

ارائه مدلی تجربی برای تعیین شعاع ایمن امواج ضربه‌ای هوا در روش تخریب

انفجاری برای سازه‌های بتنی

شیر ارشدنژاد

عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد محلات، گروه مهندسی معدن

چکیده

تخریب سازه‌ها با روش انفجار کنترل شده در اغلب کشورهای صنعتی جهان به عنوان روش نسبتاً جدید مهندسی مورد توجه قرار گرفته است. عوامل متعددی نظیر شناخت مصالح و تحلیل سازه، انتخاب نوع و مقدار ماده منفجره، تعیین روش‌های گوناگون حفاری و انفجار کنترل شده، بررسی اثرات جانبی انفجار و تاثیر آن بر سازه‌های مجاور نظیر انتشار موج انفجار در هوا، پرتاب ذرات و لرزش زمین، در گستره این تکنیک است. در این مقاله به بررسی کنترل انتشار شدت موج انفجار در هوا پرداخته می‌شود. گاهی شدت موج انفجار می‌تواند باعث شکسته شدن شیشه‌ها و ساختارهای ضعیف برخی ساختمان‌ها تا مسافت‌های طولانی گردد، البته اگر همزمان با پدیده اینورژن و باد باشد. در تبیین مدل پیشنهادی از استانداردهای معتبر جهانی در زمینه تعیین حدود مجاز تراز شدت صوت و فشار صوت، نظیر استانداردهای آمریکا، انگلستان، استرالیا و اسپانیا، استفاده گردید. به منظور استفاده از مدلسازی فیزیکی و انجام تعداد معقولی آزمایش، اقدام به ساخت ۲۲ ستون بتنی گردید. در هر ستون سه چال انفجاری طوری حفر گردید که انفجار مستقل هر کدام، بدون مشکل و اثرگذاری روی چال دیگر، انجام گیرد. پس از انجام هر انفجار مقدار ماده منفجره و تراز شدت صوت (در رده A) در هر فاصله معین، تعیین و ثبت گردید. در پایان، با آنالیز داده‌ها به صورت لگاریتمی و رگرسیون چندگانه، مدلی تجربی و دو پارامتری برای تعیین تراز شدت صوت در هر فاصله و با هر مقدار ماده منفجره بدست آمد. با کمک مدل ارائه شده در این مقاله و با در اختیار داشتن مقدار ماده منفجره در هر پریود و مقدار استاندارد تراز شدت صوت، فاصله و شعاع ایمن انفجار را می‌توان تعیین نمود.

واژگان کلیدی: تخریب انفجاری، موج ضربه‌ای در هوا، سازه بتنی، مدل تجربی.

مقدمه

ساختمان‌ها، می‌توانند عواملی توجیه پذیر برای تخریب یک سازه باشند. برخی اوقات آتش‌سوزی، صدمات ناشی از زلزله و یا تخریب ناموفق یک سازه به روش‌های دیگر، علت استفاده از روش تخریب انفجاری سازه است.

امروزه با افزایش جمعیت جهان و پیرو آن افزایش جمعیت شهرها، نیاز به ساخت و ساز افزایش یافته است. مقدار این افزایش و حتی سرعت رشد آن نیز روز به روز فزونی می‌یابد. بنابراین نیاز به فضای بیشتر برای احداث بنا بدیهی است. علاوه بر آن وجود سازه‌های کهنه و قدیمی و یا حتی تغییر کاربری

به همین جهت از چکش‌های پنوماتیکی با قطر کوچک به طور گسترده‌ای استفاده می‌شود. این چال‌ها دارای قطرهای ۲۲، ۲۴، ۲۸، ۳۲، ۳۴، ۳۸ میلی‌متر می‌باشند. هنگامی که خرج مصرفی در چال انفجاری کاهش می‌یابد چال‌هایی با قطر ۳۴ میلی‌متر، به طور کامل بهره‌وری ندارند. بنابراین از روش چال‌های با قطر کم (۲۲ میلی‌متر) استفاده می‌شود [۲].

برای حفر چال در بتن از چکش‌های پنوماتیکی ۲۵ کیلوگرمی برای چال‌های عمودی با طول بیش از ۳/۶ متر و از انواع ۱۲ کیلوگرمی برای چالهای افقی با طول حداکثر یک متر استفاده می‌شود. فقط وقتی که عملیات انفجار بر روی فونداسیون‌های بزرگ یا ساختمان‌هایی انجام می‌شود که در محل باز قرار دارند و خطر پرتاب مصالح اهمیت چندانی ندارد، می‌توان از چال‌هایی با قطر ۵۰ تا ۶۵ میلی‌متر استفاده کرد [16]. چون ساختمان‌ها عموماً از بتن و آجر و گاهی سنگ ساخته می‌شوند، باید از ماده منفجره با انرژی زیاد استفاده شود. این به آن معنی است که خرج مصرفی باید چگالی و سرعت انفجار بالایی داشته و در عین حال از حساسیت مطمئنی برخوردار باشد. به همین دلیل از فشنگ‌های ژلاتینی ۲۲ تا ۲۶ میلی‌متر و به ندرت از پودرها و ژلاتین‌های مایع سنگین و فتیله‌های انفجاری نیز استفاده می‌شود [۴].

مهمترین پیامدهای روش تخریب انفجاری سازه‌ها (Demolition) تولید و انتشار موج انفجار در هوا، خطر پرتاب ذرات ناشی از انفجار و لرزش زمین می‌باشد. مورد اول یعنی تولید و انتشار موج انفجار در هوا موضوع مورد بحث و تحقیق در این مقاله است که در ادامه به تفصیل به آن پرداخته خواهد شد. اما در مورد کنترل پرتاب ذرات و لرزش زمین دو مدل تجربی ارائه شده در این زمینه، مطرح می‌شوند.

