

TÜRKÇE METİNDEN KONUŞMA SENTEZLEME UYGULAMALARI İÇİN BİR VERİ SÖZLÜK SETİ VE YAZILIM ÇERÇEVESİ

Asım Egemen YILMAZ

Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Ankara Üniversitesi, 06100 Tandoğan, Ankara
aevilmaz@eng.ankara.edu.tr

(Geliş/Received: 22.01.2009 ; Kabul/Accepted: 02.11.2009)

ÖZET

Bu çalışmada, Türkçe metinden konuşma sentezleme uygulamaları için altyapı sağlayacak olan bir veri sözlük seti ve yazılım çerçevesi tanıtılmaktadır. Söz konusu altyapı, Microsoft.NET 2.0 ortamında geliştirilmiş fonksiyonlar ve XML tabanlı kural betiklerinden oluşmaktadır. Altyapı fonksiyonları, verilen bir metnin doğru fonetik gösteriminin yapılabilmesi; metin içerisindeki kısaltmaların, sayısal değerlerin doğru bir şekilde okunabilmesi için uygun şekilde yazılı hale dönüştürülmesi vb. görevleri yerine getirmektedir. Bu çalışma kapsamında, fonetik gösterim için özel bir sembol kümesi de tanımlanmış olup bu makalede detaylı olarak tanımlanmıştır. Altyapının, gelecekte yapılacak olan metinden konuşma sentezleme uygulamaları için standardizasyon sağlaması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Metinden konuşma sentezleme, harf ses dönüşümü, fonetik gösterim, yazılım çerçevesi, yazılım altyapısı.

A LEXICON SET AND SOFTWARE FRAMEWORK FOR TURKISH TEXT-TO-SPEECH SYNTHESIS APPLICATIONS

ABSTRACT

In this work a lexicon set and software framework, which will provide an infrastructure for Turkish text-to-speech synthesis applications, are introduced. The infrastructure consists of functions developed at Microsoft.NET 2.0 environment and XML based rule scripts. The infrastructure functions perform operations such as the correct phonetic representation of a given text; the conversions of acronyms and abbreviations or numerical values inside a text to appropriate written form for correct speech synthesis, etc. In scope of this study, a proprietary phonetic representation has also been defined, and it is described in details in this paper. It is aimed that the infrastructure will provide standardization for the future text-to-speech applications.

Keywords: Text-to-speech synthesis, grapheme-to-morpheme conversion, phonetic representation, software framework, software infrastructure

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Metinden konuşma sentezleme uygulamaları, çoklu ortam araçlarında kullanıcı ile olan etkileşimin daha insani bir hale getirilmesi, ya da başta görme engelliler olmak üzere belirli kitlelerin yaşamının kolaylaştırılması gibi değişik amaçlarla günümüzde sabit veya taşınabilir birçok cihazın içerisinde kullanılmaktadır. İnsan sesine benzer seslerin otomatik olarak üretilmesi çabaları, 18. yüzyılda başlamıştır. Tarihte bu alanda bilinen ilk önemli örnek, von Kempelen'in 1791 tarihli "Konuşma Makinesi"dir. Bu ve sonrasındaki

yöntemler, insan gırtlak yapısının mekanik cihazlar ile benzetilmesi ve konuşma esnasında çıkarılan seslerin bu cihazlar ile taklit edilmesi esasına dayanmaktadır. 1950'li yıllara kadar, operatör ile idare edilerek veya otomatik olarak önceden kaydedilmiş sesleri art arda sıralayarak sentezleyen çeşitli mekanik cihazlar geliştirilmiştir [1]. 1960 sonrasında ise bilgisayar teknolojisinin kullanımı ile metinden konuşma sentezleme çalışmaları büyük bir ivme kazanmıştır. İlk yıllarda, başta İngilizce olmak üzere genelde Hint-Avrupa dil ailesindeki diller üzerinde yoğunlaşan çalışmalar, zamanla diğer dil ailelerine de uygulanmıştır.

Türkçe metinden konuşma sentezleme çalışmaları ise (yazarın bilgisi dahilinde) 1990lı yıllarda akademik kulvarda başlamış olup; günümüzde farklı araştırmacılar tarafından gerek akademik, gerekse ticari çalışmalar yürütülmektedir. Türkçe metinden konuşma sentezleme konusu ile doğrudan ve dolaylı anlamda ilgili olarak (yazarın bugüne değin yapmış olduğu araştırmalar sonucunda tespit ettiği kadarı ile), bugüne kadar çeşitli yüksek lisans [2-17] ve doktora [18] tezleri yapılmış, bunlara ilişkin çeşitli konferans bildirileri [19-27] ve dergi makaleleri [28-30] yayımlanmıştır. Söz konusu çalışmaların birçoğunun odak noktasını, konuşma sentezleme için gerekli olan sinyal işleme seviyesindeki işlemler (örneğin uç uca ekleme yöntemleri, uç uca eklenecek sesbirimlerinin tespiti ve seçimi, vb.) ve hususlar oluşturmaktadır. Bu çalışmalardan bazıları (örneğin [14] ve [17]), konuşma sentezleme işleminin taşınabilir cihazlar üzerinde gerçekleştirilmesine odaklanmış; bazıları (örneğin [12], [20], [23], [24]) sesbirimlerinin ve nihai sentezlenmiş konuşmadaki seslerin süresinin tespiti üzerine yoğunlaşmış; bazıları ise (örneğin [13] ve [26]) sentezleme esnasındaki ezgi modelleme işlemini temel konu olarak ele almıştır.

Öte yandan Türkçe'deki fonetik gösterimler ve okuma esnasındaki telaffuz belirsizlikleri, yukarıda belirtilmiş olan birçok yayından sadece birkaç tanesinin ana konusunu teşkil etmektedir. Bunlar arasından [22] ve [28], Türkçe'deki birçok özel ve istisnai durumu ele almaları ve geniş kapsamaları dolayısıyla, bu konudaki en temel kaynaklar olarak değerlendirilebilir. Bunun dışında [5], [15], [18], [30] ve ayrıca (konuşma tanıma yönelik bir çalışma olmasına karşın) [35]'de, Türkçe'deki seslere dair fonetik gösterimlere dair bölümler ve bir takım tartışmalar bulunmaktadır. Ancak bazı çalışmalarda (örneğin [27]), Türkçe'nin tamamı ile fonetik olduğu varsayılmış, telaffuz belirsizliği gibi hususlar tamamı ile göz ardı edilmiştir.

Bu çalışmada*, [5], [15], [18], [22], [28], [30] ve [35]'de verilmiş olan özel ve istisnai durumlar temel alınmış olup; bunların yanı sıra yazar tarafından da bulunmuş olan başka bir takım istisnai durumların da içerilebilmesi için özel bir fonetik gösterim önerilmektedir. Ayrıca, Türkçe için daha önce pek incelenmemiş olan kısaltma, sayı değeri, vb. bilgilerin doğru olarak seslendirilmesi için gerekli bir takım yöntemler de sunulmaktadır.

