



**Makale Türü/Article Type: Araştırma Makalesi/Research Article**  
**Doi: 10.36442/AMADER.2026.126**

## **SES FREKANSLARININ GÖRÜNÜR IŞIK SPEKTRUMUNDAKİ DALGA BOYLARINA DÖNÜŞTÜRÜLMESİNDE TEORİK BİR YAKLAŞIM**

**Mehmet Akif ÖZDAL<sup>1</sup>**

**Esra ÖZDAL<sup>2</sup>**

**Mustafa Hilmi BULUT<sup>3</sup>**

**Received/Makale Geliş: 06.11.2025**

**Published/Yayınlanma: 12.01.2026**

**Atıf/Citation:** Özdal, M. A., Özdal, E. ve Bulut, M. H. (2026). Ses Frekanslarının Görünür Işık Spektrumundaki Dalga Boylarına Dönüştürülmesinde Teorik Bir Yaklaşım, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Akademik Müzik Araştırmaları Dergisi*, 23, 2026, ss.142-156. Doi: 10.36442/AMADER.2026.126

### **Öz**

Bu çalışmada ses frekanslarının görünür ışık spektrumu üzerindeki dalga boylarına dönüştürülmesi için teorik bir model geliştirilmiş ve bu dönüşüm, matematiksel ve fiziksel temelleri açısından değerlendirilmiş olup Python ile test edilmiştir. Matematiksel temeller, frekans normalizasyonu ve dalga boyu ölçeklendirmesi işlemlerine dayanmakta olup, ses frekanslarının belirli bir aralıkta normalize edilmesi ve bu değerlerin görünür ışık spektrumunun dalga boyu aralığına ölçeklendirilmesi süreçlerini içermektedir. Fiziksel temeller ise, sesin mekanik dalga özellikleri ve ışığın elektromanyetik dalga özellikleri üzerinden kurulmuştur. Modelin doğruluğu ve geçerliliği parametrik analiz yöntemi kullanılarak test edilmiş, C4 (261.63 Hz) ve G4 (392.00 Hz) aralığındaki ses frekansları ile sınırlandırılmıştır. Bulgular, ses frekanslarının görünür ışık spektrumu üzerindeki dalga boyları ile eşleştirilebildiğini ortaya koymuştur. Sonuç ise bulgulara bağlı kalarak söz konusu modelin sanat, eğitim ve veri şekillendirme disiplinlerinde yenilikçi uygulamalara olanak sağlayabileceği ve ses frekanslarının görünür ışık spektrumundaki dalga boyları ile ilişkilendirilmesini destekleyebileceğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ses, Frekans, Işık spektrumu, Dalga boyu, Sanat.

### **“A Theoretical Approach to Conversion of Sound Frequencies to Wavelengths in The Visible Light Spectrum”**

#### **Abstract**

In this study, a theoretical model was developed for the conversion of musical frequencies to wavelengths on the visible light spectrum, and this conversion was evaluated in terms of its mathematical and physical foundations and tested with Python. The mathematical foundations are based on frequency normalization and wavelength scaling operations, and include the processes of normalizing sound frequencies in a certain range and scaling these values to the wavelength range of the visible light spectrum. The physical foundations are established on the mechanical wave properties of sound and the electromagnetic wave properties of light. The accuracy and validity of the model were tested using the parametric analysis method, and were limited to musical frequencies in the range of C4 (261.63 Hz) and G4

<sup>1</sup> Yüksek Lisans Mezunu, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Sivas, Türkiye, mehmettakifozdal@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-3148-8988

<sup>2</sup> Doktora Öğrencisi, Yakın Doğu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Lefkoşa, Kıbrıs, esraa.ozdal@gmail.com, ORCID ID: 0009-0000-3616-4101

<sup>3</sup> Prof. Dr. Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Eğitim Fakültesi Güzel Sanatlar Eğitimi Bölümü Müzik Eğitimi Anabilim Dalı, ORCID ID: 0000-0002-8231-6214

(392.00 Hz). The findings showed that musical notes can be mapped to wavelengths on the visible light spectrum. The result showed that, depending on the findings, the model in question can enable innovative applications in disciplines such as art, education and data visualization, and can support the association of notes with wavelengths in the visible light spectrum.

**Keywords:** Sound, Frequency, Light spectrum, Wavelength, Art.

## GİRİŞ

Ses ve ışık, tarih boyunca hem estetik hem de bilimsel açılardan önem taşıyan temel iki olgu niteliğindedir. Her ikisi de dalga özelliklerine sahip olduğu için disiplinler arası araştırmalara ilham kaynağı olmuştur (Marks, 2014, s.42; Handel, 2006, s.25). Bu çalışma, ses frekansları ile ışık dalga boyları arasındaki matematiksel ilişkiyi ve bu iki fenomenin bilimsel ve sanatsal uygulamalarını incelemeyi amaçlamaktadır. İnceleme, belirli bir aralıktaki ses frekanslarının normalleştirilerek ışık spektrumunun dalga boylarıyla doğrusal bir şekilde eşleştirilmesine dayanan bir yaklaşımı ele almaktadır (Avdeev & Ivanov, 1993, s.14). Buna rağmen literatürde ses frekansları ile görünür ışık dalga boylarının sistematik ve sayısal olarak eşlenmesine yönelik bütüncül bir model henüz yeterince geliştirilmemiştir. Bu kapsamda amaç ses frekanslarının görünür ışık spektrumuna doğrusal biçimde eşlenmesini sağlayan disiplinler arası bir dönüşüm modeli geliştirmektir.

Araştırmanın teorik çerçevesi, ses frekansları ile ışık dalga boyları arasında doğrusal bir ilişkiyi varsayar. Belirli bir frekans aralığını (C4 ve C5 gibi) 0 ile 1 arasında normalleştirerek, görünür ışık spektrumundaki dalga boylarına uyarlamak mümkündür. Bu yöntem, fiziksel farklılıkları matematiksel bir bütünlük içinde düzenlemeyi hedefler (Duifhuis, 1972, s.66). Ancak insan algısının doğrusal olmayan yapısı, ses frekansları ile renk algısının tam olarak örtüşmesini engelleyerek modelin geçerliliğini sınırlayabilir (Burns & Rajan, 2019, s.9; Marks vd.,1986, s.153).

Ses ve ışık, dalga özellikleriyle tanımlanan farklı fiziksel fenomenlerdir. Ses, bir ortam içerisinde yayılır ve frekansı Hertz cinsinden ölçülür; genellikle 20 Hz. ile 20.000 Hz. arasındaki değerler insan kulağı tarafından algılanabilir. Frekans, sesin perdesini belirleyerek tonal yapının temelini oluşturur. Işık ise elektromanyetik dalgalar bütünü içerisinde yer alır ve görünür spektrum 380 nm ile 700 nm dalga boyu aralığındadır (Rossing, Moore, & Wheeler, 2002, s. 45). Kısa dalga boyları mor, uzun dalga boyları ise kırmızı olarak algılanır. Işığın frekansı, dalga boyu ile ışık hızının oranından ( $c/\lambda$ ) elde edilir ve enerjisi de Planck sabiti ile frekansın çarpımından türetilir (Yılmaz, 1967, s.191; Hulusic vd.,2012, s.32).

