

Ortak Türk Abecesi ve Ses Yapısının Doğal Dil İşleme Uygulamaları Üzerindeki Etkisi: Keşifsel bir Derleme ve Gelecek Yönelimler

Common Turkic Alphabet and the Impact of Phonetic Structure on Natural Language Processing Applications: An Exploratory Review and Future Directions

Kadir TOHMA

İskenderun Teknik Üniversitesi
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
Hatay, Türkiye

kadir.tohma@iste.edu.tr
ORCID: 0000-0002-2631-7810

Halil İbrahim OKUR

İskenderun Teknik Üniversitesi
Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
Hatay, Türkiye

hibrahim.okur@iste.edu.tr
ORCID: 0000-0003-0339-4626

Öz

Ses analiz, konuşma sırasında seslerin nasıl üretildiğini ve sözcüklerin seslerle nasıl ilişkilendirildiğini inceleyen Doğal Dil İşleme konusunun bir dalıdır. Bilgisayarların bu süreci anlayıp değerlendirebilmesi hem sesin oluşum mekanizmasını hem de dillerin sözcüksel, söz dizimsel ve anlamsal yönlerini dikkate almayı gerektirdiğinden oldukça zorlu bir çalışmadır. Tarihsel kökleri yüzyıllar öncesine uzansa da son yıllarda araştırmacılar dünya çapında konuşulan çeşitli dilleri ele alarak ses analizi daha geniş bir bakış açısıyla değerlendirmiştir. Ses ve ses biliminin en büyük güçlüklerinden biri, dili tanıma ve işleme süreçlerinde (örneğin konuşma tanıma ve konuşma sentezi) tutarlı sonuçlar elde etmektir. Bu çalışmada, ses ve ses bilimi kavramlarının tanımlarına değinilirken, farklı araştırmacıların benimsediği yöntemler incelenmektedir. Ek olarak, Ortak Türk Abecesi'nin potansiyel ses etkileri tartışılarak bu abece hakkında ayrıntılı bilgiler sunulmaktadır. Ayrıca, yazı-söyleyiş uyumunu ölçmek için yeni algoritmaların veya ölçünlerin geliştirilmesine yönelik öneriler ve gelecekte izlenebilecek yönelimler de vurgulanmaktadır.

Anahtar sözcükler: Doğal Dil İşleme, Ses Analizi, Ses Analiz, Ortak Türk Abecesi, Yazım-ses Uyumu

Abstract

Phonetic analysis is a branch of Natural Language Processing that examines how sounds are produced during speech and how words are related to these sounds. Because computers must understand both the mechanism of sound formation and the lexical, syntactic, and semantic aspects of languages, this is a highly demanding task. Although its historical roots date back centuries, in recent years researchers have adopted a broader perspective on phonetic analysis by focusing on various languages spoken worldwide. One of the greatest challenges in phonetics and phonology is achieving consistent results in tasks involving language recognition and processing (such as speech recognition and speech synthesis). In this study, the definitions of phonetics and phonology are addressed, and the methods employed by different researchers are examined. Additionally, the potential phonetic impacts of the Common Turkic Alphabet are discussed, providing detailed information about this alphabet. Furthermore, proposals for new algorithms or metrics to measure writing-pronunciation alignment and future directions in this field are highlighted.

Keywords: Natural Language Processing, Phonetic Analysis, Common Turkic Alphabet, Orthography-Phonology Correspondence

Gönderme, düzeltme ve kabul tarihi: 17.01.2025 - 13.02.2025 - 12.03.2025

Makale türü: Derleme

1. Giriş

Dil bilimi, dillerin ses özelliklerini ve bu seslerin nasıl üretildiğini, iletilendiğini ve algılandığını inceleyen bir bilim dalıdır [1]. Dilin temel bileşenlerinden biri olarak ses, yazı sistemleriyle kurduğu ilişki nedeniyle iletişimde kritik bir rol oynar. Yazı sistemleri, dillerin ses özelliklerini yansıtmada becerilerinde farklılık gösterir ve bu durum, dil öğrenme, öğretme ile teknolojik uygulamaları doğrudan etkiler [2][3].

Tarih boyunca, dillerin ses yapılarını daha iyi yansıtmak amacıyla çeşitli abece reformları ve yazı sistemleri geliştirilmiştir. Örneğin, Türkiye’de 1928’de gerçekleştirilen Abece Reformu, Türkçenin ses özelliklerini daha doğru yansıtmak ve okuryazarlık oranını artırmak için Latin abecesini benimsemiştir [4]. Benzer şekilde, başka diller de ses uyumunu geliştirmek için yazı sistemi değişiklikleri ve reformlar uygulamıştır [5].

Yazım-ses uyumu, bir dilin yazılı biçimi ile ses bilimsel özellikleri arasındaki ilişkiyi tanımlayan temel bir dil bilimi kavramıdır. Bu, bir dilin yazım (ortografik) ve ses (fonolojik) yapıları arasındaki tutarlılık ve düzenliliği belirleyen kurallar bütünüdür [6]. Yazım-ses uyumunun yüksek olduğu dillerde yazılı sözcüklerin söyleniş öngörülebilir. Böyle dillerde, her bir harf genellikle tek bir sese karşılık gelir ve bu tutarlılık, sözcüğün farklı biçimleri boyunca korunur. Türkçe gibi bu uyumu yüksek olan diller, okuryazarlığı kolaylaştırırken metin analizi ve Doğal Dil İşleme (DDİ) gibi alanlarda önemli avantajlar sağlar [7].

Buna karşılık, yazım-ses uyumu düşük olan dillerde, aynı harf farklı bağlamlarda farklı sesleri temsil edebilir ya da tek bir sesi birden fazla harf karşılayabilir. Örneğin İngilizcede, bir sözcüğün yazımını bilmek, söylenişini doğru tahmin etmek için yeterli değildir [8]. “Though” ve “through” gibi sözcükler, yazılışları benzer olduğu hâlde oldukça farklı şekillerde söylenirler. Bu tür uyumsuzluklar, dil öğrenenler açısından ek zorluklar oluşturur ve DDİ uygulamalarında ek işlem yüküne neden olur.

Yazım-ses uyumu, aynı zamanda bir dilin ses zenginliğini ne ölçüde yansıtabileceğini de belirler. Bir dilin ses sisteminin yazılı olarak doğru biçimde kaydedilmesi, hem öğrenme-öğretme sürecini kolaylaştırır hem de teknik uygulamaların daha verimli işlemesine olanak tanır [9]. Doğru bir uyum, konuşma tanıma, metinden konuşma üretimi (text to speech - TTS) ve duygu analizi gibi DDİ görevlerinin başarımını artırır. Ayrıca, uyumu yüksek olan diller, yazılı metinleri ses yapısına uygun şekilde temsil ettikleri için otomatik dil işleme sistemlerinde daha iyi sonuçlar elde edebilir.

Bu açıdan bakıldığında, yazım-ses uyumu hem dil bilimsel hem de teknolojik açıdan kritik öneme sahiptir. Uyumu yüksek dillerin öğrenilmesi ve öğretilmesi daha kolayken, uyumu düşük dillerin işlenmesi ve analiz edilmesi için daha karmaşık algoritmalar geliştirmek gerekir [10]. Dahası, yazı sistemlerinin ses doğruluğunu artırmaya yönelik çalışmalar, iletişim verimliliğini iyileştirmek ve dijitalleşme süreçlerine katkıda bulunmak amacıyla abece reformlarında ve yazı sistemlerinin evriminde önemli bir rol oynar.

Günümüzde özellikle DDİ alanında dijital teknolojilerin ilerlemesi, yazım-ses uyumunun önemini artırmıştır. İnsan dilini bilgisayarların anlayıp işleyebilmesine odaklanan DDİ, metin analizi, konuşma tanıma, makine çevirisi ve duygu analizi gibi uygulamalarda başarımı artırmak için büyük ölçüde yazı sistemlerinin ses doğruluğuna dayanır [11]. Yazım-ses uyumu, yazılı sözcüklerin söylenişinin ne derece öngörülebilir olduğunu ifade eder. Uyumu yüksek dillerde yazılı sözcüklerin söylenişleri daha kolay tahmin edilebilir ve bu durum DDİ modellerinin başarımını iyileştirir [12].

Farklı yazı sistemleri, çeşitli işleme varsayımlarını zorunlu kılar. Örneğin, Çince, metinden konuşma üretiminde alt-sözcüksel temsillere sahip değildir; ancak İngilizcede bu dönüşümler daha belirgindir. Bu farklılıklar, DDİ modellerinin başarısını doğrudan etkiler [13]. Ses simgelerinin anlamla kurduğu simgesellik de dil işleme süreçlerini etkileyebilir; örneğin, yüksek uyarım (arousal) değeri olan sesbirimler (fonemler), dil görevlerinde daha hızlı tepki süreleriyle ilişkilendirilir [14].

Yazım-ses uyumunun yüksek olduğu Türkçe gibi dillerde, otomatik konuşma tanıma (Automatic Speech Recognition - ASR) sistemleri genellikle daha başarılı sonuçlar verir; çünkü yazılı biçim, söyleyişi öngörmek için yeterli bilgiyi sunar. Örneğin, TTS ya da konuşmayı tanıma, Türkçe açısından görece daha basittir [15]. Buna karşın, “though” ve “through” gibi sözcüklerin yazım ve söyleniş arasındaki belirgin farklılıklar sergilediği İngilizcede uyum düşük olduğundan, ek işlem basamakları gerekir ve bu durum DDİ uygulamalarının doğruluğunu düşürebilir [16]. Ayrıca, uyumu yüksek dillerde biçimbilimsel analiz ve kök çıkarma gibi görevler daha az karmaşıktır. Örneğin, bir sözcüğün kökünün belirlenmesi Türkçede İngilizceye kıyasla daha kolaydır [17]. Yine de Türkçede genel olarak uyum yüksek olsa da bazı istisnalar ve söyleyiş çeşitliliği DDİ sistemleri için ek zorluklar yaratır [18].

Ortak Türk Abecesi, Türk dillerinin ses çeşitliliğini daha iyi yansıtarak yazım-ses uyumunu güçlendirmek amacıyla önerilen bir yazı sistemidir [19]. X, Ə, Q, Ŋ VE Ŭ gibi harfleri bünyesinde barındıran bu abece, Türk dillerindeki sesleri daha doğru biçimde temsil etmeyi hedefler [20]. Söz konusu abeceye geçiş, Türk dillerinin dijitalleşmesine ve DDİ uygulamalarına önemli katkılar sunabilir. Ortak Türk Abecesine yönelimin temel gerekçeleri arasında, Türk dilleri arasındaki iletişimi güçlendirmek, kültürel ve dilsel birliği pekiştirmek, eğitim ve bilimsel işbirliğini artırmak ve dijital çağın gereksinimlerini karşılamak yer alır.

