به نام خداوند بخشنده مهربان

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی صدا

تحلیل اثر نوفه بر وضوح گفتار فارسی در کلاس درس

دانشجو: مجید شایگان

استاد راهنما : مهندس معصومه پورصادق

استاد مشاور : دکتر معصومه شفیعیان

بهار ۱۳۹۱

چکیده :

پژوهش حاضر در راستای نیاز به افزایش وضوح دریافت صدا انجام شده است. این موضوع در سیستم‌های ضبط، پخش وانتقال مورد استفاده سازمان صداوسیما بسیار حیاتی می‌باشد. در این راستا و باتکیه بر مطالعات انجام‌شده در گذشته تصمیم گرفتیم آزمایش‌های مورد نیاز را به سمت سیگنال گفتاروخصوصا گفتارفارسی هدایت‌کنیم ودراین‌راستا اثر انواع نوفه را بر آن تحلیل کنیم.

برای این کار پس از هدف‌گذاری، مقدماتی لازم بود که اولین آن، آشنایی با آکوستیک اتاق و پارامترهای آکوستیکی موثر بر وضوح گفتار بود. سپس آشنایی با سیگنال گفتار فارسی نیازمند مطالعه دقیق و عمیق آواشناسی بود. در مرحله بعد شناخت روش‌های آزمایش و استانداردهای موجود ضروری است. و در آخر بررسی نحوه تاثیر نوفه بر این نوع سیگنال، به شناخت مسئله، راه‌های اجتناب از شرایطنا خواسته و بهبود آن کمک خواهد کرد.یکی از مهم‌ترین قدم‌ها در این‌راه گردآوری بانک اطلاعات می‌باشد. همان‌طور که می‌دانیم سیگنال گفتار، یک نوع صدامی‌باشد که دارای ویژگی‌های منحصربه‌فردی است. به‌این شکل که با ترکیب تارهای صوتی و اندام تولیدکننده گفتار صدایی که تولید می‌شود قابل پیش‌بینی و پردازش می‌باشد و با وجود ویژگی‌های مشترک، در مورد هر زبانی ، مشخصات خاص مربوط به آن زبان است که آن را از بقیه متمایز می‌سازد. در این راستا با توجه به عدم وجود هرگونه بانک اطلاعاتی در این زمینه در کشور با مطالعه کتاب‌های آواشناسی انگلیسی و فارسی مذکور در منابع فصل چهارم و در نظر داشتن قواعد و قوانین تشکیل اجزای گفتار فارسی یعنی واج‌ها، هجاهای معتبر وترکیبات مورد استفاده در این زبان، حدود ۳۰۰ کلمه یا ترکیب با رعایت فراگیری ترکیبات مختلف آوایی جمع آوری گردید. با رعایت ملاحظات کالیبراسیون برای شنونده‌های منتخب پخش شد و نتایج گردآوری‌شده، جمع‌آوری و تحلیل شدند.

واژگان کلیدی: وضوح صدا، گفتار پارسی، نوفه، آواشناسی، آکوستیک اطاق، روش‌های آزمایش

واج[1]، هجا[2]، واخنش[3]، هم‌خوان[4]، واکه[5]

[1] Phoneme
[2] Syllable
[3] Reverbration
[4] Consonant
[5] Vowel

فهرست مطالب :

