

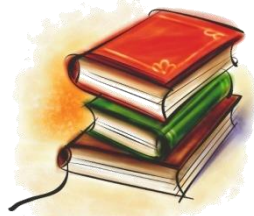
پردازش گفتار

ساختار زبان گفتاری

هادی ویسی

h.veisi@ut.ac.ir

دانشگاه تهران - دانشکده علوم و فنون نوین

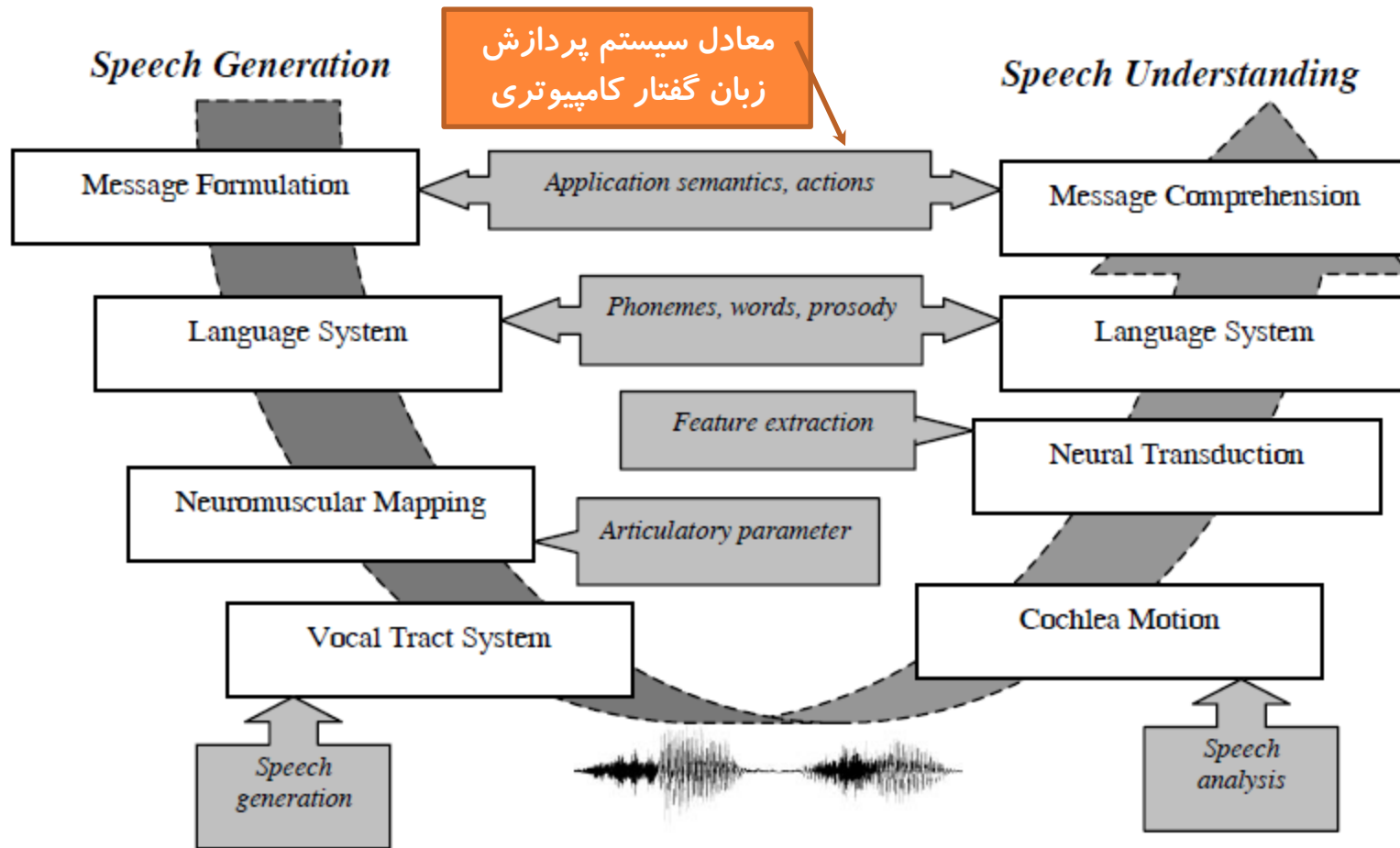


فهرست

- معرفی
 - صدا
- آواشناسی و واج‌شناسی
- تولید گفتار
 - اندام‌ها، واک‌داری، طیف‌نگار و فرمنت
- درک گفتار
- واج‌شناسی: انگلیسی و فارسی
- سایر مطالب
 - رده‌شناسی آوایی
 - واج‌گونه و هم‌تولیدی
 - هجا، واژه و پاره‌گفتار
 - ساخت‌واژه

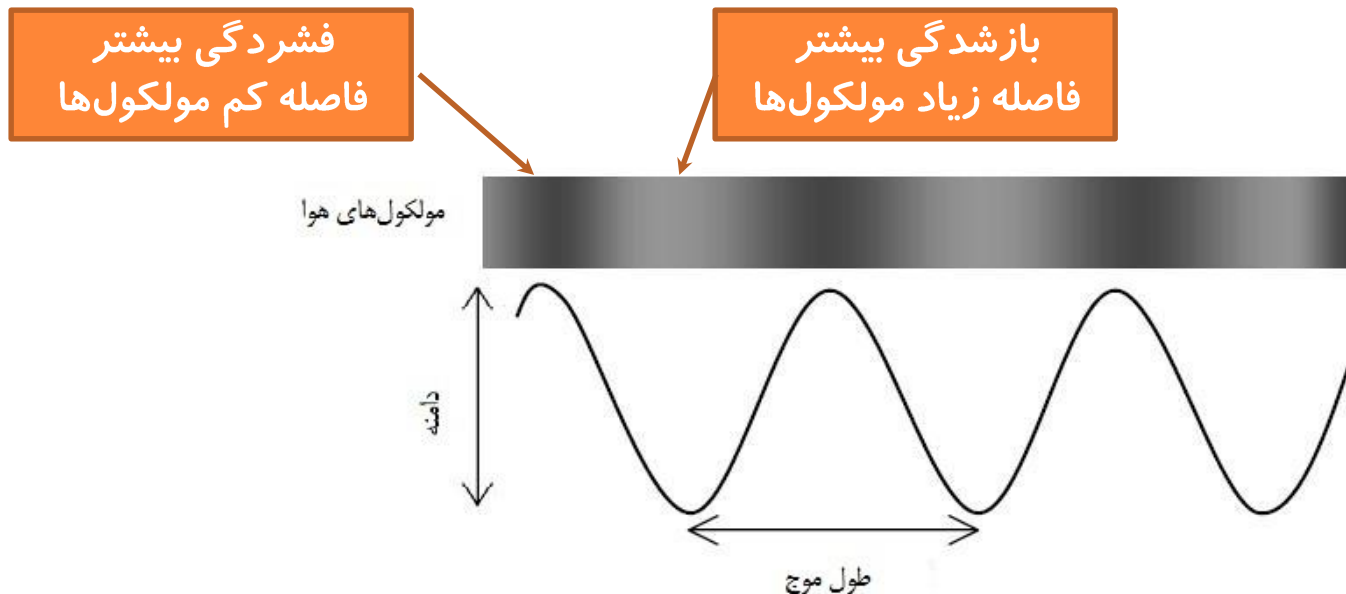


از تولید گفتار تا درک گفتار



○ تعریف صدا (Sound)

- یک موج که در اثر فشردگی‌ها و بازشدگی‌های مولکول‌های هوا ایجاد می‌شود
- تولید بر اثر ایجاد فشار و اعمال انرژی در هوا، در مسیری به موازات مسیر اعمال انرژی



- دامنه = کار انجام شده برای تولید انرژی‌ای که مولکول‌های هوا را به حرکت درآورد



صدا ...

سطح توان

$$10 \log_{10} (P1/P2)$$

○ دسی بل (dB) = اندازه‌گیری دامنه صدا

- مقیاس لگاریتمی برای مقایسه دو صدا
- به دلیل گسترده بوده بازه مربوط به دامنه صداهای مختلف

○ سطح فشار صدا (SPL: Sound Pressure Level)

$$SPL(dB) = 20 \log_{10} \left(\frac{P}{P_0} \right)$$

- محاسبه میزان فشار مطلق صدای P بر حسب dB
- P_0 = فشار مطلق صدا در 0 dB
- مرجع 0 dB معادل آستانه شنوایی است
- برای یک گفتگو در فاصله حدود یک متری: SPL=60 dB
- برای یک چکش دستی مورد استفاده برای سوراخ کردن سنگ: SPL=120 dB

○ وات به مترمربع (watts/meter^2) = میزان شدت (Intensity)

- آستانه شنوایی (TOH) = شدت 10^{-12} w/m^2



صدا ...

○ شدت و سطح دسی بل صداهای مختلف

سطح dB	صدا	--- برابر بزرگتر از آستانه شنوایی
0	آستانه شنوایی (10^{-12}W/m^2)	10^0
10	نجوای آرام	10^1
20	اتاق نشیمن ساکت	10^2
40	گفت و گوی آرام	10^4
50	دفتر کار معمولی	10^5
60	گفت و گوی عادی	10^6
70	خیابان شلوغ شهر	10^7
80	گیتار آکوستیک در فاصله ۱ فوتی	10^8
90	عبور کامیون سنگین	10^9
100	مترو در محل ایستگاه	10^{10}
110	ابزارهای قدرتی	10^{11}
120	آستانه‌ی درد گوش	10^{12}
130	باند فرودگاه	10^{13}
140	بمب صوتی	10^{14}
150	آسیب دائمی به گوش	10^{15}
160	موتور جت (در نزدیک)	10^{16}
180	موتور راکت	10^{18}
220	دوازده فوت فاصله از دهانه توپ آتش بار (10^{10}W/m^2)	10^{22}

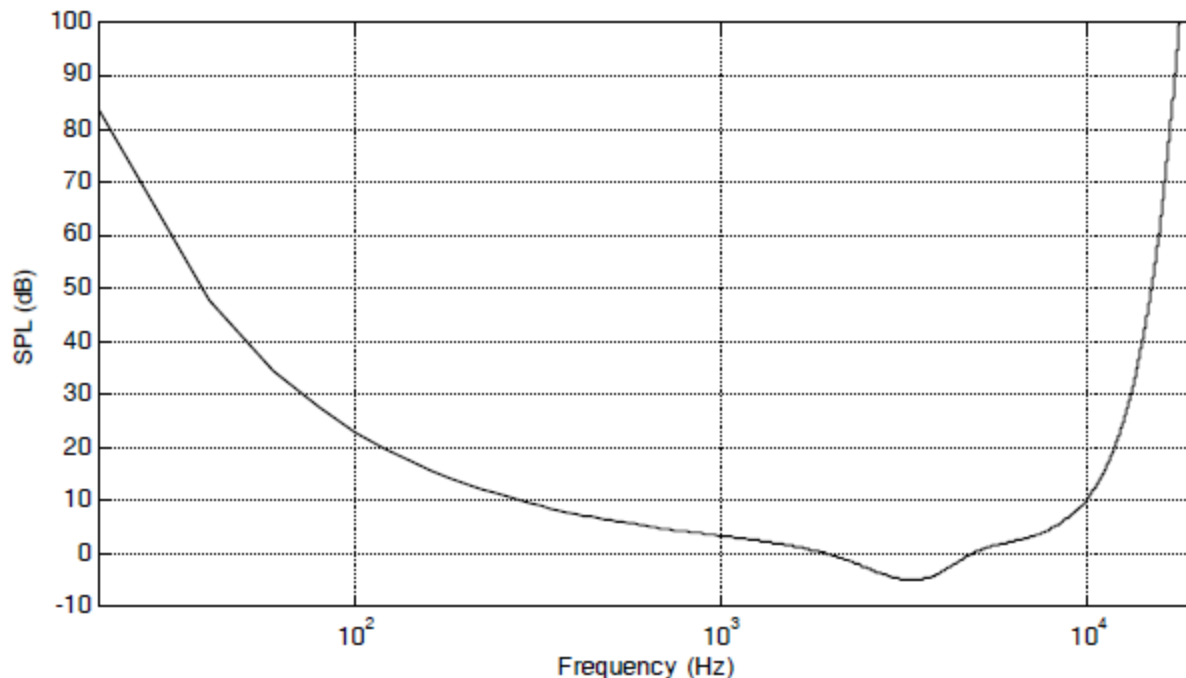
بلندترین صدای قابل تحمل توسط گوش انسان



○ آستانه مطلق شنوایی

$$T_q(f) = 3.64(f/1000)^{-0.8} - 6.5e^{-0.6(f/1000-3.3)^2} + 10^{-3}(f/1000)^4 \quad (dB \text{ SPL})$$

- تابعی از بسامد
- به طور تقریبی



- از ۲۰ هرتز تا ۲۰ کیلو هرتز



آواشناسی و واج‌شناسی ...

○ زبان نوشتاری: زبانی که با آن می نویسیم

• واحد پایه: نویسه/حروف (Alphabet, Letter, Character)

○ فارسی: ۳۲ حرف

○ انگلیسی: ۲۶ حرف

○ زبان گفتاری: زبانی که با آن صحبت می کنیم

• واحد پایه: آوا/واج (Phoneme/Phone)

○ فارسی: ۲۹ واج

○ انگلیسی: ۴۱ واج

○ پیدایش زبان گفتاری خیلی قبل‌تر از زبان نوشتاری بوده است



آواشناسی و واج‌شناسی ...

○ در بیشتر زبان‌ها واحدهای زبان گفتاری و نوشتاری یک به یک نیستند

• فارسی

- حروف ث، ص و س همگی معادل یک آوا (واج) /s/ هستند
- حرف «و» برای /v/، /o/ و /u/ به کار می‌رود
- آواهای (واکه‌های کوتاه) فتحه -، کسره - و ضمه - معادل نویسه‌ای ندارند

• انگلیسی

- حرف c برای آواهای /s/ (در cent) و /k/ (در car) به کار می‌رود
- حروف j (just) و g (agile) معادل آوای ژ هستند

○ Phonetic Language: زبان‌هایی که واحدهای زبان گفتاری و زبان

نوشتاری با هم هماهنگی دارند

- مانند زبان گُردی



آواشناسی و واج‌شناسی ...

○ نظریه سوسور

- زبان‌شناس سویسی فردینان دو سوسور (یکی از پدران علم زبان‌شناسی در قرن بیستم)
- رابطه بین یک نشانه و مصداق آن، یک رابطه قراردادی است.
 - یک حشره زرد و سیاه که پرواز می‌کند (زنبور عسل): در انگلیسی نشانه honeybee و در زبان ژاپنی نشانه mitsubachi دارد
 - هیچ رابطه خاصی بین این تلفظ‌ها و معنای مورد نظر وجود ندارد.
 - همچنین این تلفظ‌ها مشخصات زنبور را بیان نمی‌کنند.
 - در آواشناسی، صداهای گفتار معنای ذاتی ندارند و به طور تصادفی در واژگان توزیع می‌یابند
 - مگر اینکه ملاحظات تاریخی یا ریشه‌شناختی وجود داشته باشد
 - صداها فقط مجموعه‌ای از مفاهیم قراردادی هستند که توسط دستگاه صوتی انسان ساخته شده‌اند
 - در مواردی مثال نقض داریم
 - کلماتی که در انگلیسی با sn شروع می‌شوند و باید به صورت خیشومی تلفظ شوند، مثل snort (خروپف)، sneeze (عطسه)، sniff, snot, snore, snuffle، و غیره،
 - نام آواها (Onomatopoeia): کلماتی که تلفظ آنها از طبیعت الهام گرفته شده مانند «شرشر» و «جیک جیک»



آواشناسی و واج‌شناسی ...

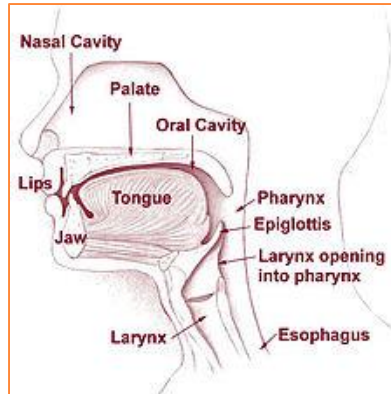
○ آواشناسی (Phonetics)

- توصیف دقیق صداهای گفتاری، مستقل از یک زبان خاص
- بررسی روش تولید، ذات فیزیکی و نحوه ادراک صداها
- آوا (Phone): یک صدای مشخص (نمود خارجی آکوستیک واج)
 - مثال: واج /t/ در انگلیسی دو نمود آکوستیک متفاوت آوای [t] در دو واژه sat و meter دارد

○ واج‌شناسی (Phonemics)

- توصیف صداهای گفتاری در یک زبان مشخص (نظام صوتی زبان)
- واج (Phoneme)
 - کوچک‌ترین واحد صدای گفتار در زبان که باعث تمایز د و واژه از همدیگر می‌شود
- مطالعه نقش آواهای هر زبان، نحوه ترکیب آواها برای ساخت واحدهای بزرگتر، ترکیب‌های ممکن صوتی یک زبان و قواعد ترکیب

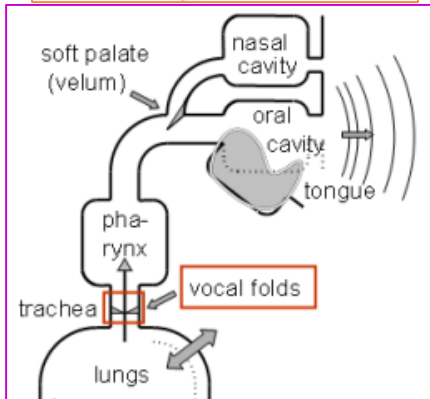
آواشناسی و واج‌شناسی



شاخه‌های آواشناسی (Phonetics)

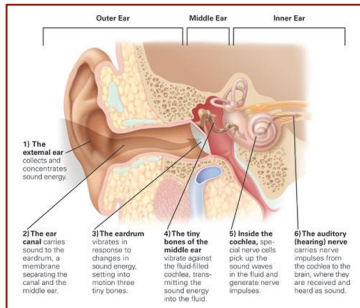
آواشناسی تولیدی (Articulatory Phonetics)

- نحوه تولید صداها بر اساس وضعیت اندام‌های تولید صدا
- محل و نحوه قرار گرفتن اندام‌ها



آواشناسی آکوستیک (Acoustic Phonetics)

- خصوصیات فیزیکی آواهای گفتاری
- معیارهای قابل مشاهده و قابل اندازه‌گیری در شکل موج سیگنال گفتار
- ایجاد دانش (نظری و عملی) برای بازشناسی گفتار و تبدیل متن به گفتار



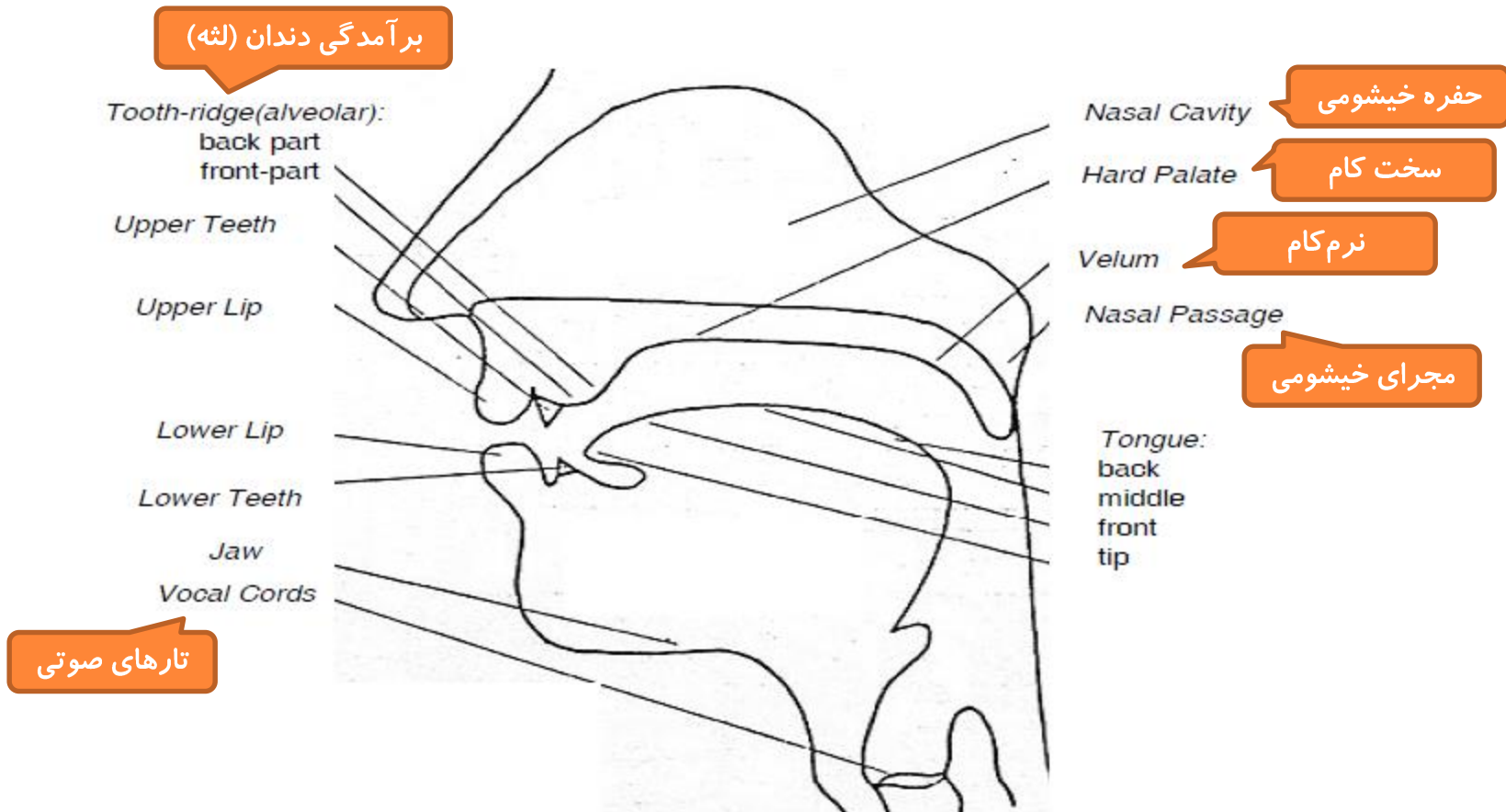
آواشناسی ادراکی/شنیداری (Auditory Phonetics)

