



بررسی نقش ارتفاع گنبد اصلی در آکوستیک مسجد امام اصفهان

پدیدآورنده (ها) : گودرز نیا، ایرج؛ کریمی عقدا، احمد
هنر و معماری :: پژوهش هنر :: زمستان 1392 - شماره 4 (ISC)
از 121 تا 126

آدرس ثابت : <https://www.noormags.ir/view/fa/articlepage/1225832>

دانلود شده توسط : کاربر عمومی دانشگاه سمنان
تاریخ دانلود : 17/09/1399

مرکز تحقیقات کامپیوتری علوم اسلامی (نور) جهت ارائه مجلات عرضه شده در پایگاه، مجوز لازم را از صاحبان مجلات، دریافت نموده است، بر این اساس همه حقوق مادی برآمده از ورود اطلاعات مقالات، مجلات و تالیفات موجود در پایگاه، متعلق به "مرکز نور" می باشد. بنابر این، هرگونه نشر و عرضه مقالات در قالب نوشتار و تصویر به صورت کاغذی و مانند آن، یا به صورت دیجیتالی که حاصل و بر گرفته از این پایگاه باشد، نیازمند کسب مجوز لازم، از صاحبان مجلات و مرکز تحقیقات کامپیوتری علوم اسلامی (نور) می باشد و تخلف از آن موجب پیگرد قانونی است. به منظور کسب اطلاعات بیشتر به صفحه [قوانین و مقررات](#) استفاده از پایگاه مجلات تخصصی نور مراجعه فرمائید.



بررسی نقش ارتفاع گنبد اصلی در آکوستیک مسجد امام اصفهان



دکتر ایرج گودرزنی *

احمد کریمی عقدا **

چکیده:

در این پروژه هدف ما بررسی آکوستیک مسجد امام است. اگر کسی تا به حال به مسجد امام اصفهان سری زده باشد یکی از کارهایی که حتماً به امتحان آن خواهد پرداخت چگونگی بازگشت صوت در این مسجد است. اتفاقی جالب که در کنار معماری زیبای مسجد امام می‌تواند نظر هر گردشگری را به خود جلب کند. اما تنها جذب گردشگران هدف این طراحی زیبا نبوده است. این امر یک مهندسی بسیار عالی را نشان می‌دهد که به هدف خاصی انجام شده است. در گذشته بدلیل نبود تکنولوژی صوتی پیشرفته امروزی، برای رساندن صدای یک سخنران به مستمعین، مشکلاتی وجود داشت. در همین دوره شیخ بهایی گنبد مسجد امام را به گونه‌ای طراحی می‌کند که صدای سخنران حتی زمانی که چندان بلند صحبت نمی‌کند به راحتی به تمامی مستمعین برسد. در این تحقیق به بررسی گنبدی که در مسجد امام اصفهان قرار دارد پرداخته شده است تا بتوانیم از فن آوری به کار رفته در آن برای طراحی سالن‌های کنفرانس امروزی استفاده کنیم. هدف اصلی بررسی علت قرارگیری گنبد در این ارتفاع است.

واژگان کلیدی:

مسجد امام، آکوستیک، گنبد جنوبی

مقدمه

این مسجد که در ضلع جنوبی میدان امام قرار دارد در سال ۱۰۲۰ هجری به فرمان شاه عباس اول در بیست و چهارمین سال سلطنت وی شروع شده و تزیینات و الحاقات آن در دوره جانشینان او به اتمام رسیده است. معمار مهندس آن استاد علی اکبر اصفهانی و ناظر ساختمان محب علی بیگ الله بوده اند. این مسجد از شاهکارهای جاویدان معماری، کاشی کاری و نجاری در قرن یازدهم هجری است. در زمان شاه عباس صفوی، زمانی که این پادشاه تصمیم گرفت که اصفهان را به یکی از شهرهای متمدن اسلامی تبدیل کند، ساخت مسجد امام به عنوان یک مکان عبادت عمومی در دستور کار قرار گرفت و جزو اولین طرح های گسترش مدنیت در اصفهان در زمان این پادشاه است [۱].