* Bu makale, 9-11 Nisan 2009 tarihleri arasında Antalya'da düzenlenen IEEE 17. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SIU 2009)'nda sunulmuş ve Bildiriler Kitabı s. 956-959'da yayınlanmış olan "Türkçe Metinden Konuşma Sentezleme Uygulamaları İçin Bir Veri Sözlük Seti ve Yazılım Çerçevesi Önerisi" başlıklı bildirinin güncellenmiş ve genişletilmiş halidir.

2. GÜNÜMÜZ TÜRKÇE'SİNDEKİ MEVCUT SESLER VE ALFABETİK GÖSTERİMLERİ (PHONEMES IN CURRENT TURKISH AND THEIR ALPHABETICAL REPRESENTATIONS)

Türk alfabesinin fonetik olduğu, bir başka deyişle mevcut alfabe sayesinde harf-ses dönüşüm bağıntısının (*grapheme-to-phoneme mapping*) bire bir olduğu iddia edilmektedir; ancak özellikle yabancı (Fransızca, Arapça, Farsça) kökenli sözcüklerde bire bir bağıntının bozulduğu birçok örnek bulunabilir. Türkiye Türkçe'sindeki seslerin alfabetik gösterimi hakkında gerek dilbilimcilerin [31-34], gerekse konuşma tanıma ve sentezleme ile ilgilenen araştırmacıların [35] çeşitli çalışmaları bulunmaktadır. Bu çalışmalardaki ortak çıkarım, 29 harfin günümüz Türkçe'sinde konuşma esnasında çıkartılan seslerin tamamı ile temsil edilmesinde yetersiz kaldığıdır. Örneğin User'in çalışması [34], geçmişten günümüze bütün Türk topluluklarının kullandıkları alfabelerin yanı sıra 1928'deki Harf Devrimi öncesi yapılmış olan Türk Alfabeti önerilerini belgelemektedir. Bu önerilerin kimilerinde bazı seslerin temsil edilebilmesi için α , w gibi harflerin de önerilmiş olduğu görülmektedir. Yine bir dilbilimci olan Ergenç'in çalışmasında ise [33], günümüz Türkçe'sinde 44 farklı ses olduğu belirtilmiştir.

1928 yılında Harf Devrimi yapılırken \wedge düzeltme işaretinin hem uzatma, hem de inceltme amacıyla kullanımının yeterli olacağı öngörülmüştür [36]. Dolayısıyla aynı işaret, bazen üzerine geldiği sesli harfin önündeki sessiz harfin (örneğin k , g ve l) inceltmesi (*palatalization*) amacıyla kullanılmaktadır. Ancak tek bir düzeltici işaretin yetersiz kaldığı durumlar da bulunmaktadır. Örneğin *garip*, *gazi*, *gavur*, *cengaver* sözcükleri ele alındığında; ilkinde *ga* hecesinin normal okunduğu, ikincisinde *a* harfinin uzun okunduğu, üçüncüsünde *g* harfinin ince okunduğu, sonuncusunda ise *g* harfinin ince okunmasının yanı sıra *a* harfinin de uzun okunduğu görülmektedir. Benzer durumlar k harfi için *karışık*, *kabiliyet*, *kağıt*, *katip* sözcüklerinde; veya l harfi için *lala*, *asla*, *lama*, *imla* sözcüklerinde de geçerlidir.

Son 20–25 yıl içinde, gerek Türk Dil Kurumu'nun mevcut düzeltme işaretini (\wedge) kaldırdığı yönündeki asılsız söylentiler [36], gerekse bilgisayar, cep telefonu gibi sadece standart yazı karakterlerini destekleyen yazım ortamlarının sıkça kullanılmaya başlanması dolayısıyla Türk alfabesinin zaten yetersiz olan tek düzeltici işareti de uygulamada iyice az kullanılır hale gelmiştir. Her şeye rağmen düzeltici işaret eksikliği, sözcükleri bir bütün halinde görerek tümdengelim tekniğiyle okuma yapan "insan" okuyucular için büyük bir telaffuz sorunu teşkil etmemektedir. Ancak yazılım destekli metinden konuşma sentezleme uygulamalarında, doğru telaffuz için gerekli yerlerde

ilgili düzeltici işaret(ler)in kullanımı, büyük önem arz etmektedir.

Örnek 1’de verilmiş olan sözcük ikililerinde, sözcüklerin aynı harfle yazılmakta olan bölümlerinin okunurken aslında farklı şekilde seslendirilmekte olduğu görülmektedir:

Örnek 1:
aptal/iptal; talep/talip;
masal/misal; bina/zina; sanal/banal;
dalga/dalya; surat/sürat;
kayık/layık; hazır/nazır; mine/mide;
emaye/sermaye; balta/balya;
demin/temin

Harf-ses dönüşüm bağıntısında bire bir olma özelliğinin sağlanması için, yukarıdaki örnekte verilmiş olan sözcük ikililerinin aslında farklı şekillerde yazılması gerekmektedir. Konuşma tanıma ve sentezleme amacıyla yapılan çalışmalarda, genellikle uluslararası fonetik bir gösterim standardı olan SAMPA [37] veya onun genişletilmiş bir versiyonu olan X-SAMPA [38] kullanılmaktadır. Ancak bazı araştırmacılar da (örneğin Salor ve diğerleri [35]), çalışmalarında kendi tanımladıkları gösterim kümesini kullanmayı tercih etmişlerdir.

Gerek SAMPA ve X-SAMPA standartlarında, gerekse diğer gösterimlerde bazı seslerin gösterimi amacıyla noktalama işaretleri ve sayısal değerler kullanılmaktadır. Bunun dışında önerilmiş olan diğer gösterimlerde ise (örneğin [35]) bazı özel karakterler kullanılmıştır. Bu çalışmada ise, fonetik olarak betimlenen metnin akıcılığını bozmamak için özel karakterler ve noktalama işaretlerinin olmadığı bir gösterim oluşturulmuştur. Böylece önerilen gösterimlerin, “insan” okur-yazar tarafından da kolayca yazılabilmesi ve okunabilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca, önerilen gösterimdeki işaretlerin yazılım tarafından da kolayca işlenebilmesi için ASCII karakter kodu olan işaretlerin seçilmesine dikkat edilmiştir. Oluşturulan fonetik gösterimde, istisnai durumların ilgili sesli harfler üzerine getirilecek değiştirme işaretleri ile ele alınmasına karar verilmiştir. Fonetik gösterim oluşturulurken, Türkçe’de harf-ses dönüşümünde bire bir olma özelliğini bozan heceler analiz edilerek yola çıkılmıştır. Bu analiz sonucunda, aşağıdaki heceler harf-ses dönüşümünde bire bir olma özelliğini bozduğu belirlenmiştir:

1. a, e, i, o, u veya ü harfi ile biten heceler: Böyle hecelerde ilgili harf normal (Örneğin **atak**, **eşek**, **inek**, **otomobil**, **uzun**, **üzüm**); veya uzun (Örneğin **aşık**, **temin**, **ikaz**, **limoni**, **udi**, **mümin**) seslendiriliyor olabilir
2. al, ol veya ul harf ikilisi ile biten heceler: Böyle hecelerde l harfi damaksıl (*velar*) (Örneğin **alkış**, **bol**, **dul**); veya dış

yuvasından (*alveolar*) (Örneğin **alkol**, **karambol**, **makbul**) seslendiriliyor olabilir.