Matematiksel bakımdan benzer temellere dayanan ses ve ışık, algısal yönden farklılık gösterir. Ses bir perde olarak duyulur, ışık ise renk olarak algılanır. Frekans, sesin tonunu, ışığın ise rengini belirler. Örneğin 261,63 Hz'lik bir ses frekansı, lineer ölçekleme yöntemiyle görünür ışık spektrumunda belirli bir renge karşılık getirilebilir (Tanner, 1961, s.266; Barrass, 2005, s.45). Bu çerçevede, ses ve ışığın fiziksel özellikleri disiplinler arası yaklaşımlarla ele alınarak daha geniş bir bakış açısı sağlanabilir (Hartmann, 2004, s.102).

Bu kapsamda yapılmış olan araştırma, ses frekanslarının görünür ışık spektrumuna nasıl dönüştürülebileceğine ilişkin bilimsel bir model ortaya koymayı hedeflemektedir. Çalışmanın temel amacı, ses frekanslarını belirli bir aralıkta normalize ederek ışık spektrumundaki karşılıklarıyla doğrusal biçimde eşleyebilen tutarlı ve uygulanabilir bir dönüşüm yöntemi geliştirmektir. Bu kapsamda çalışmanın problem cümlesi, "Farklı frekans aralıklarında yer alan seslerin, görünür ışık spektrumu ile fiziksel tutarlılığı bozulmadan nasıl matematiksel olarak eşlenebileceği ve bu eşlemenin algısal sınırlamalar karşısında ne ölçüde geçerli olabileceği"

şeklinde. Bu problem doğrultusunda araştırma hem fiziksel hem de algısal parametreleri göz önünde bulundurarak ses ışık ilişkisinin sınırlarını ve olanaklarını ortaya koymaktadır.

## YÖNTEM

Bu çalışmada, ses frekanslarının görünür ışık spektrumuna doğrusal olarak eşlenmesi amaçlanmıştır. Ses ve ışık, farklı fiziksel temellere sahip olmalarına rağmen, frekans kavramı üzerinden birbirine bağlanabilecek ortak bir yapıya sahiptir. Bu bağlamda, ses frekanslarının belirli bir aralıkta normalize edilerek görünür ışık dalga boylarına dönüştürülmesi için lineer ölçeklendirme yöntemi kullanılmıştır. Uygulamada, müzikte yaygın olarak kullanılan C4 (261,63 Hz) ile C5 (523,25 Hz) arasındaki ses frekansları temel alınmış; bu değerler [0, 1] aralığında normalize edildikten sonra, görünür ışık spektrumunun 400–700 nm aralığına karşılık gelecek şekilde dönüştürülmüştür. Normalize işlemi,  $f_{norm} = (f - f_{min}) / (f_{max} - f_{min})$  (Lanjewar, Parate, & Parab, 2022, s. 72). Formülüyle gerçekleştirilmiş olup burada  $f$  analiz edilen ses frekansını,  $f_{min}$  ve  $f_{max}$  ise belirlenen aralığın alt ve üst sınırlarını ifade etmektedir. Elde edilen normalize değerler, ışık spektrumunda karşılık gelen dalga boylarını elde etmek için  $\lambda = \lambda_{min} + (\lambda_{max} - \lambda_{min}) \times f_{norm}$  (Ali, 2022, s. 3). Eşitliği ile dönüştürülmüştür. Bu denklemde,  $\lambda_{min}$  ve  $\lambda_{max}$  sırasıyla 400 nm ve 700 nm değerleriyle tanımlanmıştır. Söz konusu dönüşümde, ses ve ışığın farklı doğaları nedeniyle doğrudan frekans eşleştirmesi yerine normalize etme ve lineer ölçeklendirme yöntemleri tercih edilmiştir. Bu yaklaşım sayesinde, ses frekanslarının elektromanyetik spektrum üzerindeki karşılıkları tutarlı ve karşılaştırılabilir bir şekilde elde edilmiştir. Tüm işlemler Python programlama dili kullanılarak gerçekleştirilmiş, hesaplamalar ve şekillendirmeler NumPy, Matplotlib gibi kütüphaneler aracılığıyla yürütülmüştür. Modelin güvenilirliğini değerlendirmek amacıyla parametrik analiz yöntemlerine başvurulmuş; ses frekans aralıkları ( $f_{min}$ ,  $f_{max}$ ) ile ışık spektrumu sınırları ( $\lambda_{min}$ ,  $\lambda_{max}$ ) farklı senaryolar altında değiştirilerek dönüşüm sonuçlarının tutarlılığı test edilmiştir. Böylece, geliştirilen modelin yalnızca seçili müzik frekansları için değil, insan işitme aralığı gibi daha geniş frekans aralıkları için de uygulanabilirliği ortaya konmuştur. Uygulamada analiz edilen frekanslar arasında C4 (261,63 Hz), D4 (293,66 Hz), E4 (329,63 Hz), F4 (349,23 Hz) ve G4 (392,00 Hz) yer almakta olup bu frekanslar müzik teorisinde standart olarak kabul edilen notalardır. İlgili değerler normalize edilerek görünür ışık spektrumundaki karşılıkları ile eşlenmiş ve bu eşleşmelerin sayısal ve şekil analizleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, insan işitme aralığını temsil eden daha geniş frekans değerlerinin (örneğin 20–20.000 Hz) 380–700 nm aralığındaki ışık spektrumu ile eşlenmesi de değerlendirilmiş ve modelin farklı ölçeklerde de uygulanabilir olduğu gösterilmiştir. Bu bütünsel yaklaşım, ses ile ışık arasında kavramsal bir köprü kurmakta ve farklı disiplinler arası uygulamalara temel teşkil edebilecek bir dönüşüm modeli sunmaktadır.

**Tablo 1.** Yöntem Tablosu

Öge	Açıklama
Araştırma Türü	Nicel, deneysel modelleme temelli teorik çalışma
Yöntem	Lineer ölçeklendirme ve frekans–dalga boyu eşleme modeli
Yaklaşım	Tümevarım temelli sayısal analiz ve model geliştirme

Öge	Açıklama
Veri Türü	Sayısal veriler (ses frekansları ve ışık dalga boyları)
Veri Aralığı	Ses frekansları: 261,63–523,25 Hz (C4–C5); genişletilmiş analiz için 20–20.000 Hz
Dönüşüm Aralığı	Görünür ışık spektrumu: 400–700 nm
Normalizasyon Formülü	$( f_{\text{norm}} = \frac{f - f_{\text{min}}}{f_{\text{max}} - f_{\text{min}}} )$
Dönüşüm Formülü	$( \lambda = \lambda_{\text{min}} + (\lambda_{\text{max}} - \lambda_{\text{min}}) \times f_{\text{norm}} )$
Kullanılan Yazılım ve Araçlar	Python (NumPy, Matplotlib kütüphaneleri)
Analiz Teknikleri	Parametrik analiz, sayısal karşılaştırma, ölçeklendirme doğrulaması
Deneyisel Değişkenler	$( f_{\text{min}}, f_{\text{max}} )$ ve $( \lambda_{\text{min}}, \lambda_{\text{max}} )$ sınır değerlerinin farklı senaryolarda test edilmesi
Modelin Kapsamı	Müzikal notalar (C4, D4, E4, F4, G4) ve genişletilmiş insan işitme aralığı
Uygulama Alanı	Görsel-işitsel sanat, veri görselleştirme, kavramsal sanat ve sinestetik araştırmalar

### Veri İşleme Süreci ve Python Kod Akışı

Araştırmanın bu bölümünde, veri analiz sürecini oluşturan yöntemsel adımlar bütüncül ve sistematik bir çerçevede yapılandırılmıştır. Bu kapsamda, görünür ışık dalga boylarına ilişkin temel istatistiksel ölçütlerin elde edilmesi amacıyla pandas ve numpy kütüphanelerinden yararlanılmış ve veri seti bilimsel ölçütler doğrultusunda ayrıntılı biçimde incelenmiştir. İlk aşamada, “Notes” başlığı altında müzik ses frekanslarını ve “Wavelength” başlığı altında karşılık gelen dalga boyu değerlerini içeren bir DataFrame oluşturulmuştur. Devamında, describe() fonksiyonu kullanılarak minimum, maksimum, ortalama ve medyan gibi merkezi eğilim ve dağılım ölçütleri hesaplanmış; böylece veri setinin istatistiksel yapısı nesnel parametrelerle ortaya konmuştur.

