

# نشریه علمی پدافند غیرعامل

سال دهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۸، (پیاپی ۳۸): صص ۷۲-۶۱

## مقاوم سازی دیوارهای بنایی با شاتکریت مسلح در برابر انفجار

سید شهاب امامزاده<sup>۱</sup>، علی هروی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۷/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۱۵

### چکیده

در پروژه‌های پدافند غیرعامل، مقاوم سازی دیوارهای بنایی اهمیت ویژه‌ای دارد. یکی از روش‌های متداول در مقاوم سازی لرزه‌ای دیوارهای بنایی اجرای یک لایه شاتکریت مسلح است. تاکنون محققین بسیاری رفتار دیوارهای مقاوم سازی شده با شاتکریت در برابر زلزله را مورد بررسی قرار داده‌اند. با این حال رفتار چنین دیوارهایی در برابر انفجار کمتر مورد توجه بوده و تأثیر مشخصات مش و ضخامت شاتکریت در برابر این نوع بارگذاری بررسی نشده است. در این تحقیق با قرار دادن  $700\text{Kg}$  تی‌ان‌تی در فواصل ۳، ۹ و ۱۵ متری از یک دیوار بنایی شاخص خرابی مورد بررسی قرار گرفت. در مش فولادی، فاصله آرماتورهای مش شاتکریت ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متر و ضخامت شاتکریت برابر ۵، ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در نهایت ۱۸ مدل متفاوت از مش فولادی و ضخامت لایه شاتکریت تعریف شد. با تقویت شاتکریت، شاخص خرابی دیوار و حداکثر جابجایی مرکز دیوار کاهش یافت. در کلیه مدل‌ها، به علت نزدیکی بودن محل انفجار به دیوار در نهایت دیوار تخریب شده و تأثیر فاصله آرماتورها در کاهش خرابی دیوار ناچیز است. در مقابل ضخامت دیوار نقش بیشتری در کاهش شاخص خرابی کششی دیوار دارد.

**کلیدواژه‌ها:** انفجار، دیوار بنایی غیرمسلح، مش فولادی، شاتکریت، مقاوم سازی

۱- استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی تهران، shemamzadeh@khu.ac.ir - نویسنده مسئول

۲- کارشناسی ارشد، دانشگاه جامع امام حسین (ع)

## ۱- مقدمه

مقاوم‌سازی آن با بهره‌گیری از سازه‌های شبکه کابلی پیش‌تینده مسطح پرداختند. آن‌ها در این تحقیق قاب‌های خمشی فولادی مجهز به مهاربندهای کابلی شبکه‌ای، عمودی و ضربدری تحت تغییر مکان جانبی رفت و برگشتی و بارهای انفجاری حاصل از مواد منفجره را مورد ارزیابی قرار دادند. دهکردی [۵] به بررسی عددی عملکرد لرزه‌ای ساختمان‌های یک طبقه آجری مقاوم‌سازی‌شده با شاتکریت پیرامونی پرداخت. در تحقیق دیگری، منصوری [۶] به بررسی تأثیر ابعاد و میلگردگذاری طولی و عرضی کلاف‌های افقی و قائم بر روی شکل‌پذیری دیوارهای آجری محصورشده پرداخت. اسماعیلی و همکاران [۷] به بررسی اثر چیدمان ورق‌های CFRP در مقاوم‌سازی دیوارهای بنایی غیرمسلح در برابر بار انفجار پرداختند. لین و همکاران [۸] رفتار آزمایشگاهی خارج از صفحه دیوارهای مقاوم‌سازی‌شده با شاتکریت خاصی بنام کامپوزیت سیمانی مهندسی را بررسی نموده و به نتایج قابل قبولی رسیدند. در تحقیق دیگری لین و همکاران [۹] رفتار داخل صفحه چنین دیوارهایی را بررسی نمودند. مالچی و همکاران [۱۰] نیز از همین کامپوزیت‌ها برای مقاوم‌سازی دیوارهای بنایی غیرمسلح استفاده نمودند. دیزور و همکاران [۱۱] دیوارهای بنایی غیرمسلح را با استفاده از نوعی از نوارهای فیبری پلیمری مقاوم نمودند. خوشه‌چین و تن‌زاده [۱۲] نوعی از شاتکریت را با استفاده از مواد نانو و فیبر پیشنهاد دادن و بر روی آن آزمایش‌های مکانیکی انجام شد و نتایج مقاومت بالاتری را نسبت به شاتکریت معمولی نشان می‌داد. مردانی و همکاران [۱۳] نیز مطالعاتی بر رفتار یک ساختمان آموزشی دو طبقه بنایی مقاوم‌سازی‌شده با شاتکریت انجام دادند.

تاکنون عملکرد دیوارهای آجری در برابر بارهای جانبی داخل صفحه مانند بار زلزله مورد مطالعه زیادی قرار گرفته ولی در برابر بارهای عمود بر صفحه مانند انفجار کمتر مورد توجه بوده است. هدف این پژوهش، بررسی تأثیر شاتکریت مسلح در مقاوم‌سازی دیوار آجری غیرمسلح در برابر بارهای حاصل از انفجار است.

## ۲- روش تحقیق

در این پژوهش دیوار یک‌آجری با پوشش بتنی پاششی تحت اثر بار انفجار قرار گرفته است. این دیوار طبق مرجع [۱۳] با نرم‌افزار ABAQUS 2017 شبیه‌سازی شده است. برای بررسی تأثیر پوشش بتن مسلح در برابر بار انفجار، از ضخامت‌های متفاوت شاتکریت و آرایش متفاوت مش فولادی استفاده می‌شود. همچنین اثر انفجار در فواصل نزدیک، متوسط و دور مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در این تحقیق، دیواری آجری به ابعاد  $2/5 \times 2/5$  متر

حملات تروریستی در سال‌های اخیر شکل وسیع‌تری به خود گرفته است و اکثر حملات به صورت بمب‌های حجیم منفجرشده در اطراف ساختمان‌ها است که منجر به خسارات جانی و سازه‌ای بخصوص دیوارها با مصالح بنایی می‌گردد. از آنجایی که نمی‌توان از وقوع چنین رخداد‌های جلوگیری کرد و نیز شکست و گسیختگی این دیوارها عمدتاً به دلیل ناکافی بودن شکل‌پذیری و مقاومت لازم و ناهمگن بودن مصالح می‌باشد، با توجه به اینکه اکثر دیوارهای موجود در بناهای کشور از مصالح آجر می‌باشد، لذا ضرورت بررسی مقاوم‌سازی این نوع دیوارها در برابر تهدیدات ناشی از انفجارهای عمود بر سطح به شدت احساس می‌شود. در این زمینه مظفرپورطارمی و خسروی [۱] پاسخ ساکنان ساختمان و اجزاء غیرسازه‌ای را در مقابل انفجارهای در سطح زمین از منظر پدافند غیرعامل مورد بررسی قرار دادند. برای این منظور دو ساختمان چهار و یک طبقه انتخاب و با اعمال چهار انفجار انتخابی، طی تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی خطی مودال نتایج به دو صورت مقادیر بیشینه و پاسخ دینامیکی ارائه شده و بر اساس آن نتایج ارائه گردیده است. نتایج نشان داد که سلامت سازه دلیلی بر سلامت ساکنین ساختمان نمی‌باشند. از منظر پدافند غیرعامل، سالم ماندن سازه‌ها بدون سلامت ساکنین آن در مقابل با انفجارهای ناشی از حملات تروریستی چندان مطلوب نمی‌نماید. همچنین ملکی و همکاران [۲] به بررسی اثر زره پوش کردن ساختمان‌های بنایی غیرمسلح با شاتکریت بر رفتار لرزه‌ای آن‌ها پرداختند و یک دیوار بنایی یک آجره را به ابعاد  $120 \times 80$  cm در دو حالت مقاوم‌سازی‌نشده و مقاوم‌سازی‌شده با شاتکریت مسلح دوطرفه که به صورت زره‌ای دیوار را می‌پوشاند، با استفاده از نرم‌افزار المان محدود ABAQUS شبیه‌سازی نمودند. سپس نتایج حاصل از تحلیل را با نتایج آزمایش مقایسه نمودند تا صحت مدل‌سازی به اثبات برسد. سپس نتایج حاصل از آنالیز با هم مقایسه شده و تأثیر قابل توجه شاتکریت در دو طرف دیوار غیرمسلح نشان‌دهنده مقاومت و جذب انرژی بیشتر دیوار با شاتکریت است. اسدی و همکاران [۳] کاربرد شاتکریت با بتن الیافی پلیمری در سیستم پوششی دیواره تونل‌ها را مورد مطالعه قرار دادند. این تحقیق به منظور ارائه روش‌های نو در حذف نقایص و مشکلات از اجرای پوشش تونل‌ها نسبت به روش سنتی به کار برده شد. استفاده از این روش باعث افزایش مقاومت ضربه‌ای، کششی و سایش بتن گردید، نفوذپذیری را کاهش داده و موجب افزایش دوام و پایداری شد. در نهایت جواهرزاده و قنبری [۴] به ارزیابی تأثیر نیروهای انفجاری بر روی نمای سازه‌های فولادی و