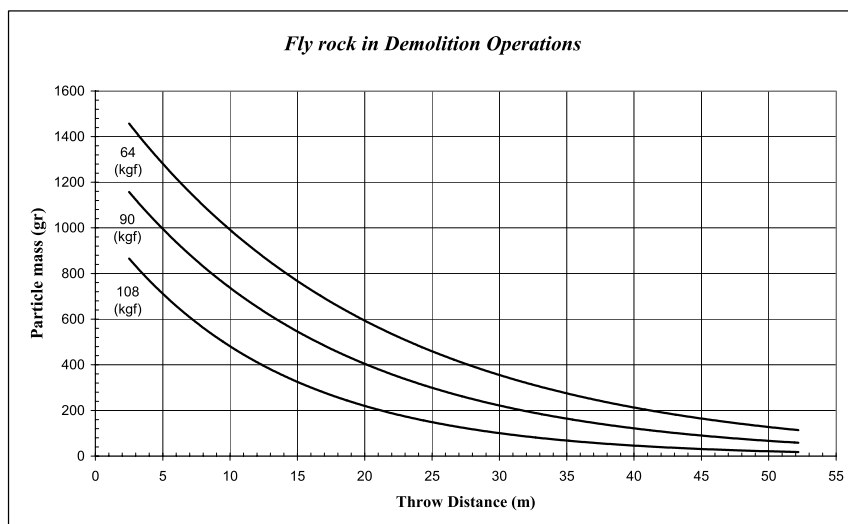
تخریب انفجاری سازه‌ها، با تضعیف نمودن تعدادی از اعضای حساس و باربر سازه میسر می‌شود. پس از قطع و یا تضعیف اعضای مورد بحث، نیروی گرانش باعث از بین بردن تعادل استاتیکی سازه و در نهایت سقوط آن می‌گردد. در طراحی الگوی حفاری و انفجار اجزای سازه، تعداد و ابعاد چال‌های انفجاری (در آتشکاری محصور) و یا نقاط خرج‌گذاری (در آتشکاری روستحی) و سپس مقدار و نوع ماده منفجره انتخاب می‌گردد. هوا حدود هشتاد درصد فضایی را که ساختمان محصور می‌کند، به خود اختصاص می‌دهد [15]. وقتی که طبقات یک ساختمان بر روی هم خراب می‌شوند، هوای موجود در بین طبقات در حال تخریب، مانند هوای موجود در سیلندر و پیستون فشرده می‌شود. این تراکم باعث ایجاد ارتعاش شدید هوا و صدای مهیب می‌گردد. این امواج می‌توانند باعث شکستن شیشه‌های سازه‌های مجاور و باعث پرتاب خرده‌های مصالح تا شعاعی دورتر از محیط پیش‌بینی شده، شوند. به همین علت نواحی خرج‌گذاری شده توسط توری فلزی و پارچه‌های مقاوم به دقت پوشیده می‌شوند [10]. اما علاوه بر موارد فوق، باید اشاره شود که عملاً مهمترین عامل در ایجاد موج ضربه‌ای در هوا، انتشار امواج انفجار در هوا (Air Blast) بوده که توسط مواد منفجره تولید می‌شود. هر چند که نمی‌توان تمام این انرژی صوتی (موج انفجار در هوا) را از بین برد، ولی می‌توان تا حدود زیادی آن را کنترل کرده و همچنین فاصله ایمن را تعیین نمود.

برای تخریب سازه از مواد منفجره مخصوصی که معمولاً فشنگ‌هایی به وزن کمتر از ۵۰ گرم می‌باشند، استفاده می‌شود [15]. چال‌های انفجاری معمولاً در جاهایی که دسترسی به آن مشکل است، حفر می‌شوند

۱- کنترل پرتاب ذرات

گرفته و مهار کند. پس از انفجار و تخریب دودکش تعداد زیادی نمونه از ذرات پرتاب شده تهیه شد. این نمونه‌ها به منظور تامین داده‌های مورد استفاده در آنالیز آماری، با سه پارامتر جرم ذرات، مسافت پرتاب ذرات و مقاومت کششی پوشش انفجاری تهیه شدند. آنها در نهایت گرافی (شکل ۱) را ارائه نمودند که می‌توان به کمک آن جرم و مسافت پرتاب ذرات را با توجه به مقاومت پوشش انفجاری تعیین نمود. لازم به توضیح است که این گراف قابل درون‌یابی برای سایر مقادیر مقاومت کششی پوشش انفجاری است.

یکی از تحقیقات انجام شده در این زمینه در ایران توسط ارشدنژاد و همکارانش [۱۰] ارائه گردید. آنها در این پژوهش یک دودکش آجری ساختند و پس از حفاری چالهای ۳۲ میلیمتری و بکارگیری دینامیت اخگر ۲۲ میلیمتری، دودکش را مورد تخریب قرار دادند. البته لازم به ذکر است که قبل از انفجار، دور دودکش در ناحیه حفاری و خرج گذاری شده، با سه نوع برزنت مخصوص پوشیده شده بود تا بتواند بخشی از انرژی جنبشی ذرات در حال پرتاب را



شکل ۱- برآورد جرم ذرات بر اساس مسافت پرتاب و مقاومت کششی پوشش انفجاری [۱۰]

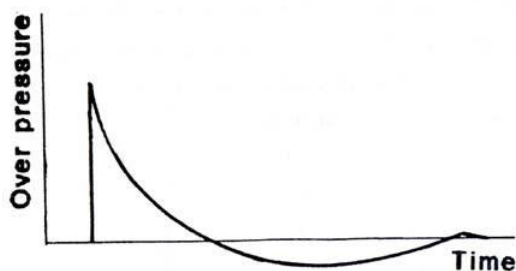
۲- کنترل لرزش زمین

سازه‌ها، توسط ساوادا و همکارانش [۱۲] ارائه شده است.

$$V = 652 \frac{Q^{0.75}}{R^2} \quad (1)$$

که در آن V ، سرعت ارتعاش ذرات (mm/s)، Q ، مقدار ماده منفجره‌ای که در یک لحظه و به طور همزمان منفجر می‌شوند (kg)، R ، فاصله نقطه مورد بررسی تا محل انفجار (m).