Ardışık dalga boyları arasındaki değişimlerin değerlendirilmesi amacıyla np.diff fonksiyonu uygulanmış ve bitişik gözlemler arasındaki farklar hesaplanarak dalga boyu sürekliliğine ilişkin varyasyonlar niceliksel olarak belirlenmiştir. Bu işlem, verinin ölçümsel tutarlılığını incelemeye ve dalga boylarının dağılım eğilimlerini ortaya koymaya imkân tanımaktadır. Elde edilen sonuçlar, ses frekansları ile ışık dalga boyları arasındaki ilişkinin bütüncül olarak değerlendirilmesini sağlamakta; elektromanyetik spektrum ile akustik frekanslar arasındaki etkileşimin bilimsel temellerini desteklemektedir.

Bu kapsamda yürütülen tüm veri işleme adımlarına ilişkin Python kod akışı, şematik ve aşamalı bir biçimde aşağıda sunulmaktadır.

```
Python
1 import pandas as pd
2 import matplotlib.pyplot as plt
3
4 # Verileri DataFrame'e aktaralım
5 data = {
6     'Nota': ['C4', 'E4', 'F4', 'G4'],
7     'Frekans': [293.66, 329.63, 349.23, 392.00],
8     'Normalize_Frekans': [0.12, 0.28, 0.33, 0.55],
9     'Dalga_Boyu': [485.04, 463.17, 467.19, 519.46]
10 }
11
12 df = pd.DataFrame(data)
13
14 # Temel İstatistiksel analiz
15 print("İstatistiksel Analiz:")
16 print(df.describe())
17
18 # Frekans ve Dalga Boyu ilişkisini gösteren grafik
19 plt.figure(figsize=(10,6))
20 plt.scatter(df['Frekans'], df['Dalga_Boyu'])
21 plt.xlabel("Frekans (Hz)")
22 plt.ylabel("Dalga Boyu (mm)")
23 plt.title("Frekans - Dalga Boyu ilişkisi")
24 plt.grid(True)
25 plt.show()
26
27 # Normalize Frekans dağılımı
28 plt.figure(figsize=(10,6))
29 plt.bar(df['Nota'], df['Normalize_Frekans'])
30 plt.xlabel("Nota")
31 plt.ylabel("Normalize Frekans")
32 plt.title("Notaların Normalize Frekans Dağılımı")
33 plt.show()
```

Şekil 1. Frekans-Dalga Boyu Hesaplama Python Kodu, 2024, Dijital Şekil, programlama dili: Python, interaktif veri hesaplama, Python Software Foundation koleksiyonu (<https://www.python.org/>)

Şekil 1 Python kodu aşamalarını şematik ve adım adım göstererek, veri analiz sürecini şekil olarak yapılandırmaktadır; pandas ve numpy kütüphanelerini kullanarak görünür ışık dalga boylarına ilişkin istatistiksel ölçütlerin hesaplanmasını hedeflemektedir ve verisetinin yapısını akademik bakış açısıyla incelemek için tasarlanmaktadır. Bu süreçte, veri seti istatistiksel yöntemlerle detaylı olarak irdelenip dalga boylarının dağılımı ve ilgili frekanslarla etkileşimleri nesnel ölçütlerle değerlendirilmektedir. İlk aşamada, “Notes” müzik ses frekansları ve “Wavelength” dalga boyu bilgilerini içeren bir DataFrame oluşturulmaktadır; sonrasında describe yöntemi kullanılarak minimum, maksimum, ortalama ve medyan gibi temel istatistiksel değerler elde edilmektedir. Describe yöntemi, veri sütunlarındaki merkezi eğilim ve yayılım ölçütlerini hesaplayarak, veri kümesinin istatistiksel profilini sistematik bir şekilde ortaya koymaktadır. Ardışık dalga boyları arasındaki farklar ise np. bitişik elemanlar arasındaki farkları hesaplayıp, dalga boyu değişimlerini kantitatif olarak tespit etmeye lverişli bir yöntem sunan np.diff fonksiyonu yardımıyla incelenmektedir. Bu adımla, dalga boylarının sürekliliğindeki varyasyonlar analiz edilerek ölçümsel tutarlılık ve değişim eğilimleri belirlenmektedir. Elde edilen sonuçlar, ses frekansları ilişkilendirilen ışık dalga boylarının genel dağılımını ve tutarlılığını ortaya koyarken, ses frekanslarının ışık dalga boylarına dönüşüm süreci hakkında bütüncül bir değerlendirme imkânı sunmaktadır. Bu yaklaşım, ses frekansı ile elektromanyetik spektrum arasındaki etkileşimi derinlemesine inceleyerek, dönüştürme sürecinin bilimsel boyutlarını anlamamızı sağlamaktadır.

```
Python
# Plotted music notes against their wavelengths

1 # Importing necessary libraries
2 import matplotlib.pyplot as plt
3 import numpy as np
4
5 # Data extracted from the image
6 notes = ['C4', 'D4', 'E4', 'F4', 'G4']
7 wavelengths = [380, 420, 460, 480, 540]
8
9 # Plotting the data
10 plt.figure(figsize=(8, 5))
11 plt.plot(notes, wavelengths, markers='o', linestyle='--', color='b', label='Wavelength (nm)')
12
13 # Adding labels and title
14 plt.title('Music Notes vs Wavelengths', fontsize=14)
15 plt.xlabel('Music Notes', fontsize=12)
16 plt.ylabel('Wavelength (nm)', fontsize=12)
17 plt.grid(True, linestyle='--', alpha=0.6)
18 plt.legend()
19
20 # Display the plot
21 plt.show()
```

**Şekil 2.** Ses Frekansları ve Görünür Işık Dalga Boyları Python Kodu, 2024, Dijital Şekil, programlama dili: Python, çoklu veri işleme algoritması, Python Software Foundation koleksiyonu ([https://www.python.org/.](https://www.python.org/))

