

نشریه علمی پدافند غیرعامل

سال دهم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۸، (پیاپی ۳۷): صص ۲۹-۲۳

بررسی پاسخ دینامیکی پی‌های سطحی تحت اثر انفجار ناشی از موشک‌های هوا به زمین و راه کارهای آن با رویکرد پدافند غیرعامل

غلامحسین جعفری^{۱*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۲۵

چکیده

امروزه با توجه به افزایش حملات تروریستی در سرتاسر دنیا و محتمل بودن حملات هوایی و موشکی در شهرها و ساختمان‌ها و همچنین امکان بمب‌گذاری در اماکن شهری، طراحی ساختمان‌ها در مقابل بارهای ناشی از انفجار، از دیدگاه پدافند غیرعامل مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفته است. بنابراین، ارائه راه کار ضد عوامل تخریب‌گر که مستقیماً مرتبط با جان مردم است امری حیاتی محسوب می‌شود. در این پژوهش ابتدا تاثیرات ناشی از انفجار موشک S-24 با تغییر در پارامترهای فاصله مرکز انفجار از پی و نسبت مدفون شدگی پی‌های سطحی به روش تفاضل محدود با استفاده از نرم افزار FLAC بررسی شده سپس دو راه حل مناسب به لحاظ اقتصادی و اجرایی و با رویکرد پدافند غیرعامل ارائه گردیده است. راه حل اول استفاده از کامپوزیت‌های پلیمری پایه کربنی CFRP و راه حل دوم استفاده از روش میکروپایل به عنوان المان حائل در مدل سازی می‌باشد. پس از بررسی‌های صورت گرفته در مدل سازی‌های عددی مشخص گردید که راه‌حل‌های ارائه شده به ترتیب ۳۵ و ۵۶ درصد از بیشترین تغییر مکان‌های به وجود آمده در پی را می‌کاهند.

کلیدواژه‌ها: بارگذاری انفجاری، پی‌های سطحی، کامپوزیت‌های CFRP، میکروپایل

۱- مقدمه

امکان اجرایی شدن هم برای سازه‌های ساخته‌شده و هم در حال ساخت را داراست.

۲- مطالعات انجام‌شده

مهمترین دلیل برتری مطالعات عددی نسبت به مطالعات تجربی هزینه انجام آن است که به‌علت هزینه گزاف آزمایشات تمام مقیاس، این دسته از پژوهش‌ها در ادبیات فنی به‌شدت نادر هستند. از این‌رو، محققین متعددی مطالعات عددی را ابزاری اقتصادی، دقیق و ارزشمند برای بررسی اثرات بارگذاری انفجاری بر سازه‌ها دانسته‌اند. عمده مطالعات صورت‌پذیرفته در این حوزه مربوط به المان‌های سازه‌ای شامل تیر، ستون و دال‌هاست و مطالعه بر روی فونداسیون به ندرت انجام گرفته شده است. در جدول (۱) گزیده مطالعات محققان بر اساس سال تحقیق ارائه شده است.

جدول (۱): خلاصه مطالعات عددی انجام شده در حوزه بارگذاری انفجاری

نوع بارگذاری	نوع المان سازه‌ای	سال تحقیق	محقق
انفجاری	تیرهای بتن مسلح دال‌های سبک	۱۹۹۷	Ross et al. [۲]
استاتیکی و انفجاری	تیر و ستون‌های بتن مسلح	۲۰۰۱	Crawford et al. [۳]
انفجاری	دال‌های بتن مسلح	۲۰۰۱	Mosalam and Mosallam [۴]
انفجاری	دال‌های بتن مسلح	۲۰۰۳	Lawver et al. [۵]
انفجاری	تیر و دیوارهای بتن مسلح	۲۰۰۳	Muszynski et al. [۶-۷]
بالشتک شوک	دیوارهای بلوکی بتنی	۲۰۰۱	Oswald and Wesevich [۸]
انفجاری	دیوارهای بلوکی بتنی	۲۰۰۵-۲۰۰۴	Davidson et al. [۹]
انفجاری	پنل‌های بتنی	۲۰۰۷	Razaqpur et al. [۱۰]
بالشتک شوک	صفحات بتنی	۲۰۱۴	Stolz et al. [۱۱]
انفجاری	ستون‌های بتن مسلح	۲۰۱۴	Jun Li and Hong Hoa [۱۲]
انفجاری	دال‌های بتن مسلح	۲۰۱۶	Shujian Yao et al. [۱۳]

