

بررسی تحلیلی اثرات توپوگرافی زمین بر میزان اضافه فشار حاصل از امواج انفجاری

محمدایمان خداکرمی^{۱*}، یونس نوری^۲

۱- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

اثر انتشار و انعکاس امواج با قدرت تخریب بالا نظیر انفجار در فضاهای دارای هندسه محبوس همیشه مورد توجه بوده است. در این مقاله مقدار اضافه فشارهای ناشی از تفرق امواج کوبشی انفجاری در محیط‌های با توپوگرافی دره که به شکل دایره‌ای و شبه دایره‌ای می‌باشند، مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق مشاهده شد که محیط هندسی پخش امواج انفجاری تأثیر مستقیمی در میزان اضافه فشار امواج دارد. پارامترهای مورد بررسی مقدار خرج انفجاری، فاصله تا محل خرج و شعاع دره می‌باشد که بر اساس تحلیل‌های صورت گرفته روابط تئوری به منظور پیش بینی مقدار اضافه فشار در دره‌های دایره‌ای و شبه دایره‌ای ارائه شده است. با افزایش مقدار خرج انفجاری و کاهش شعاع دره مقدار اضافه فشار افزایش و با افزایش فاصله تا خرج انفجاری، مقدار اضافه فشار کاهش می‌یابد. در دره‌های دایره‌ای بسته به نسبت خرج به فاصله کمتر از ۰/۰۹ مقدار اضافه فشار متأثر از عارضه توپوگرافی می‌باشد و نسبت دو برابر دهانه در خرج به ارتفاع برای دره‌های شبه دایره‌ای (تخم مرغی)، ۰/۰۹ مرز بین انفجارهای متأثر از عارضه توپوگرافی و سطوح صاف می‌باشد.

کلمات کلیدی: امواج انفجاری، تفرق و انتشار امواج، عوارض توپوگرافی، اضافه فشار انفجاری

Analytical Investigation of the Effects of Topographic Irregularities on Peak Pressure due to Blast Waves

Mohammad Iman Khodakarami^{*1}, Younes Nouri²

1- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Semnan University

2- MSc Student in Structural Engineering, Department of Civil Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

Abstract

Effects of propagation and scattering of high pressure waves same as blast waves are always interested for researchers. In this paper, the additional air pressure due to blast waves near topographic irregularities is considered. Regarding this study, it is clear that additional pressure from shock waves is quite different respect to the pressure in a smooth area and this pressure is involved with the weight of detonation and distance between the detonation and the target point. Also in this paper, the total force s which is apply to a building in smooth location and the location near topographic irregularities is calculated and compared.

Keywords: Blast waves, Wave scattering, Topographic irregularities, Explosion pressure.

* مؤلف مسئول: محمدایمان خداکرمی، khodakarami@profs.semnan.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۹۳/۱/۲۷ - تاریخ پذیرش مقاله: ۹۴/۳/۲۵

۱- مقدمه

تاکنون مطالعات زیادی در رابطه با بررسی ویژگی‌ها و نحوه ایجاد امواج انفجاری در فشار وارد بر سازه‌ها صورت گرفته است؛ چارلز و نیدهام به طور مفصل به بررسی ویژگی‌های امواج انفجاری ناشی از مواد منفجره مختلف پرداخته‌اند [۱].

مریتونجایا و همکارانش به مدلسازی و بررسی اثرات انفجار در مجاورت یک پل راه آهن توسط نرم افزار LS-DYNA پرداخته‌اند [۲].

بررسی نحوه وقوع تخریب در یک پل فولادی توسط ژین و دنگ مطرح گردیده است [۳]. چگونگی اثرگذاری فشارهای ناشی از انفجار بر روی تونل‌های مترو توسط ترویکرام مدلسازی و مورد ارزیابی قرار گرفته است [۴].

نیروها و اضافه فشارهای وارد بر پل‌های بزرگراهی تحت اثر امواج کوبشی ناشی از انفجار توسط ژی و همکاران و همچنین یی و همکاران با در نظر گرفتن عوامل موثر بر آن مورد بررسی قرار گرفته داده‌اند [۵]، [۶].

با عنایت به بررسی ادبیات فنی موجود در زمینه انفجار، امواج انفجاری و سازه‌های مقاوم در برابر انفجار؛ جای خالی مطالعه‌ای در رابطه با رفتار امواج انفجاری در مجاورت عوارض توپوگرافی به وضوح احساس می‌شود. از مهمترین دغدغه‌های مقاله حاضر را می‌توان قرار گیری برخی سازه‌های مهم، زیرساخت‌های حمل و نقل، تونل‌ها، پل‌ها و سایر ابنیه فنی در مجاورت عوارض توپوگرافی دانست. با توجه به آگاهی از رفتار امواج در مجاورت موانع و بویژه عوارض توپوگرافی انتظار می‌رود که مقادیر نیروهای وارد بر سازه‌های قرار گرفته در مجاورت این عوارض، ناشی از انفجار متفاوت از مقادیر نیروها در نواحی مسطح باشد که کیفیت و کمیت آن تا پیش از این، در ادبیات فنی مورد توجه قرار نگرفته است.

۲- ارائه روابط اضافه فشار بیشینه

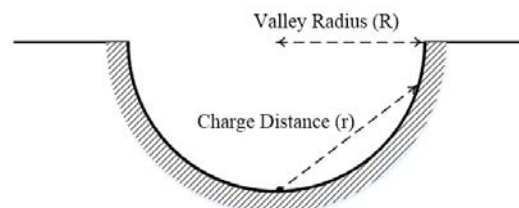
بر اساس تحقیق خداکریمی و نوری [۷] دو نوع دره با هندسه دایره‌ای و شبه دایره‌ای در اثر انفجار با خرج‌های مختلف و شعاع دره متفاوت مورد ارزیابی قرار گرفت. در [۷] مقدار اضافه فشار ناشی از عوامل توپوگرافی دره و اندرکنش امواج انفجاری با هندسه دره تعیین شد. در این مقاله روابطی بر حسب مقدار مواد منفجره، شعاع دره، فاصله محل انفجار تا نقاط مرز دره، به منظور پیش بینی مقدار اضافه فشار ناشی از انفجار در دره‌های دایره‌ای و شبه دایره‌ای بدست آمده است. هندسه دره‌های دایره‌ای و شبه دایره‌ای در (شکل ۱ و ۲) نشان داده شده است.