مقدمه

فصل اول : آکوستیک اتاق ۱

۱-۱) پارامترهای آکوستیکی اتاق ۱

۱-۲) نکات مهم در مورد آکوستیک اتاق ٤

۱-۲-۱) انتشار صدا در اتاق ٤

۱-۲-۲) صدای مستقیم و انعکاس‌های اولیه ٥

۱-۲-۳)انعکاس‌های بعدی (Late Reflection) ٥

۱-۲-٤) محاسبه زمان واخنش ٦

۱-۲-٥) جذب هوا ٦

۱-۲-٦) معیارهای آکوستیک خوب ٦

۱-۲-۷)سالن های کنسرت ۷

۱-۲-۸) تشدید های اتاق ۸

فصل دوم : تئوری وضوح یا قابل فهم بودن گفتار ۹
۲-۱)آواشناسی ۱۰
۲-۱-۱) واج ها ۱۰
۲-۱-۲) جنس لغات ۱۱
۲-۲) تعریف وضوح صدا ۱۱
۲-۳) روش‌های آزمایش و نمره دهی وضوح گفتار ۱۳
۲-۳-۱)روش‌های آزمایش ۱۳
۲-۳-۲)روش‌های نمره دهی ۱٤
۲-٤) اندازه گیری وضوح گفتار ۱٤
۲-۵) نمره‌های لغت‌ها ۱٤
۲-۵-۱)روش نمره دهی برای اندازه گیری های وضوح ۱٤
۲-٦) برازش منحنی پارامتری ۱٦
۲-۷) رویه تست ۱۷
فصل سوم :کیفیت سیگنال گفتار و ارزیابی آن ۱۸
۳-۱) روشهای ارزیابی قطعه ای ۲۰
۳-۱-۱)DRT یاآزمایش تشخیصی ریم ۲۰
۳-۱-۲) MRT یاآزمایش ریم اصلاح‌شده ۲۲
۳-۱-۳) DMCT آزمایش تشخیصی هم‌خوان میانی ۲۳
۳-۱-٤)SST آزمایش قطعه‌ای استاندارد ۲٤

۳-۱-۵) CLID آزمایش تعیین خوشه ۲٤
۳-۱-٦) PB لیست لغات متعادل آوایی ۲۵
۳-۱-۷) NWVCT تست کلمه‌های بی‌معنی وگذر بین واکه-هم‌خوان ۲۵
۳-۲) آزمایش‌های سطح جمله ۲۵
۳-۲-۱) جمله‌های روان آوائی هاروارد HPS ۲٦
۳-۲-۲) جمله‌های هاسکینس HS ۲٦
۳-۲-۳) جمله‌های با معنی‌های غیر قابل پیش بینی SUS ۲٦
۳-۳) آزمایش‌های ادراکی ۲۷
۳-٤) ارزیابی عروضی (لحن و آهنگ) ۲۷
۳-۵)وضوح اسامی خاص ۲۸
۳-٦) ارزیابی کیفیت کلی ۲۸
۳-٦-۱) نمره‌های نظر میانگین MOS ۲۸
۳-٦-۲) روش تخمین طبقه ای CE ۲۹
۳-٦-۳) روش مقایسه زوج PC ۳۰
۳-٦-٤) روش تخمین نسبت و مقدار ۳۰
۳-۷) تست‌های میدانی ۳۱
۳-۸) ارزیابی بینائی شنوائی ۳۱
۳-۹) خلاصه ونتیجه ۳۲
فصل چهارم :سیگنال گفتار فارسی ۳۳

