

نشریه علمی پژوهش‌گرایانه

سال چهاردهم، شماره ۳، پیاپی ۵۵ (پیاپی ۹۱-۹۲): صص ۱۰۳-۹۱

علمی-پژوهشی

بررسی رفتار پوشش بتن الیافی دهانه تونل تحت اثر بار حرارتی

امیرمحمد چراغ خانی^۱، صفا پیمان^{۲*}، محمدحسین تقی‌پارسا^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۱۶

چکیده

بررسی رفتار حرارتی پوشش بتنی تونل‌ها در برابر بارهای حرارتی از اهمیت کاربردی ویژه‌ای برخوردار است. هدف از این پژوهش بررسی رفتار پوشش بتن الیافی تونل‌های با مقطع مستطیلی، نیم‌دایره و نعل اسپی تحت اثر بار حرارتی در یک تاریخچه زمانی مشخص می‌باشد. در این راستا شبیه‌سازی‌های عددی با استفاده از نرم‌افزار اجزای محدود آباکوس انجام گرفته است. نمودارهای تنش-زمان و تغییر شکل-زمان در پوشش بتن الیافی تحت اثر بارهای حرارتی بررسی شده است. بتن الیافی در این تحقیق که به عنوان پوشش در مقاطع تونلی در نظر گرفته شده از نوع بتن الیاف فولادی با درصد حجمی ۵/۰ تا ۱/۵٪ است. همچنین مقاطع علاوه بر بارهای متداول طراحی تحت شرایط بارگذاری بار حرارتی قرار گرفته است. مطابق نتایج به دست آمده، مقاومت انواع مقاطع موربد بررسی علاوه بر شکل ظاهری به میزان الیاف فولادی در بتن نیز بستگی دارد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که مقاطع با شکل نعل اسپی دارای بهترین عملکرد در برابر بار حرارتی بوده و افزایش الیاف تا ۱/۵٪ حجمی بتن نسبت به پوشش‌های تونلی با درصد حجمی کمتر الیاف منجر به پایداری در مدت‌زمان بیشتری می‌شود.

کلیدواژه‌ها: تونل، پوشش بتن الیافی، اجزاء محدود، تحلیل غیرخطی، بار حرارتی.

^۱دانشجوی کارشناس ارشد مهندسی عمران گرایش سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران

^۲استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران -speyman@ihu.ac.ir- نویسنده مسئول

^۳دانشجوی دکتری عمران گرایش سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه قم، قم، ایران

بررسی مقاطع تونل تحت اثر بارهای غیرمتداول از جمله انفجار و حرارت مدت‌هاست توسط محققان انجام گرفته است. [۶-۱۰]

با مراجعه و مطالعه مقالاتی که در زمینه پوشش بتن الیافی توسط پژوهشگرانی نظری حاجتی و همکاران [۱۱]، قربانی [۱۲] عدل پرور و تقوی پارسا [۱۳] صورت گرفته این نتیجه‌گیری حاصل شد که بتن الیافی با درصد حجمی $1/5$ و $1/10$ % دارای کارایی و دوام بیشتری بوده و از نظر اقتصادی به صرفه نیز می‌باشد.

پیمان و تقوی پارسا [۳۳] در تحقیق خود به تحلیل اثرات انفجاری بر روی تونل‌های زیر زمینی پرداختند. در تحقیق آنها از روش شبیه‌سازی عددی برای تحلیل و شبیه‌سازی اثر انفجار سطحی روی تونل مدفون استفاده شده است. شبیه‌سازی عددی با استفاده از هیدروکد توانمند LS-DYNA انجام گردیده است. به منظور ارزیابی پاسخ دینامیکی سازه در برابر انفجار تحلیل ابعادی شامل اثر وزن خروج انفجاری و عمق سازه مدفون انجام گرفته و موج فشاری پیش‌رونده در خاک، تنفس موثر و مایسز و شتاب بر روی دیواره برسی گردیده است. برای صحت سنجی نتایج به دست آمده از حل عددی با پاسخ‌های حاصل از روابط تحلیلی و آیینه نامه ای مقایسه شده است.

با وجود پژوهش‌های انجام‌شده هنوز رفتار پوشش بتن الیافی تونل‌ها بطور کامل روشن نشده است و تحقیقات تجربی و عددی بیشتری نیاز دارد. در این پژوهش با استفاده از شبیه‌سازی‌های عددی رفتار پوشش بتنی تونل‌های بتن الیافی با شکل مقطع‌های مستطیلی، دایره‌ای و نعل اسبی و با درصد الیاف $1/5$ ، $1/10$ ٪ و $1/20$ ٪ تحت اثر بار حرارتی تاریخچه زمانی بررسی شده است. تحلیل پوشش بتنی همراه با محیط پیرامونی سنگ یا خاک دربرگیرنده پوشش بتنی از ویژگی‌های مهم این پژوهش می‌باشد.

۲- مشخصات مصالح و مدل رفتاری مواد

۲-۱- الیاف

رفتار ضد انفجاری و مقاوم در برابر آتش‌سوزی و حرارت بتن الیافی و قابلیت جذب انرژی بالای این نوع بتن خاص به راحتی می‌تواند اهمیت استفاده از این نوع بتن را آشکار سازد.

کامپوزیت‌های سیمانی یا بتن مسلح الیافی به صورت موادی مرکب با دو مؤلفه اصلی شامل الیاف و ملات تعریف می‌شوند. ملات، صرف نظر از اینکه خمیر یا بتن باشد، شامل سنگ‌دانه‌ها و مواد افزودنی ویژه است. الیاف نیز دومین مؤلفه اصلی تشکیل کامپوزیت است.

گروه‌های اصلی الیافی که در بتن سازه‌ها استفاده می‌شوند، بر اساس جنس به صورت زیر دسته‌بندی می‌شوند:

۱- الیاف فولادی با اشکال و قطرهای مختلف و نیز میکرو الیاف فولادی

۱- مقدمه و تاریخچه تحقیقات

آتش‌سوزی‌های اخیر در تونل‌های راه و مترو در سراسر جهان توجه به حفاظت از سازه تونل‌ها در برابر آتش و پارهای حرارتی را بالابرده است، از دست دادن مقاومت بتن به علت آتش‌سوزی در فضاهای محصور مانند تونل‌ها، نه تنها می‌تواند منجر به فروپاشی سازه شود، بلکه ممکن است در بلندمدت موجب انسداد عبور و مرور گردد. در سال‌های اخیر پژوهش‌هایی برای بررسی رفتار سازه‌های بتنی تحت اثر بارهای حرارتی انجام شده است [۱۱].

چن و همکاران [۲] به بررسی مقاومت فشاری بتن‌های حاوی الیاف فولادی تحت دماهای بالا پرداختند. در پژوهش آن‌ها درصد الیاف فولادی به نسبت حجمی بتن $1/5$ و $1/10$ ٪ می‌باشد. آن‌ها به این نتیجه دست یافتد که تا دمای 250 درجه سانتی‌گراد 85% مقاومت بتن حفظ می‌شود و تا دمای 400 و 600 درجه 59% و 31% از مقاومت بتن نسبت به حالتی که تحت دما قرار ندارد کاهش یافته است.

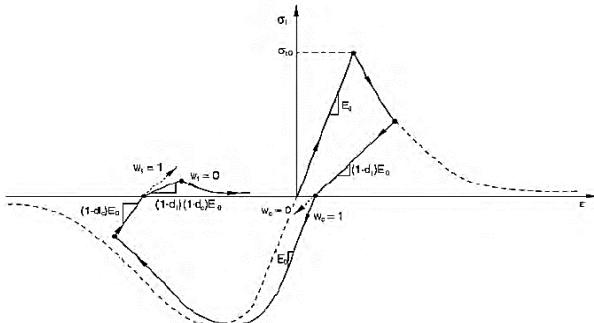
فی تاؤ [۳] در تحقیق خود به مدل‌سازی و تحلیل تأثیر دما بر پوشش بتن الیافی تونل‌های دایره‌ای عمیق در زمین الاستیک پرداخته است. او در این پژوهش تلاش کرده که یک فرمول کلی برای یک تونل دایره‌ای در عمق بسیار بالا در داخل زمین برای بارگذاری حرارتی ارائه نماید. استخراج کردن راه حل‌های تحلیلی برای تنش‌ها و جابجایی‌های ناشی از بار حرارتی برای یک تونل دایره‌ای در داخل زمین که در آن محور ناهمسانگردی زمین با جهت انباسته شدن منطبق است از دیگر دستاوردهای پژوهش فی تاؤ می‌باشد.

استاد حسین و همکاران [۴] به تحلیل عددی تأثیر آتش‌سوزی بر کاهش مقاومت و زمان فروریزش تیر بتن مسلح پرداختند. مهم‌ترین نتیجه تحقیق آن‌ها را می‌توان این‌گونه بیان نمود که گسیختگی و فروریزش تیر بتنی هنگامی اتفاق می‌افتد که دمای میلگرد به بالاتر از 400 درجه سانتی‌گراد برسد.