3. la, lo veya lu harf ikilisi ile başlayan heceler: Böyle hecelerde l harfi damaksıl (*velar*) (Örneğin **lala**, **balo**, **tulum**); veya dış yuvasından (*alveolar*) (Örneğin **lamba**, **silo**, **billur**) seslendiriliyor olabilir.
4. k veya g harfi ile başlayan heceler: Böyle hecelerde ilgili harf damaksıl (*velar*) (Örneğin **kasa**, **gaga**); veya yarı-damaksıl (*palatal*) (Örneğin **kağıt**, **gavur**) seslendiriliyor olabilir.
5. at harf ikilisi ile biten heceler: Böyle hecelerde at harf ikilisi, **kat**, **yat** sözcüklerinde olduğu gibi doğrudan; veya **saat**, **sıhhat** sözcüklerinde olduğu gibi yumuşak (arada e fonemi varmışçasına, aet üçlü fonemi hızlıca seslendirilir gibi) seslendiriliyor olabilir.
6. na harf ikilisi ile başlayan heceler: Böyle hecelerde na harf ikilisi, **nar**, **naz** sözcüklerinde olduğu gibi doğrudan; veya **mana**, **Mevlana** sözcüklerinde olduğu gibi yumuşak (arada e fonemi varmışçasına, nea üçlü fonemi hızlıca seslendirilir gibi) seslendiriliyor olabilir.
7. el, em veya en harf ikilisi ile biten heceler: Böyle hecelerde e harfi dar (Örneğin **belli**, **emzik**, **engerek**); veya geniş (Örneğin **belge**, **matem**, **tören**) seslendiriliyor olabilir.

Bu analiz sonucunda, Tablo 1’de listelenmiş olan 15 yeni sembolün eklenmesine; bir başka deyişle günümüz Türkçe’sindeki seslerin 44 harf ile temsil edilmesine karar verilmiştir. Tablo 2’de ise, söz konusu semboller örnek sözcüklerde kullanılmıştır. Bu gösterim ile, Örnek 1’de verilmiş olan sözcük ikilileri aşağıdaki şekilde yazılacaktır:

aptal/iptâl; talep/tâlîp;
masal/misâl; binâ/zînâ; sanal/banâl;
dalga/dâlyâ; surat/sûrât;
kayık/lâyık; hazır/nâzır; mine/mîde;
emaye/sermâye; balta/bâlyâ;
demin/têmin

Bu gösterimde, aynı şekilde yazılıp farklı şekilde okunma durumları ortadan kalkmaktadır. Sözkonusu gösterimle, aynı zamanda bazı sözcüklerde birden fazla sesli harfin değiştirici işaret alabileceği de Örnek 2’de görülmektedir:

Örnek 2:

Halâskârgâzi, Çöl Harekâtı, âlköl,
tâkât, sadâkât, rubâî, îmâlât,
şâirâne, pekâlâ, nâçizâne, hayâtî,
limônî, âmiyâne, Gûlyabânî, hülâsâ,
mânâ, Mevlânâ, Zekâi Tâhir, kânûnî,
zâtîâlîleri, ferâgât, mâkûl

Yazar tarafından şu ana kadar yapılmış olan çalışmalar sonucunda, harf-ses dönüşümünde istisnai

Tablo 1. Önerilen Yeni Semboller ve Tanımları (Proposed Additional Symbols and Their Definitions)

Normal	Normal seslendirilen harf	Aa	Ee	İi	Oo	Uu	Üü
Uzun	Uzun seslendirilen harf	Āā	Ēē	Îî	Ôô	Ūū	ÛÛ
İnce	Hece içerisinde: Dış yuvasından seslendirilen (<i>alveolar</i>) l harfini takip eden a, o ve u harfleri; Yarı-damaksıl (<i>palatal</i>) k ve ğ harflerini takip eden a ve u harfleri. nea trifonu gibi seslendirilen na difonundaki a harfi.	Āā	-	-	Ôô	Ūū	-
	Hem ince, hem de uzun seslendirilme koşullarını sağlayan a ve u harfleri.	Āā	-	-	-	Ūū	-
Yumuşak	Hece içerisinde: Dış yuvasından seslendirilen (<i>alveolar</i>) l harfinden önce gelen a, o ve u harfleri; aet trifonu gibi seslendirilen at difonundaki a harfi.	Àà	-	-	Òò	Ûù	-
Geniş	Geniş seslendirilen e harfi.	-	Ĕĕ	-	-	-	-

Tablo 2. Önerilen Yeni Sembollerin Kullanımına Dair Örnekler (Examples Regarding the Usage of the Proposed Symbols)

	a	e	i	o	u	ü
Normal	aba	elek	inat	otomobil	uzun	ülkü
Uzun	âşık	têmin	îkaz	limônî	ûdî	mÿmin
İnce	lâma, kâğıt, gâvur	-	-	lómboz	billúr, sükút	-
Uzun ve İnce	lâle, kâbus, yegâne, mânâ	-	-	-	ulýfe, sükýnet	-
Yumuşak	ihmâl, itaât	-	-	gòl	kabûl	-
Geniş	-	dirhêm	-	-	-	-

(bire bir olma özelliğini bozmakta olan) 154 hece tespit edilmiştir. Söz konusu heceler ve bunların farklı okunuşlarına dair örnekler, Tablo 3’de verilmiştir. Bu tabloda verilen sözcük örneklerinde, mümkün olduğunca yalın halde cins isimler verilmesine gayret edilmiş olup; böyle sözcüklerin bulunamadığı durumlarda özel isimler veya çekim eki almış sözcükler kullanılmıştır. Listelenmiş bazı heceler (örneğin ga, ka, kat, la, lu, vb.) 2’den fazla şekilde okunabildiği de görülmektedir. Aşlıyan ve Günel [27], Türkçe’de yaklaşık olarak 4500 hece bulunduğunu belirtmişlerdir. Sözkonusu 154 hecenin rasgele seçilmiş anlamlı Türkçe metinlerde istatistiksel olarak bulunma olasılığı, gelecek çalışmalarda incelenmesi gereken bir konudur.

3. VERİ SÖZLÜK SETİ VE YAZILIM ÇERÇEVESİ (THE LEXICON SET AND THE SOFTWARE FRAMEWORK)

Bu çalışma kapsamında önerilmekte ve halen geliştirilmekte olan veri sözlük seti ve yazılım çerçevesi bileşenleri, Şekil 1’de görüldüğü gibidir. Söz konusu yazılım çerçevesi, Microsoft.NET 2.0 ortamında geliştirilmekte olan fonksiyonlar ve XML tabanlı kural betiklerinden oluşmaktadır. Siyah renkle belirtilmiş olan bileşenlerde geliştirilme faaliyeti tamamlanmış olup gri renkle belirtilmiş olanlar için geliştirme halen devam etmektedir. Bu çalışmanın kuramsal boyutunda, özellikle Oflazer ve Inkelas tarafından yapılmış olan çalışma [28] esas alınmış; söz konusu çalışmada bulunmayan veya ilgili makalede açıkça değinilmemiş bir takım yeni özellik-

lerin (örneğin Ekte Telaffuz Değişikliği, Uzaticı Ulaşma, Konuşma Diline Dönüştürme, Kısıltma Dönüştürme, Sayısal Değer Dönüştürme fonksiyonları) de bu çalışmaya eklenmesine çalışılmıştır.

