



**TÜRKÇE ÜNLÜLERİN ALGILANMASINDA SÜRE, TEMEL FREKANS VE
SPEKTRAL TİLT ETKİSİ**

Doktora Tezi
Cemil YILMAZ
Eskişehir 2022

**TÜRKÇE ÜNLÜLERİN ALGILANMASINDA SÜRE, TEMEL FREKANS VE
SPEKTRAL TİLT ETKİSİ**

Cemil YILMAZ

DOKTORA TEZİ

Dil ve Konuşma Terapisi Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Handan YAVUZ

Eskişehir

Anadolu Üniversitesi

Sağlık Bilimleri Enstitüsü

Mayıs 2022

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Cemil YILMAZ'ın “Türkçe Ünlülerin Algılanmasında Süre, Temel Frekans ve Spektral Tilt Etkisi” başlıklı tezi 25/05/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek “Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği”nin ilgili maddeleri uyarınca, Dil ve Konuşma Terapisi Anabilim dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

	<u>Unvanı Adı Soyadı</u>	<u>İmza</u>
Üye (Tez Danışmanı)	: Prof. Dr. Handan YAVUZ	
Üye	: Doç. Dr. Özlem ÜNAL LOGACEV	
Üye	: Dr. Öğr. Üye. Aylin Müge TUNÇER	
Üye	: Doç. Dr. Elçin TADIHAN ÖZKAN	
Üye	: Dr. Öğr. Üye. Didem ÇEVİK	

Enstitü Müdürü
(İmza)

ÖZET

TÜRKÇE ÜNLÜLERİN ALGILANMASINDA SÜRE, TEMEL FREKANS VE SPEKTRAL TİLT ETKİSİ

Cemil YILMAZ

Dil ve Konuşma Terapisi Anabilim Dalı

Anadolu Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Mayıs 2022

Danışman: Prof. Dr. Handan YAVUZ

Bu çalışmada Türkçedeki ünlülerin algılanmasında süre, temel frekans ve spektral tilt parametrelerinin etkisi incelenmiştir. Üç parametre sistematik bir biçimde değiştirilerek sekiz Türkçe ünlüsü olan /Λ/, /o/, /u/, /ʊ/, /ε/, /œ/, /y/, /i/ sesleri sentezlenmiştir. Her bir sentetik ünlü sesin iki farklı süre değeri (60 ms ve 200 ms), üç farklı temel frekans değeri (118 Hz, 133 Hz, 148 Hz) ve üç farklı spektral tilt değişim değeri (-6 dB/octave, 0 dB/octave, +6 dB/octave) bulunmaktadır. Toplamda 288 sentetik ünlü, 102 dil ve konuşma terapisi öğrencisine bireysel olarak kulaklıktan dinletilmiştir. Katılımcılardan duydukları uyarıları Türkçedeki sekiz ünlüden hangisi olduğunu belirtmeleri istenmiştir. Bulgulara göre, parametreler arasında bir etkileşim olmadığı, ancak her bir parametrenin farklı ünlü seslerin algılanmalarını anlamlı derecede etkilediği görülmüştür. Süre parametresi /o/ ünlüsünün; temel frekans parametresi /o/, /ε/ ve /œ/ ünlülerinin; spektral tilt parametresi /Λ/, /u/, /ʊ/, /ε/, /œ/ ve /i/ ünlülerinin hedeflenen ses olarak algılanma yüzdelerini anlamlı derecede etkilemektedir. Hiçbir parametre değerinin, /y/ sesinin hedeflenen ses olarak algılanma yüzdelerini anlamlı derecede etkilemediği bulunmuştur. Tüm ünlülerin hedef ünlü olarak algılanmasında üç parametrenin birlikte anlamlı bir etkisi olmamakla birlikte hata matrislerinde her bir ünlünün algılanmasında üç parametrenin de etkisi olduğu görülmektedir.

Anahtar Sözcükler: Türkçe ünlüler, süre, temel frekans, spektral tilt, algı deneyi

ABSTRACT

THE EFFECT OF DURATION, FUNDAMENTAL FREQUENCY AND SPECTRAL TILT IN THE PERCEPTION OF TURKISH VOWELS

Cemil YILMAZ

Department of Speech and Language Therapy

Anadolu University, Graduate School of Health Sciences, May 2022

Supervisor: Prof. Dr. Handan YAVUZ

This study investigated the effect of duration, fundamental frequency and spectral tilt in the perception of Turkish vowels. Eight Turkish vowels, /ʌ/, /o/, /u/, /ʊ/, /ɛ/, /œ/, /y/, /i/, were synthesized by systematically varying the three parameters. Each of the synthetic vowels had two duration (60 ms and 200 ms), three fundamental frequency (118 Hz, 133 Hz, 148 Hz), and three spectral tilt (+6 dB/octave, 0 dB/octave, -6 dB/octave) values. A total of 288 isolated synthetic vowels were presented to 102 speech and language pathology students. The participants, who were presented the vowels individually through headphones, were asked to identify the stimuli as one of the eight Turkish vowels. The findings showed that although there was no significant interaction among the parameters, each of the three parameters had a significant effect on the identification of different vowels. Duration had a significant effect on the identification of /o/, fundamental frequency on the identification of /o/, /ɛ/, /œ/, and spectral tilt on /ʌ/, /u/, /ʊ/, /ɛ/, /œ/, /i/. None of the parameters were found to have a significant effect on the identification of /y/. Even though the three parameters together did not show a significant effect on the identification of all eight vowels, confusion matrices suggested that all of the parameters had an effect on the perception of the Turkish vowels.

Keywords: Turkish vowels, duration, fundamental frequency, spectral tilt, perception test

ÖNSÖZ

Bu araştırmanın gerçekleşmesinde emeği geçen başta danışman Hocam Prof. Dr. Handan YAVUZ'a, tez izlemelerimde yer alan ve düşünceleriyle beni yönlendiren Dr. Öğr. Üyesi A. Müge TUNÇER'e ve Dr. Öğr. Üyesi Özlem ÜNAL LOGACEV'e, tez savunmamda yer alıp değerli katkılarını sunan Doç. Dr. Elçin TADIHAN ÖZKAN'a ve Dr. Öğr. Üyesi Didem ÇEVİK'e teşekkürlerimi sunuyorum.

Çalışmaya gönüllü katılımcı olan Anadolu ve Kütahya Sağlık Bilimleri Üniversitelerindeki Dil ve Konuşma Terapisi öğrencilerine ve çalışmayı bu üniversitelerde yürütmeme imkan sağlayan başta Prof. Dr. İlknur MAVİŞ ve Dr. Öğr. Üyesi Didem ÇEVİK olmak üzere akademik personellerine teşekkürlerimi sunarım.

Lisans sürecimde olduğu gibi doktora sürecimde de 2211/A Yurt İçi Genel Doktora Burs Programı kapsamında verdiği burs ile beni destekleyen TÜBİTAK BİDEB'e teşekkür ederim.

Fonetikteki macerama yüksek lisans sürecimde Handan Hoca ve Esra Hoca'yla başladım. Doktora sürecimin bitiminde de beni yalnız bırakmayan Esra ERTAN SCHLUTER'e çok teşekkür ediyorum.

Handan Hoca'ya tekrar teşekkür etmek istiyorum ve öğrencisi olduğum için gurur duyuyorum. Uzun doktora sürecimin en güzel yanı Handan Hocamın öğrencisi olmak, ondan öğrenebilmek, değişebilmek ve gelişebilmektir.

Son olarak bu süreçte de hayatımın her anında olduğu gibi sevgisiyle beni yaşama bağlamış olan annem Nurcihan Yılmaz'a ve bu bağın içindeki birbirinden farklı her bir ipliğin keşfinde uzaktan da olsa yanımda olan kişiye müteşekkirim.

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Anadolu Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

(İmza)

Cemil YILMAZ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	vii
İÇİNDEKİLER	viii
TABLolar DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK BİLGİSİ	8
2.1. Ses ve İletişim	8
2.2. Ses ve Konuşma Sesi	8
2.3. Konuşma Sesleri	9
2.4. Ünlü Seslerin Artikülasyon Özellikleri	9
2.5. Ünlü Seslerin Fonolojik Özellikleri	11
2.6. Ünlü Seslerin Akustik Özellikleri	12
2.7. Ünlü Üçgeni (veya Dörtgeni) ve Quantal Ünlüler	15
2.8. Sesin İşitilmesi	18
2.9. Sesin Algılanması	20
2.10. Ünlü Konuşma Seslerinin Algılanması	22
2.10.1. Formantların ünlü seslerin algılanmasındaki rolü	23
2.10.2 Formant geçiş bölgelerinin ve sabit durum frekans bölgesinin rolü	25
2.10.3 Formant kontürlerinin rolü	25
2.10.4 Ünlü normalizasyonu	26
2.10.5 Ünlü seslerin algılanmasında formant dışındaki akustik parametrelerin rolü	27
2.10.5.1. Ünsüzlerin etkisi	27

2.10.5.2. <i>Süre etkisi</i>	28
2.10.5.3. <i>Temel frekans etkisi</i>	28
2.10.5.4. <i>Spektral tilt etkisi</i>	29
2.10.6. Ünlü seslerin algılanmasına dair teoriler	29
2.10.7. Ünlü sesler ve kategorik algılama	32
2.11. Türkçedeki Ünlü Sesler	33
2.11.1. Türkçedeki ünlülerin akustik özellikleri	33
2.11.2. Türkçedeki ünlülerin fonolojik özellikleri	37
2.11.3. Türkçedeki ünlüler üzerine yapılan algı çalışmaları	39
2.12. Ünlü Ses Sentezi	39
3. YÖNTEM	42
3.1. Algı Deneyi İçin Uyarıların Oluşturulması	42
3.1.1. Akustik analiz	42
3.1.1.1. <i>Katılımcılar</i>	42
3.1.1.2. <i>Materyal ve prosedür</i>	43
3.1.1.3. <i>Analizler</i>	43
3.1.2. Ünlülerin sentezlenmesi	47
3.2. Algı Deneyi	54
3.2.1. Katılımcılar	55
3.2.2. Uyarılar	55
3.2.3. Uygulama	57
3.2.4. Analiz	60
4. BULGULAR	62
4.1. Süre, Temel Frekans ve Spektral Tilt Değişim Parametrelerine Göre İzole Sentetik Ünlülerin Hedeflenen Ünlü Olarak Algılanma Yüzdelерinin Dağılımları Nedir?	63
4.2. Süre Parametresi Değişiminin Ünlülerin Algılanmasına Etkisi Var mıdır?	65
4.3. Temel Frekans Değişiminin Ünlülerin Algılanmasına Etkisi Var mıdır?	67
4.4. Spektral Tilt Parametresi Değişiminin Ünlülerin Algılanmasına Etkisi Var mıdır?	69

4.5. Süre ve Temel Frekansın; Süre ve Spektral Tiltin; Temel Frekans ve Spektral Tiltin; Süre, Temel Frekans ve Spektral Tiltin Birlikte Değişmesinin Ünlülerin Algılanmasına Etkisi Var mıdır?	71
4.6. Her Bir Sentetik Ünlü Sesin Farklı Süre, Temel Frekans ve Spektral Tilt Değişim Değerlerindeki Algılanma Dağılımları Nedir ve Süre, Temel Frekans, Spektral Tilt Değişim Parametrelerinin Bu Dağılımlara Etkisi Var mıdır?	71
4.7. Her Bir Ünlü Sesin Sentezlenen Tüm Ses Versiyonlarının Hedeflenen ve Hedeflenmeyen Ünlü Olarak Algılanma Yüzdelерinin Dağılımları (Hata Matrisleri) Nedir?	79
4.7.1. /Λ/ ünlüsü için hata matrisleri	80
4.7.2. /o/ ünlüsü için hata matrisleri	82
4.7.3. /u/ ünlüsü için hata matrisleri	85
4.7.4. /u/ ünlüsü için hata matrisleri	87
4.7.5. /ε/ ünlüsü için hata matrisleri	89
4.7.6. /œ/ ünlüsü için hata matrisleri	92
4.7.7. /y/ ünlüsü için hata matrisleri	94
4.7.8. /i/ ünlüsü için hata matrisleri	96
4.8. Bulguların Özeti	98
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	100
5.1. Tartışma	100
5.1.1. Süre	100
5.1.2. Temel frekans	104
5.1.3. Spektral tilt	112
5.1.4. Süre, temel frekans, spektral tilt parametrelerinin ortak değerlendirilmesi	118
5.2. Sonuç	120
5.2.1. Kısıtlılıklar	123
5.2.1. Öneriler	123
KAYNAKÇA	124
EKLER	
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1. Bark ölçeği	21
Tablo 2.2. Türkçedeki ünlülerin formant analizlerinin yapıldığı bazı akustik analiz çalışmalarından elde edilen kadın konuşucular için formant frekans değerleri	34
Tablo 2.3. Türkçedeki ünlülerin formant analizlerinin yapıldığı bazı akustik analiz çalışmalarından elde edilen erkek konuşucular için formant frekans değerleri	35
Tablo 2.4. Türkçedeki ünlülerin süre analizlerinin yapıldığı bazı akustik analiz çalışmalarından elde edilen süre değerleri (süreler milisaniye – ms olarak yer almaktadır)	36
Tablo 2.5. Türkçede ünlü sesler için ölçülmüş olan temel frekans değerleri (değerler Hz olarak yer almaktadır)	37
Tablo 2.6. Türkçedeki ünlülerin fonolojik özelliklerine göre sınıflandırılması	38
Tablo 3.1. Doğal ünlülerden elde edilen geniş bant spektrumlarından ölçülen akustik değerler; ilk 4 formant değerleri F1, F2, F3, F4; ilk 4 formantın genlik (amplitüd) değerleri A1, A2, A3, A4.....	47
Tablo 3.2. Süre, temel frekans, spektral tilt değişim parametrelerinin aldığı değerler ve dağılımı	48
Tablo 3.3. KlattGrid programında kaynak oluşturmada kullanılan parametreler ve bu parametrelerin aldığı değerler	49
Tablo 3.4. Dinleme deneyi alıştırma kısmında yer alan uyaranlarının dağılımı	56
Tablo 3.5. Deneydeki uyaranların sayıları, sıralamaları ve toplam uyaran sayısı	57
Tablo 4.1. Süre, temel frekans ve spektral tilt parametrelerine göre izole sentetik ünlülerin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerinin dağılımı	63

Tablo 4.2.	Sentetik ünlü seslerin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelерinin spektral tilt değışim (+6 dB/octave, 0 dB/octave, -6 dB/octave), temel frekans (118 Hz, 133 Hz ve 148 Hz) ve süre (60 ms ve 200 ms) parametrelerine göre ortalamaları ve (medyan değерleri)	72
Tablo 4.3.	Süre değерlerinin karşılaştırılmasında kullanılan Sign testinin; temel frekans ve spektral tilt değерlerinin karşılaştırılmasında kullanılan Friedmann testinin sonuç değерleri	74
Tablo 4.4.	Süre, temel frekans ve spektral tilt değışim parametrelerine göre oluşturulan gruplar arasında bulunan farkların anlamlılık düzeylerinin ünlülere göre dağılımı; *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$	74
Tablo 4.5.	Kısa (60 ms) ve uzun (200 ms) sentetik /Λ/ ünlüsünün farklı temel frekans (118 – 133 – 148 Hz) ve farklı spektral tilt değışim (+6 dB/octave, 0 dB/octave, -6 dB/octave) değерlerindeki hata matrisi (değерler % olarak verilmiştir; her sıradaki değерler toplamı %100'dür)	80
Tablo 4.6.	Kısa (60 ms) ve uzun (200 ms) sentetik /Λ/ ünlüsünün farklı temel frekans (118 – 133 – 148 Hz) ve farklı spektral tilt (ST) değışim (+6 dB/octave, 0 dB/octave, -6 dB/octave) değерlerindeki hata matrisi; belirtilen ünlünün hangi oranda başka ünlü olarak algılandığını belirtir (%5'in altındaki değерler yer almamaktadır)	81
Tablo 4.7.	Kısa (60 ms) ve uzun (200 ms) sentetik /o/ ünlüsünün farklı temel frekans (118 – 133 – 148 Hz) ve farklı spektral tilt değışim (+6 dB/octave, 0 dB/octave, -6 dB/octave) değерlerindeki hata matrisi (değерler % olarak verilmiştir; her sıradaki değерler toplamı %100'dür)	83

Tablo 4.8.	Kısa (60 ms) ve uzun (200 ms) sentetik /o/ ünlüsünün farklı temel frekans (118 – 133 – 148 Hz) ve farklı spektral tilt değişim (+6 dB/octave, 0 dB/octave, -6 dB/octave) değerlerindeki hata matrisi; belirtilen ünlünün hangi oranda başka ünlü olarak algılandığını belirtir (%5'in altındaki değerler yer almamaktadır)	84
Tablo 4.9.	Kısa (60 ms) ve uzun (200 ms) sentetik /u/ ünlüsünün farklı temel frekans (118 – 133 – 148 Hz) ve farklı spektral tilt değişim (+6 dB/octave, 0 dB/octave, -6 dB/octave) değerlerindeki hata matrisi (değerler % olarak verilmiştir; her sıradaki değerler toplamı %100'dür)	85
Tablo 4.10.	Kısa (60 ms) ve uzun (200 ms) sentetik /u/ ünlüsünün farklı temel frekans (118 – 133 – 148 Hz) ve farklı spektral tilt değişim (+6 dB/octave, 0 dB/octave, -6 dB/octave) değerlerindeki hata matrisi; belirtilen ünlünün hangi oranda başka ünlü olarak algılandığını belirtir (%5'in altındaki değerler yer almamaktadır)	86
Tablo 4.11.	Kısa (60 ms) ve uzun (200 ms) sentetik /u/ ünlüsünün farklı temel frekans (118 – 133 – 148 Hz) ve farklı spektral tilt değişim (+6 dB/octave, 0 dB/octave, -6 dB/octave) değerlerindeki hata matrisi (değerler % olarak verilmiştir; her sıradaki değerler toplamı %100'dür)	87
Tablo 4.12.	Kısa (60 ms) ve uzun (200 ms) sentetik /u/ ünlüsünün farklı temel frekans (118 – 133 – 148 Hz) ve farklı spektral tilt değişim (+6 dB/octave, 0 dB/octave, -6 dB/octave) değerlerindeki hata matrisi; belirtilen ünlünün hangi oranda başka ünlü olarak algılandığını belirtir (%5'in altındaki değerler yer almamaktadır)	88
Tablo 4.13.	Kısa (60 ms) ve uzun (200 ms) sentetik /e/ ünlüsünün farklı temel frekans (118 – 133 – 148 Hz) ve farklı spektral tilt değişim (+6 dB/octave, 0 dB/octave, -6 dB/octave) değerlerindeki hata matrisi (değerler % olarak verilmiştir; her sıradaki değerler toplamı %100'dür)	89

Tablo 4.14. Kısa (60 ms) ve uzun (200 ms) sentetik /ε/ ünlüsünün farklı temel frekans (118 – 133 – 148 Hz) ve farklı spektral tilt değişim (+6 dB/octave, 0 dB/octave, -6 dB/octave) değerlerindeki hata matrisi; belirtilen ünlünün hangi oranda başka ünlü olarak algılandığını belirtir (%5'in altındaki değerler yer almamaktadır)	91
Tablo 4.15. Kısa (60 ms) ve uzun (200 ms) sentetik /œ/ ünlüsünün farklı temel frekans (118 – 133 – 148 Hz) ve farklı spektral tilt değişim (+6 dB/octave, 0 dB/octave, -6 dB/octave) değerlerindeki hata matrisi (değerler % olarak verilmiştir; her sıradaki değerler toplamı %100'dür)	92
Tablo 4.16. Kısa (60 ms) ve uzun (200 ms) sentetik /œ/ ünlüsünün farklı temel frekans (118 – 133 – 148 Hz) ve farklı spektral tilt değişim (+6 dB/octave, 0 dB/octave, -6 dB/octave) değerlerindeki hata matrisi; belirtilen ünlünün hangi oranda başka ünlü olarak algılandığını belirtir (%5'in altındaki değerler yer almamaktadır)	93
Tablo 4.17. Kısa (60 ms) ve uzun (200 ms) sentetik /y/ ünlüsünün farklı temel frekans (118 – 133 – 148 Hz) ve farklı spektral tilt değişim (+6 dB/octave, 0 dB/octave, -6 dB/octave) değerlerindeki hata matrisi (değerler % olarak verilmiştir; her sıradaki değerler toplamı %100'dür)	95
Tablo 4.18. Kısa (60 ms) ve uzun (200 ms) sentetik /y/ ünlüsünün farklı temel frekans (118 – 133 – 148 Hz) ve farklı spektral tilt değişim (+6 dB/octave, 0 dB/octave, -6 dB/octave) değerlerindeki hata matrisi; belirtilen ünlünün hangi oranda başka ünlü olarak algılandığını belirtir (%5'in altındaki değerler yer almamaktadır)	96
Tablo 4.19. Kısa (60 ms) ve uzun (200 ms) sentetik /i/ ünlüsünün farklı temel frekans (118 – 133 – 148 Hz) ve farklı spektral tilt değişim (+6 dB/octave, 0 dB/octave, -6 dB/octave) değerlerindeki hata matrisi (değerler % olarak verilmiştir; her sıradaki değerler toplamı %100'dür)	97

Tablo 4.20.	Kısa (60 ms) ve uzun (200 ms) sentetik /i/ ünlüsünün farklı temel frekans (118 – 133 – 148 Hz) ve farklı spektral tilt (ST) değişim (+6 dB/octave, 0 dB/octave, -6 dB/octave) değerlerindeki hata matrisi; belirtilen ünlünün hangi oranda başka ünlü olarak algılandığını belirtir (%5'in altındaki değerler yer almamaktadır)	98
Tablo 5.1.	Sentetik ünlü seslerin birinci formant değerleri (F1) ve birinci formant değerleri ile temel frekans parametreleri olan 118, 133, 148 Hz değerleri arasındaki farklar; tüm değerler Hz birimindedir	107
Tablo 5.2.	Sentetik ünlülerin tüm versiyonlarının hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerinin (%) ortalama ve standart sapma değerleri	118
Tablo 5.3.	102 katılımcıdan alınan toplam 29.376 yanıtın ünlü seslere göre dağılımı	120

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Ünlü üçgeninin ve ünlü dörtgeninin köşe ünlüleriyle birlikte temsili görünümü	16
Şekil 2.2. Türkçedeki doğal ünlülerin bir konuşucudan ölçülen F1 ve F2 değerlerine göre grafiklendirilmesi	17
Şekil 3.1. /œ/ ünlüsünden geniş bant spektrum alınması: a) /œ/ ünlüsünün ses dalgası görünümü b) /œ/ ünlüsünün 5ms Gaussian window geniş bant spektrogram görüntüsü c) /œ/ ünlüsünün a) ve b)'de noktalı dikey çizgi ile belirlenen kısımdan 5ms uzunluğundaki Gaussian window ile alınan geniş bant spektrumu	45
Şekil 3.2. Seçilen doğal ünlü seslerden 5 ms Gaussian window ile alınan geniş bant spektrum görüntüleri	46
Şekil 3.3. 60 ms ve 0 dB/oct parametrelerinde sentezlenmiş /ε/ sesinin LPC (linear predictive coding) spektrum görüntüsü; açık çizgi 118 Hz, koyu çizgi 133 Hz, noktalı çizgi 148 Hz temel frekans değerlerindedir (LPC autocorrelation: prediction order 16; window 25 ms)	50
Şekil 3.4. Doğal ve sentetik /i/ ünlüsünün karşılaştırmalı görüntüleri: üst sıra /i/ ünlüsünün doğal ve sentetik ses dalgası görünümüleri, ortada spektrogram görüntüleri, altta FFT (Fast fourier transformation) görüntüleri (60 ms uzunluğunda rectangular window)	51
Şekil 3.5. Spektral tilti değiştirilmiş 60 ms ve 133 Hz'teki sentetik ünlülerin FFT (fast fourier transformation) dönüşümlerinin 100 Hz bant genişliğindeki LTAS (long term average spectrum) görüntüleri; koyu çizgi (+6 dB/octave); noktalı çizgi (0 dB/octave); açık düz çizgi (-6 dB/octave)	53
Şekil 3.6. Deneyin ilk açıldığı/başladığı andaki ekran görüntüsü	58
Şekil 3.7. Deneyin uygulanması sırasında alınan bir ekran görüntüsü	59

Şekil 4.1.	Süre, temel frekans ve spektral tilt parametrelerine göre ünlülerin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerinin %95'lik güven aralığı ile birlikte ortalamaları	64
Şekil 4.2.	Hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerinin 60 ms ve 200 ms olmak üzere 2 farklı süre değerine göre dağılımlarının kutu grafiği (boxplot) ile gösterimi (medyan, 25. ve 75. yüzdelerlik dilimler, min ve max değerleri yer almaktadır)	66
Şekil 4.3.	Hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerinin 118 Hz, 133 Hz ve 148 Hz olmak üzere 3 farklı temel frekans değerine göre dağılımlarının kutu grafiği (boxplot) ile gösterimi (medyan, 25. ve 75. yüzdelerlik dilimler, min ve max değerleri yer almaktadır)	68
Şekil 4.4.	Hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerinin +6 dB/oct, 0 dB/oct ve -6 dB/oct olmak üzere 3 farklı spektral tilt değişim değerine göre dağılımlarının kutu grafiği (boxplot) ile gösterimi (medyan, 25. ve 75. yüzdelerlik dilimler, min ve max değerleri yer almaktadır)	70
Şekil 4.5.	Ünlü seslerin hedeflenen ünlü olarak ortalama algılanma yüzdelerinin spektral tilt değişim parametresine göre dağılımları (spektral tilt değişim parametresi; * işareti olan ünlülerde anlamlı derecede etkilidir)	75
Şekil 4.6.	Sentetik /i/ ünlü sesinin farklı süre (60 ms ve 200 ms); farklı temel frekans (118 Hz, 133 Hz ve 148 Hz) ve farklı spektral tilt değişim (+6 dB/octave, 0 dB/octave ve -6 dB/octave) değerlerindeki hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri	76
Şekil 4.7.	Sentetik /y/ ünlü sesinin farklı süre (60 ms ve 200 ms); farklı temel frekans (118 Hz, 133 Hz ve 148 Hz) ve farklı spektral tilt değişim (+6 dB/octave, 0 dB/octave ve -6 dB/octave) değerlerindeki hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri	77
Şekil 4.8.	Ünlü seslerin hedeflenen ünlü olarak ortalama algılanma yüzdelerinin temel frekans parametresine göre dağılımları (temel frekans parametresi; * işareti olan ünlülerde anlamlı derecede etkilidir)	78

- Şekil 4.9.** Ünlü seslerin hedeflenen ünlü olarak ortalama algılanma yüzdelерinin süre parametresine göre dağılımları (süre parametresi; * işareti olan ünlülerde anlamlı derecede etkilidir) ... **79**
- Şekil 5.1.** Üstte 60 ms uzunluğundaki /Λ/ ünlü sesinin FFT (fast fourier transformation) dönüşümü sonrası görülen harmonikleri; altta 60 ms uzunluğundaki /Λ/ ünlü sesinin LCP spektrumu (LPC autocorrelation, 16 prediction order, 25 ms window); mavi 118 Hz, siyah 133 Hz, kırmızı 148 Hz temel frekans değеrindeki /Λ/ ünlü seslerine aittir **111**



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ANOVA	: Analysis of variance (Varyans Analizi)
A1	: 1. formant genliği
A2	: 2. formant genliği
A3	: 3. formant genliği
A4	: 4. formant genliği
CSL	: Computerized Speech Lab
dB	: Decibel (Desibel)
FFT	: Fast fourier transformation (Hızlı fourier dönüşümü)
F0	: Fundamental frequency (Temel frekans)
F1	: 1. Formant
F2	: 2. Formant
F3	: 3. Formant
F4	: 4. Formant
F2'	: Effective higher formant frequency (Etkin formant frekansı)
Hz	: Hertz
JND	: Just noticeable difference (Ancak ayırt edilebilen fark)
LPC	: Lineer predictive coding (Doğrusal öngörülü kodlama)
LTAS	: Long term average spectrum (Uzun süreli ortalama spektrum)
max.	: en büyük
MFC	: Multiple forced choice
min.	: en küçük
MRI	: Magnetic resonance imaging (Manyetik rezonans görüntüleme)
ms	: milisaniye
NRV	: Natural referent vowel
oct.	: octave
Ort.	: Ortalama
PAM	: Perceptual assimilation model
SS	: standart sapma
VOT	: Voice onset time

1. GİRİŞ

Konuşma seslerinin hem üretimi hem de algılanması karmaşık süreçlerden oluşmaktadır. Konuşma seslerinin algılanmasında bazı değişmeyen akustik ipuçlarının (invariant acoustic cues) olduğu düşünülürken (Blumstein ve Stevens, 1979) zamanla durumun sadece bundan ibaret olmadığı, akustik ipuçlarının çeşitli biçimlerde tekrar ettiği (redundancy of acoustic cues) görüşü (Raphael, Borden ve Harris, 2011) ön plana çıkmıştır. Konuşma sesleri ile ilgili bu görüş, hem ünsüz hem de ünlü sesler için geçerlidir.

Ünlü seslere dair araştırmaların en önemli amaçlarından biri normal konuşucularda ünlü üretiminin ve algılanmasının nasıl gerçekleştiğine dair bilgi edinmektir. Normal konuşuculardan elde edilen bilgiler ünlü seslerin üretimlerine ve algılanmalarına dair bozuklukları daha iyi anlamaya ve müdahale edebilmeye olanak sağlayacaktır. İşitme bozukluklarındaki ünlü ses üretimlerinde (Angelocci, Kopp ve Holbrook, 1964) ve algılanmalarında görülen sorunlar (Molis ve Leek, 2011), bu duruma örnek olarak gösterilebilir. Edinilmiş konuşma apraksisinde (Ouden vd., 2018) ve gelişimsel konuşma apraksisinde (Davis, Jacks ve Marquardt, 2005) ünlü seslerin üretimlerinde sorunlar olduğu gibi gelişimsel konuşma apraksisinde ayrıca ünlü seslerin algılanmasında (Maassen, Groenen ve Crul, 2003) da sorunlar görülmektedir. Ünlü seslerin nasıl üretildiğini ve nasıl algılandığını bilmemiz bazı dil ve konuşma bozukluklarını anlamamıza ışık tuttuğu gibi ikinci dil öğrenmelerinde de büyük bir önem taşımaktadır (Bosch, Costa ve Sebastian-Galles, 2000; Tyler vd., 2014).

Ünlü seslerin üretimlerinde ve algılanmalarında formant frekans değerlerinin büyük bir rolünün olduğu gösterilmiştir (Delattre vd., 1952). Ancak formant frekans değerleri, ünlü seslerin tanınmasında ve birbirinden ayırt edilmesinde tek ve değişmez akustik ipucu olma görevini tam olarak yerine getirememektedir. Ünlü seslerin algılanmasında pek çok başka akustik ipucunun olduğu bilinmektedir. Ünlü sesin süresinin (Ainsworth, 1981), temel frekans değerinin (Scott, 1976), spektral tilt değerinin (Linqvist-Gauffin ve Pauli, 1968), formant geçiş bölgelerinin (Strange, Jenkins ve Johnson, 1983), formant kontürlerinin (Hillenbrand ve Nearey, 1999), ünlü sesin yanındaki ünsüz seslerin (Hillenbrand, Clark ve Nearey, 2001) hepsinin ünlü seslerin algılanmasında rollerinin olduğu yapılan çalışmalarda gösterilmiştir. Bu çalışmada bahsedilen parametrelerden süre, temel frekans ve spektral tilt parametrelerinin Türkçedeki ünlü seslerin algılanmasındaki rolleri incelenecektir. Süre,

temel frekans ve spektral tilt parametrelerinin seçilmesindeki öncelikli neden, bu parametrelerin formant değişimlerini içermemesi, hepsinin de ünlü seslerin algılanmasını etkilediğinin gösterilmiş olması ve süre hariç (Kılıç vd., 2006) diğer parametrelerin Türkçe ünlü seslerin algılanması üzerinde araştırılmamış olmalarıdır.

Süre, ünlü seslerin ayırt edilmesinde Türkçe için ayırt edici bir fonolojik özellik değildir. Ancak fonetik olarak, ünlü seslerin kendine özgü süre aralıklarında olma eğilimleri vardır. Klasik çalışmalardan birisi olan Hause (1961) İngilizcedeki ünlü seslerin süre değerlerini belirlemeye yönelik olan çalışmasında ünlü sesteki süre uzamasının İngilizcenin fonolojisinin bir parçası olduğunu göstermekle birlikte kapalı olmayan ünlülerin süre değerlerinin uzayabileceğini ve bunun da sesletim sürecinin bir fonksiyonu olduğunu ileri sürmektedir.

Aynı ortamdaki (çevrelerindeki konuşma sesleri aynı olan) farklı ünlü sesler için de süre değerlerinin değiştiği gözlenir (House, 1961). Ancak aynı ünlü sesin süre değerleri farklı ortamlarda da değişebilmektedir (Klatt, 1973; Umeda, 1975). Bu durumda farklı ünlülerde gözlenebilecek farklı süre değerlerinin algıda bir rolünün olup olmadığı araştırılması gereken bir sorudur. Ünlü ses süresinin, algılamayı etkileyen faktörlerden biri olduğu Ainsworth'ün (1981) çalışmasında gösterilmiştir.

Türkçedeki ünlüler için süre ayırt edici bir özellik olmamakla birlikte Türkçedeki ünlülerin artikülasyon özelliği olarak kendine özgü süre değeri bulunabilir. Bazı geçmiş çalışmalarda Türkçedeki ünlü seslerin süre değerleri ölçülmüştür. Farklı ortam ve farklı bağlamlarda alınan ölçümlerde Türkçedeki ünlü seslerin süre değerlerinin farklılık gösterdiği bulunmuştur (Şayli, 2002; Şayli, Arslan ve Özsoy, 2002; Şayli ve Arslan, 2003; Arısoy vd., 2004; Aydın, Kayıkçı ve Süslü, 2019). Bu çalışmalardaki süre değerleri incelendiğinde kapalı ve kapalı olmayan ünlüler arasında belirgin bir fark olduğu ve diğer dillerde olduğu gibi Türkçede de kapalı olmayan ünlülerin daha uzun sürelerde olduğu görülmüştür.

Türkçedeki ünlü seslerin süre değerlerinin algılamadaki etkileri üzerine bir çalışmada 10 farklı süre değerindeki Türkçe ünlü seslerin oluşturduğu 80 uyaran, 14 normal işiten ve 15 işitme engelli çocuğa dinletilmiştir (Kılıç vd., 2006). En kısa süreli uyaranlar 30-32 ms en uzun süreli uyaranlar ise 487-519 ms süreleri arasındadır. Normal işiten çocuklarda ünlü süresinin algıda istatistiki olarak anlamlı bir etkisi bulunmamıştır. Ancak işitme engelli bireylerde çok kısa süreli ve çok uzun süreli ünlülerin algısında farklılıklar görülmüştür; /ʌ/, /o/, /i/ ünlüleri her sürede; /u/ sadece en

yerlerinin/sınırlarının değiştiğini gösterirken Scott (1976) nl seslerin algılanmasının temel frekansın değişmesinden doğrudan etkilendiği bulmuştur.

nl seslerde sesin kalitesini belirleyen faktörlerden biri de ünlü sese ait spektrumun tüm görüntüsüdür (whole spectrum). Sesin tüm spektrumu içerisindeki enerji dağılımlarının da en az formantlar kadar ünlü seslerin algılanmasında belirleyici rol oynadığı gösterilmiştir (Molis, 2005; Hillenbrand, Houde ve Gayvert, 2006). nl seslerin tüm spektrumlarında yüksek ve düşük frekanslardaki enerji dağılımlarının (spektral tilt) algılamayı nasıl etkilediği de ayrıca araştırılmıştır. Ito, Tsuchida ve Yano (2001) yaptıkları çalışmada yüksek ve düşük frekans genliklerinin ünlülerin algılanmasında ve ünlü üretim yerlerinin ayırt edilmesinde önemli rol oynadığı görüşünü ileri sürmüşlerdir. Hipotezlerini test edebilmek için birinci ve ikinci formantların genlik oranlarını değiştirmişlerdir. İkinci formantın genlik değerinin artmasıyla birlikte algılanan ünlülerde; birinci formant 375 Hz'teyken /u/ sesinden /i/ sesine ve birinci formant 750 Hz'teyken /o/ sesinden /e/ sesine bir değişim olduğunu gözlemişlerdir. İkinci formantın genliği düşürüldüğünde ve düşük frekansların genliği yüksek frekanslardan yeterli derecede yüksek olduğunda arka ünlülerin; ikinci formant ile birinci formantın genlik değerleri birbirine yakın ve spektral tilt düz bir grnmde olduğunda ise n ünlülerin algılandığını bulmuşlardır. Sonuç olarak yüksek ve düşük frekans genlik oranlarının, algılanan ünlü kalitesini özellikle ön-arka ünlü bağlamında değiştirebildiği gösterilmiştir.

Linqvist-Gauffin ve Pauli (1968) alışmalarında sentetik /i/, /y/ ve /u/ ünlülerin spektral tiltini değiştirmek için iki filtre kullanmışlardır. Yüksek frekansların genliğinin düşürüldüğü uyaranlar ve yüksek frekansların genliğinin arttırıldığı uyaranlar ayrı ayrı tanıma testine sokulduğunda yüksek frekansların genliğinin düşürüldüğü gruptaki ünlü tanımlarının oranlarında düşüş olduğu görülmüştür. Fonem sınırlarında bir değişim gözlenmezken ünlü tanımlarındaki bu düşüşün, spektral tilt değişiminin bir belirsizlik yaratması olarak yorumlanmıştır. Linqvist-Gauffin ve Pauli çalışmalarındaki iki farklı filtrenin uygulandığı uyaranları karıştırarak dinleyenlere sunduğunda ise fonem sınırlarının arka ünlüler lehine değiştiğini gözlemlemişlerdir – yüksek frekansların genliğinin düşürüldüğü uyaranlar daha fazla /u/ ünlüsü olarak algılanmıştır. Spektral enerji dağılımının hangi ünlü olduğuna karar vermede etkili olduğu sonucuna varmışlardır.

Kiefte ve Kluender (2005) çalışmalarında dinleyicilerin /i/ ve /u/ ünlüleri arasında karar vermesinde doğrudan spektral tilt değerlerini formant frekans değerleriyle birlikte değiştirmişlerdir. Karar vermede formant frekans değerleri çok daha etkili görünse de spektral tilt değerlerinin de anlamlı derecede etkili olduğunu bulmuşlardır. Aynı çalışma içerisinde Kiefte ve Kluender spektral tilt değişimini diftong ünlülerin algılanmasında da incelemişlerdir ancak diftong gibi formant tepe noktalarının değiştiği ünlülerde spektral tiltin etkisinin az olduğunu görmüşlerdir. Sonuç olarak statik ünlülerin tanınmasında spektral tilt değişiminin algılamada çok daha etkili olduğunu belirlemişlerdir. Yine spektral tilt değişiminin /u/ ve /i/ ünlüleri arasındaki algılanmayı etkilediği; yüksek frekansların genliğinin artmasıyla birlikte /i/ ünlü algılanmalarının arttığı Kiefte, Enright ve Marshall (2010) çalışmasında da bir kez daha gösterilmiştir.

Spektral tilt değişimlerinin bebeklerde ve çocuklarda ünlü seslerin algılanmasını etkileyip etkilemediği de araştırılmıştır. Tsang ve Trainor (2002) 8 aylık bebeklerin, farklı spektral tilt değişim değerlerindeki karmaşık tonları ayırt edip edemediklerini incelemişlerdir. Bebeklerin -10 dB/octave ve -4 dB/octave spektral eğimdeki tonları birbirinden ayırt edebildiklerinin ancak daha yüksek (+16 ve +4 dB/octave; +3 ve -3 dB/octave) ve daha düşük (-10 ve -16 dB/octave) spektral tiltteki tonları ayırt edemediklerini bulmuşlardır. Çalışma sonucunda, işitme sisteminin konuşma seslerinde gözlenen spektral tilt değerlerine daha hassas olduğu bildirilmiştir. Ancak hassas olunan spektral tilt değerleri aralığı gelişimle birlikte değişebilmektedir. Beach, Noble ve Kitamura (2015) çalışmalarında 6 ve 9 aylık bebeklerin /ɔ/ ve /e/ ünlülerini ayırt edip edemediklerini spektral tilti değiştirilmemiş ve -6 dB/octave ile +6 dB/octave oranında spektral tilti değiştirilmiş uyarılarla incelemişlerdir. 6 aylık bebeklerin ünlüleri, spektral tilti değiştirilmemiş ve spektral tilti -6 dB/octave değiştirilmiş uyarılarda ayırt edebildikleri ancak spektral tilti +6 dB/octave değiştirilmiş uyarılarda ayırt edemedikleri bulgulanmıştır. 9 aylık bebeklerin ise sadece spektral tilt değeri değiştirilmemiş uyarılarda /ɔ/ ve /e/ ünlülerini ayırt edebildikleri bulunmuştur. Bebeklerin gelişimle birlikte dildeki spektral profillere eğilimlerinin arttığı ileri sürülmüştür. Kitamura, Gregory ve Kuan (2005) çalışmalarında 24 ve 36 aylık çocukların konuşmayı ayırt etmelerine farklı spektral tilt değerlerinde bakmışlardır. 24 aylık çocuklar -6 dB/octave'daki konuşmayı ayırt edebilirken 36 aylık çocuklar +6 dB/octave'daki konuşmayı ayırt edebilmiştir. Yüksek frekanslara doğru hassasiyetin artması, çocuğun dildeki ünsüz seslere dikkatinin artması biçiminde yorumlanmıştır.

Sonuçta spektral tiltin ünlü seslerin algılanmasındaki rolü gelişimle birlikte değişebilmektedir ve yetişkinlerde ayrıca araştırılması gerekmektedir.

Süre, temel frekans ve spektral tilt parametrelerinden her birinin ünlü seslerin algılanmasını etkilediğinin gösterilmesi yanında bazı çalışmalarda bu parametreler arasında etkileşimler olduğu da bulunmuştur. Örneğin ünlü seslerin temel frekans değerlerindeki değişimlerin, süre değerlerinin algısını etkilediği gösterilmiştir (Lehiste, 1976; Pisoni, 1976; Cumming, 2011). Bu üç parametrenin özellikle birlikte değişim gösterdiği duruma ise Lombard etkisi (Lombard speech) örnek olarak gösterilebilir. Süre, temel frekans ve spektral tilt parametrelerinin, yapılan akustik analizler sonucunda Lombard etkisiyle değişebildiği bulgulanmıştır (Summers vd., 1988; Tartter, Gomes ve Litwin, 1993). Lombard etkisiyle akustik değerlerinde değişimler görülen temel frekans ve spektral tilt parametrelerinin konuşma anlaşılabilirliğine birlikte etkilerinin olup olmadığına bakılmış, spektral tilt değişiminin konuşma anlaşılabilirliği üzerinde anlamlı derecede bir etkisi gözlenirken temel frekans değişiminin etkisi sınırlı kalmıştır (Lu ve Cooke, 2009). Süre, temel frekans ve spektral tilt arasındaki etkileşimler, bu parametrelerin birlikte araştırılması sırasında üzerinde durulması gereken faktörlerden birisi olduğuna işaret etmektedir.

Türkçe ünlülerin algılanmasında süre parametresinin etkileri sınırlı düzeyde incelenmişken (Kılıç vd., 2006) temel frekans ve spektral tilt parametreleri henüz incelenmemiştir. Bu nedenle, bu çalışmanın amacı süre, temel frekans ve spektral tilt parametrelerinin Türkçe ünlülerin algılanmasındaki rollerini belirlemektir. Parametrelerin kontrollü değiştirilebilmesi amacıyla yapılan algı deneylerinde sentetik ünlüler kullanılmıştır. Ancak sentetik ünlüler sadece bir araç olarak kullanılmakta olup elde edilen veriler ileride yapılacak diğer çalışmalarla birlikte Türkçe doğal ünlülerin algılanmasına ışık tutacaktır. Bu çalışmanın amacına ulaşmak için aşağıdaki araştırma sorularına yanıt aranacaktır:

- 1) Süre, temel frekans ve spektral tilt değişim parametrelerine göre izole sentetik ünlülerin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerinin dağılımları nedir?
- 2) Süre parametresi değişiminin ünlülerin algılanmasına etkisi var mıdır?
- 3) Temel frekans değişiminin ünlülerin algılanmasına etkisi var mıdır?
- 4) Spektral tilt parametresi değişiminin ünlülerin algılanmasına etkisi var mıdır?

- 5) Süre ve temel frekansın; süre ve spektral tiltin; temel frekans ve spektral tiltin; süre, temel frekans ve spektral tiltin birlikte değişmesinin ünlülerin algılanmasına etkisi var mıdır?
- 6) Her bir sentetik ünlü sesin farklı süre, temel frekans ve spektral tilt değişim değerlerindeki algılanma dağılımları nedir ve süre, temel frekans, spektral tilt değişim parametrelerinin bu dağılımlara etkisi var mıdır?
- 7) Her bir ünlü sesin sentezlenen tüm ses versiyonlarının hedeflenen ve hedeflenmeyen ünlü olarak algılanma yüzdelerinin dağılımları (hata matrisleri) nedir?



2. KAYNAK BİLGİSİ

2.1. Ses ve İletişim

Ses (sound) üretimi, göreceli olarak en küçük boyutlardaki canlılardan devasa boyutlardaki canlılara değin pek çok canlı türünün iletişiminde önemli bir rol oynamaktadır. Bir tür karıncanın (black imported fire ant; *Solenopsis richteri*) kolonide birbirleriyle haberleşmelerinde ses üretimini kullandıkları, yeni keşiflerden biridir (Hickling ve Brown, 2000). Balinaların ise çok karmaşık desenli ses dizilerini ürettikleri ve iletişim amaçlı kullandıkları uzun yıllardan beri bilinmektedir (Au vd., 2006). Yarasaların ise iletişim amacının yanında yüksek frekanslı sesleri avlarının yerini belirlemede nasıl kullanmaya (ecolocation) başladığı halen araştırılmaktadır (Jones ve Teeling, 2006). Diğer canlılarda ses üretimi, iletişim amacının yanında farklı amaçlar için de kullanılabilir.

İnsanların iletişimde kullandığı sesler, başka türler tarafından taklit edilebilmektedir. Beluga balina türünün (*delphinapterus leucas*) aynı papağanların yaptığı gibi insan sesini (voice) taklit edebildiği ve insan konuşma seslerine (speech sounds) benzer sesler üretebildiği gözlenmiştir (Murayama vd., 2014). Ancak insanların iletişimde kullandığı seslerin yine son derece karmaşık iletişim amaçları için kullanılması, tamamen insanlara özgüdür. İnsandaki ses üretimi, karmaşıklığı nedeniyle yüzlerce yıldır ve halen araştırılmaktadır.

2.2. Ses ve Konuşma Sesi

Ses (voice) ile konuşma sesi (speech sound) iç içe geçmiş farklı kavramlardır. İlki, kalıtsal yönden insana en yakın tür olan primatlar da dahil olmak üzere bazı türlerde vokalizasyon sonucu oluşmaktadır (Narins vd., 2004; Au vd., 2006; Cheney ve Seyfarth, 2018). İletişim amaçlı konuşma sesi üretimi ise bilinen sadece insanlara özgü bir olaydır (Lieberman, 2007). Bazı farklı türlerin insanların ürettiği konuşma seslerini sadece taklit edebilme kapasiteleri vardır; iletişimsel amaçlı kullanma gibi durumları yoktur. İnsanların arasındaki iletişimde ise konuşmayı oluşturan konuşma seslerinin, dilin en küçük yapı taşlarından birini oluşturduğu bilinmektedir. Dil, insanlara özgüdür; dolayısıyla dilin bir parçası olan konuşma sesleri de insanlara özgüdür.

2.3. Konuşma Sesleri

Konuşma sesleri genel üretim özellikleri itibarıyla ikiye ayrılır: ünlüler (vowels) ve ünsüzler (consonants). Yaklaşık 7000 dünya dilinde bulunan ünsüzlerin toplam sayısı 600 civarındayken ünlülerin sayısını belirlemek çok daha zordur (Ladefoged ve Disner, 2012). Tek bir dilde ise dünya dillerinde belirlenenden çok daha az sayıda ünlü ve ünsüz sesler bulunmaktadır. Her dilde farklı konuşma sesleri bulunabileceği gibi benzer konuşma sesleri de bulunabilmektedir. Konuşma seslerinden ‘p, t, k’ bilinen dünya dillerinin %98’inde görülen ve en sık karşılaşılan ünsüz seslerden olurken klik (clicks) üretim biçimindeki ünsüz sesler ise sadece Afrikadaki bazı dillerde yer almaktadır (Ladefoged ve Disner, 2012).

Konuşma sesleri, artikulator adı verilen anatomik yapılarıdaki fizyolojik değişiklikler sonucunda oluşmaktadır. Başlıca artikulatorlar olan larenks, ses kıvrımları, faringeal duvarlar, dil, velum, uvula, üst damak, dişler, dudaklar, burun, çene ve bu yapıların oluşturduğu faringeal, oral, nazal boşluklar birleşerek ses üretim düzenini meydana getirir. Artikulatorların sinirsel olarak uyarılması ile ses üretim düzeninde fizyolojik değişiklikler meydana gelmekte ve konuşma sesi üretimi olan artikülasyon oluşmaktadır. Ses üretim düzenindeki her bir fizyolojik değişiklik de farklı konuşma seslerinin üretiminde rol oynamaktadır.

Artikülasyon özellikleri bakımından ünlü ve ünsüz sesler genel ayrımı, bu konuşma seslerinin üretimlerindeki farklılıktan kaynaklanır. Ses üretim düzeni ünsüz seslerde bir veya birkaç noktadan kapatılmakta veya daraltılmaktayken ünlü seslerde göreceli açık bir ses üretim düzeni bulunmaktadır. Ünsüz seslerin üretim yeri ve üretim biçimi gibi özellikleri bulunmaktadır ve bu artikülasyon özellikleri kullanılarak ünsüz sesler tanımlanabilmektedir (Fromkin, Rodman ve Hyams, 2011). /b/ sesinin üretim biçiminin durak ünsüzü olması, üretim yerinin dudaklar olması gibi özelliklerden kaynaklanmaktadır. /s/ sesi ise üretim biçimi bakımından sürtünmeli, üretim yeri bakımından diş ardı ünsüz sesidir. Ünlü sesler bu özellikler ile tanımlanamamaktadır.

2.4. Ünlü Seslerinin Artikülasyon Özellikleri

Geçmişte ünlülerin üretim şekillerinin dilin pozisyonuna göre olduğu ve buna göre ön ünlülerde dilin ağız boşluğunun ön tarafında, arka ünlülerdeyse tam tersi bir pozisyonda olduğu düşünülmüştür. Kapalı ünlülerde dil veya alt çene üst damağa yakinken kapalı olmayan (açık veya yarı açık) ünlülerde dil veya alt çene üst damaktan

daha uzak pozisyonundadır. Bu şekilde dilin ağız boşluğundaki konumunun, çeşitli ünlülerin üretilmesini sağladığı düşünülmüştür. Hatta Graham Bell'in babası olan Alexander Melville Bell (1867) buna dayalı bir evrensel alfabe de oluşturmaya çalışmıştır. Ancak ünlülerin üretimlerinin sadece dilin konumuna bağlı olmadığı; akustik tabanlı çok daha karmaşık bir yapısının olduğu daha sonra anlaşılmıştır (Ladefoged ve Maddieson, 1996).

