

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
SAHNE SANATLARI ANA BİLİM DALI
MÜZİK VE SAHNE SANATLARI YÜKSEK LİSANS PROGRAMI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**BAS GİTAR TELLERİNDE KULLANILAN KAPLAMA
MALZEMELERİNİN YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN TINIYA OLAN
ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**EREN ÜÇER
21740044**

**TEZ DANIŞMANI
PROF. DR. TURAN SAĞER**

2025

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
SAHNE SANATLARI ANA BİLİM DALI
MÜZİK VE SAHNE SANATLARI YÜKSEK LİSANS PROGRAMI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**BAS GİTAR TELLERİNDE KULLANILAN KAPLAMA
MALZEMELERİNİN YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN TINIYA
OLAN ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**EREN ÜÇER
21740044
ORCID NO: 0009-0002-5487-5120**

**TEZ DANIŞMANI
PROF. DR. TURAN SAĞER**

HAZİRAN 2025

Eren ÜÇER tarafından hazırlanan “Bas Gitar Tellerinde Kullanılan Kaplama Malzemelerinin Yapısal Özelliklerinin Tınyaya Olan Etkilerinin Araştırılması” başlıklı çalışma, **02.07.2025** tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda [oybirliği / oyçokluğu] ile başarılı bulunmuş ve jürimiz tarafından Sahne Sanatları Ana Bilim Dalı Müzik ve Sahne Sanatları Yüksek Lisans Programı **YÜKSEK LİSANS** tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman

İmza

Prof. Dr. Turan SAĞER

.....

Jüri Üyeleri

İmza

Dr. Öğr. Üyesi Osman Halil İMİK

.....

Doç. Dr. Ulaş Rıfat AKYEL

.....

ÖZET

BAS GİTAR TELLERİNDE KULLANILAN KAPLAMA MALZEMELERİNİN YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN TINIYA OLAN ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Bu çalışma, modern üretim teknikleriyle geliştirilmiş polimer kaplamalı bas gitar telleri ile geleneksel kaplamasız tellerin tınısal özelliklerini karşılaştırmalı olarak incelemektedir. Günümüzde müzikal performansın temel unsurlarından biri olan tını kalitesi, tel üretiminde kullanılan yapı malzemelerinden doğrudan etkilenmektedir. Bu bağlamda, çalışmada tını performansı nicel verilerle analiz edilerek değerlendirilmiştir. Araştırma hem malzeme bilimi hem de ses mühendisliği disiplinlerini bir araya getiren çok boyutlu bir yaklaşımla yürütülmüştür. Bu disiplinlerarası yaklaşım, tellerin fiziksel ve akustik özelliklerini kapsamlı bir şekilde anlamamızı sağlamıştır.

Çalışmada deneysel araştırma yöntemi benimsenmiş olup, tellerin yapısal bileşenleri ICP-MS, FE-SEM ve EDX gibi ileri tekniklerle detaylı olarak analiz edilmiştir. Akustik özellikler ise Welch yöntemiyle ortalama spektrum analizi ve STFT zaman-frekans çözümlemesiyle kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiştir. Örnekleme, Türkiye’de yaygın olarak satışta bulunan üç farklı markaya ait yedi tel numunesinden oluşmaktadır. Her telin boş pozisyon, 5. perde ve 12. perde notaları ayrı ayrı çalınarak kayıt altına alınmış ve analiz sürecine dahil edilmiştir. Bu titiz veri toplama süreci, sonuçların güvenilirliğini artırmıştır.

Elde edilen sonuçlar, kaplamasız tellerin üst frekanslarda daha enerjik harmonikler ürettiğini ve daha parlak, uzun süren bir tını karakterine sahip olduğunu göstermektedir. Kaplamalı teller ise daha dengeli, yumuşak ama hızlı sönümlenen bir ses yapısı sunmaktadır. Bulgular, müzisyenlerin tel tercihlerinde yapısal malzeme farkındalığını artırmayı hedeflemekte ve farklı tını beklentilerine sahip bas gitaristlere rehberlik etmeyi amaçlamaktadır. Bu çalışma, müzik aleti teknolojileri alanında önemli bir boşluğu doldurmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Tınısal Analiz, Bas Gitar, Polimer Kaplama

ABSTRACT

AN INVESTIGATION INTO THE TONAL EFFECTS STRUCTURAL PROPERTIES OF COATING MATERIALS USED IN BASS GUITAR STRINGS

This study provides a comparative analysis of the tonal characteristics of modern polymer-coated bass guitar strings and traditional uncoated strings. The quality of timbre, a fundamental element of musical performance today, is directly influenced by the structural materials used in string production. In this context, the study quantitatively evaluates and analyzes timbre performance. The research adopts a multidimensional approach, integrating both materials science and sound engineering disciplines. This interdisciplinary perspective allowed for a comprehensive understanding of both the physical and acoustic properties of the strings.

The study employed an experimental research method, with the structural components of the strings meticulously analyzed using advanced techniques such as ICP-MS, FE-SEM, and EDX. Acoustic properties were thoroughly assessed through average spectrum analysis using the Welch method and STFT time-frequency decomposition. The sample consisted of seven string specimens from three different brands widely available in Turkey. Each string's open-string, 5th-fret, and 12th-fret notes were individually played, recorded, and included in the analysis process. This rigorous data collection process enhanced the reliability of the results.

The findings indicate that uncoated strings produce more energetic harmonics in the upper frequencies, yielding a brighter and more sustained tonal character. Coated strings, on the other hand, offer a more balanced, softer, yet rapidly decaying sound structure. The results aim to increase musicians' awareness of structural material differences in their string preferences and guide bass guitarists with varying tonal expectations. This study fills an important gap in the field of musical instrument technologies.

Keywords: Timbral Analysis, Bass Guitar, Polymer Coating

ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasının çıkış noktası, edindiğim bir bas gitarın telleri üzerinde fark ettiğim ince, naylon benzeri ipliklerin ne olduğuna dair duyduğum merakı. Yaptığım küçük bir araştırma sonucunda, bu tellerin kaplamalı teller olduğunu ve zamanla bu kaplamanın soyularak ipliksi bir görüntüye dönüştüğünü öğrendim.

Daha sonraki deneyimlerimde kaplamalı tellerin ömrünü uzattığını ve çalım konforu sağladığını gözlemledim. Ancak kaplamasız tellerin tınısında aldığım keyfi bu tellerde bulamıyordum. Bu gözlemler, beni tel kalitesinin yalnızca dayanıklılıkla açıklanamayacağı düşüncesine götürdü.

Bu nedenle, kaplamalı ve kaplamasız tellerin yapısal özelliklerinin ses üzerindeki etkilerinin bilimsel verilerle karşılaştırmalı olarak incelenmesi gerektiği düşüncesine vardım. Bu tez, bu merakın ve araştırma isteğinin bir ürünü olarak ortaya çıkmıştır.

Bu süreçte sonsuz desteğini, bilgi ve rehberliğini esirgemeyen değerli danışmanım Prof. Dr. Turan SAĞER'e en içten teşekkürlerimi sunarım. Laboratuvar analizlerinde desteklerini aldığım Dr. Buse Tuğba ZAMAN'a ve bilgi birikimiyle bu tezin ilerlemesinde büyük katkı sağlayan Prof. Dr. Sezgin BAKIRDERE'ye teşekkür ederim.

Ayrıca tellerin temini ve tezle ilgili yaşadığım her sorunda yardımını esirgemeyen Dr. Osman Halil İMİK'e ve tınısal analizlerde kullandığım yöntemlerde bana yol gösterecek kodlama bilgilerini kazandıran Prof. Dr. Arda EDEN'e özel olarak teşekkür ederim.

Araştırma süreci boyunca yanımda olan ve desteğini her daim hissettiren sevgili eşim Ekin ÜÇER'e, aileme ve tüm dostlarıma minnettarım.

Bu çalışma Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından #SYL-2024-6468 No.lu proje kapsamında desteklenmiştir.

Eren ÜÇER

Haziran, 2025; İstanbul

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
ÖN SÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vi
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
KISALTMALAR LİSTESİ.....	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Problem	1
1.2. Amaç ve Önem.....	2
1.3. Sayıtlar	2
1.4. Sınırlılıklar	3
1.5. Evren ve Örneklem	3
1.6. Araştırma Yöntemi.....	3
1.6.1. Ses Kayıt Süreci ve Analiz Yöntemi.....	3
1.6.2. Kimyasal Analizler	4
1.7. Araştırma Modeli	5
1.8. Verilerin Değerlendirilmesi ve Yorumlanması.....	5
2. KURAMSAL ÇERÇEVE	6
2.1. Bas Gitarın Ortaya Çıkışı.....	6
2.2. Bas Gitarda Tınıyı Etkileyebilecek Bileşenler.....	12
2.2.1. Ahşap Türleri	12
2.2.2. Köprü Malzemeleri	12
2.2.3. Manyetik Türleri	13
2.3. Bas Gitar Telleri.....	13
2.3.1. Tel Malzemeleri	14
2.3.2. Tel Sarım Türleri.....	14
2.3.3. Kaplama Malzemelerinin Tınısal Özelliklere Etkisi.....	16
2.3.4. Modern Kaplama Teknolojilerinin Gelişimi.....	16
2.4. Welch Yöntemi ve STFT Analiz Yöntemleri	17
2.4.1. Kısa Süreli Fourier Dönüşümü (STFT)	17
2.4.2. Welch Yöntemi	18
2.5. Kimyasal Analiz Tekniklerine Dair Literatür İncelemesi.....	19
3. BULGULAR.....	20
3.1. Numuneler.....	20
3.2. Kimyasal Analiz Bulguları.....	21
3.2.1. ICP-MS Analizi Sonuçları	21
3.2.2. FE-SEM ve EDX Analiz Bulguları.....	23
3.3. Welchogram Spektrum Analizleri	31

3.4. STFT ile Zaman-Frekans Analizleri	51
4. TARTIŞMA	57
4.1. Kimyasal ve Yapısal Bulguların Yorumlanması	57
4.2. Tımsal Bulguların Yorumlanması.....	58
4.3. Analiz Yöntemlerinin Değerlendirilmesi.....	58
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	59
5.1. Sonuçlar	59
5.2. Öneriler	60
KAYNAKÇA.....	62
EKLER.....	64



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. Çalışmada Kullanılan Gitar Teli Örnekleri.....	21
Tablo 2. Kaplamalı Bas Gitar Tellerinin Elementel Kompozisyonuna Ait ICP-MS Sonuçları	23



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Harp-Guitar	7
Şekil 2. Rickenbacker Electro Bass Viol	8
Şekil 3. Fender Precision Bass	10
Şekil 4. Yuvarlak Sarım Tel İllustrasyonu	15
Şekil 5. Düz Sarım Tel İllustrasyonu	15
Şekil 6. Yarı Düz Sarım Tel İllustrasyonu	16
Şekil 7. A_A Bas Gitar Tel Örneğine Ait FESEM Görüntüsü Ve EDX Sonuçları ..	24
Şekil 8. A_B Bas Gitar Tel Örneğine Ait FESEM Görüntüsü Ve EDX Sonuçları ..	25
Şekil 9 A_C_C Bas Gitar Tel Örneğine Ait FESEM Görüntüsü Ve EDX Sonuçları ..	26
Şekil 10. B_A Gitar Tel Örneğine Ait FESEM Görüntüsü Ve EDX Sonuçları	27
Şekil 11. B_B_C Bas Gitar Tel Örneğine Ait FESEM Görüntüsü Ve EDX Sonuçları ..	28
Şekil 12. B_C_C Bas Gitar Tel Örneğine Ait FESEM Görüntüsü Ve EDX Sonuçları ..	29
Şekil 13. C_A_C Bas Gitar Tel Örneğine Ait FESEM Görüntüsü Ve EDX Sonuçları ..	30
Şekil 14. A_A Boş Tel Ortalama Spektrum Grafiği	31
Şekil 15. A_A 5. Perde Ortalama Spektrum Grafiği	32
Şekil 16. A_A 12. Perde Ortalama Spektrum Grafiği	33
Şekil 17. A_B Boş Tel Ortalama Spektrum Grafiği	34
Şekil 18. A_B 5. Perde Ortalama Spektrum Grafiği	35
Şekil 19. A_B 12. Perde Ortalama Spektrum grafiği	36
Şekil 20. A_C_C Boş Tel Ortalama Spektrum Grafiği	37
Şekil 21. A_C_C 5. Perde Ortalama Spektrum Grafiği	38
Şekil 22. A_C_C 12. Perde Ortalama Spektrum Grafiği	39
Şekil 23. B_A Boş Tel Ortalama Spektrum Grafiği	40
Şekil 24. B_A 5. Perde Ortalama Spektrum Grafiği	41
Şekil 25. B_A 12. Perde Ortalama Spektrum Grafiği	42
Şekil 26. B_B_C Boş Tel Ortalama Spektrum Grafiği	43
Şekil 27. B_B_C 5. Perde Ortalama Spektrum Grafiği	44
Şekil 28. B_B_C 12. Perde Ortalama Spektrum Grafiği	45
Şekil 29. B_C_C Boş Tel Ortalama Spektrum Grafiği	46
Şekil 30. B_C_C 5. Perde Ortalama Spektrum Grafiği	47
Şekil 31. B_C_C 12. Perde Ortalama Spektrum Grafiği	48
Şekil 32. C_A_C Boş Tel Ortalama Spektrum Grafiği	49
Şekil 33. C_A_C 5. Perde Ortalama Spektrum Grafiği	50
Şekil 34. C_A_C 12. Perde Ortalama Spektrum Grafiği	51
Şekil 35. A_A_bos STFT Spectrogram	52
Şekil 36. A_B_bos STFT Spectrogram	52
Şekil 37. A_C_C_bos STFT Spectrogram	53
Şekil 38. B_A_bos STFT Spectrogram	54
Şekil 39. B_B_C_bos STFT Spectrogram	54

Şekil 40. B_C_C_bos STFT Spectrogram	55
Şekil 41. C_A_C_bos STFT Spectrogram	56



KISALTMALAR LİSTESİ

ICP-MS.	: Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (İndüktif Eşleşmiş Plazma – Kütle Spektrometresi)
FE-SEM.	: Field Emission Scanning Electron Microscopy (Alan Emisyonlu Taramalı Elektron Mikroskobu)
EDX	: Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (Enerji Dağılımlı X-ışını Spektroskopisi)
STFT.	: Kısa Süreli Fourier Dönüşümü (Short-time Fourier Transform)
DAW	: Digital Audio Workstation
WAV	: Ses dosyası formatı (kayıtların analiz için dönüştürüldüğü format)
AIFF	: Ses dosyası formatı (kayıtların yapıldığı format)
PSD	: Power Spectral Density (Güç Spektral Yoğunluğu)
PTFE	: Politetrafloroetilen

1. GİRİŞ

Bas gitar modern müzikte ritm ile armoniyi birbirine bağlayarak kendine çok önemli bir yer edinmiştir. Elektrik bas gitarlar sağladığı tonal çeşitlilik ve pratik kullanım imkanları sayesinde hem sahnelerde hem stüdyo kayıtlarında kendini göstermektedir. Bir bas gitar icracısının ve ses teknolojilerinin her alanında çalışan uzmanların bu enstrümanı daha iyi anlayabilmeleri için tonal farklılıkları kavramaları çok önemlidir. Bas gitarlarda kullanılan teller tını kavramı açısından çok önemlidir. Tellerde kullanılan malzemeler bir bas gitarın her türlü tınısal özelliğini çok hızlı değiştirebilmektedir. Bu tez, bas gitar tellerinde kullanılan kaplama malzemelerinin tınıya olan etkilerini hem kimyasal analizlerle hem de yapısal analizlerle incelemeyi hedeflemektedir.

Bu tezde farklı malzemeler ve kaplama türleriyle üretilmiş tellerin üzerine kapsamlı analizler yapıp, bu özelliklerin tınıya olan etkileri araştırılacaktır. Bu çalışmada elde edilecek sonuçlar hem müzisyenlere hem de üretim yapan firmalara bilimsel bir referans sunacaktır.

1.1. Problem

Bas gitar, müziğin en önemli ihtiyacı olan bas sesleri vererek armoni ve ritmi bir araya getiren bir enstrümandır. Ancak, bas gitarın tınısal karakterini en çok etkileyen bas gitar tellerinin hem yapısal hem de tınısal anlamda yeteri kadar incelenmediğini fark ettim. Bu konu üzerine yaptığım araştırmalar ve kişisel deneyimlerim sonucunda polimer kaplama kullanılan tellerin, biz müzisyenlerin hayatlarında önemli bir yer edindiğini fark ettim. Bu tellerde kullanılan polimer kaplama çeşitleri telin ömrünü uzatmaktadır fakat tınıyı da önemli ölçüde etkilemektedir. Bu durum hem müzisyenler hem de tel üreticileri açısından önemli soruları gündeme getiriyor.

Farklı kaplama türleri üzerine yapılan araştırmaların yetersizliği müzisyenlerin ve benim tel seçimim konusunda kararsızlığa yol açmaktadır. Kaplamasız teller genelde doğal ve harika tınlar sunarken kaplamalı teller dayanıklılığıyla ön plana çıkıyor fakat tınısal olarak farklılıklar oluşuyor. Özellikle polimer kaplamaların yapısal özellikleri

ve uygulama biçimlerinin tını üzerindeki etkileriyle ilgili bilimsel araştırmalara ihtiyaç vardır.

Literatur taramalarım sırasında bu konu üzerine yapılan çalışmaların yetersizliği ve çeşitli üreticilerin bu konu üzerine araştırmalarını önemli ölçüde kendi ticari sırları kapsamında saklı tutması, bu konu hakkındaki araştırmayı oldukça zorlaştırıyor.

Tüm bunların sonucunda bas gitar tellerinde kullanılan kaplamaların tınıya olan etkilerinin araştırılması elzem bir problem haline gelmiştir. Bu problemle ilgili yapılacak çalışmalar gelecek müzisyenlerin kariyerlerine ışık tutacaktır.

1.2. Amaç ve Önem

Bas gitarın tınısal özelliklerini doğrudan şekillendiren temel unsurlardan en önemlisi tellerdir. Tellerin üretiminde kullanılan malzemeler ve tellerin yapısal özellikleri müzikal performansı doğrudan etkileyen bir faktördür. Müzikal performansı arttırabilmek amacıyla daha yenilikçi ürünler üretebilmek için bu tellerde kullanılan malzemelerle ilgili yapılan araştırmalar çok önemlidir.

Bu tezin ana amacı bas gitar tellerinde kullanılan kaplama malzemelerinin tınıya olan etkilerinin araştırılmasıdır. Bu amaç doğrultusunda farklı malzeme türlerinin kimyasal yönleri, harmonik yapıya olan etkileri ve tonal karakter açısından etkileri analiz edilecektir. Bu analizler için ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry) ve Fe-SEM (Field Emission Scanning Electron Microscopy) yöntemleriyle kimyasal analizler gerçekleştirilmiştir. Fourier dönüşümü (STFT) ve Welchogram ses analiz yöntemleriyle tınısal özellikler analiz edilmiştir. Bu yöntemler ışığında tınısal farklılıklar ve onlara sebep olan kaynaklar tespit edilmiştir.

Bu araştırma, konuyla ilgili literatürdeki boşlukları doldurmayı ve bas gitar tellerinin yapısal özellikleriyle tınısal özellikleri arasındaki bağlantıya dair bilimsel bir kaynak olmayı hedeflemektedir. Elde edilecek sonuçlar ilerleyen yıllarda üretilecek teller ve geliştirilecek yeni teknolojilere ışık tutacaktır.

1.3. Sayıtlar

Bu çalışmada, bap projesiyle elde edilen farklı üreticilerden bas gitar teli örnekleri ve bu örneklerden alınan ses kayıtları, araştırma için yeterli olacağı sayıltısından hareket edilmiştir.

1.4. Sınırlılıklar

Bu çalışma farklı markalara ait kaplamalı ve kaplamasız tel setlerinden oluşan toplam yedi (7) tel numunesi ile sınırlandırılmıştır.

1.5. Evren ve Örneklem

Bu çalışmada, polimer kaplamalı tel üretimi yapan firmaların benzer özelliklerde üretildiğini belirttiği kaplamalı ve kaplamasız teller kıyaslanmak üzere seçilmiştir. Bu tellerin firma isimleri çalışma süresince doğrudan kullanılmamıştır, A markasının A modeli veya B markasının B modeli gibi sistemli bir kodlama metodu oluşturulup kıyaslamalar yapılmıştır.

Çalışma sırasında örnek sayısını azaltmak amacıyla tel setlerinin A (La) notası yani, 55.00-Hz(A1) frekansına denk gelen telleri tercih edilmiştir. Bu seçimde en büyük etken, A notasının müzikte standart frekans diziliminde yer alan referans notalardan biri olmasıdır. Bunun dışında, daha düşük frekans olan E notası, D notası veya G notalarına göre daha dengeli bir analiz verebilecek harmonik yapıya ve rezonansa sahip olması da tercih sırasında önemli etken olmuştur.

Yapılan analizler süresince kullanılan tellerin, fiziksel olarak özellikle 2.03mm ve 2.16mm çapında olanları tercih edilmiştir.

1.6. Araştırma Yöntemi

Bu tez sırasında, bas gitar tellerinde kullanılan kaplama malzemelerinin tını üzerine etkilerini incelemek amacıyla hem tını hem de kimyasal analizler gerçekleştirildi.

1.6.1. Ses Kayıt Süreci ve Analiz Yöntemi

Tellerin ses analizlerini yapmak amacıyla, split-coil manyetikli (çift parça bobinli) 4 telli pasif bir bas gitar ile kayıtlar alınmıştır. Bu bas gitarın kullanılmasının sebebi, ses sinyalinin, renk verebilecek devre gibi aktif elektronik sistemlerden geçmeden doğrudan kaydedilmesine imkân sağlamasıdır.

Kayıtların yapıldığı odada bağıl nem %44 ve sıcaklık 22.7 °C ölçülmüştür. Bu koşullar, tel titreşimlerinin kararlılığını sağlamak açısından yeterlidir ve böylece analizi etkileyecek çevresel faktörler en az seviyede tutulmuştur.

Kayıtlar Focusrite Scarlett 4i4 model ses kartına gitarın bir kablo aracılığıyla bağlanmasıyla yapılmıştır. Ayrıca, kayıt esnasında ses kartının üzerinde gain değeri %40 okunmuştur.

Gitar üzerinde her tel değişikliğinden sonra, 440-Hz standart akortlama verilerine göre ilgili teller akort edilmiştir. Akortlama işlemlerinin ardından, boş tel, 5. perde ve 12. perde olacak şekilde, parmakla çalım tekniğiyle vuruşlar yapılmıştır. Her tel için belirtilen 3 farklı pozisyonun her birinde, en az 5 vuruş kaydedilmiştir.

Bu kayıtlar, Logic Pro X isimli DAW(Digital Audio Workstation) programı üzerinde, 44.1kHz örnekleme hızı ve 24bit AIFF formatında yapılmıştır ve analiz için WAV formatına dönüştürülmüştür.

Bu çalışmada, STFT ve Welch analizleri için bir Python programlama dilinde bir yazılım geliştirilmiştir. Bu yazılımda, her bir tel için, rastgele seçilmiş ve temiz olduğundan emin olunan üçer kayıt incelenip ortalama değerler alınmıştır. Bu sayede oluşabilecek performans kaynaklı hatalar azaltılmaya çalışılmıştır.

Bu yazılım, giriş aşamasında her sesin başındaki boşluk (sessizlik) kısımlarını otomatik olarak kesip ses dosyalarını -0.9dB seviyesine kadar normalize etmektedir. Ardından, ilk aşamada 2048 örnek uzunluğunda pencere kullanarak 0-2500 Hz aralığında bir spektrum grafiği oluşturmaktadır.

Bu işlemin devamında, sesin zamana bağlı frekans değişimini saptamak amacıyla STFT yöntemini kullanarak bir zaman-frekans grafiği oluşturmaktadır. Bu grafik, her frekansın ne kadar sürede -60dB seviyesine düştüğünü göstermektedir.

Spektral ağırlık merkezinin, sesin algılanan parlaklığıyla ilişkili olabileceği yönünde bulgulara ulaşılmıştır. İnsanlarla yapılan bir araştırmada, spektral ağırlık merkezi yüksek sesler dinleyiciler tarafından daha parlak bulunmuştur (Eronen, 2001).

1.6.2. Kimyasal Analizler

Çalışmada incelenen 7 farklı bas gitar teli örneğinin kimyasal yapılarının belirlenmesi amacıyla, enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDX) ile donatılmış bir alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu (FE-SEM) ve indüktif eşleşmiş plazma- kütle spektrometresi (ICP-MS) ile analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, gitar tellerinin sahip olduğu yüzey katları ve yüzeylerinin kaplamalı veya kaplamasız olmasına göre incelenmiş ve kimyasal yapılarındaki benzerlik ve farklılıkların ses

tınları üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Gitar teli örneklerinin yüzeylerinin mikro ve nano boyutlarda incelenmesi amacıyla alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu (FE-SEM) kullanılmıştır. FE-SEM sistemi bir enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDX) ile donatılarak yüzeydeki elementel dağılım hakkında da incelemeler yapılmıştır. Farklı büyütme alan aralıklarında (100, 500, 1.00, 5.00, 10.00, 20.00, 40.00 ve 60.00 KX) bas gitar teli örneklerinin yüzeylerinin 3 boyutlu görüntüleri alınmıştır. Ayrıca, ICP-MS sisteminde tel örneklerinin elementel kompozisyonunun belirlenmesine yönelik çalışmalar yürütülmüştür. Bu amaçla, 13 farklı elementin (alüminyum (Al), krom (Cr), demir (Fe), kobalt (Co), nikel (Ni), bakır (Cu), arsenik (As), kadmiyum (Cd), kurşun (Pb), zirkonyum (Zr), gümüş (Ag), titanyum (Ti) ve mangan (Mn)) tayinleri gerçekleştirilmiş ve her bir numunenin elementel içeriği kalitatif olarak belirlenmiştir. Her bir analit için ICP-MS sistemine ait analitik performans değerlerinin (lineer çalışma aralığı, gözlenebilme limiti (GL) ve tayin limiti (TL)) belirlenmesi amacıyla artan derişimde tayini gerçekleştirilen elementleri içeren karışım standart çözeltileri kullanılarak kalibrasyon grafikleri oluşturulmuştur. Bu grafiklerde elde edilen doğru denklemleri kullanılarak yöntemin tayin sınırları içerisinde bulunan elementler kantitatif olarak belirlenmiştir.