Karakter dizilerinin metin içerisinde aratılması, metin tabanlı (.txt.csv) ve girdi/çıkırtı dosyalarının UTF-8 formatında kodlanarak okunması ve yazılması, XML tabanlı betik dosyalarının okunması ve yazılması gibi hususlarda, Microsoft.NET’in ilgili sınıf ve metodlarından yararlanılmaktadır. Şekil 1’de görülen bütün bileşenler, çalışma zamanında (varsa) kendileri ile ilgili kural betikleri ve ilgili veri sözlükleri ile etkileşime girerek buralardaki bilgiler uyarınca görev yapmaktadır.

Altyapının temel fonksiyonları, metinden konuşma sentezleme için gerekli olan heceleme algoritması, sözlüksel (*lexical*) ve sözdizimsel (*syntactic*) analiz fonksiyonlarından oluşmaktadır. Altyapının uygulamaya yönelik fonksiyonları, verilen bir metnin fonetik gösterime dönüştürülmesi esnasında bu temel fonksiyonlardan yararlanılmaktadır. Heceleme algoritması, temelde literatürdeki çeşitli kaynaklarda (örneğin [27] veya [28]) verilmiş olan Türkçe sözcüklerdeki sesli-sessiz harf dizilimine göre geliştirilmiştir. Ancak, yabancı kökenli sözcüklerde (özellikle Latince köklerden türetilmiş bileşik sözcüklerde) yanlış heceleme engellemenin için söz konusu algoritmaya özel bir takım kurallar eklenmiştir. Algoritmanın akış diyagramı, Şekil 2’de görülmektedir. Metinden konuşma sentezleme uygulamalarında doğru okuma ve vurgulama amacıyla sözlüksel ve

Tablo 3. Harf-Ses dönüşümünün bire bir olmadığı heceler (Syllables for which the grapheme-to-morpheme mapping is not one-to-one)

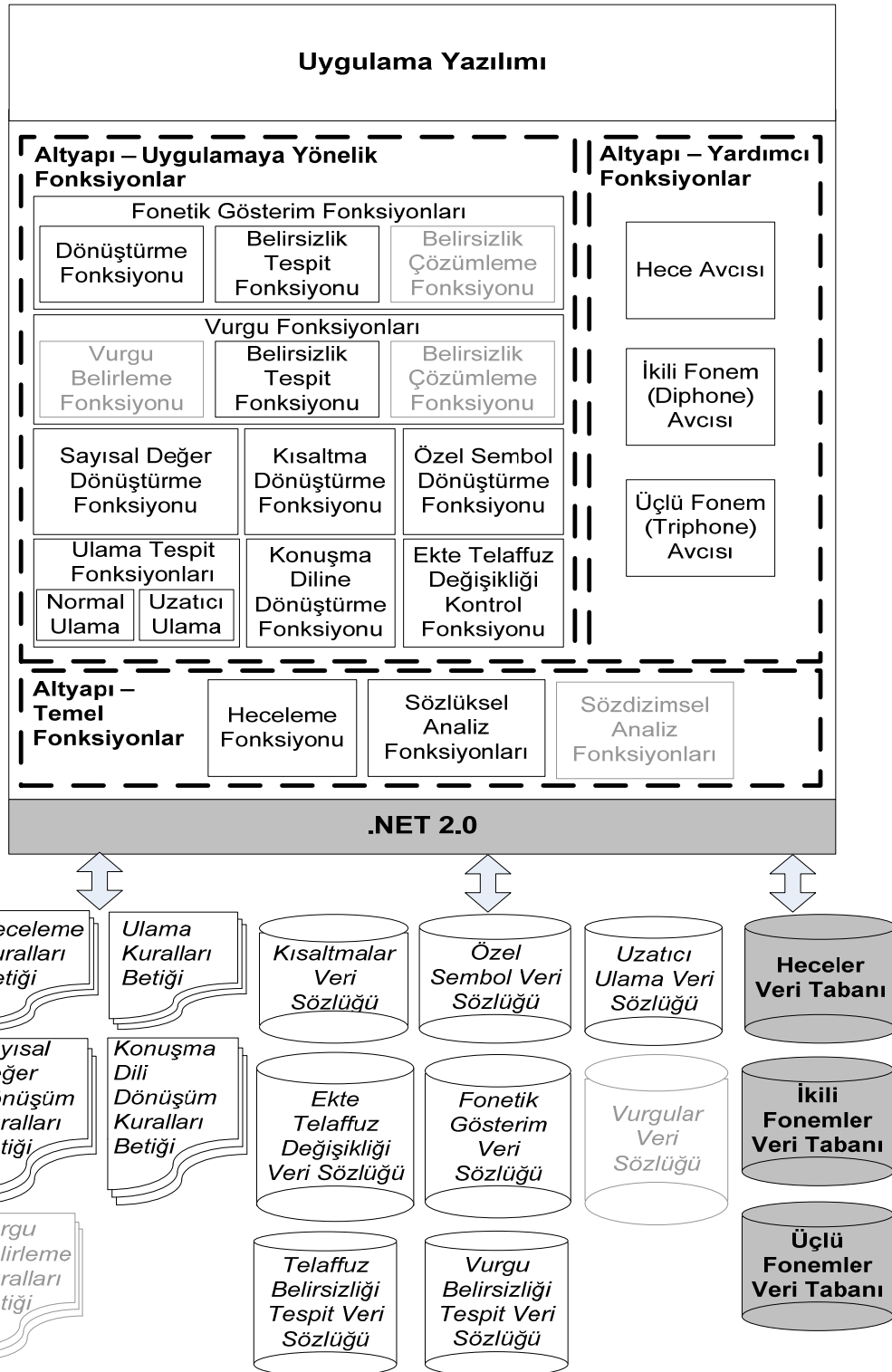
Hece	Örnekler	Hece	Örnekler	Hece	Örnekler
a	atik, âcil	fi	filiz, terfi	la	lala, aslâ, lâma, lâle
al	alkış, âlköl	fol	folluk, fölyo	laç	kulaç, ilâç
at	at, itaât	ga	garip, gâzi, gâvur, cengâver	lah	Allah, ilâh
ba	barış, bâriz	gal	mangal, işgâl	lak	parlak, aylâk
bal	bal, istikbâl	gan	slogan, bezirgân	lam	sağlam, lâmba
bel	belli, bëlge	gar	gar, rüzgâr	lan	yalan, rölânti
bem	bembeyaz, şübëm	gat	ırgat, ferâgat	lar	toplardamar, bilârdo
ben	benzin, bënlik	gul	Murgul, meşgûl	las	atlas, iflâs
ber	berrak, habër	ha	hayır, hâki	laş	buharlaşma, telâş
bi	birâ, bîtap	hal	halhal, derhâl	lat	vuslat, cellât
bol	futbol, karamböl	hat	rahat, sıhât	lay	olay, kelâynak
bu	budak, bûse	hem	hemcins, dirhëm	li	renkli, millî
bul	bulgur, kabûl	hi	hile, hîbe	lo	kablo, kolóni
ca	damacana, ticâri	hu	huni, hûri	lom	slalom, lómboz
cel	cellat, güncël	i	inek, ikaz	lon	kolonya, teflón
cem	cemre, düşüncëm	ja	pijama, Jâle	lu	oluşum, tulûat, ulýfe
cen	cendere, sevecën	ka	karışık, kâbiliyet, kâğıt, kâtip	luk	oluk, mahlûk
cer	cerrah, hacër	kah	kahve, kâhya	lum	tulum, mâlûm
ci	eskici, fecî	kal	kalkan, kâlker	lun	pulun, melûn
cu	burcu, ucûbe	kam	kambur, ahkâm	lup	olup, üslûp
ça	çarık, çâre	kan	kan, dükkân	lur	olur, billûr
çem	çember, perçëm	kar	kartal, efkâr	lut	bulut, Lût
da	damızlık, dâhil	kat	sakat, dikkât, zekât	ma	makara, mâvi
dal	pedal, madâlya	kel	kelle, kël	mal	mal, ihmâl
dem	demlik, madëm	kem	kemre, hakëm	me	mezura, mêmur
den	denge, madën	ken	kendir, erkën	mem	membâ, gitmëm
di	diyar, ciddî	ki	kitap, hakîki	men	mendil, göçmën
dol	dolgu, idöl	kol	karakol, alköl	mi	mine, resmî
du	durum, gudûbet	ku	kuma, sükyнет	mo	moruk, limônî
fa	kafa, fâre	kul	kul, mâkûl	mu	murat, umûmî
fal	fâl, kefâl	kum	kum, mahkûm	mü	müsait, mýmin
fel	fellik, fël	kun	suskun, meskûn	na	nasır, nâne, manâ
fên	fennî, lütfën	kut	yâkut, sükût	nal	sanal, banâl
nem	nem, önem	sem	semböl, sersëm	tü	tüzel, temetty
ni	nişan, Nîsan	sen	senkron, sën	u	ucuz, ûdî
nu	konu, Nûri	si	sini, kasîde	ul	ultraviyole, ülvî
pa	para, pâye	sol	sollamak, turnusöl	va	vana, vâkî
pal	palto, pâlmiye	su	sulu, Sûdan	val	karnaval, festivâl
pen	pencere, lümpën	sul	sultan, mesûl	vi	vize, âvîze
pi	piyaz, pîrî	şa	şaka, şâir	vu	vuruş, davûdî
pol	polka, Sivastopöl	şal	şal, şalter	ya	oya, rüyâ
pul	pul, ampûl	şu	şurup, şûrâ	yal	yalnız, hayâl
ra	rakî, râzı	ta	tazı, tâyin, hattâ	yel	yellenmek, yël
ral	kural, râlli	tal	hantal, iptâl	yem	yemyeşil, gayëm
rat	surat, sürât	te	temiz, têsîs	yen	yenge, duayën
rem	Remzi, harëm	tel	tellâk, tëlgraf	za	zafer, imzâ
ren	kahverengi, mürën	tem	temsîl, mâtëm	zal	azalmak, inzâl
ri	huri, Ârî	ten	tenzil, satën	zem	zemheri, elzëm
rol	Erol, röl	ti	tiraj, âtî	zen	zengin, bâzën
ru	rubâî, rûhi	tol	tolga, atöl	zi	arâzi, farazî
sa	sapık, sâde	tu	tutum, rutûbet	zu	kuzu, fuzûlî
sal	yasal, misâl				

