

بررسی سطح عملکردی دیوارهای پیش ساخته بتنی تحت بارگذاری انفجار و زلزله بر اساس آیین نامه های ایران

محمدحسین تقوی پارسا^{۱*}، علی گراوند^۲

۱- دکتری مهندسی سازه، دانشگاه جامع امام حسین (ع)

۲- کارشناس ارشد مهندسی سازه، دانشگاه اصفهان

* enmhpt@chmail.ir

تاریخ پذیرش: [۹۸/۴/۱۸]

تاریخ دریافت: [۹۷/۱۰/۳]

چکیده

طراحی دیوارهای پیش ساخته بتنی با توجه به بارگذاری های محتمل مانند بار انفجار، زلزله، باد و نیز کنترل مقاومت، پایداری و احتمال واژگونی آنها انجام می گیرد. از طرفی استفاده از بتن الیافی به منظور جذب انرژی و دوام بیشتر می تواند در ساخت چنین دیوارهایی راهکار مناسبی باشد. هدف از این پژوهش بررسی مقاومت دیوارهای پیش ساخته بتنی، در برابر بار ناشی از ضربه و انفجار است. در ضمن با استفاده از بتن الیافی مقاومت دیوارها در برابر بار انفجار توسط نرم افزار اجزاء محدود آباکوس بررسی می شود. همچنین بارگذاری زلزله به صورت شتاب-نگاشت به دیوارها اعمال شده و با استفاده از تحلیل تاریخچه زمانی خطی، تغییر مکان های جانبی انواع دیوارها توسط نرم افزار SAP2000 بررسی می شود. در نهایت سطح عملکرد انواع دیوارها تحت بارگذاری های اعمال شده و با توجه به آیین نامه بارگذاری زلزله ساختمان ها (استاندارد ۲۸۰۰) و مبحث ۲۱ مقررات ملی ساختمان مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج این پژوهش نشان می دهد که استفاده از الیاف در بهبود سطح عملکردی دیوارهای پیش ساخته در برابر بار دینامیکی مانند انفجار و زلزله تاثیر مثبت دارد.

واژگان کلیدی: دیوار پیش ساخته، بارگذاری انفجار، زلزله، بتن الیافی، آباکوس، سپ ۲۰۰۰.

۱. مقدمه

استفاده از دیوارهای بتنی پاشنه دار^۱ به منظور ایجاد حریم، حفاظت و نیز نوعی از انسداد کاربرد دارد. این دیوارها ممکن

است به صورت پیش ساخته و یا درجاریز اجرا شوند و بنا به شرایط موجود و با توجه به بارگذاری های محتمل مانند بار انفجار، زلزله، باد و ... طراحی شوند. همچنین استفاده از بتن الیافی به منظور جذب انرژی و دوام بیشتر می تواند در ساخت چنین دیوارهایی راهکاری مناسب باشد. مقاومت، پایداری و احتمال واژگونی این دیوارها با توجه به بار انفجار و عمق

^۱ T-Wall

پیشرفت‌های انجام شده در صنعت ساختمان و مطالعات انجام گرفته روی بتن، منجر به ظهور انواع مختلفی از بتن الیافی شده است. در این نوع از بتن، الیاف‌های مختلفی به صورت ماکروسکوپی و اختلاط فیزیکی به بتن اضافه شده، و منجر به بالا رفتن مقاومت بتن در کشش می‌شود. بتن الیافی به دلیل جذب انرژی و مقاومت بالا در برابر بارهای انفجار مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. فوگلار و همکاران [5] در تحقیقی اثر بار انفجار نزدیک بر عرشه پل‌ها را با در نظر گرفتن افزایش الیاف فولادی با عملکرد بسیار بالا بر بتن بررسی کردند. نتیجه کار آنان بخ این صورت بود که افزایش درصد الیاف فولادی با مقاومت بسیار بالا تأثیر بسیار خوبی بر رفتار بتن الیافی در برابر انفجار دارد. همچنین مشاهده کردند که قرار دادن شبکه مش در دال‌ها منجر به بهبود رفتار بتن الیافی در برابر انفجار می‌شود.

آیسی‌سینگ و همکاران [6] در پژوهشی به مطالعه آزمایشگاهی روی اثر الیاف آرامید بر مقاومت پنل‌های بتن الیافی پرداختند. در این پژوهش چند دال بتن‌آرمه و بتن الیافی با الیاف آرامید در برابر بار انفجار بررسی شد. با توجه به آزمایش‌های انجام گرفته آنان به این نتیجه رسیدند که استفاده از الیاف آرامید در داخل بتن باعث افزایش جذب انرژی و افزایش مقاومت بتن می‌شود. لوچیونی و همکارانش [7] در پژوهشی به آنالیز عددی و آزمایشگاهی اثر انفجار بر دال‌های بتن الیافی با مقاومت بسیار بالا پرداختند. در پژوهش آن‌ها اثر الیاف فولادی دو سر قلاب بر مقاومت انفجاری بتن با مقاومت بسیار بالا در حالت عددی و آزمایشگاهی بررسی شد. پژوهش‌های آن‌ها نشان داد هرچه الیاف کوتاه‌تر باشند با یک درصد حجمی مشخص عملکرد بهتری در برابر انفجار خواهند داشت. همچنین ترک‌های سطح پستی دال کم‌تر خواهد شد. در پژوهشی که توسط لی و همکارانش [8] صورت گرفت اثر الیاف پلی‌اتیلن با مقاومت بسیار بالا، الیاف فولادی و شبکه مش فولادی بر دال‌های بتنی تحت بارگذاری انفجاری دیده شد. نتایج نشان می‌داد که ترکیب الیاف فولادی و شبکه مش به مراتب عملکرد بهتری نسبت به سایر الیاف دارد.

بیشتر کارهای انجام شده در زمینه بررسی اثر انفجار بر

مدفون این دیوارها مواردی هستند که باید توسط طراح کنترل شوند. علاوه بر تمام کنترل‌های بیان شده یکی از مسائل حائز اهمیت آن است که هزینه ساخت و مصالح مصرفی بهینه شود، به همین دلیل مقایسه استفاده از بتن مسلح با آرماتور و استفاده از بتن الیافی مورد توجه است.

تاکنون آیین‌نامه‌های گوناگونی به بررسی آثار انفجار و طراحی سازه‌ها در برابر بار انفجار پرداخته‌اند. آیین‌نامه‌های ارتش آمریکا مانند [1] UFC و [2] TM5-855-1 از معروف‌ترین آیین‌نامه‌های بارگذاری انفجاری هستند. به دلیل خطرناک و پرهزینه بودن آزمایش‌های انفجار، می‌توان با استفاده از نرم‌افزارهایی مانند آتودین و آباکوس که توانایی مدل‌سازی پدیده انفجار را دارند نتایجی مشابه با آزمایش‌های صورت گرفته در این زمینه گرفت. در ادامه به بررسی برخی از مقالات موجود در این زمینه پرداخته می‌شود.