1.7. Araştırma Modeli

Araştırma, bas gitar tellerinin tınsal özelliklerinin görselleştirilmesi ve kimyasal yapıların analizi yönünden nicel bir araştırmadır. Araştırma sonuçlarının yorumlanması ve karşılaştırılması açısından nitel bir karşılaştırmadır.

1.8. Verilerin Değerlendirilmesi ve Yorumlanması

Verilerin değerlendirilmesi, ses dosyalarının analiz sonuçları ve kimyasal analiz sonuçlarının bir arada yorumlanmasıyla sağlanmıştır.

2. KURAMSAL ÇERÇEVE

2.1. Bas Gitarın Ortaya Çıkışı

Bas gitar, 20. yüzyılda kontrbasa alternatif bir enstrüman olarak geliştirilmiştir. Kontrbas, müziğin içindeki bas armonileri verebilmek için çok uygun bir enstrümandı ve müziğin armonik yapısını ritm ile çok iyi bir şekilde birleştirebiliyordu; fakat boyut olarak düşünüldüğünde yeterince pratik bir enstrüman olmamasından dolayı kontrbasa bir alternatif geliştirme ihtiyacı vardı. İşte bu ihtiyaç doğrultusunda Leo Fender, kontrbasın hantal tasarımına modern bir alternatif tasarım geliştirme fikrine girdi. Tüm bunların sonucunda, döneminin yeni teknolojilerini kullanan bir alternatif geliştirildi. Kontrbasın büyük boyutlarından kaynaklanan taşıma ve sahne performanslarındaki zorluklar, modern bir enstrüman ihtiyacını doğurmuş ve bu noktada elektrikli bas gitar fikri ortaya atılmıştır (Wright, 2018).

Esasında bas gitar tasarımının tarihsel gelişim süreci 19. yüzyıla kadar dayanır. Amerika'nın Chicago eyaletinde telli çalgılar imal eden yapımcı Joseph Bohmann, 1890'lı yıllarda "arp-gitar" ailesinin bir yan çeşidi olarak "Contra Bass Harp Guitar" tanımını kullanarak bas ve gitarı ilk kez bir araya getirmiştir (Özsarı, 2019). Bu enstrümanın görsel bir temsili Şekil 1'de görülebilir. Bohmann bu çalışmasında kontrbasa bir alternatif üretmişti; fakat tercih edilmesine sebep olacak kadar pratik bir enstrüman değildi.

Şekil 1. Harp-Guitar

A HARP-GUITAR.

A Novelty Manufactured and Introduced by Mr. Joseph Bohmann.

From "Music Trades," January 4, 1896.

Mr. Joseph Bohmann, the great violin, mandolin, guitar and zither manufacturer of Chicago, who was burned out a few weeks ago (Dec. 7, '95), losing his entire stock and tools, has secured satisfactory quarters at No. 376 West Madison street, and is now turning out as rapidly as possible the above instruments, including his new harp guitar.

The guitar has been limited as regards execution, and Mr. Bohmann has made a radical improvement in it, which opens up new possibilities for this popular instrument.

As can be seen by the representation of the Bohmann harp-guitar, now published for the first time, twelve additional strings are added in the bass, and it is held between the knees similar to the cello. The harp-guitar in accompanying illustration, is held by Mr. Bohmann's best working man, who has originated this great American industry. By his side is his son, Joseph Frederick Bohmann, who will succeed him in making Bohmann instruments for the coming generation.



The twelve additional strings are tuned chromatically, and the instrument being larger than common, has great power. In fact, its tone is said to be as strong as that of a full-sized harp.

Any guitar player can familiarize himself with the new strings, with half an hour's practice, and this new instrument is also said to greatly facilitate execution. The Bohmann harp guitar is practically serviceable for mandolin orchestras as one harp guitar will furnish an accompaniment for a flute, violin, two mandolins and two mandolas.

As a solo instrument, beautiful sweeping arpeggios can be made on the chromatic strings, and also runs in thirds and fifths not possible otherwise. Accompaniments can be played directly from piano scores, the player reading both clefs at once.

The six strings of the finger-board are tuned as ordinarily. The instrument presents a very handsome appearance, and does great credit to Mr. Bohmann's workmanship and inventive genius.

P. J. M.

Kaynak: Bohmann, J. 1896, 4 ocak

20. yüzyılın başlarında orkestralarda kullanılan ses seviyelerinin yükselmesiyle çeşitli ihtiyaçlar doğmuştu. Dans müziği topluluklarının ses seviyesinin artması, kontrbasın orkestralarda duyulmasını zorlaştırıyordu (Özsarı, 2019). Bu ihtiyaçların sonucunda Gibson firması adına tasarımcı Lloyd Loar, 1924 yılında kontrbas tasarımını elektrikli bir tasarıma dönüştürmeyi denemiş fakat Loar'ın yeni tasarımı müzik topluluklarında yer edinememiştir (Bellson, 1973).

1930'lu yıllarda amplifikasyon teknolojisi sayesinde tasarımlar daha da gelişmeye başlamıştır. Bu dönemde Rickenbacker firması Bass Viol isimli bir tasarım geliştirmiştir (Şekil 2). Ancak bu model, kontrbasa fiziksel benzerliği sebebiyle taşınabilirlik sorununu tam anlamıyla çözmemiştir (Schroeder, 2011).

Şekil 2. Rickenbacker Electro Bass Viol



Kaynak: Vintage Guitar, erişim: 1 Ocak 2025

1936 yılında Paul Tutmarc adında bir tasarımcı modern bas gitar tasarımına yakın bir deneme yapmıştır. Tutmarc, Audiovox Model 736 adıyla erken bir bas gitar modeli üretti. Bu enstrüman, zamanının ötesinde bir tasarım olmasına rağmen ticari başarı elde edememiştir (Schroeder, 2011, s. 36-37). Bu tasarım modern elektrik bas gitar tasarımına çok yakın bir tasarımı fakat müzik sahnelerinde yer edinemedi. 1947 yılında Tutmarc'ın oğlu Bud Tutmarc, Serenader String Bass isimli farklı bir tasarım sunmuştur. Ancak bu iki tasarım da müzik sahnelerinde gerekli ilgiyi görmemiştir.

20. yüzyıl başlarında ses seviyesiyle ilgili yaşanan problemleri çözmeye yönelik Ampeg firması yeni bir tasarım geliştirmiştir. 1946 yılında, New York kökenli bassist Everett Hull, kontrbasın ses seviyesini yükseltebilmek için çeşitli cihazlar denemiştir.

Enstrümanın dip kısmına iliştirilen bu mikrofonlu aygıt sayesinde ses dalgaları doğal halini koruyarak yükseltilebiliyordu. Bu yeni icadın mandal vasıtasıyla iliştirilme şekli

‘amplified peg’ olarak anılıyordu (Hopkins & Moore, 1999, s. 21). Hull, bu icadı tanıtabilmek ve kitlelere ulaşabilmek amacıyla Ampeg isimli firmayı kurmuştur, bu firma ilerleyen yıllarda geliştirilecek olan elektrik bas gitarların sesini yükseltmek için kullanılacak amfileri geliştirmek için üretimine devam etmiştir

Günümüz modern elektrik basın ilk tasarımı 20. yüzyılın ortasında kendini gösterdi.1951 yılı, müzik tarihi ve bas gitarın kaderi için önemli bir dönüm noktası sayılmalıdır. Leo Fender, California’daki atölyesinde yaptığı çalışmalar sonucunda "Fender Precision Bass" (Şekil 3.) ismini verdiği yeni enstrümanı geliştirdi (Cavalli, 2016, 35). Precision bass’ın en büyük tasarımsal yeniliği bu enstrümanın perdelere sahip olmasıydı. Daha öncesinde kullanılan kontrbas tasarımında icracılar perdesiz bir enstrümanla sesleri bu enstrümandaki kadar kesin veremiyorlardı, bu kesinliğin sonucu olarak ismini İngilizcede kesinlik anlamına gelen “precision” kelimesinden almıştır. Ayrıca, bu enstrüman çeşitli elektrikli düzenekler aracılığıyla ses verdiği için çeşitli kulüplerde ve konser alanlarında büyük pratiklik sağlayarak daha yüksek sesler elde edilebilmesine olanak sağladı.

Şekil 3. Fender Precision Bass



Kaynak: Fender, t.y.

Elektrikli/amplifiye bir enstrüman oluşu; ses düzeyinin kolaylıkla artırılabilmesi, kontrbasa nazaran icracıya taşıma problemi yaşatmaması, tınısal yelpazesi, teknik çeşitliliği gibi etkenler onu hem ayrı bir kategoriye yerleştirmiş hem de tercih sebebi haline getirmiştir (Özsarı, 2019). Tüm bu yenilikler elektrik bas gitarın popüler müzik türlerinde yer edinmesine olanak sağladı.

Elektrik bas gitar tınısal bazı farklılıkları ve teknik farklılıklarından dolayı batı tarzı orkestralarda kendine yer bulmakta zorlandı. "Bas gitar arşe kullanımına uygun tasarlanmadığı için 'sostenuto' ses üretme kapasitesi sınırlıdır ve tınısal olarak gitar ailesine daha yakındır. Parmak ve plektrum kullanıldığı için başlangıcı ataklı şekilde ses üretir. Bundan dolayıdır ki bas gitara Batı Sanat Müziği topluluklarında 1970'lere kadar pek az rastlanmaktadır ve tonal işlevselliğin egemen olduğu Batı Sanat Müziği türlerinde bu yirmi yıllık süreçte varlık göstermemiştir" (Özsarı, 2019). Bu süreçte bas

gitar, Batı müziği yerine popüler ve modern müzik türlerinde kendine sağlam bir yer edindi.

Elektrik bas gitar rock'n'roll ve caz müzisyenleri tarafından hızlıca benimsendi ve sahnelerle taşındı. "Monk Montgomery gibi öncü caz müzisyenleri Precision Bass'i sahneye taşıyan ilk isimlerden biri olsa da, caz toplulukları elektrik bası 'bastard instrument' (melez enstrüman) olarak eleştirmişlerdir" (Wright, 2018). Üstelik ilk başlarda tüm eleştiriler müzikal anlamda da olmamıştı. Precision Bass çeşitli tasarımsal eleştirilerin de odak noktasındaydı. 1952 yılında NAMM'da sergilendiğinde ve kano küreğine benzetilerek alay konusu oldu (Lee, 2018). Gelişen süreçte elektrik bas gitarın gerek fikişel gerek uygulamada yarattığı etki rakip firmalar tarafından da yavaş yavaş fark ediliyordu (Özsarı, 2019).

Bu eleştiriler zamanla azaldı ve elektrik bas gitar müzik dünyasında önemli bir yer edinmeye başladı. Monk Montgomery ve onun izinden giden müzisyenlerin katkılarıyla caz orkestralarında yer edindi. Tüm bunların sonucunda elektrik bas gitar çeşitli tarzlarda orkestralar içinde en önemli enstrümanlardan biri olarak yer aldı.

1960 yılında Fender tarafından Jazz Bass modeli piyasaya sürüldü. Jazz Bass, Precision Bass'ten farklı olarak daha ince bir sap yapısına ve iki manyetik sisteme sahipti. Bu yenilik, müzisyenlere orta frekanslarda zengin tonlar ve daha fazla ton netliği sağladı (Bacon & Moorhouse, 2008). Jazz Bass modeli, Precision Bass modelinin yarattığı ilgiyi arkasına alarak elektrik bas gitar tasarımının daha geniş kitlelere ulaşmasına ve yeni elektrik bas gitar tasarımlarının oluşmasına olanak sağladı.

1970'li yıllarda bu yeni enstrüman Türkiye'deki sahnelerde de boy göstermeye başladı. Bu dönemde Onno Tunç ve İsmail Soyberk gibi önemli bas gitaristler, enstrümanın stüdyo kayıtlarındaki rolünü güçlendirdi (Ede, 2019).

Elektrik bas gitarın gelişimi sadece müzik türlerindeki gelişmelerle sonuçlanmamıştır; aynı zamanda müzik teknolojilerinde de birçok yeniliğe sebep olmuştur. Elektrik bas gitar için üretilen amfiler, efekt pedalları, teller ve daha birçok ekipman müzisyenlere derin ve geniş bir tınısal çeşitlilik sağlamıştır. Bu sayede elektrik bas gitar modern müziğin önemli bir yapı taşına dönüşmüştür.

2.2. Bas Gitarada Tınıyı Etkileyebilecek Bileşenler

Modern bas gitar tasarımının birçok bileşeni bulunmaktadır. Bu bileşenler bas gitarın tınısal özelliklerine etki edebilmektedir. Bu nedenle bu bölümde bas gitarın yapısal özellikleri ve kullanılan malzemelere değinilmiştir.

2.2.1. Ahşap Türleri

Bas gitar üretiminde genellikle masif ahşap türleri tercih edilir ve bu ağaçların türü tını üzerinde önemli bir etki oluşturur. Bu bölümde, yaygın olarak tercih edilen bazı ahşap türleri ve bu türlerin tını üzerindeki etkileri ele alınmaktadır.

Akçaağaç, parlak ve net bir tını sağlar. Özellikle bas gitarın üst frekanslarda oluşan performansını artırır. Bundan dolayı modern müzik türlerinde sıkça tercih edilen bir ağaç türüdür. Çok sert bir ağaç türü olduğunu da belirtmekte fayda vardır. Akçaağaç, sertliği sayesinde üst frekanslarda belirgin bir netlik sunar ve bu nedenle modern müzik türlerinde yaygın olarak kullanılır (Wegst, 2006).

Maun, yoğun bir yapıya sahiptir. Bu sebeple sıcak bir tını sunar. Rock ve blues türü icracıları tarafından tercih edilir. Maun, yumuşak ve sıcak tonları nedeniyle vintage tarzı ses isteyen müzisyenler için ideal bir seçenektir (Drozd, 2009, s. 13).

Dişbudak, hafif türleriyle daha parlak bir tını oluştururken, daha yoğun ve ağır olan türleri keskin bir tını sağlar. Rezonans açısından çok dengeli bir ağaçtır; bu da tercih edilmesinde büyük etkindir. Dişbudak, gövde tasarımında rezonans ve dayanıklılık açısından mükemmel bir denge sağlar (Bass Guitar Magazine, 2014, s. 18).

İhlamur, tınıya etkisi yok denecek kadar az olan bir ağaç türüdür. Genellikle orta seviye enstrümanlarda tercih edilir. Manyetik ve diğer parçaların tınıya olan etkisini daha net gösterir.

2.2.2. Köprü Malzemeleri

Bas gitar köprülerinde genel olarak pirinç, paslanmaz çelik ve alüminyum malzemeler kullanılır. Pirinç yumuşak yapısından dolayı daha sıcak tonlar oluştururken, paslanmaz çelik sert yapısından dolayı parlak, alüminyum ise hafiflik yönünden tercih edilir ve tonu dengeli bir şekilde etkiler.

2.2.3. Manyetik Türleri

Bas gitarda tınıyı en çok etkileyen parçalardan birisi manyetiklerdir. Manyetiklerin yapım malzemeleri, konumlandırılması gibi bir çok faktör tınıyı doğrudan etkiler. Manyetikler genel olarak tellerin titreşiminden oluşan manyetik alanı elektrik sinyaline çevirir ve bu şekilde ses oluşur. Bas gitarlarda kullanılan dört tür manyetik vardır.

Tek bobinli (single-coil) manyetikler, parlak ve net bir tını oluşturur fakat elektromanyetik parazitlere karşı duyarlıdır, bu dip gürültüye sebep olabilir. Eğer gitarda bir adet tek bobinli manyetik varsa bu dip gürültü kaçınılmazdır; iki adet tek bobinli manyetik varsa bu manyetiklerin ses dengesi gerekli ses-ton kontrol düğmeleri ile dengelenerek dip gürültü kontrol edilebilir (Özsarı, 2019).

Split-Coil manyetikler, Precision Bass modellerinde kullanılır. Bu manyetikler tek bobinli manyetiklere benzer karakteristik özellik verir fakat çift bobin yapısından dolayı parazitlere karşı dayanıklıdır ve dip ses oluşturmazlar.

Çift bobinli (Humbucker) manyetikler, çift bobinli yapısından dolayı parazitleri engeller ve dip gürültü oluşturmazlar fakat genel olarak tek bobinli manyetikler kadar tiz frekanslarda güçlü tını oluşturmazlar. Daha çok orta frekanslarda güçlü bir yapı gösterirler.

2.3. Bas Gitar Telleri

Bas gitar telleri, bir bas gitarın tınısını ve tonalitesini en çok etkileyen unsur olmasının yanı sıra, çalınabilirliğini de büyük ölçüde etkilemektedir. Tellerin fiziksel özellikleri tınıyı ve çalınabilirliğini doğrudan etkiler. Kemp'in(2020) çalışmasında belirttiği gibi bir telin harmoniklik özellikleri, yapısındaki fiziksel farklılıklar ve kullanılan malzeme türlerine göre önemli ölçüde değişir. Ayrıca, tellerin lineer yoğunluğunun ve esnekliğinin değişimi, tını üzerindeki etkileri açısından kritik rol oynar

Kaplama teknolojileri ise tellerin ömrünü uzatmaya ve onları paslanmaya karşı korumak için geliştirilmiştir. Bir mikro katman polimer kaplama, telleri çevresel faktörlerden koruyarak ton ömrünü büyük ölçüde artırır (Professor String, t.y.). Bu kaplamaların tınısal performansta düşüşe sebep olduğu düşünülmekle birlikte, telin tınısal ömrünü oldukça uzatmaktadır.

2.3.1. Tel Malzemeleri

Bas gitar tellerinde tercih edilen malzemeler, bas gitarın tınısını büyük ölçüde etkiler ve farklı malzemeler telin ömrü ve çalınabilirliğiyle doğru orantılıdır.

Çelik teller, parlak ve güçlü bir ton verir. Jonathan A. Kemp konuyla ilgili yazdığı makalesinde çelik tellerin fiziksel özellikleriyle ilgili şunları belirtmiştir: Çelik tellerin lineer yoğunluğu ve esnekliği, frekans karakteristikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir; bu da netlik ve agresif müzik türleri için uygun bir rezonans sağlar (Kemp, 2020).

Nikel kaplamalı teller, çelik tellere göre daha yumuşak ve sıcak bir ton sunar. Nikel kaplamalı teller, daha sıcak bir ton sunar ve parmak gürültüsünü azaltır; bu da onları caz ve blues müzisyenleri için ideal bir seçim haline getirir (Professor String, t.y.).

Paslanmaz çelik teller, dayanıklı ve parlak tınıya sahip tellerdir. Paslanmaz çelik teller, nikel alaşımdan oluşan tellere göre daha uzun süre ilk sunduğu tonu korur ve telin korunması için elverişsiz ortamlarda daha dayanıklıdır. Bu teller, sıklıkla profesyonel kullanıcılar tarafından tercih edilmektedir.

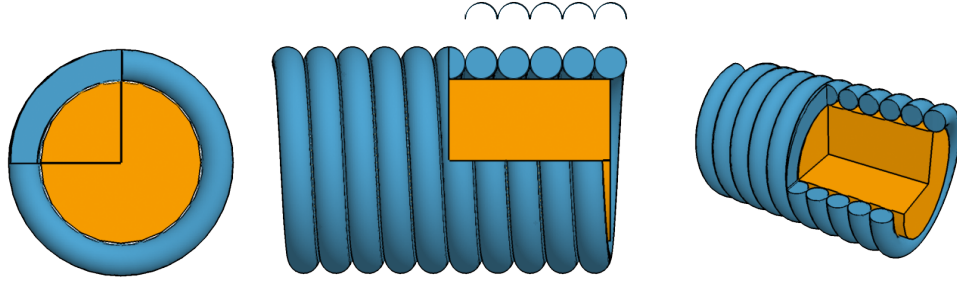
Tellerde kullanılan malzemeler bas gitarın tınısal özelliklerinde önemli bir değişkendir.

2.3.2. Tel Sarım Türleri

Bas gitar tellerinin tınısını ve çalınabilirliğini önemli ölçüde belirleyen bir başka özellik ise bu tellerin sarım türleridir. Tel sarımı, telin yüzeyini ve parmak hissiyatını etkiler. Üç çeşit sarım şekli vardır, bunlar yuvarlak sarım (roundwound), düz sarım (flatwound) ve yarı düz sarımdır (halfwound).

Şekil 4.'de görülen yuvarlak sarım teller, pürüzlü bir yüzeye sahiptir; bu nedenle parmak gürültüsü oluşturması muhtemeldir. Yuvarlak sarım teller, modern müzik türlerinde sıklıkla tercih edilen parlak ve güçlü bir tını sunar. Bununla birlikte, yüzeylerinin pürüzlü yapısı nedeniyle parmak sürtünmesi ve gürültü artışı gözlenebilir (Professor String, t.y.).

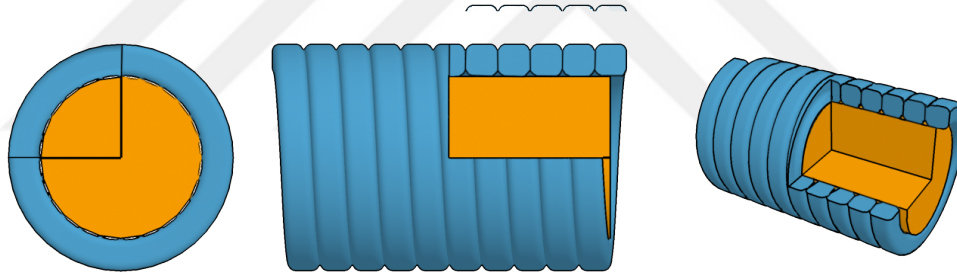
Şekil 4. Yuvarlak Sarım Tel İllustrasyonu



Kaynak: Wikipedia, t.y.

Şekil 5’de görülen düz sarım teller, yumuşak bir çalım hissiyatı sunar. Parmak gürültüsü çok azdır ve sıcak bir tınısı vardır. Bu şekilde sarılmış teller özellikle perdesiz bas gitarlarda tercih edilir. “Kontrabastan gelen bir alışkanlık diye de ifade edebileceğimiz bir temayülle, genelde caz icracıları tarafından kullanılır.” (Özsarı, 2019, s. 30).

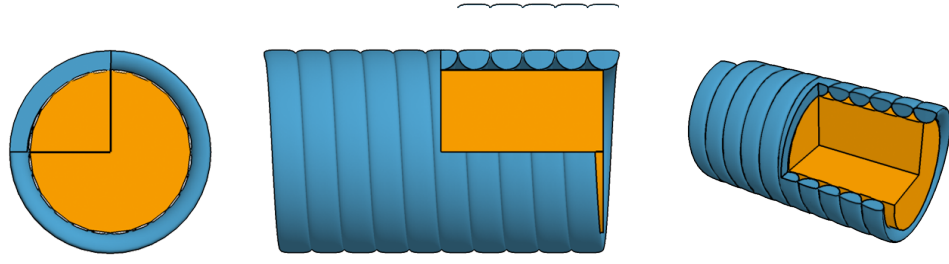
Şekil 5. Düz Sarım Tel İllustrasyonu



Kaynak: Wikipedia, t.y.

Şekil 6’da görülen yarı düz sarım teller, yuvarlak sarım ve düz sarım tellerin özelliklerini sunar. Yarı düz sarım teller, hibrit bir yapım tarzına sahiptir. Bu teller, yuvarlak sarım tellerin tınısını düz sarım tellerin tınısıyla birleştiren tellerdir. Yarı düz sarım teller bazen 'ground-round' veya 'ground-wound' tel olarak da adlandırılır (Professor String, t.y.).

Şekil 6. Yarı Düz Sarım Tel İllustrasyonu



Kaynak: Wikipedia, t.y.

2.3.3. Kaplama Malzemelerinin Tınsal Özelliklere Etkisi

Tel üreticileri, modern teknolojiler ışığında geliştirilmiş polimer malzemeleri kullanarak kaplamalı (coated) telleri geliştirdiler. Bu kaplamalı teller, telin ömrünü uzatmak ve (üreticilerin iddiasına göre) daha doğal tınlar elde etmek amacıyla üretilmeye başlanmıştır (Hebestreit & Myers, 2003). Elixir firması polimer kaplamalı tellerin üretiminde öncü bir firma olarak PTFE (politetrafloroetilen) isimli malzemeyi tellerine entegre etmiştir ve bu şekilde üretilmiş tellerin tınısını ve parlaklığını uzun süre koruduğunu belirtmektedir (W. L. Gore & Associates, t.y.). Professor String'e (t.y.) göre, polimer kaplamalar telin üzerine elastik bir katman olarak eklendiği için hem telin sönümlemesini arttırmakta hem de ek bir kütle oluşturduğu için telin üst frekanslarda oluşturduğu sinyallerin çıkış gücünü azaltmaktadır.