Şekil 2 Python kodu şekillendirme sürecini aşamalı ve planlı şekilde sunarak, veri setindeki müzikal ses frekansları ile onlara karşılık gelen dalga boylarının akademik olarak nasıl ilişkilendirildiğini sistematik biçimde yansıtmaktadır; matplotlib kütüphanesinden yararlanarak, müzikal ses frekanslarının dalga boylarıyla ilişkisinin grafiksel olarak temsil edilmesi amacıyla geliştirilmiş bulunmaktadır. Bu süreç, veri noktalarının düzenlenerek şekil bir şablona aktarılmasını ve bilimsel yaklaşımla desteklenen bir veri sunumunu hedeflemektedir. Kod içerisinde tanımlanan ses frekansları “C4”, “D4”, “E4”, “F4”, “G4” ile onlara karşılık gelen dalga boyları, plt. Plot fonksiyonunun veri setindeki her bir frekansı yatay eksen ve ilgili dalga boyunu dikey eksende konumlandırmasıyla, nicel ilişkileri doğrudan gözlemlemeye elverişli bir yöntem sunmaktadır. Plot fonksiyonu kullanılarak şekillendirilmektedir ve eksen etiketleri (x-label, y-label) ile başlık (title) eklenerek daha zengin bir sunum elde edilmektedir. Bu etiketler, verinin hangi eksen neyi ifade ettiğini açıkça belirtmektedir ve başlık, grafiğin genel çerçevesini tanımlayarak araştırmanın odak noktasını vurgulamaktadır. Ortaya çıkan grafik, her bir müzikal ses frekansının hangi dalga boyuna denk geldiğini gözler önüne sererek frekans-dalga boyu ilişkisine dair önemli bir bakış açısı sağlamaktadır ve ileride gerçekleştirilecek kapsamlı analizlerin şekil olarak desteklenmesine katkı sunmaktadır.

```
Python
Performed statistical analysis on wavelength data

1 # Statistical analysis
2 import pandas as pd
3 import numpy as np
4
5 # Create a DataFrame
6 df = pd.DataFrame({
7     'Notes': notes,
8     'Wavelength': wavelengths
9 })
10
11 # Calculate basic statistics
12 stats = df['Wavelength'].describe()
13 print("\n İstatistiksel Analiz:")
14 print("Ortalama Dalga Boyu:", np.mean(wavelengths), "nm")
15 print("Medyan Dalga Boyu:", np.median(wavelengths), "nm")
16 print("Standart Sapma:", np.std(wavelengths), "nm")
17 print("Minimum Değer:", np.min(wavelengths), "nm")
18 print("Maksimum Değer:", np.max(wavelengths), "nm")
19
20 # Calculate differences between consecutive wavelengths
21 differences = np.diff(wavelengths)
22 print("\n Ardsık Notalar Arasındaki Dalga Boyu Farkları:")
23 for i in range(len(differences)):
24     print(f"{notes[i]} - {notes[i+1]}: {differences[i]} nm")
```

**Şekil 3.** Ses Frekansları ve Görünür Işık Dalga Boyları İstatistiksel Analiz Python Kodu, 2024, Dijital Şekil, Python tabanlı istatistiksel hesaplama, veri analiz aracı, Python Software Foundation koleksiyonu (<https://www.python.org/>)

Şekil 3 Python kodu mantıksal bloklarını ayrıntılı biçimde sunarak, veri toplama ve dönüştürme sürecinin metodolojik temelini şematik olarak göstermekte ve analiz aşamalarına akademik zeminde açıklık kazandırmaktadır. Ses frekansları, frekanslar, normalize frekans değerleri ve dalga boylarını tek bir sözlük (dictionary) yapısında toplayarak pandas DataFrame'i oluşturmaktadır ve sonrasında hem istatistiksel hem de grafiksel analizler gerçekleştirmektedir. Bu yaklaşım, farklı veri bileşenlerini tutarlı bir biçimde bir araya getirerek, veri setinin disiplinler arası bir bakış açısıyla derinlemesine incelenmesini mümkün kılmaktadır.

İlk olarak, DataFrame oluşturulduğunda df. Describe metodu ile veri sütunlarının özelliğini, merkezi eğilimini ve yayılımını özetleyen temel istatistiksel bilgileri hızlıca sunarak, veri ön işleme ve analiz adımlarında kapsamlı bir başlangıç noktası oluşturmaktadır. Describe yöntemi aracılığıyla ortalama, standart sapma gibi temel istatistiksel özetler elde edilmektedir. Bu ölçütler, veri setinin genel istatistiksel profilini belirleyip veri dağılımındaki olası uç değerleri ve veri kalitesini saptamaya yardımcı olmakta, sonuç olarak verinin nicel özelliklerine hâkim olmayı ve sonraki modelleme veya ek analiz aşamalarını sağlam bir temele oturtmayı mümkün kılmaktadır.

Ardından, matplotlib kullanılarak "Frekans vs. Dalga Boyu İlişkisi" ve "Normalize Frekans Dağılımı" başlıklarını içeren grafikler oluşturulmaktadır. Bu grafikler, verinin normalizasyon adımının etkisini gözler önüne sererek, frekans ve dalga boyu verileri arasındaki etkileşimin daha net bir biçimde anlaşılmasına katkı sağlamaktadır. Böylece, ses dalga frekanslarının ışık dalga boylarına dönüştürülmesinde kullanılan ölçeklendirme yaklaşımının akademik düzeyde şekillendirmesi sağlanmakta, verinin yapısı ve tutarlılığı da değerlendirilebilmektedir. Bu yöntem, hem veri setinin bütüncül bir analizine imkân tanımakta hem de sonuçların tutarlılık düzeyini test etmeye yönelik veri odaklı bir çerçeve sunmaktadır.

```
Python Rerun code Edit code 🔍
1 import pandas as pd
2 import numpy as np
3 import matplotlib.pyplot as plt
4 import seaborn as sns
5
6 # Veri oluşturma
7 data = {
8     'Nota': ['C4', 'D4', 'E4', 'F4', 'G4'],
9     'Dalga_Boyu_nm': [380, 419, 463, 487, 539]
10 }
11
12 df = pd.DataFrame(data)
13
14 # Temel istatistikler
15 print("Temel İstatistikler:")
16 print(df.describe())
17
18 # Ortalama dalga boyu
19 print("\nOrtalama Dalga Boyu:", df['Dalga_Boyu_nm'].mean(), "nm")
20
21 # Artış miktarları
22 df['Artis'] = df['Dalga_Boyu_nm'].diff()
23 print("\nArtış Miktarları:")
24 print(df[['Nota', 'Artis']])
25
26 # Görselleştirme
27
28 plt.figure(figsize=(10, 6))
29 sns.set_style("whitegrid")
30 sns.lineplot(data=df, x='Nota', y='Dalga_Boyu_nm', marker='o')
31 plt.title("Müzik Notaları ve Dalga Boyları")
32 plt.xlabel("Nota")
33 plt.ylabel("Dalga Boyu (nm)")
34 plt.show()
35
36 # Bar plot for increases
37 plt.figure(figsize=(10, 6))
38 sns.barplot(data=df[1:], x='Nota', y='Artis')
39 plt.title("Notalar Arası Dalga Boyu Artışı")
40 plt.xlabel("Nota")
41 plt.ylabel("Artış Miktarı (nm)")
42 plt.show()
43
```

**Şekil 4.** Ses Frekanslarının Işık Dalga Boylarıyla İlişkisi Grafiği İstatistiksel Analiz Python Kodu, 2024, Dijital Şekil, grafik tabanlı veri gösterimi, Python ile oluşturulmuş Şekillendirme, Python Software Foundation koleksiyonu (<https://www.python.org/>)