Ünlü sesler, artikülasyon özellikleri bakımından ünsüz sesler gibi üretim yerlerine göre sınıflandırılmamaktadır. Çünkü, ünlü üretimlerinde ünsüzlere göre açık bir ses üretim düzeneği bulunmaktadır. Bu kural başta bulunmak şartıyla ses üretim düzeneğinde çeşitli değişiklikler olmalıdır ki farklı ünlü sesler üretilebilsin. Alt-çenenin ve dilin üst damağa göre konumu, kapalı-kapalı olmayan (high-nonhigh) ünlülerin üretilmesini ve buna dayalı sınıflandırmayı sağlamıştır (Ladefoged ve Maddieson, 1996). Dil kökünün ağız boşluğunun gerisinde konumlanmasıyla dil, veluma veya faringeal duvarlara yaklaşmakta ve ses üretim düzeneğinin ön tarafında daha büyük bir boşluk oluşmaktadır. Bu şekilde üretilen ünlüler arka (back) ünlüler olarak adlandırılmaktadır. Dilin ağız boşluğunun önünde konumlanmasıyla ağız boşluğunun gerisinde büyük bir boşluk oluşmaktadır ve bu üretim şekliyle oluşan ünlüler ise ön (front or non-back) ünlüler olarak sınıflandırılmaktadır. Bir ünlünün üretimi sırasında dudakların şekli, o ünlünün artikülasyon özelliklerini değiştirmektedir. Dudaklar yuvarlak ve daralmış bir şekil almışsa bunlar yuvarlak (round) ünlüler olarak sınıflandırılmaktadır. Eğer ünlülerin üretimleri sırasında velum aşağı konumdaysa ve ses hem burun boşluğundan hem de ağız boşluğundan çıkıyorsa bu ünlüler, nazal ünlüler olarak sınıflandırılmaktadır. Ünlü sesler üretim sürelerine göre de sınıflandırılabilmektedir. Aynı ünlü ses göreceli uzun veya kısa sürelerde üretilebilmektedir. Gergin ve gergin olmayan (tense-lax) ünlü ayrımları da bulunmaktadır. Bu özelliğe göre ünlünün süresi ve dil kökünün konumu değişiklik gösterebilmektedir. Ayrıca, fonasyon özelliklerine göre de ünlüler sınıflandırılabilmektedir. Örneğin nefeslilik durumuna göre bazı dillerde nefesli ve nefesli olmayan (breathy-modal vowels) ünlü ayrımı yapılabilmektedir. Tüm bu artikülasyon özellikleri, ünlülerin karakteristik akustik özelliklerini de değiştirmekte ve dolayısıyla da o ünlü sesi değiştirmektedir.

2.5. Ünlü Seslerin Fonolojik Özellikleri

Ünlü seslerin, ünsüzlerden farklı olarak ön-arka olma, kapalı olma veya kapalı olmama, yuvarlaklık, nazallık, süre uzunluğu, tense veya lax olma, dil kökünün önde veya geride olması, fonasyon tipi gibi özellikleri bulunmaktadır (Ladefoged ve Maddieson, 1996). Dünya dillerinin incelenmesiyle belirlenen bu özellikler sayesinde iki ünlü arasındaki artikülasyon farklılıkları tanımlanabilmektedir. Nazal bir ünlüyle aynı ünlünün nazal olmayan hali farklı artikülasyon özelliklerine sahip olmakta ve bu farklı artikülasyon sonucu oluşan farklı akustik özellikler, bazı dillerde kelimelerin farklı anlamlar taşımasını sağlamaktadır. Örneğin, (1)'de görüldüğü üzere, Fransızcada nazal ve nazal olmayan ünlü anlam farklılığına neden olmaktadır. (Nazal ünlü, ilgili ünlünün üstüne /~ / işareti ile gösterilir.)

(1) <i>beau</i>	[bo]	‘yakışıklı’	<i>bon</i>	[bõ]	‘iyi’
<i>paix</i>	[pɛ]	‘barış’	<i>pain</i>	[pẽ]	‘ekmek’

Dilbilimciler, bir konuşma sesinin diğerinden ayırt edilebilmesini sağlayan bu özellikleri ayırt edici özellikler (distinctive features) olarak tanımlamaktadır (Fromkin, Rodman ve Hyams, 2011). Türkçe ünlüler için nazallık örneğin ayırt edici bir özellik değilken ön-arka, kapalı olma-olmama ve düz-yuvarlak gibi özellikler ayırt edici özelliklerdir. Tüm dillerde olduğu gibi Türkçede de ünlülerin ayırt edici özelliklerinden bir kısmı bulunur.

Tüm dillerdeki toplam ünlü sayısını belirlemek zordur. Ancak bir dilde kaç tane ünlü bulunduğu cevaplanabilir bir sorudur. Dünya dillerinin her birinde genellikle 3 ila 22 arasında ünlü konuşma sesi bulunmaktadır (Ladefoged ve Disner, 2012). Bir dilde kaç sayıda ünlü sesin bulunacağı, bu ünlü seslerin neler olacağı ve hangi anlam ayırt edici özelliklerinin bulunacağı bilinemez. Ancak dünya dilleri incelendiğinde görülmüştür ki bir dilde 3 ünlü ses varsa bu ünlü sesler genellikle /a, i, u/’dur (Boersma ve Hamann, 2008). Eğer bir dilde 5 ünlü ses varsa bu ünlüler de genellikle /a, ɛ, o, u, i/’dir (Ladefoged ve Disner, 2012). Bu ve bunun gibi örnekler bir dilde ünlü sayısı ile bunların hangi ünlüler olduğu arasında genel bir eğilime işaret etmektedir. Bu genel eğilimin nedeni de ‘işitsel ayırtedilebilirlik’ (auditory contrast) ve artikülasyon kolaylığı (articulatory ease) ile açıklanmaktadır (Boersma ve Hamann, 2008).

2.6. Ünlü Seslerin Akustik Özellikleri

Ses hava moleküllerinin titreşimidir ve farklı fiziksel özellikleri bulunmaktadır. Sesin süresi, enerjisi (şiddeti) ve frekansı ölçülebilen özelliklerdendir. Süre, sesin başlangıç ve bitiş noktalarının belirlenmesiyle; enerji ise sesin basıncının belirlenmesiyle ölçülmektedir. Sesin bir diğer önemli özelliği ise frekansıdır. Sesin frekansı, sesin bir saniyedeki titreşim sayısıdır. Basit bir ses, tek bir frekansta titreşim gösterirken karmaşık bir ses (matematiksel olarak) farklı frekanslarda titreşim gösteren seslerin toplamı biçiminde ifade edilebilir. Konuşma sesleri de karmaşık seslerdendir. Ünlüler gibi ötümlü bir sesin üretimi sırasında ses kıvrımları saniyede genellikle 80-300 Hz aralığında değişen sayıda açılıp kapanır. Ancak ses kıvrımlarının titreşimi basit bir açılıp kapanmadan daha karmaşıktır. Örneğin 100 Hz'de ses kıvrımlarının açılıp kapanması sadece 100 Hz'de titreşim gösteren bir ses oluşturmaz; en düşük 100 Hz'de olmak kaydıyla 100 Hz'in katlarında – 200 Hz, 300 Hz, 400 Hz gibi – diğer ses bileşenlerini içeren bir ses oluşturur. Her bir bileşen 'harmonik' veya 'sesin harmoniği' olarak adlandırılmaktadır. Bir karmaşık sesin içerisindeki en düşük frekanslı bileşeni ya da harmoniği, karmaşık sesin temel frekansı (F0) olarak adlandırılır. Ses kıvrımlarının 100 Hz'de titreşim göstermesi, temel frekansın 100 Hz olduğunu ve bunun katlarında diğer bileşenleri/harmonikleri olduğunu göstermektedir. Karmaşık sesin içerisindeki her bir farklı frekanstaki harmoniği de farklı bir enerji değerine sahip olması karmaşık sesi daha karmaşık hale getirmektedir. Örneğimizdeki temel frekansı 100 Hz olan sesimizin 300 Hz'deki harmoniğinin enerjisi, 600 Hz'deki harmoniğinin enerjisinden birkaç kat daha fazla veya daha az olabilir; kısacası değişebilir. Bir sesin analiz yoluyla hangi frekansta hangi enerji değeri olduğunu belirlersek sesin kalitesi (quality) yani hangi ünlü olduğu hakkında bilgi sahibi olmuş oluruz. Sesin süresi, enerjisi ve kalitesi (quality), sesin akustik olarak tanımlanmasında kullanılan başlıca parametrelerdir.

Geçmişte iddia edildiği gibi farklı ünlü ses kalitesi üretimlerinin, sadece dilin ağız boşluğundaki konumuna bağlı olmadığı artık bilinmektedir (Ladefoged ve Maddieson, 1996). Daha genel bir ifadeyle, ses üretim düzeneğindeki değişiklikler ile farklı ünlülerin üretilebildiği söylenebilir. Ses kıvrımlarının titreşimiyle oluşan ses, farklı ses üretim düzeneği biçimlerinden geçerken değişikliğe uğrar. Örneğin /Λ/ ve /i/ ünlülerinin üretimleri sırasında ses üretim düzeneği farklı biçimler alır ve sesin frekans-enerji dağılımları da değişir. Ses üretim düzeneğinin /Λ/ sesinin üretimi sırasında aldığı biçim nedeniyle 600 Hz ve 1200 Hz dolaylarında ve /i/ sesinin üretimi sırasında aldığı biçim

nedeniyle de 300 Hz ve 2000-4000 Hz aralığındaki bölgelerde enerji yükselir. Sonuçta, karakteristik frekans-enerji dağılımları farklı olan iki farklı ünlü ses üretilmiş olur. Ses kıvrımlarında üretilen ses kaynak (source) olarak adlandırılır. Ses üretim düzeneğinin üretilen sese göre aldığı biçimin, karakteristik frekans-enerji dağılımlarını değiştirmesi ise filtre (filter) olarak adlandırılır. Farklı ünlülerin üretilmesinde, genelleştirilmiş biçimde, kaynak-filtre teorisinin (source filter theory) geçerli olduğu varsayılmaktadır (Fant, 1981). Ancak bu teorinin kapsayabileceğinden çok daha fazla karmaşık olayın, ünlü üretimi de dahil olmak üzere, konuşma sesi üretiminde gerçekleştiği de günümüzde anlaşılmıştır (Titze, 2008).

Ses üretim düzeneğinden ayrılan sesin karakteristik frekans-enerji dağılımları, farklı ses üretim düzeneği biçimlerinde farklı olmaktadır. Örneğin schwa (/ə/) ünlü sesinin üretimi sırasında ses üretim düzeneğinin aldığı biçim nedeniyle 500 Hz ve 1500 Hz frekans bölgelerinin diğer frekans bölgelerine göre daha yüksek enerjiye sahip olduğu görülmektedir. Bu bölgeler formant olarak adlandırılır. Ses üretim düzeneği formant bölgelerinde (formant frekanslarında) sesin enerjisini korurken ve hatta güçlendirirken (sesin rezonansa girmesi) diğer frekanslarda sesin enerjisi düşürülür veya baskılanır. Formant bölgeleri, tepe noktası ve yamaçları olan bir tepe biçimindedir. Formant bölgeleri, tepe noktasının üzerinde bulunduğu formant frekans değeri ile ifade edilir; formant frekans değeri 500 Hz gibi. Bazı formant bölgeleri yamaçları dik bir tepeye benzerken (basıklığı az) bazı formant bölgeleri yamaçları az eğimli (basık) bir tepeye benzer. Formant bölgelerinin bu özelliği bant genişliği (bandwidth) ile tanımlanır. Bant genişliğinin az olması formant bölgesinin, dik bir tepe biçiminde olduğu anlamına gelmektedir. Formantların bant genişliği, formant tepe noktasının 3 dB altındaki genişlik olarak ölçülür.

Bir konuşucudaki ses üretim düzeneğinde üretilen ünlülerin birden çok formant bölgesi bulunmaktadır. Formant bölgeleri de görülme sırasına göre numaralandırılır; 1. formant (F1) ve 2. formant (F2) gibi. Formantların bulundukları frekans bölgeleri, ünlülerin algılanmasındaki temel değişkenlerden biri olarak kabul edilmektedir (Miller, 1989).

Ünlülerin akustik özelliklerinin (daha çok kalitesinin) nasıl oluştuğunu açıklama amacıyla akustik modellemeler kullanılmaktadır. Helmholtz rezonatörleri, bu akustik modellemelerden biridir. Ünlü seslerin üretimi, görece diğer konuşma seslerine göre açık ses üretim düzeneği ile gerçekleşir. Açık ses üretim düzeneği, ünlülerin üretiminde

bir ucu kapalı (ses tellerinin olduğu kısım) bir tüp gibi davranmaktadır (Ladefoged, 1996). Tüpün uzunluğu ve kesit alanı gibi özellikleri oluşan sesin frekans-enerji dağılımını (formantlarını) belirlemektedir (Ladefoged, 1996). Schwa ünlüsünün üretiminde, ses üretim düzeneği baştan sona bir tüp gibi davranır ve buna göre hesaplanan formant frekans değerleri (500 Hz, 1500 Hz, 2500 Hz ...) yapılan ölçümlerle tutarlıdır (Ladefoged, 1996). Farklı ünlülerde ses üretim düzeneği değiştiğinden dolayı formant frekans değerleri de değişir. Örneğin /i/ ünlüsünün üretiminde ses üretim düzeneği, ağız boşluğunun ön kısmında daha kısa arka kısmında ise daha uzun olmak üzere iki tüp biçiminde modellenir; iki tüp arasında da ses üretim düzeneğinin en dar kısmı yer alır. /i/ sesinin üretim modellemesine göre oluşan ön kısımdaki kısa tüpte yüksek frekansta (2000 Hz dolaylarında) bir formant bölgesi oluşurken arkadaki uzun tüpte düşük frekansta (300 Hz dolaylarında) bir formant bölgesi oluştuğu hesaplanabilmektedir. /a/ ünlüsü ise ağız boşluğunun ön kısmında daha uzun arka kısmında ise daha kısa bir tüpten oluşmuş biçimde modellenir. Bu modellemeler ile ünlü seslerin formant frekans değerleri hesaplanabilmektedir.

Kapalı ve kapalı olmayan ünlüler farklı frekans-enerji dağılımlarına sahiptir. Örneğin, öncü çalışmalardan birisi olan Peterson ve Barney (1952) çalışmasında da bu görülmektedir. Kapalı ve kapalı olmayan ünlüler arasındaki fark büyük oranda F1 bölgesi olan daha düşük frekans bölgeleri (200-800 Hz) arasındadır. Kapalı ünlülerde enerji daha çok 200-400 Hz dolaylarında yoğunlaşmışken kapalı olmayan ünlülerde enerji daha çok 400-800 Hz aralığına yoğunlaşmaktadır. Yine Peterson ve Barney (1952) çalışmasındaki formant değerlerine baktığımızda ön ve arka ünlüler arasındaki frekans-enerji dağılım farklılıklarının, özellikle yüksek frekanslar olan F2 ve F3 bölgelerinde olduğu görülür. Ön ünlülerde F2 bölgesi daha çok 1400-2300 Hz aralığına yoğunlaşırken arka ünlülerde 800-1200 aralığına yoğunlaşmaktadır. Bu da ön-arka ve kapalı-kapalı olmayan ünlüleri birbirinden ayıran başlıca frekans-enerji dağılımlarıdır.

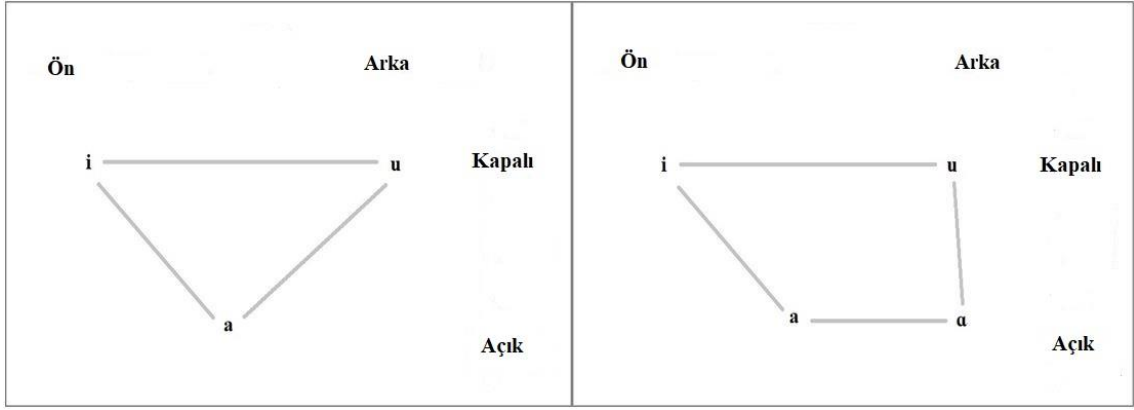
Farklı ünlülerin farklı ses üretim düzeneği biçimleri ve dolayısıyla farklı karakteristik frekans-enerji dağılımları vardır. Yukarıda belirtildiği üzere, F1 değerleri kapalı ünlülerde daha düşük, kapalı olmayan ünlülerde daha yüksektir. Ön ve arka ünlüler arasında da F2 değerleri açısından genel bir ilişki bulunmaktadır. Ön ünlüler, arka ünlülerden daha yüksek F2 değerine sahiptir. Yuvarlaklık farkı ise bir ünlüde genellikle F2 frekans değerini düşürmektedir (Ladefoged ve Johnson, 2011; Ladefoged, 1996). Nazal ünlüde kendi formant bölgelerine ek olarak F1 bölgesinde ekstra bir nazal

formant bölgesi de yer alır (Glass, 1984). Ayrıca nazal ünlüde formant bant genişlikleri önemli ölçüde etkilenmekte ve genişlemektedir (Glass, 1984). Tense-lax ünlülerde tüm formant değerleri etkilenmektedir (Hillenbrand vd., 1995). Larenkte üretilen sesin nefeslilik veya gerginlik gibi farklı özellikleri farklı fonasyon tiplerini oluşturmaktadır. Fonasyon tipi ünlünün formant frekans değerlerinden daha çok formant bant genişliklerinde ve yüksek frekanslardaki enerji değerlerinde değişikliklere neden olmaktadır (Klatt ve Klatt, 1990). Fonasyon tipi ayrıca ek formant bölgeleri de oluşturmaktadır (Klatt ve Klatt, 1990).

2.7. Ünlü Üçgeni (veya Dörtgeni) ve Quantal Ünlüler

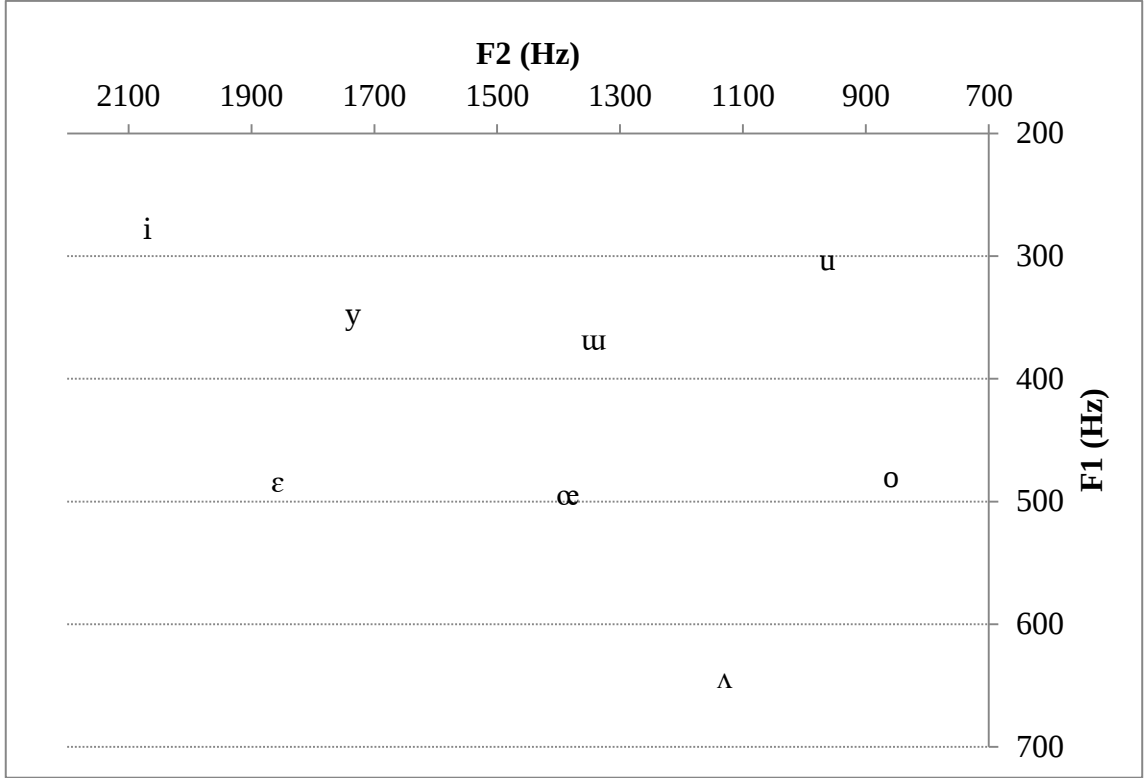
Geçmişte, ünlü seslerin üretilebilmesi için dilin ağız içindeki konumunun tek ve belirleyici faktör olduğu düşünülmüştür (Bell, 1867). Buna göre dil ucu önde ise ön ünlülerin, arkadaysa da arka ünlülerin üretildiği varsayılmaktaydı. Benzer şekilde, dil üst damağa yakınsa kapalı ünlülerin, aşağıdaysa da kapalı olmayan ünlülerin üretildiği varsayılmaktaydı. Dilin ağız içindeki konumu, farklı ünlü seslerin üretilmesini sağlayan tek faktör olmadığı artık bilinmekle birlikte anatomik pozisyona göre /i/ ünlüsünü bir grafikte en sola; /u/ ünlüsünü sağa ve /a/ ünlüsünü ortada ve en alt kısma koyarsak dilin ağız içindeki pozisyonuna göre ünlüleri büyük oranda yerleştirmiş oluruz. Benzeri biçimde ünlüleri ön-arka ve kapalı-kapalı olmayan sistemine göre grafik haline dönüştürdüğümüzde /i/, /u/ ve /a/ ünlüleri en uç kısımlarda yer alır (Ladefoged ve Maddieson, 1996). Bu üç ünlü köşe ünlüleri olarak tanınır ve Şekil 2.1’de görüldüğü gibi oluşturdukları üçgen de ‘ünlü üçgeni’ olarak adlandırılır.

Bir dildeki ünlüler, köşe ünlülerinin oluşturduğu ünlü üçgeninin sınırları içinde kalmaktadır. Bazen /a/ ünlüsünün önde ve arkada olan versiyonları birlikte bulunabilmektedir. /a/ ünlüsünün arkada olan versiyonu, en arkada ve kapalı olmayan ünlü olarak grafiğe eklenirse bir köşe daha oluşmakta ve ‘ünlü dörtgeni’ elde edilmektedir. Diğer ünlüler ise Şekil 2.1’de görüldüğü üzere elde edilmiş olan ünlü üçgeni veya dörtgeninin içinde yer alır.



Şekil 2.1. Ünlü üçgeninin ve ünlü dörtgeninin köşe ünlüleriyle birlikte temsili görünümü

Ünlülerin tanınmasında (identification) ilk iki formant değerinin büyük rolü vardır (Delattre vd., 1952). F2 değeri sağdan sola doğru artacak biçimde ünlüler sıralandığında en solda /i/ ünlüsünün yer aldığı görülür; sağda da /u/ ünlüsü bulunur. F1 değeri yukarıdan aşağıya doğru artacak biçimde ünlüler sıralandığında ise en üstte /i/ ve /u/ ünlüleri bulunurken en altta /a/ ünlüsü yer alır. Böylece ünlüler akustik özelliklerine göre (F1 ve F2 değerlerine göre) bir grafiğe yerleştirildiğinde aynı ünlü üçgeninin oluştuğu görülmektedir. Diğer ünlüler de F1 ve F2 değerlerine göre grafiğe yerleştirildiğinde büyük oranda /i/, /u/ ve /a/ ünlülerinin oluşturduğu ünlü üçgeninin içinde yer alırlar. /i/ ünlüsü en yüksek F2 değerine sahiptir, /a/ ünlüsü ise en yüksek F1 değerine sahiptir. /i/, /u/ ve /a/ ünlüleri, yine uç noktalarda bulunan köşe ünlüleridir. Bu çalışmada kullanılan doğal ünlülerin F1 ve F2 değerlerine göre göreceli konumları Şekil 2.2’de gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Türkçedeki doğal ünlülerin bir konuşucudan ölçülen F1 ve F2 değerlerine göre grafiklendirilmesi

Dilin ağız içindeki konumuna göre oluştuğu düşünülen ünlülerin oluşturduğu ünlü üçgeni ile F1 ve F2 değerlerine göre ünlülerin oluşturduğu ünlü üçgeni birbirine çok benzemektedir (Ladefoged ve Maddieson, 1996). Her iki ünlü üçgeninde de aynı köşe ünlüleri – /i/, /u/ ve /a/ ünlüleri – uç noktalarda bulunmaktadır. Ancak radyografik görüntüleme teknikleri ile ünlülerin üretimine bakıldığında dilin ağız içindeki konumu için önde-arkada veya yüksek-alçak tanımlamalarının yerinde olmadığı görülmüştür (Ladefoged ve Maddieson, 1996). Ses üretim düzeneği, sadece dilin konumuna bağlı olmaktan daha karmaşık bir biçim almaktadır. Bu nedenle, ünlü üçgeninden (veya ünlü dörtgeninden) bahsedildiğinde formant değerlerine göre ünlülerin oluşturduğu grafik kastedilmektedir. Ön-arka, kapalı-kapalı olmayan gibi özellikler yine ünlülerin formant değerlerine göre oluşturduğu dağılım üzerinden incelenmektedir.

Doğal konuşmada ünlü sesler çevrelerindeki diğer konuşma sesleriyle bütünleşmiş haldedirler. Bu bütünleşme, koartikülasyonun sonucudur ve bu adla tanımlanmaktadır (Daniloff ve Hammerberg, 1973). Ünlü ses çevresindeki konuşma seslerinin özelliklerinden bazılarını taşıırken çevredeki diğer sesler de ünlü sesin özelliklerini taşır. Ünlü sese dair analiz yaptığımızda sadece ünlü sese dair bilgilere ulaşamayız. Doğal

konuşma ortamından analiz ettiğimiz ünlü ses, çevresindeki diğer seslere dair de akustik bilgiler taşımaktadır. Ünlü sesin çevresindeki sesler değiştiğinde doğal olarak ünlü sesin akustik özellikleri de değişmektedir. Hatta aynı ünlü sesi, aynı ortamda art arda iki defa sesletsek dahi aralarında akustik özellikler bakımından farklar bulunur. Çünkü doğal konuşmadaki ikinci sesletimde entonasyon değişmekte; bu değişim de akustik özellikleri etkilemektedir.

Yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı herhangi bir ünlü sesin formant frekanslarına dair kesin değerler vermek mümkün değildir ve formant frekansları da dahil olmak üzere akustik özellikleri sabit değil değişkendir. Bu durum tüm ünlü sesler için geçerlidir. Herhangi bir ünlü sesin analizlerinde formant frekansları gibi akustik özelliklerine baktığımızda değişkenliği gözlemekle birlikte bu değişkenliğin büyüklüğü de önemli hale gelmektedir. Akustik özelliklerdeki değişkenlik çok büyük olursa farklı ünlüler birbirleriyle kesişebilir ve algıda değişimlere neden olabilir. Bu bağlamda, ünlülerin akustik özelliklerinin değiştiği ancak bu değişikliğin büyüklüğünün farklı ünlülerin algısına yol açmayacak derecede olduğu bir durum olmalıdır. Bazı ünlülerin akustik özelliklerinin değişkenliği diğerlerinden daha az gözlenmektedir (Lieberman ve Blumstein, 1988). Bu ünlülere “quantal” ünlüler adı verilmektedir (Lieberman ve Blumstein, 1988). Quantal ünlülerin sesletimleri sırasında ses üretim düzeneğinin aldığı biçimler diğer ünlülerde görüldüğü kadar değişken olsa da akustik özellikler quantal ünlülerde daha az değişkenlik göstermektedir (Stevens, 1989). Ünlü üçgeninde köşe ünlüleri olarak da bahsedilen /a, u, i/ ünlüleri quantal ünlülerdir (Lieberman ve Blumstein, 1988). Daha önce üzerinde durulduğu gibi quantal ünlülerden /a/ sesi en yüksek F1 değerine, /i/ sesi en yüksek ve /u/ sesi en düşük F2 değerine sahiptir. Bahsedilen akustik özellikleri diğer ünlülerden ayırt edici bir noktada olan quantal ünlülerin diğer akustik özelliklerinde değişiklikler görülse de ayırt edici konumları değişmemektedir. Akustik özelliklerdeki belirgin ayırt edici konumları nedeniyle quantal ünlülerin, algılamada da ayırt edici bir konumda olabilecekleri düşünülebilir.

2.8. Sesin İşitilmesi

Ses, hava moleküllerindeki titreşimlerdir. Ses, bir olayın oluşu ile meydana gelir. Örneğin, bir kitabın yere düşmesi veya zemine çarpması, bir ses kaynağı olabilir. Kitabın zemine çarptığı yerdeki hava moleküllerini itmesi sayesinde havanın bu kısmında bir sıkışma olur. Sıkışmanın olduğu bölgedeki hava molekülleri de daha

ilerideki hava moleküllerini iterek sıkıştırır. Böylece havanın belirli bir bölgesindeki moleküllerde oluşan sıkışma, kitabın zemine çarptığı yerden (kaynaktan) uzağa doğru ilerler. Sonuçta ses kaynağı ses dalgasını oluşturmuş ve ses, ses dalgaları halinde yayılmış olur. Hava moleküllerinin sıkıştığı bölgede hava basıncı daha fazladır. Hava moleküllerin sıkışmasının bir saniyedeki tekrar sayısı sesin frekansını oluştururken, sıkışma bölgesinin yarattığı basınç farklılığı, sesin genliğini (amplitude) oluşturur. Sesin hava basıncında yarattığı farklılık, işitme organlarımıza ulaştığında bir tepki (response) oluşturur ve işitme gerçekleşir.

Ses havada ilerlerken hava basıncında yarattığı değişiklik kadar enerjiye sahiptir. Buna akustik enerji denir. Akustik, Latince işitmeye dair anlamındaki kelime kökeninden gelir. Havada ilerlerken akustik enerjiye sahip olan ses, sırasıyla kulak kepçesine, dış kulak yoluna ve kulak zarına ulaşır. Kulak zarı hava basıncındaki titreşimlere duyarlıdır ve ses kulak zarına hava yoluyla ulaşınca titreşime neden olur. Bu aşamada akustik enerji, mekanik enerjiye dönüştürülür. Kulak zarı, çekiç, örs, üzengi kemikçiklerini titreştirir. Üzengi kemikçığının ayakları oval pencere üzerindedir. Üzengi, oval pencereyi titreştirirken oval pencerenin diğer yüzü koklea içindeki sıvıda titreşime neden olur. Kokleanın diğer ucunda, orta kulak boşluğuna açılan yuvarlak pencere bulunur ve titreşim burada sonlanır. Titreşim koklea içindeki sıvıya ulaştığında, buradaki baziler membran adı verilen yapı üzerindeki iç ve dış tüylü hücreler, kendilerine bağlı nöronları uyarır. Uyarılan nöronlar sinir demetleri oluşturarak (8. Vestibulocochlear cranial nerve) beynin temporal lobundaki işitsel merkeze (auditory cortex) ulaşır. İşitsel bilgiler merkezi sinir sisteminin işitsel merkezine geliş yolunda ve bu merkezde işlenirler.

İşitme organının içindeki baziler membran, kokleadaki salyangoz yapısının içinde bulunur ve 2,5 tur yapan bir sarmal halindedir. Helikotremanın başlangıç noktası bazal uç noktası ise apikal olarak adlandırılır. Bazal kısım yüksek frekanslı titreşimlere duyarlıyken apikal uca doğru gittikçe duyarlı olunan frekans düşmektedir (Li vd., 2021). İşitilen sesin hangi frekansta veya frekanslarda olduğu baziler membranda çözülmüş olur. İnsandaki işitme sistemi 20 ila 20000 Hz frekans aralığındaki seslere duyarlıdır (Li vd., 2021).

2.9. Sesin Algılanması

İşitilen seslerin, merkezi sinir sisteminin işitsel merkezinde ve korteksin farklı yerlerinde işlenmesi algı (perception) sürecini oluşturur. Bir sesin frekansını ve şiddetini ölçebiliriz. Ancak sesin ölçtüğümüz frekans ve şiddet değerleri, algıladığımız frekans ve şiddet değerlerinden farklı olabilir. Örneğin, 4000 Hz ve 2000 Hz'deki iki sestten birincisinin frekansı diğerinin iki katıdır. Ancak bu iki ses dinletildiğinde frekans değerleri arasında iki kat fark varmış gibi algılanmamaktadır. Algılanan frekans değeri, ölçtüğümüz frekans değerinden de farklı olabilmektedir. Kişilere belirli bir frekanstaki sesi dinletilip sonra bu sesin frekansının iki katı olan frekanstaki (bir oktav yukarıda) sese tepki vermeleri istendiğinde elde edilen grafik; bize ölçülen frekans ile algılanan frekansın ilişkisini göstermektedir (Zwicker, 1961). Belirli bir frekansa kadar (yaklaşık 500 Hz), ölçülen ve algılanan frekans değerleri arasında doğrusal (lineer) bir ilişki varken 500 Hz'in yukarısında logaritmik bir ilişki olduğu görülmektedir; algılanan frekans değerleri arasındaki artış logaritmiktir (Zwicker, 1961). 24 aralıklı ve birbirini takip eden her bir aralık arasında iki kat algılanan frekans farkının olduğu bir ölçek geliştirilmiştir ve buna Bark ölçeği (Zwicker, 1961) denmektedir. Tablo 2.1'de bark ölçeği görülmektedir. Benzer başka bir ölçek de Mel ölçeğidir (Stevens, Volkmann ve Newman, 1937). Mel ölçeği, referansı olarak 1000 Hz'ü 1000 Mel değeri alarak diğer frekansları algılanan eşit frekans aralıklarına bölmektedir (Stevens, Volkmann ve Newman, 1937).

Tablo 2.1. *Bark ölçeği*

Bark sayısı	Merkez frekansı (Hz)	Bant genişliği (Hz)
1	50	80
2	150	100
3	250	100
4	350	100
5	450	110
6	570	120
7	700	140
8	840	150
9	1000	160
10	1170	190
11	1370	210
12	1600	240
13	1850	280
14	2150	320
15	2500	380
16	2900	450
17	3400	550
18	4000	700
19	4800	900
20	5800	1100
21	7000	1300
22	8500	1800
23	10500	2500
24	13500	3500

Algılanan ses şiddetinin ne kadar yüksek olduğu (volume-loudness), sesin genliğine (amplitude) ve taşıdığı enerji miktarına (intensity) bağlıdır. Sesin taşıdığı enerji miktarını ölçmede desibel (decibel-dB) ölçeği kullanılır. Desibel ölçeği, referans bir sese oranla ölçülen başka bir sesin gücünün (power ratio) logaritmasının alınmış halidir (Ladefoged, 1996). Desibel ölçeği logaritmik artan/azalan bir ölçektir ve buna göre 6 dB'lik artış, sesin genliğinin iki katına çıktığını ifade etmektedir (Ladefoged, 1996). Sesin genliği iki katına çıktığında veya iki kat azaldığında böyleymiş gibi algılanmamaktadır. Daha açık bir ifade biçimiyle iki farklı frekanstaki sesin şiddet değerleri ölçümlerde aynı olsa da aynıymış gibi algılanmamaktadır (Suzuki ve Takeshima, 2004). Algılanan ses şiddeti değeri, sesin frekansına göre değişmektedir

(Suzuki ve Takeshima, 2004). İşıtme sisteminin ses yüksekliğine karşı en hassas olduğu bölge, özellikle konuşma seslerinin de yer aldığı 1000-4000 Hz frekans aralığıdır (Suzuki ve Takeshima, 2004). Örneğin 2000 Hz'deki bir ses ile 200 Hz'deki bir sesin yüksekliğini aynı olarak algılayabilmemiz için 200 Hz'deki sesin genliği (amplitude) daha fazla olmalıdır. Sesin algılanan şiddetinin ne kadar yüksek olduğunu algılamamızı etkileyen bir diğerk faktör de sesin süresidir. 100 milisaniyeden daha uzun süredeki seslerin şiddetinin algılanmasında süre büyük bir etki göstermez (Green, Mason ve Kidd, 1984). Ancak 100 milisaniyeden daha kısa süreli seslerde, sürenin ne kadar olduğu sesin algılanan şiddetini etkilemektedir ve daha kısa süreli seslerin şiddeti daha düşük değerlerdeymiş gibi algılanmaktadır (Green, Mason ve Kidd, 1984). Benzeri biçimde sesin algılanan süresi de sesin süre özelliğine göre değişmektedir. 100 milisaniyeden daha kısa ve 100 milisaniyeden daha uzun sürelerdeki seslerin sürelerindeki aynı miktar değişimler, aynı olarak algılanmamaktadır (Creelman, 1962).

2.10. Ünlü Konuşma Seslerinin Algılanması

Konuşma sesleri, çevremizde duyduğumuz diğerk seslerden farklı özelliklere sahiptir. Konuşma sesleri insanlara özgüdür ve sözlü iletişimde önemli bir rolü vardır. Konuşma seslerinin üretiminde solunum sistemi, ses kıvrımları ve larenks, ses üretim düzeneği birlikte görev alır. Sonuçta farklı konuşma sesleri üretilir; birbirine eklenen konuşma sesleriye kelimeler, kelimelerin birbirine eklenmesiyle de cümleler oluşur. Konuşma seslerinin işitilmesi, duyulması, çözümlenmesi konuşma seslerinin algı süreci olarak tanımlanır.

Her konuşma sesinin farklı akustik özellikleri vardır. /ka/ hecesinin üretimi sırasında örneğin, önce /k/ sesi için dil kökü veluma doğru yaklaşarak hava akımını keser ve böylelikle dil kökünün arkasındaki basıncın artmasına neden olur. Dil kökünün arkadan gelen /a/ sesi için birden aşağıya doğru inmeye başlamasıyla bir patlama (burst) oluşur. Ancak, dil kökü ile velum halen birbirine yakın olduklarından dolayı buradan hava geçişı sırasında bir sürtünme oluşur. Ses kıvrımları, hava akımının başlamasıyla birlikte, titreşime girer, dil kökü, dil ve çene birlikte aşağıya doğru inmeyi sürdürmesiyle sürtünme sonlanır ve ünlü formantları görölmeye başlanır ve nihai olarak da dil ve çene /a/ sesinin pozisyonunu alarak /a/ ünlüsünü oluşturur. Tüm bu olaylar akustik analiz yoluyla incelenebilir; /k/ ve /a/ sesine dair akustik ölçümler alınabilir. Ancak /k/ ve /a/ sesine dair alınan ölçümlerden hangilerinin bu konuşma seslerinin

algısında rol aldığı bambaşka bir sorudur. Aşağıda özellikle ünlü seslerin algısında rol oynayan etkenlere değinilecektir.

2.10.1. Formantların ünlü seslerin algılanmasındaki rolü

Ünlü seslerin üretimi sırasında ünsüz seslere göre ses üretim düzeneği açıktır. Solunum sisteminden itilen hava ile ses kıvrımları titreşime geçer ve üretilen ses, ses üretim düzeneğinden geçer. Ses üretim düzeneğinin aldığı biçimlere göre farklı ünlüler üretilmiş olur. Buna göre farklı ünlülerin formant frekans (F) değerleri de değişir. Formant frekans değerlerinin, ünlülerin algılanmasındaki başlıca parametrelerden biri olduğu araştırmalarda görülmüştür (Miller, 1989). Ünlülerin çok büyük bir kısmında, özellikle arka ünlülerin algılanmasında, sadece ilk iki formant, ünlülerin doğru olarak tanınması (identification) için yeterlidir (Delattre vd., 1952).

Kapalı ve kapalı olmayan ünlülerin frekans-enerji dağılımları gözlemlendiğinde özellikle F1 bölgesinde farklılıklar göze çarpmaktadır. Kapalı ünlülerde F1 bölgesi daha düşük frekanslarda yer alır ve temel frekansa daha yakındır. Kapalı olmayan ünlülerde ise, F1 bölgesi daha yüksek frekans değerindedir. Kapalı olmayan ünlülerde F1 bölgesi, temel frekanstan belirgin bir biçimde ayrılmaktadır. Stevens (2000) kapalı ve kapalı olmayan ünlülerin algılanmasında, uyarılan sinir demetlerinin farklılaştığını belirtmektedir. Buna göre, kapalı ünlülerin F1 bölgesi, temel frekansa yakın olduğundan dolayı sadece F1 frekans değerine duyarlı sinir demetleri uyarılmaktadır. Kapalı olmayan ünlülerde ise F1 bölgesi, temel frekanstan daha uzaktır ve kapalı olmayan ünlülerin algılanması sırasında temel frekansa ve F1 frekans değerlerine duyarlı sinir demetleri uyarılmaktadır. Açık ve kapalı olmayan, yani yarı açık/yarı kapalı, ünlülerde ise temel frekans ve F1 frekans değerleri ön ünlülerdeki kadar birbirine yakın değildir. Bu ünlülerde, temel frekans ve F1 frekans değerlerine duyarlı az sayıda sinir demetinin uyarılmasının yanında temel frekans ile F1 frekans değerlerinin orta bölgesindeki frekans değerlerine duyarlı sinir demetlerinin, ağırlıklı olarak uyarıldığı belirlenmiştir. Stevens (2000), sonuç olarak kapalı, yarı-kapalı ve açık ünlülerin, ayırt edici bir biçimde farklı sinir demetlerini uyardığını ve farklı bir biçimde algılandıklarını açıklamaktadır.

Ön ve arka ünlülerin frekans-enerji dağılımları karşılaştırıldığında, özellikle F2 olmak üzere F3 ve F4 (3. ve 4. formant) bölgelerinde belirgin bir farklılık vardır. Ön ünlülerin F2 değerleri arka ünlülerden yüksektir ve /i/ ünlüsünde olduğu gibi F3 ve F4

bölgeleriyle birbirine çok yakındır. Ön ünlülerde F2, F3 ve F4 bölgelerinin birbirine bu kadar yakın olması, algıda tek bir formant etkisi oluşturabilmektedir (Carlson, Granstrom ve Fant, 1970). F2, F3 ve F4 bölgelerinin birbirine çok yakın olması durumunda, formantların birleşerek tek bir formant bölgesi varmış gibi davranmaları F2 değerinin daha yüksek bir frekanstaymış gibi algılanmasına neden olmaktadır. Oluşan bu formant, etkin formant frekansı (effective higher formant frequency; F2') olarak adlandırılmaktadır (Stevens, 2000). Arka ünlülerde ise ön ünlülerin aksine, daha düşük bir F2 değeri gözlenir. /u/ sesinde olduğu gibi, F2 değeri göreceli daha düşük bir değer olarak F1 bölgesine yaklaşmaktadır. Ön ünlülerin, arka ünlülerden ayırt edici olarak yüksek frekanslara (2000-4000 Hz) duyarlı sinir demetlerini uyarması, algılanmalarındaki farklılığın nedenlerinden birisidir (Stevens, 2000).

Ünlü seslerin formant değerlerinin birbirinden olabildiğince ayrı olması, ilgili ünlü seslerin algıda birbiriyle karıştırılma olasılığını o kadar aza indirecektir. Yuvarlaklık özelliği bu koşulu destekleyebilmektedir. Arka ünlülerin üretimi sırasında dudakların yuvarlanması, F2 değerini daha da düşürmektedir (Ladefoged, 1996). /u/ ünlüsünde yuvarlaklık özelliğiyle birlikte F2 değeri tüm ünlüler içinde en düşük değerlerden birini alır (Ladefoged, 1996). Yuvarlaklık özelliği, kapalı ünlülerde formant değerlerinde görülen değişimleri azaltarak daha belirgin bir stabilite oluşturmaktadır (Stevens, 2000).

İşitme sistemi sadece 20-20000 Hz frekans aralığındaki seslere karşı duyarlıdır ve frekans değişimlerine, düşük frekanslarda daha hassastır (Stevens ve Volkman, 1940; Stevens, 2000). 1000-4000 Hz frekans aralığı, işitme sisteminin şiddet değişimlerine en hassas olduğu bölgedir (Stevens, 2000). Benzeri biçimde, formantlar ünlülerin algılanmasında önemli rol oynasa da formantlara dair sınırlılıklar bulunmaktadır. Formantların şiddet değerlerinde fark edilebilir en az değişim değeri (JND; just noticeable difference) 3 dB'dir (Flanagan, 1957). F2 değerindeki fark edilebilir en az değişim değeri ise diğer formantların konumlarından etkilenmekle birlikte 20-100 Hz arasında değişmektedir (Kewley-Port ve Watson, 1994; Stevens, 2000). F1'deki fark edilebilir en az değişim değeri ise 10-30 Hz arasındadır (Kewley-Port ve Watson, 1994; Stevens, 2000). 12 Hz ve üzerindeki formant frekans değişim değeri ile 3 dB ve üzerindeki şiddet değişimlerini algılayabildiğimiz gösterilmiştir. Formantlardaki fark edilebilir en az değişim değerleri, basit seslerden daha yüksektir ve farklı bir davranış sergilemektedir. Formantların biri diğerine yaklaştığında birbirlerini etkilemekte ve belli

bir yakınlıktan sonra da tek bir formant algısı oluşturabilmektedirler (Chistovich ve Lublinskaya, 1979). Ön ünlülerden /i/ sesinde, F2 ve F3 (hatta F4) formantlar birbirlerine yaklaşmakta ve bu bölgede tek bir formant varmış gibi bir algı oluşturabilmektedirler (Stevens, 2000). İki formantın frekans değerleri birbirine 300-400 Hz'ten (3,0-3,5 Bark) daha yakınsa tek bir formant gibi davranmaktadır (Chistovich ve Lublinskaya, 1979). Bu etkin formantın değeri de formantların göreceli genliklerine bağlı olarak ağırlık merkezinin (center of gravity) olduğu frekanstır (Chistovich ve Lublinskaya, 1979). Formantlar birbirinden yeterince uzaksa, formantların genliklerinin ünlülerin algılanmasında göreceli önemli bir özellik göstermediği ileri sürülmektedir (Chistovich ve Lublinskaya, 1979).

2.10.2 Formant geçiş bölgelerinin ve sabit durum frekans bölgesinin rolü

Bir kelimenin içerisinde üretilen ünlünün formant özellikleri, bir konuşma sesinden ünlü sese geçişte ve ünlü sestten başka bir konuşma sesine geçişte değişmektedir ve geçiş bölgeleri oluşmaktadır. Ünlünün öncesinde başka bir konuşma sesi varsa ses üretim düzeneği bu konuşma sesinin üretimi için gereken pozisyonundan ünlü sesin üretimi için gereken ses üretim düzeneği biçimine geçmektedir. Ses üretim düzeneğindeki bu değişim akustik özelliklerin değişimi anlamına da gelmektedir ve bu değişim bölgeleri, formant geçiş bölgeleri (formant transition regions) olarak adlandırılır. Formant geçişinden sonra ünlünün formant değerlerinin göreceli sabit olduğu bölge (steady state) gelmektedir ve bu bölgeden yapılan formant ölçümleri sabit durum frekansı olarak adlandırılmaktadır. Ünlünün ardından gelen başka bir konuşma sesi varsa, yine bir formant geçiş bölgesi oluşmaktadır. Bu bölgelerin her birinin ünlü seslerin algılanmasında rolü olduğu gösterilmiştir (Strange, Jenkins ve Johnson, 1983). Strange, Jenkins ve Johnson (1983) çalışmalarında bir konuşucunun ünsüz bağlamında ürettiği İngilizce doğal ünlü seslerin ortasındaki sabit durum bölgesini sildikleri halde hedef ünlü olarak yüksek algılanma yüzdelerine sahip olduklarını bildirmişlerdir. Bu nedenle ünlü sesin dinamik özelliklerinin, ünlülerin tanınmasında sabit durum bölgesi kadar etkili olduğu sonucu çıkarılmıştır.

2.10.3 Formant kontürlerinin rolü

Sözlü iletişim sırasında konuşma sesleri genellikle seri bir şekilde art arda üretilmektedir. Konuşurken ürettiğimiz bir sözcede hangi kelimeler varsa bu kelimeler

arasında herhangi bir boşluk/durak yoktur. Normal konuşma sırasında bir saniyede yaklaşık 20-30 konuşma sesi üretebiliriz ve tüm konuşma sesleri birbirine eklenmiş bir haldedir (Lieberman ve Blumstein, 1988). Konuşma seslerinin ardı sıra üretilmesi, konuşma seslerinin birbirini etkilemesine neden olur. Bir konuşma sesinin öncesindeki ve sonrasındaki konuşma seslerinin ne olduğuna bağlı olarak akustik özellikleri değişebilmektedir (Lieberman ve Blumstein, 1988). Bu özellik koartikülasyon (coarticulation) olarak bilinir (Lieberman ve Blumstein, 1988).

Sözcük içerisindeki bir ünlü sesin formant frekans değerleri, ünlü sesin başlangıcından sonuna doğru değişimler gösterebilmektedir. Bu durum ünlü sesin çevresindeki diğer konuşma seslerinin ve koartikülasyonun doğal bir sonucudur. Bir ünlü sesin süresi boyunca formant frekans değerlerindeki değişimler, formant kontürleri olarak bilinir ve formant kontürlerinin ünlülerin algılanmasında rolü olduğu gösterilmiştir (Hillenbrand ve Nearey, 1999). Hillenbrand ve Nearey (1999) /hVd/ ortamındaki sentetik ünlülere formant kontürleri eklediklerinde genel hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerinin arttığını bulmuşlardır. Ancak az sayıda olsa da çalışmadaki bazı ünlü seslerin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerinin formant kontürlerinin olmadığı durumda daha yüksek olduğu da bulgulanmıştır. Her iki sonuç da formant kontürlerinin ünlü seslerin algılanmalarını etkilediğine işaret etmektedir.

2.10.4 Ünlü normalizasyonu

Konuşma temel frekans değerleri, çocuklarda yüksekken yetişkinlerde daha düşüktür. Bu durumla doğrudan ilişkili olmasa da bu durumla paralel biçimde ünlü seslerin formant frekans değerleri de yetişkinlerin değerlerinden yüksektir (Peterson ve Barney, 1952). Kadınlar ile erkeklerin formant frekans değerlerinin ortalamaları karşılaştırıldığında da aynı ünlüler için formant frekans değerleri kadınlarda daha yüksektir (Peterson ve Barney, 1952). Sonuç olarak, aynı ünlünün formant frekans değerleri, bir çocukta yetiştikten daha yüksek; kadınlarda da erkeklerden daha yüksektir. Örneğin, çocuk için /u/ sesinin F1 ve F2 değerleri ortalama 430 Hz ile 1170 Hz değerlerindeyken, yetişkin erkekler için ortalama 300 Hz ile 870 Hz civarındadır (Peterson ve Barney, 1952). Formant frekans değerleri arasındaki bu farka rağmen dinleyiciler /u/ sesini %99 oranında hedeflenen ünlü olarak tanımışlardır. Ünlülerin algılanmasında formant değerlerinin göreceli belirleyici olduğunu hatırlarsak (Miller, 1989), çocuğun /u/ ünlüsünü başka bir ünlü ses ile karıştırmamızı engelleyen ve doğru

tanınmamızı sağlayan bir sistem olduğu düşünülmektedir. Ses üretim düzeneği farklı olan kişilerin ürettiği ünlü sesleri birbirine karıştırmamızı engelleyen sistem, ünlü normalizasyonu (vowel normalization) veya konuşucu normalizasyonu (speaker normalization) olarak bilinmektedir (Johnson, 1990; Nearey, 1989; Ainsworth, 1975). Ünlü normalizasyonuna göre, dinleyiciler konuşucunun bazı ünlülerinin temel frekans ve formant frekansı gibi özellikleri sayesinde diğer ünlülerinin hangi formant frekans değerlerinde olabileceğini tahmin edebilmekte ve buna göre algılama gerçekleşmektedir. Bu hipotezi test etmek için, Ainsworth (1975) çalışmasında F1 ve F2 değerlerini değiştirerek ürettiği sentetik ünlüleri dinleyicilere sunmuş ve ünlüleri tanımlarını istemiştir. Dinleyiciler her uyaran bloğunu dinlemeden önce belirli F0, F1 ve F2 değerlerinde üretilen /i, u, a/ ünlü seslerini de dinlemişlerdir. Deney uyaranlarından önce sunulan /i, u, a/ ünlü seslerinin temel frekans ve formant frekans değerlerinin değişmesiyle birlikte dinleyicilerin uyaran ünlülerde algıladığı formant frekans değerleri de değişmiştir. Uyaranlardan önce sunulan /i, u, a/ ünlülerinin temel frekans ve formant frekans değerlerinin değişmesiyle, uyaran ünlülerin F1xF2 alanındaki algılanan sınırlarında en az %16'lık bir değişim gözlenmiştir.