sözdizimsel analizlerin gerekliliği, Oflazer ve Inkelas tarafından [28] çeşitli örneklerle detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Bu çalışmadaki fonksiyonların da benzer görevleri yerine getirilmesi hedeflenmiştir.

Uygulamaya yönelik fonksiyonlardan Fonetik Gösterim Fonksiyonlar Grubu verilen bir metinde, önceki bölümde sözü edilen heceler varlığını tespit

etmekte ve hecenin içinde bulunduğu sözcüğün veri sözlüğündeki durumuna göre dönüştürülmesi işlemini gerçekleştirmektedir. Dönüştürme algoritmasının akış şeması Şekil 3'te görülmektedir. Belirsizlik Tespit Fonksiyonu ise, farklı anlamlarda farklı şekilde okunan sözcükleri (Örneğin kar, adet, ala, hala, dahi vb.) tespit etmektedir. Henüz geliştirme aşamasındaki Belirsizlik Çözümleme Fonksiyonu'nun, bu

Metinden Konuşma Sentezleme Uygulaması

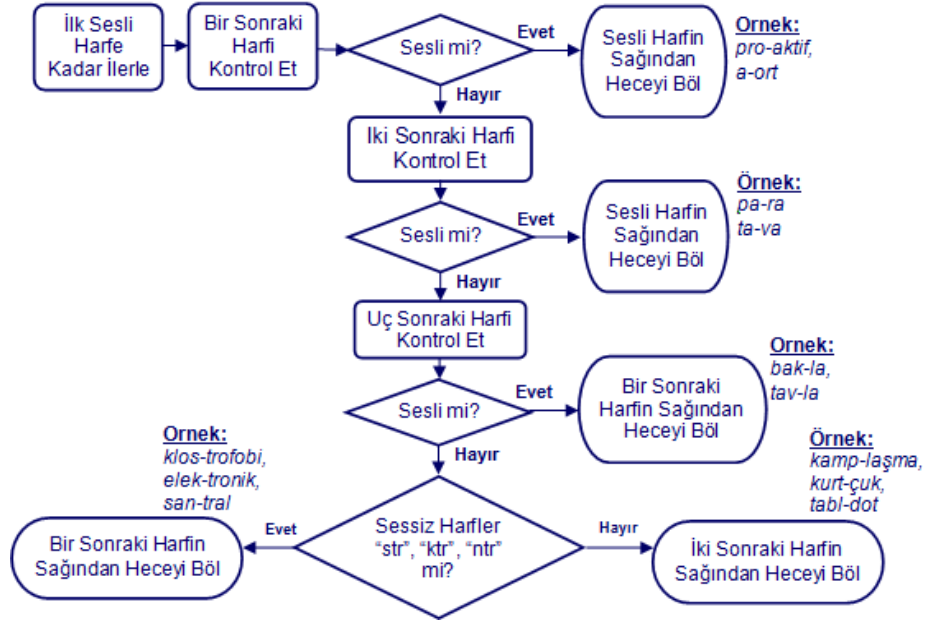


Şekil 1. Geliştirilmekte olan yazılım çerçevesi ve bileşenleri (The software framework being developed and its components)