٤-١)آواهای زبان فارسی ٣٣

٤-٢)اندام های تولید کننده هم‌خوان های فارسی ٣٤

٤-٣)توصیف آوایی صداهای زبان فارسی ٣٥

٤-٣-١) هم‌خوان ها ٣٥

٤-٣-١-١) هم‌خوان‌های انفجاری ٣٦

٤-٣-١-٢) هم‌خوان‌های سایشی ٣٧

٤-٣-١-٣) هم‌خوان‌های انفجاری– سایشی ٣٨

٤-٣-١-٤) هم‌خوان لرزشی (ر) ٣٧

٤-٣-١-٥) هم‌خوان‌های خیشومی ٣٨

٤-٣-١-٦) هم‌خوان‌های روان ٣٨

٤-٣-٢) واکه‌ها ٣٩

٤-٤) ویژگی‌های توزیعی آواهای فارسی ٤٠

٤-٤-١) تعریف‌ها ومحدودیت‌ها ٤٠

٤-٤-٢) خوشه‌های هم‌خوانی ٤٢

٤-٤-٢-١)محدودیت‌های ساختی حاکم بر تشکیل خوشه‌ها ٤٢

٤-٤-٢-٢) ویژگی‌های رفتاری هم‌خوان‌ها در تشکیل خوشه٤٣

٤-٤-٣) رابطه واکه و خوشه دو هم‌خوانی پس از آن، در هجا ٤٣

٤-٤-٣-١) رابطه مرکز هجا و عضو اول خوشه ٤٣

٤-٤-٣-٢)رابطه مرکز هجا و عضو دوم خوشه ٤٤

٤-٤-٤) رابطه هم‌خوان آغازی هجا و رشته آوایی پس از آن ٤٤

٤-٤-٥) بسامد وقوع واکه‌ها در ساختمان هجای CVCC ٤٥

٤-٤-٦)بسامد وقوع هم‌خوان ها در ساختمان هجای CVCC ٤٥

فصل پنجم :پژوهش اثر انواع نوفه بر وضوح گفتار فارسی ٤٧

مقدمه ٤٧

٥-١) گردآوری بانک اطلاعات ٤٨

٥-٢) ضبط صدا و نوفه ٥١

٥-٢-١) نوفه سفید، صورتی و قهوه ای ٥٢

٥-٣) تلفیق صدا با نوفه ٥٦

٥-٤) پخش وآزمایش ٥٧

٥-٥) نتیجه‌گیری ٦٧

فهرست ضمیمه‌ها :

ضمیمه الف) الگوریتم بهبود قابلیت تشخیص گفتار در حضور نوفه ٧٣

ضمیمه ب) فرم‌های پر شده آزمایش‌های شنوایی -

ضمیمه پ) نوفه‌ها، فایل‌های ضبط‌شده و مدل‌سازی‌شده جهت پخش -

مراجع و منابع ٨٤

فهرست جدول‌ها :

جدول ۳-۱ مشخصات آزمایش ریم تشخیصی	**۲۱**
جدول ۳-۲ نمونه‌های مجموعه پاسخ‌های MRT	**۲۲**
جدول ۳-۳ ساختارهای گرامری آزمایش SUS	**۲۷**
جدول۳- ٤ مقیاس‌های به‌کاررفته در روش‌های MOS,DOS	**۲۸**
جدول ۳-۵ مثال‌های صفت‌های ممکن برای روش تخمین طبقه‌ای	**۳۰**
جدول ٤-۱ واج های هم‌خوان فارسی	**۳۹**
جدول ۵-۱ نمونه فرم ثبت نتایج آزمایش‌ها	**۵۸**

فهرست نمودارها:

نمودار ۵-۱) مقایسه تاثیر نوفه و S/N بر روی وضوح گفتار فارسی ٦٧

نمودار ۵-۲) مقایسه تاثیر نوفه و S/N بر روی وضوح گفتار فارسی ٦٧

نمودار ۵-۳) مقایسه تاثیرجنسیت گوینده و S/N برروی وضوح گفتارفارسی درحضور نوفه ٦٨

نمودار ۵-٤) مقایسه تاثیر نوفه "صحبت همهمه" و" نمونه خیابان" روی وضوح گفتار ٦٩

نمودار ۵-۵) مقایسه تاثیر انواع نوفه بر روی وضوح گفتار فارسی ٦٩

نمودار ۵-٦) مقایسه کلی وضوح در حضور نوفه ۷۰

فهرست شکل ها:

شکل ۲-۱ سیستم تولید و دریافت گفتار ۹

شکل ۲-۲ وضوح صدا ۱۲

شکل ۲-۳ اجزاء آزمایش وضوح ۱۲

شکل ۲- ٤ مقایسه آزمایش‌های وضوح ۱۵

شکل۲-۵ مقایسه آزمایش‌های وضوح ۱۵

شکل ۳-۱ مثالی از DRT ۲۳

شکل ۳-۲ نتایج آزمایش‌های وضوح ۳۱

شکل ٤-۱ واکه‌ها ٤۱

شکل ۵-۱ میکروفن حرفه ای SHURE ۵۲

شکل ۵-۲ مقایسه طیفی نوفه سفید وصورتی ۵۳

شکل ۵-۳ طیف نوفه صورتی ۵۳

شکل ۵-٤ طیف نوفه قهوه ای ۵٤

شکل ۵-۵ طیف توان نوفه سفید ۵٤

شکل ۵-٦ تصویرهای طیف سیگنال میکس‌شده(بالا) و نوفه نمونه ضبط‌شده(پائین) توسط نرم‌افزار ADOBE AUDITION V3.0 ۵۵