۳- شرح پدیده انفجار

در این بخش به روند شبیه‌سازی بارگذاری انفجاری ناشی از موشک هوا به زمین S-24 می‌پردازیم. اتحاد جماهیر شوروی کاربر اولیه این موشک بود که از اوایل دهه ۱۹۳۰ به‌کارگیری از آن را شروع کرد که در حال حاضر نسخه‌های بروز شده این موشک تولید شده است و به بسیاری از کشورها صادر گردیده است. مشخصات این موشک در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول (۲): مشخصات مربوط به موشک S-24

وزن کل	وزن خرج	قطر بدنه	طول موشک
(kg)	(kg)	(mm)	(m)
۲۳۵	۱۲۳	۲۴۰	۲,۳۳

جهت پیش‌بینی بارگذاری موشک‌های موجود در وهله اول نیاز به تعیین نوع انفجار می‌باشد. انفجارها انواع مختلفی دارند و بر اساس ویژگی‌های مختلف آنها قابل دسته‌بندی می‌باشند. در یک دسته‌بندی کاربردی، انفجارها به دو شاخه انفجارهای محصور شده و محصور نشده تقسیم می‌شود. با توجه به مشخصات موشک S-24 (مورد مطالعه این تحقیق) می‌توان این نوع موشک را در دسته موشک‌های

محصور نشده و سطحی طبقه‌بندی نمود. یک انفجار سطحی و یا کم‌عمق معمولاً سبب ایجاد یک گودال بر روی سطح زمین می‌گردد که به آن کرتر (Crater) اطلاق می‌گردد که مقدار ماده منفجره از جمله پارامترهایی به شمار می‌آید که تعیین‌کننده ابعاد کرتر است [۱۴]. دستورالعمل ارتش ایالات متحده آمریکا [۱۵]، استفاده از روابط (۱-۳) را برای تخمین فشار ناشی از موشک توصیه نموده است.

$$P = P_i \cdot e^{t/t_a} \quad (1)$$

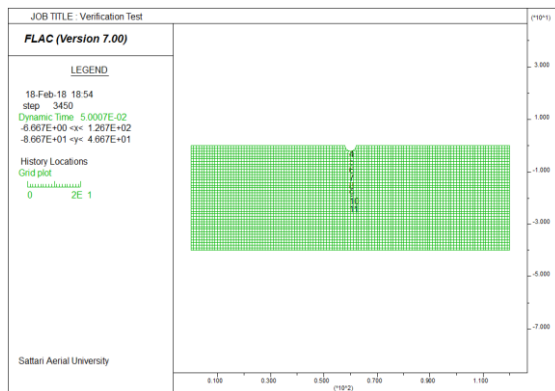
$$P_i = 160 \cdot f \cdot c \cdot \rho \cdot \left(\frac{R_i}{W^{0.88}} \right)^{-n} \quad (2)$$

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (3)$$

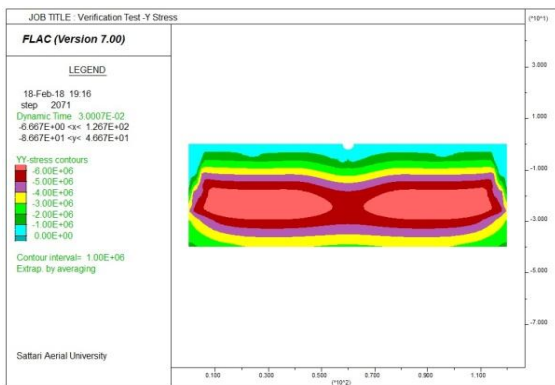
فشار میدان آزاد ایجادشده ناشی از موشک (P) نسبت به زمان محاسبه فشار (t) در رابطه (۱) نشان داده شده است که در آن، P_i فشار بیشینه میدان آزاد و t_a زمان رسیدن موج انفجار به محل مورد نظر برای محاسبه فشار است. به‌منظور محاسبه فشار بیشینه از رابطه (۲) استفاده می‌شود که در آن، f فاکتور کوپل‌کننده ضربه زمین، c سرعت موج لرزه‌ای، ρ جرم واحد حجم محیط، R_i فاصله مرکز انفجار تا محل محاسبه فشار، W وزن ماده منفجره و در نهایت