Tarihsel olarak, Türk dilleri farklı abeceler kullanmış ve bu durum, ortak kökenli diller arasında dahi iletişim zorluklarına yol açmıştır. Birleştirilmiş bir abece, yazılı iletişimi kolaylaştırmayı, karşılıklı anlayışı geliştirmeyi ve Türk dünyası içinde kültürel ve dilsel bağları güçlendirmeyi amaçlar. Bu adımın, ortak bir kimliği ve aidiyet duygusunu pekiştirerek Türk halkları arasında işbirliği ve dayanışmayı artırması beklenmektedir. Ayrıca, farklı abecelerin kullanımı, eğitim materyallerinin ve bilimsel çalışmaların paylaşımını karmaşıktır. Ortak bir abece, eğitim kaynaklarının ve bilimsel araştırmaların daha yaygın biçimde dolaşıma girmesini sağlayarak bilgi paylaşımı ve ortak projeleri teşvik

edebilir. Dijital çağda ise farklı abecelerin varlığı, bilgi teknolojileri ve dijital platformlarla bütünleşme sürecini zorlaştırmaktadır. Ortak bir abece dijital içeriğin oluşturulması, paylaşılması ve işlenmesi süreçlerini basitleştirerek Türk dillerinin dijital dünyada daha etkin temsili olanaklı kılar.

Türk dilleri arasında yazım-ses uyumunu artırmak, ses çeşitliliği doğru biçimde yansıtmak ve DDİ uygulamaları için tutarlı bir dilsel yapı oluşturmak, yenilikçi ölçüm yöntemleri ve modelleme yaklaşımları gerektirir. Yazılı dilin ses özelliklerini eksiksiz biçimde yansıtmak hem dilbilimsel analiz hem de teknolojik uygulamalar açısından hayati önemdedir. Ortak bir abecenin benimsenmesi, yazıyla söyleyiş arasındaki ilişkinin sistematik bir biçimde değerlendirilebilmesini sağlayarak Türk dillerinin dijitalleşmesine ve DDİ'ye entegrasyonuna önemli katkılarda bulunabilir. Dolayısıyla, yazım-ses uyumunu analiz edecek ve dilsel dönüşüm süreçlerini destekleyecek araçların geliştirilmesi zorunlu bir gereksinim olarak değerlendirilebilir.

Bu çalışmanın temel amacı, ses yapının yazı sistemleri ve dijital teknolojiler üzerindeki etkisini bütüncül bir şekilde ele almaktır. Ortak Türk Abecesi bağlamında, ses yapıların yazıya doğru biçimde aktarılmasının Türk dillerinin modernizasyonu ve dijitalleşmesine yapabileceği olası katkılar incelenmektedir. Ayrıca, abece reformlarının tarihsel süreçleri, Ortak Türk Abecesi'nin özellikleri ve bu reformların DDİ uygulamaları açısından sonuçları ayrıntılı biçimde tartışılmaktadır. Çalışma hem dil bilimsel hem de teknolojik gelişmeler bakımından yazım-ses uyumunun önemini vurgulamakta ve gelecek araştırmalarla DDİ uygulamalarına yönelik öneriler sunmaktadır.

2. Ortak Türk Abecesi

Türk dillerinin Latin abecesine geçiş süreci, 20. yüzyılın başlarında modernleşme, uluslararası standartlara uyum ve ortak bir yazım sisteminin oluşturulması çabalarının bir parçası olarak başlamıştır. Özellikle 1990'larda yeni bağımsızlığını kazanan Türk cumhuriyetlerinin Latin temelli abeceleri benimsemesiyle bu süreç hız kazanmıştır. Türk Konseyi gibi etkinliklerde alınan kararlar ile Türk Devletleri Teşkilatı (TDT), Türk Akademisi ve Türk Dil Kurumu gibi kurumların katkıları, Türk dillerinin yazım sistemlerinde ortak bir ölçüne oluşturulmasına yönelik girişimleri daha da desteklemiştir.

Bu çerçevede, Ortak Türk Abecesi, çeşitli Türk dillerinin paylaştığı ses öğeleri yansıtarak yazılı iletişimde daha fazla tutarlılık sağlamayı amaçlayan sistematik bir yaklaşımı temsil etmektedir [19]. Bu doğrultuda, Türk dillerinin ses zenginliğini karşılayan bazı harfler, günümüzde farklı Türk dillerinde kullanımda olan biçimleriyle ortak bir sisteme entegre edilmiştir. Örneğin, Ortak Türk Abecesine "k"nin kalın biçimi için "q", gırtlaksız "h" sesi için "x", genizsiz "n" için "ñ", öne ve açık "e" sesi için "ə" ve uzatmalı "u" sesi için "ü" gibi harfler katılmıştır.

Bu yaklaşım, yazım-ses uyumunu güçlendirerek yazılı iletişimi kolaylaştırmakta ve Türk dünyası genelinde dilsel bağları sağlamlaştırmaktadır. Böylece Ortak Türk Abecesi, ortak değerlerin, kültürel mirasın ve entelektüel birikimin yazı

yoluyla daha etkili bir biçimde aktarılmasına katkıda bulunmaktadır.

Common Turkic Alphabet											
	IPA	ST		IPA	ST		IPA	ST		IPA	ST
Aa	[ɑ]	[ɑ]	İı	[w]	[y]	Rr	[r]	[r]			
Bb	[b]	[b]	İi	[i]	[i]	Ss	[s]	[s]			
Cc	[ɟ]	[ʒ]	Jj	[ʒ]	[ʒ]	Şş	[ʃ]	[ʃ]			
Çç	[tʃ]	[tʃ]	Kk	[k]	[k]	Tt	[t]	[t]			
Dd	[d]	[d]	Qq	[q]	[q]	Uu	[u]	[u]			
Ee	[e]	[e]	Ll	[l]	[l]	Üü	[y]	[y]			
Əə (Ää)	[æ]	[ä]	Mm	[m]	[m]	Üü	[y]	[y]			
Ff	[f]	[f]	Nn	[n]	[n]	Vv	[v]	[v]			
Gg	[g]	[g]	Ññ	[ɲ]	[ɲ]	Yy	[j]	[j]			
Ğğ	[ɣ]	[ɣ]	Oo	[o]	[o]	Zz	[z]	[z]			
Hh	[h]	[h]	Öö	[œ]	[ö]						
Xx	[x]	[x]	Pp	[p]	[p]						

* IPA: International Phonetic Alphabet
* ST: International Phonetic Transcription based on Latin scripts, adopted by the Editorial Board of the Sovetskaya Tyurkologiya (1974)

Şekil-1: Uzlaşılan 34 harfli Ortak Türk Abecesi

2024 yılında Azerbaycan'ın başkenti Bakı'de düzenlenen Türk Dünyası Ortak Abece Komisyonu toplantısında, Türk Devletleri Teşkilatına (TDT) üye devletlerin temsilcileri, 34 harfli Ortak Türk Abecesi (Şekil-1) önerisi üzerinde uzlaşmıştır. Bu öneri, Türk dünyasındaki farklı lehçeler ve dilsel gereksinimler dikkate alınarak hazırlanmış; böylece Türk dillerinin ses zenginliğini daha doğru yansıtmayı hedefleyen kapsayıcı bir yaklaşım benimsenmiştir. Bu doğrultuda, mevcut Türk abecesindeki 29 harfe ek olarak x, ə, q, ñ ve ü harfleri, Türk dillerinin kendine özgü ses özelliklerini yazıya daha etkili şekilde aktarmak amacıyla eklenmiştir.

Şekil-1'de, üzerinde anlaşmaya varılan 34 harfli Ortak Türk Abecesi, çizelge düzeninde sistematik olarak sunulmaktadır. Bu abecenin kullanımında uzlaşmaya varan ülkeler arasında Türkiye, Azerbaycan, Kazakistan, Kırgızistan, Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti ve Özbekistan bulunmaktadır. Sistem, yalnızca ortak bir yazı ölçününü oluşturmayı ve Türk dilleri arasındaki ses tutarlılığı artırmayı değil, aynı zamanda dilsel bütünleşmeyi de güçlendirmeyi amaçlamaktadır. Böylece yazılı iletişimde daha tutarlı bir yapı ortaya konurken, Türk dünyası içinde kültürel bağların da pekişmesine katkı sağlanmaktadır.

2.1 Türk Dillerinde x, ə, q, ñ, ü Harflerinin Ses Uyum ve Ölçünleşme Süreci

Ortak Türk Abecesine x, ə, q, ñ ve ü harflerinin eklenmesi, Türk dillerinin ses zenginliğini daha doğru yansıtmak ve bu diller arasındaki yazı birliğini güçlendirmek amacını taşımaktadır. Söz konusu harfler, farklı Türk dillerinde günümüzde kullanılan sesleri tek bir ölçünlü abece sistemi içinde bütünleştirmektedir.

Q harfi, Türkçede bulunmayan ancak Kazakça ve Kırgızca gibi dillerde sıklıkla karşılaşılan kalın "k" sesini ifade etmektedir [21]. Özellikle kalın ünlülerle kullanıldığında belirgin bir ayrım yaratır. Örneğin Kazakçada Qazaq (Kazak) ve Kırgızcada Qırğız (Kırgız) sözcükleri, bu harfin sağladığı doğru yazımı yansıtır. Benzer şekilde X harfi, Azerbaycan Türkçesi ve Türkmencedeki gırtlaksız "h" sesine karşılık gelmektedir [22]. Arapçadan

alınma sözcüklerde sıkça görülen bu ses, Azerbaycan Türkçesinde Xəbər (“Haber”), Türkmencede ise Xyzmat (“Hizmet”) sözcüklerinde yer alır.

Ñ harfi, Türk dillerinde farklı biçimlerde görülen genizsi “N” sesini temsil eder. Tatarcada Ñ, Türkmencede Ñ, Özbekçede “ng” şeklinde yazılır; Kiril kökenli abecelerde ise bu sesi “H” harfi gösterir. Teñri (Tengri) ve Teñiz (Tengiz) gibi sözcüklerde açıkça görülen bu genizsi ses, Azerbaycan Türkçesi ve Türkçede söyleyişle korunmakla birlikte yazıda gösterilmemektedir [19]. Ortak Türk Abecesine Ñ’nin eklenmesiyle bu sesin yazılı biçimde de korunması amaçlanmaktadır.

Son olarak Ū harfi, Türk dillerindeki uzun ünlüleri göstermek için kullanılarak yazılı ve sözlü biçimler arasındaki uyumu artırır [20].

Bu harflerin tek bir abece içinde bütünleştirilmesi, Türk dillerinin ses yapısının daha doğru temsili sağlar ve yazıdaki tutarlılığı güçlendirir. Böylece ölçünleştirme, iletişimi daha anlaşılır hâle getirirken Türk dillerinin sahip olduğu dilsel çeşitliliği de korur.

2.2. Ortak Türk Abecesinin Doğal Dil İşleme (DDİ) Çalışmalarındaki Önemi

Türk abecesine x, ə, q, ñ ve ū harflerinin eklenmesiyle oluşturulan Ortak Türk Abecesi, DDİ çalışmaları açısından büyük önem taşımaktadır. Metin ve ses verilerini işleyerek analiz eden, yorumlayan ve dönüştüren DDİ uygulamaları, bir dilin ses yapısının yazıya eksiksiz ve doğru biçimde aktarılmasına dayalı olarak kesin sonuçlar üretir. Örneğin, Q harfinin kalın “K” sesini ayırt edebilmesi, sesli yardımcıları, konuşma tanıma ve metinden ses üretme (text-to-speech) gibi uygulamaların doğruluğunu artırabilir. Benzer şekilde, gırtlaksı “H” sesini temsil eden X harfi, konuşma verisinin metne dönüştürülmesi sırasında oluşabilecek hataları en aza indirir.