هندسه دره شبه دایره‌ای که در (شکل ۳) نشان داده شده است، در واقع قسمتی از یک دایره می‌باشد که توسط پارامتر دهانه دره (a) از دایره‌ای به شعاع (Ro) جدا شده است. شعاع دره از معادله ۱ بدست می‌آید.

$$Ro = (a^2 + h^2) / 2a \quad (1)$$

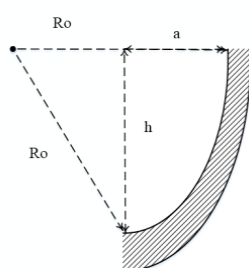
در این راستا، هدف به دست آوردن رابطه‌ای به فرم زیر می‌باشد:

$$P = \alpha . w^\beta . r^{*\gamma} \quad (2)$$

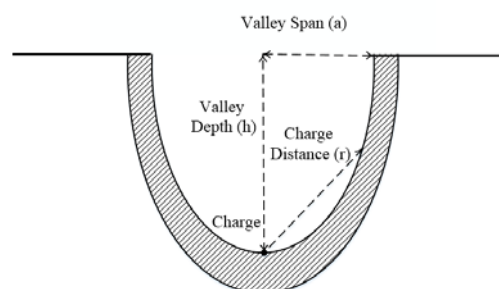


شکل ۱: نمای کلی دره دایره‌ای

که در این رابطه، P اضافه فشار ایجاد شده ناشی از انفجار مواد منفجره به وزن W بر حسب کیلوگرم در نقطه‌ای به فاصله R نسبت به محل وقوع انفجار می‌باشد؛ همچنین Γ^* نیز پارامتر بدون بعدی می‌باشد که برابر با خارج قسمت تقسیم فاصله محل نقطه هدف نسبت به محل وقوع انفجار (R) به شعاع دره (r) می‌باشد ($r^* = \frac{R}{r}$). α ، β و γ نیز ضرایب ثابتی هستند که پس از انجام برازش تعیین خواهند گردید.



شکل ۳: هندسه دره شبه دایره‌ای



شکل ۴: نمای کلی دره شبه دایره‌ای

به منظور استخراج چنین رابطه‌ای ابتدا فرم لگاریتمی آن به صورت زیر نوشته شده و سپس ضرایب ثابت استخراج گردیده است:

$$\log(P) = \log(\alpha) + \beta \cdot \log(w) + \gamma \cdot \log(r^*) \quad (3)$$

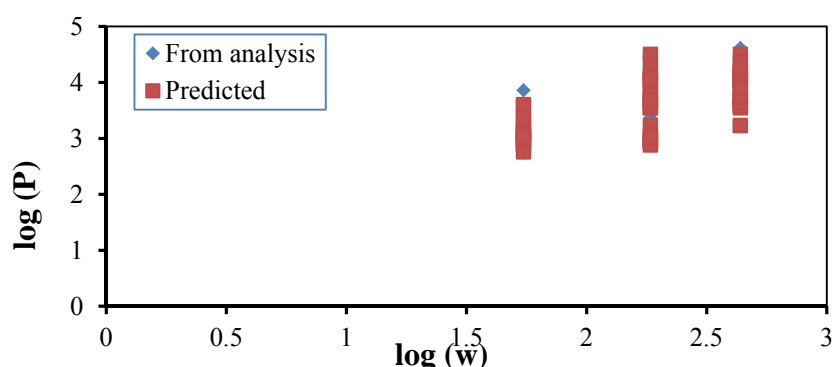
پس ابتدا، مقادیر $\log(P)$ ، $\log(w)$ و $\log(r^*)$ محاسبه شده‌اند و بر اساس آن روابط تعیین گردیده‌اند که در ادامه ارائه می‌گردند.

۳- رابطه اضافه فشار بیشینه برای دره نیم‌دایره‌ای

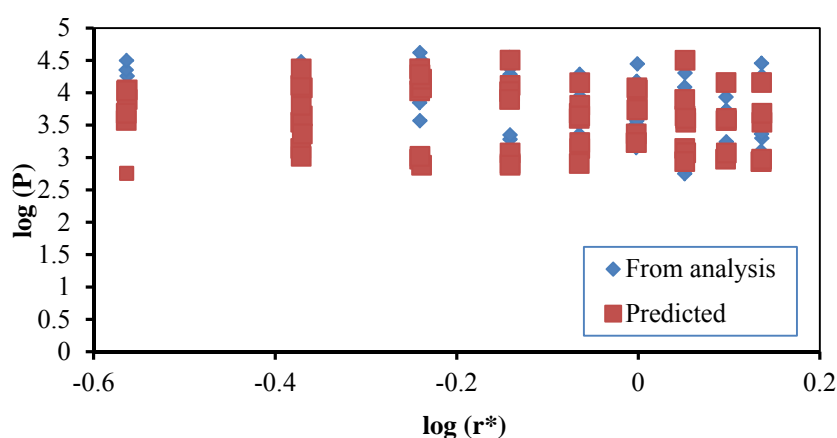
مقادیر اضافه فشار بیشینه ایجاد شده در سه دره نیم‌دایره‌ای با شعاع‌های ۱۰، ۱۵ و ۲۰ متری ناشی از وقوع انفجار موارد منفجره با شعاع ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ میلی‌متری (که به ترتیب دارای وزنی معادل ۵۴/۶۲۱۸، ۱۸۴/۳۴۸۷ و ۴۳۶/۹۷۴۶ کیلوگرم می‌باشد)؛ بر اساس نتایج آنالیزهای ارائه شده در [۷]، استخراج گردیده و رابطه محاسبه اضافه فشار بیشینه بر اساس پارامترهای Γ^* و W با ضریب همبستگی ۰/۸۵ به صورت زیر محاسبه شده است:

$$P = 6.058 \cdot w^{1.26} \cdot r^{*-0.69} \quad (4)$$

نمودار تغییرات اضافه فشار بیشینه در مقابل پارامترهای W و Γ^* به ترتیب در شکل ۳ و شکل ۴ نشان داده شده است، همان‌طور که ملاحظه می‌گردد تطابق نسبتاً خوبی بین نتایج ناشی از آنالیزهای صورت گرفته و مقادیر محاسبه شده با استفاده از رابطه برازش داده شده وجود دارد.