برای تعیین میزان ارتعاشات در زمین، برخی از محققان میزان جابجایی حداکثر رخ داده در سطح زمین ملاکی برای کنترل ارتعاش در نظر گرفته‌اند. برخی دیگر شتاب حرکت ذرات و بعضی دیگر نیز سرعت ارتعاش ذرات را ملاک بررسی قرار داده‌اند. از دهه ۷۰ میلادی به بعد سرعت ارتعاش ذرات به عنوان ملاکی معتبر در نزد کلیه مجامع علمی پذیرفته شد. یکی از معتبرترین مدل‌های تجربی ارائه شده برای برآورد سرعت ارتعاش ذرات ناشی از روش تخریب انفجاری



شکل ۲- نمودار فشار موج انفجار در برابر زمان [۴]

امواج انفجار در هوا یک دامنه وسیع فرکانس دارند که مقدار آن بین $1/Hz$ تا $200 Hz$ در نوسان است. فرکانس با طیف بیش از $20 Hz$ (تا $20000 Hz$) امواج صوتی قابل ادراک (شنیدن) توسط انسان هستند که به عنوان صدا یا نویز (Noise) شناخته می‌شوند. واحد اندازه‌گیری امواج فشاری میلی‌بار ($mbar$) یا کیلو پاسکال (kPa) است ($1 bar = 10^{-1} kPa$). لازم به ذکر است که برای تعیین تراز شدت صوت سه رده A , B , C وجود دارد، که به طور مثال به صورت $(dB A)$ نمایش داده می‌شود. این رده‌ها بر اساس طیف فرکانس صوت تعریف می‌شوند. اما در این میان رده A از کاربرد بیشتری برخوردار بوده و بیشتر کتاب‌ها و آیین‌نامه‌ها با این رده معرفی می‌شوند [22]. فراوانی کاربرد این رده باعث شده تا در بسیاری از موارد از نوشتن اندیس A خودداری شود. در صورتی که از رده‌های نام برده دیگر استفاده شود، نام و مشخصه آن حتماً قید می‌شود. اگر در محیط مورد بررسی بجای یک منبع دو یا n منبع تولید صوت (به طور همزمان) وجود داشته باشد، می‌توان برای تعیین تراز شدت صوت برآیند، از رابطه زیر بهره جست [22].

$$L_p = 10 \times \log \left(10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + 10^{\frac{L_3}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_n}{10}} \right) \quad (2)$$

علت ایجاد موج انفجار، انبساط و انتشار گازهای سوزان و فشرده‌ای است که از محل انفجار (چال انفجاری) با سرعت به خارج حرکت کرده و فشار اتمسفر اطراف را بالا می‌برند [14]. امواجی که در لحظات بعدی به اطراف گسترده می‌شوند سرعتشان از امواج اولیه زیادتر است. زیرا از داخل هوایی عبور می‌کنند که توسط امواج اولیه گرم شده است. به همین دلیل امواج ثانویه در یک زمان معین به امواج اولیه می‌رسند و فشارشان با هم توأم شده و تشکیل یک سطح پرفشار به نام جبهه موج را می‌دهند. هنگامی که جسمی در برابر این جبهه قرارگیرد، فشار رویه‌ای آن بالا رفته و در یک لحظه بسیار کوتاه به ماکزیمم اندازه خود می‌رسد. این فشار به سادگی جسم را دور زده و از همه طرف آنرا احاطه کرده و می‌فشارد. فشار ایجاد شده بوسیله انفجار ماده منفجره در جبهه موج ضربه‌ای در حدود 400 تا 500 متر را پیموده و فشار داخل آن با چنان سرعتی کاهش می‌یابد که عملاً از فشار اتمسفر اطراف کمتر می‌شود. در این حالت یک فشار منفی ایجاد می‌شود که هوا را می‌مکد. این مرحله به نام مرحله مکش یا فشار منفی خوانده می‌شود. طول زمان مرحله منفی سه تا سه و نیم برابر مرحله مثبت است، در مرحله مثبت باد به طرف خارج حرکت می‌کند، در حالیکه در مرحله منفی سوی باد به داخل است. در ابتدای انفجار، فشار به ماکزیمم مقدار خودش می‌رسد (مرحله مثبت) ولی به تدریج از شدت آن کاسته شده و به مقدار اتمسفر می‌رسد و سپس مرحله منفی آغاز شده و بالاخره مجدداً به میزان اتمسفر می‌رسد. شکل ۲ این پدیده را در قالب یک نمودار نشان می‌دهد [۲].

که در آن L_p تراز شدت صوت برآیند (dB)،
 L_1, L_2, L_3, L_n ترازهای شدت صوت ناشی از هر یک
 منابع تولید صوت در محیط (dB).

نمونه‌ای از یکی از دستگاه‌های قابل حمل صدا
 سنجی که در این پژوهش از آن استفاده گردید.
 این دستگاه قادر است تا تراز شدت صوت را بین
 ۳۰ تا ۱۳۰ دسی بل در دو رده A, C اندازه‌گیری
 کند.

مدل‌های تجربی امواج ضربه‌ای هوا در معادن

برای محاسبه فشار موج ضربه در هوا در شرایطی که
 انفجار با خرج محصور (درون چال) صورت گیرد-
 مانند آشکاری جهت تخریب اعضای بتنی یا آجری
 با حفر چال در آن‌ها- رابطه زیر ارائه شده است [14].
 لازم به ذکر است که از این رابطه در معادن سطحی
 استفاده می‌شود.

$$P = 3.3 \left(\frac{Q^{1/3}}{R} \right)^{1.2} \quad (3)$$

یکی از پژوهش‌های جالب در زمینه اثر موج انفجار بر
 سازه‌ها توسط ردپس (Redpath) [16] انجام شد.
 مدلی که وی ارائه نمود برای تعیین میزان احتمال
 شکستن پنجره‌ها در اثر انتشار موج انفجار در هوا،
 بکار می‌رود که به شرح زیر است.

$$PR_c = 2.043 \times 10^{-5} \times A_v^{1.22} \times P^{2.78} \quad (4)$$

که در آن PR_c احتمال شکسته شدن شیشه‌ها (%)،
 A_v مساحت سطح شیشه‌ها در برابر مسیر انتشار موج
 انفجار (m^2)، P فشار موج انفجار در هوا (kPa).

