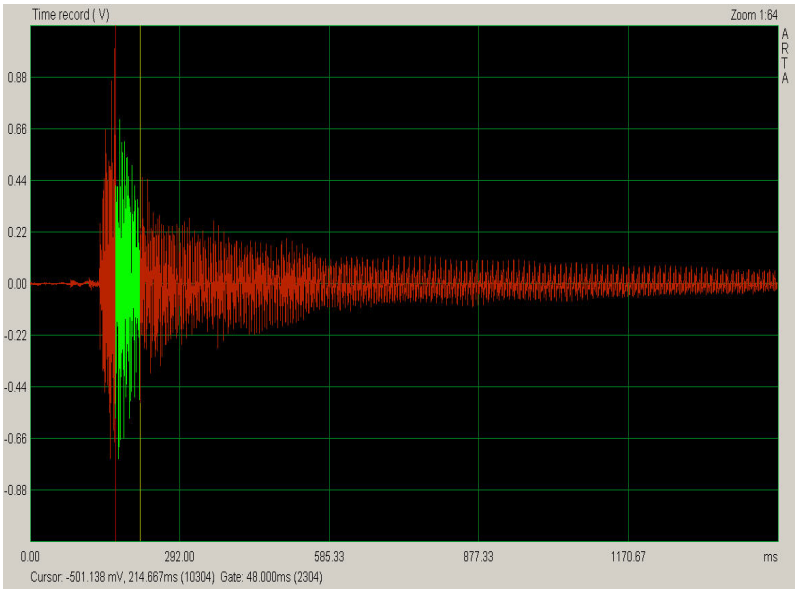
Sesler	Çıkış(attack)ms	Düşüş(decay)ms
G2	30	70
A2	24	76
B2	33	57
C3	17	56
D3	39	77
E3	29	43
F#3	22	29
G3	21	48
A3	19	34
B3	23	44
C4	45	60
D4	42	70
E4	24	82
F#4	20	78
G4	16	57
A4	28	37
B4	22	29
C5	15	49
D5	22	30
E5	17	30
F#5	11	26
G5	20	26
A5	11	33
B5	14	19
C6	13	16
D6	6	5
E6	5	25
	551/27=20 ms.	1206/27=44 ms.

Yapılan inceleme neticesinde oluşturulan yukarıdaki tabloda kanun çalgısının her bir sesi için, dalga şeklini belirleyen ses zarfının evrelerinden çıkış ve düşüş süreleri belirlenmiştir. Buna göre çalgının ortalama çıkış süresi 20 ms. ve ortalama düşüş süresi 44 ms. dir. Dalga şekli testere dişi dalgadır.

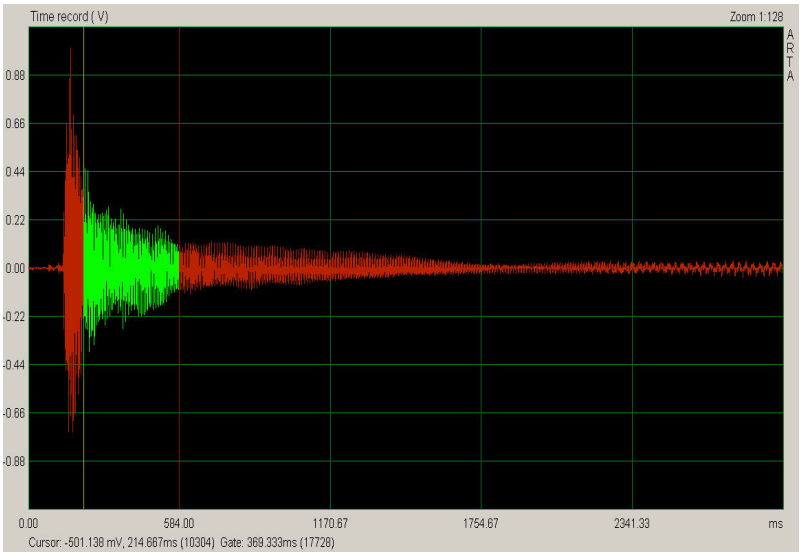
Şekil-75: Kanun Çalgısında G2 sesinin çıkış(attack) evresi



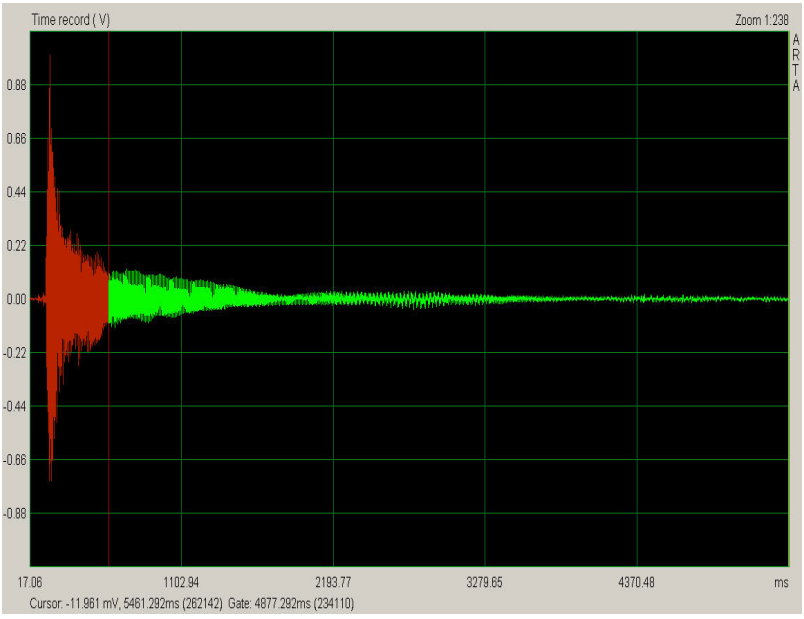
Şekil-76: Kanun çalgısında G2 sesinin İlk düşüş(decay) evresi



Şekil-77: Kanun Çalgısında G2 sesinin Tutunma(sustain) Evresi



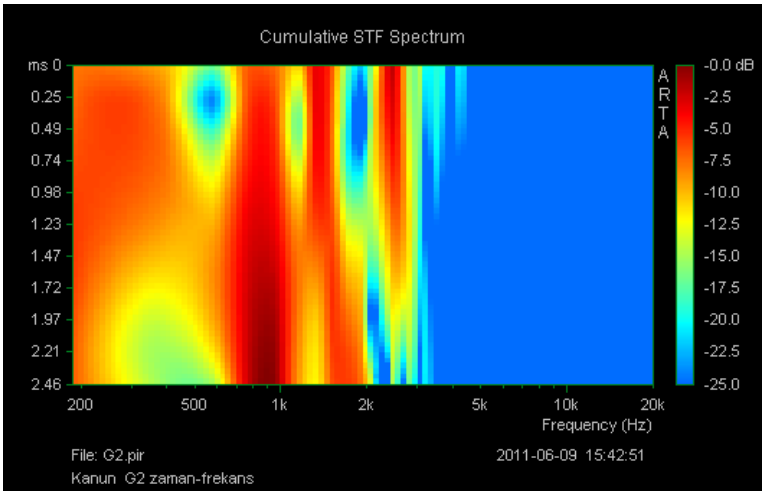
Şekil-78: Kanun çalgısında G2 sesinin sönüş(release) evresi

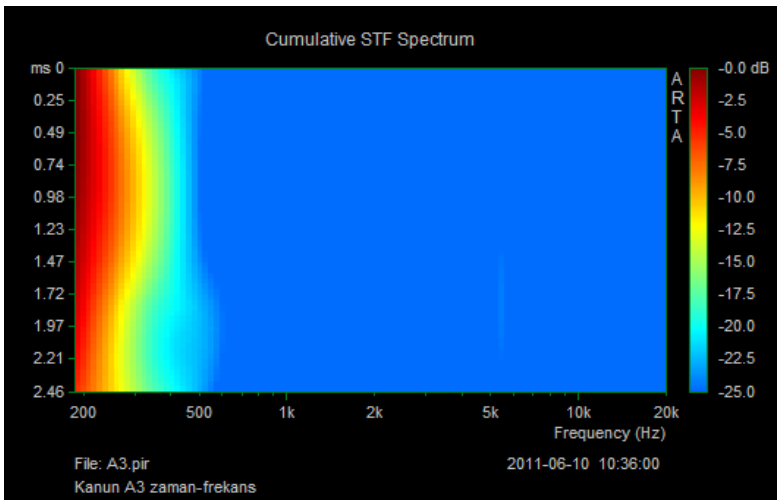


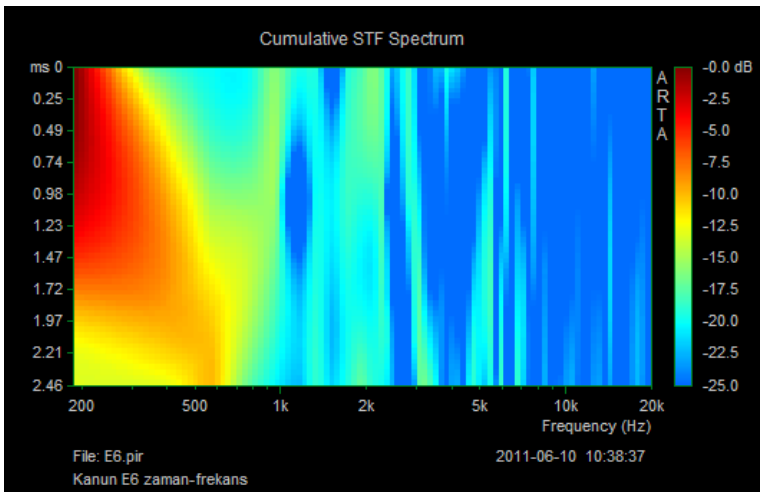
5.1.3.1. Kanun Sesinin Zaman-Frekans Analizi

Aşağıda verilen sonogramlar Kanun çalgısının pes, orta ve tiz bölgelerinden alınan G2, A3 ve E6 seslerine aittir. Çalgının G2 sesinde ilk 2.5 ms. içerisinde en karateristik bölge, genliğin en yüksek olduğu 700 Hz. ile 1kHz. aeasındaki bölgedir. 1500 Hz. bölgesi 1.23 ms. değerine kadar yüksek genliğiyle karakteristiktir. 2.5 kHz. ile 3 kHz. arasındaki bölge 1.72 ms. içerisinde karakteristiktir. 200 Hz. ile 300 Hz. arasındaki bölge 2.5 ms. boyunca genlik olarak belirli bir düzeydedir. A3 sesinde ise 2.5 ms. içerisinde 200 Hz.ile 300 Hz. bölgesi yüksek genlik değeriyle karakteristiktir. 2.5 ms. içerisinde daha düşük genlik değeriyle 300 Hz.ile 500 Hz. arasındaki bölge de nispeten karakteristik bir görünümdedir. E6 sesi ise 1.97 ms. içerisinde 200 Hz. ile 300 Hz. arasında karakteristiktir. 1.97 ms.ile 2.5 ms. zaman aralığında ise 200 Hz. ile 700 Hz. arasındaki bölge nispeten karakteristik bir görünümdedir.

Şekil-79: Kanun G2, A4 ve E6 Seslerinin Zaman-Frekans Karakteristiği



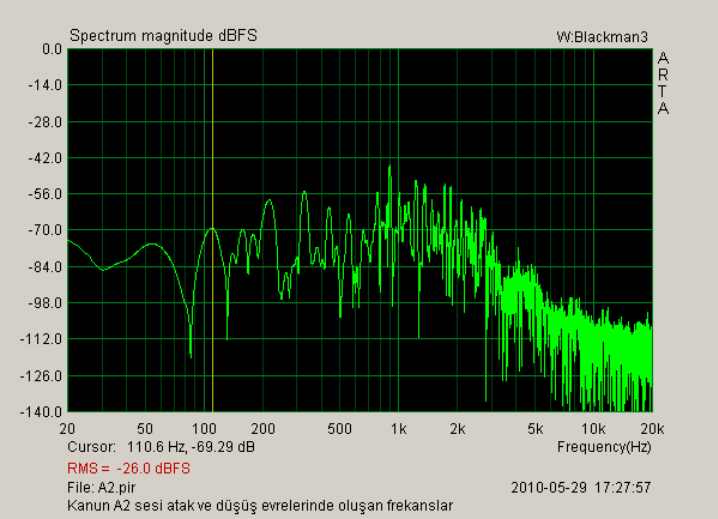




Çalgı sesinin çıkış) ve düşüşevresinde milisaniyeler içerisinde oluşan ve transit dalga dediğimiz bileşenler sesin niteliğiyle ilgili çok önemli etkiye sahip olup, algıda oluşacak ses kalitesiyle ilgili durumu direkt olarak etkilemektedir. Aşağıdaki şekilde A2 sesinin yaklaşık

ilk 60 ms.'sinde ortaya çıkan frekans davranışı görülmektedir. Temel frekans ve harmoniklerin milisaniyeler içerinde oluşumu bu şekil üzerinde rahatlıkla gözlenebilmektedir.

Şekil-80: Kanun A2 sesinin 60 ms. içerisindeki frekans spektrumu



5.1.4. Kanun Çalgısının Ses Yönelim Özellikleri

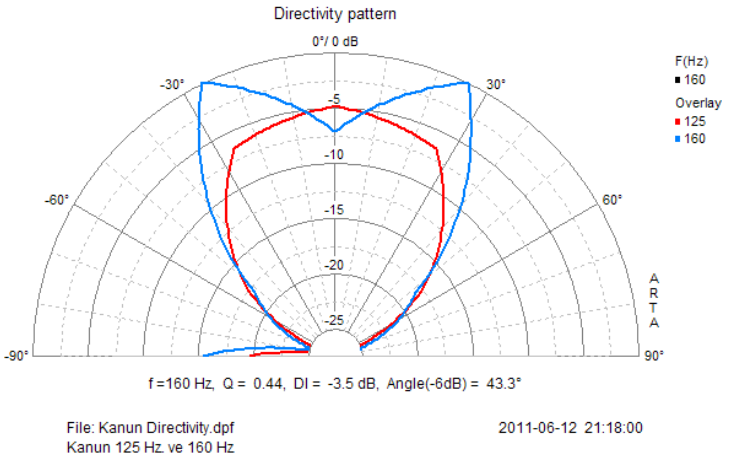
Kanun çalgısının yönelim özelliklerinin belirlenebilmesi için 180 derecelik bir alanda, 8 mikrofon kullanılarak, aralarındaki açı yaklaşık 26 derece olan 8 doğrultuda, G2 sesinden E6 sesine kadar çıkıcı gam aynı anda Cubase yazılımında 8 ayrı kanala kaydedilmiştir. Her bir doğrultu için ".wav" formatında datalar oluşturulmuş ve bunlar daha sonra ARTA yazılımının özel bir formatı olan ".Pir" formatına dönüştürülüp programın "directivity patterns" modülünde çalgının yönelgenlik davranışını gösteren veriler elde edilmiştir.

Aşağıdaki şekil-81'de 125 Hz. ve 160 Hz. frekanslarının yönel özelliklerini göstermektedir. Buna göre 125 Hz. frekansı 0 derece doğrultusunda maksimum genliktedir. 160 Hz. frekansı ise yaklaşık -25 ve + 25 derece doğrultularında maksimum genliktedir.

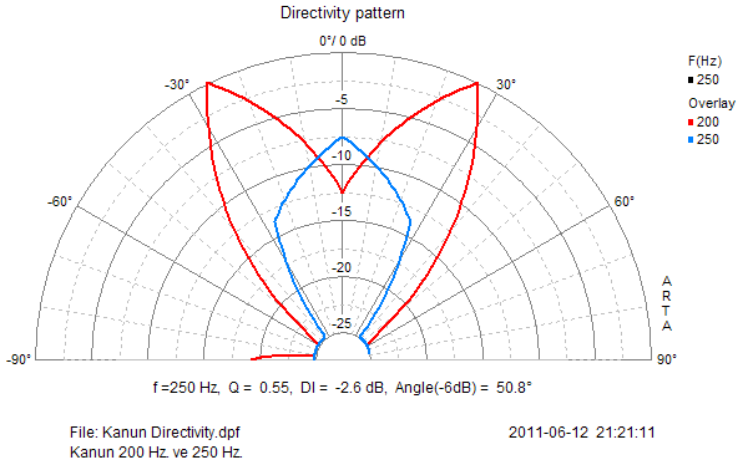
Şekil-82'de 200 Hz. frekansı -25 ve +25 derece doğrultularında en yüksek genlik değerindedir. 250 Hz. frekansı 0 derece doğrultusunda en yüksek genlik değerindedir.

Şekil-83'de 315 Hz. ve 400 Hz. frekanslarının yönelim özellikleri görülmektedir. 315 Hz. frekansı 0 derece doğrultusunda yüksek genlik değeriyle karakteristiktir. 0 derece doğrultusunun sağında ve solunda ilerledikce genlik düşmektedir. 400 Hz. frekansı -25 ve +25 derece arasında yüksek genliklerdedir. Bu doğrultulardan daha ilerilere doğru genlik giderek düşmektedir.

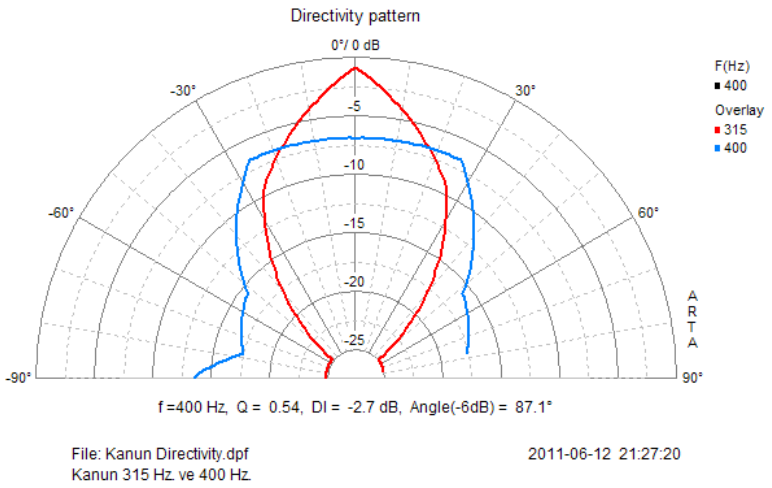
Şekil- 81: Kanun Çalgısı 125 Hz. ve 160 Hz. Frekanslarının Yönel Özelliği



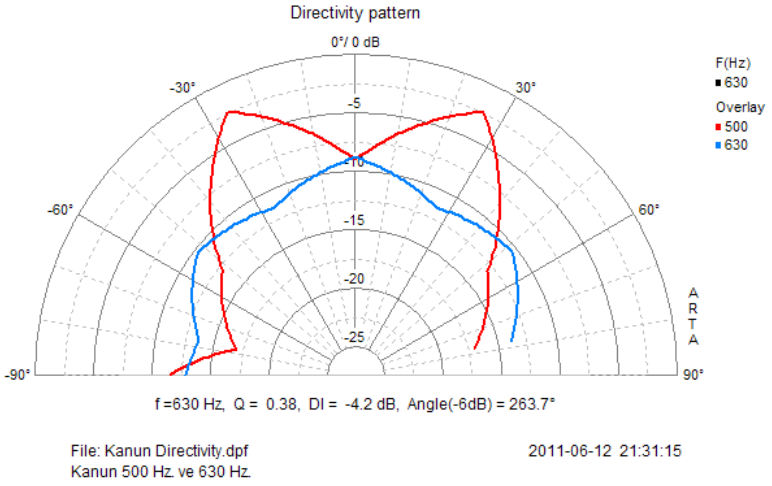
Şekil- 82: Kanun Çalgısı 200 Hz. ve 250 Hz. Frekanslarının Yönel Özelliği



Şekil- 83: Kanun Çalgısı 315 Hz. ve 400 Hz. Frekanslarının Yönel Özelliği



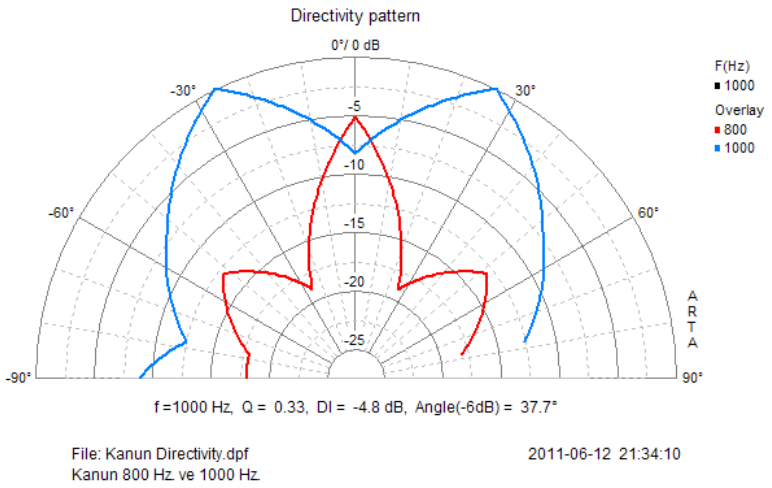
Şekil- 84: Kanun Çalgısı 500 Hz. ve 630 Hz. Frekanslarının Yönel Özelliği



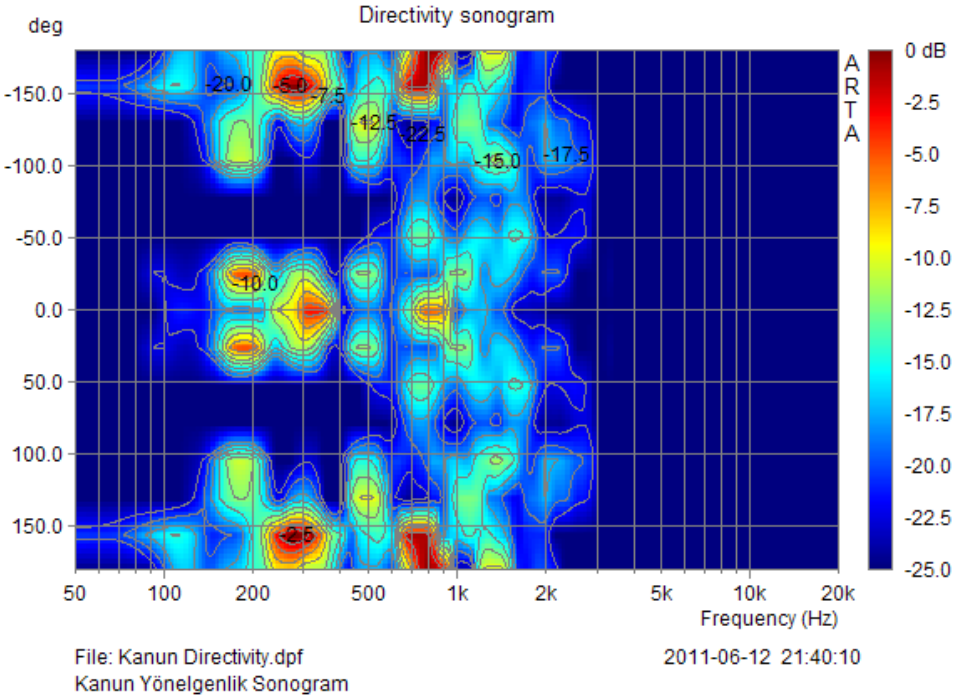
500 Hz. frekansı -25 ve +25 derece doğrultularında karakteristiktir. Bu doğrultulardan ilerledikçe genlik düşmektedir. 630 Hz. frekansı -50 ve +50 derece doğrultuları arasında yüksek genliğe sahiptir. Bu doğrultulardan ilerledikçe genlik düşmektedir.