Bu harflerin kullanımı, Türk dillerindeki yazım-ses uyumunu güçlendirerek DDİ algoritmalarının hem eğitime hem de sinema aşamalarında tutarlı ve güvenilir kalmasını sağlar. Örneğin, Q, X ve Ñ gibi harflerin açıkça tanımlanması, çok dilli dil modellerinin Türk dillerini daha iyi işlemesine yardımcı olur. Böylece farklı ses yapılarına doğru şekilde uyum sağlayan dil modelleri, konuşma sentezi ve analiz uygulamalarının etkinliğini yükseltir.

Dijitalleşme ve otomasyon çağında, iyi yapılandırılmış bir abece, DDİ sistemlerinin başarımını artırmakla kalmaz; aynı zamanda Türk dillerindeki kullanım alanlarını da genişletir. Örneğin, Q ve X gibi harflerin doğru tanımlanması, makine çevirisi uygulamalarında daha doğal ve akıcı çeviriler yapılmasına olanak verir. Aynı şekilde, Ū harfinin uzun ünlü olarak belirlenmesi, sözcüklerin anlamını yorumlama ve anlam çıkarma süreçlerinde kritik bir rol oynar.

3. Önceki Çalışmalar ve Güncel Eğilimler

Ses bilimi dillerin seslerini ve yapısal özelliklerini inceleyen bir alandır ve DDİ’de giderek daha kritik bir rol oynamaktadır. Metin işleme, konuşma tanıma, yazım düzeltme ve söyleyiş

değerlendirme gibi uygulamalarda yüksek doğruluk için ses bilginin doğru kullanımı önemlidir. Özellikle ses yapıları çeşitli olan Türk dilleri gibi dillerde, bu özelliklerin doğru modellenmesi DDİ uygulamalarının başarısı açısından kritik öneme sahiptir.

Ses yapıların DDİ sistemlerine etkisi, özellikle konuşma ve dil tanıma ile ses tabanlı analizlerde belirgindir. Araştırmalar, ses ve akustik özelliklerin entegrasyonunun sistem başarımını ve doğruluğunu artırdığını göstermektedir [23-25].

Konuşma tanıma sistemlerinde “Ayırt Edici Ses Özellikler”in (Distinctive Phonetic Features – DPF) rolü, öne çıkan bir araştırma alanıdır. Seddiq ve ark. [23], konuşma sinyallerinde DPF’lerin soyut düzeyde tanımlanmasının, DDİ sistemlerinin başarımını artırdığını vurgulamaktadır. DPF’leri modellemek için derin sinir ağları (Deep Neural Networks – DNN) kullanıldığında, geleneksel çok katmanlı algılayıcı (Multilayer Perceptron – MLP) modellerine kıyasla daha yüksek doğruluk oranlarına ulaşıldığı, dolayısıyla derin öğrenme tekniklerinin ses özelliklerinin işlenmesindeki etkinliğini gösterdiği belirtilmektedir.

Dil tanıma sistemlerinde de ses yapıların kullanılması, doğruluğu ve verimliliği yükseltmektedir. Kukanov ve ark. [25], konuşma dilinin ses özelliklerini daha etkili biçimde modellemek amacıyla derin öğrenme çerçevesinde yeni bir eğitim şeması önermiştir. Bu çalışma, daha düşük boyutlu evrensel ses özelliklerin belirlenmesini kolaylaştırarak dil tanıma sistemlerinin başarımını artırmaktadır.

Ses yapılar, diller arası transliterasyon (bir yazı sisteminden başka bir yazı sistemine aktarım) süreçlerinde de önemli bir rol oynar ve DDİ araçlarının geliştirilmesine katkıda bulunur. Nair ve ark. [26], İngilizceden Hint dillerine transliterasyon yapılırken ses transkripsiyonun önemini vurgulayarak, ses yapıların diller arası seslerin korunmasında yardımcı olduğunu göstermiştir. Bu yaklaşım, farklı dil aileleri arasında köprü kurarak DDİ uygulamalarının çok dilli yeteneklerini desteklemektedir.

Ses eşleştirme algoritmaları, sözcükler arasındaki ses benzerliklerini belirlemek için çeşitli yöntemler sunar. SoundEx, NYSIIS, Daitch-Mokotoff, Metaphone ve Polyphone gibi algoritmalar sözcükleri ses benzerliklerine göre karşılaştırırken, Levenshtein, Jaro ve N-gramlar gibi algoritmalar sözcükler arasındaki mesafeleri ölçer [27]. Bu algoritmaların her biri, farklı dillere özgü üstünlüklere ve sınırlamalara sahiptir ve çoğu zaman ilgili dilin ses kurallarına uyarlanması gerekir.

Örneğin, Yunanca için geliştirilen SoundExGR algoritması, Yunancanın ses kurallarını dikkate alarak yüksek doğruluk oranlarına ulaşmıştır [28]. Benzer biçimde, Standard Malay için oluşturulan bir ses transkripsiyon sistemi, dilin yazım ve ses kurallarını dikkate alarak metni ses birimlere etkin biçimde dönüştürür ve böylelikle Malaycanın ses yapısını daha iyi temsil eder [29].

Küçük kaynağa sahip ve azınlık dilleri için dil özelinde ses algoritmalar geliştirmek özellikle büyük önem taşır. Örneğin, Brezilya Portekizcesi için tasarlanmış ve Aeiouadô olarak adlandırılan karma bir yazıdan-sese dönüştürücü (grapheme-

to-phoneme converter), elle hazırlanmış transkripsiyon kurallarını Sınıflandırma ve Regresyon Ağaçları (Classification and Regression Trees – CART) ile birleştirerek fonem transkripsiyonları oluşturur [30]. Bu tür araçlar, yazım hatalarını düzeltme, ses açıdan zengin cümleleri tespit etme ve otomatik söyleyiş değerlendirmesi gibi uygulamalarda kullanılmaktadır.

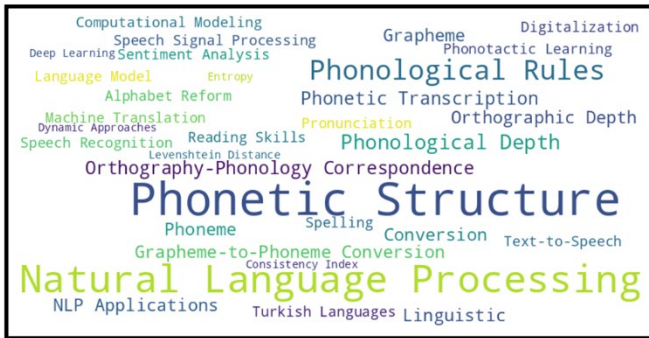
Çok dilli ASR modelleri, birden çok dilin ses temsili öğrenerek daha evrensel ses temsiller oluşturmayı amaçlamaktadır. Bu modeller, hedef dil(ler)e ilişkin ek eğitim verileri ile hata oranlarını önemli ölçüde düşürür ve düşük kaynaklı dillerde umut vaat eden sonuçlar elde eder [31]. Bu yaklaşım, ses temsillerin yeterli şekilde kullanılmasını sağlayarak, yetersiz temsil edilen dillerdeki DDİ uygulamalarının geliştirilmesine katkıda bulunur.

Doğal sınıflar üzerinden tanımlanan ses süreçlerinin analizine, dil özelinde ve rastgele öğeleri de içerecek biçimde yaklaşılabılır. Kontrast tespiti (contrast detection) gibi yöntemler, dil özelinde doğal sınıfları belirlemek için kullanılır [32]. Bu yöntemler, ses ve ses sınıflarının tanımlanmasında etkili bir yol sunarak hem kuramsal hem de uygulamalı dilbilim araştırmalarına katkı sağlar.

Ses bilgisinin DDİ’de geniş ölçüde kullanılması, yalnızca teknolojik gelişmelere yön vermekle kalmaz, aynı zamanda farklı dillerin ses yapılarına ilişkin anlayışımızı güçlendirir ve bu bilgiyi daha etkin araçlara dönüştürür. Özelleşmiş algoritmalar ve çok dilli ses temsiller geliştirmek, DDİ araçlarının doğruluğunu ve verimliliğini artırarak dil teknolojilerinde yeni ufuklar açar.

Ses yapıları akustik özelliklerle bütünleştirmek de DDİ sistemlerinin başarımını daha üst seviyeye taşır. Huang ve ark. [24], akustik olayların DDİ yöntemleriyle birleştirilmesinin, özellikle konuşmaya dayalı depresyon tespiti gibi paralinguistik sınıflandırma görevlerinde önemli üstünlükler sağladığını göstermiştir. Bu yaklaşım, konuşma sinyallerinin yalnızca dil bilimsel içeriği değil, aynı zamanda duygusal ve psikolojik durumları da yansıtan zengin bir bilgi kaynağı olduğunu ortaya koymaktadır.

Şekil-2, bu çalışmada incelenen kaynaklardaki temel konuları ve sıkça kullanılan kavramları görsel olarak temsil etmektedir. Bu kelime bulutu, çalışmaların temel odak alanlarını kavramsal bir çerçeve içinde özetlemektedir.



Şekil-2: Çalışmada İncelenen Makalelerin Kavramsal Kelime Bulutu

Dil özelinde geliştirilen ses algoritmaları, çok dilli ses temsilleri ve DDİ araçlarında ses bilginin etkili kullanımına yönelik çalışmalar, alanın temel araştırma odakları arasında yer almaktadır. Ses bilimi ve ses bilimsel yapılar, dillerin ses sistemlerini anlamada kritik bir rol oynar.

Bu bölümde, ses yapılarının DDİ uygulamalarındaki önemine değinilerek ilgili hesaplamalı yöntemler ve ölçüler (metrikler) tartışılmaktadır. Literatürdeki mevcut yöntemler, özellikle yazım-ses uyumu, ses bilimsel süreçleri ve bu süreçlerin DDİ sistemleriyle bütünleştirilmesi üzerine değerlendirilmiştir. Ayrıca, Ortak Türk Abecesinin bu alana olası katkıları da ele alınmaktadır.

DDİ’deki temel görevler arasında ASR, TTS, duygu analizi, konuşmacı tanıma, karşılıklı konuşma sistemleri, makine çevirisi, yazım denetimi ve dil modellemesi bulunmaktadır. Bu alanlar, DDİ araştırmaları ve uygulamalarının başlıca bileşenlerini oluşturmaktadır.

Konuşma tanıma görevinde kullanılan temel ses bilgiler arasında fonemler, akustik özellikler, diakritikler, tonlama ve vurgu yer alır. Bu görev, konuşmanın metne dönüştürülmesi, sesli komutların anlaşılması ve sesli aramaların gerçekleştirilmesi gibi amaçları içerir. Örneğin, sesli yardımcılar (Siri, Google Asistan) ve transkripsiyon yazılımları bu alanda yaygın olarak kullanılır. Ses temelli dil modellerinin geliştirilmesi, çeşitli aksan ve konuşma stillerini daha iyi tanımak suretiyle ASR sistemlerinin doğruluğunu artırır [33-36].