۵- صحت‌سنجی

به‌منظور صحت‌سنجی و ارزیابی دقت مدل‌های ساخته‌شده به‌وسیله نرم‌افزار روش عددی تفاضل محدود *FLAC*، از روشی مشابه روش استفاده شده توسط سیدان و حسینی‌نیا [۱۸] بهره گرفته شده است. برای این منظور یک بارگذاری انفجاری در وسط مدل و بدون حضور سازه مطابق شکل (۱) اعمال گردید؛ تا در پی آن فشار حاصل از انفجار در حالت میدان آزاد در محیط ایجاد شود (شکل (۲)). دقت‌سنجی مدل از مقایسه مقادیر فشارهای بیشینه ایجادشده در مدل عددی در فواصل مختلف نسبت به محل انفجار و مقادیر فشارهای بیشینه محاسبه‌شده از طریق آیین‌نامه ارتش آمریکا [۱۵] صورت پذیرفته است.



شکل (۱): هندسه مدل ساخته‌شده در نرم‌افزار *FLAC* جهت صحت‌سنجی اثر بارگذاری انفجاری



شکل (۲): توزیع تنش ایجادشده در مدل جهت صحت‌سنجی مدل

نتایج حاصل از مدل‌سازی عددی صورت گرفته برای فشار بیشینه میدان آزاد در فواصل مقیاس شده در نمودار شکل (۳) به نمایش درآمده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد با افزایش فواصل مقیاس شده، از میزان اختلاف مقادیر فشار کاسته می‌شود تا این‌که پس از فاصله مقیاس شده تقریباً دو نمودار با خطایی کمتر از ۵٪ بر یکدیگر منطبق می‌گردند.

n فاکتور میرایی محیط است. مقادیر به‌دست‌آمده از روابط بالا برای موشک S-24 در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول (۳): پارامترهای لازم جهت بارگذاری ناشی از موشک S-24

T_a	ρ	C	f	R_i	W	n	P_i
ms	Lb/ft ³	ft/s	-	ft	lb	-	Psi
۴	۱۱۸/۷۵	۱۸۳۵	۱	۶/۵۶	۲۷۱/۱۷	۲	۱۵۵۲۷

مقدار زمان رسیدن موج انفجار به محیط کرتر که حاصل تقسیم شعاع کرتر بر سرعت موج لرزه‌ای می‌باشد برابر ۴ میلی ثانیه، فاکتور کوپل کننده زمین (f) متناظر با بدترین شرایط، برابر واحد، و نهایتاً مقدار فشار بیشینه ناشی از انفجار محصور نشده موشک S-24 برابر با ۱۵۵۲۷ psi معادل ۱۰۷ MPa محاسبه گردیده است که به‌صورت نرمال بر محیط پیرامونی کرتر تشکیل شده وارد می‌شود.

۴- فرضیات و شرایط مدل‌سازی

در ادامه جهت تکمیل نمودن روند مدل‌سازی، فرضیات در نظر گرفته‌شده ارائه می‌گردد. بدین‌منظور جهت مدل‌سازی محیط خاک (معادل با شرایط قالب تهران) از پارامترهای ورودی مطالعات آقایان صفا پیمان و محمدحسین تقوی پارسا [۱۶] بهره گرفته شده است. همچنین برای تحلیل دینامیکی یک مدل عددی، بایستی اتلاف انرژی امواج مورد بررسی ناشی از عبور از مصالح را مطابق شرایط واقعی در نظر گرفت. در این پژوهش برای در نظرگیری میرایی مصالح از میرایی رایلی استفاده گردیده است.

به‌منظور جلوگیری از انعکاس امواج و مدل‌سازی صحیح شرایط مرزی دینامیکی (اضمحلال انرژی به شکل صحیح) در نرم‌افزار *FLAC* از مرزهای ویسکوز مطابق روش لیزمر و کوهلمیر [۱۷] استفاده شده است. استفاده از کامپوزیت‌های پلیمری در بافت بتن باعث بهبود رفتار مکانیکی آن شده که به‌منظور مدل‌سازی این شرایط، نیاز به پارامترهایی از قبیل مدول الاستیسیته و مدول برشی است. لذا در این خصوص برای کامپوزیت پلیمری پایه کربنی که با نماد CFRP مشخص می‌شوند، از مطالعات لاور و همکاران [۱۹] مطابق جدول (۴) استفاده شده است. همچنین برای مدل‌سازی میکروپایل محدوده شعاع تاثیر دوغاب سیمان ۰/۵ m و طول مهارها ۱۰ m در نظر گرفته شده است.