Aşağıda Şekil-85'de görülen 800 Hz. frekansı 0 derece doğrultusunda en yüksek genlik değeriyle ve yaklaşık -50 ve +50 derece doğrultularında biraz daha düşük genlik değeriyle karakteristiktir. 1000 Hz. frekansı ise -25 derece ve +25 derece doğrultularında en yüksek genlik değerine sahiptir. Bu doğrultulardan ilerledikçe genlik düşmektedir.

Şekil- 85: Kanun Çalgısı 800 Hz. ve 1000 Hz. Frekanslarının Yönel Özelliği



Şekil- 86: Kanun Çalgısının Yönelgenlik Sonogramı

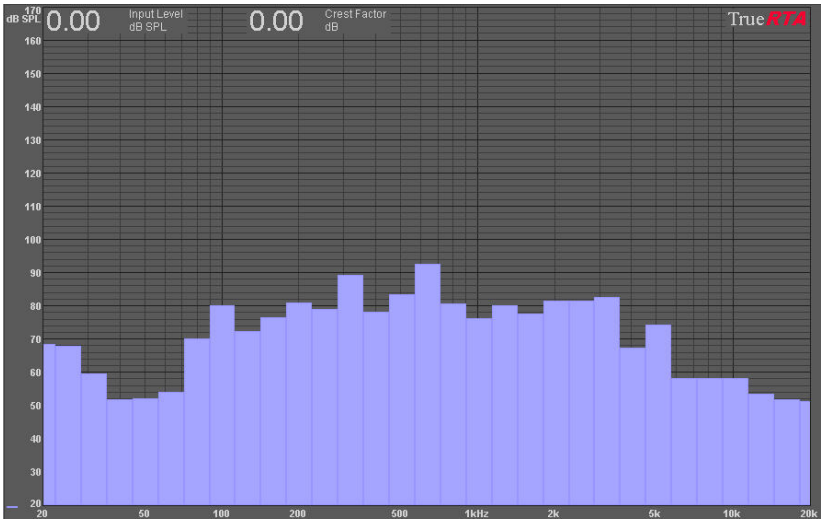


Yukarıdaki sonogram 180 derecelik bir yatay düzlemde genlik ve doğrultularla beraber frekansların dağılımını göstermektedir. Örneğin 220 Hz. ile 350 Hz. arasındaki bölge -170 ve +170 doğrultularında karakteristiktir. Yine sıfır derecenin sağında ve solunda 150 ve 180 dereceler arasında 650 Hz. ile 800 Hz. arasındaki bölge karakteristikdir. Sıfır derece doğrultusunda ise 250 Hz. ile 380 Hz. arasındaki bölge ve 700 Hz. ile 900 Hz. arasındaki bölge karakteristiktir.

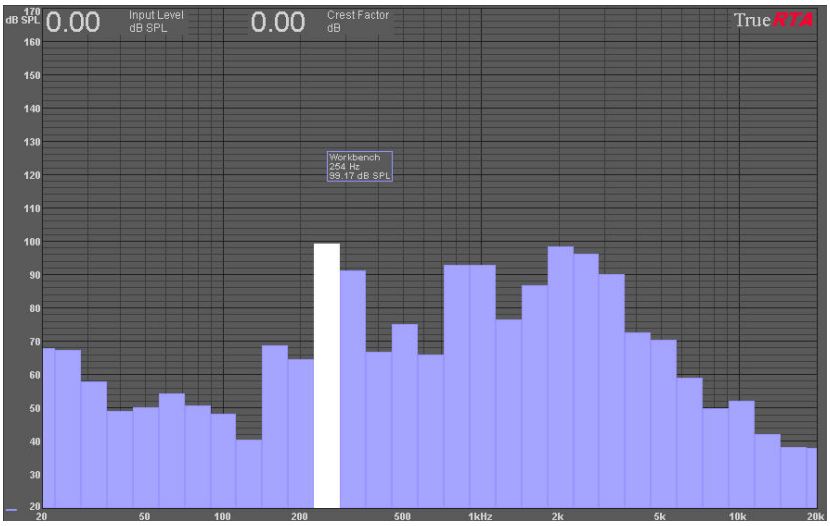
5.1.5. Kanun Çalgısının Ses Basınç Seviyesi

Yapılan incelemede kanun çalgısının ses basınç seviyeleri, en yüksek değerler olarak G2 sesinde 640 Hz. oktav bandında 92.47 dB. SPL, C4 sesinde 254 Hz. oktav bandında 99.17 dB. SPL ve E6 sesinde 1280 Hz. oktav bandında 107.7 dB. SPL olarak belirlenmiştir.

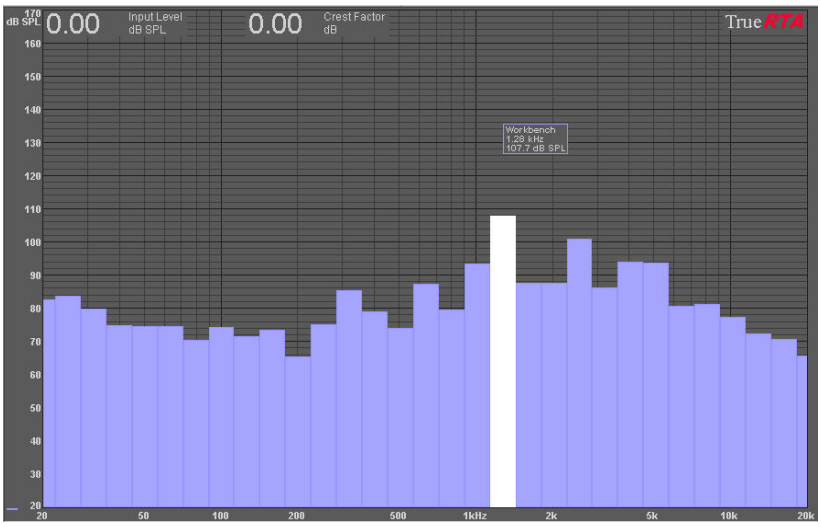
Şekil-87: Kanun G2, C4 ve E6 Sesleri Ses Basınç Seviyeleri



G2



C4



E6

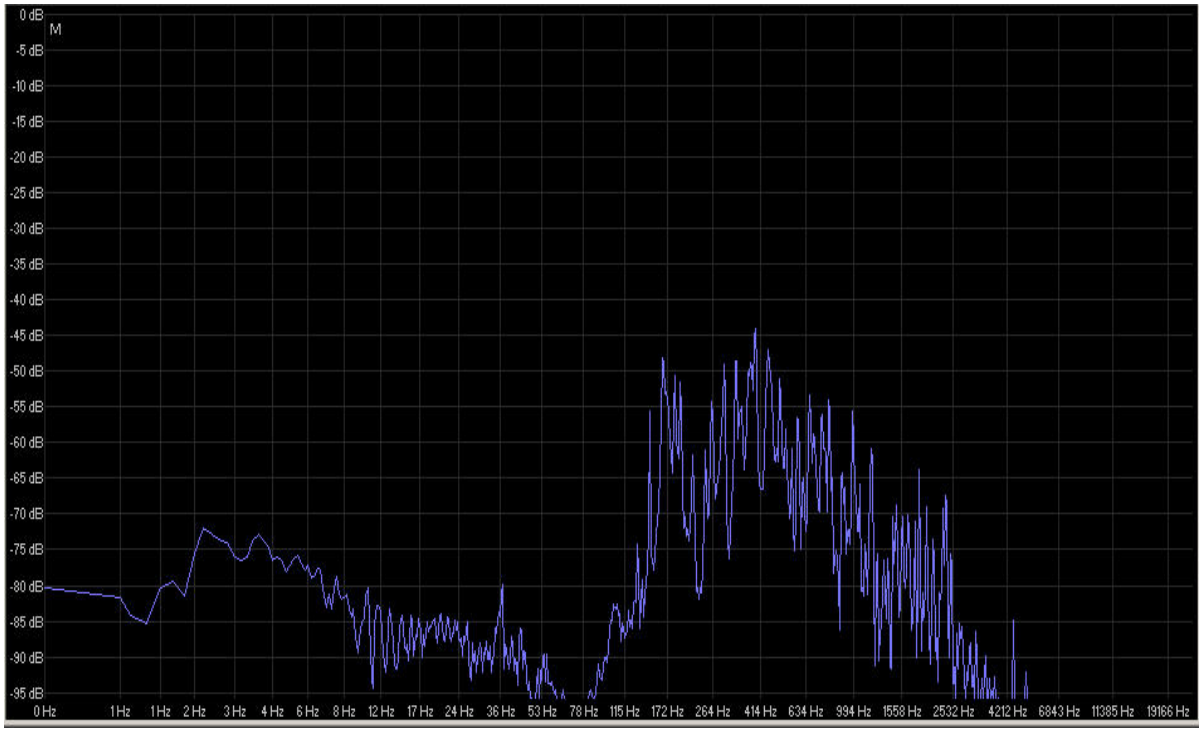
5.2. Tambur Çalgısı

İncelenen tambur çalgısı, teknesi porsuk ağacı, sap kısmı maun, kapak ladin, eşik ardıç ve kenar süsleri abanoz ağaçlarından, Barış Yekta Karatekeli tarafından yapılmıştır. Tekne boyu 35 cm. ve tel boyu 104 cm. dir. Bu tamburda toplam 7 tel vardır. En alttaki iki tel çift telden oluşmaktadır. İcralar genelde alt telde yapıldığından, bu tel üzerindeki 15 ses incelenmiştir.

5.2.1. Tambur Çalgısının Frekans Cevap Anahtarı ve Formantlar

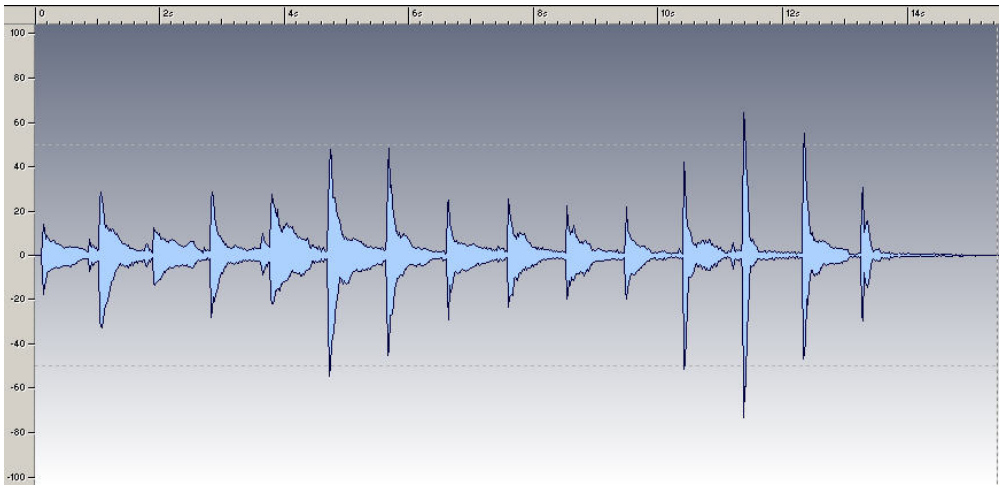
Tamburda en alt tel üzerinde A2 (110 Hz.) sesi ile A4 (440 Hz.) sesleri arasındaki 15 ses incelendiğinde, 160 Hz. frekansının altında kalan bölgedeki frekansların oldukça düşük genliklerde oldukları gözlenmektedir. 200 Hz. ile 250 Hz. arasındaki bölgede genlik düşüktür. 400 Hz. frekansı belirgin bir şekilde diğer frekanslara göre yüksektir. 2380 Hz. frekansından sonra frekans genlikleri karakteristik bir biçimde düşmektedir.

Şekil-88: Tambur Çalgısının Frekans Cevap Anahtarı



Tambur çalgısının en alt telinde A2 sesinden itibaren A4 sesine kadar kaydedilen çıkıcı gamın dalga biçimi aşagıdaki şekilde görülmektedir. Tamburda melodiler genellikle bu tel üzerinde icra edilmektedir.

Şekil-89: Tambur'da Çıkıcı Gam Dalga Şekli(A2-A4 arası)

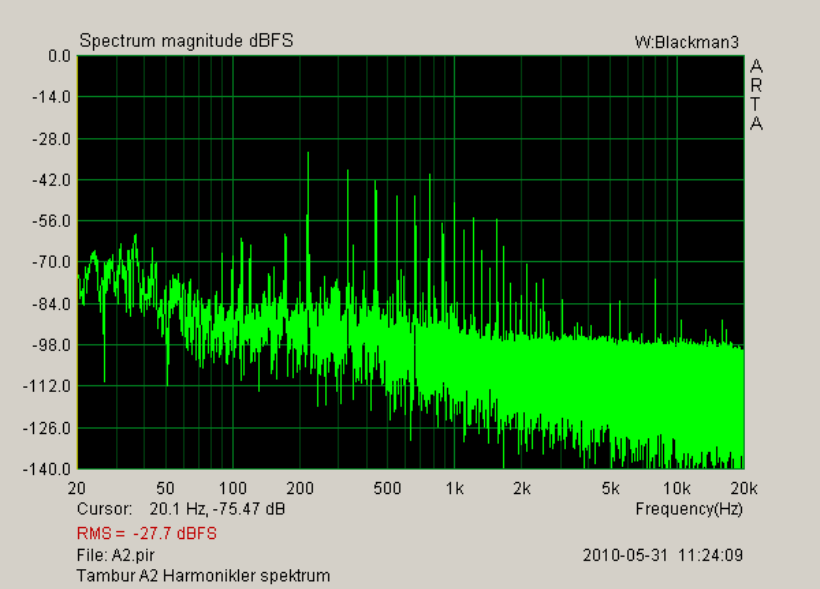


5.2.2. Tambur Çalgısının Seslerinin Harmoniklerinin İncelenmesi

Daha önce kanun çalgısı bölümünde belirtildiği gibi, çalgı sesi içerisindeki harmonik(uyumlu) ve uyumsuz bileşenler çalgının ses kalitesini en çok etkileyen unsurlardır. Tambur çalgısının sesleri de harmonik özelliklerinin belirlenmesi bakımından incelenecektir.

5.2.2.1. Tambur Çalgısının A2(110 Hz.) Sesi

Şekil-90: Tambur A2 Sesi Frekans Spektrumu



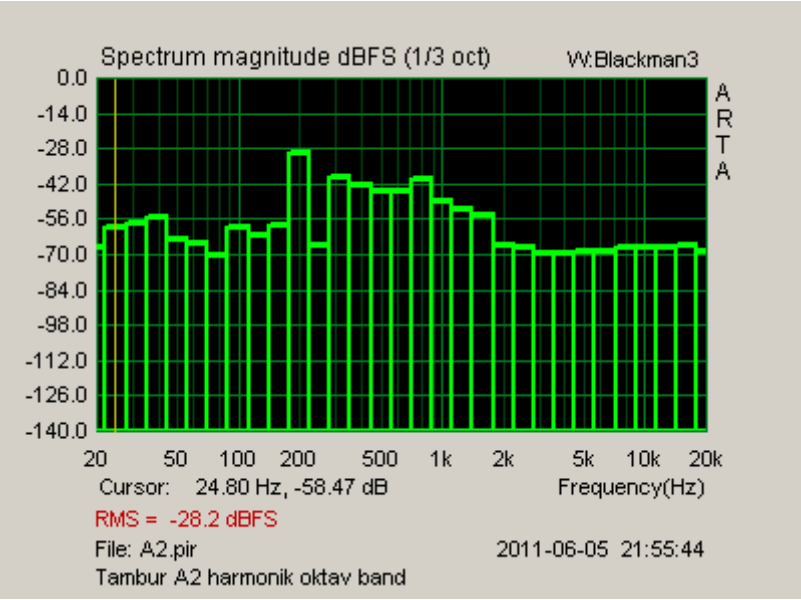
Tablo-56: Tambur A2 Sesinin Harmonik Bileşenleri

Tambur A2(110 Hz.) sesinin karakteristik harmonikleri		**Tambur A2(110 Hz.) sesinin karakteristik üst ve alt sesleri**	
Frekans(Hz)	Genlik(dB)	Frekans(Hz)	Genlik(dB)
110.2	-63.66	36.6	-60.26
219.5	-33.14	43.4	-68.96
329.0	-40.01	90.1	-67.05
440.7	-43.10	100.0	-68.05
550.8	-48.43	120.0	-64.13

661.0	-48.01	146.1	-74.31
771.1	-40.53	173.0	-60.69
881.5	-57.62	348.3	-64.59
991.1	-50.05	576.0	-72.98
1101.2	-59.79		
1212.0	-55.28		
1322.9	-66.87		
1434.1	-72.32		
1545.8	-56.42		
1656.2	-65.65		

A2(110.2 Hz.) sesi diğer harmonik bileşenlere göre yaklaşık 30 dB. daha düşük genliktedir. Birinci harmonik diğer harmoniklere göre daha güçlüdür.Yedinci harmonikten sonra harmoniklerin genlikleri karakteristik bir biçimde düşmeye başlamaktadır. Temel frekans 110.2 Hz.'in altında dört tane ve üstünde de beş tane düzensiz harmonik gözlenmiştir. Tambur çalgısının A2(110 Hz.) sesine ait oktav bandları grafiği ve frekans-desibel tablosu aşağıda verilmiştir.

Şekil-91: Tambur A2 Sesi Oktav Bandları

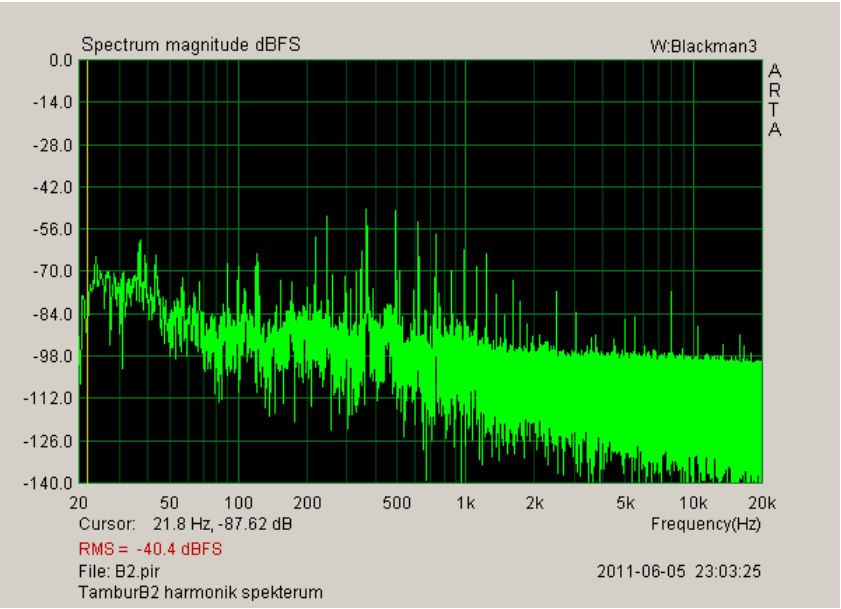


Tablo-57: Tambur A2 Sesi Oktav Bandları Frekans-Kazanç Değerleri

1 Hz.(-63 dB)	49 Hz.(-65 dB)	1259 Hz.(-45 dB)
2 Hz.(-59 dB)	62 Hz.(-64 dB)	1587 Hz.(-40 dB)
3 Hz.(-53 dB)	78 Hz.(-71 dB)	2000 Hz.(-58 dB)
3 Hz.(-63 dB)	99 Hz.(-56 dB)	2519 Hz.(-59 dB)
4 Hz.(-59 dB)	125 Hz.(-61 dB)	3174 Hz.(-67 dB)
6 Hz.(-61 dB)	157 Hz.(-51 dB)	4000 Hz.(-68 dB)
7 Hz.(-61 dB)	198 Hz.(-25 dB)	5039 Hz.(-67 dB)
9 Hz.(-61 dB)	250 Hz.(-63 dB)	6349 Hz.(-67 dB)
12 Hz.(-65 dB)	314 Hz.(-26 dB)	8000 Hz.(-66 dB)
15 Hz.(-64 dB)	396 Hz.(-33 dB)	10079 Hz.(-66 dB)
19 Hz.(-64 dB)	500 Hz.(-31 dB)	12699 Hz.(-66 dB)
24 Hz.(-58 dB)	629 Hz.(-35 dB)	16000 Hz.(-66 dB)
31 Hz.(-57 dB)	793 Hz.(-35 dB)	20158 Hz.(-67 dB)
39 Hz.(-53 dB)	1000 Hz.(-44 dB)	

5.2.2.2. Tambur Çalgısının B2(123.47 Hz.) Sesi

Şekil-92: Tambur B2 Sesi Frekans Spektrumu

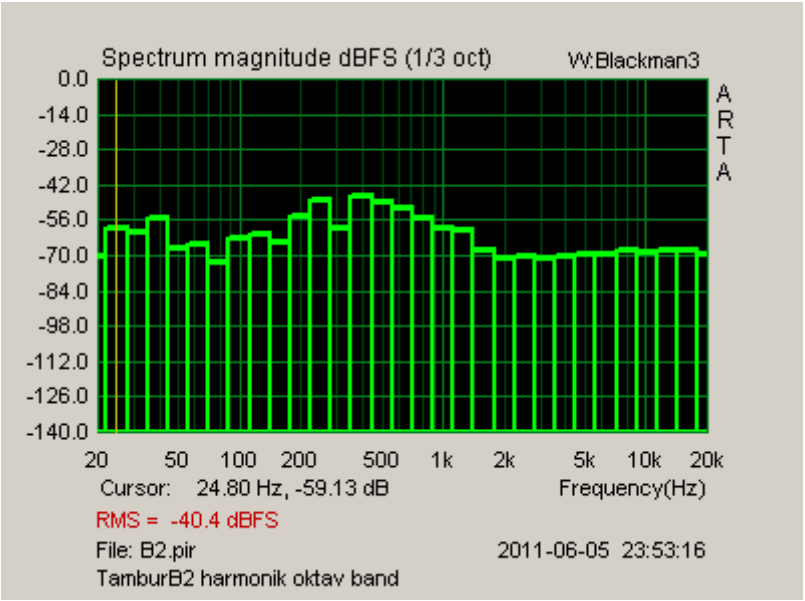


Tablo-58: Tambur B2 Sesinin Harmonik Bileşenleri

Tambur B2(123.47 Hz.) sesinin karakteristik harmonikleri		**Tambur B2(123.47 Hz.) sesinin karakteristik üst ve alt sesleri**	
Frekans(Hz)	Genlik(dB)	Frekans(Hz)	Genlik(dB)
123.0	-66.87	37.2	-59.41
246.1	-51.95	90.1	-67.42
368.2	-54.79	100.0	-69.21
492.7	-49.79	154.2	-72.8
616.0	-53.49	172.1	-73.40
739.0	-57.91	199.8	-75.41
860.8	-69.66	219.7	-58.69
984.7	-62.80	259.5	-71.72
1108.2	-68.25	293.7	-71.56
1231.8	-64.35	329.4	-70.13
1355.9	-77.43	346.8	-63.20
1603.6	-79.81		

Tambur çalgısının B2(123.47 Hz.) sesinin incelemesinde görülmüştür ki, ikinci ve üçüncü harmonikleri yaklaşık eşit güçtedir ve diğer harmoniklere göre daha güçlüdür. Dokuzuncu harmonikten sonra harmoniklerin genlikleri düşüşe geçmektedir. Temel frekans 123.47 Hz.'in altında üç ve üzerinde de sekiz adet düzensiz bileşen gözlenmiştir. B2(123.47 Hz.) sesine ait oktav bandları grafiği ve frekans-desibel tablosu aşağıda verilmiştir.