جدول (۱): دسته‌بندی نمونه‌ها

ردیف	کد	T	MESH	S
۱	T5L10X10S5	۵	Φ۱۰@۱۰	۵
۲	T5L10X10S9	۵	Φ۱۰@۱۰	۹
۳	T5L10X10S13	۵	Φ۱۰@۱۰	۱۳
۴	T5L10X10S5	۵	Φ۱۰@۱۵	۵
۵	T5L10X10S9	۵	Φ۱۰@۱۵	۹
۶	T5L10X10S13	۵	Φ۱۰@۱۵	۱۳
۷	T10L10X10S5	۱۰	Φ۱۰@۱۰	۵
۸	T10L10X10S9	۱۰	Φ۱۰@۱۰	۹
۹	T10L10X10S13	۱۰	Φ۱۰@۱۰	۱۳
۱۰	T10L10X15S5	۱۰	Φ۱۰@۱۵	۵
۱۱	T10L10X10S9	۱۰	Φ۱۰@۱۵	۹
۱۲	T10L10X10S13	۱۰	Φ۱۰@۱۵	۱۳
۱۳	T15L10X10S5	۱۵	Φ۱۰@۱۰	۵
۱۴	T15L10X10S9	۱۵	Φ۱۰@۱۰	۹
۱۵	T15L10X10S13	۱۵	Φ۱۰@۱۰	۱۳
۱۶	T15L10X10S5	۱۵	Φ۱۰@۱۵	۵
۱۷	T15L10X10S9	۱۵	Φ۱۰@۱۵	۹
۱۸	T15L10X10S13	۱۵	Φ۱۰@۱۵	۱۳

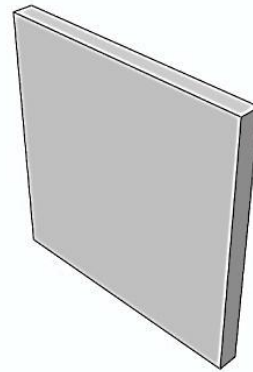
برای دیوار آجری و شاتکریت از معیار بتن آسیب‌دیده و برای مش فولادی از معیار جانسون-کوک استفاده شده است. برخی از خواص مکانیکی مصالح به‌کاررفته در جدول (۲) آمده است.

جدول (۲): خواص مکانیکی مصالح

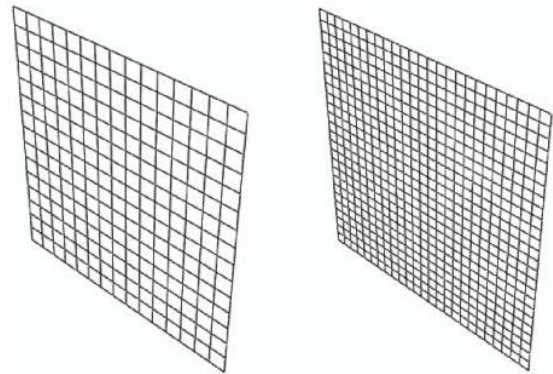
$\nu$	E(GPa)	$\rho(\text{kg/m}^3)$	
۰/۱۵	۱۱	۲۰۰۰	دیوار آجری
۰/۲	۲۳/۵	۲۴۰۰	شاتکریت
۰/۳	۲۳۲۱۰/۵	۷۸۵۰	مش فولادی

گرچه با توجه به به‌کار رفتن ملات بین آجرها فرض همگن بودن دیوار آجری دور از واقعیت است اما جهت سهولت محاسبات می‌توان یک مقطع معادل همگن را برای ترکیب دیوار آجری و شاتکریت در نظر گرفت. برای مدل‌سازی دیوار به روش اجزای محدود به‌علت رفتار سب‌بعدی دیوار و داشتن درجات آزادی انتقالی نقاط دیوار از المانی سب‌بعدی بنام Solid استفاده شده است. برای مش فولادی با توجه به آنکه آرماتورها فقط کشش یا فشار را انتقال داده و رفتاری مشابه اعضای خرپایی دارند از المانی به نام Truss استفاده شده است. وزن ماده منفجره ۷۰۰ کیلوگرم TNT بوده که در فواصل مختلف ۵، ۹ و ۱۳ متری از دیوار قرار گرفته است. طبق شکل (۴) با توجه به اتصال دیوار مورد نظر به تیرها و ستون‌ها، اطراف دیوار کاملاً مقید در نظر گرفته شده است.

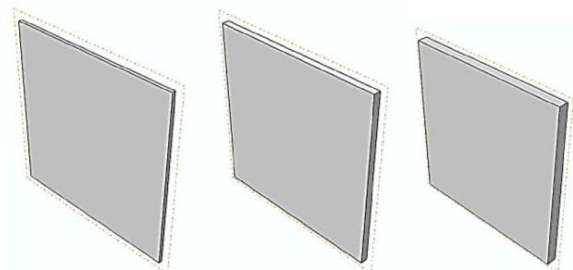
و ضخامت ۲۰ cm بوده و به‌صورت یکپارچه و همگن فرض شده است. قطر آرماتورهای شبکه در دو حالت ۱۰@Φ۱۰ و ۱۵@Φ۱۰ مدل‌سازی شده‌اند. پوشش بتنی نیز به‌صورت یکپارچه و همگن و در سه حالت با ضخامت‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متر شبیه‌سازی شده و در جلوی دیوار آجری قرار می‌گیرد. مش فولادی نیز داخل پوشش بتنی تعبیه شده است (شکل‌های ۱-۳).



شکل (۱): دیوار آجری به ابعاد ۲/۵×۲/۵ متر و ضخامت ۲۰ cm



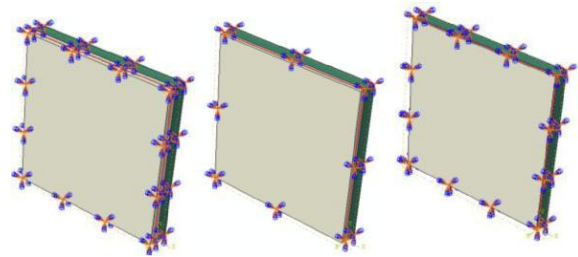
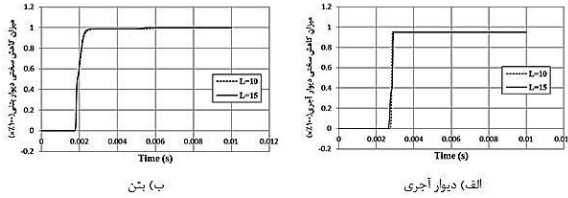
شکل (۲): شبکه آرماتورها با سایز ۱۰@Φ۱۰ و ۱۵@Φ۱۰



شکل (۳): دیوار به ابعاد ۲/۵×۲/۵ متر و ضخامت‌های ۵، ۱۰ و ۱۵

در جدول (۱) نمونه‌های تعریف‌شده در این تحقیق دسته‌بندی شده است. در این جدول T ضخامت دیوار و S فاصله ماده منفجره برحسب متر است.

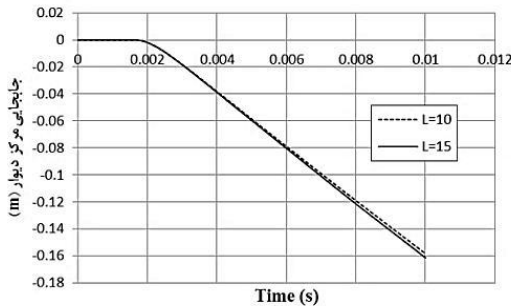
سختی دیوار آجری را بهبود می‌بخشد. تأثیر مثبت فاصله کمتر میلگردها در میزان جابجایی مرکز دیوار در شکل (۷) مشهود است.



شکل (۴): شرایط مرزی مجموعه با ضخامت‌های متفاوت شاکریت

برای تحلیل دینامیکی مسئله از روش گام‌به‌گام صریح Dynamic Explicit استفاده شده است.