مهمترین روش کاهش شدت موج انفجار در هوا
 استفاده از انسداد چال انفجاری در اجزای مورد
 تخریب سازه می‌باشد [23]. در این روش که البته در
 اصول حفاری و انفجار در معادن رایج بوده و مورد
 استفاده قرار می‌گیرد، پس از حفر چال در عضو بتنی و

خرج گذاری آن توسط دینامیت، طول باقی مانده در
 چال (فضای خالی سر چال) با گِل پر می‌شود. این
 عمل باعث می‌شود تا مجموعه چال، ماده منفجره و
 گِل مسدود کننده آن مانند سیستم سیلندر و پیستون در
 موتورهای احتراق داخلی، عمل نماید [۳]. فشار زیاد
 ناشی از انفجار باعث شکسته شدن توده بتن در
 برگرفته آن می‌شود. البته مقداری از انرژی انفجار به
 صورت موج انفجار در هوا منتشر می‌شود که ثابت
 شده در صورت وجود گِل گذاری در چال، بخش قبل
 ملاحظه‌ای از این انرژی مهار شده و شدت صوت
 منتشر شده در محیط کاهش می‌یابد [۲]. یوشیدا و
 همکارانش [23] مدلی تجربی برای تعیین میزان تراز
 شدت صوت بر اساس مقدار طول پر شده چال از گِل
 ماسه‌ای را برای ۱۰۰ گرم ماده منفجره (در تخریب
 بتن) در فاصله ۱۵ متری به شکل زیر بدست آوردند.

$$L_r = -44 \log T + 145 \quad (5)$$

آنها برای ۲۰ گرم ماده منفجره در فواصل ۱۵ و ۳۰
 متری مدل‌های زیر را به ترتیب بیان شده، ارائه کردند.

$$L_r = -32 \log T + 131 \quad (6)$$

$$L_r = -32 \log T + 126 \quad (7)$$

که در آن‌ها L_r تراز شدت صوت (dB)، T طول
 انسداد چال با گِل ریز دانه ماسه‌ای (cm).

استانداردهای ایمنی در برابر موج انفجار در هوا

برای تعیین حدود ایمن فشار موج انفجار در هوا و
 تراز شدت صوت، تاکنون استانداردهای گوناگونی در
 جهان ارائه شده‌اند. در این قسمت به چند مورد از
 مهمترین و معتبرترین استانداردهای رایج در جهان
 اشاره می‌شود.

استاندارد انگلستان: بنابر دستورالعمل کنترل سر و
 صدا (نویز) در انگلستان (Physical Agents
 Directive (Noise)) در سال ۲۰۰۳ میلادی، میزان

تراز شدت صوت مجاز در محیط‌های کاری به شرح جدول ۱ است.

جدول ۱- آستانه تراز شدت صوت و فشار صوت در محیط‌های کاری [۱۳]

۸۷ (dB)	مقدار حداکثر شدت صوت برای مدت ۸ ساعت کار مداوم در محیط
۱۴۰ (dB)	مقدار حداکثر شدت صوت برای یک لحظه ی کوتاه (مانند انفجار)
۰/۲ (kPa)	

معادن آمریکا [۱۶] و [۲۳] (۱۹۷۱) به شرح جدول ۳ می‌باشد.

استاندارد دیگری در سال ۱۹۸۷ [۲۲] به شرح جدول ۴ با توجه به تراز شدت صوت و محدوده فرکانس امواج صوتی ارائه گردیده است.

استاندارد اسپانیا: جدول زیر مقادیر استاندارد فشار امواج انفجار در هوا که از منابع گوناگون تهیه شده است را در بر دارد. این جدول به استاندارد آمریکا بسیار نزدیک است ولی با کمی تغییر مورد پذیرش اسپانیا گردیده است [۱۱].

به منظور معنادار شدن مقادیر عددی تراز شدت صوت ناشی از منابع گوناگون صوتی، می‌توان از جدول ۶ به عنوان نمونه استفاده کرد [۱۱].

استاندارد استرالیا: استاندارد تراز شدت صوت مجاز در اماکن مختلف در استرالیا [۲۰] با توجه به آلودگی صوتی ناشی از پرواز هواپیماها و ترافیک هوایی به شرح زیر است.

استاندارد آمریکا: استاندارد محدوده مجاز فشار موج انفجار در هوا بر اساس تحقیقات انجام شده در اداره

جدول ۲- استاندارد حدود ایمن تراز شدت صوت در استرالیا [20]

حدود مجاز تراز شدت صوت dB(A)						مکان
تعداد پرواز هواپیما در هر روز بیشتر از ۲۰ عدد		تعداد پرواز هواپیما در هر روز کمتر از ۲۰ عدد				
غیر قابل قبول	احتیاط	قابل قبول	غیر قابل قبول	احتیاط	قابل قبول	
> ۸۵	۸۵ - ۷۵	< ۷۵	> ۹۰	۹۰ - ۸۰	< ۸۰	خانه و یا آپارتمان مسکونی
> ۹۰	۹۰ - ۸۰	< ۸۰	> ۹۵	۹۵ - ۸۵	< ۸۵	هتل، متل و یا خوابگاه
> ۸۵	۸۵ - ۷۵	< ۷۵	> ۹۰	۹۰ - ۸۰	< ۸۰	مدارس و دانشگاه‌ها
> ۸۵	۸۵ - ۷۵	< ۷۵	> ۹۰	۹۰ - ۸۰	< ۸۰	بیمارستان و اماکن تحت پرستاری
> ۹۰	۹۰ - ۸۰	< ۸۰	> ۹۵	۹۵ - ۸۵	< ۸۵	ساختمان‌های عمومی
> ۹۰	۹۰ - ۸۰	< ۸۰	> ۱۰۰	۱۰۰ - ۹۰	< ۹۰	ساختمان‌های تجاری
> ۱۰۰	۱۰۰ - ۹۰	< ۹۰	> ۱۰۵	۱۰۵ - ۹۵	< ۹۵	ساختمان‌های صنایع سبک
بدون محدودیت	بدون محدودیت	بدون محدودیت	بدون محدودیت	بدون محدودیت	بدون محدودیت	ساختمان‌های صنایع سنگین

جدول ۳- محدوده های فشار موج انفجار در هوا (استاندارد آمریکا ۱۹۷۱) [16, 23]

توصیف	فشار موج انفجار در هوا (kPa)
بشقاب ها و پنجره های سست مرتعش می شوند.	۰/۲
در پنجره‌های ضعیف ممکن است ترک‌های پر مانند ایجاد شود.	۵
همه پنجره‌ها خواهند شکست.	۱۴
حد مجاز برای سازه‌ها.	۳/۵
حد مجاز برای انسان در محیط کاری.	۰/۲
حد مجاز برای انسان در محیط مسکونی.	۰/۰۵

