

KONUŞMA KODLAMA İÇİN YENİ BİR YAKLAŞIM*

Rafet AKDENİZ¹

Sıddık YARMAN²

ÖZET

Bu çalışmada, Türkçe seslerin yapısına uygun doğrusal dizilerle konuşma işaretlerini etkin bir şekilde modelleyen bir yaklaşım sunulmuştur. Söz konusu ses işaretlerini modellemede kullanılan uygun doğrusal diziler bir, iki ve üç harfli ana seslerden oluşan bir tabloda seçilmektedir. Yöntemi daha etkin kılmak üzere tabloda yer alan benzer sesler bazı tolerans kriterleri ile indirgenebilmektedir. Nitekim %10 toleransla benzer seslerin indirgenmesine gidilerek tablo elemanlarından %30 azaltım sağlanmıştır. Azaltılmış tablo ile modelleme yapıldığında konuşma işaretinin anlaşılabilirliği bozulmamıştır. Bu çalışmanın amacı; etkin bir konuşma kodlama için Türkçe'ye özgü enaz sayıda Temel Tanım Frekansı setinin elde edilmesidir.

SUMMARY

A New Approach to Speech Coding.

In this study, a new modelling approach for reconstruction of speech signal by the Signature base Sequences is presented. The speech signal is defined as a linear combination of Signature Base Sequences. Signature Base Sequences generated from one, two and three-sound syllables of the Turkish language. Similar syllables have been omitted by tolerance of 10% for effective coding and then the number of syllables has been reduced by 30%. An attempt has been made to obtain speech signals by using the sets of syllables thus obtained. It was found that the reduced number of syllable sets gave an error in the order of 0.0001 based on comparison of the speech signals. It was shown that this level of the error did not impair the comprehensibility of the speech signal. The aim of this study is to assign a reduced optimal minimum set of Signature Base Frequencies to Turkish sounds.

Anahtar Sözcükler: Konuşma Kodlama, Veri Sıkıştırma, İşaret İşleme

* Bu çalışma T.Ü. Araştırma Fonu tarafından TÜAF-99 projesi kapsamında desteklenmektedir

¹Trakya Üniversitesi Çorlu Müh. Fak. Elt. ve Hab. Müh. Bölümü, 59860 Çorlu-Tekirdağ
Tel & Fax: 0.282.652 94 75- 3 Hat, e-mail: rafeta@ setra.net.tr, akdeniz@isikun.edu.tr

² Işık Üniversitesi, Müh. Fak. Elektronik Müh. Bölümü, 80670 Ayazağa-İstanbul
Tel: 0.212.286 29 60, Fax: 0.212.285 28 75, e-mail: yarman@isikun.edu.tr

I. GİRİŞ

Analog olan konuşma işaretlerinin sayısallaştırılmasına *Konuşma Kodlama* denir [1]. Kod, iletişimde harf, sözcük ya da sözcük grubu gibi bir bilgi birimi yerine buna eşdeğer bir başka bilgi birimini koymak amacıyla tanımlanan belirli ve değişmeyen kural olarak tanımlanır. Literatürde, haberleşme kanallarının daha etkin kullanılması, ses işaretlerinin değişik fiziksel, optik veya manyetik ortamlarda daha az bellek kullanılarak saklanması, tanımlanması, sıkıştırılması ve benzeri amaçlar için, zaman düzleminde; Vektör Nicemleme, Doğrusal Öngörü Kodlaması, Darbe Kod Modülasyonu gibi yöntemler, dönüşüm düzleminde ise Karhunen-Loeve Dönüşümü, Ayrık Fourier Dönüşümü, Ayrık Kosinüs Dönüşümü ve Alt Band Kodlaması gibi çeşitli kodlama teknikleri kullanılmaktadır [2], [3], [4], [5], [6], [7]. Tüm bu yöntemlerin farklı uygulama alanları için değişik üstünlükleri vardır.