انصاری و فرزام [۵] به بررسی تأثیر حرارت و آتش‌سوزی بر رفتار سگمنت‌های بتنی تونل‌های مترو پرداختند. در پژوهش آن‌ها مقاومت بتن سگمنت‌های تونل مترو با پوشش لایه‌ای محافظ در برابر آتش با رفتار سگمنت‌های بتنی تونل بدون پوشش لایه‌ای محافظ، مقایسه شده است.

ژی گویان و همکاران [۶] به بررسی آزمایشگاهی رفتار پوشش بتن مسلح با الیاف فولادی در معرض دماهای بالا پرداختند. آن‌ها در تحقیق خود نتایج آزمایش‌های تجربی جامعی را در مورد رفتار بتن مسلح (RC) و بتن مسلح با الیاف فولادی ارائه نمودند. نتایج تجربی در تحقیق آن‌ها نشان می‌دهد که توزیع دمای غیریکنواخت غیرخطی درون پوشش‌های بتنی باعث انبساط حرارتی غیریکنواخت قابل توجه و تخریب خواص مواد می‌شود.

آغاز می‌شود و بتن تحت فشار، خرد می‌شود.



شکل (۲): منحنی تنش-کرنش بتن معمولی و بتن الیافی تحت بارهای کششی و فشاری [۱۶]

منحنی تنش-کرنش بتن الیافی در فشار و کشنش همانند بتن معمولی است. معادله‌های (۲) و (۱) مربوط به تنش و کرنش بتن هستند:

$$\sigma_t = (1 - d_t) E_0 (\varepsilon_t - \dot{\varepsilon}_t^{PL}) \quad (1)$$

$$\sigma_c = (1 - d_c) E_0 (\varepsilon_c - \dot{\varepsilon}_c^{PL}) \quad (2)$$

که در آن ε_t و ε_c کرنش فشاری و کرنش کشنش ، d_t و d_c ضرایب کاهش مدول کشسانی بتن تحت فشار و کشنش، $\dot{\varepsilon}_t^{PL}$ و $\dot{\varepsilon}_c^{PL}$ کرنش پلاستیک بتن تحت کشنش و فشار، σ_t و σ_c کرنش کل بتن تحت فشار و کشنش است. E_0 نیز نشاندهنده مدول کشسانی بتن قبل از تحمل خسارت است.

۲-۱-۱- مدل رفتاری آسیب پلاستیک بتن (CDP)

معیار گسیختگی در محدوده پلاستیک ماده تحت تنش‌های ترکیبی بیان می‌شود. این معیار به دودسته عمدۀ بر اساس پاسخگویی ماده به فشار هیدرو استاتیک تقسیم‌بندی می‌شود. در اکثر مواد، رفتار شکل‌پذیر بانام وابسته به فشار هیدرو استاتیک شناخته می‌شوند و مواد غیرفلزی مانند خاک، سنگ‌ها و بتن از این دسته بوده و وابسته به فشار هستند. حالت آسیب پلاستیک بتن^۱ یکی از مدل‌های ترکیبی می‌باشد که توسط کاچانوف^۲ ارائه شد و تکمیل بیشتر آن توسط رایوتوف^۳ و همکاران انجام گرفت. معادله میزان آسیب به شکل زیر است.

$$\sigma = (1 - d) D_0^{eL} : (\varepsilon - \varepsilon^{PL}) \quad (4)$$

در این فرمول σ عامل تنش کاچانوف (Cauchy) می‌باشد، d سنجش‌گر D^{eL} میزان افت سختی متغیر می‌باشد، به همین ترتیب کرنش، ε^{PL} سختی الاستیک اولیه (آسیب نرسیده) مواد می‌باشد، در

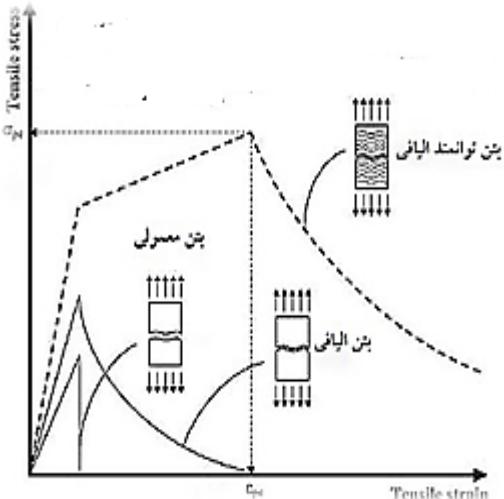
۲- الیاف شیشه‌ای

۳- الیاف مصنوعی ساخته شده با مواد مختلف مثل پلی‌پروپیلن؛

پلی‌اتیلن، پلی‌وینیل کلری

۴- الیاف کربن، اکریلونیتریل و ...

الیاف و ملات به‌سبب وجود پیوستگی با یکدیگر کار می‌کنند که منجر به تشکیل یک کامپوزیت قوی می‌گردد. نقش اصلی الیاف کوتاه پراکنده در کامپوزیت، کنترل بازشگی و گسترش ترک در ماتریس است. در شکل (۱) رفتار انواع مختلف بتن‌های الیافی و معمولی تحت کشنش نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که رفتار سخت‌شوندگی بتن توانمند الیافی، وجه تمایز آن نسب به سایر بتن‌ها است.



شکل (۱): مقایسه رفتار کشنشی بتن‌های مختلف [۱۶]

۲-۲- رابطه تنش-کرنش برای بتن

منحنی تنش-کرنش بتن تحت کشنش از یک رابطه‌ی خطی تا رسیدن به تنش σ_{t0} (مقاومت کشنشی نهایی) پیروی می‌کند. از این نقطه به بعد با شروع ترک خودگی‌ها در بتن، شاخه نرم شونده منحنی آغاز می‌شود که با موضعی شدن تنش‌ها و افزایش عرض ترک در یک صفحه همراه است. منحنی تنش-کرنش بتن در فشار نیز تا تنش σ_{c0} (تسليیم اولیه) به صورت خطی پیش می‌رود، سپس مرحله غیرخطی و افزاینده منحنی شروع می‌شود و تا نقطه مربوط به تنش σ_{cu} (تنش نهایی) ادامه می‌یابد که همان نقطه مقاومت فشاری بتن است. از این نقطه به بعد شاخه‌ی نرم شونده منحنی

¹Concrete Damage Plasticity (CDP)

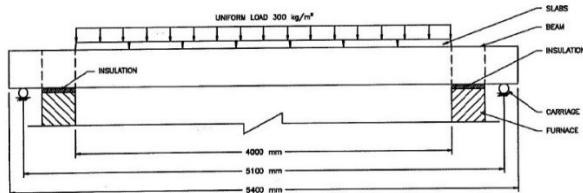
²Kachanov

³Rabotnov

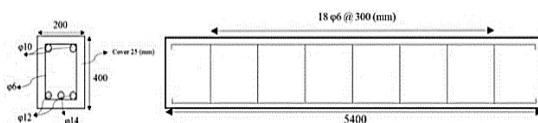
۳- صحت سنجی

برای بررسی اعتبارسنجی نتایج، پاسخ‌های به دست آمده از تحلیل عددی با نرم‌افزار آباکوس با نتایج تحقیق استاد حسین و همکاران مقایسه می‌گردد [۴]. در شکل‌های (۴) و (۵) مشخصات تیر همراه با شرایط مرزی آن نشان داده شده است.

ابعاد تیر $5400 \times 5100 \times 4000$ میلی‌متر می‌باشد. نحوه اتصال تیر با تکیه‌گاه‌های مفصلی و غلتکی در نظر گرفته شده است. فولاد استفاده شده در این مطالعه دارای تنفس تسليم ۲۴۰ مگاپاسکال و تنفس نهایی ۳۸۰ مگاپاسکال است. بتن به کارفته دارای مقاومت فشاری ۲۰ مگاپاسکال بوده است. در این یکبار گستردگی به میزان ۳۰۰ کیلوگرم بر مترمربع از نیم ساعت قبل از شروع آتش‌سوزی تا انتهای آتش‌سوزی بر روی تیرها قرار گرفته شده است. تیر از سه وجه بالا و زیرین و جانبی در معرض آتش قرار گرفته‌اند. در هنگام شروع آتش‌سوزی درجه حرارت محیط برابر با 20°C درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شده است.

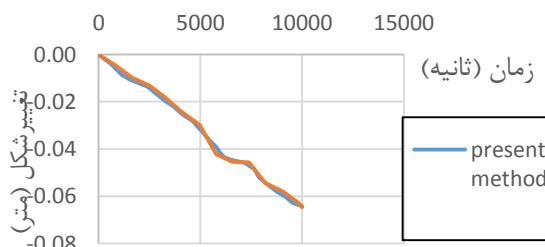


شکل (۴): نحوه بارگذاری و شرایط تکیه‌گاه تیر مورد آزمایش و مدل‌سازی [۴]



شکل (۵): هندسه تیر مورد آزمایش و مدل‌سازی [۴]

در تحلیل‌های انجام شده در این پژوهش، مقاومت فشاری بتن ۲۰ مگاپاسکال و گرمای ویژه حجمی برای بتن معمولی برابر با مقدار ثابت $2/6$ مگاژول بر مترمکعب بر درجه کلوین لحاظ گردیده است. همچنین در این پژوهش، مدل رفتاری بتن مدل ترکیبی پلاستیک-خسارت بتن انتخاب شده است.