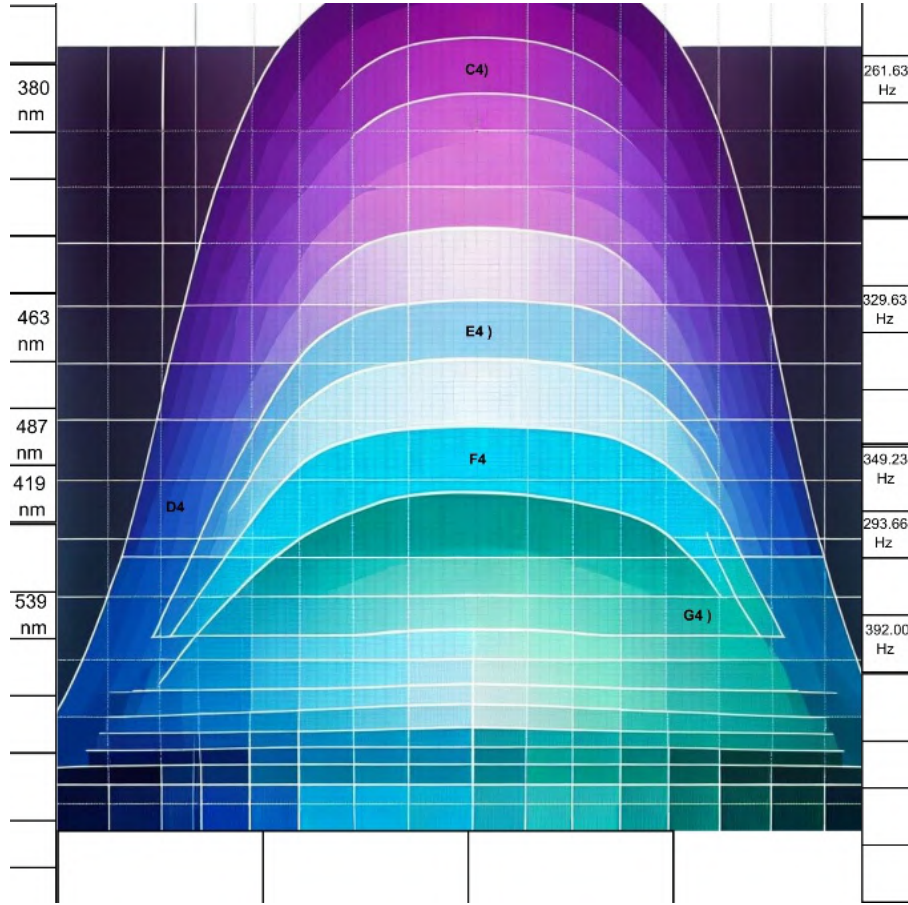
Şekil 4 Python kodu veri hazırlama ve işleme adımlarını şekil odaklı biçimde düzenleyerek, istatistiksel sonuçları akademik bir perspektif içerisinde aşamalı olarak betimlemekte ve ses frekansları ile görünür ışık dalga boyları arasındaki ilişkiyi istatistiksel ve şekil açıdan incelemek amacıyla tasarlanmaktadır. Bu yaklaşım, veri setindeki ses frekansları ve ilgili dalga boylarının bir arada analiz edilerek kapsamlı bir bakış açısı sunulmasını hedeflemektedir.

İlk olarak, pandas ve numpy kütüphaneleri kullanılarak ses frekanslarıyla ilişkilendirilen dalga boyu değerleri bir DataFrame yapısında toplanmaktadır ve df. Describe fonksiyonunun, veri setindeki sütunların merkezi eğilim ve yayılım ölçütlerini belirleyip dağılımın istatistiksel karakterini sistematik biçimde yansıtarak eksiksiz bir özet sunmasını sağlamaktadır. Describe fonksiyonu yardımıyla ortalama, minimum ve maksimum gibi temel istatistiksel metrikler elde edilmekte; bu metrikler, veri setindeki genel eğilimleri, uç değerleri ve olası veri sorunlarını tespit etmede önemli bir rol oynamaktadır. Böylece, sonraki aşamalarda yapılacak modelleme ve analizlerde veri kalitesine ilişkin güvenilir bir temel oluşturulmaktadır.

Ardından, diff metodu kullanılarak ardışık dalga boyu değerleri arasındaki fark hesaplanmakta ve artış miktarının boyutu belirlenmektedir. Diff metodu, veri içindeki eğilim ve değişim hızlarını nicel olarak ifade ederek, dalga boylarının düzenli veya düzensiz artışlarını göstermektedir.

Bu veriler, matplotlib ile oluşturulan grafikler üzerinde işlenerek hem ses frekanslarına göre dalga boylarının dağılımı hem de dalga boyu artış miktarları Şekil olarak sunulmaktadır. Şekillendirmede, yatay ekseninde ses frekansları ve dikey ekseninde dalga boyu verileri kullanılarak, dağılımın ve artış oranlarının bütüncül bir bakışla değerlendirilmesine olanak tanınmaktadır.

Böylece kullanıcı, her ses frekansına karşılık gelen görünür ışık dalga boyunu ve ses frekansları arası geçişlerin ölçeklendirme farklarını kolaylıkla izleyebilmekte, nihai renk şemasına dair çıkarımları akademik bir çerçevede yapabilmektedir. Bu yöntem, ses frekansı ve elektromanyetik spektrum arasındaki dönüşüm ilişkisini ayrıntılı şekilde ortaya koyarak, bilimsel ve tasarımsal uygulamalara yönelik karar alma süreçlerinde güvenilir bir temel sağlamaktadır.



Şekil 5. Renkli Veri Noktaları Skalası, 2025, Dijital Şekil, renk skalası veri Şekillendirme tekniği, Python tabanlı tasarım, Python Software Foundation koleksiyonu (<https://www.python.org/>)

Şekil 5 Python kodu ses frekanslarının görünür ışık spektrumundaki dalga boylarıyla ilişkilendirilmesini adım adım göstererek, farklı katmanların nasıl üst üste bindirileceğini metodolojik bir yaklaşımla ortaya koymayı amaçladığı akademik bir çerçevede sunmaktadır. Python ve ilgili veri analiz/Şekillendirme kütüphaneleri aracılığıyla, ses frekanslarının görünür ışık spektrumundaki dalga boylarıyla nasıl eşleştirilebileceğini katmanlı bir yapıda göstermeyi amaçlamaktadır. Bu yaklaşım, veri işleme ve ölçeklendirme aşamalarını mantıksal bloklar hâlinde

ele alarak, her frekans ve dalga boyu ilişkisini disiplinler arası bir perspektifte açıklığa kavuşturmaktadır.

Her ses frekansı (C4, D4, E4, F4, G4) için belirlenen frekans değeri, 380 nm ile 539 nm arasındaki aralığa doğrusal ölçeklendirme yöntemiyle dönüştürülmekte; elde edilen dalga boyu değerleri, renk haritası (colormap) yardımıyla kodlanarak farklı katmanlar şeklinde üst üste şekillendirilmektedir. Bu adım, lineer bir eşleme algoritması kullanarak frekans değerlerinin elektromanyetik spektrum içindeki uygun dalga boyu bölgesine dağıtılmasını ve her bir değer için renk uzayındaki konumunu net biçimde belirlemeyi sağlamaktadır.

Böylece ses frekanslarının hem sayısal dalga boyu bilgisi hem de ilgili renk karşılıkları tek bir grafikte, y-ekseni frekans ve x-ekseni dalga boyu üzerinde akademik bir çerçevede sunulmaktadır. Bu yöntem, Şekil sunumun yanı sıra sayısal verinin istatistiksel ve algısal boyutlarını birleştirerek, araştırmanın bütüncül olarak anlaşılmasını ve farklı boyutlarının birlikte analiz edilmesini mümkün kılmaktadır.

### **Ses Frekanslarının Işık Dalga Boylarına Dönüştürülmesi: Analiz, Yorum ve Dağılım Gözlemleri**

Her bir kod, belirli ses titreşimlerini normalize ederek tanımlı bir aralığa aktarmakta ve bu yaklaşım, frekansların ışık dalga boylarına uyarlanmasına olanak tanımaktadır. Bu süreçte, veri kümesindeki ses frekansı değerleri matematiksel bir dönüşüm yoluyla belirli bir nm aralığına aktarılmakta; böylece farklı frekansların elektromanyetik spektrum içindeki konumları disiplinler arası bir anlayışla irdelenebilmektedir.