از آنجا که دروازه ورودی بازار بزرگ اصفهان در سمت دیواره شمالی میدان نقش جهان (امام) قرار گرفته است، بنابراین دهانه ورودی مسجد امام (امام) به گونه ای در نظر گرفته شده است که در میانه دیواره جنوبی قرار گیرد [۲]. مسجد امام یکی از شاهکارهای معماری و کاشی کاری و حجاری ایران در قرن یازدهم هجری است و آخرین سال تاریخی که در مسجد دیده می شود سال ۱۰۷۷ هجری یعنی آخرین سال سلطنت شاه عباس دوم و ۱۰۷۸ هجری یعنی اولین سال سلطنت شاه سلیمان است و معلوم می دارد که اتمام تزیینات مسجد در دوره جانشینان شاه عباس کبیر یعنی شاه صفی و شاه عباس دوم و شاه سلیمان صورت گرفته است [۳].

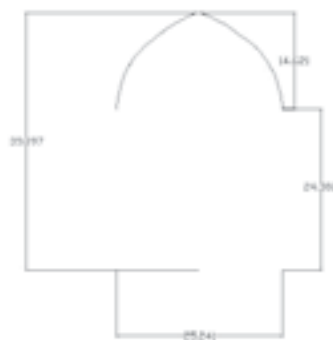
این مسجد عظیم دارای دو شبستان قرینه در اضلاع شرقی و غربی صحن است. یکی از این شبستان ها (شبستان شرقی) بزرگتر اما ساده و بی تزیین است و دیگری (شبستان غربی) کوچکتر است اما تزییناتی با کاشی های خشت هفت رنگ دارد و محراب آن نیز از زیباترین محراب های مساجد اصفهان است [۱].

در دو زاویه جنوب غربی و جنوب شرقی دو مدرسه به طور قرینه قرار دارد که مدرسه زاویه جنوب شرقی را که حجره هایی نیز برای سکونت طلاب دارد، مدرسه ناصری و مدرسه زاویه جنوب غربی را سلیمانیه می نامند [۱].

در مدرسه جنوب غربی مسجد قطعه سنگ ساده ای به شکل شاخص در محل معینی تعبیه شده است که ظاهر حقیقی اصفهان را در چهار فصل سال نشان می دهد و محاسبه آن را شیخ بهائی دانشمند فقیه و ریاضیدان معروف عهد شاه عباس انجام داده است [۱].

بین دروازه ورودی مسجد و صحن چهار ایوان یک راهروی سرپوشیده قرار گرفته است. سقف این راهرو به شکل گنبد های است و راهی سریع برای دستیابی به ایوان شمالی به شمار می آید. این راهرو نسبت به ورودی مسجد زاویه دار ساخته شده است و زاویه ای ۴۵ درجه را ایجاد می کند. هدف از این زاویه این است که صحن مسجد رو به قبله قرار گیرد [۲].

اگر از این راهروی ورودی صرف نظر کنیم، طرح مسجد



شکل ۱: ابعاد گنبد داخلی



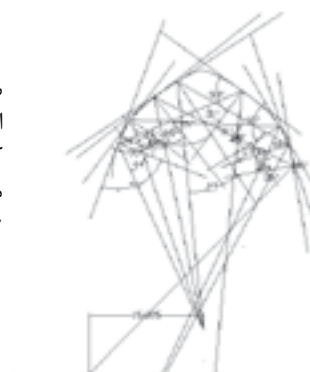
شکل ۲: نحوه بازتابش صوت از گنبد داخلی مسجد هنگامی که گنبد در ارتفاع ۴۱/۶۹۷ متری و منبع صوت بر روی زمین قرار گرفته است.



شکل ۳: نحوه بازتابش صوت از گنبد داخلی مسجد هنگامی که گنبد در ارتفاع ۴۱/۶۹۷ متری و منبع صوت در ارتفاع ۲ متری قرار گرفته است.

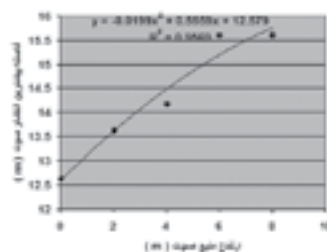


شکل ۴: نحوه بازتابش صوت از گنبد داخلی مسجد هنگامی که گنبد در ارتفاع ۴۱/۶۹۷ متری و منبع صوت در ارتفاع ۴ متری قرار گرفته است.