شکل ۵-۷ فضای مولتی‌تراک برای میکس وپردازش صدا ۵٦

شکل ۵-۸ یک پنجره نمونه جهت تنظیم‌های واخنش اتاق ۵۷

مقدمه :

در پایان نامه حاضر، قصد داریم اثر نوفه را بر روی وضوح صدا یا قابلیت فهم آن، در یک فضای بسته، مانند اتاق یا کلاس درس برای گفتار فارسی بررسی کنیم. همان‌طور که از عنوان پیداست، بایستی ابتدا با پارامترهای مهم در آکوستیک یک فضای بسته کوچک آشنا باشیم و سپس پارامترهایی که می توان با آنها وضوح صدا را سنجید، معین کنیم.

در مرحله بعد، ما نیاز به آشنایی با سیگنال گفتار و به طور خاص، مسائل مربوط به آواشناسی گفتار فارسی داریم و در نهایت، بایستی با بررسی نوفه، اثر انواع نوفه را بر وضوح گفتار فارسی در این کلاس یا اتاق نمونه، بررسی کنیم.

جهت تکمیل مطالعات، آزمایش و نتیجه‌گیری در مورد این مسئله، با استفاده از تجهیزات موجود در استودیوی صدا، کلمات از پیش‌مشخص‌شده و گردآوری‌شده، بر اساس ملاحظات آواشناسی ضبط شده‌اند. سپس با استفاده از نرم افزار Adobe Audition نسخه ۳ برای حالت‌های مختلف، نوفه به‌آن افزوده شده‌است و در انتها با پخش این فایل‌های متفاوت، وضوح صدا برای حالت‌های مختلف به‌دست آمده و سنجیده شده است.

فصل اول : آکوستیک اتاق

۱-۱) پارامترهای آکوستیکی اتاق

اولین پارامتر، مفهومی آشنا به نام واخنش با نماد RT[1] می‌باشد، که عبارت است از مدت زمانی که پس از قطع منبع، تراز فشار صدا ۶۰dB افت می‌کند. این پارامتر با تاثیر روی صداهای اولیه و ثانویه، روی وضوح گفتار اثر می‌گذارد. برای تعریف و تعیین این پارامتر تلاش‌های زیادی شده‌است. ابتدا سابین[2] درسال ۱۹۲۲ باارائه فرمول (۱) برای$\bar{a}$>۰/۲ تخمین خوبی از زمان واخنش برای اتاقی با حجم V و ضریب جذب $\bar{a}$ با مساحت سطوح S به‌دست‌آورد.

$$R_T = \frac{0.16}{s\bar{a}} \qquad \text{فرمول (۱)}$$

سپس آیرینگ[3] درسال۱۹۳۰فرمول(۲)راپیشنهاد نمودکه به‌دلیل استفاده ازضریب جذب کلی، دقیق نبود.

$$RT_{60} = \frac{55.2V}{-ScLn(1-\alpha)+4hv} \qquad \text{فرمول(۲)}$$

[1] Reverbration time
[2] Sabine
[3] Eyring

بالاخره میلینگتون[1] درسال ۱۹۳۲ فرمول(۳) را پیشنهاد نمود که به‌علت استفاده از حاصل جمع ضرب تک‌تک ضریب جذب‌ها در سطوح، پاسخ‌های به‌دست‌آمده قابل‌قبول‌تر و نزدیک‌تر به‌اندازه‌گیری‌ها می‌باشند.

$$RT = \frac{0.161v}{\sum si\ \alpha\ i} \qquad \text{فرمول(۳)}$$

اما برای تکمیل دانش ما از وضعیت آکوستیک اتاق و عوامل موثر بر وضوح گفتار نیاز به پارامترهای بیشتری بود که نسبت زمانی $\frac{E}{\mathrm{L}} = \frac{early}{\mathrm{late}}$ که نسبت انعکاس‌های قبل و بعد از یک زمان مشخص می‌باشد و EDT[2] که زمان رسیدن سطح سیگنال به ۱۰ dB پائین‌تر می‌باشد پیشنهاد شدند.