شکل (۶): تصویر خروجی جابه‌جاکی - زمان

حالیکه $D_0^{\text{el}} = (1 - d)D_0^{\text{el}}$ به عنوان میزان سختی الاستیک افت کرده می‌باشد. تنش مؤثر به شرح زیر تعریف شده است:

$$\bar{\sigma} = D^{\text{eL}} : (\varepsilon - \varepsilon^{\text{PL}}) \quad (5)$$

در این فرمول ε^{PL} کرنش پلاستیک می‌باشد. در فرمول‌بندی لازم است که تغییرات میزان افت منظر قرار گیرد.

$$d_c = d(\bar{\sigma}, \varepsilon^{\text{PL}}) \quad (6)$$

وضعيت ترک در حالت کشش و فشار به طور مستقل به دو نوع متغیرهای سختی تقسیم‌بندی می‌شوند $\varepsilon_t^{\text{PL}}$ و $\varepsilon_c^{\text{PL}}$ که به ترتیب به کرنش پلاستیک در حالت کشش و فشار عطف می‌شود.

$$\varepsilon^{\text{PL}} = \begin{bmatrix} \varepsilon_c^{\text{PL}} \\ \varepsilon_t^{\text{PL}} \end{bmatrix}, \bar{\sigma}^{\text{PL}} = h(\bar{\sigma}, \varepsilon^{\text{PL}}) \cdot \dot{\varepsilon}^{\text{PL}} \quad (7)$$

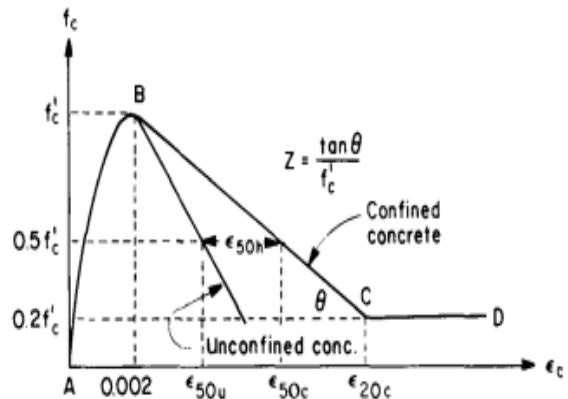
ترک خودگی (کشش) و خردشگی (فشار) نشان داده شده در بتن با افزایش مقادیر سخت‌کننده‌ها (نرم‌کننده‌ها) متغیر می‌باشد. این متغیرها میزان رشد حاصله در سطح جاری‌شدگی و افت‌های ایجاد شده در میزان سختی الاستیکی را کنترل می‌نماید.

۳-۲- مدل کنت-پارک برای بتن

جهت مدل‌سازی بتن در تیرها و تونل‌ها از مدل رفتاری بتن محصور و غیر محصور کنت-پارک استفاده می‌گردد. در شکل (۳) نحوه تعریف منحنی رفتار بتن در دو حالت بتن محصور و بتن غیر محصور نشان داده است. رابطه این مدل به صورت معادله (۳) است.

$$\sigma_c = f'_c \left[2 \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon'_c} \right) - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon'_c} \right)^2 \right] \quad (3)$$

که در این رابطه σ_c به ترتیب تنش و کرنش فشاری f'_c و ε'_c به ترتیب مقاومت فشاری نمونه استوانه‌ای بتن غیر محصور و کرنش متناظر با آن است که در آن $f'_c = 200/0.002$ فرض شده است. برای مدل‌سازی رفتار کششی بتن، مقاومت کششی $5f'_c$ درصد مقاومت فشاری فرض شده است. [۲۷]

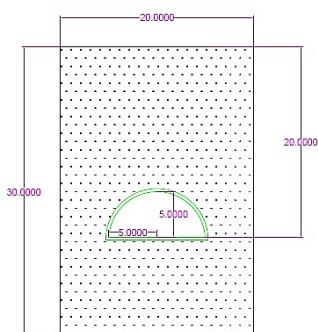


شکل (۳): نمایی از مدل Kent & Park برای بتن غیر محصور و محصور

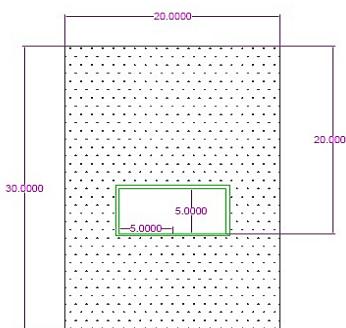
با توجه به نتایج شکل های (۷) و (۸) مشخص می گردد که عایق تأثیر بسزایی در به تأخیر افتادن افزایش دمای میلگرد دارد. با توجه به این مسئله که افزایش درجه حرارت باعث افت سریع مقاومت فولاد می شود استفاده از عایق می تواند به نحوه چشمگیری باعث به تأخیر افتادن زمان تخریب اعضا شود.

۴- مشخصات هندسی و مکانیکی

در شبیه سازی هندسه‌ی مقطع تونل از المان‌های سه بعدی و در شبیه سازی خاک از المان سه بعدی توبیر استفاده شده است. مطابق شکل های (۹)، (۱۰) و (۱۱)، ابعاد المان خاک مستطیلی به ارتفاع ۳۰ متر، طول ۲۰ متر و عمق ۲ متر فرض شد. در پژوهش حاضر، مرکز تونل در عمق ۲۰ متری سطح زمین و تاج تونل در عمق ۱۵ متری سطح زمین فرض شده است. همچنین در این پژوهش ۳ متری سطح زمین فرض شده است. همچنین برای مدل سازی تونل انتقال ابی و نیم دایره و همچنین مستطیلی برای بتن الیافی و همچنین تأثیرگذاری شکل تونل بر دوام آن بررسی شود. دوره زمانی که مدل تحت بار حرارتی است به مدت ۳ ساعت می باشد. جهت شبیه سازی مصالح خاک در پژوهش حاضر از معیار Plasticity بهره جویی گردید. پارامترهای ورودی لازم جهت تحلیل المان های شبیه سازی شده با این مدل شامل پارامترهای چگالی، ضریب پواسون، چسبندگی، مدول الاستیسیته می باشد.



شکل (۹): تونل با مقطع مستطیلی



شکل (۱۰): تونل با مقطع مستطیلی

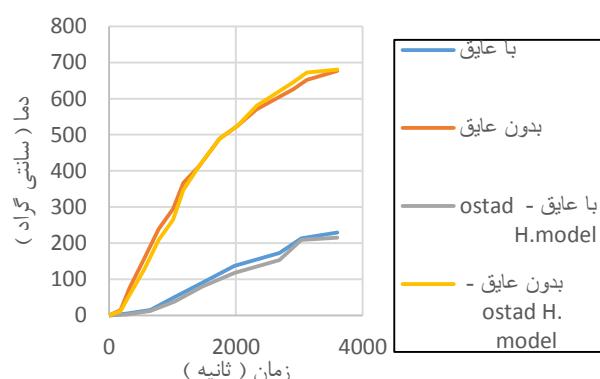
مطابق با شکل (۶) تا زمان ۱۲۰۰ ثانیه رفتار تیر تحت تأثیر نیروی بار گسترش ده و از آن به بعد به علت تغییر خصوصیات مصالح و افزایش سریع دما، رفتار تیر تحت تأثیر دما و آتش سوزی قرار می گیرد. همان‌طور که از نتایج بالا مشاهده می شود تیر بتن مسلح در نهایت در زمان یکسان شکسته شده است. مهم‌ترین عامل در مسائل آتش سوزی زمان شکست و فروپاشی سازه است.

۳- بررسی تأثیر استفاده از عایق در میزان درجه حرارت در تیر بتن مسلح

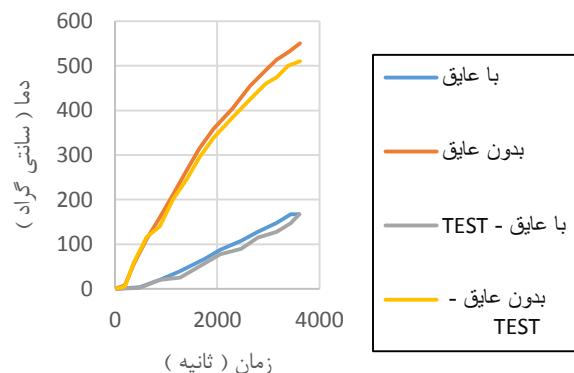
در این قسمت یک لایه از عایق پلیمری با خصوصیات مطابق با جدول (۱) و باضخامت ۵ سانتی‌متر استفاده شده است. مقایسه میزان درجه حرارت برای میلگردهای کناری پایینی در هنگام حضور عایق و در هنگام نبود عایق در شکل (۷) و مقایسه میزان درجه حرارت در هنگام عایق بندی و غیر عایق بندی برای میلگرد وسطی بدون عایق در شکل (۸) نشان داده شده است.