شکل ۵: نحوه بازتابش صوت از گنبد داخلی مسجد هنگامی که گنبد در ارتفاع ۴۱/۶۹۷ متری و منبع صوت در ارتفاع ۶ متری قرار گرفته است.

شکل ۶: نحوه تغییر بیشترین فاصله انتشار صوت با ارتفاع منبع صوت هنگامی که گنبد در ارتفاع ۴۱/۶۹۷ متری قرار گرفته است.



شکل ۷: نحوه بازتابش صوت از گنبد داخلی مسجد هنگامی که گنبد در ارتفاع ۳۹/۰۹۷ متری و منبع صوت بر روی زمین قرار گرفته است.



شکل ۸: نحوه بازتابش صوت از گنبد داخلی مسجد هنگامی که گنبد در ارتفاع ۳۹/۰۹۷ متری و منبع صوت در ارتفاع ۲ متری قرار گرفته است.



شکل ۹: نحوه بازتابش صوت از گنبد داخلی مسجد هنگامی که گنبد در ارتفاع ۳۹/۰۹۷ متری و منبع صوت در ارتفاع ۴ متری قرار گرفته است.



شکل ۱۰: نحوه بازتابش صوت از گنبد داخلی مسجد هنگامی که گنبد در ارتفاع ۳۹/۰۹۷ متری و منبع صوت در ارتفاع ۶ متری قرار گرفته است.



نسبت به محور شمال به جنوب متقارن است. ایوان‌های جنوبی، شرقی و غربی هر یک به تالاری منتهی می‌شوند که این تالارها سقف‌های گنبدی شکل دارند. ایوان جنوبی توسط هشت نمازخانه با سقف‌های گنبدی احاطه شده است که برای فصل‌های سرد مناسبند. این نمازخانه‌ها توسط راهروهای سرپوشیده به صحن مسجد راه دارند. مناره‌ها هم در ورودی اصلی مسجد و هم در ایوان جنوبی به صورت جفت قرار گرفته‌اند [۲]. گنبد جنوبی مسجد نیز بزرگترین گنبدی است که در این مسجد وجود دارد. ورودی اصلی بنا ارتفاعی معادل ۲۷ متر دارد. دو مناره‌ای که در کنار این ورودی قرار گرفته‌اند هر کدام ۴۲ متر ارتفاع دارند. در میان ایوان‌ها هم بلندترین ایوان، ایوان جنوبی است. ارتفاع ایوان بزرگ جنوبی مسجد ۳۳ متر است و دو مناره در طرفین آن قرار گرفته‌اند که ارتفاع هر یک از آن‌ها ۴۸ متر است. این دو مناره با کاشی تزیین شده‌اند و نام‌های محمد و علی به‌طور تکراری به خط بنایی بر بدنه آن‌ها نقش بسته است. گنبد جنوبی هم که در پشت این ایوان قرار گرفته است ارتفاعی معادل ۵۲ متر دارد. این گنبد به صورت دوجداره ساخته شده است. از نکات جالب در مسجد امام انعکاس صورت در مرکز گنبد بزرگ جنوبی است [۱].

آکوستیک مسجد امام

همانطور که می‌دانیم در مورد یک سطح مقعر زمانی که امواج صوتی از هر جهتی به چنین سطحی برخورد کند، امواج به گونه‌ای بازتابانده خواهند شد که در نقطه‌ای متمرکز شوند.

حال در مورد مسجد امام، مسأله این است که اگر امواج در حال متمرکز شدن در یک نقطه هستند چگونه مستمعینی که در گذشته برای شنیدن سخنان سخنرانی که در این مسجد بوده است به استفاده از بلندگو نیازمند نبودند. اگر موج در این فضا پخش نمی‌شده پس چطور همه حاضرین صدای سخنران را می‌شنیده‌اند.