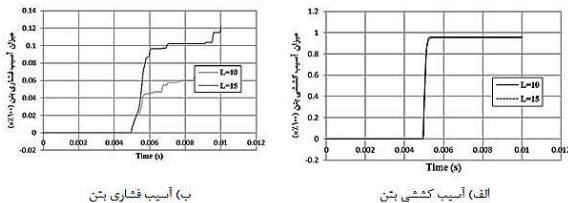
شکل (۶): تأثیر فاصله میلگردها در تاریخچه کاهش سختی دیوار



شکل (۷): تأثیر فاصله میلگردها در میزان جابجایی مرکز دیوار

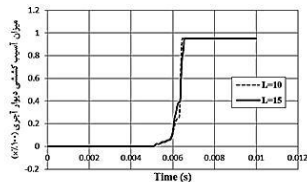
(ب) تأثیر فاصله میلگردها در  $T=5$  cm و  $S=9$  m

همان‌طور که از شکل‌های (۸-الف) و (۸-ب) مشخص است، فاصله میلگردها تأثیر چندانی در میزان آسیب کششی بتن ندارد و اما میزان آسیب فشاری بتن را به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش خواهد داد. شکل (۹-ج) تأثیر مثبت فاصله کمتر میلگردها را در زمان رسیدن اوج بار انفجار در کاهش میزان آسیب کششی دیوار آجری نشان می‌دهد. همچنین با توجه به شکل‌های (۹-الف) و (۹-ب)، فاصله میلگردها تأثیر چندانی در میزان بیشینه کاهش سختی دیوار آجری ندارد و اما فاصله کمتر میلگردها، موجب کاهش سختی کمتر دیوار بتنی در زمان رسیدن اوج بار انفجار به دیوار می‌شود. تأثیر مثبت فاصله کمتر میلگردها در میزان جابجایی مرکز دیوار در شکل (۱۰) مشهود است. این تأثیر با افزایش زمان، بیشتر خودنمایی می‌کند.



(ب) آسیب فشاری بتن

(الف) آسیب کششی بتن



(ج) آسیب کششی دیوار آجری

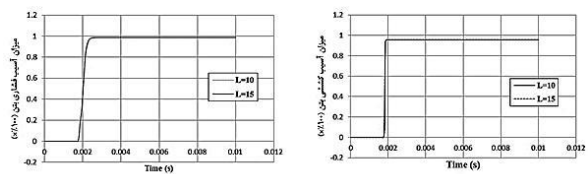
شکل (۸): تأثیر فاصله میلگردها در میزان بیشینه آسیب

### ۳- نتایج و بحث

به‌منظور بررسی و ارزیابی دقیق تأثیر پارامترها، پس از استخراج نتایج حاصل از ۱۸ حالت مختلف، داده‌های به‌دست‌آمده با یکدیگر مقایسه شده و مورد بحث قرار گرفته است. لازم به ذکر است که در تمامی حالات  $L$  فاصله میلگردها،  $S$  فاصله محل انفجار از دیوار و  $T$  ضخامت شاکریت است.

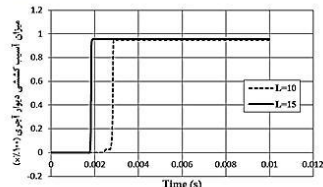
#### ۳-۱- تأثیر فاصله میلگردها

الف) تأثیر فاصله میلگردها در حالت  $S=5$  m و  $T=5$  cm همان‌طور که از شکل‌های (۵-الف) و (۵-ب) مشخص است، فاصله میلگردها تأثیر چندانی در میزان آسیب فشاری و کششی بتن ندارد و در دو حالت در ۰/۰۰۲ ثانیه، بیشینه آسیب به وجود می‌آید اما شکل (۵-ج) نشان می‌دهد که با افزایش فاصله میلگردها، زمان رسیدن به بیشینه تخریب کاهش می‌یابد. در نتیجه زمان دوام دیوار آجری در برابر بار انفجار کاهش خواهد یافت. در ضمن میزان آسیب فشاری دیوار آجری ناچیز بوده که نشان‌دهنده تأثیر مثبت پوشش بتن مسلح است.



(ب) آسیب فشاری بتن

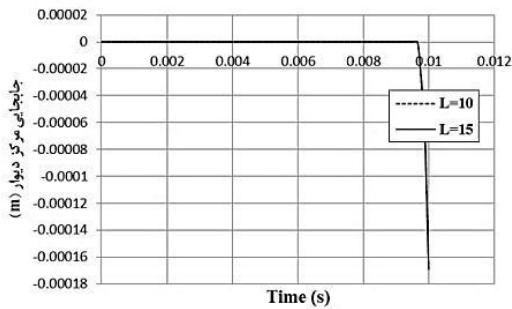
(الف) آسیب کششی بتن



(ج) آسیب کششی دیوار آجری

شکل (۵): تأثیر فاصله میلگردها در تاریخچه شاخص آسیب دیوار

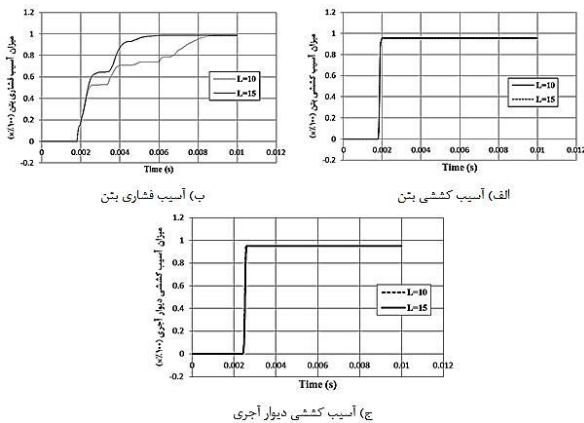
همچنین با توجه به شکل‌های (۶-الف) و (۶-ب)، فاصله میلگردها تأثیر چندانی در میزان بیشینه کاهش سختی بتن ندارد و اما فاصله کمتر میلگردها، زمان رسیدن به بیشینه کاهش



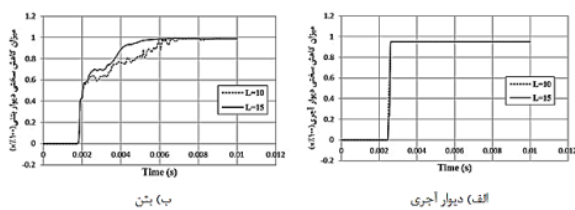
شکل (۱۳): تأثیر فاصله میلگردها در میزان جابجایی مرکز دیوار

(د) تأثیر فاصله میلگردها در  $S=5$  m و  $T=10$  cm

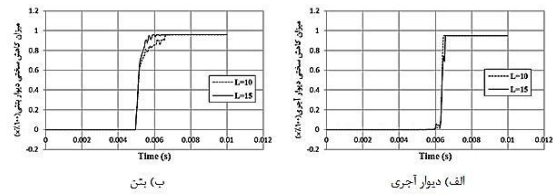
همان‌طور که از شکل‌های (۱۴-الف) و (۱۴-ب) مشخص است، فاصله میلگردها تأثیر چندانی در میزان آسیب کششی بتن ندارد و اما میزان آسیب فشاری بتن را به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش خواهد داد. شکل (۱۴-ج) تأثیر ناچیز فاصله میلگردها را در کاهش میزان آسیب کششی دیوار آجری نشان می‌دهد. همچنین با توجه به شکل‌های (۱۵-الف) و (۱۵-ب)، فاصله میلگردها تأثیر چندانی در میزان بیشینه کاهش سختی دیوار بتنی ندارد و اما فاصله کمتر میلگردها، موجب کاهش سختی کمتر دیوار بتنی می‌شود. تأثیر مثبت فاصله کمتر میلگردها در میزان جابجایی مرکز دیوار در شکل (۱۶) مشهود است.



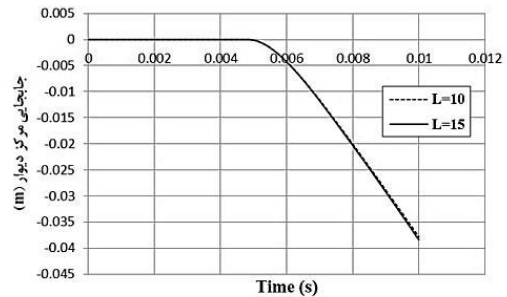
شکل (۱۴): تأثیر فاصله میلگردها در میزان بیشینه آسیب



شکل (۱۵): تأثیر فاصله میلگردها در میزان بیشینه کاهش سختی



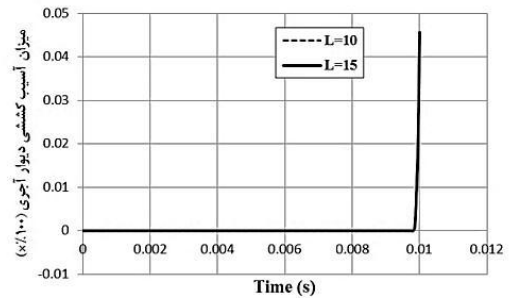
شکل (۹): تأثیر فاصله میلگردها در میزان بیشینه کاهش سختی