جدول ۴- محدوده‌های فشار صوت برای ساختمان‌ها و مکان‌های تجمع، کلیسا و مدرسه [22]

محدوده فرکانس موج صوتی (Hz)	حداکثر تراز شدت صوت (+-3dB), (dB)
≤ 1	۱۳۴
≤ 2	۱۳۳
≤ 6	۱۲۹
رده C در اندازه‌گیری تراز شدت صوت	۱۰۵ (dB C)

جدول ۵- محدوده های فشار موج انفجار در هوا [۱۱]

تراز شدت صوت (dB)	فشار موج ضربه در هوا (kPa)	تاثیر احتمالی
۱۸۰	۲۰	خسارت شدید ساختمان‌ها
> ۱۷۰	$> ۶/۳$	ایجاد ترک در گچ روکار
۱۷۰	۶/۳	شکستن اکثر پنجره‌ها
۱۵۰	۰/۶۳	شکستن برخی از پنجره‌ها
۱۴۰	۰/۲	شکستن احتمالی پنجره‌های بزرگ
۱۳۶	۰/۱۳	حد مجاز ارتعاش هوا (USBM)
۱۲۰	۰/۰۲	شکایات و اعتراض های مردم
۱۱۵	۰/۰۱۱۲	شکستن پنجره‌های بزرگ با احتمال کمتر از ۶٪

جدول ۶- تراز شدت صوت ناشی از منابع گوناگون [۱۱]

تراز شدت صوت (dB) A	توصیف
۰	آستانه شنوایی گوش انسان
۱۰	خش خش برگ‌ها
۲۰	صحبت کردن عادی در فاصله ۱ متری
۳۰	مکان های روستایی (باغ) در شب هنگام
۴۰-۵۰	دفاتر خصوصی (کاری)
۶۰-۷۰	دفاتر کار باز (پارتیشن‌بندی بدون سقف)
۷۰	هم همه در خیابان با ترافیک شلوغ
۸۰	قطار زیر زمینی (مترو)
۹۰	دستگاه حفاری پنوماتیکی در ۳ متری
۹۰	کارگاه های کوچک مهندسی
۱۰۰	عملیات برش چوب در کارگاه
۱۱۰	محافل و مجالس شبانه
۱۲۰	انفجار های ناشی از آتشکاری محصور
۱۲۰	آستانه دردناکی گوش انسان
۱۳۰	موتور جت در فاصله ۵۰ متری
۱۳۰	شلیک مسلسل
۱۴۰	غرش هواپیمای جت در حین بلند شدن
۱۷۰	راکت فضایی، در موقع بلند شدن

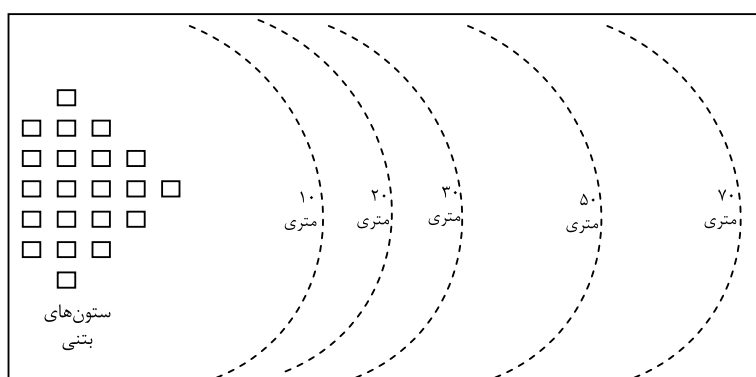
روش تحقیق

بود. علت این تصمیم آن بود که مقدار ماده منفجره‌ای که در هر مرحله از عملیات به صورت همزمان منفجر می‌گردید، همانند آنچه در پروژه‌های تخریب انفجاری در سازه‌های بزرگ مورد استفاده قرار می‌گیرد، باشد. علاوه بر این قطر چال مورد بحث اندازه‌ای است که در اغلب پروژه‌های چالزنی و آتشکاری از آن استفاده می‌شود. معمولاً از قطرهای ۲۸، ۳۲، ۴۴ و ۵۱ و به ندرت ۶۴ میلیمتر در تخریب انفجاری سازه‌ها استفاده می‌شود. اصله چال‌ها در هر ستون از یکدیگر (۳۵ سانتیمتر) به گونه‌ای انتخاب گردید که انفجار مستقل هر کدام، بر دیگری اثر نگذارد. شکل ۳ نمایی از ستون‌های ساخته شده و چال‌های حفر شده در آن‌ها را نشان می‌دهند. موقعیت قرارگیری ایستگاه‌های اندازه‌گیری در شکل ۴ دیده می‌شود.

در این پژوهش [۶] تعدادی ستون بتنی ساخته شد و پس از حفاری و خراج گذاری در آن‌ها با دینامیت، منفجر و تخریب شدند. ستون‌های مورد بحث به تعداد ۲۲ عدد و با مقطع ۲۰ در ۲۰ سانتیمتر و ارتفاع ۱۵۰ سانتیمتر ساخته شدند. البته باید ذکر شود که برای ساخت این تعداد ستون، ۲۸ نمونه ساخته شد، اما ۶ نمونه به دلیل وجود ترک‌های اولیه و کیفیت پایین مورد استفاده قرار نگرفت. مقاومت فشاری تک محوری بتن مورد استفاده در پایان روز بیست و هشتم به طور متوسط حدود ۲۰۸ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع، برآورد گردید. جهت تامین تعداد کافی داده‌ها برای آنالیز آماری، در هر ستون سه چال انفجاری با قطر ۴۴ میلیمتر حفر گردید. علت این امر کار گذاشتن مقدار بیشتری دینامیت در هر یک از چال‌ها



شکل ۳- ستون بتنی و موقعیت چال‌های حفر شده در آن
(قطر چال ۴۴ میلی‌متر، فاصله‌داری ۳۵ سانتیمتر)



شکل ۴- موقعیت قرارگیری ایستگاه‌های اندازه‌گیری تراز شدت صوت

بر ثانیه، مقاومت در برابر آب: خوب، جنس غلاف: کاغذ پارافینی، قطر‌ها به ترتیب: ۲۲، ۳۰ و ۵۰ میلی‌متر، طول فشنگ‌ها به ترتیب: ۱۹۵، ۲۶۵، ۳۰۰ میلی‌متر، جرم هر فشنگ به ترتیب: ۱۴۰، ۱۷۵ و ۷۷۵ گرم. چاشنی‌های بکار رفته نیز از نوع الکتریکی و فوری انتخاب شدند. ۶۶ چاشنی (در هر چال یکی) در این طرح مورد استفاده قرار گرفت.