2.3.4. Modern Kaplama Teknolojilerinin Gelişimi

Tel kaplama teknolojilerindeki gelişmelerin hem tel ömrünü hem de (piyasa beklentilerine göre) tınıyı olumlu yönde etkilediği düşünülmektedir. Elixir firmasının geliştirdiği POLYWEB® teknolojesi, telin dış yüzeyini tamamen saran bir yapıdır ve teli dış etkenlerden korumaktadır (W. L. Gore & Associates, t.y.). Diğer bir kaplama modeli olan NANOWEB® kaplama ise tınıya daha az müdahalede bulunarak doğal tını karakterini korumayı hedefleyerek geliştirilmiştir. 2017 yılında sunulan OPTIWEB™ kaplama, müzisyenlere kaplamasız tellerin çalım hissine yakın bir performans sağlamaktadır (W. L. Gore & Associates, t.y.). Hebestreit ve Myers (2003)'e göre, genişletilmiş PTFE, PTFE'nin belirli bir yönde hızlı şekilde gerilerek genişletilmesiyle elde edilir. Bu işlemin sonucunda genişletilmiş PTFE malzemesi

olağanüstü bir esneklik, genişleme yönünde yüksek mukavemet ve uyum sağlama özellikleri kazanır.

2.4. Welch Yöntemi ve STFT Analiz Yöntemleri

2.4.1. Kısa Süreli Fourier Dönüşümü (STFT)

Zaman alanındaki bir ses dalgası, frekans bileşenlerine ayrıştırılmak üzere “Fourier dönüşümü” adı verilen bir yöntemle frekans alanına dönüştürülür (Gallagher, 2009, s. 77).

Kısa Süreli Fourier Dönüşümü (STFT), durağan olmayan sinyallerin zaman-frekans analizinde en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir. STFT’nin temel prensibi, sinyali küçük zaman segmentlerine bölerek her bir segment üzerinde Fourier dönüşümü uygulanmasıdır. Böylece, her bir zaman diliminde geçerli olan frekans bileşenleri belirlenebilir. Bu yöntem, sinyalin zamana göre değişen frekans yapısının ortaya konulmasına olanak tanır (Cohen, 1995).

Sürekli zamanlı bir sinyal $x(t)$ için STFT matematiksel olarak şu şekilde tanımlanır:

$$X(\tau, \omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) w(t - \tau) e^{-j\omega t} dt$$

Burada $x(t)$: Zamanla değişen sinyal, $w(t - \tau)$ merkezi τ olan ve tanımlanan pencere fonksiyonu, ω : Açısal frekans (radyan/saniye). Bu dönüşümle elde edilen $X(\tau, \omega)$ fonksiyonu, her bir τ anındaki frekans içeriklerini göstermektedir.

Dijital ortamda örneklenmiş bir sinyal $x[n]$ için STFT tanımı ise şu şekildedir:

$$X(m, \omega) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} x[n] w[n - m] e^{-j\omega n}$$

Veya örnekleme frekansı f_s cinsinden:

$$X(m, f) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} x[n] w[n - m] e^{-j2\pi f n}$$

Bu yöntem, zamanla değişen frekansları sınırlandırıp analiz etmek için çok kullanışlıdır. Ses sinyali daha küçük parçalara bölündüğünde zaman analizi daha detaylı sonuç vermekte fakat frekans detayları azalmaktadır. Sinyali daha büyük

parçalara böldüğümüz zaman ise frekans bilgileri daha detaylı elde edilir fakat zaman bilgilerinin detayları kaybolur. Bu durum Heisenberg'in belirsizlik ilkesiyle rahatlıkla açıklanabilir:

$$\Delta t \cdot \Delta f \geq \frac{1}{4\pi}$$

Δt : Zaman çözünürlüğü (pencere genişliği), Δf : Frekans çözünürlüğüdür.

Heisenberg'in bu ilkesi zaman çözünürlüğü ve frekans çözünürlüğü arasında ters bir orantı olduğunu göstermektedir.

STFT, müzik analizi ve biyomedikal sinyal işleme gibi alanlarda kullanılmaktadır. Zaman-frekans analizinde kullanılmakta olan en önemli tekniktir.

2.4.2. Welch Yöntemi

Güç Spektral Yoğunluğu (Power Spectral Density - PSD), bir sinyalin enerji yoğunluğunun frekansla ilişkisini incelemek için kullanılan bir yöntemdir. Ancak Fourier dönüşümüne dayanan spektrum tahmin teknikleri, özellikle kısa kayıtlar üzerinde çalışıldığında yüksek gürültü ve varyans sorunu yaratabilmektedir. Bu gibi eksiklikleri gidermek için Welch (1967), sinyali birbirini kısmen örten parçalara bölerek her bir parçada modifiye edilmiş periodogram hesaplamayı ve sonuçları ortalayarak daha kararlı bir spektral yoğunluk tahmini elde etmeyi önermiştir. Böylece, varyansın azaltılması sağlanırken, spektral çözünürlük üzerinde de kontrol sağlanabilmektedir (Welch, 1967).

Welch Yöntemi, sinyali birbirini kısmen örtüşen parçalara ayırır. Her bir parçaya pencereleme fonksiyonu uygulanır ve Fourier dönüşümü alınır. Daha sonra her parçanın spektrumu hesaplanır ve elde edilen spektrumlar ortalanarak kesin spektral tahmin elde üretilir. Bu yöntem varyansı azaltırken, frekans çözünürlüğünü de büyük ölçüde korur.

Welch yöntemiyle elde edilen PSD tahmini aşağıdaki şekilde gösterilir:

$$\hat{S}_{xx}(f) = \left(\frac{1}{K} \right) \sum_{k=1}^K \left(\frac{1}{U} \right) \left| \sum_{n=0}^{N-1} x_k(n) w(n) e^{-j2\pi f n} \right|^2$$

Burada $x_k(n)$ k-inci segmente ait sinyal örneklerini, $w(n)$ pencere fonksiyonunu, K toplam segment sayısını ve U pencereleme fonksiyonunun enerji normunu göstermektedir:

$$U = \left(\frac{1}{N}\right) \sum_{n=0}^{N-1} w^2(n)$$

Bu yöntem, klasik spektrum tahmin yöntemlerinde görülen yüksek varyans problemini azaltarak daha uygun bir spektral tahmine olanak sağlamaktadır (Welch, 1967).

2.5. Kimyasal Analiz Tekniklerine Dair Literatür İncelemesi

Bas gitar tellerinin kimyasal bileşenlerini yüksek hassasiyetler belirleyebildiği için ICP-MS (Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry) yöntemi tercih edildi. ICP-MS, ppt-ppm aralığında dedeksiyon sınırları sunduğu için diğer analiz yöntemlerine göre avantajlı bir yöntemdir. Bu yöntem çevresel, biyolojik ve gıda temelli numunelerde kullanıldığı gibi müzik teli gibi metalik yapılar için de aynı doğrulukta kullanılabilir. Birden fazla elementi tespit edebilme kapasitesi, tel örneklerinde kullanılmış eser miktarlardaki elementlerin tespit edilmesinde kolaylık sağlayabilmektedir (Caner, 2014).

FE-SEM (Field Emission Scanning Electron Microscopy) yöntemi, malzeme yüzeyindeki mikro yapısal detayları gözlemlemeye olanak sağlamaktadır ve polimer, seramik, metal gibi farklı malzemelerin yüzey analizlerinde tercih edilmektedir.

FE-SEM düzeneğinde, elektron tabancası aracılığıyla üretilen elektronlar elektromanyetik merceklerle odaklanır. Bu elektronlar, numune atomları ile elastik ve inelastik etkileşimler kurarak yüzeyin 1–3 mikrometre derinliğinden ikincil elektronlar ve X-ışınları üretir. Ortaya çıkan bu parçacıklar dedektörler tarafından sinyallere dönüştürülür ve görüntü ekranında örnek yüzeyinin detaylı görüntüsü oluşturulur. Böylece, hem yüzey topografisi hem de EDX dedektörü aracılığıyla bölgesel elementel analiz yapılabilir hale gelir (Karaduman, 2017).

3. BULGULAR

Bu bölümde, çalışma boyunca elde edilen kimyasal ve tınsal analiz sonuçları yer almaktadır. Kimyasal analizler aracılığıyla, tellerin alaşım malzemelerinin içeriği ve yüzey yapılarına dair veriler elde edilmiştir. Tınsal analizlerde ise her bir telin zamana bağlı frekans dağılımı ve spektrum özellikleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Bulgular, hem kaplamalı hem de kaplamasız teller açısından ayrı ayrı ele alınmıştır.

3.1. Numuneler

Çalışmada, bas gitar tellerinin elementel yapısına bağlı olarak ses tınlarında meydana gelen değişikliklerin tespiti amaçlanmış, piyasada bulunan 3 farklı markanın 7 farklı bas gitar telinden alınan kesitleri ile analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz örnekleri belirlenirken ambalajı açılmamış ürünler tercih edilerek aşınma ve/veya herhangi bir kontaminasyon riskine karşı önlem alınması hedeflenmiştir. Tablo 1’de, analizlerde kullanılan bas gitar teli marka, model ve fiziksel özellikleri ile ilgili bilgiler verilmiştir. Ayrıca, tez boyunca ilgili grafik ve tablo açıklamalarında, Tablo 1’de sunulan kodlar aracılığıyla bas gitar teli örneklerine atıfta bulunulmuştur. Bu kodlar, marka isimlerinin anonim kalmasını sağlayacak şekilde temsili biçimde oluşturulmuş ve şu yapıyı takip edecek şekilde sistematikleştirilmiştir:

[Marka]_[Model]_[C]

Burada; ilk bileşen telin ait olduğu markayı, ikinci bileşen model veya seriyi, üçüncü bileşen ise telin polimer kaplamalı olması durumunda kullanılan “C” harfini temsil etmektedir. Kaplamasız tellere ilişkin kodlarda bu kısım boş bırakılmıştır.

Tablo 1. Çalışmada Kullanılan Gitar Teli Örnekleri

Bas Gitar Teli Kodu	Kaplamalı/Kapl	Tel Malzemesi	Kalınlık
A_A_	Kaplamasız	Nikel-Paslanmaz Çelik	2.16mm
A_B	Kaplamasız	Kobalt-Paslanmaz Çelik	2.16mm
A_C_C	Kaplamalı	Nikel-Paslanmaz Çelik	2.16mm
B_A	Kaplamasız	Nikel-Paslanmaz Çelik	2.03mm
B_B_C	Kaplamalı	Nikel-Paslanmaz Çelik	2.03mm
B_C_C	Kaplamalı	Nikel-Paslanmaz Çelik	2.03mm
C_A_C	Kaplamalı	Nikel-Paslanmaz Çelik	2.16mm

Ses tınlarının üzerindeki etkilerinin incelenmesi amacıyla, çalışmada 3 adet kaplamasız (A_A, A_B ve B_A) 4 adet farklı polimer malzemeler ile kaplanmış bas gitar telleri (A_C_C, B_B_C, B_C_C ve C_A_C) kullanılmıştır. Analizlerin gerçekleştirilmesi amacıyla kullanılmamış gitar tellerinin belirlenen bölgelerinden 7.0 cm'lik kesitler alınmıştır.

3.2. Kimyasal Analiz Bulguları

3.2.1. ICP-MS Analizi Sonuçları

Analizleri gerçekleştirecek olan 7 farklı gitar teli örneğinin Agilent 7700 ICP-MS sisteminde tayini öncesinde numuneler analize uygun hale getirilmek üzere mikrodalga çözündürme işlemine tabi tutulmuştur. Katı numuneler xx mL nitrik asit (HNO₃) çözeltisi (Merck, 65%, /wv) ile karıştırılmış, mikrodalga çözündürme sisteminde yüksek sabit basınç (100 bar) ve zamanla değişen bir sıcaklık programlanması uygulanmıştır. Elde edilen sıvı numuneler uygun seyreltme işlemlerinin ardından ICP-MS sisteminde hedef analitlerin tespiti ve tayinini sağlamak amacıyla analiz edilmiştir.

Tablo 2'de kaplamasız gitar tellerine ait sonuçlar sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar, ICP-MS sisteminde eş koşullarda bilinen element derişimlerinde bir seri olarak

hazırlanan standart karışım çözeltileri ile elde edilen kalibrasyon doğruları kullanılmış, en az 3 tekrarlı ölçümlerin ortalama değerleri dikkate alınarak hesaplanmıştır. Örnek içerisindeki element miktarını belirlemek için o analite ait kalibrasyon doğru denklemi ($y = mx \pm n$) kullanılarak derişim değeri bulunmuştur. Mutlak derişimin belirlenmesinde örneklere uygulanan seyreltme işlemleri de hesaplamaya dahil edilmiştir.

Tablo 2. Kaplamasız Gitar Tellerinin Elementel Kompozisyonuna Ait ICP-MS Sonuçları

Element	Derişim		
	A_A	A_B	B_A
Al, µg/g	7.38 ± 0.11	0.97 ± 0.06	6.33 ± 0.10
Cr, µg/g	145.0 ± 2.3	$1.35 \pm 0.02^*$	134.7 ± 2.2
Mn, µg/g	2534 ± 84	2113 ± 70	2599 ± 86
Fe, %	47.26 ± 1.09	41.84 ± 0.96	47.72 ± 1.10
Co, µg/g	14.99 ± 0.78	7.69 ± 0.40	84.50 ± 4.39
Ni, %	2.021 ± 0.038	1.127 ± 0.021	4.481 ± 0.085
Cu, µg/g	216.5 ± 6.1	82.20 ± 2.30	576.1 ± 16.1
As, µg/g	17.14 ± 0.70	170.4 ± 6.9	21.04 ± 0.86
Zr, ng/g	< 48.00	< 37.30	< 47.89
Ag, µg/g	$< 18.65^{**}$	1.84 ± 0.08	1.55 ± 0.06
Cd, ng/g	747.6 ± 30.7	116.7 ± 4.8	< 23.95
Pb, ng/g	1262 ± 18.2	620.5 ± 8.9	3950 ± 57
Ti, µg/g	2.71 ± 0.08	1.30 ± 0.04	± 0.09

*% derişim; **ng/g

Elde edilen sonuçlara bakıldığında, kaplamasız bas gitar teli örneklerinde ferromanyetik özellik gösteren elementlerin yüksek derişime sahip olduğu dikkat çekmektedir. Telin titreşimsel hareketlerinin manyetik alan etkisiyle rezonans oluşumuna bağlı olarak sesin oluşumu ve yayılımına sebep olduğu düşünüldüğünde, yüksek manyetik alan oluşturma eğiliminde olan bu elementlerin kullanılmasının sesin homojen yayılmasına fayda sağlayacağı öngörülebilmektedir. Bunun dışında mukavemet ve oksidasyona direnç özelliği gösteren metallerin kullanılması ile telin darbelere karşı direnci ve hava ile temasa bağlı oluşabilecek bozunmaların önüne geçilmesinin amaçlandığı söylenebilir.

Tablo 2. Kaplamalı Bas Gitar Tellerinin Elementel Kompozisyonuna Ait ICP-MS Sonuçları

Element	Derişim			
	A C C	B B C	B C C	C A C
Al, µg/g	4.81 ± 0.08	10.31 ± 0.17	7.40 ± 0.12	3.41 ± 0.05
Cr, µg/g	214.2 ± 3.4	421.9 ± 6.8	133.2 ± 2.1	81.71 ± 1.31
Mn, µg/g	3088 ± 102	2909 ± 96	2383 ± 79	918.8 ± 30.3
Fe, %	52.57 ± 1.21	52.37 ± 1.20	47.47 ± 1.09	52.59 ± 1.21
Co, µg/g	15.76 ± 0.82	355.7 ± 18.5	104.3 ± 5.4	15.56 ± 0.81
Ni, %	3.450 ± 0.066	4.875 ± 0.093	4.554 ± 0.086	2.151 ± 0.040
Cu, µg/g	150.4 ± 4.2	1167 ± 33	551.0 ± 15.4	4348 ± 122
As, µg/g	13.47 ± 0.55	27.76 ± 1.14	17.28 ± 0.71	7.10 ± 0.29
Zr, ng/g	< 37.17	< 55.71	< 51.54	< 53.93
Ag, µg/g	0.34 ± 0.01	1.44 ± 0.06	1.23 ± 0.05	1.36 ± 0.06
Cd, ng/g	< 18.59	721.2 ± 29.6	< 25.77	< 26.97
Pb, ng/g	1125 ± 16.2	2509 ± 36	3166 ± 46	1406 ± 20
Ti, µg/g	3.00 ± 0.09	4.66 ± 0.14	6.01 ± 0.17	± 5.5

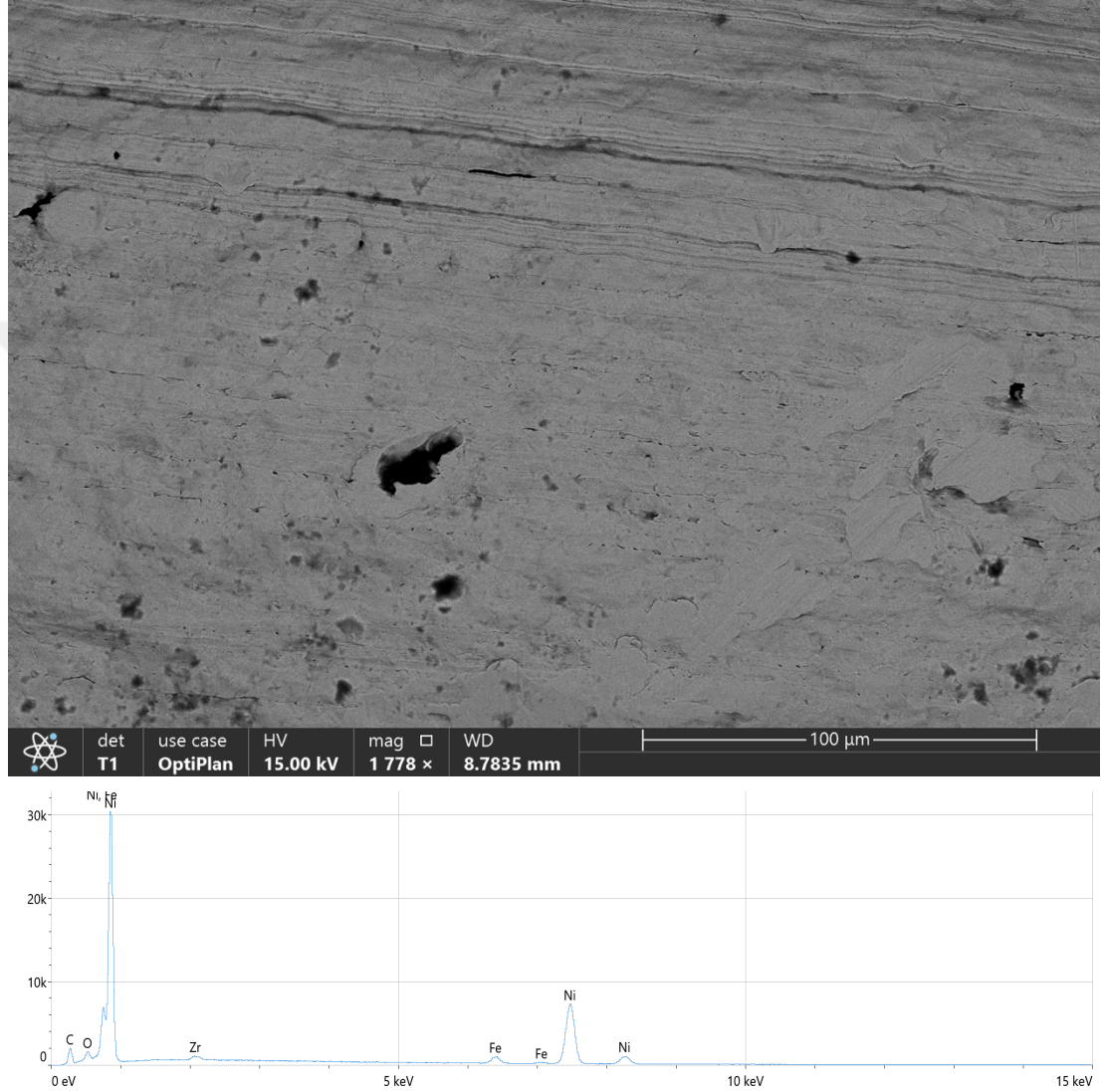
Kaplamalı bas gitar tellerinin elemental kompozisyonuna ait ICP-MS sonuçları Tablo 3'te detaylı olarak sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, polimer kaplamalı bas gitar teli örneklerinde ferromanyetik özellik gösteren elementlerin (özellikle Fe, Cr, Co ve Ni) yüksek derişimlerde bulunduğu, buna ek olarak çeşitli dayanım ve kaplama katkı maddelerinin (Al, Ti, Cu gibi) da dikkate değer oranlarda yer aldığı görülmüştür. Özellikle Cr ve Co gibi elementlerin kaplamalı tellerde yüksek miktarda bulunması, bu tellerin manyetik alan etkileşimini ve rezonans yapısını güçlendirme ihtimalini artırmaktadır. Bunun yanı sıra, Alüminyum, Titanyum ve Bakır gibi elementlerin varlığı hem oksidatif direnci artırmakta hem de tel yüzeyinde kaplamanın tutunabilirliğini iyileştirerek uzun ömürlü bir kullanım sağlamaktadır. Kaplamalı tellerde ayrıca bazı ağır metallerin (Pb, Cd, As) miktar olarak görece daha yüksek bulunduğu gözlemlenmektedir. Bu durum, üretim sürecinde uygulanan endüstriyel işlemlerin varlığını işaret etmekte ve kaplamanın yalnızca fiziksel değil, kimyasal yapıyı da önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir.

3.2.2. FE-SEM ve EDX Analiz Bulguları

Analizlerde elde edilen FE-SEM görüntülerinde anlamlı bir fark gözlemlenmemiş olsa da, kaplamasız gitar tellerinin bazılarının gözenekli yapıda olduğu ve vuruşlarda tekrarlanabilirlik açısından olumsuz sonuçlar ile çalım konforunu bozabilecek etkiler gösterebileceği görülmüştür. EDX analizlerinde ICP-MS analiz sonuçlarına benzer

olarak yüksek derişimlerde bulunan elementlere ait yüksek derişimlerde elementler bulunmasına rağmen Şekil 9. Ve Şekil 11.'de görüldüğü gibi A_C_C ve B_B_C isimli tel örneklerinde görülen yüksek karbon oranı, kullanılan polimer kaplamanın ekstra bir kalınlığa sahip olduğu sonucunu vermiştir.