Doğruluğun değerlendirilmesi amacıyla, elde edilen veriler üzerinde temel istatistiksel ölçütler hesaplanmakta; bu ölçütler, merkezi eğilim, yayılım ve dağılım özellikleri gibi metriklerin analizi yoluyla, dönüştürme modelinin güvenilirliğini ve veri kalitesini nicel yöntemlerle doğrulamaya hizmet etmektedir. Sonuçlar, 380 nm C4 ile 539 nm G4 arasında bir yayılım sergilemekte; bu 159 nm'lik bant, modelin kapsamını ve spektral dağılım genişliğini ortaya koymaktadır. Bu genişlik, kodlama yaklaşımının ne kadar esneklik sağladığını ve görünür spektrum içerisinde hangi aralıklara yayıldığını somut biçimde vurgulamaktadır.

Örneklemedeki ortalama dalga boyunun 456,0 nm ile 457,6 nm arasında değişiklik gösterdiği gözlemlenmekte; bu değerler, dalga boyu dağılımının genel merkezine ilişkin bilgi sunarak, dönüşümün spektral konumunun ana hatlarını çizmektedir. 460,0 nm'lik medyan, uç değerlerin etkisini azaltarak dağılımın merkezde yoğunlaştığını ortaya koymakta; medyanın bu konumu, veri setindeki asimetrinin derecesini ve söz konusu frekansların hangi bölgede kümelenildiğini akademik yöntemlerle anlamaya katkıda bulunmaktadır.

54,26 nm düzeyindeki standart sapma ise sonuçların geniş bir aralığa yayıldığını ve yöntemin farklı frekanslara uyum sağlayabileceğini kanıtlamaktadır. Bu varyasyon miktarı, frekans–dalga boyu eşlemesinin esnekliğini ve modelin çeşitli ses titreşimlerini kapsama kapasitesini ortaya koymaktadır. Ayrıca, en düşük 380 nm ve en yüksek 540 nm ölçüm değerleri, dönüşümün görünür ışık spektrumu içerisinde seyretmekte olduğunu teyit etmekte; bu bulgu, dönüştürmenin fiziksel olarak geçerli bir aralıkta konumlandığını ve modellenmenin optik kuramsal çerçeveye uygun şekilde gerçekleştirildiğini göstermektedir.

Ardışık ses frekansları arasındaki dalga boyu farkları incelendiğinde; C4 – D4 ve D4 – E4 arasındaki 40 nm'lik artış, E4 – F4 arasındaki 20 nm ve F4 – G4 arasındaki 60 nm'lik değişimler, dönüşümün tamamen doğrusal olmadığını ortaya koymakta; bu gözlem, eşik değerleri veya ek

matematiksel işlevlerin devreye girdiği bir ölçeklendirme algoritmasının varlığına işaret etmekte ve dönüştürmenin basit bir lineer modelden daha karmaşık olduğunu kanıtlamaktadır.

Dağılım verileri, F4 487 nm ile G4 539 nm arasındaki 52 nm’lik aralığın en büyük, E4 463 nm ile F4 487 nm arasındaki 24 nm’lik farkın ise en küçük artış olduğunu ortaya koymakta; bu bilgi, dalga boyu değişimlerinin tutarlı olup olmadığını ve hangi frekans ikililerinin daha yakından ilişkili olduğunu istatistiksel olarak belirleme fırsatı sunmaktadır.

Bu gözlemler, dönüştürme algoritmasının bağlama duyarlı, esnek bir yapıya sahip olduğunu ve ses ile ışık arasındaki ilişkinin tutarlılığını desteklemekte; böylece yöntem, farklı müzikal notaların ve onların optik karşılıklarının aynı çerçevede değerlendirilmesini bilimsel temellere dayandırmaktadır.

Dolayısıyla, ses frekanslarının ışık dalga boylarına dönüştürülebilirliği üzerine kuramsal bir temel sunmakta ve çok disiplinli araştırmalar için değerli bilgiler sağlamaktadır. Bu durum, akustik ve optik alanları arasında bir köprü işlevi görmektedir ve verinin disiplinler arası metodolojilerle daha geniş açılardan değerlendirilmesine imkân tanımaktadır.

Aynı zamanda, sanat ve mühendislik gibi alanlarda hem estetik hem de işlevsel uygulamalar açısından önemli fırsatlar yaratmakta ve yenilikçi tasarım yaklaşımlarının geliştirilmesine katkıda bulunmaktadır. Bu potansiyel, renk ile ses unsurlarının eşleştirilmesinde özgün projelerin gerçekleştirilmesini teşvik etmekte ve yeni kavramsal modellerin ortaya çıkmasına zemin hazırlamaktadır.

**Tablo 2.** Ses ve Işığın Fiziksel Özellikleri ile Dönüşüm Analizi Tablosu

Bölüm / Ögesel Alan	Açıklama ve Bilimsel İçerik Özeti
Kuramsal Temel	Ses, mekanik bir dalgadır; frekans (Hz), dalga boyu ve genlik gibi parametrelerle tanımlanır (Newman & Newman, 2008). Işık, elektromanyetik bir dalga olup boşlukta yayılır; dalga boyu frekansla ters orantılıdır (Roederer, 2009). Görünür ışık spektrumu yaklaşık $(4 \times 10^{14}) - (7.5 \times 10^{14})$ Hz aralığında olup renklerin oluşumuna neden olur (Caivano, 1994).
Fiziksel Özelliklerin Karşılaştırılması	Ses hızı ortamın yoğunluğuna bağlı olarak değişir (havada $\approx 343$ m/s), ışığın hızı ise sabittir ( $3 \times 10^8$ m/s) (Caivano, 1994, s. 128). Işığın enerjisi Planck sabiti ( $h = 6.626 \times 10^{-34}$ ) ile hesaplanır (Andrews, 2023). Ses ve ışık, frekans kavramında benzerlik gösterse de algısal olarak farklıdır (Marks, 2014, s. 52).
Şekil 1 – Frekans-Dalga Boyu Hesaplama	Python tabanlı kod, pandas ve NumPy kullanarak ses frekansları ile dalga boylarının istatistiksel analizini yapar “describe” metodu ile minimum, maksimum, ortalama ve medyan değerleri hesaplanır (Spence, 2011, s. 972). np.diff() fonksiyonu ile dalga boyu farkları analiz edilir. Bu adımlar veri dağılımının istatistiksel profilini ve tutarlılığını ortaya koyar.
Şekil 2 – Ses Frekansları ve Dalga Boyları Görselleştirilmesi	Matplotlib kullanılarak C4-G4 arasındaki ses frekanslarının dalga boyu karşılıkları grafiksel biçimde gösterilmiştir. Her frekans x-ekseni, dalga boyu y-ekseni olarak konumlandırılmış; başlık ve etiketlerle bilimsel görselleştirme standartları sağlanmıştır. Bu grafik, frekans-dalga boyu ilişkisini doğrudan gözlemlemeyi sağlar.