جدول (۴): پارامترهای در نظر گرفته‌شده توسط لاور و همکاران [۱۹]

جهت مدل‌سازی کامپوزیت‌های پلیمری کربنی

	Carbon Fabric (MPa)
E_{xx}	۶۷۷۷/۹
E_{yy}	۷۳۲۶/۰
G	۴۱۳/۲
ν	۰/۳

جدول (۵): برنامه آزمایشات مدل و پارامترهای مورد بررسی

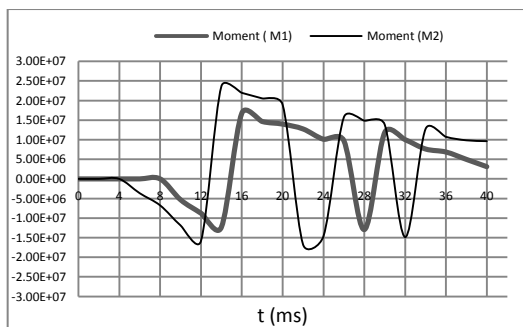
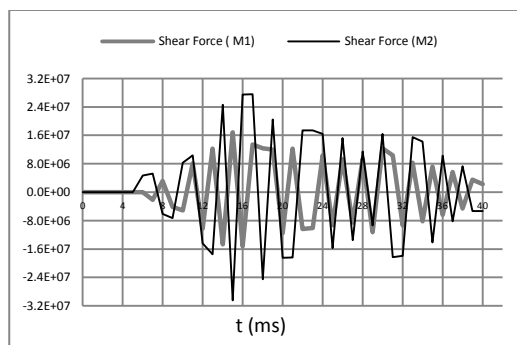
ردیف	نام مدل	عرض فونداسیون (متر)	عمق مدفون شدگی	فاصله مرکز انفجار تا مرکز پی (متر)	راه کار پدافند غیرعامل
۱	M1	۱۰	۱	۲۰	-
۲	M2	۱۰	۰	۲۰	-
۳	M3	۱۰	۱	۳۰	-
۴	M4	۱۰	۱	۴۰	-
۵	M5	۱۰	۱	۲۰	استفاده از کامپوزیت‌های پلیمری پایه کربنی (CFRP)
۶	M6	۱۰	۱	۲۰	اجرای میکروپایل (Micropile)

۷- نتایج و بحث

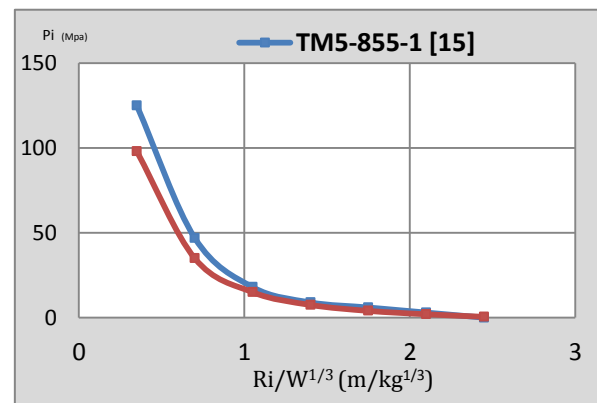
نتایج حاصل شده از مدل‌سازی‌های صورت‌گرفته به تفکیک برای هر پارامتر ارائه خواهد شد:

۷-۱- اثر مدفون شدگی

در این بخش به بررسی اثر عمق مدفون شدگی فونداسیون تحت بارگذاری انفجاری می‌پردازیم. بدین منظور نمودارهای مربوط به نیروی برشی و لنگر خمشی نسبت به زمان مطابق شکل (۴) ارائه شده است.