جدول (۱): خصوصیات حرارتی عایق [۴]

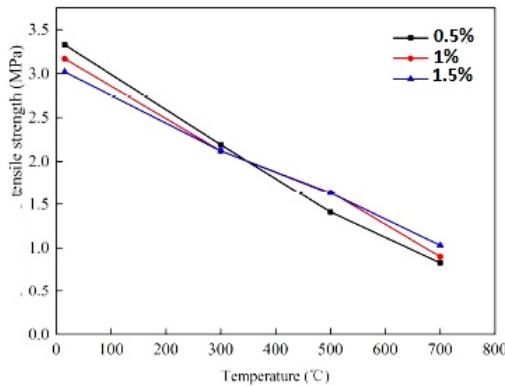
نوع پوشش	چگالی (kg/m^3)	ضریب هدایت حرارتی ($\text{W}/\text{m.K}$)	گرمای ویژه ($\text{J}/\text{kg.K}$)
بتن الیافی	۳۰۰	۰/۱	۱۰۵۰



شکل (۷): مقایسه میزان درجه حرارت برای میلگردهای وسطی

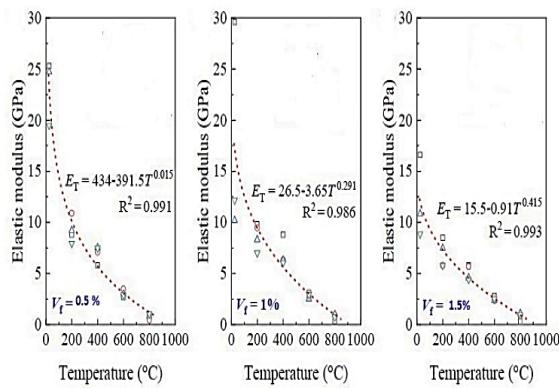


شکل (۸): مقایسه میزان درجه حرارت برای میلگردهای کناری پایینی



شکل (۱۳): منحنی مقاومت کششی بتن الیافی بر حسب دما [۳۲]

اثر دما بر ارتباط مدول الاستیسیته بتن بر اساس روابطی که توسط کنت و همکاران به دست آمده و همچنین در مقاله‌ای که توسط لیانگ لی و همکاران جمع‌آوری شده است در شکل (۱۴) نشان داده شده است.



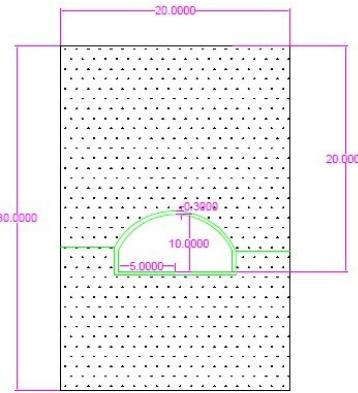
شکل (۱۴): نمودار مدول الاستیسیته بتن-دما [۳۱]

در جدول (۲) مقادیر پارامترهای مورد استفاده در مدل خسارت پلاستیک بتن آورده شده است.

جدول (۲): مقادیر پارامترهای مورد استفاده در مدل خسارت پلاستیک بتن [۳۱]

زاویه اتساعی	خروج از مرکزیت	f_{bo}/f_{co}	K	پارامتر ویسکوزیته
۳۰	۰/۱	۱/۱۶	۰/۶۷	۰/۰۰۱

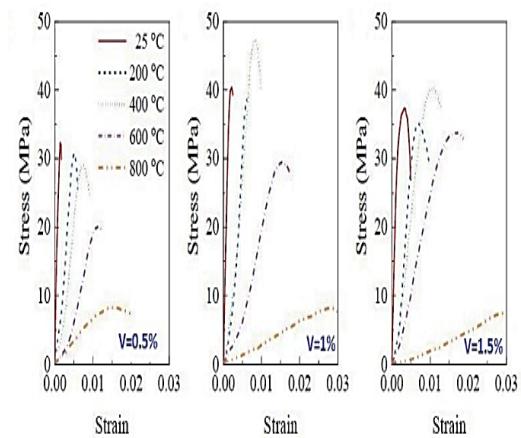
شکل (۱۵) که نمودار دما_زمان می‌باشد برگرفته از تحقیق استاد حسین و همکاران [۴] می‌باشد که به عنوان ورودی به نرم‌افزار جهت تأثیر بر المان‌ها اعمال می‌شود.



شکل (۱۱): توپل با مقطع مستطیلی

۴- مشخصات فیزیکی و مکانیکی بتن الیافی

مشخصات فیزیکی و مکانیکی بتن در تحلیل مکانیکی حرارتی باید به صورت تابعی از دما بیان گردد، از مراجع مختلف جمع‌آوری شده و به صورت نمودار یا روابط مربوطه در این بخش ارائه شده است. (۱۲) و (۱۳) می‌باشد که به صورت ورودی به نرم‌افزار داده شده است. در این اشکال مشخصات مصالح بتن الیافی ۱۰/۰/۵٪ در ۱/۵٪ پژوهش حاضر جهت شبیه‌سازی المان توپل بیان شده است. در شکل (۱۲) میزان مقاومت فشاری نمونه‌های بتن الیافی براساس مقادیر لیانگ لی و همکاران و بر حسب تغییرات دما می‌باشد.



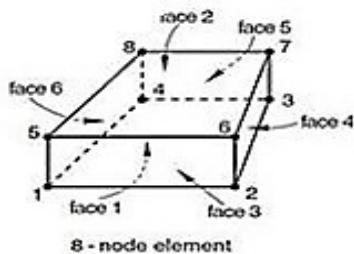
شکل (۱۲): منحنی تنش-کرنش بتن الیاف فولادی تحت فشار بر حسب دما [۳۱]

شکل (۱۳) میزان مقاومت کششی نمونه‌های بتن الیافی بر اساس مقادیر ژانگ و همکاران و بر حسب تغییرات دما می‌باشد.

شروع آتش‌سوزی درجه حرارت محیط برابر با ۲۰ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شده است.

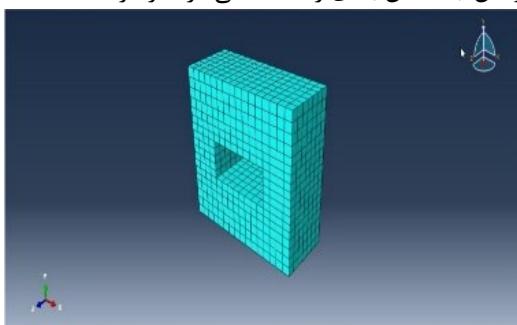
۱-۵- مش بندی

در این تحقیق نوع مش بندی به صورت ۸ گره‌ای در نظر گرفته شده است.

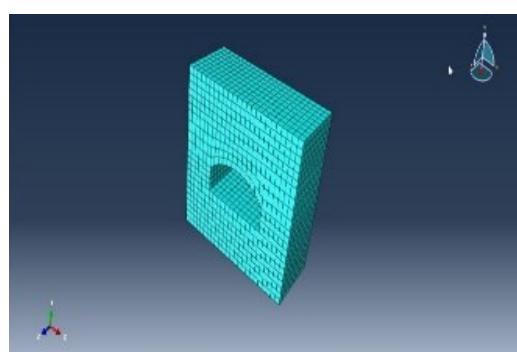


شکل (۱۶): المان سه بعدی ۸ گره‌ای

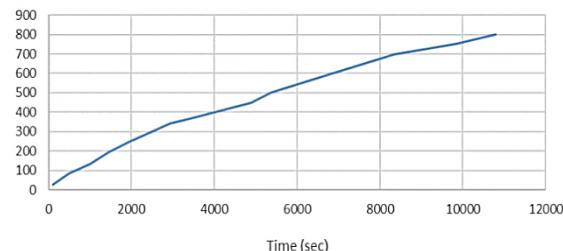
برای تعیین اندازه مش‌های نمونه ابتدا چند نمونه مش برای مدل تونل با مقطع نعل اسبی مورد ارزیابی قرار گرفته و این نتیجه حاصل شد که هر چه ابعاد مش بزرگ‌تر باشند خروجی‌های تحلیل دارای دقت کمتری بوده و نمونه در حالت بحرانی تری قرار خواهد گرفت و هرچه ابعاد مش ریزتر باشد تحلیل دقیق‌تر خواهد بود. این شرایط برای تونل با مقاطع مستطیلی و نیم‌دایره نیز صدق می‌کند. به همین منظور برای مقاطع نعل اسبی و مستطیلی و نیم دایره در این پژوهش ابعاد مش بندی را ۲۰ سانتی در نظر گرفته شده است.



شکل (۱۷): تونل با مقطع مستطیلی



شکل (۱۸): تونل با مقطع نعل اسبی



شکل (۱۵): نمودار زمان - دما جهت اعمال بار حرارتی [۴]

۲-۴- مشخصات ژئوتکنیک خاک اطراف تونل

در این تحقیق برای اعمال مشخصات خاک اطراف تونل از تحقیق عدل پرور و پارسا در خصوص تحلیل و طراحی تونل با پوشش بتن الیافی و مطالعه موردی بر روی تونل خط ۷ مترو استفاده شده است که این اطلاعات در جدول (۳) به نگارش درآمده است.