Parseval Teoremi, periyodik işaretin ortalama gücünün işaretin Fourier katsayıları ile ilişkisidir [8]. Bu teorem, aynı zamanda Fourier dönüşümünün kolay bir biçimde anlaşılmasını sağlar.

$$P = \frac{1}{T_0} \int |s(t)|^2 dt = \frac{1}{T_0} \int s(t) s^*(t) dt \quad (1)$$

burada $s^*(t)$, $s(t)$ işaretinin kompleks eşleniğidir ve aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$s^*(t) = \left[\sum_{-\infty}^{\infty} C_n e^{j2\pi n f_0 t} \right]^* = \sum C_n e^{-j2\pi n f_0 t} \quad (2)$$

Eşitlik (2), Eşitlik (1)'de kullanılacak olursa ortalama güç aşağıdaki eşitlikle bulunur.

$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{T_0} \int_{T_0} s(t) \left[\sum_{-\infty}^{\infty} \alpha_n^* e^{-j2\pi n f_0 t} \right] dt \\ &= \sum_{-\infty}^{\infty} \left[\frac{1}{T_0} \int_{T_0} s(t) e^{-j2\pi n f_0 t} dt \right] \alpha_n^* \\ &= \sum_{-\infty}^{\infty} \alpha_n \alpha_n^* = \sum_{-\infty}^{\infty} |\alpha_n|^2 \end{aligned} \quad (3)$$

Eşitlik (3)'den görülebileceği gibi ortalama güç, çizgileri $|\alpha_n| = |\alpha(nf_0)|$ 'nın kareleri toplamından bulunabilir. Bu eşitlik *Parseval Enerji Teoremi* diye bilinir.

Üzerinde çalışılacak işaretin konuşma işareti olmasından dolayı, işaret durağan bir özellik göstermemekte, dolayısıyla bu tür işaretler, matematiksel olarak kesin bir biçimde tanımlanamamaktadır [9].

N uzunluğundaki bir $\{s_i(n), i=1,2,\dots,N\}$ işareti, φ_k fonksiyonunun doğrusal toplamı olarak aşağıdaki gibi yazılabilir [8]. Deterministik olmayan işaretler için bu yöntem sıklıkla kullanılmaktadır [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14].

$$\begin{aligned} s_o &= \alpha_{i_1} \varphi_1 + \alpha_{i_2} \varphi_2 + \dots + \alpha_{i_k} \varphi_k \\ &= \sum_{k=1}^K \alpha_{ik} \varphi_k \quad K \leq N \end{aligned} \quad (4)$$

burada α_{ik} dönüşüm katsayıları ve φ_k ortogonal taban fonksiyonlarıdır. Yukarıdaki eşitlikten, N adet taban fonksiyonu yerine K adet uygun taban fonksiyonu ile işareti tanımlamanın olası olduğu anlaşılır. Dönüşüm katsayıları α_{ik}

$$\alpha_{ik} = (s_i, \varphi_k) \quad (5)$$

eşitliği ile hesaplanır.

Ortogonal taban fonksiyonları aşağıdaki özelliklere uygun olmalıdır.

$$\begin{aligned} \|\varphi_k\|^2 &= (\varphi_k, \varphi_k) = 1, & k &= 1, 2, \dots, K \\ (\varphi_k, \varphi_j) &= 0, & j &\neq k \end{aligned} \quad (6)$$

bu özellikler altında, yeniden elde edilmesi istenen işaret, ortogonal taban fonksiyonları φ_k 'nin doğrusal toplamı biçiminde aşağıdaki gibi bulunur.

$$(s_i, \varphi_k) \varphi_k / \|\varphi_k\|^2 = (s_i, \varphi_k) \varphi_k = \alpha_{ik} \varphi_k \quad (7)$$

Konuşma işaretlerinin kalite ölçütleri temel olarak iki gruba ayrılır, bunlardan birincisi olan nesnel ölçütler; DRT (Diagnostic Rhyme Test), MOS (Mean Opinion Score), DAM (Diagnostic Acceptability Measure) gibi yöntemler, ikinci olarak öznel ölçütler ise SNR (Signal to Noise Ratio), AI (Articulation Index) gibi yöntemlerdir [1], [15].