Şekil-93: Tambur B2 Sesi Oktav Bandları

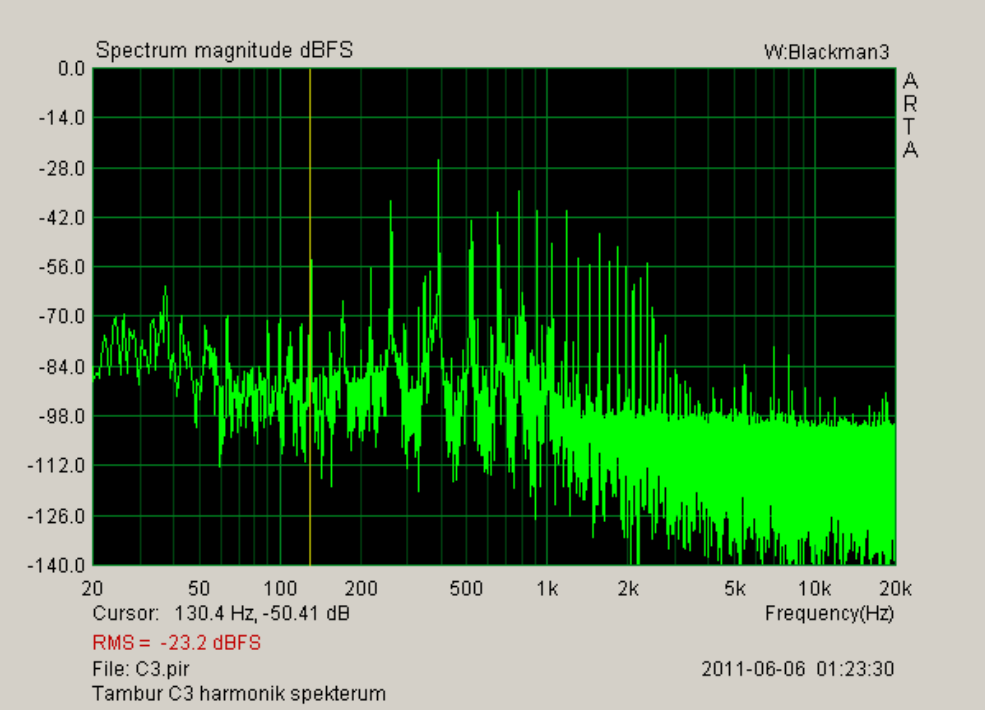


Tablo-59: B2 Sesi Oktav Bandları Frekans-Kazanç Değerleri

1 Hz.(-65 dB)	49 Hz.(-67 dB)	1259 Hz.(-48 dB)
2 Hz.(-66 dB)	62 Hz.(-65 dB)	1587 Hz.(-56 dB)
3 Hz.(-61 dB)	78 Hz.(-72 dB)	2000 Hz.(-65 dB)
3 Hz.(-57 dB)	99 Hz.(-62 dB)	2519 Hz.(-68 dB)
4 Hz.(-61 dB)	125 Hz.(-55 dB)	3174 Hz.(-70 dB)
6 Hz.(-59 dB)	157 Hz.(-57 dB)	4000 Hz.(-70 dB)
7 Hz.(-62 dB)	198 Hz.(-54 dB)	5039 Hz.(-69 dB)
9 Hz.(-62 dB)	250 Hz.(-37 dB)	6349 Hz.(-68 dB)
12 Hz.(-62 dB)	314 Hz.(-50 dB)	8000 Hz.(-67 dB)
15 Hz.(-67 dB)	396 Hz.(-34 dB)	10079 Hz.(-68 dB)
19 Hz.(-69 dB)	500 Hz.(-42 dB)	12699 Hz.(-67 dB)
24 Hz.(-60 dB)	629 Hz.(-41 dB)	16000 Hz.(-67 dB)
31 Hz.(-62 dB)	793 Hz.(-45 dB)	20158 Hz.(-69 dB)
39 Hz.(-55 dB)	1000 Hz.(-47 dB)	

5.2.2.3. Tambur Çalgısının C3(130.81 Hz.) Sesi

Şekil-94: Tambur C3 Sesi Frekans Spektrumu



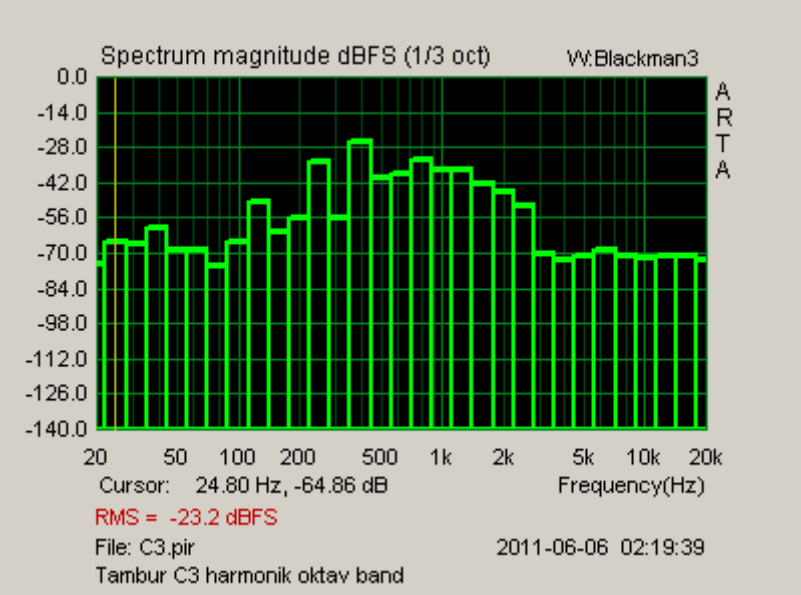
Tablo-60: Tambur C3 Sesinin Harmonik Bileşenleri

Tambur C3(130.81 Hz.)sesinin karakteristik harmonikleri		**Tambur C3(130.81 Hz.) sesinin karakteristik üst ve alt sesleri**	
Frekans(Hz)	Genlik(dB)	Frekans(Hz)	Genlik(dB)
130.4	-50.41	37.4	-61.30
259.6	-37.50	63.7	-69.88
391.5	-26.10	90.1	-71.11
521.5	-43.09	100.0	-70.68
651.9	-40.77	109.5	-74.53
782.2	-34.47	120.1	-71.99
912.2	-40.00	154.2	-74.42
1042.2	-49.61	172.5	-65.50
1173.3	-40.18	219.0	-56.49
1304.4	-53.48	329.2	-67.45
1435.2	-55.30	346.8	-58.78
1567.4	-46.47	365.8	-57.25

1698.5	-54.46		
1829.6	-50.23		

Tambur çalgısının C3(130.81 Hz.) sesi incelendiğinde ikinci harmonik 391.5 Hz. frekansı en güçlü harmonik olarak görülmektedir. Temel frekans ilk beş harmoniğe göre daha düşük genliktedir. Sekizinci harmonikten itibaren genlikler belirgin bir şekilde azalmaktadır. Temel frekansın altında altı tane üstünde altı tane olmak üzere toplam oniki adet karakteristik uyumsuz bileşen gözlenmiştir. C3(130.81 Hz.) sesine ait oktav bandları grafiği ve frekans-desibel tablosu aşağıda verilmiştir.

Şekil-95: Kanun C3 Oktav Bandlari



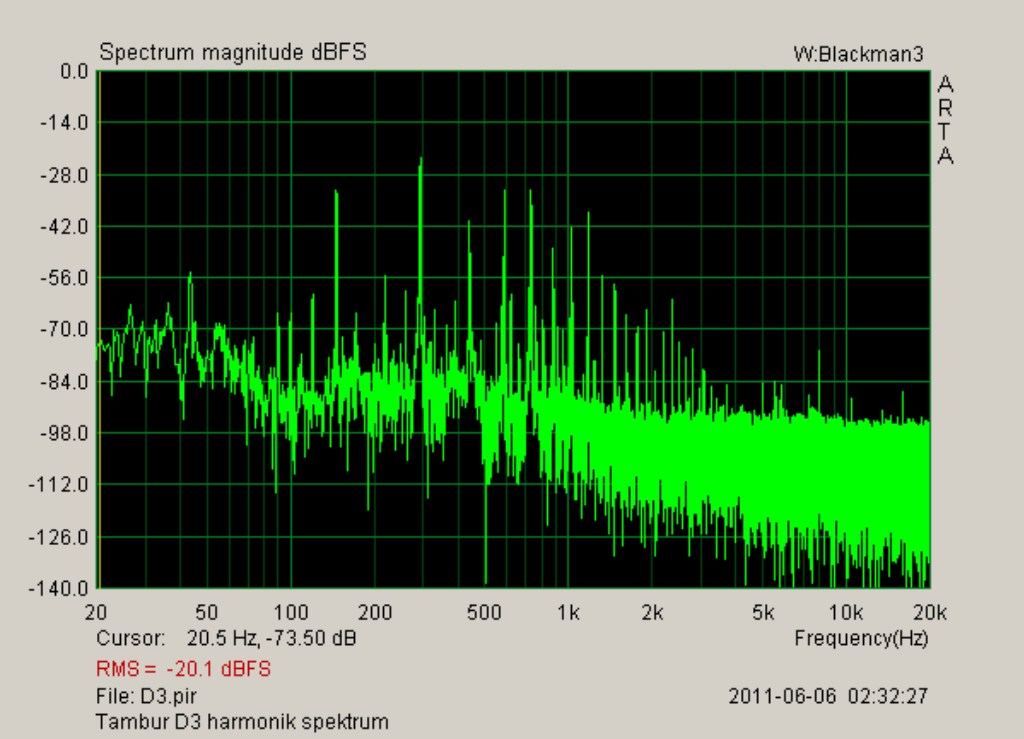
Tablo-61: Kanun C3 Sesi Oktav Bandları

Kanun C3(130.81 Hz.) Sesi Oktav Bandları		
1 Hz.(-71 dB)	49 Hz.(-68 dB)	1259 Hz.(-36 dB)
2 Hz.(-70 dB)	62 Hz.(-68 dB)	1587 Hz.(-41 dB)
3 Hz.(-71 dB)	78 Hz.(-75 dB)	2000 Hz.(-45 dB)
3 Hz.(-74 dB)	99 Hz.(-65 dB)	2519 Hz.(-51 dB)
4 Hz.(-67 dB)	125 Hz.(-49 dB)	3174 Hz.(-70 dB)
6 Hz.(-65 dB)	157 Hz.(-61 dB)	4000 Hz.(-72 dB)
7 Hz.(-60 dB)	198 Hz.(-55 dB)	5039 Hz.(-71 dB)
9 Hz.(-64 dB)	250 Hz.(-33 dB)	6349 Hz.(-68 dB)
12 Hz.(-65 dB)	314 Hz.(-55 dB)	8000 Hz.(-71 dB)
15 Hz.(-70 dB)	396 Hz.(-25 dB)	10079 Hz.(-71 dB)

19 Hz.(-73 dB)	500 Hz.(-40 dB)	12699 Hz.(-71 dB)
24 Hz.(-64 dB)	629 Hz.(-37 dB)	16000 Hz.(-70 dB)
31 Hz.(-65 dB)	793 Hz.(-32 dB)	20158 Hz.(-72 dB)
39 Hz.(-59 dB)	1000 Hz.(-36 dB)	

5.2.2.4. Tambur Çalgısının D3(146.83 Hz.) Sesi

Şekil-96:Tambur Çalgısının D3Sesinin Frekans Spektrumu



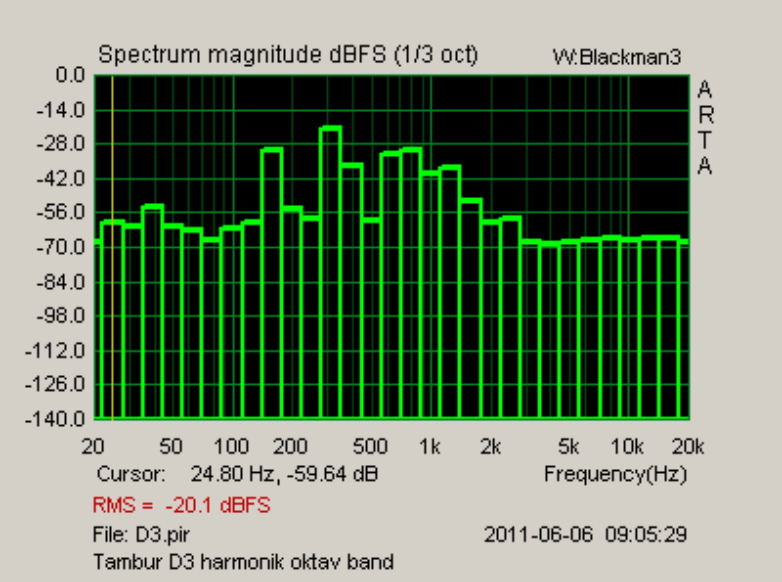
Tablo-62: Tambur Çalgısının D3Sesinin Harmonik Bileşenleri

Tambur D3 sesinin karakteristik harmonikleri		**Tambur D3 sesinin karakteristik üst ve alt sesleri**	
Frekans(Hz)	Genlik(dB)	Frekans(Hz)	Genlik(dB)
146.1	-32.47	43.6	-54.72
292.6	-23.71	90.1	-65.79
439.1	-40.62	100.0	-65.77
587.0	-32.23	120.1	-60.57
733.2	-32.16	172.5	-65.78

880.0	-48.26	219.0	-55.22
1025.8	-42.61	259.3	-59.65
1172.6	-38.43	329.6	-64.90
1320.6	-55.23	366.2	-68.64
		392.2	-62.57

Tambur çalgısının D3(146.83 Hz.) sesi incelendiğinde genlikleri çok küçük olmayan uyumsuz bileşenlerin çokluğu dikkat çekicidir. İkinci harmonik temel frekansa ve diğer harmonik bileşenlere göre daha güçlü görünmektedir. Yedinci harmonik bileşenden sonra harmonik genlikleri giderek düşmektedir. D3(146.83 Hz.) sesine ait oktav bandları grafiği ve frekans-desibel tablosu aşağıda verilmiştir.

Şekil 97: Tambur D3 Oktav Bandları

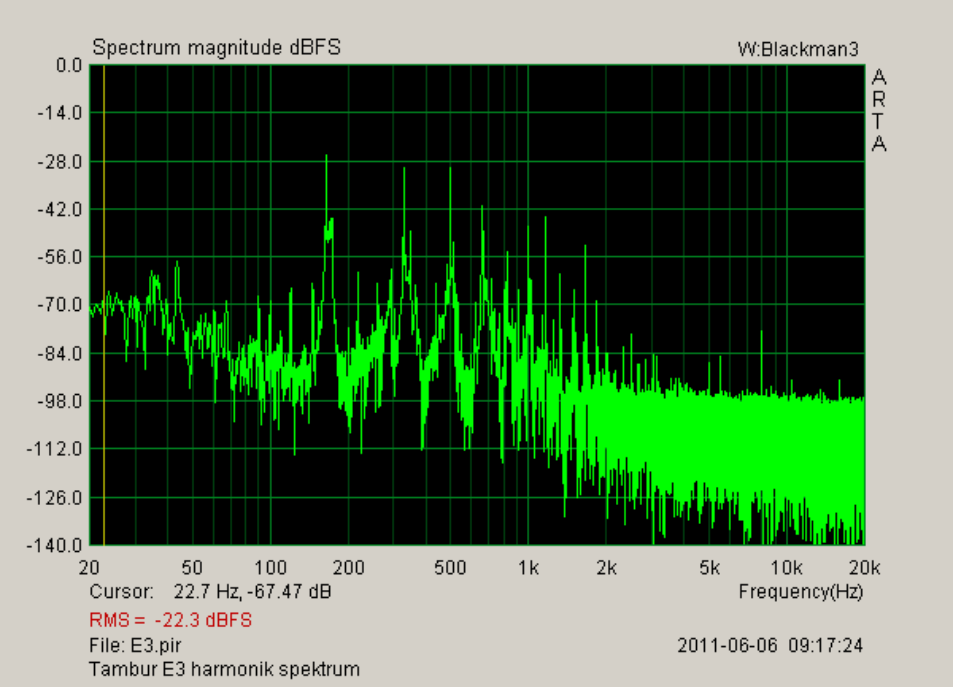


Tablo-63: Tambur D3 Sesi Oktav Bandları

Tambur D3 Sesi Oktav Bandları		
1 Hz.(-69 dB)	49 Hz.(-61 dB)	1259 Hz.(-37 dB)
2 Hz.(-69 dB)	62 Hz.(-62 dB)	1587 Hz.(-50 dB)
3 Hz.(-66 dB)	78 Hz.(-66 dB)	2000 Hz.(-59 dB)
3 Hz.(-59 dB)	99 Hz.(-62 dB)	2519 Hz.(-57 dB)
4 Hz.(-60 dB)	125 Hz.(-60 dB)	3174 Hz.(-67 dB)
6 Hz.(-60 dB)	157 Hz.(-29 dB)	4000 Hz.(-68 dB)
7 Hz.(-65 dB)	198 Hz.(-53 dB)	5039 Hz.(-67 dB)
9 Hz.(-60 dB)	250 Hz.(-58 dB)	6349 Hz.(-67 dB)
12 Hz.(-61 dB)	314 Hz.(-21 dB)	8000 Hz.(-65 dB)
15 Hz.(-62 dB)	396 Hz.(-36 dB)	10079 Hz.(-66 dB)
19 Hz.(-67 dB)	500 Hz.(-59 dB)	12699 Hz.(-66 dB)
24 Hz.(-59 dB)	629 Hz.(-31 dB)	16000 Hz.(-65 dB)
31 Hz.(-61 dB)	793 Hz.(-30 dB)	20158 Hz.(-67 dB)
39 Hz.(-53 dB)	1000 Hz.(-39 dB)	

5.2.2.5. Tambur Çalgısının E3(164.81 Hz.) Sesi

Şekil-98: Tambur Çalgısının E3 Sesinin Frekans Spektrumu

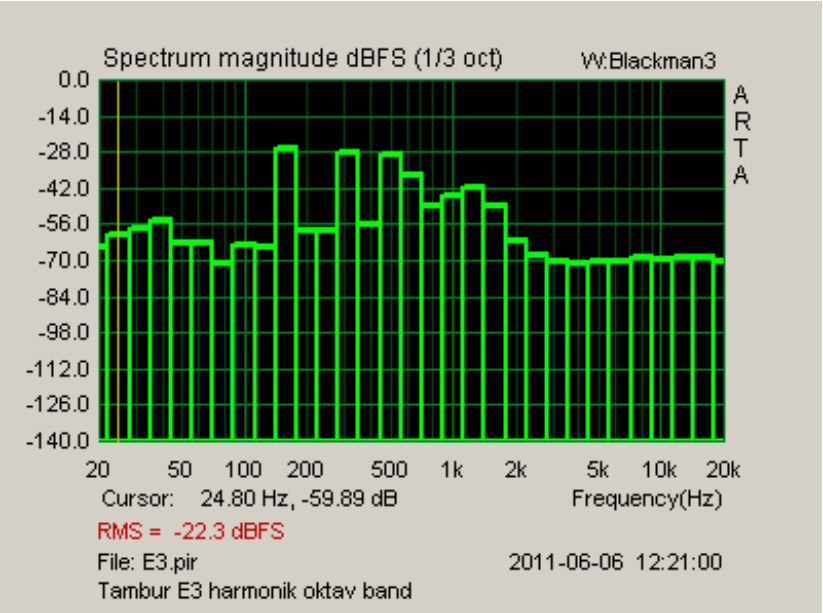


Tablo-64: Tambur E3 sesinin Harmonik Bilesenleri

Tambur E3 sesinin karakteristik harmonikleri		**Tambur E3 sesinin karakteristik üst ve alt sesleri**	
Frekans(Hz)	Genlik(dB)	Frekans(Hz)	Genlik(dB)
165.2	-26.53	34.8	-56.96
328.9	-30.09	43.6	-57.49
496.2	-29.90	67.4	-68.77
661.7	-41.35	90.1	-67.41
826.9	-54.46	100.00	-68.94
991.0	-47.35	120.1	-65.03
1157.6	-44.23	146.1	-63.76
1323.5	-60.78	219.0	-61.11
1492.3	-70.78	260.4	-63.85
1657.8	-52.79	291.9	-65.42
		438.7	-63.94

E3(164.81 Hz.) sesinin incelemesinde temel frekansın diğer bileşenlere göre biraz daha güçlü olduğu görülmektedir. Birinci ve ikinci harmoniklerin genlikleri de temel frekansa yakındır. Yani temel ses ile birinci ve ikinci harmonikler yüksek genlikleriyle karakteristiktir. Temel frekansın altında sekiz adet ve üzerinde dört adet olmak üzere oniki adet uyumsuz alt ve üst ses belirlenmiştir. E3(164.81 Hz.) sesine ait oktav bandları grafiği ve frekans-desibel tablosu aşağıda verilmiştir.