ماده منفجره مورد استفاده، دینامیت اخگر ۲۲ میلی‌متری بود. دینامیت اخگر از انواع خمیری دینامیت‌های حاوی نیتروگلیسرین است. این ماده منفجره از اختلاط نیتروگلیسرین، نیترو سلولز و نیترات آمونیوم و برخی افزودنی‌ها ساخته شده است. کاربرد عمده آن در ایران در استخراج معادن، راهسازی، سد سازی و حفر تونل می‌باشد. مشخصات فنی آن [۵] عبارت است از: وزن مخصوص: ۱/۳۵، سرعت انفجار: ۵۰۰۰ متر

نتایج

به منظور به دست آوردن مدل تجربی (با بیشترین ضریب همبستگی) از داده‌های کسب شده در آزمایش صحرایی، ابتدا داده‌ها به صورت لگاریتمی مرتب شدند. سپس از رگرسیون چند متغیره برای برازش آن‌ها استفاده شد. شکل کلی این رگرسیون به صورت زیر است.

$$Z = A.X + B.Y + C \quad (۸)$$

که در آن Z متغیر وابسته هدف، X, Y متغیرهای مستقل، A, B, C ضرایب ثابت.

اگر به جای متغیر Z از متغیر L و به جای X از متغیر Q و به جای Y از R و همچنین به صورت لگاریتمی استفاده شود، می‌توان معادله ۸ را به صورت زیر بازنویسی نمود.

$$\log L = A \log Q + B \log R + \log k \quad (۹)$$

که در آن L تراز شدت صوت (dB)، Q مقدار ماده منفجره که در هر پریود از انفجار به صورت همزمان منفجره می‌شود (kg)، R فاصله محل انفجار تا نقطه مورد بررسی (m)، k ضریب تناسب ثابت است. این ضریب به شرح زیر به دست می‌آید.

$$C = \log k \Rightarrow k = 10^C \quad (۱۰)$$

بر اساس قانون لگاریتم، می‌توان معادله ۹ و ۱۰ را به صورت زیر نوشت.

$$\log L = \log Q^A + \log R^B + \log k \quad (۱۱)$$

$$\log L = \log [k.Q^A.R^B] \quad (۱۲)$$

در نهایت می‌توان نوشت:

$$L = k.Q^A.R^B \quad (۱۳)$$

بر مبنای آنالیز رگرسیون حاصل از داده‌های آزمایشات انجام شده (جدول ۱)، مقادیر ضرایب A, B, C و در نهایت k به شرح زیر برآورد شدند.

در زمان انجام آزمایش‌ها و اندازه‌گیری‌ها، هوا تقریباً ساکن بود و عملاً وزش باد مشاهده نشد. رطوبت محیط در حدود ۱۵ درصد و دما ۳۸ درجه اندازه‌گیری شد.

پس از مستقر شدن دستگاه اندازه‌گیری تراز شدت صوت (صدا سنج) در هر ایستگاه و رعایت نکات ایمنی، یک انفجار انجام می‌گرفت. دستگاه نیز به طور خودکار حداکثر مقدار تراز شدت صوت را بر حسب دسی بل (رده A) به صورت ثبت سریع در حافظه خود ثبت می‌نمود. به این ترتیب تک تک انفجارها انجام شده و اندازه‌گیری‌ها و ثبت آن‌ها به دقت صورت پذیرفت. لازم به ذکر است که جهت پرهیز از آلودگی‌های صوتی ناشی از منابع صوتی دیگر نظیر ماشین آلات معدنی (دستگاه‌های حفاری، لودر، بلدوزر و کامیون) ابتدا نسبت به متوقف نمودن آن فعالیت‌ها اقدام کرده و سپس انفجار انجام می‌شد. این کار برای افزایش دقت در ثبت هر داده الزامی بود. بنابراین با ملاحظات فوق، آزمایش‌ها انجام شده و داده‌ها فراهم شدند. شکل ۵ نمونه‌ای از یک چال منفجر شده را نشان می‌دهد.



شکل ۵- انفجار یک چال (به قطر ۴۴ میلیمتر) با ۲۸۴ گرم دینامت در ستون بتنی ضخامت ستون ۲۰ سانتیمتر

بیشتری نسبت به داده را نشان می‌دهد و این به معنای احتیاط بیشتر است. جدول ۲ مقادیر مورد بحث را نشان می‌دهد. نمودارهای اشکال ۶ و ۷ مقایسه‌ای بین نتایج حاصل از مدل و مقادیر اندازه‌گیری شده می‌باشند.

جدول ۱- داده‌های حاصل از آزمایشات انجام شده (انفجار ستون‌ها و ثبت مقدار تراز شدت صوت)

Q (kg)	D (m)	L (dB) A
۰/۸۵۲	۱۰	۱۲۵/۷
۰/۸۵۲	۳۰	۱۱۳/۲
۰/۸۵۲	۵۰	۱۰۷/۴
۰/۸۵۲	۷۰	۹۲/۱
۰/۷۱۰	۲۰	۱۲۲/۱
۰/۵۶۸	۱۰	۱۲۳/۳
۰/۵۶۸	۳۰	۱۰۸/۴
۰/۵۶۸	۵۰	۱۰۳/۲
۰/۵۶۸	۷۰	۸۶/۱
۰/۴۲۶	۲۰	۱۱۷/۸
۰/۲۸۴	۱۰	۱۱۹
۰/۲۸۴	۳۰	۱۰۵/۲
۰/۲۸۴	۵۰	۹۸/۴
۰/۲۸۴	۷۰	۸۲/۸
۰/۱۴۲	۱۰	۱۱۵/۲
۰/۱۴۲	۳۰	۹۸/۷
۰/۱۴۲	۵۰	۹۲/۳
۰/۱۴۲	۷۰	۸۰/۴

$$\begin{cases} A = 0.073 \\ B = -0.1653 \\ C = 2.29258 \\ k = 196.146 \end{cases} \quad (14)$$