Kodlamanın başarımlarını ölçülerinden SNR, OKH (Ortalama Karasel Hata) temelli bir ölçütüdür. Yapılan çalışmada bu ölçüt kullanılarak kodlamanın başarımları değerlendirildi. OKH aşağıdaki biçimde tanımlanır. [16], [17] [18].

$$\begin{aligned} \varepsilon = OKH &= E \left[|s_i(n) - s_o(n)|^2 \right] \\ &= \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} |s_i(n) - s_o(n)|^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \left| s_i(n) - \sum_{k=0}^{K-1} \alpha_{ik} \varphi_k \right|^2 \end{aligned} \quad (8)$$

$\alpha(k) = a(k) + jb(k)$ tanımı yapılarak her $i = 0, 1, \dots, N-1$ için Eşitlik (8), $a(i)$ ve $b(i)$ 'ye göre türetilip sıfıra eşitlenecek olursa [18];

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial a(i)} = 0 \quad \frac{\partial \varepsilon}{\partial b(i)} = 0 \Rightarrow \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} 2\varphi_i^*(n) \left[s_i(n) - \sum_{k=0}^{K-1} \alpha(k) \varphi_k(n) \right] = 0 \quad (9)$$

$$\sum_{n=0}^{N-1} s_i(n) \varphi_i^*(n) = \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{k=0}^{K-1} \alpha(k) \varphi_k(n) \varphi_i^*(n) \quad i=0, 1, \dots, N-1 \quad (10)$$

$\varphi_k(n)$ 'lerin ortogonal olduğu varsayımıyla (10) eşitliğinden (9) eşitliğini en aza indirecek ağırlaştırma katsayıları aşağıdaki gibi bulunur.

$$\alpha(k) = \frac{\sum_{n=0}^{N-1} s_i(n) \varphi_i(n)^*}{\sum_{n=0}^{N-1} |\varphi_i(n)|^2}, \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (11)$$

Elde edilen bu eşitlikler yardımıyla artık modelleme için uygun bir yaklaşım elde edilmiş olur. Yani, ağırlaştırma katsayılarının bulunması ile işaret, ortogonal taban fonksiyonlarının doğrusal toplamı biçiminde tanımlanır.

$$s_o(n) = \sum_{k=0}^{N-1} \alpha(k) \varphi_k(n), \quad n=0, 1, \dots, N-1 \quad (12)$$

Bu çalışmada, N uzunluğundaki konuşma işareti, sesin doğasına uygun Temel Tanım Dizisi (TTD) adını verdiğimiz dizilerin doğrusal toplamı olarak modellenmiştir.

Önerdiğimiz yöntemin en önemli noktasını Türkçe seslerin doğasına uygun olarak ifade edilebilen TTD'nin bulunması oluşturmaktadır. Bu amaçla, konuşma işaretlerinin yapısıyla birlikte [19] dilimizde yer alan bir çok ses incelenerek [20], [21], [22], [23], [24] bunlar arasından bir ve iki harfli seslerin tümü ile üç harfle ifade edilen seslere ilişkin en yüksek enerji bileşenine sahip 16 adet katsayıdan oluşan $f(k)$ dizileri elde edilmiş ve bunlar Temel Tanım Frekansları (TTFr.) olarak adlandırılarak 16 sütun, 869 satırdan oluşan bir referans tablo oluşturulmuştur. 80 örnekten oluşan bir ses çerçevesi referans tablonun herhangi bir yerinde bulunan 16 adet katsayıdan oluşan TTD ile ifade edilebilir. Böylece 80 adet örnekten oluşan bir çerçeve 16 adet katsayı veya parametre ile tanımlanmış olur. Bunun sayısal anlamı 5:1 oranında sıkıştırma veya kanal kapasitesinde bir tasarruf demektir.