شکل ۳: نمودار تغییرات اضافه فشار بیشینه در مقابل وزن ماده منفجره برای دره نیم دایره‌ای بر اساس نتایج آنالیزها و رابطه پیشنهادی



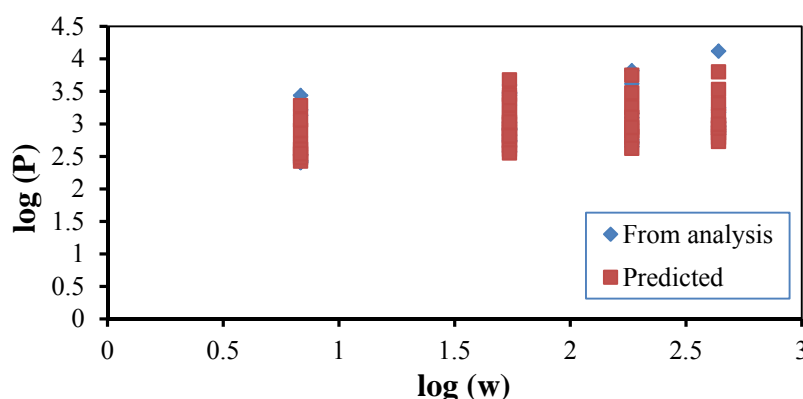
شکل ۴: نمودار تغییرات اضافه فشار بیشینه در مقابل فاصله نرمال شده برای دره نیم دایره‌ای بر اساس نتایج آنالیزها و رابطه پیشنهادی

۴- رابطه اضافه فشار بیشینه برای دره نیم تخم مرغی

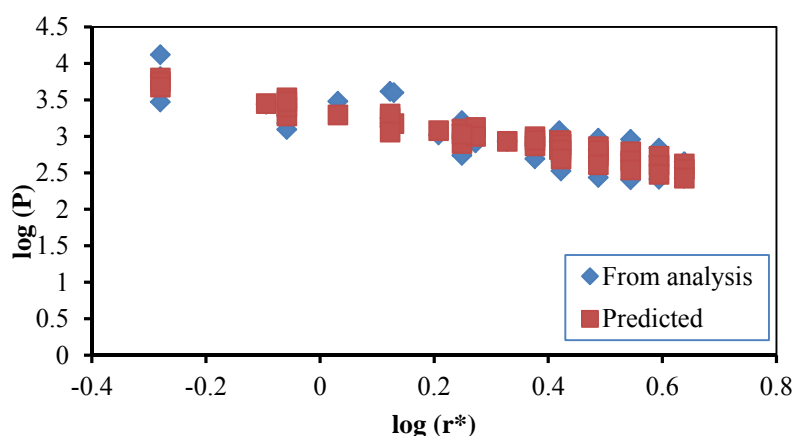
مقادیر اضافه فشار بیشینه ایجاد شده در دو دره نیم تخم مرغی با نسبت $(2a/h)$ 0.67 و 0.5 و با مقادیر ارتفاع (h) برابر با 40 و 30 متری و عرض دهانه $(2a)$ برابر با 20 متر، ناشی از وقوع انفجار موارد منفجره با شعاع 100 ، 200 ، 300 و 400 میلی متری (که به ترتیب دارای وزنی معادل $6/8277$ ، $54/6218$ ، $184/3487$ و $436/9746$ کیلوگرم می باشد)؛ بر اساس نتایج آنالیزهای ارائه شده در [۷]، استخراج گردیده و رابطه محاسبه اضافه فشار بیشینه بر اساس پارامترهای I^* و W با ضریب همبستگی 0.88 به صورت زیر محاسبه شده است:

$$P = 1238.45 \cdot W^{0.1731} \cdot I^{*-1.2261} \quad (5)$$

در رابطه فوق لازم به تذکر است که، به منظور لحاظ نمودن نسبت ارتفاع به عرض دره، مقدار I^* برابر با خارج قسمت تقسیم فاصله محل نقطه هدف نسبت به محل وقوع انفجار (R) به نصف دهانه دره (a) ضربدر نسبت ارتفاع به دهانه دره (h/a) تعریف گردیده است. نمودار تغییرات اضافه فشار بیشینه در مقابل پارامترهای W و I^* به ترتیب در (شکل ۵) و (شکل ۶) نشان داده شده است، همان طور که ملاحظه می گردد تطابق نسبتاً خوبی بین نتایج ناشی از آنالیزهای صورت گرفته و مقادیر محاسبه شده با استفاده از رابطه برآزش داده شده وجود دارد.



شکل ۵: نمودار تغییرات اضافه فشار بیشینه در مقابل وزن ماده منفجره برای دره نیم تخم مرغی بر اساس نتایج آنالیزها و رابطه پیشنهادی



شکل ۶: نمودار تغییرات اضافه فشار بیشینه در مقابل فاصله نرمال شده برای دره نیم تخم مرغی بر اساس نتایج آنالیزها و رابطه پیشنهادی

۵- مقایسه روابط اضافه فشار بیشینه

در این قسمت به منظور ارزیابی بهتر تفاوت اضافه فشار بیشینه ایجاد شده ناشی از انفجار در نواحی مسطح و انفجار در مجاورت عوارض توپوگرافی به بررسی روابط تعیین این اضافه فشار در مجاورت این نواحی پرداخته می‌شود. همان‌طور که قبلاً بیان گردید، فرم کلی این روابط بسیار به هم شبیه است (فرم کلی این روابط تابعی از میزان خرج انفجاری و فاصله نقطه هدف از محل وقوع انفجار است $(P = f(R, W))$)؛ اما به دلیل تفرق امواج انفجاری در مجاورت عوارض توپوگرافی، مقادیر اضافه فشار بیشینه در این نواحی بسیار بیشتر از مقادیر اضافه فشار ایجاد شده در نواحی مسطح است.

البته لازم به یادآوری است که منظور از فاصله در نواحی مسطح فاصله مستقیم بین نقطه هدف و محل وقوع انفجار می‌باشد؛ در حالیکه منظور از فاصله در نواحی مجاور عوارض توپوگرافی، فاصله مستقیم نرمال شده بین نقطه هدف و محل وقوع انفجار نسبت به ابعاد عارضه قائم است. همان‌طور که در جدول ۱ ملاحظه می‌گردد، مقادیر ضرایب ثابت از نظر علامت کاملاً مشابه به هم هستند، اما نحوه تاثیرپذیری مقدار اضافه فشار بیشینه ایجاد شده در نقطه هدف در نواحی مختلف نسبت به فاصله نرمال شده و میزان خرج انفجاری بسیار متفاوت است؛ به طوری که نسبت $\frac{\beta}{\gamma}$ برای نقاط در مجاورت عارضه نیم‌دایره‌ای $0/48$ برابر نقاط مشابه در نواحی مسطح است، همچنین این مقدار، برای نقاط واقع در مجاورت عارضه نیم‌تخم‌مرغی $0/411$ برابر نقاط مشابه در نواحی مسطح بوده و این نسبت، برای نقاط در مجاورت عارضه نیم‌دایره‌ای $13/323$ برابر نقاط مشابه واقع در مجاورت عارضه نیم‌تخم‌مرغی می‌باشد.