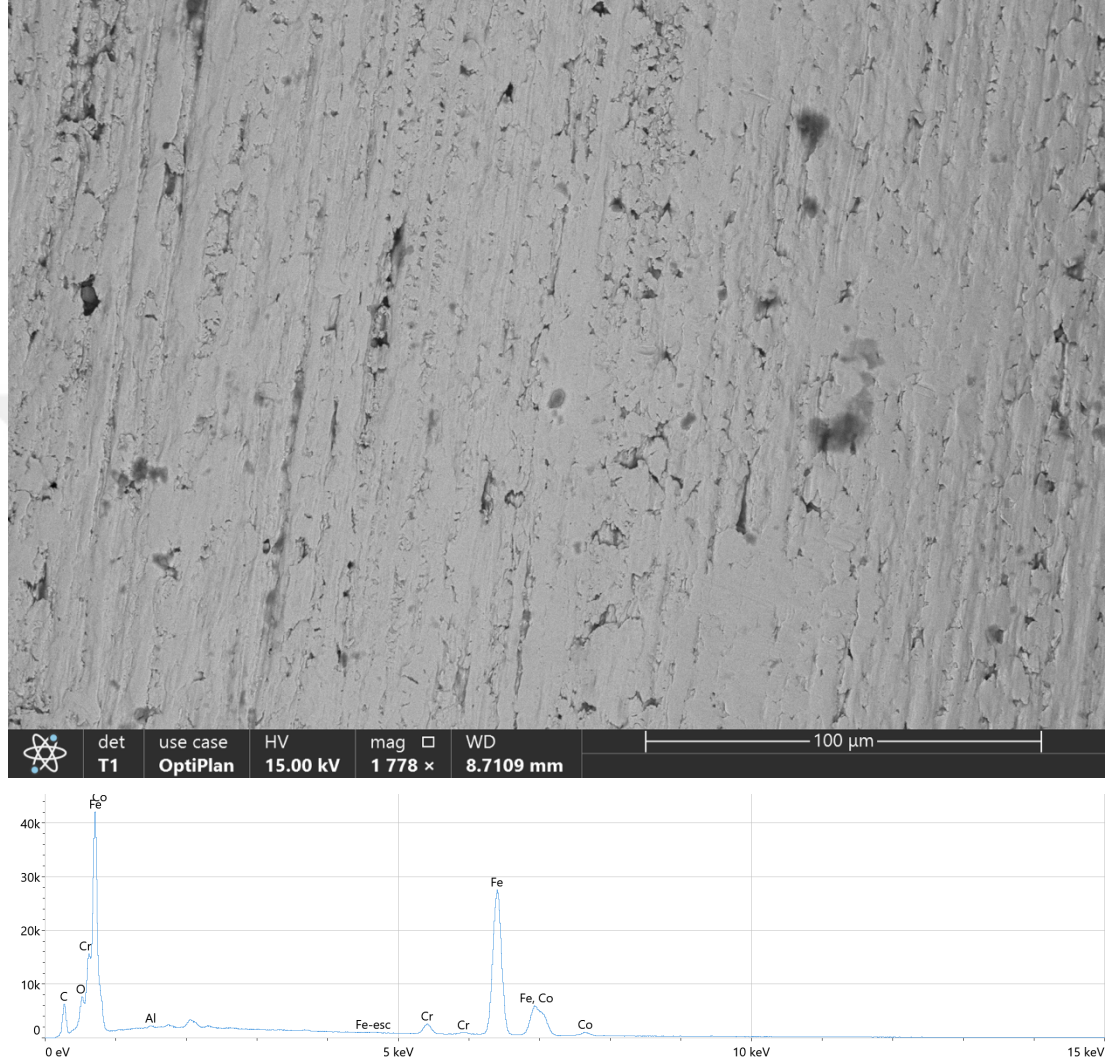
Şekil 7. A_A Bas Gitar Tel Örneğine Ait FESEM Görüntüsü Ve EDX Sonuçları



Şekil 7.'de A_A bas gitar tel örneğine ait FESEM görüntüsü ve EDX analizi yer almaktadır. FESEM görüntüsünde tel yüzeyinde belirgin mikroskobik gözenekler, yüzey çatlakları ve düzensizlikler gözlemlenmektedir. Yüzeydeki bu pürüzlü yapı, hem çalım konforunu azaltabilir hem de tınısal özellikleri olumsuz etkileyebilir. Alt kısımda yer alan EDX spektrumu, telin yüzeyinde yüksek oranda Nikel (Ni) bulunduğunu, ayrıca Oksijen (O), Karbon (C), Demir (Fe) ve Zirkonyum (Zr) gibi

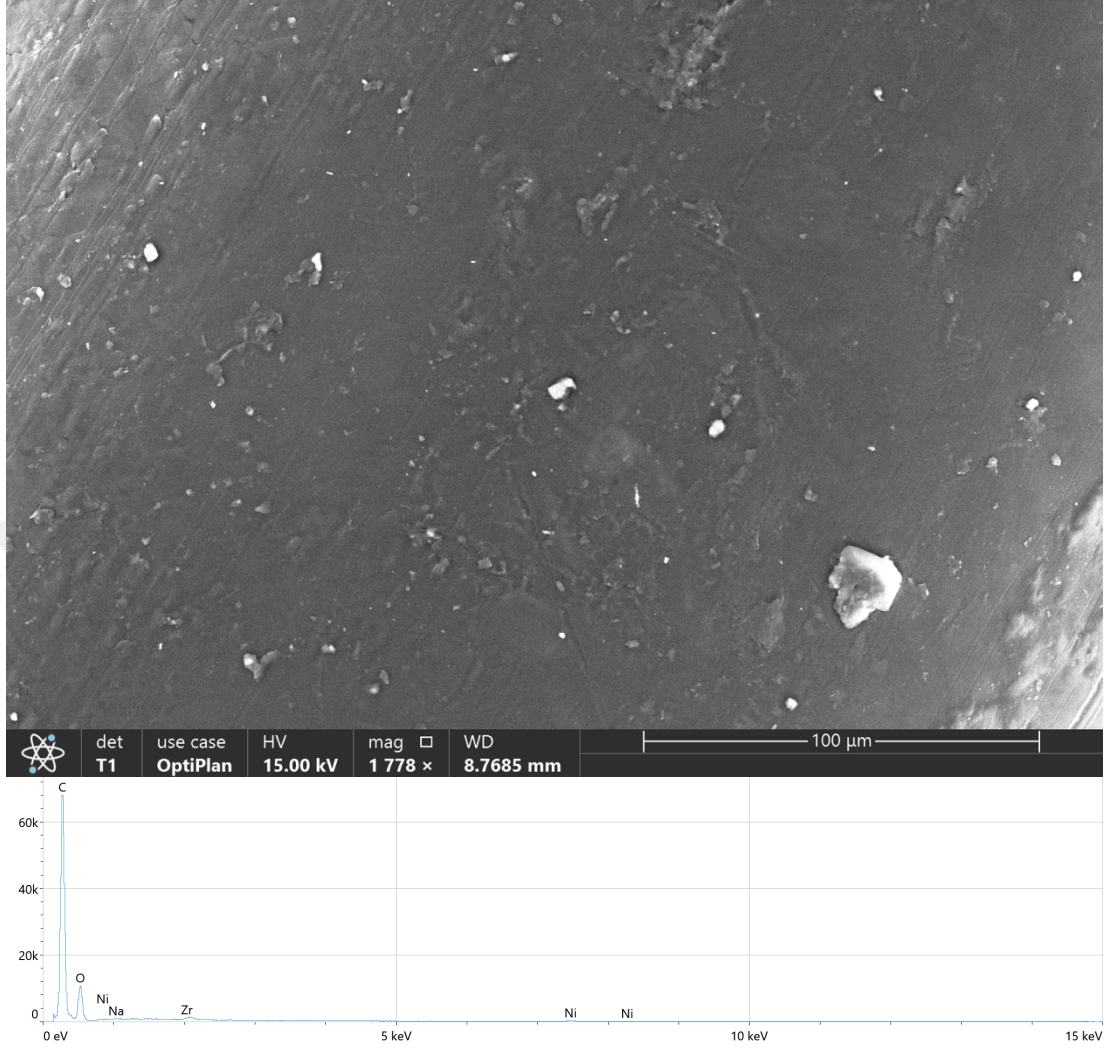
elementlerin de tespit edildiğini göstermektedir. Bu elementel birleşim telin manyetik özellikler gösterdiği hakkında bilgi vermektedir.

Şekil 8. A_B Bas Gitar Tel Örneğine Ait FESEM Görüntüsü Ve EDX Sonuçları



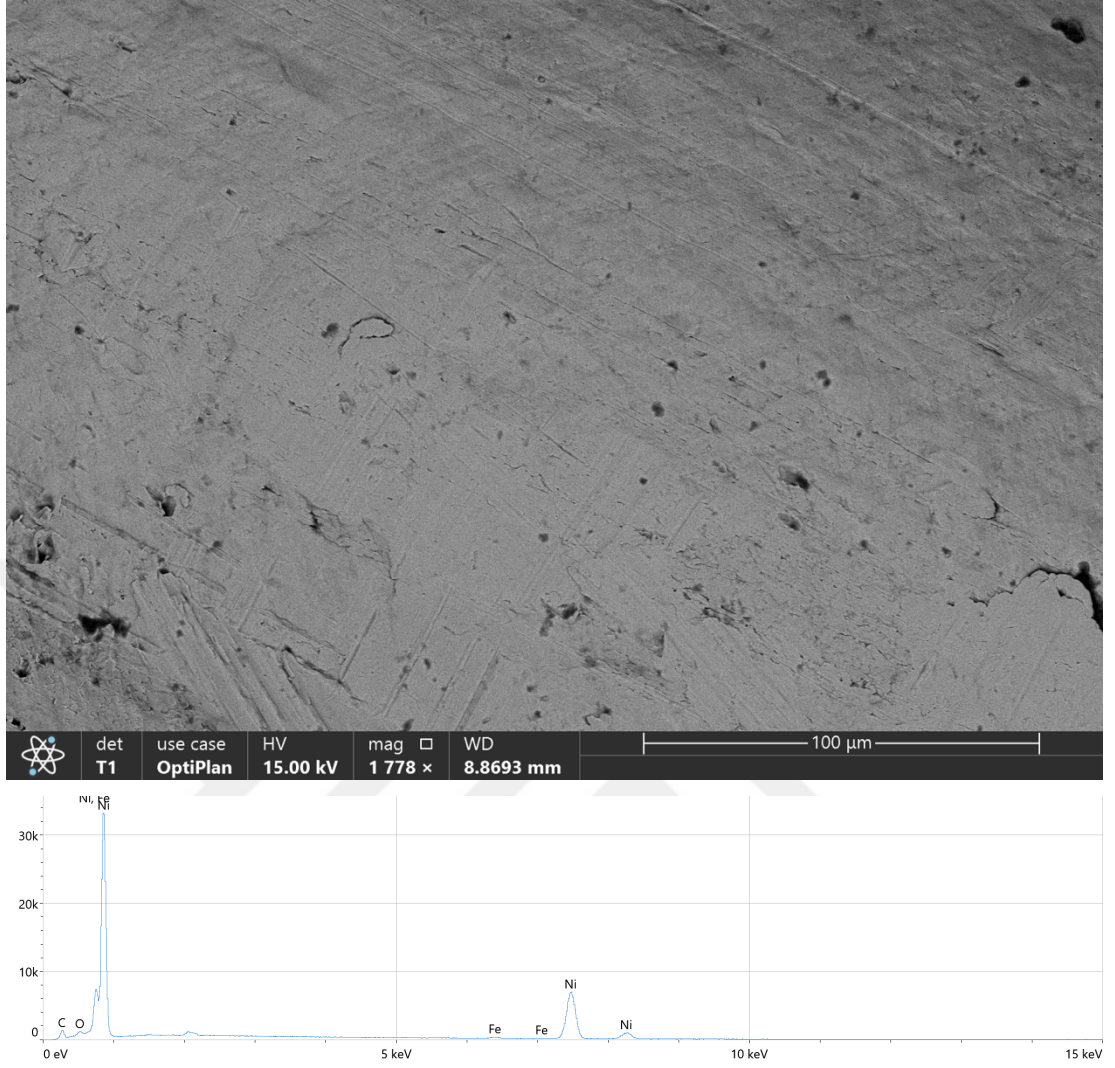
Şekil 8.'de A_B bas gitar tel örneğine ait FESEM görüntüsü ve EDX analiz sonuçları sunulmaktadır. FESEM görüntüsünde yüzeyin daha homojen bir yapıya sahip olduğu, çizgisel formulu düzgün hatların ve kaplamayı andıran bir yüzey tabakasının bulunduğu görülmektedir. Bu durum, telin daha özenli bir üretimden geçtiğini işaret etmektedir. Alt bölümde yer alan EDX spektrumunda ise yüksek yoğunlukta Demir (Fe) ve Kobalt (Co) elementleri dikkat çekerken, Alüminyum (Al), Krom (Cr), Oksijen(O) ve Karbon (C) gibi elementlerin varlığı da tespit edilmiştir.

Şekil 9 A_C_C Bas Gitar Tel Örneğine Ait FESEM Görüntüsü Ve EDX Sonuçları



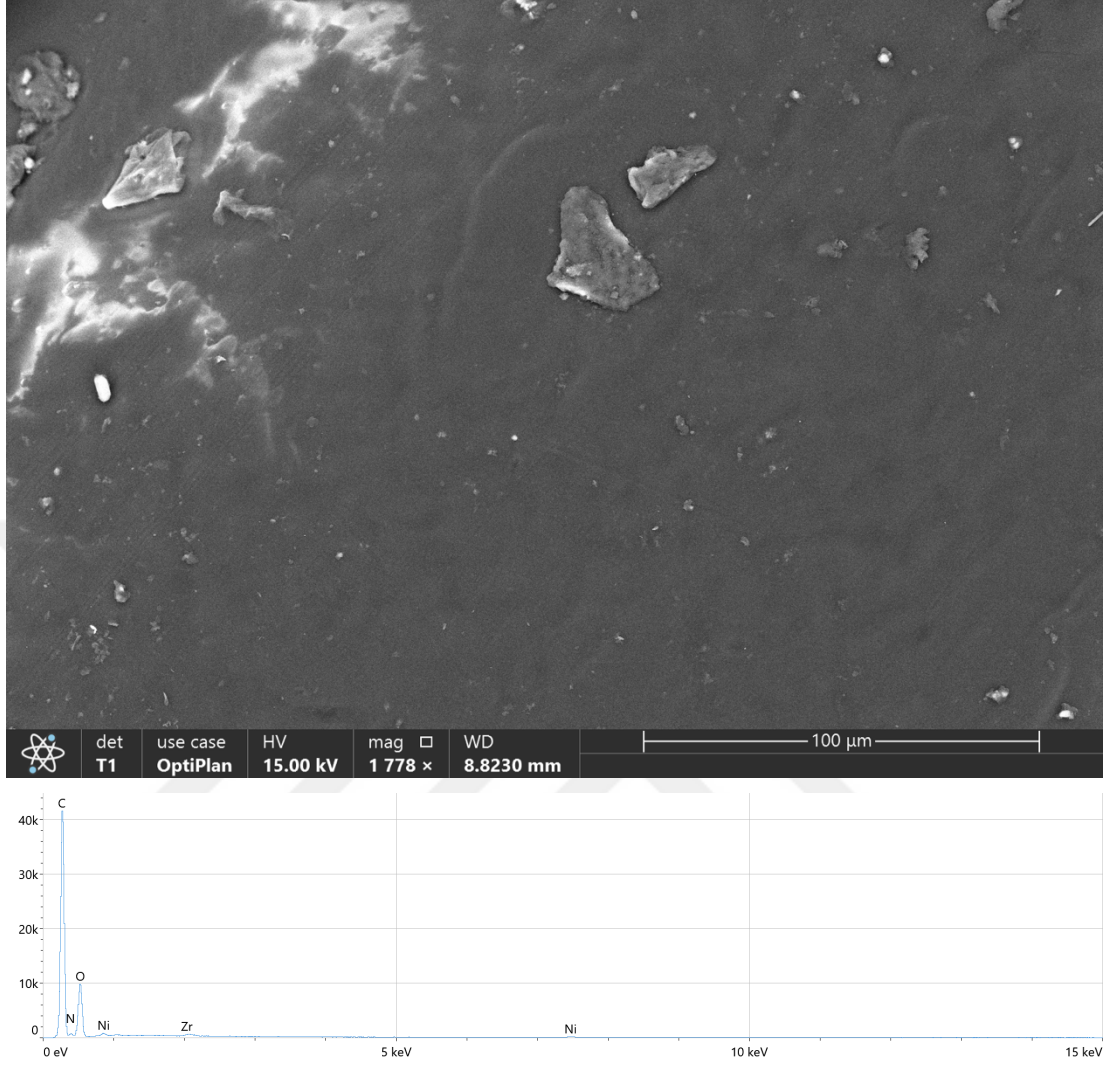
Şekil 9.'da A_C_C bas gitar tel örneğine ait FESEM görüntüsü ve EDX analizi sunulmaktadır. FESEM görüntüsünde yüzeyin oldukça düzgün ve homojen olduğu, pürüzlülüğün minimum seviyede kaldığı ve yüzey üzerinde belirgin bir kaplama tabakasının yer aldığı anlaşılmaktadır. Bu yapı, telin üzerindeki polimer kaplamaya işaretir.. Alt kısımda yer alan EDX spektrumunda ise özellikle Karbon (C) elementine ait yoğun sinyaller dikkat çekmektedir. Ayrıca düşük oranlarda Sodyum (Na), Nikel (Ni) ve Zirkonyum (Zr) gibi elementler de tespit edilmiştir. Karbon (C) miktarının bu kadar yüksek görünmesi kaplama kalınlığıyla doğru orantılıdır.

Şekil 10. B_A Gitar Tel Örneğine Ait FESEM Görüntüsü Ve EDX Sonuçları



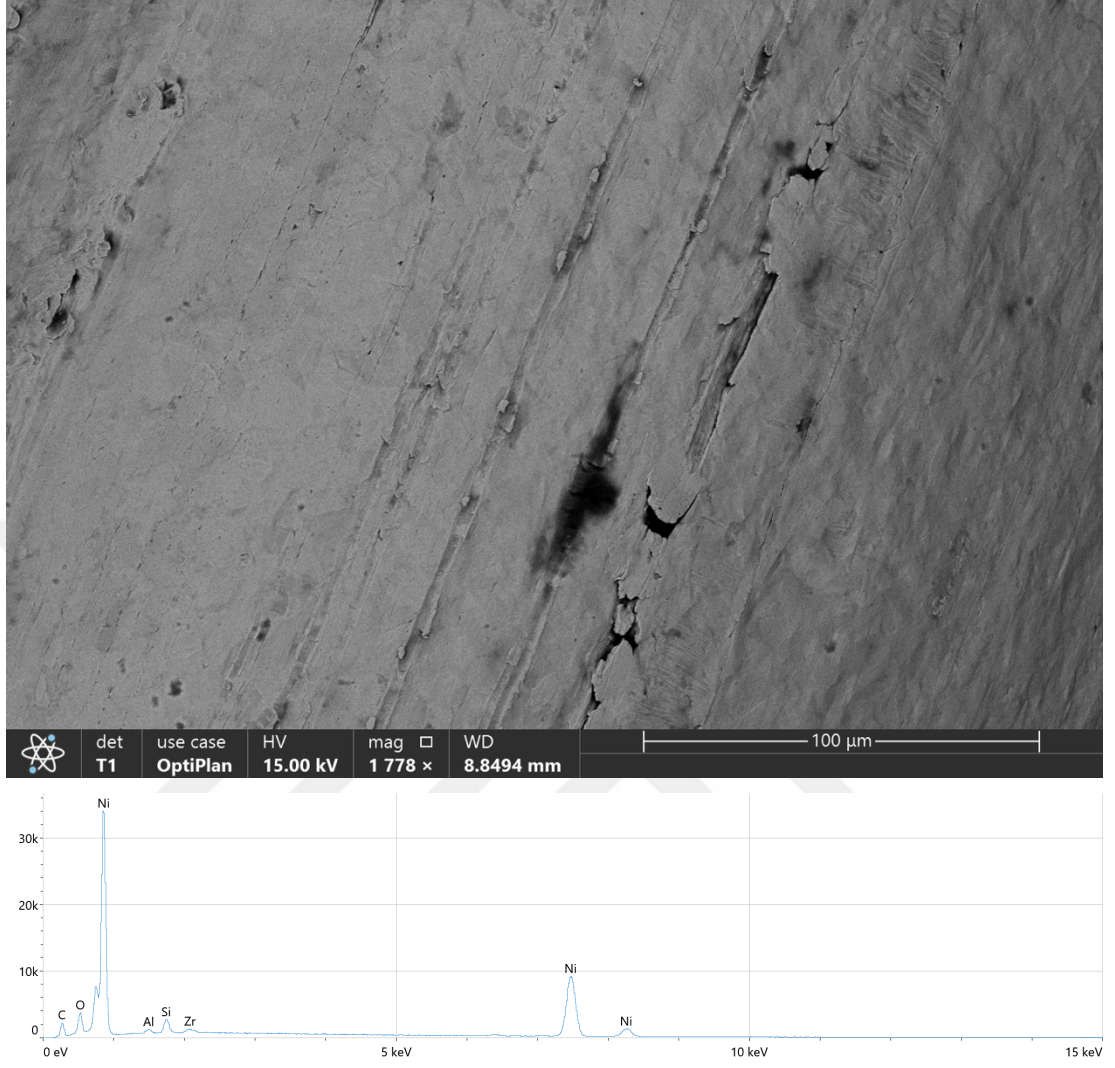
Şekil 10.'da B_A gitar tel örneğine ait FESEM görüntüsü ve EDX analiz sonuçları yer almaktadır. FESEM görüntüsünde yüzeyin düzensiz, pürüzlü ve yer yer çizik ya da çatlak benzeri deformasyonlar içerdiği gözlemlenmektedir. Yüzeydeki düzensiz görünüm çalım konforunu olumsuz etkileyebilecek seviyededir. EDX spektrumunda ise yüksek oranda Nikel (Ni) ve Demir (Fe) elementleriyle birlikte Oksijen (O) ve Karbon (C) tespit edilmiştir. Bu elementel kompozisyon, telin esas olarak manyetik ve metalik bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir.

Şekil 11. B_B_C Bas Gitar Tel Örneğine Ait FESEM Görüntüsü Ve EDX Sonuçları



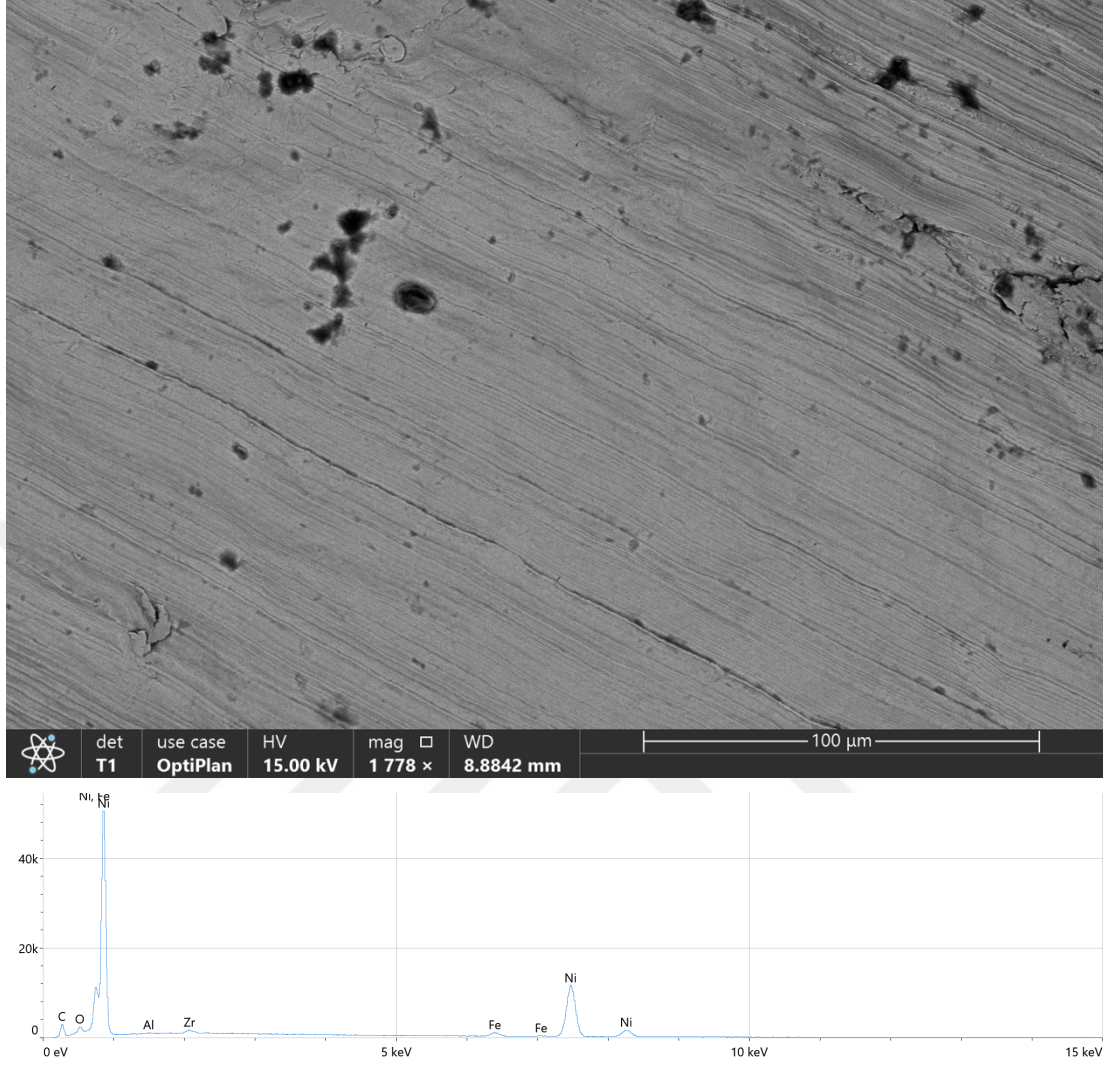
Şekil 11.'de B_B_C bas gitar tel örneğine ait FESEM görüntüsü ve EDX analizi yer almaktadır. FESEM görüntüsünde yüzeyin oldukça düzgün ve bütünlüklü bir kaplamayla çevrili olduğu fakat bazı bölgelerde büyük partiküller gözlemlenmektedir. Yüzeydeki bu düzensizlik, üretim sürecine veya dışsal kontaminasyonlara bağlı olabilir. Alt bölümde yer alan EDX spektrumunda Karbon (C), Oksijen (O) ve yüksek oranda Nikel (Ni) elementlerine ait belirgin pikler gözlemlenmiştir. Ayrıca Zirkonyum (Zr) elementinin varlığı da dikkat çekmektedir. Bu bileşim telin etrafını saran polimer kaplamanın kalınlığına işaret olarak görülmektedir.

Şekil 12. B_C_C Bas Gitar Tel Örneğine Ait FESEM Görüntüsü Ve EDX Sonuçları



Şekil 12.'de B_C_C bas gitar tel örneğine ait FESEM görüntüsü ve EDX analiz sonuçları sunulmaktadır. FESEM görüntüsünde yüzeyin belirgin çizik izleri ve çatlak oluşumları içerdiği görülmektedir. Yüzeydeki düzensizlikler ve yer yer oluşan boşluklar, telin çalım konforunu ve titreşim karakterini olumsuz etkileyebilecek potansiyeldedir. EDX spektrumunda ise yüksek yoğunlukta Nikel (Ni) tespit edilmiştir; buna ek olarak Oksijen (O), Alüminyum (Al), Silisyum (Si) ve Zirkonyum (Zr) elementleri de analizde yer almaktadır. Bu bileşim, telin temel metal yapısının yanında, olası kaplama kalıntıları ya da çevresel etkileşimler sonucu yüzeyde yer alan bazı elementlerin varlığını da göstermektedir.