- چگونگی دریافت و ادراک صداها از طریق گوش و اعصاب شنیداری



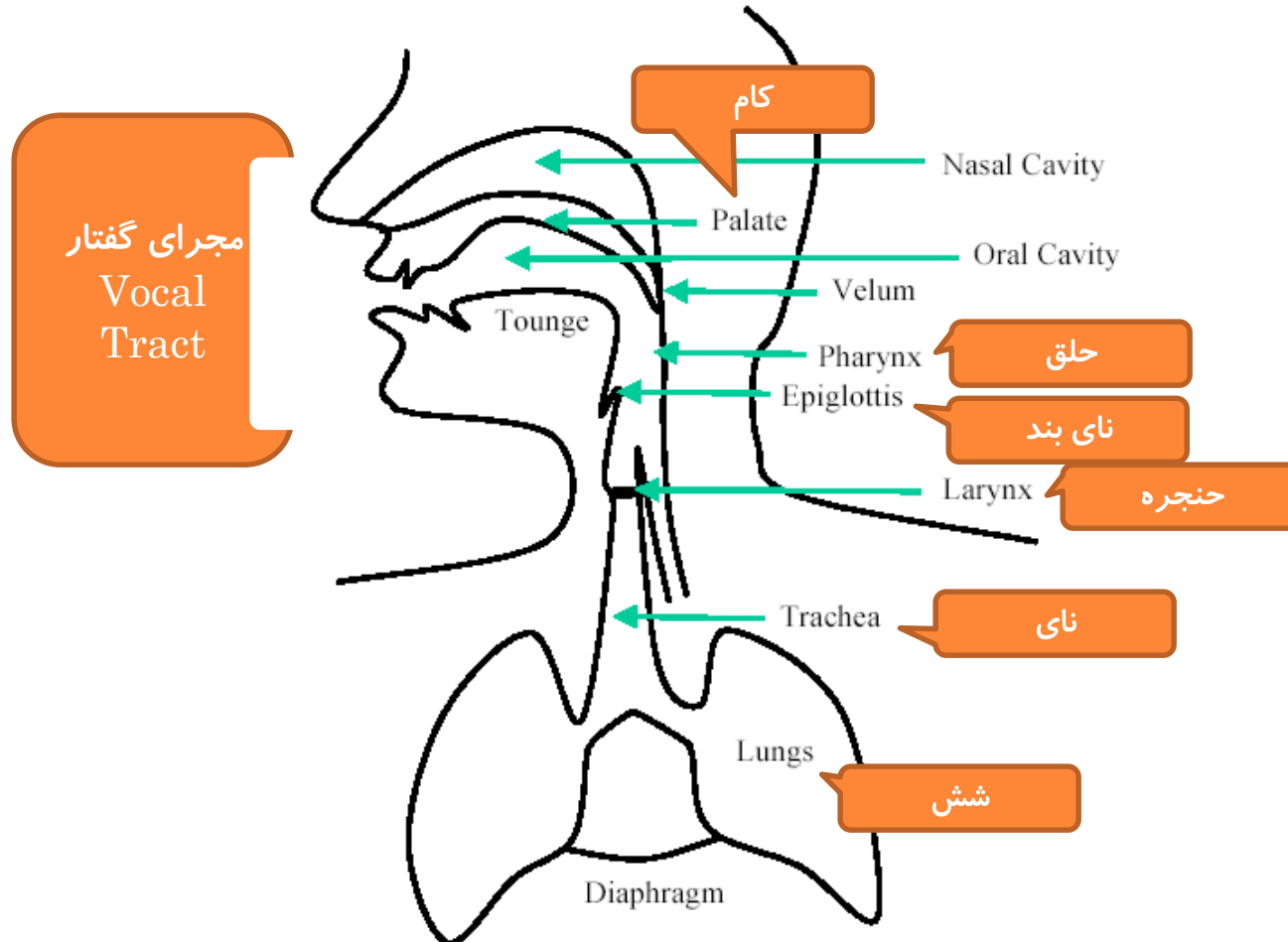
تولید گفتار: اندامها ...

تولید به وسیله امواج ناشی از فشار هوای خارج شده از دهان و بینی
• مجرای گفتار (Vocal Tract)



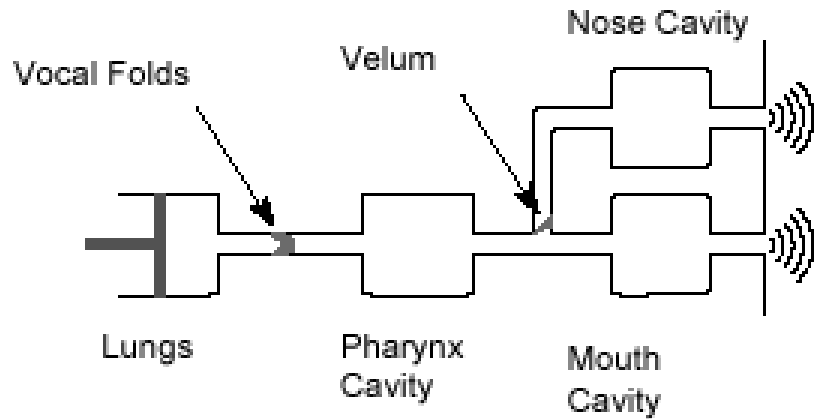
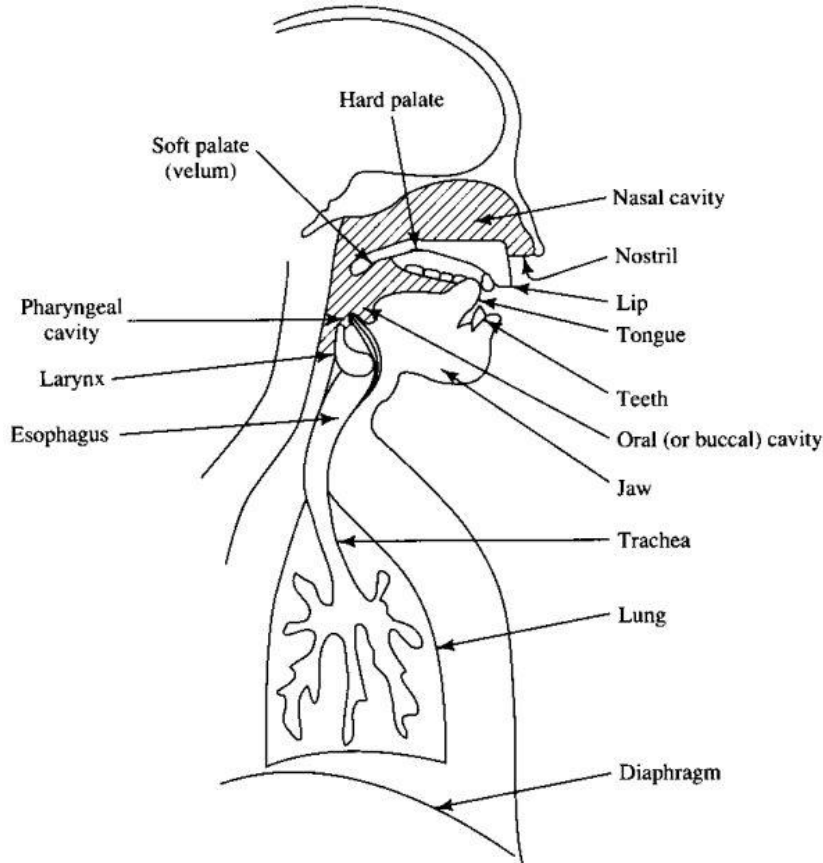


تولید گفتار: اندامها ...



تولید گفتار: اندامها ...

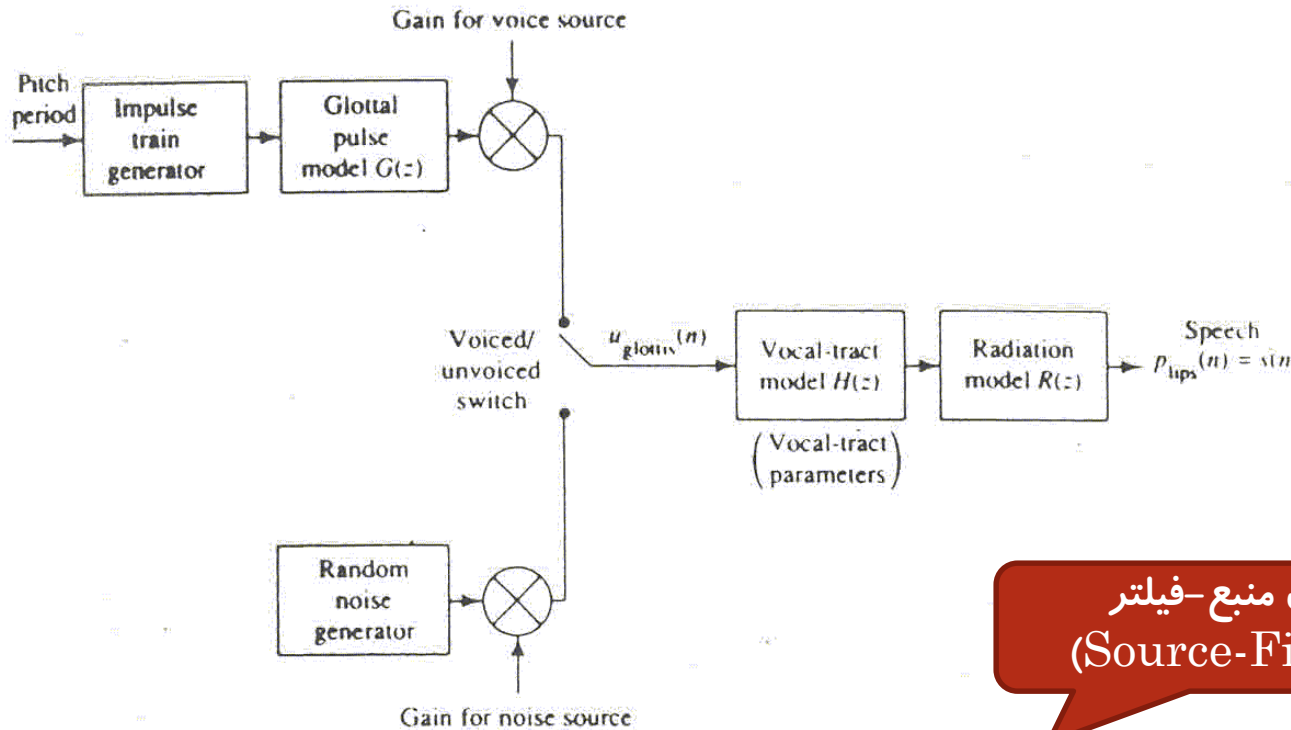
○ مدل مجرای گفتار



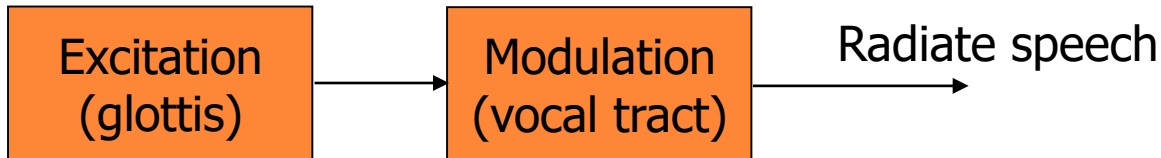


تولید گفتار: اندامها ...

○ مدل عمومی تولید گفتار در پردازش سیگنال



مدل منبع-فیلتر
(Source-Filter)





تولید گفتار: اندامها ...

○ انواع آواها (واجها)

- همخوانها (Consonants): تولید با انقباض در گلو یا در دهان (زبان، دندانها، لبها)
 - مانند ب، پ، ف، س، ...
- واکهها (Vowels): تولید بدون انقباض یا انسداد قابل توجه
 - مانند آ، آو، اُ، ای، اِ

○ دستگاه تولید گفتار انسان ...

- ششها: منبع هوا در حین صحبت کردن
- تارهای صوتی (Vocal Cords)(حنجره)
 - صدای واکدار (Voiced): تارهای صوتی در حین تولید یک صدای گفتار در فاصله نزدیکی از همدیگر قرار می‌گیرند و به طور تناوبی حرکت می‌کنند
 - مانند ز، ب، د، ژ
 - صدای بی‌واک (Unvoiced): تارها آنقدر از هم فاصله می‌گیرند یا محکم و سفت می‌شوند که نمی‌توانند حرکت تناوبی داشته باشند
 - مانند س، پ، ت، چ



تولید گفتار: اندامها ...

○ دستگاه تولید گفتار انسان

- نرم کام ((Velum (Soft Palate)): مثل یک دریچه، وقتی باز می شود هوا از درون حفره بینی (خیشوم) عبور می کند
 - مانند واج های م، ن
- سخت کام (Hard Palate): یک سطح بلند و نسبتاً سفت در سقف دهان، وقتی زبان در مقابل آن قرار می گیرد، صدای واج همخوان تولید می شود
 - مانند ژ، چ، ک، گ
- زبان (Tongue): انعطاف پذیر، برای تولید واژه ها از سخت کام دور می شود و برای تولید همخوانها در نزدیکی یا تماس با سخت کام یا سطوح سخت دیگر قرار می گیرد
 - مانند د، ز، ر ...
- دندانها (Teeth): برای تولید همخوانهای خاص، زبان را سفت می کند
 - مانند د، ت
- لبها (Lips): گرد یا گسترده برای تغییر کیفیت واژه، یا کاملاً بسته می شود تا برای همخوانهای خاصی مانع از جریان هوا از راه دهان شود
 - مانند م، ب، ف



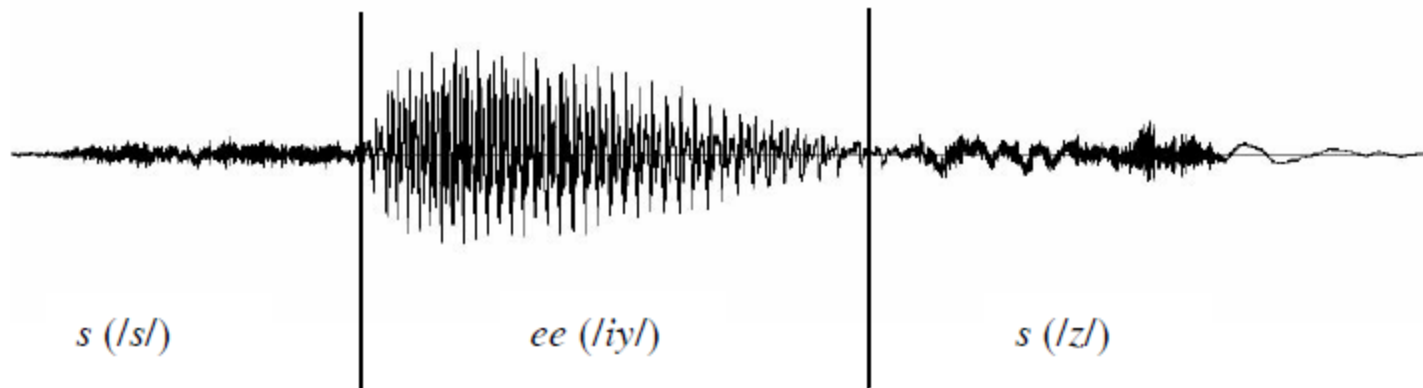
تولید گفتار: واکداری ...

○ مکانیسم واکداری (Voiced)

- تمایز اصلی بین گونه‌های صدا در گفتار، تمایز واکداری و بی‌واکی است
- صداهای واکدار، از جمله واکه‌ها، الگوی تقریباً منظمی در ساختار زمان و بسامد دارند که صداهای بی‌واک، از قبیل همخوان‌هایی مثل s، آن را ندارند.
- صداهای واکدار انرژی بیشتری دارند

• مثال: واژه sees

○ همخوان بی‌واک /s/ واکه /iy/ همخوان واکدار /z/





تولید گفتار: واگذاری ...

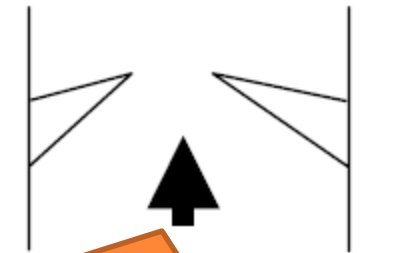
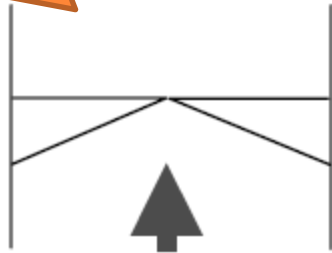
○ تمایز بین واج‌های واگذار و بی‌واک

- لرزش (واگذار) یا عدم لرزش (بی‌واک) تارهای صوتی در حین تولید واج
 - واکه‌ها در طول زمان تولیدشان واگذار هستند و طنین‌های (timber) مجزای هر واکه با استفاده از لب‌ها و زبان ایجاد می‌شوند.
- تفاوت در سرعت لرزش تارهای صوتی برای افراد مختلف
 - برای یک مرد بالغ ۶۰ بار در ثانیه (هرتز)
 - برای یک زن جوان یا یک بچه ۳۰۰ هرتز یا بیشتر
- بسامد پایه (F_0 : Fundamental Frequency): سرعت چرخه باز و بسته شدن تارهای صوتی در حنجره در حین تولید صداهای واگذار
 - مبنای تناوبی برای هارمونیک‌های با بسامد بالاتر (تولید شده توسط حفره‌های تشدید حلقی و دهانی)
 - کمک به درک زیروبمی گفتار (Pitch) (افت و خیز شبه موسیقایی آهنگ صدا)

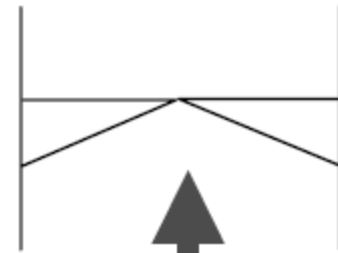
تولید گفتار: واگذاری ...

• چرخه تارهای صوتی در حنجره ...