2.10.5 Ünlü seslerin algılanmasında formant dışındaki akustik parametrelerin rolü

2.10.5.1. Ünsüzlerin etkisi

Ünlü seslerin algılanma yüzdelerinin, yanında bulunduğu ünsüz konuşma seslerine göre değiştiği gösterilmiştir (Hillenbrand, Clark ve Nearey, 2001). Hillenbrand, Clark ve Nearey (2001) çalışmalarında /i, ɪ, ε, æ, ɑ, ʌ, u, u/ ünlü seslerinin algılanma yüzdelerinin /h, b, d, g, p, t, k/ ünsüz ortamlarında az miktarda olsa da anlamlı derecede değiştiğini gözlemişlerdir. Ayrıca ünsüz ortamlarının ünlü formant frekansları üzerinde değişimler yarattığını da bulgulamışlardır. Damak ünsüzlerinden sonra gelen arka ünlülerin F2 değerlerinin yaklaşık 100 Hz arttığını, dudak ünsüzlerinden sonra gelen ön ünlülerin F2 değerlerinin 85-100 Hz azaldığını, ötümlü ünsüzlerden sonra gelen ünlülerde F1 değerinin genellikle daha düşük olduğunu gözlenmiştir.

2.10.5.2. *Süre etkisi*

Aynı ortamdaki (çevrelerindeki konuşma sesleri aynı olan) farklı ünlü sesler için süre değerlerinin değiştiği gözlenmiştir (House, 1961). Ünlülerin süre değerlerindeki bu farklılığın üzerinde dilin tense-lax ünlü olma gibi fonolojik özellikleri gözlenmiş ve tense ünlülerin süre değerlerinin daha uzun olduğu bulunmuştur (House, 1961). Ünlülerin süre değerleri üzerinde artikülasyonun etkisi de gözlenmiştir. Kapalı olmayan ünlülerin süre değerlerinin genellikle daha uzun olduğu bilinmektedir (House, 1961). Aynı ünlü sesin süre değerleri, farklı ünsüz ortamlarında da değişebilmektedir (Umeda, 1975; Klatt, 1973). Ünlü seslerin süre değerlerinin ötümlü ünsüzlerle daha uzun olduğu, ötümsüz ünsüzlerle daha kısa olduğu ortaya konmuştur (Kluender, Diehl ve Wright, 1988; Fowler, 1992).

Ünlü seslerin süre değerlerinin değişiminin, ünlülerin algılanmalarını etkilediği gösterilmiştir (Strange, Jenkins ve Johnson, 1983; Ainsworth, 1981). Strange, Jenkins ve Johnson (1983) çalışmalarında doğal ünlülerin süre değerlerini en kısa süreli ünlünün değerine eşitlediklerinde; özellikle uzun süreli ünlülerin algılanmalarında hataların arttığını ve uzun süreli ünlülerin, kısa süreli ünlülerden spektral olarak benzerleriyle karıştırıldığı bulunmuştur.

2.10.5.3. *Temel frekans etkisi*

Ünlüler, istisnalar olsa da, ötümlü ses olarak tanımlanır (Ladefoged ve Maddieson, 1996). Ünlü seslerin üretimi sırasında ses kıvrımları titreşim halinde olduğu için temel frekansı vardır. Ses üretim düzeneği ile ses kıvrımlarının içinde bulunduğu larenks bağlantı halindedir. Dil doğrudan, dil kökünden kaynak alan kaslar (musculus hyoglossus) ile hyoid kemiğe bağlıdır; larenks ise bağlar ve kaslar ile hyoid kemiğe asılı haldedir. Böylece dil hareketleri, larenksin pozisyonunu etkiler; larenksin yukarı yönlü hareketi ise temel frekansın yükselmesine neden olur. Kapalı ön ünlülerin üretimi sırasında dil, ağız boşluğunda yukarı ve öne doğru hareket eder ve temel frekansın da yükselmesine neden olur. Kapalı ön ünlülerde genelde görülen temel frekansın göreceli yüksek olması durumu, bir teoriye göre anatomik yapıların ilişkisine dayanmaktadır (Lindbloom ve Sundberg, 1971). Kapalı olmayan arka ünlülerde ise temel frekans göreceli düşüktür. Buna özgün (intrinsic) F0 adı verilmiştir (Whalen ve Levitt, 1995). Ancak isteğimize bağlı olarak kapalı ön ünlüleri, kapalı olmayan arka ünlülerden daha düşük bir temel frekansta da üretebiliriz. Yine de temel frekans ile formant frekansları

arasında bir ilişki olduğu; yapılan algı çalışmalarıyla gösterilmiştir (Assmann ve Nearey, 2007). Temel frekansın değişmesiyle birlikte, ünlü seslerin algılanmalarında değişimler olduğu bulunmuştur (Ryalls ve Lieberman, 1982). Hillenbrand ve Gavyert (1993) sabit temel frekanslı sentetik ünlüler ile 300 milisaniye uzunluğundaki temel frekansın ünlülerin süresi boyunca düştüğü bir grup ünlü oluşturmuşlardır. Temel frekansın ünlülerin süresi boyunca düştüğü sentetik ünlülerin algılanmalarında istatistiki olarak anlamlı derecede bir artış olduğunu bulmuşlardır. Hillenbrand ve Gavyert (1993) temel frekans değerinin ünlü süresince düşmesinin algılamayı neden etkilediğine dair bir açıklama getiremezken ünlü seslerin algılanmalarında pek çok faktörün etkisinin olabileceğini düşündüklerini belirtmişlerdir.

2.10.5.4. Spektral tilt etkisi

Farklı ünlülerin üretiminde farklı ses üretim düzenekleri, farklı frekans-enerji dağılımları vardır. Bu duruma ön ve arka ünlüler arasındaki frekans-enerji dağılımlarında ön ünlülerin yüksek frekanslarda daha yüksek enerjiye, arka ünlülerin ise düşük frekanslarda daha yüksek enerjiye sahip olmaları örnek olarak gösterilebilir. Ön ünlülerin ses kalitesine (frekans-enerji dağılımına) genel olarak baktığımızda görece düşük frekanslardan yüksek frekanslara doğru enerjideki düşme azdır. Arka ünlülerin ses kalitesine genel olarak baktığımızda ise düşük frekanslardan yüksek frekanslara doğru enerjideki düşme daha yüksektir. Düşük frekanslardan yüksek frekanslara doğru enerjideki düşmenin derecesi spektral tilt (spektral eğim) olarak bilinmektedir. Ses kıvrımlarında üretilen ve filtrelenmemiş olan sesin spektral eğimi her oktavda 12 dB'lik (12 dB/octave) bir düşüş biçimindedir; dudaklardaki etki ile (lip radiation factor) bu oran her oktavda 6 dB'lik bir düşüşe inmektedir (Ladefoged, 1996). Ünlü üretimi sırasındaki ses üretim düzeneğinin aldığı biçim ile spektral tilt değişebilmektedir (Hillenbrand, Cleveland ve Ericson, 1994). Bu da farklı ünlülerin algılanmasında spektral tiltin rol oynadığını göstermektedir (Ito, Tsuchida ve Yano, 2001; Liu ve Eddins, 2008). Liu ve Eddins (2008) çalışmalarında spektral tiltteki değişimlerden özellikle arka ünlülerin etkilendiğini göstermişlerdir.

2.10.6. Ünlü seslerin algılanmasına dair teoriler

Ünlü sesler sadece formantlardan oluşmaz ve algılarında da sadece formantlar etkili değildir. Ünlü seslerin formantları yanında genliği göreceli düşük frekans

bölgeleri ve gürültü (noise) içeren bölgeler de bulunmaktadır. Formantlar haricindeki bu bölgelerin de ünlü seslerin algılanmalarında rolleri olduğu düşünülmektedir. Buradan yola çıkarak ünlü seslerin algılanmasında genel olarak iki modelleme öne çıkar; biri formant değerlerini temel alırken diğer yaklaşım frekans-enerji dağılımına dayanmaktadır (Molis, 2005). Ünlü seslerin formantlara dayanan algı yaklaşımında (formant based approach) formant bulunan bölgeler (formant frekans değerleri) ünlülerin algılanmasındaki (tanınmasındaki, ayırt edilmesindeki) temel faktör olarak görülmektedir (Molis, 2005). Örneğin schwa ünlüsünü [ə] schwa ünlüsü olarak algılamamızı ve diğer ünlülerden ayırt etmemizi sağlayan şey, schwa ünlüsünün F1, F2, F3 ve diğer formant değerlerinin, schwa ünlüsü için gereken frekans değerlerinde olmalarıdır.

Ünlülerin algısını açıklayan diğer yaklaşım ise ünlülerin frekans-enerji dağılımlarının nasıl olduğuna, ünlü seslerin kalitesine (whole spectrum based approach) dayanmaktadır (Molis, 2005). Ünlülerin algılanmasındaki asıl parametrenin ünlü sesin frekans-enerji dağılımının tamamı olduğu ve içerisindeki parçalardan sadece bazıları olan formantlar olmadığı görüşüdür (Molis, 2005; Zahorian ve Jagharghi, 1993). Schwa ünlüsünün schwa ünlüsü olarak algılanmasını ve diğer ünlülerden ayırt edilmesini sağlayan şey schwa ünlüsünün frekans-enerji dağılımındaki her parçanın bir etkisinin olmasıdır.

Sözü edilen her iki yaklaşımı da destekleyen sonuçlar bulunmuştur (Zahorian ve Jagharghi, 1993; Molis, 2005; Hillenbrand, Houde ve Gayvert, 2006). Yapay (sentetik) ünlülerde belirli frekans bölgelerine formantlar yerleştirilerek istenilen ünlü algısı yaratıldığı gibi (Delattre vd., 1952) yine sentetik bir ünlüde formantların silinmesine rağmen o ünlünün halen ayırt edilebildiği (Ito, Tsuchida ve Yano, 2001) görülmüştür.

Ünlülerin algılanmasına dair bu işitsel (auditory theories of speech perception) teorilerin temelindeki algılama biçimi şu şekilde tanımlanmaktadır: Duyduğumuz konuşma sesindeki işitsel bilgiler aynı spektrumdaki gibi bir biçim (auditory templates) oluşturmaktadır (Raphael, Borden ve Harris, 2011). Zihnimiz de bu biçimin içinde bulunan ve ilgili konuşma sesine ait olan ayırt edici özellikleri (distinctive features) bulmaktadır (Raphael, Borden ve Harris, 2011). Zihnimizde ayırt edici özelliklerin bulunmasında ise özelleşmiş yapılar (feature detectors) rol almakta ve algılama gerçekleşmektedir (Raphael, Borden ve Harris, 2011). Bu teorinin çıkış zamanına yakın

zamanlarda geliştirilen konuşma seslerinin algılanmasına dair diğer bir teori ise konuşma seslerinin algılanmasında artikülasyonu temel almaktadır.

Konuşmanın motor algılanma teorisine (motor theory of speech perception) göre duyduğumuz konuşma seslerini algılamamızın temelinde, bu konuşma seslerinin nasıl üretildiğine dair bilginin olması yatmaktadır (Raphael, Borden ve Harris, 2011). Herhangi bir konuşma sesi farklı konuşma sesi ortamlarında çeşitli akustik özellikler göstermektedir. Ancak aynı konuşma sesine dair bu akustik çeşitlilik yanlış algılanmaya neden olmaz. Çünkü ilgili konuşma sesinin farklı konuşma sesi ortamlarında nasıl üretildiğine (artikülasyonuna) dair bilginin olması (analysis by synthesis), doğru algılama için yeterlidir (Raphael, Borden ve Harris, 2011). Örneğin /a/ sesini üretebiliyorsak /a/ sesinin nasıl üretildiğine dair bilgimiz vardır ve bu bilgi yoluyla /a/ sesini algılayabiliyoruz demektir. /a/ sesinin akustik özellikleri farklı ünsüzlerle birlikte değişmektedir ancak bu değişim /a/ sesini algılamamızda sorun yaratmaz çünkü /a/ sesinin farklı ünsüzlerle nasıl üretildiğine dair de bilgimiz bulunmaktadır.

Ünlü seslerin algılanmasının bebeklerde nasıl geliştiğine dair de teoriler bulunmaktadır. Polka ve Bohn (2011) bebeklerde ünlü seslerin nasıl ayırt edildiğini araştırdıkları çalışma sonucunda birinci ve ikinci formanta göre oluşan alandaki bir ünlünün merkezinden uzaklaştıkça tutarlı bir şekilde ünlü sesleri ayırt etmelerinin daha kolay olduğunu; bir ünlünün çevresinden merkezine doğru hareket edildiğinde de ünlü sesleri ayırt etmenin daha zor olduğunu gözlemişlerdir. Bu bulgulardan yola çıkarak ünlü algılamasının gelişiminde ünlü üçgenindeki köşe ünlüleri temel alan ve algılamanın, /i, a, u/ ünlülerin merkezini temel aldığına dayanan bir model (Natural Referent Vowel – NRV) ileri sürmüşlerdir (Polka ve Bohn, 2011). Geçmiş çalışmalarda da bir ünlü sesin farklı versiyonlarından sadece bazılarının o ünlüyü temsil etmede tercih edildiği (prototype vowel) ve bu özelliğin, gelişimin ilk aşamalarında da gözlemlendiği yapılan algı çalışmalarıyla gösterilmiştir (Kuhl, 1991).

Başka dillerdeki konuşma seslerinin nasıl algılandığına dair teorilerden PAM (perceptual assimilation model) (Best ve Strange, 1992) diller arasında ünlü seslerin nasıl algılandığını açıklamak için kullanılmıştır (Tyler vd., 2014). Modelin adında bahsedilen asimilasyon kelimesiyle, başka bir dilin ünlü seslerini algılamak bu sesleri kendi dilimizdeki fonolojik kategorilere yerleştirmemiz kastedilmektedir ve bu asimilasyonun dereceleri bulunmaktadır. Bu modele göre başka bir dilin ünlü sesleri

arasındaki farkları kendi dilimizdeki fonolojik kategorilere ne kadar iyi benzetirsek bu sesleri de o kadar iyi ayırt edebileceğimiz ileri sürülmektedir (Tyler vd., 2014).

2.10.7. Ünlü sesler ve kategorik algılama

Bazı ünsüz seslerin algılanmasında ve birbirinden ayırt edilmesinde kategorik bir algılamanın (categorical perception) olduğu görülmüştür. VOT (voice onset time), F2 geçiş değerleri gibi ünsüz sesleri birbirinden ayıran akustik özelliklerin olduğu bilinmektedir. Örneğin, F2 geçiş değeri kontrollü bir şekilde değiştirildiğinde bir ünsüz sesin algılanmasından diğerinin algılanmasına olan geçiş (identifications) gözlenebilmektedir; her bir ünsüz ses için kullanılan akustik özelliğin aldığı farklı değerler, farklı kategorileri oluşturmaktadır (Liberman, 1970). Bir ünsüz sesin kendi kategorisi içinde ne değer aldığı algılanmada önemi (discrimination) azdır veya yoktur (şans değerinde); doğru algılanması için kategori sınırları içinde kalması yeterli olmaktadır (Liberman, 1970). Hatta, dinleyicilerin bu ünsüz sesin kendi kategorisi içinde farklı değerler almasını ayırt etmesi göreceli olarak düşüktür. Kategori sınırındaysa tam tersi bir durum vardır; ünsüz seslerin tanınması birbirine yakın orandayken (şans değerinde) ünsüz sesler arasında kontrollü değiştirilen akustik özellikteki farklılıkların algılanması (discrimination) göreceli yükselir veya en yüksek değerindedir (Liberman, 1970). Kategori içerisinde ünsüz sesleri tanıma yüksek ve birbirinden ayırt etme düşük oranlardayken kategori sınırında ünsüz sesleri tanıma düşük ve birbirinden ayırt etme yüksek oranlardadır. Konuşma seslerinin kategorik algılanmasından kastedilen budur.

Ünlü seslerde kategorik bir algılamanın olup olmadığı sentetik ünlüler kullanılarak araştırılmış ve ünlüler arasında, ünsüzlerde görüldüğü kadar kategorik bir algılamanın olmadığı bulunmuştur (Fry vd., 1962; Stevens vd., 1969). Ünlü ve nazal ünlü sesler arasında ise ünsüz seslerde görülene benzer bir kategorik algılamaya rastlanmıştır (Beddor ve Strange, 1982). Nazallık haricinde diğer ünlü özellikleri bakımından ünlü seslerin algılanmasının ünsüz seslerden farklı olduğu, ünlülerin algılanmasının kategorik olmaktan ziyade süreklilik taşıdığı düşünülmektedir (Fry vd., 1962).

2.11. Türkçedeki Ünlü Sesler

Türkçedeki ünlülerin özelliklerini farklı veya benzer amaçlar ve yöntemlerle inceleyen geçmiş çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalar içerisinde, Türkçedeki ünlülerin tarihsel gelişimine odaklanan, onlardaki değişimi ve gelişimi dilbilimsel açıdan analiz eden ve bunu farklı lehçelerden bilgilerle destekleyen çalışmalar yanında Türkçedeki ünlü uyumunu inceleyen çalışmalar da bulunmaktadır. Türkçedeki ünlülerin farklı yönlerden akustik analizine odaklanan, formant analizi yapan, süre gibi diğer özelliklerini de inceleyen çalışmalar ile az sayıda olmakla birlikte Türkçedeki ünlülerin nasıl algılandığını inceleyen çalışmalar; yöntem yönünden bu çalışma ile paralellikler göstermektedir.

2.11.1. Türkçedeki ünlülerin akustik özellikleri

Ünlüleri akustik özellikleri yönünden tanımlamada başlıca özellik olarak formant frekans değerleri kullanılmaktadır. Türkçe ünlülerin akustik analizlerinin yapıldığı çalışmalarda da formant frekans değerleri genellikle ölçülmüş ve incelenmiştir (Selen, 1979; Ergenç, 1989; Kılıç, 2003; Türk vd., 2004, Kopkallı-Yavuz, 2010; Davutoğlu, 2010; Malkoç, 2011; Aydın, Kayıkçı ve Süslü, 2019). Türkçedeki ünlülerin formant analizlerinin yapıldığı bazı akustik analiz çalışmalarından elde edilen formant frekans değerleri Tablo 2.2 ve Tablo 2.3'te gösterilmektedir. Bu formant frekans değerlerindeki farklılıklar, araştırmalar arasındaki yöntem ve bu yöntemi uygularken kullanılan materyallerin, teknik ekipmanın farklılıklarından kaynaklanmaktadır.

Tablo 2.2. *Türkçedeki ünlülerin formant analizlerinin yapıldığı bazı akustik analiz çalışmalarından elde edilen kadın konuşucular için formant frekans değerleri (*Kopkallı-Yavuz, çalışmasında 5 erkek 2 kadın katılımcıdan alınan ölçümlerin ortalamaları yer almaktadır.**Türkçedeki <a> için genelde /a/ sembolü kullanılmaktadır. Ancak bu çalışmada Türkçedeki bu sesin /ʌ/'nın özelliklerine daha yakın olduğu savunulmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada /ʌ/ kullanılmıştır.)*

		F1	F2	F3		F1	F2	F3
Türk vd. (2004)		697	1463	2742		508	1475	2654
Kopkallı-Yavuz (2010)*	ʌ**	667	1334	2710	ɛ	455	1923	2805
Malkoç (2011)		819	1317	3060		578	2251	3076
Türk vd. (2004)		584	1110	2443		506	1221	2217
Kopkallı-Yavuz (2010)*	o	479	1050	2684	œ	445	1505	2526
Malkoç (2011)		561	980	2991		554	1572	2739
Türk vd. (2004)		546	1291	2513		433	1729	2540
Kopkallı-Yavuz (2010)*	u	318	1031	2571	y	307	1719	2493
Malkoç (2011)		436	1026	2908		417	1865	2662
Türk vd. (2004)		839	1798	2846		511	1989	2979
Kopkallı-Yavuz (2010)*	ʊ	338	1455	2678	i	276	2025	2829
Malkoç (2011)		482	1601	2945		404	2508	3287

Çalışmalar arasındaki farklılıklara rağmen genel olarak kapalı ve kapalı olmayan ünlüler arasında F1 değeri farklılığı görülmektedir. Kapalı olmayan ünlülerde F1 değeri daha yüksek değerdeyken Selen (1979) ve Türk vd. (2004) çalışmalarında /u/, /ʊ/ ve /i/ ünlü sesleri bu durumun dışına çıkmakta ve kapalı olmayan ünlülerden daha yüksek F1 değeri almaktadır. Tablo 2.2 ve 2.3'e bakıldığında, ön-arka ünlülerin F2 değerleri arasında belirgin bir farklılık olduğu görülmektedir. Genel olarak arka ünlülerin F2 değeri daha düşüktür. Selen (1979) çalışmasındaki /o/ ve /ʊ/ ünlülerinin F2 değerleri ile Türk vd. çalışmalarındaki /u/ ve /œ/ ünlülerinin F2 değerleri; gözlenen genel duruma bir istisnadır. Tablo 2.2 ve Tablo 2.3'te görülen bir diğer önemli nokta ise /ʊ/ ve /œ/ ünlü seslerinin ölçülen F1 ve F2 değerlerinin birbirine yakınlığıdır. Hatta bazı çalışmalarda (Türk vd., 2004; Malkoç, 2011) /ʊ/ sesinin F1 veya F2 değeri; /œ/ sesinden daha yüksektir.

Tablo 2.3. *Türkçedeki ünlülerin formant analizlerinin yapıldığı bazı akustik analiz çalışmalarından elde edilen erkek konuşucular için formant frekans değerleri (*Aydınlı vd., çalışmalarında kelimenin ilk ve son hecesinden olmak üzere 2 ayrı ölçüm almışlardır; ilk heceden alınan ölçümler burada yer almaktadır. **Türkçedeki <a> için genelde /a/ sembolü kullanılmaktadır. Ancak bu çalışmada Türkçedeki bu sesin /ʌ/'nın özelliklerine daha yakın olduğu savunulmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada /ʌ/ kullanılmıştır.)*

		F1	F2	F3		F1	F2	F3
Selen (1979)		800	1400			400	1800	
Kılıç (2003)		664	1081	2577		526	1772	2525
Türk vd. (2004)	ʌ**	596	1381	2690	ε	485	1834	2614
Malkoç (2011)		654	1165	2701		468	1865	2598
Aydınlı vd. (2019)*		650	1126			460	1896	
Selen (1979)		1200	2800			400	1400	
Kılıç (2003)		432	811	2587		427	1548	2346
Türk vd. (2004)	o	467	1064	2695	œ	526	1526	2558
Malkoç (2011)		477	984	2795		461	1449	2480
Aydınlı vd. (2019)*		458	833			428	1394	
Selen (1979)		400	800			280	1700	
Kılıç (2003)		295	786	2226		279	1715	2288
Türk vd. (2004)	u	322	954	2419	y	372	1632	2369
Malkoç (2011)		383	1068	2764		332	1751	2468
Aydınlı vd. (2019)*		323	766			275	1439	
Selen (1979)		320	2000			400	1200	
Kılıç (2003)		355	1482	2405		278	2275	2570
Türk vd. (2004)	u	537	1577	2722	i	346	2079	2879
Malkoç (2011)		392	1444	2547		310	2131	2933
Aydınlı vd. (2019)*		410	1349			275	2133	

Yukarıda bahsedilen çalışmalar dışında Türkçenin /ʌ/, /o/, /u/, /ε/, /i/ ünlülerinin fısıltılı ve normal konuşma sırasındaki formant frekanslarını inceleyen bir çalışma da bulunmaktadır (İcat ve İlk, 2004), diğer spektral farklılıkların yanında incelenen ünlülerin formant frekanslarının, /ε/ ünlüsü hariç fısıltılı konuşmada arttığını bulgulamışlardır. Bir diğer çalışmada da Türkçedeki ünlülerin formant frekans değerlerinin yanındaki ünsüz seslerden etkilendiği gösterilmiştir (Korkmaz ve Boyacı, 2018). Aydınlı, Kayıkçı ve Süslü (2019) alarengal Türkçe konuşucularının /y/ ve /i/ sesleri haricindeki ünlülerinin F1 ve F2 değerlerinin, sözcük başı ve sözcük sonundaki hecelerde larengal konuşmacılardan daha yüksek olduğunu bulgulamışlardır. Başka bir

doktora tez çalışmasında da Türkçe ünlülerin formant frekans değerleri istatistiki analiz ile karşılaştırılmış ve her ünlü için ayrı ayrı alt gruplar belirlenmeye çalışılmıştır (Davutoğlu, 2010).

Türkçedeki ünlülerin akustik analizinin yapıldığı çalışmalardan bazılarında ünlülerin süresi incelenmiştir (Şayli, 2002; Şayli, Arslan ve Özsoy, 2002; Şayli ve Arslan, 2003; Arısoy vd., 2004; Kılıç vd., 2006; Aydınli, Kayıkçı ve Süslü, 2019). Ünlü seslerin sürelerine dair bulgular Tablo 2.4'te görülmektedir. Şayli (2002) tezi kapsamında bir konuşudan kelime ve cümle ortamlarında ayrı ayrı ölçümler almıştır. Arısoy vd., (2004) altı konuşucudan kelime ortamında ve kelimenin ilk hecesi ile kelimenin son hecesinden ayrı ayrı ünlü süre ölçümleri almıştır. Kılıç vd., (2006) 13 konuşucudan taşıyıcı cümle içinde ve aynı ortamdaki ünlülerin sürelerini ölçmüştür. Aydınli, Kayıkçı ve Süslü (2019) beş konuşucudan ünlülerin süre ölçümlerini almışlardır. Tüm bu çalışmalardan kapalı ünlülerin kapalı olmayan ünlülerden daha kısa süreli olduğu çıkarımı yapılmaktadır (Şayli, 2002; Şayli, Arslan ve Özsoy, 2002; Şayli ve Arslan, 2003; Arısoy vd., 2004; Aydınli, Kayıkçı ve Süslü, 2019). Sürenin, Türkçedeki ünlüler için ayırt edici bir fonolojik özellik olmamasına rağmen fonetik özellik olarak kapalı olmayan ünlü seslerin daha uzun süreli olma eğiliminde olduğu ortaya konmuştur.

Tablo 2.4. Türkçedeki ünlülerin süre analizlerinin yapıldığı bazı akustik analiz çalışmalarından elde edilen süre değerleri (süreler milisaniye – ms olarak yer almaktadır)

		Λ	o	ε	œ	u	u	y	i
Şayli (2002)	Kelimede	139	133	135	133	113	115	109	116
	Cümlede	112	109	105	110	81	81	84	82
Arısoy vd. (2004)	Kelime-ilk hecede	74	84	76	82	53	57	58	49
	Kelime-son hecede	154	172	155	184	148	154	148	148
Kılıç vd. (2006)	Taşıyıcı cümlede	81	85	79	91	74	43	66	62
Aydınli vd. (2019)	İlk hecede	84	84	87	84	57	62	62	61
	Son hecede	160	154	158	185	155	161	147	148

Türkçedeki ünlü seslerin temel frekans değerlerini araştıran çalışmalar da bulunmaktadır (Kılıç, 2003; Kılıç vd., 2004; Malkoç, 2011). Bu çalışmalarda ölçülen temel frekans değerleri Tablo 2.5'te verilmiştir. Genel olarak, Türkçedeki kapalı ünlü seslerin temel frekans değeri kapalı olmayan ünlü seslerden daha yüksektir. Türkçe için gözlenen bu durum, farklı diller için elde edilen bulgularla tutarlılık göstermektedir (Whalen ve Levitt, 1995).

Tablo 2.5. *Türkçede ünlü sesler için ölçülmüş olan temel frekans değerleri (değerler Hz olarak yer almaktadır)*

	Λ	o	u	u	ε	æ	y	i
Kılıç (2003)	132	132	149	145	131	141	155	151
Kılıç vd. (2004)	134	140	145	143	138	143	146	144
Malkoç (2011)	140	141	145	141	137	132	143	142

2.11.2. Türkçedeki ünlülerin fonolojik özellikleri

Türkçede sesbirim olarak sekiz ünlü ses bulunmaktadır. Türkçedeki ünlülerin sesbirimcikleri de sayıldığında, ünlü seslerin sayısının daha yüksek olduğu görülmektedir (Yavuz, 2011) ancak burada ağırlıklı olarak sesbirimler ve sesbirimlerin özellikleri üzerinde durulacaktır.

Dilimizdeki ünlülerin başlıca ayırt edici fonolojik özellikleri kapalı/kapalı olmama, ön/arka, düz/yuvarlak olma özellikleridir (Tablo 2.6). Dilimizdeki ünlülerin bahsedilen fonolojik özellikleri anlam ayırt etmeyi sağlamalarının yanında bir kelime veya ekteki ünlü seslerin sıralanışlarında/dizilimlerinde (phonotactics) de rol oynamaktadır. Ünlü sesler, birbirlerinin fonolojik özelliklerini kelimelerdeki dizilimlerinde kurallı bir biçimde değiştirebilmektedirler. Türkçenin ünlü uyumu (vowel harmony), birbirine yakın ünlülerin benzeşim yoluyla (assimilation) benzer özellikler taşıması olarak açıklanabilir (Yavuz, 2011). Büyük ünlü uyumuna (artlık uyumu; backness harmony) göre arka ünlü sesi yine bir arka ünlü ses; ön ünlü sesi de bir ön ünlü ses takip etmektedir. Küçük ünlü uyumuna (yuvarlaklık uyumu; rounding harmony) göre artlık uyumu yanı sıra düz ünlüyü düz, yuvarlak ünlüyü yuvarlak ünlü takip etmektedir. Türkçedeki ünlü uyumu dilimize özgü olarak öğrendiğimiz sesbilgisel özelliklerden biridir (Fukumori, 2000; Arık, 2015).

Tablo 2.6. *Türkçedeki ünlülerin fonolojik özelliklerine göre sınıflandırılması*

	Ön		Arka	
	Düz	Yuvarlak	Düz	Yuvarlak
Kapalı	i	y	u	u
Kapalı Olmayan	ε	œ	Λ	o

Türkçedeki ünlülerin fonolojik özellikleri, ikili bir ayrım gerektirmektedir – örneğin kapalı ve kapalı olmayan. Benzeri şekilde ünlüler ön ve ön olmayan (arka) olarak ayrılabilir. Türkçedeki ünlüler, ünlü uyumunda fonolojik özelliklerdeki bu net ayrıma göre hareket etmektedir. Örneğin (2)’de görüldüğü üzere çoğul ekinin getirildiği kelimelerin kökündeki /Λ/ ve /o/ sesleri ile /ε/ ve /œ/ sesleri çoğul eki üzerinde aynı etkiyi göstermektedir ve aynı ön-arka bağlamındaki fonolojik özelliğe göre hareket etmektedir.

- (2) atlar [ΛtɫΛɾ] otlar [otɫΛɾ]
evler [εvleɾ] köyler [cœjleɾ]

Türkçedeki ünlülerin fonolojik özelliklerindeki net ayrımlar, fonetik özelliklerinde farklı bir açı kazanmaktadır. Tablo 2.6’da görüldüğü üzere /i/, /y/, /u/, /u/ kapalı ünlülerken /ε/, /œ/, /Λ/, /o/ kapalı olmayan ünlülerdir çünkü (2)’de görüldüğü gibi ünlü uyumunda birlikte hareket ederler. Ancak kapalı olma veya kapalı olmama durumuna fonetik özellik olarak bakıldığında farklı bir durum ortaya çıkmaktadır. Örneğin, ikisi de fonolojik olarak kapalı ünlü tanımında olmasına rağmen /i/ sesinin F1 değeri 300 Hz altında; /u/ sesinin F1 değeri 360 civarındadır. Benzeri şekilde fonolojik olarak ikisi de kapalı olmayan ünlüler tanımındaki /œ/ sesinin F1 değeri 500 Hz’e yakinken /Λ/ sesinin F1 değeri 650 Hz’e yakındır. Kapalı-kapalı olmama özelliğiyle paralellik gösteren F1 değerlerine göre bir inceleme yapıldığında /i/ sesinin /u/ sesinden /œ/ sesinin de /Λ/ sesinden daha kapalı olduğu görülmektedir. Burada dikkat çeken nokta kapalı-kapalı olmama özelliğinin fonetik açıdan bakıldığında ara değerler de alabilmesidir. Sonuçta Türkçedeki sekiz sesbirim de kapalı-kapalı olmama özelliği bağlamında fonetik olarak incelendiğinde her birinin farklı değerler alabileceği anlaşılmaktadır. Bu bulgu da fonetik ve fonolojik yaklaşımlar arasındaki farkı göstermektedir.

2.11.3. Türkçedeki ünlüler üzerine yapılan algı çalışmaları

Türkçedeki ünlülerin algılanmasına dair az sayıda çalışma bulunmaktadır. Kılıç ve Ögüt (2004) çalışmalarında Türkçedeki /u/ sesinin özelliklerini MRI ve akustik değerlendirme yanında algı çalışması ile de incelemişlerdir. Algı çalışmasında iki farklı tip uyaran kullanmışlardır. F1 ve F2 değerleri değiştirilerek hazırlanan 220 sentetik ses uyararı yanında dört sesbilim uzmanının ürettiği 26 IPA ünlüsü bir data bankasından alınmış, beş kişiye dinletilmiş ve dinleyenlerden duydukları ünlüyü yazmaları istenmiştir. Her beş dinleyicinin de /u/ olarak işaretledikleri sentetik ünlülerin ortalama F1 ve F2 değerleri 358 Hz (SS: 62,4 Hz) ve 1256 Hz (SS: 146,4 Hz) olarak bulunmuştur. Dinletilen IPA ünlülerinden ise [ʊ] ve [i] ünlüleri beş dinleyici tarafından; [ɤ] ünlü sesi dört dinleyici tarafından; [ə] ünlü sesi de bir dinleyici tarafından /u/ ünlüsü olarak algılanmıştır. Sonuçta /u/ ünlü sesinin; ünlü üçgeninde /ɛ/ ve /u/ ünlü sesleri arasında olduğu öne sürülmüştür.

Kılıç vd., (2006) 10 farklı süredeki Türkçe ünlü seslerin oluşturduğu 80 uyaran, 14 normal işiten ve 15 işitme engelli çocuğa dinletmişlerdir. İki gruptaki çocukların da yaş ortalaması 12 yaş civarındadır. En kısa süreli uyaranlar 30-32 ms; en uzun süreli uyaranlar ise 487-519 ms süreleri arasındadır. Normal işiten çocuklarda ünlü süresinin algıda anlamlı derecede bir etkisi görülmezken /o/ ve /œ/ ünlü seslerinin hedeflenen ünlü olarak algılanmalarının kısa süreli uyaranlarda bir miktar düştüğü görülmüştür. İşitme engelli bireylerde ise çok kısa süreli ve çok uzun süreli ünlülerin algısında farklılıklar görülmüştür; /a/, /o/, /i/ ünlüleri her sürede; /u/ sadece en kısa sürelerde; diğer ünlüler de orta uzunluklarda daha yüksek oranda hedeflenen ünlü olarak algılanmıştır. Ayrıca işitme engelli bireyler, /a/, /o/, /i/ haricindeki ünlülerin kısa süreli uyaranlarını, yüksek oranda /u/ olarak işaretledikleri bulunmuştur.

2.12. Ünlü Ses Sentezi

Ünlülerle ilgili algı (perception) çalışmalarında doğal ünlüler kullanılmaktadır (Polka ve Bohn, 1996; Polka, 1995). Doğal ünlülerin yanında gelişmiş akustik analiz programlarının yardımıyla ünlü seslerin akustik özellikleri değiştirilebilmekte ve değiştirilmiş/modifiye (modified) doğal ünlüler de algı çalışmalarında kullanılabilir (Strange, Jenkins ve Johnson, 1983). Örneğin bir ünlü sesin ses kaydında akustik analiz programlarının yardımıyla bazı frekans bölgeleri filtreler

kullanılarak silinebilmekte ve bu değişimin algıda bir rolü olup olmadığı incelenebilmektedir.

Doğal ve değiştirilmiş ünlülerin yanında algı çalışmalarında sentezlenmiş/yapay/sentetik (synthetic) ünlüler de kullanılmaktadır. Sentetik ünlüler tamamen dijital ortamda oluşturulmaktadır. Sentetik ünlülerin en büyük avantajı araştırılan ünlüye dair akustik parametrenin kontrol edilebilmesidir. Sentetik ünlülerin en büyük dezavantajı ise yapay olmaları ve elde edilen sonuçların ilgili doğal ünlüleri yansıtmama olasılığıdır.

Sentetik ünlülerin sentezinde farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden biri artikülasyon modellemesine dayalı ses sentezidir (Birkholz, 2013). Artikülasyona dayalı ses sentezinde ilgili artikülatörlerin nasıl, ne kadar süreli, ne şiddette, hangi hızda hareket ettikleri bilinmelidir. Ses üretiminden sorumlu artikülatörlerin/parametrelerin her biri kontrol edilmektedir. Herhangi bir konuşma sesinin sentezi, modellemesindeki artikülatörlerin bilgisayar ortamındaki simülasyonda koordinasyonlu hareketi ile gerçekleşmiş olur. Diğer bir ses sentezi yöntemi de akustik özelliklere dayalı olan formant sentezi yöntemidir (Klatt ve Klatt, 1990; Klatt, 1980). Akustik özelliklere dayalı ses sentezinde ise konuşma sesini oluşturan akustik parametreler, tek tek bir araya getirilir ve konuşma sesi üretilmiş olur.

Klatt ve Klatt ses sentezi, formantlara dayalı akustik ses sentezleme yöntemlerinden biridir (Klatt ve Klatt, 1990), ve konuşma seslerinin akustik teoriyle üretildiği hipotezine dayanır. Ses kıvrımlarında fonasyon gerçekleşmekte, üretilen ses de ses üretim düzeneğinde filtrelenmektedir. Klatt ve Klatt konuşma sesi sentezinde de belirli bir temel frekanstaki fonasyon üretimi oluşturulmakta, daha sonra formantlar eklenmektedir. Böylelikle konuşma sesi üretilmiş olmaktadır. Örneğin, 125 Hz’de bir fonasyon üretilip buna 600 Hz ve 1200 Hz frekans değerlerinde formantlar eklendiğinde yapay /Λ/ ünlüsü sentezlenmiş olmaktadır. Klatt ve Klatt sentezinde ünlü sesler sentezlendiğinde formant değerlerinin göreceli şiddet değerleri de paralel sentez yöntemi kullanılarak belirlenebilmektedir. Klatt ve Klatt sentezdeki paralel sentez yöntemiyle spektral eğim (spectral tilt) değiştirilebilmektedir.

Ses sentezleme yöntemlerinin en büyük avantajı olan ses parametrelerini kontrol edebilme, Klatt ve Klatt sentezde de mümkün olmaktadır. Örneğin, diğer tüm parametreleri sabit tutarken yapay konuşma sesinin temel frekansı, süresi, herhangi bir formant frekans değeri gibi özellikleri değiştirilebilir. Doğal konuşma sesi üretiminde

ise konuşma sesinin akustik parametrelerinden birini değiştirirken diğerlerini sabit tutabilmek mümkün değildir. Çünkü yapay ses sentezinde tek tek üretilip birleştirilen parametreler, doğal konuşma sesi üretiminde birbirleriyle bağlantı halinde olan doku ve organlar tarafından üretilir. Örneğin /i/ konuşma sesi üretimi sırasında ses üretim düzeneğinin aldığı biçim değişmekte, temel frekans daha yüksek olabilmektedir. Bunun gibi faktörler konuşma sesinin formant değerlerini ve şiddetini etkilemekte ve değiştirmektedir çünkü kaynak ve filtre, doğal konuşmada birbirinden bağımsız yapılar olmayıp birbiriyle bağlantılı ve etkileşim içindeki anatomik yapılardır. Doğal konuşma sesi üretiminde bu gibi örneklerden yola çıkarak şu genelleme yapılabilir: Konuşma sesinin akustik parametrelerinden biri değiştiğinde diğerleri de bundan etkilenmektedir. Klatt ve Klatt sentezinde fonasyon ve formant değerleri ayrı ayrı oluşturulup birleştirilebilirken, aynı kaynak filtre teorisinde bahsedildiği gibi (Fant, 1981), doğal konuşma sesi üretiminde gerçekte ses kıvrımlarında üretilen fonasyon ve ses üretim düzeneğinin aldığı biçim birbiriyle etkileşime girmekte ve ses üretim düzeneğindeki aerodinamik hava akımının etkileri fonasyonu değiştirmektedir (Titze, 2008). Doğal konuşma sesi üretiminin nasıl olduğu, kaotik yapısından ötürü henüz tam olarak anlaşılamamıştır. Yapay ses üretimi, konuşma sesi parametrelerini kontrollü bir biçimde araştırabilmemize olanak verir ve sonuçta doğal konuşma sesi üretimini ve doğal konuşma sesi algılanmasını daha iyi anlamamızı sağlar.

3. YÖNTEM

Bu çalışmanın amacı süre, temel frekans ve spektral tilt parametrelerinin ünlülerin algılanmasına olan etkilerini belirlemektir. Parametrelerin etkilerini belirlemek için yapılan algı (perception) deneyinin yöntemi aşağıda ayrıntılarıyla açıklanan bazı aşamalardan oluşmaktadır. Öncelikle akustik analiz aşamasında, doğal ünlü sesler analiz edilerek ölçümler alınmıştır. Doğal ünlü seslerden alınan bu ölçümler, daha sonra ses sentezi kısmında sentetik seslerin üretilmesinde referans olarak kullanılmıştır. Ses sentezi kısmında süre, temel frekans ve spektral tilt parametreleri kontrollü değiştirilerek sentetik ünlüler üretilmiştir. Doğal sesler yerine sentetik seslerin kullanılma nedeni ilgili parametrelerin kontrollü olarak değiştirilebilir olmasıdır. Üretilen sentetik ünlüler algı deneyinde katılımcılara dinletilmiş ve yanıtları toplanmıştır. Bu çalışma için alınan etik kurul onayı EK-1’de yer almaktadır.

3.1. Algı Deneyi İçin Uyarıların Oluşturulması

Algı deneyinde kullanılan uyarıların üretimi iki ana aşamadan oluşmuştur. Birinci aşama, doğal ünlülerin akustik analizlerinin yapılmasını ve sentetik ünlülerin üretilmesi için gerekli olan ölçümlerin alınmasını içermektedir. İkinci aşama ise süre, temel frekans ve spektral tilt parametrelerinin değiştirilerek sentetik ünlülerin üretimini kapsamaktadır.

3.1.1. Akustik analiz

Bu çalışmanın akustik analiz bölümü bir Türkçe konuşucusundan alınan ses kaydındaki ünlülerin akustik analizini ve bu ünlülere dair veriler elde edilmesini içermektedir.

3.1.1.1. Katılımcılar

Bu çalışmada konuşucu seçimi, daha önce ses kaydı için imzalı gönüllü katılım formları alınmış ve bu ses kayıtları hiçbir çalışmada kullanılmayan 17 konuşucunun ses kayıtları incelenerek yapılmıştır. İnceleme, 17 konuşucunun seçilen ünlülerinin ilk iki formant değerlerinin dağılımına akustik analiz yoluyla bakılarak yapılmıştır. Formant değerlerinin birbirine çok yakın olduğu ve/veya üst üste bindiği ünlülere sahip konuşucular elenmiştir. Farklı ünlü formant değerlerinin üst üste binmesi durumunun

gözlenmediği bir konuşucunun konuşması ve sesi iki uzman kişi tarafından değerlendirilmiştir. Subjektif algısal değerlendirmelerinde bir sorun görülmeyen konuşucuya ses kayıtlarının bu çalışmada kullanılacağına dair bilgilendirme yapılmış ve konuşucu kabul etmiştir. Seçilen Türkçe konuşucusu, 27 yaşında lisansüstü öğrencisi olup herhangi bir dil konuşma sorunu bulunmamaktadır.

3.1.1.2. Materyal ve prosedür

Konuşucuya okutulması için seçilen metin, Anadolu Üniversitesi, Dil ve Konuşma Bozuklukları Eğitim, Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde (DİLKOM) yapılan değerlendirmelerde ve ses kayıtlarında vakalara okutulan ve fonetik dengeli olma özelliğine yakın bir metindir (EK-2). Hali hazırda Türkçede fonetik dengeli bir metin bulunmaması nedeniyle bu metin seçilmiştir. Bu metinde her ünlü ses metin içerisinde birden fazla sayıda ve farklı ünsüz bağlamlarında yer almaktadır. Her ünlü sesin metin içerisinde olan farklı bağlamlardaki tüm örnekleri incelenmiştir. Formantların spektrogramdan/spektrumlardan belirlenebilmesi ve diğer ünlü formant frekanslarıyla kesişmemesi kriterlerine en çok uyan ses, analize alınmıştır.

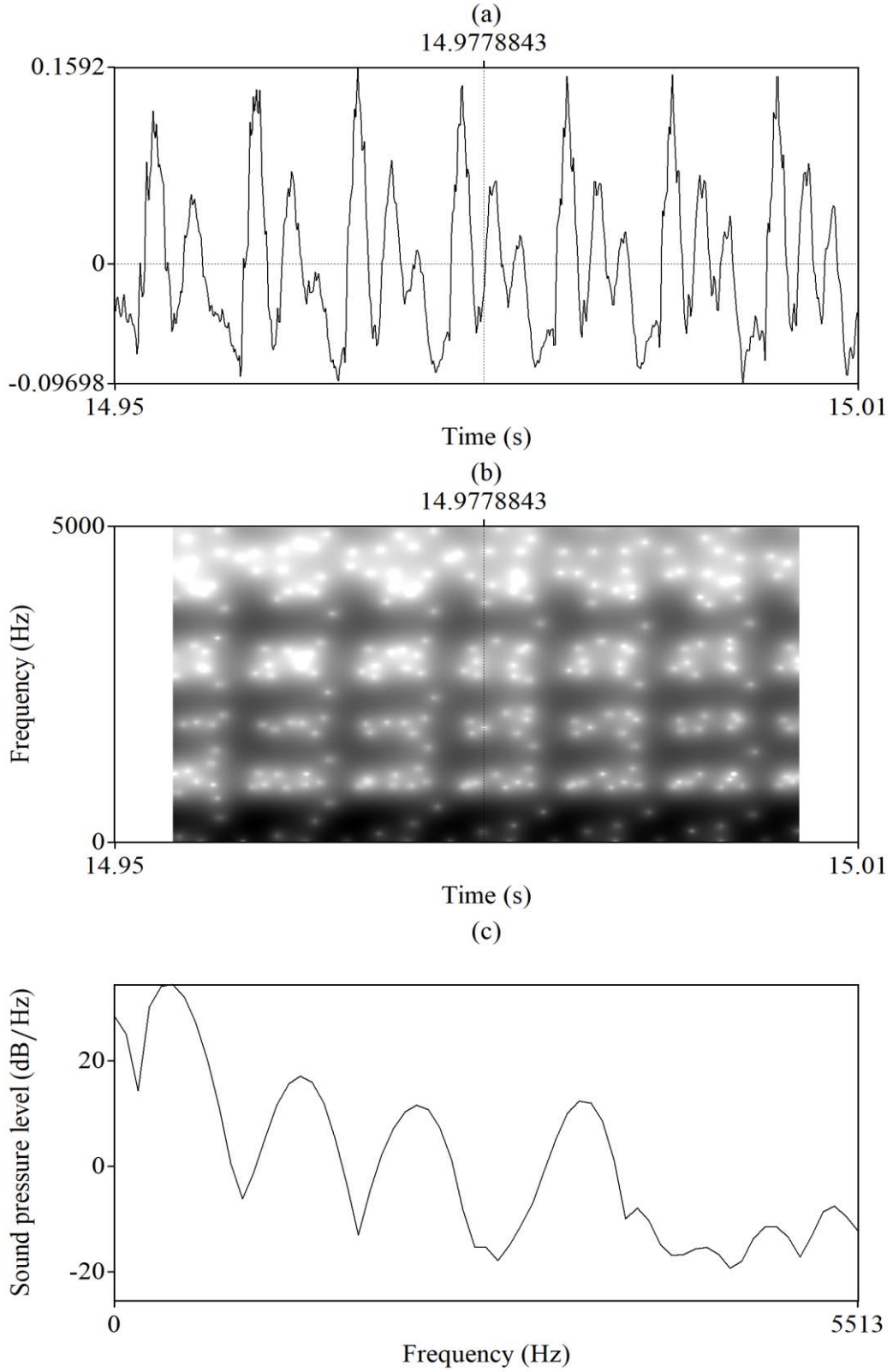
Konuşucudan kendisine verilen metni rahat olduğu hız ve şiddette okuması istenmiştir. Konuşucu DİLKOM'daki sessiz bir odada Shure SM48 (dynamic - cardioid) mikrofon karşısında okumuş ve okuma KayPentax Computerized Speech Lab (CSL) Model 4500 kullanılarak IBM A40P Intel masaüstü bilgisayarına 44.100 Hz'de ve 16 bits çözünürlükte örneklenerek wav ses dosyası formatında kaydedilmiştir. Mikrofon-ağız mesafesi 20 cm olarak belirlenmiş ve mikrofon, sandalyede oturan katılımcının karşısına 45°'lik açıyla yerleştirilmiştir.