II. Modelleme Algoritması

Yapılan çalışma, temel olarak beş aşamada gerçekleştirilmiştir. Şekil 1.'de Modelleme Algoritması gösterilmiştir. Burada, Modelleme adımlarında yapılan işlemler sırasıyla şöyledir;

1. Adım: Bu adımda, ayrık-zamanlı bilgisayar ortamına kaydedilen tek harfli 21, iki harfli 315 ve üç harfli 525 adet ses, HFD (Hızlı Fourier Dönüşümü) kullanılarak, ses işaretleri için işaretin yapısına ilişkin daha fazla bilgi veren frekans düzlemine dönüştürülmüştür. Parseval Enerji teoreminden [8], işaretin en fazla enerjisinin yüksek frekans bileşenlerinde olduğu bilindiğinden, işaretin frekans spektrumu dört eşit parçaya ayrılarak, bunlar içinden işarete en fazla katkıyı veren dörder adet toplam 16 adet katsayıdan oluşmuş $f(k)$ dizileri elde edilerek TTFr. (Temel Tanım Frekansları) olarak adlandırılmışlardır.

2. Adım: Bu adımda, TTFr'nı oluşturan set, ses işaretlerinin doğasına uygun sinüsel fonksiyonlar cinsinden tanımlanarak, Tanım Fonksiyonları (TF) diye adlandırılan $g(k)_n = \cos(2\pi f(k)n)$ $k=0,1,\dots,M-1$, $n=0,\dots,N-1$ dizileir elde edilir.

3. Adım: Daha sonra $g_k(n)$ dizilerinin Graham-Schmidt yöntemi [25] ile organelleştirilmesiyle TTD diye tanımlanan $\phi_k(n)$ 'ler elde edilmiştir.

4. Adım: Yeniden elde edilmesi istenen işaret belli uzunlukta çerçevelere ayrılarak pencerelenir. [26]. Orjinal işareten alınan çerçevelerden işareti en iyi tanımlayan $\alpha(k)$ katsayıları bulunarak referans tablodan karşılaştırma sonucu Ortalama Karasel Hata (OKH) ölçütüne göre en az hatayı veren TTD alınarak orjinal işaretin bu parçaya karşılık

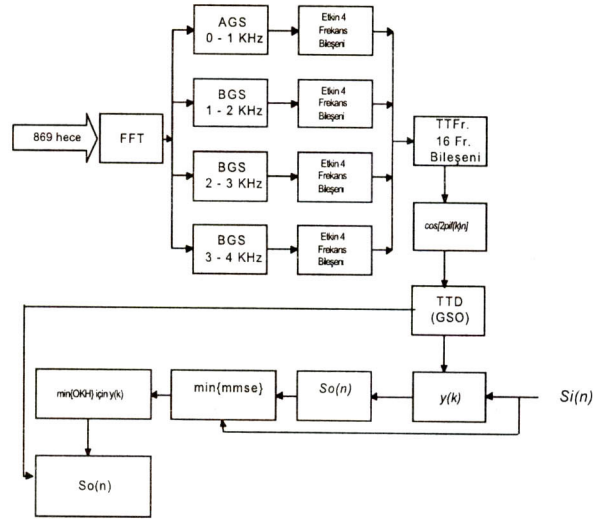
gelen değeri bulunur, bu işlemin tüm çerçevelere uygulanmasıyla konuşma işareti elde edilir.