جدول (۳): مشخصات ژئوتکنیک خاک اطراف تونل [۱۳]

وزن محصول خشک (kg/m ³)	مدول الاستیستیک (Gpa)	نسبت پواسون	زاویه اصطکاک داخلی	چسبندگی (Kpa)
۱۷۰۰	۳۵	۰/۳۵	۲۸	۳۱

۳-۴- اشکال تونل مدل‌سازی

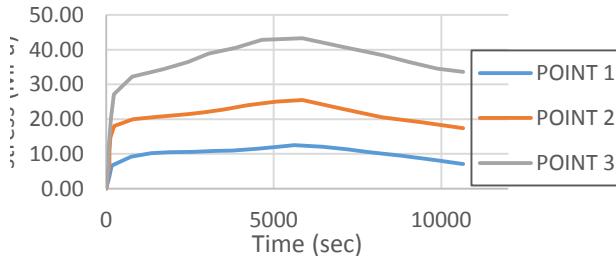
در این تحقیق به بررسی ۳ مقطع تونل با پوشش بتن الیافی برای ۱/۵، ۰/۵ و ۰/۰٪ حجمی الیاف فولادی و تأثیر آن به همراه حرارت بر مقاومت بتن الیافی پرداخته شده است. ابعاد تونل برگرفته از مقاله‌ای با موضوع تعیین ضریب رفتار پوشش بتنی سازه‌های زیرزمینی تحت بارگذاری انفجاری که توسط پیمان و همکاران [۲۶] به نگارش درآمده است، می‌باشد.

۳ مقطعی که در این پژوهش برای تونل‌ها در نظر گرفته شده است عبارت است از:

- تونل نیم‌دایره‌ای
- تونل مستطیلی
- تونل نعل اسبی

۵- تعریف بارگذاری

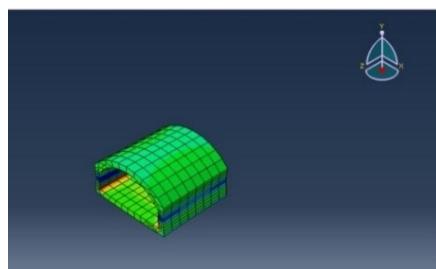
با توجه به امکان عبور و مرور ماشین‌آلات از کف تونل بار گسترده‌ای با شدت ۳۰۰ کیلوگرم بر مترمربع در قسمت داخلی تونل به کف مقطع وارد شده است. همچنین یک بار حرارتی بر اساس بار حرارت - زمان به بدنه داخلی نمونه تونل وارد می‌شود. این بار حرارتی از ۲۰ تا ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ ساعت بر اساس نمودار تاریخچه دما زمان وارد می‌شود. همچنین در هنگام



شکل (۲۱): نمودار تنش _ زمان

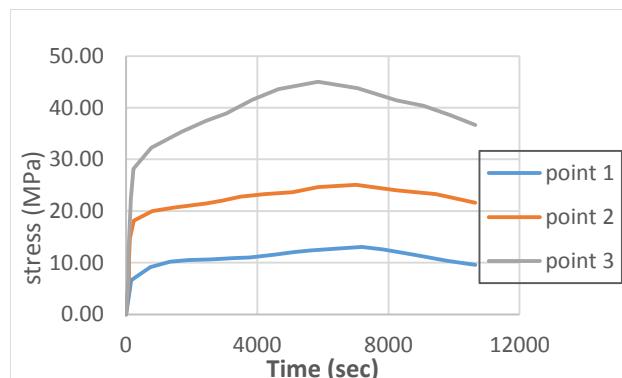
۲-۱-۶- تونل با مقطع نعل اسپی

در شکل (۲۲) نمایی از تونل با مقطع نیم دایره به نمایش درآمده که در آن ۳ نقطه در محل های محیط جانبی (دیواره‌ی تونل)، کف تونل و نقطه بحرانی (فوکانی) در نظر گرفته شده است تا تأثیر حرارت بر آن‌ها بررسی شود.

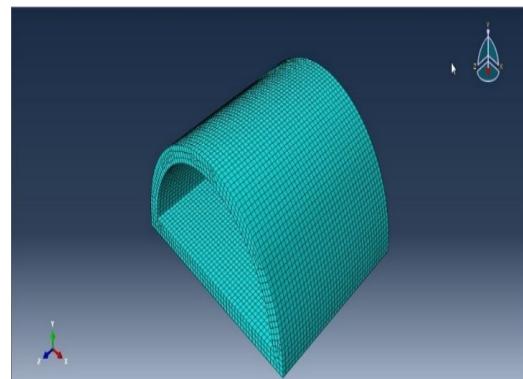


شکل (۲۲): تصویر شماتیک از تونل با مقطع نعل اسپی

در شکل (۲۳) تنش واردشده به ۳ نقطه فوقانی مقطع، دیواره مقطع و کف مقطع در دماهای مختلف نشان داده شده است. در تونل با شکل نعل اسپی و با پوشش بتن الیافی همان‌طور که مشاهده می‌شود باگذشت زمان و افزایش حرارت، تنش افزایش می‌یابد و در حالت بحرانی از زمان ثانیه‌ی ۷۰۰۰ به بعد این تنش در تمامی نقاط دچار یک توقف شده و به صورت خطی و نزولی می‌شود.



شکل (۲۳): نمودار تنش _ زمان



شکل (۲۴): تونل با مقطع نیم دایره

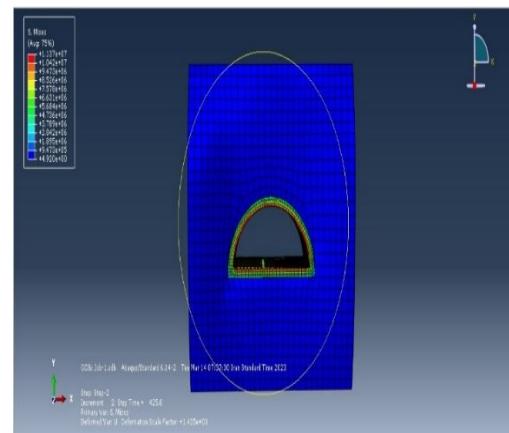
۶-آنالیز نتایج حاصل از خروجی نرم‌افزار

در ابتدا تونل با پوشش ۱/۵٪ حجمی الیاف فولادی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این مرحله ۳ تونل با مقاطع مختلف تحت بار حرارتی و نیروی استاتیکی قرار می‌گیرد.

۶-۱- تونل با مقاطع مختلف

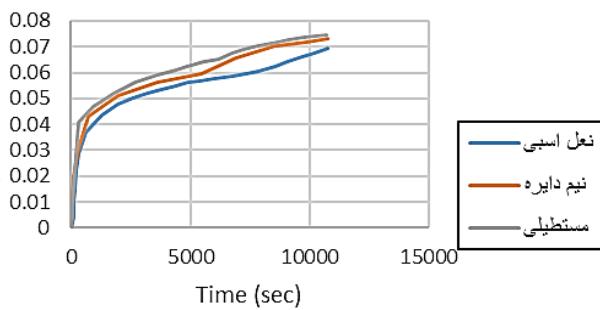
۶-۱-۱- تونل با مقطع نیم‌دایره‌ای

در شکل (۲۰) نمایی از تونل با مقطع نیم‌دایره به نمایش درآمده که در آن ۳ نقطه در محل های محیط جانبی (دیواره‌ی تونل)، کف تونل و نقطه بحرانی (فوکانی) در نظر گرفته شده است تا تأثیر حرارت بر آن‌ها بررسی شود.



شکل (۲۰): تصویر شماتیک از تونل نیم‌دایره

در شکل (۲۱) تنش واردشده به ۳ نقطه فوقانی مقطع، دیواره مقطع و کف مقطع در دماهای مختلف نشان داده شده است. در تونل با شکل نیم‌دایره و با پوشش بتن الیافی همان‌طور که مشاهده می‌شود. باگذشت زمان و افزایش حرارت، تنش افزایش می‌یابد. در حالت بحرانی از زمان تقریباً ثانیه‌ی ۶۰۰۰ یعنی بعد از ۱۰۰ دقیقه به بعد این تنش در تمامی نقاط دچار یک توقف شده و به صورت خطی می‌شود.



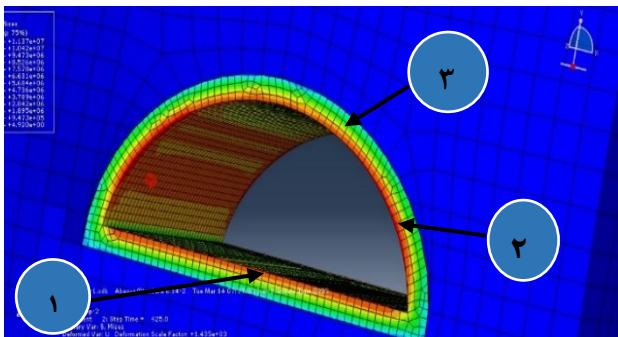
شکل (۲۶): جابه‌جایی – زمان

۶-۲-۱- تونل با درصد حجمی ۱ درصد

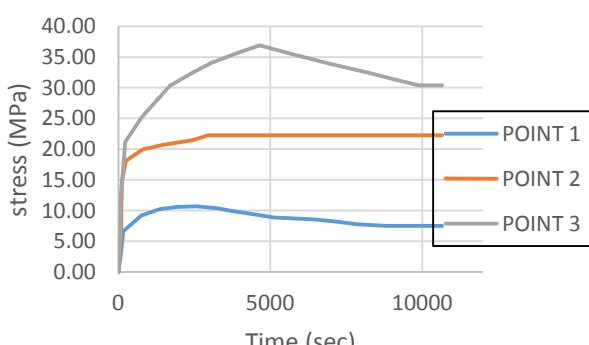
تونل با پوشش ۱ درصد حجمی الیاف فولادی مورد بررسی قرار می‌گیرد. ۳ تونل با مقاطع مختلف تحت بار حرارتی و نیروی استاتیکی قرار می‌گیرد.