وانگ و همکاران [3] در مطالعه‌ای به بررسی رفتار دال‌های بتن‌آرمه یک‌طرفه در معرض بار انفجار از طریق آزمایش و شبیه‌سازی عددی پرداختند و معیار خرابی را برای سطوح مختلف خسارت در اثر تغییر فاصله و وزن انفجار ارائه کردند. همچنین با افزایش بار مواد منفجره در فاصله ثابت از دال، مشاهده کردند که حالت خرابی دال بتن‌آرمه از حالت خمش کلی به شکست پانچ موضعی تغییر می‌یابد. شاشانک و همکاران [4]، در کاری عددی پاسخ دینامیکی دیوار بتن‌آرمه تحت بار انفجار را بررسی کردند. آنان در اینکار دیوار بتنی به همراه میلگردها را توسط نرم‌افزار اجزاء محدود آباکوس شبیه‌سازی و تأثیر پارامترهای مختلف از قبیل: ضخامت دیوار، مقاومت فشاری بتن، درصد آرماتور، مقاومت کششی آرماتورها، قطر میلگرد، و خواص وابسته به نرخ کرنش بتن و فولاد را بررسی کردند. در نهایت پس از تحلیل نتایج حاصل از مدل‌سازی به این نتیجه رسیدند که بیشتر ضخامت دیوار و درجه بتن نسبت به درصد آرماتور، قطر میلگرد و درجه فولاد، پاسخ انفجار را کنترل می‌کند. همچنین دیوارهای بتن‌آرمه با مدل‌سازی مشخصات مصالح وابسته به کرنش، جابه‌جایی کمتری نسبت به مشخصات مصالح مستقل از کرنش از خود نشان می‌دهند.

شکل ۱. نمودار ارتعاش آزاد فشار-زمان [2]

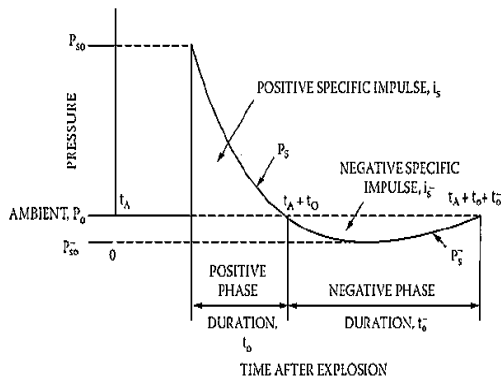


Fig. 1. Pressure-time free vibration diagram [2]

۱-۲. وزن معادل TNT

انرژی آزاد شده به واسطه انفجار به دو صورت بر سازه اثرگذار است. اثر اول، فشار انفجار است که عامل اصلی در تعیین پاسخ سازه بوده و دومین اثر، فشار دینامیکی یا فشار ثانویه است که با سرعت بسیار زیاد منجر به پرتاب آوار به اطراف می‌شود.

استفاده از TNT به عنوان ماده مرجع برای بررسی موضوع انفجار موضوعی مرسوم و استاندارد است. به همین منظور طبق قانون اسمیت از وزن معادل TNT برای بار ناشی از انفجار هر ماده منفجره استفاده می‌شود [9]. جدول (۱) نشان‌دهنده انرژی معادل مواد منفجره مختلف است، به عنوان نمونه ۱۰۰ کیلوگرم از RDX معادل با ۱۱۸/۵ کیلوگرم TNT است.

جدول ۱. انرژی معادل مواد منفجره مختلف بر حسب TNT [9]

Coefficient equivalent to TNT (CF)	Special energy mass (Kj/Kg)	Explosive
1	4520	^۱ TNT
1.481	6700	Nitroglycerin (liquid)
0.87	3932	ANFO
1.148	5190	Compound B (60% RDX 40% TNT)
1.25	5660	Semtex
1.256	5680	HMX
1.185	5360	RDX

Table 1. Equivalent energy of different explosives in

^۱ Trinitrotoluene (TNT)

سازه بتنی، بر روی دال‌های بتنی صورت گرفته است. در شبیه‌سازی‌های صورت گرفته نیز به بحث انفجار در دیوارهای حائل پرداخته نشده است. به این منظور در این پژوهش مقاومت دیوارهای بتنی پیش‌ساخته، در برابر بار ناشی از ضربه و انفجار ناشی از پرتابه سلاح RPG-7 با توجه به آیین‌نامه بارگذاری زلزله ساختمان‌ها (استاندارد ۲۸۰۰) و مبحث ۲۱ مقررات ملی ساختمان بررسی خواهد شد. دیوارهای مورد بررسی از جنس بتن‌آرمه و بتن‌الیافی بدون آرماتور است که تحت بارگذاری انفجار در نرم‌افزار آباکوس شبیه‌سازی شده است. سپس بارگذاری زلزله به صورت شتاب‌نگاشت به دیوارها اعمال شده و با استفاده از تحلیل تاریخچه زمانی خطی تغییرمکان‌های جانبی دیوار بررسی شده است. تحلیل دیوارها در برابر بار زلزله توسط نرم‌افزار SAP2000 انجام می‌شود. در نهایت عملکرد دیوارها تحت بارگذاری‌های انجام شده مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۲. تئوری انفجار

در هنگام انفجار، یک موج انفجاری بوجود می‌آید که از مرکز انفجار به اطراف گسترش می‌یابد. امواجی که در لحظات بعدی به اطراف پخش می‌شوند دارای سرعتی به مراتب بالاتر از سرعت امواج اولیه هستند، زیرا از داخل هوایی عبور می‌کنند که توسط امواج اولیه گرم شده است به همین دلیل فیزیک امواج ثانویه در یک زمان معین به فیزیک امواج اولیه می‌رسند و فشار آن‌ها با یکدیگر برابر می‌شود. در نتیجه تشکیل یک سطح می‌دهند که به آن جبهه ضربه (جبهه موج) گفته می‌شود. هنگامی که جسمی در برابر جبهه موج قرار گیرد فشار سطحی آن بالا رفته و در لحظه بسیار کوتاه به بیشینه مقدار خود می‌رسد. این فشار به سرعت و از همه طرف جسم را تحت تاثیر قرار می‌دهد. این موج ترکیبی از شوک با فشار بالا است که از مرکز انفجار به سمت بیرون متصاعد می‌شود و به صورت تابعی از زمان و مکان وقوع انفجار کاهش می‌یابد. شکل (۱) کلیه پارامترهای ناشی از انفجار یک ماده منفجره در فاصله‌های معین از محل انفجار را به صورت ایده‌آل نشان می‌دهد.