5. Adım: Bu adımda; kodlamanın etkin kılınabilmesi için oluşturulan referans tablonun azaltımı yapılmıştır. TTFr. ile elde edilen X_{ij} ($i=1,\dots,869$, $j=1,\dots,16$) matrisi için, Eşitlik (3)'deki koşulların sağlanması seslerin benzerliği olarak kabul edilmiştir. Burada β toleransı göstermektedir.

$$(1 - \beta)X_{il} \leq X_{kl} \leq (1 + \beta)X_{il} \Rightarrow \text{Benzer} \quad i = 1, \dots, m-1$$

$$k = i+1, \dots, m \quad (3)$$

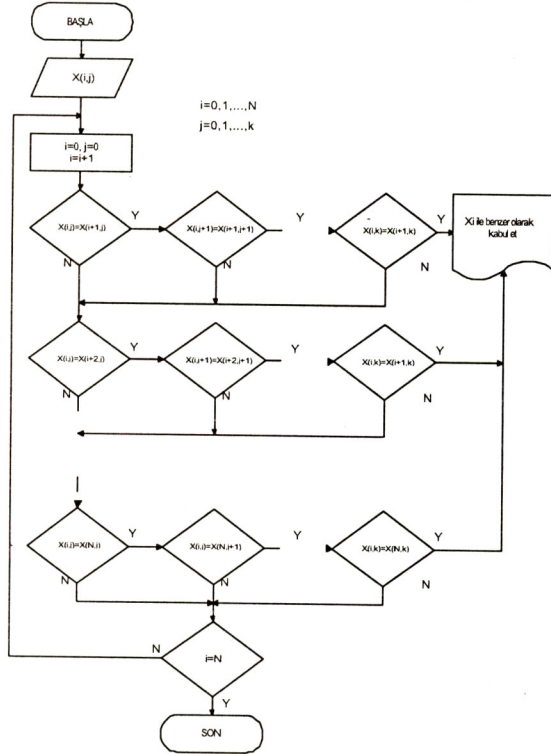
$$l = 1, \dots, n$$



Şekil 1: Temel Tanım Dizileri ile Konuşma İşaretinin Modellenmesi.

Karşılaştırma işlemi; Şekil 2.'de verilen akış diyagramındaki gibi gerçekleştirilmiştir. Tüm sesler için elde edilen TTFr.'nın 869X16 elemanlı matris biçimine dönüştürülmesiyle her bir ses için aynı sütundaki elemanların belirtilen tolerans aralığında kalmasıyla karşılaştırma önce sütun-sütun daha sonra satır-satır gerçekleştirilmiştir, farklı satırlardaki benzer sütun elemanları tolerans dışı bir

değerde ise o satır atlanıp bir sonraki satıra geçilmiştir. TTFr. seti, %10 toleransla birbirleriyle karşılaştırılarak benzer olanların ayıklanmasıyla set %30 azaltılmıştır %10 toleransla karşılaştırılarak benzer bulunan sesler Tablo: 1'de verilmiştir. Yalnızca bir ve iki harfli seslerin karşılaştırılmasında da azaltım yaklaşık olarak % 30 bulunmuştur [12].



Tablo:1 %10 Toleransla Benzer Bulunan Sesler

Şekil 2: Referans Tablonun Verilen Toleransla Azaltımı.

III. Sonuç

Bu çalışma sonucunda, konuşma işaretinin kodlanmasında kullanılan TTFr. setinde %30 oranında azaltım sağlanmıştır. Bu çalışmadaki ana hedef; Türkçe'ye özgü olabildiğince az parametreyle elde edilebilen minimum Temel Tanım Frekansı setinin elde edilmesi dolayısıyla verilerin depolanması açısından hacim ve veri aktarımı açısından ise süre kazanımının sağlanmasıdır.