Şekil 13. C_A_C Bas Gitar Tel Örneğine Ait FESEM Görüntüsü Ve EDX Sonuçları

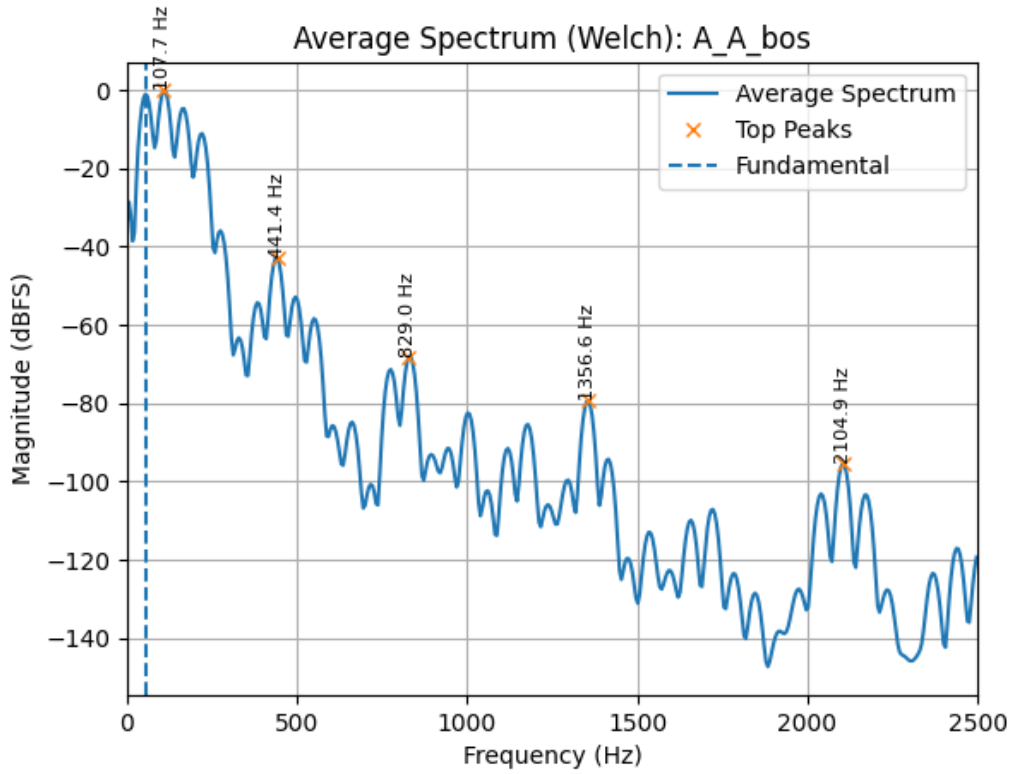


Şekil 13'te C_A_C bas gitar tel örneğine ait FESEM görüntüsü ve EDX analiz sonuçları sunulmaktadır. FESEM görüntüsünde yüzeyde paralel çizgisel deformasyonlar, çatlak benzeri hatlar ve yer yer çöküntüler dikkat çekmektedir. EDX analizinde ise yoğun şekilde Nikel (Ni) ve Demir (Fe) elementleri gözlemlenmiş, ayrıca Alüminyum (Al), Zirkonyum (Zr), Oksijen (O) ve Karbon (C) elementleri de tespit edilmiştir. Bu elementel çeşitlilik, telin alaşım yapısının yanı sıra, yüzeyde olası kaplama kalıntılarının veya çevresel etkilerin de izlerini taşıdığını göstermektedir.

3.3. Welchogram Spektrum Analizleri

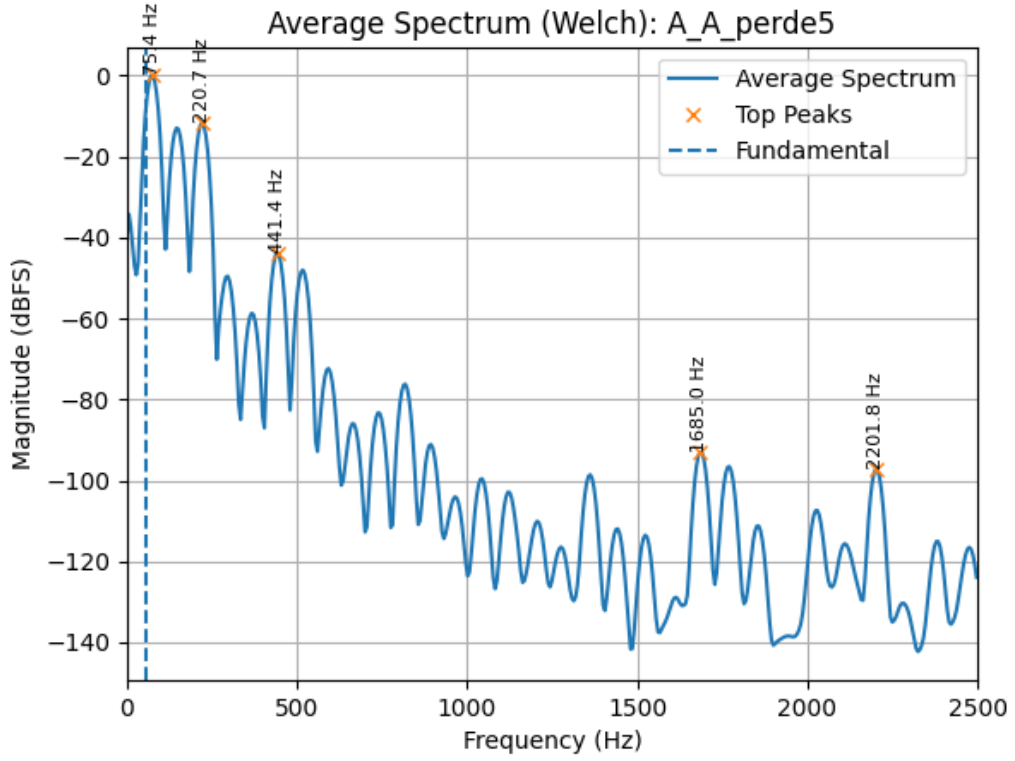
Şekil 14’de görüldüğü üzere, A markasının kaplamasız telinin spektrum grafiğinde, temel frekanslar belirgindir, özellikle üst doğuşkanlar dikkat çekmektedir. Yüksek enerjili bu üst doğuşkanlar, tınsal açıdan zenginlik sağlamaktadır.

Şekil 14. A_A Boş Tel Ortalama Spektrum Grafiği



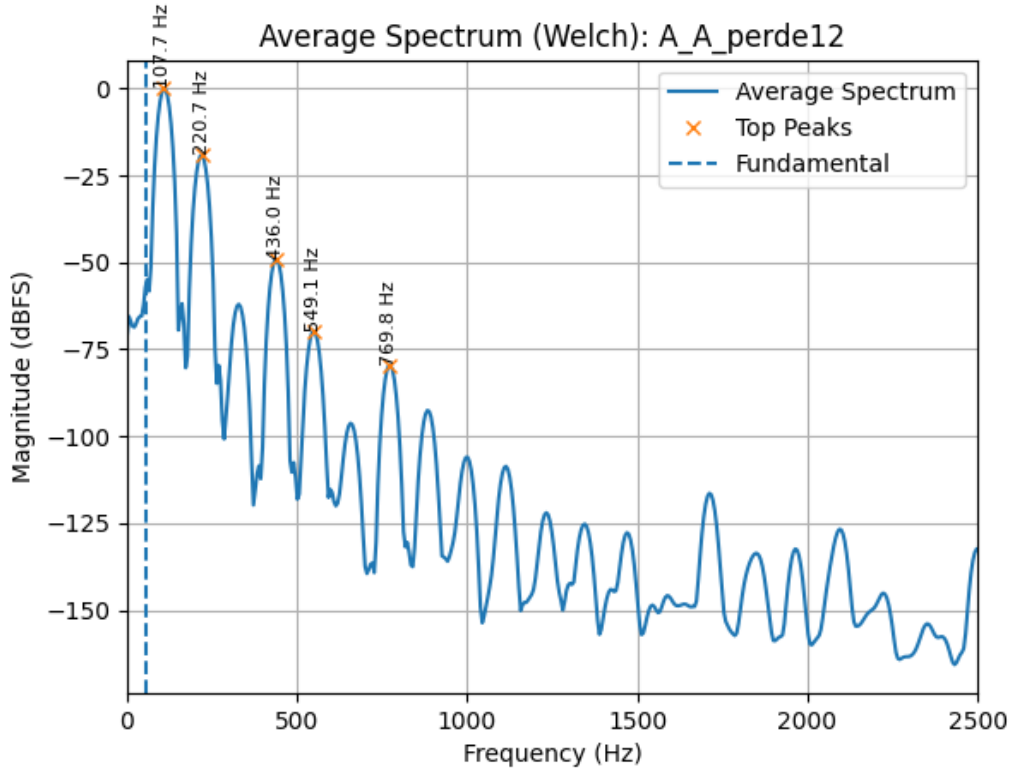
Şekil 15.'de A_A telinin 5. perdeye basılı çalım performansına ait Welch spektrumunu göstermektedir. Bu grafikte telin üst frekanslardaki enerjisini olabildiğince koruduğu ve parlak bir tınısal özellik gösterdiği gözlemlenmiştir.

Şekil 15. A_A 5. Perde Ortalama Spektrum Grafiği



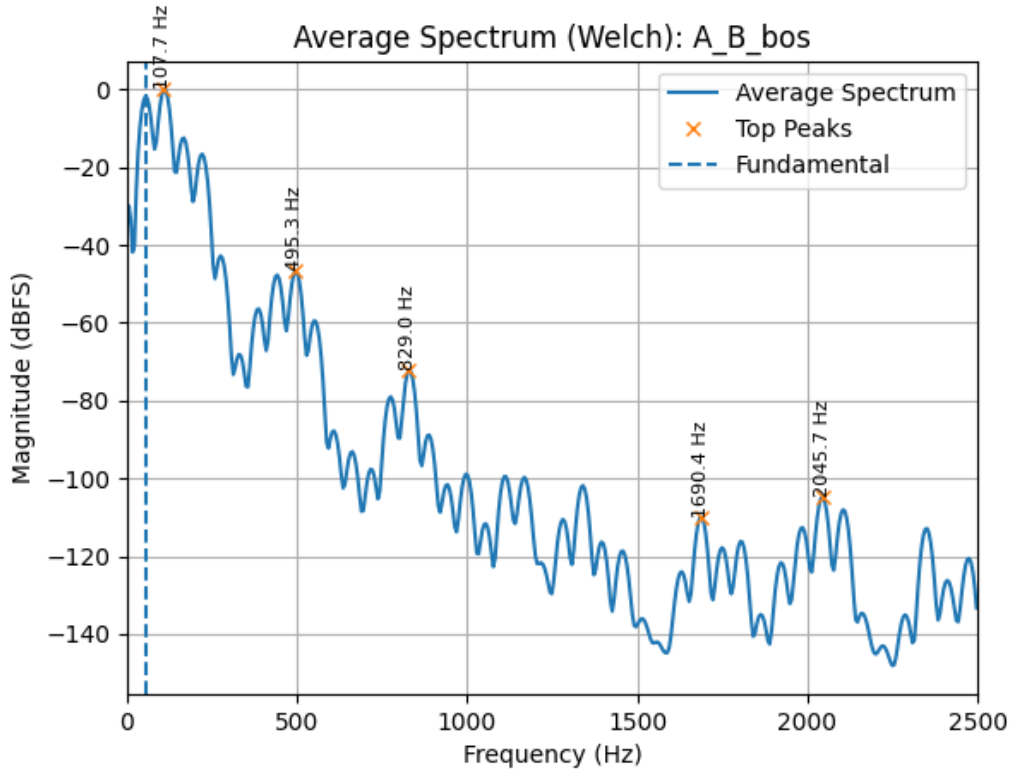
Şekil 16.'da A_A telinin 12. Perde performansına ait spektrum grafiğidir. Görüldüğü gibi tel 12. perdeye baskı uygulandığında doğal olarak salınımı kısıtlanmaya başlamış fakat yine belirgin bir parlak tını sunmuş.

Şekil 16. A_A 12. Perde Ortalama Spektrum Grafiği



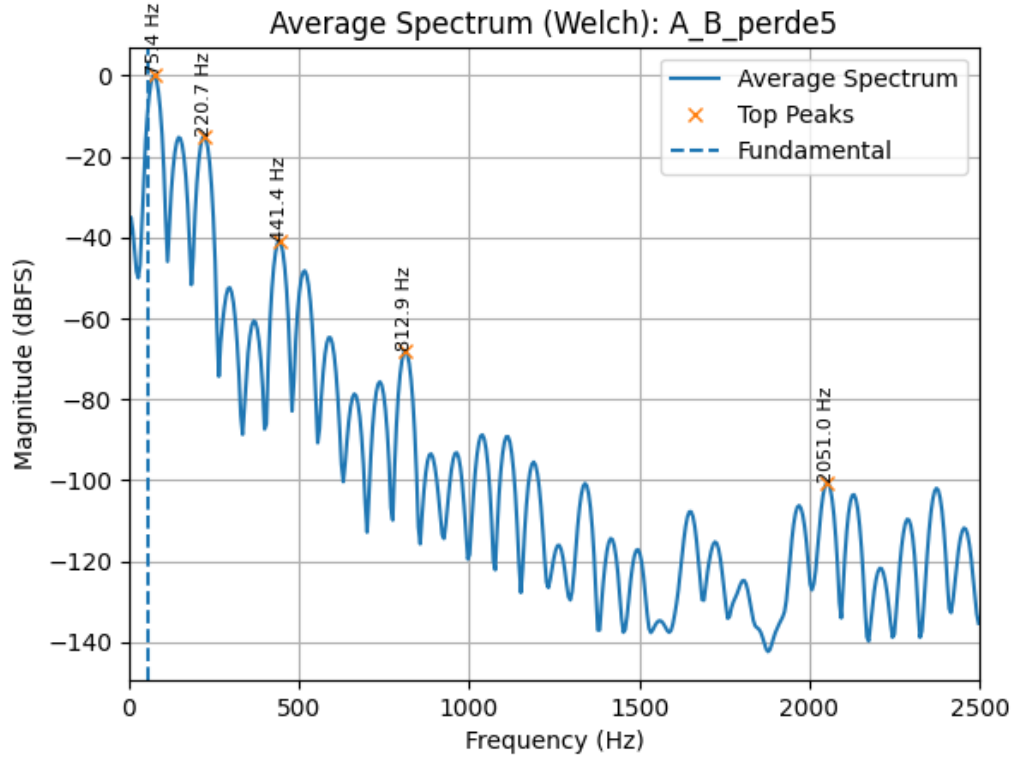
Şekil 17’de A_B telinin boş tel performansına ait spektrum grafiğini görmekteyiz. Bu grafiğe göre 1. doğuşkan temel frekansın biraz üstünde kalmış olmasına rağmen bütün harmonik yapı dengeli bir şekilde oluşmuştur. Özellikle 500-1000 Hz arası bölgedeki oluşan zirve bu telin detaylı ve parlak bir tınıya sahip olduğunu göstermektedir.

Şekil 17. A_B Boş Tel Ortalama Spektrum Grafiği



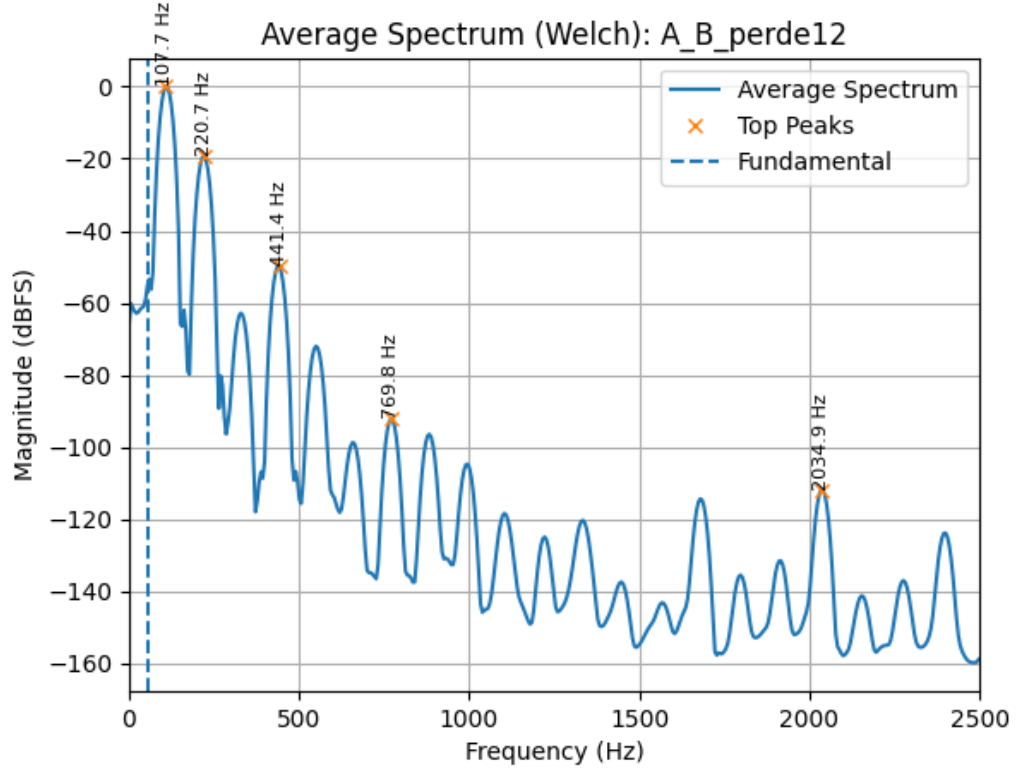
Şekil 18’de A_B telinin 5. perde performansına ait spektrum grafiği gözlemlenmektedir. Bu grafikte de şekil 17’de görünen duruma benzer bir sonuç gözlemlenmiştir.

Şekil 18. A_B 5. Perde Ortalama Spektrum Grafiği



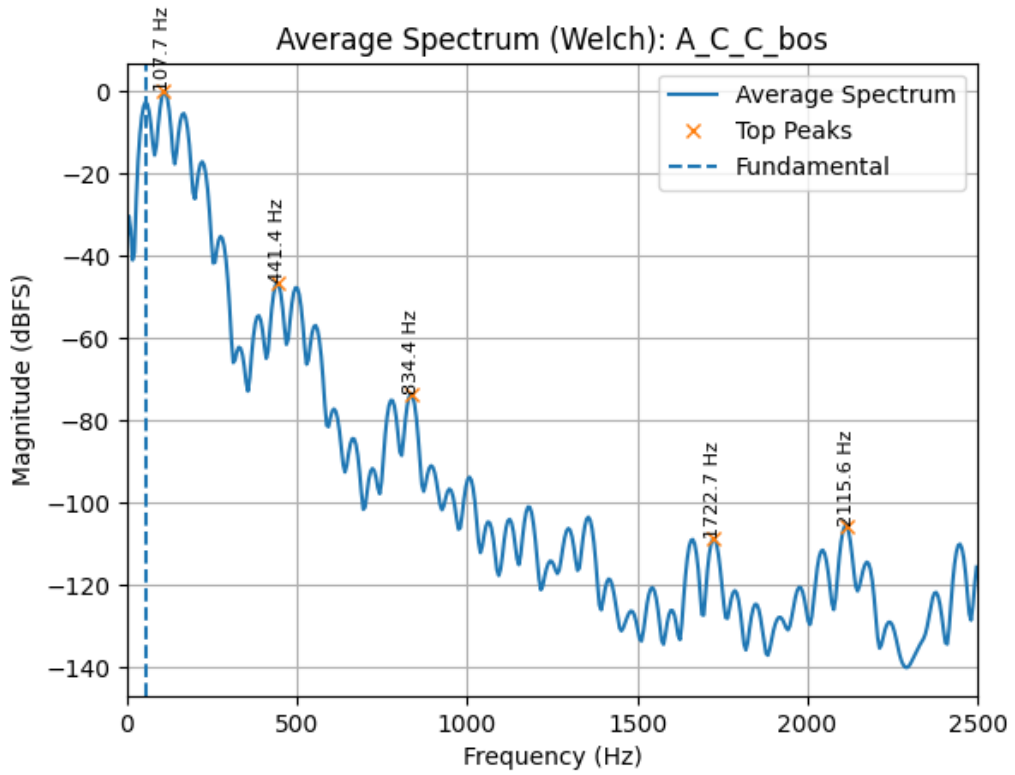
Şekil 19’da A_B telinin 12. perde performansı gözlemlenmektedir. Bu grafikte ise 12. perde performansında yine beklendiği gibi parlaklık azalmış fakat olabildiğince detaylı bir üst frekans performansı gözlemlenmiştir.

Şekil 19. A_B 12. Perde Ortalama Spektrum grafiği



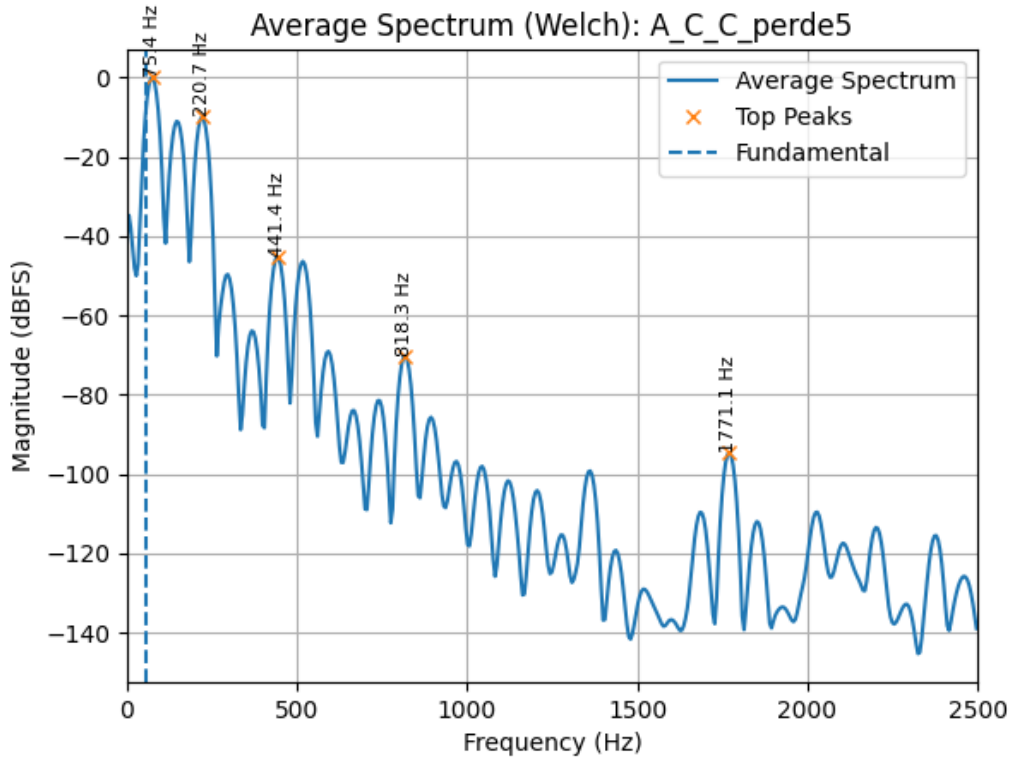
Şekil 20, A_C_C telinin boş tel performansına ait olan spektrum grafiğidir. Temel frekanslar belirgindir; fakat alt bölgelere toplanmış bir enerji görülmektedir. Alt frekanslarda, kaplamasız olan telle benzer özellik göstermektedir. Ancak özellikle 400 Hz bölgesinden sonra 1000 Hz civarına kadar düzenli bir düşüş gözlenmektedir. Bu düşüş, özellikle kaplamalı tellerin tınıyı nasıl sönümlediğine bir örnek olabilir. 1000Hz sonrası frekanslarda da dengeli bir durum gözlenmektedir. Yapılan kıyaslamada kaplamasız telin boş tel performansı, kaplamalı tele göre daha parlak ve dalgalı bir yapıdadır.