۳- معادله مایلز^۲ که در سال ۱۹۶۰ ارائه شده است [11]:

$$P_{so} = \frac{1772}{Z^3} - \frac{114}{Z^2} + \frac{108}{Z} \quad (۳)$$

همچنین در آیین نامه UFC نمودارهایی برای یافتن پارامترهای مختلف ناشی از انفجار یک ماده منفجره با توجه به فاصله مقیاسی تهیه شده است که در این نمودارها با توجه به نسبت Z می توان پارامترهای فشار برخورد، فشار بازتاب، زمان رسیدن موج انفجار به سازه، زمان تداوم موج انفجار و ضربه ناشی از انفجار را بدست آورد [1]. در ضمن در روابط ذکر شده، (Z) فاصله مقیاس شده برای یک انفجار مطابق رابطه (۴) محاسبه می شود. این فاصله تابعی از (d) فاصله از مرکز انفجار و (W) وزن خرج انفجاری است.

$$Z = \frac{d}{W^{1/3}} \quad (۴)$$

۳. تحلیل عددی

۳-۱. درستی آزمایی

برای اطمینان از درستی روش مدلسازی عددی، مدل آزمایشگاهی موجود در پژوهش لوک^۳ و ژیاثو^۴ [12] به وسیله نرم افزار مدلسازی کرده و نتایج با یکدیگر مقایسه می شوند. این بررسی نتایج تحلیل عددی سه تیپ دال بتنی که تحت بار انفجار قرار داده شده است، با یکدیگر مقایسه شدند. پنل های مربعی به ضخامت ۵۰ میلی متر و ابعاد ۸۱۰ میلی متر در برابر ۸ و ۲۰ کیلوگرم TNT بار انفجار مورد آزمایش قرار گرفتند. این پنل ها در چهارطرف خود دارای تکیه گاه های ساده بودند. نمونه ۱ دارای ۱/۵ درصد حجمی الیاف فولادی به طول ۶۰ میلی متر و قطر ۰/۸ میلی متر، نمونه ۲ دارای ۱ درصد حجمی الیاف فولادی به طول ۳۰ میلی متر و قطر ۰/۵ میلی متر و نمونه ۳ دارای ۱/۵ درصد حجمی الیاف فولادی به طول ۱۸ میلی متر و نسبت ابعادی ۳۳/۴ بودند. نتایج درستی آزمایی شامل جابه جایی

^۲ Miles

^۳ Lok

^۴ Xiao

terms of TNT [9]

جدول (۲) نشان دهنده وزن خرج گلوله چندین اسلحه مطابق با آیین نامه TM5-855-1 است. در این جدول وزن خرج انفجاری سلاح RPG-7 حدوداً برابر با مقدار ۷۳۰ گرم از ماده منفجره RDX است [2].

جدول ۲. مشخصات سلاح موشک انداز ارتش روسیه و آمریکا [2]

Weapon	Effective range (m)	Projectile speed (m/s)	Type of explosive	Charge weight (g)	Diameter of the projectile (mm)
U.S-Law	200	145	OCTOL	300	66
RPG-7	300	300	RDX	730	85
U.S-Dragon	1000	76	OCTOL	1590	102
Sagger	3000	120	-	-	120
U.S-TOW	3750	200	OCTOL	2360	221
Multirocket Launcher	10300	295	TNT	27130	240

Table 2. Specifications of Russian and US Army Missile Weapons [2]

۳-۲. فشار ناشی از انفجار

مهمترین پارامتر انفجار فشار فوق العاده موج جلو رونده است که مقدار آن بستگی به نوع ماده منفجره و وزن خرج دارد. روابط مختلفی برای محاسبه این پارامتر وجود دارد که در ادامه به چند مورد از آنها اشاره می شود.

۱- معادلات اسمیت بین سال های ۱۹۵۰ تا ۱۹۶۰ برای انفجار در روی سطح زمین که عبارتست از [9]:

$$\text{for}(P_{so} > 10\text{bar}): P_{so} = \frac{6.7}{Z^3} + 1$$

$$\text{for}(0.1\text{bar} < P_{so} < 10\text{bar}): P_{so} = \frac{0.975}{Z} + \frac{1.655}{Z^2} + \frac{5.5}{Z^3} - 0.019 \quad (۱)$$

۲- معادلات نیومارک^۱ که عبارتند از [10]:

$$P_{so} = 6784 \frac{W}{R^3} + 93 \left(\frac{W}{R^3} \right)^2 \quad (۲)$$

^۱ New Mark

یکدیگر است. دیوار تیپ ۶ نیز بتن الیافی بدون آرماتور است.

شکل ۲. نمای سه بعدی دیوار تیپ ۱ و ۲ مدل شده در نرم افزار آباکوس.

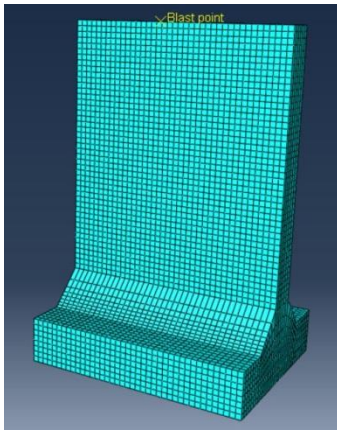


Fig. 2. Three-dimensional view of wall type 1 and 2 modeled in Abacus software

برای ساخت مدل دیوار حائل در آباکوس پس از تعیین هندسه دیوار، باید مشخصات مصالح تعریف شد. در ادامه مشخصات مصالح استفاده شده برای مدل سازی های عددی آمده است.

۳-۲-۱. بتن

برای مدل سازی بتن از المان های ۸ گرهی (C3D8R) استفاده می شود که این نوع المان قابلیت لحاظ کردن تغییر شکل های پلاستیک و ترک خوردن در سه جهت متعامد در هر نقطه انتگرال گیری را دارد [13].

مقاومت فشاری بتن استفاده شده برای مدل سازی عددی ۳۰ مگاپاسکال، چگالی بتن ۲۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب، مدول الاستیسیته ۲۵/۱ گیگاپاسکال و ضریب پواسون ۰/۲ در نظر گرفته شده است. برای مدل سازی بتن در ناحیه پلاستیک و بررسی رفتار آن از مدل خسارت پلاستیک بتن^۱ استفاده شده است. در این مدل دو عامل اصلی برای خرابی بتن خردشدگی

میانی دهانه هر یک از پنل های مدل سازی شده در جدول (۳) نشان داده شده است.