TTS uygulamalarında hece yapısı, vurgu, tonlama, bürün (prozodi) ve söyleyiş kuralları gibi ses unsurlar büyük önem taşır. TTS, yazılı metni sesli biçime dönüştürerek sesli kitap oluşturma veya sanal asistanların konuşmasını sağlama gibi işlevlere sahiptir. Ekran okuyucular ve yol bulma sistemleri bu teknolojiye örnek gösterilebilir. TTS sistemlerinin doğal ve anlaşılır ses üretmesi için, ses kuralları ile prozodinin dikkatle gözetilmesi gerekir [37] [38].

Duygu analizi sürecinde tonlama, perde (pitch), süre, yoğunluk ve ses kalitesi gibi ses bilgileri kullanılır. Bu sayede konuşmada veya metinde duygusal ton belirlenebilir, müşteri geri bildirimleri analiz edilebilir ve sosyal medya içerikleri takip edilebilir. Müşteri hizmetleri chatbot’ları ve pazarlama araştırmaları gibi alanlarda, ses özelliklerin duygusal ifadeleri anlamaya ve yorumlamaya katkısı büyüktür [39] [40].

Konuşmacı tanıma, ses özellikleri (frekans, formantlar), konuşma stili (hız, ritim), aksan ve diksiyon gibi faktörlere dayanmaktadır. Bu bilgiler, konuşmacının kimliğini doğrulama, güvenlik sistemleri geliştirme ve adli soruşturmalarda ses analizleri yapma amaçlarıyla kullanılır. Örneğin, biyometrik kimlik doğrulama veya ses imzası doğrulama uygulamalarında konuşmacının kendine özgü ses özellikleri devreye girer [41] [42].

Diyalog sistemleri, bürün, tonlama, vurgu, duraklamalar ve söylem edimleri gibi ses öğelere odaklanarak daha doğal ve etkileşimli bir iletişim deneyimi sunmayı hedefler. Bu kapsamda, sanal yardımcılar veya müşteri hizmetleri chatbot’ları, insanlarla gerçekçi biçimde etkileşime geçmek için ses bilgiden yararlanır. Ses öğelerin tanınması, diyalog

sistemlerinin kullanıcı niyetini ve duygusal durumunu daha iyi analiz etmesine yardımcı olur [43] [44].

Makine çevirisi alanında hedef dilin ses özellikleri, söyleyiş kuralları ve bürün dikkate alınarak çevirilerin doğruluğu ile akıcılığının artırılması amaçlanır. Örneğin, ses transkripsiyonun kullanılması, makine çevirisi sistemlerinde söyleyiş hatalarını azaltmaya yardımcı olur. Böylece farklı diller arasındaki ses uyumunun doğru biçimde eşleştirilmesi mümkün hale gelir [45-47].

Yazım denetimi görevinde ses benzerlik ve söyleyiş kuralları esas alınır. Bu sayede yazım hataları tespit edilerek kullanıcıya ses olarak benzer sözcüklerin önerilmesi sağlanır. Örneğin, “kalp” (yürek) ile “kalıp” (bir nesnenin şekli) gibi sözcükler arasındaki fark, ses bilgi sayesinde yakalanabilir. Dolayısıyla yazım denetleyicileri, benzer sesli sözcükleri ayırt etmekte daha başarılı olur [48-50].

Dil modellemesi kapsamında ses temsiller, ses özellikleri ve prozodi gibi öğeler dikkate alınarak daha doğru ve kapsamlı modeller oluşturulabilir. Bu yaklaşım, modellerin doğal dil üretimi ve anlamlandırma süreçlerinde daha başarılı olmasını sağlar. Ses bilgiyi içselleştiren dil modelleri, metin analizinden konuşma tanıma pek çok uygulamada yüksek başarımlar gösterebilir [51] [52].

Ortak Türk Abecesinin DDİ’ye etkin entegrasyonu için ses yapıları ve ses bilimsel süreçlerin ayrıntılı incelenmesi gereklidir. Yazım-ses uyumu, ses derinliği ve grafem-fonem ilişkileri DDİ bağlamında analiz edilmelidir. Ayrıca, ses bilginin entegrasyonunu destekleyen hesaplamalı yöntem ve ölçüler bütüncül değerlendirilmelidir.

Bir sonraki bölümde, ses yapıları ile DDİ arasındaki ilişki, ses bilimsel işleme yöntemleri ve hesaplamalı ölçülerle birlikte ayrıntılı şekilde incelenecektir. Derin öğrenme modellerinin ses süreçlere uyarlanması, dinamik yaklaşımların geliştirilmesi ve Türk dilleri üzerine yapılan ses çalışmalar bu analizlerin temel alt başlıklarını oluşturacaktır. Bu değerlendirmelerin amacı, Ortak Türk Abecesinin DDİ uygulamalarında daha verimli kullanılmasına katkıda bulunmaktır.

3.1. Ses Bilimsel Yapılar ve Doğal Dil İşleme (DDİ) ile İlişkisi

Ses bilimsel bilgi, DDİ sistemlerinin doğru ve verimli çalışması için temel bir unsur konumundadır. Bu bilgi, yazım-ses uyumundan konuşma tanıma sistemlerine kadar geniş bir alanda uygulanmakta ve aşağıdaki alt başlıklarda ses yapılarının DDİ uygulamalarındaki rolü incelenmektedir.

3.1.1. Yazım-Biçimbirim İlişkisi

Yazım-biçimbirim ilişkisi, yazılı dilin sözlü dile nasıl dönüştürüldüğünü ve bu dönüşümün dil işleme sistemleri üzerindeki etkilerini ele alan kritik bir çalışma alanıdır. Bu ilişki, DDİ uygulamalarında ve dil öğrenme süreçlerinde belirleyici bir konuma sahiptir. Yazılı ve sözlü biçimler arasındaki bağlantının gücünü yansıtan “yazım-ses uyumu”, hem dilsel modellemelerde hem de DDİ sistemlerinde başarımları artırma potansiyeli taşır. Bu uyumu anlamaya yönelik araştırmalar, daha etkin dil öğrenme araçlarının ve DDİ modellerinin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır.

“Yazımsal Derinlik”, bir dilin yazılı biçimi ile söyleyiş arasındaki ilişkinin tutarlılığını ölçen bir kavramdır. İngilizce gibi “derin” yazım sistemleri, yazı ile konuşma arasındaki düzensiz ve karmaşık bağlantılarla öne çıkarken; Almanca gibi “yüzeysel” yazım sistemleri, bu ilişkiyi daha tutarlı ve sistematik yansıtır. Bu farklılıklar, yalnızca dil öğrenme süreçlerini değil, beynin dili işleme mekanizmalarını da etkiler. Yapılan çalışmalarda, yüzeysel yazım kuralına sahip dillerde okuma sırasında ses bilimsel yolların daha güçlü biçimde etkinleştiği gösterilmiştir [53]. Bu durum, yüzeysel yazım biçimlerinin ses bilimsel edinim süreçlerini kolaylaştırdığına dair önemli kanıtlar sunar.

“Yazımsal Saydamlık” ise yazılı sözcükler ile onların söyleyişleri arasındaki ilişkinin ne derece açık ve anlaşılır olduğunu ifade eder. Saydam yazım biçimleri yazılı ve sözlü biçimler arasında daha kolay bir eşleme sağlar. Buna karşın, saydam olmayan yazım biçimleri dil öğrenme ve dil işleme modelleri açısından daha büyük zorluklara neden olur. Bu bağlamda yapay sinir ağlarını kullanan araştırmalar, çeşitli dillerin yazım saydamlığını incelemiş ve bu modellerin, grafemden-foneme veya fonemden-grafeme dönüştürme görevlerindeki hata oranlarını öngörmeye etkili olduğunu göstermiştir [54]. Ayrıca, bu modellerin dil öğrenenlerin karşılaştığı yaygın hatalara dair önemli bulgular sunduğu, böylece dil edinme süreçlerini desteklediği belirtilmektedir.

Sonuç olarak, ortografi-fonem ilişkisi, bir dilin yazılı ve sözlü biçimleri arasındaki bağlantının dil işleme süreçlerini nasıl etkilediğini anlamının temel anahtarlarından biridir. Bu alanda yürütülen araştırmalar hem dil öğrenme hem de DDİ uygulamaları için daha verimli sistemler ve yöntemler geliştirilmesine imkân tanımaktadır. “Ortografik derinlik” ve “ortografik saydamlık” gibi kavramlar üzerine yapılan çalışmalar, bu özelliklerin dil öğreniminde olduğu kadar yapay modellerin geliştirilmesinde de büyük etkisi olduğunu göstererek alanın önemini pekiştirmektedir.

3.1.2. Ses Bilimsel Derinlik Kavramı

Ses bilimsel derinlik, bir dilin ses yapılarının öğrenilmesi, işlenmesi ve kullanılmasıyla ilgili çeşitli boyutları kapsayan geniş bir kavramdır. Bu kavram, bir dilin ses bilimsel özelliklerinin ne kadar karmaşık olduğunu ve bu karmaşıklığın öğrenme ve işleme süreçlerini nasıl etkilediğini irdeler. Doğal ses bilimsel yapılarıdaki düzenlilikler, dilin hem insanlar hem de makineler tarafından daha sezgisel biçimde edinilmesini sağlar. “Ses bilimsel doğallık” olarak anılan bu düzenlilikler, bir dilin ses sisteminin kolay edinilebilmesine imkân tanır. Doğal ses bilimsel yapıların tutarlılığı, hem bireyler hem de DDİ modelleri açısından dil kurallarının anlaşılmasını ve uygulanmasını basitleştirir. Örneğin, bir dilde ünlülerin ve ünsüzlerin sistematik dizilişi, dil öğrenimini desteklediği gibi konuşma tanıma sistemlerinin doğruluğunu da artırır.

Ses bilimsel derinlik, yalnızca bireysel dil öğreniminde değil, TTS ve ASR gibi DDİ uygulamalarında da önemli bir rol oynar. Bir dilin ses yapıları ve ses dizilim (fonotaktik) özelliklerine ilişkin kuralların öğrenilmesi, hangi ses dizilimlerinin geçerli olduğunu belirler ve böylelikle modellerin daha doğru sonuçlar üretmesini sağlar. Örneğin, Türkçede “ng” birleşiminin sözcük başında bulunamayacağı kuralı,

öğrenenlerin veya DDİ modellerinin yanlış genellemeler yapmasını engeller.

Ses bilimsel derinlik aynı zamanda bir dilin ne kadar karmaşık olduğunu da yansıtır. Daha derin ses bilimsel yapılara sahip diller, öğrenme sürecinde daha fazla çaba gerektirirken, daha basit ve tutarlı yapılara sahip dillerin edinimi daha kolaydır. Bu durum hem bireysel dil öğrenenler hem de DDİ modelleri için geçerlidir. Düzenli ve öngörülebilir ses bilimsel yapılara sahip dillerde, grafemden-foneme dönüştürme ve söyleyiş değerlendirme gibi görevlerde daha yüksek doğruluk oranlarına ulaşmak mümkündür. Böylece dil öğrenimi kolaylaşır, DDİ modelleri ise genelleme yeteneklerini geliştirir.

Sonuç olarak ses bilimsel derinlik hem dil öğrenimi hem de DDİ uygulamalarında kritik bir etkidir. Bir dilin ses bilimsel yapılarının tutarlılığı, doğallığı ve düzenliliği, bu süreçlerin başarısını büyük ölçüde belirler. Ses bilimsel doğallık ve ses dizilim özelliklerinin anlaşılması hem bireyler hem de makineler için daha etkili ve verimli dil işleme sistemlerinin geliştirilmesine katkı sunar.