نکاتی که در اینجا وجود دارد به شرح زیر است. در اینجا ما با دو مطلوب مواجه هستیم. اول اینکه می‌خواهیم صوت تا حد ممکن به همه حضار برسد. دوم اینکه می‌خواهیم صوت با قدرت خوبی به همه حضار برسد. می‌توان گفت که این دو امر در خلاف جهت هم حرکت می‌کنند. یعنی زمانی که صوت را در یک محوطه وسیعی پخش کنیم، قدرت صوتی که به هر نقطه خواهد رسید کمتر می‌شود. این امر به خاطر پخش صوت به صورت کروی است. بنابراین ما باید هر دو مورد را بررسی کنیم. در این مطالعه بخش اول کار یعنی پخش صوت در بیشترین فضای ممکن مورد توجه قرار گرفته است. برای بخش دوم نیز فعالیت‌هایی در حال انجام است که هنوز به نتیجه نهایی نرسیده است.

در بررسی‌های انجام شده، متوجه شدیم که در پخش صوت علاوه بر قوسی که گنبد داخلی دارد، ارتفاع قرار گرفتن این گنبد نیز موثر است. در حالی که در مورد

تقویت صوتی که به هر نقطه خواهد رسید دو جداره بودن گنبد اثر گذار خواهد بود. بنابراین اول به بررسی ارتفاع گنبد می‌پردازیم.

شکل‌هایی که در زیر مشاهده خواهید کرد از نقشه‌ای خارج شده که توسط سازمان میراث فرهنگی از بنای مذکور تهیه شده است.

در شکل ۱ ابعاد گنبد داده شده است. برای آن‌که نحوه بررسی حالات مختلفی که در ادامه در نظر گرفته می‌شوند یکسان باشد، در تمامی این بررسی‌ها، فرض می‌کنیم که منبع تولید صوت درست در زیر مرکز گنبد قرار گرفته است. با این فرض کار بررسی بسیار آسان‌تر خواهد شد، زیرا در تمامی جهات تقارنی را شاهد خواهیم بود. (شکل ۱)

به منظور بررسی اثر ارتفاع گنبد بر روی انتشار صوت به تغییر مکان گنبد می‌پردازیم. به این ترتیب که فرض می‌کنیم گنبد در محل‌هایی به جز مکان اصلی خود قرار گرفته است. سپس با تغییر ارتفاع منبع صوت سعی می‌کنیم تا انتشار صوت را در زیر گنبد مورد بررسی قرار دهیم. ارتفاع گنبد در حال حاضر ۳۹/۰۹۷ متر از کف صحن است. بنابراین ما گنبد را در چهار ارتفاع مختلف در نظر می‌گیریم. این ارتفاع‌ها به این ترتیب هستند:

۴۱/۶۹۷ متر، ۳۹/۰۹۷ متر، ۳۶/۶۹۷ متر و ۳۳/۶۹۷ متر. یعنی یک بار گنبد را در ارتفاع حال حاضر خود در نظر می‌گیریم. در موارد بعدی گنبد را با فاصله‌هایی به بالا و پایین انتقال می‌دهیم.

در هر مورد هم منبع صوت را در ارتفاع‌های ۰، ۲، ۴ و ۶ متری در نظر گرفته‌ایم. در مورد بیشترین ارتفاع منبع صوتی در ارتفاع ۸ متری نیز در نظر گرفته شده است. اگر برای انتشار صوت خطوطی را رسم کنیم که بعد از برخورد با گنبد بازتابش می‌یابند، می‌توانیم شکل‌هایی را به‌دست آوریم که در ادامه آمده است.

۱- گنبد در ارتفاع ۴۱/۶۹۷ متری

همانطور که ذکر شد، باید منبع صوت را در مکان‌های مختلف تغییر دهیم و اثر آن را بر روی انتشار صوت بررسی کنیم.