جدول ۳. جابه جایی میانی دهانه هر یک از پنل های مدل سازی شده

Sample	Experiment (mm)	Software (mm)	percentage error (%)
1	9	12	33
2	11	15.4	40
3	33	36.9	12

Table 3. mid-span displacements of each modeled panel

۳-۲. مدل سازی هندسی

در این پژوهش شش تیپ دیوار در نظر گرفته شده است. دیوارهای تیپ ۱ و ۲ دارای ارتفاع کلی ۳ متر، پاشنه ۱/۶ متر در جهت عمود بر دیوار در ۲ متر در راستای دیوار با ضخامت ۰/۴ متر و ضخامت دیوار برابر با ۰/۳ متر است. دیوار تیپ ۱ از جنس بتن آرمه با آرماتور طولی و عرضی با قطر ۱۲ میلی متر و فواصل ۲۰۰ میلی متری از یکدیگر است. دیوار تیپ ۲ نیز از جنس بتن الیافی بدون آرماتور در نظر گرفته شده است. در شکل (۱) نمای سه بعدی دیوار تیپ ۱ و ۲ در آباکوس آورده شده است.

دیوارهای تیپ ۳ و ۴ دارای ارتفاع کلی ۴ متر هستند. پاشنه این دیوارها ۱/۴ متر در جهت عمود بر دیوار و ۲/۵ متر در راستای دیوار با ضخامت متغیر از ۰/۳ متر در لبه و ۰/۴ متر در محل اتصال دیوار و پاشنه است. ضخامت دیوار نیز به صورت متغیر از ۰/۲ متر در بالای دیوار و ۰/۳ متر در محل اتصال دیوار و پاشنه در نظر گرفته شده است. دیوار تیپ ۳ از جنس بتن آرمه یا آرماتور طولی با قطر ۱۲ میلی متر در فواصل ۲۰۰ میلی متری از یکدیگر و آرماتور عرضی با قطر ۱۲ میلی متر و فواصل ۳۰۰ میلی متری از یکدیگر است. دیوار تیپ ۴ نیز بتن الیافی بدون آرماتور است.

دیوارهای تیپ ۵ و ۶ با ارتفاع کلی ۵ متر است که یک متر از آن به صورت مدفون در خاک در نظر گرفته شده است. مشخصات پاشنه و ضخامت این دیوارها مانند دیوارهای تیپ ۳ و ۴ است. دیوار تیپ ۵ از جنس بتن آرمه یا آرماتور طولی با قطر ۱۲ میلی متر در فواصل ۲۰۰ میلی متری از یکدیگر و آرماتور عرضی با قطر ۱۲ میلی متر و فواصل ۳۰۰ میلی متری از

^۱ Concrete Damage Plasticity (CDP)

۳-۲-۴. خاک

خاک مدل شده در این پژوهش از نوع خاک ماسه‌ای است. برای مدلسازی رفتار پلاستیک خاک نیز از معیار مور-کولمب استفاده شده است پارامترهای لازم برای مدلسازی خاک در آباکوس در جدول (۴) نشان داده شده است. برای تعریف اندرکنش بین خاک و بتن، ضریب اصطکاکی مماسی برابر با 0.147 و رفتار عمودی بتن و خاک در تماس با یکدیگر به صورت تماس جسم سخت^۲ تعریف شده است [14]. برای مدلسازی خاک از المان‌های هشت‌گره‌ای (C3D8R) توپر استفاده شده است.

جدول ۴. مشخصات خاک مدلسازی شده

Specific Weight (kg/m ³)	Poisson's ratio	Dilation Angels (degree)	Angle of fracture (degree)	Soil type
1800	0.3	5	35	Sand

Table 4. Modeled soil properties

۳-۳. بارگذاری انفجار

مدلسازی بار انفجار به دو صورت امکان‌پذیر است. در روش اول، بار انفجار معادل به صورت بار فشاری اعمال می‌شود. در روش دوم، وزن خرج به صورت مستقیم در نرم‌افزار آباکوس وارد شده و در محل مورد نظر مدل می‌شود که روش دقیق‌تری است. در این پژوهش از روش دوم برای تعریف بار انفجار و اعمال آن به مدل استفاده شده است.

وزن خرج انفجاری مفروض در این پژوهش به میزان ۱ و ۲ پرتابه سلاح RPG-7 که وزن خرج آن برابر ۷۳۰ گرم از جنس ماده منفجره RDX است. مطابق جدول (۲) برای مدلسازی از ماده منفجره TNT به صورت معادل به میزان ۱ و ۲ کیلوگرم استفاده شده است. همچنین فاصله ماده منفجره از دیوارهای مدلسازی شده برابر ۲۰ سانتی‌متر بوده و در تراز لبه دیوار نسبت به سطح زمین قرار دارد. با توجه به تعداد زیاد شکل‌ها، به‌عنوان نمونه کانتور تنش فون‌میزز در اثر انفجار ۲

فشاری و ترک خوردگی کششی فرض می‌شود. با استفاده از مفاهیم پلاستیک فشاری و کششی و الاستیک آسیب دیده ایزوتروپیک، رفتار غیرخطی بتن توصیف می‌شود. همچنین برای تعیین مقادیر تنش و کرنش پلاستیک مورد نیاز در این پژوهش از مدل هاگنستات استفاده شده است.

۳-۲-۳. بتن ییافی

در این پژوهش به منظور ایجاد بتن ییافی در نرم‌افزار از یک ماده یکپارچه با مشخصات بتن ییافی ساخته شده از ییاف فولادی موجدار سینوسی دوسر قلاب استفاده شده است. تعریف مشخصات بتن ییافی دقیقاً به‌مانند بتن عادی با استفاده از مدل آسیب پلاستیک است، منتها با این تفاوت که مشخصات کششی و فشاری بتن ییافی در نرم‌افزار وارد شده و به دیوار اختصاص می‌یابد. مقاومت فشاری بتن ییافی ۴۵ مگاپاسکال، چگالی بتن ۲۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب، مدول الاستیسیته ۲۹ گیگاپاسکال و ضریب پواسون 0.2 در نظر گرفته شده است.

۳-۲-۳. فولاد

برای مدل سازی میلگردهای فولادی از المان‌های دو گرهی میله ای (B31)، استفاده شده است. در این مدل چگالی فولاد ۷۸۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب، تنش تسلیم و تنش نهایی برای میلگردهای طولی و عرضی به ترتیب مقادیر ۴۰۰ و ۶۰۰ مگاپاسکال تعریف شده است. مدل رفتاری فولاد به صورت الاستیک-پلاستیک فرض شده که در این مدل رفتار فولاد قبل از رسیدن به تنش تسلیم به صورت کاملاً الاستیک و خطی بوده و پس از آن تا رسیدن به تنش حد گسیختگی به صورت پلاستیک و غیرخطی است. در این پژوهش، برای مدلسازی اندرکنش بین بتن و میلگردهای طولی و عرضی، از مدل المان‌های مدفون^۱ استفاده شده است.