جدول ۱: مقایسه ضرایب ثابت مورد استفاده در روابط محاسبه اضافه فشار بیشینه در نواحی مسطح و نواحی در مجاورت عوارض توپوگرافی

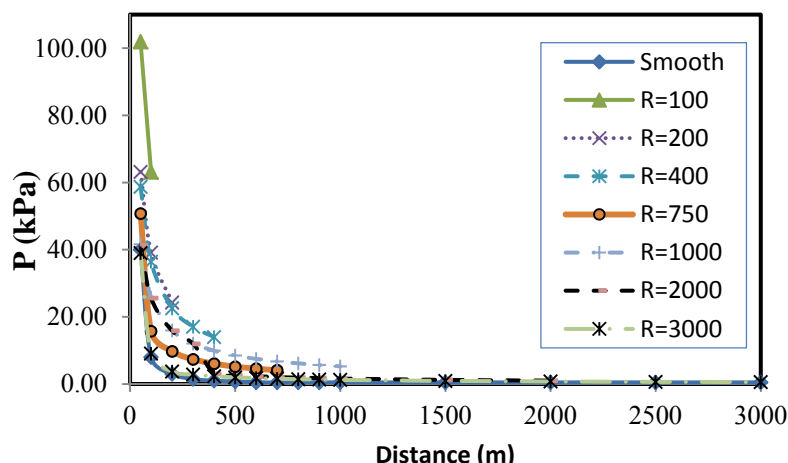
	$P = \alpha \cdot W^\beta \cdot (r^*)^\gamma$		
	β	γ	β/γ
نواحی مسطح	۰٫۳۳۳	-۱٫۰۰۰	۰٫۳۳۳
نواحی در مجاورت دره نیم‌دایره‌ای	۱٫۲۶۰	-۰٫۶۹۰	۱٫۸۲۶
نواحی در مجاورت دره نیم‌تخم‌مرغی	۰٫۱۷۳	-۱٫۲۶۶	۰٫۱۳۷

علی‌رغم این‌که تمامی این روابط بیان‌گر وجود رابطه مستقیم بین میزان خرج انفجاری و مقدار اضافه فشار بیشینه و رابطه معکوس بین فاصله نرمال شده نقطه هدف نسبت به محل وقوع انفجار دارند؛ اما به دلیل تفاوت در مقادیر ضرایب ثابت β و γ می‌توان نتیجه گرفت که؛ در نواحی مسطح، تاثیر نسبت فاصله بیش از تاثیر میزان خرج انفجاری در تولید مقدار اضافه فشار بیشینه می‌باشد، حال آن‌که برای نواحی در مجاورت عارضه نیم‌دایره‌ای، تاثیر میزان خرج انفجاری بیش از تاثیر نسبت فاصله نرمال شده در تولید مقدار اضافه فشار بیشینه است و برای نواحی در مجاورت عارضه نیم‌تخم‌مرغی، تاثیر نسبت فاصله نرمال شده بیش از تاثیر میزان خرج انفجاری در تولید مقدار اضافه فشار بیشینه است. همچنین ملاحظه می‌گردد که تاثیر تغییر در مقدار نسبت فاصله نرمال شده در نقاط در مجاورت عارضه نیم‌تخم‌مرغی اثرات به مراتب بیشتری را در میزان اضافه فشار بیشینه ناشی از انفجار نسبت به نقاط در مجاورت نواحی مسطح از خود نشان می‌دهد.

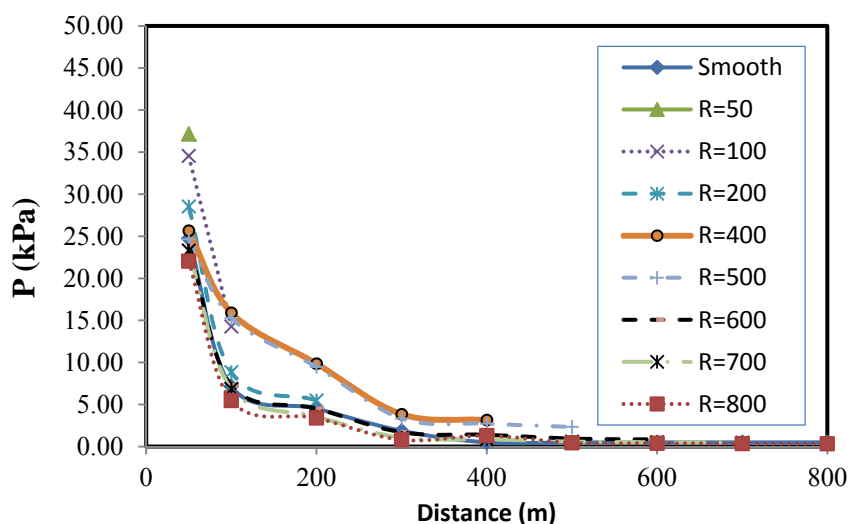
هرچند که این نتایج بر اساس تعداد معدودی آنالیز به دست آمده است، اما همین نتایج به وضوح تاثیرگذاری عارضه توپوگرافی، شکل عارضه و ابعاد آن و همچنین میزان خرج انفجاری را نشان می‌دهد که می‌توان گفت استفاده از روابط حاکم برای تعیین میزان اضافه فشار بیشینه تولید شده در نواحی مسطح معیار مناسبی برای تعیین میزان این اضافه فشار در نواحی که مجاورت عوارض توپوگرافی قرار می‌گیرند نمی‌باشد و به منظور تعیین مقدار اضافه فشار بیشینه ناشی از انفجار در مجاورت عوارض توپوگرافی باید آنالیزهای مجزا و با دقت بیشتری صورت پذیرد که با واقعیت انطباق بیشتری داشته باشد؛ که این موضوع در طراحی سازه‌های زیرسطحی و روسطحی مقاوم در برابر انفجار بسیار حائز اهمیت است.