Şekil-99: Tambur E3 Sesi Oktav Bandları

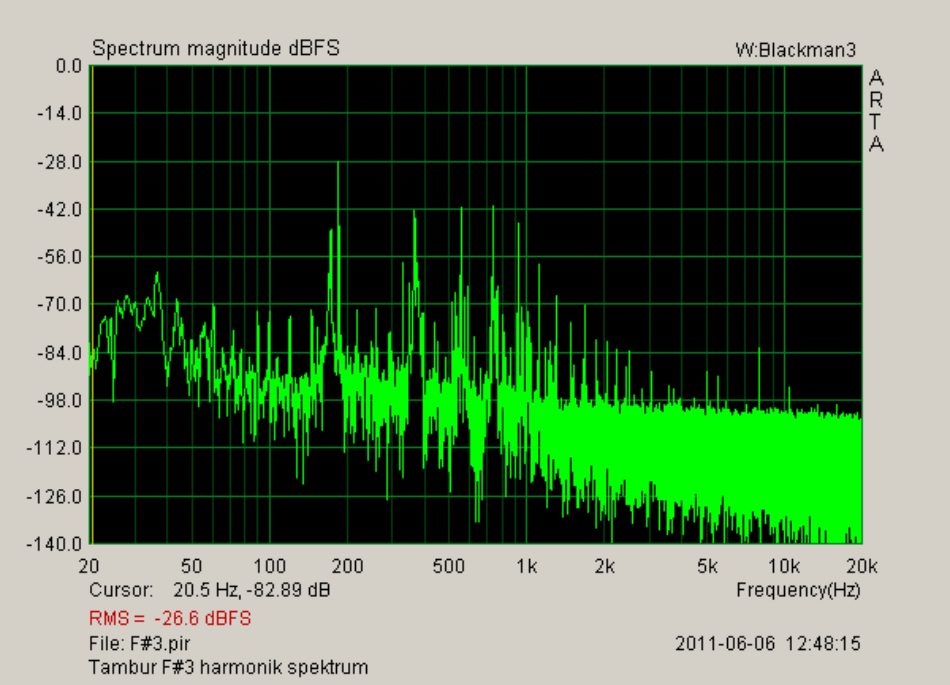


Tablo-65: Tambur E3 Sesi Oktav Bandları Frekans-Kazanç Değerleri

Tambur E3 Sesi Oktav Bandları Frekans-Kazanç Değ.		
1 Hz.(-64 dB)	49 Hz.(-62 dB)	1259 Hz.(-41 dB)
2 Hz.(-67 dB)	62 Hz.(-62 dB)	1587 Hz.(-48 dB)
3 Hz.(-66 dB)	78 Hz.(-70 dB)	2000 Hz.(-61 dB)
3 Hz.(-65 dB)	99 Hz.(-63 dB)	2519 Hz.(-67 dB)
4 Hz.(-58 dB)	125 Hz.(-64 dB)	3174 Hz.(-69 dB)
6 Hz.(-62 dB)	157 Hz.(-25 dB)	4000 Hz.(-70 dB)
7 Hz.(-64 dB)	198 Hz.(-58 dB)	5039 Hz.(-70 dB)
9 Hz.(-63 dB)	250 Hz.(-58 dB)	6349 Hz.(-70 dB)
12 Hz.(-63 dB)	314 Hz.(-27 dB)	8000 Hz.(-68 dB)
15 Hz.(-70 dB)	396 Hz.(-55 dB)	10079 Hz.(-68 dB)
19 Hz.(-64 dB)	500 Hz.(-28 dB)	12699 Hz.(-68 dB)
24 Hz.(-59 dB)	629 Hz.(-36 dB)	16000 Hz.(-68 dB)
31 Hz.(-57 dB)	793 Hz.(-48 dB)	20158 Hz.(-69 dB)
39 Hz.(-53 dB)	1000 Hz.(-44 dB)	

5.2.2.6. Tambur Çalgısının F#3 (185.0 Hz.) Sesi

Şekil-100: Tambur Çalgısının F#3 Sesinin Frekans Spektrumu

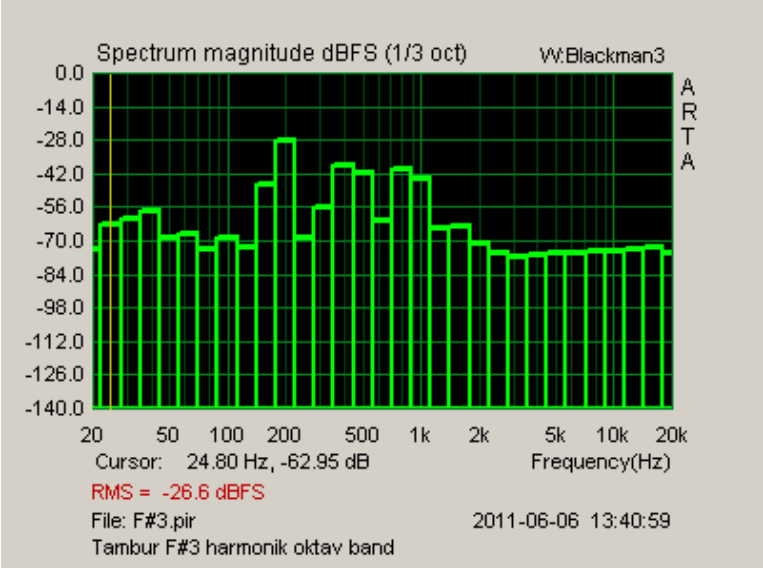


Tablo-66: Tambur F#3 sesinin Harmonık Bilesenleri

Tambur F#3 sesinin karakteristik harmonikleri		**Tambur F#3 sesinin karakteristik üst ve alt sesleri**	
Frekans(Hz)	Genlik(dB)	Frekans(Hz)	Genlik(dB)
184.9	-28.09	36.6	-60.30
368.8	-44.68	43.6	-68.31
557.0	-41.76	60.4	-69.86
742.3	-41.45	90.1	-71.99
926.5	-45.98	100.0	-72.24
1114.4	-58.55	120.1	-73.68
1299.0	-67.48	146.1	-71.49
1486.5	-75.28	173.2	-48.02
1674.0	-70.10	219.4	-71.81
		260.4	-71.22
		293.0	-78.08
		329.6	-57.64
		440.2	-80.78

Tambur çalgısının F#3(185 Hz.) sesinin temel frekansı 184.9 Hz. diğer ilk dört harmonikten 20 dB. daha güçlüdür. İlk dört harmoniğin genliklerinin yaklaşık aynı olduğu gözlemlenmektedir ve dördüncü harmonikten sonra harmoniklerin genlikleri giderek düşmektedir. Temel frekansın altında ve üstünde onüç adet karakteristik düzensiz bileşen gözlenmiştir. F#3(185 Hz.) sesine ait oktav bandları grafiği ve frekans-desibel tablosu aşağıda verilmiştir.

Şekil-101: Tambur F#3 Sesi Oktav Bandları

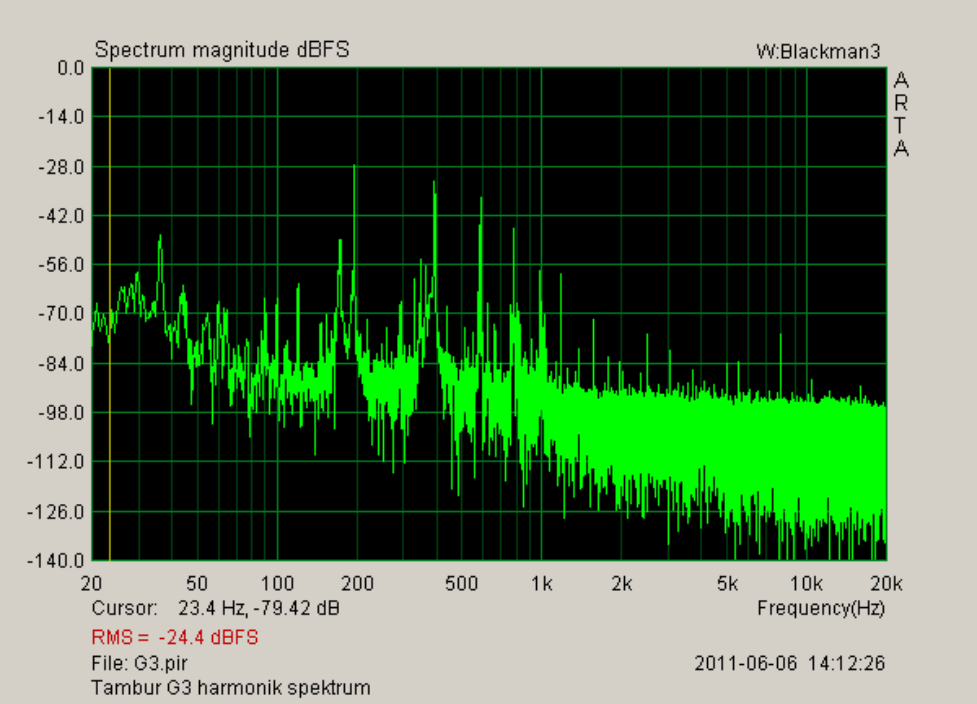


Tablo-67: Tambur F#3 Sesi Oktav Bandları Frekans-Kazanç Değerleri

1 Hz.(-76 dB)	49 Hz.(-68 dB)	1259 Hz.(-64 dB)
2 Hz.(-76 dB)	62 Hz.(-66 dB)	1587 Hz.(-63 dB)
3 Hz.(-72 dB)	78 Hz.(-72 dB)	2000 Hz.(-70 dB)
3 Hz.(-70 dB)	99 Hz.(-68 dB)	2519 Hz.(-74 dB)
4 Hz.(-67 dB)	125 Hz.(-72 dB)	3174 Hz.(-76 dB)
6 Hz.(-63 dB)	157 Hz.(-46 dB)	4000 Hz.(-75 dB)
7 Hz.(-67 dB)	198 Hz.(-27 dB)	5039 Hz.(-74 dB)
9 Hz.(-68 dB)	250 Hz.(-68 dB)	6349 Hz.(-74 dB)
12 Hz.(-69 dB)	314 Hz.(-55 dB)	8000 Hz.(-73 dB)
15 Hz.(-72 dB)	396 Hz.(-38 dB)	10079 Hz.(-73 dB)
19 Hz.(-73 dB)	500 Hz.(-41 dB)	12699 Hz.(-73 dB)
24 Hz.(-62 dB)	629 Hz.(-60 dB)	16000 Hz.(-72 dB)
31 Hz.(-60 dB)	793 Hz.(-39 dB)	20158 Hz.(-74 dB)
39 Hz.(-56 dB)	1000 Hz.(-44 dB)	

5.2.2.7. Tambur Çalgısının G3 (196.0 Hz.) Sesi

Şekil-102: . Tambur G3 Sesi Frekans Spektrumu

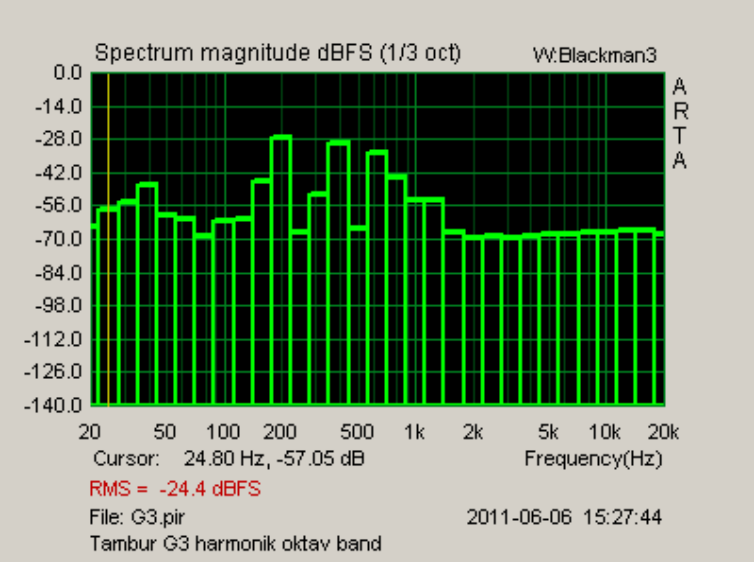


Tablo-68: Tambur G3 sesinin Harmonik Bileşenleri

Tambur G3 sesinin karakteristik harmonikleri		**Tambur G3 sesinin karakteristik üst ve alt sesleri**	
Frekans(Hz)	Genlik(dB)	Frekans(Hz)	Genlik(dB)
194.8	-27.91	36.3	-47.38
392.2	-32.45	44.3	-61.87
587.4	-36.74	60.1	-66.50
783.7	-45.70	90.1	-65.67
978.1	-57.65	100.0	-65.41
1177.0	-58.74	120.1	-61.57
1373.7	-79.90	146.5	-72.32
1569.9	-71.70	154.2	-70.13
		173.2	-49.09
		219.0	-71.54
		260.0	-74.09
		292.6	-66.56
		329.6	-60.20
		347.5	-54.57
		366.2	-56.23
		439.5	-68.03
		512.7	-73.84
		659.9	-75.81

Tambur çalgısının G3(196 Hz.) sesi, içerisindeki düzensiz bileşenlerin çokluğu bakımından karakteristiktir. Ondokuz adet uyumsuz bileşen belirlenmiştir. Bunların dokuz tanesi temel frekansın altında ve on tanesi de temel frekansın üstünde oluşmuştur. Beşinci harmonikten sonra harmoniklerin genlikleri azalmaktadır. Temel frekans ve ilk iki harmonik diğer harmonikler göre belirgin şekilde güçlüdür. G3 (196.0 Hz.) sesine ait oktav bandları grafiği ve frekans-desibel tablosu aşağıda verilmiştir.

Şekil-103: Tambur G3 Sesi Oktav Bandları

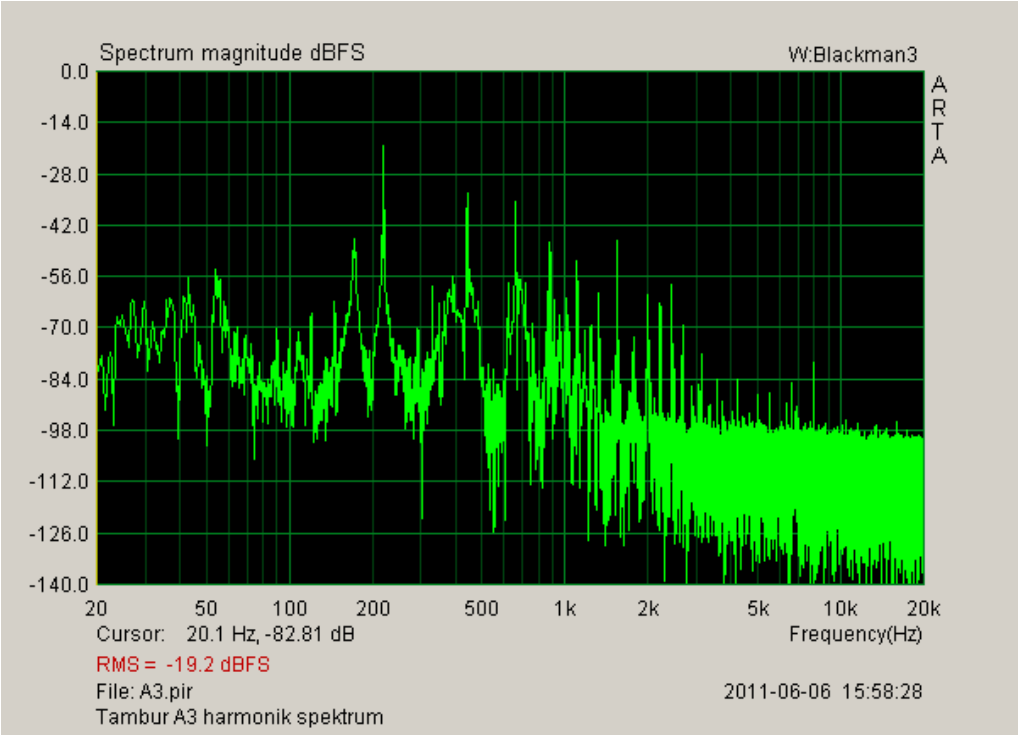


Tablo 69 :Tambur G3 Sesi Oktav Bandları Frekans-Kazanç Değerleri

1 Hz.(-52 dB)	49 Hz.(-59 dB)	1259 Hz.(-53 dB)
2 Hz.(-55 dB)	62 Hz.(-61 dB)	1587 Hz.(-67 dB)
3 Hz.(-58 dB)	78 Hz.(-68 dB)	2000 Hz.(-69 dB)
3 Hz.(-54 dB)	99 Hz.(-61 dB)	2519 Hz.(-68 dB)
4 Hz.(-56 dB)	125 Hz.(-61 dB)	3174 Hz.(-68 dB)
6 Hz.(-61 dB)	157 Hz.(-45 dB)	4000 Hz.(-68 dB)
7 Hz.(-58 dB)	198 Hz.(-27 dB)	5039 Hz.(-67 dB)
9 Hz.(-59 dB)	250 Hz.(-67 dB)	6349 Hz.(-67 dB)
12 Hz.(-66 dB)	314 Hz.(-51 dB)	8000 Hz.(-66 dB)
15 Hz.(-70 dB)	396 Hz.(-29 dB)	10079 Hz.(-66 dB)
19 Hz.(-64 dB)	500 Hz.(-64 dB)	12699 Hz.(-66 dB)
24 Hz.(-57 dB)	629 Hz.(-33 dB)	16000 Hz.(-65 dB)
31 Hz.(-53 dB)	793 Hz.(-44 dB)	20158 Hz.(-67 dB)
39 Hz.(-47 dB)	1000 Hz.(-53 dB)	

5.2.2.8. Tambur Çalgısının A3 (220 Hz.) Sesi

Şekil-104 : Tambur A3 Sesi Frekans Spektrumu

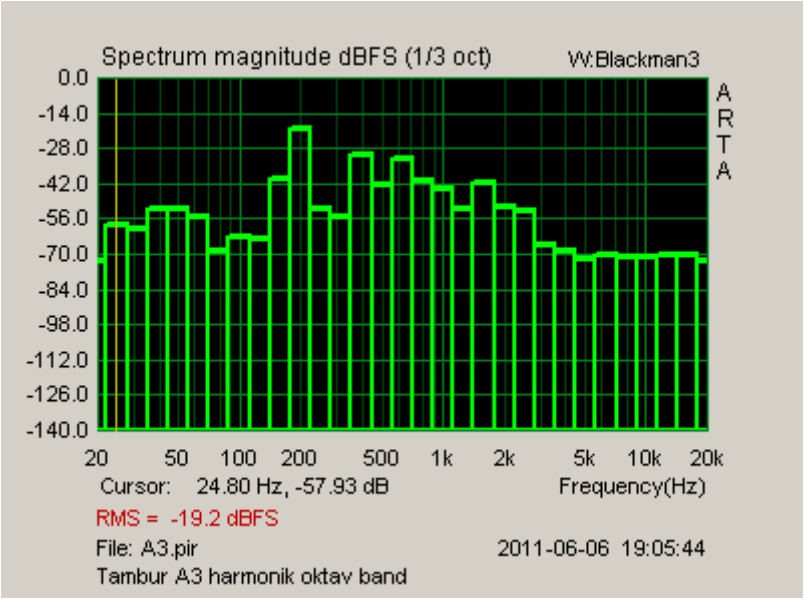


Tablo-70: Tambur A3 Sesi Harmonik Bilesenleri

Tambur A3 sesinin karakteristik harmonikleri		**Tambur A3 sesinin karakteristik üst ve alt sesleri**	
Frekans(Hz)	Genlik(dB)	Frekans(Hz)	Genlik(dB)
219.0	-20.27	43.2	-56.26
441.3	-33.14	54.6	-57.45
661.7	-35.45	90.1	-70.07
885.1	-51.48	100.0	-70.17
1103.8	-51.64	120.1	-65.97
1327.5	-60.75	146.1	-62.82
1548.0	-46.41	172.5	-45.82
1769.9	-72.49	292.2	-70.21
1993.7	-61.21	329.6	-58.90
2213.0	-63.88	347.5	-63.46
2437.1	-58.38	393.3	-56.01

Tambur çalgısının A3(220 Hz.) sesi incelendiğinde temel frekans 219 HZ.'in diğer harmoniklerden daha güçlü olduğu görülmektedir. İkinci harmonikden sonra harmoniklerin genlikleri düşüşe geçmektedir. Uyumsuz alt ve üst sesler yine belirgin bir şekilde gözlenmiştir. Tambur çalgısının A3(220 Hz.) sesine ait oktav bandları grafiği ve frekans-desibel tablosu aşağıda verilmiştir.