بسته شدن تارهای صوتی



باز شدن تارهای صوتی بر اثر فشار هوای ششها



برگشتن تارهای صوتی به حالت قبل با کاهش فشار هوا



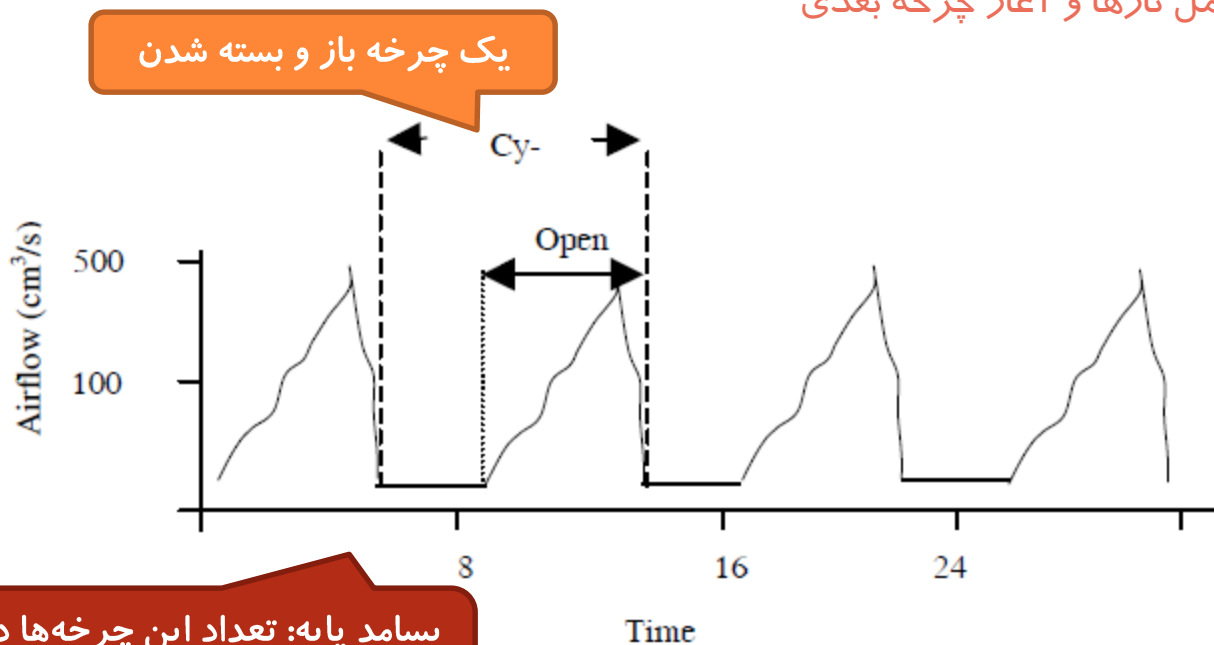
• محل به هم رسیدن تارهای صوتی = چاکنای (Glottis)



تولید گفتار: واگذاری ...

○ چرخه تارهای صوتی در حنجره

- مرحله بسته بودن: عدم جریان هوا
- مرحله باز شدن: باز شدن چاکنای و ایجاد جریان هوا
- بعد از یک افزایش کوتاه مدت، برگشت تارهای صوتی به موقعیت اصلی و کاهش جریان هوا تا بسته شدن کامل تارها و آغاز چرخه بعدی

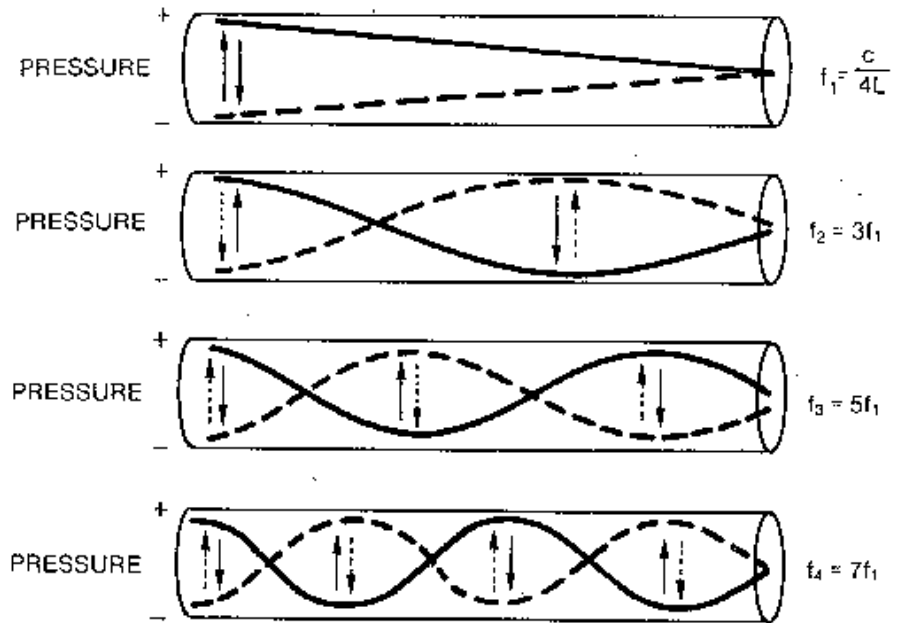
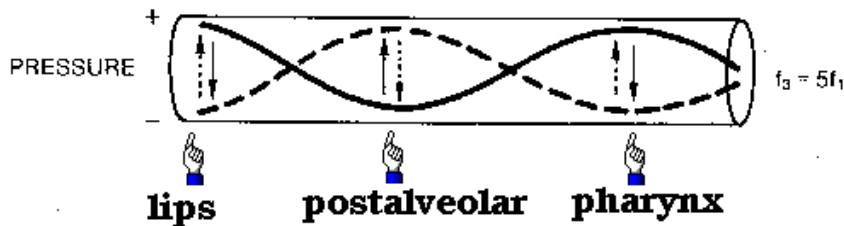
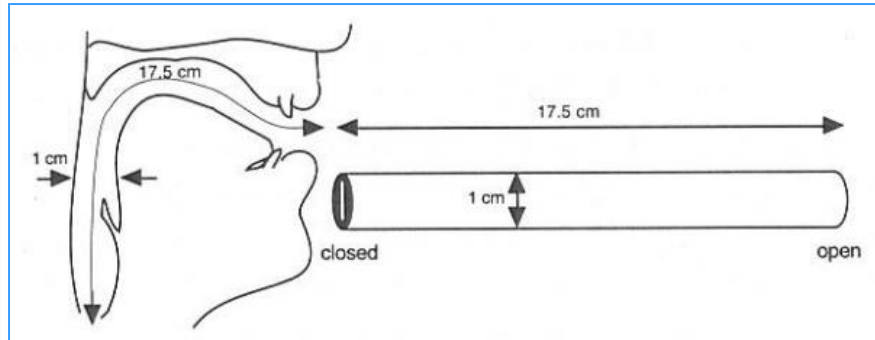


بسامد پایه: تعداد این چرخه‌ها در ثانیه (هرتز) - در اینجا حدود 120 هرتز

تولید گفتار: طیف‌نگار و فرمنت ...

○ مجرای گفتاری

- لوله مستقیمی با سطح مقطع عرضی یکسان، انتهای آن در چاکنای بسته و سر آن در ناحیه لب‌ها باز است

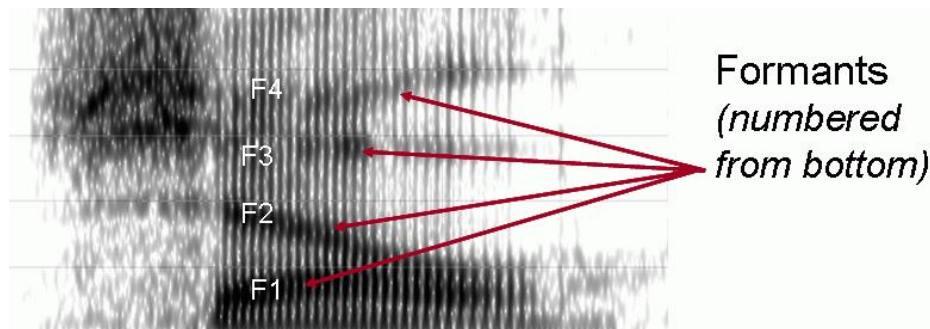
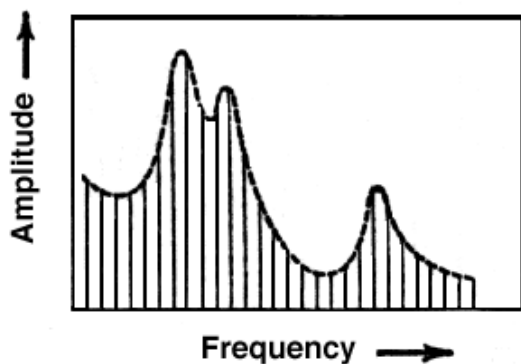




تولید گفتار: طیف‌نگار و فرمنت ...

○ فرمنت

- موج چاکنای متناوب بوده و شامل بسامد پایه (F_0) و چند هارمونیک (مضرب‌های F_0) است
- تحریک مجرای گفتار در بالای چاکنای توسط انرژی چاکنایی
- تغییر تشدیدها با تغییر شکل مجرای گفتاری
- اهمیت بیشتر هارمونیک‌های نزدیک تشدیدها
- فرمنت (Formant) در گفتار، تشدیدهای حفره‌های اندام‌های گفتاری
 - بیانگر نوعی از پیکره‌بندی اندام‌های گفتاری (مثل طنین‌های مختلف یک واکه)



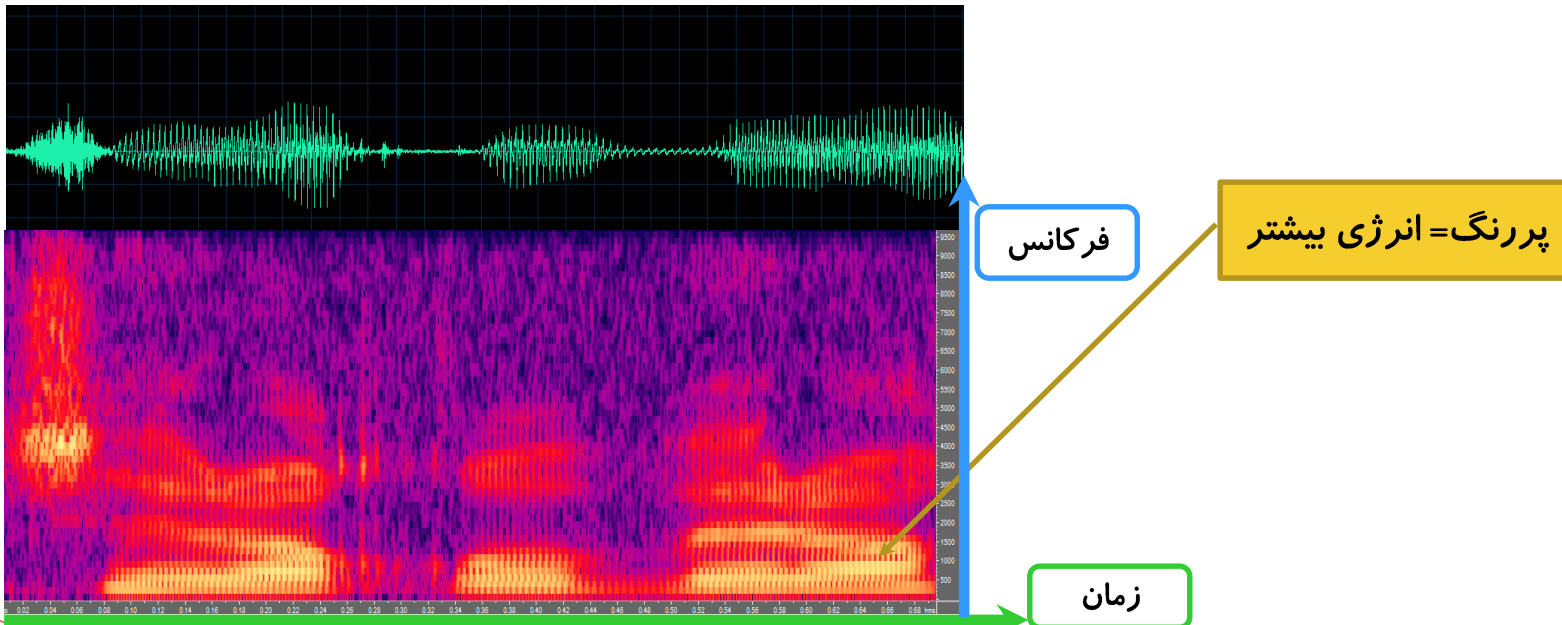
تولید گفتار: طیف‌نگار و فرمنت ...

○ طیف‌نگار (Spectrogram)

- نمایش زمان-فرکانس سیگنال گفتار
- تیرگی یا روشنی = میزان انرژی
- نوارهای افقی پرانرژی = فرمنت‌ها

○ توزیع غیرهمسان انرژی در تشدیدهای واکه

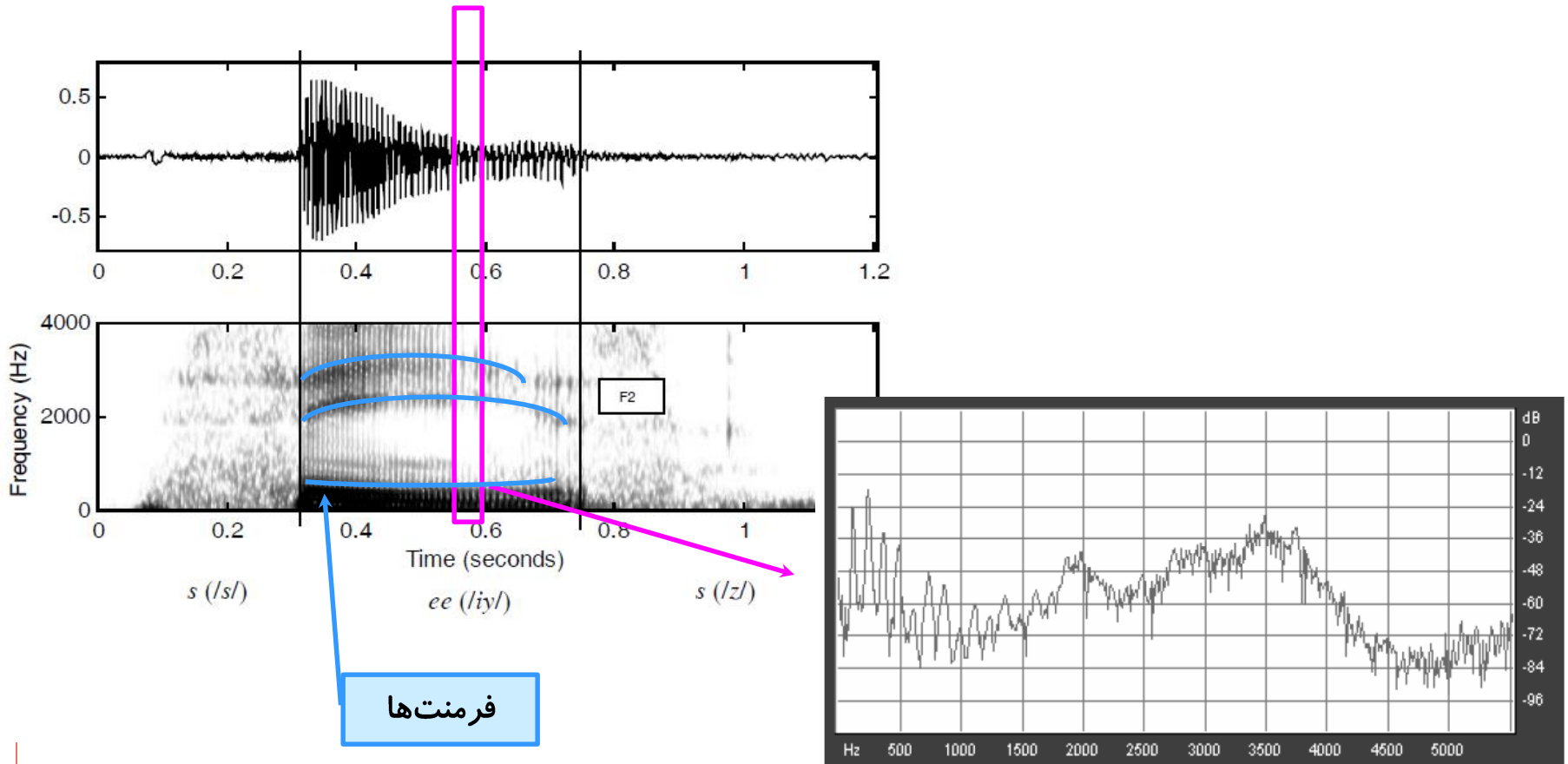
○ هارمونیک‌های بسامد پایه در تشدیدهای طبیعی وضعیت حفره اندام گفتاری





تولید گفتار: طیف‌نگار و فرمنت ...

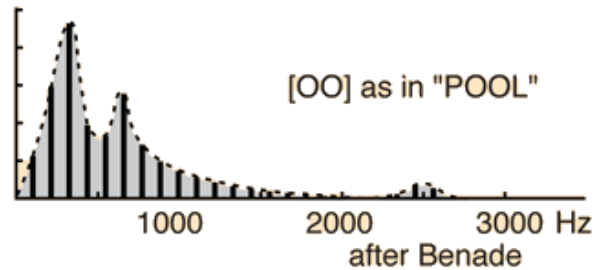
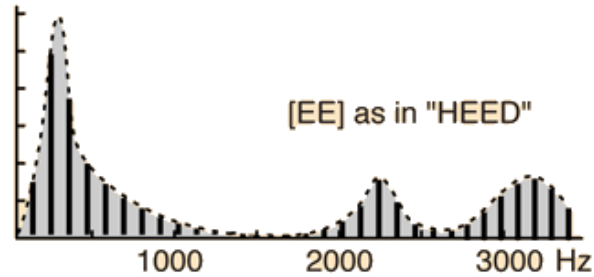
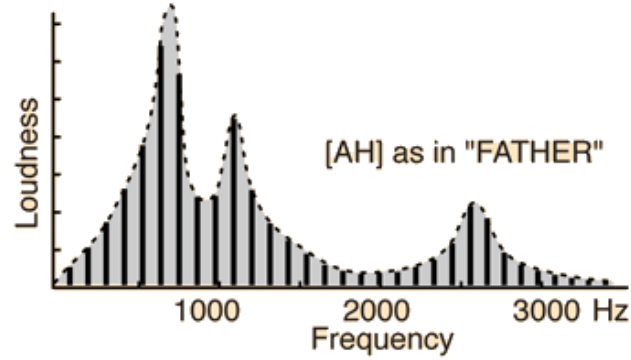
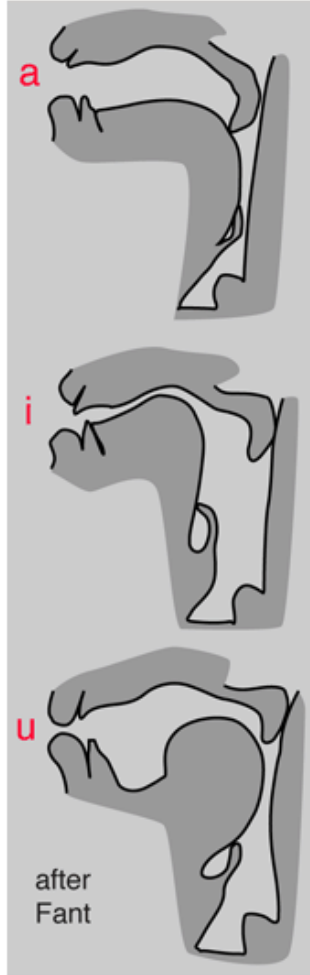
○ مثال: واژه /iy/ در واژه sees





تولید گفتار: طیف‌نگار و فرمنت ...

مثال ○





تولید گفتار: طیف‌نگار و فرمنت ...

○ مقادیر نمونه فرکانس فرمنت‌ها

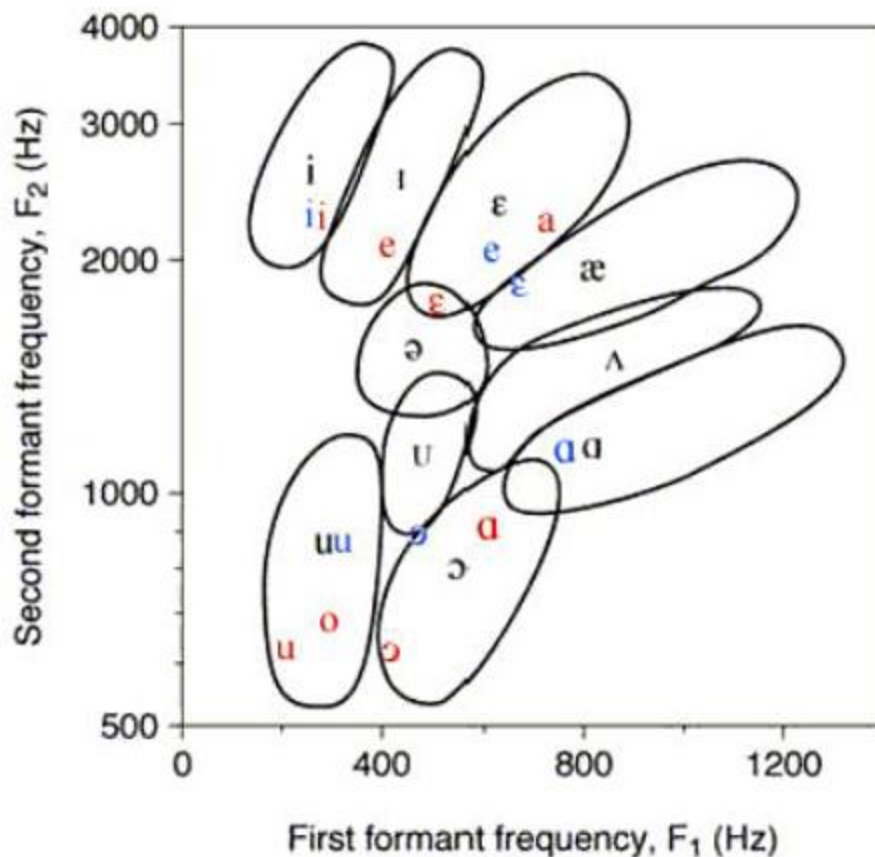
• یکی از ویژگی‌ها برای تشخیص واج‌ها

Phonetic Symbol	Example Word	F_1 (Hz)	F_2 (Hz)	F_3 (Hz)
/ow/	bought	570	840	2410
/oo/	boot	300	870	2240
/u/	foot	440	1020	2240
/a/	hot	730	1090	2440
/uh/	but	520	1190	2390
/er/	bird	490	1350	1690
/ae/	bat	660	1720	2410
/e/	bet	530	1840	2480
/i/	bit	390	1990	2550
/iy/	beet	270	2290	3010



تولید گفتار: طیف‌نگار و فرمنت

○ دسته‌بندی واج‌های انگلیسی بر اساس دو فرمنت اول





درک گفتار ...