۶-۲-۲- تونل با مقطع نیم‌دایره‌ای

در شکل (۲۷) تونل با شکل نیم‌دایره و با پوشش بتن الیافی و ۳ نقطه بر روی آن در دماهای مختلف نشان داده شده است. در شکل (۲۸) باگذشت زمان و افزایش حرارت، تنش افزایش می‌یابد و در حالت بحرانی از زمان تقریباً ثانیه‌ی ۵۰۰۰ یعنی بعد از ۸۰ دقیقه به بعد این تنش در تمامی نقاط دچار یک توقف شده و به صورت نزولی و سپس خطی می‌شود.



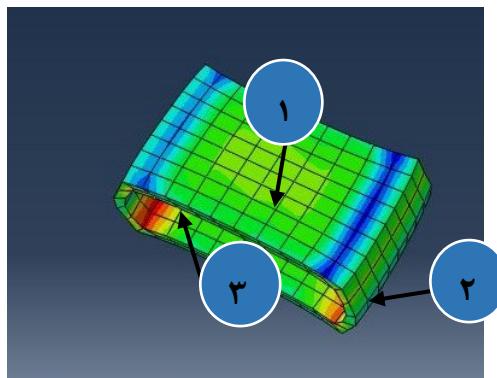
شکل (۲۷): تونل با مقطع نیم‌دایره



شکل (۲۸): نمودار تنش – زمان

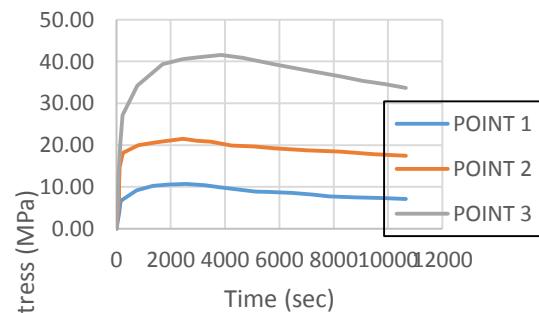
۶-۳-۱- تونل با مقطع مستطیلی

در شکل (۲۴) نمایی از تونل با مقطع نیم‌دایره به نمایش درآمده که در آن ۳ نقطه در محل‌های محیط جانبی (دیواره‌ی تونل)، کف تونل و نقطه بحرانی (فوکانی) در نظر گرفته شده است تا تأثیر حرارت بر آن‌ها بررسی شود.



شکل (۲۴): تصویر شماتیک از تونل با مقطع مستطیلی

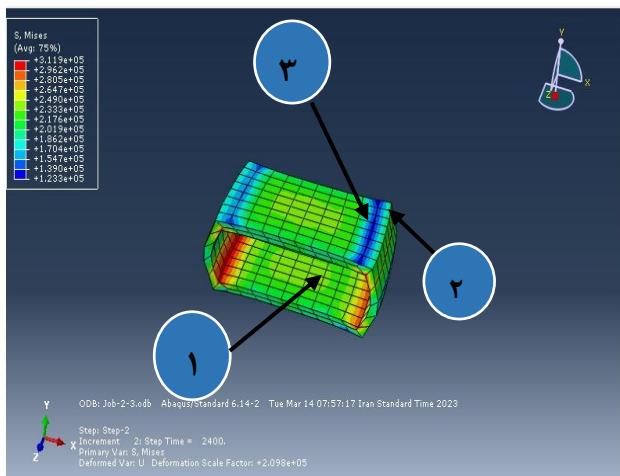
همان‌طور که در شکل (۲۵) نشان داده شده است در این نمودار تنش‌ها به ترتیب حالت بحرانی و سپس دیواره‌های تونل و درنهایت کف تونل و شرایط افزایشی و صعودی دارند و تا حدود ۶۵ دقیقه این شرایط به طول می‌انجامد اما پس از این زمان نمودار کاهشی و شرایط مقاومتی را بتزن تقریباً از دست می‌دهد.



شکل (۲۵): نمودار تنش بر حسب زمان

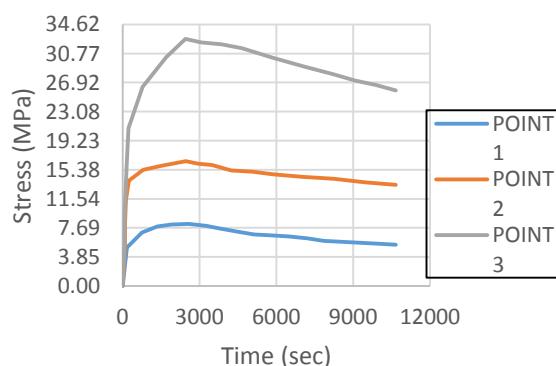
۶-۴-۱- مقایسه نمودارهای جابه‌جایی – زمان بین مقاطع مختلف تونل

در شکل (۲۶) برای تونل با پوشش بتن الیافی با ۳ شکل نعل اسپی، نیم‌دایره و مستطیلی با درصد حجمی ۱/۵٪ نمودار جابه‌جایی – زمان در نقطه فوکانی تونل‌ها نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل (۲۶) نشان داده شده است میزان تغییر شکل نقطه مаксیمم در حالت بحرانی در شکل مستطیلی بیشتر از شکل نیم‌دایره و شکل نیم‌دایره بیشتر از شکل نعل اسپی است و این تأثیر شکل بر مقاومت تونل با پوشش بتن الیافی را نشان می‌دهد.



شکل (۳۱): تصاویر شماتیک از مدل‌سازی تونل

در شکل (۳۲) نمودار تنش‌ها به ترتیب حالت بحرانی و سپس دیوارهای تونل و درنهایت کف تونل می‌باشد و تا حدود ۵۰ دقیقه شرایط به صورت صعودی به طول می‌انجامد اما پس از این زمان نمودار کاهشی و شرایط مقاومتی را بتن تقریباً از دست می‌دهد.



شکل (۳۲): نمودار تنش بر حسب زمان

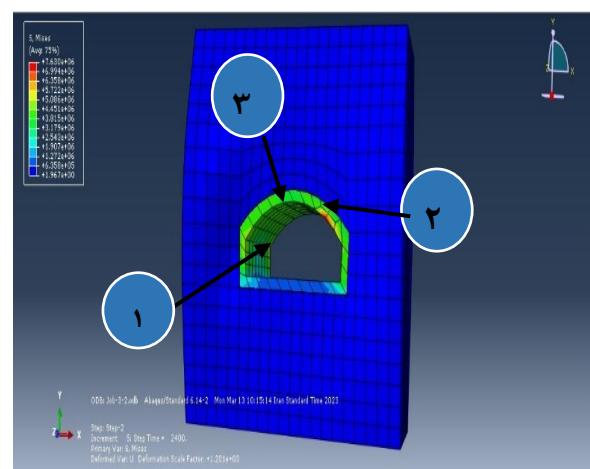
۶-۳-۶- تونل با درصد حجمی ۵/۰ درصد

تونل با پوشش ۵/۰ درصد حجمی الیاف فولادی موردنرسی قرار می‌گیرد. ۳ تونل با مقاطع مختلف تحت بار حرارتی و نیروی استاتیکی قرار می‌گیرد.

۶-۳-۶-۱- تونل با مقطع نیم‌دایره‌ای

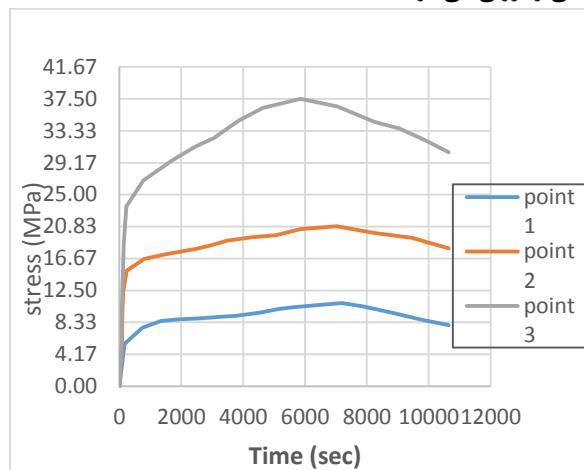
در شکل (۳۳) برای تونل با مقطع نیم‌دایره‌ای ۳ نقطه به ترتیب در محل‌های محیط جانی (دیواره‌ی تونل)، کف تونل و نقطه بحرانی (فوکانی) در نظر گرفته شده است تا تأثیر حرارت بر پارامترها بررسی شود.