Şekil-105: Tambur A3 Sesi Oktav Bandları

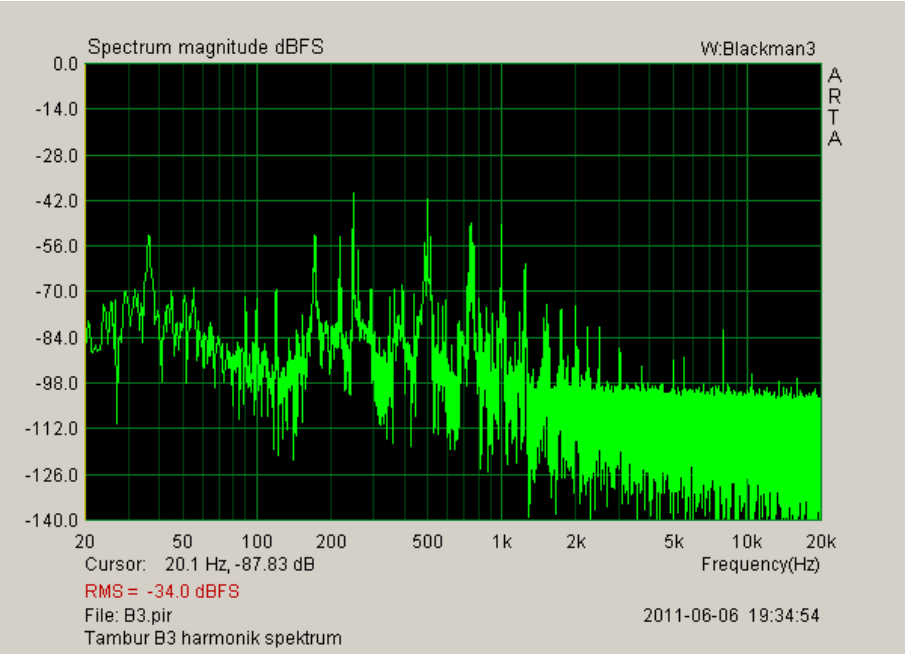


Tablo 71: Tambur A3 Sesi Oktav Bandları Frekans-Kazanç Değerleri

1 Hz.(-65 dB)	49 Hz.(-51 dB)	1259 Hz.(-52 dB)
2 Hz.(-62 dB)	62 Hz.(-54 dB)	1587 Hz.(-41 dB)
3 Hz.(-59 dB)	78 Hz.(-68 dB)	2000 Hz.(-51 dB)
3 Hz.(-68 dB)	99 Hz.(-62 dB)	2519 Hz.(-52 dB)
4 Hz.(-68 dB)	125 Hz.(-63 dB)	3174 Hz.(-66 dB)
6 Hz.(-68 dB)	157 Hz.(-39 dB)	4000 Hz.(-68 dB)
7 Hz.(-64 dB)	198 Hz.(-19 dB)	5039 Hz.(-71 dB)
9 Hz.(-65 dB)	250 Hz.(-51 dB)	6349 Hz.(-69 dB)
12 Hz.(-66 dB)	314 Hz.(-54 dB)	8000 Hz.(-70 dB)
15 Hz.(-68 dB)	396 Hz.(-30 dB)	10079 Hz.(-70 dB)
19 Hz.(-72 dB)	500 Hz.(-42 dB)	12699 Hz.(-70 dB)
24 Hz.(-57 dB)	629 Hz.(-31 dB)	16000 Hz.(-70 dB)
31 Hz.(-59 dB)	793 Hz.(-40 dB)	20158 Hz.(-72 dB)
39 Hz.(-51 dB)	1000 Hz.(-44 dB)	

5.2.2.9. Tambur Çalgısının B3 (246.94 Hz.) Sesi

Şekil-106: Tambur B3 Sesi Frekans Spektrumu

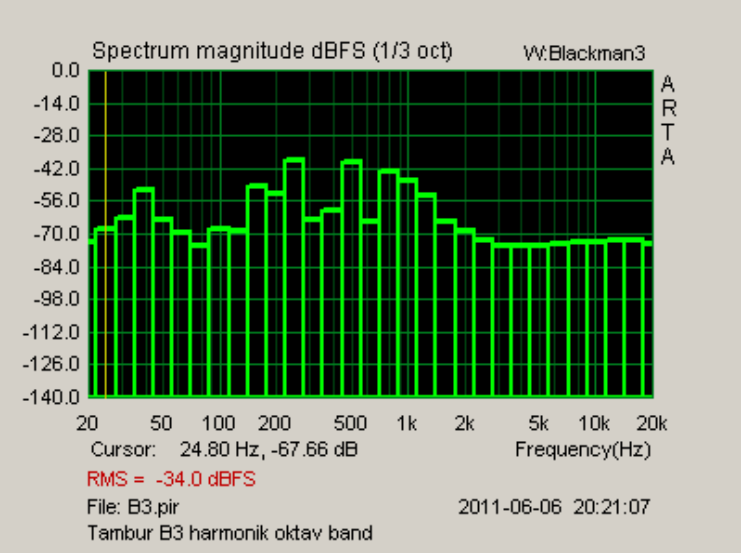


Tablo-72: Tambur B3 Sesi Harmonik Bilesenleri

Tambur B3 sesinin karakteristik harmonikleri		**Tambur B3 sesinin karakteristik üst ve alt sesleri**	
Frekans(Hz)	Genlik(dB)	Frekans(Hz)	Genlik(dB)
247.9	-39.76	36.6	-53.15
495.5	-41.41	55.7	-68.96
744.5	-49.10	90.1	-71.41
991.0	-49.50	100.0	-71.99
1242.9	-61.29	120.1	-69.44
1523.1	-73.82	173.2	-53.01
1740.2	-75.25	219.0	-53.14
1988.2	-74.23	291.9	-73.62
		348.3	-71.84
		366.6	-73.59
		393.3	-67.78

Tambur çalgısının B3 (246.94 Hz.) Sesi incelenmiş ve temel frekansla(247.9 Hz.) birinci harmoniğin genliklerinin aynı olduğu gözlemlenmiştir. Harmoniklerin genlikleri üçüncü harmonikden sonra belirgin bir şekilde azalmaya başlamaktadır. Uyumsuz veya düzensiz bileşenler yüksek genlik değerleriyle karakteristiktir. B3 (246.94 Hz.) sesine ait oktav bandları grafiği ve frekans-desibel tablosu aşağıda verilmiştir.

Şekil-107: Tambur B3 Sesinin Oktav Bandları

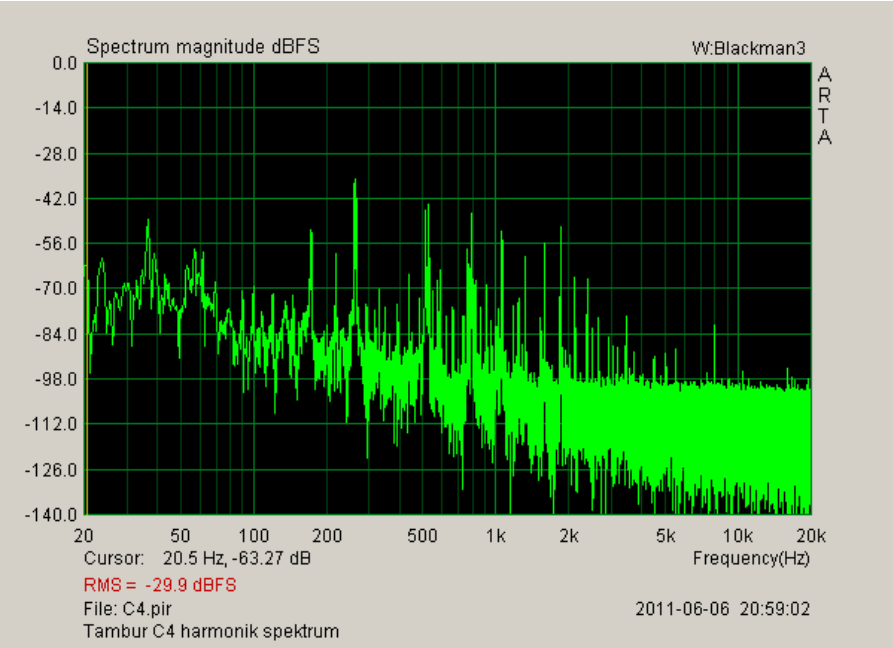


Tablo-73 : Tambur B3 Sesinin Oktav Bandları ve Frekans-Kazanç Değerleri

1 Hz.(-75 dB)	49 Hz.(-63 dB)	1259 Hz.(-53 dB)
2 Hz.(-68 dB)	62 Hz.(-69 dB)	1587 Hz.(-64 dB)
3 Hz.(-67 dB)	78 Hz.(-74 dB)	2000 Hz.(-68 dB)
3 Hz.(-68 dB)	99 Hz.(-67 dB)	2519 Hz.(-72 dB)
4 Hz.(-62 dB)	125 Hz.(-68 dB)	3174 Hz.(-75 dB)
6 Hz.(-71 dB)	157 Hz.(-49 dB)	4000 Hz.(-75 dB)
7 Hz.(-65 dB)	198 Hz.(-52 dB)	5039 Hz.(-74 dB)
9 Hz.(-66 dB)	250 Hz.(-38 dB)	6349 Hz.(-74 dB)
12 Hz.(-68 dB)	314 Hz.(-63 dB)	8000 Hz.(-73 dB)
15 Hz.(-75 dB)	396 Hz.(-59 dB)	10079 Hz.(-73 dB)
19 Hz.(-73 dB)	500 Hz.(-38 dB)	12699 Hz.(-72 dB)
24 Hz.(-67 dB)	629 Hz.(-64 dB)	16000 Hz.(-72 dB)
31 Hz.(-62 dB)	793 Hz.(-42 dB)	20158 Hz.(-74 dB)
39 Hz.(-50 dB)	1000 Hz.(-47 dB)	

5.2.2.10. Tambur Çalgısının C4 (261.63 Hz.) Sesi

Şekil-108: Tambur C4 Sesinin Frekans Spektrumu

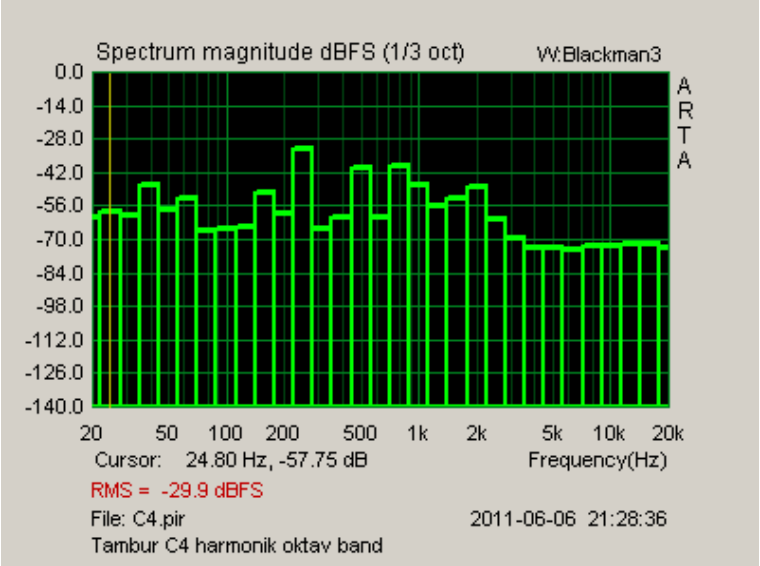


Tablo-74: Tambur C4 Sesinin Bileşenleri

Tambur C4 sesinin karakteristik harmonikleri		**Tambur C4 sesinin karakteristik üst ve alt sesleri**	
Frekans(Hz)	Genlik(dB)	Frekans(Hz)	Genlik(dB)
263.3	-35.84	36.6	-48.39
523.7	-43.75	57.1	-57.58
794.3	-46.65	61.9	-58.65
1058.7	-52.13	90.1	-70.92
1318.4	-84.17	100.0	-69.45
1587.5	-56.09	120.1	-71.81
1852.7	-50.69	136.6	-75.51
2117.1	-66.49	146.1	-72.26
2382.2	-67.15	173.2	-52.81
		219.0	-59.08
		329.6	-70.25
		438.0	-65.71

Tambur Çalgısının C4 (261.63 Hz.) Sesinin incelenmesi sonucunda bulunan uyumlu ve uyumsuz karakteristik bileşenler yukarıdaki tabloda belirtilmiştir. Uyumsuz bileşenler yine karakteristik bir şekilde gözlenmiştir. Temel frekans 263.3 Hz. diğer harmonik bileşenlere göre biraz daha güçlüdür. Tambur çalgısının C4 (261.63 Hz.) sesine ait oktav bandları grafiği ve frekans-desibel tablosu aşağıda verilmiştir.

Şekil-109: Tambur C4 Sesinin Oktav Bandları

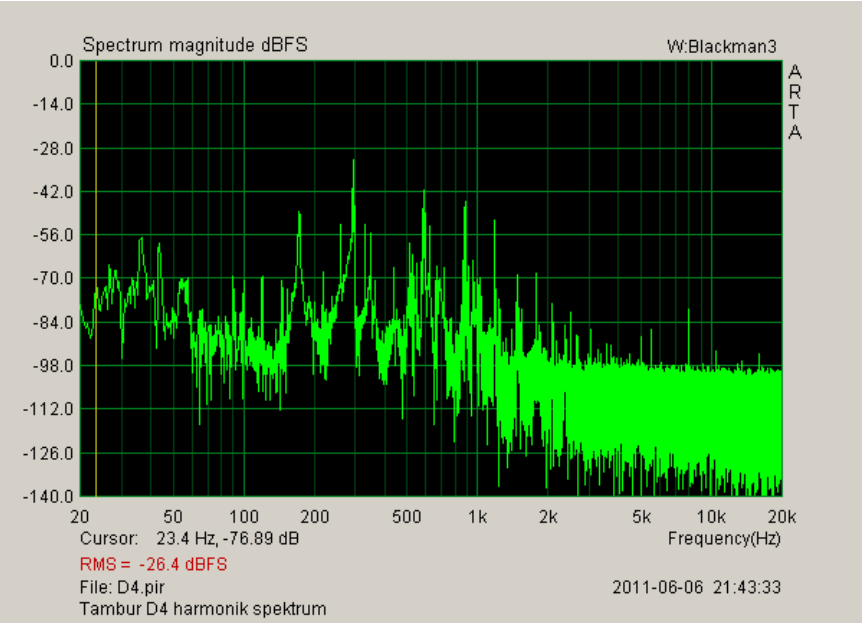


Tablo-75: Tambur C4 Sesi Oktav Bandları ve Frekans-Kazanç Değerleri

1 Hz.(-62 dB)	49 Hz.(-57 dB)	1259 Hz.(-56 dB)
2 Hz.(-60 dB)	62 Hz.(-52 dB)	1587 Hz.(-52 dB)
3 Hz.(-57 dB)	78 Hz.(-66 dB)	2000 Hz.(-47 dB)
3 Hz.(-65 dB)	99 Hz.(-64 dB)	2519 Hz.(-60 dB)
4 Hz.(-64 dB)	125 Hz.(-64 dB)	3174 Hz.(-69 dB)
6 Hz.(-64 dB)	157 Hz.(-50 dB)	4000 Hz.(-73 dB)
7 Hz.(-69 dB)	198 Hz.(-58 dB)	5039 Hz.(-73 dB)
9 Hz.(-67 dB)	250 Hz.(-31 dB)	6349 Hz.(-73 dB)
12 Hz.(-68 dB)	314 Hz.(-65 dB)	8000 Hz.(-72 dB)
15 Hz.(-75 dB)	396 Hz.(-60 dB)	10079 Hz.(-72 dB)
19 Hz.(-60 dB)	500 Hz.(-39 dB)	12699 Hz.(-71 dB)
24 Hz.(-57 dB)	629 Hz.(-60 dB)	16000 Hz.(-71 dB)
31 Hz.(-59 dB)	793 Hz.(-38 dB)	20158 Hz.(-73 dB)
39 Hz.(-46 dB)	1000 Hz.(-47 dB)	

5.2.2.11. Tambur Çalgısının D4 (293.66 Hz.) Sesi

Şekil-110: Tambur D4 Sesi Frekans Spektrumu

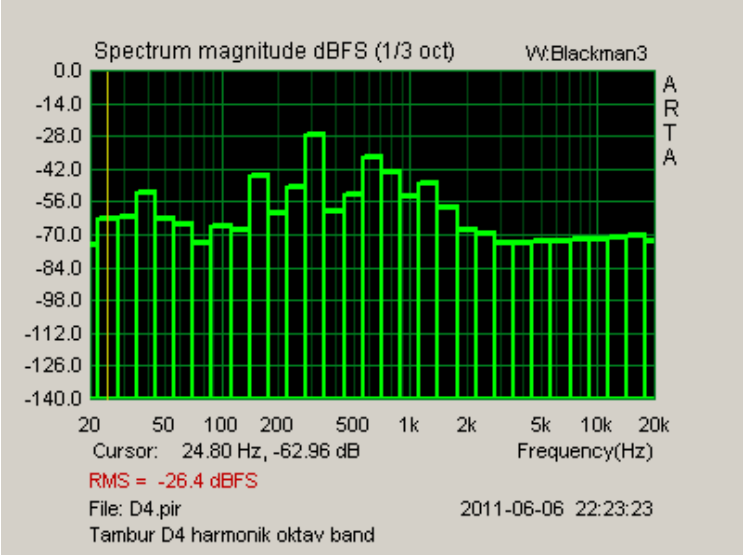


Tablo-76: Tambur D4 Sesinin Bileşenleri

Tambur D4 sesinin karakteristik harmonikleri		**Tambur D4 sesinin karakteristik üst ve alt sesleri**	
Frekans(Hz)	Genlik(dB)	Frekans(Hz)	Genlik(dB)
294.1	-31.77	36.6	-56.83
586.3	-41.57	43.6	-58.58
882.2	-45.33	90.1	-69.16
1178.8	-51.48	100.0	-70.67
1477.3	-68.76	120.1	-69.50
1776.9	-68.48	146.1	-70.86
		173.2	-49.28
		219.0	-68.11
		329.6	-52.55
		347.5	-55.65
		438.0	-66.47
		512.7	-58.70

Tambur çalgısının D4 (293.66 Hz.) Sesi incelendiğinde daha öceki seslerde de oluşan aynı düzensiz bileşenler dikkat çekmektedir. Üçüncü harmonikten sonra harmoniklerin genlikleri belirgin bir şekilde düşmeye başlamaktadır. Temel frekans 294.1 Hz., diğer harmonik bileşenlere göre daha güçlüdür. Tambur çalgısının D4 (293.66 Hz.) sesine ait oktav bandları grafiği ve frekans-Kazanç tablosu aşağıda verilmiştir.

Şekil-111: Kanun D4 Sesi Oktav Bandları

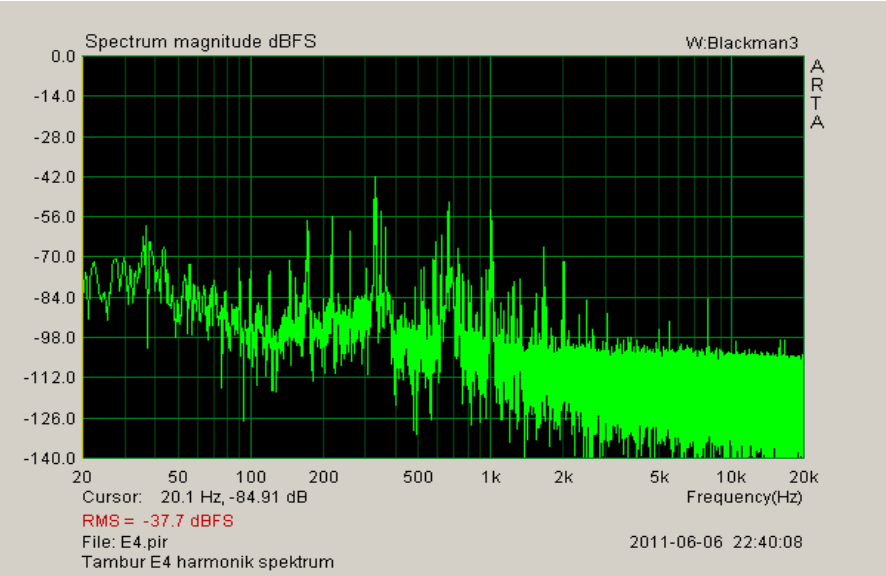


Tablo-77: Tambur D4 Sesi Oktav Bandları Frekans-Kazanç Değerleri

1 Hz.(-77 dB)	49 Hz.(-63 dB)	1259 Hz.(-47 dB)
2 Hz.(-72 dB)	62 Hz.(-65 dB)	1587 Hz.(-58 dB)
3 Hz.(-69 dB)	78 Hz.(-73 dB)	2000 Hz.(-67 dB)
3 Hz.(-67 dB)	99 Hz.(-65 dB)	2519 Hz.(-69 dB)
4 Hz.(-60 dB)	125 Hz.(-68 dB)	3174 Hz.(-73 dB)
6 Hz.(-65 dB)	157 Hz.(-44 dB)	4000 Hz.(-73 dB)
7 Hz.(-60 dB)	198 Hz.(-60 dB)	5039 Hz.(-72 dB)
9 Hz.(-68 dB)	250 Hz.(-48 dB)	6349 Hz.(-72 dB)
12 Hz.(-71 dB)	314 Hz.(-27 dB)	8000 Hz.(-71 dB)
15 Hz.(-73 dB)	396 Hz.(-59 dB)	10079 Hz.(-71 dB)
19 Hz.(-74 dB)	500 Hz.(-52 dB)	12699 Hz.(-70 dB)
24 Hz.(-62 dB)	629 Hz.(-36 dB)	16000 Hz.(-70 dB)
31 Hz.(-62 dB)	793 Hz.(-43 dB)	20158 Hz.(-72 dB)
39 Hz.(-51 dB)	1000 Hz.(-53 dB)	

5.2.2.12. Tambur Çalgısının E4 (329.63 Hz.) Sesi

Şekil-112: Tambur E4 Sesinin Frekans Spektrumu

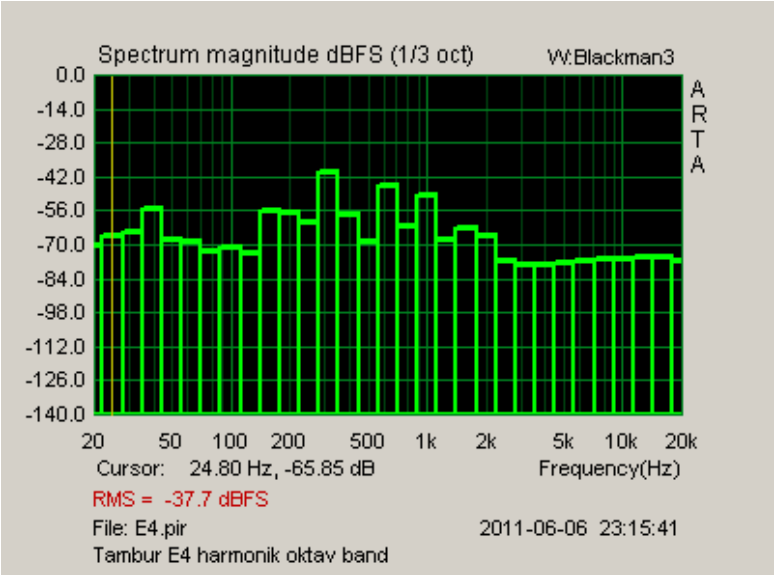


Tablo-78: Tambur E4 Sesinin Bileşenleri

Tambur E4 sesinin karakteristik harmonikleri		**Tambur E4 sesinin karakteristik üst ve alt sesleri**	
Frekans(Hz)	Genlik(dB)	Frekans(Hz)	Genlik(dB)
331.4	-41.89	36.6	-58.92
668.0	-50.71	43.6	-66.44
990.6	-53.61	55.7	-72.35
1665.5	-66.71	70.7	-78.11
2006.8	-71.74	90.1	-74.01
		100.0	-75.07
		120.1	-74.81
		146.1	-71.03
		172.5	-57.47
		219.0	-56.02
		259.6	-60.76
		304.0	-74.12

Tambur çalgısının E4 (329.63 Hz.) Sesi incelendiğinde yine daha öncekilerle hemen hemen aynı frekanslarda benzer uyumsuz bileşenler gözlemlenmiştir. Bunların çoğunun genlikleri belirgin bir biçimde yüksektir. Temel frekans harmoniklere göre daha güçlüdür. Harmoniklerin genlikleri ikinci harmonikden sonra karakteristik bir biçimde düşmeye başlamaktadır. Tambur çalgısının E4 (329.63 Hz.) sesine ait oktav bandları grafiği ve frekans-kazanç tablosu aşağıda verilmiştir.