Şekil 20. A_C_C Boş Tel Ortalama Spektrum Grafiği



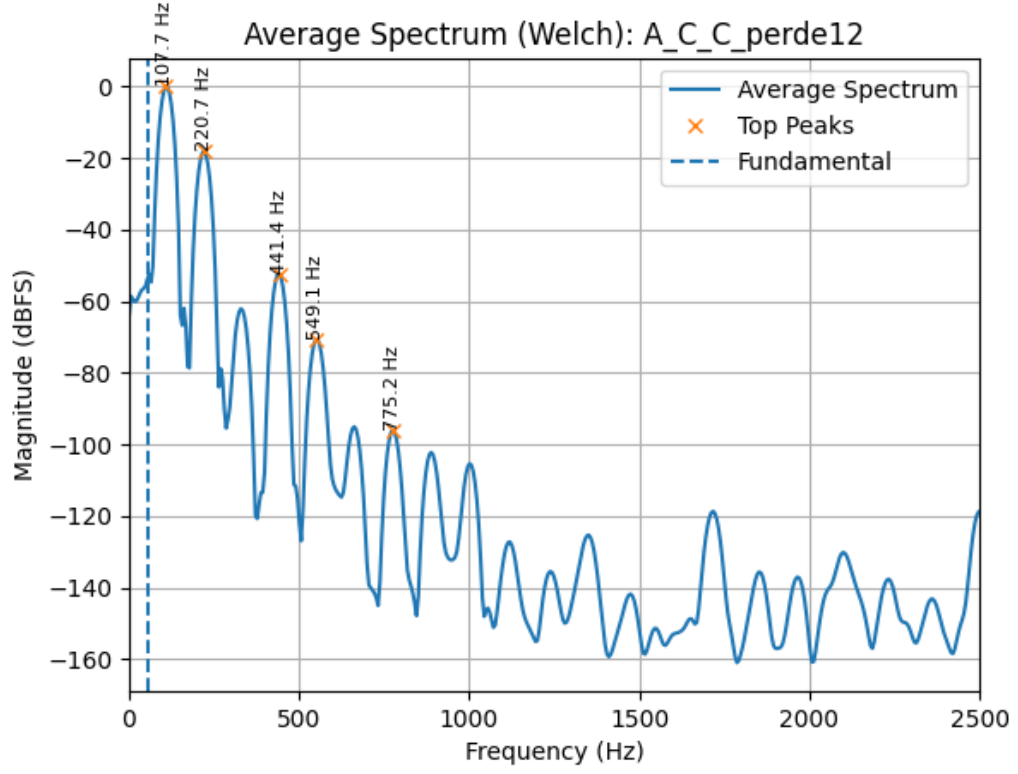
Şekil 21’de A_C_C telinin 5. perde performansına ait spektrum görülmektedir. Genel hatlarıyla, düşük frekanslarda kaplamasız modelle benzer bir sonuç oluşmuştur. Fakat 1000 Hz ve üzerindeki frekanslarda, oluşan doğuşkanların hızlı düşüşleri ve bu frekanslarda ulaşılan maksimum güç seviyeleri dikkate alındığında, bu markanın kaplamalı tellerinin üst frekanslarda daha düşük performans gösterdiği sonucuna ulaşabiliriz.

Şekil 21. A_C_C 5. Perde Ortalama Spektrum Grafiği



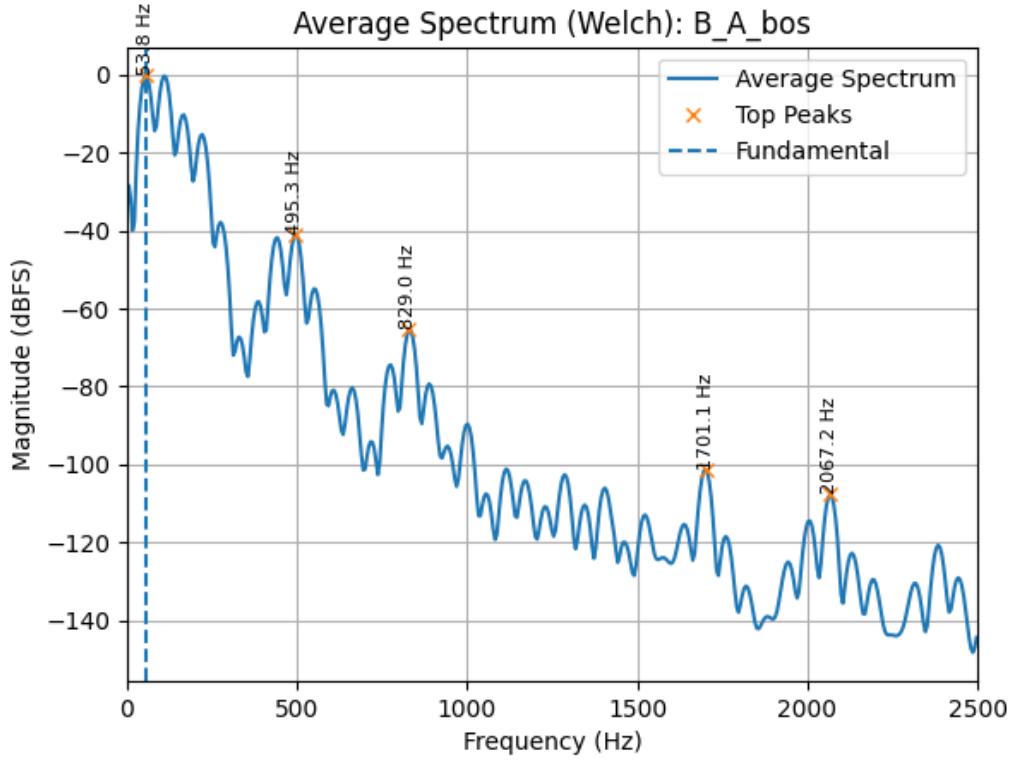
Şekil 22’de A_C_C telinin 12. Perde performansına ait spektrum grafiği gözlemlenmektedir. A_C_C telinin diğer şekillerdeki performanslarına benzer bir performans tekrarlanmıştır.

Şekil 22. A_C_C 12. Perde Ortalama Spektrum Grafiği



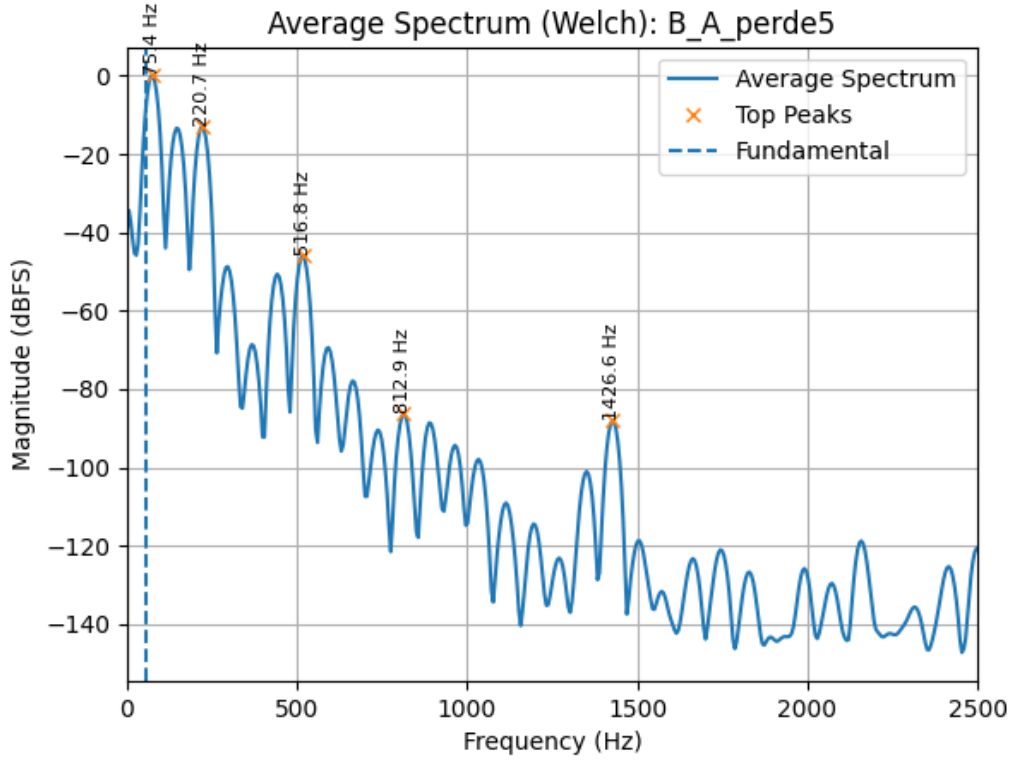
Şekil 23’de, B_A telinin A notası (55Hz) boş tel çalımına ait spektrum grafiği görülmektedir. Temel frekans ve 2. doğuşkan çok net ve güçlü görünmektedir. Genel olarak, bütün doğuşkanları çok dengeli bir şekilde oluşmuştur. Grafiğin dalgalı görüntüsü bu telin tınısal anlamda çok zengin olduğu şeklinde yorumlanabilir. 1000 Hz ve üzerindeki dalgalanmalar bu telin parlaklığını göstermektedir.

Şekil 23. B_A Boş Tel Ortalama Spektrum Grafiği



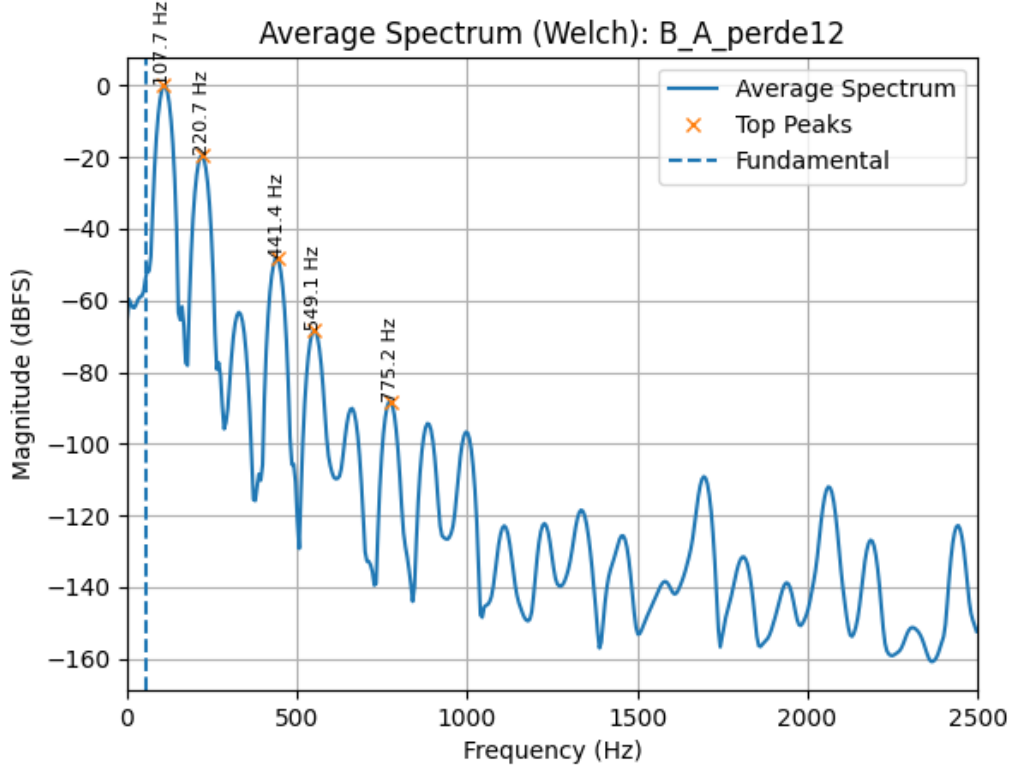
Şekil 24, B_A telinde 5. perde (73.42 Hz) performansına ait spektrum grafiğidir. Bu perdede, temel frekans ve 2. doğuşkan net bir şekilde görülmektedir. 500-1000 Hz arası bölgede oluşan görüntü, bu telin verdiği tınının detaylarının belirgin olduğunu göstermektedir. 1000 Hz ve sonrası bölge, dalgalı ve tınısal açıdan zengin bir grafik oluşturmuştur.

Şekil 24. B_A 5. Perde Ortalama Spektrum Grafiği



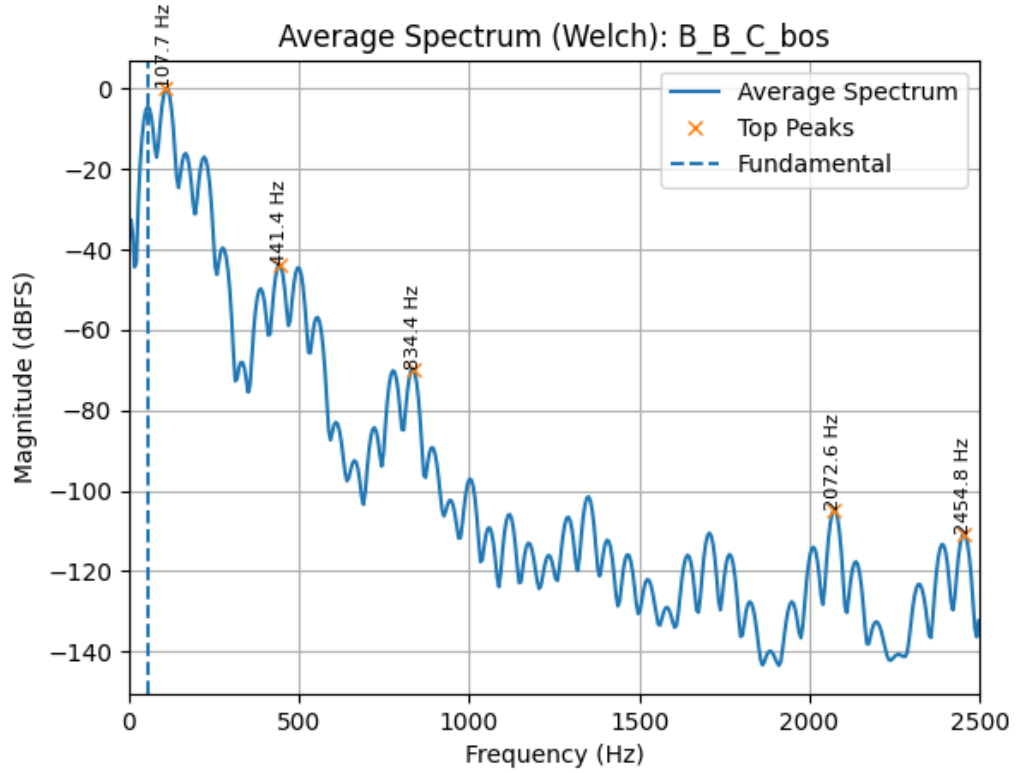
Şekil 25’de B_A telinin 12. Perde performansına ait grafik görülmektedir. Bu telin diğer pozisyonlardaki performanslarıyla orantılı bir sonuç ortaya çıkmıştır.

Şekil 25. B_A 12. Perde Ortalama Spektrum Grafiği



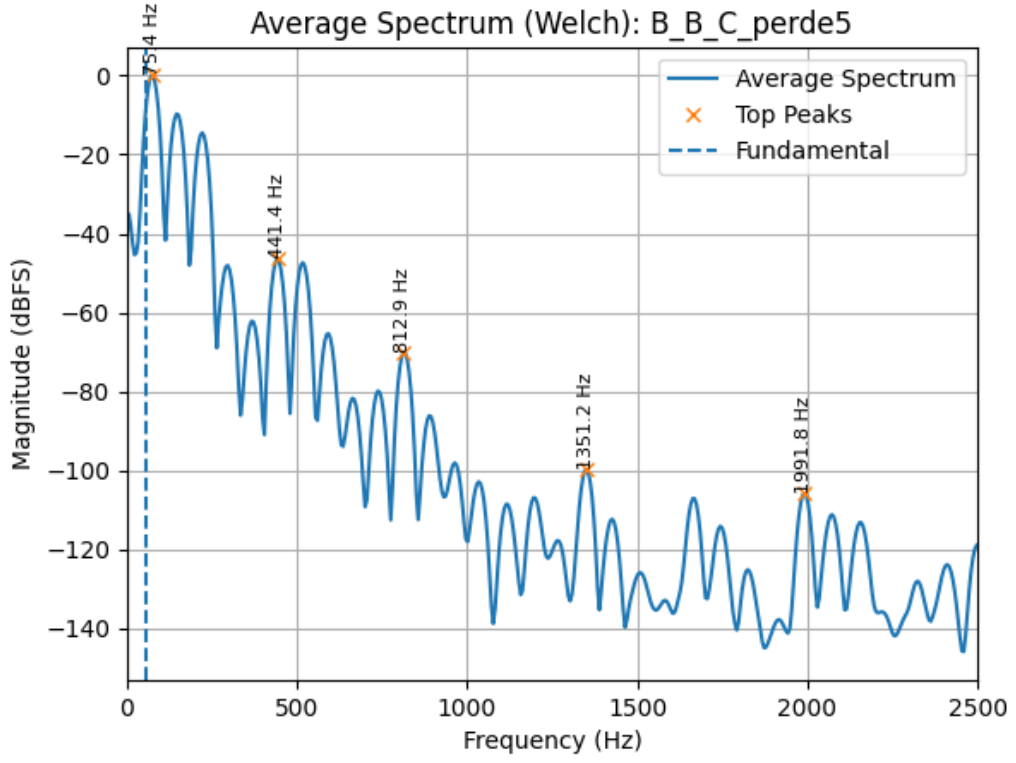
Şekil 26’da B_B_C teline ait spektrum grafiği görülmektedir. Bu grafiğe göre temel ses 1. doğuşkanın belirgin bir şekilde altında kalmış, bu da telin duyumunda sorun olabilecek bir duruma işaret etmektedir. Ayrıca üst frekanslarda da düşük güç dağılımı oluşmuştur. Bu durum telin boş salınım performansının mat bir tını oluşturduğu şeklinde yorumlanabilir.

Şekil 26. B_B_C Boş Tel Ortalama Spektrum Grafiği



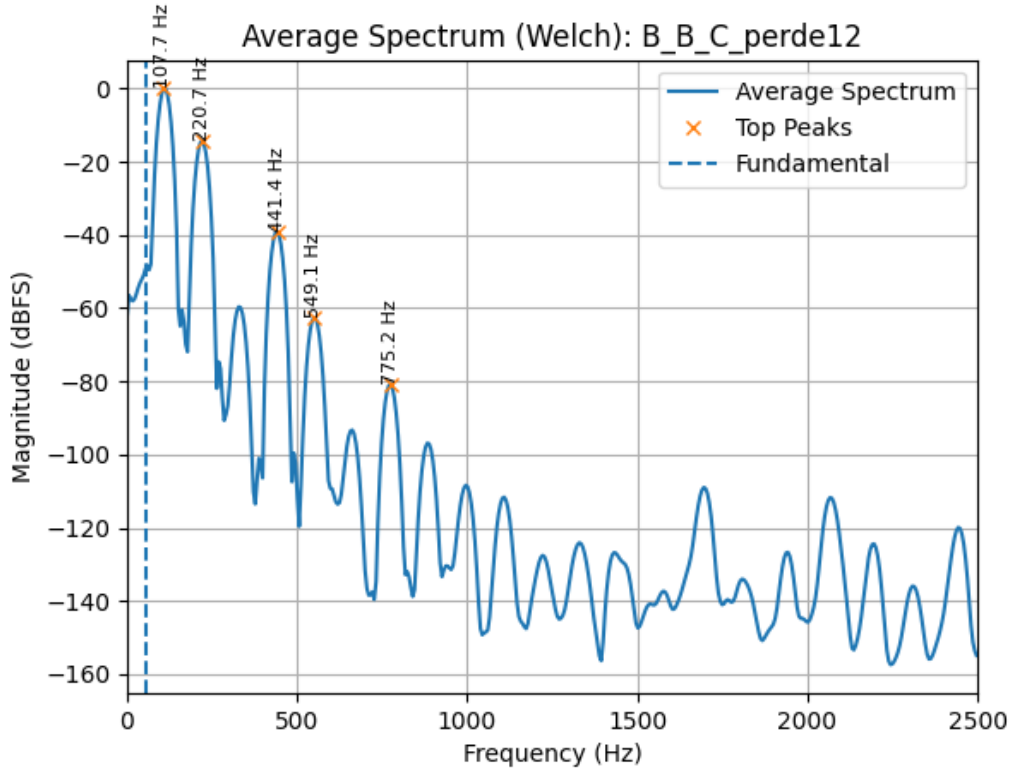
Şekil 27’de B_B_C isimli telin 5. perde performansı görülmekte ve diğer tellerin aksine bu tel 5. perdede boş tel performansına göre daha detaylı ve parlak bir tını ortaya koymuştur.

Şekil 27. B_B_C 5. Perde Ortalama Spektrum Grafiği



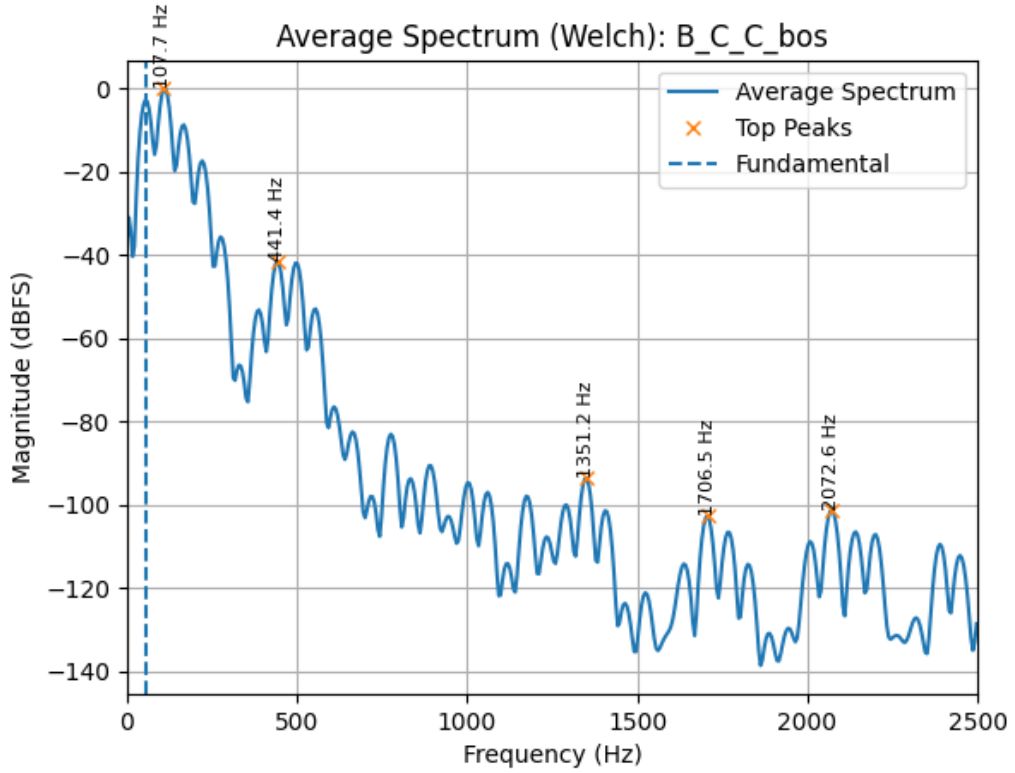
Şekil 28’de B_B_C isimli telin 12. Perde performansı gözlemlenmiştir ve benzer şekilde salınım frekansı düşmüş fakat 500-1000 Hz arasında detay sesleri verecek şekilde iki adet zirve noktası gözlemlenmiştir.

Şekil 28. B_B_C 12. Perde Ortalama Spektrum Grafiği



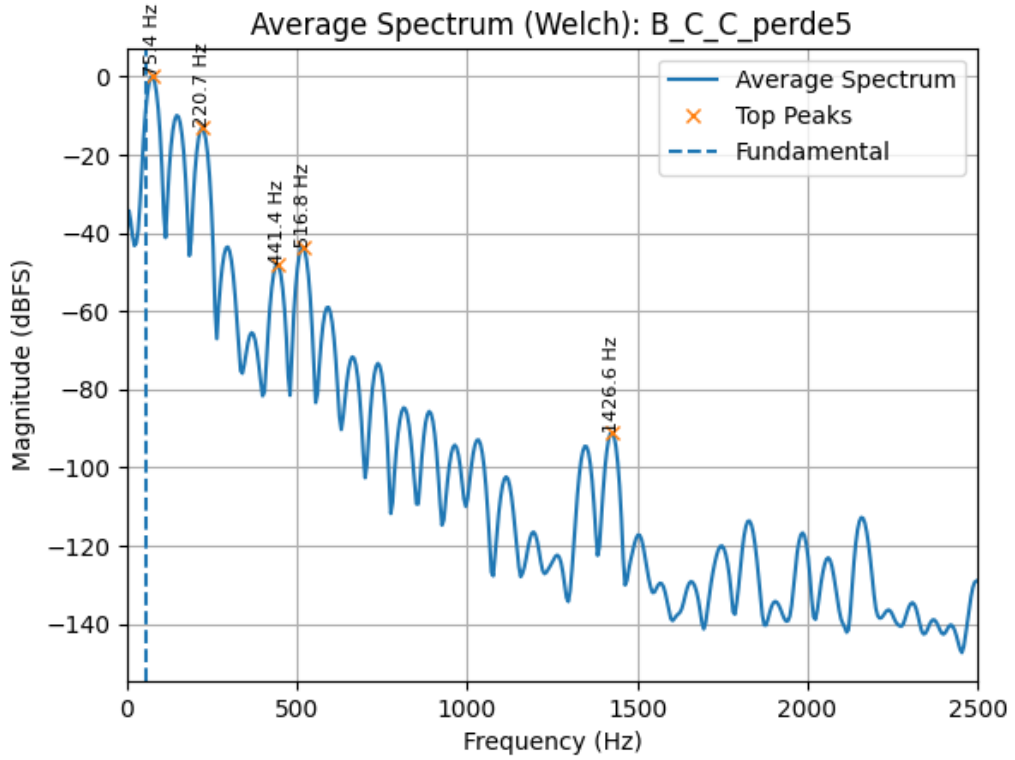
Şekil 29, B markasının C model kaplamalı telinin A telinde boş çalım spektrum grafiğidir. Temel frekans ve 2. doğuşkan çok net bir şekilde gözlemlenmektedir. Bu grafikte 500 Hz civarından sonra keskin bir düşüş gözlemlenmektedir. Bu düşüş ile 500-1000 Hz aralığında bulunan orta (mid) bölgede, aynı markanın kaplamasız tel modeline (B_A) göre gerçekten düşük güç seviyeleri gözlemlenmektedir.