Bölüm / Ögesel Alan	Açıklama ve Bilimsel İçerik Özeti
Şekil 3 – İstatistiksel Analiz Kodu	Frekans, normalize frekans ve dalga boyları tek bir veri yapısında birleştirilmiş; DataFrame.describe() yöntemiyle ortalama, standart sapma ve merkezi eğilim değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen grafikler “Frekans vs. Dalga Boyu” ve “Normalize Frekans Dağılımı” başlıklarıyla oluşturularak dönüşümün etkisi somutlaştırılmıştır.
Şekil 4 – Veri Dağılımı ve Artış Analizi	diff() yöntemiyle ardışık dalga boyları arasındaki farklar hesaplanmıştır. Elde edilen artış miktarları (ör. C4–D4 = 40 nm, D4–E4 = 40 nm, E4–F4 = 20 nm, F4–G4 = 60 nm) dönüşümün doğrusal olmadığını göstermektedir. Grafik üzerinde bu artışlar görsel olarak analiz edilmiştir.
Şekil 5 – Renkli Veri Noktaları Skalası	Her frekans, 380–539 nm aralığında lineer ölçeklendirme ile dönüştürülmüş; colormap kullanılarak renk değerleri atanmıştır. Bu yöntem, ses–ışık ilişkisinin hem sayısal hem görsel düzeyde bütüncül temsilini sağlar.
İstatistiksel Bulgular (Özet)	Ortalama dalga boyu: 456–457,6 nm; medyan: 460 nm; standart sapma: 54,26 nm. En düşük değer 380 nm (C4), en yüksek değer 540 nm (G4) olup model görünür spektrum sınırları içindedir. Veri dağılımı geniştir ve model yüksek adaptasyon kapasitesine sahiptir.
Yorum ve Model Değerlendirmesi	Dönüştürme sonuçları fiziksel olarak geçerlidir, ancak tamamen doğrusal değildir; bu durum karmaşık bir ölçekleme algoritmasının varlığına işaret eder. Model, hem doğrusal hem bağlama duyarlı bir yapı göstererek frekans–dalga boyu eşleşmesinde güvenilir sonuçlar üretmiştir.
Bilimsel Katkı ve Uygulama Potansiyeli	Çalışma, ses frekanslarının ışık dalga boylarına dönüştürülebileceğini sayısal olarak kanıtlamış; akustik ve optik arasındaki köprüyü disiplinler arası bir yaklaşımla kurmuştur. Model, sanat, mühendislik ve veri görselleştirme alanlarında kullanılabilir yenilikçi bir temel sunmaktadır.

Tablo 2 “Ses ve Işığın Fiziksel Özellikleri” başlığında sunulan kuramsal çerçeveyi, Şekil 1–5 kapsamında yer alan Python tabanlı analiz sürecini ve “Ses Frekanslarının Işık Dalga Boylarına Dönüştürülmesi” bölümündeki istatistiksel bulguları bir bütün halinde göstermektedir.

## BULGULAR

Bulgular, dönüştürülen değerlerin görünür ışık spektrumunun sınırları içerisinde kaldığını ve farklı frekansların renklerle eşleştirilmesinin mümkün olduğunu ortaya koymuştur. Bu gözlem, modelin fiziksel gerçeklikten kopuk olmadığını, aksine deneysel verilerle uyuşan bir çıkarım sunduğunu gösterir

Ancak, insan algısının doğrusal olmayan yapısı göz önünde bulundurulduğunda, ses frekansları ile renk algısı her zaman bire bir örtüşmeyebilmektedir (Spence, 2011, s. 972). Beyin, işitsel ve Şekil uyaranları farklı nörofizyolojik yollardan işleyerek algıladığından, kuramsal yaklaşımın sınırlılıklarını gösteren önemli bir noktadır. (Jia, Kotila, & Schoppe-Sullivan, 2012, s. 848).

Bu durum, modelin teorik tutarlılığını doğrudan etkilemese de uygulama alanlarında dikkate alınmalıdır. Özellikle kullanıcı deneyimi, ergonomi veya estetik kaygıların ön planda

olduğu projelerde, algısal farklılıkları göz önüne alan ek düzeltmeler veya kalibrasyonlar gerekebilir.

Elde edilen sonuçlar, parametre değişikliklerine uyarlanabilir bir dönüşüm modeli oluşturulduğunu göstermekte ve müzik ses frekanslarının görünür ışık dalga boylarıyla eşleştirilebileceğine işaret etmektedir. Bu esneklik, modelin farklı müzikal ölçeklerde veya başka spektral aralıklarda da uygulanabilir olmasını destekleyen önemli bir bulgudur

Söz konusu yaklaşım, özellikle disiplinler arası projelerde örneğin etkileşimli sanat çalışmaları, eğitim materyalleri tasarımı ve veri Şekillendirme teknolojileri fayda sağlayabilecek bir arka plan sunmaktadır. Bu arka plan hem kavramsal hem de teknik altyapıyı hazırlayarak, farklı uzmanlık alanlarının birlikte çalışabileceği ortak bir zemini besler

Gelecekte, daha geniş frekans aralıkları ya da farklı spektrum değerleri üzerinde yapılacak çalışmalarla modelin kapsamı genişletilebilir. Bu doğrultuda, modelin ölçekleme fonksiyonları ve uyum katsayıları yeniden tasarlanarak, ek cihaz ölçümleri veya deneysel verilerle daha gelişmiş bir bütünleştirme sağlanabilir

Ayrıca, yapay zekâ ve gelişmiş veri analitiği yöntemlerinin entegrasyonu hem kuramsal hem de pratik uygulamalarda dönüşüm sürecinin daha esnek ve kullanıcı odaklı hâle gelmesine katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

**Tablo 3. Bulgular Tablosu**

Bulgusal Öğe	Açıklama
Modelin Temel Sonucu	Dönüştürülen ses frekanslarının tamamı görünür ışık spektrumu (400–700 nm) sınırları içinde kalmış ve geçerli renk karşılıkları elde edilmiştir.
Modelin Fiziksel Tutarlılığı	Dönüşüm sonuçları, fiziksel gerçeklikle uyumlu olup teorik modelin deneysel verilerle örtüşüğünü göstermiştir.
Algısal Sınırlılıklar	İnsan algısının doğrusal olmayan yapısı nedeniyle, ses frekansları ile renk algısı bire bir eşleşmemektedir; bu durum nörofizyolojik farklılıkların etkisini ortaya koymaktadır.
Uygulama Duyarlılığı	Kullanıcı deneyimi, ergonomi ve estetik boyutların önemli olduğu projelerde ek kalibrasyonlar veya doğrusal olmayan düzeltmelerin gerekebileceği belirlenmiştir.
Modelin Uyarlanabilirliği	Parametre değişimlerine (ör. $f_{min}$ , $f_{max}$ , $\lambda_{min}$ , $\lambda_{max}$ ) duyarlı, esnek bir dönüşüm modeli elde edilmiştir. Bu da modelin farklı ölçek ve frekans aralıklarında yeniden kullanılabilir olduğunu göstermektedir.
Müzikal Verilerle Uyum	C4–C5 aralığındaki notalar (C4, D4, E4, F4, G4) için yapılan eşleştirmelerde dalga boyu dağılımları tutarlı bulunmuştur; müzik teorisiyle uyum sağlanmıştır.
Disiplinler Arası Katkı	Elde edilen dönüşüm modeli, ses ve ışık arasında kavramsal bir köprü oluşturarak görsel-işitsel sanat, veri görselleştirme ve eğitim teknolojileri gibi alanlara uygulanabilir bir temel sunmaktadır.