3.2. Ses Bilimsel İşleme Yöntemleri ve DDİ Uygulamaları

Ses bilimsel işleme yöntemleri ve bu süreçlerde kullanılan metrikler, bir dilin ses yapısını daha iyi anlamak ve DDİ sistemlerinin bu yapıyı algılama kapasitesini yükseltmek açısından önemlidir. Bu alt bölümde, ses bilimsel işleme yöntemleri ayrıntılı biçimde ele alınmaktadır.

Ses bilimsel işleme, okuma becerisinin edinilmesinde de kritik bir rol oynar. Ses bilimsel işleme içindeki birbiriyle ilişkili ögeler— ses bilimsel farkındalık, sözcüksel erişim ve çalışma belleği—okuma gelişimine katkıda bulunur. Özellikle ses bilimsel farkındalığın hem sözcük tanıma hem de anlama süreçlerini etkileyerek okuma öğreniminde nedensel bir rol oynadığı öne sürülmektedir [55-60].

3.3. Ses Bilimi Ölçüleri ve Hesaplamalı Yöntemler

Ses ve ses bilimsel yapıların değerlendirilmesinde kullanılan hesaplamalı yöntemler ve ölçüler, DDİ sistemlerinin bir dilin ses özelliklerini daha iyi kavramasını sağlamaktadır. Hesaplamalı modelleme alanındaki ilerlemeler, ses bilimsel öğrenimle ilgili anlayışımızı önemli ölçüde derinleştirmiştir. Bu modeller, niceliksel, gürültülü ve tutarsız doğaya sahip doğal dil verilerinden öğrenebilir; gizli ses bilimsel yapıların açığa çıkarılmasına yardımcı olabilir; açık öğrenme kuramları ile gerçek dil verileri arasındaki boşluğu doldurarak, ses bilimsel bilginin edinimi ve çeşitlenmesi konularında derin içgörüler sunar [61].

3.3.1. Grafemden-Foneme (G2P) Dönüştürme

Grafemden-Foneme (G2P) dönüştürme, yazılı metni konuşma biçimine dönüştürmek için kullanılan bir tekniktir. Bu işlem, özellikle TTS ve ASR sistemlerinde kritik bir önem taşır. G2P dönüştürmenin doğruluğu, yani yazılı metnin ses karşılığına ne kadar başarılı dönüştürülebildiği, söz konusu sistemlerin başarımını doğrudan etkiler.

G2P dönüştürmenin başarısı, dilin özelliklerine, yöntem ve kullanılan verilere göre değişiklik gösterir. Her dilin kendine özgü ses sistemi ve söyleyiş kuralları olduğundan, G2P dönüştürmenin karmaşıklığı ve doğruluğu bu kurallara bağlıdır. Örneğin, yazım ve söyleyiş arasındaki uyumun yüksek olduğu (yani yazım-ses uyumunun güçlü olduğu) Türkçe gibi dillerde, G2P dönüştürme genellikle daha basit ve daha yüksek doğrulukla gerçekleştirilebilmektedir [62].

G2P dönüştürme yöntemi de doğruluğu etkiler. Kural tabanlı yaklaşımlar, dil bilim uzmanlarının oluşturduğu kurallara dayanırken; veri odaklı yaklaşımlar, büyük veri kümeleri üzerinde eğitilmiş istatistiksel modellere başvurur. Her yöntemin kendine özgü avantajları ve sınırlılıkları olup; kullanılan algoritmalar ile veri içeriğine göre doğruluk oranı değişmektedir. Veri odaklı modellerde, eğitim verisinin miktarı ve kalitesi büyük önem taşır. Daha kapsamlı ve temsil yeteneği yüksek veriler kullanıldığında, G2P doğruluğunun artması beklenir [63].

Görüldüğü üzere G2P dönüştürme, DDİ’deki ses bilimi uygulamalarının temelini oluşturmada ve başarısı bu sistemlerin genel başarımını belirgin biçimde etkilemektedir. Doğruluğu artırmak için, dilin ses özelliklerini, kullanılan yöntemleri ve eğitim verisinin kalitesini göz önünde bulundurmak büyük önem taşır.

3.3.2. Levenshtein Uzaklığı

Levenshtein uzaklığı, bir dizgiyi (string) başka bir dizgiye dönüştürmek için gereken en az düzenleme işlemi (ekleme, silme, yerine koyma) sayısını ölçer. Mesafe değeri ne kadar düşükse, dizgiler arasındaki benzerlik o kadar yüksektir. DDİ’de sözcük veya cümlelerin benzerliğini ölçmek amacıyla sıkça kullanılır ve yazım denetimi, konuşma tanıma, bilgi erişimi gibi görevler için özellikle faydalıdır [64].

Örneğin, “masa” ve “kasa” sözcükleri arasındaki Levenshtein uzaklığı 1’dir. Burada tek bir düzenleme işlemi (“m” harfinin “k” harfiyle değiştirilmesi) yeterlidir.

Bu ölçü, bir sözcüğün yazılı biçimi ile söylenişi arasındaki benzerliği ölçmek için de uygulanabilir. Farklı söyleyişler arasındaki uzaklığı hesaplayarak, yazılı biçime hangi söyleyişin daha uygun olduğuna karar verilebilir. Bu bilgi, konuşma tanıma sistemlerinin doğruluğunu artırmak veya dil öğrenenlere söyleyiş konusunda yardımcı olmak amacıyla kullanılabilir [65].

Düzenleme uzaklığı algoritmaları DDİ’de yaygın biçimde kullanılır ve farklı sözcük veya cümle çiftleri için gereken işlem süresine bağlı olarak hesaplama karmaşıklığı analiz edilmiştir. Levenshtein, Jaro-Winkler, Soundex, N-grams ve Mahalanobis gibi çeşitli düzenleme uzaklığı yöntemleri, işlem süresiyle ilişkili karmaşıklık bakımından karşılaştırılmıştır [66].

Her ne kadar Levenshtein uzaklığı yazım denetimi ve konuşma tanıma gibi DDİ uygulamalarında dizgi benzerliğini ölçmek için basit ama etkili bir yöntem olsa da anlamsal benzerliği dikkate almaz. Bu nedenle, salt Levenshtein uzaklığı yeterli olmayıp, örneğin anlamsal analiz gibi diğer yöntemlerle de birleştirilerek kullanılmalıdır.

3.3.3. Entropi Tabanlı Ölçüler ve Tutarlılık İndeksi

Entropi tabanlı ölçüler ve tutarlılık indeksi, bir dilin ses yapısının karmaşıklığını ve düzenliliğini değerlendirmek için kullanılan önemli araçlardır. Entropi, bir sistemdeki belirsizlik veya rastgelelik düzeyini ölçer. Dil biliminde, bir dildeki ses veya hece dağılımının ne kadar öngörülemez olduğunu anlamak için kullanılır. Yüksek entropi, daha fazla belirsizlik veya rastgelelik olduğunu gösterir. Örneğin, İngilizce gibi yazım derinliği yüksek bir dil, Türkçe gibi yazım derinliği düşük bir dile görece daha yüksek entropi değerine sahip olacaktır.

Entropi tabanlı ölçüler, yazım-ses uyumunu da değerlendirebilir. Eğer bir dildeki her bir harf her zaman tek bir sese karşılık geliyorsa, dilin entropi değeri düşük olur. Ters durumda, tek bir harf birden fazla sesi temsil ediyorsa ya da tek bir ses birden fazla harfle gösteriliyorsa, dilin entropi değeri yükselir.

Yazım ile söyleyiş arasındaki sistematik ilişkiyi yansıtan “yazımsal saydamlık” entropi ile bağlantılıdır. Yazımsal derinlik arttıkça entropi değerlerinin yükselme eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan araştırmalar, yazımsal derinliğin entropiyi etkilediğini, ancak bu etkinin diller arasında tam olarak örtüşmeyen unsurlarla sınırlı kaldığını göstermektedir.

Tutarlılık indeksi, bir dildeki harf veya harf bileşimlerinin seslerle ne kadar düzenli eşleştiğini gösterir. Tutarlılık indeksi yüksek olan dillerde, yazılı sözcüklerin söyleyişleri daha öngörülebilir olduğu için DDİ modellerinin başarımları da yükselir. Örneğin, tutarlılık indeksi yüksek dillerde konuşma tanıma sistemleri daha iyi sonuçlar üretir ve TTS sistemleri daha doğal ve anlaşılır çıktılar sağlar.

DDİ uygulamalarında bu ölçüler farklı amaçlara hizmet edebilir. Entropi değeri düşük ve tutarlılık indeksi yüksek diller, modellenmesi daha kolay dillerdir. Yüksek yazım-ses uyumu, çeviri görevlerinde kaynak dildeki seslerin hedef dildeki karşılıklarıyla eşleştirilmesini de kolaylaştırır. Sonuç olarak, entropi tabanlı ölçüler ve tutarlılık indeksi, bir dilin ses yapısını analiz etmede ve anlamada değerli araçlardır. Bu metrikler, DDİ uygulamalarının başarımlarını artırmaya ve dil teknolojilerinin geliştirilmesine katkı sağlayabilir.

3.4. Derin Öğrenme Modelleri ve Ses Bilimsel İşleme

Derin öğrenme modelleri, son yıllarda ses bilimsel işleme alanında merkezi bir konuma gelerek önemli başarılar elde etmiştir. Özellikle Evrişimli Sinir Ağları (Convolutional Neural Networks – CNN) ve Uzun Kısa Süreli Bellek (Long Short-Term Memory – LSTM) mimarileri, log-mel spektrogramlar veya ham dalga biçimi (raw waveforms) gibi özellik temsilleriyle farklı ses bilimsel görevlerde geniş kullanım alanı sunar. LSTM’ler, zaman serisi verilerini işleyebilme yetenekleri nedeniyle konuşma tanıma gibi uygulamalarda öne çıkmaktadır [67]. Ayrıca, ses işleme için özel tasarlanmış modellerin geliştirilmesi de yaygınlaşmış; konuşma tanıma, müzik bilgilendirme ve çevresel ses algılama gibi alanlarda daha yüksek doğruluk oranlarına ulaşılmasını sağlamıştır. Derin öğrenme teknikleri, geleneksel yöntemlere kıyasla fonolojik süreçlerin daha derinlemesine analizine ve anlaşılmasına olanak tanıyarak önemli üstünlükler sunar [68].

Konuşma tanıma ve ses işleme alanlarındaki derin öğrenme başarıları, bu teknolojilerin araştırma potansiyelini artırmıştır. ASR sistemlerinde, derin öğrenme yöntemleri diğer makine öğrenmesi yöntemlerine kıyasla sürekli olarak daha yüksek doğruluk oranları sergileyerek sistemleri daha tutarlı ve güvenilir kılar. Derin öğrenmenin ses bilimsel işlemeye yönelik uygulamaları oldukça çeşitlidir. Otomatik konuşma tanıma, ses sentezi ve dönüştürme gibi görevlerde sıklıkla kullanılan bu modeller, çevresel ses tanıma, sesin kaynağını belirleme ve izleme gibi alanlarda da önemli katkılar sunar. Ayrıca, ses kaynağının ayrıştırılması (source separation) ve ses iyileştirme (audio enhancement) gibi görevlerde de derin öğrenme yöntemleri etkin biçimde kullanılır [67].