2 Hard contact

۱ Embedded element model

مقطع مورد نظر فراهم می‌آورد [16]. مقادیر بدست آمده توسط نرم‌افزار با حد مجاز تغییر مکان تعیین شده در آیین‌نامه مورد مقایسه قرار گرفت.

جدول ۵. مشخصات شتاب‌نگاشت‌های زلزله استفاده شده

Event	Year	Station	Component	Magnitude (richter)
Tabs	1356	Tabs	transverse	7.8
Bam	1382	Ferdows	longitudinal	6.6

Table 5. Properties of used earthquake accelerogram

۴. نتایج و بحث

۴-۱. بررسی فشار و جابه‌جایی ناشی از انفجار

در این قسمت نتایج تحلیل دیوارها تحت اثر بارگذاری انفجاری و تحلیل سطوح عملکردی بررسی شده است. اشکال (۴) و (۵) نمودارهای تاریخچه زمانی فشار-زمان دیوارها را تحت بار پرتابه سلاح RPG-7 نشان می‌دهند.

شکل ۴. نمودار فشار-زمان دیوارهای تیپ ۱ تا ۶ تحت بار ۱ پرتابه

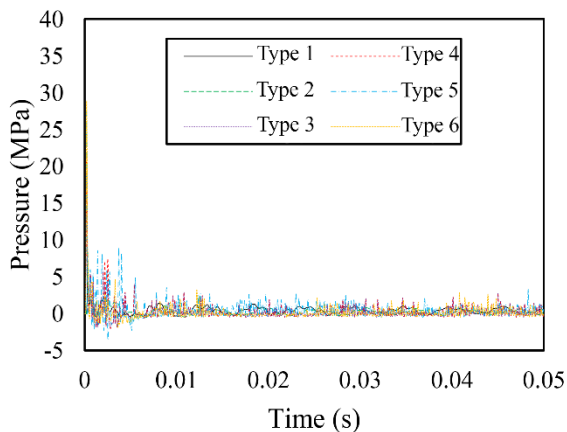


Fig. 4. Time-pressure diagram of Type 1 walls up to 6 under 1 projectile load

شکل ۵. نمودار فشار-زمان دیوارهای تیپ ۱ تا ۶ تحت بار ۲ پرتابه

پرتابه بر روی دیوار تیپ ۲ در شکل (۳) آورده شده است و در بخش ۴ نتایج فشار وارد بر دیوار و جابه‌جایی آن برای تیپ‌های مختلف بررسی می‌شود.

شکل ۳. کانتور تنش فون میز دیوار تیپ ۲ در اثر انفجار ۲ پرتابه

سلاح RPG-7

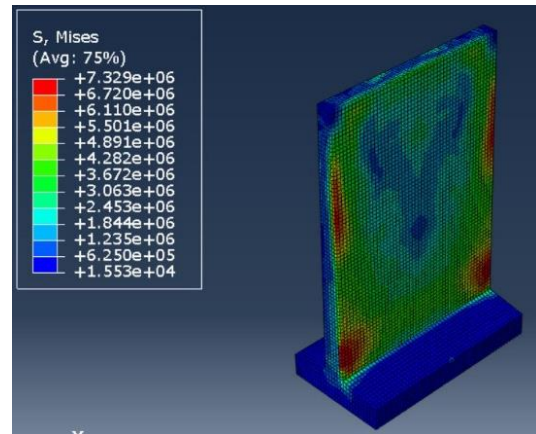


Fig. 3. Von mises stress contour in wall type 2 due to 2 projectile RPG-7.

۴-۳. بارگذاری زلزله

برای بررسی بارگذاری زلزله دیوارها از استاندارد ۲۸۰۰ [15] ایران که مربوط به بارگذاری زلزله ساختمان‌ها است، استفاده شد. تحلیل صورت گرفته از نوع تحلیل تاریخچه زمانی است. با توجه به آنکه دیوارهای حائل به صورت مقاوم در برابر زلزله طراحی می‌شوند و کفایت آن در برابر انفجار بررسی شده است، تحلیل تاریخچه زمانی به صورت خطی در نظر گرفته شده است. همچنین تأثیر یاف در مدلسازی سپ با در نظر گرفتن تأثیر در مقاومت معادل، مدول الاستیسیته، ضریب پواسون و ضرایب ترک‌خوردگی برای بتن عادی در نظر گرفته شده است.

در این تحلیل دو شتاب‌نگاشت زلزله در نظر گرفته شده است. شتاب‌نگاشت‌های در نظر گرفته شده مربوط به زلزله طبس و بم هستند. مشخصات این شتاب‌نگاشت‌ها در جدول (۵) نشان داده شده است. به منظور تحلیل عددی در برابر بار زلزله به کمک نرم‌افزار SAP2000 تغییر مکان‌های لبه بالایی هر یک از دیوارها بررسی شده است. برای این منظور دیوارها به صورت shell مدلسازی و مش‌بندی شده است. رفتار مقطع تخصیص یافته از نوع Shell به گونه‌ای است که هم سختی درون صفحه‌ای و هم سختی خمشی خارج از صفحه را برای

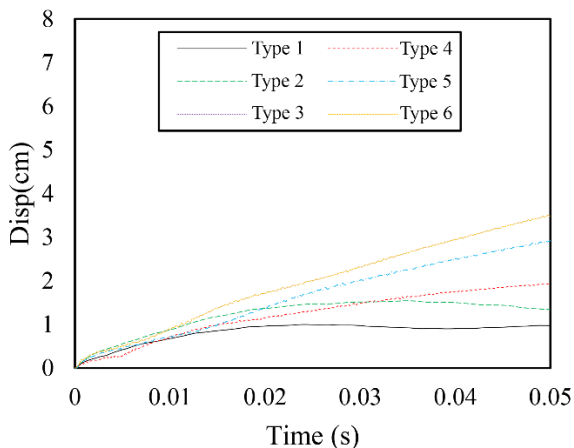


Fig. 6. Displacement-pressure diagram of Type 1 walls up to 6 under 1 projectile load