به‌عنوان مثالی از کارهای گذشته می‌توان گفت وقتی $\frac{early}{\mathrm{late}}$ برای ۵۰ ms درنظرگرفته‌شود، با بالا رفتن RT متوجه می‌شویم که $\frac{E}{\mathrm{L}}$ پایین می‌آید و به همان نسبت وضوح گفتار کاهش می‌یابد ولی می‌توان بدون تغییر EDT یا RT، نسبت$\frac{E}{\mathrm{L}}$ ودر نتیجه وضوح گفتار را بهبود بخشید.

به عنوان دومین پارامتر، می‌توان نسبت توان سیگنال به توان نوفه S/N[3] را مدنظر قرارداد. برای بررسی S/N بایستی سطح سیگنال گفتارو نوفه را درمحل شنونده به‌دست‌آوردکه عوامل موثر بر آن سطح سیگنال منبع صدا (گوینده)، فاصله بین گوینده و شنونده وخصوصیات آکوستیکی اتاق می‌باشند. با بررسی اثر S/N و RT بر طراحی اتاق آکوستیکی و اندازه‌گیری SI[4] و STI[5] مشاهده می‌شود، مهم‌ترین باندهای اکتاوی برای وضوح گفتار به‌ترتیب ۲، ۱و ٤ کیلو هرتز هستند و با وزن‌دهی باندهاوجمع‌اثر همگی می‌توان STI را محاسبه نمود.[۳] SI وضوح گفتارو STIشاخص ارسال گفتارمی‌باشند. تحقیقات گذشته به‌این نتیجه رسیده‌اند که برای افراد بزرگسال بدون مشکل شنوایی با حداقلS/N = ۱۵ dB و ۰/۵<RT<۰/۷ ثانیه وضوح گفتار خوب برقرار است، درحالی‌که این کمیت‌ها برای خردسالان یا افراد با مشکل شنوایی و یا برای زبان دوم به صورت۰/۵>RT>۰/٤ ثانیه وS/N >۲۰ dB برای وضوح گفتار بهینه می‌باشند.[۳]

[1] Millington
[2] Early Decay Time
[3] Signal to noise ratio
[4] Speech Intelligibility
[5] Speech Transmission Index

در این‌شرایط حداکثر نوفه زمینه dB ۲۵ تا ۳۰ می‌تواند باشد. موضوعی که کمترمورد بحث قرارگرفته، این است که این کمیت هابرای اتاق‌های اشغال شده با وسایل و یا بدون وسایل چه مقدارهایی می‌توانند داشته باشند. دراین‌موردآزمایش‌های انجام‌گرفته توسط "چونگ من لانگ استانلی"[۳] نتیجه می‌گیرد که تقریبا در تمام نقاط اتاق وبرای تمام فرکانس‌ها، EDT اتاق خالی بالاتر ازاتاق مفروش بوده ولی در مورد S/N نتیجه قاطعی بدست‌نیامده‌است. چهار رهیافت متفاوت برای مقایسه دقت روش‌های سه‌گانه پیش‌بینی RT وجود دارد، که عبارتند از:

۱- تئوری کلاسیک

۲-راه حل عددی

۳-عبارت‌های تجربی

٤-مدل فیزیکی ریاضی

علاوه براین فرمول‌های تحلیل برای محاسبهRT، مدل‌های کامپیوتری متفاوتی برای پیش‌بینی کارآیی آکوستیکی اتاق موجود می‌باشد، که می‌توان از روش‌های زیر نام برد:

۱- تصویر منبع [۱]
۲- تعقیب پرتو [۲]
۳- تعقیب اشعه [۳]
٤- مدل تعقیب ذرات صدا [٤]

نتیجه تحقیقات پیشین نشان داده است که روشهای اول و دوم موثرتر می‌باشند و نتایج به‌دست آمده توسط آنها معتبروکارکردن با آنها راحت‌تر است.[۳] به عنوان نمونه در نرم افزار ODEON امکان استفاده از هر دو روش وجود دارد. EDT برای ارزیابی خاصیت جذبی اتاق مطلوب‌تر از RT می‌باشد ودر یک اتاق خالی اکثر مدل‌های تجربی برای پیش‌بینی EDT برپایه تئوری کلاسیک میدان پخشا هستند و برحسب حجم اتاق، مساحت کل سطح و جذب صدا در اتاق بیان می‌شود.

[1] Image source
[2] Ray tracing
[3] Beam tracing
[4] Sound particle tracing

شاخص دیگری که برای وضوح گفتار استفاده می‌شود و مقبولیت زیادی هم برای موزیک و هم اخیرا برای وضوح گفتار پیدا کرده است، C۸۰ می‌باشد که نسبت انرژی تا ۸۰ میلی‌ثانیه به انرژی بعد از آن زمان می‌باشد. STI همه عوامل دخیل در وضوح گفتار را شامل می‌شود به جز اثر غیر خطی و به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\mathrm{STI} = \frac{[\mathrm{S/N} + 15]}{30} \qquad \text{فرمول (٤)}$$

رویه بدست آوردن S/N از فرمول (۵) و با وزن‌دهی باندهای اکتاوی می‌باشد.

$$\sum_K \mathrm{W_K}\,(\mathrm{S/N})_K = \mathrm{S/N} \qquad \text{فرمول (۵)}$$

در این رابطه هر k (S/N) ای از رابطه $(\mathrm{S/N})\ \mathrm{k} = 10 \log \frac{m(f)}{1-m(f)}$ به‌دست می‌آید و $m_{(\mathrm{f})} = \frac{m0}{mi}$ اندیس مدولاسیون می‌باشد واز شدت میدان درمحل منبع وشنونده استخراج می‌شود[۱]

۱-۲) نکات مهم در مورد آکوستیک اتاق

۱-۲-۱) انتشار صدا در اتاق

- به علت سرعت ۳٤۵ m/s صوت، صدای مستقیم از یک منبع در اتاق بزرگ بین ۰/۰۱ الی ۰/۲ ثانیه بعد به شنونده می‌رسد.
- زود هنگام[1]: زمان کوتاهی بعد از صدای مستقیم ،انعکاس‌ها ازسطوح متفاوت در زمانی بین ۵۰ تا ۸۰ میلی‌ثانیه می‌رسند.
- دیرهنگام[2]: انعکاس‌های بعدی که دامنه کمتری دارند و واخنشی[3] هستند با قطع منبع پیوسته صدا با یک شیب ثابت، یا کم‌وبیش، کاهش می‌یابد تا سطح انعکاس‌ها به کم برسد.
- برای صداهای ناگهانی واخنش‌ها به سرعت کاهش می‌یابد.