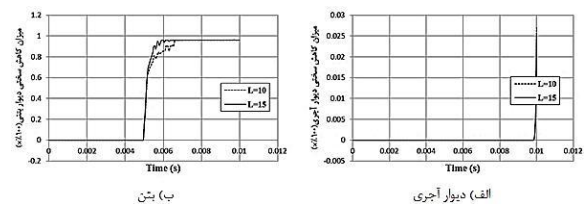
شکل (۱۰): تأثیر فاصله میلگردها در میزان جابجایی مرکز دیوار

(ج) تأثیر فاصله میلگردها در  $S=13$  m و  $T=5$  cm

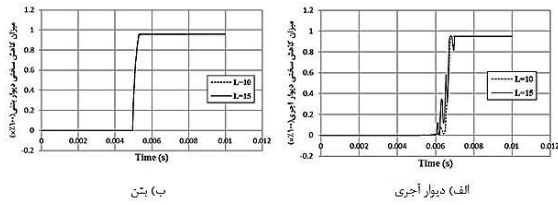
همان‌طور که در شکل (۱۱) مشخص است، فاصله میلگردها تأثیر چندانی در میزان آسیب کششی دیوار آجری ندارد. در ضمن میزان آسیب کششی و فشاری بتن در این حالت ناچیز است. همچنین با توجه به شکل‌های (۱۲-الف) و (۱۲-ب)، فاصله میلگردها تأثیر چندانی در میزان بیشینه کاهش سختی دیوار آجری ندارد و اما فاصله کمتر میلگردها، موجب کاهش کمتر سختی دیوار بتنی در زمان رسیدن اوج بار انفجار به دیوار می‌شود. تأثیر مثبت فاصله کمتر میلگردها در میزان جابجایی مرکز دیوار در شکل (۱۳) مشهود است.



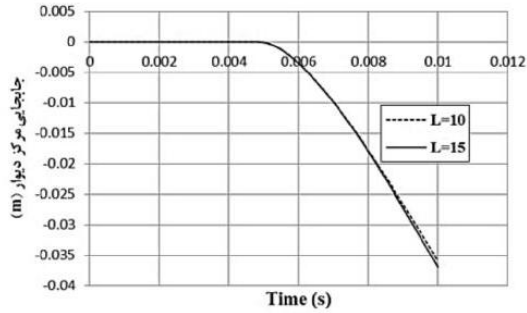
شکل (۱۱): تأثیر فاصله میلگردها در میزان آسیب کششی دیوار آجری



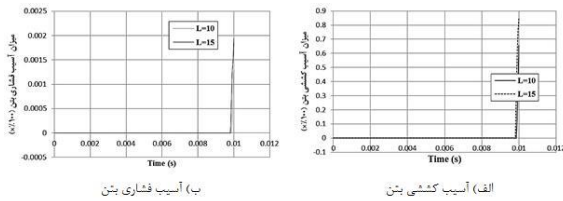
شکل (۱۲): تأثیر فاصله میلگردها در میزان آسیب کششی دیوار آجری



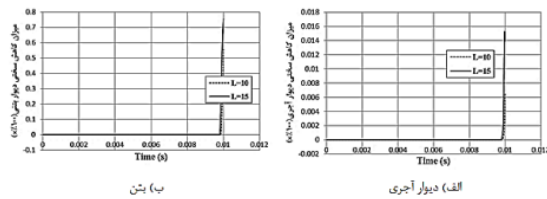
شکل (۱۸): تأثیر فاصله میلگردها در میزان بیشینه کاهش سختی



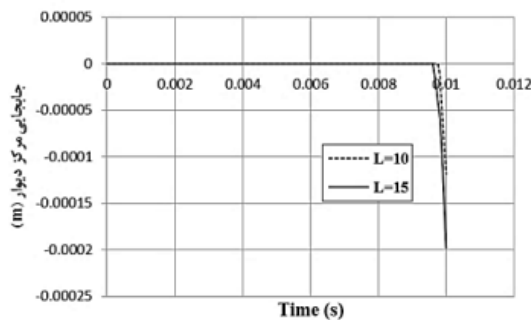
شکل (۱۹): تأثیر فاصله میلگردها در میزان جابجایی مرکز دیوار



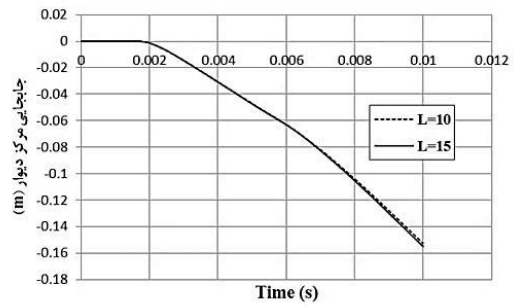
شکل (۲۰): تأثیر فاصله میلگردها در میزان بیشینه آسیب



شکل (۲۱): تأثیر فاصله میلگردها در میزان بیشینه کاهش سختی



شکل (۲۲): تأثیر فاصله میلگردها در میزان جابجایی مرکز دیوار



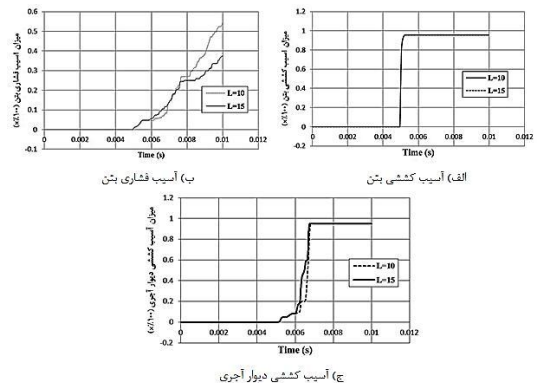
شکل (۱۶): تأثیر فاصله میلگردها در میزان جابجایی مرکز دیوار

ر) تأثیر فاصله میلگردها در  $S=9\text{ m}$  و  $T=10\text{ cm}$

همانطور که از شکل‌های (۱۷-الف) و (۱۷-ب) مشخص است، فاصله میلگردها تأثیر چندانی در میزان آسیب کششی بتن ندارد و اما میزان آسیب فشاری بتن را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش خواهد داد. شکل (۱۷-ج) تأثیر مثبت فاصله کمتر میلگردها را در زمان رسیدن اوج بار انفجار در کاهش میزان آسیب کششی دیوار آجری نشان می‌دهد. همچنین با توجه به شکل‌های (۱۸-الف) و (۱۸-ب)، فاصله میلگردها تأثیر چندانی در میزان بیشینه کاهش سختی دیوار بتنی ندارد و اما فاصله کمتر میلگردها، موجب کاهش سختی کمتر دیوار آجری در زمان رسیدن اوج بار انفجار به دیوار می‌باشد. تأثیر مثبت فاصله کمتر میلگردها در میزان جابجایی و سرعت جابجایی مرکز دیوار در شکل (۱۹) مشهود است.

ز) تأثیر فاصله میلگردها در  $S=13\text{ m}$  و  $T=10\text{ cm}$

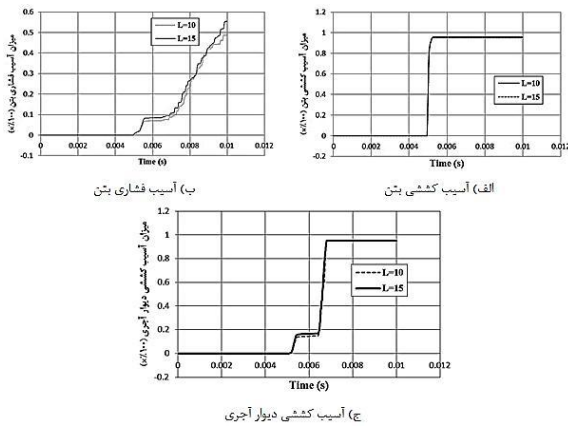
همانطور که از شکل‌های (۲۰-الف) و (۲۰-ب) مشخص است، فاصله میلگردها تأثیر چندانی در میزان آسیب فشاری بتن ندارد و اما میزان آسیب کششی بتن را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش خواهد داد. شکل (۲۰-ج) تأثیر مثبت فاصله میلگردها را در کاهش میزان آسیب کششی دیوار آجری نشان می‌دهد. همچنین با توجه به شکل‌های (۲۱-الف) و (۲۱-ب)، فاصله کمتر میلگردها، موجب کاهش سختی کمتر دیوار آجری و بتنی می‌شود. تأثیر مثبت فاصله کمتر میلگردها در میزان جابجایی مرکز دیوار در شکل (۲۲) مشهود است.