/ses/	%10 Benzeri sesler	/ses/	%10 Benzeri sesler	/ses/	%10 Benzeri sesler
a	ağ,al	pö	üm,for,por	bük	hiç,küf,pil,sim,yük,yün
ce	çe	pü	tü,üc,üf,üh,üt	but	rus,sök
de	cip,kim	ok	oy	çam	sat,tam
fe	he,em,fen,küs,hen	ov	oy	çat	kaç,nar
he	em,bir,fen,zül,hen	öb	kol	çel	not,pak
i	çi,çü	öç	şın	cem	ser
le	cem	öd	öf,öu,öh	mil	nil
o	u,gu,ku,ob	öu	öh,uv	muş	şok,yok
u	bu,ku	öm	kor,bur,for,hoy,kon,ron	nem	rey
ü	çü,kü,pü,tü,üb,ücüd,üf üg,üh,üj,ük,ül,üt,pün	ub	hoy	pes	ter
bö	zıt	uc	sün	pil	sim,tül,yük
bu	ku	uç	us,ut,uz,fin,fun,kin	pot	sök
bü	çü,pü,tü,üp	uf	fır	ram	man,vor
ca	cö,ön	ug	pun	ruh	tuu
ci	di	uu	hoy,mun	rum	tan,hur,kon,lan,ron
co	cu,hu,lu,sö,öd,öf,öh	uh	üm,fon,kor,kum,kur,tan kon,lan	rus	sök
cö	ön,öv	un	şon	saf	sat
cu	hu,lu,sö,ıd,ıp,öd,öf,öh	up	hiy	sap	sat,taç
çi	çü,pü	ur	fon,kur,him,hum,pon, pun,pın	sat	tam,zat
ço	ho,sok	us	ut,fun,kin	sim	yük
çu	put	uş	üb,ül,üv	sök	şut,yıl
çü	kü,pü,tü,üb,üc,üd,üg, üh,üj,ül,üt	ut	uz,fin,fun,kin	söz	siu,sır
di	göl,gür	uy	dun,hon,vun,şon	şam	tuu
do	vo	uz	fin,fun,şün	şok	yok,yıl
dö	ji	üb	üh,üj,ül,üv	tan	hur,lan,pon
du	ıy,ob	üc	uç,üh,üt,üy,pün	ten	den,hem,pen
dü	kök	üd	üu,üh,üj,ük,üt,pün	tül	tüm,tüt
fa	zu,don,för,hoy,non,par	üf	üj,ül,üp,üv	tüm	tüt,üst
fo	ko,hor	üg	üh,üj,ük,pün	tüt	yük
fu	uh,ur,kum,hum,pon,pun	üh	üj,ül,üp,üt	üst	yük,zül
fü	tül,tüm,tüt	üj	ül,üt,üv	var	nin
go	gu,hu,ob,ög,uv	ük	pün	vur	dun
gü	jün	ül	üv	yok	yıl
uö	mı	üm	fon,kor,kur,hum,pon,pun	bon	bör
hi	mi	üp	üv	dan	kam,man,pan
ho	loş,sok	üt	üy,pün	den	pen,per,rem
hö	ya	üy	pün	dun	hon,kuy,lon,vun,şon
hu	ku,öd,öf,öu,öh	ana	sat	fım	fun
ji	yö	aşk	set	fin	kin
ju	öy	bak	zon	fır	pön
ki	zi	bam	bol	för	por
ko	hor	bek	met	fün	fün
ku	öu	ben	den	fün	hoy
kü	ıp,üd,ük,üy	bet	ger,nem	fin	pır,sin
la	va,ag	beş	dük,kış	him	hum,pun
lu	vu,ıv,öd,öf,öu,öh	bir	hen	hon	lon,vun,şon
mo	lop,ban	boz	boş,dut,sor	hoy	par,por
ni	vi	boş	dut,sor	hum	hin,pun,pür
				hur	lan,pon
				hin	pon