[1] Early
[2] Late
[3] Reverberant

۱-۲-۲) صدای مستقیم و انعکاس‌های اولیه

- **صدای مستقیم به ازای دو برابر شدن فاصله از منبع dB ٦ کاهش می‌یابد.**
- **سیستم شنوایی ما جهت منبع صدا را از صدای مستقیم رسیده به گوش، تعیین می‌کند.**
- **انعکاسهای اولیه درزمان۵۰تا۸۰ میلی‌ثانیه پس‌ازتولیدصدای منبع به‌صورت جدا از منبع شنیده نمی‌شود، بلکه بیشتر باعث تقویت صدا می‌شود. برای صداهای با تغییر سریع مانند گفتار حد آن ۵۰ میلی‌ثانیه و برای موزیک های با تغییرآرام۸۰ میلی‌ثانیه می‌باشد.**
- **اثراولویت: منبع درجهتی‌که اولین صدامی‌آید، دریافت ودرک می‌شود، مشروط‌به‌اینکه**
  ۱- صداهای متوالی با فاصله ۳۵ میلی‌ثانیه بیایند.
  ۲- پرشهای زمان و طیف صداهای متوالی، مشابه اولین صدا باشند.
  ۳- صداهای متوالی خیلی بلندتر از اولین صدا نباشند.
- **بر اساس مطالعه ۱۹٦۲ برانک، اگر زمان تاخیر بین صدای اصلی و انعکاس اول زیر ۲۰ میلی‌ثانیه باشد، سالن کنسرت خصوصی در نظر گرفته می‌شود.**
- **اولین انعکاس، هنگامی که شخص در مرکز اتاق باشد، معمولا از نزدیک‌ترین دیوار یا سقف می‌آید.**
- **انعکاس‌های سقف یا سطوح بالا به صورت شهودی به‌اندازه آن‌ها که از دیواره‌های کنار می‌آیند مطلوب نیستند.**

۱-۲-۳) انعکاسهای بعدی [1]

- در یک صدای پیوسته، سطح صدای واخنش زمانی به‌دست می‌آید که نرخ تحویل انرژی توسط منبع مساوی با نرخ جذب صدا توسط اتاق و اشیای درون آن باشد.

- اگر صدا خیلی واخنش داشته باشد، وضوح آن از بین می‌رود.

- در یک اتاق خالی که همه سطوح به یک اندازه، صدایی راکه به آنها می‌رسد جذب می کنند، زمان واخنش تئوری متناسب با نسبت حجم به مساحت سطوح می‌باشد.

[1] Late reflection

- یک تعریف برای زمان واخنش، این است که زمان لازم برای کاهش سطح واخنش به‌میزان ٦٠dB از صدای اصلی یا همان T60 ، زمان واخنش می‌باشد.

١-٢-٤) محاسبه زمان واخنش

- محاسبه زمان واخنش توسط رابطه RT=٠/١٦١V/A که V حجم اتاق برحسب مترمکعب وA سطح کلی جذب موثر بر حسب متر مربع می‌باشد، صورت می‌گیرد. (sabine 1992)[٣]

- سطح جذب کل موثر جمع همه سطوح اتاق در حالی‌است که هریک در ضریب جذب خودش ضرب شده است. این مورد برای یک فرکانس خاص صحیح است.

- فرکانس‌های نمونه که برای آنها ضریب جذب معین شده‌اند ١٢٥ ،٢٥٠ ،٥٠٠ ،١٠٠٠،٢٠٠٠، ٤٠٠٠هرتز می‌باشند.

- ضریب جذب پایین صدای پر انعکاس‌تری به ما می‌دهد.

١-٢-٥) جذب هوا

- **هوا در جذب فرکانس‌های بالای صدا، مشارکت اساسی دارد.**
- **با درنظرگرفتن جذب هوا واخنش از رابطه mv+ $RT=0.161^{V}/_{A}$ به‌دست می‌آید که m یک ضریب ثابت می‌باشد که با دمای هوا، رطوبت و فرکانس تغییر می‌کند.**

١-٢-٦) معیارهای آکوستیک خوب:

زمان واخنش خوب یک مصالحه و تعادل بین پارامترهای زیر می‌باشد:

-وضوح(clearity) که نیاز به RT پایین دارد.
- شدت صدا(intensity) که نیاز به سطح واخنش بالا (level)دارد.
- زنده بودن صدا (liveness) که نیاز به RT بالا دارد.

ملزومات عمومی آکوستیک خوب، عبارتند از:

بلندی کافی، یکنواختی، وضوح، واخنش، زنده بودن صدا (شنونده باید با قادر بودن به تشخیص محل منبع، در کلیه صداها غرق شود)، رها بودن از انعکاس (echo)، حد اقل بودن نوفه زمینه و صداهای انعکاس یافته از پهلو ها که در واخنش کل اتاق مهم می باشند.