با جایگزینی ضرایب فوق در رابطه ۱۷، مدل نهایی [۸] به صورت زیر بدست می‌آید. مقدار ضریب همبستگی این مدل نیز رضایت بخش است.

$$L = 196.15 Q^{0.073} R^{-0.165} \quad (15)$$

$$r^2 = 0.893$$

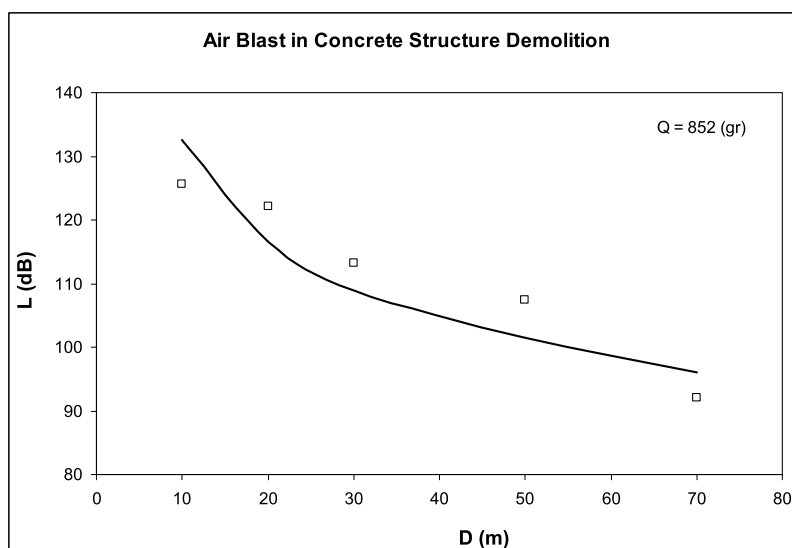
$$L = 200 Q^{0.073} R^{-0.165} \quad (16)$$

که در آن L تراز شدت صوت (dB)، Q مقدار ماده منفجره که در هر پریود از انفجار به صورت همزمان منفجره می‌شود (kg)، R فاصله محل انفجار تا نقطه مورد بررسی (m).

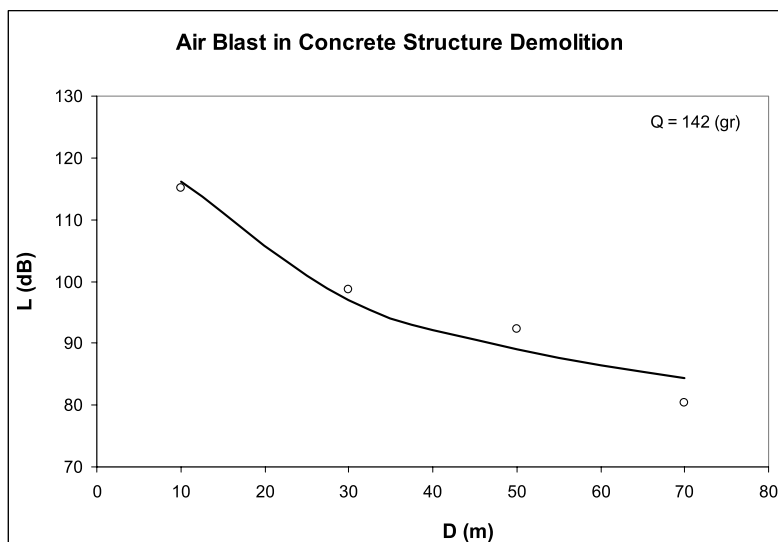
بنابراین می‌توان با کمک مدل ارائه شده در این مقاله و با در اختیار داشتن مقدار ماده منفجره در هر پریود و مقدار استاندارد تراز شدت صوت، فاصله و شعاع ایمن انفجار را تعیین نمود. به منظور تعیین اعتبار مدل ارائه شده (رابطه ۱۵)، نتایج حاصل از مدل با نتایج عددی ثبت شده در هر آزمایش، مقایسه شدند. مقایسه آن‌ها با یکدیگر حاکی از اختلاف ناچیزی است که در اهداف مهندسی به ویژه در فرایندهای دینامیکی که از عدم قطعیت بیشتری برخوردار هستند، معمولاً قابل چشم پوشی است. حداکثر اختلاف در حدود ۷ درصد است که البته لازم به توضیح است که مدل مقدار

جدول ۲- مقایسه نتایج حاصل از مدل و داده‌های حاصل از آزمایش

مقدار حاصل از مدل (dB)	مقدار اندازه‌گیری شده (dB)	اختلاف نسبی مقادیر حاصل از مدل و مقادیر اندازه‌گیری شده (%)
۱۳۲/۴۹۶	۱۲۵/۷	۵/۱۲۹
۱۱۰/۴۹۳	۱۱۳/۲	-۲/۴۵۰
۱۰۱/۵۴۶	۱۰۷/۴	-۵/۷۶۵
۹۶/۰۵۲	۹۲/۱	۴/۱۱۵
۱۱۶/۵۹۰	۱۲۲/۱	-۴/۷۲۶
۱۲۸/۶۳۱	۱۲۳/۳	۴/۱۴۵
۱۰۷/۲۷۰	۱۰۸/۴	-۱/۰۵۳
۹۸/۵۸۴	۱۰۳/۲	-۴/۶۸۲
۹۳/۲۵۱	۸۶/۱	۷/۶۶۸
۱۱۲/۳۲۲	۱۱۷/۸	-۴/۸۷۷
۱۲۲/۲۸۵	۱۱۹	۲/۶۸۶
۱۰۱/۹۷۷	۱۰۵/۲	-۳/۱۶۰
۹۳/۷۲۰	۹۸/۴	-۴/۹۹۴
۸۸/۶۵۰	۸۲/۸	۶/۵۹۹
۱۱۶/۲۵۱	۱۱۵/۲	۰/۹۰۴
۹۶/۹۴۶	۹۸/۷	-۱/۸۱۰
۸۹/۰۹۶	۹۲/۳	-۳/۵۹۶
۸۴/۲۷۶	۸۰/۴	۴/۵۹۹



شکل ۶- مقایسه مدل و مقادیر اندازه‌گیری برای ۸۵۲ گرم ماده منفجره در فواصل گوناگون [۸]