Şekil-113: Tambur E4 Sesi Oktav Bandları

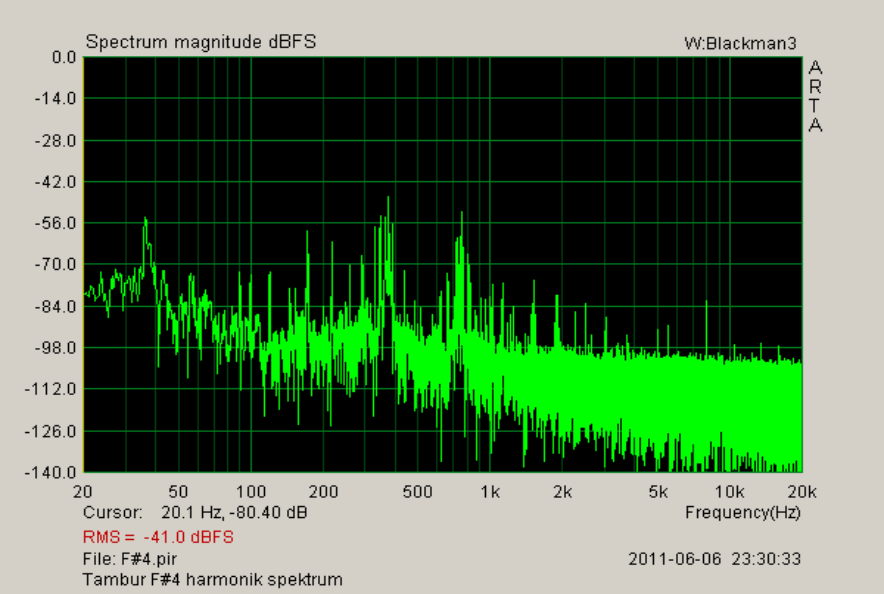


Tablo-79: Tambur E4 Sesi Oktav Bandları Frekans-Kazanç Değerleri

1 Hz.(-66 dB)	49 Hz.(-67 dB)	1259 Hz.(-67 dB)
2 Hz.(-72 dB)	62 Hz.(-68 dB)	1587 Hz.(-62 dB)
3 Hz.(-74 dB)	78 Hz.(-72 dB)	2000 Hz.(-66 dB)
3 Hz.(-71 dB)	99 Hz.(-70 dB)	2519 Hz.(-76 dB)
4 Hz.(-66 dB)	125 Hz.(-73 dB)	3174 Hz.(-77 dB)
6 Hz.(-67 dB)	157 Hz.(-55 dB)	4000 Hz.(-77 dB)
7 Hz.(-70 dB)	198 Hz.(-56 dB)	5039 Hz.(-77 dB)
9 Hz.(-68 dB)	250 Hz.(-60 dB)	6349 Hz.(-76 dB)
12 Hz.(-72 dB)	314 Hz.(-39 dB)	8000 Hz.(-75 dB)
15 Hz.(-81 dB)	396 Hz.(-57 dB)	10079 Hz.(-75 dB)
19 Hz.(-69 dB)	500 Hz.(-68 dB)	12699 Hz.(-75 dB)
24 Hz.(-65 dB)	629 Hz.(-45 dB)	16000 Hz.(-74 dB)
31 Hz.(-64 dB)	793 Hz.(-62 dB)	20158 Hz.(-76 dB)
39 Hz.(-55 dB)	1000 Hz.(-49 dB)	

5.2.2.13. Tambur Çalgısının F#4 (369.99 Hz.) Sesi

Şekil-114: Tambur F#4 Sesinin Frekans Spektrumu

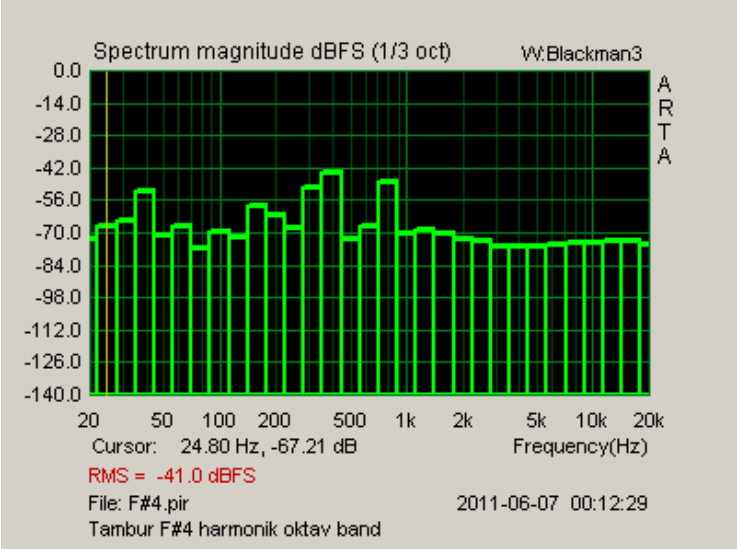


Tablo-80: Tambur F#4 Sesinin Bileşenleri

Tambur F#4 sesinin karakteristik harmonikleri		**Tambur F#4 sesinin karakteristik üst ve alt sesleri**	
Frekans(Hz)	Genlik(dB)	Frekans(Hz)	Genlik(dB)
376.1	-47.14	36.6	-55.17
753.7	-61.56	43.2	-71.85
1129.8	-77.65	56.0	-72.90
1505.9	-83.15	90.1	-72.51
1876.5	-80.35	100.0	73.40
		120.1	-72.38
		146.1	-78.24
		154.2	-78.15
		172.5	-58.79
		219.0	-62.22
		259.6	-70.26
		291.9	-66.89
		329.2	-57.52
		438.7	-72.00
		482.3	-82.05
		619.3	-78.78

Tambur Çalgısının F#4 (369.99 Hz.) sesi incelendiğinde, önceki seslerde gözlemlenen uyumsuzların, büyük ölçüde tekrar aynı frekanslarda ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. Birinci harmonikten sonra harmoniklerin genlikleri karakteristik bir biçimde azalmaktadır. F#4 (369.99 Hz.) sesine ait oktav bandları grafiği ve frekans-kazanç tablosu aşağıda verilmiştir.

Şekil-115: Tambur F#4 Sesi Oktav Bandları

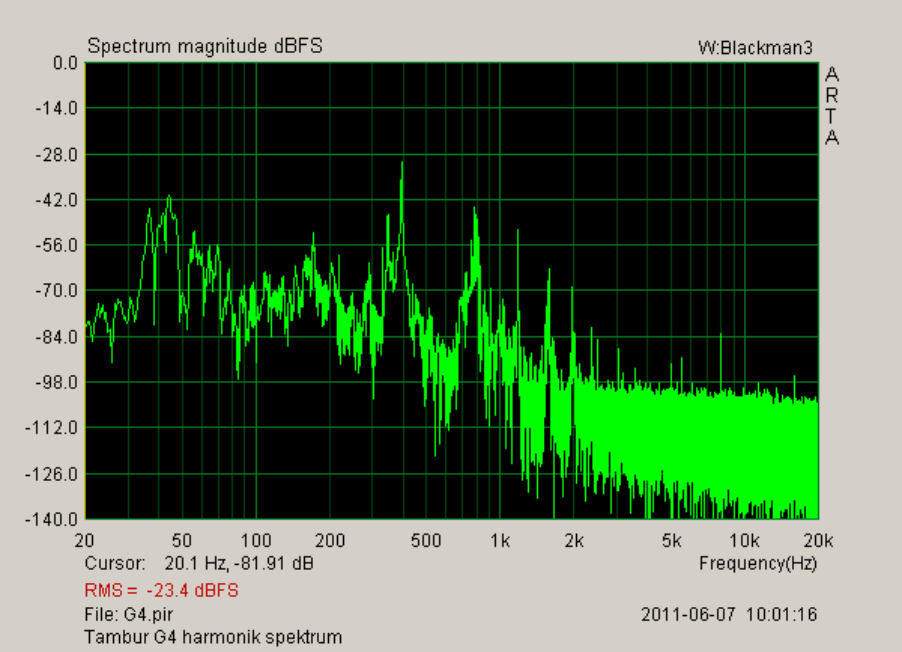


Tablo-81: Tambur F#4 Sesi Oktav Bandları Frekans-Kazanç Değerleri

1 Hz.(-71 dB)	49 Hz.(-70 dB)	1259 Hz.(-68 dB)
2 Hz.(-67 dB)	62 Hz.(-67 dB)	1587 Hz.(-69 dB)
3 Hz.(-68 dB)	78 Hz.(-76 dB)	2000 Hz.(-72 dB)
3 Hz.(-73 dB)	99 Hz.(-69 dB)	2519 Hz.(-73 dB)
4 Hz.(-71 dB)	125 Hz.(-71 dB)	3174 Hz.(-75 dB)
6 Hz.(-64 dB)	157 Hz.(-57 dB)	4000 Hz.(-75 dB)
7 Hz.(-71 dB)	198 Hz.(-62 dB)	5039 Hz.(-75 dB)
9 Hz.(-76 dB)	250 Hz.(-67 dB)	6349 Hz.(-74 dB)
12 Hz.(-76 dB)	314 Hz.(-50 dB)	8000 Hz.(-73 dB)
15 Hz.(-73 dB)	396 Hz.(-43 dB)	10079 Hz.(-73 dB)
19 Hz.(-72 dB)	500 Hz.(-72 dB)	12699 Hz.(-73 dB)
24 Hz.(-67 dB)	629 Hz.(-67 dB)	16000 Hz.(-73 dB)
31 Hz.(-64 dB)	793 Hz.(-47 dB)	20158 Hz.(-75 dB)
39 Hz.(-52 dB)	1000 Hz.(-69 dB)	

5.2.2.14. Tambur Çalgısının G4 (392.00 Hz.) Sesi

Şekil-116: Tambur G4 Sesi Frekans Spektrumu

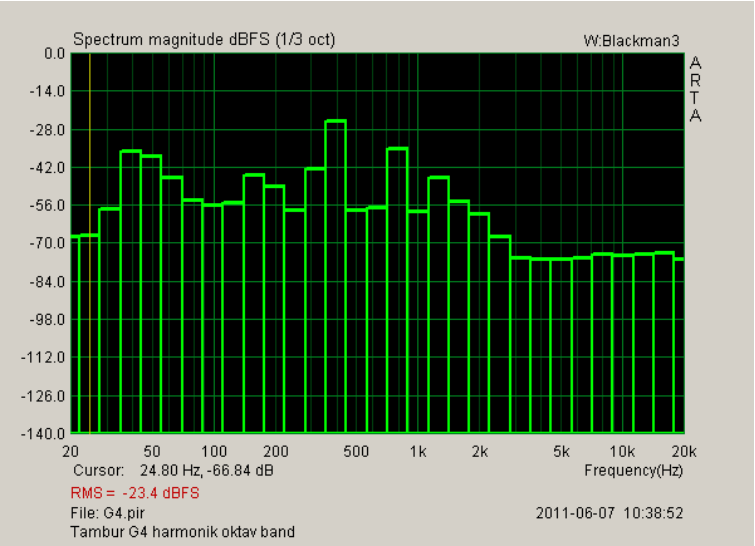


Tablo-82: Tambur G4 Sesinin Bileşenleri

Tambur G4 sesinin karakteristik harmonikleri		**Tambur G4 sesinin karakteristik üst ve alt sesleri**	
Frekans(Hz)	Genlik(dB)	Frekans(Hz)	Genlik(dB)
394.0	-32.01	36.6	-44.95
787.0	-44.56	43.9	-40.68
1177.4	-51.29	56.0	-51.77
1578.7	-63.36	172.1	-52.26
1963.6	-68.96	204.7	-61.44
2369.0	-81.29	219.0	-59.09
		291.5	-61.44
		329.2	-56.71
		346.8	-46.52

Tambur G4(392.00 Hz.) sesinin incelemesinde temel frekans(394 Hz.) diğer tüm bileşenlere göre genliğinin büyüklüğüyle karakteristik bir görünüm sergilemektedir. Bununla beraber G4 sesi içerisindeki alt uyumsuz bileşenlerin genliklerinde, daha önce incelenen seslerdeki genliklere göre karakteristik bir şekilde yükselme gözlenmiştir. Temel sesten sonra ilk harmonikten itibaren harmonik genlikleri giderek düşmektedir. Tambur G4(392.00 Hz.) sesine ait oktav bandları grafiği ve frekans-kazanç tablosu aşağıda verilmiştir.

Şekil-117: Tambur G4 Sesi Oktav Bandları

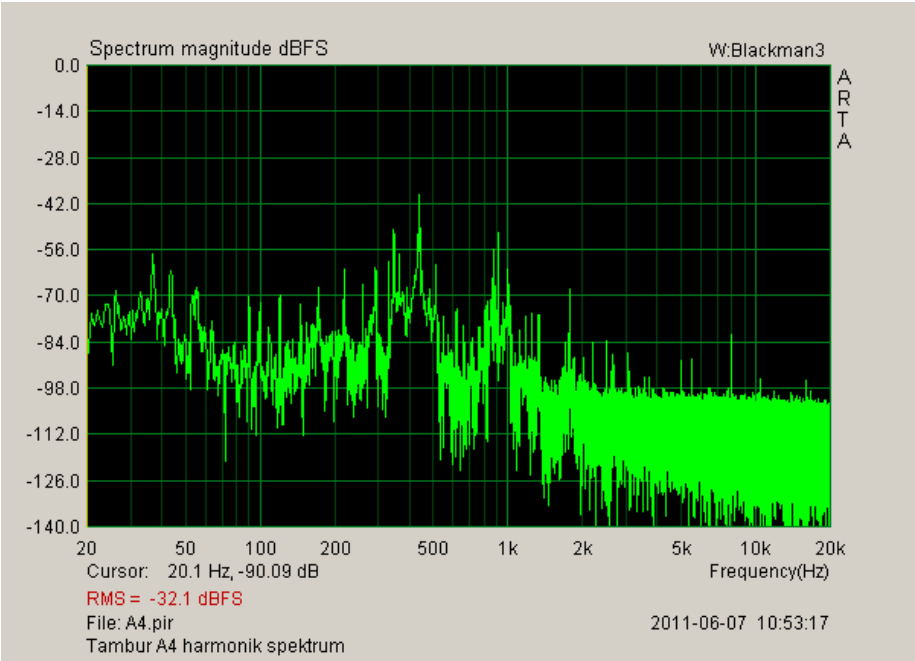


Tablo-83: Tambur G4 Sesi Oktav Bandları Frekans-Kazanç Değerleri

1 Hz.(-40 dB)	49 Hz.(-37 dB)	1259 Hz.(-45 dB)
2 Hz.(-39 dB)	62 Hz.(-45 dB)	1587 Hz.(-54 dB)
3 Hz.(-46 dB)	78 Hz.(-54 dB)	2000 Hz.(-59 dB)
3 Hz.(-60 dB)	99 Hz.(-55 dB)	2519 Hz.(-67 dB)
4 Hz.(-61 dB)	125 Hz.(-54 dB)	3174 Hz.(-75 dB)
6 Hz.(-59 dB)	157 Hz.(-44 dB)	4000 Hz.(-75 dB)
7 Hz.(-54 dB)	198 Hz.(-49 dB)	5039 Hz.(-75 dB)
9 Hz.(-59 dB)	250 Hz.(-57 dB)	6349 Hz.(-75 dB)
12 Hz.(-61 dB)	314 Hz.(-42 dB)	8000 Hz.(-74 dB)
15 Hz.(-63 dB)	396 Hz.(-24 dB)	10079 Hz.(-74 dB)
19 Hz.(-67 dB)	500 Hz.(-57 dB)	12699 Hz.(-73 dB)
24 Hz.(-66 dB)	629 Hz.(-56 dB)	16000 Hz.(-73 dB)
31 Hz.(-57 dB)	793 Hz.(-34 dB)	20158 Hz.(-75 dB)
39 Hz.(-36 dB)	1000 Hz.(-58 dB)	

5.2.2.15. Tambur Çalgısının A4 (440.0 Hz.) Sesi

Şekil-118: Tambur A4 Sesi Frekans Spektrumu



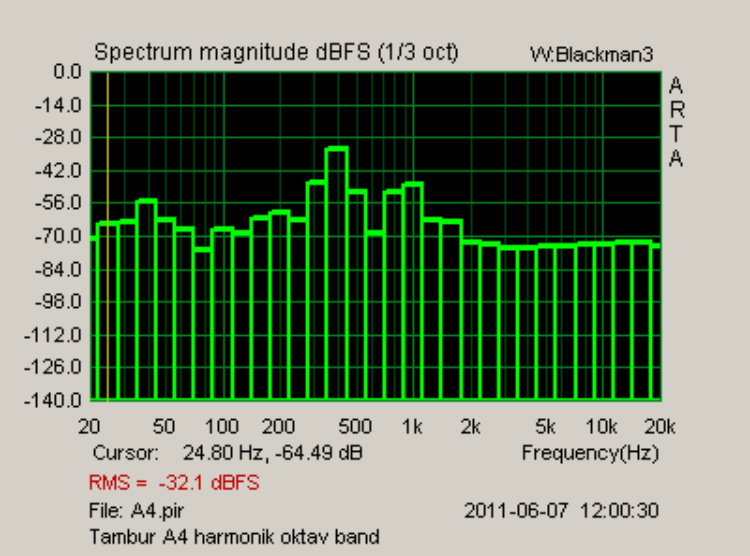
Tablo-84: Tambur A4 Sesinin Bileşenleri

Tambur A4 sesinin karakteristik harmonikleri		**Tambur A4 sesinin karakteristik üst ve alt sesleri**	
Frekans(Hz)	Genlik(dB)	Frekans(Hz)	Genlik(dB)
438.7	-39.29	37.0	-57.43
880.7	-55.93	43.6	-62.61
1323.9	-76.52	55.3	-67.53
1774.7	-67.76	63.7	-77.48
		90.1	-70.02
		100.0	-72.31
		108.0	-79.28
		120.1	-69.86
		146.1	-76.09
		171.8	-67.32
		219.0	-62.23

		258.9	-66.64
		292.2	-61.33
		329.2	-59.78
		346.4	-50.10
		365.5	-57.34
		512.0	-60.42
		550.4	-76.30
		619.3	-74.02
		658.1	-79.01
		762.1	-79.36
		824.3	-71.49
		989.1	-61.87

Tambur çalgısının A4 (440.0 Hz.) sesi incelendiğinde, ses içerisinde çok sayıda uyumsuz bileşen olması dikkat çekmektedir. Temel frekans belirgin bir genlikte olup, harmoniklerin genlikleri genel olarak düşüktür. Tambur Çalgısının A4 (440.0 Hz.) sesine ait oktav bandları grafiği ve frekans-kazanç tablosu aşağıda verilmiştir**.**

Şekil-119: Tambur A4 Sesi Oktav Bandları



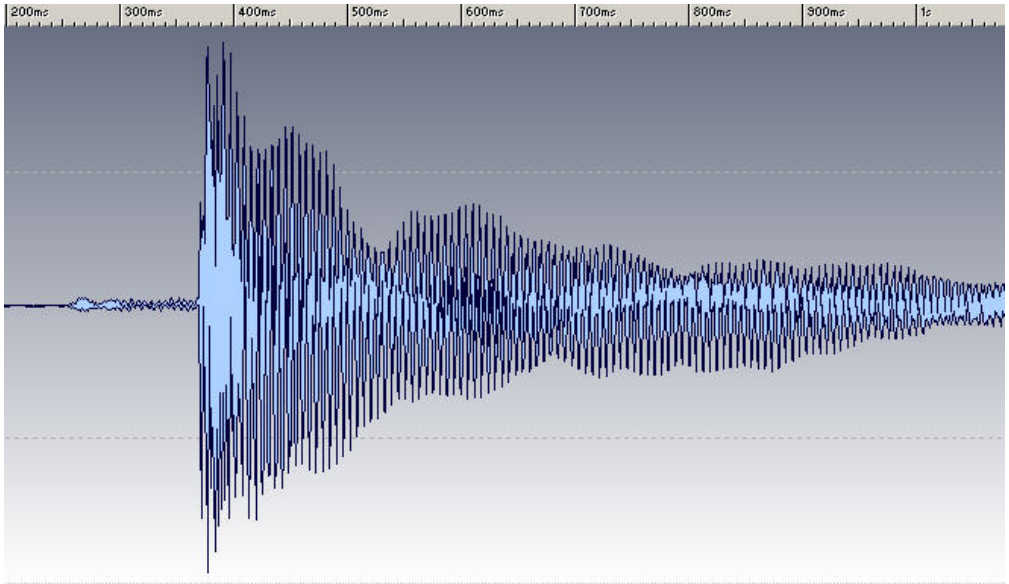
Tablo-85: Tambur A4 Sesi Oktav Bandları Frekans-Kazanç Değerleri

1 Hz.(-46 dB)	49 Hz.(-62 dB)	1259 Hz.(-62 dB)
2 Hz.(-50 dB)	62 Hz.(-67 dB)	1587 Hz.(-63 dB)
3 Hz.(-55 dB)	78 Hz.(-75 dB)	2000 Hz.(-72 dB)
3 Hz.(-53 dB)	99 Hz.(-66 dB)	2519 Hz.(-73 dB)
4 Hz.(-63 dB)	125 Hz.(-68 dB)	3174 Hz.(-74 dB)
6 Hz.(-63 dB)	157 Hz.(-62 dB)	4000 Hz.(-74 dB)
7 Hz.(-64 dB)	198 Hz.(-59 dB)	5039 Hz.(-74 dB)
9 Hz.(-65 dB)	250 Hz.(-62 dB)	6349 Hz.(-73 dB)
12 Hz.(-66 dB)	314 Hz.(-47 dB)	8000 Hz.(-72 dB)
15 Hz.(-73 dB)	396 Hz.(-32 dB)	10079 Hz.(-72 dB)
19 Hz.(-71 dB)	500 Hz.(-50 dB)	12699 Hz.(-72 dB)
24 Hz.(-64 dB)	629 Hz.(-68 dB)	16000 Hz.(-72 dB)
31 Hz.(-63 dB)	793 Hz.(-50 dB)	20158 Hz.(-74 dB)
39 Hz.(-55 dB)	1000 Hz.(-47 dB)	

5.2.3. Tambur Sesinin Zaman Analizi

Tambur çalgısının melodilerin icrasında en sık kullanılan A2(en alt tel) teli üzerindeki seslerin, A2 sesinden A4 sesine kadar dalga şekilleri ve enerji düşüş analizleri incelenerek, ses zarfına ait gözlemlenen çıkış ve düşüş süreleri aşağıdaki tabloda belirtilmiştir. Tambur çalgısının ses zarfı veya dalga şekli genel olarak bir çıkış evresiyle başlayıp buradan direkt sönüş evresine geçmektedir. Sesin kalitesini belirleyen harmonikler ve uyumsuzlar çıkış ve düşüş evrelerinin kapsadığı, milisaniyelerle ifade edilen bu küçük zaman aralığında oluşmaktadır. Ayrıca tambur çalgısının dalga şekli testere dişi biçimindedir.