۱-۲-۷) سالن های کنسرت

- Intimacy اثر ذهنی اندازه سالن می‌باشد. هرچه کوچک‌تر باشد، خصوصی‌تر است و به سالن های بزرگ‌تر ترجیح داده‌می‌شود. اندازه آکوستیکی این پارامتر [1] ITDG یا فاصله تاخیرزمان اولیه نامیده می‌شود که فاصله بین صدای اصلی و اولین انعکاس می‌باشد.

- EDT یا زمان کاهش زود هنگام از لحاظ ادراکی، مهم‌ترین عامل در تاثیر واخنش برشنوایی ما می‌باشد. EDT شامل چند انعکاس زود هنگام جدا از هم می‌باشد.

-وضوح (C80) تفاوت بین انرژی صدای رسیده در ۸۰ میلی ثانیه اول با انرژی واخنش(که انرژی باقی‌مانده صداها می‌باشد) بر حسب dB است. هرچه c80 بیشتر باشد، حس تعیین-کنندگی در موزیک را بالا می‌برد. اما کاهش آن سرشار بودن از tone و در صورت افراط حس گل‌آلودگی را به ما می دهد. در مطالعه ۲۲ سالن کنسرت اروپایی تعیین‌کنندگی کمتر، ترجیح داده‌می‌شود.

- کاهش صدا با رعایت دو صفت مطلوب، ولی در تضاد با هم در موزیک بهتر است :

اول این‌که EDT کاهش یابد تا وضوح بالارودودوم این‌که RT بالارود تا زنده بودن موزیک حفظ شود.

- نتایج خوبی حاصل از انعکاس دهنده‌های کناری به‌دست آمده، که حس وسیع‌تر بودن منبع را می‌دهد. دیواره‌های پوشیده با پارچه، به پخشا بودن صدا کمک می‌کند.

- سالن های باد بزنی شکل، اثر کناری بهتری تولید می‌کنند.

- گرمی‌موزیک، باکمی‌افزایش‌درواخنش‌فرکانس‌های‌پایین، برای‌سالن‌های‌موسیقی به‌دست می‌آید.

[1] Initial Time Delay Gaurd

– میرائی فرکانس‌های بالا، باعث کاهش شفافیت صدا می‌شود، که با $\frac{EDT\ 4000}{\mathrm{EDT}\ mid}$ ، $\frac{EDT\ 2000}{EDT\ mid}$ **اندازه گرفته می‌شود، که EDT mid میانگین مقادیر EDT در ۵۰۰و۱۰۰۰ هرتز می‌باشد.**

– از اکو، تمرکز صدا، سایه‌های صدا و نوفه زمینه بایستی اجتناب کرد.

– هرچه زمان کاهش اولیه بزرگ‌تر باشد (تا ۲ ثانیه) برای سالن کنسرت مناسب‌تر می‌باشد. برای بالای ۲ ثانیه این حالت معکوس می‌شود.

– سالن‌های‌باریک به سالن‌های‌عریض‌و سالن‌های با خاصیت عدم تشابه دریافت از دوگوش[1] ترجیح داده می‌شوند .

۱-۲-۸) تشدید های اتاق

– برای هندسه‌های خیلی ساده، می‌توان عبارات تحلیلی، جهت توصیف فرکانس‌های تشدید اتاق به‌دست آورد.

– در یک اتاق مکعب مستطیلی با ابعاد a,b,c، بدون میرا کننده، فرکانس‌های تشدید عبارتند از: $f_{l,m,n}=\frac{v}{2}\sqrt{\left(\frac{l^2}{\mathrm{a}}\right)+\left(\frac{m^2}{b}\right)+\left(\frac{n^2}{c}\right)}$ **که v سرعت صوت و n,m,l اعداد صحیح می‌باشند.**

مراجع فصل :

1- Room Acoustics (Henrich Kuttruff)2009

2- Acoustics in Building (Bernard Grehant)1994

3- Speech Intelligibility in Class Room(cheung, man lung stanley)2004

[1] Binaural