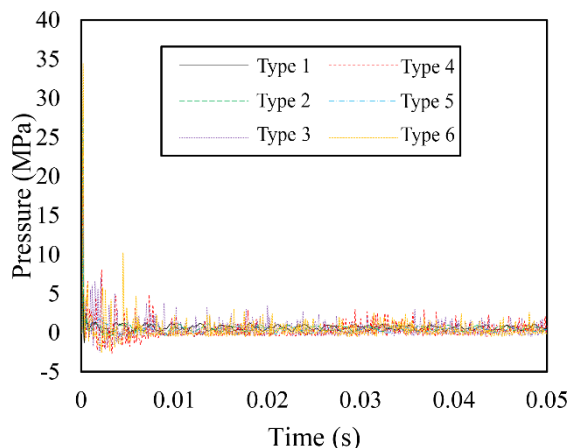


Fig. 5. Time-pressure diagram of Type 1 walls up to 6 under 2 projectile load

شکل ۷. نمودار تغییر مکان-زمان دیوارهای ۱ تا ۶ تحت بار ۲ پرتابه

Fig. 7. Displacement-pressure diagram of Type 1 walls up to 6 under 2 projectile load

نمودارهای فوق نشان دهنده میزان جابه جایی دیوارها تحت بار انفجار هستند. همان گونه که قابل مشاهده است با افزایش ارتفاع دیوار و کاهش سختی آن جابه جایی جانبی افزایش می یابد. همچنین نمودارهای (۸ و ۹) نشان دهنده بیشینه مقدار فشار وارد شده به دیوار و جابه جایی جانبی دیوار هستند.

همان گونه که در نمودارهای فوق مشخص است تحت اثر نیروی انفجار سازه فشاری زیاد و ناگهانی را در بازه زمانی بسیار کوتاه تجربه می کند. در یک دیوار با مقطع مشخص، استفاده از بتن الیافی بدون آرماتور با مشخصات ذکر شده نسبت به بتن مسلح با مشخصات ذکر شده می تواند به طور چشم گیری تنش ها را کاهش دهد. در ادامه به بررسی تغییر مکان های جانبی دیوارها تحت بارهای انفجار می پردازیم. نمودارهای (۶ و ۷) پاسخ جابه جایی جانبی دیوارها تحت بار انفجار را نشان می دهند.

شکل ۸. نمودار تغییر مکان-زمان دیوارهای ۱ تا ۶ تحت بار ۱ پرتابه

شکل ۸. نمودار بیشینه فشار دیوارها تحت بار ۱ و ۲ پرتابه RPG-7

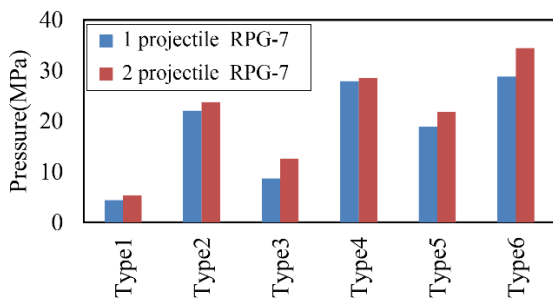
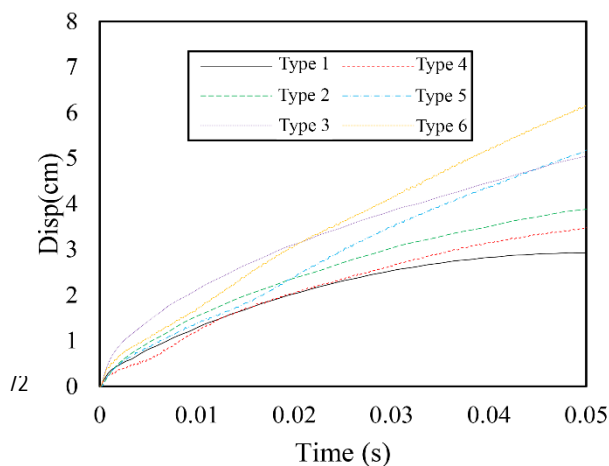


Fig. 8. Maximum pressure diagram of walls under load 1 and 2 RPG-7 projectiles

شکل ۹. نمودار بیشینه جابه جایی دیوارها تحت بار ۱ و ۲ پرتابه



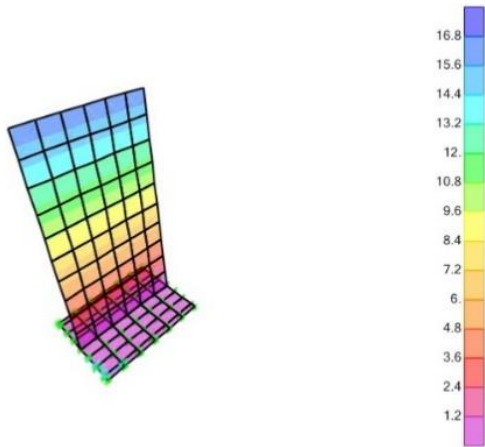


Fig. 10. Type 2 wall analysis under accelerogram of Tabas earthquake

شکل ۱۱. پیک پاسخ جابه‌جایی دیوارها تحت بار زلزله طیس

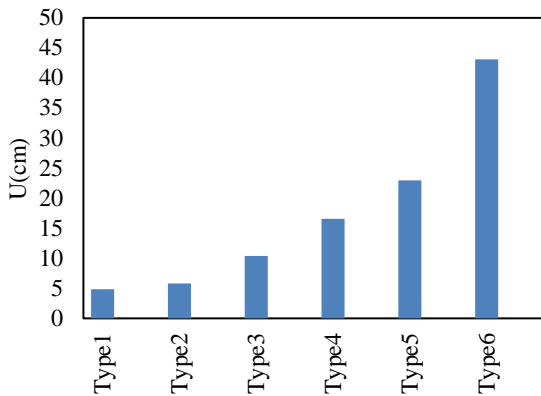


Fig. 11. Peak displacement Response of walls under Tabas earthquake load

شکل ۱۲. پیک پاسخ جابه‌جایی دیوارها تحت بار زلزله بم

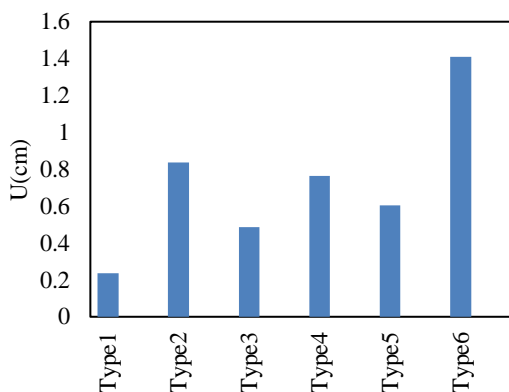


Fig. 12. Peak displacement Response of walls under Bam earthquake load

همان‌گونه که قابل مشاهده است با توجه به نمودارهای

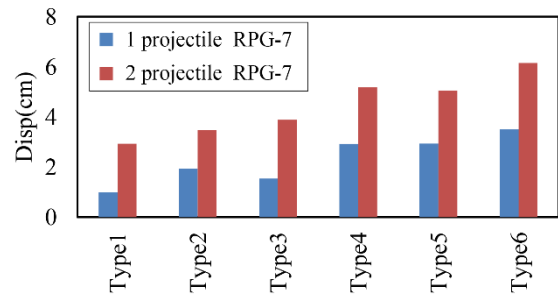


Fig. 9. Maximum displacement diagram of walls under load 1 and 2 RPG-7 projectiles