Şekil-120: Tambur E3 Sesi Dalga Şekli

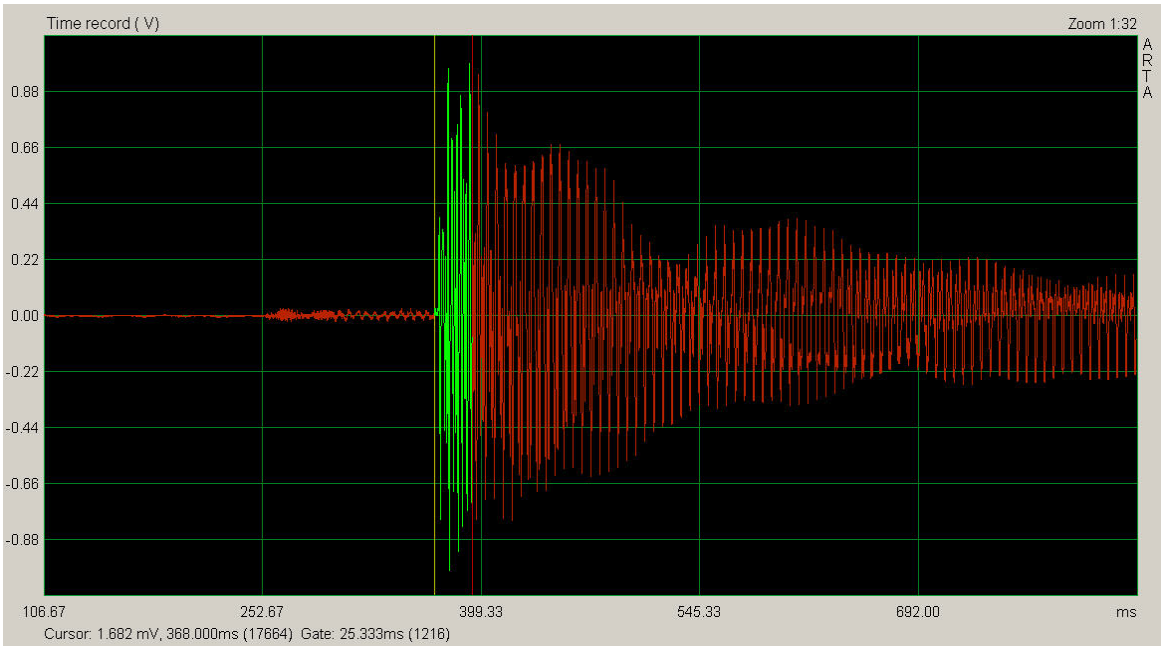


Tablo-86: Tamburun Ses Zarfı Evrelerinin İncelenmesi

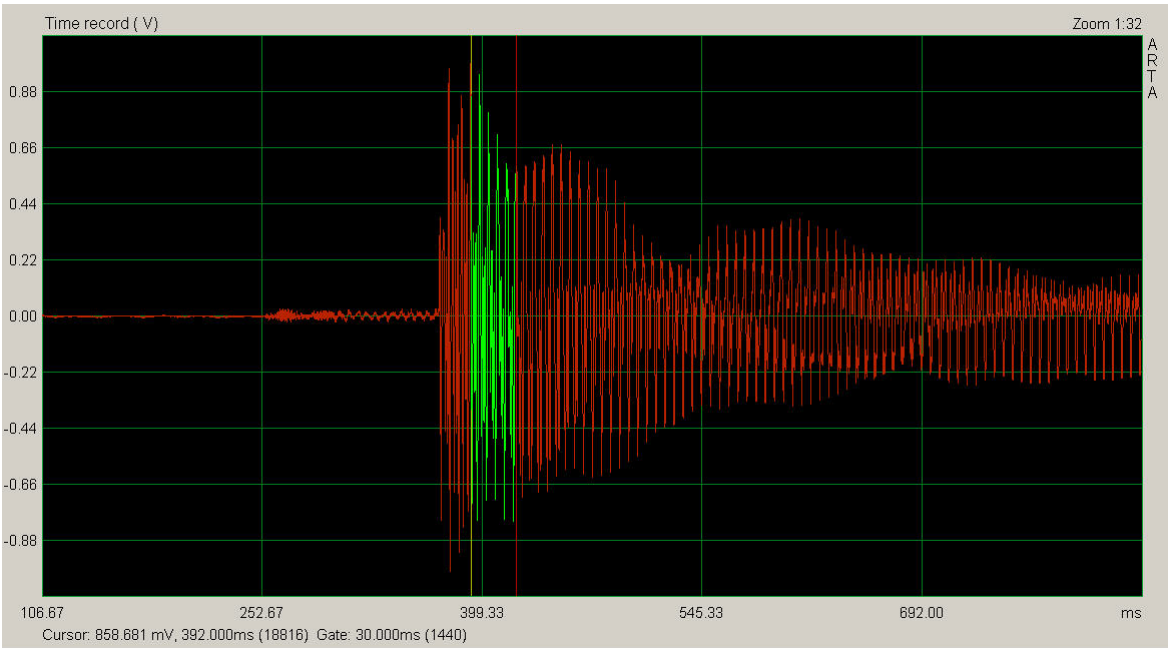
Sesler	Çıkış(attack)ms	Düşüş(decay)ms
A2	28	53
B2	10	48
C3	9	48
D3	9	34
E3	7	34
F#3	28	32
G3	32	18

A3	5	11
B3	13	39
C4	17	
D4	24	
E4	10	12
F#4	10	21
G4	6	13
A4	7	11
	215/15= 14 ms.	374/13=28

Şekil-121: Tambur Çalgısında Ses Zarfının Çıkış Ve Düşüş Evresi



Çıkış

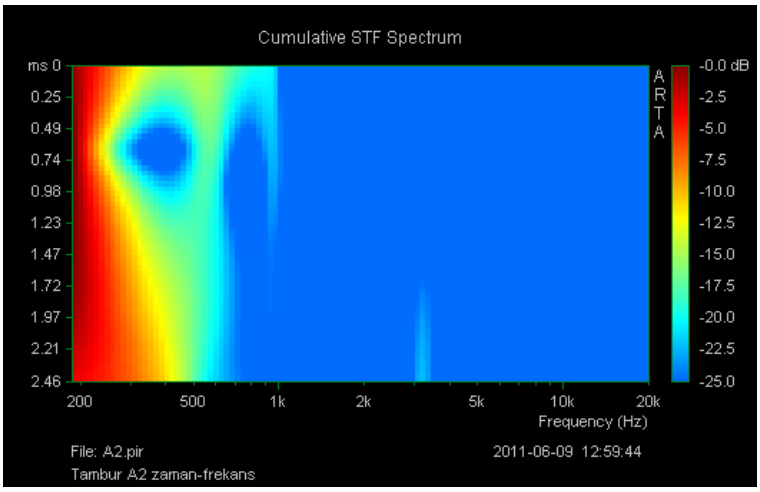


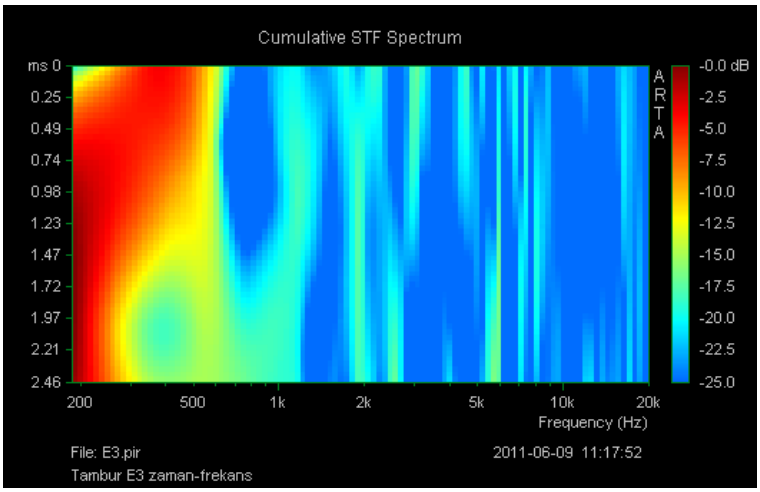
Düşüş

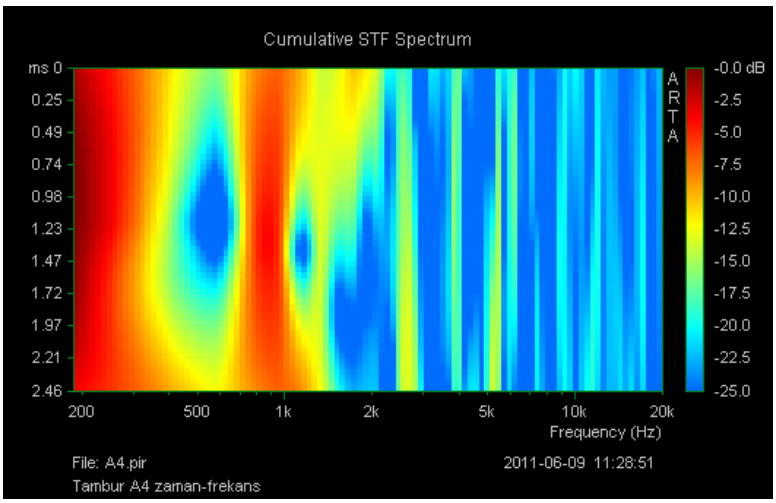
5.2.3.1. Tambur Sesinin Zaman-Frekans Analizi

Aşagıdaki sonogramlar tambur çalgısının pes, orta ve tiz bölgelerinden alınan A2, E3, A4 seslerine aittir. Çalgının A2 sesi sonogramından görülmektedir ki 200 Hz. bölgesi 0-2.5 ms. aralığında yüksek genlik değerlerine sahiptir. Yaklaşık 0.60 ms. den sonra 2.5 ms.'ye kadar 400 Hz. bölgesi güçlenmektedir. 400 Hz. den sonra 2.5 ms.içerisinde oluşan frekans genliklerinin azaldığı gözlenmiştir. Tamburun E3 sesi incelendiğinde ilk 1 ms. içerisinde 200 Hz. ile 500 Hz. arasındaki frekanslar güçlüdür. 1.72 ms. ile 2.5 ms. aralığında 300 Hz.- 500 Hz. bölgesindeki frekanslar genlik olarak düşüktür. A4 sesinde ise 200 Hz.-400 Hz. ile 600 Hz-1kHz. bölgelerindeki frekanslar yüksek genlikleri ile karakteristiktir.

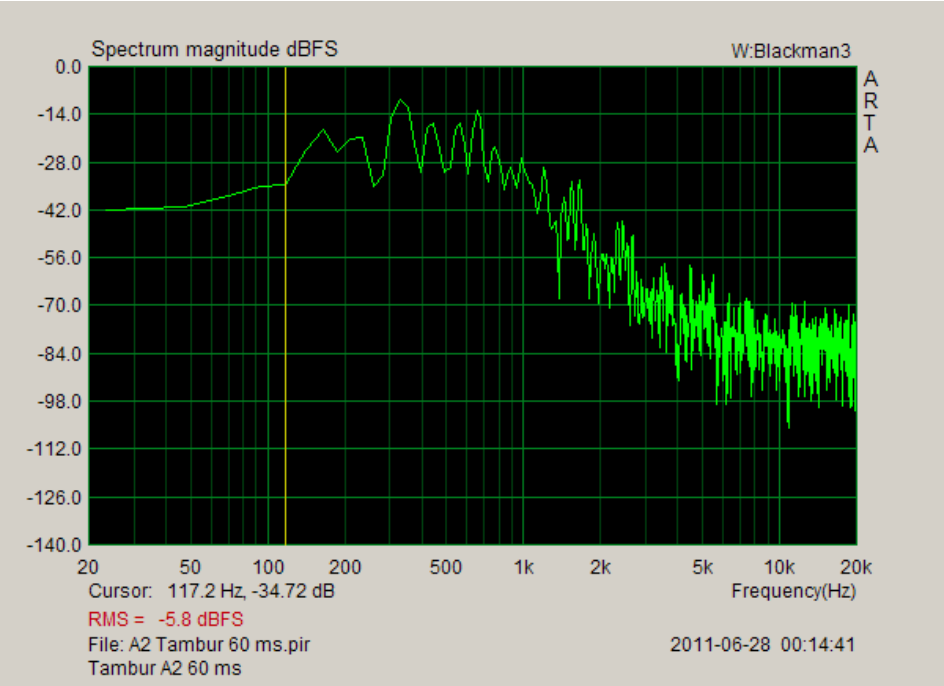
Şekil-122: Tambur A2, E3, A4 Seslerinin Zaman-Frekans Spektrumları







Şekil-123: Tambur A2 Sesi İlk 60 ms. Frekans Spektrumu



Tambur çalgısının A2 (110 Hz.) sesinin ilk 60 milisaniyelik kısmı analiz edildiğinde, harmonik yapının oluşumunun önemli ölçüde bu evrede tetiklendiği görülmektedir.

5.2.4. Tambur Çalgısının Ses Yönelim Özellikleri

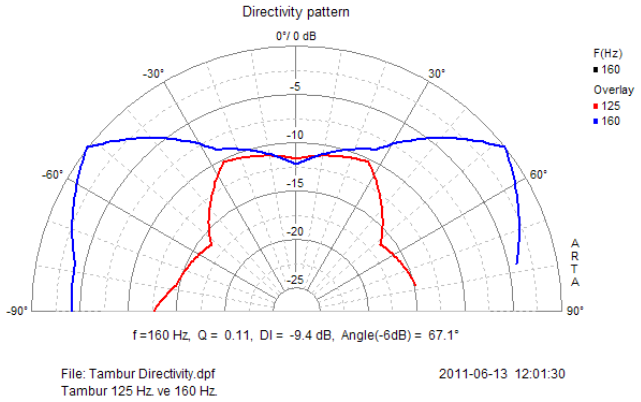
Kanun çalgısında yapılan çalışmalarda olduğu gibi, tambur çalgısının da ses yönelim özelliklerinin belirlenebilmesi için 180 derecelik bir alanda, 8 mikrofon kullanılarak, aralarındaki açı yaklaşık 26 derece olan 8 doğrultuda, A2 sesinden A4 sesine kadar çıkıcı gam aynı anda Cubase yazılımında 8 ayrı kanala kaydedilmiştir. Her bir doğrultu için ".wav" formatında datalar oluşturulmuş ve bunlar daha sonra ARTA yazılımının özel bir formatı olan ".Pir" formatına dönüştürülüp programın "directivity patterns" modülünde çalgının yönelgenlik davranışını gösteren veriler elde edilmiştir.

Şekil-124'de 125 Hz. ve 160 Hz. frekanslarının yönelim özellikleri görülmektedir. Buna göre 125 Hz. frekansı -30 ile +30 dereceler arasında yüksek genliğiyle karakteristiktir. Genliğin en düşük olduğu doğrultular ise yaklaşık -50 ve +50 derece doğrultularıdır. 160 Hz. frekansı yaklaşık -55 ve +55 derece doğrultularında maksimum genliktedir. Sıfır derece doğrultusunda 160 Hz. frekansının genliği en düşüktür.

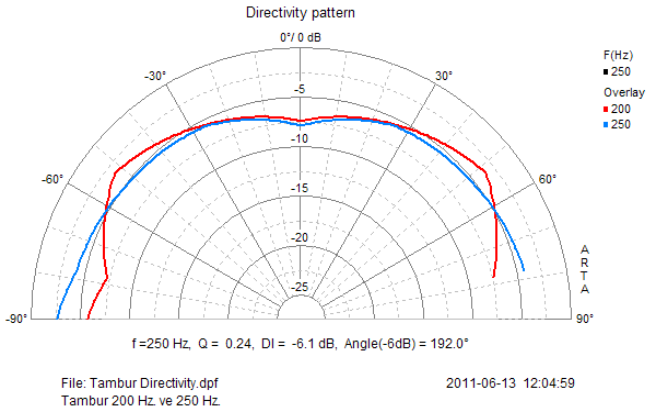
Şekil 125'de ise 200 Hz. ile 250 Hz. frekanslarının yönelim özellikleri verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere 200 Hz. frekansının -55 ve +55 derece doğrultularında genliği maksimumdur. 250 Hz. frekansı ise -90 ve +90 dereceler arasındaki tüm bölgede genellikle yüksek genlik değerine sahiptir.

Şekil-126'da 315 Hz. ile 400 Hz. frekanslarının yönelim grafiği incelendiğinde 315 Hz. frekansı tüm yönlerde yüksek genlik değerlerine sahipken, 400 Hz. frekansı -55 ve +55 derece doğrultularında maximum genliktedir. Sağda ve solda yaklaşık 75-80 derece doğrultuları arasında 400 Hz. frekansı düşük genliktedir.

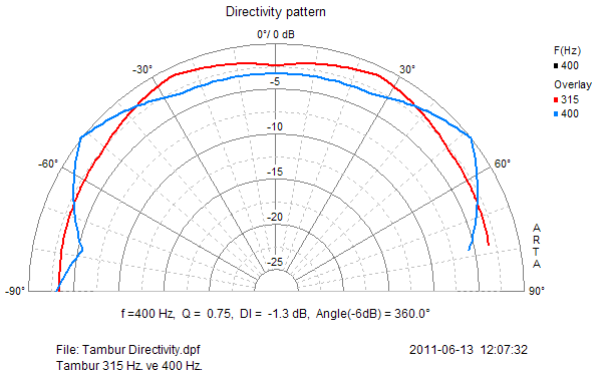
Şekil-124: Tambur 125 Hz. ve 160 Hz. Frekanslarının Yönel Özelliği



Şekil-125: Tambur 200 Hz. ve 250 Hz. Frekanslarının Yönel Özelliği

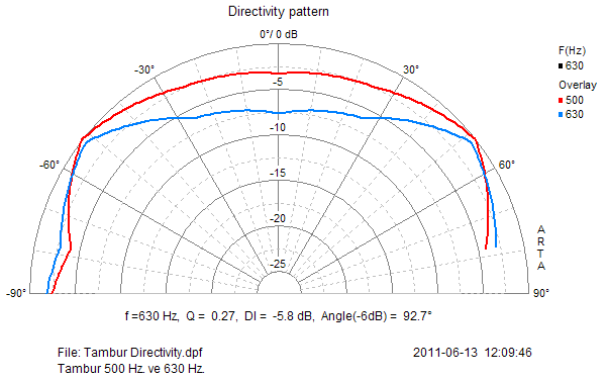


Şekil-126: Tambur 315 Hz. ve 400 Hz. Frekanslarının Yönel Özelliği

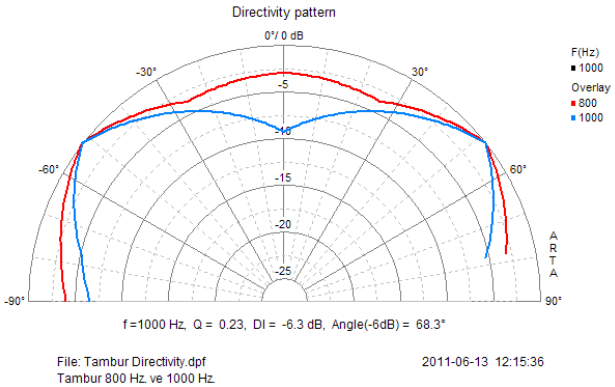


Şekil-127'de 500 Hz. ve 630 Hz. frekanslarının yönelim özellikleri görülmektedir. -55 ve +55 derece doğrultularında 500 Hz. frekansı maksimum genliktedir. -75 ve +75 derece doğrultularında bu frekansın genliği düşüktür. 630 Hz. frekansı da -55 ve +55 derece doğrultularında yüksek genliğe sahiptir. Şekil-128'de ise 800 Hz. ve 1000 Hz. frekanslarına ilişkin yönel davranışlar görülmektedir. Her iki frekans da -55 ve +55 derece doğrultularında maksimum genliğe ulaşmaktadır. 1000 Hz. frekansının en düşük genlik değeri 0 derece doğrultusundadır.