۶-۲-۶- تونل نعل اسپی
در شکل (۲۹) تونل با شکل نیم‌دایره و با پوشش بتن الیافی و ۳ نقطه بر روی آن در دمای‌های مختلف نشان داده شده است.



شکل (۲۹): نقاط انتخابی تونل با مقطع نعل اسپی

در شکل (۳۰) تنش وارد شده به ۳ نقطه در دمای‌های مختلف نشان داده شده است. در تونل با شکل نعل اسپی و با پوشش بتن الیافی همان‌طور که مشاهده می‌شود با گذشت زمان و افزایش حرارت، تنش افزایش می‌یابد و در حالت بحرانی از زمان ثانیه‌ی ۵۵۰۰ به بعد این تنش در تمامی نقاط دچار یک توقف شده و به صورت خطی و نزولی می‌شود.

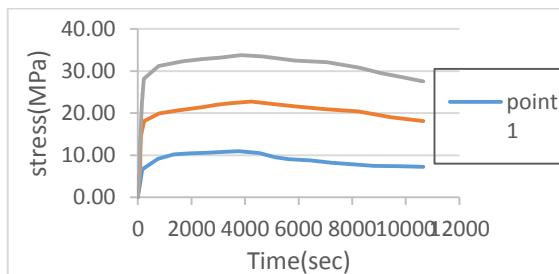


شکل (۳۰): نمودار تنش _ زمان

۶-۲-۶-۳- بررسی تونل با مقطع مستطیلی

در شکل (۳۱) تونل با شکل نیم‌دایره و با پوشش بتن الیافی و ۳ نقطه بر روی آن در دمای‌های مختلف نشان داده شده است.

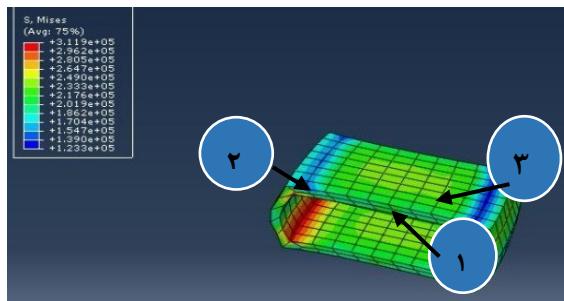
در شکل (۳۶) در تونل با شکل نعل اسپی و با پوشش بتن الیافی همان طور که مشاهده می شود باگذشت زمان و افزایش حرارت، تنفس افزایش می یابد و در حالت بحرانی از زمان ثانیه‌ی ۴۰۰۰ به بعد این تنفس در تمامی نقاط دچار یک توقف شده و به صورت خطی و نزولی می شود.



شکل (۳۶): نمودار تنفس _ زمان

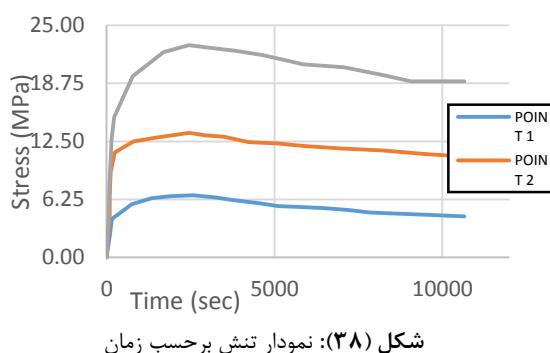
۶-۳-۳-۶- تونل با مقطع مستطیلی

در شکل (۳۷) برای تونل با مقطع نیم‌دایره‌ای ۳ نقطه به ترتیب در محل‌های محیط جانبی (دیواره‌ی تونل)، کف تونل و نقطه بحرانی (فوکانی) در نظر گرفته شده است تا تأثیر حرارت بر پارامترها بررسی شود.

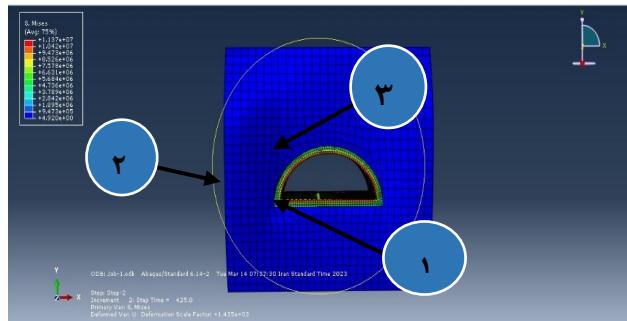


شکل (۳۷): تصاویر نقاط تونل با مقطع مستطیلی

در شکل (۳۸) نمودار تنفس‌ها به ترتیب حالت بحرانی و سپس دیواره‌های تونل و درنهایت کف تونل شرایط افزایشی و صعودی دارند و تا حدود ۴۵ دقیقه این شرایط به طول می‌انجامد اما پس از این زمان نمودار کاهشی می شود.

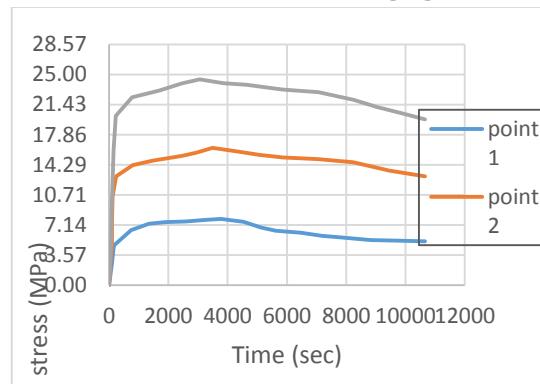


شکل (۳۸): نمودار تنفس برحسب زمان



شکل (۳۹): تصاویر شماتیک از مدل سازی تونل

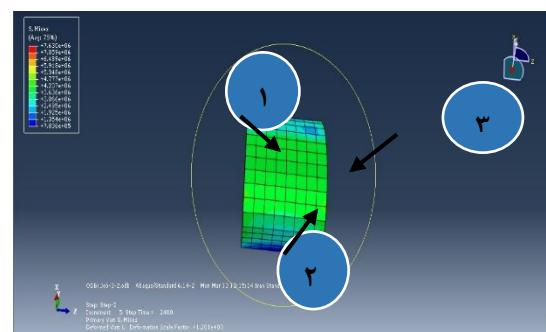
در شکل (۳۹) تنفس وارد شده به ۳ نقطه در دمای‌های مختلف نشان داده شده است. در تونل با شکل نیم‌دایره و با پوشش بتن الیافی همان‌طور که مشاهده می شود باگذشت زمان و افزایش حرارت، تنفس افزایش می یابد و در حالت بحرانی از زمان تقریباً ۳۵۰۰ یعنی بعد از ۵۵ دقیقه به بعد این تنفس به صورت نزولی و سپس خطی می شود.



شکل (۴۰): نمودار تنفس _ زمان

۶-۳-۶- تونل با مقطع نعل اسپی

در شکل (۴۱) برای تونل با مقطع نیم‌دایره‌ای ۳ نقطه به ترتیب در محل‌های محیط جانبی (دیواره‌ی تونل)، کف تونل و نقطه بحرانی (فوکانی) در نظر گرفته شده است تا تأثیر حرارت بر پارامترها بررسی شود.



شکل (۴۱): تصاویر شماتیک از مدل سازی تونل

- [3] Tao, Fei, "Effect of temperature on deep lined circular tunnels in isotropic and transversely anisotropic elastic ground" 2016.
- [4] V.Jafari Deligani, H.Ustadhossein, and A. Baghbani, 'the effect of fire on the reduction of strength and collapse time of reinforced concrete beams,' 12th National Engineering Congress Imran, Tabriz, 2019.
- [5] M. Farzam and I. Ansari, "Examining the effects of fire on the behavior of subway tunnel segments," International conference on civil engineering, architecture and urban planning of contemporary Iran, 2016. In Persian.
- [6] Zhi-guo Yan , He-hua Zhu , J. Woody Ju "Behavior of reinforced concrete and steel fiber reinforced concrete shield TBM tunnel linings exposed to high temperatures", 2012
- [7] F. Pesavento, M. Pachera, B. A. Schrefler, "Coupled numerical simulation of fire in Tunnel", 2018.
- [8] Marcos Martinez, Nathaniel Huygen, John Sanders, Sez Atamturktur, "Thermo-fluid dynamic analysis of concrete masonry units via experimental testing and numerical modeling", Journal of Building Engineering 19 (2018) 80–90.
- [9] Kim, Jang-Ho Jay. Lim, Yun Mook. Won, Jong Pil. Park, Hae Geun. Fire resistant behavior of newly developed bottom-ash-based cementitious coating applied concrete tunnel lining under RABT fire loading. Construction and Building Materials, Journal of science direct, (2010).
- [10] F. Kigha, J. A. Sadeeq, O. S. Abejide, "Effects of Temperature and Concrete Cover Thickness on Residual Strength Characteristics of Fire Exposed Reinforced Concrete Beams," Nigerian Journal of Technology (NIJOTECH), vol. 34, no. 3, pp. 429 – 437, July 2015,
- [11] S. Hajjati, M. S. Miraalemi, and H. Alizadeh Najd, "experimental and numerical investigation of the behavior of fiber concrete parts used in tunnels," 2019. In Persian.
- [12] A. Ghorbani, "Laboratory and analytical investigation of the effect of steel fibers on the mechanical properties and efficiency of fiber self-compacting concretes," 2021. In Persian.
- [13] M. R. Adel Parvar and M. H. Tagvi Parsa, "Analysis and Design of Tunnel Covered with Fiber Reinforced Concrete Composite Parts- Line7Tunnel of Tehran Metro," Transportation infrastructure engineering, 6th year, 2019. In Persian.
- [14] M. R. Kafash Bazari, and S. Behrosh, and S. M. Adham Hashemi, "Evaluation of resistance of steel industrial buildings exposed to fire," 2021. In Persian.
- [15] F. Shamsizadeh, and A. Abu, "Hope of fire modeling in tunnels, 2nd Iran Combustion Conference," Mashhad, 2006, In Persian.
- [16] F. Omid Nasab and M. Afrouznia, "Numerical investigation of the behavior of weak one-way slabs strengthened using reinforced fiber reinforced concrete sheets under blast load," 2019. In Persian