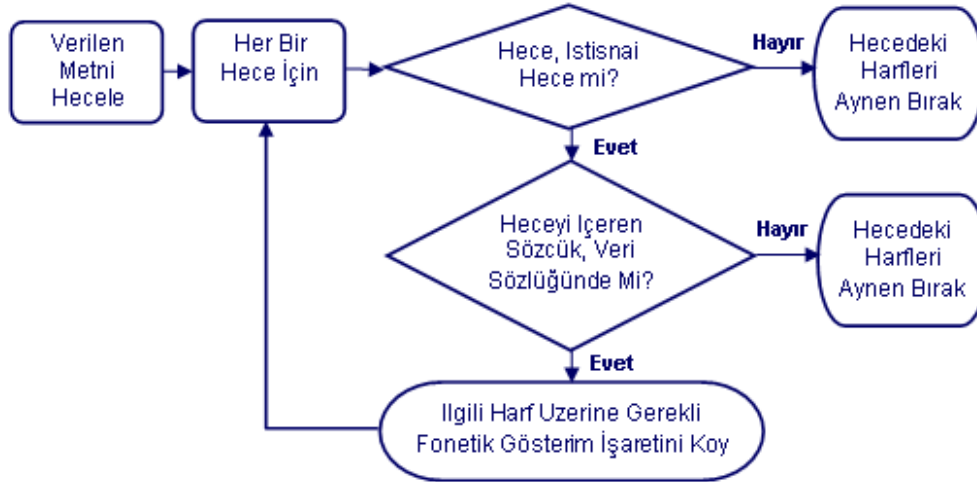
gibi sözcükler için özellikle sözdizimsel analizler sonucu çözümüleme yapması hedeflenmiştir.

Türkçe metinlerin okunması esnasındaki vurgu hususu da, farklı disiplinlerdeki birçok araştırmacı tarafından ele alınmış [39-43] geniş bir konudur. Bu konudaki çalışmalar kuramsal anlamda Sezer'in 1983 tarihli çalışmasına [39] dayanmaktadır. Büyük oranda

halen geliştirme aşamasındaki Vurgu Fonksiyonları'nın da, benzer şekilde bir cümle için hangi sözcüklerin, bir sözcük içerisinde hangi hecenin vurgulu okunması gerektiğini tespit etmesi hedeflenmiştir. Şu an için sadece hem cins, hem de özel olup da vurgu farklılıkları içeren sözcüklerin (Örneğin ulus, bodrum, ordu, vb.) tespiti yapılabilmektedir.



Şekil 2. Heceleme algoritması akış şeması (The flow diagram of the syllabification algorithm)



Şekil 3. Fonetik gösterim dönüştürme algoritması akış şeması (The flow diagram of the phonetic representation algorithm)

Sayı değerlerinin seslendirilmesi için yazılı hale getirilmesi, metinden konuşma sentezleme uygulamalarında önemli bir diğer işlemdir. Tamsayı, ondalıklı sayı, tarih, saat, telefon, TC Kimlik Numarası gibi özel bilgileri belirten sayısal değerlerin her biri, farklı bir şekilde okunmaktadır. Sayısal Değer Dönüştürme Fonksiyonu, uygun şekilde bu dönüşümü yapmaktadır.

Yazım kurallarına göre küçük harfli kısaltmalar, kısaltmanın uzun haline göre, bir başka deyişle ilgili sözcüğün okunuşuna göre ek alırlar (Örneğin kg.'ına, ml.'sinde, vb.). Dolayısıyla metinden konuşma sentezleme uygulamalarında, bu tarz kısaltmaların metin içerisinde uzun hallerinin seslendirilmesi daha uygun olacaktır. Bu da, küçük harfli kısaltmalar için bir veri sözlüğü ihtiyacı ortaya çıkarmaktadır.

Yazım kurallarına göre büyük harfli kısaltmalar ise kısaltmanın okunuşuna göre ek alırlar (Örneğin TBMM'de, AB'nin, ODTÜ'ye). Dolayısıyla metinden

konuşma sentezleme uygulamalarında, bu tarz kısaltmaların metin içerisinde kısaltma olarak seslendirilmesi daha uygun olacaktır. Büyük harfli kısaltmaların okunuşu hakkında aşağıdaki gözlemleri yapmak mümkündür:

- TBMM, TPAO gibi kısaltmalar normal (her bir harfin alfabetik seslendirilmesi yapılarak; bir başka deyişle sesli harfler uzatılarak, sessiz harflerin sonuna ise uzun "e" getirilerek) okunmaktadır (TBMM \Rightarrow tēbēmēmē; TPAO \Rightarrow tēpēâô).
- Ancak PTT ve TRT gibi bazı kısaltmalar hızlı (sessiz harflerin sonuna normal "e" getirilerek) okunmaktadır (PTT \Rightarrow petete; TRT \Rightarrow terete).
- CD, DVD, Rh gibi bazı kısaltmalar ise orijinal dillerindeki (İngilizce, Fransızca) gibi

okunmaktadır (CD ⇒ sîdî; DVD ⇒ dîvîdî; Rh ⇒ eraş).

- “k” harfi bazı kısaltmalarda “kâ”, bazılarında ise “kê” şeklinde okunmaktadır (SPK ⇒ sêpêkâ, MKE ⇒ mêkêê). Benzer şekilde “h” harfi de bazı kısaltmalarda “hê”, bazılarında “hâ”, bazılarında ise Fransızca’daki gibi “aş” şeklinde okunmaktadır.
- NATO, ASELSAN, TÜBİTAK gibi kelimeleşmiş olan kısaltmalar ise aynen okunmaktadır. Öte yandan yine kelimeleşmiş olan UNESCO, UNICEF, OPEC gibi yabancı kökenli kısaltmalar ise ilgili dildeki telaffuz kurallarına göre okunmaktadır.

Kısaltma Dönüştürme Fonksiyonu, dolayısıyla aşağıdaki görevleri yerinde getirmektedir:

- Küçük harfli kısaltmalar için kısaltmanın uzun halini metin içerisine yerleştirmek (Örneğin kg.’ında ⇒ kilogramında, ml.’sinde ⇒ mililitresinde);
- Büyük harfli kısaltmalar içinse yukarıda örnekleri verilmiş olan Türkçe olarak normal okunan, kısa okunan, kelimeleşmiş; veya yabancı kökenli olup da orijinal dilinde normal okunan, kelimeleşmiş vb. kısaltmalar arasındaki ayrıştırmayı yapmak, doğru okuma için gerekli fonetik gösterimi sağlamak.
- “k” ve “h” harflerinin ilgili kısaltmada nasıl okunduğunu tespit ederek doğru okuma için gerekli fonetik gösterimi sağlamak.

Özel Sembol Dönüştürme Fonksiyonu, metin içerisinde geçen “+, -, /, \$, %, vb.) işaretlerin doğru bir şekilde okunması için gerekli fonetik gösterimi sağlamaktadır. Bu fonksiyon, örneğin “+” işareti gibi bir sayının önüne geldiklerinde sırasıyla “artı” olarak okunan; kan grubu gibi özel bir değer belirtilmesi gerektiğinde “pozitif” olarak okunan sembollerin metin içerisindeki kullanım şeklini dikkate alarak akıllı bir dönüşüm yapmaktadır.