قابل ملاحظه است که با در نظر گرفتن ابعاد مقطع یکسان دیوار از جنس بتن الیافی بدون آرماتور عملکرد به مراتب بهتری نسبت به دیوار از جنس بتن مسلح با مشخصات مذکور دارد. هر چند که دیوار بتن الیافی دارای مقاومت فشاری ۱۵ مگاپاسکال بیشتر از دیوار بتن آرمه است، اما در آن از آرماتور استفاده نشده است و الیاف فولادی عملکرد ضعیف بتن در کشش را پوشش می‌دهد. حتی در مواردی می‌توان دید مقدار تنش وارد شده به دیوار از جنس بتن الیافی تا ۵ برابر نیز کاهش می‌یابد. با توجه به نمودار مشخص است که بیش‌ترین مقدار تنش وارد شده به دیوار، مربوط به دیوار تیپ ۶ در برابر بار دو پرتابه RPG-7 بوده که مقدار آن برابر با ۳۴/۴۴ مگاپاسکال و کم‌ترین مقدار تنش وارد شده به دیوار، مربوط به دیوار تیپ ۱ در برابر بار یک پرتابه RPG-7 بوده که مقدار آن برابر با ۴/۴ مگاپاسکال است.

۲-۴. بررسی جابه‌جایی ناشی از زلزله

در شکل (۱۰) به صورت نمونه تحلیل تاریخچه زمانی خطی یکی از دیوارها در برابر شتاب‌نگاشت بم در نرم‌افزار SAP2000 قابل مشاهده است. در ادامه نمودارهای (۱۱) و (۱۲) نشان‌دهنده پاسخ سازه در برابر بارگذاری زلزله هستند.

شکل ۱۰. تحلیل دیوار تیپ ۴ تحت شتاب‌نگاشت زلزله طیس

همچنین در جدول (۶) جابه جایی های جانبی هر یک از دیوارها با مقادیر مجاز استاندارد ۲۸۰۰ و مبحث ۲۱ مقررات ملی ساختمان ایران مقایسه شده است.

جدول ۶ مقایسه جابه جایی های جانبی دیوارها با استاندارد ۲۸۰۰

Row	Type of wall	Projectile one	Projectile two	Tabas	Bam
1	Type1	✓	×	✓	✓
2	Type2	✓	×	✓	✓
3	Type3	✓	×	×	✓
4	Type4	×	×	×	✓
5	Type5	✓	×	×	✓
6	Type6	×	×	×	✓

Table 6. Comparison of side displacements of wall with standard 2800

همان گونه که مشاهده می شود، مطابق مبحث ۲۱ مقررات ملی ساختمان [17]، هیچ یک از دیوارها تحت بارگذاری انفجاری دو پرتابه به سطح عملکرد ایمنی جانی نرسیدند و در سطح عملکردی بی دفاع قرار گرفتند. منظور از سطح عملکردی بی دفاع نیز تخریب دیوار در اثر انفجار است.

همچنین با بررسی مقادیر به دست آمده از مدلسازی عددی با استاندارد ۲۸۰۰ دیوارهای ۳ تا ۶ تحت شتاب نگاشت زلزله طبرس از محدوده سطح عملکرد ایمنی جانی خارج شدند.

۵. نتیجه گیری

در این پژوهش مقاومت دیوارهای بتنی پیش ساخته، در برابر بار ناشی از ضربه و انفجار ناشی از پرتابه سلاح RPG-7 با توجه به آیین نامه بارگذاری زلزله ساختمانها (استاندارد ۲۸۰۰) و مبحث ۲۱ مقررات ملی ساختمان بررسی شد. در ادامه نتایج برجسته این پژوهش بیان می شود:

- دیوارهای تیپ ۱، ۲، ۳ و ۵ تحت اثر برخورد یک پرتابه سلاح RPG-7 در سطح عملکرد ایمنی جانی قرار می گیرند.
- دیوارهای تیپ ۱، ۳ و ۵ تحت اثر برخورد دو پرتابه سلاح RPG-7 و دیوارهای تیپ ۴ و ۶ تحت اثر یک پرتابه سلاح RPG-7 در سطح عملکرد بی دفاع قرار می گیرند.

فوق با افزایش ارتفاع دیوار و کاهش سختی، دامنه پاسخ های دیوار بالاتر رفته و دیوار تغییر مکان های بالاتری را متحمل می شود. قابل مشاهده است که استفاده از بتن الیافی می تواند مقدار دامنه پاسخ ها را کاهش دهد.

نمودارها بیانگر این موضوع هستند که بیشینه جابه جایی دیوارها مربوط به دیوار از جنس بتن مسلح به آرمتور با ارتفاع ۵ متر است. همچنین استفاده از بتن الیافی بدون آرمتور نسبت به بتن مسلح با آرمتور با مشخصات ذکر شده، پاسخ های سازه را به طور چشم گیری کاهش می دهد.

۴-۲. بررسی جابه جایی ناشی از انفجار و زلزله

مطابق استاندارد ۲۸۰۰ مقدار مجاز جابه جایی جانبی دیوارها برابر با ۲/۵ درصد ارتفاع است. همچنین از طرفی مطابق مبحث ۲۱ مقررات ملی ساختمان ایران، مقدار مجاز جابه جایی ناشی از انفجار سطحی مطابق رابطه ۵ تعیین می شود.

$$(5) \quad \text{مقدار مجاز} = \frac{\text{خیز لبه دیوار}}{\text{ارتفاع دیوار}}$$

در شکل (۱۳) نمودار جابه جایی های جانبی هر دیوار تحت بارگذاری های انفجار و زلزله نشان داده شده است.