شکل (۴): تغییرات نیروی برشی و لنگر خمشی حداکثر فونداسیون برای مدل‌های M1 و M2 نسبت به زمان



شکل (۳): مقایسه نمودارهای فشار مقیاس‌شده، برای نتایج مدل‌سازی عددی در نرم‌افزار FLAC و نتایج حاصل از روابط تجربی آیین‌نامه ارتش آمریکا [۱۵]

۶- برنامه آزمایشات و پارامترهای مورد بررسی

جدول (۵) مدل‌سازی‌های صورت‌گرفته که شامل ۶ مدل است را نشان می‌دهد در این مدل‌ها اثر پارامترهای ذیل مورد ارزیابی قرار گرفته است:

۶-۱- عمق مدفون شدگی

نسبت عمق مدفون و محصور شده پی ساختمان به عمق کل پی را نسبت مدفون شدگی گویند این نسبت در پی‌های سطحی معنا و مفهوم دارد در صورتی‌که پی کامل بر روی زمین قرار گرفته باشد نسبت دفن شدگی برابر صفر و در صورتی‌که که پی کامل در داخل زمین باشد و توسط خاک اطراف پی احاطه شده باشد این نسبت ۱ می‌باشد در دو مدل اثر انفجار بر روی تغییرات این نسبت بررسی شده است.

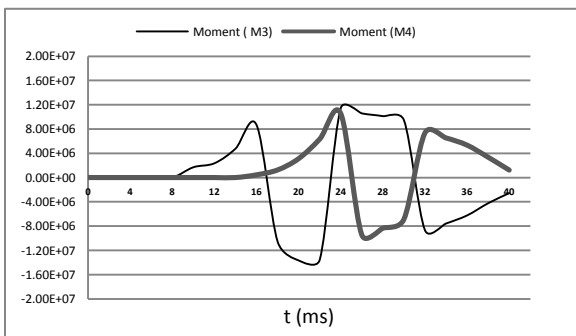
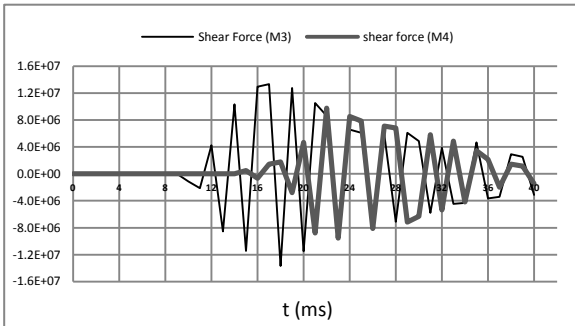
۶-۲- فاصله مرکز انفجار

پارامترهایی که بر قدرت یک انفجار نقش کلیدی دارند شدت و فاصله است حال با توجه ثابت بودن نوع موشک، با تغییرات در فاصله مابین مرکز انفجار و فونداسیون می‌توان اثر پارامتر قدرت انفجار را با تغییرات فاصله ارزیابی کرد.

۶-۳- بررسی اثر عامل تقویتی

به منظور هر چه منسجم و کامل نمودن این تحقیق، دو راه حل مناسب با قابلیت اجرایی و با رویکرد پدافند غیرعامل ارائه گردیده است. راه حل اول استفاده از کامپوزیت‌های پلیمری پایه کربنی CFRP و راه حل دوم استفاده از روش میکروپایل به‌عنوان المان حائل در مدل‌سازی صورت پذیرفته تا بتوان با بررسی نتایج ارائه‌شده بهترین گزینه را انتخاب نمود.

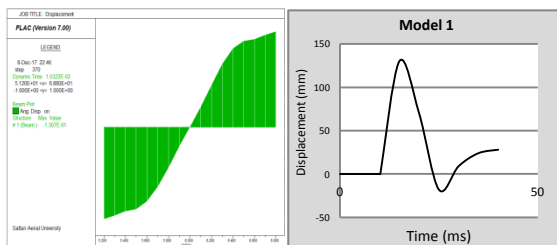
سازه و عدم تطابق آن با فرکانس اجباری به‌وجود آمده می‌توان اثرات انفجار را کاهش داد.