به منظور ارزیابی بهتر روابط به دست آمده، مقادیر اضافه فشار بیشینه وارد بر نقاط با فواصل مختلف در یک ناحیه مسطح و همان نقاط در مجاورت عوارض توپوگرافی با دهانه‌های دره مختلف مورد بررسی قرار گرفته است که نتایج این بررسی تحت اثر انفجار ماده منفجره به وزن ۱۸۴/۳۵ کیلوگرم در نمودار (شکل ۷) و همچنین نتایج بررسی، تحت اثر انفجار ماده منفجره به وزن ۱۸۴/۳۵ کیلوگرم در نمودار (شکل ۸) نشان داده شده است.

با دقت در نتایج این بخش ملاحظه می‌گردد که همان‌طور که انتظار می‌رود، با افزایش طول دهانه دره و همچنین با افزایش فاصله از محل وقوع انفجار، از مقدار اضافه فشار بیشینه کاسته می‌شود. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد؛ در دره نیم‌دایره‌ای تحت انفجار ماده منفجره به وزن ۱۸۴/۳۵ مقادیر اضافه فشار ایجاد شده در نقاط مختلف در شرایطی که طول دهانه دره ۴۰۰۰ متر اختیار می‌گردد با مقادیر اضافه فشار بیشینه ناشی از انفجار همان ماده منفجره در نواحی مسطح برابر می‌شود؛ همچنین در همین دره نیم‌دایره‌ای تحت انفجار ماده منفجره به وزن ۵۶/۶۲ مقادیر اضافه فشار ایجاد شده در نقاط مختلف در شرایطی که طول دهانه دره ۶۰۰ متر اختیار می‌گردد با مقادیر اضافه فشار بیشینه ناشی از انفجار همان ماده منفجره در نواحی مسطح برابر می‌شود. بنابراین می‌توان گفت هرگاه انفجار در یک دره نیم‌دایره‌ای اتفاق بیفتد تا زمانی که نسبت وزن ماده منفجره به شعاع دره (W/R) کمتر مساوی ۰/۰۹ باشد، اضافه فشار ایجاد شده در نقاط مختلف متاثر از عارضه توپوگرافی می‌باشد و در مقادیر W/R بیش از ۰/۰۹ به منظور محاسبه اضافه فشار ناشی از انفجار، می‌توان از همان روابط کلاسیک نواحی مسطح استفاده نمود؛ به عبارت دیگر رفتار موج انفجاری برای نسبت‌های W/R بیش از ۰/۰۹ مانند رفتار موج انفجاری در نواحی مسطح است.



شکل ۷: تغییرات اضافه فشار ایجاد شده در نقاط مختلف یک عارضه توپوگرافی دایره‌ای بر حسب فاصله تحت اثر انفجار ماده منفجره با وزن ۱۸۴/۳۵ کیلوگرم



شکل ۸: تغییرات اضافه فشار ایجاد شده در نقاط مختلف یک عارضه توپوگرافی دایره‌ای بر حسب فاصله تحت اثر انفجار ماده منفجره با وزن ۵۶/۶۲ کیلوگرم

۶- مقایسه نیروی کل وارد بر سازه ناشی از امواج انفجاری

تاکنون با ارائه مقادیر اضافه فشار بیشینه ناشی از انفجار در نقاط مختلف و همچنین روابط تعیین اضافه فشار بیشینه، به بررسی تفاوت عملکرد امواج انفجاری در نواحی مسطح و نواحی در مجاورت عوارض قائم پرداخته شده است؛ در این بخش به منظور درک بهتر این موضوع به بررسی و مقایسه مقدار کل نیروی وارد بر یک سازه تحت اثر انفجار در این مناطق پرداخته می‌شود.

برای این منظور، سازه‌هایی کامل یکسان در فاصله ثابت در امتداد افق نسبت به محل وقوع انفجار در نظر گرفته می‌شود و ابتدا، نمودار توزیع اضافه فشار در راستای ارتفاع ساختمان ترسیم و مقدار نیروی برشی کل وارد بر سازه تعیین می‌گردد. برای درک بهتر مسئله، تمام این سازه‌ها در فاصله‌ای برابر با ۵ متر در امتداد افق نسبت به محل وقوع انفجار در نظر گرفته شده‌اند و نیروی ناشی از انفجار برای یک متر عرض این سازه‌ها تعیین می‌گردند. ارتفاع طبقات سازه‌ها به صورت یکنواخت و برابر با ۳ متر انتخاب شده‌اند و این کار برای سازه‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ طبقه واقع در زمین مسطح، در مجاورت دره نیم‌دایره‌ای و در مجاورت دره نیم‌تخم‌مرغی صورت گرفته است. در نهایت به منظور مقایسه بهتر، نمودار تغییرات نیروی ناشی از انفجار تحت اثر یک خرج انفجاری با وزن ۵۴/۶۲۱۸ کیلوگرم در مقابل زمان تناوب

سازه ارائه گردیده است؛ به منظور محاسبه مقدار زمان تناوب سازه نیز از رابطه تجربی محاسبه زمان تناوب سازه که در آیین نامه زلزله ایران [۸] به صورت زیر ارائه گردیده، استفاده شده است:

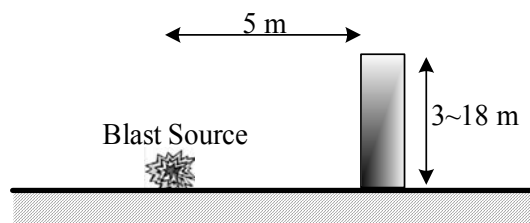
$$T = 0.05H^{\frac{3}{4}} \quad (5)$$

که در این رابطه، H ارتفاع ساختمان و T زمان تناوب ساختمان می باشد. به منظور تعیین بهتر توزیع اضافه فشار ناشی از انفجار در ارتفاع این سازه ها، با استفاده از روابط ارائه شده، میزان اضافه فشار ناشی از انفجار در سه نقطه از ارتفاع هر طبقه سازه محاسبه گردیده و فرم توزیع فشار در بین این نقاط به صورت خطی انتخاب شده است.