Derin öğrenme teknikleri, bireysel farklılıkları analiz etme veya ses dizilimi kuralları öğrenme gibi geniş bir yelpazede yenilikçi yaklaşımlar sunar. Bu teknikler, bir dili öğrenme, işleme ve ses bilimsel yapıları kullanma süreçlerinin daha kapsamlı anlaşılmasına katkıda bulunur. Derin öğrenmenin sağladığı dinamik yaklaşımlar ve hesaplamalı modelleme yöntemleri, okuma sürecinde fonolojik işlemenin rolü gibi kritik konulara da ışık tutar [69].

Sonuç olarak, derin öğrenme ve ses bilimsel işleme alanında dönüştürücü ilerlemeler sağlamış ve yeni araştırma alanlarının önünü açmıştır. CNN ve LSTM gibi modeller ve ses bilimsel görevlerde yüksek doğruluğa ulaşılmasını mümkün kılmıştır. Bununla birlikte veri çeşitliliği ve hesaplama gücü gibi konular, gelecekteki araştırmaların ele alması gereken önemli sorunlar olmaya devam etmektedir. Derin öğrenmenin ve ses bilimsel işlemeye uyarlanması genişletildikçe ve daha yenilikçi uygulamalar geliştirildikçe, bu alanın geleceği de şekillenmeye devam edecektir.

3.5. Ses Bilimsel İşlemeye Yönelik Dinamik Yaklaşımlar

Ses bilimsel işlemeye yönelik dinamik yaklaşımlar, dilin zamansal doğasına vurgu yapar. Bu yaklaşımlar, biçimbirimlerin ve işitsel hedeflerin zaman içinde dinamik olarak nasıl kontrol edildiğini ve yapılandırıldığını ele alır. Seri sıralama ve kontrol mekanizmalarının entegrasyonu, konuşma üretimi ve algısının daha iyi anlaşılmasına yardımcı olur. Bu bakış açısı, dilin akışkan ve kesintisiz niteliğini daha net biçimde kavramamızı sağlar [70].

3.6. Türk Dillerinde Ses Bilimi Çalışmaları

Türk dillerinin zengin ses yapısı ve ses özellikleri, DDİ alanında hem fırsatlar hem de zorluklar doğurmaktadır. Bu dillerin özgün ses sistemlerini doğru biçimde modellemek, ses uyumu, ünlü-ünsüz değişimleri gibi yapısal özellikler göz önünde bulundurulduğunda, dil teknolojileri için kritik önem taşır. Bu süreçte kullanılan abecenin rolü de belirleyicidir. Abece, bir dilin ses özelliklerini yazıya dökme konusunda köprü işlevi görür ve DDİ tabanlı uygulamalarda doğru temsil ile analiz için temel bir araçtır. Bu kapsamda Ortak Türk Abecesine geçiş sürecinde mutabık kalan ülkelerde yapılan ses çalışmalar incelenmiş; bu araştırmaların, söz konusu dillerin yapısal ve teknolojik gelişimine katkıları değerlendirilmiştir.

Türkçenin ses özelliklerine dayanan DDİ uygulamaları, metinlerin ses birimlere dönüştürülmesi, vurgu bilgisinin

çıkartılması ve biçim bilimsel çözümleme gibi konuları kapsamaktadır. Örneğin, Türkçenin eklemeli yapısı ve net ses bilimsel kuralları, konuşma tanıma ve transkripsiyon süreçlerini kolaylaştırır. Bununla birlikte, eklerin çeşitliliğinden kaynaklanan gelişmişlik nedeniyle, sözcük temelli bir yaklaşım yerine çoğunlukla biçimbirim temelli bir yöntem tercih edilir. Ayrıca vurgu, uzunluk, ses uyumu ve tonlama gibi üst dil bilimsel (suprasegmental) özellikler de DDİ uygulamalarında dikkate alınması gereken unsurlar arasında yer alır [71].

Kazakça üzerine yapılan DDİ çalışmaları, bu dilin ses ve biçim bilimsel yapısından kaynaklanan zorlukları ortaya koymaktadır. Nazerke Sultanova ve arkadaşları, Kazakçanın eklemeli doğasının, farklı biçim birimlerin sözcüklerle birleşmesi sürecini karmaşıktırdığını belirtmiştir [72]. Kazakçanın ses özelliklerinin doğru biçimde modellenmesi, DDİ sistemlerinin doğruluğunu artırma bakımından kritik önemdedir. Örneğin, Yerzhan Seitkulov ve ekibi, Kazakçanın ses yapısının istatistiksel özelliklerini analiz etmiş ve ses benzerliklerin doğru modellenmesinin DDİ sistemlerinin etkinliğini artıracığını vurgulamıştır [73].

Kırgızca üzerine yapılan araştırmalar, bu dilin akustik ve dil bilimsel özelliklerinin konuşma tanıma sistemlerine entegre edilmesi gerektiğini ortaya koyar. Örneğin, Kırgızcanın eklemeli yapısı ve ses özelliklerinin doğru modellenmesi, bu sistemlerin doğruluğunu iyileştirmede kritik bir adımdır [74].

Özbekçe üzerine yapılan çalışmalar, bu dilin ses yapısını DDİ sistemlerine entegre etme konusunda eksiklikler olduğunu göstermektedir. Mevcut araştırmalar, Özbekçenin özgün ses özelliklerini daha iyi yansıtan DDİ modellerine duyulan ihtiyacı vurgular [75]. Özellikle sözcüklerin yapısal ve ses özelliklerinin doğru analiz edilmesi, dil teknolojilerinin etkinliğini artırabilir.

Azerbaycan Türkçesi üzerine yürütülen DDİ araştırmaları, ses özelliklerin korunması ve dijital ortamlarda doğru biçimde temsil edilmesinin önemine işaret etmektedir. Örneğin, Alguliyev ve arkadaşları, Azerbaycan Türkçesinin ses yapısının korunmasının teknolojik entegrasyon sürecine katkı sağlayacağını öne sürmüştür [76].

Sonuç olarak, Türk dillerinin ses yapılarının doğru biçimde modellenmesi, DDİ uygulamalarının doğruluğunu ve etkinliğini artırmada kritik önemdedir. Ortak Türk Abecesi kullanımı, bu diller arasında yazı birliğini güçlendirirken aynı zamanda dil teknolojilerinin gelişimine de katkıda bulunur.

4. Tartışma

Bu çalışma, Türk dillerinde yazı-söyleyiş uyumunu ve Ortak Türk Abecesi'nin DDİ uygulamaları üzerindeki etkilerini ele alan kapsamlı bir çerçeve sunmaktadır. Ortak Türk Abecesi'nin amacı, farklı Türk dillerinde zaten var olan sesleri tek bir abece aracılığıyla standartlaştırmaktır. Bu bağlamda x, ə, q, ñ ve û gibi harfler, tamamen yeni sesleri değil, belirli lehçelerde kullanılan sesleri temsil etmekte olup, ortak bir yazı sisteminde bu seslerin birleştirilmesini hedeflemektedir.

Her Türk dilinin kendine özgü bir abecesi ve ses yapısı bulunmakla birlikte, Ortak Türk Abecesi'nin hedefi, farklı lehçelerde aynı sesler için aynı harflerin kullanılmasını

sağlamaktır. Bu standardizasyon, yazı-söyleyiş uyumunu güçlendirerek Türk toplulukları arasındaki yazılı iletişimi kolaylaştırır ve dil teknolojilerinde tutarlılık sağlar.

Türkçenin ses özelliklerinden yararlanan DDİ uygulamaları, metinlerin ses birimlere dönüştürülmesi, bürünsel bilginin çıkarılması ve biçimbilimsel analiz gibi konuları içermektedir. Örneğin, Türkçenin eklemeli yapısı ve belirgin ses bilimsel kuralları, konuşma tanıma ve metinden konuşma üretimi gibi süreçleri kolaylaştırır. Bununla birlikte, eklerin çeşitliliğinden kaynaklanan karmaşıklık nedeniyle, sözcük odaklı bir yaklaşım yerine biçimbirim temelli bir yöntem ihtiyacı duyulmaktadır. Vurgu, uzunluk, ses uyumu ve tonlama gibi üst dilbilimsel özellikler de DDİ uygulamalarında dikkate alınması gereken diğer etmenlerdir [71].

Ortak Türk Abecesi'nin temel amacı, farklı lehçelerde mevcut seslerin yazıda temsili tutarlı hâle getirmektir. Bu yaklaşım, hiçbir lehçeye yeni bir ses eklemeyi; aksine, var olan seslerin farklı Türk dillerinde aynı harflerle gösterilmesini sağlar. Böylece DDİ algoritmaları ve dil teknolojileri, Türk dillerinin ses yapılarını daha tutarlı ve doğru şekilde işleyebilir.

DDİ bağlamında, Ortak Türk Abecesi konuşma tanıma, TTS ve makine çevirisi gibi teknolojileri iyileştirme potansiyeline sahiptir. Ancak somut sonuçlar elde edebilmek için yeni veri kümeleri geliştirilmeli ve mevcut DDİ modelleri bu verilerle yeniden eğitilmelidir. Yazı-söyleyiş uyumunu geliştirmeye yönelik yeni metriklerin ve algoritmaların geliştirilmesi de Türk dillerinin dijitalleşmesine önemli ölçüde katkı sağlayabilir.

Sonuç olarak, Ortak Türk Abecesi Türk dillerinin dijitalleşmesi, yazı-söyleyiş uyumunun artırılması ve DDİ uygulamaları açısından büyük fırsatlar sunmaktadır. Bu potansiyelin tam olarak değerlendirilebilmesi için daha kapsamlı veri kümelerine ve uygulamalı araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

5. Çalışmanın Etkileri

5.1. Kuram ve Araştırma Boyutu

Bu çalışma, Türk dillerinin ses yapısını DDİ uygulamalarında doğru ve tutarlı biçimde temsil etmek üzere kuramsal bir çerçeve sunmaktadır. Bu çerçevede, Ortak Türk Abecesi'nin rolü, farklı Türk dillerinde zaten var olan aynı seslerin tek bir yazı sistemi altında standartlaştırılmasına dayanır. x, ə, q, ñ ve û gibi harflerin kullanımı, herhangi bir dile yeni sesler kazandırmak yerine, var olan sesleri tutarlı bir biçimde ifade etmeyi hedefleyerek yazılı iletişimi güçlendirir ve dil teknolojilerinde veri bütünlüğünü sağlar.

Bu yaklaşım, özellikle sesli yardımcıları, konuşma tanıma ve makine çevirisi gibi DDİ uygulamalarında Türk dillerinin ses özelliklerinin doğru biçimde modellenmesini kolaylaştırır. Ses çeşitliliğinin dijital platformlara dâhil edilmesiyle, bu sistemlerin başarımı ve kapsayıcılığı artırılabilir. Böylelikle çalışma, az kaynaklı Türk dillerinin dijitalleştirilmesi hedefine yönelik yeni veri kümeleri ve stratejiler geliştirilmesi için yol gösterici bir çerçeve sunar.