Şekil 29. B_C_C Boş Tel Ortalama Spektrum Grafiği



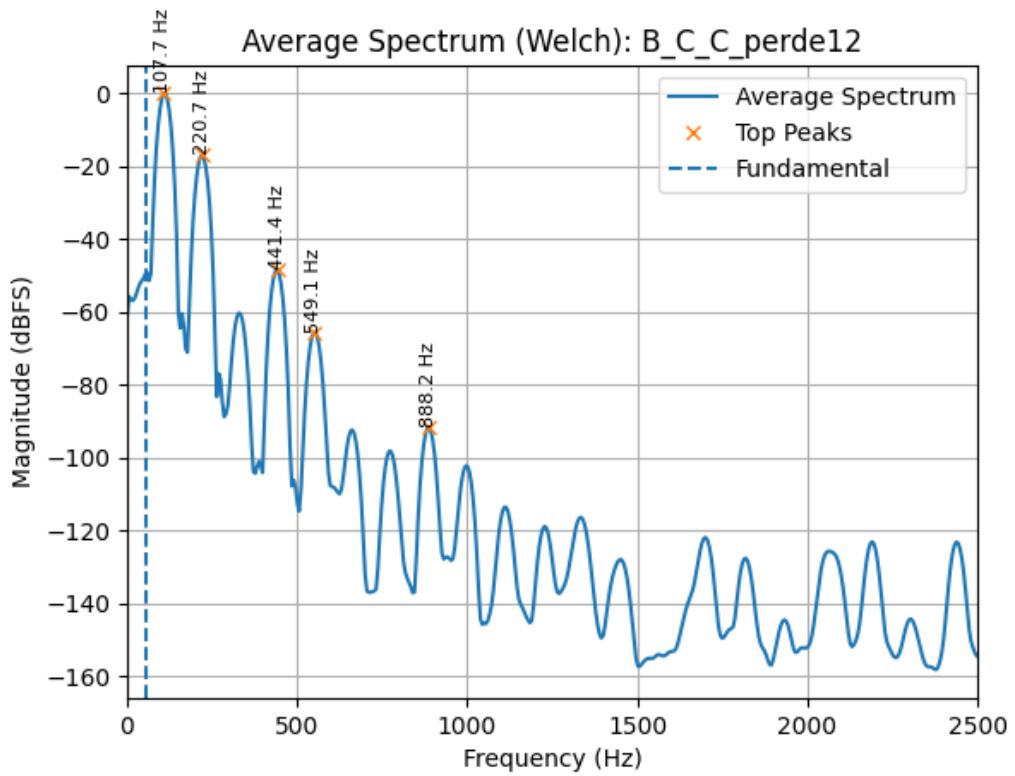
Şekil 30, B_C_C modelinin 5. perde performansına ait spektrum grafiğidir. Bu grafiğe göre, temel frekans ve 2. doğuşkan gayet net gözlemlenmiştir. 500-1000 Hz arasında da kaplamasız telin performansına benzer bir sonuç çıkmıştır. Üst frekanslarda da kaplamasız telle çok benzer sonuçlar vermiştir.

Şekil 30. B_C_C 5. Perde Ortalama Spektrum Grafiği



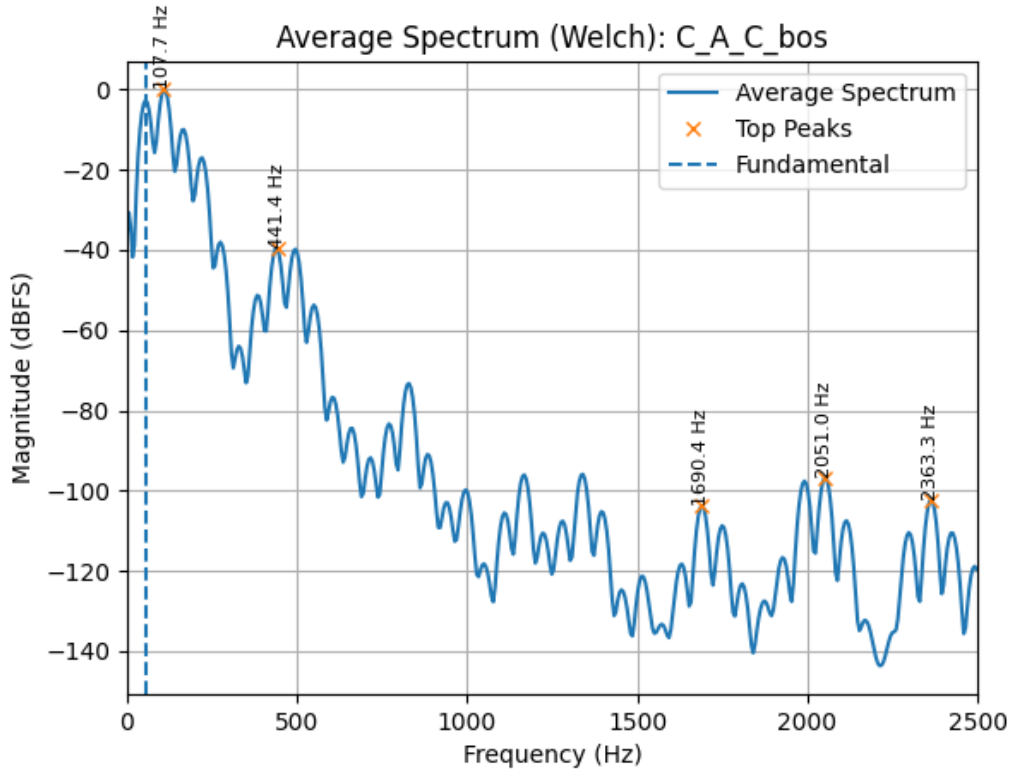
Şekil 31, B_C_C telinin 12. perde spektrum grafiğidir. Bu grafikte, temel frekans ve 2. doğuşkan frekans net bir şekilde gözlemlenmektedir. Bu telin grafik yapısı, kaplamasız olan telle (B_A) çok benzerlikler taşımaktadır. Fakat oluşan doğuşkanların tepe noktaları kaplamasız olan telde daha yüksektir. Bu da kaplamalı telin, benzer bir tınısal yapıya sahip olmakla birlikte, daha sönümlenmiş bir tınıda olduğunu bize göstermektedir.

Şekil 31. B_C_C 12. Perde Ortalama Spektrum Grafiği



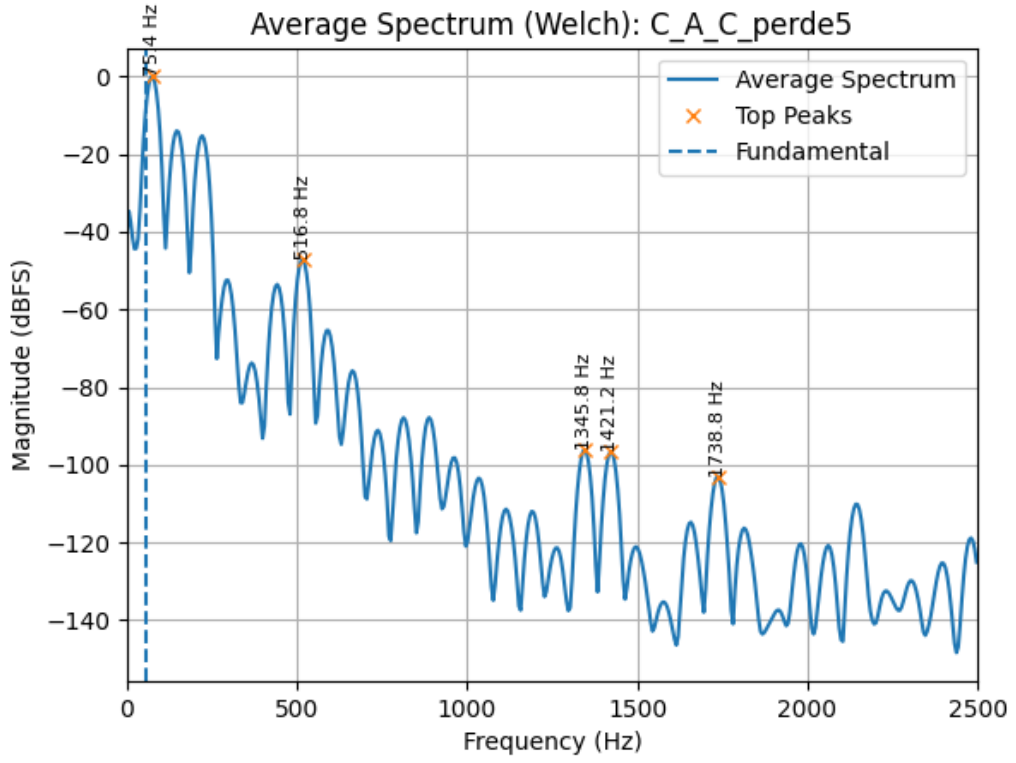
Şekil 32, C_A_C isimli tele ait boş tel spektrum grafiğidir. Bu grafiğe göre boş tel performansında merkez frekans 1. doğruşkana göre belirgin miktarda düşük kalmıştır fakat üst frekans bölgelerinde anlamlı ve dengeli zirve noktaları yapmıştır. Bu durum bu telin parlak bir tınıya sahip olduğu yönünde yorumlanabilir.

Şekil 32. C_A_C Boş Tel Ortalama Spektrum Grafiği



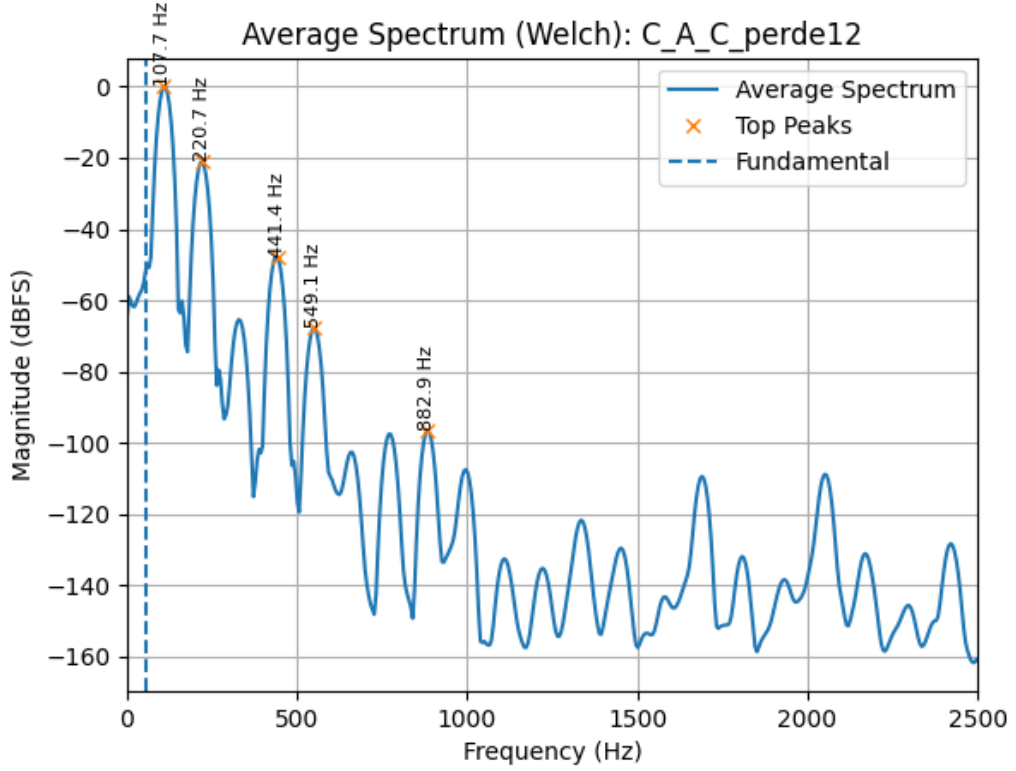
Şekil 33’de C_A_C isimli telin 5. perde performansına ait sonuçlar görülmektedir. Bu sonuçlar, telin dengeli bir tınıya sahip olduğu şeklinde yorumlanabilir.

Şekil 33. C_A_C 5. Perde Ortalama Spektrum Grafiği



Şekil 34’de C_A_C telinin 12. Perde performansı görülmektedir. Bu perde de diğer tellerde yaşanan salınım kısıtlanması durumu yine gerçekleşmiştir.

Şekil 34. C_A_C 12. Perde Ortalama Spektrum Grafiği

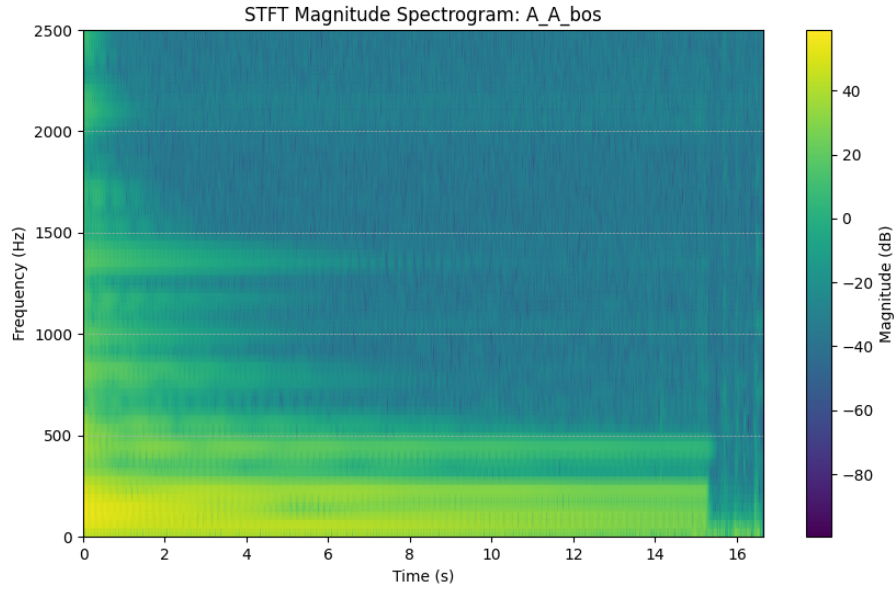


3.4. STFT ile Zaman-Frekans Analizleri

Şekil 35, A_A isimli tel setinin A teline (55 Hz) yapılan boş tel vuruşunun STFT spektrogramıdır. Bu görselde temel frekans ve bas gitar telinin temel tını bölgesinin 15. saniyeye kadar güçlü bir şekilde devam ettiği görülmektedir.

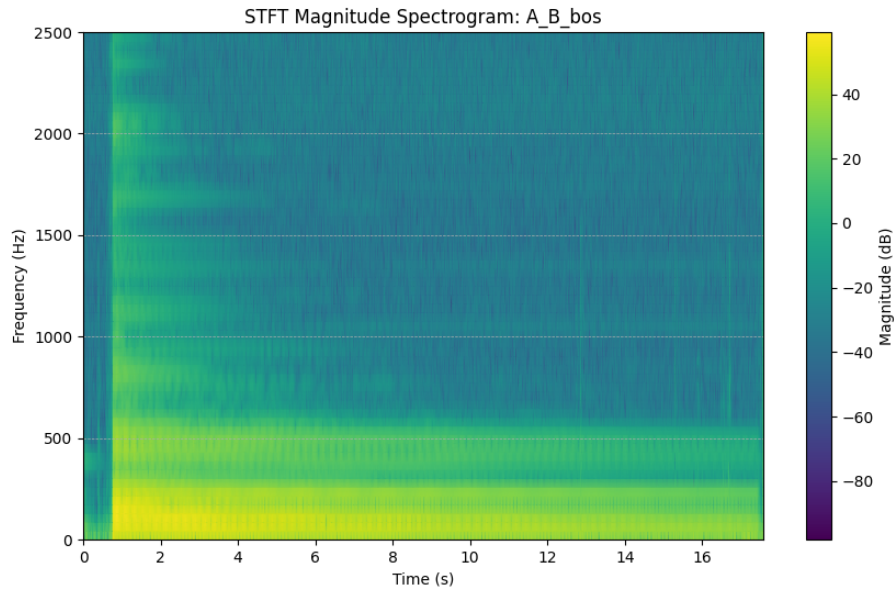
Ayrıca yaklaşık 1500 Hz seviyelerine kadar anlamlı sayılabilecek uzunluklarda güçlü sesler olduğu görülmektedir. Bu durum, A markasının kaplamasız telinin boş tel performansında oldukça parlak bir tını yapısı sunduğunu göstermektedir.

Şekil 35. A_A_bos STFT Spectrogram



Şekil 36, A markasının B model tel setine ait boş tel STFT spektrogramına ait görseldir. Bu spektrogramda 0-600 Hz arası frekanslar 18 saniyeye kadar gücünü kaybetmeden uzamıştır fakat 600 Hz ve sonrasında tel sönümlenip hızlı bir şekilde susmuştur.

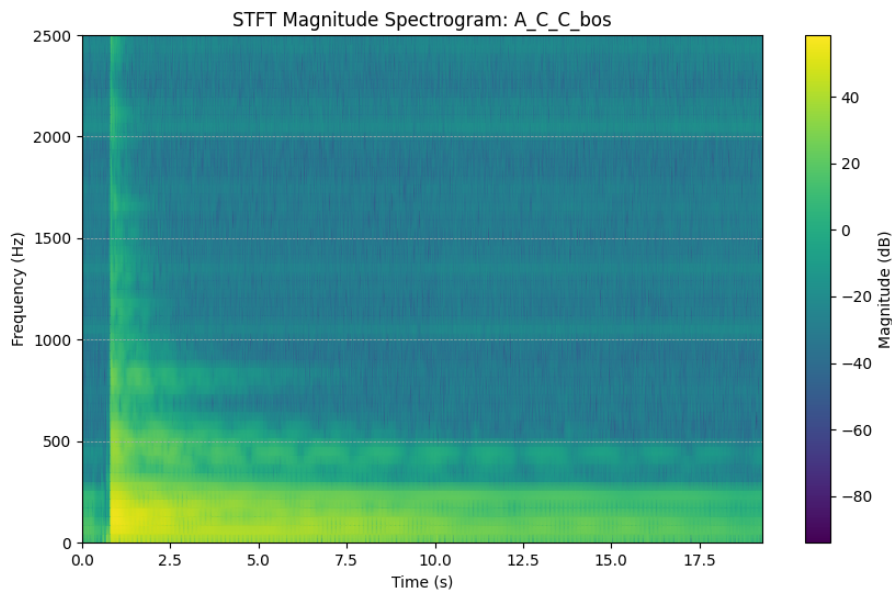
Şekil 36. A_B_bos STFT Spectrogram



Şekil 37, A_C_C isimli kaplamalı tel setinin boş tel performansına dayalı STFT spektrogramıdır. Bu spektrograma göre, temel frekans ve telin çekirdek tını bölgeleri 17.5 saniyeye kadar oldukça yüksek bir güç göstermektedir.

Ancak 500Hz ve daha üzeri frekanslarda sesin devamlılığı sağlanamamıştır. Üst frekanslarda sesin gücü 2.5 saniye civarı devam edebilmektedir. Bu durum, telin titreşim hareketi süresince üst frekanslarının sönümlendiği ve daha kapalı bir tını ürettiği anlamına gelmektedir.

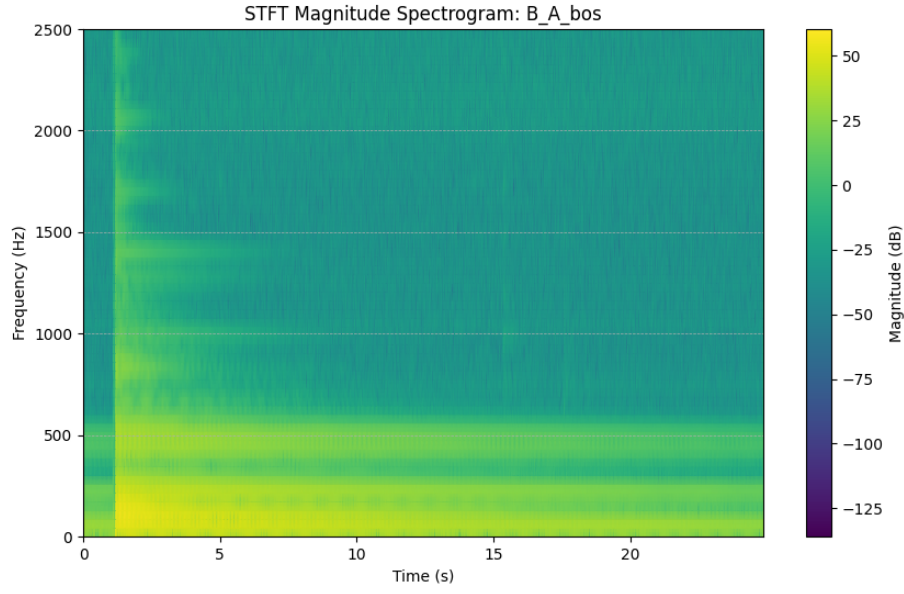
Şekil 37. A_C_C_bos STFT Spectrogram



Şekil 38, B_A isimli kaplamasız telin boş tel performansına dayalı STFT spektrogramıdır. Bu spektrograma göre, 0-500 Hz arası oldukça uzun süreli ve çok güçlü bir ses olduğu görülmektedir.

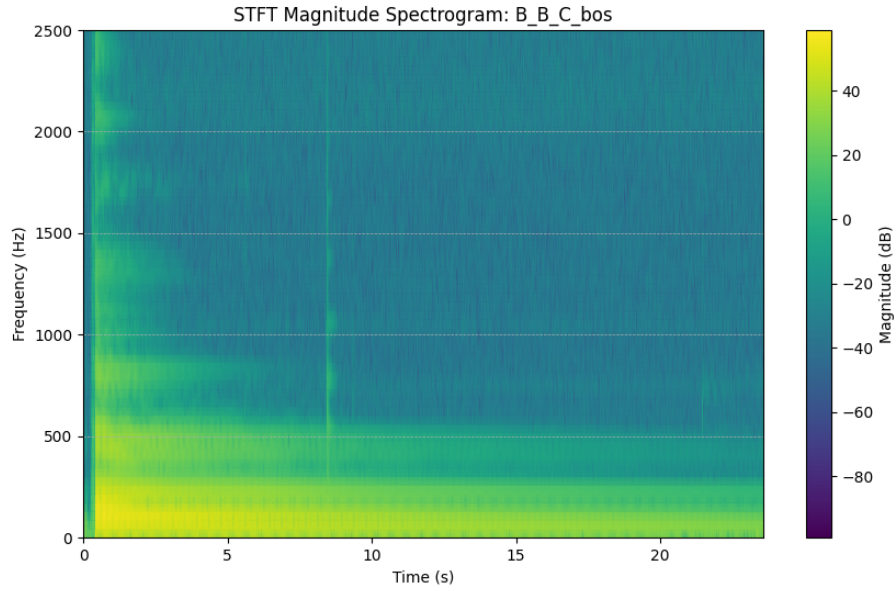
500 Hz ve üzeri frekanslarda da oldukça anlamlı sayılabilecek uzunluk ve güçte sesin olduğu görülmektedir. Bu görselin ışığında, telin 8 saniye boyunca parlak tınısını koruduğu gözlemlenmiştir.

Şekil 38. B_A_bos STFT Spectrogram



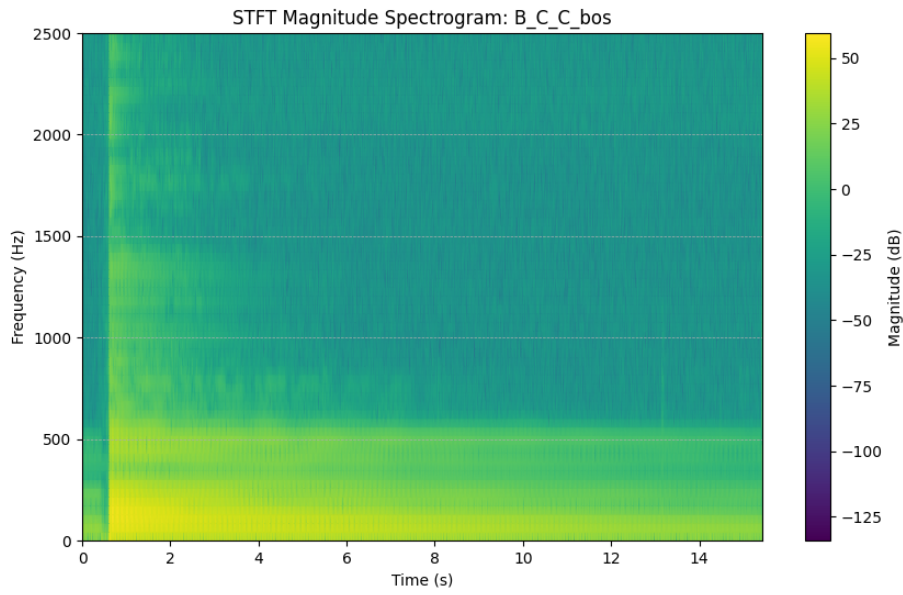
Şekil 39, B_B_C isimli kaplamalı tele ait spectrogram görselidir. Burada kaplamalı telin 0-600 Hz arası frekans bölgesinde 20 saniyeyi geçen bir uzama süresi görülmekte fakat hem dengesiz bir uzama süresi hem de 600 Hz üzerinde hızla susan ve sönümlenmiş bir görüntü gözlemlenmiştir.