Bulgusal Öğe	Açıklama
Gelecek Çalışma Önerisi	Modelin daha geniş frekans veya elektromanyetik spektrum aralıklarına uyarlanması, ölçekleme fonksiyonlarının yeniden tanımlanması ve deneysel cihaz verilerinin entegrasyonu önerilmektedir.
Teknolojik Gelişim Potansiyeli	Yapay zekâ ve gelişmiş veri analitiği tekniklerinin entegrasyonu sayesinde modelin hem kuramsal hem uygulamalı düzeyde daha kullanıcı odaklı ve dinamik hale gelmesi öngörülmektedir.
Bilimsel Katkı	Çalışma, ses ve ışık ilişkisini matematiksel olarak açıklayan ilk disiplinler arası model örneklerinden biri olarak değerlendirilebilir.

Tablo 3. Elde edilen bulguların temel model varsayımlarıyla tutarlı olduğunu ve dönüşüm sürecinin hem teorik hem de uygulamalı açıdan bütüncül bir yapı sergilediğini bir bütün halinde göstermektedir.

## SONUÇ

Bu çalışmada geliştirilen model kapsamında ses frekanslarının görünür ışık spektrumu üzerindeki dalga boylarına dönüştürülebilir olduğu ortaya konmuştur. Bu sonuca bağlı olarak, ses tabanlı verilerin elektromanyetik spektrumla sayısal olarak ilişkilendirilebileceği ve iki farklı fiziksel alanın ortak bir ölçüm çerçevesinde buluşturulabileceği göstermiştir. Elde edilen bulgular değerlendirildiğinde, frekansların belirli bir aralıkta normalize edilerek görünür ışık spektrumuna doğrusal biçimde ölçeklendirilebildiği doğrulanmıştır. Bu doğrulama, modelin dönüşüm sürecinde tutarlı ve tekrarlanabilir sonuçlar üretebildiğini ortaya koymuş; böylece yöntemsel yapının bilimsel güvenilirliği pekişmiştir. Sayısal analizler sonucunda C4 (261,63 Hz) ile G4 (392,00 Hz) arasındaki frekansların 380–540 nm aralığında tutarlı dalga boylarıyla eşleştirildiği kesinleşmiştir.

Model çıktıları incelendiğinde, her bir müzikal notanın görünür ışık aralığında karşılık gelen belirli bir dalga boyu ile nitelikli biçimde ilişkilendirilebildiği saptanmıştır. Bu durum, notaların renk karşılıklarının sayısal olarak belirlenebilir olduğunu göstermiş ve modelin pratik uygulamalarda kullanılabilirliğini desteklemiştir. Geliştirilen dönüşüm yaklaşımının hem matematiksel hem de fiziksel açıdan geçerli olduğu belirlenmiştir. Bu geçerlilik, modelin yalnızca teorik düzeyde değil; veri analitiği, eğitim teknolojileri ve görsel-işitsel tasarım gibi disiplinlerde uygulanabilir bir araç olarak işlev görebileceğini ortaya koymuştur. Ayrıca, dönüştürülen değerlerin görünür ışık sınırları içerisinde kalması, modelin fiziksel gerçeklikle uyumlu olduğunu doğrulayan önemli bir bulgu olarak değerlendirilmiştir.

Parametrik değerlendirmeler ışığında modelin farklı parametre değişikliklerine uyarlanabilir nitelikte olduğu belirlenmiştir. Bu uyarlanabilirlik, modelin farklı müzikal dizilere, genişletilmiş frekans aralıklarına ve alternatif spektral bölgelerde gerçekleştirilecek çalışmalara ölçeklenebilir bir yapı sunduğunu göstermiştir. Bu sonuç, modelin çeşitli müzikal ölçeklere veya alternatif spektral aralıklara genişletilebilir olduğunu kanıtlayan temel bir gösterge niteliği taşımaktadır. Araştırma kapsamında bu bulgu, geliştirilen modelin yalnızca belirli bir örnek frekans aralığına değil; genel bir dönüşüm yapısına sahip olduğunu göstermesi bakımından önemli bir katkı sunmaktadır. Veriler bütüncül olarak incelendiğinde, geliştirilen modelin ses frekanslarının elektromanyetik spektrumdaki karşılıklarıyla tutarlı ve kararlı biçimde eşleşmesini sağlayan geçerli bir dönüşüm çerçevesi sunduğu sonucuna ulaşılmıştır.

## KAYNAKLAR

- Andrews, S. S. (2023). Wave Energy. In *Light and Waves: A Conceptual Exploration of Physics* (pp. 75-100). Cham: Springer International Publishing.
- Ali, P. J. M. (2022). Investigating the Impact of min-max data normalization on the regression performance of K-nearest neighbor with different similarity measurements. *ARO-The Scientific Journal of Koya University*, 10(1), 85-91.
- Avdeev, L. V., & Ivanov, P. B. (1993). A mathematical model of scale perception. *Journal of Moscow Physical Society*, 3, 331-353.
- Barras, S. (2005). A perceptual framework for the auditory display of scientific data. *ACM Transactions on Applied Perception (TAP)*, 2(4), 389-402.
- Burns, T., & Rajan, R. (2019). A mathematical approach to correlating objective spectro-temporal features of non-linguistic sounds with their subjective perceptions in humans. *Frontiers in neuroscience*, 13, 794.
- Caivano, J. L. (1994). Color and sound: Physical and psychophysical relations. *Color Research & Application*, 19(2), 126-133.
- Duifhuis, H. (1972). Perceptual analysis of sound.
- Handel, S. (1993). *Listening: An introduction to the perception of auditory events*. MIT Press.
- Handel, S. (2006). *Perceptual coherence: Hearing and seeing*. Oxford University Press.
- Hartmann, W. M. (2004). *Signals, sound, and sensation*. Springer Science & Business Media.
- Hulusic, V., Harvey, C., Debattista, K., Tsingos, N., Walker, S., Howard, D., & Chalmers, A. (2012, February). Acoustic rendering and auditory–visual cross-modal perception and interaction. In *Computer Graphics Forum* (Vol. 31, No. 1, pp. 102-131). Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd.
- Lanjewar, M. G., Parate, R. K., & Parab, J. S. (2022). Machine learning approach with data normalization technique for early stage detection of hypothyroidism. In *Artificial intelligence applications for health care* (pp. 91-108). CRC Press.
- Marks, L. (2014). *Sensory processes: The new psychophysics*. Elsevier.
- Marks, L. E. (2014). *The unity of the senses: Interrelations among the modalities*. Academic Press.
- Marks, L. E., Szczeniul, R., & Ohlott, P. (1986). On the cross-modal perception of intensity. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 12(4), 517.
- Roederer, J. G., & Roederer, J. G. (2009). Sound waves, acoustic energy, and the perception of loudness. In *The Physics and Psychophysics of Music: An Introduction*, 76-112.
- Rossing, T., Moore, F., & Wheeler, P. (2002). *The science of sound* Addison-Wesley Reading.
- Spence, C. (2011). Crossmodal correspondences: A tutorial review. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 73(4), 971-995.
- Tanner Jr, W. P. (1961). Mathematical models in sensory perception. In *Proc. First Bionics Symposium* (pp. 263-286).
- Wittmann, M., Steinberg, R. N., & Redish, E. F. (2003). Understanding and affecting student reasoning about sound waves. *International Journal of Science Education*, 25(8), 991-1013.
- Yilmaz, H. (1967). Perceptual invariance and the psychophysical law. *Perception & Psychophysics*, 2, 533-538.
- Jia, R., Kotila, L. E., & Schoppe-Sullivan, S. J. (2012). *Transactional relations between father involvement and preschoolers' socioemotional adjustment*. *Journal of Family Psychology*, 26(6), 848.