Ayrıca TTS ve ASR gibi teknolojilerde, ses yapıların doğru biçimde temsil edilmesi bu sistemlerin kesinlik ve verimliliğini artırabilir. Dolayısıyla bu çalışma, Türk dillerinin ses zenginliğini yansıtan DDİ sistemlerinin geliştirilmesi için kuramsal bir temel oluşturur ve akademik araştırmaların yanı sıra pratik dil teknolojisi uygulamaları için de yeni ufuklar açar.

5.2. Uygulamalı Çıkarımlar

Bu çalışmanın uygulamaya dönük katkıları, Türk dillerinin dijitalleşmesi ve dil teknolojilerinin ilerlemesi için önemli fırsatlar sunar. Ortak Türk Abecesinin DDİ uygulamalarında ölçünleştirilmiş biçimde kullanılması, Türk dilleri arasında yazılı iletişimi güçlendirerek bütüncül bir dijital altyapının temelini atar. Bu ölçünleme eğitim, bilimsel araştırma ve ticari uygulamalar gibi çeşitli alanlarda teknolojik entegrasyonu destekler.

Ortak Türk Abecesinin kullanılmasının, sesli yardımcılar, konuşma tanıma ve otomatik çeviri sistemleri gibi teknolojilerde daha doğal ve kullanışlı deneyimler sunması beklenmektedir. Türk dillerinin dijital platformlarda doğru biçimde temsil edilmesi, metin analizi, duygu analizi ve anlamsal arama gibi DDİ görevlerinin kesinliğini artırır. Bu gelişmeler az kaynaklı Türk dillerinin dijitalleşmesini hızlandırarak dil teknolojilerinde ilerlemeye katkı sunar.

Ayrıca ortak bir abece, ortak eğitim materyallerinin oluşturulmasını kolaylaştırarak dil öğretimi daha erişilebilir hale getirir ve Türk dünyasında kültürel paylaşımı teşvik eder. Eğitimde ve kültürel işbirliğinde kaydedilecek bu ilerleme, yalnızca dil öğrenimini iyileştirmekle kalmaz, aynı zamanda Türk toplulukları arasındaki bağları da güçlendirir.

5.3. Gelecek Potansiyeller ve Yönelimler

Bu çalışma, Ortak Türk Abecesinin ilerideki DDİ uygulamalarında sunabileceği önemli fırsatları ve olası yönelimleri gözler önüne sermektedir. Ortak Türk Abecesine uyumlu yeni metin veri kümelerinin oluşturulması, Türk dilleri için daha kapsamlı ve çeşitli bir dilsel kaynak sağlamaya yardımcı olacaktır. Bu veri kümeleri, az kaynaklı dillerin dijitalleşmesini destekleyerek, bu dillere özgü DDİ uygulamalarının geliştirilmesine olanak tanır.

Türk dillerinin ses ve yazım sistemlerini doğru bir şekilde yansıtan çok dilli dil modellerinin geliştirilmesi, konuşma tanıma, TTS ve makine çevirisi gibi uygulamaların başarımını artırabilir. Böylelikle Türk dilleri arasında daha etkili iletişim sağlanır ve uluslararası dijital platformlarda daha güçlü bir temsil imkânı doğar.

Ayrıca, yazı-söyleyiş uyumunu iyileştirmeye yönelik yeni DDİ algoritmaları ve ölçülerin tasarlanması, Türk dillerine özgü gelişmiş ses yapıları daha verimli biçimde işleyebilen dil modelleri geliştirilmesine katkı sağlar. Ortak Türk Abecesinin dil öğrenme platformlarına entegrasyonu da dil edinimine destek olacak ve eğitimde yapay zekâ teknolojilerinin yaygınlaşmasını teşvik edecektir. Bu yaklaşım, Türk dünyasında dil öğretiminin modernleşmesini hızlandırırken, ortak bir dil kimliğinin oluşmasına da katkıda bulunur.

6. Sonuç

Bu çalışma, Türk dillerinde yaygın olarak kullanılan x, ə, q, ñ ve û harflerinin ölçünlü bir abece çerçevesine oturtulmasının, yazı-söyleyiş uyumunu güçlendirmede ve ses çeşitliliği DDİ uygulamalarında daha doğru biçimde temsil etmede önemli bir potansiyel taşıdığını ortaya koymuştur. Çalışmada, ses temelli DDİ araştırmalarının odağa alınmasıyla, her bir Türk diline özgü ses yapılarının dijital sistemlerde yansıtılmasının değeri vurgulanmaktadır. Bu harfler, yeni sesleri tanıtmak yerine, farklı Türk dillerinde zaten var olan sesleri tutarlı bir şekilde göstermeyi amaçladığından ortografik birliği artırma potansiyeline sahiptir.

Ayrıca çalışma, ses ayrıntıların daha iyi yakalanması için yazım ölçülenmesinin geniş kapsamlı etkilerine dikkat çekmekte ve yazılı-sözlü biçimler arasındaki uyumun geliştirilmesinin, konuşma tanıma, metinden konuşma üretimi, makine çevirisi ve duygu analizi gibi DDİ görevlerinde başarımı yükseltebileceğini öne sürmektedir. Mevcut çalışmalar göz önünde bulundurulduğunda, bu yönde yeni algoritmalar ve ölçüler tasarlayarak az kaynaklı Türk dillerinin dijitalleşmesinin hızlandırılabilmesi ve bu dillerin uluslararası dijital platformlarda temsilinin güçlendirilebileceği öngörülmektedir.

Eğitim ve kültürel açıdan, ortak bir abece kullanımı, dil öğrenme materyallerinin hazırlanması ve yayılmasını kolaylaştırarak Türk dünyasında daha etkili öğretimi destekleyebilir. Böylece ortak bir dil kimliğinin pekişmesine katkı sağlanırken, yapay zekâ tabanlı dil eğitim platformlarının benimsenmesiyle Türk dillerinin küresel dijital ortamlarda görünürlüğü ve erişilebilirliği de artacaktır.

Sonuç olarak, ses çeşitliliği standart biçimde temsil etmeye yönelik bu yaklaşım, Türk dillerinin dijital evrimi adına önemli bir sıçrama noktasıdır. Yapılan değerlendirmeler ve literatürdeki çalışmalara dayanarak hem algoritmaların hem de ölçülerin geliştirilmesiyle bu potansiyelin daha da güçlendirilebileceği yorumlanmaktadır. Böylelikle eğitim, kültürel etkileşim ve teknolojik entegrasyon süreçleri ivme kazanacak; yazı ile konuşma arasındaki köprü işlevi gören bu abece standardizasyonu, yalnızca farklı Türk dillerini ortak bir yazım çatısı altında birleştirmekle kalmayıp, DDİ ve ilişkili alanlarda yenilikçi araştırmalara ve uygulamalara da zemin hazırlayacaktır.

Kaynakça

- [1] Davenport, M., Hannahs, S. J. *Introducing Phonetics and Phonology* (4th ed.), Routledge, 2020.
- [2] Bar-Yosef, Y., Aloni-Lavi, R., Opher, I., Lotner, N., Tetariy, E., Silber-Varod, V., Moyal, A. Automatic learning of phonetic mappings for cross-language phonetic-search in keyword spotting, 2012 IEEE 27th Convention of Electrical and Electronics Engineers in Israel, IEEE, 2012, pp. 1-5.
- [3] Hanumanthappa, M., Rashmi, S., Jyothi, N. M. Impact of Phonetics in Natural Language Processing: A Literature Survey, IJISSET–International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology, 1(3), 2014.
- [4] Lewis, G. *The Turkish Language Reform: A Catastrophic Success*, Oxford University Press, 1999.