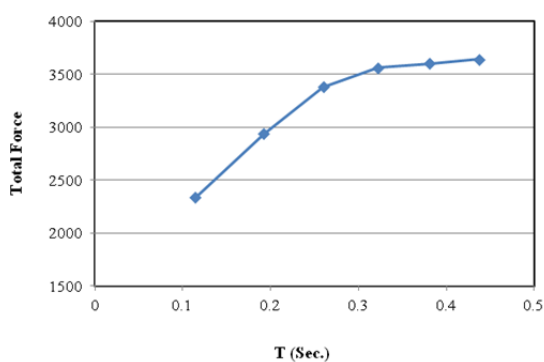
۷- اضافه فشار و نیروی وارد بر سازه واقع در ناحیه مسطح ناشی از انفجار

در این قسمت به محاسبه توزیع اضافه فشار وارد بر سازه های یک تا شش طبقه که در یک زمین مسطح قرار و به فاصله ۵ متری از منبع تولید انفجار قرار گرفته است (شکل ۹)، پرداخته می شود.

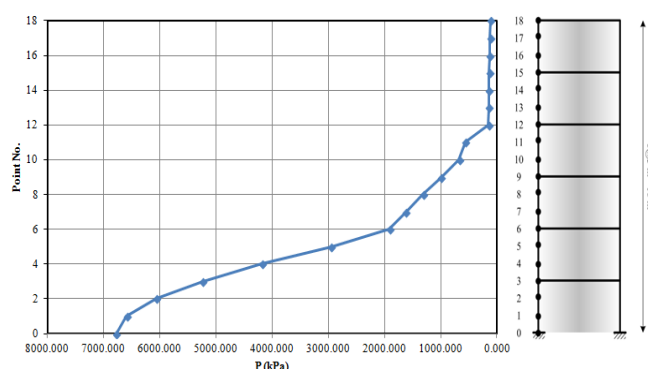
با استفاده از روابط ارائه شده، مقادیر اضافه فشار ناشی از انفجار، زمان تناوب سازه ها و همچنین مقدار نیروی کل وارد بر سازه در شکل ۱۰ ارائه شده است. همان طور که از این نتایج ملاحظه می گردد، مقدار اضافه فشار ایجاد شده بر روی سازه با افزایش ارتفاع کاهش می یابد و تقریباً از حدود ارتفاعی معادل ۱۲ متر به بعد، مقدار این اضافه فشار تقریباً ثابت باقی می ماند.



شکل ۹: نمای شماتیک محل و مشخصات سازه در معرض موج انفجار در یک ناحیه مسطح



شکل ۱۱: توزیع نیروی کل وارد بر سازه واقع در نواحی مسطح ناشی از انفجار



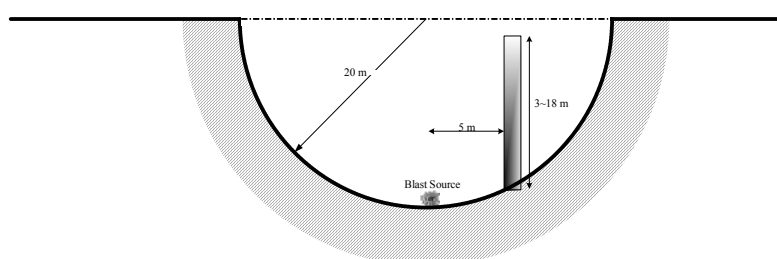
شکل ۱۰: فشار ناشی از انفجار وارد بر سازه های تحت اثر انفجار در نواحی مسطح

در (شکل ۱۱) نیز توزیع نیروی کل وارد بر سازه واقع در نواحی مسطح ناشی از انفجار در مقابل تغییرات ارتفاع ساختمان که در این نمودار بر اساس میزان زمان تناوب سازه بیان شده است؛ ارائه گردیده است. با مراجعه به این نمودار ملاحظه می گردد که با افزایش ارتفاع،

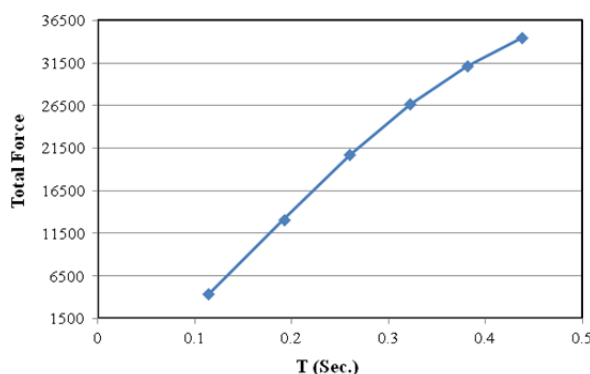
نرخ افزایش نیروی کل وارد بر ساختمان ناشی از انفجار کند می‌گردد و تقریباً برای سازه‌های با زمان تناوب بیش از 0.3 ثانیه، مقدار نیروی کل تقریباً به عدد 3600 همگرا می‌شود؛ به بیان دیگر، افزایش ارتفاع ساختمان بیش از سه طبقه تأثیر چندانی بر میزان نیروی کل وارد بر ساختمان ناشی از انفجار ندارد.

۸- اضافه فشار و نیروی وارد بر سازه واقع در مجاورت دره نیم دایره‌ای ناشی از انفجار

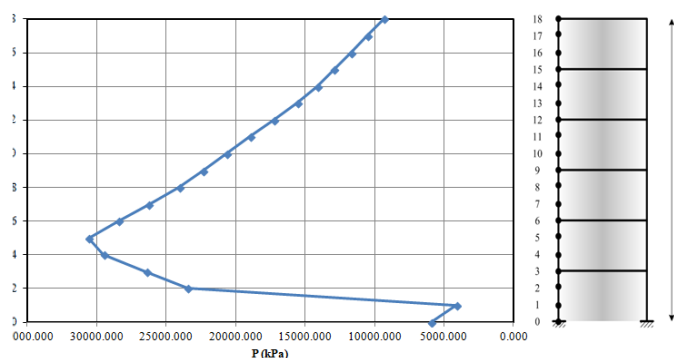
در این بخش به محاسبه توزیع اضافه فشار وارد بر سازه‌های یک تا شش طبقه که در داخل یک تپه نیم‌دایره‌ای به شعاع 20 متر و به فاصله 5 متری در امتداد افق از منبع تولید انفجار ناشی از ماده منفجره به وزن $54/6218$ کیلوگرمی قرار گرفته است (شکل ۱۲)، پرداخته می‌شود.