3.1.1.3. Analizler

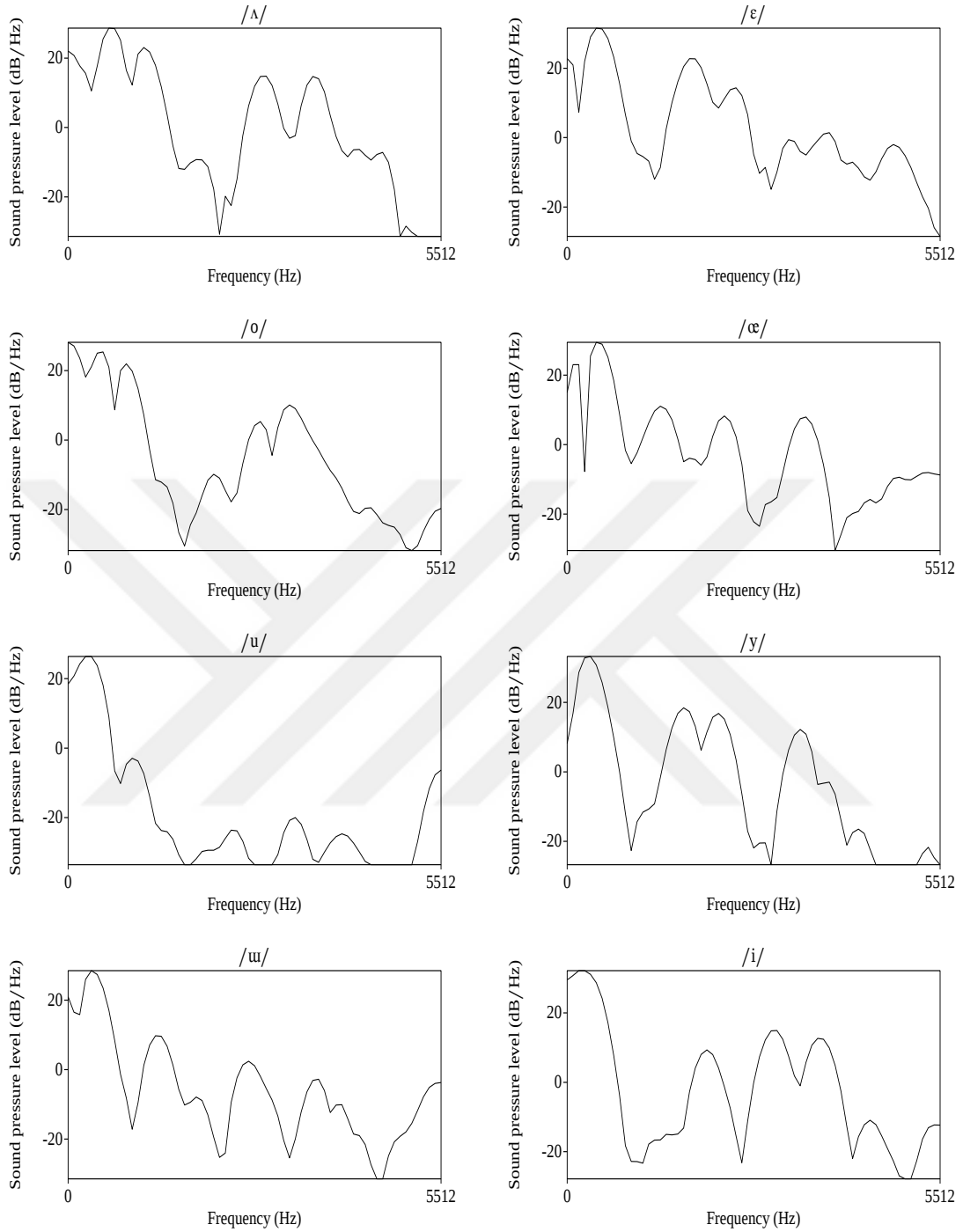
Akustik analiz işlemleri Praat 6.1.41 versiyonu ile yapılmıştır (Boersma ve Weenink, 2021). Alınan ses kaydının örneklem büyüklüğü, incelenecek ünlülerle ilgili akustik bilgilerin 5000 Hz altında olmasından dolayı analiz kolaylığı sağlamak ve analiz hatalarını engellemek amacıyla düşürülmüştür. Ses kaydı 44.100 Hz örneklem büyüklüğünden 11.025 Hz örneklem büyüklüğüne indirgenmiştir. Ses kaydının okunan metin haricindeki konuşma dışı seslerin yer aldığı kısımlar kesilerek çıkarılmıştır. Ses kaydındaki tüm konuşmalardan ölçülen ortalama konuşma temel frekansı 133 Hz (132,8

Hz) olarak bulunmuştur. Buna göre, 133 Hz ses sentezlenmesinde kullanılacak temel frekans değeri olarak belirlenmiştir.

Ses kaydındaki ünlü seslerin spektrogram görüntüleri (5 ms window uzunluğu ve 70 dB dinamik ranjında) tek tek incelenerek ünlü ses formantların birbirinden ayrılmış olup olmadığına bakılmıştır. Ünlü sesin olduğu kısımlar izole edilerek dinlenmiş ve her bir ünlü ses için ölçüm alınacak kısımlar belirlenmiştir. Ünlü sesleri temsil ettiği düşünülen bölgede formantların birbirinden ayrıldığı/ayrı görüldüğü yere 5 ms uzunluğunda Gaussian window yerleştirilerek geniş bant (wideband) spektrum elde edilmiştir. Spektrumda, spektrogramda görüldüğü gibi net formant tepeleri elde edilemediği durumlarda window sağa veya sola bir miktar (yaklaşık 1-2 milisaniye) kaydırılarak yeni spektrumlar denenmiştir. Genelde aynı pulse içerisinde voicebar'ın etkisinin görülmediği bölge üzerine window yerleştirilmiştir. Formant tepe noktası ölçümlerinde gerekli düzeltmeler manuel olarak yapılmıştır. Geniş bant spektrum alınması Şekil 3.1'de gösterilmektedir. Tüm ünlü seslerin alınan geniş bant spektrum görüntüleri de Şekil 3.2'de görülmektedir.



Şekil 3.1. /æ/ ünlüsünden geniş bant spektrum alınması: a) /æ/ ünlüsünün ses dalgası görünümü b) /æ/ ünlüsünün 5 ms Gaussian window geniş bant spektrogram görüntüsü c) /æ/ ünlüsünün a) ve b)'de noktalı dikey çizgi ile belirlenen kısımdan 5 ms uzunluğundaki Gaussian window ile alınan geniş bant spektrumu



Şekil 3.2. Seçilen doğal ünlü seslerden 5 ms Gaussian window ile alınan geniş bant spektrum görüntüleri

Her bir doğal ünlü sese dair geniş bant spektrumdan 1., 2., 3. ve 4. formantların (F1, F2, F3, F4) tepe noktalarının frekans değerleri ve her bir formantın genlik (amplitüd) değerleri ölçülmüştür. Tüm formant genlik değerlerinden F1 değeri çıkarılarak formant genlik değerleri karşılaştırmalı analizde kolaylık sağlanması amacıyla normalize edilmiştir. Böylece F1 değeri 0 dB iken diğer formant değerleri

göreceli olarak yer almaktadır. Ünlü seslere dair elde edilen veriler Tablo 3.1’de gösterilmektedir.

Tablo 3.1. Doğal ünlülerden elde edilen geniş bant spektrumlarından ölçülen akustik değerler; ilk 4 formant değerleri F1, F2, F3, F4; ilk 4 formantın genlik (amplitüd) değerleri A1, A2, A3, A4

	F1	F2	F3	F4	A1	A2	A3	A4
	(Hz)	(Hz)	(Hz)	(Hz)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
/Λ/	643	1130	2900	3650	0	-5,6	-13,5	-13,8
/o/	479	859	2828	3279	0	-3,8	-20,4	-15,7
/u/	302	963	2449	3341	0	-29,3	-49,8	-46,4
/uu/	367	1343	2674	3686	0	-18,5	-26,1	-31
/ε/	483	1857	2472	3850	0	-8,6	-17,1	-30
/œ/	494	1385	2324	3510	0	-18,4	-21,2	-21,5
/y/	346	1735	2244	3453	0	-14,7	-16,3	-21
/i/	277	2069	3071	3739	0	-22,9	-17	-19,4

Seçilen doğal ünlü seslerden akustik analiz yoluyla ölçülen formant frekans değerleri ses sentezinde doğrudan parametre değeri, genlik değerleri ise sadece referans değerler olarak kullanılmıştır.

3.1.2. Ünlülerin sentezlenmesi

Süre, temel frekans ve spektral tilt parametrelerinin hangi değerlerde olacağının belirlenmesinde yapılan pilot çalışmalar, bu çalışmalarda farklı değerlerin kullanılması ve elde edilen sonuçlar yol gösterici olmuştur. Süre parametresi bu deneyde iki değer olarak belirlenmiştir; 200 milisaniye uzunluğundaki uzun sentetik ünlüler ile 60 milisaniye uzunluğundaki kısa sentetik ünlüler. 133 Hz olarak ölçülen temel frekans başlangıç değeri olarak belirlenmiştir. Ortalama konuşma temel frekansının 15 Hz altı ve 15 Hz üstü değerleriyle birlikte temel frekans parametresi için 118 Hz, 133 Hz ve 148 Hz olmak üzere üç farklı değer elde edilmiştir. Spektral tiltin artırıldığı, azaltıldığı ve değiştirilmediği üç farklı durum için spektral tilt değişim parametresi de +6 dB/octave, 0 dB/octave ve -6 dB/octave olmak üzere üç farklı değer almıştır. +6 dB/octave değerinde spektral tilt azaltılmış (pre-emphasis); 0 dB/octave değerinde spektral tilt değiştirilmemiş ve -6 dB/octave değerinde spektral tilt artırılmıştır (de-emphasis). Parametreler ve aldıkları değerler Tablo 3.2’de gösterilmektedir:

Tablo 3.2. *Süre, temel frekans, spektral tilt değişim parametrelerinin aldığı değerler ve dağılımı*

Parametreler	Değerler					
Süre (ms)	200			60		
Temel Frekans (Hz)	118	133	148	118	133	148
	+6	+6	+6	+6	+6	+6
Spektral Tilt (dB/octave)	0	0	0	0	0	0
	-6	-6	-6	-6	-6	-6

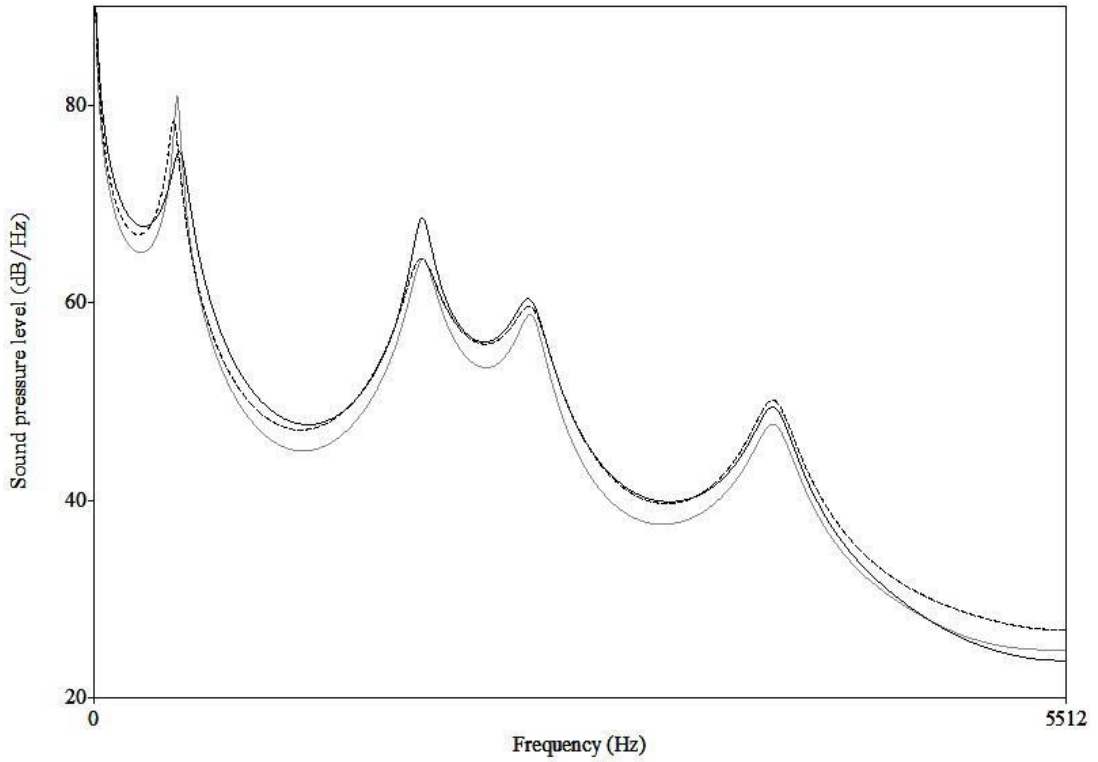
Sentetik ünlülerin oluşturulmasında, Praat içerisinde yer alan KlattGrid (Weenink, 2009) programı kullanılmıştır. KlattGrid ses sentezleme programı, Klatt ve Klatt (1990) çalışmasında gösterilen ses sentezleyicilerini uyarlamaktadır. İlk olarak 200 milisaniye uzunluğundaki uzun sentetik ünlülerin üretilmesine karar verilmiştir. KlattGrid, kaynak-filtre (source-filter) modeline dayandığı için önce kaynak (source) oluşturulmuştur. Kaynak oluşturmada temel frekans parametresi (pitch) önce 133 Hz, fonasyon şiddeti (voicing amplitude) 80 dB olarak ayarlanmış ve doğal sese yaklaşması amacıyla temel frekansa pertürbasyonlar eklenmiştir. Glottal açık faz (open phase); Zhang ve Kirby (2020) önerdiği gibi modal ses/fonasyon amacıyla 0,6 olarak ayarlanmıştır çünkü akustik analiz yapılan konuşucunun konuşmadaki fonasyonu modal fonasyondur. Sentetik ünlüler için oluşturulan kaynağın içerisinde yer alan parametreler ile bu parametrelerin aldığı değerlerin tümü Tablo 3.3'te gösterilmiştir.

Tablo 3.3. *KlattGrid programında kaynak oluşturmada kullanılan parametreler ve bu parametrelerin aldığı değerler*

Parametreler	Değerler
Pitch tier	133, 118, 148 Hz
Voicing amplitude tier	80 dB
Flutter tier	0,1 (0-1,0 aralığında)
Power1 tier	3
Power2 tier	4
Open phase tier	0,6 (0-1,0 aralığında)
Collision phase tier	0,03
Double pulsing tier	0
Spektral tilt tier	0 dB
Aspiration amplitude tier	0 dB
Breathiness amplitude tier	0 dB

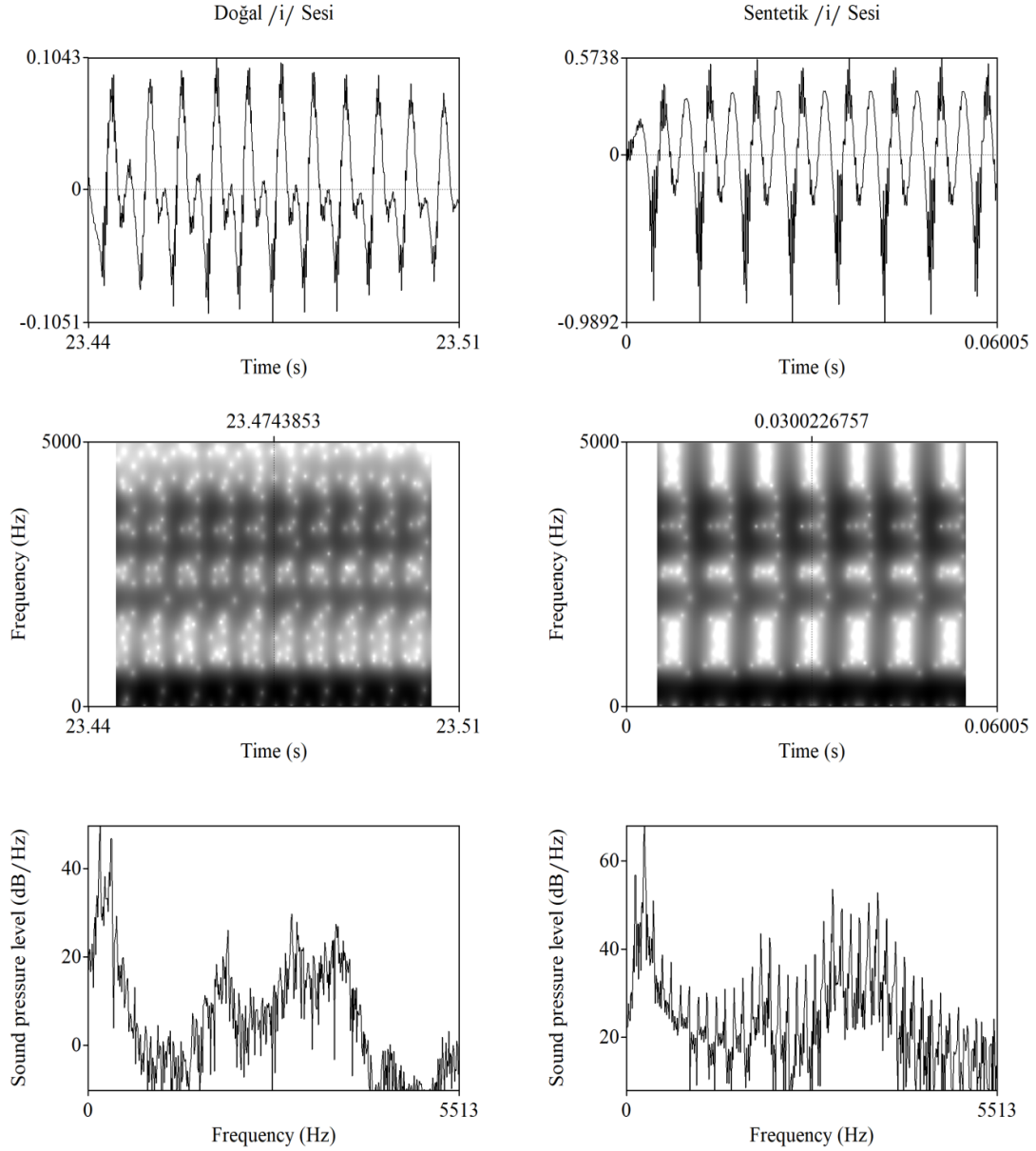
Kaynak oluşturulduktan sonra filtre (filter) oluşturulmuştur. Filtrede 4 oral formantın yer almasına karar verilmiştir. Bu kararın alınmasında ilk 4 oral formantın 4000 Hz frekansına kadar olan bölgede yer alması ve 3500 Hz frekans değerinin üzerindeki akustik bilginin ünlü seslerin tanınmasında etkisinin çok az olması (Donai ve Paschall, 2015) rol oynamıştır. Akustik analiz kısmında doğal ünlülerden ölçülen formant frekans değerleri, filtrede her ünlü için oral formant değeri olarak kullanılmıştır. Formant bant genişlikleri (bandwidths) için KlattGrid programındaki varsayılan değerler kullanılmıştır; birinci formant bant genişliği 60 Hz, ikinci formant bant genişliği 110 Hz, üçüncü formant bant genişliği 160 Hz ve dördüncü formant bant genişliği 210 Hz olmak üzere sentezlenen tüm ünlüler için ortaktır.

Her ünlü için belirlenen formant frekans değerleri kullanılarak önce 200 milisaniye uzunluğunda uzun ünlüler sırasıyla 133 Hz, 118 Hz ve 148 Hz temel frekans değerleri ile sentezlenmiştir. 60 ms, 0 dB/octave parametrelerinde ve 3 farklı temel frekanstaki sentetik /ε/ sesinin spektrum görüntüleri Şekil 3.3'te görülmektedir.



Şekil 3.3. 60 ms ve 0 dB/oct parametrelerinde sentezlenmiş /ε/ sesinin LPC (linear predictive coding) spektrum görüntüsü; açık çizgi 118 Hz, koyu çizgi 133 Hz, noktalı çizgi 148 Hz temel frekans değerlerindedir (LPC autocorrelation: prediction order 16; window 25 ms)

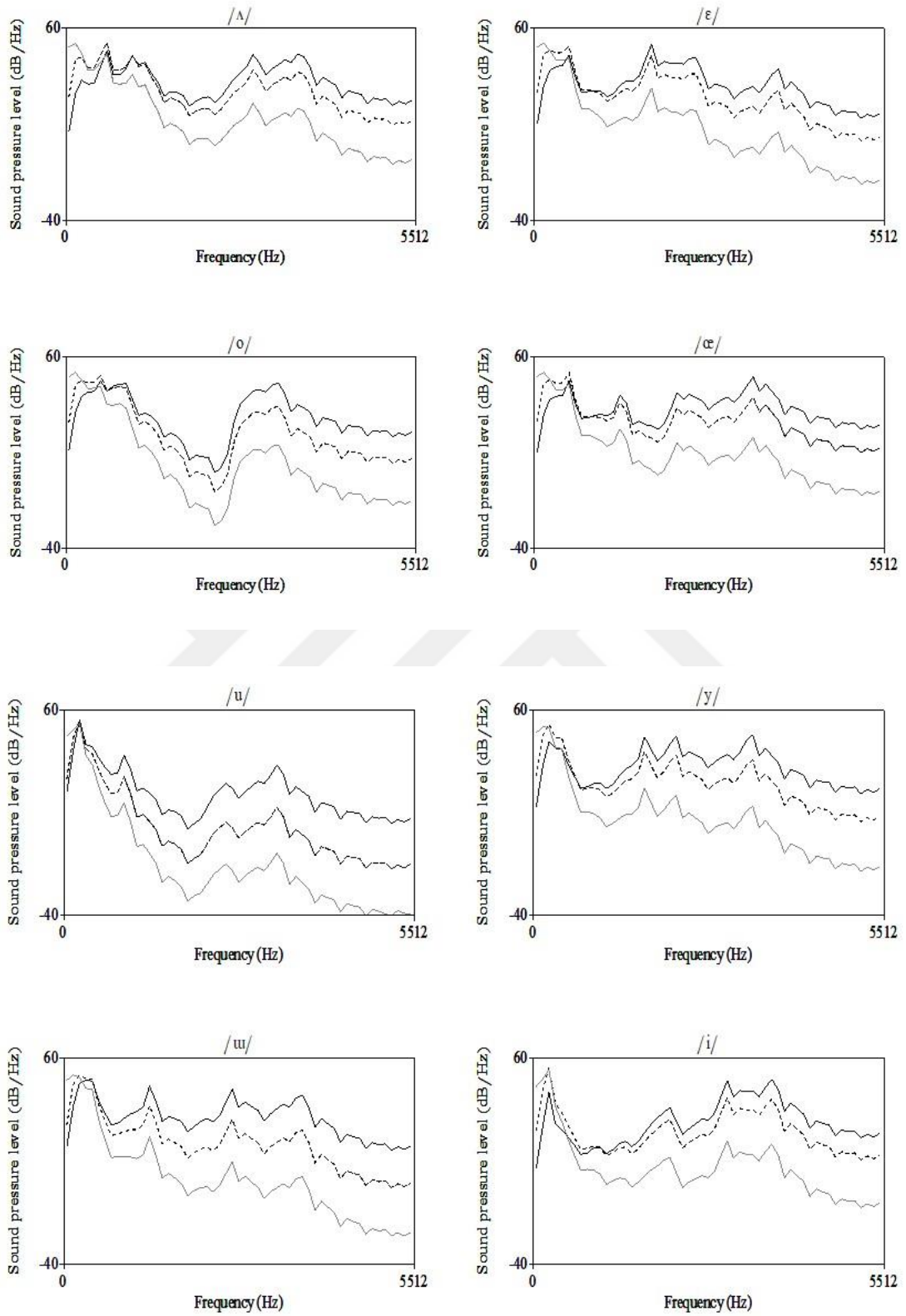
KlattGrid programında 11025 Hz örneklem büyüklüğünde paralel sentezleme yapılarak her bir formantın genlik (amplitude) değerleri, doğal ünlülerin ölçülen formant genlik değerlerine yaklaştırılmıştır. Formant genlik değerleri doğal ünlülerin geniş bant spektrumu temel alınarak değiştirilmiştir/oluşturulmuştur. Doğal ünlülerden alınan formant frekans değerleri doğrudan parametre değeri olarak kullanılmış, formant genlik değerleri ise sadece referans değeri niteliği taşımıştır. 200 ms, 133 Hz ve 0 dB/octave parametre değerlerinde sentezlenen ünlülerde, her bir ünlünün formant genlik değerleri düzenlenmesi dışında başka bir düzenleme yapılmamıştır. Doğal ses ile doğal sesteki akustik analiz yoluyla ölçülen değerlerle sentezlenmiş ünlülerin karşılaştırmalı örnek görüntüsü Şekil 3.4'te gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Doğal ve sentetik /i/ ünlüsünün karşılaştırmalı görüntüleri: üst sıra /i/ ünlüsünün doğal ve sentetik ses dalgası görünüşleri, ortada spektrogram görüntüleri, altta FFT (Fast fourier transformation) görüntüleri (60 ms uzunluğunda rectangular window)

200 milisaniye uzunluğunda ve 118, 133, 148 Hz temel frekansta sentezlenen ünlüler kaydedilmiş, daha sonra bu ünlülerin spektral tilt değerleri modifiye edilerek spektral tilti değiştirilmiş yeni ünlüler üretilmiştir. Spektral tiltin değiştirilmesinde pre-emphasis ve de-emphasis filtreleri kullanılmıştır. Pre-emphasis ve de-emphasis fonksiyonlarıyla yüksek frekans bölgesinin ses şiddeti; frekans değeri iki katına çıktıkça (doubling) 6 dB’lik düşüş veya artış olacak ölçüde (± 6 dB per octave) değiştirilmiştir. Normal sese pre-emphasis uygulandığında yüksek frekans bölgesinin ses şiddeti

(intensity) göreceli yükselirken de-emphasis uygulandığında tam tersi gerçekleşir; yüksek frekans bölgesinin şiddeti normal sese göre azalır. Pre-emphasis filtre uygulanan seslerin spektral tilti (normal sese göre artmış) pozitif; de-emphasis filtre uygulanan seslerin spektral tilti (normal sese göre azalmış) negatif olarak değerlendirilir. Spektral tilti değiştirmede kullanılan bu işlem Beach, Noble ve Kitamura (2015) çalışmasında spektral tilti değiştirmede kullandıkları yöntemin tek farkla aynıdır; Beach vd. filtreyi seslerin 1000 Hz yukarısındaki frekans bölgesine (cut-off frequency) uygularken bu çalışmada filtre 0 Hz'ten itibaren uygulanmıştır. Spektral tilti değiştirilmiş ünlülerin 100 Hz bant genişliklerinde oluşturulmuş LTAS (Long term average spectrum) görüntüleri Şekil 3.5'te gösterilmiştir. 60 ms süre uzunluğunda sentezlenmiş tüm ünlülerin spektrum görüntüleri EK-3'de yer almaktadır.



Şekil 3.5. Spektral tilti değiştirilmiş 60 ms ve 133 Hz’teki sentetik ünlülerin FFT (fast fourier transformation) dönüşümlerinin 100 Hz bant genişliğindeki LTAS (long term average spectrum) görüntüleri; koyu çizgi (+6dB/octave); noktalı çizgi (0dB/octave); açık düz çizgi (-6dB/octave)

Her bir ünlü sestem 200 milisaniye uzunluğunda; 118, 133, 148 Hz temel frekanslarında; +6 dB/octave, 0 dB/octave, -6 dB/octave spektral tilt değışim değerlerinde sentetik ünlüler oluşturulmuştur. 8 ünlünün 3 farklı temel frekans ve 3 farklı spektral tilt değışim değerinde toplam 72 adet 200 ms uzunluğunda sentetik ünlü uyararı elde edilmiştir. 72 sentetik ünlünün ilk 60 milisaniye uzunluğundaki kısmı kesilerek 60 milisaniye uzunluğundaki kısa sentetik ünlüler oluşturulmuştur. Böylelikle toplamda 144 uyararı/ses (token) elde edilmiştir. Sentezlenen sesler parametre değerlerine göre kodlanarak kaydedilmiştir.

Tüm uyararıların ilk ve son 10 milisaniyelik kısımlarına fade-in ve fade-out uygulanmıştır; sesin şiddeti ilk 10 milisaniyede aşamalı artmakta ve son 10 milisaniyede aşamalı azalmaktadır. Böylece patlama (popping sound) oluşumu ve patlamanın algılamayı etkilemesi engellenmektedir. Son olarak, tüm uyararıların intensiteleri (ses şiddeti) 80 dB'de eşitlenerek kaydedilmiş ancak kayıt sırasında clipping uyarısı alındığından dolayı ses intensiteleri önce 79 dB olarak yeniden ayarlanmış, tekrar clipping uyarısı alınca intensiteler 78 dB olarak düzenlenmiş ve kaydedilmiştir. Bu işlemler haricinde seslere başka bir işlem uygulanmamıştır.

144 sentezlenmiş ünlülere sekiz ünlünün doğal üretimi eklenerek toplam 152 uyararı elde edilmiştir. Doğal ünlüler, konuşucunun ürettiği her bir ünlünün 60 ms uzunluğundaki bölgelerini içermektedir. Doğal ünlüler için 60 ms süre uzunluğunun seçilmesinde bu sürenin algılama için yeterli olması ve Türkçedeki doğal ünlüler için geçmiş çalışmalarda ölçülen süre değerleriyle örtüşmesi belirleyici olmuştur. Elde edilen 60 ms uzunluğundaki doğal ünlülerin ilk 10 ve son 10 ms uzunluğundaki bölgelerine fade-in ve fade-out işlemleri uygulanmış ve intensiteleri 78 dB olarak eşitlenmiştir. Sentetik seslerin üretilmesinde kullanılan bu 8 doğal ses de, deney sonunda katılımcılara dinletilerek doğal ünlülere dair veri elde edilmiştir.

3.2. Algı Deneyi

Algı deneyleri uygulama biçimi bakımından 2 türdür; tanıma (identification) ve ayırt etme (discrimination). Bu çalışmadaki algı deneyi, uygulama biçimi bakımından tanıma deneyidir. Tanıma deneyinde dinleyiciler kendilerine sunulan sesleri/uyarıları dinleyerek hangi ses olduklarına karar verirler.

3.2.1. Katılımcılar

Algı deneyinin katılımcıları 18 yaşından büyük, herhangi bir dil ve konuşma problemi olmayan, herhangi bir işitme sorunu yaşamayan ve anadili Türkçe olan bireylerden oluşmaktadır. Bu çalışmada katılımcılar Dil ve Konuşma Terapisi Bölümü öğrencilerinden seçilmiştir çünkü geçmiş öncü çalışmalar fonetik eğitimi almış bireylerin duydukları sesin ortografik formunu bulmada daha az sorun yaşadıklarını göstermiştir (Assmann, Nearey ve Hogan, 1999).

11 Ekim 2021 – 7 Aralık 2021 tarihleri arasında Anadolu Üniversitesi ve Kütahya Sağlık Bilimleri Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültelerinden 114 dil ve konuşma Terapisi öğrencisi deneye katılmıştır. 10 katılımcının verileri anadili, dil ve konuşma sorunu olmaması, işitme sorunu olmaması koşullarını sağlamadığından, 2 katılımcının verileri deney sonuç dosyalarının kaydedilememesinden dolayı çalışma dışı bırakılmıştır. Verileri analize alınan 102 katılımcının yaş ortalaması 21 yıl 0 aydır. Katılımcıların 97'si lisans; 5'i lisansüstü öğrencisidir. Katılımcıların yedisi iki dilli; biri çok dillidir.

3.2.2. Uyarılar

Bu çalışmadaki dinleme deneyinde, 144 farklı sentetik ve 8 doğal ses olmak üzere toplam 152 uyarı kullanılmıştır. Deneyde öncelikle alıştırmaya kısmı uygulanmıştır. Deneyde kullanılan 144 farklı sentetik ses uyarısının 36'sı alıştırmaya kısmında da kullanılmıştır. Her parametre değişkeninden eşit sayıda ikişer uyarı seçilerek alıştırmaya kısmında duyulan seslerin, asıl deney kısmında tekrar duyulmasının bir avantaj oluşturması engellenmiştir. Dinleme deneyinin alıştırmaya kısmı için seçilen 36 ses uyarısının parametrelere göre eşit dağılımı Tablo 3.4'te gösterilmektedir. Alıştırmaya kısmı için sentetik /ʌ/, /ɛ/, /o/, /y/ seslerinden dörder uyarı, /i/, /u/, /œ/, /u/ seslerinden ise beşer uyarı seçilmiştir.

Tablo 3.4. Dinleme deneyi alıştırma kısmında yer alan uyaranlarının dağılımı

Süre	Temel Frekans	Spektral Tilt	
60 ms	118 Hz	+6 dB/octave	2
		0 dB/octave	2
		-6 dB/octave	2
	133 Hz	+6 dB/octave	2
		0 dB/octave	2
		-6 dB/octave	2
	148 Hz	+6 dB/octave	2
		0 dB/octave	2
		-6 dB/octave	2
200 ms	118 Hz	+6 dB/octave	2
		0 dB/octave	2
		-6 dB/octave	2
	133 Hz	+6 dB/octave	2
		0 dB/octave	2
		-6 dB/octave	2
	148 Hz	+6 dB/octave	2
		0 dB/octave	2
		-6 dB/octave	2
			36

Bu deneyde 36 uyaranın alıştırma kısmında sunulmasının nedenleri şunlardır:

- Dinleyicilerin deney uyaranlarına ve deneyin uygulanışına aşina olmalarını sağlamak,
- İlk duyulan uyaranları tanımadaki zorluktan kaynaklı hataları ortadan kaldırmak,
- Dinleyicilere deneyin ses seviyesini kendileri için en uygun olacak biçimde ayarlayabilecekleri bir ortam sunmak.

Deneyin alıştırma kısmı öncesinde dinleyicilere, uyaranların ses düzeyini artırarak veya azaltarak kendileri için en rahat olabilecek ses seviyesine ayarlayabilecekleri bilgisi verilmiştir. Ancak alıştırma kısmından sonraki deney kısmında ses seviyesini değiştirmemeleri istenmiştir.

Yapılan pilot çalışmalarda, dinleyicilerin deney uyaranlarına aşina olmamalarından dolayı ilk duyulan uyaranlarda rastgele seçim yaptıkları gözlenmiştir. Gözlenen bu hataları ortadan kaldırmak amacıyla alıştırma kısmı eklenmiştir. Alıştırma

kısmı için 36 uyarın seçilmesinin (daha az veya yüksek sayıda uyarın seçilmemesinin) nedeni yapılan pilot çalışmalarda bu sayının yeterli olduğunun gözlenmesidir. Bu çalışmanın alıştırma kısmında bazı katılımcıların duydukları uyarıların tanıyamadıklarını belirtmişlerdir ancak bahsedilen aynı katılımcılar, alıştırma kısmını tamamladıktan sonra asıl deney kısmında diğer katılımcılar gibi bir sorun yaşamamışlardır.

Alıştırma kısmındaki 36 sentetik ses uyarısını seçkisiz (random) olarak dağılmış bir sıralamayla dinleyicilere deneyin başında sunulmuş, ardından ana deney kısmına geçilmiştir. Ana deney kısmında 144 sentetik ses uyarısını rastgele olarak dağılmış bir sıralamayla 2 kez 2 ayrı blok halinde dinleyicilere sunulmuş; böylece 288 sentetik sesin dinlenmesiyle ana deney kısmı tamamlanmıştır. Ana deney kısmını ardından 8 doğal ses uyarısını rastgele olarak dağılmış bir sıralamayla 2 kez 2 ayrı blok halinde dinleyicilere sunulmuş ve 16 doğal ses uyarısını da dinledikten sonra deney sonlanmıştır. Dinleme deneyi sırasındaki uyarıların sayıları, sıralamaları ve toplamı Tablo 3.5'te gösterilmektedir.

Tablo 3.5. Deneydeki uyarıların sayıları, sıralamaları ve toplam uyarın sayısı

Deneyin aşamaları	Uyarıların sayıları	Tekrar sayısı	Uyarın sayısı
Alıştırma	36	1	36
Deney-sentetik sesler	144	2	288
Deney-doğal sesler	8	2	16
			36+288+16=340

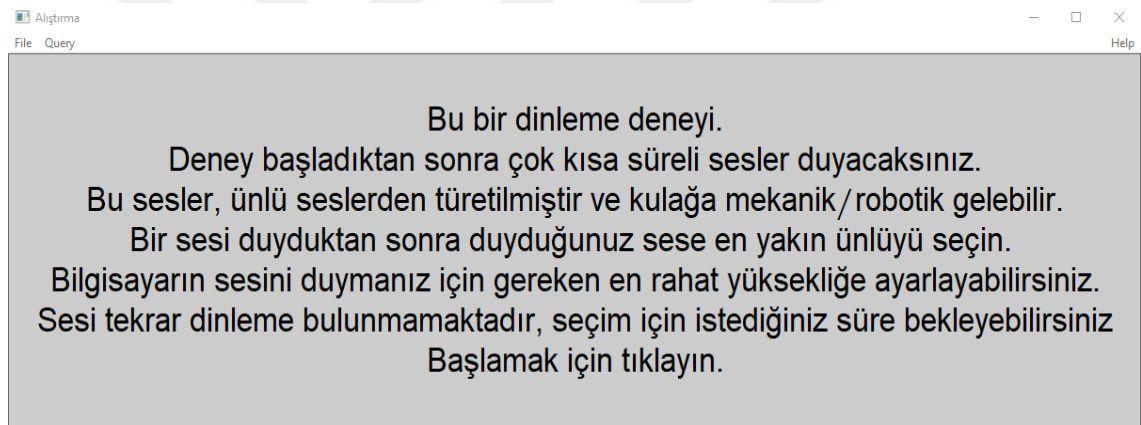
Konuşmanın algılanmasındaki işitsel modaliteye dair bilgi amaçlanmadığından dolayı bu tanıma deneyinde katılımcılara, uyarını dinledikten sonra yanıt vermeleri için bir süre kısıtlaması yapılmamıştır (Pisoni, 1973). Bu bağlamda dinleyiciler her bir uyarını sadece bir kez dinlemişlerdir.

3.2.3. Uygulama

Deneyin uygulanmasından önce algı deneylerinde kullanılan algı deneyi araçları taranarak karşılaştırılmıştır. Karşılaşılan programlardan yazılımının tanınmış olması, konuşma sesi algı deneyine uygun ek yazılımlara sahip olması nedeniyle Praat programının kullanılmasına karar verilmiştir. Algı deneyinin yazılım ve programlar

üzerinden yapılmak istenmesinin nedenlerinden bir diğeri de COVID-19 pandemisi nedeniyle katılımcılara yüz yüze ulaşmanın mümkün olmaması durumunda internet üzerinden dinleyicilere ulaşabilmenin ve sonuçların da yine internet üzerinden toplanabilmesinin amaçlanmasıdır. Bu deneyde katılımcılara yüz yüze ulaşılmış ve veriler bu şekilde toplanmıştır.

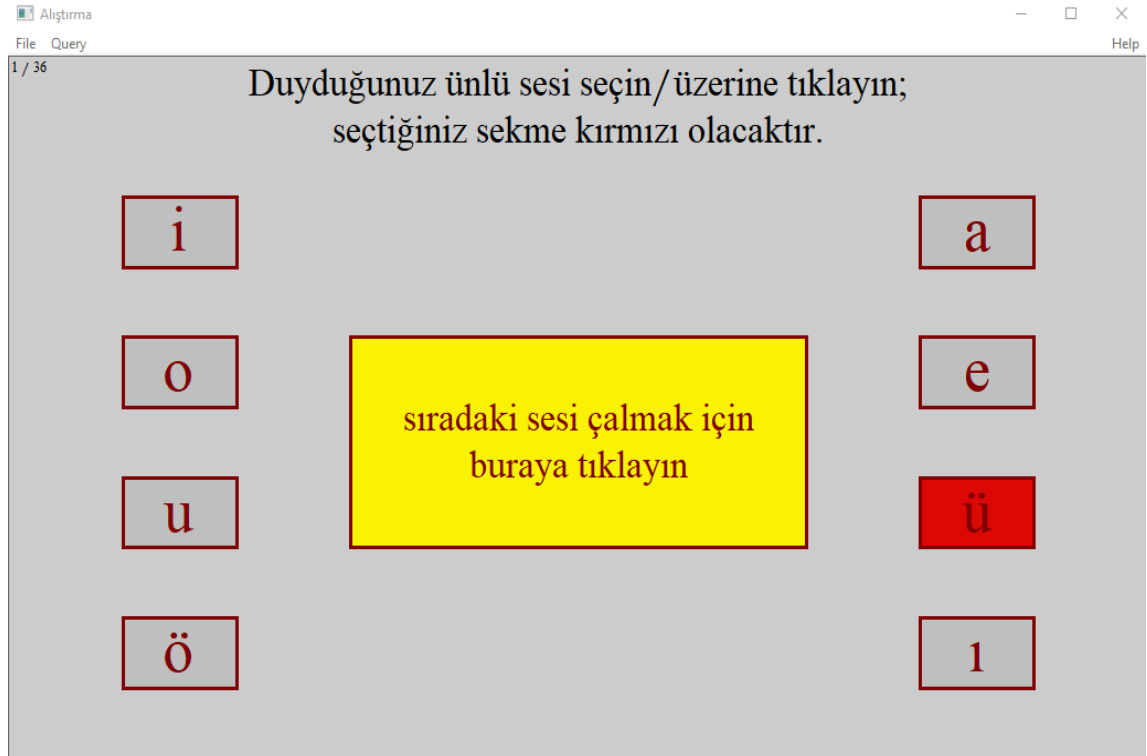
Algı deneyi uygulaması Praat'ta MFC (Multiple Forced Choice) yazılımı (script) ile yapılmıştır. Deneyin uygulaması kodlanarak MFC yazılımı elde edilmiştir. Bu yazılımı içeren dosya Praat uygulamasında açıldığında deney başlamaktadır. Deney başladığında ilk olarak ekranda beliren yazılarda, deney hakkında kısa bilgiler ve deneyin uygulaması hakkında kısa yönergeler bulunmaktadır. Deneyin ilk açıldığı andaki ekran görüntüsü aşağıda Şekil 3.6'da yer almaktadır.



Şekil 3.6. Deneyin ilk açıldığı/başladığı andaki ekran görüntüsü

Deneyin uygulanması sırasında, ses uyaranları 0,5 milisaniye sonra (gecikme ile) gelmektedir. Ses uyaranının duyulması sırasında uygulamanın ekranında gri arka plandan başka bir şey görünmemektedir. Ses uyaranı duyulduktan sonra; ekranın sağ ve sol kısmında yukarıdan aşağı doğru sıralanmış ünlülerin ortografik formları ve ekranın orta kısmında sonraki ses uyaranına geçilmesi için basılması gereken sekme görünür hale gelmektedir (Şekil 3.7). Dinleyici uyaranı dinledikten sonra sıradaki uyaranı dinleyebilmek için ünlü ortografik formlarından birini seçmek zorundadır. Ünlü ortografik formların yer aldığı sekmelerin arka planı sarı iken seçilen ünlü ortografik formunun arka planı kırmızıya dönüşmektedir. Dinleyici seçim yaptıktan sonra sıradaki uyaranı dinleyebilmek için ortadaki sekmeyi tıklamalıdır. Deneyin uygulanması sırasında ekranın üst kısmında sabit olarak “Duyduğunuz ünlü sesi seçin/üzerine

tıklayın; seçtiğiniz sekme kırmızı olacaktır.” yazısı yer almaktadır. Deneyin uygulanması sırasında bir ekran görüntüsü Şekil 3.7’de gösterilmektedir. Alıştırma kısmından sonra ana deney kısmına geçildiğinde; deney kısmına geçildiğine ve bilgisayarın sesinin değiştirilmemesine dair bir yazı da ekranda çıkmaktadır.



Şekil 3.7. Deneyin uygulanması sırasında alınan bir ekran görüntüsü

Deney sırasında her 72 uyarandan sonra ekranda “İsterseniz ara verebilirsiniz. Devam etmek için tıklayın.” yazısı çıkmaktadır. Böylece dinleyiciler her 72 uyarandan sonra mola verip dinlenebilmektedirler. Deney bittiğinde de ekranda deneyin bittiğine dair bir belirteç, teşekkür notu ve deney sonuçlarının nasıl alınacağına dair bilgilendirme yazısı çıkmaktadır.

Deney iki farklı şehirdeki (Eskişehir ve Kütahya) iki farklı üniversitenin (Anadolu ve Kütahya Sağlık Bilimleri Üniversiteleri) üç farklı odasında gerçekleştirilmiştir. Deney sırasında pandemi sağlık kuralları gereği deneyin yapıldığı odaların havalandırması yapılmış, odada sadece katılımcı ve deney yürütücüsü bulunmuş, maske ve fiziksel mesafe kuralları uygulanmıştır. Uyarılar HP Notebook: LAPTOP-OI0AH4IL, Intel i3-5005U işlemci 64 bit işletim sistemine sahip bilgisayarda, Shure SRH-440 profesyonel stüdyo referans kulaklığı ile dinletilmiştir. Bu kulaklığın seçilme

nedeni göreceli düz bir frekans yanıtının olmasıdır. Deneyin uygulanması sırasında odalarda herhangi bir gürültü oluşturacak durum olmamış; hiçbir katılımcı gürültü şikayetinde bulunmamıştır. Bir katılımcı için yaklaşık 25 dakika olan deney süreci aşağıdaki gibidir:

- Deney için gelen katılımcı bilgisayarın bulunduğu masanın karşısındaki sandalyeye oturur ve rahat bir pozisyon alır.
- Katılımcı, deney yürütücüsünün verdiği araştırma gönüllü katılım formunu ve katılımcı bilgi formunu okuyarak doldurur (EK-4, EK-5).
- Katılımcı kulaklığı takar.
- Deney yürütücüsü deneyin başlayacağını, öncelikle alıştırma kısmının sonra ana deney kısmının olduğunu açıklar ve alıştırma kısmında sesin yüksekliğini kendisi için en rahat seviyeye getirebileceğini ancak ana deney kısmında ses seviyesinin sabit olması gerektiği hatırlatmasını yapar.
- Deney yürütücüsü deneyi başlatır ve katılımcıdan ilk ekran görüntüsündeki yazıları okumasını ister.
- Katılımcı duyduğu sese en yakın gelen ünlüyü seçerek ilerler ve tüm sesleri dinleyip deneyi bitirir. Araştırma yürütücüsü, deney başladıktan sonra deney süresince deneyin gerçekleştiği odanın dışında ancak katılımcının ihtiyaç duyduğunda çağırabileceği bir mesafede bekler.

3.2.4. Analiz

Hatırlanacağı üzere tanıma algı deneyleri için Türkçedeki sekiz ünlünün süre, temel frekans, spektral tilt parametreleri değiştirilerek sentetik ünlüler oluşturulmuştur. Her ünlü için 2 farklı süre değerinde (60 ms ve 200 ms), 3 temel frekans değerinde (118 Hz, 133 Hz ve 148 Hz), 3 spektral tilt değişim değerinde (+6 dB/octave, 0 dB/octave ve -6 dB/octave) olmak üzere $2 \times 3 \times 3 = 18$, 8 ünlü için toplamda $8 \times 18 = 144$ sentetik ünlü uyararı elde edilmiştir. Her bir sentetik ses uyararı 102 kişiye 2 kez dinletilmiştir. 144 sentetik ses uyararının her biri için 204 yanıt alınmıştır. Katılımcıların yanıtları her ünlü için tanımladıkları ünlü olarak kaydedilmiştir. Örneğin, bir /Λ/ uyararı için alınan 204 yanıtın bazıları <a> olarak tanımlanırken bazıları ise farklı ünlüler olarak tanımlamıştır. Aynı ünlü uyararının hangi ünlü olarak tanımlandığı bir tabloda işaretlenmiş ve yüzdeleri alınmıştır. Tüm ünlü sesler için alınan

29.376 yanıtın dağılımı kaydedildikten sonra yüzde oranlarına dönüştürölüp istatikscl analize alınmıştır.

Veriler üzerinde yapılan istatistik işlemlerin tümü Anadolu Üniversitesindeki laboratuvarlarda SPSS 15.0 – Windows Evaluation versiyonu ile yapılmıştır. İstatikscl analizlerde öncelikle verilerin normal dağılım gösterip göstermediğı incelenmiştır. Verilerin normal dağılım göstermediğı durumda non-parametrik testler kullanılmıştır. Karşılaştırılan gruplar arasındaki veriler sadece ilgili ve bir parametrenin etkisini görebilme amacıyla eşleştirilmiş ve ilişkili örneklem testleri kullanılmıştır. Verilerin eşlendiğı ikili grup karşılaştırmalarında, gruplar arasındaki farklar simetrik bir dağılım göstermediğinden dolayı Wilcoxon testi yerine Sign testi uygulanmıştır. Sign testinde eşleştirilen veriler arasındaki farkların negatif veya pozitif olma sayıları testin anlamlılığının hesaplanmasında kullanılmakta ve veriler arasındaki farkların büyüklüğü Wilcoxon testinde olduğı gibi analize katılmamaktadır. Verilerin eşlendiğı üçlü grup karşılaştırmalarında da normal dağılım görölmediğinden dolayı non-parametrik Friedman testi uygulanmıştır.

4. BULGULAR

Bu çalışmanın amacı Türkçedeki doğal ünlülerin algılanmasında formant değerleri haricindeki akustik parametrelerin etkisinin olup olmadığını ortaya koymaktır. Araştırmaya konu edilen parametreler süre, temel frekans ve spektral tilttir. Bu araştırmada sentetik seslerin kullanılmasının nedeni ilgili parametrelerin doğal seslerde kontrollü değiştirilerek etkilerinin gözlenmesinin mümkün olmamasıdır çünkü doğal konuşma seslerinde tüm akustik parametreler birbirleriyle etkileşim içindedir. Bu çalışmada, doğal ünlülerin algılanmasına ışık tutması amacıyla sentetik ünlüler bir araç olarak kullanılmıştır. Algı deneyinde uyaran olarak kullanılan sentetik ünlülerin oluşturulmasında doğal ünlülerden ölçülen formant frekans değerleri kullanılmış ve böylece araştırılan akustik parametreler kontrollü bir şekilde değiştirilip etkileri belirlenmiştir. Bu bölümde süre, temel frekans ve spektral tilt parametrelerinin izole sentetik ünlülerin algılanmalarındaki etkilerinin belirlenmesi için yapılan tanıma algı (identification perception) deneylerinin sonuçları yer almaktadır.

Algı deneyinde doğal ünlü seslere dair veriler elde edilmiş olsa da bulgular bölümünde doğal ünlü seslerin verilerine dair herhangi bir analiz bulunmamaktadır. Bunun nedeni doğal ünlü seslerin süresinin, temel frekans değerlerinin, formant kontürlerinin ve spektral tilt değerlerinin sesin süresi boyunca değişmesidir ve bu değişimler kontrol edilemediğinden doğal ünlülerin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri, parametrelere dair bilgi verememektedir. Doğal ünlü seslere dair veriler doğal ünlülerin sentetik ünlülerin oluşturulmasında referans olarak kullanılıp kullanılmayacağını belirlemek için önemlidir. EK-6'da görüldüğü üzere doğal ünlülerin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri en az %75,5'tir ve bu da ilgili ünlülerin sentetik ünlülerin oluşturulmasında referans olarak kullanılmasına uygun olduğunu göstermektedir.

Bulgular bölümü araştırma sorularının sıralı yanıtları olacak biçimde düzenlenmiştir. Bu nedenle her bir araştırma sorusu, bulgular bölümünün alt başlıklarını oluşturmaktadır.

4.1. Süre, Temel Frekans ve Spektral Tilt Değişim Parametrelerine Göre İzole Sentetik Ünlülerin Hedeflenen Ünlü Olarak Algılanma Yüzdelerinin Dağılımları Nedir?