- [5] Shoibekova, G. B., Odanova, S. A., Sultanova, B. M., Yermekova, T. N. Vowel Harmony is a Basic Phonetic Rule of the Turkic Languages, *Interdisciplinary Journal of Environmental and Science Education*, 2016.
- [6] Choi, H., Choi, M., Kim, S., Lim, Y., Lee, M., Yun, S., Kim, S. H. Spoken-to-written text conversion for enhancement of Korean–English readability and machine translation, *ETRI Journal*, 46(1), 127-136, 2024.
- [7] Cedden, G., Aydın, Ö. Do non-native languages have an effect on word order processing in first language Turkish?, *International Journal of Bilingualism*, 23(4), 804-816, 2019.
- [8] Reed, M., Levis, J. M. The handbook of English pronunciation, John Wiley & Sons, 2019.
- [9] Ocal, T., Ehri, L. Spelling pronunciations help college students remember how to spell difficult words, *Reading and Writing*, 30, 947-967, 2017.
- [10] Chiang, C. Y., Li, W. H., Lin, Y. T., Su, J. J., Chen, W. C., Kao, C. C., Chen, S. H. The Speech Labeling and Modeling Toolkit (SLMTK) Version 1.0, 2022 25th Conference of the Oriental COCOSA International Committee for the Co-ordination and Standardisation of Speech Databases and Assessment Techniques (O-COCOSA), IEEE, 2022, pp. 1-5.
- [11] Jurafsky, D., Martin, J. H. *Speech and Language Processing* (3rd ed.), Prentice Hall, 2000.
- [12] Yu, M., Nguyen, H. D., Sokolov, A., Lepird, J., Sathyendra, K. M., Choudhary, S., Kunzmann, S. Multilingual grapheme-to-phoneme conversion with byte representation, *ICASSP 2020 – 2020 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, IEEE, 2020, pp. 8234-8238.
- [13] Yang, J., McCandliss, B. D., Shu, H., Zevin, J. D. Simulating language-specific and language-general effects in a statistical learning model of Chinese reading, *Journal of Memory and Language*, 61(2), 238-257, 2009.
- [14] Schmidtke, D., Conrad, M. Effects of affective phonological iconicity in online language processing: Evidence from a letter search task, *Journal of Experimental Psychology: General*, 147(10), 1544, 2018.
- [15] Oflazer, K. Spelling correction in agglutinative languages, *arXiv preprint cmp-lg/9410004*, 1994.
- [16] Hmooda, S. S., Jasimb, B. H. A Study of the Syntactic Phonological Interface in English Sentence Form, 2020.
- [17] Çoltekin, Ç. Improving successor variety for morphological segmentation, *LOT Occasional Series*, 16, 13-28, 2010.
- [18] Oflazer, K. Turkish and its challenges for language processing, *Language Resources and Evaluation*, 48, 639-653, 2014.
- [19] Atabey, İ. Türkçe-Yazı İlişkisi ve Bağımsızlıklarının 30. Yılında Türk Cumhuriyetlerinde Abece, *International Journal of Volga-Ural and Turkestan Studies*, 6(2), 207-220, 2024.
- [20] Common Turkic alphabet. Wikipedia, Erişim Tarihi: 2025, https://en.wikipedia.org/wiki/Common_Turkic_alphabet.
- [21] Dees, J. Non-uniformity in phonologizing phase heads: Evidence from Kazakh, *Proceedings of the Workshop on Turkic and Languages in Contact with Turkic*, 2023.
- [22] Aliyeva, E. Yeni Uyğur Türkçesinin Dil Özellikleri ve Azerbaycan Türkçesiyle Ortaklıklar, *Akademik Tarih ve Düşünce Dergisi*, 9(2), 484-499, 2022.
- [23] Seddiq, Y., Alotaibi, Y. A., Selouani, S. A., Meftah, A. H. Distinctive phonetic features modeling and extraction using deep neural networks, *IEEE Access*, 7, 81382-81396, 2019.
- [24] Huang, Z., Epps, J., Joachim, D., Sethu, V. Natural language processing methods for acoustic and landmark event-based features in speech-based depression detection, *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 14(2), 435-448, 2019.
- [25] Kukanov, I., Trong, T. N., Hautamäki, V., Siniscalchi, S. M., Salerno, V. M., Lee, K. A. Maximal figure-of-merit framework to detect multi-label phonetic features for spoken language recognition, *IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, 28, 682-695, 2020.
- [26] Nair, J., Ahammed, R. English to Indian Language and Back Transliteration with Phonetic Transcription for Computational Linguistics Tools based on Conventional Transliteration Schemes, 2021 Fourth International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT), IEEE, 2021, pp. 1-6.
- [27] Vykhovanets, V. S., Du, J., Sakulin, S. A. An overview of phonetic encoding algorithms, *Automation and Remote Control*, 81, 1896-1910, 2020.
- [28] Kavros, A., Tzitzikas, Y. SoundexGR: An algorithm for phonetic matching for the Greek language, *Natural Language Engineering*, 29(5), 1305-1340, 2023.
- [29] El-Imam, Y. A., Don, Z. M. Rules and algorithms for phonetic transcription of standard Malay, *IEICE Transactions on Information and Systems*, 88(10), 2354-2372, 2005.
- [30] Almeida, G. A. D. M. Using phonetic knowledge in tools and resources for Natural Language Processing and Pronunciation Evaluation, *Doktora Tezi, Universidade de São Paulo*, 2016.
- [31] Želasko, P., Moro-Velázquez, L., Hasegawa-Johnson, M., Scharenborg, O., Dehak, N. That sounds familiar: an analysis of phonetic representations transfer across languages, *arXiv preprint arXiv:2005.08118*, 2020.
- [32] Nazarov, A. I. Learning phonetically and phonologically natural classes through constraint indexation, *Proceedings of the Annual Meetings on Phonology*, 2021.
- [33] Fang, A., Filice, S., Limsopatham, N., Rokhlenko, O. Using phoneme representations to build predictive models robust to ASR errors, *Proceedings of the 43rd International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval*, ACM, 2020, pp. 699-708.
- [34] Koffi, E. A tutorial on acoustic phonetic feature extraction for automatic speech recognition (ASR) and text-to-speech (TTS) applications in African languages, *Linguistic Portfolios*, 9(1), 11, 2020.
- [35] Lee, C. Y., Zhang, Y., Glass, J. Joint learning of phonetic units and word pronunciations for ASR, *Proceedings of the 2013 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*, 2013, pp. 182-192.
- [36] Želasko, P., Feng, S., Velazquez, L. M., Abavisani, A., Bhati, S., Scharenborg, O., Dehak, N. Discovering phonetic inventories with crosslingual automatic speech recognition, *Computer Speech & Language*, 74, 101358, 2022.
- [37] Ungurean, C., Burileanu, D. An advanced DDİ framework for high-quality Text-to-Speech synthesis, 2011 6th Conference on Speech Technology and Human-Computer Dialogue (SpED), IEEE, 2011, pp. 1-6.
- [38] Kurihara, K. Phonetic and Prosodic Features for Sequence-to-Sequence Acoustic Modeling on Japanese Text-to-Speech and Their Estimation, 2024.
- [39] Mukit, M., Rabbi, M. M. H., Ahmed, M. M., Latif, S., Saha, S. Sentiment Analysis on Bangla and Phonetic Bangla Reviews: A Product Rating Procedure using DDİ and Machine Learning, 2023 IEEE 9th International Women in Engineering (WIE) Conference on Electrical and Computer Engineering (WIECON-ECE), IEEE, 2023, pp. 433-437.

- [40] Peng, H., Ma, Y., Poria, S., Li, Y., Cambria, E. Phonetic-enriched text representation for Chinese sentiment analysis with reinforcement learning, *Information Fusion*, 70, 88-99, 2021.
- [41] Kabir, M. M., Mridha, M. F., Shin, J., Jahan, I., Ohi, A. Q. A survey of speaker recognition: Fundamental theories, recognition methods and opportunities, *IEEE Access*, 9, 79236-79263, 2021.
- [42] Ohi, A. Q., Mridha, M. F., Hamid, M. A., Monowar, M. M. Deep speaker recognition: Process, progress, and challenges, *IEEE Access*, 9, 89619-89643, 2021.
- [43] Becerra, A., De La Rosa, J. I., González, E. Speech recognition in a dialog system: From conventional to deep processing: A case study applied to Spanish, *Multimedia Tools and Applications*, 77, 15875-15911, 2018.
- [44] Wilks, Y., Catizone, R., Worgan, S., Turunen, M. Some background on dialogue management and conversational speech for dialogue systems, *Computer Speech & Language*, 25(2), 128-139, 2011.
- [45] Kumar, A., Pratap, A., Singh, A. K. Generative adversarial neural machine translation for phonetic languages via reinforcement learning, *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computational Intelligence*, 7(1), 190-199, 2022.
- [46] Kumar, A., Parida, S., Pratap, A., Singh, A. K. Machine translation by projecting text into the same phonetic-orthographic space using a common encoding, *Sādhanā*, 48(4), 238, 2023.
- [47] Hanumanthappa, M., Rashmi, S., Reddy, M. V. Metrics for evaluating phonetics machine translation in Natural Language Processing through modified Edit Distance algorithm-A naive approach, 2015 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI), IEEE, 2015, pp. 1-7.
- [48] Randhawa, E. S., Saroa, E. C. Study of spell checking techniques and available spell checkers in regional languages: a survey, *International Journal For Technological Research In Engineering*, 2(3), 148-151, 2014.
- [49] Tan, M., Chen, D., Li, Z., Wang, P. Spelling error correction with BERT based on character-phonetic, 2020 IEEE 6th International Conference on Computer and Communications (ICCC), IEEE, 2020, pp. 1146-1150.
- [50] Doshi, F., Gandhi, J., Gosalia, D., Bagul, S. Normalizing text using language modelling based on phonetics and string similarity, *arXiv preprint arXiv:2006.14116*, 2020.
- [51] Sundararaman, M. N., Kumar, A., Vepa, J. Phoneme-bert: Joint language modelling of phoneme sequence and asr transcript, *arXiv preprint arXiv:2102.00804*, 2021.
- [52] Tsvetkov, Y., Sitaram, S., Faruqui, M., Lample, G., Littell, P., Mortensen, D., Dyer, C. Polyglot neural language models: A case study in cross-lingual phonetic representation learning, *arXiv preprint arXiv:1605.03832*, 2016.
- [53] Buetler, K., Rodríguez, D., Laganaro, M., Müri, R., Nyffeler, T., Spierer, L., Annoni, J. Balanced bilinguals favor lexical processing in their opaque language and conversion system in their shallow language, *Brain and Language*, 150, 166-176, 2015.
- [54] Marjou, X. OTEANN: Estimating the Transparency of Orthographies with an Artificial Neural Network, *arXiv preprint arXiv:1912.13321*, 2019.
- [55] Wagner, R., Torgesen, J. The nature of phonological processing and its causal role in the acquisition of reading skills, *Psychological Bulletin*, 101, 192-212, 1987.
- [56] Mitchell, J. Comprehensive Test of Phonological Processing, *Assessment for Effective Intervention*, 26, 57-63, 2001.
- [57] Torgesen, J., Wagner, R., Rashotte, C. Longitudinal Studies of Phonological Processing and Reading, *Journal of Learning Disabilities*, 27, 276-286, 1994.
- [58] Yang, X., McBride, C. How do phonological processing abilities contribute to early Chinese reading and mathematics?, *Educational Psychology*, 40, 893-911, 2020.
- [59] Schoenel, A., Escarce, A., Araújo, L., Lemos, S. Influence of phonological processing on poor school performance: systematic literature review., *CoDAS*, 32(5), e20180255, 2020.
- [60] Werfel, K., Hendricks, A. The Contribution of Phonological Processing to Reading and Spelling in Students With Cochlear Implants., *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, 1-14, 2023.
- [61] Jarosz, G. Computational Modeling of Phonological Learning, *Annual Review of Linguistics*, 2019.
- [62] Koşaner, Ö., Birant, Ç. C., Aktaş, Ö. Improving Turkish language training materials: Grapheme-to-phoneme conversion for adding phonemic transcription into dictionary entries and course books, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 103, 473-484, 2013.
- [63] Altınok, D. Towards Turkish ASR: Anatomy of a rule-based Turkish g2p, *arXiv preprint arXiv:1601.03783*, 2016.
- [64] Al-Bakry, P., Al-Rikaby, M. Enhanced Levenshtein Edit Distance Method functioning as a String-to-String Similarity Measure, (*Yayın bilgisi kısmı*), 1, 48-54, 2016.
- [65] Greenhill, S. Levenshtein Distances Fail to Identify Language Relationships Accurately, *Computational Linguistics*, 37, 689-698, 2011.
- [66] Maarif, H., Akmeliawati, R., Htike, Z., Gunawan, T. Complexity Algorithm Analysis for Edit Distance, 2014 International Conference on Computer and Communication Engineering, IEEE, 2014, pp. 135-137.
- [67] Purwins, H., Li, B., Virtanen, T., Schlüter, J., Chang, S., Sainath, T. Deep Learning for Audio Signal Processing, *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 13, 206-219, 2019.
- [68] Nassif, A. B., Shahin, I., Attili, I., Azzeh, M., Shaalan, K. Speech recognition using deep neural networks: A systematic review, *IEEE Access*, 7, 19143-19165, 2019.
- [69] Otter, D., Medina, J., Kalita, J. A Survey of the Usages of Deep Learning for Natural Language Processing, *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 32, 604-624, 2020.
- [70] Hatfield, H. Dynamic Approaches to Phonological Processing, 2023.
- [71] Adalı, E. The Logic of Turkish Language for DDİ, *Journal of Problems in Computer Science and Information Technologies*, 2(2), 2024.
- [72] Sultanova, N., Kessikbayeva, G., Amangeldi, Y. Kazakh Language Open Vocabulary Language Model with Deep Neural Networks, 2019 15th International Conference on Electronics, Computer and Computation (ICECCO), IEEE, 2019, pp. 1-4.
- [73] Seitkulov, Y. N., Boranbayev, S. N., Yergaliyeva, B. B., Atanov, S. K., Davydau, H. V., Patapovich, A. V. The base of speech structural units of Kazakh language for the synthesis of speech-like signals, 2018 IEEE 12th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT), IEEE, 2018, pp. 1-4.
- [74] Stern, N. Z., Washington, J. N. A phonetic study of length and duration in Kyrgyz vowels, *Proceedings of the Workshop on Turkic and Languages in Contact with Turkic (Vol. 4)*, 119-131, 2019.

- [75] Azimov, I. M. The problem of vowels in the Uzbek language, The American Journal of Social Science and Education Innovations, 5(04), 73-81, 2023.
- [76] Alguliyev, R., Jafarov, Y., Aliguliyev, R. ICT problems of the Azerbaijani language, the Azerbaijani language problems of ICT, environment, 15(2), 3-13, 2024.