○ دو مؤلفه اصلی شنیداری در سیستم درک

- اندام‌های شنیداری جانبی (گوش‌ها)
- سیستم عصبی شنیداری (مغز)

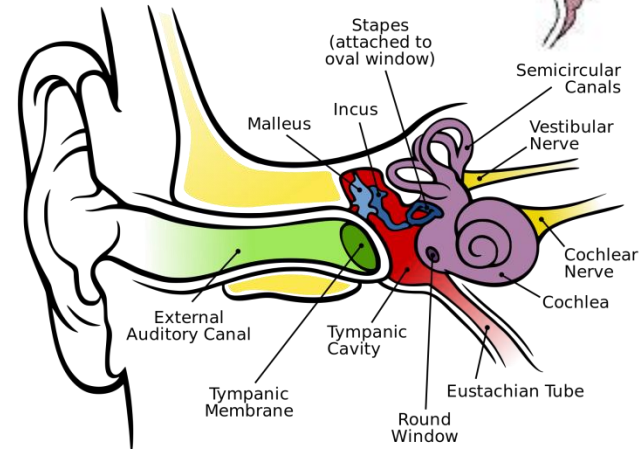
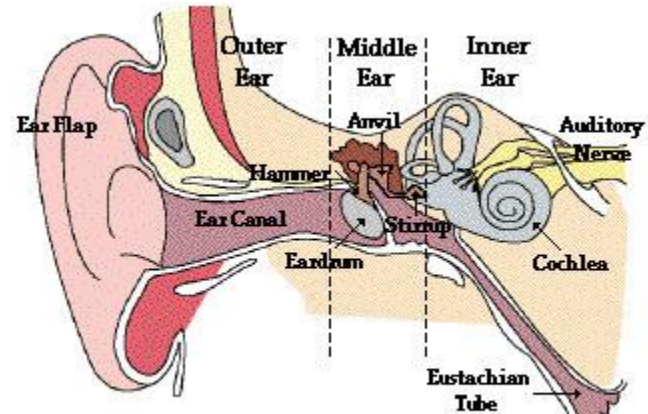
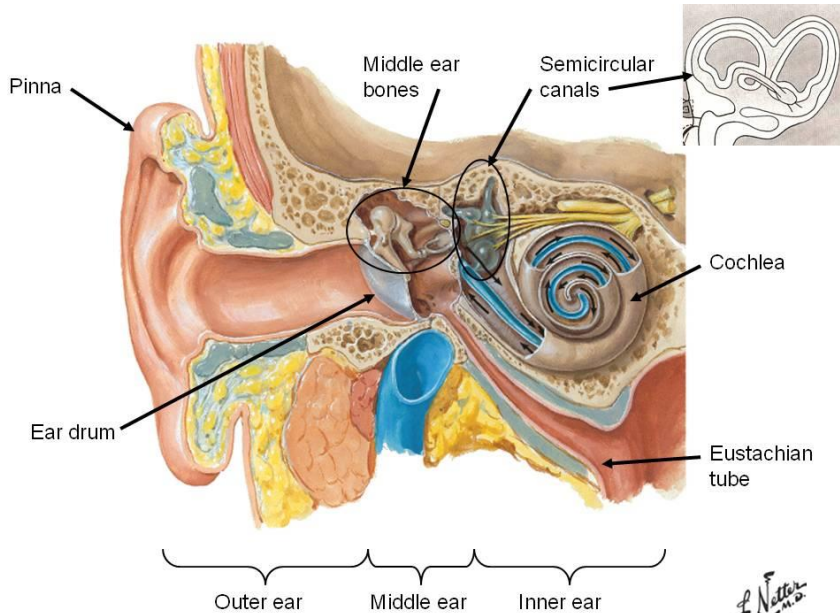
○ مراحل

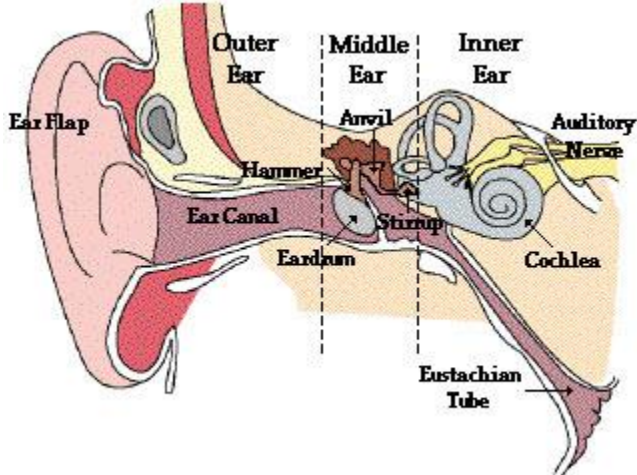
- دریافت سیگنال صوتی توسط گوش
- تبدیل به ارتعاش مکانیکی بر روی غشای پایه (Basilar Membrane)
- ارائه به صورت یک سری پالس و انتقال به وسیله عصب‌های شنوایی
- استخراج اطلاعات ادراکی در مراحل مختلف سیستم عصبی شنیداری

درک گفتار: ساختار گوش ...

○ ساختار گوش ...

• سه بخش: گوش بیرونی، گوش میانی و گوش درونی



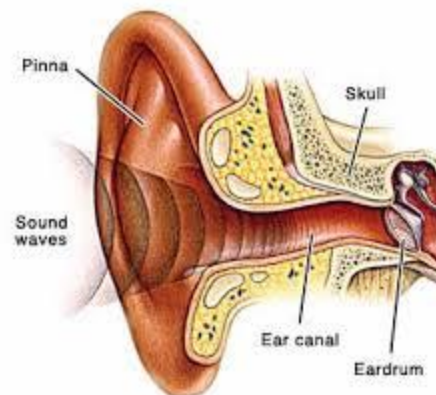


درک گفتار: ساختار گوش ...

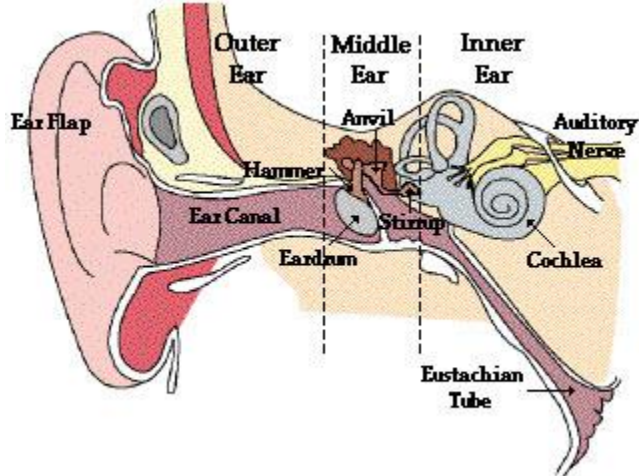
○ گوش بیرونی

• شامل

- (۱) لاله گوش
- (۲) کانال شنیداری خارجی (یک لوله انتقال صدا با طول حدود ۲.۵ سانتی‌متر)
- (۳) پرده گوش (Eardrum)
- با رسیدن نوسانات فشار هوا از بیرون به پرده گوش، پرده مرتعش شده و ارتعاشات را به استخوان‌هایی که در سمت مقابلش قرار دارند می‌فرستد
- بسامد (فشرده‌گی و بازشدگی متناوب) ارتعاش پرده گوش با موج فشار صدای ورودی یکسان است



درک گفتار: ساختار گوش ...



○ گوش میانی

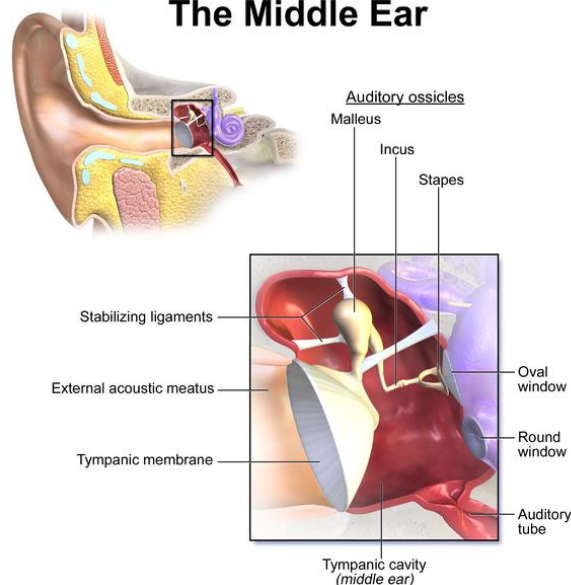
- حفره‌ای پر از هوا با عرض ۱.۳ سانتی‌متر و حجم حدود
- هوا از لوله‌ای که این حفره را به بینی و حلق متصل می‌کند، به گوش میانی می‌رسد
- لوله/شیپور استاش (Eustachian tube)

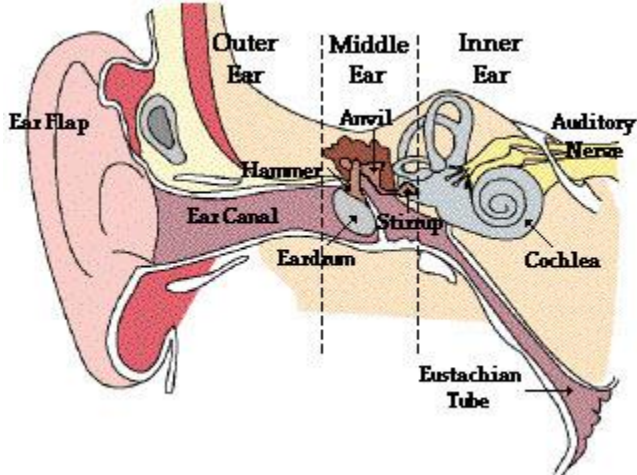
- شامل سه استخوان کوچک (ossicles) با نام‌های Malleus (hammer)، Incus و Stapes (stirrup) و (anvil)

○ انتقال لرزش پرده

○ محدود کردن دامنه

The Middle Ear





درک گفتار: ساختار گوش ...

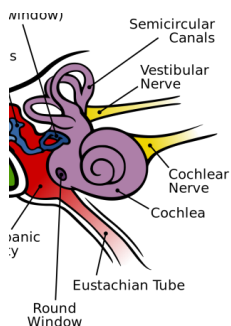
○ گوش درونی

- پنجره بیضی شکل (Oval window): غشایی بر روی (حلزونی گوش)

○ از آنجا که دیواره‌های حلزونی گوش استخوانی هستند، انرژی به وسیله فعالیت مکانیکی اندام‌های درون گوش و ایجاد فشار بر غشای موجود در اطراف دریچه بیضی شکل، منتقل می‌شود.

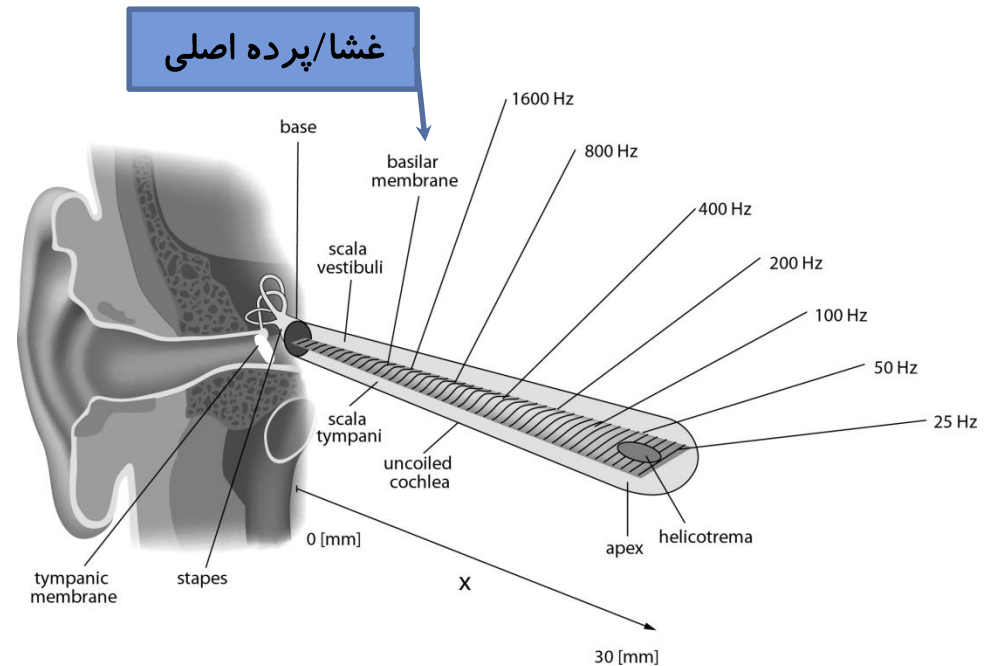
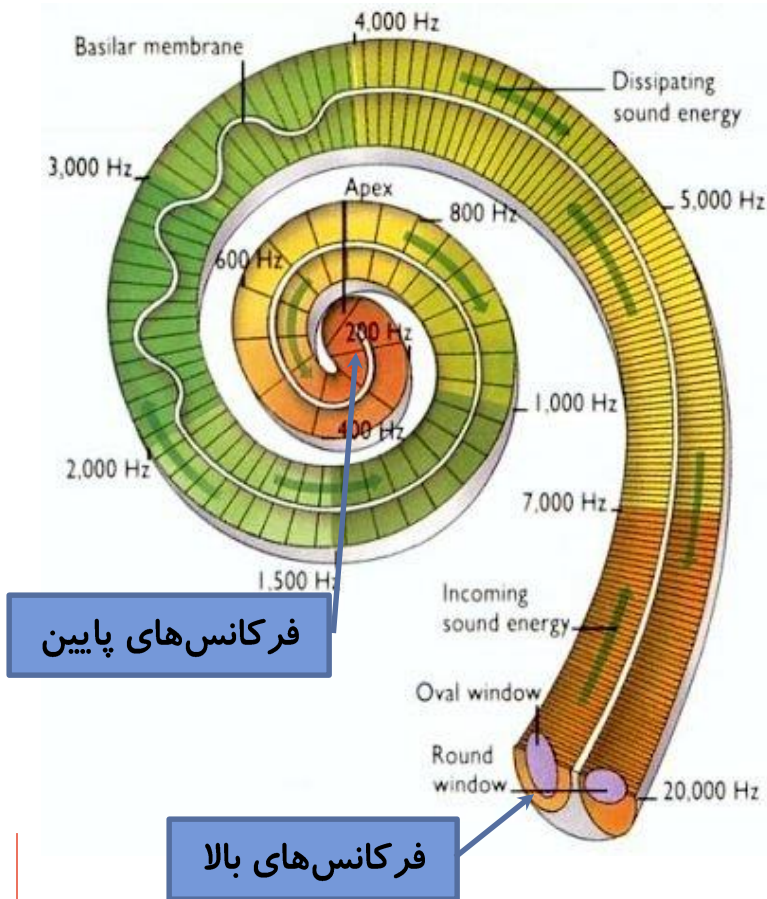
• حلزونی گوش (Cochlea)

- قسمت مربوط به درک گفتار در گوش درونی که به طور مستقیم با عصب شنوایی در ارتباط است و صدا را به مغز می‌رساند
- یک لوله مارپیچ با طول ۳.۵ سانتی‌متر و حدود ۲.۶ بار به دور خود پیچیده است.
- حلزونی گوش یک بانک فیلتر است که خروجی‌های آن به ترتیب موقعیت منظم می‌شوند.
- تبدیل بسامد به مکان: فیلترهایی که کمترین فاصله را از پایه حلزونی دارند به بسامدهای بالاتر و فیلترهایی که به بالای حلزون نزدیک‌ترند به بسامدهای پایین‌تر پاسخ می‌دهند.
- تبدیل لرزش‌های صوتی به پالس‌های عصبی



درک گفتار: ساختار گوش ...

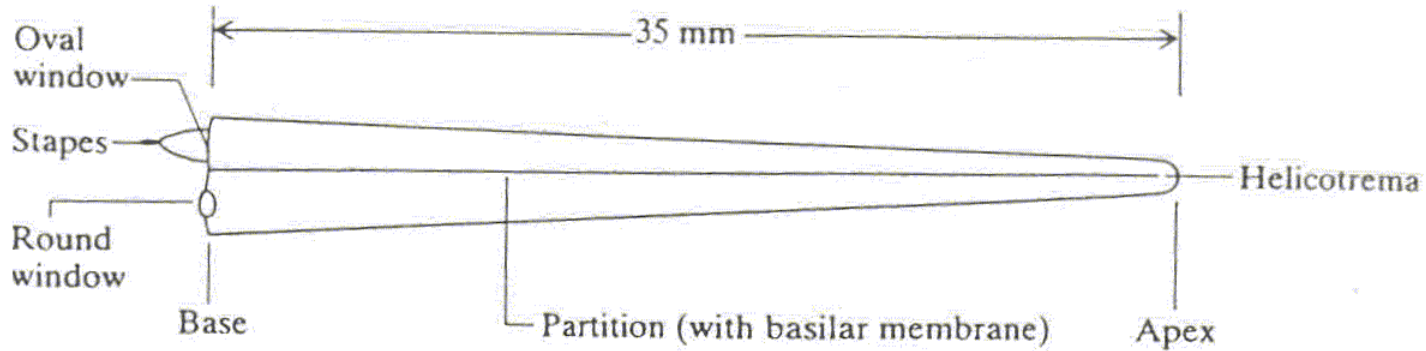
○ گوش درونی: حلزونی گوش (Cochlea) ...





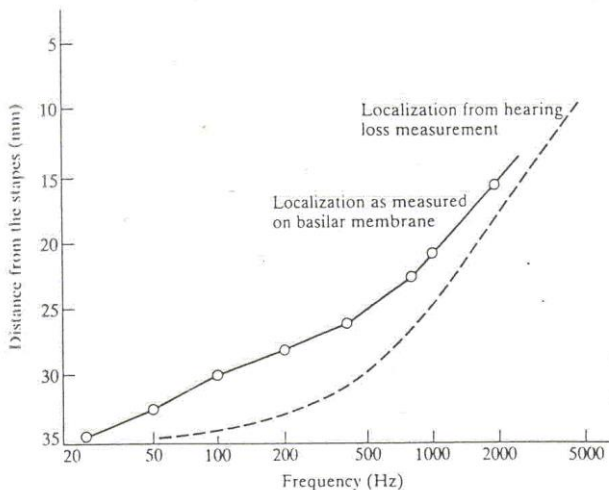
درک گفتار: ساختار گوش ...