شکل (۶): تغییرات نیروی برشی و لنگر خمشی حداکثر فونداسیون برای مدل‌های M3 و M4 نسبت به زمان

۷-۳- اثر عامل تقویتی

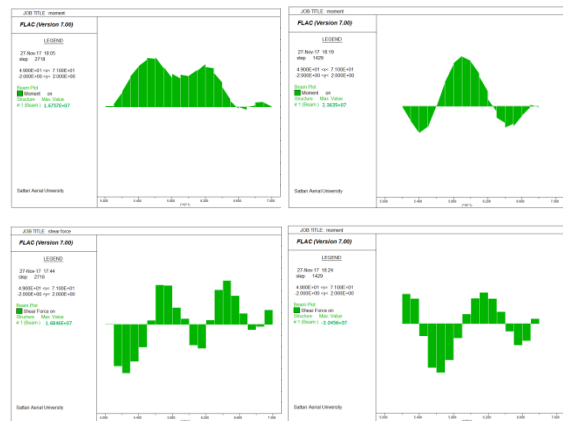
یکی از پارامترهای مهم که در طراحی سازه مورد توجه قرار می‌گیرد کنترل تغییر مکان‌های ناشی از بارگذاری است. لذا با دانستن میزان جابجایی به‌وجود آمده ناشی از انفجار کمک شایانی به امر طراحی خواهد شد. در این خصوص تغییر مکان حداکثر رخ داده نسبت به زمان برای مدل M1 اندازه‌گیری شده که نتایج آن به همراه محل جابجایی حداکثر در فونداسیون در نمودار شکل (۷) قابل مشاهده است.



شکل (۷): منحنی جابجایی - زمان مدل M1 به همراه محل جابجایی حداکثر در فونداسیون

با مشاهده شکل (۸)، میزان جابجایی در مدل M1 با مدل‌هایی که از میکروپایل (مدل M6) و کامپوزیت‌های پلیمری (مدل M5)

تغییرات نیروی برشی در حالت مدفون (مدل M1) نسبت به حالت آزاد (مدل M2) کاهش محسوسی از خود نشان داده به طوری که بیشینه مقدار نیروی برشی حدود ۴۴٪ تقلیل یافته است؛ ولی هر دو مدل در بازه زمانی ۱۴ الی ۱۶ میلی‌ثانیه به مقدار بیشینه خود رسیدند که این موضوع برای نمودارهای لنگر خمشی نیز صدق می‌کند. تغییرات لنگر خمشی در حالت آزاد (مدل M2) نوسانات بیشتری را نشان داده که با توجه به عدم محصورشدگی جداره‌های جانبی فونداسیون توسط خاک این مسئله دور از تصور نبوده است. میزان کاهش لنگر مدل M1 نسبت به مدل M2، ۲۹٪ محاسبه می‌شود که نسبت به تغییرات نیروی برشی درصد کمتری است. لذا با اجرای فونداسیون سازه در حالت مدفون می‌توان شاهد کاهش نیروهای واردشده به سازه بود که با اصل میرایی و مستهلک شدن انرژی نیز تطابق دارد. شکل (۵) نتایج حاصل از رکورد تغییرات نیروی برشی و لنگر خمشی در لحظه‌ای که پارامترهای فوق به بیشینه خود رسیده است را نشان می‌دهد.



شکل (۵): نحوه توزیع لنگر خمشی و نیروی برشی در لحظه بیشینه خود برای مدل‌های M1 و M2 (نمودارهای سمت چپ مربوط به مدل M1 و نمودارهای سمت راست مربوط به مدل M2)

۷-۲- اثر فاصله مرکز انفجار

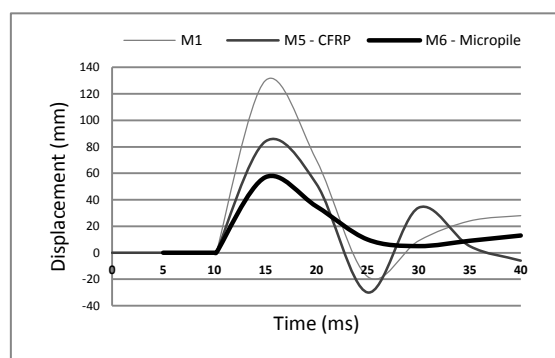
همان‌طور که در قسمت‌های قبلی اشاره شد با جابجایی در محل مرکز انفجار می‌توان در شدت انفجار واصله به محل احداث بنا تغییر ایجاد کرد از این‌رو، شکل (۶) منحنی نیروی برشی و لنگر خمشی در دو فاصله ۳۰ و ۴۰ متری (به ترتیب مدل M4 و M3) را نشان می‌دهد.