/ses/	% 10 Benzeri sesler	/ses/	% 10 Benzeri sesler	/ses/	% 10 Benzeri sesler
kam	pan	ıf	ıu,ıv,oç	kor	kum,kur,rum,tan,him
ken	per	ıg	ıt,ıv		hur,kon,lan,pon,pür
key	per	ıu	ıp,ıt,ıv,ız	koz	kol
kon	por	ıl	koz,muş,sök,şok,yıl	küf	pil,sim,yük
kuy	lun	ım	ıv	kum	kur,tan,hur,kon,lan,pon
lan	pon	ıp	ıv	kur	tan,him,hur,kon,lan,
ler	ren,vin	ıt	ız		pon,pun
lon	şon	ıv	ıy,ız	küs	üst,yük
man	nan	ob	öü	leh	nem
mun	vür	oc	oç,oz	lep	rey
sö	öf,öh	cim	düş	lop	ban
su	şu	cip	kim	hap	tav
sü	kut,tur	çok	yıl	nan	pan
şa	şat	cop	muş	nin	non,par
şi	piş	çöp	kın	non	par
tö	şat,tür	cüz	güç,yüz	pon	pun
tu	şın	dau	dal	pun	pın
tü	üc,üh,üt,üv	döl	su	pır	şün
va	aş	don	nin,non,par	ren	vün
vu	yo,ıv,ıy,ob,ol	döş	dük	sün	şun
yo	ol	dük	düş,ege,mil	vun	şon
zu	uu,don,för,hoy,non,par	dün	güz	zun	zün
ag	aj	dür	göm,gör	in	os,oz
au	ah,al	düş	mil	ip	is,hey,pün
ah	al	ege	nem	is	hey
am	an,as,av,iu,it,kor,kur,	ege	mil	iş	pen,per
	rum,tan,kon,lan	far	var	it	öm,uh,kor,kum,kur,rum,
an	as,iu,kor,rum,tan,hur,lan	fen	tün,hen		tan,him,hur,kon,lan,pon
as	iu,öm,kor,ram,rum,tan,	fon	kor,kum,kur,him,hum,		pür
	kon,lan		pon,pun	ıb	ıt
av	iu,ram,rum,man,vor	geç	yeu	ıç	ıu,ıp
ej	il,is,hey	gel	lök	ıd	ıu,ıv
ek	ök	ger	lep,nem,ret,rey	har	kar,san
el	ij,iş,ten,pen,şin	göç	köy	her	den
em	bir,küs,hen	gök	gür,köy	hiç	pil,yük
er	her,ken	göl	gür	kar	sön
ib	bük,hiç,pil,sim,yük	göm	gör	kat	taç
iu	öm,rum,bur,mun	göz	kız	kay	hoy
ih	uç	güç	yüz	kel	per
ij	ben,cin,pen,per	gür	köy	kim	yer
il	ip,is,hey	hak	hay	koç	kol,koz,pot
im	in,ıç,os	ham	lur,pön	kol	kov,koz

Tablo 2: OKH ölçütüne göre çeşitli konuşma işaretleri için elde edilen sonuçlar

Konuşma Örneği	Bir veya İki harfli sesler		Tüm Sesler	
	Tam 344	Az 240	Tam 869	Az 601
Örnek 1	0.0300	0.0305	0.0290	0.0291
Örnek 2	0.0320	0.0324	0.0310	0.0311
Örnek 3	0.0434	0.0439	0.0418	0.0419
Örnek 4	0.0061	0.0061	0.0060	0.0060
Örnek 5	0.0128	0.0128	0.0125	0.0125

KAYNAKÇA:

- [1] DELLER, J.R., PROAKIS, J.G., HANSEN, J.H., *Discrete-Time Processing of Speech signals*, Macmillan Publishing Co, New York, 1993
- [2] AHMED, N., NATARAJAN, T., RAO, K.R., Discrete Cosine Transform, IEEE Transaction on Computers, Vol. C-23, 90-93, Jan. 1974
- [3] AHMED, N., RAO, K.R., SHULTZ, R.B. A Generalized Discrete Transform, Proceeding of the IEEE, 1360-1362, Sept. 1971
- [4] ALLEN, J.B., RABINER, L.R., A Unified Approach to Short-Time Fourier Analysis and Synthesis, Proceeding of the IEEE, Vol.65, No.11, 1558-1564, Nov. 1977
- [5] FLANAGAN, J.L., SCHROEDER, M.R., ATAL, B.S., CROCHIERE, R.E., JAYANT, N.S., TRIBOLET, J.M., Speech Coding, IEEE Trans. on Comm., Vol.Com-27, No.4, 710-737, April 1979
- [6] MAKHOULL, J., ROUCOS, S., GISH, H., Vector Quantization in Speech Coding, Proceedings of the IEEE, Vol.73, No.11, 1551-1588, Nov. 1985
- [7] PEARL, J., On Coding and Filtering Stationary Signals by Discrete Fourier Transforms, IEEE Trans. on Information Theory, Vol. IT-19, 229-232, March 1973
- [8] CARLSON A.B., *Communication Systems*, McGraw-Hill, Singapore, 1986.
- [9] AKDENİZ R., *İşaretlerinin Temel Tanım Fonksiyonlarıyla Özgün Kodlama Tekniği*, Doktora Tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1997.
- [10] PROAKIS J.G., MONOLAKIS D.G., *Digital Signal Processing*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1996.
- [11] KARAŞ A., YARMAN B.S., A New Approach for Representing Discrete Signal Waveforms via "Private Signature Base Sequences", ECCTD'95 Proceedings, 875-878, İstanbul, 1995.
- [12] AKDENİZ R., YARMAN B. S., Azaltılmış Bir ve İkili Hecelerle Konuşma İşaretlerinin Elde Edilmesi, 14. Ulusal Bilişim Kurultayı Bildirileri Kitabı, 118-122, İstanbul, 1997.
- [13] AKDENİZ R., YARMAN B.S., Temel Tanım Dizileri ile Konuşma Kodlama, SIU'98-6. Sinyal İşleme ve Uygulamaları Kurultayı, 178-183, Ankara, 1998.
- [14] AKDENİZ R., KARAŞ A.M., YARMAN B.S., Turkish Speech Coding By Signature Base Sequences, ICSPAT- International Conference on Signal Processing Applications & Technology, 1291-1294, Toronto, 1998.
- [15] JAYANT N.S., NOLL P., *Digital Coding of Waveforms*, Prentice-Hall, NJ, 1984.
- [16] HAYKIN S., *Modern Filters*, MacMillan Publishing, New York, 1989.

- [17] **KALOUPTSİDİS N.**, *Signal Processing Systems - Theory and Design*, John Wiley & Sons Inc. New York, 1997.
- [18] **PORAT B.**, *A Course in Digital Signal Processing*, John Wiley & Sons Inc. New York, 1997.
- [19] **STREVANS, P.**, Spectra of Fricative Noise in Human Speech, *Language and Speech*, Vol. 3, 32-49, 1960
- [20] **DEMİRCAN Ö.**, *Türkçenin Ses Dizimi*, Der Yayınları, İstanbul, 1996.
- [21] **ERGİN M.**, *Üniversiteler İçin Türk Dili*, Bayrak Basım-Yayım, İstanbul, 1995.
- [22] **GÖNENÇ G., TÖRECİ E.**, Türkçenin Bazı Özelliklerinin Bilgisayarla Sayımsal Çözümlemesi, *Bilişim s:9*. 1975
- [23] **GRÖNBECH K.**, *Türkçenin Yapısı* (Çev: AKALIN M.), TDK Yayınları, Ankara, 1995
- [24] **KORKMAZ Z.**, *Türkçede Eklerin Kullanılış Şekilleri ve Ek Kalıplaşması Olayları*, TDK Yayınları, Ankara, 1994.
- [25] **B.P. LATHI**, *Modern Digital and Analog Communication System*, Rinehart & Winston Inc., Orlando, 1989.
- [26] **J.F. HARRIS**, On the Use of Windows for Harmonic Analysis with the Discrete-Time Fourier Transform, *Proceeding of the IEEE*, Vol.66, No.1, 51-83, 1978.