شکل ۱۲: نمای شماتیک محل و مشخصات سازه در معرض موج انفجار در داخل یک دره نیم دایره‌ای



شکل ۱۴: توزیع نیروی کل وارد بر سازه واقع در یک دره نیم دایره‌ای ناشی از انفجار



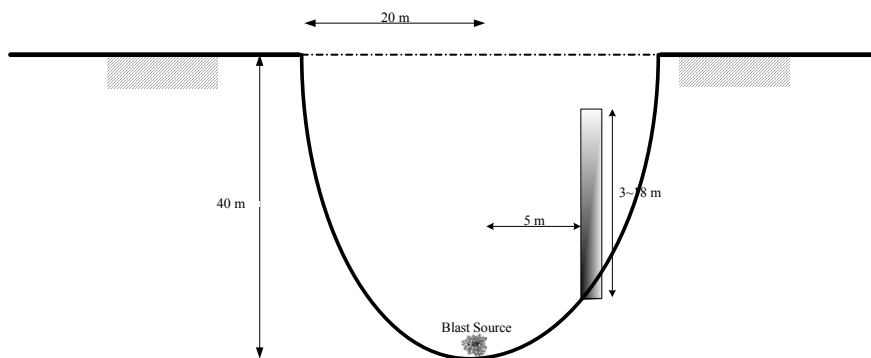
شکل ۱۳: توزیع فشار ناشی از انفجار وارد بر سازه‌های تحت اثر انفجار در داخل یک دره نیم دایره‌ای

با استفاده از روابط ارائه شده، مقادیر اضافه فشار ناشی از انفجار، زمان تناوب سازه‌ها و همچنین مقدار نیروی کل وارد بر سازه در (شکل ۱۳) ارائه شده است. در این نمودار ملاحظه می‌گردد که اولاً، مقادیر اضافه فشار ایجاد شده ناشی از انفجار در نقاط مختلف ساختمان به مراتب بیش از مقادیر اضافه فشار ایجاد شده در ساختمان مشابه در یک ناحیه مسطح است و ثانیاً، بر خلاف آنچه که برای ساختمان واقع در یک ناحیه مسطح ملاحظه گردید (شکل ۱۱)، تا طبقه دوم ساختمان، افزایش ارتفاع باعث افزایش در میزان فشارهای وارد بر سازه ناشی از انفجار می‌گردد و پس از آن مقادیر اضافه فشار ایجاد شده با یک روند رو به کاهش رو می‌شود؛ که روند این کاهش در مقدار اضافه فشار نسبت به نرخ کاهش اضافه فشار ایجاد شده برای ساختمان واقع در ناحیه مسطح کندتر بوده و همچنین این روند حتی تا طبقه ششم نیز همگرا نشده است. به نظر می‌رسد که مهمترین علت این موارد، انعکاس و انکسار امواج کوبشی ناشی از انفجار در داخل دره نیم‌دایره‌ای می‌باشد.

با بررسی این نمودار می‌توان دریافت که نرخ افزایش نیروی کل وارد شده بر یک سازه واقع در دره نیم‌دایره‌ای نیز همچون سازه واقع در یک ناحیه مسطح (شکل ۱۱)، با افزایش ارتفاع ساختمان (افزایش زمان تناوب سازه)، کاهش می‌یابد ولی برخلاف آنچه که برای ساختمان واقع در ناحیه مسطح مشاهده گردید؛ اولاً مقدار این نیروها بسیار بیشتر بوده و ثانیاً نرخ افزایش مقدار نیروها سریعتر است.

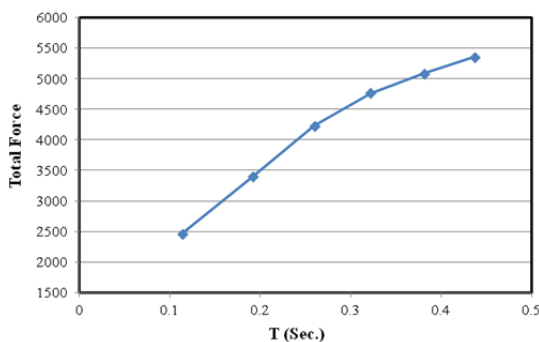
۹- اضافه فشار و نیروی وارد بر سازه واقع در مجاورت دره نیم تخم مرغی ناشی از انفجار

در این بخش به محاسبه توزیع اضافه فشار وارد بر سازه‌های یک تا شش طبقه که در داخل یک تپه نیم‌تخم‌مرغی به دهانه ۲۰ متر و عمق ۴۰ متر و به فاصله ۵ متری در امتداد افق از منبع تولید انفجار ناشی از ماده منفجره به وزن ۵۴/۶۲۱۸ کیلوگرمی قرار گرفته است (شکل ۱۵)، پرداخته می‌شود.

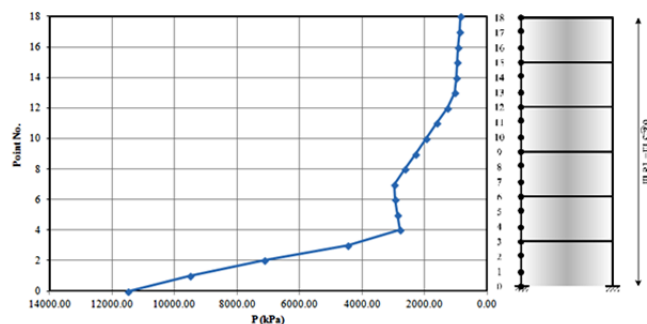


شکل ۱۵: نمای شماتیک محل و مشخصات سازه در معرض موج انفجار در داخل یک دره نیم تخم مرغی

با استفاده از روابط ارائه شده، مقادیر اضافه فشار ناشی از انفجار، زمان تناوب سازه‌ها و همچنین مقدار نیروی کل وارد بر سازه در (شکل ۱۶) ارائه شده است.