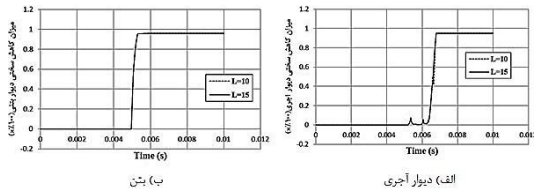
شکل (۱۷): تأثیر فاصله میلگردها در میزان بیشینه آسیب

ی) تأثیر فاصله میلگردها در  $S=9\text{ m}$  و  $T=15\text{ cm}$

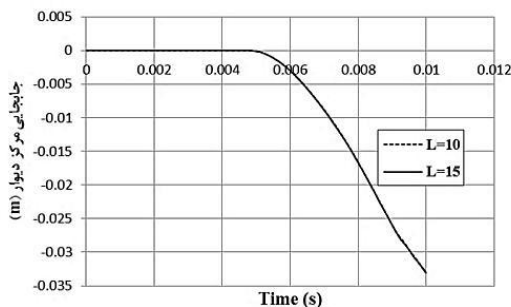
همانطور که از شکل‌های (۲۶- الف) و (۲۶- ب) مشخص است، فاصله میلگردها تأثیر چندانی در میزان آسیب کششی بتن ندارد و اما میزان آسیب فشاری بتن را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش خواهد داد. شکل (۲۶- ج) تأثیر ناچیز فاصله کمتر میلگردها را در کاهش میزان آسیب کششی دیوار آجری نشان می‌دهد. همچنین با توجه به شکل‌های (۲۷- الف) و (۲۷- ب)، فاصله میلگردها تأثیر چندانی در میزان بیشینه کاهش سختی دیوار آجری و دیوار بتنی ندارد. تأثیر مثبت فاصله کمتر میلگردها در میزان جابجایی مرکز دیوار در شکل (۲۸) مشهود است.



شکل (۲۶): تأثیر فاصله میلگردها در میزان بیشینه آسیب



شکل (۲۷): تأثیر فاصله میلگردها در میزان بیشینه کاهش سختی



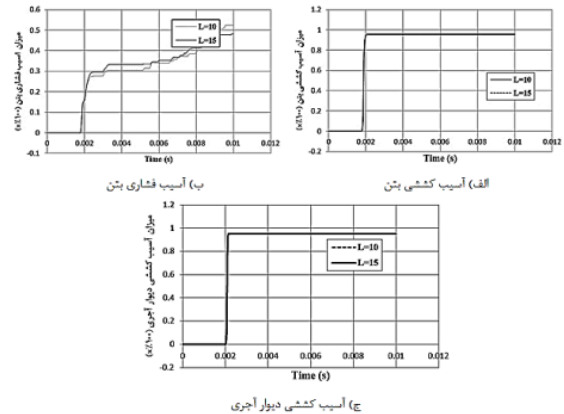
شکل (۲۸): تأثیر فاصله میلگردها در میزان جابجایی مرکز دیوار

ه) تأثیر فاصله میلگردها در  $S=13\text{ m}$  و  $T=15\text{ cm}$

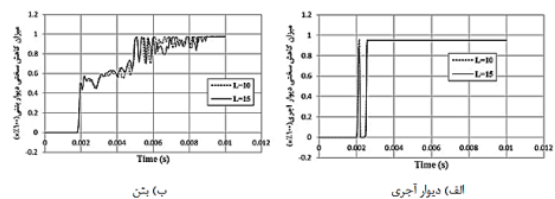
همان طور که از شکل‌های (۲۹- الف) و (۲۹- ب) مشخص است، فاصله میلگردها تأثیر چندانی در میزان آسیب فشاری و کششی

و) تأثیر فاصله میلگردها در  $S=5\text{ m}$  و  $T=10\text{ cm}$

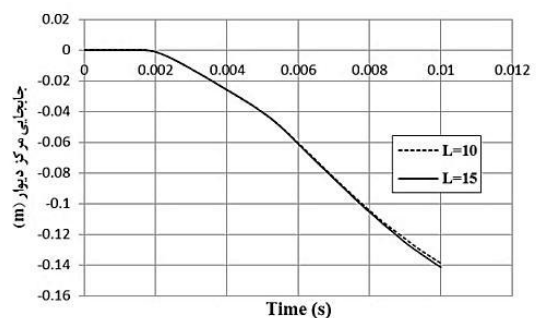
همانطور که از شکل‌های (۲۳- الف) و (۲۳- ب) مشخص است، فاصله میلگردها تأثیر چندانی در میزان آسیب کششی بتن ندارد و اما میزان آسیب فشاری بتن را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش خواهد داد. شکل (۲۳- ج) تأثیر ناچیز فاصله کمتر میلگردها را در کاهش میزان آسیب کششی دیوار آجری نشان می‌دهد. همچنین با توجه به شکل‌های (۲۴- الف) و (۲۴- ب)، فاصله میلگردها تأثیر چندانی در میزان بیشینه کاهش سختی دیوار آجری ندارد و اما فاصله کمتر میلگردها، موجب کاهش سختی کمتر دیوار بتنی در زمان می‌شود. تأثیر مثبت فاصله کمتر میلگردها در میزان جابه‌جایی مرکز دیوار در شکل (۲۵) مشهود است.



شکل (۲۳): تأثیر فاصله میلگردها در میزان بیشینه آسیب

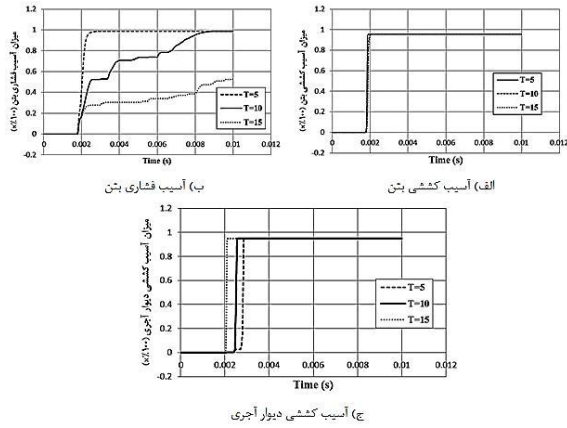


شکل (۲۴): تأثیر فاصله میلگردها در میزان بیشینه کاهش سختی

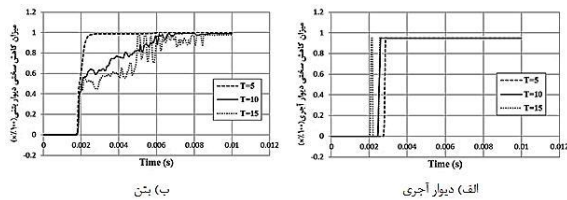


شکل (۲۵): تأثیر فاصله میلگردها در میزان جابجایی مرکز دیوار

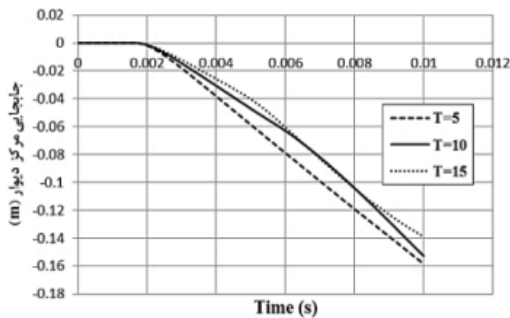
کاهش سختی دیوار آجری و دیوار بتنی در زمان رسیدن اوج بار انفجار به دیوار می‌شود. تأثیر مثبت ضخامت بیشتر پوشش بتنی در میزان جابجایی مرکز دیوار در شکل (۳۴) مشهود است.



شکل (۳۲): تأثیر ضخامت شاتکریت در میزان بیشینه آسیب



شکل (۳۳): تأثیر ضخامت شاتکریت در میزان بیشینه کاهش سختی

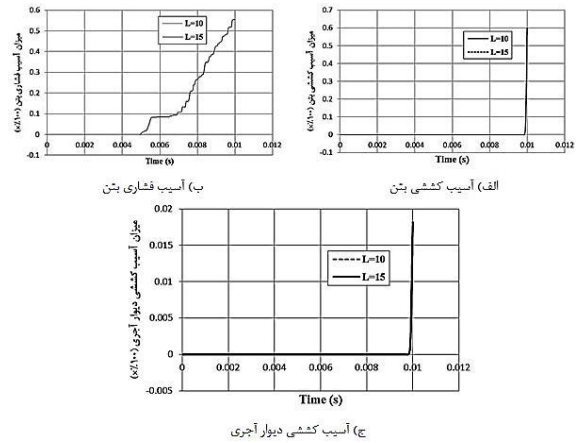


شکل (۳۴): تأثیر ضخامت شاتکریت در میزان جابجایی مرکز دیوار

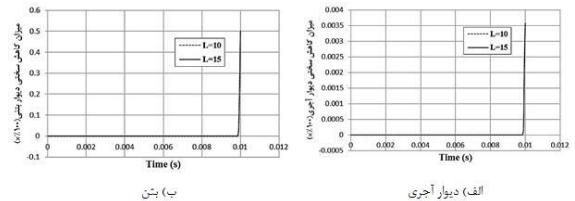
(و) تأثیر ضخامت پوشش بتنی در  $L=10\text{ cm}$  و  $S=9\text{ m}$

همان‌طور که از شکل‌های (۳۵-الف) و (۳۵-ب) مشخص است، ضخامت شاتکریت تأثیر چندانی در میزان آسیب کششی بتن ندارد و اما میزان آسیب فشاری بتن را به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش خواهد داد. شکل (۳۵-ج) تأثیر مثبت ضخامت بیشتر شاتکریت را در کاهش میزان آسیب کششی دیوار آجری نشان می‌دهد. همچنین با توجه به شکل‌های (۳۶-الف) و (۳۶-ب)، ضخامت بیشتر شاتکریت موجب کمتر شدن میزان بیشینه کاهش سختی دیوار آجری و دیوار بتنی در زمان رسیدن اوج بار انفجار به دیوار می‌شود. تأثیر مثبت ضخامت بیشتر شاتکریت در میزان جابجایی مرکز دیوار در شکل (۳۷) مشهود است.