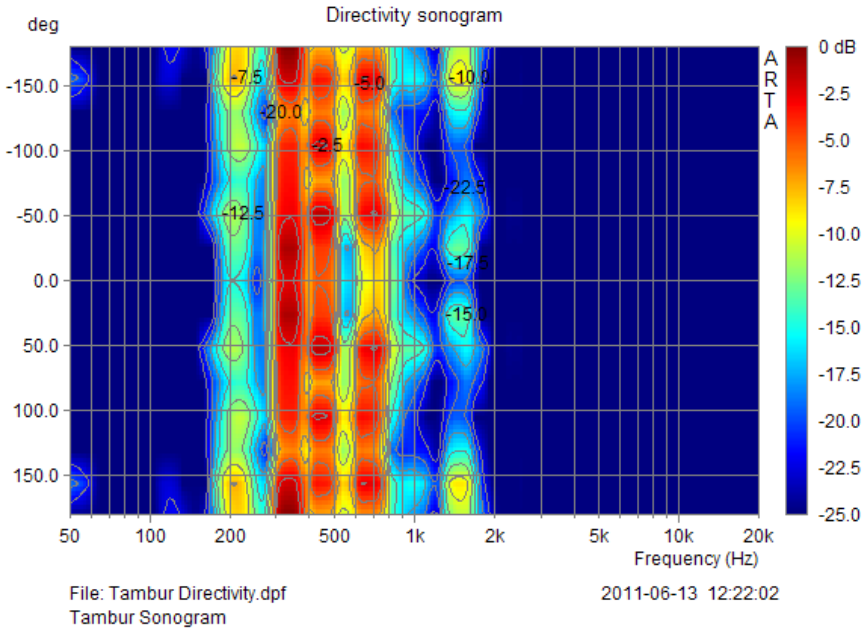
Şekil-127: Tambur 500 Hz. ve 600 Hz. Frekanslarının Yönel Özelliği



Şekil-128: Tambur 800 Hz. ve 1000 Hz. Frekanslarının Yönel Özelliği



Şekil-129: Tambur Çalgısının Frekans Yönelim Sonogramı

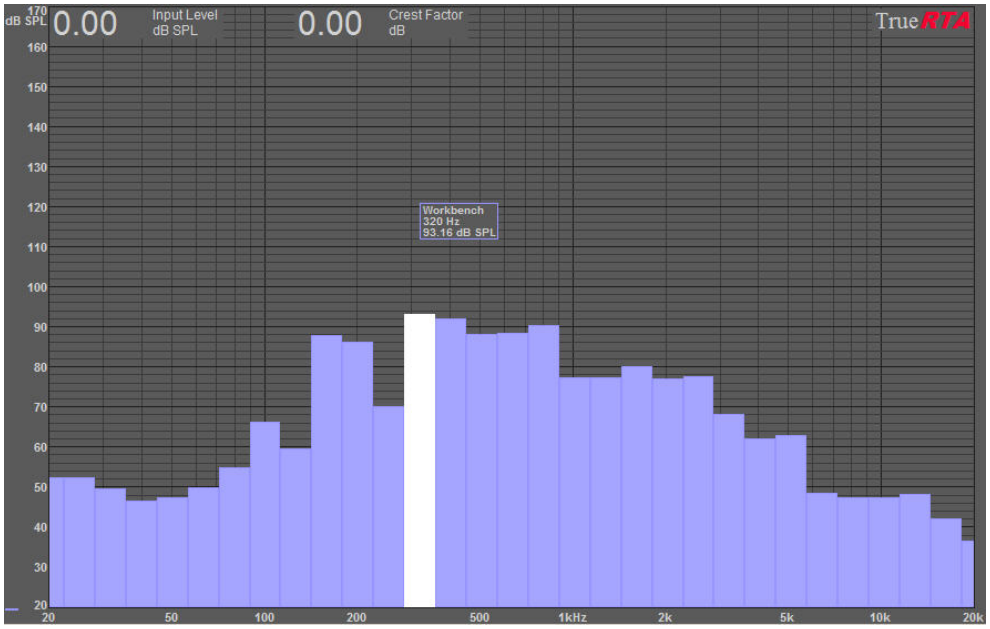


Sonuç olarak Tambur çalgısının yukarıdaki frekans yönelim sonogramı incelendiğinde 300 Hz.-500 Hz. arasındaki frekanslar tüm doğrultularda yüksek genlikleriyle karakteristiktir. 600 Hz.-800 Hz. arasındaki frekanslar da sıfır doğrultusu dışında, yine yüksek genlikleriyle karakteristiktir. 200 Hz.-250 Hz. arasındaki frekanslar 150 ile 180 derece doğrultuları arasında her iki tarafta da karakteristikdir.

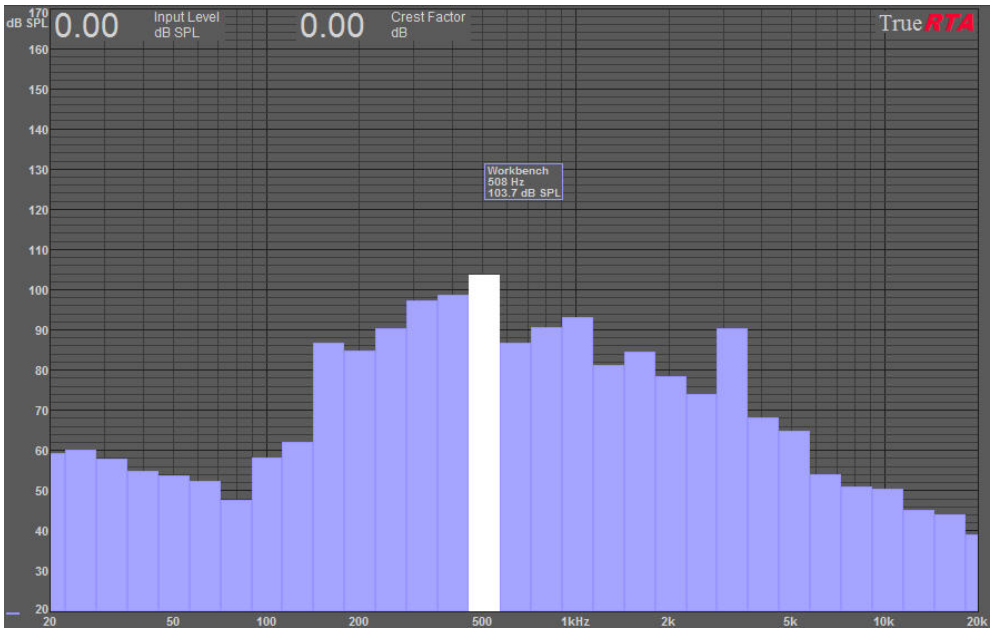
5.2.5. Tambur Çalgısının Ses Basınç Seviyesi

Tambur çalgısı ile ilgili yapılan çalışmalardan, çalgının ses basınç seviyeleri, A2 sesinde 320 Hz. oktav bandında 93.16 dB SPL, A4 sesinde 508 Hz. oktav bandında 103.7 dB SPL ve ahenk telinde 160 Hz. oktav bandında 96.47 dB SPL bulunmuştur.

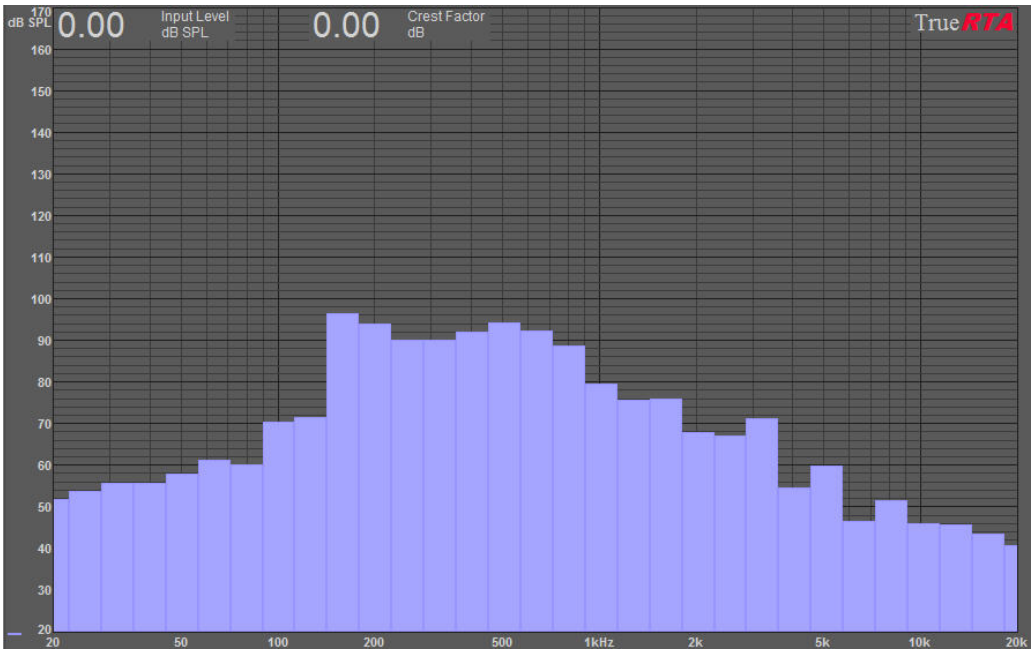
Şekil-130: Tambur A2 Sesi Oktav Bandları Ses Basınç Seviyeleri



Şekil-131: Tambur A4 Sesi Oktav Bandları Ses Basınç Seviyeleri



Şekil-132: Tambur Ahenk Teli Sesi Oktav Bandları Ses Basınç Seviyeleri



ALTINCI BÖLÜM

6. GENEL SONUÇLAR, YORUMLAR VE ÖNERİLER

Bu bölümde araştırmanın amaçlarına göre tambur ve kanun çalgılarından elde edilen bulguların genel sonuçları yorumlanarak önerilerle beraber ele alınacaktır.

6.1.Kanun Çalgısı ile Yapılan Çalışmalardan Elde Edilen Sonuçlar

Eğitimciler ve deneyimli öğrencilerden oluşan bir çalgı değerlendirme jürisi tarafından seçilen ve araştırılan kanun çalgısının sesleri bilgisayar ortamına yüksek hassasiyette bir ölçme mikrofonu(Earhworks M30) ve kaliteli ses kartları(M-Audio firewire solo-Presonus Firestudio) kullanılarak, yansımasız bir kayıt odasında aktarılmıştır. Aktarılan bu sesler wav formatında ve 24 bit 48 kHz. kalitesinde olup seslerin analizleri Wavelab 6 ve ARTA yazılımlarında yapılmıştır. Kanun çalgısına ait yönelim özellikleri incelemesi için Cubase 5 yazılımı ile, toplam 8 doğrultuda 8 ayrı mikrofon kullanılarak, her bir doğrultu Presonus Firestudio ses kartı üzerinden sekiz ayrı kanala kaydedilmiştir. Kaydedilen bu seslerin tonal karakteristiklerine ait bulgular aşağıda özetlenmiştir.

6.1.1. Frekans Cevap Anahtarı ve Formantlar

300 Hz. in altındaki bölgede frekans genlikleri, daha bas frekanslara doğru gidildikçe belirgin bir biçimde düşmektedir. Ayrıca 370 Hz. ile 490 Hz. arasında yine karakteristik bir düşüş gözlenmiştir. 300 Hz. ile 1200 Hz. arasındaki bölgede frekans genlikleri yüksektir. 980 Hz. ile 1080 Hz. arasındaki 100 Hz. genişlikteki bölge de yüksek genliği ile karakteristiktir.

1200 Hz.'in üzerindeki bölgede frekans genlikleri 1980 Hz.bölgesi hariç genelde düşüktür. 1980 Hz.'de genlik katakteristik bir biçimde yüksektir. 1980 Hz. frekansı insan kulağının en hassas olduğu 1000 Hz. ile 5000 Hz. arasındaki bölgede olduğundan, "formant" karakterinde görünen bu frekans civarına dikkat etmek gerekir. Kanun çalgısı tonlanırken, yukarıda belirtilen frekans davranış özelliklerini göz önünde bulundurmamız, tonlamayla ilgili daha iyi sonuçlar almamıza katkı sağlayacaktır. Kaliteli bir kanun çalgısının kendi ses aralığı göz önüne alındığında, tüm frekansları dengeli bir şekilde üretmesi beklenir. Bu açıdan

bakıldığında, yukarıdaki frekans spektrumunun değerlendirilmesi daha nitelikli kanun çalgısı yapımına katkı sağlayacaktır.

6.1.2. Harmonik İçerik

İyi bir çalgıda harmoniklerin dağılımı tüm spektrum boyunca olabildiğince dengeli ve yeterli seviyede olmalıdır.

Çalgının G2 ile E6 arasındaki tüm sesleri harmonik bileşenler açısından incelendiğinde, çalgının genel olarak harmonikler bakımından zengin olduğu gözlenmiştir ve harmonik bileşenlerin genlikleri güçlüdür. Özellikle bas ve orta frekans bölgelerindeki sesler harmonik bileşenler bakımından oldukça zengindir. Tiz seslere doğru çıkıldıkça harmoniklerin sayısı azalmaktadır. Ayrıca harmonikler dışında bir çalgının ses kalitesini önemli bir biçimde etkileyen düzensiz bileşenlerin de, incelenen tüm seslerin içeriğinde harmoniklere göre daha düşük genlik değerlerinde ama sayıca karakteristirik bir biçimde bulunduğu görülmüştür. Çalgının birçok farklı sesinde oluşan ortak uyumsuz frekanslar vardır. 36 Hz., 44 Hz., 120 Hz. 330 Hz. ve 440 Hz. bunlardan bazılarıdır. Genlik değerleri düşük de olsa temel frekansın altında ve üstünde oluşabilen bu uyumsuz bileşenlerin çalgı sesinin daha zengin, daha dolgun olmasında etkili oldukları düşünülmektedir.

6.1.3. Kanun Seslerinin Zaman Analizi

Kanun çalgısının G2 sesinden E6 sesine kadar olan bütün seslerin ses zarflarını oluşturan çıkış, düşüş, devamlılık ve sönüş evreleri incelendiğinde, dalga şekillerinin genel olarak iki bölümden oluştuğu gözlenmiştir. Çalgının dalga şekli çoğunlukla çıkış evresiyle başlayıp maksimum genliğe ulaştıktan sonra sönüşe geçmektedir. Çıkış, düşüş, devamlılık ve sönüş evrelerinden oluşan bir dalga şekli çoğu sesler için oluşmamıştır. Kanun sesinin oluşturduğu dalga şekli testere dişi dalga biçimindedir. Ayrıca çıkış ve düşüş transit dalgaları karakteristik bir biçimde oluşmaktadır.

6.1.4. Kanun Çalgısının Yönelim Özellikleri

Kanun çalgısındaki frekanslar, genel olarak belirli doğrultularda karakteristik yönel davranış sergilemektedir. Yani 0-180 derece arasındaki yatay düzlemde farklı doğrultularda frekanslara ait karakteristik bölgeler oluşmaktadır. Bu sonuçlara göre Kanunla yapılacak ses

güçlendirme sistemli bir performans veya kayıt esnasında, kanun çalgısı için mikrofon konumlandırması yapılırken, çalgının frekans yönelimlerinin göz önünde bulundurulması, performans ve kaydı olumlu etkileyecektir. Örneğin bas karakterli bir kayıt veya seslendirme arzu ediliyorsa, mikrofon sonogramda görülen (bkz. Şekil-86) bas frekanslara ait doğrultulara göre konumlandırılmalıdır. Bunun dışında, kanun çalgısı başka çalgılarla birlikte bir icrada kullanıldığında, diğer çalgıların da frekans yönelim özellikleri göz önünde bulundurularak konumlandırılması, çalgıların birbirlerinin frekans dağılım dengelerini olumsuz etkilemesini önleyecektir.

6.1.5. Kanun Çalgısının Ses Basınç Seviyesi

Yapılan incelemede kanun çalgısının ses basınç seviyeleri, en yüksek değerler olarak G2 sesinde 640 Hz. oktav bandında 92.47 dB. SPL, C4 sesinde 254 Hz. oktav bandında 99.17 dB. SPL ve E6 sesinde 1280 Hz. oktav bandında 107.7 dB. SPL olarak belirlenmiştir. İncelenen bu çalgı, çalgı seçimi aşamasında diğer çalgılara göre daha yüksek ses seviyesiyle dikkat çekmiştir. Bu noktadan hareketle, bu çalgının ses basınç seviyesini diğer kanunlarla karşılaştıracak başka bir çalışmanın yapılması konuyla ilgili bilgilerimizi geliştirecektir. Çalgının ses basınç seviyesinin yüksek olması, icraya sağladığı zenginliğin yanında, örneğin kayıt yaparken daha az mikrofon kazancı gerektireceğinden, kayda giren ses o oranda az bozulacaktır. Ayrıca akustik icralarda dinleyiciye daha güçlü, zengin bir ses ulaşacaktır.

6.2. Tambur Çalgısı ile Yapılan Çalışmalardan Elde Edilen Sonuçlar

6.2.1. Frekans Cevap Anahtarı ve Formantlar

160 Hz. frekansının altındaki bölgede genlikler çok düşüktür. Bas frekans yükseltmeleri yapılacaksa 160 Hz. altındaki bölge karakteristiktir. 200 Hz. ile 250 Hz. arasındaki bölge düşük genliğiyle dikkat çekmektedir. Çalgı kapalı ses rengini bas frekanslardan almaktadır. 160 Hz. ile 400 Hz. arasındaki frekanslar yüksek genlikleriyle muhtemelen bu etkiyi sağlamaktadır. Biraz daha parlak bir ton için 400 Hz. üzerindeki frekans bölgelerinde yükseltmeler denenebilir. Tambur çalgısı için elde edilen frekans spektrumunun, çalgının kendi ses aralığındaki tüm frekansları olabildiğince dengeli üretmesi açısından değerlendirilmesi, daha nitelikli tambur çalgısı yapımına katkı sağlayacaktır.

6.2.2. Harmonik İçerik

Tambur çalgısının A2 sesi ile A4 sesi arasındaki sesler incelendiğinde, harmonik içerik bakımından genel olarak zengin olduğu görülmektedir. Sesler içerisinde harmonik bileşenler çok ve yeterince güçlüdür. Ayrıca uyumsuz bileşenler de harmoniklerden daha düşük genliklerde, oldukça çoktur. Bu durum ortaya zengin bir ses rengi veya tını çıkarmaktadır. Ancak C4 sesinden sonraki seslerde harmonik içerik sayı ve genlik olarak giderek azalmaktadır. Bu durumun tel boyu ile alakalı olduğu düşünülmektedir.

6.2.3. Tambur Seslerinin Zaman Analizi

Tambur çalgısının A2 sesinden A4 sesine kadar olan bütün seslerin çıkış ve düşüş evreleri incelenerek çıkış süresi 14 ms. ve düşüş süresi 28 ms. bulunmuştur. Dalga şekli genel olarak çıkış evresi ile başlayıp oradan sönüşe geçmektedir. Tambur sesinin oluşturduğu dalga şekli testere dişi dalga biçimindedir. Ayrıca çıkış ve düşüş transit dalgaları karakteristik bir biçimde oluşmaktadır.

6.2.4. Tambur Çalgısının Yönelim Özellikleri

Çalgının yönelim özelliklerinden görülmektedir ki 300 Hz. ile 400 Hz., 400 Hz. ile 500 Hz. ve 600 Hz. ile 800 Hz. arasındaki frekanslar, 0 derece ile 180 derece arasındaki tüm doğrultularda kuşak şeklinde bir yönelim özelliği sergilemektedir. Yukarıdaki frekanslarda çalgı her yönde güçlü bir frekans dağılımı sergilemektedir. Yaklaşık 180 Hz. ile 220 Hz. arasındaki frekanslar -150 ve -180 ile +150 ve +180 dereceler arasında karakteristiktir. Daha bas karakterli bir kayıt sesi elde edebilmek için mikrofon 150-180 derece doğrultularında konumlandırılabilir.

6.2.5. Tambur Çalgısının Ses Basınç Seviyesi

Bir çalgının ses seviyesinin yeterince gür olması, algıda o çalgının sesine ait oluşacak etki bakımından çok önemlidir. Yani çalgı dinleyicinin dikkatini çekebilecek makul bir ses seviyesine sahip olmalıdır. Çalgı yapımcılarının çalgılarını bu açıdan da dikkate almaları daha nitelikli çalgı yapımına katkı sağlayacaktır. Seçmelere katılan tamburlar arasından birinci

seçilip incelenen bu tambur diğer tamburlara göre daha yüksek ses seviyesiyle dikkat çekmektedir. Seçilen bu tambur çalgısı ile yapılan çalışmalardan, çalgının ses basınç seviyeleri, A2 sesinde 320 Hz. oktav bandında 93.16 dB SPL, A4 sesinde 508 Hz. oktav bandında 103.7 dB SPL ve ahenk telinde 160 Hz. oktav bandında 96.47 dB SPL bulunmuştur.

Daha önce de belirtildiği gibi çalgının ses basınç seviyesinin yüksek olması, icraya sağladığı zenginliğin yanında, örneğin kayıt yaparken daha az mikrofon kazancı gerektireceğinden, kayda giren ses o oranda az bozulacaktır.

KAYNAKÇA

Açın , C. (1994). Enstruman Bilimi(Organoloji). Ders Notları. İstanbul.

Berg R.E., Stork D.G. (1995). The Physics of Sound. Second Edition. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 07632

Beranek, L.L. (1987). Acoustics. Published by the American Institute of Physics inc. Second Printing. New York.

Erkut C., Tolonen T., Karjalainen M., Valimaki V. (1999). Acoustical Analysis Of Tanbur, A Turkish Long-Necked Lute, http://www.acoustics.hut.fi/~cerkut/

Dıckreıter M. (1989). Tonmeister Technology. Temmer Enterprises inc. New York.

Everest F. A. (2001). The Master Handbook of Acoustics. McGraw-Hill Companies. Fourth edition. U.S.A.

Fletcher N.H. (2003). Australian Aboriginal Musical Instruments: The Didjeridu, The Bullroarer And The Gumleaf. Research School of Physical Sciences Australian National University. Canberra.

Huber, D.M., Runstein, R.E. (2005). Modern Recording Techniques. Focal Press. 6.Edition. U.S.A

Gazimihal M. R. (1960). Mûsikî Sözlüğü. İstanbul,

Newell P. (2003). Recording Studio Design. Focal Pres. Great Britain.

Stark, S.H. (1996). Live Sound Reinforcement. Mixbooks. Ann Arbor, Michigan.

Zeren A. (1995). Müzik Fiziği. Pan Yayıncılık. İstanbul.

Web Kaynakları

www.turkmusikisi.net/arastırmalar/kanun

www.emirudları.com

www.tahiraydoğdu.com

www.oudmaster.com

www.turkmusikisi.com