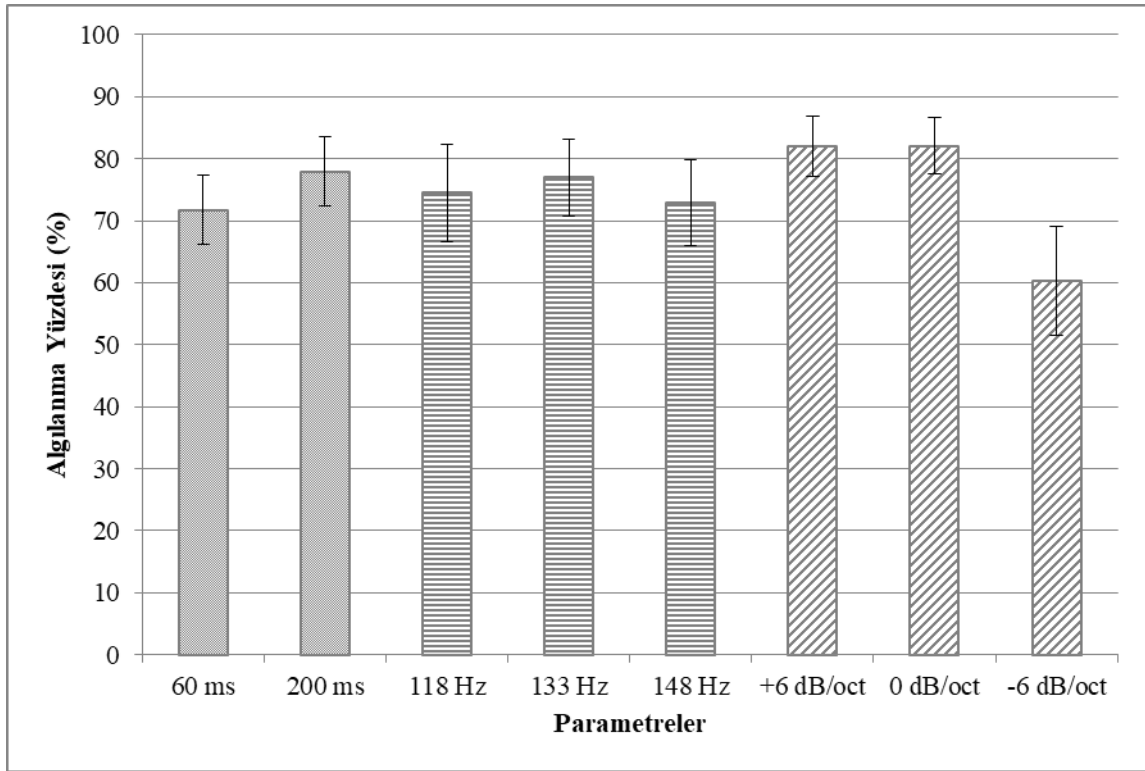
İzole sentetik ünlülerin süre, temel frekans ve spektral tilt değişim parametrelerine göre algılanma dağılımlarında, hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri esas alınmıştır. Tablo 4.1’de her parametre grubunda yer alan hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelерinin sayısı (N), ortalamaları (ort.), standart sapma değеrleri (SS), en küçük (min) ve en yüksek (max) hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelерinin sayısı ile hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelерinin 25., 50. ve 75. yüzdelik dilim değеrleri belirtilmiştir. 25. yüzdelik dilimde verilerin %25’i bu değеr altında; 50. yüzdelik dilimde verilerin %50’si bu değеr altında; 75. yüzdelik dilimde de verilerin %75’i bu değеr altında yer almaktadır.

Tablo 4.1. *Süre, temel frekans ve spektral tilt parametrelerine göre izole sentetik ünlülerin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelерinin dağılımı*

	N	Ort.	SS	Min	Max	25. yüzd. dilim	50. yüzd. dilim	75. yüzd. dilim
60 ms	72	71,7	24,01	4,9	99,5	59,3	76	92,5
200 ms	72	77,9	24,1	4,9	99,5	65,2	88,7	96
118 Hz	48	74,5	27,2	9,3	99,5	62	85,8	97,3
133 Hz	48	77	21,2	21,1	99,5	59,4	85,3	95,1
148 Hz	48	72,9	24,2	4,9	99,5	62,1	79,4	91,2
+6 dB/oct	48	82	16,5	47,6	99,5	67	86	97,9
0 dB/oct	48	82,1	16,1	43,1	99,5	72,7	87,7	97,5
-6 dB/oct	48	60,3	30,5	4,9	98	30,5	63,5	90,2

Süre, temel frekans, spektral tilt parametresine göre oluşan tüm gruplardaki hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelерinin ortalamalarına bakıldığında, en yüksek ve en düşük değеrler spektral tilt parametresinin gruplarındadır (Tablo 4.1). -6 dB/octave grubunda % 60,3 değeriyle hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelерinin en düşük ortalaması yer alırken 0 dB/octave grubunda %82,1 değeriyle en yüksek ortalama yer almaktadır. En yüksek ve en düşük standart sapma değеrleri yine spektral tilt grubunda yer almaktadır; -6 dB/octave grubunda 30,5 iken en düşük standart sapma değеrleri 0 dB/octave grubunda 16,1’dir. Hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelерinin ortalamalarına bakıldığında, en yüksek değеrlerin (%82 ile % 82,1) +6 dB/octave ve 0

dB/octave gruplarında olduğu görülmektedir. En düşük (min) değerleri karşılaştırıldığında ise bu iki grubun (+6 dB/octave ve 0 dB/octave) en yüksek değerlere (%47,6 ile %43,1) sahip olduğu belirlenmiştir. Tüm gruplardaki hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerinin medyan (50. yüzdelik dilim) değerleri, ortalama değerlerinden daha yüksektir. Tüm gruplardaki 25., 50. ve 75. yüzdelik dilim değerlerine bakıldığında -6 dB/octave grubundaki değerler (%30,5 - %63,5 - %90,2), her zaman en düşük değerleri oluşturmaktadır.



Şekil 4.1. Süre, temel frekans ve spektral tilt parametrelerine göre ünlülerin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerinin %95'lik güven aralığı ile birlikte ortalamaları (noktalı sütunlar süre, yatay çizgili sütunlar temel frekans, diagonal çizgili sütunlar spektral tilt gruplarını göstermektedir)

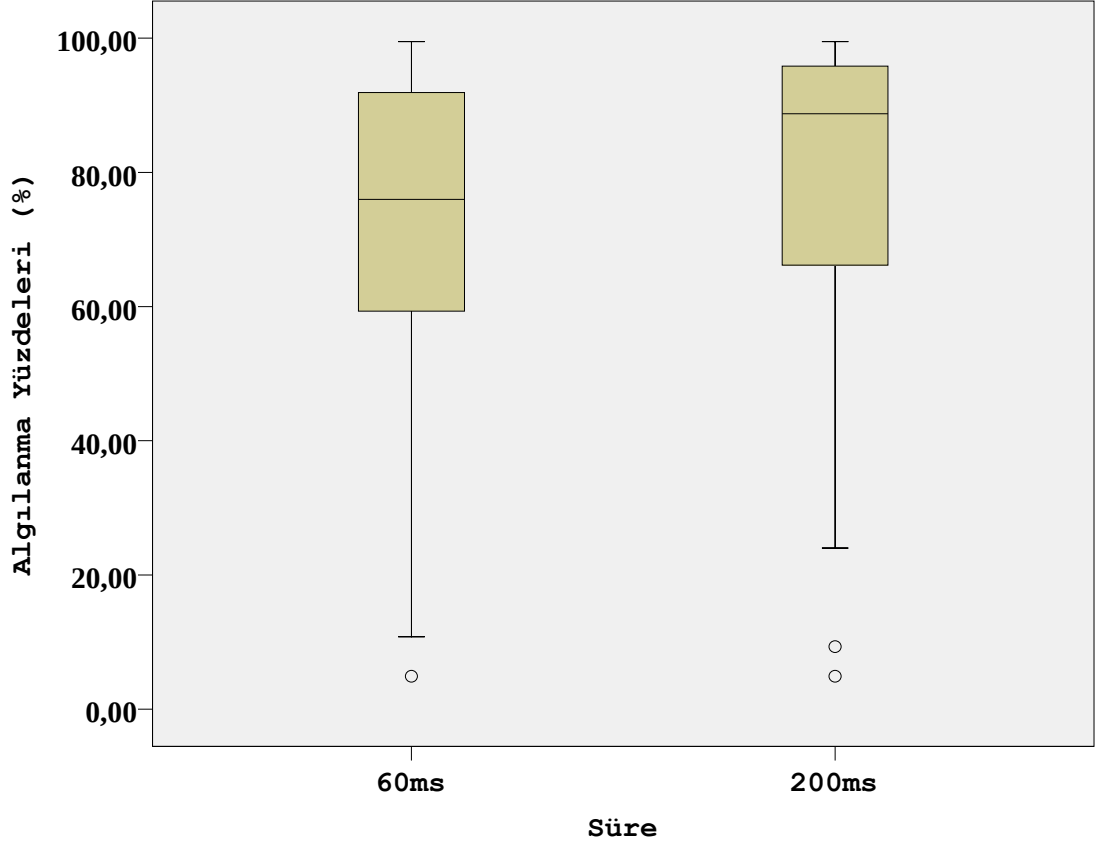
Şekil 4.1'de süre, temel frekans ve spektral tilt parametrelerine göre ünlülerin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerinin %95'lik güven aralığı ile birlikte ortalamaları yer almaktadır. Hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerinin ortalamaları -6 dB/octave grubunda en düşük değerdeyken +6 ve 0 dB/octave gruplarında en yüksek değerlerdedir ve süreyle temel frekans gruplarının ortalamaları bu değerler arasında yer almaktadır. -6 dB/octave grubundaki hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerinin

%95’lik güven aralığı (standart sapması) diğer gruplardakinden daha geniş bir aralıktadır.

Bu bulgular, tüm sentetik ünlülerin algılanmasında spektral tiltteki değişimlerin diğer parametrelere göre daha etkili olduğuna işaret etmektedir. Bu bağlamda süre, temel frekans ve spektral tilt parametrelerinin hedeflenen ünlü algılanma yüzdelerine etkileri tek tek analiz edildikten sonra parametreler arasında bir etkileşim olup olmadığı incelenmiştir.

4.2. Süre Parametresi Değişiminin Ünlülerin Algılanmasına Etkisi Var mıdır?

Bu araştırmada incelenen üç parametreden biri olan süre parametresinin, ünlülerin algılanmalarına dair dağılımları etkileyip etkilemediği incelenmiştir. Kısa (60 ms) ve uzun (200 ms) sentetik ünlülerin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerinin dağılımı Shapiro-Wilk ile test edilmiş ve hem kısa ünlülerin $W(72) = 0,910$; $p = 0,000$ hem de uzun ünlülerin $W(72) = 0,822$; $p = 0,000$ hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerinin normal dağılım göstermediği belirlenmiştir. Bu nedenle, grupların karşılaştırılmasında parametrik olmayan testler kullanılmıştır.



Şekil 4.2. Hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerinin 60 ms ve 200 ms olmak üzere 2 farklı süre değerine göre dağılımlarının kutu grafiği (boxplot) ile gösterimi (medyan, 25. ve 75. yüzdelik dilimler, min ve max değerleri yer almaktadır)

Kısa (60 ms) ve uzun (200 ms) sentetik ünlülerin, temel frekans, spektral tilt değişim parametrelerine ve ünlü seslere göre eşleştirilen hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri arasındaki farkların dağılımı incelenmiştir; veriler simetrik dağılım göstermediğinden Sign testi uygulanmıştır.

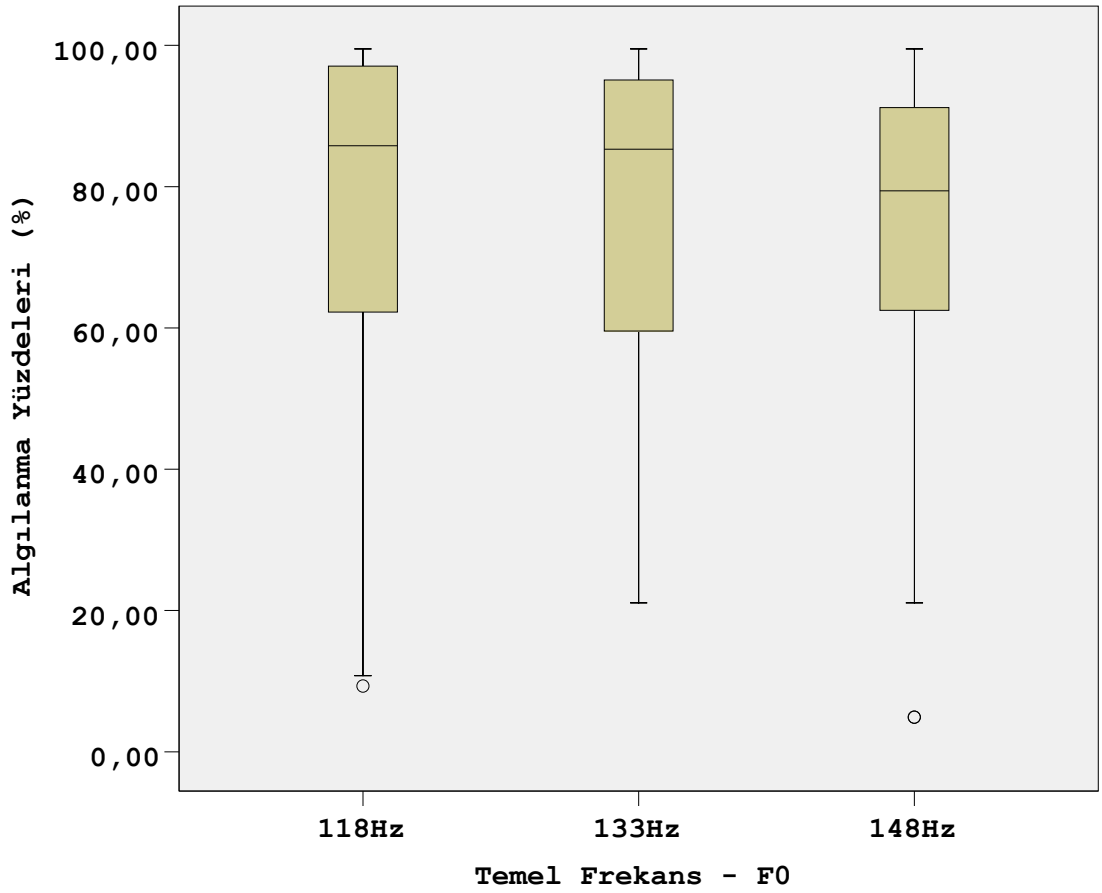
Kısa (60 ms) ve uzun (200 ms) sentetik ünlülerin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri temel frekans, spektral tilt değişim parametrelerine ve ünlü seslere göre eşleştirilmiştir. Sadece süre farkı olan bu eşleştirilmiş değerler ve gruplar arasında Sign testi uygulanmıştır. Bu testin sonucuna göre süre parametresinin artmasının, ünlü seslerin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelinde anlamlı bir fark oluşturduğu gözlenmiştir; $Z = -2,977$; $p = 0,003$. Şekil 4.2’de görüldüğü üzere 200 ms’deki sentetik ünlülerin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri 60 ms’deki ünlülere göre daha yüksektir.

4.3. Temel Frekans Değişiminin Ünlülerin Algılanmasına Etkisi Var mıdır?

Temel frekans parametresi üç değerdedir; 118 Hz, 133 Hz ve 148 Hz. Bu değerlere göre oluşturulan gruplar arasındaki hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri arasında anlamlı bir fark olup olmadığı incelenmiştir.

118 Hz, 133 Hz ve 148 Hz değerlerindeki sentetik ünlülerin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerinin dağılımı Shapiro-Wilk ile test edilmiş ve bu temel frekans değerlerinde ünlülerin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerinin normal dağılım göstermediği belirlenmiştir (118 Hz: $W(48) = 0,830$; $p = 0,000$; 133 Hz: $W(48) = 0,886$; $p = 0,000$; 148 Hz: $W(48) = 0,882$; $p = 0,000$). Bu nedenle grupların karşılaştırılmasında non-parametrik testler kullanılmıştır.

118 Hz, 133 Hz ve 148 Hz değerlerindeki sentetik ünlülerin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri; süre, spektral tilt değişim parametrelerine ve ünlü seslere göre eşleştirilerek gruplar arasında sadece temel frekans parametresi farklılaşmıştır. Eşleştirilen gruplar arasında hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzde değerlerinin farklı olup olmadığını belirlemek için Friedman testi uygulanmıştır. 118 Hz, 133 Hz ve 148 Hz değerlerine göre oluşturulan gruplardaki hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri arasında anlamlı bir fark bulunmuştur ($\chi^2(2) = 11,505$; $p = 0,003$).



Şekil 4.3. Hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelерinin 118 Hz, 133 Hz ve 148 Hz olmak üzere 3 farklı temel frekans değeri-ne göre dağılımlarının kutu grafiğı (boxplot) ile gösterimi (medyan, 25. ve 75. yüzdelik dilimler, min ve max değeri-leri yer almaktadır)

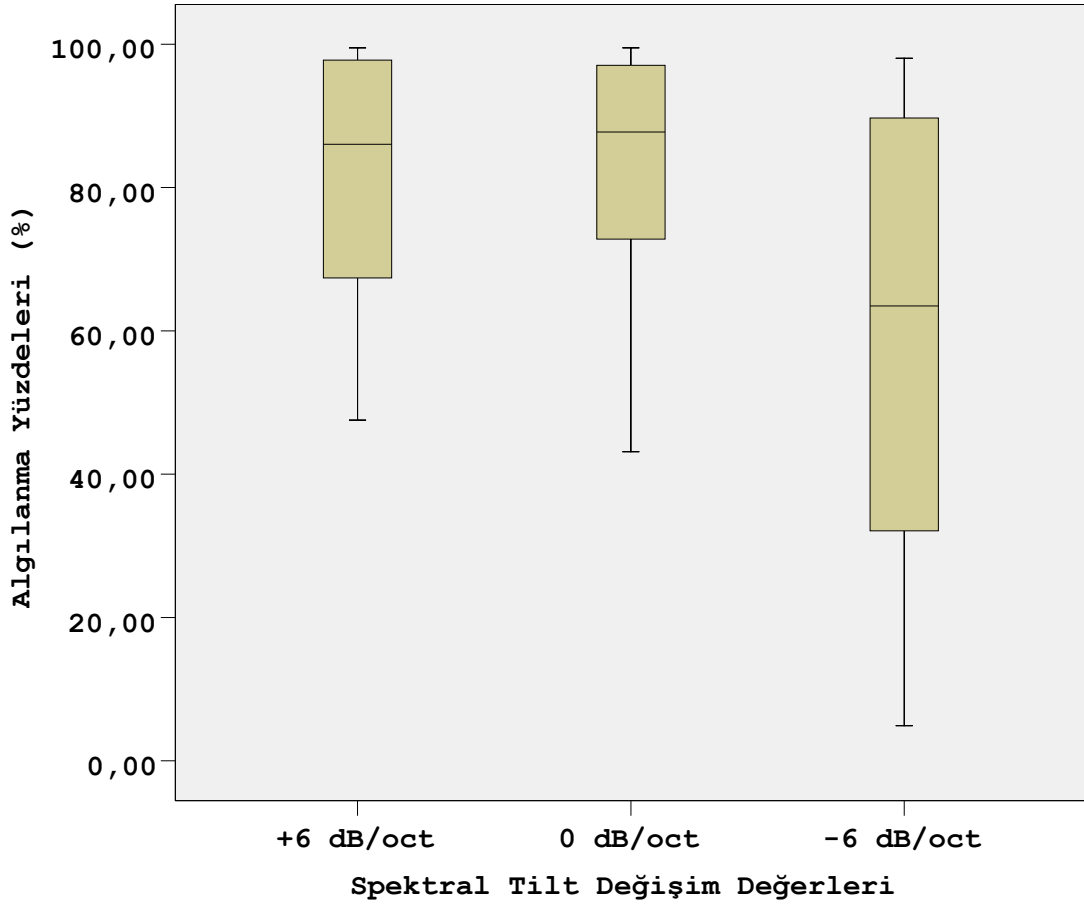
118 Hz, 133 Hz ve 148 Hz değeri-lerine göre oluşturulan gruplar arasındaki anlamlı farkı incelemek için Sign testi ile ikili karşılaştırmalar yapılmıştır. Üç grubun eşleştirilen hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri arasındaki farkların dağılımı incelenmiş ve simetrik dağılım görülmendiğinden dolayı grup içi karşılaştırmalarda Sign testi uygulanmıştır. Sign testinin ikili gruplarda tekrarlı uygulanmasından kaynaklı hata oluşumunu engellemek için Bonferroni düzeltmesi yapılmış ve bulunan p değeri-leri testin tekrarlı uygulanma sayısı olan 3 ile çarpılmıştır. 118 Hz ve 133 Hz grupları-ndaki ($Z = 0,000$; $p = 1,000$) ve 118 Hz ile 148 Hz grupları-ndaki ($Z = -2,042$; $p = 0,123$) hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır. 133 Hz ve 148 Hz grupları-ndaki hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri arasında ise anlamlı bir fark bulunmuştur ($Z = -3,166$; $p = 0,00464$). Şekil 4.3'te görüldüğü üzere

148 Hz’teki ünlülerin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri daha düşük olarak izlenmektedir.

4.4. Spektral Tilt Parametresi Değişiminin Ünlülerin Algılanmasına Etkisi Var mıdır?

Şekil 4.4’te spektral tilt parametresinin +6 dB/octave, 0 dB/octave ve -6 dB/octave değerlerinde değiştirildiği üç grup yer almaktadır. Spektral tilt parametresine göre oluşturulan gruplardaki hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerinin dağılımı Shapiro-Wilk ile test edilmiştir. Üç farklı spektral tilt parametresi için hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri normal dağılım göstermemiştir (+6 dB/octave: $W(48) = 0,871$; $p = 0,000$; 0 dB/octave: $W(48) = 0,890$; $p = 0,000$; -6 dB/octave: $W(48) = 0,897$; $p = 0,000$). Bu nedenle grupların karşılaştırılmasında non-parametrik testler kullanılmıştır.

+6 dB/octave, 0 dB/octave ve -6 dB/octave spektral tilt değişim değerlerindeki sentetik ünlülerin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri süre, temel frekans parametrelerine ve ünlü seslere göre eşleştirilmiştir. Değerleri eşleştirilen gruplar arasında fark olup olmadığını belirlemek amacıyla Friedman testi uygulanmıştır. +6 dB/octave, 0 dB/octave ve -6 dB/octave spektral tilt değişim değerlerine göre oluşturulan gruplardaki hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri arasında anlamlı bir fark bulunmuştur ($\chi^2(2) = 25,989$; $p = 0,000$).



Şekil 4.4. Hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelерinin +6 dB/octave, 0 dB/octave ve -6 dB/octave olmak üzere 3 farklı spektral tilt değışim değeri-ne göre dağılımlarının kutu grafiğı (boxplot) ile gösterimi (medyan, 25. ve 75. yüzdelik dilimler, min ve max değeri-leri yer almaktadır)

+6 dB/octave, 0 dB/octave ve -6 dB/octave spektral tilt değışim değeri-lerine göre oluşturulan gruplar arasındaki anlamlı farkı incelemek için Sign testi ile ikili karşılaştırmalar yapılmıştır. Üç grupta yer alan ve eşleştirilen hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri arasındaki farkların dağılımı incelenmiş ve simetrik dağılım görölmediğinden dolayı Sign testi uygulanmıştır. Sign testinin ikili gruplarda tekrarlı uygulanmasından kaynaklı hata oluşumunu engelleme amaçlı Bonferroni düzeltmesi yapılmış ve bulunan p değeri-leri testin tekrarlı uygulanma sayısı olan 3 ile çarpılmıştır. +6 dB/octave ve 0 dB/octave grupları-ndaki hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır ($Z = -0,596$; $p = 0,551$). +6 dB/octave ve -6 dB/octave grupları-ndaki hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri arasında anlamlı bir fark bulunmuştur ($Z = -3,608$; $p = 0,000924$). 0 dB/octave ve -6 dB/octave grupları-ndaki hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri arasında da anlamlı bir fark

bulunmuştur ($Z = -4,376$; $p = 0,00004$). Şekil 4.4'te görüldüğü üzere -6 dB/octave grubundaki hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri daha düşük olarak izlenmektedir.

4.5. Süre ve Temel Frekansın; Süre ve Spektral Tiltin; Temel Frekans ve Spektral Tiltin; Süre, Temel Frekans ve Spektral Tiltin Birlikte Değişmesinin Ünlülerin Algılanmasına Etkisi Var mıdır?

Süre ve temel frekans; süre ve spektral tilt; temel frekans ve spektral tilt; süre, temel frekans ve spektral tilt parametrelerinin ünlülerin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri üzerinde birlikte bir etkilerinin olup olmadığını belirlemek amacıyla genel doğrusal model (General linear model univariate analysis) 3 faktörlü ANOVA analizi yapılmıştır. Ünlülerin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri bağımsız değişkeni; süre, temel frekans ve spektral tilt ise faktörleri (bağımsız değişkenleri) oluşturmaktadır. Analiz, hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzde değerlerinin dönüştürülerek (inversion - logarithmic transformation) normal dağılıma yaklaştırılması ve varyansların homojen hale getirilmesiyle yapılmıştır. Varyansların homojen olduğu Levene testi sonucuyla belirlenmiştir, $F(17; 126) = 1,022$; $p = 0,440$.

Hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri ve bu yüzdelerdeki değişimler üzerinde, parametreler arası istatistiki olarak anlamlı bir etkileşim gözlenmemiştir. Süre ve temel frekans parametrelerinin $F(2; 126) = 0,006$; $p = 0,994$; süre ve spektral tilt parametrelerinin $F(2; 126) = 0,375$; $p = 0,688$; temel frekans ve spektral tilt parametrelerinin $F(4; 126) = 0,179$, $p = 0,949$; süre, temel frekans ve spektral tilt parametrelerinin $F(4; 126) = 0,003$; $p = 1,000$ hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri üzerindeki etkileri arasında istatistiki olarak anlamlı bir ilişki bulunmamıştır.

4.6. Her Bir Sentetik Ünlü Sesin Farklı Süre, Temel Frekans ve Spektral Tilt Değişim Değerlerindeki Algılanmalarına Dair Dağılımlar Nedir ve Süre, Temel Frekans, Spektral Tilt Değişim Parametrelerinin Bu Dağılımların Üzerinde Etkisi Var mıdır?

Her bir sentetik ünlünün farklı süre, temel frekans ve spektral tilt değişim değerlerindeki hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerinin dağılımlarını incelemeye bu yüzdelerinin ortalamaları ve medyan değerleri kullanılmıştır. Böylece tüm parametrelerin her bir ünlü ses üzerindeki etkileri ayrı ayrı analiz edilmiştir. Tablo

4.2’de her bir ünlünün üç parametre için hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelерinin ortalamaları verilmiştir.

Tablo 4.2. *Sentetik ünlü seslerin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelерinin spektral tilt değışim (+6 dB/octave, 0 dB/octave, -6 dB/octave), temel frekans (118 Hz, 133 Hz ve 148 Hz) ve süre (60 ms ve 200 ms) parametrelerine göre ortalamaları ve (medyan değерleri)*

	60 ms	200 ms	118 Hz	133 Hz	148 Hz	+6 dB/oct	0 dB/oct	-6 dB/oct
Λ	95,9 (98,5)	95,5 (98,5)	96,8 (99,0)	97,5 (98,8)	92,6 (98,5)	99,0 (99,0)	99,0 (99,0)	89,0 (91,9)
o	77,5 (77,5)	94,4 (94,6)	90,6 (92,4)	86,4 (89,7)	80,9 (80,4)	83,7 (86,0)	87,0 (89,0)	87,1 (87,7)
u	82,2 (87,7)	84,7 (89,2)	83,7 (89,5)	84,8 (88,2)	81,9 (87,0)	68,3 (68,9)	89,6 (88,7)	92,5 (93,9)
uu	53,1 (59,8)	57,2 (55,9)	52,5 (62,3)	53,3 (56,4)	59,8 (58,8)	59,2 (60,8)	71,8 (72,1)	34,5 (36,0)
ε	68,6 (77,9)	72,0 (78,9)	72,6 (84,6)	80,2 (87,5)	58,1 (68,9)	90,2 (95,1)	80,3 (81,9)	40,4 (38,2)
œ	47,3 (48,0)	63,3 (79,9)	54,0 (61,3)	61,9 (69,6)	50,0 (61,3)	87,3 (86,0)	65,5 (67,2)	13,1 (10,0)
y	56,6 (54,9)	65,4 (68,1)	48,9 (51,7)	59,2 (58,6)	74,9 (80,6)	69,5 (66,7)	65,9 (66,2)	47,5 (51,5)
i	92,3 (98,0)	90,7 (98,0)	98,5 (98,3)	98,0 (98,3)	78,0 (80,9)	96,6 (97,8)	92,7 (98,3)	85,2 (97,1)

İzole sentetik /Λ/ ünlü sesinin en yüksek hedeflenen ünlü olarak algılanma ortalamasına +6 dB/octave ve 0 dB/octave grubunda %99,0 ile ulaşılmıştır. /Λ/ ünlü sesinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelерinin ortalaması -6 dB/octave grubunda %89,0 ile en düşük değerdendir. /Λ/ ünlü sesinin tüm parametre gruplarındaki en yüksek ve en düşük hedeflenen ünlü olarak algılanma ortalamaları, diğer tüm ünlü seslerin en yüksek ve en düşük hedeflenen ünlü olarak algılanma ortalamalarından yüksektir.

İzole sentetik /o/ ünlü sesinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri ortalamaları 200 ms grubunda %94,4 ile en yüksek ve 60 ms grubunda %77,5 ile en düşük değerdedir. Diğer hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri de bu değerler arasında yer almaktadır. En yüksek (%94,4) ve en düşük (%77,5) hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelерinin sırasıyla 200 ms ve 60 ms süre gruplarında olduğu tek ses, sentetik /o/ sesidir.

İzole sentetik /u/ ünlü sesinin en yüksek hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdesi ortalaması %92,5 ile -6 dB/octave grubundadır. Tüm ünlü sesler karşılaştırıldığında en yüksek hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdesi ortalaması -6 dB/octave grubunda olan tek ses, /u/ sesidir.

İzole sentetik /u/ ünlü sesinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri ortalaması %71,8 ile en yüksek değerde ve 0 dB/octave grubundadır. En düşük hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzde ortalaması ise %34,5 ile -6 dB/octave grubundadır.

İzole sentetik /ε/, /œ/, /i/ ön ünlülerinin en yüksek hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri ortalamaları sırasıyla %90,2; %87,3; %98,5 ile +6 dB/octave grubunda yer alırken yine aynı seslerin en düşük hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri ortalamaları sırasıyla %40,4; %13,1; %78,0 ile -6 dB/octave grubundadır.

İzole sentetik /œ/ ünlü sesinin en düşük hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdesi olan %13,1 tüm sesler ve gruplar içindeki en düşük hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdesi ortalamasıdır.

İzole sentetik /y/ ünlüsünün hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdesi ortalaması en düşük %47,5 ile -6 dB/octave grubundayken en yüksek değeri %74,9 ile 148 Hz grubundadır. En yüksek hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdesi ortalamasının 148 Hz grubunda olduğu tek ses sentetik /y/ sesidir.

Her bir sentetik ünlü sesin dağılımlarını süre, temel frekans, spektral tilt değişim parametrelerinin anlamlı derecede etkileyip etkilemediğini belirlemek için istatistiksel analizler yapılmıştır. Her bir ünlü sesin süre gruplarının karşılaştırılmasında Sign testi, temel frekans ve spektral tilt gruplarının karşılaştırılmasında Friedman testi kullanılmıştır. Tüm ünlüler için ayrı ayrı yapılan testler Tablo 4.3 ve Tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.3. Süre değerlerinin karşılaştırılmasında kullanılan Sign testinin; temel frekans ve spektral tilt değerlerinin karşılaştırılmasında kullanılan Friedmann testinin sonuç değerleri; *: $p<0,05$; **: $p<0,01$; ***: $p<0,001$

	Süre	Temel Frekans		Spektral Tilt	
	P	$\chi^2(2)$	P	$\chi^2(2)$	P
Λ	0,727	4,364	0,113	9,818	0,007**
o	0,004**	9,652	0,008**	0,738	0,676
u	0,180	3,391	0,183	10,333	0,006**
u	0,727	5,333	0,069	10,333	0,006**
ε	0,687	10,182	0,006**	12,000	0,002**
œ	0,070	7,000	0,030*	12,000	0,002**
y	0,180	5,333	0,069	1,333	0,513
i	0,727	3,700	0,157	9,478	0,009**

Tablo 4.4. Süre, temel frekans ve spektral tilt değişim parametrelerine göre oluşturulan gruplar arasında bulunan farkların anlamlılık düzeylerinin ünlülere göre dağılımı; *: $p<0,05$; **: $p<0,01$; ***: $p<0,001$ (karşılaştırılan gruplardaki tüm değerler eşleştirilmiştir; örn.: karşılaştırılan süre gruplarındaki değerler temel frekans ve spektral tilt değişim parametrelerine göre eşleştirilmiştir)

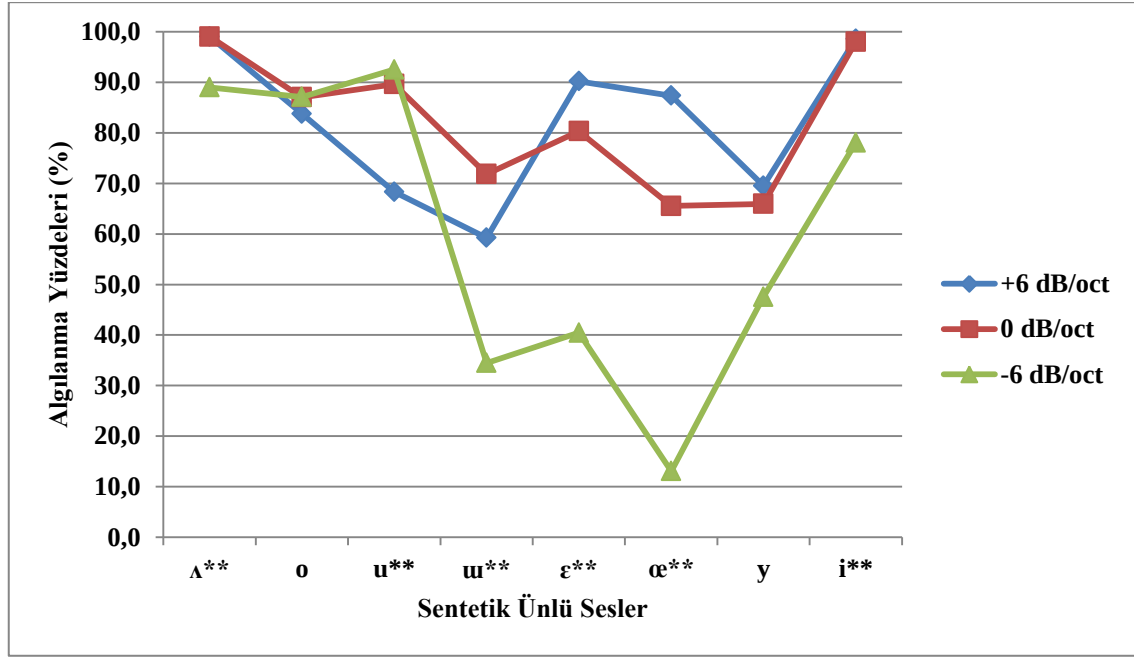
	Λ	o	u	u	ε	œ	y	i
Süre		**						
Temel Frekans		**			**	*		
Spektral Tilt	**		**	**	**	**		**

Spektral tilt değişim parametresi /Λ/, /u/, /u/, /ε/, /œ/, /i/ sentetik seslerinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri anlamlı derecede etkilemektedir. Temel frekans parametresi /o/, /ε/, /œ/ sentetik ünlülerinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri anlamlı derecede etkilemektedir. Süre parametresi sadece /o/ sesinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri anlamlı derecede etkilemektedir. Hiçbir parametre sentetik /y/ ünlüsünün hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri anlamlı derecede etkilememektedir.

Parametrelerin ünlülerin hedeflenen ünlü olarak algılanmalarını anlamlı derecede etkileyip etkilemediğini gösteren Tablo 4.4 incelendiğinde parametreler arasında bir ilişki olmadığı göze çarpmaktadır. Bu bulgu ilk araştırma sorusunun cevabı olan

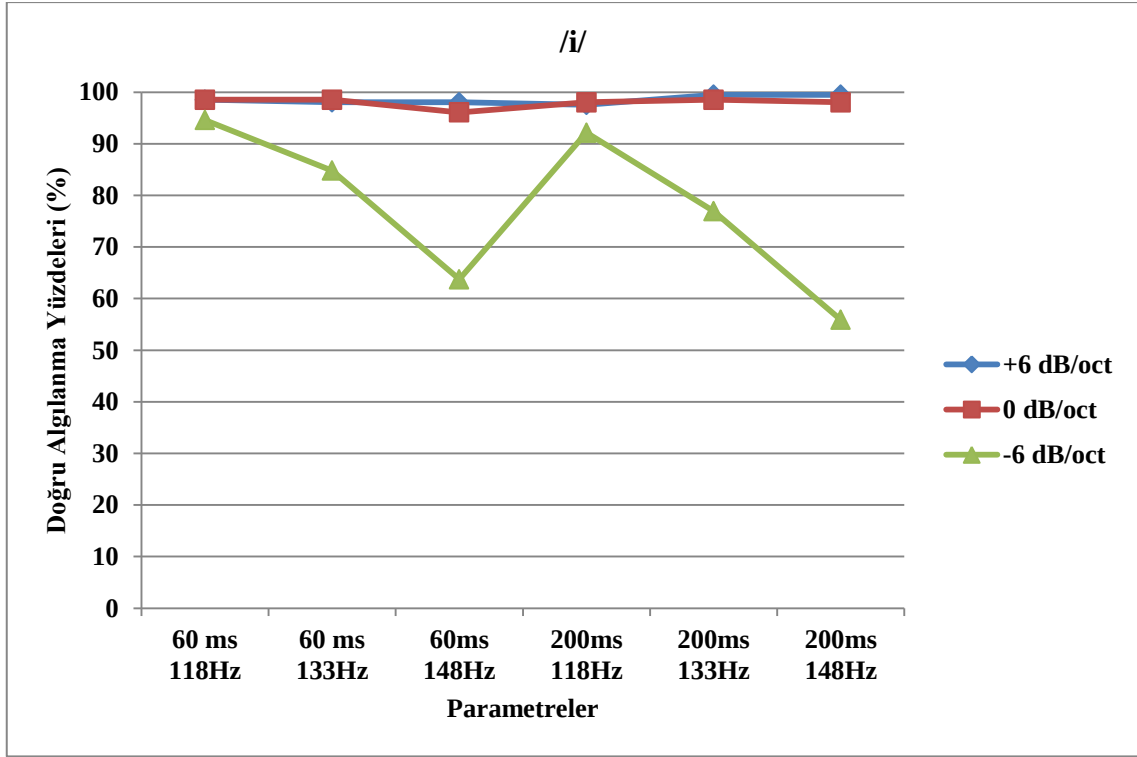
parametrelerin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri üzerinde anlamlı bir ilişkisinin olmamasıyla tutarlıdır.

Spektral tilt parametresinin anlamlı derecede etkilediği ünlülerdeki hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri ortalamaları arasındaki farklar Şekil 4.5'te görülmektedir.



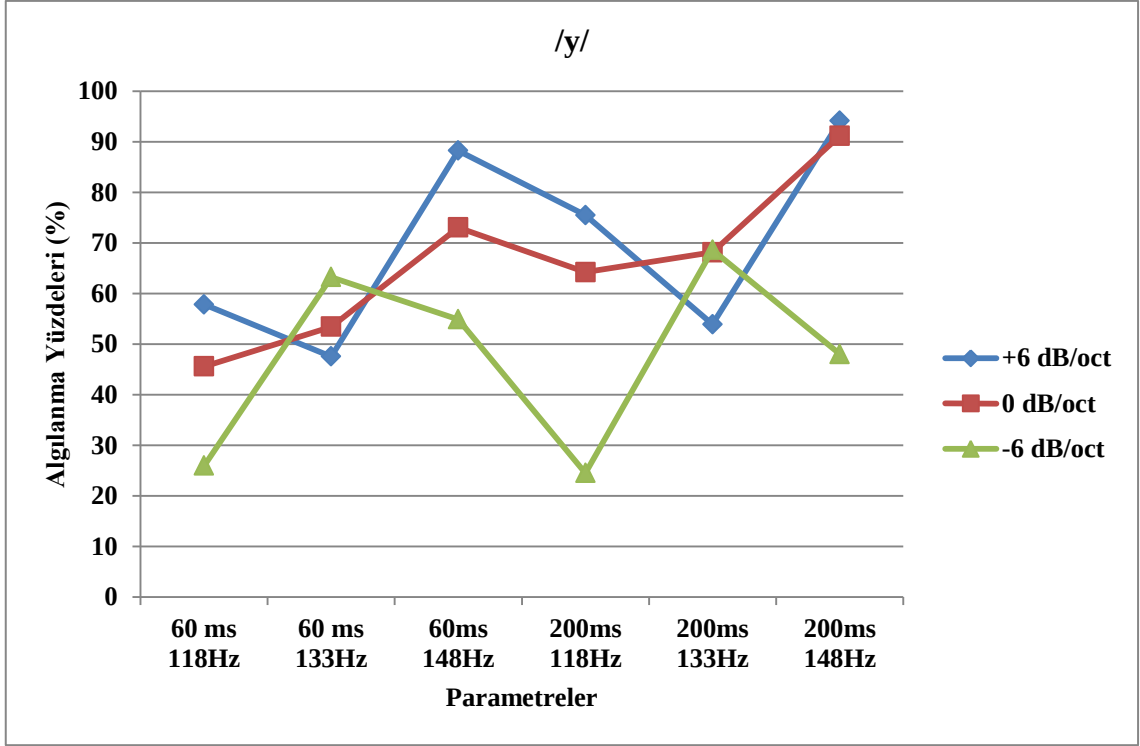
Şekil 4.5. Ünlü seslerin hedeflenen ünlü olarak ortalama algılanma yüzdelерinin spektral tilt değışim parametresine göre dağılımları (spektral tilt değışim parametresi; * işareti olan ünlülerde anlamlı derecede etkilidir)

Şekil 4.5'te görüldüğü gibi, ortalamalar arasında fark olması, istatistiki anlamlılığın olmasıyla her zaman tutarlılık göstermemektedir. /y/ sesinde ortalamalar arasında fark görölmesine rağmen istatistiki olarak anlamlı derecede bir fark bulunmamıştır. Çünkü verilerin dağılımı normal dağılım göstermediğinden sadece ortalamalar grup karşılaştırmaları için yetersiz kalmaktadır. Bu durumu açıklamak için /i/ ve /y/ ünlü seslerinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelерinin spektral tilt değışim parametresine göre dağılımları aşağıdaki Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de gösterilmiştir. /i/ sentetik sesi, istatistiki anlamlılığın görüldüğü sesler içinden rastgele örnek olarak seçilmiştir. Şekil 4.6'da /i/ sesinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelерinin spektral tilt parametresine göre dağılımları görülmektedir ve -6 dB/octave grubu diğer iki gruptan tamamen ayrılmaktadır.



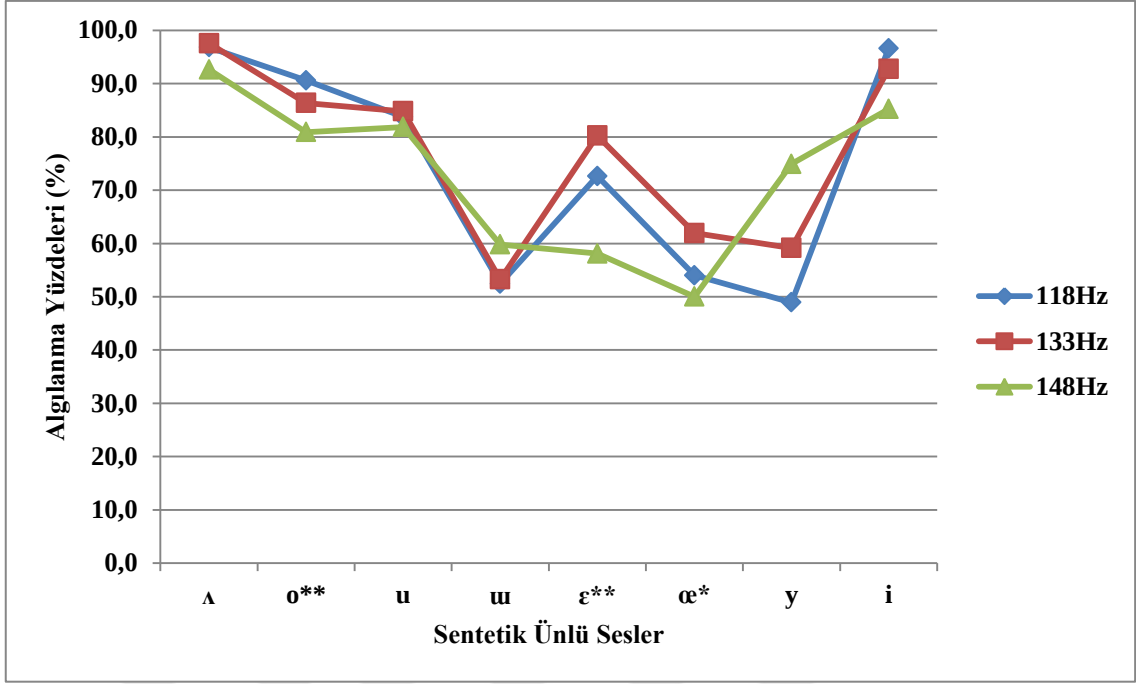
Şekil 4.6. Sentetik /i/ ünlü sesinin farklı süre (60 ms ve 200 ms); farklı temel frekans (118 Hz, 133 Hz ve 148 Hz) ve farklı spektral tilt değişim (+6 dB/octave, 0 dB/octave ve -6 dB/octave) değerlerindeki hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri

/y/ sentetik sesinin ise hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelерinin spektral tilt parametresine göre /i/ sesinde olduğu gibi ayrışmadığı; tam tersine spektral tilt gruplarının iç içe geçtiği Şekil 4.7’de görölmektedir. Bu nedenle, /y/ sesinin spektral tilt grupları arasında hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri ortalamaları farklı görünse de istatistiki olarak anlamlı bir fark elde edilmemiştir.



Şekil 4.7. Sentetik /y/ ünlü sesinin farklı süre (60 ms ve 200 ms); farklı temel frekans (118 Hz, 133 Hz ve 148 Hz) ve farklı spektral tilt değişim (+6 dB/octave, 0 dB/octave ve -6 dB/octave) değerlerindeki hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri

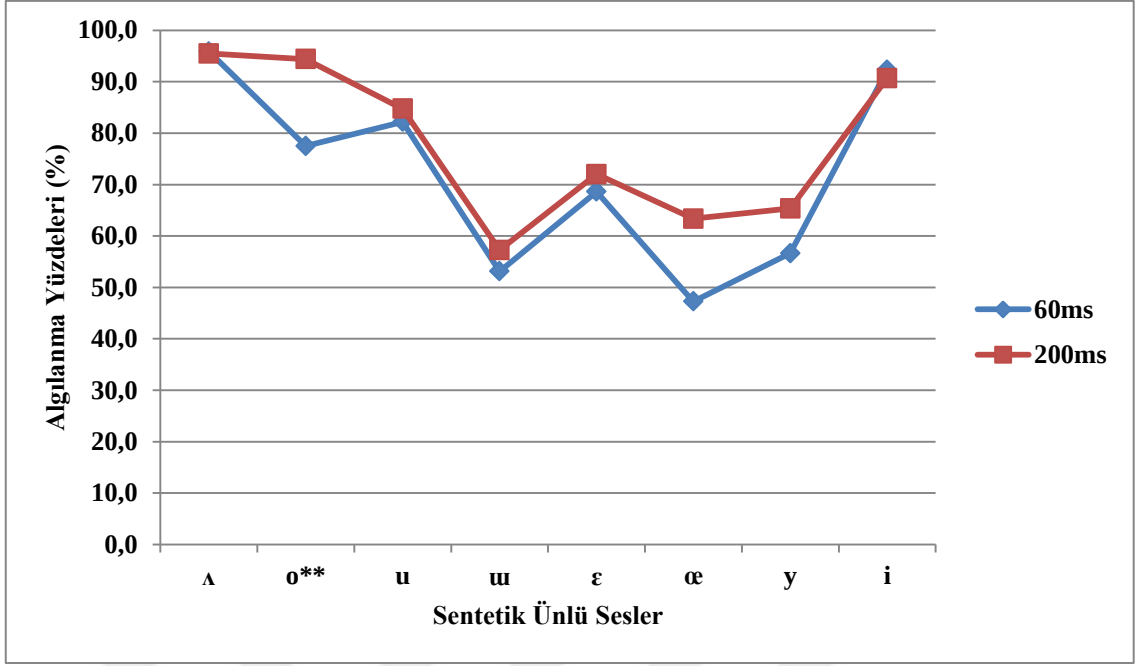
Temel frekansın sentetik; /o/, /ε/ ve /œ/ ünlü seslerin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri anlamlı derecede etkilediği görülmüştür. Bu sonuçla paralel biçimde /o/, /ε/ ve /œ/ seslerinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri ortalamalarının temel frekans parametresine göre ayrıştığı Şekil 4.8’de görülmektedir.



Şekil 4.8. Ünlü seslerin hedeflenen ünlü olarak ortalama algılanma yüzdelерinin temel frekans parametresine göre dağılımları (temel frekans parametresi; * işareti olan ünlülerde anlamlı derecede etkilidir)

Şekil 4.8’de /y/ sesinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelерinin ortalamalarının spektral tilt parametresine göre ayrıştığı görölse de bu farklılıkta istatistiki olarak bir anlamlılık bulunmamıştır. Bunun nedeni, yukarıda açıklandığı üzere, /y/ sesinin temel frekans gruplarındaki hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelерinin dağılımlarının iç içe geçmesidir.

Süre parametresi sadece /o/ sesinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelерini anlamlı derecede etkilemektedir. /o/ sesinin süre parametresine göre hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelерinin ortalamaları Şekil 4.9’da göröldüğü üzere birbirinden ayrılmaktadır. Benzeri biçimde /œ/ ve /y/ ünlülerinin süre parametresine göre hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelерinin ortalamaları da birbirinden ayrılmaktadır ancak /o/ sesinin aksine bu seslerdeki farklılıklar anlamlı değildir. /œ/ ve /y/ seslerinin süre parametresine göre hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri ortalamaları birbirinden ayrışsa da verilerin dağılımı süre gruplarına göre iç içe geçmiş haldedir. Bu nedenle; uygulanan ve sıralamaya dayalı non-parametrik istatistik testlerinde bir anlamlılık bulunmamıştır.



Şekil 4.9. Ünlü seslerin hedeflenen ünlü olarak ortalama algılanma yüzdelerinin süre parametresine göre dağılımları (süre parametresi; * işareti olan ünlülerde anlamlı derecede etkilidir)

4.7. Her Bir Ünlü Sesin Sentezlenen Tüm Ses Versiyonlarının Hedeflenen ve Hedeflenmeyen Ünlü Olarak Algılanma Yüzdelerinin Dağılımları (Hata Matrisleri) Nedir?

Her bir ünlü sesin süre, temel frekans ve spektral tilt değişim parametreleri bağlamında sentezlenen tüm seslerin hedeflenen ünlü olarak ve hedeflenmeyen ünlü olarak algılanma dağılımları, hata matrisleri oluşturularak incelenmiştir. Eğer bir ünlü ses, hedeflenen ünlü olarak algılanmış ise hedeflenen ünlü olarak algılanma, başka bir ünlü ses olarak algılanmışsa hedeflenmeyen ünlü olarak adlandırılmıştır. Hata matrislerinde bir ünlü sesin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri yanında hedeflenmeyen ünlü olarak algılanma yüzdeleri de yer almaktadır. Böylece değiştirilen parametrelerin etkisiyle ilgili ünlünün kendisi yerine başka hangi ünlü olarak algılandığının çözümlemesi, hata matrisleriyle olmaktadır. Bu çalışmada her sentetik ünlü sesteki parametrelerin etkisini görebilmek amacıyla iki hata matrisi oluşturulmuştur. Birinci hata matrisleri ilgili ünlünün tüm hedeflenen ünlü olarak ve hedeflenmeyen ünlü olarak algılanma yüzdelerini; ikinci hata matrisleri ise hedeflenmeyen ünlü olarak algılanma yüzdelerine göre ilgili ünlünün hangi diğer ünlüler olarak algılandığını içermektedir.

4.7.1. /Λ/ ünlüsü için hata matrisleri

Tablo 4.5'te /Λ/ ünlü sesinin parametrelere göre oluşturulan tüm ses uyaranlarının hata matrisi görülmektedir.