○ گوش درونی: حلزونی گوش (Cochlea) به صورت باز شده



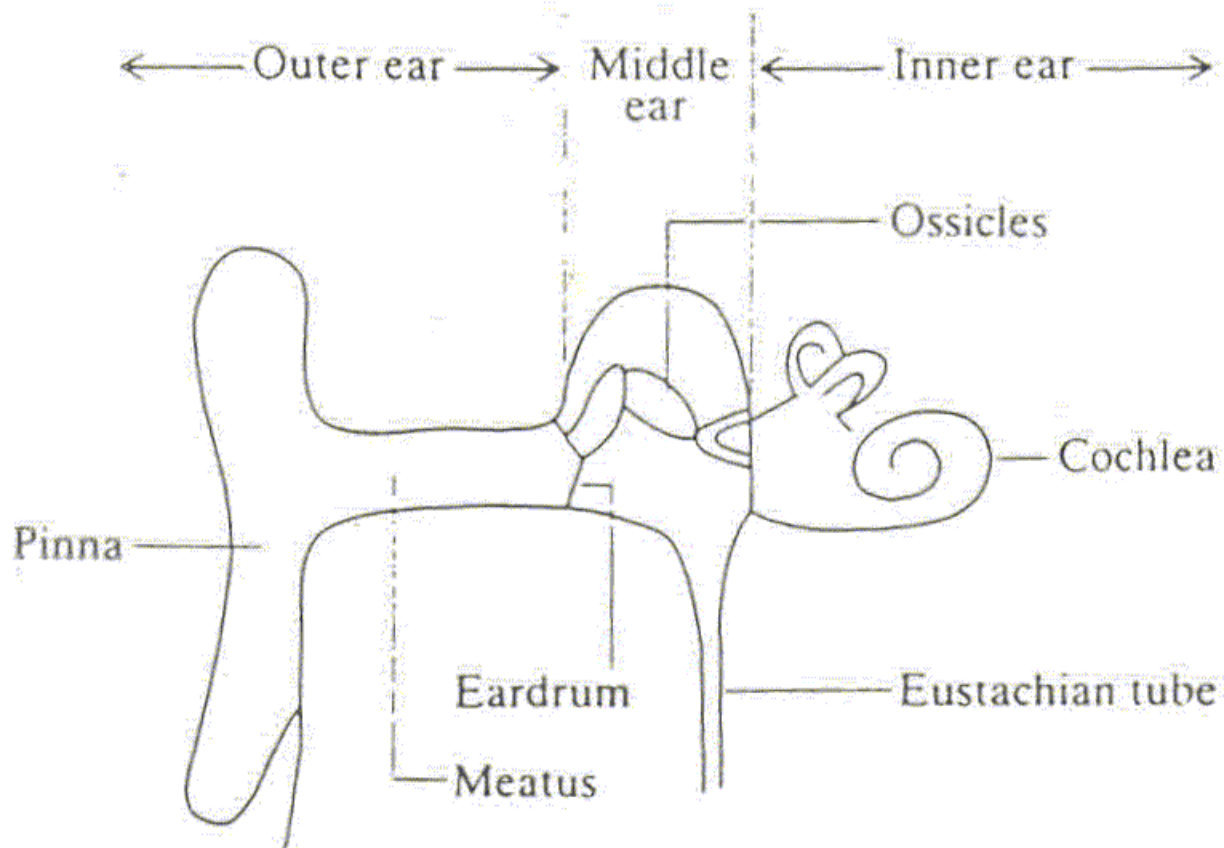
○ گوش درونی: حلزونی گوش (Cochlea)

• دامنه در طول پرده اصلی





درک گفتار: ساختار گوش





درک گفتار ...

○ مشخصه‌های ادراکی و فیزیکی صدا ...

کیفیت ادراکی	کمیت فیزیکی
بلندی (Loudness)	شدت (Intensity)
زیروبمی (Pitch)	بسامد پایه (Fundamental frequency)
طنین (Timbre)	شکل طیفی (Spectral shape)
زمان بندی (Timing)	زمان آغاز/پایان (Onset/offset time)
موقعیت (Location)	اختلاف فاز در شنیدن با هر دو گوش

- مشخصه‌های ادراکی دارای هم‌بستگی با یک مشخصه فیزیکی است، اما این ارتباط پیچیده است؛ زیرا سایر مشخصه‌های فیزیکی آن صدا ممکن است به نحوه پیچیده‌ای بر ادراک آن تأثیر بگذارند.

○ صداهایی که سطح شدت بیشتری دارند معمولاً بلندتر هستند، اما حساسیت گوش با تغییر بسامد و کیفیت صدا تغییر می‌کند.

○ فرق اساسی بین کیفیت‌های فیزیکی و ادراکی، پدیده درک کردن غیرهمسان صدای نواخت‌هایی با بلندی یکسان اما با بسامدهای متغیر

○ نواخت‌هایی که زیروبمی متغیری دارند، ذاتاً بلندی دریافت‌شده متفاوتی نیز دارند



درک گفتار ...

○ مشخصه‌های ادراکی و فیزیکی صدا ...

• زیرومی صدا \sim بسامد پایه

- هرچه بسامد پایه بیشتر باشد، زیرومی دریافتی بیشتر است
- اما، با افزایش شدت و ثابت ماندن بسامد، زیرومی دریافتی تغییر خواهد کرد.

• پوشاندن برخی نواخت‌ها توسط نواخت‌های دیگر

- وقتی گوش در معرض دو یا چند نواخت مختلف قرار گیرد، ممکن است یکی از نواخت‌ها سایر نواخت‌ها را پوشاند
- نواخت‌های خالص، صداهای مرکب، نوفه‌های دارای پهنای باند کم و دارای پهنای باند زیاد، دارای توانایی در پوشاندن صداهای دیگر هستند

• توانایی تشخیص جهت صدا توسط انسان

- توانایی ما را در تشخیص جهت منبع صدا وابسته به شنیدن با دو گوش است.
- موقعیت‌یابی صدا توسط انسان، زمان و شدت صدا به ترتیب دارای تأثیرات متفاوتی بر صداهای با بسامد پایین و بسامد بالا هستند
- صداهایی که بسامد پایین دارند، عمدتاً براساس تفاوت زمانی بین دو گوش تمایز داده می‌شوند در حالی که صداهایی با بسامد بالا بیشتر بر اساس تفاوت‌های شدت دو گوش موقعیت‌یابی می‌شوند

درک گفتار ...

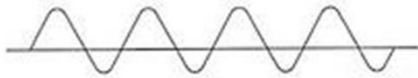
○ مشخصه‌های ادراکی و فیزیکی صدا

• طنین (Timbre)

- مشخصه‌ای از حس شنوایی که با آن می‌توان بین دو صدای شبیه به هم که بلندی و زیربومی یکسان دارند، تمایز قائل شد.
- وقتی تمام تفاوت‌هایی از دو صدا که به راحتی اندازه‌گیری می‌شوند، کنترل شوند تا یکسان باشند، مابقی تفاوت‌های درک شده به طنین اختصاص داده می‌شود.
- این مسئله در موسیقی راحت‌تر شنیده می‌شود، یک نت واحد با اکتاو و مدت زمان استمرار یکسان، وقتی با ویولن نواخته می‌شود با نواخته شدن آن با فلوت فرق می‌کند
- ویژگی مهمی در تحلیل موسیقی: تشخیص نوع موسیقی و نوع ساز



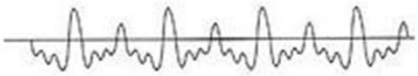
Tuning fork



Flute



Voice



Violin

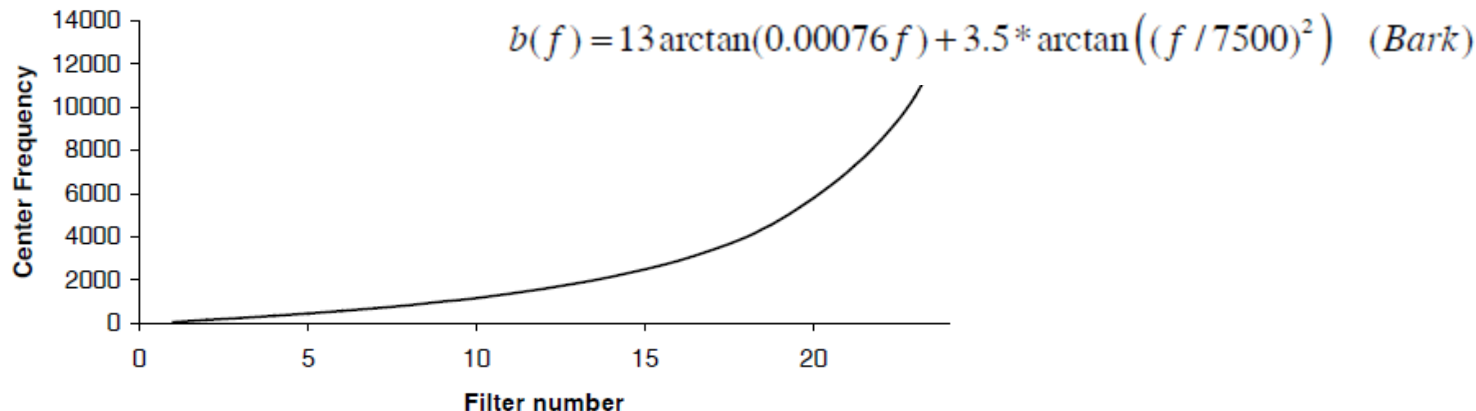




درک گفتار ...

○ تحلیل بسامدی ...

- مطالعه مکانیزم گوش درونی و عصب شنوایی نشان می‌دهند که مشخصه‌های ادراکی صداهایی که بسامدهای مختلفی دارند، ساده یا خطی نیستند
- عملکرد حلزونی گوش: بانک فیلتری با پهنای باندهای مختلف و با هم‌پوشانی
- مقیاس بسامد بارک (Bark Frequency Scale): مقیاسی برای تعیین بانک فیلترها
 - تناسب پردازش انرژی طیفی صدا در مقیاس بارک با اطلاعات طیفی در حال پردازش توسط گوش
 - مقیاس بارک دارای بازه‌ای از ۱ تا ۲۴ بارک است معادل با ۲۴ نوار بحرانی شنوایی انسان
 - تفکیک ادراکی در بسامدهای پایین‌تر دقیق‌تر است = اهمیت دادن بیشتر به بسامدهای پایین‌تر

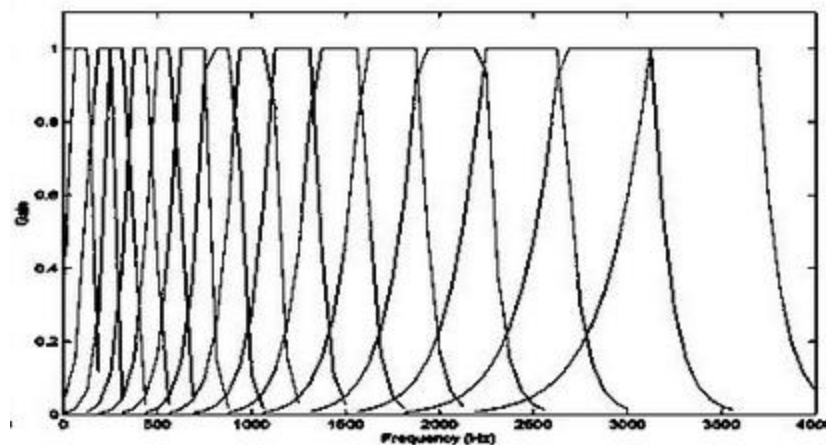




درک گفتار ...

○ تحلیل بسامدی: مقیاس بارک ...

Bark Band #	Edge (Hz)	Center (Hz)
1	100	50
2	200	150
3	300	250
4	400	350
5	510	450
6	630	570
7	770	700
8	920	840
9	1080	1000
10	1270	1170
11	1480	1370
12	1720	1600
13	2000	1850
14	2320	2150
15	2700	2500
16	3150	2900
17	3700	3400
18	4400	4000
19	5300	4800
20	6400	5800
21	7700	7000
22	9500	8500
23	12000	10500
24	15500	13500



تعداد بیشتر فیلترها
در بسامد پایین



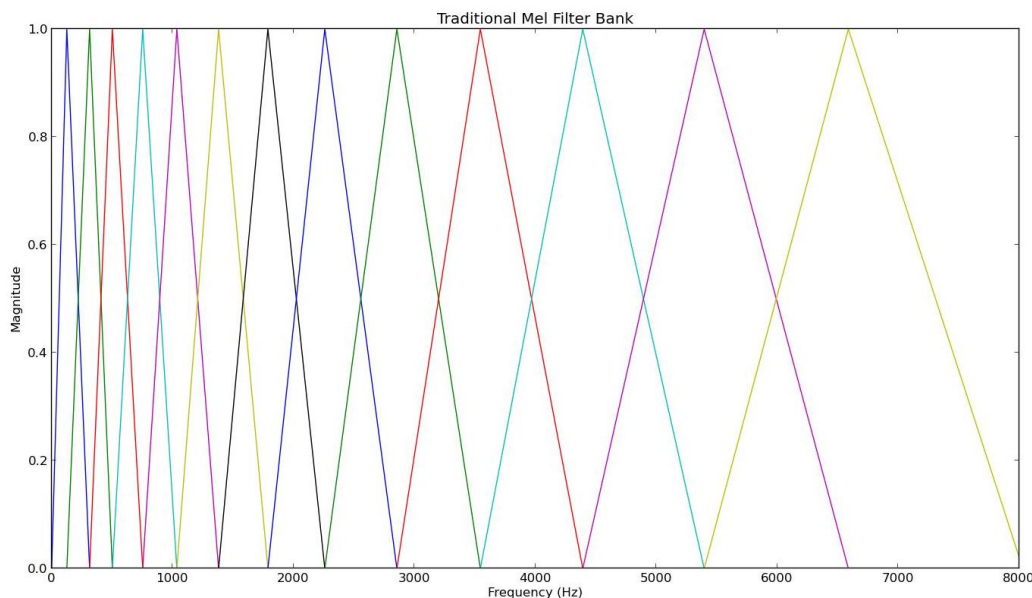
درک گفتار

○ تحلیل بسامدی: مقیاس مل (Mel)

- برای کمتر از یک کیلوهرتز خطی، و برای بیشتر از آن لگاریتمی $B(f) = 1125 \ln(1 + f / 700)$

- استفاده در استخراج ویژگی (MFCC)

Index	Bark Scale		Mel Scale	
	Center Freq. (Hz)	BW (Hz)	Center Freq. (Hz)	BW (Hz)
1	50	100	100	100
2	150	100	200	100
3	250	100	300	100
4	350	100	400	100
5	450	110	500	100
6	570	120	600	100
7	700	140	700	100
8	840	150	800	100
9	1000	160	900	100
10	1170	190	1000	124
11	1370	210	1149	160
12	1600	240	1320	184
13	1850	280	1516	211
14	2150	320	1741	242
15	2500	380	2000	278
16	2900	450	2297	320
17	3400	550	2639	367
18	4000	700	3031	422
19	4800	900	3482	484
20	5800	1100	4000	556
21	7000	1300	4595	639
22	8500	1800	5278	734
23	10500	2500	6063	843
24	13500	3500	6964	969





آواشناسی ...

○ همخوان‌ها (Consonants)/صامت

- تولید با انقباض در گلو یا در دهان (زبان، دندان‌ها، لب‌ها)
- مانند ب، پ، ف، س، ...

○ واکه‌ها (Vowels)/مصوت

- تولید بدون انقباض یا انسداد قابل توجه
- واگذار هستند
- مانند آ، او، اُ، ای، اِ



آواشناسی ...

○ دسته‌بندی همخوان (Consonant) از نظر آواشناسی تولیدی

● محل تولید (Point of Articulation): محل اصلی انقباض در مجرای صوتی

○ دولبی (Bilabial) مانند ب، لبی‌دندانی (Labiodental) مانند ف،

○ چاکنایی (Glottal) مانند ه، ...

● روش تولید (Manner of Articulation): میزان انقباض و نحوه آزادسازی

○ انفجاری (Plosive) مانند پ، سایشی (Fricative) مانند س،

○ خیشومی (Nasal) مانند م، ...

● واگذاری (Voicing): واگذار بودن یا بی‌واکی

○ دسته‌بندی واکه (Vowel) از نظر آواشناسی تولیدی

● ساختاردهی واکه‌ها مشکل‌تر است: زبان آزاد است و با اندام‌های دیگر تماس ندارد

● دسته‌بندی بر اساس چهار معیار

○ فاصله زبان از سقف دهان (افراشتگی): بالا یا پایین بودن زبان مانند آ (افتاده) و «او» (افراشته)

○ بخشی از زبان که در فرآیند تولید واکه نقش دارد (پسین مانند آ یا پیشین مانند ا): جلو باشد یا عقب

○ شکل لب‌ها هنگام تولید واکه: لب گرد (مانند آ) باشد یا غیر گرد (مانند ا)

○ خیشومی با غیرخیشومی (در فارسی نداریم)

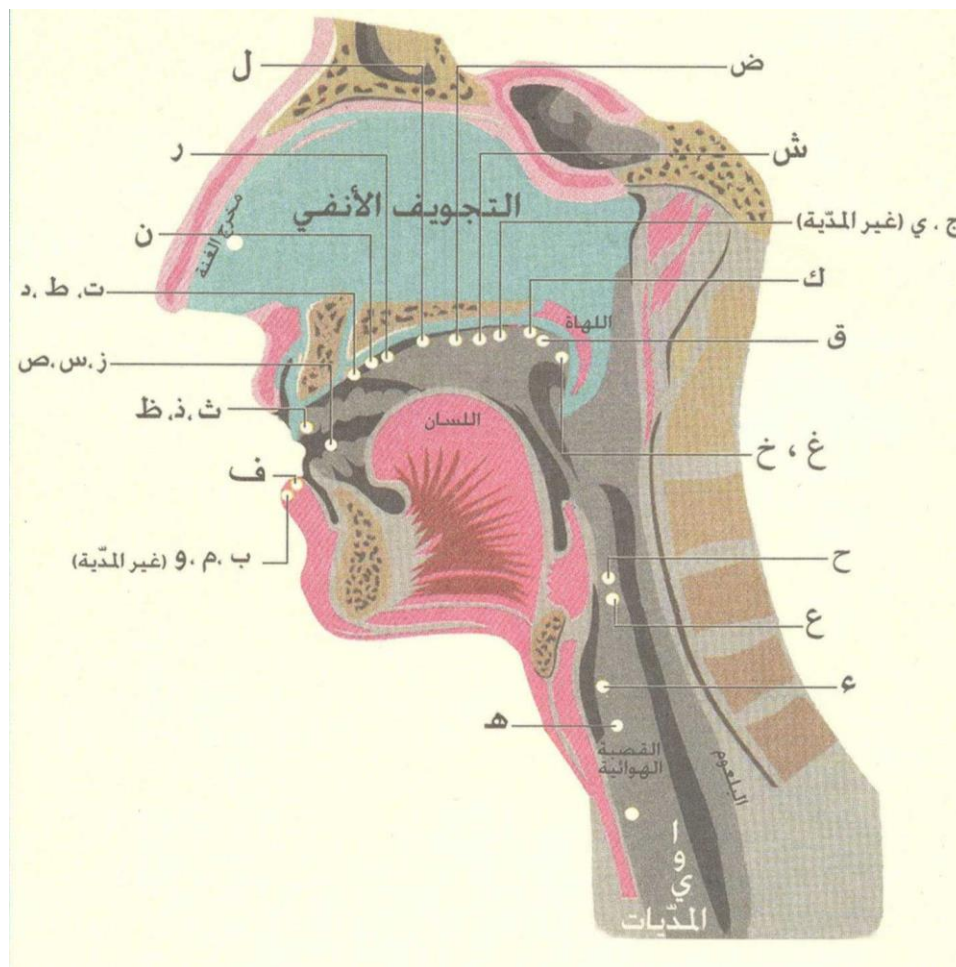


آواشناسی ...

○ دسته‌بندی همخوان (Consonant): محل تولید

- دولبی (Bilabial): تولید با دو لب مانند /b/ و /p/
- لبی-دندانی (Labiodental): تولید با دندان‌های بالا و لب پایین مانند /f/ و /v/
- دندانی (Dental): تماس نوک زبان با پشت دندان‌ها مانند /t/ و /d/
- لثوی (Alveolar): تماس قسمت جلو زبان با لثه (سخت پشت دندان) مانند /s/ و /n/
- نرم‌کامی /کامی (Palatal): تماس قسمت پسین زبان با نرم‌کام (قسمت نرم انتهایی سقف دهان) مانند /k/ و /g/
- لثوی-کامی (Alveopalatal): تماس زبان با نوک جلو کام و نزدیک لثه مانند /چ/ و /ژ/
- ملازی (Velar): تماس انتهایی ترین قسمت زبان و ملاز (انتهایی ترین قسمت نرم‌کام) مانند /q/ و /x/
- چاکنای (Glottal): تولید در محل چاکنای (فضای بین تارهای صوتی) مانند /ʔ/ (ء) و /h/

○ دسته‌بندی همخوان (Consonant): محل تولید در زبان عربی





آواشناسی ...