شکل ۱۷: توزیع نیروی کل وارد بر سازه واقع در یک دره نیم تخم مرغی ناشی از انفجار



شکل ۱۶: توزیع فشار ناشی از انفجار وارد بر سازه‌های تحت اثر انفجار در داخل یک دره نیم تخم مرغی

در این شکل مشاهده می‌گردد که با افزایش ارتفاع ساختمان، از مقدار اضافه فشار ایجاد شده ناشی از انفجار در محل ساختمان کاسته می‌شود (هر چند که به عنوان مثال در محل طبقه دوم، استثنا دیده می‌شود)، اما این روند کاهشی کندتر از روند کاهشی‌ای است که برای ساختمان واقع در ناحیه مسطح رویت گردید و علاوه بر آن، به طور کلی مقادیر اضافه فشار ایجاد شده نسبت به اضافه فشار ایجاد شده بر

روی سازه واقع در ناحیه مسطح بیشتر و نسبت به اضافه فشارهای ایجاد شده بر روی سازه واقع در دره نیم‌دایره‌ای کمتر می‌باشد؛ این موضوع بیان‌گر آن است که اضافه فشار ایجاد شده بر روی سازه ناشی از انفجار برای حالتی که سازه در عوارض توپوگرافی قرار داشته باشد بسیار بیشتر از حالتی است که سازه در یک سطح مسطح قرار داشته باشد، اما مقدار این افزایش به شدت تحت تاثیر هندسه دره می‌باشد. در (شکل ۱۴) نیز توزیع نیروی کل وارد بر سازه واقع در یک دره نیم تخم مرغی از انفجار در مقابل تغییرات ارتفاع ساختمان که در این نمودار بر اساس میزان زمان تناوب سازه بیان شده است؛ ارائه گردیده است.

در این نمودار نیز، روند مشابه با آنچه که برای سازه واقع در دره نیم‌دایره‌ای ملاحظه گردید رویت می‌شود که مقادیر نیروی کل وارد بر سازه ناشی از انفجار نسبت به حالات نیم‌دایره‌ای کمتر و نسبت به سازه واقع در ناحیه مسطح بسیار بیشتر می‌باشد.

با در نظر گرفتن موارد فوق، پر واضح است که سازه‌هایی که در مجاورت عوارض قائم تحت اثر انفجار قرار می‌گیرند، باید توانایی تحمل مقادیر فشار بیشتری را نسبت به سازه‌های مشابه که در نواحی مسطح بنا می‌شوند؛ را دارا باشند.

با توجه به آنالیزهای انجام شده، روابط استخراج شده و همچنین مقادیر اضافه فشار و نیروی کل وارد بر سازه که در بخش‌های قبلی ارائه گردید، ملاحظه می‌شود که مقادیر اضافه فشار و همچنین روابط تعیین این مقادیر و نیروی وارد بر سازه‌ها در نواحی مسطح و در مجاورت عوارض توپوگرافی کاملاً از هم متفاوت هستند؛ عمده دلیل این موضوع را می‌توان در بحث مربوط به تفرق امواج کوبشی ناشی از انفجار در مجاورت عوارض توپوگرافی جستجو نمود که برخی ویژگی‌های این امواج با برخورد به عارضه توپوگرافی، دچار تغییر می‌گردد و در اثر انعکاس و انعکاس آنها، مقادیر اضافه فشار ایجاد شده بر روی سازه‌های واقع در مجاورت عوارض توپوگرافی، بسیار بیشتر تعیین می‌گردد.

حال اگر برای طراحی یک سازه مقاوم در برابر انفجار که در مجاورت یک عارضه توپوگرافی احداث می‌گردد، از همان روابط کلاسیک مربوط به تعیین مقادیر اضافه فشار (روابط مربوط به انتشار موج انفجار در نواحی مسطح) استفاده گردد، به دلیل در نظر گرفتن این موارد، سازه طراحی شده، کفایت لازم برای تحمل فشارهای ناشی انفجار واقعی را نخواهد داشت.

۱۰- نتیجه‌گیری

با توجه به تحقیق انجام شده می‌توان بیان نمود که، مقادیر اضافه فشاری بیشینه ناشی از وقوع انفجار در مجاورت عوارض توپوگرافی چندین برابر مقدار اضافه فشار ناشی از انفجار همان مقدار انفجار در نواحی مسطح است. همچنین، هرچه دهانه دره کم‌عرض‌تر باشد، میزان اضافه فشار ایجاد شده در نقاط یکسان با مقادیر ماده منفجره یکسان، بیشتر است. در نواحی مسطح، تاثیر نسبت فاصله بیش از تاثیر میزان خرج انفجاری در تولید مقدار اضافه فشار بیشینه می‌باشد، حال آن‌که برای نواحی در مجاورت عارضه نیم‌دایره‌ای، تاثیر میزان خرج انفجاری بیش از تاثیر نسبت فاصله نرمال شده در تولید مقدار اضافه فشار بیشینه است و برای نواحی در مجاورت عارضه نیم‌تخم‌مرغی، تاثیر نسبت فاصله نرمال شده بیش از تاثیر میزان خرج انفجاری در تولید مقدار اضافه فشار بیشینه است. همچنین ملاحظه می‌گردد که تاثیر تغییر در مقدار نسبت فاصله نرمال شده در نقاط در مجاورت عارضه نیم‌تخم‌مرغی اثرات به مراتب بیشتری را در میزان اضافه فشار بیشینه ناشی از انفجار نسبت به نقاط در مجاورت نواحی مسطح از خود نشان می‌دهد.

۱۱- مراجع

- [1] Charles E. Needham., "Blast Waves", New York, Springer, (2010)
- [2] Mrityunjaya R. Y., Trivikram N.L., Vasanth S., Ramesh V., "Simulation of explosion in train and bridge", 3rd ANSA & ETA International Conference, Halkidiki Greece, (2009)
- [3] JIN X.L. DENG R.B., "Numerical Simulation of Bridge Damage under Blast Loads", *WSEAS TRANSACTIONS on COMPUTERS* 9 (8), (2009), 1564-1574
- [4] Trivikram N.L., Vasanth S., Ramesh V. Mrityunjaya R.Y., "Simulation of explosion in train and bridge, 3rd ANSA & ETA International Conference, Halkidiki Greece, (2009)
- [5] Xie X., Wang R. Yang Y., "Numerical simulation of dynamic response of operating metro tunnel", *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering* 2 (4), (2010), 373-384
- [6] Yi Z. Agrawal A.K., "Blast Load Effects on Highway Bridges", New York, USA: University Transportation Research Center, (2009)
- [۷] محمدایمان خداکریمی، یونس نوری، «بررسی و تعیین اضافه فشار پیشینه وارد بر ابنیه فنی راه و زیرساخت‌های حمل و نقل واقع در مجاورت عوارض توپوگرافی تحت اثر انفجار»، *مجله مهندسی زیرساخت‌های حمل و نقل*، سال اول، شماره ۱، پاییز ۱۳۹۲، صفحه ۳۳ تا ۴۴
- [۸] دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، *مبحث ششم بارهای وارد بر ساختمان*، ۱۳۸۵