Tablo 4.5. Kısa (60 ms) ve uzun (200 ms) sentetik /Λ/ ünlüsünün farklı temel frekans (118 – 133 – 148 Hz) ve farklı spektral tilt değişim (+6 dB/octave, 0 dB/octave, -6 dB/octave) değerlerindeki hata matrisi (değerler % olarak verilmiştir; her sıradaki değerler toplamı %100'dür)

Spektral Tilt Değişimi		F0 (Hz)	Λ	o	u	u	ε	æ	y	i
Kısa 60 ms	+6 dB/octave	118	99,5						0,5	
		133	99,0						1,0	
		148	98,5		0,5	0,5		0,5		
	0 dB/octave	118	99,0					0,5	0,5	
		133	99,0	0,5			0,5			
		148	98,5		0,5	0,5		0,5		
	-6 dB/octave	118	93,1	2,5	4,4					
		133	95,1		4,4				0,5	
		148	80,9	7,4	9,3	2,5				
Uzun 200 ms	+6 dB/octave	118	99,0			0,5	0,5			
		133	98,5	1,0		0,5				
		148	99,5		0,5					
	0 dB/octave	118	99,5			0,5				
		133	99,5						0,5	
		148	98,5	0,5						1,0
	-6 dB/octave	118	90,7	4,4	4,9					
		133	94,1	1,0	3,9			0,5		0,5
		148	79,9	6,4	12,3	1,5				

/Λ/ ünlü sesinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdesi genellikle yüksek olmakla birlikte çok düşük oranlarda diğer tüm ünlü seslerden birisi olarak algılanabildiği de görülmektedir. Ayrıca /Λ/ ünlü sesinin özellikle -6 dB/octave değişim değerinde sentezlenen versiyonlarında hedeflenmeyen ünlü olarak algılanmalar bulunmaktadır. /Λ/ sesinin en yüksek hedeflenmeyen ünlü olarak algılanma oranı %12,3'tür ve /u/ sesi olarak algılanmıştır.

/Λ/ ünlü sesinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri 0 dB/octave ve +6 dB/octave spektral tilt değişiminde %99,5 ile %98,5 değerleri arasındayken -6 dB/octave spektral tilt değişiminde %79,9 - %95,1 değerleri arasındadır. /Λ/ ünlü sesinin

hedeflenmeyen ünlü olarak algılanmaları -6 dB/octave değerinde artmıştır ve /o/ ile /u/ ünlüsü olarak hedeflenmeyen ünlü algılanmaları ayrımsal biçimde diğer spektral tilt değişimlerine göre artmıştır. /Λ/ ünlü sesi spektral tilt değerinin azalmasıyla birlikte kendisi gibi arka ünlü olan /o/ ve /u/ ünlü sesleri olarak algılanmıştır.

Tablo 4.6'da görüldüğü üzere -6 dB/octave ve 148 Hz parametrelerindeki /Λ/ sesinin, %10-20 arasında /u/ sesi, %5-10 arasında /o/ ve /u/ sesleri olarak algılanmıştır. Bu parametrelerdeki /Λ/ ünlü sesi, yine kendisi gibi arka ünlü seslerden olan /o/ ve /u/ hedeflenmeyen ünlü sesleri olarak algılanmaktadır. Ancak bu iki ünlü ses, /Λ/ sesinden farklı olarak yuvarlaklık özelliği taşımaktadır. Bu bağlamda /Λ/ sesinin kendisi gibi arka-düz ünlü olan /u/ sesi olarak algılanması, /o/ ve /u/ seslerine göre azdır.

Tablo 4.6. Kısa (60 ms) ve uzun (200 ms) sentetik /Λ/ ünlüsünün farklı temel frekans (118 – 133 – 148 Hz) ve farklı spektral tilt (ST) değişim (+6 dB/octave, 0 dB/octave, -6 dB/octave) değerlerindeki hata matrisi; belirtilen ünlünün hangi oranda başka ünlü olarak algılandığını belirtir (%5'in altındaki değerler yer almamaktadır)

	ST	F0 (Hz)	<%10	<%20	<%30	<%40	<%50	<%60	<%70	<%85
60 ms	+6 dB/oct	118								
		133								
		148								
	0 dB/oct	118								
		133								
		148								
	-6 dB/oct	118								
		133								
		148	o, u							
200 ms	+6 dB/oct	118								
		133								
		148								
	0 dB/oct	118								
		133								
		148								
	-6 dB/oct	118								
		133								
		148	o	u						

Spektral tilt parametresinin /Λ/ sesinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerini istatistiki olarak anlamlı derecede etkilediği görülmüştür. Bu bulguyla tutarlı biçimde /Λ/ sesinin %5 üzerindeki hedeflenmeyen ünlü olarak algılanma yüzdelerine sadece -6 dB/octave değerinde sentezlenen /Λ/ seslerinde rastlanmaktadır.

4.7.2. /o/ ünlüsü için hata matrisleri

Tablo 4.7’de görüldüğü gibi, izole sentetik /o/ sesinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri 200 ms için genellikle yüksek olmakla birlikte 60 ms için farklı ünlüler olarak algılanmıştır. Düşük yüzdelerde /ε/, /y/ ve /i/ ön ünlüleri olarak algılanmakta olan /o/ sesinin hedeflenmeyen ünlü algılanmalarının çoğunluğunun kendisi gibi arka ünlülerde yoğunlaştığı görülürken ön ünlülerden /œ/ sesi bu duruma istisna oluşturmaktadır. /o/ sesinin en yüksek hedeflenmeyen ünlü olarak algılanma oranı %21,1 ile /Λ/ sesidir.

Tablo 4.7. Kısa (60 ms) ve uzun (200 ms) sentetik /o/ ünlüsünün farklı temel frekans (118 – 133 – 148 Hz) ve farklı spektral tilt değişim (+6 dB/octave, 0 dB/octave, -6 dB/octave) değerlerindeki hata matrisi (değerler % olarak verilmiştir; her sıradaki değerler toplamı %100'dür)

Spektral Tilt Değişimi		F0 (Hz)	Λ	o	u	u	ε	œ	y	i
Kısa 60 ms	+6 dB/octave	118	1,5	77,5	1,5	5,9	3,4	10,3		
		133	21,1	70,6	2,0	2,9	0,5	2,5	0,5	
		148	0,5	66,7	9,8	7,8	2,0	12,7	0,5	
	0 dB/octave	118		86,8	2,5	3,9		6,4	0,5	
		133	13,2	79,4	1,5	2,5	0,0	2,9		0,5
		148	0,5	72,5	10,3	8,3	1,0	7,4		
	-6 dB/octave	118	0,5	84,8	4,4	4,9	1,0	3,9		0,5
		133	2,0	87,3	6,9	2,5	0,5	1,0		
		148	1,0	72,1	20,6	5,4	0,0	1,0		
Uzun 200 ms	+6 dB/octave	118	0,5	98,5		0,5		0,5		
		133	4,4	94,6	0,5				0,5	
		148	0,5	94,6	3,9	0,5		0,5		
	0 dB/octave	118		98,0	1,5			0,5		
		133	3,9	94,1		0,5	0,5	0,5		0,5
		148		91,2	3,9	2,0		2,5	0,5	
	-6 dB/octave	118		98,0	1,0			1,0		
		133	1,0	92,2	5,9	1,0				
		148		88,2	9,8	1,0		0,5	0,5	

Spektral tilt parametresinin azalmasıyla /o/ sesinin algılanmalarında /u/ ünlüsüne doğru spektral tilt parametresinin artmasıyla da /Λ/ ve /œ/ ünlülerine doğru bir artış gözlenmektedir.

Tablo 4.8'de 200 ms uzunluğundaki sentetik /o/ ünlüsünün hedeflenmeyen ünlü olarak algılanmalarının daha az olduğu görülmektedir. Bu durumu destekler biçimde süre parametresinin istatistiki olarak anlamlı derecede hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelelerini etkilediği tek ünlü ses, /o/ sesidir.

Tablo 4.8. Kısa (60 ms) ve uzun (200 ms) sentetik /o/ ünlüsünün farklı temel frekans (118 – 133 – 148 Hz) ve farklı spektral tilt (ST) değişim (+6 dB/octave, 0 dB/octave, -6 dB/octave) değerlerindeki hata matrisi; belirtilen ünlünün hangi oranda başka ünlü olarak algılandığını belirtir (%5'in altındaki değerler yer almamaktadır)

	ST	F0 (Hz)	<%10	<%20	<%30	<%40	<%50	<%60	<%70	<%85
60 ms	+6 dB/oct	118	u	œ						
		133			Λ					
		148	u, u	œ						
	0 dB/oct	118	œ							
		133		Λ						
		148	u, œ	u						
	-6 dB/oct	118								
		133	u							
		148	u		u					
200 ms	+6 dB/oct	118								
		133								
		148								
	0 dB/oct	118								
		133								
		148								
	-6 dB/oct	118								
		133	u							
		148	u							

60 ms, +6 ve 0 dB/octave değerlerindeki /o/ sesinin, /Λ/, /u/, /u/, /œ/ hedeflenmeyen ünlüleri olarak algılandığı görülmektedir. 60 ms ve -6 dB/octave değerindeki /o/ sesi ise, arka /u/ ve /u/ ünlüleri olarak algılanmaktadır ve çoğunlukla arka ünlü olarak algılanması görünümüyle diğer spektral tilt gruplarından ayrılmaktadır.

Temel frekans parametresinin değişimi /o/ sesinin hedeflenen ünlü olarak algılanmasını anlamlı derecede etkilemektedir. Bu durumla tutarlı olarak /o/ sesinin hedeflenmeyen ünlü olarak algılanmalarında temel frekans değerlerine göre bir ayrışma görülmektedir. /o/ sesinin %5 üzerindeki hedeflenmeyen ünlü algılanma yüzdelere bakıldığında /œ/ hedeflenmeyen ünlü algılanmalarına sadece 118 ve 148 Hz değerlerinde; /Λ/ hedeflenmeyen ünlü algılanmalarına 133 Hz değerinde rastlanmaktadır.

4.7.3. /u/ ünlüsü için hata matrisleri

Tablo 4.9’da /u/ ünlüsünün hata matrisi verilmiştir. /u/ sesinin hedeflenmeyen ünlü olarak algılanmaları /o/, /u/, /y/ ve /i/ ünlülerinde yoğunlaşmaktadır. Hata matrisine göre /u/ sesinin hedeflenmeyen ünlü olarak algılanmaları, hepsi kapalı olmayan ünlüler olan /Λ/, /ε/ ve /œ/ seslerinde düşük yüzdelerdedir. /u/ sesinin en yüksek hedeflenmeyen ünlü olarak algılanma yüzdesi %23,5’tir ve /u/ sesi olarak algılandığı görülmektedir.

Tablo 4.9. Kısa (60 ms) ve uzun (200 ms) sentetik /u/ ünlüsünün farklı temel frekans (118 – 133 – 148 Hz) ve farklı spektral tilt değişim (+6 dB/octave, 0 dB/octave, -6 dB/octave) değerlerindeki hata matrisi (değerler % olarak verilmiştir; her sıradaki değerler toplamı %100’dür)

Spektral Tilt Değişimi		F0 (Hz)	Λ	o	u	u	ε	œ	y	i
Kısa 60 ms	+6 dB/octave	118		2,9	68,1	18,1	0,5	3,9	5,4	1,0
		133	2,0	2,0	69,6	14,2	0,5	0,5	4,4	6,9
		148			65,7	14,7			6,4	13,2
	0 dB/octave	118		0,5	90,7	6,4		0,5	2,0	
		133		0,5	87,7	4,4			4,4	2,9
		148			87,7	5,9			5,9	0,5
	-6 dB/octave	118		1,0	95,1	2,5		0,5	1,0	
		133			88,7	5,9		0,5	2,9	2,0
		148	0,5		86,3	4,9	0,5		6,9	1,0
Uzun 200 ms	+6 dB/octave	118	0,5	7,8	63,7	23,5		2,5	2,0	
		133	0,5	2,9	73,0	20,6		0,5	1,0	1,5
		148			69,6	15,7		0,5	6,9	7,4
	0 dB/octave	118		6,9	88,2	3,9			1,0	
		133			94,1	3,9			2,0	
		148		0,5	89,2	4,4		0,5	3,9	1,5
	-6 dB/octave	118		1,0	96,6	1,0	0,5	0,5	0,5	
		133			95,6	2,9	0,5		1,0	
		148	0,5		92,6	2,5		0,5	2,9	1,0

/u/ sesinde hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri 0 dB/octave ve -6 dB/octave’da %86,3 ile %96,6 arasındaki değerlerdeyken +6 dB/octave’da hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri %63,7 ile %73 arasındaki değerlerdedir. /u/ sesindeki hedeflenmeyen ünlü algılanma yüzdelerinin +6 dB/octave’da arttığı ve bu artışın ayrımsal biçimde /u/ ve /i/ ünlüsünde daha çok olduğu görülmektedir. Spektral tilt

parametresinin artması sonucu /u/ ünlü sesinin yuvarlaklığının algılanmasının azaldığı ve ön ünlü olan /i/ ve /u/'ya göre daha önde üretilen /u/ üretimlerinin arttığı sonucu ortaya çıkmaktadır.

Tablo 4.10. Kısa (60 ms) ve uzun (200 ms) sentetik /u/ ünlüsünün farklı temel frekans (118 – 133 – 148 Hz) ve farklı spektral tilt (ST) değişim (+6 dB/octave, 0 dB/octave, -6 dB/octave) değerlerindeki hata matrisi; belirtilen ünlünün hangi oranda başka ünlü olarak algılandığını belirtir (%5'in altındaki değerler yer almamaktadır)

	ST	F0 (Hz)	<%10	<%20	<%30	<%40	<%50	<%60	<%70	<%85
60 ms	+6 dB/oct	118	y	u						
		133	i	u						
		148	y	u, i						
	0 dB/oct	118	u							
		133								
		148	u, y							
	-6 dB/oct	118								
		133	u							
		148	y							
200 ms	+6 dB/oct	118	o		u					
		133			u					
		148	y, i	u						
	0 dB/oct	118	o							
		133								
		148								
	-6 dB/oct	118								
		133								
		148								

Tablo 4.10'da görüldüğü gibi, /u/ sesinin %10 üzerindeki hedeflenmeyen ünlü olarak algılanması sadece düz-kapalı ünlü olan /u/ ve /i/ ünlülerinde, özellikle /u/'da yoğunlaşmıştır. %10 üzerindeki hedeflenmeyen ünlü olarak algılanmalara sadece +6 dB/octave'da rastlanmaktadır. Bu bulgu, spektral tilt parametresinin /u/ sesini doğru algılanmalarını anlamlı derecede etkilediği bulgusuyla tutarlıdır.

200 ms değerindeki /u/ sesinin hedeflenmeyen ünlü olarak algılanma yüzdeleri içinde olan /o/ sesi, 60 ms değerindeki /u/ seslerinde gözlenmemektedir.

4.7.4. /u/ ünlüsü için hata matrisleri

Tablo 4.11’de /u/ sesinin hata matrisi verilmiştir. /u/ sesinin /ʌ/, /o/, /ε/ ve /i/ hedeflenmeyen ünlü olarak algılanmaları düşük yüzdelerde olup /u/, /œ/, /y/ hedeflenmeyen ünlü algılanmaları daha yüksek yüzdelerdedir. /u/ sesinin, en yüksek hedeflenmeyen ünlü algılanma yüzdesi olan %72,1 ile /u/ sesi olarak algılandığı görülmektedir.

Tablo 4.11. Kısa (60 ms) ve uzun (200 ms) sentetik /u/ ünlüsünün farklı temel frekans (118 – 133 – 148 Hz) ve farklı spektral tilt değişim (+6 dB/octave, 0 dB/octave, -6 dB/octave) değerlerindeki hata matrisi (değerler % olarak verilmiştir; her sıradaki değerler toplamı %100’dür)

Spektral Tilt Değişimi		F0 (Hz)	ʌ	o	u	ʊ	ε	œ	y	i
Kısa 60 ms	+6 dB/octave	118	0,5	0,0	1,0	62,7	1,0	22,5	9,8	2,5
		133			0,5	59,8	2,5	35,3	1,5	0,5
		148			1,5	61,8		34,3	2,0	0,5
	0 dB/octave	118		0,5	18,6	63,7	1,0	7,4	8,3	0,5
		133		1,0	6,4	59,3	0,5	26,0	6,4	0,5
		148	0,5		6,4	74,5		8,8	7,8	2,0
	-6 dB/octave	118		0,5	72,1	24,0		0,5	2,0	1,0
		133		6,9	53,4	35,3		2,9	1,0	0,5
		148			58,8	36,8		1,0	2,9	0,5
Uzun 200 ms	+6 dB/octave	118			0,5	61,8	0,5	34,3	2,9	
		133				53,4		45,1	1,5	
		148		0,5	2,5	55,9		39,2	2,0	
	0 dB/octave	118		2,9	6,4	78,4		8,8	2,9	0,5
		133			3,9	69,6		24,5	1,5	0,5
		148			2,9	85,3	0,5	7,8	3,4	
	-6 dB/octave	118		2,5	71,6	24,0		0,0	1,5	0,5
		133		2,5	53,4	42,2	0,5		1,5	
		148			52,9	44,6			2,5	

/u/ ünlü sesinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri +6 dB/octave ve 0 dB/octave’da %53,4 ile %85,3 değerleri arasındayken -6 dB/octave’da %24,0 - %44,6 değerleri arasındadır. /u/ sesi, -6 dB/octave’da %52,9 - %72,1 aralığındaki gibi yüksek oranlarda /u/ sesi olarak algılanmıştır. /u/ sesi +6 dB/octave’da ayrımsal biçimde /œ/ veya /y/ ünlüleri olarak algılanmış, hatta /œ/ ünlüsü olarak algılanması %45,1 değerlerine kadar çıkmıştır. /u/ ünlü sesinin spektral tilt değeri azaldıkça kendisi gibi

arka ve kapalı ünlü olan /u/ sesi olarak algılanmasının spektral tilt değeri arttıkça ön ünlü olan /œ/ sesi olarak algılanmasının arttığı görülmektedir.

Tablo 4.12’de görüldüğü üzere +6 dB/octave ve -6 dB/octave değerlerindeki /u/ seslerinde göreceli yüksek hedeflenmeyen ünlü olarak algılanmalar bulunmuştur. Bu bulgu, spektral tilt parametresinin /u/ sesinin hedeflenen ünlü olarak algılanmalarını anlamlı derecede etkilediği bulgusuyla tutarlıdır.

Tablo 4.12. Kısa (60 ms) ve uzun (200 ms) sentetik /u/ ünlüsünün farklı temel frekans (118 – 133 – 148 Hz) ve farklı spektral tilt (ST) değişim (+6 dB/octave, 0 dB/octave, -6 dB/octave) değerlerindeki hata matrisi; belirtilen ünlünün hangi oranda başka ünlü olarak algılandığını belirtir (%5’in altındaki değerler yer almamaktadır)

	ST	F0 (Hz)	<%10	<%20	<%30	<%40	<%50	<%60	<%70	<%85
60 ms	+6 dB/oct	118	y		œ					
		133				œ				
		148				œ				
	0 dB/oct	118	œ, y	u						
		133	u, y		œ					
		148	u, œ, y							
	-6 dB/oct	118								u
		133	o					u		
		148						u		
200 ms	+6 dB/oct	118				œ				
		133					œ			
		148				œ				
	0 dB/oct	118	u, œ							
		133			œ					
		148	œ							
	-6 dB/oct	118								u
		133						u		
		148						u		

/u/ sesinin %10’un üzerindeki hedeflenmeyen ünlü algılanmalarını, /u/ ve /œ/ sesleri oluşturmaktadır. /u/ ve /œ/ hedeflenmeyen ünlü olarak algılanmaları birbirinden ayrılmış bir görüntüdedir. %10’un üzerindeki hedeflenmeyen ünlü olarak algılanmalar için /u/ algılanmaları sadece -6 dB/octave değerindeki grupta, /œ/ algılanmaları sadece 0

ve +6 dB/octave değerindeki /u/ sesleri gruplarındadır. +6 dB/octave grubundaki /œ/ hedeflenmeyen ünlü olarak algılanmaları, 0 dB/octave grubundakinden yüksektir. /u/ hedeflenmeyen ünlü olarak algılanmaları ise en yüksek değerlerdedir ve %70'in üzerine çıkabilmektedir.

4.7.5. /ε/ ünlüsü için hata matrisleri

/ε/ sesinin hata matrisi Tablo 4.13'te verilmiştir. /ε/ sesinin hedeflenmeyen ünlü olarak algılanmalarında /Λ/ ve /i/ ünlüleri düşük yüzdelerdedir. /ε/ sesinin hedeflenmeyen ünlü olarak algılanmalarında /o/, /u/, /u/, /œ/ ve /y/ ünlüleri çoğunluğu oluşturmaktadır. /ε/ sesinin en yüksek hedeflenmeyen ünlü olarak algılanma yüzdesi %42,2'dir ve /o/ sesi olarak algılandığı görölmektedir.

Tablo 4.13. Kısa (60 ms) ve uzun (200 ms) sentetik /ε/ ünlüsünün farklı temel frekans (118 – 133 – 148 Hz) ve farklı spektral tilt değişim (+6 dB/octave, 0 dB/octave, -6 dB/octave) değerlerindeki hata matrisi (değerler % olarak verilmiştir; her sıradaki değerler toplamı %100'dür)

Spektral Tilt Değişimi		F0 (Hz)	Λ	o	u	u	ε	œ	y	i
Kısa 60 ms	+6 dB/octave	118	0,5			1,0	95,1	2,9		0,5
		133				1,0	95,1	3,4		0,5
		148				4,4	81,9	6,9	5,4	1,5
	0 dB/octave	118		5,4	0,5	2,0	77,9	12,7	1,5	
		133				2,9	85,8	9,8	1,5	
		148		2,9	2,0	12,3	63,2	14,7	3,4	1,5
	-6 dB/octave	118	1,0	27,0	2,9	8,3	38,2	20,6	2,0	
		133	1,0	10,8	4,4	8,8	59,3	9,8	3,9	2,0
		148	1,0	17,6	14,2	23,5	21,1	17,2	4,4	1,0
Uzun 200 ms	+6 dB/octave	118				0,5	95,1	2,5	1,5	0,5
		133	0,5			0,5	95,1	2,0	2,0	
		148		0,5		2,9	78,9	11,8	5,4	0,5
	0 dB/octave	118	0,5	2,9	0,5	0,5	91,2	4,4		
		133	0,5	2,0		0,5	89,2	5,4	2,0	0,5
		148	0,5	0,5		8,8	74,5	10,8	4,9	
	-6 dB/octave	118		42,2	1,5	4,4	38,2	13,2	0,5	
		133		13,2	6,4	7,8	56,9	11,8	3,4	0,5
		148		19,1	10,3	27,5	28,9	10,8	3,4	

/ε/ ünlü sesinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri +6 dB/octave ve 0 dB/octave spektral tilt değişimlerinde %63,2 ile %95,1 arasındayken -6 dB/octave'da %21,1 ile %59,3 arasındadır. Spektral tilt değeri düştükçe /ε/ ünlü sesinin arka ünlüler olan /o/, /u/ ve /ʊ/ hedeflenmeyen sesleri olarak algılanmaları artmıştır; -6 dB/octave'da %10,8 - %42,2 oranlarında /o/ sesi; %1,5 - %14,2 oranlarında /u/ sesi; %4,4 - %27,5 oranlarında /ʊ/ sesi olarak algılanmıştır. /ε/ sesinin /o/ sesi olarak algılanmalarının oranları /u/ sesi olarak algılanma oranlarını geçebilmektedir; burada /ε/ sesi düz-kapalı-arka /u/ sesinden daha çok kendisi gibi kapalı olmayan ancak yuvarlak-arka /o/ sesine, dinleyiciler tarafından daha çok benzetilebilmektedir.

Tablo 4.14'teki hata matrisine göre /ε/ sesinin hedeflenmeyen ünlü olarak algılanmaları spektral tilt azaldıkça yükselmekte ve -6 dB/octave değerinde en yüksek değerleri görmektedir. Bu görünümle tutarlı olarak /ε/ sesinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerinin anlamlı derecede spektral tilt parametresinden etkilendiği bulunmuştur.

Tablo 4.14. Kısa (60 ms) ve uzun (200 ms) sentetik /ε/ ünlüsünün farklı temel frekans (118 – 133 – 148 Hz) ve farklı spektral tilt (ST) değişim (+6 dB/octave, 0 dB/octave, -6 dB/octave) değerlerindeki hata matrisi; belirtilen ünlünün hangi oranda başka ünlü olarak algılandığını belirtir (%5'in altındaki değerler yer almamaktadır)

	ST	F0 (Hz)	<%10	<%20	<%30	<%40	<%50	<%60	<%70	>%80
60 ms	+6 dB/oct	118								
		133								
		148	œ, y							
	0 dB/oct	118	o	œ						
		133	œ							
		148		u, œ						
	-6 dB/oct	118	u		o, œ					
		133	u, œ	o						
		148		o, u, œ	u					
200 ms	+6 dB/oct	118								
		133								
		148	y	œ						
	0 dB/oct	118								
		133	œ							
		148	u	œ						
	-6 dB/oct	118		œ			o			
		133	u, u	o, œ						
		148		o, u, œ	u					

133 Hz değerlerindeki /ε/ seslerinin hedeflenmeyen ünlü olarak algılanmaları da çoğunlukla daha düşük değerlerde izlenmektedir. Bu bulgu, temel frekans parametresinin, /ε/ sesinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerini anlamlı derecede etkiledi bulgusuyla tutarlıdır.

+6 dB/octave değerindeki /ε/ seslerinin %5'in üzerindeki hedeflenmeyen ünlü olarak algılanmalarında, kendisi gibi sadece ön ünlülere (/œ/ ve /y/) rastlanmaktadır. 0 ve -6 dB/octave değerindeki /ε/ seslerinin %5 üzerindeki hedeflenmeyen ünlü olarak algılanmalarında /œ/ sesinin yanında /o/, /u/, /u/ arka ünlüleri de görülmektedir.

4.7.6. /œ/ ünlüsü için hata matrisleri

Tablo 4.15'te görüldüğü gibi, /œ/ sesinin hedeflenmeyen ünlü olarak algılanmalarında /ʌ/, /ɛ/, /y/ ve /i/ ünlüleri düşük yüzdelerde olup hepsi arka ünlü olan /o, /u/, /ʊ/ olarak algılanmalarının daha yüksek yüzdelerde olduğu görülmektedir. /œ/ sesinin en yüksek hedeflenmeyen ünlü olarak algılanma yüzdesi %84,3'tür ve /œ/ sesi /o/ sesi olarak algılanmıştır.

Tablo 4.15. Kısa (60 ms) ve uzun (200 ms) sentetik /œ/ ünlüsünün farklı temel frekans (118 – 133 – 148 Hz) ve farklı spektral tilt değişim (+6 dB/octave, 0 dB/octave, -6 dB/octave) değerlerindeki hata matrisi (değerler % olarak verilmiştir; her sıradaki değerler toplamı %100'dür)

Spektral Tilt Değişimi		F0 (Hz)	ʌ	o	u	ʊ	ɛ	œ	y	i
Kısa 60 ms	+6 dB/octave	118		1,5	0,5	7,4	6,9	83,8		
		133	3,4	0,5	0,5	6,4	3,9	84,3	1,0	
		148		0,5		21,1	1,0	74,5	2,5	0,5
	0 dB/octave	118	1,0	36,3	1,0	10,3	8,3	43,1		
		133	7,8	18,1	2,9	7,8	7,8	54,9		0,5
		148	0,5	14,2	4,4	26,5	4,4	48,0	2,0	
	-6 dB/octave	118	0,5	73,0	3,4	9,8	2,0	10,8		0,5
		133	6,4	47,5	11,8	9,3	3,4	21,1	0,5	
		148		46,1	28,9	17,2	1,0	4,9	2,0	
Uzun 200 ms	+6 dB/octave	118	0,5			1,5	0,5	97,5		
		133		0,5	0,5	2,0	1,0	96,1		
		148				10,8	0,5	87,7	0,5	0,5
	0 dB/octave	118		16,2		1,5	2,9	79,4		
		133	1,5	3,9	0,5	3,9	1,5	87,7	1,0	
		148		1,0	0,5	16,7		79,9	1,5	0,5
	-6 dB/octave	118		84,3	2,0	2,9	1,0	9,3		0,5
		133	1,5	53,9	3,9	8,8	3,9	27,5	0,5	
		148		50,0	27,5	16,7	0,5	4,9	0,5	

/œ/ sesinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri spektral tilt değeri düştükçe azalmaktadır; +6 dB/octave spektral tilt değişimlerinde %74,5 - %97,5 0 dB/octave spektral tilt değişimlerinde %48,0 - %87,7 aralığındayken -6 dB/octave spektral tilt değişiminde %4,9 - %27,5 değerlerine düşmektedir. /œ/ sesinin /o/ ve /u/ hedeflenmeyen sesleri olarak algılanmaları -6 dB/octave'da artarken /ʊ/ olarak algılanmalarına her spektral tilt değerinde rastlanmakta ve spektral tilt değişimine göre

bir farklılık göstermemektedir. /œ/ sesi -6 dB/octave'da %46,1 - %84,3 aralığında /o/ sesi ve %2,0 - %28,9 aralığında /u/ sesi olarak algılanmıştır. Spektral tilt azaldıkça /œ/ sesini algılanmaları arka ünlü /o/ sesine kaymaktadır.

Tablo 4.16'da görüldüğü üzere /œ/ sesinin hedeflenmeyen ünlü olarak algılanma yüzdelерinin -6 dB/octave parametre değerlerinde yüksek olduğu görülmektedir. Bu bulgu, spektral tilt parametresinin /œ/ sesinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelерini anlamlı derecede etkilemesiyle tutarlıdır.

Tablo 4.16. Kısa (60 ms) ve uzun (200 ms) sentetik /œ/ ünlüsünün farklı temel frekans (118 – 133 – 148 Hz) ve farklı spektral tilt (ST) değişim (+6 dB/octave, 0 dB/octave, -6 dB/octave) değerlerindeki hata matrisi; belirtilen ünlünün hangi oranda başka ünlü olarak algılandığını belirtir (%5'in altındaki değerler yer almamaktadır)

	ST	F0 (Hz)	<%10	<%20	<%30	<%40	<%50	<%60	<%70	<%85
60 ms	+6 dB/oct	118	u, ε							
		133	u							
		148			u					
	0 dB/oct	118	ε	u		o				
		133	Λ, u, ε	o						
		148		o	u					
	-6 dB/oct	118	u							o
		133	Λ, u	u			o			
		148		u	u		o			
200 ms	+6 dB/oct	118								
		133								
		148		u						
	0 dB/oct	118		o						
		133								
		148		u						
	-6 dB/oct	118								o
		133						o		
		148		u	u			o		

133 Hz parametre değerindeki /œ/ seslerinin hedeflenmeyen ünlü olarak algılanma yüzdeleri daha düşük olarak izlenmektedir. Bu bulgu da temel frekansın /œ/

sesinin hedeflenen ünlü olarak algılanmalarını anlamlı derecede etkilediği bulgusuyla tutarlıdır.

Hata matrisinde, /œ/ sesinin %10'un üzerindeki hedeflenmeyen ünlü olarak algılanmalarına bakıldığında sadece /o/, /u/ ve /ʊ/ arka ünlülerinin bulunduğu, ön ünlülerin yer almadığı görülmektedir. -6 dB/octave parametre değerindeki /œ/ sesleri, yüksek yüzdelerde yine yuvarlak ancak arka ünlü olan /o/ sesi olarak algılanmaktadır. /o/ sesi olarak algılanma yüzdeleri %70 üzerine çıkmaktadır.

4.7.7. /y/ ünlüsü için hata matrisleri

Tablo 4.17'de görüldüğü üzere, /y/ sesinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri genel olarak çok yüksek değildir. /y/ sesinin hedeflenmeyen ünlü olarak algılanma yüzdelerine bakıldığında /ʌ/ ve /o/ arka-kapalı olmayan ünlüler olarak algılanma yüzdeleri çok düşük olup /u/, /ʊ/, /ɛ/, /œ/ ve /i/ ünlüleri olarak algılanma yüzdeleri daha yüksektir. /y/ sesinin en yüksek hedeflenmeyen ünlü olarak algılanma oranı %49,5'tir ve /u/ ünlüsü olarak algılanmıştır.

Tablo 4.17. Kısa (60 ms) ve uzun (200 ms) sentetik /y/ ünlüsünün farklı temel frekans (118 – 133 – 148 Hz) ve farklı spektral tilt değişim (+6 dB/octave, 0 dB/octave, -6 dB/octave) değerlerindeki hata matrisi (değerler % olarak verilmiştir; her sıradaki değerler toplamı %100'dür)

Spektral Tilt Değişimi		F0 (Hz)	Λ	o	u	u	ε	æ	y	i
Kısa 60 ms	+6 dB/octave	118				11,8	13,2	5,9	57,8	11,3
		133			1,0	8,8	21,1	18,1	47,5	3,4
		148			0,5	3,9	0,5	1,0	88,2	5,9
	0 dB/octave	118			4,4	14,2	5,9	3,9	45,6	26,0
		133			0,5	16,2	18,1	5,9	53,4	5,9
		148				6,9	0,5	0,5	73,0	19,1
	-6 dB/octave	118		0,5	49,5	21,6		0,5	26,0	2,0
		133	0,5		18,6	13,7	1,0	1,0	63,2	2,0
		148			33,3	9,8			54,9	2,0
Uzun 200 ms	+6 dB/octave	118				6,9	6,4	8,3	75,5	2,9
		133				6,9	11,8	27,5	53,9	
		148	0,5			2,5	1,0	1,5	94,1	0,5
	0 dB/octave	118	0,5		1,5	12,3	6,4	5,9	64,2	9,3
		133			1,0	10,3	6,9	12,3	68,1	1,5
		148				2,9	0,5		91,2	5,4
	-6 dB/octave	118		1,0	49,5	23,0		1,0	24,5	1,0
		133			17,2	10,3		2,0	68,6	2,0
		148			38,7	9,3	0,5		48,0	3,4

Tablo 4.18'de /y/ sesinin hata matrisine bakıldığında, -6 dB/octave parametre değerindeki /y/ seslerinin sadece arka ünlüler (/u/ ve /u/) olarak algılandığı görülmektedir.

Tablo 4.18. Kısa (60 ms) ve uzun (200 ms) sentetik /y/ ünlüsünün farklı temel frekans (118 – 133 – 148 Hz) ve farklı spektral tilt (ST) değişim (+6 dB/octave, 0 dB/octave, -6 dB/octave) değerlerindeki hata matrisi; belirtilen ünlünün hangi oranda başka ünlü olarak algılandığını belirtir (%5'in altındaki değerler yer almamaktadır)

	ST	F0 (Hz)	<%10	<%20	<%30	<%40	<%50	<%60	<%70	<%85
60 ms	+6 dB/oct	118	œ	u, ε, i						
		133	u	œ	ε					
		148	i							
	0 dB/oct	118	ε	u	i					
		133	œ, i	u, ε						
		148	u	i						
	-6 dB/oct	118			u		u			
		133		u, u						
		148	u			u				
200 ms	+6 dB/oct	118	u, ε, œ							
		133	u	ε	œ					
		148								
	0 dB/oct	118	ε, œ, i	u						
		133	ε	u, œ						
		148	i							
	-6 dB/oct	118			u		u			
		133		u, u						
		148	u			u				

4.7.8. /i/ ünlüsü için hata matrisleri

/i/ sesinin hata matrisi Tablo 4.19'da verilmiştir. Tabloda /i/ sesinin hedeflenmeyen ünlü olarak algılanmalarının çoğunlukla /u/, /u/ ve /y/ kapalı ünlüleri arasında olduğu görülmektedir. Sentetik /i/ sesinin en yüksek hedeflenmeyen ünlü olarak algılanma oranı %22,5'tir ve /u/ ünlüsü olarak algılanmıştır.

Tablo 4.19. Kısa (60 ms) ve uzun (200 ms) sentetik /i/ ünlüsünün farklı temel frekans (118 – 133 – 148 Hz) ve farklı spektral tilt değişim (+6 dB/octave, 0 dB/octave, -6 dB/octave) değerlerindeki hata matrisi (değerler % olarak verilmiştir; her sıradaki değerler toplamı %100'dür)

Spektral Tilt Değişimi		F0 (Hz)	Λ	o	u	uu	ε	æ	y	i
Kısa 60 ms	+6 dB/octave	118	0,5		0,5	0,5				98,5
		133	0,5			1,0			0,5	98,0
		148	0,5			1,5				98,0
	0 dB/octave	118				1,0			0,5	98,5
		133	0,5	0,5		0,5				98,5
		148			0,5	1,5		0,5	1,5	96,1
	-6 dB/octave	118			1,5	2,5			1,5	94,6
		133			8,8	3,4		0,5	2,5	84,8
		148			19,6	11,3		0,5	4,9	63,7
Uzun 200 ms	+6 dB/octave	118			1,0		0,5	0,5	0,5	97,5
		133							0,5	99,5
		148							0,5	99,5
	0 dB/octave	118					0,5		1,5	98,0
		133			0,5				1,0	98,5
		148			1,0			0,5	0,5	98,0
	-6 dB/octave	118			4,9	2,5			0,5	92,2
		133			13,2	7,4		0,5	2,0	77,0
		148	1,0		22,5	17,2			3,4	55,9

/i/ ünlüsünün hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri -6 dB/octave spektral tilt değişiminde en düşük yüzdelerdedir ve /u/ ile /uu/ ünlüleri olarak algılanmıştır. /u/ olarak hedeflenmeyen algılanmalar %22,5 oranlarına ve /uu/ olarak hedeflenmeyen algılanmalar %17,2 oranlarına çıkmaktadır.

Tablo 4.20'de, /i/ sesinin hedeflenmeyen ünlü olarak algılanmalarının sadece -6 dB/octave değerindeki /i/ seslerinde olduğu görülmektedir. Bu, spektral tilt parametresinin /i/ sesinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerini anlamlı derecede etkilediği bulgusuyla tutarlıdır.

Tablo 4.20. Kısa (60 ms) ve uzun (200 ms) sentetik /i/ ünlüsünün farklı temel frekans (118 – 133 – 148 Hz) ve farklı spektral tilt (ST) değişim (+6 dB/octave, 0 dB/octave, -6 dB/octave) değerlerindeki hata matrisi; belirtilen ünlünün hangi oranda başka ünlü olarak algılandığını belirtir (%5'in altındaki değerler yer almamaktadır)

	ST	F0 (Hz)	<%10	<%20	<%30	<%40	<%50	<%60	<%70	>%80
60 ms	+6 dB/oct	118								
		133								
		148								
	0 dB/oct	118								
		133								
		148								
	-6 dB/oct	118								
		133	u							
		148		u, ʊ						
200 ms	+6 dB/oct	118								
		133								
		148								
	0 dB/oct	118								
		133								
		148								
	-6 dB/oct	118								
		133	ʊ	u						
		148		ʊ	u					

Tablo 4.20’de /i/ sesinin hedeflenmeyen ünlü olarak algılanmalarında sadece arka ünlüler, /u/ ve /ʊ/, olarak algılandığı görülmekte ve yuvarlak-arka ünlü /u/ sesi olarak algılanma yüzdesinin %20-30 değerlerine çıktığı gözlenmektedir. -6 dB/octave değerindeki /i/ seslerinde temel frekans artışıyla birlikte hedeflenmeyen ünlü olarak algılanma yüzdeleri artmaktadır.

4.8. Bulguların Özeti

Algı deneyinden elde edilen verilerin analizi soncunda, sentetik ünlülerin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzde dağılımlarının süre, temel frekans ve spektral tilt parametrelerine göre farklılık gösterdiği ve her bir parametrenin ünlülerin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdesini anlamlı derecede etkilediği

bulgulanmıştır. Parametreler arasında ise anlamlı bir etkileşime rastlanmamıştır. Parametrelerin her bir ünlü sesin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri üzerindeki etkisi ayrı ayrı değerlendirildiğinde, ünlüler arasında farklılıklar olduğu görülmektedir. Süre parametresi sadece /o/ ünlüsünün, temel frekans /o/, /ε/, /œ/ ünlülerinin, spektral tilt /ʌ/, /u/, /ʊ/, /ε/, /œ/, /i/ ünlülerinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerini anlamlı derecede değiştirmiştir. Her bir ünlünün hedeflenen ünlü olarak ve hedeflenmeyen ünlü olarak algılanmalarının yer aldığı hata matrisleri incelendiğinde parametrelerin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri yanında hedeflenmeyen ünlü olarak algılanma yüzdeleri üzerinde de etkilerinin olduğu gözlenmektedir. /ʌ/ ünlüsünün algılanma yüzdeleri genellikle yüksektir ve spektral tilt etkisiyle /o/ ve /u/ algılanmalarına rastlanmıştır. /o/ ünlüsünün hedeflenen ünlü olarak algılanmaları 200 ms’de her zaman 60 ms’den daha düşüktür ve temel frekans yükseldikçe /u/ ve /ʊ/ algılanmaları artmaktadır. /u/ ünlüsünün +6 dB/octave değerinde yüksek frekansları güçlendikçe özellikle /ʊ/ algılanmaları artmıştır ve diğer spektral tilt değerlerinde hedeflenen ünlü olarak algılanmaları yüksektir. /ʊ/ ünlüsünün algılanmaları genellikle düşüktür ve +6 dB/octave’da /œ/, -6 dB/octave’da /u/ algılanmaları artmıştır. -6 dB/octave’da veya 148 Hz’te /ε/ ünlüsünün algılanmaları düşmektedir ve /o/, /u/, /ʊ/, /ε/ algılanmaları artmaktadır. /œ/ ünlüsünün algılanmaları -6 dB/octave’a doğru azalmaktadır ve düşük temel frekansa doğru /o/ yüksek temel frekansa doğru /u/ ve /ʊ/ algılanmaları artmaktadır. /y/ sesinin algılanmaları karmaşık bir örüntü sergilemektedir; -6 dB/octave’da /u/, +6 dB/octave’da /ε/ ve /œ/ algılanmaları, 118 Hz’te de /u/ ve /ʊ/ algılanmaları artmaktadır. /i/ ünlüsünün algılanmaları her durumda yüksektir; sadece -6 dB/octave’da /u/ ve /ʊ/ algılanmaları temel frekansa bağlı olarak artmaktadır.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

5.1. Tartışma

Bu çalışmada üç farklı parametre değiştirilerek sentetik ünlüler üretilmiş ve üç parametrenin ünlülerin hedeflenen ünlü olarak algılanmalarında etkili olduğu bulunmuştur. Ancak parametreler arasında anlamlı bir etkileşim bulunmamıştır. Her bir ünlünün hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri ayrı ayrı incelendiğinde üç parametrenin farklı ünlüleri farklı şekilde etkilediği görülmüştür. Bu nedenle, üç parametrenin ünlülerin algılanmasında etkileri parametre bağlamında tartışılmıştır.

5.1.1. Süre

Süre parametresinin ünlü seslerin algılanmasını etkilediğinin geçmiş çalışmalarda gösterilmiş olması, başlıca araştırılma nedenlerinden birisi olmuştur. Her ünlü ses için 60 ms ve 200 ms uzunluğundaki izole sentetik ünlülerin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri karşılaştırıldığında 200 ms uzunluğundaki ünlülerin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerinin anlamlı derecede yüksek olduğu bulunmuştur ($p < 0,001$). 60 ms uzunluğundaki sentetik ünlülerin algılanmasında daha yüksek oranda hedeflenmeyen ünlü olarak algılanmalar görülmüştür. 60 ms süre değerindeki ünlülerin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerinin ortalaması ve medyan değeri sırasıyla %71,7 ve %76, 200 ms'deki ünlüler için %77,9 ve %88,7'dir. Yüzde değerleri normal dağılım göstermediğinden medyan değerleri gruplar arasındaki farkları görmeye daha iyi bir temsil sunmaktadır ve buna göre gruplar arasında yaklaşık %12,7'lik bir fark bulunmaktadır.

Süre, Türkçedeki ünlülerin algılanmasında ayırt edici bir özellik değildir. Bir kelimedeki ünlü sesin süresinin değişmesi sonucunda o kelime farklı bir kelime olarak algılanmamaktadır. Ancak bu çalışmadaki bulgular, süre parametresinin ünlülerin algılanmasında rolü olabileceğine işaret etmektedir. Farklı dillerde sentetik ünlülerle yapılan algı çalışmaları, sürenin algılamayı etkilediğini göstermektedir. Ainsworth'ün (1981) İngiliz İngilizcesi üzerinde yaptığı çalışmasında 500 ms uzunluğundaki sentetik ünlülerin 50 ms uzunluğundaki sentetik ünlülerden daha yüksek skorlarda algılandığını bulmuştur.

Bu çalışmada ünlü sesin süresinin algılanmalarını etkilediği bulunmuştur. Sürenin Türkçe ünlülerin algılanmasını neden ve nasıl etkilediğinin açıklanması gerekmektedir.

Bu çalışmadaki kısa sentetik ünlü seslerin süre değeri 60 ms'dir. Bu kısa izole sentetik ünlü seslerin ilk 10 ms ve son 10 ms bölgeleri, ses şiddetinin aşamalı olarak arttırıldığı ve aşamalı olarak azaltıldığı bölgelerdir. Bu nedenle gerçekte bu sentetik ünlü seslerin süre değeri 60 ms'den daha kısadır. İzole ünlülerin bu kadar kısa sürelerde olması, algılanmalarını zorlaştırmış ve hedeflenmeyen ünlü olarak algılamaları arttırmış olabilir. Türkçedeki doğal ünlüleri inceleyen çalışmalarda farklı ortamlardaki kapalı olmayan doğal ünlü sesler için ölçülen ortalama süre değerleri 60 ms üzerindedir (Şayli, 2002; Şayli, Arslan ve Özsoy, 2002; Şayli ve Arslan, 2003; Arısoy vd., 2004; Aydın, Kayıkçı ve Süslü, 2019). Farklı ortamlarda kapalı ünlü sesler için ölçülen ortalama süre değerlerinin ise 60 ms'den daha kısa, daha uzun veya 60 ms civarında olduğu aynı çalışmalar sonucunda gösterilmiştir. Sonuç olarak bu çalışmada bazı seslerin hedeflenen ünlü olarak algılanmaları için 60 ms süre değerinin yetersiz olması nedeniyle hedeflenmeyen ünlü olarak algılanmalar artmış olabilir. Bu durumla paralel biçimde Strange, Jenkins ve Johnson (1983), doğal ünlü seslerin ortasındaki sabit durum frekans bölgesini 58 ms değerine eşitlediklerinde, normalde uzun süreye sahip ünlülerin hedeflenmeyen ünlü olarak algılanmalarının kısa süreye sahip ünlülere göre daha çok arttığını göstermişlerdir.

Sürenin ünlü seslerin algısını etkilediğinin bu çalışmada da görülmesinin yanında nasıl etkilediğine bakıldığında, kategorik algılama gibi farklı bir algılama biçiminin rolü olabilir. 200 ms uzunluğundaki ünlülerin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerinin 60 ms uzunluğundaki hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerinden daha yüksek oranda olmasında süre farkından dolayı kategorik algılama biçimlerinin farklılaşması, sonuçları etkilemiş olabilir. Pisoni (1975) çalışmasında 50 ms ve 300 ms uzunluğundaki ünlülerin algılanmalarında dinleyicilerin ayırt etme becerilerine bakmıştır ve süre faktörünün ünlülerin kategorik algılama oluşturmada çok az da olsa bir etkisinin olduğunu göstermiştir. Kısa süreli ünlüler az da olsa kategorik algılama oluşumuna katkı sağlamıştır ve buradaki gibi algılama biçimindeki farklılaşmanın da etkisi, sonuçlarda yer almış olabilir.

Süre parametresinin ünlülerin algılanmasını nasıl etkilediğinin çözümlenmesinde, bu çalışmada 60 ms süre değerinin kullanılmasından dolayı algılanan uyaran şiddetlerinin de etkisinin olduğu düşünülmektedir. Çünkü süre parametresinin ünlülerin algılanmalarına olan etki mekanizmalarından biri de sesin algılanan şiddeti üzerinden olmaktadır. 100 ms'den daha uzun süredeki seslerin şiddetinin algılanmasında sürenin

büyük bir etki göstermediği ancak 100 ms'den daha kısa süreli seslerde sürenin, sesin algılanan şiddetini etkilediği görülmüştür (Green, Mason ve Kidd, 1984). Bu çalışmada 60 ms ve 200 ms süre değerindeki uyaranların ses şiddetleri 78 dB'e eşitlense de 60 ms'deki uyaranlar 100 ms'den kısa olduğu için algılanan ses şiddetleri 200 ms'deki uyaranlardan daha düşüktür. Ünlülerin benzeri ortamlarda farklı genlik (amplitude) değerlerine sahip olabildiği gösterilmiş (Lehiste ve Peterson, 1959) olmasının yanında ünlü uyaranlarının hangi şiddette dinleyicilere sunulduğu da ünlü algılanmalarını etkilemektedir (Molis ve Leek, 2011). Bu durumda, 60 ms ve 200 ms sürelerindeki ünlülerin algılanan şiddetlerinin farklı olması, hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri arasındaki farkların oluşmasına etki etmiş olabilir.

Farklı ünlü sesler bazında bakıldığında, süre parametresinin, izole sentetik /o/ sesinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerini anlamlı derecede etkilediği gözlenmiştir ($p < 0,01$). 200 ms süre değerindeki /o/ seslerinin, diğer parametrelerin tüm değişimlerinde de hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri daha yüksektir. /o/ sesinin 60 ms ve 200 ms'deki hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerinin ortalamaları sırasıyla %77,5 ve %94,4; medyan değerleri de sırasıyla %77,5 ve % 94,6'dır. Ortalama ve medyan değerleri arasındaki farklar da, sürenin /o/ sesine anlamlı etkisine işaret etmektedir. /œ/ sesinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri 200 ms süre değerinde, 60 ms değerinden daha yüksek olarak gözlenirse de istatistiki olarak anlamlılık derecesine ulaşmamıştır ($p = 0,07$). Kılıç vd. (2006) /o/ ve /œ/ ünlülerinin kısa süre değerlerindeki algılanmalarının daha yüksek süre değerlerine göre daha düşük olduğunu belirtmektedirler. Diğer ünlülerden farklı olarak /o/ ve /œ/ ünlülerinin normal işiten bireylerde gözlenen bu ayrımsal algılanma durumu, bu çalışmanın bulgularıyla paralellik göstermektedir.

Bu çalışmada sadece /o/ kapalı olmayan ünlüsünün 200 ms'de daha yüksek oranda hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri olduğu bulunmasına rağmen diğer kapalı olmayan ünlüler olan /ʌ/, /œ/, /ɛ/ ünlü seslerinde 200 ms ve 60 ms süre değerleri arasında anlamlı bir fark gözlenmemiştir. Bu durumun oluşmasında hangi faktörlerin etkili olabileceğine bakılmıştır. Öncelikle /ʌ/ sesinin 60 ms ve 200 ms'de hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri ortalamaları sırasıyla %95,9 ve %95,5, medyan değerleri her ikisi için de %98,5'tir. /ʌ/ sesinin iki süre değerinde de hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerinin oldukça yüksek ve benzer olması, anlamlı bir fark oluşmasını engellemiştir. /œ/ sesinin 60 ms ve 200 ms sürelerindeki hedeflenen ünlü

olarak algılanma yüzde ortalamaları sırasıyla %47,3 ve %63,3; medyan değerleri de sırasıyla %48,0 ve %79,9'dur. /œ/ sesinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri ortalama ve medyan değerleri arasında büyük farklar olmasına rağmen anlamlı fark olmamasında değerlerin normal dağılım göstermemesi yatmaktadır. Hata matrisine bakıldığında 200 ms'deki /œ/ sesinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerinin büyük çoğunluğunun 60 ms'den daha yüksek olduğu ve sürenin anlamlı olmasa da /œ/ sesi üzerinde etkili olduğu görülmektedir. /ε/ sesinin 60 ms ve 200 ms'deki hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzde ortalamaları sırasıyla 68,6 ve 72,0, medyan değerleri sırasıyla 77,9 ve 78,9'dur. /ε/ sesinin birbirine yakın hedeflenen ünlü olarak algılanma ortalama, medyan değerleri ve hata matrisindeki bulgular süre parametresinden etkilenmediğini göstermektedir.