○ دسته‌بندی همخوان (Consonant): روش تولید

- انسدادی/انفجاری (Plosive): تولید در سه مرحله ۱- انسداد کامل در حفره دهان (Closure)، ۲- ترکم هوا در پشت نقطه انسداد و ۳- رهش هوا (Release)، مانند /p/، /t/، /d/، /g/
- سایشی (Fricative): انسداد ناقص مسیر هوا و عبور هوا با فشار از محفظه تنگ مانند /f/، /v/، /s/
- انسدادی-سایشی (Affricate): انسداد کوتاه جریان هوا و رهایی محدود مانند /چ/
- لرزشی/غلتان (Roll): تماس ملایم نوک زبان و لثه بالا به گونه‌ای که با فشار کم هوا نوک زبان از لثه جدا می‌شود (لرزش نوک زبان)، مانند /r/
- خیشومی (Nasal): انسداد در دهان و خارج شدن هوا از راه بینی. فقط در این حالت نرمکام (ملاز) پایین بوده و حفره خیشوم باز است. مانند /m/ و /n/
- روان (Liquid): علیرغم وجود انسداد احتمالی هوا در دهان، جریان هوا بدون برخورد به مانع از دهان خارج می‌شود مانند /y/ (در yes) یا /l/



آواشناسی ...

○ همخوان‌های فارسی براساس جایگاه (ستون) و شیوه (ردیف) تولید

چاکنایی	نرم‌کامی	کامی	لثوی-کامی	لثوی	دندانی	لبی-دندانی	لبی	
ء، ع	ق	ک، گ			ت، د		ب، پ	انفجاری
				ن			م	خیشومی
ه	خ		ش، ژ	س، ز		ف، و		سایشی
			ج، چ					انفجاری-سایشی
		ای		ل				روان
				ر				لرزشی

○ همخوان‌های انگلیسی براساس جایگاه (ستون) و شیوه (ردیف) تولید

چاکنایی	نرم‌کامی	کامی	لثوی	دندانی	لبی-دندانی	لبی	
?	kg		t d			p b	انفجاری
	ng		N			m	خیشومی
h		sh zh	s z	th dh	f v		سایشی
			r				برگشتی رسا
			l				کناری رسا
		y				w	غلطان



آواشناسی ...

○ دسته‌بندی همخوان (Consonant): واگذاری

- واگذار (Voiced): تارهای صوتی در فاصله نزدیکی از همدیگر قرار می‌گیرند و به طور تناوبی حرکت می‌کنند
 - مانند ز، ب، د، ژ
- بی‌واک (Unvoiced): تارها آن‌قدر از هم فاصله می‌گیرند یا محکم و سفت می‌شوند که نمی‌توانند حرکت تناوبی داشته باشند
 - مانند س، پ، ت، چ
- در فارسی و انگلیسی واگذاری تمایز بین همخوان‌هایی است که محل و روش تولید آنها یکسان است

کامی	لثوی-کامی	لثوی	دندانی	لبی-دندانی	لبی	
ک، گ			ت، د		پ، ب	انفجاری
	ش، ژ	س، ز		ف، و		سایشی
	چ، ج					انفجاری-سایشی



آواشناسی

○ واکرفتگی (Devoicing)

- از دست دادن بخشی از واکداری در مجاورت آواهای بی واک

○ *nasb* و *rabt*

- برعکس هم ممکن است: واکدار شدن آوای بی واک

○ *nahar* (ناهار)

○ دمزش (Aspiration)

- آواهای بیواک انفجاری (/p/, /t/ و /k/) در هنگام رهایی هوای بند آمده (در شش نه در پشت مانع دهان) ایجاد یک سایش خفیف در چاکنای کرده و صدای /h/ تولید می کنند

○ مانند *por* و *sepah*

○ در نمونه واکدار این آواها (/b/, /d/ و /g/) این پدیده رخ نمی دهد

○ کشش (Length)

- طول آواهای سایشی بیواک معمولا بیشتر از جفت واکدار آنهاست (/s/ در مقابل /z/)



واج شناسی ...

○ واج شناسی (Phonemics)

- انگلیسی: ۳۱ تا ۶۴ واج
- فارسی: ۲۹ تا ۴۵ واج
 - بسته به نوع تحلیل
- بیشترین تعداد واج = ۴۵، متعلق به زبان Chipewyan (شمال کانادا)
 - ۳۹ همخوان و ۶ واکه
- کمترین تعداد واج = ۱۳، متعلق به زبان Hawaiian



واحدشناسی: واژه‌ها (انگلیسی) ...

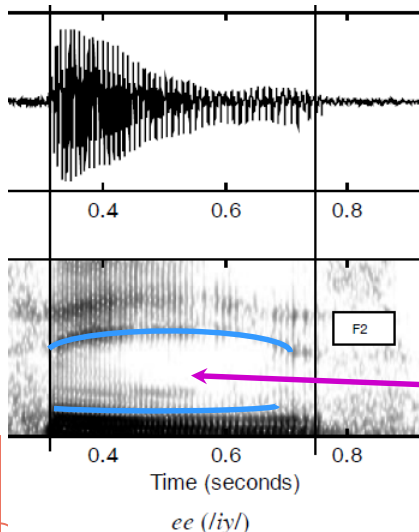
واژه‌ها (Vowels) ...

- شکل و موقعیت زبان در حفره دهانی، فشردگی زیادی در جریان هوا به وجود نمی‌آورد
- تغییر در موقعیت مکانی زبان با تغییر تشدید به هر واژه ویژگی خاص خودش را می‌دهد
 - مثل بطری‌هایی با اندازه و شکل مختلف
 - انرژی اولیه وارد شده به حفره‌های حلقی و دهانی در بسامد پایه مرتعش می‌شود
 - تشدیدهای عمده حفره‌های دهانی و حلقی برای واژه‌ها در فرمونت اول (F1) و فرمونت دوم (F2)
- تعیین فرمونت‌ها با موقعیت زبان و شکل تارهای صوتی

- مقدار F1 متناسب با بخش پسین یا حلقی حفره صوتی (از چاکنای تا زبان)
 - حفره طولانی‌تر = تشدید کمتر
- مقدار F2 متناسب با اندازه و شکل قسمت دهانی و قسمت جلویی زبان
- مثال: واژه see

- زبان در دهان به جلو حرکت می‌کند و حفره‌ای طولانی ایجاد می‌کند = F1 کمتر
- بخش جلویی حفره دهانی بسیار کوتاه = F2 بیشتر

فاصله زیاد دو فرمونت





واحدشناسی: واژه‌ها (انگلیسی) ...

Vowel Labels Mean F1 (Hz) Mean F2 (Hz)

<i>iy (feel)</i>	300	2300
<i>ih (fill)</i>	360	2100
<i>ae (gas)</i>	750	1750
<i>aa (father)</i>	680	1100
<i>ah (cut)</i>	720	1240
<i>ao (dog)</i>	600	900
<i>ax (comply)</i>	720	1240
<i>eh (pet)</i>	570	1970
<i>er (turn)</i>	580	1380
<i>ow (tone)</i>	600	900
<i>uh (good)</i>	380	950
<i>uw (tool)</i>	300	940

○ واژه‌ها (Vowels) - انگلیسی ...

• ۱۲ واج

○ واژه مرکب (Diphthongs)

• ترکیب دو واژه با هم با حرکت موقعیت زبان از جایی به جای دیگر

• ۴ واج

Diphthong Labels

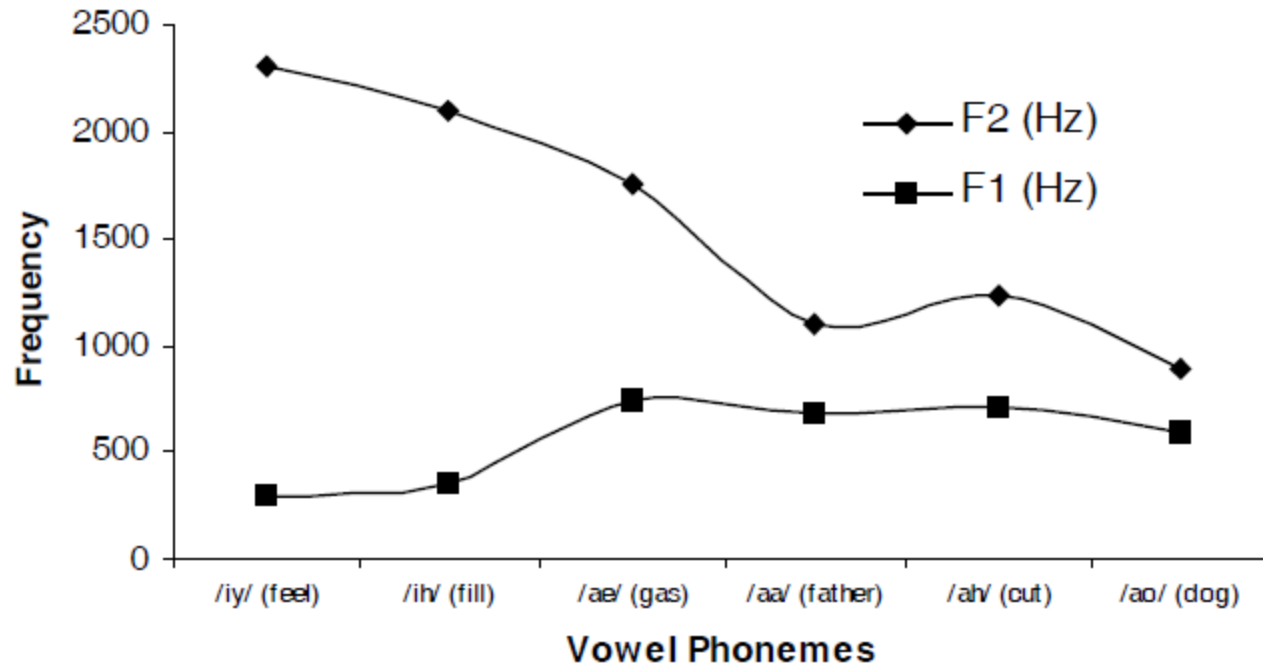
Components

ay (tie)	<i>/aɪ/</i> → <i>/iɪ/</i>
ey (ate)	<i>/eh/</i> → <i>/iɪ/</i>
oy (coin)	<i>/aɔ/</i> → <i>/iɪ/</i>
aw (foul)	<i>/aɪ/</i> → <i>/uɪ/</i>



واحدشناسی: واکه‌ها (انگلیسی) ...

○ مقادیر F1 و F2 برای تولید برخی واکه‌های انگلیسی

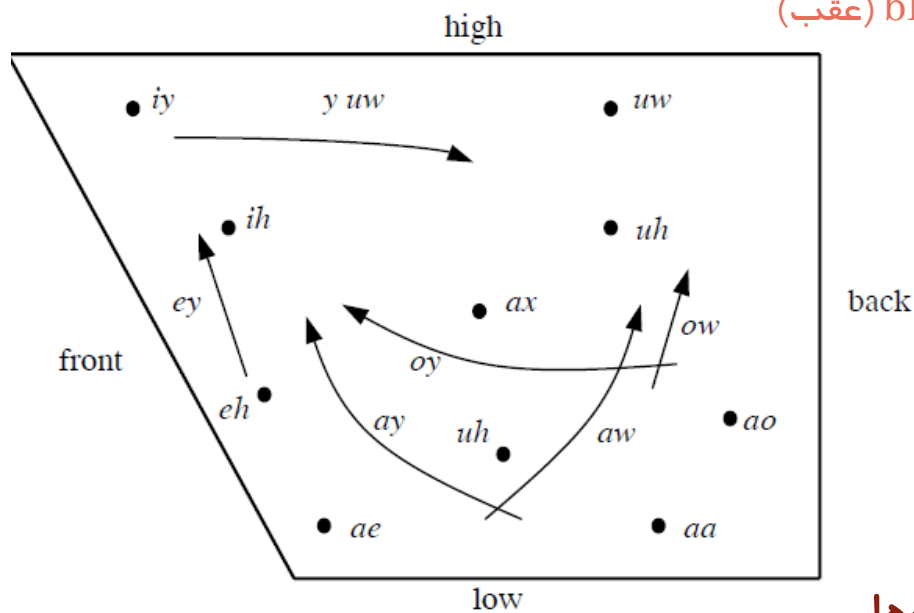




واحدشناسی: واژه‌ها (انگلیسی) ...

○ نحوه تولید برای انگلیسی

- اندام اصلی: قسمت میانه تا عقب زبان
- دامنه حرکت [جلو↔عقب] و [بالا↔پایین]
- صدای /iy/ در see (بالا) به /aa/ در father (پایین)
- صدای /uw/ در see (جلو) به /uw/ در blue (عقب)



- اندام ثانویه تولید واژه در انگلیسی = لب‌ها

○ حرکت از /iy/ (مسطح و کمی باز و تا حدودی گسترده) به /uw/ (گرد)



واج‌شناسی: واکه‌ها (انگلیسی) ...

ویژگی‌های واج‌شناختی واکه‌های اصلی زبان انگلیسی

سفتی	گرد	پسین	پیشین	افتاده	افراشته	واکه
+	-	-	+	-	+	iy
-	-	-	+	-	+	ih
+	-	-	+	+	-	ae
+	-	-	-	+	-	aa
+	-	-	-	-	-	ah
+	+	+	-	+	-	ao
-	-	-	-	-	-	ax
-	-	-	+	-	-	eh
+	+	+	-	-	-	ow
-	-	+	-	-	+	uh
+	-	+	-	-	+	uw



واج شناسی: همخوان‌ها (انگلیسی) ...

○ همخوان‌ها (Consonants)

- تولید با فشردگی یا گرفتگی‌های عمده در حفره‌های حلقی و یا دهانی
- برخی همخوان‌ها واک‌دار هستند و برخی بی‌واک
- بسیاری از همخوان‌ها به صورت جفت هستند
- از نظر تولیدی یکسان، اما یکی از جفت‌ها صدایی اضافه‌تر دارد
- مثال: جفت‌های با وجه تمایز واک‌داری - /b, d, g, z, zh, v/ و /p, t, k, s, sh, f/

شیوه تولید	مثال واجی	مثال واژه‌ای	چگونگی تولید
انفجاری (Plosive)	/p/	tat, tap	گرفتگی حفره دهانی
خیشومی (Nasal)	/m/	team, meet	گرفتگی حفره خیشومی
سایشی (Fricative)	/s/	sick, kiss	نوفه‌ی جریان هوای متلاطم
روان برگشتی (Retroflex liquid)	/r/	rat, tar	شبه واکه، زبان افراشته و به سمت عقب گرد شده
روان کناری (Lateral liquid)	/l/	lean, kneel	شبه واکه، زبان در مرکز و جریان هوا در کناره‌های آن
غلتان (Glide)	/y/, /w/	yes, well	شبه واکه



واج‌شناسی: همخوان‌ها (انگلیسی) ...

○ شبه‌واکه (Semivowel)

- آواهای واک‌داری که بدون انسداد کامل یا کشیدگی تارهای صوتی، ایجاد می‌شوند
- روان‌ها (Liquid): /l, r/
- غلتان‌ها (Glide): /y, w/
- معادل واکه‌های /iy, uw/ - موقعیت آغازین آن‌ها کمی کوتاه‌تر است

○ انفجاری-سایشی (Affricate)

- ترکیب یک انسدادی (مثل /t/) و یک سایشی (مثل /sh/) = (t+sh)=ch در church
- در انگلیسی انفجاری-سایشی‌ها جفت‌های واک‌دار /بی‌واک هستند
- /ch/ (t+sh) و /j/ (d+zh)

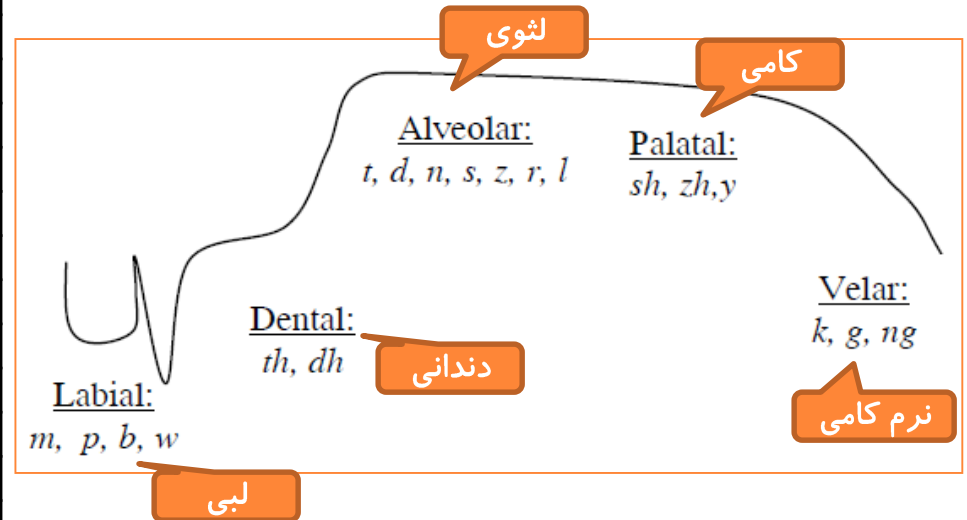


واج شناسی: همخوان‌ها (انگلیسی) ...

همخوان	مثال	واکداری؟	شیوه تولید
b	big, able, tab	+	انفجاری
p	put, open, tap	-	انفجاری
d	dig, idea, wad	+	انفجاری
t	talk, sat	-	انفجاری
g	gut, angle, tag	+	انفجاری
k	cut, oaken, take	-	انفجاری
v	vat, over, have	+	سایشی
f	fork, after, if	-	سایشی
z	zap, lazy, haze	+	سایشی
s	sit, cast, toss	-	سایشی
dh	then, father, scythe	+	سایشی
th	thin, nothing, truth	-	سایشی
zh	genre, azure, beige	+	سایشی
sh	she, cushion, wash	-	سایشی
jh	joy, agile, edge	+	انفجاری - سایشی
ch	chin, archer, march	-	انفجاری - سایشی
l	lid, elbow, sail	+	کناری
r	red, part, far	+	برگشتی
y	yacht, onion, yard	+	غلطان
w	with, away	+	غلطان
hh	help, ahead, hotel	+	سایشی
M	mat, amid, aim	+	خیشومی
n	no, end, pan	+	خیشومی
ng	sing, anger, drink	+	خیشومی

تولید همخوان‌های انگلیسی

• ۲۴ واج





واج‌شناسی: همخوان‌ها (انگلیسی) ...

○ همخوان‌های انگلیسی براساس جایگاه (ستون) و شیوه (ردیف) تولید

چاکنایی	نرم‌کامی	کامی	لثوی	دندانی	لبی - دندانی	لبی	
?	kg		t d			p b	انفجاری
	ng		N			m	خیشومی
h		sh zh	s z	th dh	f v		سایشی
			r				برگشتی رسا
			l				کناری رسا
		y				w	غلطان



واج شناسی: همخوان‌ها (انگلیسی) ...

الفبای آوانگاری بین‌المللی (IPA: International Phonetic Alphabet)

- سامانه نوشتاری و آوانگاری استاندارد شده توسط انجمن آواشناسی بین‌المللی برای نشان دادن صداهای ایجاد شده در زبان‌های گوناگون

vowels

IPA	ASCII	examples
ʌ	^	cup, luck
ɑ:	a:	arm, father
æ	@	cat, black
ə	..	away, cinema
e	e	met, bed
ɜ:ʳ	e:(r)	turn, learn
ɪ	i	hit, sitting
i:	i:	see, heat
ɒ	o	hot, rock
ɔ:	o:	call, four
ʊ	u	put, could
u:	u:	blue, food
aɪ	ai	five, eye
aʊ	au	now, out
oʊ/əʊ	Ou	go, home
eəʳ	e..(r)	where, air
eɪ	ei	say, eight
ɪəʳ	i..(r)	near, here
ɔɪ	oi	boy, join
ʊəʳ	u..(r)	pure, tourist

consonants

IPA	ASCII	examples
b	b	bad, lab
d	d	did, lady
f	f	find, if
g	g	give, flag
h	h	how, hello
j	j	yes, yellow
k	k	cat, back
l	l	leg, little
m	m	man, lemon
n	n	no, ten
ŋ	N	sing, finger
p	p	pet, map
r	r	red, try
s	s	sun, miss
ʃ	S	she, crash
t	t	tea, getting
tʃ	tS	check, church
θ	th	think, both
ð	TH	this, mother
v	v	voice, five
w	w	wet, window
z	z	zoo, lazy
ʒ	Z	pleasure, vision
dʒ	dZ	just, large

- بر پایه الفبای لاتینی



واج‌شناسی: انگلیسی ...