Türkçe’de yazı dili ile konuşma dili arasındaki farklılıkların en önemli kaynaklarından biri, ulamalarda sert sessiz yumuşamasıdır (Örneğin, “tat + almak” ⇒ “ta-dal-mak”; “talep + etmek” ⇒ “ta-le-bet-mek”; “öç + almak” ⇒ “ö-cal-mak”). Öte yandan, bu kuralı süresiz sert sessizle biten (k harfi hariç) bütün sözcükler için genellemek doğru değildir. Örneğin “yat almak”, “kat almak” gibi kalıplarda yumuşama söz konusu olmamaktadır. Ulama Tespit Fonksiyonları altındaki Normal Ulama Tespit Fonksiyonu, ilgili durumları tespit ederek doğru fonetik gösterimi sağlamaktadır.

Türkçe’de bir ismi “etmek”, “olmak”, “eylemek” gibi fiillerle birlikte kullanarak bir eylem tanımlamak mümkündür (Örneğin, “nazar etmek”, “yok olmak”,

“nasip eylemek”, vb.). Bu birleşmede, isim ile eylem arasında ses düşmesi olması durumunda (Örneğin, “hapis” + “etmek” ⇒ “hapsetmek”) veya isim ile eylem arasında kaynaşma olması durumunda (Örneğin, “zan” + “etmek” ⇒ “zannetmek”) harf-ses dönüşümünde, bir başka deyişle okuma esnasında herhangi bir sorunla karşılaşılmamaktadır. Ancak isim ile eylemin ayrı yazılarak aynen kullanılması durumu için istisnai durumlar bulunmaktadır. Örneğin “yok olmak” kalıbı “yo-kol-mak” şeklinde ulanarak ve aynen okunmaktadır. Ancak bazı durumlarda, ulama esnasında ilk sözcüğün son hecesindeki sesli harf uzatılarak okunmaktadır (Örneğin; “var olmak” ⇒ “vâ-rol-mak”; “derman olmak” ⇒ “der-mâ-nol-mak”; “zarar etmek” ⇒ “za-râ-ret-mek”, vb.). Bunun yanı sıra ilk sözcüğün son harfinin süresiz sert sessiz olması durumunda (k hariç) ise, ulama dolayısıyla son harfin de aynı zamanda yumuşatılması gerekmektedir (Örneğin; “azat etmek” ⇒ “a-zâ-det-mek”; “nasip eylemek” ⇒ “na-sî-bey-le-mek”; “ihraç etmek ⇒ “ih-râ-cet-mek”, vb.). Uzaticı Ulama Tespit Fonksiyonu, ilgili durumları tespit ederek doğru okuma için gerekli fonetik gösterimi sağlamaktadır.

Sert sessiz yumuşaması, özel isimlerde yazım esnasında uygulanmamakta, okuma esnasında uygulanmaktadır. Örneğin “Irak’a” olarak yazılan sözcük, “İrağa” olarak; “Eyüp’ü” olarak yazılan sözcük ise “Eyübü” olarak okunmaktadır. Ancak sert sessiz ile biten bütün özel isimlerde bu kuralın uygulandığı da söylenememektedir. Zira, örneğin “Sedat’a” sözcüğü “Sedada” olarak değil de “Sedata” şeklinde; “Bağdat’a” sözcüğü de “Bağdada” olarak değil de “Bağdata” şeklinde okunmaktadır. Bu gibi durumların tespit edilmesi ve doğru okuma için gerekli fonetik gösterimin yapılması, Konuşma Diline Dönüştürme Fonksiyonu’nun görevlerinden biridir.

Ayrıca fonetik olarak seslendirilmesi zor olan bazı sözcüklerde de çoğunlukla yazılına aykırı bir şekilde okuma yapılmaktadır (Tevfik ⇒ Teyfik; İstanbul ⇒ İstambul; eczane ⇒ ezzâne; sahlepe ⇒ sâlep; zatürre ⇒ zâtüre; vb.). Konuşma Diline Dönüştürme Fonksiyonu’nun temel görevlerinden ikincisi de bu durumların tespitidir.

Bazı sözcüklerin son hecelerindeki sesli harf, sözcüğün “i” ve “e” hallerinde uzatılarak okunmaktadır (Örneğin “merak+” ⇒ merâkı; “zaman+a” ⇒ zamâna). Ekte Telaffuz Değişikliği Fonksiyonu ise bu tarz sözcükleri belirleyerek uygun fonetik gösterimi sağlamaktadır.

Altyapı - Yardımcı Fonksiyonlar ise verilen bir Türkçe metin içerisinden, metinden konuşma sentezleme uygulaması geliştiren araştırmacıların

ihtiyacına göre metindeki hece, ikili fonem (*diphone*) veya üçlü fonemleri (*triphone*) tespit etmek; söz konusu hece, ikili fonem veya üçlü fonemlerden ilgili veri tabanında mevcut olmayanları tespit ederek ilgili veri tabanlarını güncellemek ve zenginleştirmek için geliştirilmiştir. Söz konusu veri tabanları, özellikle uygulama geliştirecek olan araştırmacılara, seslendirilmesi gereken hece, ikili fonem veya üçlü fonemler konusunda yardımcı olacaktır.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (CONCLUSIONS AND DISCUSSION)