در نگاه اول، به طور کامل واضح است که محل اولین اکستریمم رخ داده با توجه به زمان لازم رسیدن موج انفجار در مدل M3 زودتر رخ داده است. در نمودار نیروی برشی، پس از رسیدن امواج ناشی از انفجار به سازه این نیرو به حداکثر میزان خود رسیده سپس کاهش داشته حال آن‌که در نمودار لنگر خمشی به‌علت پدیده تشدید، این مورد بیشتر نمایان شده است. لذا با در نظر گرفتن فرکانس غالب

۹- منابع

1. M. W. Gui and M. C. Chien, "Blast-Resistant Analysis for a Tunnel Passing Beneath Taipei Shongsan Airport—a Parametric Study," Springer, Geotechnical and Geological Eng., vol. 24, pp. 227-248, 2006.
2. C. A. Ross, M. R. Purcell, and E. L. Jerome, "Blast response of concrete beams and slabs externally reinforced with fibre reinforced plastics (FRP)," Proceedings of the Struct. Cong. XV – building to last, Portland, USA, pp. 673–77, 1997.
3. J. E. Crawford, L. J. Malvar, K. B. Morrill, and J. M. Ferritto, "Composite retrofits to increase the blast resistance of reinforced concrete buildings," Proceedings of the 10th international symposium on interaction of the effects of munitions with structures, San Diego, USA, pp. 1–13, 2001.
4. K. M. Mosalam and A. S. Mosallam, "Nonlinear transient analysis of reinforced concrete slabs subjected to blast loading and retrofitted with CFRP composites," Compos. Part B: Eng., vol. 32, no. 8, pp. 623–36, 2001.
5. D. Lawver, R. Daddazio, G. Jin Oh, A. B. Pifko, and M. Stanley, "Simulating the response of composite reinforced floor slabs subjected to blast loading," ASME Int. Mech. Eng. Cong., Washington DC, pp. 15–22, 2003.
6. L. C. Muszynski, M. R. Purcell, and R. Sierakowski, "Strengthening concrete structures by using externally applied composite reinforcing material," Proceedings of the seventh international symposium on interaction of the effects of munitions with structures, Germany, pp. 291–98, 1995.
7. L. C. Muszynski and M. R. Purcell, "Composite reinforcement to strengthen existing concrete structures against air blast," J. Compos. Constr., 2003.
8. C. J. Oswald and J. W. Wesevich, "Structural retrofits to increase the blast capacity of roofs and masonry walls," Proceedings of the SAME national symposium on comprehensive force protection, Charleston, USA, Nov. 2001.
9. J. S. Davidson, J. R. Porter, R. J. Dinan, M. I. Hammons, and J. D. Connell, "Explosive testing of polymer retrofit masonry walls," J. Perform Constructed Facilities, vol. 18, no. 2, pp. 6–100, 2004.
10. A. Ghani Razaqpur, A. Tolba, and E. Contestabile, "Blast loading response of reinforced concrete panels reinforced with externally bonded GFRP laminates," Composites Engineering, vol. 38, pp. 535-546, Sep. 2007.
11. A. Stollz, K. Fischer, C. Roller, and S. Hauser, "Dynamic bearing capacity of ductile concrete plates under blast loading," International Journal of Impact Engineering, vol. 69, pp. 25-38, July 2014.
12. J. Li and H. Hoa, "Numerical study of concrete spall damage to blast load," International Journal of Impact Engineering, vol. 68, pp. 41-55, June 2014.
13. S. Yoa, D. Zhang, X. Chen, F. Lu, and W. Wang, "Experimental and numerical study on the dynamic response of RC slabs under blast loading," Engineering Failure Analysis, vol. 66, pp. 120-129, August 2016.

استفاده شده را می‌توان مقایسه نمود. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد میزان جابجایی حداکثر بدون استفاده از عامل های تقویتی به ۱۳ cm رسیده این در حالی است که بیشترین مقدار تغییر مکان در حالت استفاده از CFRP و اجرای میکروپایل به ترتیب به ۸/۴ cm و ۵/۷ cm محدود می‌گردد. لذا توصیه می‌شود برای ساختمان‌های با درجه اهمیت بالا، با توجه به میزان نشست مجاز از یکی از دو روش فوق استفاده گردد.