لیست واج‌های انگلیسی

• ۴۱ واج

توصیف	مثال	واج
پیشین، بسته، غیر گرد (نرم)	fill, hit, lid	ih
پیشین، باز، غیر گرد (سخت)	at, carry, gas	ae
پسین، باز، غیر گرد	father, ah, car	aa
نیمه‌باز، پسین، غیر گرد	cut, bud, up	ah
نیمه‌باز، پسین، گرد	dog, lawn, caught	ao
واکه مرکب به صورت: aa+ih	tie, ice, bite	ay
مرکزی، نیمه‌بسته (شوا)	ago, comply	ax
پیشین، نیمه‌بسته، غیر گرد (سخت)	ate, day, tape	ey
پیشین، نیمه‌باز، غیر گرد	pet, berry, ten	eh
مرکزی، نیمه‌باز، غیر گرد	turn, fur, meter	er
پسین، نیمه‌بسته، گرد	go, own, tone	ow
واکه مرکب به صورت: aa+uh	foul, how, our	aw
واکه مرکب به صورت: ao+ih	toy, coin, oil	oy
پسین، نیمه‌بسته، غیر گرد (نرم)	book, pull, good	uh
پسین، بسته، گرد	tool, crew, moo	uw
انفجاری، دولبی، واگذار	big, able, tab	b
انفجاری، دولبی، بی‌واک	put, open, tap	p
انفجاری، لثوی، واگذار	dig, idea, wad	d
انفجاری، لثوی، بی‌واک	talk, sat	t
ضربه‌ای، لثوی	meter	t
انفجاری، نرم کامی، واگذار	gut, angle, tag	g
انفجاری، نرم کامی، بی‌واک	cut, ken, take	k
سایشی، لبی‌دندانی، بی‌واک	fork, after, if	f
سایشی، لبی‌دندانی، واگذار	vat, over, have	v
سایشی، لثوی، بی‌واک	sit, cast, toss	s
سایشی، لثوی، واگذار	zap, lazy, haze	z
سایشی، دندانی، بی‌واک	thin, nothing, truth	th
سایشی، دندانی، واگذار	then, father, scythe	dh
سایشی، پس‌لثوی، بی‌واک	she, cushion, wash	sh
سایشی، پس‌لثوی، واگذار	genre, azure	zh
ناسوده، کناری، لثوی	Lid	l
ناسوده، کناری، نرم کامی	elbow, sail	l
ناسوده، برگشتی	red, part, far	r
غلطان، رسا، کامی	yacht, yard	Y
غلطان، رسا، لبی - نرم کامی	with, away	W
سایشی، چاکتایی، بی‌واک	help, ahead, hotel	hh
خیشومی، دولبی	mat, amid, aim	m
خیشومی، لثوی	no, end, pan	n
خیشومی، نرم کامی	sing, anger	ng
انفجاری - سایشی، لثوی، بی‌واک: t+sh	chin, archer, march	ch
انفجاری - سایشی، لثوی، واگذار: d+zh	joy, agile, edge	jh

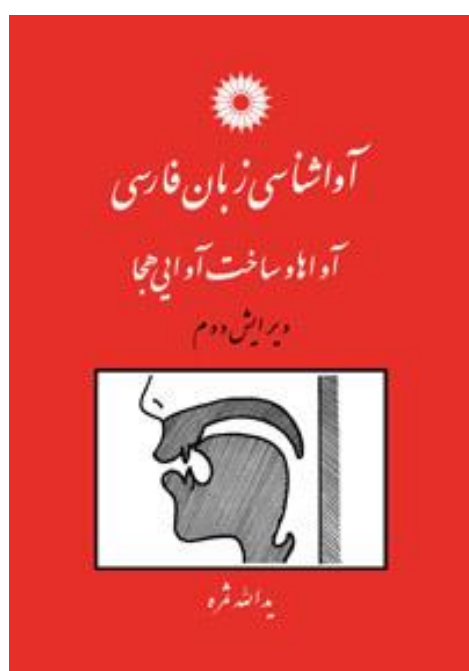


واج‌شناسی: واکه‌ها (فارسی) ...

○ واکه‌های فارسی

• ۶ واج (+۲ واکه مرکب)

مثال		
علی	ی	i
انسان	ا	e
اکبر	آ	a
بورس	و	u
شد	أ	o
آب	آ	σ
حوله	أو	ou
میل	ای	ei





واج شناسی: همخوان‌ها (فارسی) ...

○ همخوان‌های فارسی

• ۲۵ واج (۲۳ واج)

واج روان / و / در زبانهای عربی و گُردی استفاده می‌شود ولی در فارسی تقریباً فراموش شده است و فقط در بعضی از لهجه های فارسی استفاده می‌شود.

شبه واکه	
ل	l
ر	r
م	m
ن	n
ی، یه	j

انفجاری-سایشی	
ج	dʒ
چ	tʃ

انفجاری		
	ب	b
	پ	p
	ت، ط	t
	د	d
تاکید	ک (پیشین)	c
کار	ک (پسین)	k
اگر	گ (پیشین)	ɣ
سیگار	گ (پسین)	g
	ق، غ	G
	ع، ء	ʔ

سایشی	
و	v
ف	f
ث، س، ص	s
ز، ذ، ض، ظ	z
ه، ح	h
ش	ʃ
ژ	ʒ
خ	χ



واج‌شناسی: همخوان‌ها (فارسی) ...

○ همخوان‌های فارسی براساس جایگاه (ستون) و شیوه (ردیف) تولید

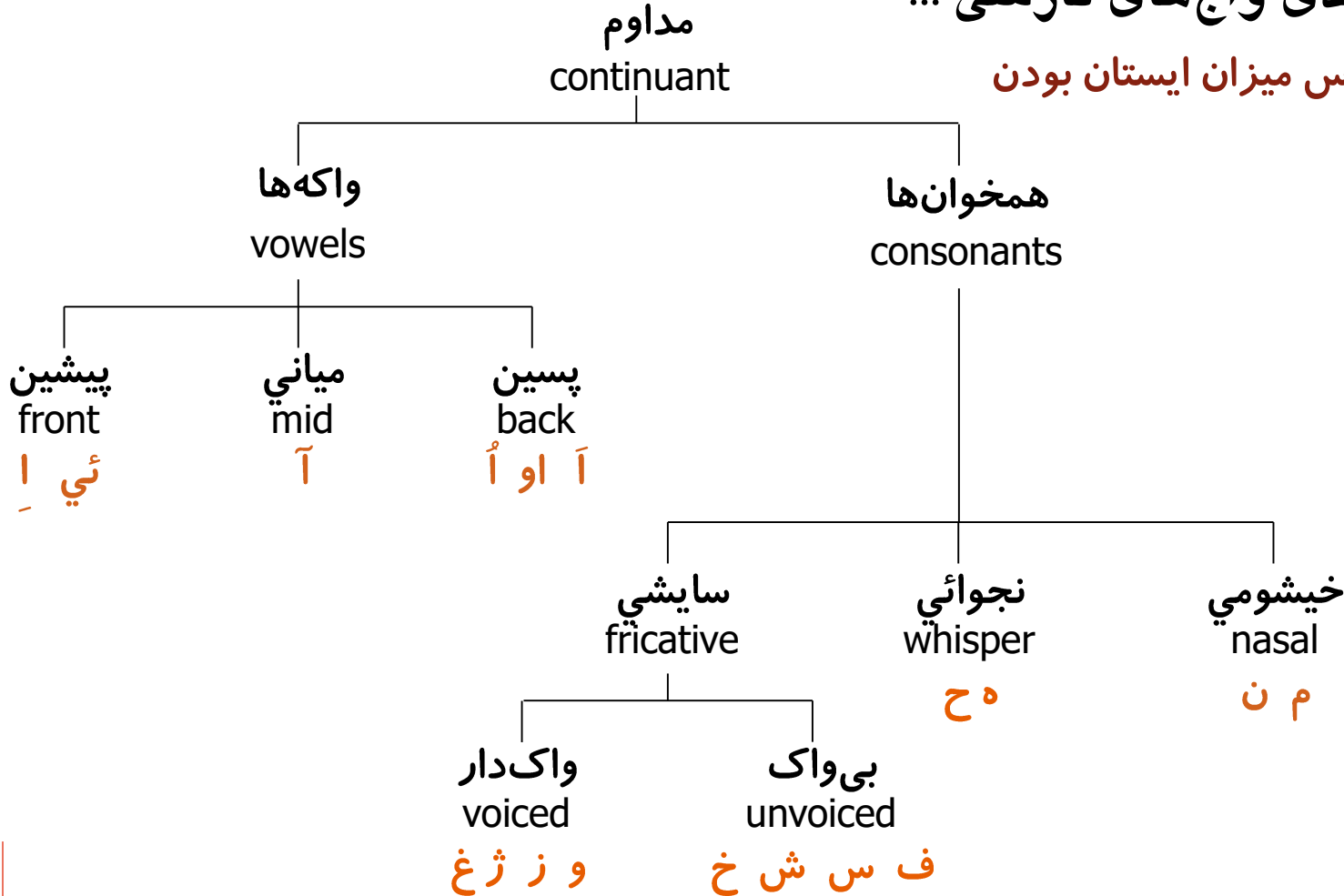
چاکنایی	نرم‌کامی	کامی	لثوی-کامی	لثوی	دندانی	لبی-دندانی	لبی	
ء، ع	ق	ک، گ			ت، د		ب، پ	انفجاری
				ن			م	خیشومی
ه	خ		ش، ژ	س، ز		ف، و		سایشی
			چ، ج					انفجاری-سایشی
		ای		ل				روان
				ر				لرزشی



واج‌شناسی: فارسی ...

○ تقسیم‌بندی واج‌های فارسی ...

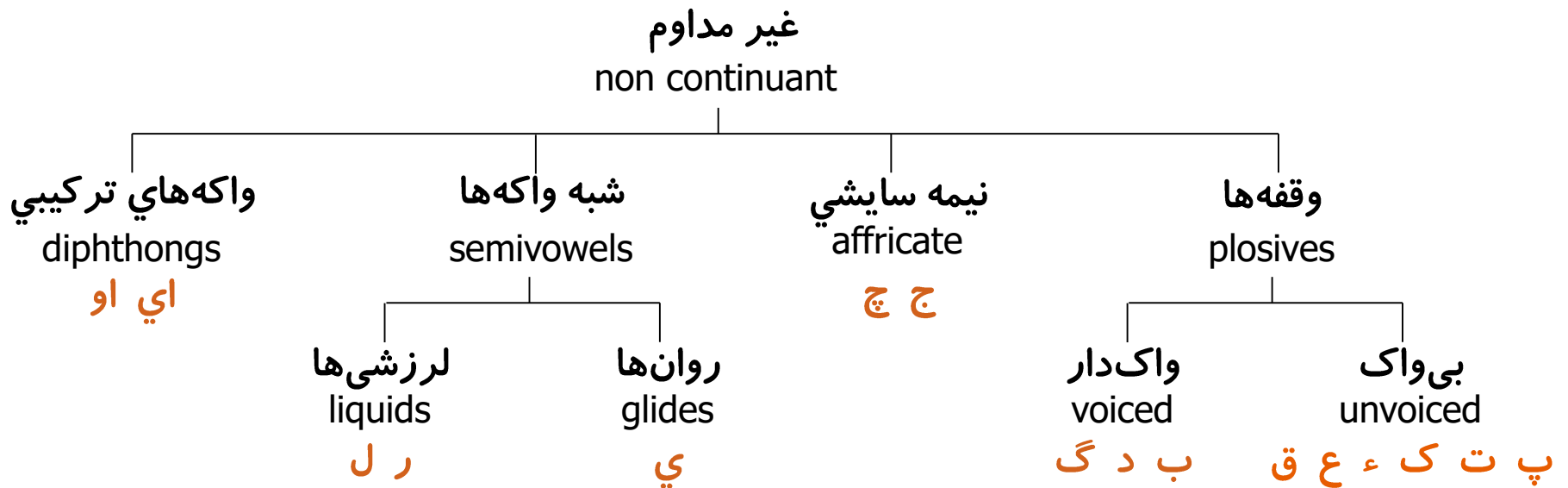
• بر اساس میزان ایستادگی بودن





واج شناسی: فارسی ...

○ تقسیم بندی واج های فارسی





واحدشناسی: فارسی ...

○ علائم اختصاری و IPA

• حالت ۴۴ واجی

IPA	Char	Code	Farsi Letter	Phonetic Description
I	i	105	ای	high front unrounded
e	e	101	ا	mid front unrounded
a	a	97	آ	low front unrounded
u	u	117	او	high back rounded
o	o	111	اُ	mid back rounded
/	/	47	اَ	low back rounded
\	\	92	پ	unvoiced bilabial plosive closure
p	p	112	پ	unvoiced bilabial plosive
`	`	96	پ	voiced bilabial plosive closure
b	b	98	ب	voiced bilabial plosive
-	-	45	ت، ط	unvoiced alveolar plosive closure
t	t	116	ت، ط	unvoiced dental plosive
=	=	61	د	voiced dental plosive closure
d	d	100	د	voiced dental plosive
@	@	64	ک	unvoiced palatal plosive closure
c	c	99	ک	unvoiced palatal plosive
*	*	42	ک	unvoiced velar plosive closure
k	k	107	ک	unvoiced velar plosive
!	!	33	گ	voiced palatal plosive closure
;	;	59	گ	voiced palatal plosive
&	&	38	گ	voiced velar plosive closure
g	g	103	گ	voiced velar plosive
^	^	94	ق، غ	voiced uvular plosive closure
q	q	113	ق، غ	voiced uvular plosive
(	(	40	ا، و، ع	glottal stop closure
]	]	93	ا، و، ع	glottal stop
\$	\$	36	چ	unvoiced alveopalatal affricate closure
'	'	39	چ	unvoiced alveopalatal affricate
#	#	35	ج	voiced alveopalatal affricate closure
,	,	44	ج	voiced alveopalatal affricate
f	f	102	ف	unvoiced labiodental fricative
v	v	118	و	voiced labiodental fricative
s	s	115	س، ش، ص	unvoiced alveolar fricative
z	z	122	ز، ذ، ظ، ض	voiced alveolar fricative
.	.	46	ش	unvoiced alveopalatal fricative
[	[	91	ژ	voiced alveopalatal fricative
x	x	120	خ	unvoiced uvular fricative
h	h	104	ه، ح	unvoiced glottal fricative
l	l	108	ل	lateral alveolar
r	r	114	ر	trill alveolar
m	m	109	م	nasal bilabial
n	n	110	ن	nasal alveolar
y	y	121	ی	approximant palatal



واحدشناسی: فارسی ...

○ علائم اختصاری و IPA

• حالت ۲۹ واجی

#	IPA	Char	Code	Farsi Letter	Phonetic Description
1	I	i	105	ای	high front unrounded
2	e	e	101	ا	mid front unrounded
3	a	a	97	آ	low front unrounded
4	u	u	117	او	high back rounded
5	o	o	111	أ	mid back rounded
6	/	/	47	آ	low back rounded
7	p	p	112	پ	unvoiced bilabial plosive
8	b	b	98	ب	voiced bilabial plosive
9	t	t	116	ت، ط	unvoiced dental plosive
10	d	d	100	د	voiced dental plosive
11	k	k	107	ک	unvoiced velar plosive
12	g	g	103	گ	voiced velar plosive
13	q	q	113	ق، غ	voiced uvular plosive
14	]	]	93	أ، و، ع	glottal stop
15	\$	\$	36	چ	unvoiced alveopalatal affricate closure
16	,	,	44	ج	voiced alveopalatal affricate
17	f	f	102	ف	unvoiced labiodental fricative
18	v	v	118	و	voiced labiodental fricative
19	s	s	115	س، ش، ص	unvoiced alveolar fricative
20	z	z	122	ز، ذ، ظ، ض	voiced alveolar fricative
21	.	.	46	ش	unvoiced alveopalatal fricative
22	[	[	91	ژ	voiced alveopalatal fricative
23	x	x	120	خ	unvoiced uvular fricative
24	h	h	104	ه، ح	unvoiced glottal fricative
25	l	l	108	ل	lateral alveolar
26	r	r	114	ر	trill alveolar
27	m	m	109	م	nasal bilabial
28	n	n	110	ن	nasal alveolar
29	y	y	121	ی	approximant palatal



واج‌شناسی: فارسی

○ همگونی (Assimilation): از دست داده برخی از ویژگی‌های یک همخوان در مجاورت همخوان دیگر

• shambe به shanbe

• dassse به daste

• battar به badtar

○ حذف: از بین رفتن برخی واج‌ها در اثر هم‌نشینی با برخی واج‌های دیگر

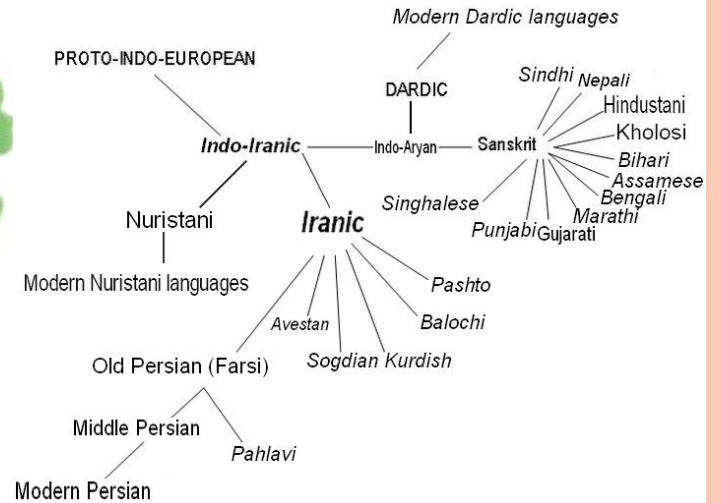
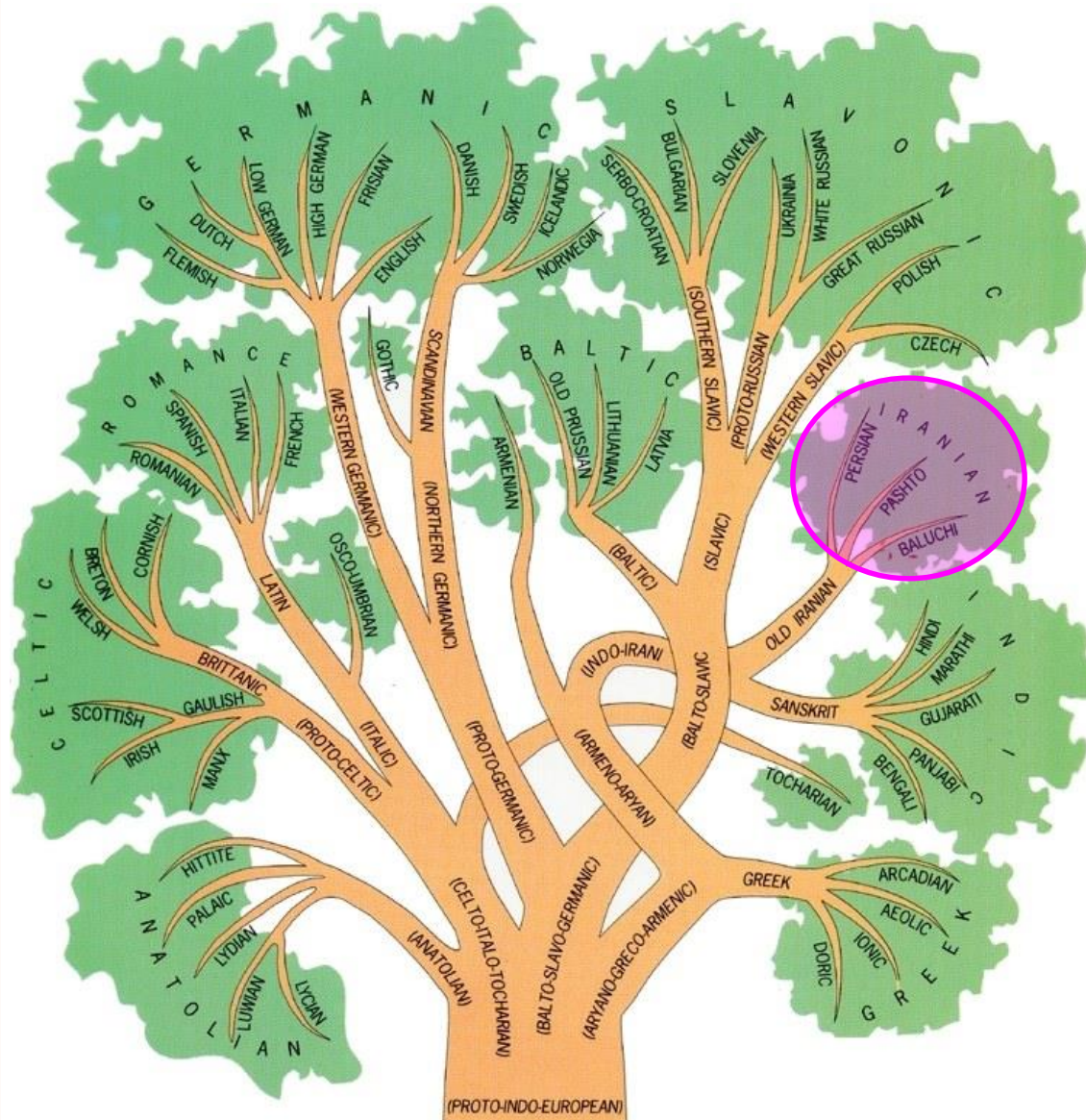
• تبدیل /daskesh/ به /dastkesh/