Kapalı olmayan ünlülerin süre değerlerinin daha uzun olabileceği ve bunun da sesletim sürecinin bir faktörü olduğu bilinmektedir (Hause, 1961). Bu bilgidен yola çıkarak kapalı olmayan ünlü seslerin göreceli kısa sürelerde hedeflenmeyen ünlü olarak algılanmalarının yüksek olabileceği düşünülebilir. /o/ sesinin 60 ms ve 200 ms'de arasındaki anlamlı farkları ve /œ/ sesinin verileri bu görüşü desteklemektedir. Ayrıca ünlü seslerin hata matrislerine bakıldığında 60 ms'deki /o/ seslerinin; 200 ms'den daha yüksek oranda /u/ ve /u/ kapalı ünlü sesleri olarak algılanabildiği gözlenmiştir. 60 ms'deki hedeflenmeyen ünlü olarak algılanmalarda kapalı ünlülerin ağırlıkta olmasında da süre etkisi düşünülebilir. Ayrıca 200 ms'deki kapalı /u/ sesinin 60 ms'deki /u/ sesine göre daha yüksek oranda /o/ sesi olarak algılanmasının nedenlerinden biri süre etkisi olabilir.

Kapalı olmayan ünlü seslerin göreceli kısa sürelerde hedeflenmeyen ünlü olarak algılanmalarının yüksek olabileceği görüşü paralelinde kapalı ünlülerde de süre etkisinin çok daha az olabileceği düşünülebilir. Çalışma bulguları da bu görüşü desteklemektedir; kapalı ünlüler olan /u/, /u/, /y/, /i/ seslerinin hiçbirinde sürenin anlamlı bir etkisi bulunmamıştır.

Ainsworth (1981), süre etkisi bağlamında fonetik olarak kısa ünlülerin 500 ms'de uzun ünlü olarak ve fonetik olarak uzun ünlülerin 50 ms'de kısa ünlü olarak algılanma eğilimleri olduğunu ve hedeflenmeyen ünlü olarak algılanmanın F1xF2 düzlemindeki tense-lax bağlamında birbirine çok yakın komşu ünlü ses olduğunu bulgulamıştır. Bu durum, Bennet'in (1968) çalışması sonucunda öne sürdüğü süre parametresinin ünlüleri ayırt etmedeki öneminin (duration cue) ünlü kaliteleri birbirine yaklaştıkça arttığı

biçimindeki yorumuyla da tutarlılık göstermektedir. Ancak Türkçedeki ünlülerin fonetik ve fonolojik özellikleri farklılık göstermektedir ve tense-lax bağlamında F1xF2 düzleminde birbirine görece çok yakın ünlüler bulunmamaktadır. Buna rağmen 60 ms'deki /o/ seslerinin ayrımsal biçimde 200 ms'den daha yüksek oranda /u/ ve /uu/ ünlü sesleri olarak algılanması, 200 ms'deki /u/ seslerinin de ayrımsal biçimde 60 ms'den daha yüksek oranda /o/ sesi olarak algılanması, /o/, /u/ ve /uu/ seslerinin fonetik yakınlığıyla (ünlü kalitesi bakımından) ilişkilendirilebilir. Türkçe ünlüler için sürenin etkisini gösterdiği /o/, /u/ ve /uu/ seslerinin göreceli olarak diğer ünlülere göre birbirine yakınlığı ve komşuluğu, Ainsworth (1981) ile Bennet'in (1968) çalışma sonuçlarıyla paralellik göstermektedir.

5.1.2. Temel frekans

Bulgulara göre 133 Hz'teki hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerinin ortalama ve medyan değerleri sırasıyla %77 ve %85,3; 118 Hz'te ise %74,5 ve %85,8'dir. 148 Hz'teki hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerinin ortalama ve medyan değerleri ise diğer temel frekanslardan daha düşüktür ve sırasıyla %72,9 ve %79,4'tür.

Bu çalışmanın bulguları temel frekanstaki değişimlerin Türkçedeki ünlü seslerin algılanmalarını etkilediğini göstermektedir. Temel frekans 118 Hz, 133 Hz ve 148 Hz değerlerinde değiştirildiğinde üç grup arasında anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir ($p < 0,01$). Gruplar kendi aralarında karşılaştırıldığında ise 133 Hz ve 148 Hz'teki ünlü seslerin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri arasında anlamlı derecede bir fark olduğu ($p < 0,01$), 148 Hz temel frekansındaki sentetik ünlülerin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerinin daha düşük olduğu bulgulanmıştır. 118 Hz ve 148 Hz temel frekansındaki ünlülerin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri arasındaki fark anlamlı olmamakla birlikte ($p = 0,123$) 148 Hz'teki hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerinin 118 Hz'e göre daha düşük olduğu görülmektedir.

133 Hz değerinde ünlü seslerin algılanma yüzdelerinin genel olarak yüksek izlenmesinde, bu temel frekans değerinin ünlülerin çoğunluğu için daha 'uygun' olması durumu etkin olabilir. 133 Hz temel frekans değeri, ünlü seslerin sentezlenmesinde kullanılan akustik analizlerin yapıldığı konuşucunun, ortalama konuşma temel frekansıdır. Konuşucunun ürettiği ünlülerin büyük kısmı da bu temel frekansa yakın değerlerdedir. Yine aynı konuşucudan ünlü seslerin sentezlenmesi için ölçülen formant

frekans değerleriyle, 133 Hz olarak ölçülen konuşucunun konuşma temel frekans değeri bir uyum içerisinde olduğu düşünülebilir. Bilindiği gibi, formant frekans değerleri konuşucunun ses üretim düzeneğinden kaynaklanırken temel frekans değeri de yine aynı konuşucunun fonasyon mekanizmasından kaynaklanmaktadır. Dinleyicilerin formant frekans değerleriyle temel frekans değerleri arasındaki uyumu ayırt ve tercih ettiğini, Assmann ve Nearey (2007) sentetik ünlülerle yaptığı algı çalışmasında göstermiştir.

Bu çalışmada, 118 Hz ve 133 Hz temel frekans değerlerindeki sentetik ünlü seslerin genel olarak hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri görece yüksekken 148 Hz’te hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri daha düşüktür. Bu genel bulgunun nedeni, yüksek temel frekansta harmoniklerin arasındaki uzaklığın artmasına bağlı olarak spektral çözünürlüğün düşmesi ve bunun da yapılan hataların artması ile sonuçlanmış olması olabilir. Ryalls ve Lieberman (1982), Peterson ve Barney’in (1952) çalışmalarında elde ettikleri formant frekans değerlerini kullanarak 100 Hz, 135 Hz ve 250 Hz değerlerinde ünlü sesler sentezlemişler ve 100 Hz ile 135 Hz temel frekans değerlerinde ünlü tanımlarının daha yüksek olduğunu bulmuşlardır. En yüksek tanıma oranlarının ise 135 Hz temel frekans değerinde olduğunu belirlemişlerdir. Her ne kadar kullanılan bu formant frekans değerleri arasındaki farklar bu çalışmada kullanılan formant frekans değerleri arasındaki farklardan daha büyük ölçekte olsa da iki çalışmanın sonuçları paralellik göstermektedir.

Temel frekans parametresindeki değişimlerin etkilerine ünlüler bazında bakıldığında, /o/ ($p < 0,01$), /ε/ ($p < 0,01$) ve /œ/ ($p < 0,05$) sentetik ünlü seslerinin algılanmalarında anlamlı derecede fark olduğu görülmektedir. /u/ ($p = 0,069$) ve /y/ ($p = 0,069$) ünlü seslerinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerinde temel frekans değişiminin etkisiyle farklar oluştuğu gözlenirse de anlamlılık düzeyine ulaşmamıştır.

/o/, /ε/ ve /œ/ ünlülerinin 118 – 133 – 148 Hz temel frekans değerlerindeki hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerinin medyan değerleri sırasıyla /o/ sesi için %92,4 – %89,7 – %80,4; /ε/ sesi için %84,6 – %87,5 – %68,9; /œ/ sesi için %61,3 – %69,9 – %61,3’tür. Daha düşük temel frekansların, kapalı olmayan ünlülerin algılanmalarının lehine bir etkisi olduğu görülmektedir.

Bu çalışmanın bulguları temel frekans değişiminin, tümü kapalı olmayan ünlüler olan sentetik /o/, /ε/ ve /œ/ ünlü seslerinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerini anlamlı derecede etkilediğini göstermiştir. Kapalı olmayan ünlülerin temel frekansının

kapalı ünlülerden daha düşük değerlerde olma eğiliminin, gözlenen bu durumda etkili olduğu düşünülmektedir. Doğal kapalı olmayan ünlülerin kapalı ünlülerden daha düşük temel frekansta üretilme eğilimleri olduğu (Shadle, 1985) hatta bu özelliğin pek çok dilin ortak özelliği olduğu gözlenmiştir (Whalen ve Levitt, 1995). Benzer biçimde, Türkçedeki ünlü sesler için ölçülen temel frekans değerlerinin kapalı ünlüler için genelde daha yüksek değerlerde olduğu gözlenmektedir (bkz. Tablo 2.5).

Kapalı ünlüler olan /u/, /ʊ/, /y/, /i/ seslerinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerinde temel frekans değişiminin etkisi görülmezken kapalı olmayan ünlüler olan /o/, /ɛ/, /œ/ ünlü seslerinde temel frekans etkisinin görülmesinin bir açıklaması da kapalı ünlülerde birinci formantın daha düşük değerlerde olması ve temel frekansla etkileşime girmesi; kapalı olmayan ünlülerde ise birinci formantın daha yüksek frekansta olması ve temel frekansla etkileşime girmemesi olarak açıklanabilir. Chistovich ve Lublinskaya (1979)'nın çalışmasına göre iki formant arasında 3,0-3,5 bark (300 – 400 Hz) değerinden daha kısa bir mesafe varsa bu iki formant birleşmekte ve ağırlık merkezleri de (center of gravity) tek bir formant olarak algılanmaktadır. Tablo 5.1'te görüldüğü üzere, bu çalışmadaki kapalı ünlü seslerin birinci formantları ile temel frekans parametresinin değerleri arasındaki farkların Chistovich ve Lublinskaya (1979) belirttiği 3,0-3,5 bark değerinin çok altındadır. Bu nedenle kapalı ünlülerde birinci formant değeri tüm farklı temel frekans değerleriyle etkileşime girmekte ve ortak tek bir formant etkisi oluşturmaktadır. Sonuçta da temel frekans etkisi, birinci formantların etkisi altında kalmaktadır. Kapalı olmayan /o/, /ɛ/, /œ/ ünlü seslerinde birinci formant ile temel frekans değerleri arasındaki farklar 3,0-3,5 bark değerlerine çok daha yakındır ve temel frekansın yükselmesiyle farklar azalmaktadır. /o/, /ɛ/, /œ/ ünlülerinde temel frekansın 148 Hz'e çıkarılmasıyla, temel frekans birinci formanta yaklaşmaktadır; birinci formantla etkileşime girmesi de ağırlık merkezinin daha düşük frekanslara kayması ve daha düşük frekanslarda birinci formantın algılanması anlamına gelmektedir. Bu da izole sentetik ünlülerin 148 Hz'e doğru kapalı ünlü olarak algılanmalarının artmasına neden olmaktadır. /ʌ/ ünlü sesinin birinci formant değeriyle formant frekans değerleri arasındaki farkların her zaman 3-3,5 bark değerinden yüksek olması nedeniyle /ʌ/ sesinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerinde temel frekans değişimlerinin anlamlı bir etkisi olmadığı düşünülebilir.

Tablo 5.1. *Sentetik ünlü seslerin birinci formant değerleri (F1) ve birinci formant değerleri ile temel frekans parametreleri olan 118, 133, 148 Hz değerleri arasındaki farklar; tüm değerler Hz birimindedir*

	Λ	o	u	uu	ε	œ	y	i
F1	643	479	302	367	483	494	346	277
F1-118 Hz	525	361	184	249	365	376	228	159
F1-133 Hz	510	346	169	234	350	361	213	144
F1-148 Hz	495	331	154	219	335	346	198	129

Kapalı ünlülerin yüksek temel frekansta olma eğilimleri, dinleyicilerin yüksek temel frekanstaki sesler için kapalı ünlüleri tercih edeceklerini düşündürebilir. Buna göre hata matrislerinde kapalı ünlülerin temel frekans değeri yükseldikçe algılanmalarında bir artış gözlenebileceği ve kapalı olmayan ünlülerin algılanmalarında tam tersi biçimde bir azalma olabileceği varsayılabilir. Bu varsayımın doğruluğu için kapalı ve kapalı olmayan ünlülerin algılanmalarının temel frekans değerinin artması veya azalmasıyla nasıl etkilendiği bağlamında incelenmesi gerekmektedir.

Temel frekans parametresinin anlamlı derecede etkilediği kapalı olmayan /o/, /ε/ ve /œ/ ünlü seslerinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri hata matrisleri üzerinden incelendiğinde /o/ sesinin hedeflenmeyen ünlü olarak algılanma yüzdeleri 148 Hz’te diğer iki temel frekans grubuna göre her zaman en düşük değerdeyken 118 Hz’teki hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri genelde daha yüksek yüzdelerdedir. /ε/ ünlü sesi için de hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri 148 Hz’te her zaman en düşük değerlerdedir. /œ/ sentetik ünlü sesinde ise 133 Hz’teki hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri genelde diğer iki gruptan daha yüksek yüzdelerdedir. Bu üç kapalı olmayan sentetik /o/, /ε/ ve /œ/ ünlü sesleri için hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri, 148 Hz olan yüksek temel frekans değerinde genelde daha düşük yüzdelerdedir. Bu bulgu, kapalı olmayan ünlülerin temel frekans değeri arttıkça algılanmalarının azalacağı varsayımını desteklemektedir.

/o/ ünlü sesinin hata matrisi incelendiğinde temel frekans değeri yükseldikçe beklenildiği üzere hedeflenmeyen ünlü olarak algılanmalar artmaktadır. 148 Hz temel frekans değerinde hedeflenmeyen /u/ ve /uu/ kapalı ünlü olarak algılanma yüzdeleri, 118 ve 133 Hz temel frekans değerlerinden her zaman daha yüksektir. Bu bulgu da temel frekans yükseldikçe kapalı ünlü algılanmalarının artacağı görüşünü desteklemektedir. Ancak /o/ ünlü sesinin /Λ/ ve /œ/ ünlü sesleri olarak algılanmalarında temel frekans

göre bir eğilim gözlenmemiştir. Ayrıca beklenmedik biçimde /o/ ünlü sesinin /œ/ ünlü sesi olarak algılanmalarında temel frekans etkisi gözlenmekte ve 148 Hz’te diğer temel frekanslardan daha yüksek yüzdelerde /œ/ olarak algılandığı da ayrıca izlenmektedir.

/ε/ ünlü sesinin hata matrisinde temel frekans yükseldikçe hedeflenmeyen ünlü olarak algılanmaların arttığı açık bir şekilde görülmektedir. Hedeflenmeyen /u/, /y/ ve /i/ kapalı ünlü sesi olarak algılanmalar 148 Hz’te, 118 ve 133 Hz’ten daha yüksek değerlerdedir. Bu bulgu, yukarıda ileri sürülen, dinleyicilerin belirli koşullarda kapalı olmayan ünlülerin düşük temel frekansta, kapalı ünlülerin ise yüksek temel frekansta olmasını tercih ettikleri varsayımıyla tutarlılık göstermektedir. /o/ ve /œ/ ünlü sesleri olarak hedeflenmeyen ünlü olarak algılanmaların en yüksek yüzdelerinin 118 Hz’te olması da bu görüşü kısmen desteklemektedir.

/œ/ ünlü sesinin hedeflenmeyen ünlü olarak algılanmaları temel frekansın artmasıyla birlikte artmaktadır. Hedeflenmeyen /u/ ve /u/ ünlü sesleri olarak algılanmaları 148 Hz’te, 118 ve 133 Hz’ten açık biçimde yüksektir. Bu bulgu da yukarıdaki görüşü desteklemektedir. Benzeri biçimde /œ/ ünlü sesinin hedeflenmeyen /o/ ve /ε/ ünlü sesleri olarak algılanmalarında da tam tersi bir eğilim gözlenmektedir; 148 Hz’teki hedeflenmeyen ünlü olarak algılanmaları en düşük yüzdelerdedir. Bu bulgu da kapalı olmayan ünlülerin algılanmalarının temel frekansın artış veya azalışlarına göre bir eğilim oluşturması görüşüyle tutarlılık göstermektedir.

Temel frekans parametresinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerini anlamlı derecede etkilediği ve kapalı olmayan /o/, /ε/ ve /œ/ ünlü seslerinin 148 Hz’te hedeflenen ünlü olarak algılanmalarının düştüğü, hedeflenmeyen /u/, /u/, /y/, /i/ kapalı ünlüleri olarak algılanmalarının 148 Hz’te arttığı ortaya çıkmaktadır. Bu durum dinleyicilerin kapalı ünlülerde yüksek temel frekansı, kapalı olmayan ünlülerde de düşük temel frekansı tercih etme eğilimlerinin olması olarak açıklanabilir. Ancak bu durumu desteklemeyen veriler de bulunmaktadır. Bu nedenle diğer ünlülerde temel frekansın artmasının veya azalmasının ünlülerin kapalılığına dair bir eğilim oluşturup oluşturmadığına bakılması gerekmektedir. Öncelikle temel frekans değişiminin /Λ/, /u/, /u/, /y/ ve /i/ ünlülerinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri üzerindeki etkilerine bakılacaktır. Sonra aynı ünlülerin hedeflenmeyen ünlü olarak algılanmalarındaki yüzdeler üzerinde de temel frekans değişimine göre bir eğilim olup olmadığı incelenecektir.

Temel frekans değişiminin /Λ/, /u/, /u/, /y/ ve /i/ ünlülerinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri üzerindeki etkilerine hata matrisleri üzerinden bakıldığında şu sonuçlara varılmaktadır:

- /Λ/ ünlü sesinin en düşük hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerine 148 Hz’te rastlanmaktadır ve kapalı olmayan ünlülerin düşük temel frekansta olma eğilimini desteklemektedir.
- /u/ ünlü sesinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerinin temel frekans değişimine göre bir eğilim göstermemektedir.
- /u/ sesinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerinde de benzeri bir eğilim bulunmamaktadır.
- /y/ ünlü sesinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerinde temel frekans değişimlerine göre bir eğilim gözlenmemektedir. Ancak en yüksek üç hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerinin (%94,1 – %91,2 – %88,2) hepsi 148 Hz’tedir ve kapalı ünlülerin yüksek temel frekansta olma eğilimlerini kısmen desteklemektedir.
- /i/ ünlü sesinin en düşük iki hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdesi olan %63,7 ile %55,9, 148 Hz temel frekans değerindedir ve kapalı ünlülerin yüksek temel frekansta olma eğilimleri görüşünü desteklemektedir.

Temel frekans değişiminin /Λ/, /u/, /u/, /y/ ve /i/ ünlülerinin hedeflenmeyen ünlü olarak algılanmaları üzerindeki etkilerine bakıldığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmaktadır:

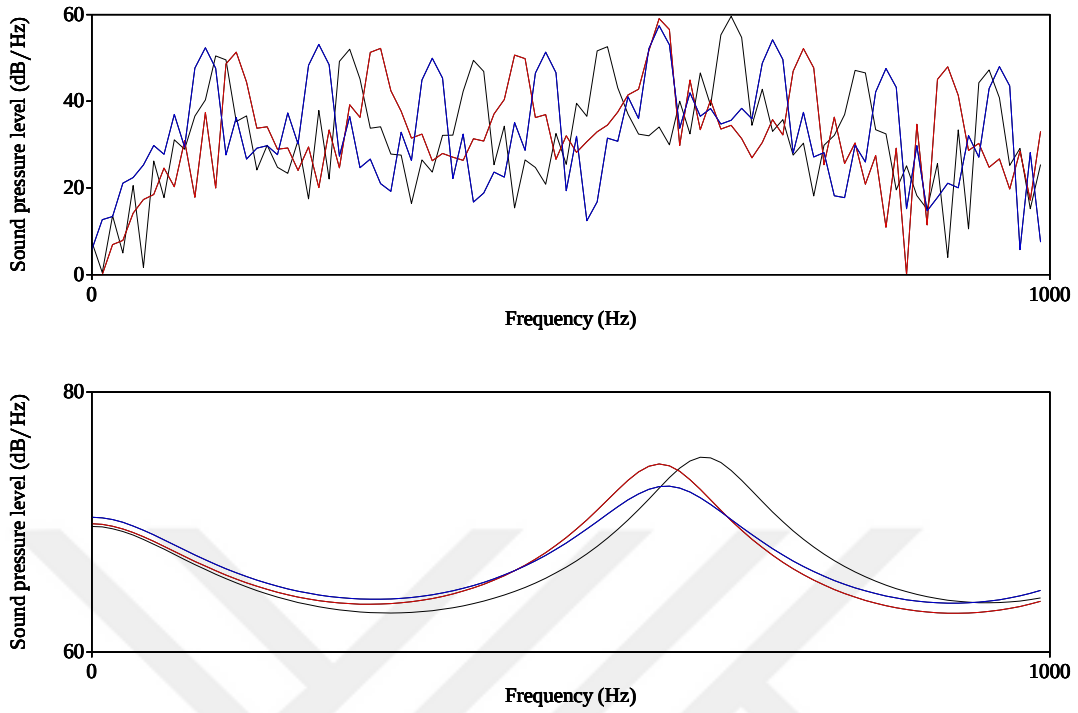
- /Λ/ ünlü sesinin hedeflenmeyen /u/ ünlü sesi olarak algılanmaları en yüksek 148 Hz’tedir ve yüksek temel frekansta kapalı ünlü tercih etme eğilimini desteklemektedir. Ancak hedeflenmeyen /o/ ünlü sesi olarak algılanmaları da en yüksek 148 Hz’tedir.
- /u/ ünlü sesinin hedeflenmeyen kapalı /y/ ve /i/ ünlü sesi olarak algılanmaları temel frekans değişimlerine göre bir eğilim göstermektedir ve kapalı ünlülerin yüksek temel frekansta olma eğilimleri görüşünü desteklemektedir. Hedeflenmeyen /y/ ünlüsü olarak algılanmalar 148 Hz’te her zaman en yüksek değerdeyken; hedeflenmeyen /i/ ünlü sesi olarak algılanmaları 118 Hz’te her zaman en düşük değerdedir. Benzeri biçimde, hedeflenmeyen /o/ ünlü sesi olarak algılanmaları 118 Hz’te en yüksek değerlerdedir. Ancak hedeflenmeyen

kapalı /u/ ünlü sesi olarak algılanmaları temel frekansa göre bir eğilim göstermemektedir.

- /u/ ünlü sesinin hedeflenmeyen /u/, /œ/ ve /y/ algılanmalarında ise kapalı-kapalı olmayan ünlü olmaya ve temel frekansa göre bir eğilim gözlenmemektedir.
- /y/ ünlü sesinin /ε/ ve /œ/ sesi olarak algılanmalarda 118 ve 133 Hz’te, 148 Hz’ten daha yüksek yüzdeler görülmektedir; bu da ileri sürülen görüşü desteklemektedir. Ayrıca beklenmeyen biçimde, /y/ ünlü sesinin /u/ sesi olarak algılanmalarında temel frekans değişimlerinin etkisi gözlenmiştir. Hedeflenmeyen /u/ sesi olarak algılanmalar 118 ve 133 Hz’te en yüksek değerlerdeyken 148 Hz’te en düşük değerlerdedir ve burada temel frekans etkisi ön-arka ünlü bağlamında gözlenmiştir.
- /i/ ünlü sesinin hedeflenmeyen /u/, /u/, /y/ algılanmalarına bakıldığında bu kapalı ünlülerin algılanmalarının temel frekans yükseldikçe arttığı görülmekte ve kapalı ünlülerin yüksek temel frekansta olma eğilimi görüşünü desteklediği anlaşılmaktadır.

Sonuç olarak, /Λ/ ünlüsü de dahil olmak üzere tüm kapalı olmayan ünlülerde, hedeflenen ünlü olarak veya hedeflenmeyen ünlü olarak algılanma yüzdelerinde temel frekans ve kapalı-kapalı olmama özelliğine göre bir eğilim gözlenmektedir. Bu eğilimin oluşmasında dinleyicilerin kapalı olmayan ünlülerde düşük temel frekansı, kapalı ünlülerde de yüksek temel frekansı seçme eğiliminde olmalarıdır.

Temel frekans değişimlerinin ünlülerin algılanmaları üzerindeki etkileri analiz edilirken temel frekansın sesin oluşumu üzerindeki etkisi ve bunun algılamaya bir etkisinin olup olmadığına değinilmelidir. Farklı temel frekans değerlerinde ses sentezlenmesi, farklı harmonik frekans değerlerinin oluşmasına ve ‘ölçülen’ formant frekans değerlerinin etkilenmesine neden olmaktadır. Şekil 5.1’de /Λ/ ünlü sesinin 118, 133 ve 148 Hz temel frekans değerlerindeki harmonikleri ve birinci formant değerleri birlikte gösterilmektedir.



Şekil 5.1. Üstte 60 ms uzunluğundaki /ʌ/ ünlü sesinin FFT (fast fourier transformation) dönüşümü sonrası görülen harmonikleri; altta 60 ms uzunluğundaki /ʌ/ ünlü sesinin LPC spektrumu (LPC autocorrelation, 16 prediction order, 25 ms window); mavi 118 Hz, siyah 133 Hz, kırmızı 148 Hz temel frekans değerindeki /ʌ/ ünlü seslerine aittir

Temel frekansın harmoniklerde yarattığı farklılıktan dolayı, /ʌ/ ünlü sesinin birinci formant değeri 133 Hz’te LPC ile daha yüksek değerde belirlenebilmiştir. Bunun nedeni yüksek temel frekansın spektral çözünürlüğe etkisinin (Ryalls ve Lieberman, 1982) formant değerlerini etkilemesidir (Kewley-Port vd., 1996). Ancak Şekil 5.1’de gösterildiği gibi temel frekansın değişimine bağlı harmoniklerin değişimi ve bunun sonucunda da ‘ölçülen’ formant frekans değerlerinin değiştiği gözlenirse de ‘algılanan’ formant frekans değerlerinin değişmediği düşünülmektedir. Çünkü algılanan formant frekans değerleri ne en yakın harmonik frekansı değeri üzerinden ne de LPC spektrumu üzerinden ölçülen değer üzerinden algılanmaktadır (Darwin ve Gardner, 1985; Assmann ve Nearey, 1987). Algılamada çok daha karmaşık ve halen araştırılmakta olan bir sistem olmakla birlikte harmoniklerin, algılanan formant frekanslarını belirlemede ağırlıklandırma üzerinden bir rollerinin olabileceği düşünülmektedir (Darwin ve Gardner, 1985). LPC spektrumu ile ölçülen formant frekans değerleriyle algılanan

formant frekans değerleri arasında farklar olduğu da gösterilmiştir (Assmann ve Nearey, 1987).

5.1.3. Spektral tilt

Spektral tilt parametresi ile bu çalışmada ünlülerin spektral tilt değerleri değiştirilmiştir. Yapılan bu işlem sonucunda da ünlülerin hedeflenen ünlü olarak ve hedeflenmeyen ünlü olarak algılanmalarında değişimler olduğu bulgulanmıştır. Tüm ünlülerin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri +6 dB/octave, 0 dB/octave ve -6 dB/octave spektral tilt değişim değerlerinde oluşan gruplarda karşılaştırıldığında -6 dB/octave grubundaki değerlerin diğer iki gruptan anlamlı derecede farklı ve daha düşük olduğu görülmüştür ($p < 0,001$). Hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerinin ortalama ve medyan değerleri +6 dB/octave için sırasıyla %82 ile %86; 0 dB/octave için %82,1 ile %87,7 ve -6 dB/octave için %60,3 ile %63,5'tir. -6 dB/octave'da hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri ortalamada ve medyan değerinde yaklaşık %20 oranında düşmektedir.

Bu çalışmada, spektral tilt değişimlerinin ünlülerin algılanma yüzdelerini anlamlı derecede etkilediği bulunmuştur. Farklı spektral tilt değişimlerinin uygulandığı seslerin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri arasında anlamlı farklılıklar olmasının nedeni Lindqvist-Gauffin ve Pauli'nin (1968) ortaya koyduğu gibi, spektral tilt değişiminin ünlülerin tanınmasını zorlaştırması olduğu düşünülebilir. Liu ve Eddins (2008) spektral modülasyon uyguladığı ünlülerin tanınma yüzdelerindeki düşüş ile spektral tilt değişimleri arasında anlamlı düzeyde korelasyon olduğunu göstermiştir.

Bu çalışma sonucunda spektral tiltin etkisinin tek yönde olduğu görülmüştür. Spektral tilti değiştirilmemiş (0 dB/octave spektral tilt değişimi) ünlülerin düşük frekans enerjileri arttırıldığında (-6 dB/octave) hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerinde anlamlı bir değişim gözlenirken yüksek frekans enerjileri arttırıldığında (+6 dB/octave) anlamlı bir değişim gözlenmemiştir. Ünlü seslerin algılanmasında görülen bu ayrımsal durum, spektral tilt değişimlerinin seslerin algılanmasını belirli spektral tilt değerleri arasında daha çok etkilemesiyle açıklanabilir (Tsang ve Trainor, 2002).

Spektral tilt değişim parametresinin etkileri ünlü bazında incelendiğinde /ʌ/, /u/, /ʊ/, /ɛ/, /œ/ ve /i/ ünlü seslerinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerinin anlamlı olarak etkilendiği bulgulanmıştır ($p < 0,01$). /o/ ve /y/ ünlü seslerinin ise hedeflenen

ünlü olarak algılanma yüzdelerinin spektral tilt değişiminden anlamlı düzeyde etkilenmediği bulunmuştur.

Spektral tilt değişim parametresinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerini anlamlı derecede etkilediği /ʌ/, /u/, /ʊ/, /ɛ/, /œ/ ve /i/ ünlü seslerine bakıldığında; /ʌ/, /ʊ/, /ɛ/, /œ/ ve /i/ ünlü seslerinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerinin -6 dB/octave spektral tilt değişim değerinde her zaman en düşük değerlerde olduğu görülmektedir. Bu ünlülerde 0 dB/octave ile +6 dB/octave değerlerinde en yüksek hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri bulunmaktadır. /u/ sesinde ise farklı ve tam tersi bir durum göze çarpmaktadır; en yüksek hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri 0 dB/octave ile -6 dB/octave spektral tilt değişim değerlerinde ve en düşük hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri +6 dB/octave spektral tilt değişim değerindedir. Ortaya çıkan bu durumda spektral tilt parametresindeki değişimlerin, formant kontürlerinin olmadığı ünlülerin algılanmasında etkili olmasının rolü görülmektedir (Kiefte ve Kluender, 2005).

Spektral tilt değişimleriyle ünlülerin hedeflenen ünlü olarak algılanmalarında görülen değişimlerin eğilimlerine bakılmıştır ve /ʌ/, /u/, /ʊ/, /ɛ/, /œ/, /i/ ünlülerinin spektral tilt değişimlerinden anlamlı derecede etkilendiği görülmüştür. Ancak ünlülerin hedeflenmeyen ünlü olarak algılanma yüzdeleri üzerinde de spektral tilt değişimlerinin etkileri olabilir. Ünlülerin hedeflenmeyen ünlü olarak algılanma yüzdelerinin dağılımları spektral tilt değişimleri bağlamında hata matrisleri üzerinden incelendiğinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- /ʌ/ ünlü sesinin kendisi gibi arka ünlü olan /u/ ünlü sesleri olarak algılanmalarında spektral tilt etkisi görülmektedir. /u/ algılanmaları -6 dB/octave'da her zaman en yüksek değerlerdedir.
- /o/ sesinin hedeflenmeyen ünlü olarak algılanmalarında, 148 Hz'te /u/ algılanmaları -6 dB/octave'a doğru düzenli olarak artmaktadır. 133 Hz'te /ʌ/ algılanmaları ise +6 dB/octave'a doğru düzenli artmaktadır.
- /u/ sesinin hedeflenmeyen ünlü olarak algılanmalarında /ʊ/ algılanmaları +6 dB/octave'da her zaman en yüksek değerlerdedir.
- /ʊ/ ünlü sesinin hedeflenmeyen ünlü olarak algılanmalarında da spektral tilt etkisi görülmektedir. /u/ sesi olarak algılanmalar -6 dB/octave'a doğru artmaktadır. /œ/ sesi olarak algılanmalar ise +6 dB/octave'a doğru artmaktadır.

- /ε/ ünlü sesinin /o/, /u/ ve /u/ sesleri olarak algılanmaları -6 dB/octave'a doğru artmaktadır.
- /œ/ sesinin /o/ ve /u/ sesi olarak algılanmaları -6 dB/octave'a doğru artmaktadır.
- /y/ sesinin /œ/ ve /ε/ sesi olarak algılanmaları +6 dB/octave'a doğru artmaktadır. /u/ sesi olarak algılanma yüzdeleri -6 dB/octave'da her zaman en yüksek değerlerdedir. Ayrıca 118 Hz'teki /u/ sesi olarak algılanmalar -6 dB/octave'a doğru düzenli artmaktadır.
- /i/ sesinin, /u/ ile /u/ ünlüleri olarak algılanma yüzdeleri -6 dB/octave'da her zaman en yüksek değerlerdedir.

Elde edilen bu sonuçlar spektral tilt değişimlerinin ünlülerin çoğunluğunun hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri üzerinde anlamlı etkisinin olduğunu göstermektedir. Bunun yanı sıra, hata matrislerinde tüm ünlülerin hedeflenmeyen ünlü olarak algılanma yüzdelerinin dağılımlarında da spektral tilt değişimlerinin etkisinin olduğu gözlenmektedir.

Spektral tiltin /Λ/, /u/, /ε/, /œ/ ve /i/ ünlü sesleri ile /u/ sesini farklı şekilde etkilemesi geçmiş çalışmaların spektral tilt parametresinin ünlülerin algılanmalarını özellikle ön-arka ünlü bağlamında etkilemesi bulgusuyla açıklanabilir (Lindqvist-Gauffin ve Pauli, 1968; Ito, Tsuchida ve Yano, 2001; Kiefe ve Kluender, 2005; Kiefe, Enright ve Marshall, 2010).

Bu çalışmadaki spektral tilt parametresi değişimlerinin ünlü algılanmalarını ön ve arka ünlü bağlamında nasıl etkilediği hata matrisleri üzerinden incelenmiştir. İnceleme sırasında dikkat edilen hususlardan birisi ön ve arka özelliğinin niteliği olmuştur. Türkçede ünlüler fonolojik olarak ön ve arka olarak iki gruba ayrılmaktadır. Fakat fonetik olarak ünlülerin ön ve arka özellikleri derecelendirilebilir. Örneğin, /Λ/ ve /u/ ünlü seslerinin ikisi de arka ünlü olmakla birlikte fonetik özellik olarak değerlendirildiğinde /u/ sesinin yuvarlaklık özelliği ile ikinci formant frekansı düşmekte ve bu nedenle arka ünlü özelliğinin arttığı düşünülmektedir. Hata matrisleri bu bilgilere göre incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- /Λ/ sesinin +6 dB/octave'da herhangi bir ön ünlü ses olarak farklı şekilde algılanmasına rastlanmamıştır. Hedeflenen ünlü olarak algılanmalar -6 dB/octave'da azalmakta ve /Λ/ sesi arka-yuvarlak ünlüler olan /o/, /u/ seslerinin algılanmaları genel olarak artış göstermektedir. Yuvarlaklık

özelliğinin arka ünlü özelliğini arttırdığı düşünülürse /ʌ/ sesinin hedeflenmeyen ünlü olarak algılanmaları spektral tilt değişimlerinden ön-arka ünlü özelliği bağlamında etkilenmektedir.

- /o/ sesinin 133 Hz'teki /ʌ/ algılanmaları +6 dB/octave'a doğru artmaktadır. Yuvarlaklık özelliği yine ön-arka özelliği bağlamında değerlendirildiğinde /ʌ/ algılanmalarının +6 dB/octave'a doğru artması spektral tilt değişimlerinin ön-arka ünlü özelliği bağlamındaki etkilerini desteklemektedir. Ancak /o/ sesinin 148 Hz'te /u/ sesi olarak algılanmalarının -6 dB/octave'a doğru artması yuvarlaklığın ön-arka özelliğine etkisi bağlamında açıklanamamaktadır.
- /u/ sesinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri +6 dB/octave'da her zaman en düşük değerlerdeyken /ʊ/ algılanmaları her zaman en yüksek değerlerdedir. Değişen yuvarlaklık özelliğinin etkisi ön-arka ünlü bağlamında değerlendirilebilir. Ayrıca +6 dB/octave'a doğru ön ünlü olan /i/ algılanmalarının genel olarak artması, spektral tiltin ön-arka ünlü bağlamındaki etkisiyle tutarlıdır.
- /ʊ/ ünlü sesinin /u/ sesi olarak algılanmaları -6 dB/octave'a doğru, /œ/ sesi olarak algılanmaları ise +6 dB/octave'a doğru artmaktadır. /ʊ/ sesinin hata matrisi bulguları spektral tiltin ön-arka ünlü bağlamındaki etkilerini desteklemektedir.
- /ɛ/ ünlü sesinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri -6 dB/octave'a doğru azalmakta ve arka ünlüler olan /o/, /u/ ve /ʊ/ seslerinin algılanmaları artmaktadır. Spektral tiltin ön-arka ünlü bağlamındaki etkisine dair görüşü desteklemektedir.
- /œ/ sesinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri -6 dB/octave'a doğru azalmakta ve /o/ ile /u/ arka ünlü seslerinin algılanmaları artmaktadır. Burada da spektral tilt değişiminin ön-arka ünlü özelliği bağlamındaki etkisi görülmektedir.
- /y/ sesinin /u/ sesi olarak algılanmalarının -6 dB/octave'da her zaman en yüksek değerlerde olması ve 118 Hz'teki /ʊ/ sesi olarak algılanmaların -6 dB/octave'a doğru düzenli olarak artması spektral tiltin ön-arka özelliği bağlamındaki etkisi üzerinden açıklanabilmektedir. Ancak /y/ sesinin /œ/ ve

/ε/ sesi olarak algılanmalarının +6 dB/octave’a doğru artması, spektral tilt değişiminin ön-arka ünlü özelliğine etkisi üzerinden açıklanamamaktadır.

- /i/ sesinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri -6 dB/octave’da her zaman en düşük değerdeyken arka ünlü olan /u/ ve /u/ algılanmaları her zaman en yüksek değerlerdedir. /i/ sesinin bulguları spektral tilt değişiminin ön-arka ünlü özelliği bağlamındaki etkileriyle tutarlılık içerisindedir.

Yukarıdaki bulgular birlikte değerlendirildiğinde şöyle bir genelleme yapılabilir: Ünlülerin, +6 dB/octave’a doğru daha çok ön ünlü olarak tercih edilme, -6 dB/octave’a doğru ise daha çok arka ünlü olarak tercih edilme eğiliminde oldukları görülmektedir. Spektral tilt parametresinin ünlülerin algılanmalarını ön-arka ünlü bağlamında etkilemesiyle tutarlılık göstermeyen bulguların olup olmadığı incelendiğinde +6 dB/octave’a doğru arka ünlü algılanmalarının arttığı veya -6 dB/octave’a doğru ön ünlü algılanmalarının arttığı duruma hiçbir ünlü sesin hata matrisinde rastlanmamıştır. Tüm bu bulgular, spektral tilt parametresiyle ünlülerin algılanmasının güçlü bir şekilde ön-arka ünlü bağlamında etkilendiğini ortaya koymakta ve Ito, Tsuchida ve Yano (2001) çalışma bulgularıyla tutarlılık göstermektedir.

Spektral tilt parametresinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerini anlamlı derecede etkilemediği /o/ ve /y/ ünlü sesleri ayrıca incelendiğinde ise şu sonuçlara varılmıştır. /y/ ünlü sesinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri spektral tilt değişimlerinden anlamlı bir şekilde etkilanmemiş olsa da hedeflenmeyen ünlü olarak algılanmaları spektral tilt parametresinden açık bir şekilde etkilendiğini göstermektedir. /y/ sesinin /u/ sesi olarak algılanma yüzdeleri 0 dB/octave ve +6 dB/octave değerlerinde en fazla %4,4 olurken, -6 dB/octave’da %17,2-%49,5 aralığındadır. Başka bir deyişle, /y/ sesinin -6 dB/octave’da /u/ sesi olarak algılanmasında büyük bir artış olduğu görülmektedir. /o/ ünlü sesinin hedeflenen ünlü olarak algılanmalarında ise spektral tilt değişimine göre bir eğilime rastlanmazken hedeflenmeyen ünlü olarak /Λ/ ve /u/ algılandığı görülmüştür. Genel olarak /o/ sesinin algılanmasında spektral özelliklerin etkisinin az olduğu, zamansal (temporal) özelliklerin ise etkisinin daha çok olduğu görülmektedir çünkü süre parametresi sadece /o/ sesinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerini anlamlı derecede etkilemiştir. Ayrıca temel frekans parametresi de /o/ sesinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerini anlamlı derecede etkilemiştir. /o/ sesi bu özellikleriyle diğer ünlülerden ayrılmaktadır.

/o/ sesinin spektral tilt değişiminden diğer ünlü sesler kadar etkilenmediği görölmektedir. Bu durumun nedeni spektral tilt değişimlerinin büyüklüğünün, /o/ sesinin algılanmalarında bir değişiklik yaratacak derecede olmaması olabilir. Çünkü algılamadaki değişimleri görebilmek için belirli bir enerji değişim farkını geçmek gerekebilmektedir ve spektral tiltteki değişimler de /o/ sesi için yeterli olmamış olabilir. Ainsworth ve Millar (1972) F2 genliğinin düşürülmesinde 28 dB sonrasında algılama biçiminin beklenmeyen şekilde değiştiğini belirtmektedir. /o/ sesi için spektral tilt değerinin bu çalışmadaki değerlerinden (-6 ve +6 dB/octave değişiminden) daha çok artırılması veya azaltılması spektral tilt değişimine göre değişen bir algı eğilimi oluşturabilir. Spektral tilt değişiminin /o/ sesinde ön-arka ünlü bağlamında belirgin bir eğilim oluşturmamasının başka bir nedeni de uzun süreli /o/ seslerinin, akustik değişimlerden göreceli az etkilenmesi olabilir. Çünkü uzun süreli /o/ seslerinin hedeflenen ünlü olarak algılanmalarındaki yüzdeler oldukça yüksektir; en düşüğü % 88,2'dir.

/o/ sesinin bulgularına kıyasla spektral tilt parametresinin değişimleri özellikle /u/, /ε/ ve /œ/ ünlülerinin algılanmalarında önemli bir role sahiptir çünkü hedeflenen ünlü olarak ve hedeflenmeyen ünlü olarak algılanmalarında yarattığı değişimin büyüklüğü diğer seslere görece çok daha büyük oranlardadır. Spektral tilt değişimi -6 dB/octave olduğunda /u/ sesinin hedeflenen ünlü olarak algılanma oranları %24'e düşebilirken hedeflenmeyen /u/ sesi olarak algılanmaları %72,1'e çıkabilmektedir. Yine spektral tilt değişimi -6 dB/octave oranında değiştiiğinde /ε/ sesinin hedeflenen ünlü olarak algılanmaları %21,1'e düşebilirken hedeflenmeyen ünlü algılanmaları /o/ sesi olarak %42,2'ye; /u/ sesi olarak %27,5'e çıkabilmektedir. Spektral tilt -6 dB/octave oranında değiştiiğinde /œ/ sesinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri %4,9'a düşerken hedeflenmeyen /o/ sesi olarak algılanma oranları %84,3'e çıkabilmektedir. Spektral tilt değişiminin tüm ünlülerin algılanmalarında etkili olduğu gözlenmiş olsa da /u/, /ε/ ve /œ/ ünlülerinde yarattığı etki çok daha büyüktür. Benzeri şekilde spektral tilt değişimiyle /y/ ünlü sesinin hedeflenen ünlü olarak algılanmalarında bir eğilim yakalanamasa da hedeflenmeyen ünlü olarak algılanmalarında spektral tiltin azalmasıyla birlikte hedeflenmeyen /u/ ünlüsü olarak algılanmalarının %49,5'e kadar çıktığı gözlenmektedir. Buna karşın /Λ/, /o/, /u/ ve /i/ ünlülerinin algılanmalarındaki değişimlerin büyüklüğü daha azdır. Bu da, ünlülerin quantal teorisinin önerileri ile paralellik gösterdiğine işaret ettiği düşünülmektedir (Stevens, 1989).

Bu çalışmadaki ünlü seslerin birinci ve ikinci formant değerlerine göre oluşturulan ünlü üçgeni içerisindeki dağılımlara bakıldığında /Λ/, /i/ ve /u/ ünlüleri köşelerde bulunmaktadır. Quantal ünlüler teorisine göre bu ünlülerin akustik özellikleri diğer ünlülere göre artikülasyondaki küçük değişikliklerden daha az etkilenmekte ve bu nedenle akustik özellikleri daha kararlı olmakta ve akustik özelliklerindeki sapmalar daha az oranda olmaktadır (Lieberman ve Blumstein, 1988). Tablo 5.2’de bu çalışmadaki sentetik ünlülerin tüm parametre değişikliklerindeki ortalama hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri ve standart sapma değerleri yer almaktadır.

Tablo 5.2. *Sentetik ünlülerin tüm versiyonlarının hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerinin (%) ortalama ve standart sapma değerleri*

	Λ	o	u	uu	ε	œ	y	i
Ortalama	95,7	85,9	83,5	55,2	70,3	55,3	61,0	91,5
Standart Sapma	6,0	10,1	11,2	17,1	23,9	33,4	19,0	12,6

Tablo 5.2’de görüldüğü üzere /Λ/, /o/, /u/, ve /i/ ünlülerinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerinin daha yüksek olması bu ünlülerin akustik değişikliklerden daha az etkilendiğini göstermektedir. Aynı tablodaki standart sapma değerlerine bakıldığında da yine /Λ/, /o/, /u/ ve /i/ ünlülerinin standart sapma verilerinin daha az değişkenlik gösterdiği ve daha kararlı olduğu görülmektedir. /Λ/, /u/, /i/ ünlüleri yanında /o/ ünlüsü de quantal ünlülere benzer bir eğilim göstermiştir. /o/ sesinin, /u/ sesinden daha düşük ikinci formant değerinin olması, ünlü üçgeni alanının dışına çıkmasına ve bir köşe ünlüsü konumunda kalmasına neden olmaktadır. Bu durum /o/ sesinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerinin dağılımının quantal ünlülere benzemesinin nedeni olabilir.

5.1.4. Süre, temel frekans, spektral tilt parametrelerinin ortak değerlendirilmesi

Bu çalışmada süre, temel frekans ve spektral tilt parametrelerindeki değişimlerin, ünlülerin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri üzerinde yarattığı etkiler arasında bir ilişki olup olmadığına bakılmıştır. Yapılan istatistiki analizler sonucunda parametreler arasında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır. Örneğin, kısa süreli sentetik ünlülere göre uzun süreli ünlülerde spektral tilt değişiminin yarattığı etkinin büyüklüğünde anlamlı bir farklılık bulunmamıştır. Parametrelerin tek tek ünlüler üzerinde yarattığı etkilerin sonuçları parametreler arası anlamlı bir ilişki olmaması

sonucuyla tutarlılık göstermektedir. Süre parametresi sadece /o/ sesinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerini anlamlı bir derecede etkilerken temel frekans parametresi /o/, /ε/, /œ/ ünlülerinin, spektral tilt parametresi de /Λ/, /u/, /ʊ/, /ε/, /œ/, /i/ ünlülerinin hedef ünlü olarak algılanmalarını anlamlı derecede etkilemiştir. Spektral tilt ve temel frekans parametresi sadece /ε/ ve /œ/ ünlülerinin hedef ünlü olarak algılanmalarını etkilemiştir. Süre ve temel frekans parametresi de sadece /o/ sesinin hedef ünlü olarak algılanmalarını etkilemiştir. /y/ sesinin hedef ünlü olarak algılanmalarını ise hiçbir parametre anlamlı derecede etkilememiştir. Sonuç olarak, bu üç parametrenin ünlülerin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerini birbirinden bağımsız bir biçimde etkilediği ortaya çıkmaktadır.

Süre, temel frekans ve spektral tilt parametrelerinin ünlülerin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri üzerindeki etkileri ayrı ayrı değerlendirildiğinde, her bir parametredeki değişimlerin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerini anlamlı derecede etkilediği bulunmuştur. Ancak spektral tilt parametresinin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerinin ortalama ve medyan değerleri üzerinde yarattığı değişimin daha büyük olduğu görülmüştür. Ünlüler bazında bakıldığında ise spektral tilt parametresinin altı sentetik ünlünün, temel frekans parametresinin üç sentetik ünlünün, süre parametresinin ise bir sentetik ünlünün hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerini anlamlı derecede etkilediği gözlenmiştir. Buradan yola çıkarak spektral tilt parametresinin, ünlülerin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri üzerinde süre ve temel frekans parametrelerinden daha etkili olduğu sonucuna varılmaktadır.

Bu çalışmadaki her bir sentetik ünlü sesin kullanılan parametre değişimlerine göre 18 farklı versiyonu bulunmaktadır. Her ünlü sesin tüm versiyonlarının ortalama hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerine ve standart sapmalarına bakıldığında /Λ/, /o/, /u/, /i/ seslerinin hem hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelerinin yüksek olduğu hem de standart sapma değerlerinin düşük olduğu görülmektedir (bkz. Tablo 5.2) ve bu bulgu quantal ünlü davranışıyla açıklanmıştır. Bu bulgunun paralelinde, hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri yerine katılımcılardan toplanan yanıtların ünlü bazındaki dağılımlarına bakıldığında da benzeri bir durum gözlenmektedir. Tablo 5.3'te bu çalışmada 102 katılımcıdan elde edilen toplam 29.376 yanıtın ünlülere göre dağılımları yer almaktadır. Tablo 5.3'te görüldüğü gibi, katılımcıların /o/ ve /u/ olarak tanıma eğilimi olduğu gözlenirken /ε/ ve /y/ ünlü seslerinde tam tersi bir durum görülmektedir. /ε/ ve /y/ ünlüleri en az tercih edilen ünlüler olmuştur. /ε/ ve /y/ ünlü seslerinin hata

matrislerine bakıldığında /ε/ sesinin hedeflenmeyen ünlü olarak algılanmalarında /o/ sesinin, /y/ sesinin hedeflenmeyen ünlü olarak algılanmalarında da /u/ sesinin önemli bir rolü olduğu ve bu durumun oluşmasında da spektral tilt değişim parametresinin büyük bir etkisi olduğu görülmektedir.

Tablo 5.3. 102 katılımcıdan alınan toplam 29.376 yanıtın ünlü seslere göre dağılımı

Λ	o	u	uu	ε	œ	y	i
3693	4503	5023	3557	2916	3324	2659	3701

5.2. Sonuç

Bu çalışmada elde edilen tüm bulgular süre, temel frekans ve spektral tilt parametrelerinin ünlü seslerin algılanmalarında rol oynadığını göstermektedir. Süre, Türkçedeki ünlüler için fonolojik olarak ayırt edici bir özellik olmamasına rağmen süre değeri azaldığında, hedef ünlü olarak algılanma yüzdelerinin de azaldığı görülmektedir. Özellikle /o/ ünlüsünün hedeflenmeyen ünlü olarak algılanmaları kısa süre olan 60 ms’de artmaktadır. Burada, kapalı olmayan ünlülerin kapalı ünlülerden daha uzun sürelerde olma eğilimlerinin etkisi olduğu düşünülmektedir.