شکل (۸): مقایسه جابجایی به وجود آمده در مدل‌ها

۸- نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج مطالعات عددی صورت‌گرفته، در جهت کاهش اثرات تخریبی ناشی از موشک S-24 می‌توان نتیجه‌گیری‌های کلی صورت گرفته از این پژوهش را در قالب راه‌کارهای کاربردی ذیل در راستای تقویت پدافند غیرعامل در سازه‌ها مطرح نمود:

با توجه به بررسی‌های صورت‌گرفته باید تا حد امکان پی‌های سازه‌ها در حالت مدفون اجرا شود؛ چرا که با جذب انرژی بیشتر توسط خاک پیرامونی باعث کاهش نیروهای وارده به پی و به تبع آن باعث کاهش خسارات خواهد شد. همچنین با بررسی فاصله مرکز انفجار تا مرکز فونداسیون (۲۰، ۳۰ و ۴۰ متر) می‌توان دریافت با افزایش ۵۰٪ پلکانی فاصله، حداکثر مقدار لنگر خمشی به‌ازای هر پلکان حدود ۲۰٪ کاهش پیدا می‌کند.

استفاده از عامل‌های تقویتی شامل اجرای میکروپایل و استفاده از CFRP در بافت مصالح فونداسیون باعث کاهش چشم‌گیر مقدار تغییر مکان گردید؛ به‌نحوی که در مقدار حداکثری خود، به ترتیب ۳۵ و ۵۶ درصد از جابجایی به‌وجود آمده ناشی از انفجار کاسته شد. لذا پیشنهاد می‌گردد در پروژه‌هایی که از درجه اهمیت بالایی برخوردار هستند از سیستم میکروپایل استفاده شود. که این سیستم قابلیت اجرا شدن حتی پس از اتمام کار سازه را داراست ولی توصیه می‌گردد در زمان اجرای فونداسیون عملی گردد. همچنین پیشنهاد می‌گردد برای سازه‌های با درجه اهمیت بسیار بالا از دو سیستم فوق به صورت هم‌زمان به‌کارگیری شود.

18. M. J. Seyedan and E. Seyed Hosseininia, "Significance of Soil Compaction on Blast Resistant Behavior of Underground Structures: A Parametric Study," *Civil engineering infrastructures journal*, vol. 48, no. 2, pp. 359-372, 2015.
19. D. Lawver, R. Daddazio, G. Jin Oh, C. K. B Lee, A. B. Pifko, and M. Stanley, "Simulating the response of composite reinforced floor slabs subjected to blast loading," 2003 ASME International Mechanical Engineering Congress, 2003.
14. P. S. Bulson, "Explosive loading of engineering structures," CRC Press, vol. 272, London, 1997.
15. TM5-855-1, "Fundamentals of Protective Design for Conventional Weapons," U.S. Department of the Army, Washington DC, 1980.
16. S. Peyman and M. H. Taghavi Parsa, "Analysis of the lateral surface blast loading in 3-dimentional numerical model of reinforced concrete underground structure with RHT resistance," *Passive Defense Quarterly*, vol. 8, no. 3, Autumn 2017.
17. J. Lysmer and R. L. Kuhlemeyer, "Finite Dynamic Model for Infinite Media," *J. Eng. Mech.*, vol. 95, pp. 859-877, 1969.

Investigation of Dynamic Response of Shallow Foundations Against Blast Loading Under Air-to-Ground Rockets and it's Solutions with Passive Defense Approach

Gh. Jafari*

Abstract

During recent years, from passive defense point of view, owing to increasing terrorist attacks and likelihood of air and missile attacks and bomb explosion in urban areas, building design against blast loads has received special attention. Consequently, offering a solution for dealing with destructive agents is a vital issue since it is related to human life. In this study, first the effects of S-24 rocket explosion is evaluated with FLAC software, using finite difference method by making changes in two parameters; namely shallow foundation embedment ratio and the distance between the center of explosion and footing. Two appropriate solutions have been offered with passive defense approach in terms of economy and operation. The first solution is utilizing Carbon fiber reinforced polymer (CFRP) and the second one is employing Micropile technique which is regarded as a retaining element in modeling. Analyzing results of conducted numerical simulations in this study revealed that the presented solutions decrease the maximum footing displacements 30 and 40 centimeters, respectively.

Key Words: *Blast loading, Shallow Foundation, CFRP Composites, Micropile*