شکل ۱۳. جابه جایی جانبی دیوارها تحت بارگذاری انفجار و زلزله

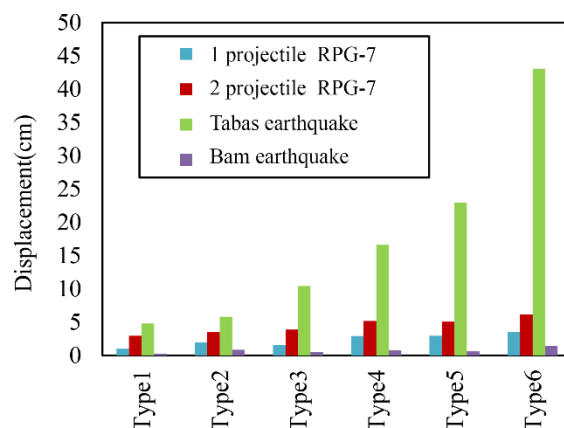


Fig. 13. Side displacement of walls under blast loading and earthquake

- of Joints (Including Wind, Earthquake, Blast Effects).
- [11] Miles, J. W. (1960). "On the response of an elastic half-space to a moving blast wave." *Journal of Applied Mechanics* 27(4): 710-716.
- [12] Lok, T. and J. Xiao, Steel-Fibre-Reinforced concrete panels exposed to air blast loading. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Structures and Buildings*, 1999. 134(4): p. 319-331.
- [13] Hibbitt, D., et al. (2018). "Abaqus/CAE user's guide." ABAQUS.
- [14] Helwany, S., *Applied Soil Mechanics with Abaqus Applications*, John Wiley & Sons, 2007.
- [15] BHRC (Building and Housing Research Center). 2004. *Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings*. Standard No. 2800, 3rd edn. BHRC: Tehran. (In Persian)
- [16] CSI, S. V. (2018). "8. Integrated finite element analysis and design of structures basic analysis reference manual." *Computers and Structures Inc*, Berkeley (CA, USA) 9.
- [17] National Bureau of Building Regulations of Iran, 21th Chapter, *Loading on Structures*, ed. 1395. (In Persian).
- ۳) دیوارهای ۲، ۴ و ۶ تحت اثر دو پرتابه سلاح RPG-7 در سطح عملکرد بی دفاع قرار می گیرند.
- ۴) دیوارهای ۴ و ۶ که هر دو از جنس بتن مسلح با آرماتور هستند، تحت اثر یک و دو پرتابه سلاح RPG-7 در سطح عملکرد بی دفاع قرار می گیرند.
- ۵) نتایج این پژوهش نشان می دهد که دیوار بتن الیافی با مقاومت فشاری ۱/۵ برابر بتن عادی و بدون آرماتور از دیوار بتن آرمه مقاوم در برابر زلزله عملکرد بهتری در پدیده انفجار از خود نشان می دهد.

اعلام تعارض منافع

نویسنده اعلام می کند که هیچ نوع تعارض منافی وجود ندارد.

References

۶. مراجع

- [1] Criteria, U. F. (2008). "Structures to resist the effects of accidental explosions." *UHPFRC* 3-: 340-302.
- [2] Army, U. (1986). "Fundamentals of protective design for conventional weapons." *Army Technical Manual (TM)*: 5-855.
- [3] Wang, W., et al., Experimental study and numerical simulation of the damage mode of a square Reinforced concrete slab under close-in explosion. *Eng. Fail. Anal.* 2013, 27, 41-51.
- [4] Jain, S, et al., Dynamic response of reinforced concrete wall under blast loading, *Indian Concr. J.* 2015, 89, 27-41.
- [5] Foglar, M., et al., Full-scale experimental testing of the blast resistance of HPFRC and UHPFRC bridge decks, *Constr. Build. Mater.* 2017, 145, 588-601.
- [6] Abeyasinghe, T.M., et al. Performance of aramid fiber reinforced concrete panels under blast loads. in 2017 Fourth Asian Conference on Defence Technology-Japan (ACDT). 2017. IEEE.
- [7] Luccioni, B., et al. (2017). "Effect of steel fibers on static and blast response of high strength concrete." *International Journal of Impact Engineering* 107: 23-37.
- [8] Li, J., et al. (2018). "Comparative evaluation of steel wire mesh, steel fibre and high performance polyethylene fibre reinforced concrete slabs in blast tests." *Thin-Walled Structures* 126: 117-126.
- [9] Hetherington, J. and P. Smith (2014). *Blast and ballistic loading of structures*, CRC Press.
- [10] Newmark, N. and W. Hall (1968). "Dynamic Behavior of Reinforced and Prestressed Concrete Buildings Under Horizontal Forces and the Design

Study on performance level of prefabricated concrete walls under blast loading and seismic based on the standards of Iran

Mohammad Hossein Taghavi Parsa^{1*}, Ali Geravand²

1- Phd of Structural engineering, Imam Hossein University

2- M.Sc. of Structural engineering, Isfahan University

*enmhtp@chmail.ir

Abstract

Heeled concrete walls (T-Wall) are used for privacy, protection and some form of blockage. These walls can be built precast or cast in place and can be designed according to the possible loads such as blast loads, earthquakes, winds and so on. Also, the use of fiber concrete to absorb more energy and durability can be a good solution in the construction of such walls. Resistance, stability, and possibility of overturning of these walls due to the blast load and depth of buried walls are those that should be controlled by the designer. In addition to all the controls mentioned, one of the important issues is to optimize the cost of construction and consumables, so comparing reinforced concrete use with fiber reinforced concrete is of interest. In this study, six types of walls are considered: Type 1 and 2 walls with 3 m height and 2.5 m width, Type 3 and 4 walls with 4 m height and 2 m width and Type 5 and 6 walls with 5 m height and are 1.6 meters wide. Which, the walls of Type 5 and 6 are non-prismatic and are one meter buried in soil. In addition, type 1, 3 and 5 walls are made of fiber reinforced concrete and type 2, 4 and 6 walls are reinforced concrete. The purpose of this study is to investigate the resistance of concrete prefabricated walls against the impact and explosion. During an explosion, there is an explosive wave that spreads from the center of the explosion. Waves spreading at a later time are much faster than the speed of the initial waves. When a structure is exposed to the wave front, its surface pressure rises and reaches its maximum value in a very short time. This pressure affects the structure on all sides rapidly. This wave is a combination of high-pressure shock that emits outward from the center of the explosion and decreases as a function of the time and place of the explosion. The energy released by the explosion affects the structure in two ways. The first effect is the blast pressure, which is the key factor in determining the structural response, and the second effect is the dynamic pressure or the secondary pressure, which at high speed results in the debris being thrown around. Therefore, the most important parameter of an explosion is the forward blast pressure, the amount of which depends on the type of explosive and the weight of explosion. Hence, in order to find the above parameters, the 6 types of discussed wall modeled in Abacus software by CDP method. Also, the earthquake loading with different acceleration is applied to the walls and lateral displacements of them are calculated by using linear time history analysis with SAP2000 software. Finally, the performance level of walls under loads has been evaluated according to the national building earthquake loading criteria and 21th national building regulations. The results of the present study show that; the use of fibers has a positive effect on improving the performance level of prefabricated walls against dynamic loads such as explosion and earthquake.

Keywords: Prefabricated wall, blast loading, earthquake, fiber concrete, ABAQUS, SAP2000.