Temel frekans değerinin Türkçedeki ünlülerin algılanmasında ayırt edici bir etken olmadığı ancak temel frekans değeri arttığında, ünlülerin daha düşük yüzdelerde hedef ünlü olarak algılandığı bulgulanmıştır. Burada, kapalı ünlülerin yüksek temel frekansta kapalı olmayan ünlülerin de düşük temel frekansta olma eğilimlerinin bir etkisi olduğu düşünülmektedir. Özellikle /o/, /ε/ ve /œ/ ünlülerin algılanmasında temel frekansın yükselmesi hedeflenmeyen ünlü algılanmalarını arttırmaktadır. Temel frekansın kapalı olmayan ünlülerin algılanmalarındaki etkisinde, temel frekansın artmasıyla birinci formant ile arasındaki mesafenin azalması ve etkileşime girmesinin sonucu olduğu düşünülmektedir. /Λ/ ünlüsünün, temel frekansın artmasından etkilenmemesinde ise diğer kapalı olmayan ünlülerden görece daha yüksek F1 değerinin olmasının etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca ünlülerin hata matrislerinde açıkça görülmüştür ki hedeflenmeyen ünlü algılanmalarında temel frekans etkisi bulunmaktadır ve yüksek temel frekansta kapalı ünlülerin tercih edilme eğilimi artmaktadır.

Spektral tilt değeri değiştirildiğinde ve yüksek frekansların enerjisi düşürüldüğünde, Türkçedeki ünlüler daha düşük yüzdelerde hedef ünlü olarak

algılanmaktadır. Yüksek frekanslardaki enerjinin düşürülmesi Türkçedeki arka ünlülerin algılanmasını artırırken yüksek frekanslardaki enerji arttırıldığında ön ünlülerin algılanması artmaktadır. Bulgular spektral tilt etkisinin, süre ve temel frekans parametrelerinden çok daha büyük olduğunu göstermektedir. Tüm ünlülerin hedeflenen veya hedeflenmeyen ünlü algılanmalarında spektral tilt parametresinin değişmesinin etkileri gözlenmiştir. Sadece spektral tilt parametresindeki değişimler tek başına /u/, /ε/, /œ/ ve /y/ ünlülerinin algılanmalarını büyük oranda değiştirip farklı ünlü olarak algılanmalarını sağlayabilmektedir. /Λ/, /o/, /u/, ve /i/ ünlülerinin algılanmalarının parametrelerdeki değişimlerden görece daha az etkilendiği bulgulanmış ve bu sonucun oluşumunda /Λ/, /u/, /i/ ünlülerinin quantal özelliklerinin rol oynadığı ileri sürülmüştür. Aynı şekilde /o/ ünlüsünün /u/ ünlüsünden daha düşük F2 değeri nedeniyle F1xF2 düzleminde dışarı çıkarak köşe ünlüsü pozisyonunda kalmasıyla beraber quantal ünlü davranışı sergilediği gözlenmiştir.

Bu çalışmanın bulgularıyla Türkçedeki ünlülerin algılanmasına dair yeni veriler elde edilmiştir. Bu veriler, dil ve konuşma bozukluğu alanı bağlamında değerlendirildiğinde ünlülerin algılanmasındaki sorunların anlaşılmasına yardımcı olacaktır. Özellikle geç cihazlandırılmış işitme engelli bireylerde ünlü seslerin üretilmesi de algılanması da sorunludur. Ünlülerin ön-arka ünlü bağlamında ayırt edilmesinde ve üretilmesindeki sorunlarda spektral tilt parametresinin etkilerinin öncelikle akla getirilmesi gerekliliği bu çalışma sonuçlarıyla ortaya konmuştur. Örneğin, ünsüz seslerin çoğunluğunun ünlü seslerden daha yüksek frekans değerlerinde yer almaları ve bu nedenle yüksek frekanslara doğru enerjinin işitme cihazlarında arttırılması arka ünlü algılanmalarını olumsuz etkileyecektir. Algılanmadaki olumsuz etkilenme de doğrudan konuşma sesi bozukluklarına yol açacaktır. Bazı işitme engelli bireylerde ön-arka ünlü ayrımının algılamada ve konuşmada olmamasının nedenlerinden birisi de budur.

Bazı gecikmiş dil ve konuşma vakalarında da ön-arka ünlü ayrımının algılamada ve konuşmada olmadığı görülmektedir. Bu vakalarla ünlülerin ön-arka özelliğinin çalışılması gerekmektedir. Bu vakalarla yapılacak terapilerde, öncelikle Türkçedeki köşe ünlülerinin çalışılması bir yöntem olarak düşünülebilir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, köşe ünlüleri süre, temel frekans ve spektral tilt parametrelerinden daha az etkilenmekte ve algılanmaları da akustik özellikleri gibi göreceli daha az değişkenlik göstermektedir. Köşe ünlülerinin hedeflenmesinden ve terapilerde müdahale

edilmesinden sonra diğer ünlüler hedeflenebilir. Benzeri yöntem gelişimsel ve edinilmiş konuşma apraksisi vakalarında da kullanılabilir.

Süre, temel frekans ve spektral tilt parametrelerinin her biri ünlülerin algılanmalarını etkilemektedir. Konuşucular ünlü seslerin sesletimleri sırasında süre ve temel frekans parametrelerini kolaylıkla değiştirebilirler ancak spektral tilt parametresinin doğal sesletim sırasında değiştirilebilmesi dil ve konuşma terapistlerinin aldığı eğitim gibi daha ileri düzeyde bir uzmanlık gerektirmektedir. Gelişimsel ve edinilmiş aprakside genellikle ünlü seslerde de sorunlar görülmektedir. Ünlü seslerin öncelikle algılanmalarında, daha sonra sesletimde birbirinden ayırt edilmesinde ek ipuçlarının olumlu etkisi olduğundan süre ve temel frekans parametreleri bazı ünlülerin ayırt edilmesinde yardımcı ipucu olarak kullanılabilir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre süre ve temel frekans parametrelerinin bazı kapalı olmayan ünlülerin algılanmasında olumlu etkilerinin olduğu gösterilmiştir.

Ünlü seslerin üretimlerinde ve algılanmalarında çeşitli yazılımların günlük hayatta kullanımları artmaktadır. Türkçedeki ünlü seslerin çeşitli yazılımlar yoluyla sentezlenmesi sırasında süre, temel frekans ve spektral tilt parametrelerinin ünlülerin algılanmalarını etkilediği, özellikle /u/, /ε/, /œ/ ve /y/ ünlülerinin algılanmalarında büyük rol oynadıkları göz önünde tutulmalıdır. Bu çalışmanın sonuçları Türkçe ünlülerin algılanmasının anlaşılması yanında Türkçe ünlülerin sentezlenmesine de yardımcı olacağı düşünülmektedir.

Son olarak, Türkçe üzerine yapılan bu çalışmada, sentetik ünlülerin üretilmesinde Klatt ve Klatt'ın önerdiği ses sentezleme yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle formant frekansları sabit tutularak farklı süre, temel frekans ve spektral tilt değerlerinde ünlüler sentezlenmiştir. Elde edilen verilere göre de formant frekansları sabit tutulduğu halde süre, temel frekans ve spektral tilt değişimleri ünlülerin algılanmalarını etkilemiştir. Sonuç olarak bu çalışma, ünlülerin algılanmasının nasıl olduğunu açıklayan teorilerden tüm spektrum görüntüsünün (whole spectrum based) algıda rolü olduğunu ileri süren teoriyi desteklemektedir. Klatt ve Klatt'ın ise formantlara dayalı bir ünlü algısı olduğunu savunması, bu çalışmanın yöntemi ve bulgularıyla karşıtlık oluşturmuştur.

5.2.1. Kısıtlılıklar

Bu çalışmada sentetik ve doğal ünlüler kullanılmıştır. Sentetik ünlüler, parametrelerin etkilerinin değerlendirilmesinde kullanılırken doğal ünlüler sadece verileri destekleme amacıyla kullanılmıştır. 60 ms uzunluğundaki doğal ünlülerin algı deneyi sonucundaki hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelерinin en düşük %75,5 ile /u/ ve /œ/ ünlü seslerinde olduğu, diğer ünlülerin hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdelерinin ise daha yüksek değerlerde olduğu görülmektedir (EK-6). Bu veriler, akustik analiz için seçilen doğal ünlülerin en az %75,5 oranında hedeflenen ünlü olarak algılandığını göstermektedir. Ancak sentetik ünlülerin üretilmesi için gereken akustik analizler 60 ms uzunluğundaki bu doğal ünlülerin 10 ms'den daha kısa olan bir pulse uzunluğundaki kısmında yapılmıştır. Ayrıca, doğal ünlülerin 60 ms süresince belirgin temel frekans ve formant kontür farklılıkları bulunmaktadır ve bu akustik farklılıklara bir müdahalede bulunulmamıştır. Bu gibi nedenlerden dolayı doğal ünlülerin verileriyle sentetik ünlülerden elde edilen veriler arasında herhangi bir karşılaştırmaya gidilmemiştir.

5.2.2. Öneriler

Bu çalışmada süre, temel frekans ve spektral tilt parametreleri iki veya üç değer almışlardır. Ancak sadece bu değerler, parametrelerin etkisini tam olarak anlayabilmek için yeterli değildir. Parametreler, bu çalışmadaki değerlerden daha yüksek ve daha düşük değerlerde de test edilmeli ve ara değerlerin sayısı artırılarak daha çok sayıda parametre değeri kullanılmalıdır. Daha çok sayıda ve sıklıkta parametre değeri kullanılması uyaran sayısını ve deney uygulama süresini arttıracaktır. Bu çalışmada iki süre, üç temel frekans ve üç spektral tilt değeri kullanılmasının nedeni, deneyi uygulama süresine uyarlayabilmek olmuştur.

Bu çalışmanın katılımcıları herhangi bir dil ve konuşma bozukluğu olmayan bireylerdir. Türkçedeki ünlü seslerin algılanmalarının süre, temel frekans ve spektral tilt parametrelerindeki değişimlerden etkilendiği bulunmuştur. Bu çalışma dil ve konuşma bozukluğu olan bireylerde tekrarlanmalıdır. Süre, temel frekans ve spektral tilt parametre değişimlerinin ünlülerin algılanmasındaki etkilerinin, dil ve konuşma bozukluğu olan bireylerde daha yüksek olabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- Ainsworth, W.A. ve Millar, J.B. (1972). The effect of relative formant amplitude on the perceived identity of synthetic vowels. *Language and Speech*, 15 (4), 328-341.
- Ainsworth, W. (1975). Intrinsic and extrinsic factors in vowel judgements. Fant, G. and Tatham, M. (Editörler), *Auditory Analysis and Perception of Speech* içinde (s. 103-113). London: Academic Press Inc.
- Ainsworth, W.A. (1981). Duration as a factor in the recognition of synthetic vowels. *Journal of Phonetics*, 9 (3), 333-342.
- Angelocci, A.A., Kopp, G.A. ve Holbrook, A. (1964). The Vowel Formants of Deaf and Normal-Hearing Eleven- to Fourteen-Year-Old Boys. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 29 (2), 156-170.
- Arik, E. (2015). An Experimental study of Turkish Vowel Harmony. *Poznań Studies in Contemporary Linguistics*, 51 (3), 359-374.
- Arisoy, E., Arslan, L.M., Demiralp, M.N., Ekenel, H.K., Kelepir, M., Meral, H.M., Özsoy, A.S., Şayli, Ö., Türk, O., Yolcu, B.C. (2004). Duration of Turkish Vowels Revisited. *12th International Conference on Turkish Linguistics* sunulan bildiri. İzmir: Dokuz Eylül University.
- Assmann, P.F., Nearey, T.M. ve Hogan, J.T. (1982). Vowel identification: Orthographic, perceptual, and acoustic aspects. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 71 (4), 975-989.
- Assmann, P.F. ve Nearey, T.M. (1987). Perception of front vowels: The role of harmonics in the first formant region. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 81 (2), 520-534.
- Assmann, P.F. ve Nearey, T.M. (2007). Relationship between fundamental and formant frequencies in voice preference. *The Journal of Acoustical Society of America*, 122 (2), 35-43.
- Au, W.W.L., Pack, A.A., Lammers, M.O., Herman, L.M., Deakos, M.H., Andrews, K. (2006). Acoustic properties of humpback whale songs. *The Journal of Acoustical Society of America*, 120 (2), 1103-1110.
- Aydınlı, F.E., Kayıkçı, M.E.K. ve Suslu, N. (2019). Temporal and Frequency Characteristics of Turkish Vowels in Laryngectomized Speakers, Preliminary Study. *Medeniyet Medical Journal*, 34, 149-59.

- Barreda, S. ve Nearey, T.M. (2012). The direct and indirect roles of fundamental frequency in vowel perception. *The Journal of Acoustical Society of America*, 131 (1), 466-477.
- Beach, E.F., Noble, W. ve Kitamura, C. (2015). Modified spectral tilt affects infants' native-language discrimination of approximants and vowels. *The Journal of Acoustical Society of America*, 138 (3), 352-358.
- Beddor, P.S. ve Strange, W. (1982) Cross-language study of perception of the oral–nasal distinction. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 71 (6), 1551-1561.
- Bell, A.M. (1867). *Visible Speech the Science of Universal Alphabetics Or Self-interpreting Physiological Letters for the Writing of All Languages in One Alphabet*. London: Simpkin, Marshall & Co.
- Bennet, D.C. (1968). Spektral form and duration as cues in the recognition of English and German vowels. *Language and Speech*, 11 (2), 65-85.
- Best, C.T. ve Strange, W. (1992). Effects of phonological and phonetic factors on cross-language perception of approximants. *Journal of Phonetics*, 20, 305-330.
- Birkholz, P. (2013). Modeling Consonant-Vowel Coarticulation for Articulatory Speech Synthesis. *Plos One*, 8 (4), 1-17.
- Blumstein, S.E. ve Stevens, K.N. (1979). Acoustic invariance in speech production: Evidence from measurements of the spectral characteristics of stop consonants. *The Journal of Acoustical Society of America*, 66 (4), 1001-1017.
- Boersma, P. ve Hamann, S. (2008). The Evolution of Auditory Dispersion in Bidirectional Constraint Grammar. *Phonology*, 25 (2), 217-270.
- Boersma, P. and Weenink, D. (2021). *Praat: Doing phonetics by computer*. <http://www.fon.hum.uva.nl/praat/>
- Bosch, L., Costa, A. ve Sebastian-Galles, S. (2000). First and second language vowel perception in early bilinguals. *European Journal of Cognitive Psychology*, 12 (2), 189-221.
- Carlson. R., Granstrom, B. ve Fant, G. (1970). Some studies concerning perception of isolated vowels. *Speech Transmission Laboratory Quarterly Progress and Status Report*, 11 (2-3), 19-35.

- Cheney, D.L., Seyfart, R.M. (2018). Flexible usage and social function in primate vocalizations. *The Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115 (9), 1974-1979.
- Chistovich, L.A. ve Lublinskaya, V.V. (1979). The 'center of gravity' effect in vowel spectra and critical distance between the formants: Psychoacoustical study of the perception of vowel-like stimuli. *Hearing Research*, 1 (3), 185-195.
- Creelman, C.D. (1962). Human Discrimination of Auditory Duration. *The Journal of Acoustical Society of America*, 34 (5), 582-593.
- Cumming, R. (2011). The effect of dynamic fundamental frequency on the perception of duration. *Journal of Phonetics*, 39, 375-387.
- Daniloff, R.G. ve Hammerberg, R.E. (1973). On defining coarticulation. *Journal of Phonetics*, 1 (3), 239-248.
- Darwin, C.J. ve Gardner, R.B. (1985). Which harmonics contribute to the estimation of first formant frequency. *Speech Communication*, 4, 231-235.
- Davis, B.L., Jacks, A. ve Marquardt, T.P. (2005). Vowel patterns in developmental apraxia of speech: three longitudinal case studies. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 19 (4), 249-274.
- Davutoğlu, A.Y. (2010). *Standart Türkçedeki Ünlülerin Akustik Analizi ve Fonetik Altyapı*. Yayımlanmamış Doktora Tezi. İstanbul: İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Delattre, P., Liberman, A.M., Cooper, F.S., Gerstman, L.J. (1952). An Experimental Study of the Acoustic Determinants of Vowel Color; Observations on One- and Two-Formant Vowels Synthesized from Spectrographic Patterns. *Word*, 8 (3), 195-210.
- Donai, J.J. ve Paschall, D.D. (2015). Identification of high-pass filtered male, female, and child vowels: The use of high-frequency cues. *The Journal of Acoustical Society of America*, 137 (4), 1971-1982.
- Ergenç, İ. (1989). *Türkiye Türkçesinin Görevsel Sesbilimi: Sesbirimlere Genel Bakış*. Ankara: Engin.
- Fant, G. (1981). The source filter concept in voice production. *Speech Transmission Laboratory Quarterly Progress and Status Reports*, 22 (1), 21-37.
- Flanagan, J. L. (1957). Difference Limen For Formant Amplitude. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 22 (2), 205.

- Fowler, C.A. (1992). Vowel duration and closure duration in voiced and unvoiced stops: there are no contrast effects here. *Journal of Phonetics*, 20 (1), 143-165.
- Fromkin, V., Rodman, R. ve Hyams, N. (2011). *An Introduction to Language*. (9th edition). Canada: Cengage Learning.
- Fry, D., Abramson, A., Eimas, P., Liberman, A.M. (1962). The Identification and Discrimination of Synthetic Vowels. *Language & Speech*, 5 (4), 171-189.
- Fukumori, T. (2000). Event-Related Potentials for Turkish Vowel Harmony. *Japan Association for Middle East Studies*, 15, 73-89.
- Glass, J.R. (1984). *Nasal Consonants and Nasalized Vowels: An Acoustic Study and Recognition Experiment*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. USA: Massachusetts Institute of Technology, Department of Electrical Engineering and Computer Science.
- Green, D.M., Mason, C.R. ve Kidd, G. (1984). Profile analysis: Critical bands and duration. *The Journal of Acoustical Society of America*, 75 (4), 1163-1167.
- Hickling, R. ve Brown, R.L. (2000). Analysis of acoustic communication by ants. *The Journal of Acoustical Society of America*, 108 (4), 1920-1929.
- Hillenbrand, J. ve Gayvert, R.T. (1993). Identification of steady-state vowels synthesized from the Peterson and Barney measurements. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 94 (2), 668-674.
- Hillenbrand, J., Cleveland, R.A. ve Erickson, R.L. (1994). Acoustic Correlates of Breathy Vocal Quality. *Journal of Speech and Hearing Research*, 37 (4), 769-778.
- Hillenbrand, J., Getty, L.A., Clark, M.J., Wheeler, K. (1995). Acoustic characteristics of American English vowels. *The Journal of Acoustical Society of America*, 97 (5), 3099-3111.
- Hillenbrand, J.M. ve Nearey, T.M. (1999). Identification of resynthesized /hVd/ utterances: Effects of formant contour. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 105 (6), 3509-3523.
- Hillenbrand, J.M., Clark, M.J. ve Nearey, T.M. (2001). Effects of consonant environment on vowel formant patterns. *The Journal of Acoustical Society of America*, 109 (2), 748-763.

- Hillenbrand, J.M., Houde, R.A. ve Gayvert, R.T. (2006). Speech perception based on spectral peaks versus spectral shape. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 119 (6), 4041-4054.
- House, A.S. (1961). On Vowel Duration in English. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 33 (9), 1174-1178.
- Ito, M., Tsuchida, J. ve Yano, M. (2001). On the effectiveness of whole spectral shape for vowel perception. *The Journal of Acoustical Society of America*, 110 (2), 1141-1149.
- İcat, F. ve İlk, H.G. (2004). Investigation On Differences Between Whispered And Phonated Sustained Turkish Vowels. *Proceedings of the IEEE 12th Signal Processing and Communication Applications Conference* sunulan bildiri. Turkey.
- Johnson, K. (1990). The role of perceived speaker identity in F0 normalization of vowels. *The Journal of Acoustical Society of America*, 88 (2), 642-654.
- Jones, G. ve Teeling, E.C. (2006). The evolution of echolocation in bats. *Trends in Ecology and Evolution*, 21 (3), 149-156.
- Kewley-Port, D. ve Watson, C.S. (1994), Formant-frequency discrimination for isolated English vowel. *The Journal of Acoustical Society of America*, 95 (1), 485-496.
- Kewley-Port, D., Li, X., Zheng, Y., Neel, A.T. (1996). Fundamental frequency effects on thresholds for vowel formant discrimination. *The Journal of Acoustical Society of America*, 100 (4), 2462-2470.
- Kılıç, M.A. (2003). Türkiye Türkçesi'ndeki Ünlülerin Sesbilgisel Özellikleri. Özsoy, A.S., Taylan, E.E., Aksu-Koç, A., Akar, D., Nakipoğlu, M. (Editörler), *Studies in Turkish Linguistics içinde* (s. 3-18). İstanbul: Boğaziçi University Press.
- Kılıç, M.A., Ögüt, F., Dursun, G., Okur, E., Yıldırım, İ., Midilli, R. (2004). The Effects of Vowels on Voice Perturbation Measures. *Journal of Voice*, 18 (3), 318-324.
- Kılıç, M.A. ve Ögüt, F. (2004). A High Unrounded Vowel in Turkish: Is It a Central or Back Vowel?. *Speech Communication*, 43, 143-154.
- Kılıç, M.A., Yıldırım, İ., Okur, E., Ögüt, F., Şerbetçioğlu, B. (2006). The effect of stimulus duration on perception of Turkish vowels in normal hearing and hearing-impaired children. *International Journal of Audiology*, 45 (11), 675-680.

- Kiefte, M. ve Kluender, K.R. (2005). The relative importance of spectral tilt in monophthongs and diphthongs. *The Journal of Acoustical Society of America*, 117 (3), 1395-1404.
- Kiefte, M., Enright, T. ve Marshall, L. (2010). The role of formant amplitude in the perception of /i/ and /u/. *The Journal of Acoustical Society of America*, 127 (4), 2611-2621.
- Kitamura, C., Gregory, J. ve Kuan, S. (2005). Infant Discrimination of Spectrally Weighted Speech. *Proceedings of ISCA Workshop on Plasticity in Speech Perception* sunulan bildirir. United Kingdom: University College London.
- Klatt, D.H. (1973). Interaction between two factors that influence vowel duration. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 54 (4), 1102-1104.
- Klatt, D.H. (1980). Software for a cascade/parallel formant synthesizer. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 67 (3), 971-995.
- Klatt, D.H. ve Klatt, L.C. (1990). Analysis, synthesis, and perception of voice quality variations among female and male talkers. *The Journal of Acoustical Society of America*, 87 (2), 820-857.
- Kluender, K.R., Diehl, R.L. ve Wright, B.A. (1988). Vowel-length differences before voiced and voiceless consonants: an auditory explanation. *Journal of Phonetics*, 16 (2), 153-169.
- Kopkallı-Yavuz, H. (2010). The Sound Inventory of Turkish: Consonants and Vowels. Topbaş, S. ve Yavaş, M. (Editörler), *Communication Disorders in Turkish* içinde (s. 27-47). United Kingdom: Multilingual Matters.
- Korkmaz, Y. ve Boyacı, A. (2018). Examining Vowels' Formant Frequency Shifts Caused by Preceding Consonants for Turkish Language. *Journal of Engineering and Technology*, 2 (2), 38-47.
- Kuhl, P.K. (1991). Human adults and human infants show a "perceptual magnet effect" for the prototypes of speech categories, monkeys do not. *Perception & Psychophysics*, 50 (2), 93-107.
- Ladefoged, P. (1996). *Elements of acoustic phonetics*. USA: The University of Chicago Press.
- Ladefoged, P. ve Maddieson, I. (1996). *The Sounds of the World's Languages*. United Kingdom: Blackwell Publishers.

- Ladefoged, P. ve Johnson, K. (2011). *A course in Phonetics*. USA: Wadsworth, Cengage Learning.
- Ladefoged, P. ve Disner, S.F. (2012). *Vowels and Consonants*. United Kingdom: Blackwell Publishing.
- Lehiste, I. ve Peterson, G.E. (1959). Vowel Amplitude and Phonemic Stress in American English. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 31 (4), 428-435.
- Lehiste, I. (1976). Influence of fundamental frequency pattern on the perception of duration. *Journal of Phonetics*, 4, 113-117.
- Li, H., Helpard, L., Ekeroot, J., Rohani, S.A., Zhu, N., Rask-Andersen, H., Ladak, H.M., Agrawal, S. (2021). Three-dimensional tonotopic mapping of the human cochlea based on synchrotron radiation phase-contrast imaging. *Nature, Scientific Reports* 11, 4437.
- Liberman, A.M. (1970). Some characteristics of perception in the speech mode. *Perception and Its Disorders*, 48, 238-254.
- Lieberman, P. ve Blumstein, S.E. (1988). *Speech physiology, speech perception, and acoustic phonetics*. USA: Cambridge University Press.
- Lieberman, P. (2007). The Evolution of Human Speech Its Anatomical and Neural Bases. *Current Anthropology*, 48 (1), 39-66.
- Lindblom, B.E.F. ve Sundberg, J.E.F. (1971). Acoustical Consequences of Lip, Tongue, Jaw, and Larynx Movement. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 50 (4B), 1166-1179.
- Lindqvist-Gauffin, J. ve Pauli, S. (1968). The role of relative spectrum levels in vowel perception. *Speech Transmission Laboratory Quarterly Progress and Status Report*, 9 (2-3), 12-15.
- Liu, C. ve Eddins, D.A. (2008). Effects of spectral modulation filtering on vowel identification. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 124 (3), 1704-1715.
- Lu, Y. ve Cooke, M. (2009). The contribution of changes in F0 and spectral tilt to increased intelligibility of speech produced in noise. *Speech Communication*, 51, 1253-1262.

- Maassen, B., Groenen, P. ve Crul, T. (2003). Auditory and phonetic perception of vowels in children with apraxic speech disorders. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 17 (6), 447-467.
- Malkoç, E. (2011). *Konuşmanın Kişiyeye Özgü Değişmezleri: Ünlüler Üzerine Sesbilgisel Bir Çalışma*. Yayımlanmamış Doktora Tezi, Ankara: Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Miller, R.L. (1953). Auditory Tests with Synthetic Vowels. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 25 (1), 114-121.
- Miller, J.D. (1989). Auditory-perceptual interpretation of the vowel. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 85 (5), 2114-2134.
- Molis, M.R. (2005). Evaluating models of vowel perception. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 118 (2), 1062-1071.
- Molis, M.R. ve Leek, M.R. (2011). Vowel identification by hearing-impaired listeners in response to variation in formant frequencies. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 54 (4), 1211-1223.
- Murayama, T., Iijima, S., Katsumata, H., Arai, K. (2014). Vocal Imitation of Human Speech, Synthetic Sounds and Beluga Sounds, by a Beluga (*Delphinapterus leucas*). *International Journal of Comparative Psychology*, 27 (3), 369-384.
- Narins, P.M., Feng, A.S., Lin, W., Schnitzler, H., Denzinger, A., Suthers, R.A., Xu, C. (2004). Old World frog and bird vocalizations contain prominent ultrasonic harmonics. *The Journal of Acoustical Society of America*, 115 (2), 910-913.
- Nearey, T. M. (1989). Static, dynamic, and relational properties in vowel perception. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 85 (5), 2088-2113.
- Ouden, D.B., Galkina, E., Basilakos, A., Fridriksson, J. (2018). Vowel formant dispersion reflects severity of apraxia of speech. *Aphasiology*, 32 (8), 902-921.
- Peterson, G.E. ve Barney, H.L. (1952). Control Methods Used in a Study of the Vowels. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 24 (2), 175-184.
- Pisoni, D.B. (1973). Auditory and phonetic memory codes in the discrimination of consonants and vowels. *Perception & Psychophysics*, 13 (2), 253-260.
- Pisoni, D.B. (1975). Auditory short-term memory and vowel perception. *Memory & Cognition*, 3 (1), 7-18.
- Pisoni, D.B. (1976). Fundamental frequency and perceived vowel duration. *The Journal of Acoustical Society of America*, 59 (1), 39.

- Polka, L. (1995). Linguistic influences in adult perception of non-native vowel contrasts. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 97 (2), 1286-1296.
- Polka, L. ve Bohn, O.S. (2011). Natural Referent Vowel (NRV) framework: An emerging view of early phonetic development. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 39, 467-478.
- Raphael, L.J., Borden, G.J. ve Harris, K.S. (2011). *Speech Science Primer Physiology, Acoustics, and Perception of Speech*. (6th edition). USA: Lippincott Williams & Wilkins.
- Ryalls, J.H. ve Lieberman, P. (1982). Fundamental frequency and vowel perception. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 72 (5), 1631-1634.
- Selen, N. (1979). *Söyleyiş Sesbilimi, Akustik Sesbilim ve Türkiye Türkçesi*. Ankara: TDK.
- Scott, B.L. (1976). Temporal factors in vowel perception. *The Journal of Acoustical Society of America*, 60 (6), 1354-1365.
- Shadle, C.H. (1985). Intrinsic fundamental frequency of vowels in sentence context. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 78 (5), 1562-1567.
- Stevens, K.N., Liberman, A.M., Studdert-Kennedy, M., Ohman, S. (1969). Cross-Language Study of Vowel Perception. *Language & Speech*, 12, 1-23.
- Stevens, K.N. (1989). On the quantal nature of speech. *Journal of Phonetics*, 17 (1-2), 3-45.
- Stevens, K.N. (2000). *Acoustic phonetics*. England: MIT Press.
- Stevens, S.S., Volkman, J. ve Newman, E.B. (1937). A Scale for the Measurement of the Psychological Magnitude Pitch. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 8 (3), 185-190.
- Stevens, S.S. ve Volkman, J. (1940). The Relation of Pitch to Frequency: A Revised Scale. *The American Journal of Psychology*, 53 (3), 329-353.
- Strange, W.S., Jenkins, J.J. ve Johnson, T.L. (1983). Dynamic specification of coarticulated vowels. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 74 (3), 695-705.
- Summers, W.V., Pisoni, D.B., Bernacki, R.H., Pedlow, R.I., Stokes, M.A. (1988). Effects of noise on speech production: Acoustic and perceptual analyses. *The Journal of Acoustical Society of America*, 84 (3), 917-928.

- Suzuki, Y. ve Takeshima, H. (2004). Equal-loudness-level contours for pure tones. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 116 (2), 918-933.
- Şayli, Ö. (2002). *Duration Analysis And Modelling For Turkish Text-To-Speech Synthesis*. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Boğaziçi University, Institute for Graduate Studies in Science and Engineering.
- Şayli, Ö., Arslan, L.M. ve Özsoy, A.S. (2002). Duration Properties of the Turkish Phonemes. *11th International Conference on Turkish Linguistics* sunulan bildiri. KKTC: Doğu Akdeniz Üniversitesi.
- Şayli, Ö. ve Arslan, L.M. (2003). Türkçe'deki seslerin süre özellikleri. *Dilbilim Araştırmaları*, 15-26.
- Tartter, V.C., Gomes, H. ve Litwin, E. (1993). Some acoustic effects of listening to noise on speech production. *The Journal of Acoustical Society of America*, 94 (4), 2437-2440.
- Titze, I.R. (2008). Nonlinear source-filter coupling in phonation: Theory. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 123 (5), 2733-2749.
- Tsang, C.D. ve Trainor, L.J. (2002). Spectral slope discrimination in infancy: Sensitivity to socially important timbres. *Infant Behavior & Development*, 25, 183-194.
- Türk, O., Şayli, Ö., Özsoy, A.S., Arslan, L.M. (2004). Türkçe'de Ünlülerin Formant Analizi. *18. Ulusal Dilbilim Kurultayı* sunulan bildiri, Ankara: Ankara Üniversitesi.
- Tyler, M.D., Best, C.T., Faber, A., Levitt, A.G. (2014). Perceptual Assimilation and Discrimination of Non-Native Vowel Contrasts. *Phonetica*, 71, 4-21.
- Umeda, N. (1975). Vowel duration in American English. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 58 (2), 434-445.
- Weenink, D. (2009). The Klattgrid speech synthesizer. *10th Annual Conference of the International Speech Communication Association* sunulan bildiri. United Kingdom.
- Whalen, D.H. ve Levitt, A.G. (1995). The universality of intrinsic F0 of vowels. *Journal of Phonetics*, 23 (3), 349-366.
- Yavuz, H. (2011). Phonological processes in Turkish. Balpınar, Z. (Ed.), *Turkish Phonology and Morphology* içinde (s. 46-58), Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Yayınları.

- Zahorian, S.A. ve Jagharghi, A.J. (1993). Spektral-shape features versus formants as acoustic correlates for vowels. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 94 (4), 1966-1982.
- Zhang, Y. ve Kirby, J. (2020). The role of F0 and phonation cues in Cantonese low tone perception. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 148 (1), 40-45.
- Zwicker, E. (1961). Subdivision of the audible frequency range into critical bands. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 33 (2), 248.



EKLER

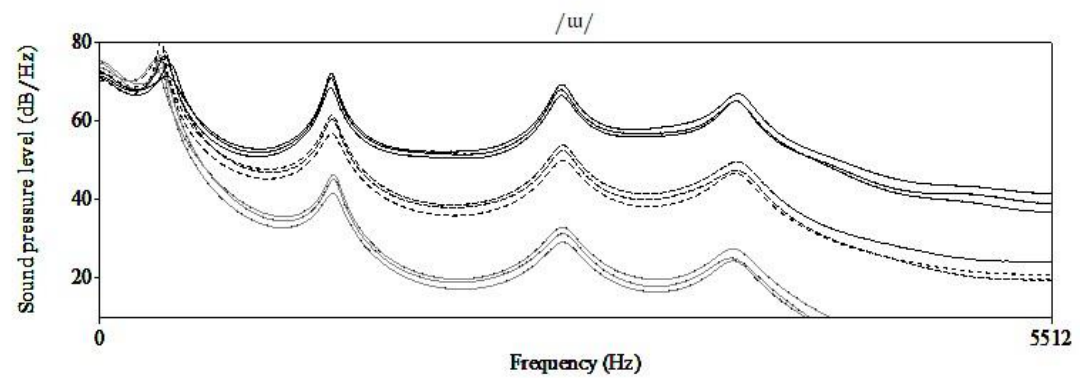
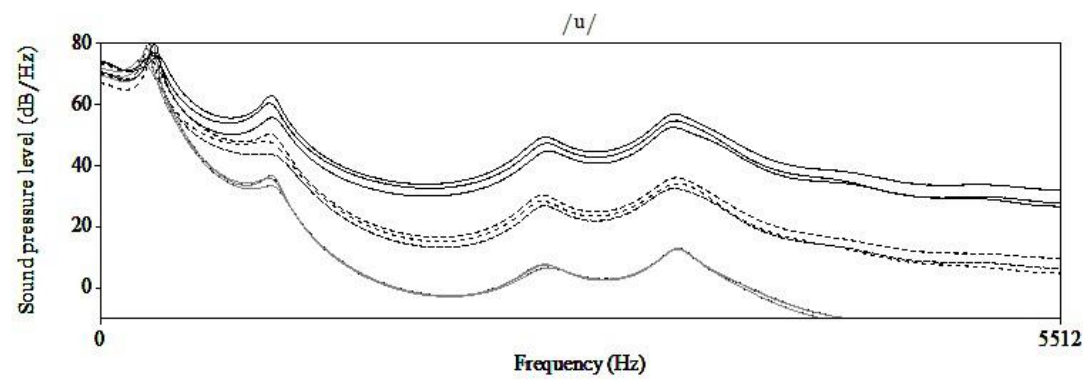
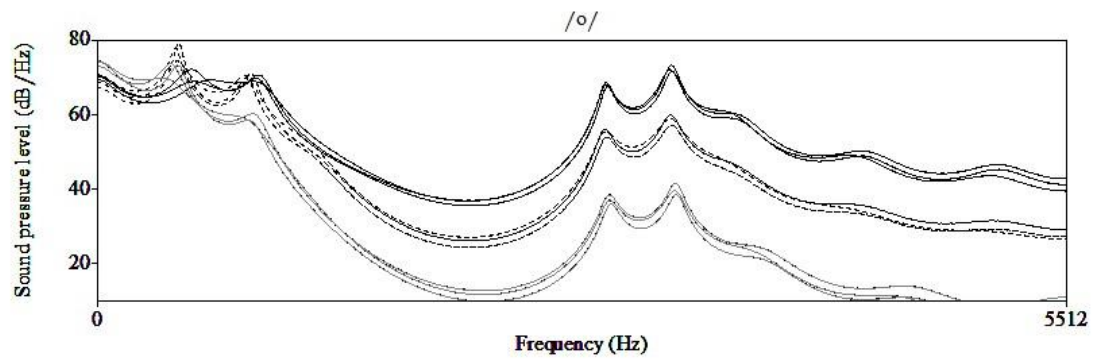
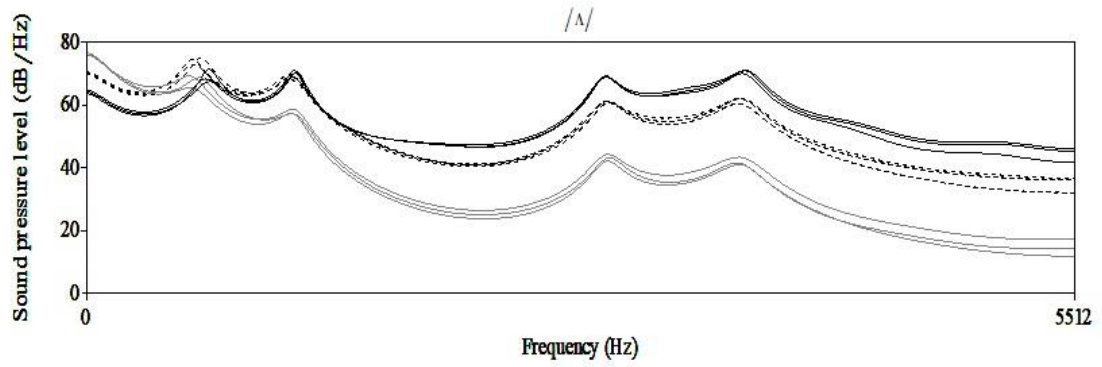
EK-1 : Anadolu Üniversitesi Etik Kurul Kararı



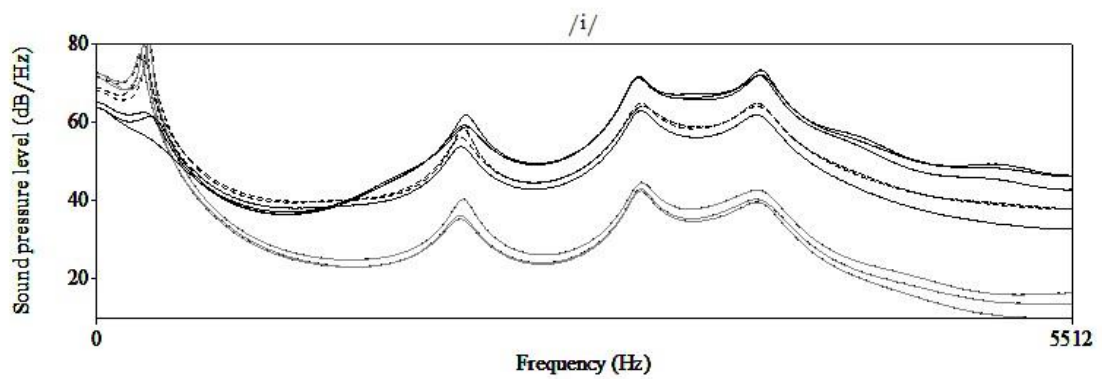
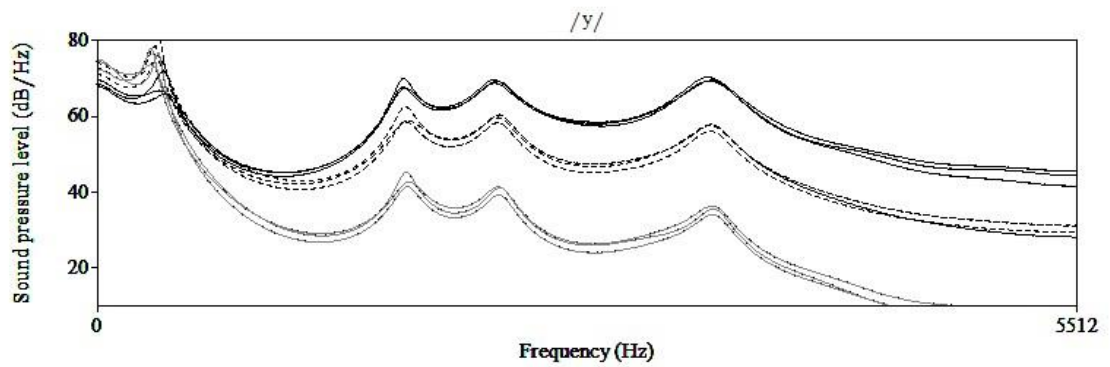
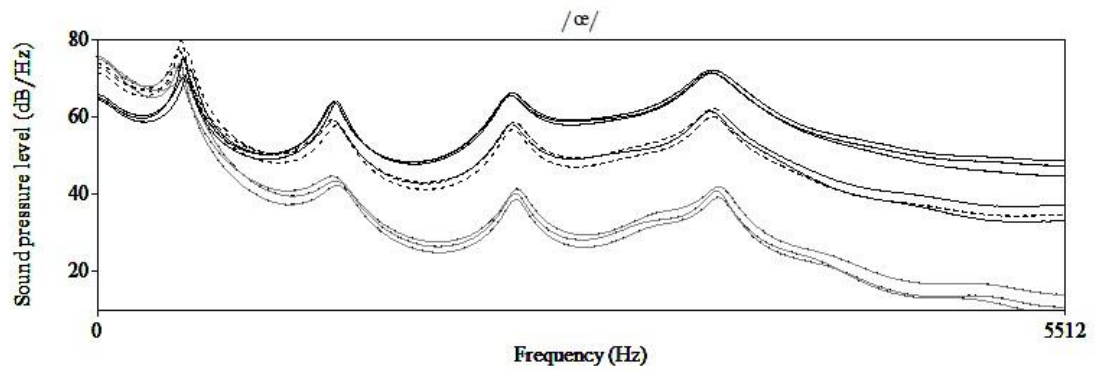
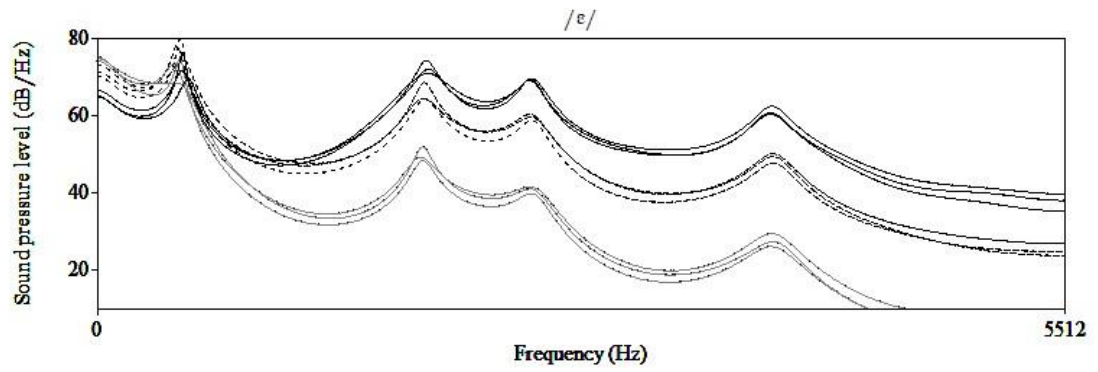
EK-2: Seçilen Konuşucunun Okuduğu Metin (akustik analiz için seçilen ünlüler işaretlenmiştir)

Ne olduğunu anlayamadı. İğri bir gürültüyle irkildi. Okuduğu kitaba dalmıştı. Etrafına bakındı. Sonra saatine baktı. Saat gece yarısını çoktan geçmişti. Kalktı , pencereye gitti. Dışarıya baktı. Bir şey görmedi. Kitabın da tam ilginç bir yerinde kalmıştı. Tekrar koltuğuna döndü . Kitabını okumaya başladı. Kendisini tam kitaba vermişti ki yine aynı gürültüyü duydu. Bu kez hemen pencereye koştu. Dışarıya baktı ama görünürde yine bir şey yoktu. Tekrar okumak istedi. Ama boşuna. Artık dikkati dağılmıştı. Kendisini bir türlü kitaba veremiyordu. Gürültünün nedenini merak etmişti. Kafasından çeşitli düşünceler geçirdi. Acaba bir kedi miydi? Yoksa bir trafik kazası mı? Ama duyduğu ses ikisine de pek uygun gelmiyordu . Bir kedinin çıkartabileceğinden oldukça yüksek bir sestti. Çarpışma sesine de pek benzemiyordu. İşin garibi evdeki herkes uyuyordu. Anlaşılan hiç kimse bu sesi duymamıştı. Kitaba olan ilgisi iyice dağılmıştı. Baktı olacak gibi değil. Kitabını bir tarafa bıraktı. Kalktı mutfığa gitti. Kendisine yiyecek bir şeyler hazırlayarak kafasını gürültü takıntısından uzaklaştırmak istedi.

EK-3A: 60 ms Sentetik Ünlüler (LPC autocorrelation, 16 p. order, 25 ms window)



EK-3B: 60 ms Sentetik Ünlüler (LPC autocorrelation, 16 order, 25 ms window)



EK-4: Araştırma Gönüllü Katılım Formu

ARAŞTIRMA GÖNÜLLÜ KATILIM FORMU

Bu çalışma, “Türkçedeki Ünlülerin Fonetik ve Fonolojik Özelliklerinin Belirlenmesi” başlıklı bir araştırma çalışması olup ünlülerin algısını etkilediği düşünülen akustik parametreleri inceleme amacını taşımaktadır. Çalışma, dil ve konuşma terapisti Cemil YILMAZ tarafından yürütülmektedir ve sonuçları bir tez çalışması olarak ortaya konacaktır. Bulgular Türkçedeki ünlülerin araştırılmasında yer alacak sonraki çalışmaların gelişimine ışık tutulacaktır.

- Bu çalışmaya katılımınız gönüllülük esasına dayanmaktadır.
- Çalışmanın amacı doğrultusunda, sizden bilgisayar ortamında dinleyeceğiniz ünlü konuşma seslerini tanımanız istenecektir ve alınan yanıtlar doğrultusunda veriler toplanacaktır.
- İsminizi yazmak ya da kimliğinizi açığa çıkaracak bir bilgi vermek zorunda değilsiniz/araştırmada katılımcıların isimleri gizli tutulacaktır.
- Araştırma kapsamında toplanan veriler, sadece bilimsel amaçlar doğrultusunda kullanılacak, araştırmanın amacı dışında ya da bir başka araştırmada kullanılmayacak ve gerekmesi halinde, sizin (yazılı) izniniz olmadan başkalarıyla paylaşılmayacaktır.
- İstemeniz halinde sizden toplanan verileri inceleme hakkınız bulunmaktadır.
- Sizden toplanan veriler kod yöntemi ile korunacak ve araştırma bitiminde arşivlenecek veya imha edilecektir.
- Veri toplama sürecinde/süreçlerinde size rahatsızlık verebilecek herhangi bir soru/talep olmayacaktır. Yine de katılımınız sırasında herhangi bir sebepten rahatsızlık hissederseniz çalışmadan istediğiniz zamanda ayrılabilirsiniz. Çalışmadan ayrılmanız durumunda sizden toplanan veriler çalışmadan çıkarılacak ve imha edilecektir.

Gönüllü katılım formunu okumak ve değerlendirmek üzere ayırdığınız zaman için teşekkür ederim. Çalışma hakkındaki sorularınızı Anadolu Üniversitesi Dil ve Konuşma Terapistliği Doktora programından Cemil YILMAZ’a yöneltebilirsiniz.

Dil ve Konuşma Terapistliği ABD – Doktora Programı

Araştırmacı Adı : Cemil YILMAZ
Adres : Sağlık Bilimleri Enstitüsü –

Cep Tel :

Bu çalışmaya tamamen kendi rızamla, istediğim takdirde çalışmadan ayrılabilceğimi bilerek verdiğim bilgilerin bilimsel amaçlarla kullanılmasını kabul ediyorum.

(Lütfen bu formu doldurup imzaladıktan sonra veri toplayan kişiye veriniz.)

Katılımcı Ad ve Soyadı:

İmza:

Tarih:

EK-5: Katılımcı Bilgi Formu

KATILIMCI BİLGİ FORMU

Doğum Tarihiniz:	
Herhangi bir dil ve konuşma probleminiz var mı; varsa neler olduğunu yazınız:	
Herhangi bir işitme probleminiz var mı; varsa neler olduğunu yazınız:	
Anadilinizi yazınız; birden çok anadiliniz varsa her birini yazabilirsiniz:	
Lisans eğitim bölümünüzü ve sınıfınızı yazınız:	
Lisansüstü eğitiminiz varsa ana bilim dalınızı yazınız:	
Deney sırasında bilgisayarın sesini de kullanabilirsiniz; kulaklık da kullanabilirsiniz. Hangisini kullandığınızı yazınız.	

EK-6: 60 ms Uzunluğundaki Doğal Ünlü Seslerin Hata Matrisi (değerler % olarak verilmiştir; her sıradaki değerler toplamı %100'dür; hedeflenen ünlü olarak algılanma yüzdeleri koyu renktedir; hedeflenmeyen ünlü olarak algılanma yüzdeleri aynı sıradaki diğer yüzde değerleridir)

	Λ	o	u	ʊ	ε	œ	y	i
Λ	100,0							
o	1,0	85,3	11,3	2,0		0,5		
u	0,5		75,5	7,8			11,3	4,9
ʊ			1,5	86,3		9,8	2,5	
ε			0,5	2,9	86,3	6,9	2,9	0,5
œ			1,5	7,4		75,5	15,2	0,5
y			1,0	2,9		1,0	90,7	4,4
i			0,5				1,5	98,0

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Cemil Yılmaz
Yabancı Dil : İngilizce
Doğum Yeri ve Yılı :
E-Posta :
ORCID Kimliği :

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

2005-2010 : Bilkent Üniversitesi, Fen Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü (Lisans), Ankara
2012-2015 : Anadolu Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Dil ve Konuşma Terapisi Anabilim Dalı (Yüksek Lisans), Eskişehir
2015-... : Anadolu Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Dil ve Konuşma Terapisi Anabilim Dalı (Doktora), Eskişehir
2015-... : Uzman Dil ve Konuşma Terapisti, Bir İnci Özel Eğitim ve Rehabilitasyon Merkezi, Eskişehir
2019-2020 : Misafir Öğretim Görevlisi, İstinye Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Dil ve Konuşma Terapisi Bölümü

Yayımları ve/veya Bilimsel Faaliyetleri:

Demirhan, E., Unsal, E.M., Yılmaz, C., Ertan, E. (2016). Acoustic Voice Analysis of Young Turkish Speakers. *Journal of Voice*, 30 (3), 378.e21-5.

Yılmaz, C. (2018). Yutma ve Solunum İlişkisi: Genel Bilgiler. *Dil, Konuşma ve Yutma Araştırmaları Dergisi*, 1 (2), 127-141.

Ertan, E., Gürvit, H.I., Hanağası, H.H., Bilgiç, B., Tunçer, M.A., Yılmaz, C. (2021). Intensive voice treatment (the Lee Silverman Voice Treatment [LSVT®LOUD]) for individuals with Wilson's disease and adult cerebral palsy: two case reports. *Logopedics Phoniatrics Vocology*, 2021 Jul 21;1-9. doi: 10.1080/14015439.2021.1951348.