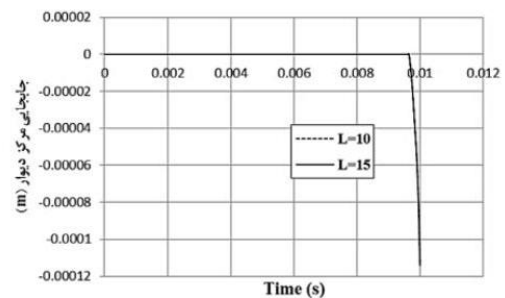
بتن ندارد. شکل (۲۹-ج) تأثیر ناچیز فاصله کمتر میلگردها را در کاهش میزان آسیب کششی دیوار آجری نشان می‌دهد. در نمودار شکل‌های (۳۱-۳۰) تفاوتی بین دو نمودار با فواصل مختلف میلگرد مشاهده نمی‌شود که نشان‌دهنده تأثیر ناچیز فاصله میلگردها در ضخامت شاتکریت ۱۵ سانتی‌متری و انفجار دورترین است.



شکل (۲۹): تأثیر فاصله میلگردها در میزان بیشینه آسیب



شکل (۳۰): تأثیر فاصله میلگردها در میزان بیشینه کاهش سختی



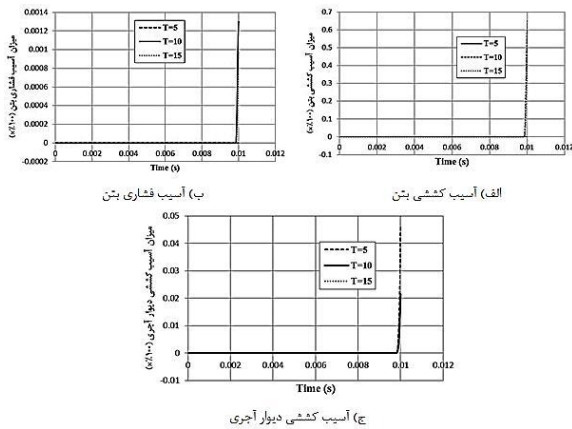
شکل (۳۱): تأثیر فاصله میلگردها در میزان جابجایی مرکز دیوار

### ۳-۲- تأثیر ضخامت شاتکریت

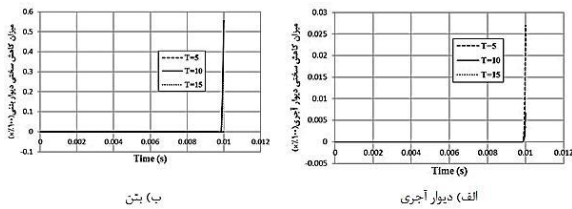
(الف) تأثیر ضخامت شاتکریت در  $S=5\text{ m}$  و  $L=10\text{ cm}$

همان‌طور که از شکل‌های (۳۲-الف) و (۳۲-ب) مشخص است، ضخامت شاتکریت تأثیر چندانی در میزان آسیب کششی بتن ندارد و اما میزان آسیب فشاری بتن را به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش خواهد داد. شکل (۳۲-ج) تأثیر مثبت ضخامت بیشتر پوشش بتنی را در کاهش میزان آسیب کششی دیوار آجری نشان می‌دهد. همچنین با توجه به شکل‌های (۳۳-الف) و (۳۳-ب)، ضخامت بیشتر پوشش بتنی موجب کمتر شدن میزان بیشینه

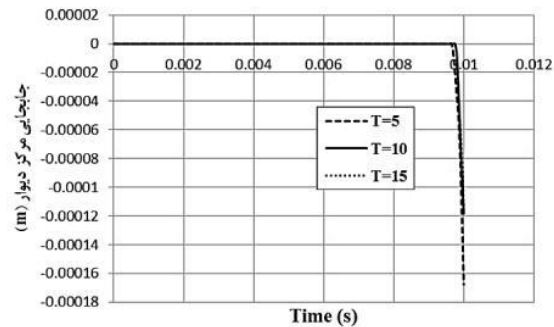




شکل (۳۸): تأثیر ضخامت شاتکریت در میزان بیشینه آسیب



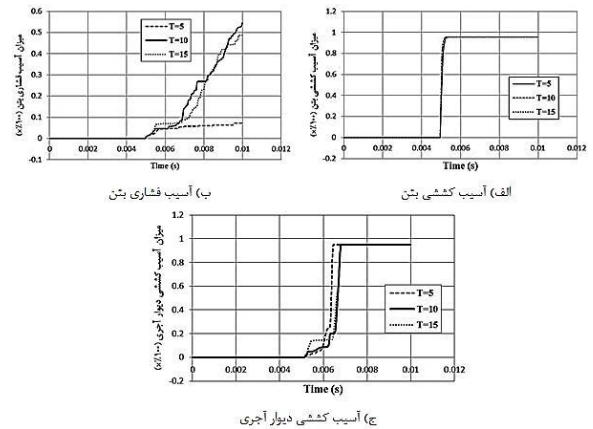
شکل (۳۹): تأثیر ضخامت شاتکریت در میزان بیشینه کاهش سختی



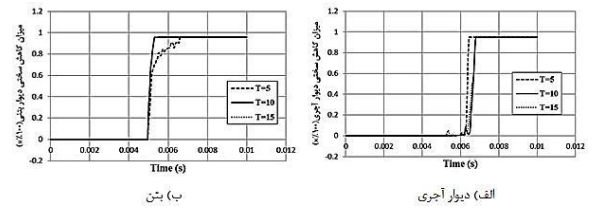
شکل (۴۰): تأثیر ضخامت شاتکریت در میزان جابجایی مرکز دیوار

د) تأثیر ضخامت پوشش بتنی در  $L=15\text{ cm}$  و  $S=5\text{ m}$

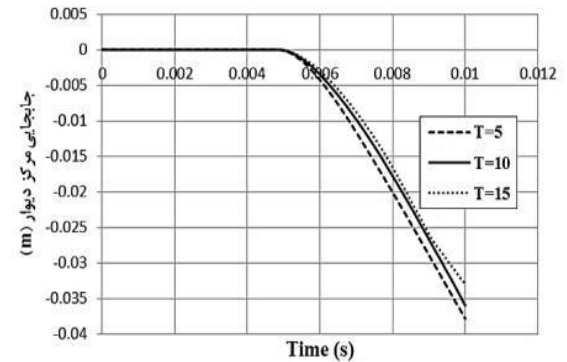
همان‌طور که از شکل (۴۱-الف) و (۴۱-ب) مشخص است، ضخامت شاتکریت تأثیر چندانی در میزان آسیب کششی بتن ندارد و اما میزان آسیب فشاری بتن را به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش خواهد داد. شکل (۴۱-ج) تأثیر مثبت ضخامت بیشتر شاتکریت را در کاهش میزان آسیب کششی دیوار آجری نشان می‌دهد. همچنین با توجه به شکل‌های (۴۲-الف) و (۴۲-ب)، ضخامت بیشتر شاتکریت موجب کمتر شدن میزان بیشینه کاهش سختی دیوار آجری و دیوار بتنی در زمان رسیدن اوج بار انفجار به دیوار می‌شود. تأثیر مثبت ضخامت بیشتر پوشش بتنی در میزان جابجایی و سرعت جابجایی مرکز دیوار در شکل (۴۳) مشهود است.