الف- منبع صوت بر روی زمین قرار گرفته است. (شکل ۲)

ب- منبع صوت در ارتفاع ۲ متری قرار گرفته است. (شکل ۳)

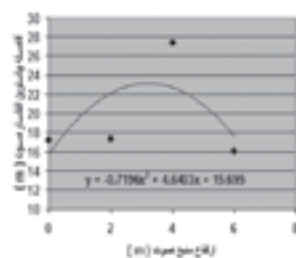
ج- منبع صوت در ارتفاع ۴ متری قرار گرفته است. (شکل ۴)

د- منبع صوت در ارتفاع ۶ متری قرار گرفته است. (شکل ۵)

اگر بیشترین فضایی را که این صوت در هر ارتفاعی از منبع صوت در محیط پخش می‌شود را در یک نمودار بیاوریم نمودار ۶ را خواهیم داشت. (شکل ۶)

می‌بینیم که نموداری که از نقاط به‌دست آمده عبور داده می‌شود دارای یک ماکزیمم است. با توجه به شکل ۶

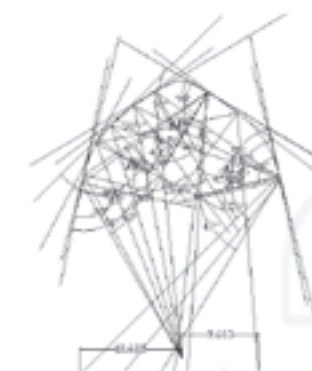
شکل ۱۱: نحوه تغییر بیشترین فاصله انتشار صوت با ارتفاع منبع صوت هنگامی که گنبد در ارتفاع ۳۹/۰۹۷ متری قرار گرفته است.



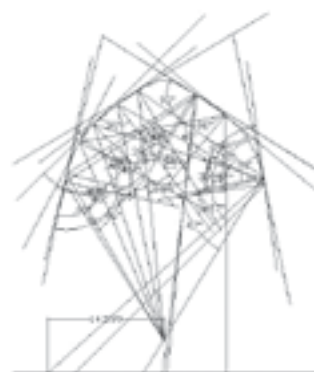
شکل ۱۲: نحوه بازتابش صوت از گنبد داخلی مسجد هنگامی که گنبد در ارتفاع ۳۶/۶۹۷ متری و منبع صوت بر روی زمین قرار گرفته است.



شکل ۱۳: نحوه بازتابش صوت از گنبد داخلی مسجد هنگامی که گنبد در ارتفاع ۳۶/۶۹۷ متری و منبع صوت در ارتفاع ۲ متری قرار گرفته است.



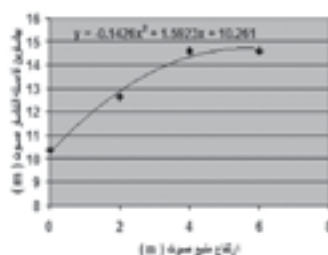
شکل ۱۴: نحوه بازتابش صوت از گنبد داخلی مسجد هنگامی که گنبد در ارتفاع ۳۶/۶۹۷ متری و منبع صوت در ارتفاع ۴ متری قرار گرفته است.



شکل ۱۵: نحوه بازتابش صوت از گنبد داخلی مسجد هنگامی که گنبد در ارتفاع ۳۶/۶۹۷ متری و منبع صوت در ارتفاع ۶ متری قرار گرفته است.



شکل ۱۶: نحوه تغییر بیشترین فاصله انتشار صوت با ارتفاع منبع صوت هنگامی که گنبد در ارتفاع ۳۶/۶۹۷ متری قرار گرفته است.



شکل ۱۷: نحوه بازتابش صوت از گنبد داخلی مسجد هنگامی که گنبد در ارتفاع ۳۳/۶۹۷ متری و منبع صوت بر روی زمین قرار گرفته است.



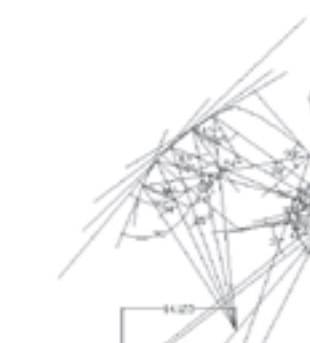
شکل ۱۹: نحوه بازتابش صوت از گنبد داخلی مسجد هنگامی که گنبد در ارتفاع ۳۳/۶۹۷ متری و منبع صوت در ارتفاع ۴ متری قرار گرفته است.



شکل ۱۸: نحوه بازتابش صوت از گنبد داخلی مسجد هنگامی که گنبد در ارتفاع ۳۳/۶۹۷ متری و منبع صوت در ارتفاع ۲ متری قرار گرفته است.