شکل ۷- مقایسه مدل و مقادیر اندازه‌گیری برای ۱۴۲ گرم ماده منفجره در فواصل گوناگون [۸]

نتیجه‌گیری

در این مقاله به بررسی روش تخریب انفجاری سازه‌ها، ماهیت امواج صوتی و چگونگی تولید و انتشار آن در محیط پرداخته شد. به منظور انجام آزمایشات مورد نظر، اقدام به مدل‌سازی فیزیکی ۲۲ عدد ستون بتنی شد. داده‌های حاصل شده برای ارائه یک مدل تجربی و با استفاده از آنالیز آماری بکار گرفته شدند. در انتها فرمولی به دست آمد که می‌توان به کمک آن مقدار تراز شدت صوت (رده A) در هر فاصله از محل انفجار و با هر مقدار ماده منفجره بکار رفته در امر تخریب سازه‌ها را برآورد نمود. با این مدل می‌توان شعاع ایمن سازه‌های مورد تخریب را با دقت مطلوبی تخمین زد. نگارنده پیشنهاد می‌کند که در آینده تحقیقات بیشتری در خصوص

اثرات جانبی روش تخریب انفجاری سازه‌ها در ایران، به منظور تهیه دستورالعمل و استاندارد جامعی برای تعیین سطوح مجاز تراز شدت صوت و لرزش زمین انجام گیرد.

قدردانی

این اثر با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد محلات به انجام رسیده است. نگارنده از زحمات بی دریغ جناب آقای مهندس علی فتحی، نهایت قدردانی را می‌نماید. همچنین از جناب آقای مهندس علی آبادی معاون پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد محلات برای پشتیبانی و تامین مالی بسیار سپاسگزار است.

منابع

- 12- Hemphill, P.E., 1981, *Blasting Operations*, McGraw- Hill, 258 p.
- 13- Hustrulid, W., 1999, *Blasting principles for open pit mining*, Vol.2, A.A.BALKEMA, 1013 p.
- 14- Hustrulid, W., 1999, *Blasting principles for open pit mining*, Vol.1, A.A.BALKEMA, 380 p.
- 15- Liss, Helene, *Demolition the art of Demolishing, Dismantling, Imploding, toppling & Razing*, Black Dog & Leventhal publishers, New York, 2000, 128 p.
- 16- Lopez Jimeno, C., Lopez Jimeno, E., Javier Ayala Carcedo, F., 1995, *Drilling and blasting of rocks*, A. A. BALKEMA, 391 p.
- 17- Nicholls, H. R., Johnson, C. F., Duvall, W. I., 1971, *Blasting Vibrations and their effects on Structures*, USBM Bulletin 656, 105 p.
- 18- Olson, J. J., Fletcher, L. R., 1971, *Airblast-Overpressure levels from confined underground production blasts*, Bureau of Mines, USA, Report of Investigations No. 7574, 24 p.
- 19- Persson, P., Holmberg, R., Lee, J., 1994, *Rock blasting and explosives engineering*, CRC Press, 540 p.
- 20- Rosenthal, M. F., Morlock, G. L., 1987, *Blasting Guidance Manual*, Office of Surface Mining Reclamation and Environment, US Department of the Interior, March, 201 p.
- 21- Sawada, I., Yamaguchi, U., Kobayashi, N., Nakajiko, M., Shibata, H., Shindo, T., 1994, *Blasting demolition of six-storey reinforced concrete apartment building (Part 3)*, Conference of Demolition and Reuse of concrete and Masonry, Vol. One, Demolition Methods and Practice (RILEM), Edited by: Erik K. Laereitzen, London, pp: 171-181.
- 22- South, T., 2004, *Managing Noise and Vibration at Work*, Elsevier, Oxford, 267 p.
- 23- Yoshida, T., Wada, Y., Kobayashi, N., Saito, T., 1988, *Reducing the blasting noise of high explosives used to demolish constituents of reinforced concrete structures*, Conference of Demolition and Reuse of concrete and Masonry, Vol. One, Demolition Methods and Practice (RILEM), Nihon University, Japan, Nov. 7-11, pp: 116-125.
- ۱- استوار، ر؛ ۱۳۸۱، تخریب بنا با مواد منفجره، انتشارات دانشگاه امیر کبیر، ۱۳۶ ص.
- ۲- ارشدنژاد، ش، (۱۳۸۲)، فنون ویژه آتشکاری جهت تخریب سازه ها با نگرشی بر اصول آتشکاری کنترل شده در معادن، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب، ۲۲۴ ص.
- ۳- استوار، ر، (۱۳۸۲)، آتشکاری در معادن، جلد اول، انتشارات دانشگاه امیر کبیر، ۳۲۶ ص.
- ۴- ارشدنژاد، ش، (۱۳۸۳)، چالزنی و آتشکاری، جزوه کلاسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد محلات، ۸۳ ص.
- ۵- ارشدنژاد، ش، (۱۳۸۶)، کاربرد تحلیل تنش و مکانیک شکست در آتشکاری کنترل شده به منظور استخراج سنگ‌های ساختمانی سخت، اولین همایش سنگ های ساختمانی در محلات، ص ۱۰-۳۹.
- ۶- ارشدنژاد، ش، (۱۳۸۸)، ارائه مدل ریاضی جهت تعیین شدت موج انفجار در هوا، در روش تخریب انفجاری سازه‌های بتنی، طرح پژوهشی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد محلات، ۸۷ ص.
- ۷- گلستانیان، ن و بهار، م. (۱۳۷۴)، فیزیک هالیدی (جلد دوم)، (ترجمه) انتشارات مرکز نشر دانشگاهی، ۳۴۹ ص.
- ۸- محمدی، ح، (۱۳۷۸)، (ترجمه) فن آوری مواد منفجره در ساختمان و معدن، ترجمه، انتشارات دژ، ۲۹۳ ص.
- 9- AECI Explosives and Chemicals Limited, 1981, *Air blast, Explosives Today*, Series 2, No 24, June.
- 10- Arshadnejad, Sh., Hassani, H., Kave Ahangaran, D., 2008, *Empirical models for prediction of fly rock in Demolishing of brick chimneys*, 21th world mining congress in Poland, pp: 247-254.
- 11- Australian Standard (AS) 2021, 1985, *Acoustics -Airport Noise Intrusion- Building siting and Construction*.