Şekil 39. B_B_C_bos STFT Spectrogram



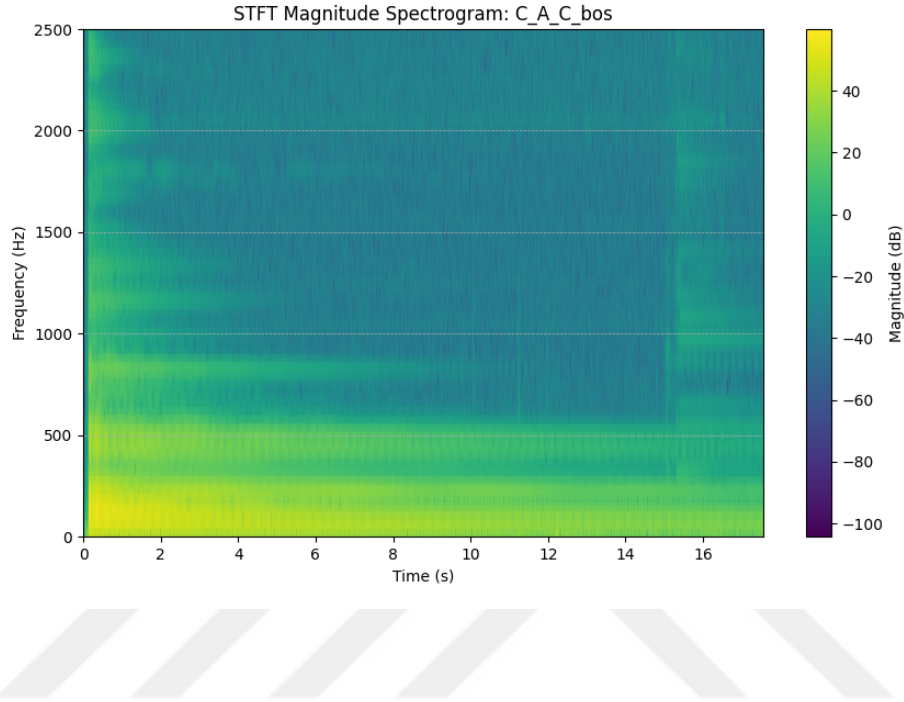
Şekil 40, B_C_C isimli kaplamalı telin boş tel vuruşuna ait STFT spektrogramıdır. Spektrogramda, 0-500 Hz arası oldukça güçlü bir tını oluşmuştur fakat bu markanın kaplamasız telinde oluşan sesin uzama miktarı 25 saniyeyi bulurken, kaplamalı modelin uzama süresi 15 saniye civarında bitmiştir. Bu duruma göre, kaplama malzemesinin sesin uzama süresini kısıtladığı görülmektedir. Ayrıca, üst frekanslarda da anlamlı sayılabilecek bir ses uzaması görülememiştir. Bu durum, telin üst doğuşkanlarının hızlıca sönümlendiğini göstermektedir.

Şekil 40. B_C_C_bos STFT Spectrogram



Şekil 41, C_A_C isimli kaplamalı telin boş tel vuruşuna ait STFT spektrogramıdır. Görselde 0-600 Hz arası 18 saniyeye kadar uzama gözlemlenirken üst frekanslarda çok kısa uzama süreleri gözlemlenmiştir.

Şekil 41. C_A_C_bos STFT Spectrogram



4. TARTIŞMA

Bu araştırma kapsamında, bas gitar tellerinde kullanılan kaplama malzemelerinin hem kimyasal-yapısal hem de tınısal özelliklere olan etkileri bütün bir biçimde incelenmiştir. Bulgular hem literatürdeki önceki çalışmalar hem de pratikteki müzisyen gözlemleriyle karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

4.1. Kimyasal ve Yapısal Bulguların Yorumlanması

ICP-MS analiz sonuçları hem kaplamalı hem de kaplamasız tellerin Fe, Cr, Ni, Co gibi elementlerce zengin olduğunu göstermiştir. Kaplamalı tellerde, özellikle kaplama malzemesiyle ilişkili olabilecek şekilde Cr ve Co gibi elementlerin derişimi belirgin şekilde artmış, bu da kaplamanın sadece yüzey koruması değil, aynı zamanda telin manyetik özelliklerine de katkı sağladığını göstermiştir. Özellikle Al, Ti, Cu gibi elementlerin derişimlerinin yüksekliği ise kaplamanın oksidasyon ve aşınmaya karşı tel ömrünü uzattığı düşüncesini göstermektedir. Literatürde, polimer kaplama teknolojilerinin telin dayanıklılığı ve ömrü üzerinde olumlu etkiler yarattığı ifade edilmektedir (W. L. Gore & Associates, t.y.; Professor String, t.y.). Bu çalışma da benzer şekilde kaplamanın kimyasal yapıyı belirgin şekilde etkilediğini göstermiştir.

FE-SEM ve EDX analizleri ise, kaplamalı tellerin yüzeylerinde daha homojen ve düzgün bir morfoloji sunduğunu, özellikle polimer kaplama uygulamasının yüzey pürüzlülüğünü azalttığını göstermiştir. Bu durum, çalım konforu ve telin ömrü açısından pozitif bir etki yaratmaktadır. Kaplamasız tellerde ise yüzeyde gözlenen mikroskobik gözenekler ve düzensizlik, hem çalım konforu açısından hem de tını açısından olumsuz etkiler gösterebilmektedir. Literatürde de benzer şekilde kaplama uygulamalarının yüzey morfolojisinde iyileşme sağladığı belirtilmektedir (Hebestreit & Myers, 2003).

4.2. Tınısal Bulguların Yorumlanması

Bu çalışmada elde edilen Welch ve STFT bulguları, bas gitar tellerinde kullanılan kaplama malzemelerinin tını üzerinde doğrudan bir etki yarattığını göstermiştir. Özellikle kaplamalı ve kaplamasız teller arasındaki farklar, zamana bağlı STFT grafiklerinde ve Welch tekniğiyle elde edilen spektrum grafiklerinde net bir şekilde gözlemlenmiştir.

Kaplamasız tellerin spektrum grafiklerinde, özellikle 1000 Hz ve üzeri bölgelerde daha güçlü ve yoğun harmonik yapı görülmüştür. Bu durum kaplamasız tellerin daha detaylı ve “parlak” denilebilecek bir tını ürettiği anlamına gelmektedir.

Öte yandan kaplamalı tellerin spektrum grafiklerinde, daha dengeli ama üst frekanslara çıktıkça sönümlenmiş “mat” bir tını gözlemlenmiştir. Kaplama malzemelerinin tel üzerine elastik bir katman eklediği ve bu nedenle üst frekans enerjilerinin daha hızlı sönümlendiği önceki çalışmalarda da ifade edilmiştir (Professor String, t.y.). Bu ifade hem Welch analizleriyle hem de STFT spektrogramlarıyla örtüşmektedir.

STFT spektrogramlarında, kaplamasız tellerin ses uzama süreleri (sustain) daha uzun ölçülmüştür. Özellikle B markasının kaplamasız telinde 25 saniyeyi bulan uzama süresi, kaplamalı telde 15 saniye civarında kalmıştır. Bu da kullanılan kaplama malzemesinin telin titreşimini belli bir süre içinde sınırladığını göstermektedir.

Sonuç olarak kaplamasız teller, daha uzun süreli sesler oluşturmuştur ve daha parlak, çeşitliliği olan tınlar oluşturmuştur. Kaplamalı teller ise daha kısa sürede kesilen fakat daha dengeli tınlar oluşturmuştur. Bu durum kaplama malzemesinin tel titreşimini kısıtladığını göstermektedir.

4.3. Analiz Yöntemlerinin Değerlendirilmesi

ICP-MS ve FE-SEM/EDX analizleri, telin kimyasal bileşimi ile yüzey morfolojisi arasındaki ilişkiye dair yüksek hassasiyet göstermiştir. Tınıyla ilgili analizlerde Welch ve STFT yöntemlerinin kullanılması hem frekans hem de zaman-frekans düzleminde tınısal farklılıkların görsel olarak gözlemlenebilmesine olanak sağlamıştır. Ancak, STFT'nin pencere uzunluğu ve örtüşme oranı gibi parametrelerinin harmonik ayırt edilebilirliği üzerinde etkili olduğu; dolayısıyla karşılaştırmalı analizlerde bu parametrelerin sabit tutulmasının önemli olduğu unutulmamalıdır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışma, bas gitar tellerinde kullanılan kaplama malzemelerinin kimyasal, yapısal ve tınsal özelliklere olan etkilerini bütüncül bir yaklaşımla değerlendirmektedir. Araştırma kapsamında, üç farklı ana üretici firmadan temin edilen hem modern polimer kaplama teknolojisiyle üretilmiş teller hem de geleneksel üretim yöntemleriyle üretilmiş kaplamasız tellerle ilgili detaylı analizler yapılmıştır. Kullanılan analiz yöntemleri arasında ICP-MS, FE-SEM/EDX gibi analitik kimya yöntemleri ile Welch ve STFT gibi dijital tını analiz yöntemleri yer almıştır. Elde edilen bulgular, karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş ve tını üzerindeki farklılıkların nedenleri çok yönlü biçimde ele alınmıştır.

Kimyasal analiz sonuçları hem kaplamalı hem de kaplamasız tellerin ortak bazı metal elementler (Fe, Cr, Ni, Co) içerdiğini, ancak kaplamalı tellerin kaplama malzemesinden kaynaklı olarak özellikle Cr, Al, Ti gibi elementleri daha çok içerdiğini ortaya koymuştur. Bu malzemelerin daha fazla olmasının sebebi, kaplamanın yalnızca koruyucu bir yüzey işlevi görmediğini, aynı zamanda telin manyetik ve yapısal özelliklerini de etkilediğini göstermektedir. Alüminyum, titanyum gibi metallerin varlığı, telin oksidasyona karşı direncini artırmakta ve genel ömrünü uzatmaktadır. Literatürde, benzer şekilde polimer kaplamaların tel dayanıklılığı üzerinde olumlu etkiler yarattığı, aynı zamanda aşınmayı geciktirdiği vurgulanmaktadır (W. L. Gore & Associates, t.y.; Professor String, t.y.). Bu çalışmanın bulguları sonucunda bu bilgiler desteklenmiştir.

FE-SEM ve EDX analizleri, kaplamalı tellerin yüzey yapısında belirgin bir homojenlik sağlandığını ve pürüzlülük oranının düştüğünü göstermiştir. Bu durum, çalım konforunu arttıran bir durum olarak yorumlanabilmektedir. Ayrıca yüzeyin homojenliği, telin daha kontrollü ve öngörülebilir titreşimler üretmesine olanak sağlayarak tınsal istikrar kazandırabilir. Fakat EDX analizlerinde bazı tellerin yüzey görüntülemelerinde polimer kaplamanın altı görüntülenememiş ve bu durum

kaplamanın olması gerektiğinden daha kalın bir katman olarak uygulandığı şeklinde yorumlanmıştır. Bu durum tını analizlerinde de özellikle STFT spektrogramlarında görsel olarak karşılığını vermiştir. Kalın uygulanan kaplama telin daha çabuk sönümlenmesine sebep olmuştur. Buna karşılık, kaplamasız tellerde gözlenen mikroskobik çukurlar ve düzensizlikler, telin hem çalım hissini hem de tınısını olumsuz etkileyebilmektedir. Bu durum polimer kaplamanın sadece tınısal değil fiziksel anlamda da etkilerinin olduğunu göstermektedir.

Tınısal analizler, özellikle Welch spektral analizi ve kısa süreli Fourier dönüşümü (STFT) ile gerçekleştirilmiştir. Welch yöntemi ile elde edilen ortalama spektrum grafiklerinde, kaplamasız tellerin üst frekans bölgelerinde (özellikle 1000 Hz üzeri) daha güçlü harmonikler ürettiğini göstermiştir. Bu durum, kaplamasız tellerin daha “parlak”, açık ve detaylı bir tınıya sahip olduğunu göstermektedir. Kaplamalı teller ise daha “mat” ve yumuşak tınlar sunmakta ve üst frekanslarda düşük enerji seviyeleri gözlemlenmiştir.

STFT spektrogramları, zaman-frekans düzleminde yapılan analizlerde, kaplamasız tellerin daha uzun süre ses üretebildiğini (örneğin 25 saniyeye kadar uzama) ve bu süre boyunca üst frekans bileşenlerini koruyabildiğini göstermiştir. Buna karşılık kaplamalı tellerde bu süre daha kısadır (yaklaşık 15 saniye), bu da kaplamanın tel titreşimini zamanla hızla sönümlendiğini göstermiştir. Bu bulgular hem çalım sırasında ortaya çıkan duyusal deneyimi hem de kayıt anındaki ses kalitesini doğrudan etkilemektedir.

Yöntem açısından bakıldığında, kullanılan analiz yöntemleri birbirini tamamlayıcı görevler üstlenmiştir. ICP-MS ve FE-SEM/EDX analizleri, telin yapısal ve kimyasal özellikleri hakkında detaylı veriler sağlarken, Welch ve STFT yöntemleri bu yapısal özelliklerin tınıya yansımalarını görselleştirmiştir. Özellikle STFT analizinde pencere uzunluğu ve örtüşme oranı gibi parametrelerin karşılaştırmalı analizlerde sabit tutulması, verilerin güvenilirliğini artırmak açısından önem taşımıştır.

5.2. Öneriler

Bu çalışma sonuçlarına dayanarak bazı öneriler geliştirilmiştir. Öncelikle, tel seçiminin kullanım amacıyla doğru orantılı olarak yapılması gerekmektedir. Kaplamasız teller, üst frekanslarda güçlü ve zengin bir tını vermektedir. Bu nedenle, funk gibi parlak tınılara ihtiyaç duyulan tarzlarda veya ilgili stüdyo kayıtlarında

kullanımı daha doğru olabilir. Buna karşılık, kaplamalı tellerin sunduğu dengeli tını ve yüksek yüzey dayanıklılığı, uzun süreli sahne kullanımı ve daha dengeli tınlar aranan stüdyo kayıtları için uygundur.

Tel üreticilerine yönelik olarak ise, kaplama teknolojilerinin yalnızca dayanıklılık ve çalım konforuyla sınırlı kalmaması gerektiğine dair önemli sonuçlar ortaya konulmuştur. Kaplama kalınlığı, esneklik katsayısı, kaplama-tel arayüzündeki yapışma özellikleri gibi faktörler tınısal özelliklerle doğrudan ilgilidir. Bu bağlamda, tınısal performansın da göz önünde bulundurulduğu daha bütünsel Ar-Ge çalışmaları yapılması, üretici firmalar adına avantaj sağlayacaktır.

İleride yapılacak çalışmalarda farklı kaplama türlerinin yapısal anlamda daha detaylı incelenmesi önerilmektedir. Bu tez kapsamında yalnızca polimer kaplamalı ve kaplamasız tellerin yüzey yapısı ve kullanılan alaşım bileşenleriyle tını arasındaki ilişki değerlendirilmiştir. Ancak piyasada yaygınlaşan nano-kaplama, metalik kaplama veya hibrit kaplama gibi teknolojilerin kalınlık, koruyuculuk, malzeme çeşidi ve tınıya olan etkileri gibi konuları da ele alınmalıdır. Böylece kaplama teknolojisinin evrimi daha kapsamlı biçimde ortaya konabilir.

Sonuç olarak, bu tez yalnızca bas gitar tellerinin tınısal özelliklerini değil, aynı zamanda kimyasal ve yapısal yönlerini de detaylı biçimde inceleyerek önemli bir kaynak olmuştur. Elde edilen bulgular, müzisyenlerin tel tercihlerini daha bilinçli şekilde yapmalarına katkı sağlarken, üreticilere de yeni nesil kaplama teknolojilerini geliştirirken göz önünde bulundurulması gereken tınısal parametrelerle ilgili bilgiler sunmaktadır.

KAYNAKÇA

- Bass Guitar Magazine. (2014). *All about ash*, (101), 18–20.
- The beginnings of Elixir Strings*. (2023). Elixir Strings History. Retrieved January 19, 2025, from <https://www.elixirstrings.com>
- Bellson, J. (1973). The Gibson story.
- Bohmann, J. (1896, Ocak 4). *A harp-guitar: A novelty manufactured and introduced by Mr. Joseph Bohmann. Music Trades*. Retrieved Aralık, 2024, from <http://www.harp guitars.net/history/bohmann/bohmann1.htm>
- Bacon, T., & Moorhouse, B. (2008). The Bass Book. Bloomsbury Academic.
- Caner, M. (2014). *ICP-MS ile demir analizlerindeki girişim etkilerinin gıda, cam ve su örneklerinde incelenmesi* [Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Cohen, L. (1995). Time-frequency analysis. *Prentice Hall*. 10.1016/S0967-0661(97)90028-9
- Cavalli, Massimo. 2016. *Double Bass And Electric Bass: The Case Study Of John Patitucci*. Doktora Tezi. Universidade de Évora Música e Musicologia.
- Drozd, J. (2009). *The ultimate guide to the perfect bass setup (version 1.0)*. Jerzy Drozd Bases.
- Ede, Ö. (2019). *Elektrik basın tarihsel gelişimi ve Türkiye'nin 1970–1990 dönemi popüler müziğinde stüdyolardaki görevi* [Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.
- Eronen, A. (2001). *Automatic musical instrument recognition*. Tampere University of Technology. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?doi=e34127c723095f6c8721956d1c1b008ea8016861>
- Fender. (t.y.). Fender Precision Bass. Retrieved January 11, 2025, from <https://www.fender.com>
- Gallagher, M., 2009. The Music Tech Dictionary: A Glossary of Audio-Related Terms and Technologies.
- Hebestreit, C. G., & Myers, D. J. (2003). *Strings for musical instruments (U.S. Patent No. US6528709B2)*. United States Patent and Trademark Office. <https://patents.google.com/patent/US6528709B2/en>
- Hopkins, G., & Moore, B. (1999). *Ampeg: the Story Behind the Sound*. Hal Leonard.
- Karaduman, B. (2017). *Taramalı elektron mikroskobu ile kriminolojik saç analizi*. [Yüksek lisans tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü]. Uludağ Üniversitesi Tez Merkezi.

- Kemp, J. A. (2020). On inharmonicity in bass guitar strings with application to tapered and lumped constructions. *SN Applied Sciences*, 2. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2391-2>
- Lee, G. (2018). *Geddy Lee's Big Beautiful Book of Bass*. HarperCollins Publishers.
- Özsarı, N. (2019). *Elektrik bas gitarın çağdaş klasik müzikteki yeri, icra teknikleri ve notalama yöntemleri* [Yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi].
- Professor String. (t.y.). *Think you know guitar strings? A primer on guitar and bass strings* (4. Ver.). ProfessorString.com.
- Schroeder, Dave. 2011. The Evolving Role Of The Electric Bass In Jazz: History And Pedagogy. Doktora Tezi. University Of Miami.
- Wegst, U. G. (2006). Wood for sound. *American Journal of Botany*, 93(10), 1439–1448. <https://doi.org/10.3732/ajb.93.10.1439>
- Welch, P. D. (1967). The use of fast Fourier transform for the estimation of power spectra: A method based on time averaging over short, modified periodograms. *IEEE Transactions on Audio and Electroacoustics*, 15(2).
- W. L. Gore & Associates. (t.y.). *Elixir string technologies overview – A rich history of innovation*. Elixir Strings. Retrieved Ocak 10, 2025, from <https://www.elixirstrings.com>
- Wright, B. F. (2018). How the electric bass became the norm: An alternative history of American popular music, 1951-1964 [Doktora tezi, Case Western Reserve University]. ProQuest Dissertations & Theses Global.le
- Vintage Guitar. (t.y.). *Rickenbacker Electro Bass Viol*. Retrieved January 1, 2025, from <https://www.vintageguitar.com/3399/rickenbacker-electro-bass/>

EKLER

```
import os

import re

import warnings

from collections import defaultdict

from scipy.io.wavfile import read, WavFileWarning

import numpy as np

import matplotlib.pyplot as plt

from scipy import signal

from scipy.signal import find_peaks

# Uyarıları bastır

warnings.filterwarnings('ignore', category=WavFileWarning)

warnings.filterwarnings('ignore', category=RuntimeWarning)

# Parametreler

f_min, f_max = 0, 2500

N = 2048

nFFT = 4 * N

# Sessiz başlangıcı kırp

def trim_leading_silence(data, threshold=0.01):

    abs_data = np.abs(data.astype(float))

    max_val = abs_data.max()

    if max_val == 0:

        return data

    norm = abs_data / max_val

    first = np.argmax(norm > threshold)

    return data[first:]

# -20 dBFS normalizasyon

def normalize_audio(data, db_target=-20):

    peak = np.abs(data).max()

    if peak == 0:

        return data.astype(np.int16)

    current_db = 20 * np.log10(peak / 32767.0)
```

```

        factor = 10 ** ((db_target - current_db) / 20)

        return (data * factor).astype(np.int16)

# Spektrum hesaplama (Welch)

from scipy.signal import welch

def calculate_spectrum(data, sr):

    f, Pxx = welch(data, fs=sr, window='hann', nperseg=N, nfft=nFFT,
scaling='density')

    if Pxx.max() > 0:

        dbfs = 20 * np.log10(Pxx / Pxx.max())

    else:

        dbfs = np.zeros_like(Pxx)

    return f, dbfs

# Pitch tahmini (basit otokorelasyon)

def estimate_pitch(data, sr):

    w, h = N, 512

    pitches = []

    for start in range(0, len(data)-w, h):

        frame = data[start:start+w] * np.hanning(w)

        corr = np.correlate(frame, frame, 'full')[w:]

        peak = np.argmax(corr[50:]) + 50

        if peak:

            pitches.append(sr/peak)

    valid = [p for p in pitches if 40 < p < 200]

    return np.median(valid) if valid else 0

# Dosya gruplama

def group_files(folder='.'):

    pattern = re.compile(r"([a-z0-9]+(?:_[a-z0-9]+)*)_([a-z0-9]+)_\d+\.wav",
re.IGNORECASE)

    groups = defaultdict(list)

    for fn in os.listdir(folder):

        if fn.lower().endswith('.wav'):

            m = pattern.match(fn)

            if m:

```

```

        grp = f"{m.group(1)}_{m.group(2)}"

        groups[grp].append(os.path.join(folder, fn))

    return groups

# Ana analiz

os.makedirs('results', exist_ok=True)

file_groups = group_files()

for grp, files in file_groups.items():

    specs, centroids, attacks, pitches = [], [], [], []

    for fn in files:

        sr, data = read(fn)

        if data.ndim > 1:

            data = data.mean(axis=1).astype(data.dtype)

        data = trim_leading_silence(data)

        data = normalize_audio(data)

        f, dbfs = calculate_spectrum(data, sr)

        specs.append(dbfs)

        # Centroid

        _, Pxx = welch(data, fs=sr, window='hann', nperseg=N, nfft=nFFT)

        centroids.append((f*Pxx).sum()/Pxx.sum())

        # Attack

        thr = 0.9 * np.max(np.abs(data))

        attacks.append(np.argmax(np.abs(data) >= thr)/sr)

        # Pitch

        pitches.append(estimate_pitch(data, sr))

    avg_spec = np.mean(specs, axis=0)

    avg_centroid = np.mean(centroids)

    avg_attack = np.mean(attacks)

    avg_pitch = np.mean(pitches)

    # Spektrum sınırla

    mask = (f >= f_min) & (f <= f_max)

    f_lim = f[mask]

    spec_lim = avg_spec[mask]

    # Tepe noktalarını bul (prominansı yüksek ilk 5)

```

```

peaks, props = find_peaks(spec_lim, prominence=5)

if peaks.size:

    prominences = props['prominences']

    top_idx = np.argsort(prominences)[-5:]

    peaks = peaks[top_idx]

pk_freqs = f_lim[peaks]
pk_vals = spec_lim[peaks]

# Grafik: Average Spectrum #erenucer

plt.figure()

plt.plot(f_lim, spec_lim, label='Average Spectrum')
plt.plot(pk_freqs, pk_vals, 'x', label='Top Peaks')

for pf, pv in zip(pk_freqs, pk_vals):

    plt.text(pf, pv, f"{pf:.1f} Hz", fontsize=8,
             rotation=90, va='bottom', ha='center')

plt.axvline(55, linestyle='--', label='Fundamental')

plt.title(f'Average Spectrum (Welch): {grp}')

plt.xlabel('Frequency (Hz)')

plt.ylabel('Magnitude (dBFS)')

plt.xlim(f_min, f_max)

plt.grid(True)

plt.legend()

out_dir = os.path.join('results', grp)

os.makedirs(out_dir, exist_ok=True)

plt.savefig(os.path.join(out_dir, 'average_spectrum.png'))

plt.close()

# STFT Spectrogram

Zf, Zt, Zxx = signal.stft(data, fs=sr, nperseg=N)

plt.figure(figsize=(10,6))

plt.pcolormesh(Zt, Zf, 20*np.log10(np.abs(Zxx)+1e-10),
               shading='gouraud')

plt.ylim(f_min, f_max)

plt.xlabel('Time (s)')

plt.ylabel('Frequency (Hz)')

```

```
plt.title(f'STFT Spectrogram: {grp}')
plt.colorbar(label='Magnitude (dB)')
plt.tight_layout()
plt.savefig(os.path.join(out_dir, 'stft_spectrogram.png'))
plt.close()

# Özet

with open(os.path.join(out_dir, 'summary.txt'), 'w') as f:
    f.write(f"Centroid: {avg_centroid:.2f}\nAttack:
{avg_attack:.4f}\nPitch: {avg_pitch:.2f}\n")
```