Bu makalede, Türkçe metinden konuşma sentezleme uygulamalarına yönelik olarak geliştirilen yazılım altyapısı ve beraberindeki veri sözlük seti tanıtılmıştır. Günümüze kadar, birçok farklı araştırmacının birbirinden bağımsız şekilde Türkçe metinden konuşma sentezleme çalışması yaptığı görülmektedir. Ancak bunların bazılarında (örneğin [27]), doğru okuma için gerekli olan fonetik gösterim ihtiyacı veya gerekli çözümlenmeler çalışma kapsamına alınmamıştır. Benzer şekilde sayı değerlerinin, kısaltmaların, özel sembollerin yazı diline dönüştürülerek sentezlenmesi vb. uygulamaya yönelik hususlar (yazarın yaptığı araştırmalar sonucunda tespit ettiği kadarı ile) da konu ile ilgili çalışmalara dâhil edilmemiştir. Bu çalışmada geliştirilen tümleşik ürünün hem kuramsal, hem de uygulamaya dönük ihtiyaçlara cevap verecek geniş yelpazede bir işlevsellik sağladığı/sağlayacağı düşünülmektedir. Söz konusu ürünün, gelecekte metinden konuşma sentezleme uygulaması geliştirecek olan araştırmacıların hizmetine sunulması hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Klatt, D. H., "Review of text-to-speech conversion for English", **Journal of the Acoustical Society of America**, Cilt 82, 737 – 793, 1987.
2. Özüm, İ. Y., **A Speech Synthesis System for Turkish Language Based on the Concatenation of Phonemes taken from Speaker**, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1993.
3. Erer, M. S., **Karma Söz Üretme Yöntemi ile Türkçe Yazılı Metinden Söze Geçme**, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1994.
4. Güven, K., **PC Based Speech Synthesis for Turkish**, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1994.
5. Öztaner, S. M., **A Word Grammar of Turkish with Morphophonemic Rules**, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1996.
6. Ayhan, K., **Text-to-speech Synthesizer in Turkish Using Non Parametric Techniques**, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1998.
7. Salor, Ö., **Signal Processing Aspect of Text to Speech Synthesizer in Turkish**, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1999.
8. Bozkurt, B., **Reading Aid for Visually Impaired (A Turkish Text-to-Speech System Development)**, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, Biyomedikal Mühendislik Enstitüsü, 2000.
9. Abdullahbeşe, E., **Fundamental Frequency Contour Synthesis for Turkish Text-to-Speech**, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2001.
10. Eker, B., **Turkish Text to Speech System**, Yüksek Lisans Tezi, Bilkent Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, 2002.
11. Özen, Ş. S., **Türkçe Metinden Konuşma Sentezleme**, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2002.
12. Şayli, Ö., **Duration Analysis and Modelling for Turkish Text-To-Speech Synthesis**, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2002.
13. Vural, E., **A Prosodic Turkish Text-to-Speech Synthesizer**, Yüksek Lisans Tezi, Sabancı Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Enstitüsü, 2003.
14. Aktan, O., **A Single Chip Solution for Text-to-Speech Synthesis**, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2004.
15. Sak, H., **A Corpus Based Concatenative Speech Synthesis System for Turkish**, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2004.
16. Karlı, A., **Örnek Bir Dizi Cümle İçin Türkçe Metinden Konuşma Sentezleyici**, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005.
17. Ünal, İ., **Taşınabilir Cihazlar için Türkçe Metinden Konuşma Sentezleme Sistemi**, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
18. Külekçi, M. O., **Statistical Morphological Disambiguation with Application to Disambiguation of Pronunciations in Turkish**, Doktora Tezi, Sabancı Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
19. Bozkurt, B. ve Dutoit, T., "An Implementation and Evaluation of Two-Diphone Based Synthesizers for Turkish", **4th ISCA Tutorial and Research Workshop on Speech Synthesis**, 247-250, Blair Atholl, İskoçya, 29 Ağustos-1 Eylül 2001.
20. Şayli, Ö., Arslan, L. M. ve Özsoy, A. S., "Duration Properties of the Turkish Phonemes", **11th International Conference on Turkish Linguistics (ICTL 2002)**, Doğu Akdeniz Üniversitesi, Gazimağusa, K.K.T.C., 7-9 Ağustos 2002.

21. Bozkurt, B., Ozturk, O. ve Dutoit, T., "Text Design for TTS Speech Corpus Building Using a Modified Greedy Selection", **Eurospeech 2003**, 277-280, Geneva, İsviçre, 1-4 Eylül 2003.
22. Oflazer, K. ve Inkelas, S., "A Finite State Pronunciation Lexicon for Turkish", **EACL Workshop on Finite State Methods in NLP**, Budapeşte, Macaristan, 13-14 Nisan 2003.
23. Öztürk, Ö. ve Çiloğlu, T., "Türkçe Metinden Konuşma Sentezleme için Sesbirim Sürelerinin Modellenmesi", **IEEE Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Konferansı (SİU-2004)**, 272-275, Kuşadası, Türkiye, 28-30 Nisan 2004.
24. Arısoy, E., Arslan, L. M., Demiralp, M. N., Ekenel, H. K., Keleşir, M., Meral, H. M., Özsoy, A. S., Şayli, Ö., Türk, O. ve Can-Yolcu, B., "Duration of Turkish Vowels Revisited", **12th International Conference on Turkish Linguistics (ICTL 2004)**, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 11-13 Ağustos 2004.
25. Sak, H., Güngör, T. ve Safkan, Y., "Generation of Synthetic Speech from Turkish Text", **13th European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2005)**, Antalya, Türkiye, 4-8 Eylül 2005.
26. Türk, O., Schröder, M., Bozkurt, B. ve Arslan, L. M., "Voice Quality Interpolation for Emotional Text-to-Speech Synthesis", **9th European Conference on Speech Communication & Technology (Interspeech 2005)**, Lizbon, Portekiz, 4-8 Eylül 2005.
27. Aşlıyan, R. ve Günel, K., "Türkçe Metinler için Hece Tabanlı Konuşma Sentezleme Sistemi", **Akademik Bilişim (AB'08)**, On Sekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye, 30 Ocak-1 Şubat 2008.
28. Oflazer, K. ve Inkelas, S., "The Architecture and the Implementation of a Finite State Pronunciation Lexicon for Turkish", **Computer Speech and Language**, Cilt 20, No 1, 80-106, 2006.
29. Ögüt, F., Kiliç, M. A., Engin, E. Z. ve Midilli, R., "Voice Onset Times for Turkish Stop Consonants", **Speech Communication**, Cilt 48, 1094-1099, 2006.
30. Sak, H., Güngör, T. ve Safkan, Y., "A Corpus Based Concatenative Speech Synthesis System for Turkish", **Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Science**, Cilt 14, No 2, 209-223, 2006.
31. Demircan, Ö., **Türkiye Türkçesinin Ses Düzeni, Türkiye Türkçesindeki Sesler**, Türk Dil Kurumu Yayınları, Ankara, 1979.
32. Özkan, M., **Türkçenin Ses ve Yazım Özellikleri**, Filiz Kitabevi, İstanbul, 2001.
33. Ergenç, İ., **Spoken Language and Dictionary of Turkish Articulation**, Multilingual Yabancı Dil Yayınları, İstanbul, 2002.
34. User, H. Ş., **Başlangıcından Günümüze Türk Yazı Sistemleri**, Akçağ Yayınları, Ankara, 2006.
35. Salor, Ö., Pellom, B. L., Ciloglu, T. ve Demirekler, M., "Turkish Speech Corpora and Recognition Tools Developed by Porting SONIC: Towards Multilingual Speech Recognition", **Computer Speech and Language**, Cilt 21, 580-593, 2007.
36. Zülfikar, H., **Doğru Yazalım, Doğru Okuyalım**, Türk Dil Kurumu - Rapor, Ağustos 1999.
37. **SAMPA (Speech Assessment Methods Phonetic Alphabet) - Computer Readable Phonetic Alphabet**, Çevrimiçi <http://www.phon.ucl.ac.uk/home/sampa/>, Son Erişim Tarihi: 21.01.2009.
38. **Computer-Coding the IPA: A Proposed Extension of SAMPA**, Çevrimiçi <http://www.phon.ucl.ac.uk/home/sampa/x-sampa.htm>, Son Erişim Tarihi: 21.01.2009.
39. Sezer, E., "On Non-Final Stress in Turkish", **Journal of Turkish Studies**, Cilt 5, 61-69, 1983.
40. Kabak, B. ve Vogel, I., "The phonological word and stress assignment in Turkish", **Phonology**, Cilt 18, 315-360, 2001.
41. Inkelas, S. ve Orgun, C. O., "Turkish Stress: A Review", **Phonology**, Cilt 20, 139-161, 2003.
42. Kabak, B., "Hiatus resolution in Turkish: An underspecification account", **Lingua**, Cilt 117, 1378-1411, 2007.
43. Charette, M., "The Vital Role of the Trochaic Foot in Explaining Turkish Word Endings", **Lingua**, Cilt 118, 46-65, 2008.