○ اضافه: افزودن یک واحد به زنجیره گفتار

• /yadgar/ به /yadegar/



زبانها





رده‌شناسی آوایی

○ رده‌شناسی آوایی (Phonetic Typology)

- علاوه بر تاثیر مکانیسم‌های دهانی، خیشومی، حلقی، و چاکنایی در تولید آواها، برخی اثرات صوتی نیز در این موضوع موثرند
- در واژه‌های زبان ژاپنی، کشش (Length) یک ویژگی متمایز کننده است
 - کلمات kado (گوشه) و kaado (کارت) به لحاظ طیفی کاملاً یکسان بوده و تنها تفاوت آن‌ها در این است که kado در تمام بافت‌ها بسیار کوتاه‌تر ادا می‌شود.
- صدای r لرزشی و انسدادی درون‌سو در زبان اسپانیولی
 - کلماتی مانند pero (اما) و perro (سگ) را از هم متمایز می‌کند
- تغییر زیروبمی (Tone) در زبان‌های آسیا و آفریقا (مانند تمام گونه‌های چینی)
 - زبان‌های نواختی (Tonal): زیروبمی در آن تقابل معنایی ایجاد کند
 - مثال در زبان چینی ماندارین (چهار نواخت اصلی)

معنی	چینی	مثال	شکل	نواخت
مادر	妈	ma	مسطح افراشته	۱
بی‌حس	麻	ma	خیزان افراشته	۲
اسب	马	ma	خیزان افتاده	۳
ناسزا گفتن	骂	ma	افتان افراشته	۴

○ مهم در تبدیل متن به گفتار



واج گونه

واج گونه (Allophone)

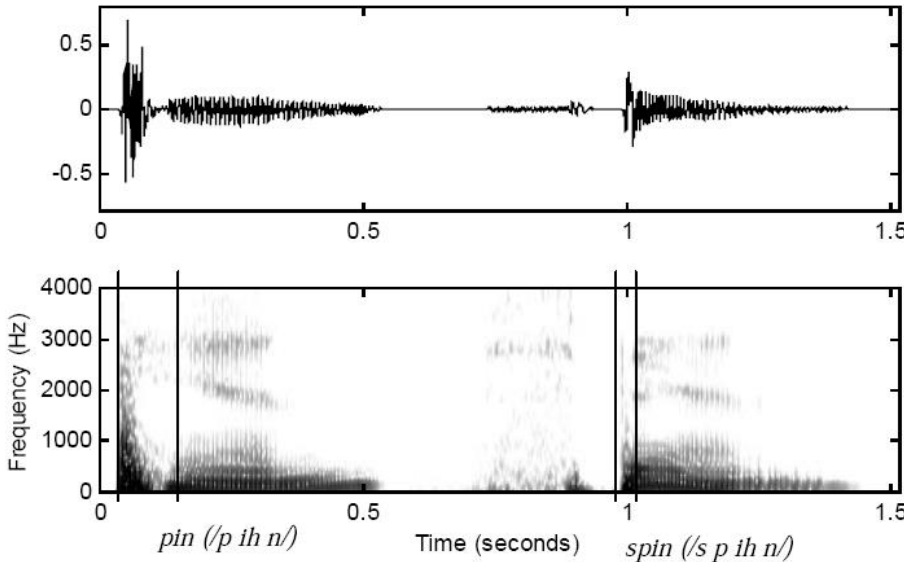
- حالت‌های مختلف تلفظی برای یک واج

- مثال ۱: صدای /p/ در

 - واژه pin

 - دمشی یا Aspiration جریان مشهود هوا

 - واژه spin



- مثال ۲: واج /l/ در like (رقیق) و kill (غلیظ)

- ایجاد مشکل در تشخیص گفتار

 - مدل کردن همه واج گونه‌ها



هم‌تولیدی ...

○ هم‌تولیدی (Coarticulation)

- فرایندی که در آن صداهای مجاور بر هم تأثیر می‌گذارند

- مثال: جمله Did you hit it to Tom?

○ تلفظ اصلی: /d ih d y uw h ih t ih t t uw t aa m/

○ تلفظی که شنیده می‌شود: /d ih jh ax hh ih dx ih t ix t aa m/

○ کامی‌شدگی /d/ قبل از /y/ در did you

○ کاهش /u/ بدون تکیه به شوا در you

○ زنبشی شدن /t/ بین دو واکه در hit it

○ کاهش شوا و واک‌رفتگی /u/ در to

○ کاهش همخوان مشدد (دوتایی) /t/ در it to

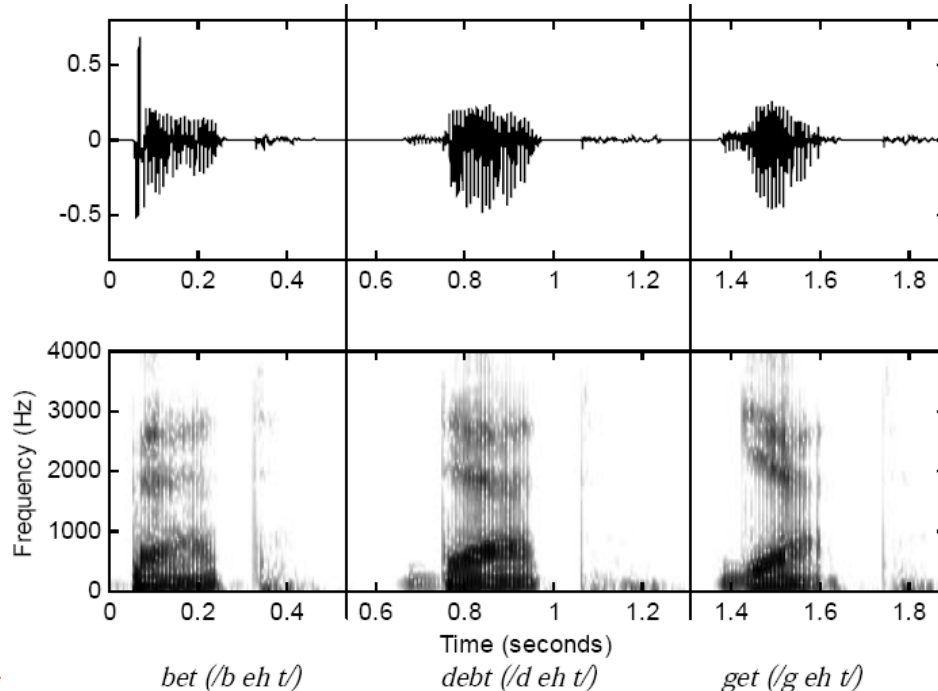
- مثال فارسی: آب پاش، متشکرم (مچکرم)



هم‌تولیدی ...

○ تأثیر هم‌تولیدی در نمایش طیفی ...

- تأثیر زیاد همخوان‌ها بر مسیر فرمنت واکه‌های مجاور
- مثال: تفاوت $F1$ و $F2$ را در واکه‌ی /eh/ در سه واژه bet، debt، و get
 - تفاوت در واج آغازین
 - سه واج آغازی نمایانگر سه جایگاه تولید اصلی (لبی، لثوی و نرم‌کامی) هستند



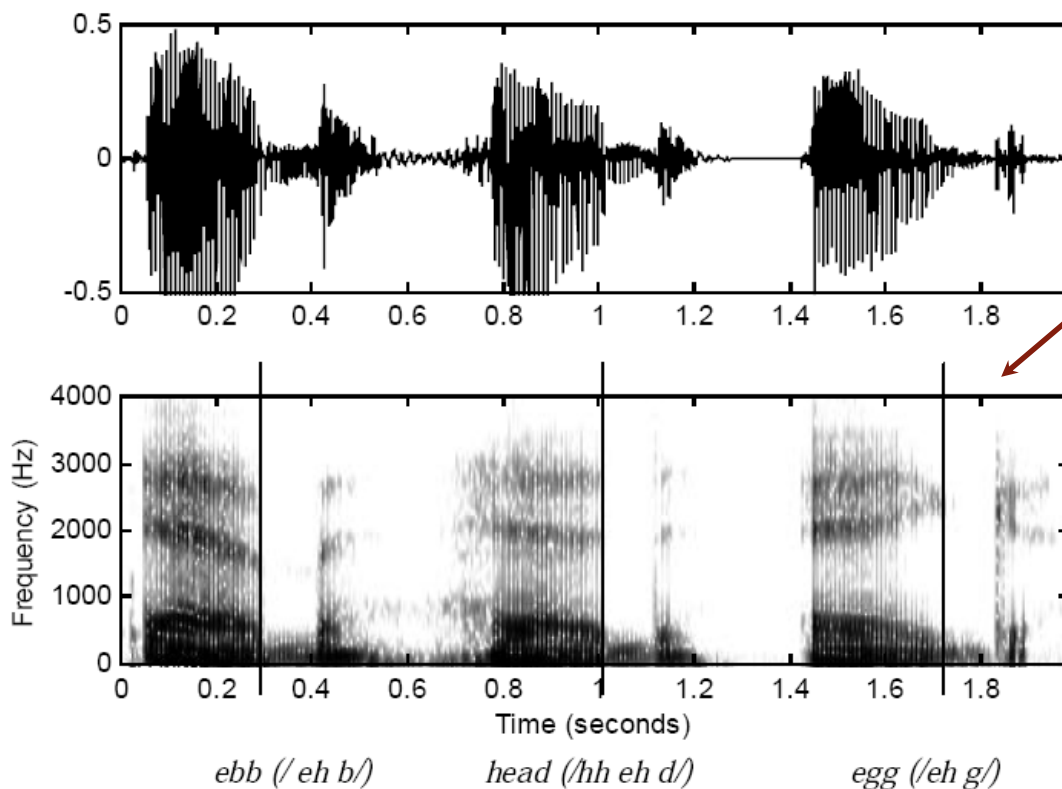
اثر هم‌تولیدی استقامت (Perseverance)
ابتدا همخوان سپس واکه



هم‌تولیدی

تأثیر هم‌تولیدی در نمایش طیفی

- مثال: همخوان‌های متفاوت بعد از یک واکه در *ebb* و *head* و *egg*
- افزایش گستردگی نسبی $F1$ و $F2$ در تبدیل واکه پایانی-همخوان



اثر هم‌تولیدی تقدم (Anticipation)
ابتدا واکه سپس همخوان



هجاء ...

○ هجا (Syllable)

- واحد میانه بین سطح واج و واژه

- یک رشته آوایی پیوسته، تشکیل شده از یک واکه و چند همخوان

- در برخی زبان ها هجا می تواند هم خوان نداشته باشد

- در زبان انگلیسی معمولاً هجاها با مرکزیت واکهها تشکیل می شوند

- دو هجا در واژه /tOm-cAt/ tomcat:

- پیوستگی همخوان (با واکههای قله‌ی هجا)

- مرکز هجا: قله پرتینینی صدا (رسایی) = قسمت‌های متناوب شکل موج گفتار با دامنه زیاد

- قله‌های رسایی شانه‌های غیرافزایشی دارند

- مثال verbal: هجاها به صورت ver-bal یا verb-al

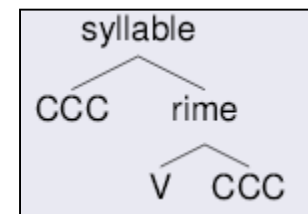
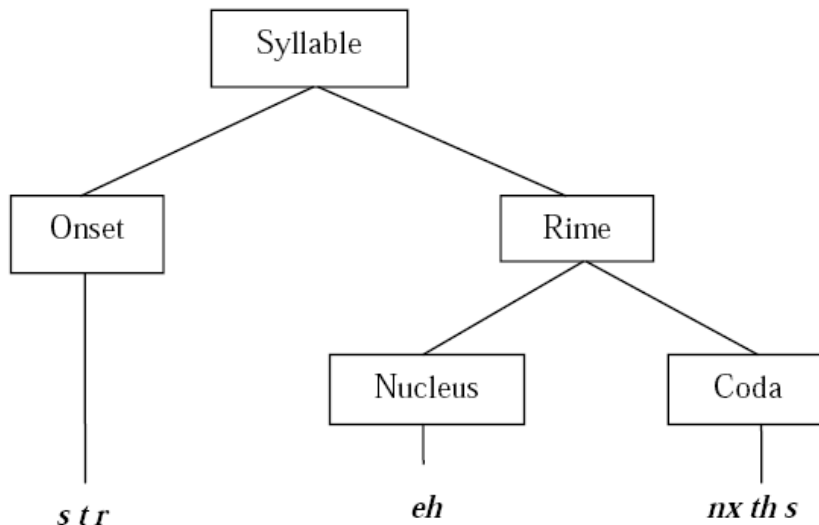


هجاء ...

○ ساختار درونی هجاء

• بزرگ‌ترین هجاء انگلیسی /s t r eh nx th s/ strengths

- آغازه (Onset): شامل همخوان‌های آغازین (در صورت وجود)
- قافیه (Rime): شامل هسته و همخوان‌های همراه آن است
- قسمتی از هجاء که در تعیین وزن شعری اهمیت دارد (مهمان و پایان)
- هسته (Nucleus): یک قله‌ی واکه‌ای که مابقی صداها در اطراف آن قرار گرفته‌اند
- پایانه (Coda): شامل همخوان‌های موجود در قافیه بعد از هسته





هجاء ...

همخوان = C
واکه = V

مثال	هجاء	نوع
با	CV	۱
تار	CVC	۲
گفت	CVCC	۳

در فارسی: ۳ نوع است

- با واکه شروع نمی‌شوند
- در نتیجه هیچ واژه‌ای با واکه شروع نمی‌شوند
- حداقل یک و حداکثر ۳ همخوان دارند
- تعداد (با فرض ۶ واکه و ۲۳ همخوان) = بیش‌تر از ۷۶۰۰۰
- در عمل، حدود ۴۰۰۰
- تعداد هجاءها = تعداد واکه‌ها

HAWAIIAN
V, CV

JAPANESE
V, CV, CVC

KOREAN
V, CV, CVC, VCC, CVCC

ENGLISH			
V	CV	CCV	CCCV
VC	CVC	CCVC	CCVCV
VCC	CVCC	CCVCC	CCCVCC
VCCC	CVCCC	CCVCCC	CCCVCCC

زبان‌های دیگر



هجاء

○ در انگلیسی

• هجای باز (Open Syllable)

○ با واکه (V) تمام می شود

Syllable	Example
V	I
CV	Me
CCV	Spy
CCCV	Spray

• هجای بسته (Closed Syllable)

○ بعد از واکه، همخوان (C) دارد

Syllable	Example
VC	am
VCC	Ant
VCCC	Ants
CVC	Man
CVCC	Bond
CCCVCCC	Splints



واژه

○ واژه (Word)

- یک مقوله‌ی واژگانی با معنای توافقی در جامعه‌ی گفتاری آن واژه
- قادر به ساخت ترکیب نحوی بر اساس نوع آن (اسم، فعل، و غیره) می‌باشد

○ پاره‌گفتار (POS: Part-Of-Speech)

- مجموعه‌ای از مقوله‌ها برای دسته‌بندی واژه‌ها بر اساس نقش آنها
 - اسم (Noun)، فعل (Verb)، صفت (Adjective)، قید (Adverb)، حرف ندا (Interjection)، حرف ربط (Conjunction)، حرف تعریف (Determiner)، حرف اضافه (Preposition) و ضمیر (Pronoun)

- واژه‌های محتوایی (Content Words) = گروه باز = پذیرش اعضای جدید
 - در برخی دسته‌ها، اعضای نامتناهی دارند (مانند اسم): تولید اعضای جدید (اسم خاص)
- واژه‌های نقشی (Function Words): گروه بسته = اعضای محدود و ثابت
 - در طول زمان ثابت هستند (حروف ربط)



پاره‌گفتار ...

○ مقوله‌های پاره‌گفتاری باز

مثال	نقش	توصیف	برچسب
cat	نامیدن موجودات	Noun(اسم)	N
forget	نامیدن رویداد یا شرایط	Verb(فعل)	V
yellow	توصیفی	Adjective(صفت)	Adj
quickly	حالت عملکرد	Adverb(قید)	Adv
oh!	واکنش	Interjection(حرف ندا)	Interj

○ مقوله‌های پاره‌گفتاری بسته

مثال	نقش	توصیف	برچسب
and	پیوند دهنده‌ی عبارات	Conjunction(حرف ربط)	Conj
the	مشخص‌کننده‌ی شناخته‌بودن	Determiner(حرف تعریف)	Det
from	روابط زمانی، مکانی، جهت‌ی	Preposition(حرف اضافه)	Prep
she	ارجاع ساده شده	Pronoun(ضمیر)	Pron



پاره گفتار

○ مجموعه مقوله‌های پاره گفتار

- افزایش به تعداد نامحدود

- از پروژه Penn Treebank

- تشخیص خودکار POS؟

- روش آماری (ویتربی)

- روش شبکه عصبی

مثال	توصیف	پرچسپ
and	حرف ربط پیوند دهنده	CC
two	عدد شمارشی	CD
the	حرف تعریف	DT
there (There was an old lady)	عبارت وجود داشتن there	EX
omerta	واژه‌ی خارجی	FW
over, but	حرف اضافه، حرف ربط پیرو	IN
yellow	صفت	JJ
better	صفت، مقایسه‌ای	JJR
best	صفت، تفضیلی	JJS
	نشانه‌ی عنصر لیست	LS
might	فعل وجهی	MD
rock, water	اسم، مفرد یا جمعی	NN
rocks	اسم، جمع	NNS
Joe	اسم خاص، مفرد	NNP
Red Guards	اسم خاص، جمع	NNPS
all (all the girls)	حرف تعریف پیشین	PDT
's	نشانه‌ی ملکی	POS
I	ضمیر شخصی	PRP
mine	ضمیر ملکی	PRP\$
quickly	قید	RB
higher (shares close higher.)	قید، مقایسه‌ای	RBR
highest (he jumped highest of all.)	قید، تفضیلی	RBS
up (take up the cause.)	وند فعلی	RP
to	To	TO
hey!	حرف ندا	UH
choose	بن فعل	VB
chose	فعل، زمان گذشته	VBD
choosing	فعل، استمراری یا صفت فاعلی	VBG
chosen	فعل، صفت مفعولی	VBN
jump	فعل، مفرد غیر سوم شخص زمان حال	VBP
jumps	فعل، سوم شخص مفرد زمان حال	VBZ
which	حرف تعریف Wh	WDT
who	ضمیر Wh	WP
whose	ضمیر ملکی Wh	WP\$
when	قید Wh	WRB



ساخت واژه ...

○ ساخت واژه (Morphology)

- علم مطالعه ساخت واژه‌ها: تصریف (Inflection)، اشتقاق (Derivation) و واژه‌های مرکب
- تصریف = تغییر در صورت واژه: بیانگر موقعیت بافتی در نحو + عدم تأثیر مستقیم بر معنا
 - مانند تطابق شخص و شمار و ساختن زمان فعل
 - مثال: cats (در مقابل cat) - بیانگر شکل جمع و اشاره به تعداد نامحدودی گربه
 - مقوله پاره‌گفتاری اصلی (اسم) و معنای پایه (گربه‌سان خانگی) تغییری نکرده‌اند
 - در انگلیسی: وندهای فعلی: -ing, -ed, -s, ی اسمی: -s, و صفتی -er, -est
- اشتقاق = یک واژه، ریشه‌ای برای ساخت کلمات جدید است
 - همراه با تغییرات پاره‌گفتار: مانند racial (نژادی) و racist (نژادپرست)
 - گرفته شده از یک ریشه race - پاره‌گفتارهای متفاوت (صفت در مقابل اسم-صفت) و معنای متفاوت
 - تغییر تلفظ یا جابجایی تکیه مثل electric در مقابل electricity
 - در انگلیسی: پیشوندها و پسوندها مانند -ness, -tion, -ity, -ish, -ism, -ial, pre-, re-, -ize, -ify, -ious, -ment, و غیره.



ساخت واژه

○ مثال

اسم	فعل	صفت	قید
criticism	criticize	critical	critically
fool	fool	foolish	foolishly
industry, industrialization	industrialize	industrial, industrious	industriously
employ, employee, employer	employ	employable	employably
certification	certify	certifiable	certifiably

○ فرایند کلی تشکیل واژه

• (deriv-prefix)* root (root)* (deriv-suffix)* (infl-suffix)

• بلندترین واژه‌ی انگلیسی **autocyberconceptualizations**

○ پیشوند اشتقاقی **auto-**

○ دو ریشه که با هم ترکیب شده‌اند (**cyber** و **concept**. هرچند گاهی **cyber** را پیشوند می‌گویند)

○ سه پسوند اشتقاقی (**-ual**, **-ize**, **-ation**)

○ پسوند تصریفی جمع برای اسامی، **-s**