شکل ۲۰: نحوه بازتابش صوت از گنبد داخلی مسجد هنگامی که گنبد در ارتفاع ۳۳/۶۹۷ متری و منبع صوت در ارتفاع ۶ متری قرار گرفته است.



بیشترین انتشار صوت را زمانی خواهیم داشت که منبع صوت در ارتفاع ۱۳/۳۹۶ متری از سطح زمین قرار گیرد. در این زمان صوت در فضایی به شعاع ۱۳/۷۴۲ متری منتشر خواهد شد.

۲- گنبد در ارتفاع ۳۹/۰۹۷ متری

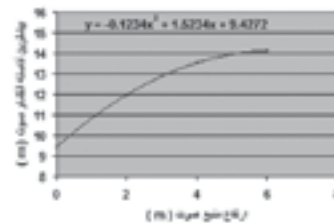
الف- منبع صوت بر روی زمین قرار دارد. (شکل ۷)
ب- منبع صوت در ارتفاع ۲ متری قرار دارد. (شکل ۸)
ج- منبع صوت در ارتفاع ۴ متری قرار گرفته است. (شکل ۹)
د- منبع صوت در ارتفاع ۶ متری قرار گرفته است. (شکل ۱۰)
با توجه به این اشکال می‌توانیم مانند پایین نموداری را رسم کنیم. (شکل ۱۱)
با استفاده از شکل ۱۱ زمانی که منبع صوت در ارتفاع ۲۲۴/۳ متری از سطح زمین قرار گیرد بیشترین انتشار صوت را داریم. در این زمان صوت در دایره‌ای به شعاع ۲۳/۱۷۶ متری منتشر خواهد شد.

۳- گنبد در ارتفاع ۶۹۷/۳۶ متری

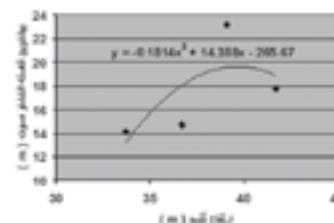
الف- منبع صوتی در روی زمین قرار گرفته است. (شکل ۱۲)
ب- منبع صوتی در ارتفاع ۲ متری قرار گرفته است. (شکل ۱۳)
ج- منبع صوتی در ارتفاع ۴ متری قرار گرفته است. (شکل ۱۴)
د- منبع صوتی در ارتفاع ۶ متری قرار گرفته است. (شکل ۱۵)
نموداری که از این اشکال به دست می‌آیند به صورت زیر است. (شکل ۱۶)
با توجه به شکل ۱۶ بیشترین انتشار صوت در زمانی است که منبع صوت در ارتفاع ۵/۵۸۳ متری قرار گیرد و در این زمان در محیطی به شعاع ۱۴/۷۰۶ متر صوت منتشر خواهد شد.

۴- گنبد در ارتفاع ۳۳/۶۹۷ متری

الف- منبع صوت بر روی زمین قرار گرفته است. (شکل ۱۷)
ب- منبع صوت در ارتفاع ۲ متری قرار گرفته است. (شکل ۱۸)
ج- منبع صوت در ارتفاع ۴ متری قرار گرفته است. (شکل ۱۹)
د- منبع صوت در ارتفاع ۶ متری قرار گرفته است. (شکل ۲۰)
با توجه به این اشکال نمودار ۲۱ به دست می‌آید. (شکل ۲۱)
با توجه به شکل ۲۱ زمانی که منبع صوت در ارتفاع ۶/۱۷۳ متری قرار گیرد بیشترین انتشار صوت را در محیطی به شعاع ۱۴/۱۲۹ متر داریم.



شکل ۲۱: نحوه تغییر بیشترین فاصله انتشار صوت با ارتفاع منبع صوت هنگامی که گنبد در ارتفاع ۳۳/۶۹۷ متری قرار گرفته است.