شکل (۳۵): تأثیر ضخامت شاتکریت در میزان بیشینه آسیب



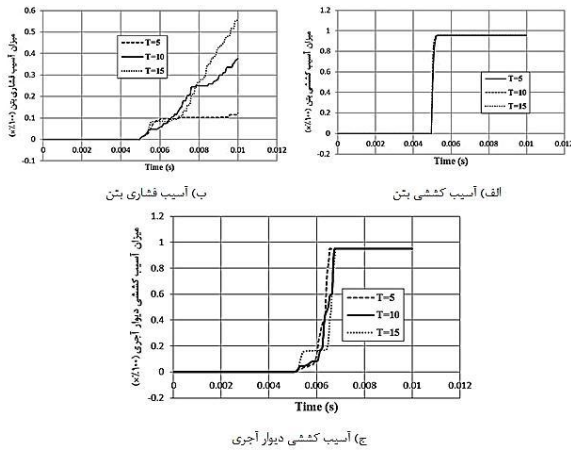
شکل (۳۶): تأثیر ضخامت شاتکریت در میزان بیشینه کاهش سختی



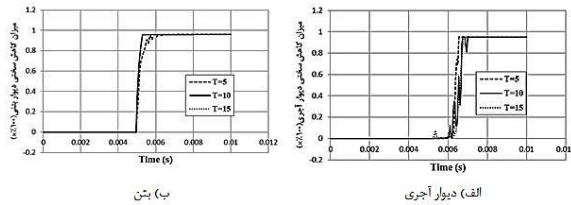
شکل (۳۷): تأثیر ضخامت شاتکریت در میزان جابجایی مرکز دیوار

ج) تأثیر ضخامت پوشش بتنی در  $L=10\text{ cm}$  و  $S=13\text{ m}$

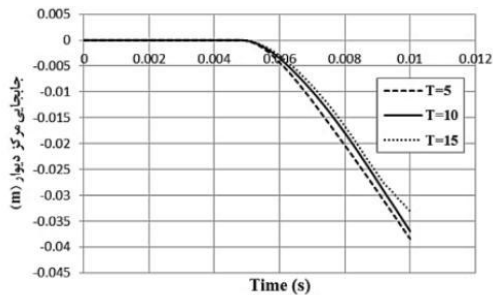
مطابق شکل (۳۱-الف) و (۳۱-ب)، ضخامت شاتکریت تأثیر چندانی در آسیب کششی بتن ندارد و اما آسیب فشاری بتن را به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش خواهد داد. شکل (۳۸-ج) تأثیر مثبت ضخامت بیشتر شاتکریت را در کاهش آسیب کششی دیوار آجری نشان می‌دهد. همچنین با توجه به شکل‌های (۳۹-الف) و (۳۹-ب)، ضخامت بیشتر شاتکریت موجب کمتر شدن میزان بیشینه کاهش سختی دیوار آجری و دیوار بتنی می‌شود. تأثیر مثبت ضخامت بیشتر پوشش بتنی در میزان جابجایی مرکز دیوار در شکل (۴۰) مشهود است.



شکل (۴۴): تأثیر ضخامت شاتکریت در میزان بیشینه آسیب



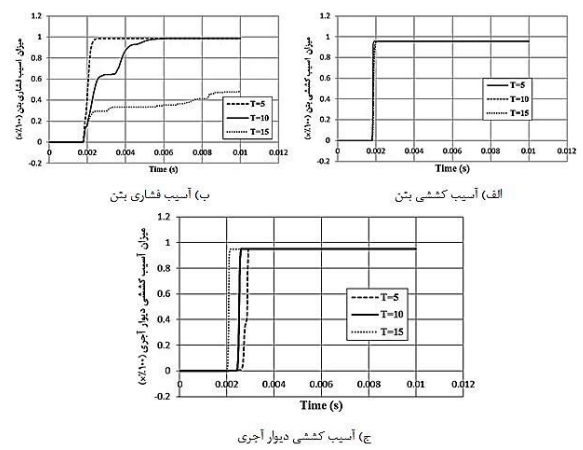
شکل (۴۵): تأثیر ضخامت شاتکریت در میزان بیشینه کاهش سختی



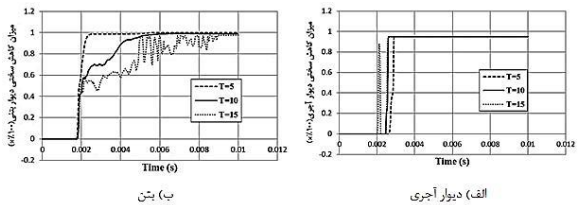
شکل (۴۶): تأثیر ضخامت شاتکریت در میزان جابجایی مرکز دیوار

ز) تأثیر ضخامت پوشش بتنی در  $S=13\text{ m}$  و  $L=15\text{ cm}$

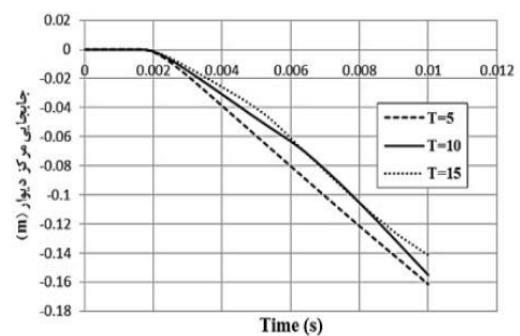
طبق شکل (۴۷-الف) و (۴۷-ب)، ضخامت شاتکریت تأثیر چندانی در میزان آسیب کششی بتن ندارد و اما میزان آسیب فشاری بتن را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش خواهد داد. شکل (۴۷-ج) تأثیر مثبت ضخامت بیشتر شاتکریت را در کاهش میزان آسیب کششی دیوار آجری نشان می‌دهد. همچنین با توجه به شکل‌های (۴۸-الف) و (۴۸-ب)، ضخامت بیشتر شاتکریت موجب کمتر شدن میزان بیشینه کاهش سختی دیوار آجری و مثبت ضخامت بیشتر شاتکریت در میزان جابه‌جایی مرکز دیوار در شکل (۴۹) مشهود است. با افزایش ضخامت شاتکریت، میزان جابجایی مرکز دیوار کاهش می‌یابد.



شکل (۴۱): تأثیر ضخامت شاتکریت در میزان بیشینه آسیب



شکل (۴۲): تأثیر ضخامت شاتکریت در میزان بیشینه کاهش سختی



شکل (۴۳): تأثیر ضخامت شاتکریت در میزان جابجایی مرکز دیوار

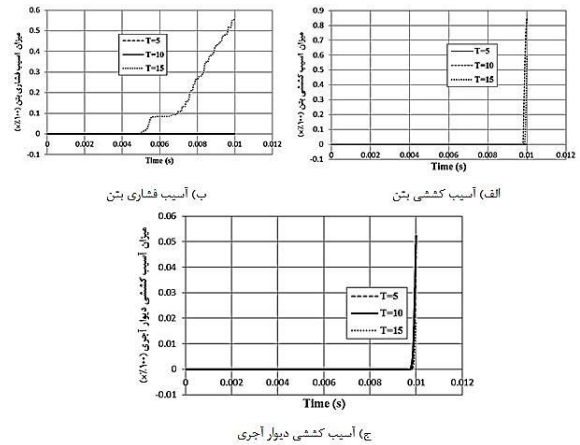
ر) تأثیر ضخامت پوشش بتنی در  $S=9\text{ m}$  و  $L=15\text{ cm}$

همانطور که از شکل (۴۴-الف) و (۴۴-ب) مشخص است، ضخامت شاتکریت تأثیر چندانی در میزان آسیب کششی بتن ندارد و اما میزان آسیب فشاری بتن را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش خواهد داد. شکل (۴۴-ج) تأثیر مثبت ضخامت بیشتر شاتکریت را در کاهش میزان آسیب کششی دیوار آجری نشان می‌دهد. همچنین با توجه به شکل‌های (۴۱-الف) و (۴۱-ب)، ضخامت بیشتر شاتکریت موجب کمتر شدن میزان بیشینه کاهش سختی دیوار آجری و دیوار بتنی می‌شود. تأثیر مثبت ضخامت بیشتر شاتکریت در میزان جابه‌جایی مرکز دیوار در شکل (۴۶) مشهود است.

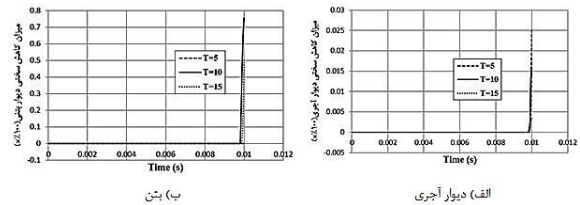
مقاوم‌سازی دیوارهای بتنی همانند سد و تونل و نمای ساختمان‌ها در مقابله با زلزله، خوردگی، حوادث طبیعی و انفجار به کار برده می‌شود. استفاده از شاتکریت بتنی مسلح امروزه در انواع مختلف سازه‌ها گسترش یافته است. کارایی و دوام بسیار بالای این نوع از مصالح، سهولت اجرا در کنار هزینه کم اقتصادی، آنها را به یک گزینه مؤثر برای بسیاری از طراحی‌ها تبدیل کرده است. استفاده از این شاتکریت مسلح باعث افزایش مقاومت ضربه‌ای، کششی و سایشی سازه می‌گردد، نفوذپذیری را کاهش داده و موجب افزایش دوام و پایداری می‌شود. مش فولادی باعث افزایش شکل‌پذیری بتن شده و این کاربرد به‌ویژه در محیط‌های تحت تغییرشکل و جابجایی‌های قابل توجه مانند مواجهه با بار انفجار اهمیت بیشتری دارد. نتایج این پژوهش نشان داد که تقویت با شاتکریت مزایا و خواص برتری داشته و همین مزایا و خواص برتر است که آنها را مورد استقبال روز افزون صنعتی قرار می‌دهد. از جمله این مزایا می‌توان به کاهش میزان خرابی دیوار آجری در برابر انفجار، کاهش جابه‌جایی و سرعت جابه‌جایی مرکز دیوار، جذب بیشتر بار انفجار و انتقال کمتر آن به دیگر اجزای سازه اشاره نمود که با نتایج حاصل از مقالات مشابه دیگر [۴ - ۷] در این زمینه مطابقت خوبی نشان می‌دهد.

## ۵- منابع

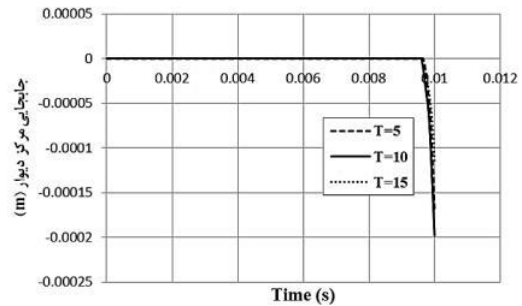
۱. مظفرپورطارمی، محمدرضا، خسروی، حسین، بررسی پاسخ ساکنان درون ساختمان و اجزاء غیرسازه‌ای در مقابل انفجارهای در سطح زمین از منظر پدافندغیرعامل، چهارمین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری، تهران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، ۱۳۹۵.
۲. ملکی، سلمان، امیدی نسب، فریدون، پیریان صفراآباد، کامران، بررسی اثر زره پوش کردن ساختمان‌های بنایی غیرمسلح با شاتکریت بر رفتار لرزه‌ای آنها، کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران، تهران، دبیرخانه دایمی کنفرانس، ۱۳۹۵.
۳. اسدی بیگزاد محله، محمدرضا، عشقی، پیام، توانا رودسری، مجید، پیمانان بحری، ایمان، کاربرد شاتکریت با بتن الیافی پلیمری در سیستم پوششی دیواره تونل‌ها، کنفرانس ملی پژوهش‌های نوین در علوم فنی و مهندسی، اردبیل، موسسه حامیان زیست‌اندیش محیط‌آرامانی، ۱۳۹۵.
۴. جواهرزاده، سعید و قنبری، پیمان، ارزیابی تأثیر نیروهای انفجاری بر روی نمای سازه‌های فولادی و مقاوم‌سازی آن با بهره‌گیری از سازه‌های شبکه کابلی پیش‌تنیده مسطح، چهارمین کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و توسعه اقتصاد شهری، شیراز، ۱۳۹۶.



شکل (۴۷): تأثیر ضخامت شاتکریت در میزان بیشینه آسیب



شکل (۴۸): تأثیر ضخامت شاتکریت در میزان بیشینه کاهش سختی



شکل (۴۹): تأثیر ضخامت شاتکریت در میزان جابجایی مرکز دیوار

## ۴- نتیجه‌گیری

ساختمان‌های بنایی به دلیل سهولت تولید، اقتصادی بودن، خاصیت عایق‌بودن و ناماسازی ساده در مناطق زیادی از کشور مورد استفاده قرار گرفته است. با نگاهی به حوادث گذشته در کشور می‌توان دریافت که بسیاری از ساختمان‌های آجری موجود در کشور به دلیل عدم رعایت جزئیات آیین‌نامه‌ای در مقابل بارهای وارده آسیب‌پذیرند و نیاز به بهسازی دارند. یکی از روش‌های بهسازی که علاوه بر تأمین مقاومت لازم برای سازه، از نظر اقتصادی نیز به صرفه می‌باشد، بهسازی به روش شاتکریت است. با توجه موارد ذکرشده می‌توان نتیجه گرفت که شاتکریت با بتن مسلح که در آن میلگردها در داخل مخلوط بتن قرار می‌گیرند، جهت پوشاندن شیارهای دیوار یا ساختمان و

9. Y.W. Lin, L. Wotherspoon, A. Scott, and J. M. Ingham, "In-plane strengthening of clay brick unreinforced masonry wall using ECC shotcrete," *Engineering Structures*, vol. 66, pp. 57-65, 2014.
10. M. Maalej, V. W. J. Lin, M. P. Nguyen, and S. T. Quek, "Engineered cementitious composites for effective strengthening of unreinforced masonry walls," *Engineering Structures*, vol. 32, Issue 8, pp. 2432-2439, 2010.
11. D. Dizhur, M. Griffith, and J. Ingham, "Out-of-plane strengthening of unreinforced masonry walls using near surface mounted fibre reinforced polymer strips," *Engineering Structures*, vol. 59, pp. 330-343, 2014.
12. M. Khooshechi and J. Tanzadeh, "Experimental and mechanical performance of shotcrete made with nanomaterials and fiber reinforcement," *Construction and Building Materials*, vol. 165, pp. 199-205, 2018.
13. A. Mardani, M. Raissi Dehkordi, A. Sarv Moghadam, and M. Yekrangnia, "Chapter 2- Example of a Two-Story Unreinforced Masonry Building Retrofitted by Shotcrete," Editor(s): M. Yekrangnia, *Advanced Design Examples of Seismic Retrofit of Structures*, Butterworth-Heinemann, pp. 13-118, 2019.
14. M. Wang, H. Hao, Y. Ding, and Z. X. Li, "Prediction of fragment size and ejection distance of masonry wall under blast load using homogenized masonry material properties," *International Journal of Impact Engineering*, vol. 36, pp. 808-820, 2009.
۵. رئیسی دهکردی، مرتضی، یعقوبی دوست، امیر، یکرنگ‌نیا، محمد، بررسی عددی عملکرد لرزه‌ای ساختمان‌های یک طبقه آجری مقاوم‌سازی شده به روش شاتکریت پیرامونی، دهمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، تبریز، دانشگاه تبریز، دانشکده مهندسی عمران، ۱۳۹۴.
۶. منصوری، حیدر، بررسی تأثیر ابعاد و میلگرد گذاری طولی و عرضی کلاف‌های افقی و قائم بر روی شکل‌پذیری دیوارهای آجری محصورشده، همایش ملی پژوهش‌های کاربردی در افق‌های نوین عمران و معماری، بوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوشهر، ۱۳۹۵.
۷. اسماعیلی، علی، امامزاده، سیدشهاب، امینی مزرعه نو، مصطفی، بررسی اثر چیدمان ورق‌های CFRP در مقاوم‌سازی دیوارهای بنایی غیرمسلح در برابر بار انفجار، فصل‌نامه علمی-ترویجی پدافند غیرعامل، سال پنجم، شماره ۴، صفحات ۷-۱، زمستان ۱۳۹۳.
8. Y. Lin, D. Lawley, L. Wotherspoon, and J. M. Ingham, "Out-of-plane Testing of Unreinforced Masonry Walls Strengthened Using ECC Shotcret," *Engineering Structures*, vol. 7, pp. 33-42, 2016.

## **Retrofitting of Masonry Walls with Reinforced Shotcrete under Blast Load**

**S. S. Emamzadeh<sup>\*</sup>, A. Heravi**

### **Abstract**

In Passive defence projects, retrofitting of masonry walls has especially important. One of the commonly used methods for seismic retrofitting of the walls is the implementation of a reinforced shotcrete layer. The behavior of strength walls with shotcrete against earthquakes has been studied by many researchers. However, the behavior of the walls against the explosion has been less noticeable and the effect of the mesh specification and the thickness of the Shotcrete against this type of loading has not been investigated. In this research 700kg TNT is located at distance of 3,9 and 15 m from a masonry wall and damage index investigated. In steel mesh, the distance between the bars is 10 and 15 cm, and the thickness of shotcrete layer is 5, 10 and 15 cm. Finally, 18 different models of steel mesh and thickness of shotcrete was introduced. With shotcrete strengthening, the wall failure index and the maximum displacement of the wall center decreased. In all models, due to the closeness of the explosion to the wall, the wall was eventually destroyed and the effect of the reinforcement spacings on reducing the wall fracture was negligible. In contrast, the thickness of the wall has a greater role in reducing the tensile damage index of the wall.

**Key Words:** *Explosion, Unreinforce Masonary walls, mesh, retrofitting*

---

<sup>\*</sup> Kharazmi University - (shemamzadeh@khu.ac.ir) - Writer-in-Charge