شکل ۲۲: نحوه تغییر بیشترین فاصله انتشار صوت با ارتفاع گنبد

نتیجه

حال با توجه به بیشترین فضایی که صوت در آن منتشر می‌شود و ارتفاع گنبد از سطح زمین می‌توانیم نمودار مربوطه را رسم کنیم. (شکل ۲۲)

با استفاده از این نمودار می‌توانیم محاسبه کنیم که گنبد برای اینکه صوت را در بیشترین فضای ممکن پخش کند باید در چه ارتفاعی باشد. ارتفاعی که به دست می‌آید برابر ۳۹/۶۸۵ متری است. می‌بینیم که ارتفاع اپتیممی که از این روش به دست آورده‌ایم بسیار نزدیک به ارتفاعی است که گنبد واقعی در آن قرار گرفته است.

بنابراین با توجه به شکلی که گنبد دارد بهترین ارتفاعی که باید

در آن قرار می‌گرفت ارتفاعی است که هم اکنون گنبد دارد. صوتی که به این گنبد می‌رسد می‌تواند مستقیماً از منبع صوتی ناشی شده باشد یا اینکه بعد از برخورد به دیواره‌ها و بازتابش به گنبد رسیده باشد. از آنجا که اگر صوت بعد از برخورد به دیواره‌ها بازتابانده شود و به گنبد برسد، فاصله زیادتری را باید طی کند، بنابراین فاصله زمانی تولید صوت تا به گوش رسیدن آن طولانی‌تر خواهد بود. نتیجه این امر وجود طنین در چنین بناهایی است که امروزه در تالارهای موسیقی و کنفرانس امری نامطلوب به شمار می‌آید.

اما اگر بتوانیم صوتی را که بعد از بازتابش به گنبد خواهد رسید مهار کنیم می‌توانیم بدون نیاز به بلندگو صدای یک ساز یا سخنران را به خوبی به تمامی افراد حاضر در محیطی که گنبد بالای آن قرار دارد، رساند. برای انجام این امر می‌توان از پانل‌های جاذب صوت بر روی دیواره استفاده کرد.

همانطور که در محاسبات دیدیم با تغییر مکان قرارگیری گنبد می‌توان فضایی که صوت در آن پخش می‌شود را تغییر داد. بنابراین اگر یک تالار موسیقی یا کنفرانس را در نظر بگیریم، ابعاد آن می‌تواند گویای این مطلب باشد که گنبد باید در چه ارتفاعی از زمین قرار گیرد.

همانطور که در بالا دیدیم بهترین ارتفاع گنبد برای آن که بیشترین فضا را پوشش دهد در حدود ۳۹/۶۸۵ متری است. این ارتفاع برای گنبدی که ابعاد گنبد مسجد امام را داشته باشد ثابت است. چنین گنبدی با این ارتفاع می‌تواند یک فضای دایره‌ای شکل به شعاع در حدود ۲/۲۳ متر را پوشش دهد تا صوت در تمامی این فضا به خوبی منتشر شود.

اگر بخواهیم که فضایی بیش از این مقدار را تحت پوشش قرار دهیم باید ابعاد گنبد و ارتفاع آن را به نسبت اندازه سالن به عدد بالا افزایش دهیم.

منابع و مأخذ:

1. [HTTP://TV2.IRIB.IR/FARHANGI/HTML/ MASJEDEEMAM.HTM](http://tv2.irib.ir/farhangi/html/masjedeemam.htm)
2. [HTTP://ARCHNET.ORG/LIBRARY/SITES/ONE-SITE.JSP?SITE_ID=2306](http://archnet.org/library/sites/one-site.jsp?site_id=2306)
3. [HTTP://WWW.123EXP-PLACES.COM/T/ 01121155441/](http://www.123exp-places.com/t/01121155441/)
4. R.H. RANDALL, AN INTRODUCTION TO ACOUSTICS, (ADDISON-WESLEY, 1951)
5. A.B. WOOD, A TEXTBOOK OF SOUND, (BELL & SONS, 1944)
6. VERN O. KNUDSEN, ARCHITECTURAL ACOUSTICS, [HTTP://WWW.ZAINEA.COM/ KNUDSEN.HTM](http://www.zainea.com/knudsen.htm)
7. SOUND WAVE DYNAMICS, [HTTP://WWW.DU.EDU/~JCALVERT/WAVES/WAVDYNAM.HTM](http://www.du.edu/~jcalvert/waves/wavdynam.htm)