۷ - نتیجه‌گیری

در این تحقیق رفتار مقاومت بتن سگمنت های تونل بتن الیافی در برابر آتش با شکل های نعل اسپی، نیم دایره و مستطیلی موردنبررسی گرفته است و مدل سازی به وسیله روش اجزا محدود با استفاده از نرم افزار ABAQUS انجام شده است و مقایسه را در قالب نمودارهای تنش- زمان، نشان می دهد. در این تحقیق از مشخصات پوشش بتن الیاف فولادی با درصد حجمی ۱/۵٪ استفاده شده است. همچنین در مدل سازی از ویژگی های الیاف فولادی با درصد حجمی ۱ و ۰/۵٪ هم جهت مقایسه با نمونه ۱/۵٪ استفاده شده است و شرایط تأثیر بار حرارت و میزان درصد حجمی الیاف فولادی بر دوام بتن موردنبررسی قرار گرفته است.

طبق نتایج حاصل از نمودارهای شکل های ۲۱-۳۸ هرچه میزان الیاف فولاد در بتن افزایش می یابد مقاومت و دوام بتن در برابر حرارت افزایش می یابد و این نشان از تأثیر مستقیم میزان درصد حجمی فولاد در بتن است.

۱- شکل مقطع بتن کاملاً در مقاومت آن تأثیرگذار می باشد. بهترین نوع شکل مقطع تونل با شکل نعل اسپی می باشد.

۲- در این پژوهش طبق بررسی نمودارها و بر اساس خروجی نمودار شکل (۱۶) با سایر نمودارها این نتیجه‌گیری حاصل شد که بتن با مقطع نعل اسپی و با پوشش ۱/۵ درصد حجمی فولاد بیشترین مقاومت را دارد.

۳- نتایج تحلیل نشان می دهد همان طور که پیش‌بینی می شد ضریب انبساط حرارتی بتن الیافی با توجه به ساختار بسیار متراکم آن بیش از بتن معمولی می باشد. بزرگ تر بودن ضریب انبساط حرارتی در بتن الیاف فولادی با ۱/۵ درصد الیاف نسبت به بتن با ۰/۵ درصد الیاف و درصد الیاف نکته حائز اهمیت می باشد و به نظر می رسد این اختلاف ناشی از تأثیر میزان فولاد مصرفی (الیاف) در بتن می باشد. به عبارت دیگر بیشتر بودن میزان الیاف در بتن باعث افزایش ضریب انبساط حرارتی بتن شده است.

۸ - مراجع

- [1] ACI 544. 7R-16, "Report on design and construction of fiber-reinforced precast concrete tunnel segments," American Concrete Institute, 2016.
- [2] G. M. Chen, Y. H. He, H. Yang, J. F. Chen, and Y. C. Guo, "Compressive behavior of steel fiber reinforced recycled aggregate concrete after exposure to elevated temperatures," Construction and Building Materials, vol. 71, pp. 1-15, 30 November 2014..

- [24] M. Naderi and S. Esmalizadeh, "numerical modeling of concrete beams reinforced with CFRP in high temperature conditions," 2018. In Persian
- [25] S. Rahimian and R. Murshid, "Investigation of the effect of thermal loading on the shell of cooling towers", Amirkabir Civil Engineering Journal, (2018), In Persian.
- [26] S. Peyman, M. H. Taqvi Parsa, A. Babaei, and A. Akbari, "Determining the behavior coefficient of concrete cover of underground structures under explosive loading," Amirkabir Civil Engineering Journal, vol. 52, no. 10, pp. 2515 - 2825, 2019, In Persian.
- [27] D. C. Kent and R. Park, "Flexural members with confined concrete," ASCE, Journal of the structural Division,
- [28] H. A. Bassuni Othmna, "Performance of Ultra-High Performance Fiber Reinforced Concrete Plates under Impac Loads," Ph.D. Thesis, Ryerson University, Toronto, Canada1971, (2016).
- [29] Long T. Phan, Therese P. McAlliste, John L. Gross, Morgan J. Hurley, "NIST Technical Note 1681," Best Practice Guidelines for Structural Fire Resistance Design of Concrete and Steel Buildings, 2010.
- [30] M. R. Javadizad, "Evaluation of the performance of steel bending frame against fire", Kashan University, 2015, In Persian.
- [31] Liang Li, Renbo Zhang, Liu Jin, Xiuli Du, Jun Wu, Wenhui Duan,"Experimental study on dynamic compressive behavior of steel fiber reinforced concrete at elevated temperatures," Construction and Building Materials, Volume 210,2019, Pages 673-684,
- [32] Zhang, Luoyi Kang, Juan Wang, Jinjun Guo, Shaowei Hu, and Yifeng Ling," Mechanical Properties and Explosive Spalling Behavior of Steel Fiber Reinforced Concrete Exposed to High Temperature Peng,"
- [33] S. Peyman, M. H. Taghavi Parsa. "Passive Defense Quarterly", 8, 1, 1-12, 2017.
- [17] M. Bandar and A. H. Javadi, and A. Taherian, "Reinforcement of concrete beams using FRP composite fibers," 11th National Conference on Urban Planning, Architecture, Construction and Environment, Shirvan, 2019, In Persian.
- [18] M. Naderi and S. Esmalizadeh, "Ultimate strength of concrete beams reinforced with CFRP under high temperature and freezing conditions," Amirkabir Civil Engineering Journal, 48 (1), pp. 39-52, 2015. In Persian.
- [19] D. Kachlakev, T. Miller, S. Yim, K. Chansawat, and T. Potisuk, "Finite element modeling of reinforced concrete structures strengthened with FRP laminates", Final Report SPR 316, Oregon Department of Transportation & Federal Highway Administration, USA, 2001.
- [20] M. Curbach and F. Jeese, "High-performance Textile-reinforced Concrete," Struct. Eng. Int. 9, 91–289, Reinhardt, W.; Krüger M.; H, GroBe C.; U. (2003). Concrete Restressed with Textile Fabric. Adv. Conc. Technol.1, 9–231.
- [21] A. Hemmati, A. Kheyroddin, and M. K. Sharbatdar, Using HPFRCC for Increasing the Capacity of a R.C. Frame. Sci. J. Manag. Syst. 29–2(3), pp. 97–106, 2013. In Persian
- [22] L. Lim, A. H. Buchanan, P. J. Moss, and J-M. Franssen, "Computer Modeling of Restrained Reinforced Concrete Slabs in Fire Conditions," ASCE Journal of Structural Engineering 130:12 (December 2004) 1964-1971, 2004.
- [23] Ling Zhi Li, Chang Jiu Jiang, Bo Zhou Liu, Zhou Dao Lu, "Shear strengthening of fire-damaged reinforced concrete beams using bolted-side plating," 6th International Workshop on Performance, Protection & Strengthening of Structures under Extreme Loading, Guangzhou (Canton), China. Procedia Engineering 210 (2017) 186–195.

Investigation and Analysis of Fiber Concrete Lining of Tunnel Opening Under the Effect of Thermal Load

A. M. Charaghkhani, S. Peyman*, M. H. Tagvi Parsa

Abstract

Examining the thermal behavior of concrete lining of tunnels against thermal loads is of special practical importance. The purpose of this research is to investigate the behavior of fiber concrete lining tunnels with rectangular, semicircular and horseshoe sections under the effect of thermal load in a specific time history. In this regard, numerical simulations have been carried out using Abaqus finite element software. Stress-time and deformation-time graphs in fiber concrete coating under the effect of thermal loads have been investigated. Fiber concrete in this research, which is considered as cover in tunnel sections, is of steel fiber concrete type with a volume percentage of 0.5 to 1.5. Also, in addition to the common design loads, the sections are subjected to thermal loading conditions. According to the obtained results, the strength of the investigated sections depends on the amount of steel fibers in the concrete in addition to the appearance. Investigations show that the cross-section with horseshoe shape has the best performance against thermal load and the increase of fibers up to 1.5 volume percent of concrete compared to tunnel linings with a lower volume percentage of fibers leads to stability in a longer period of time.

Key Words: *Tunnel, Fiber Concrete Lining, Finite Elements, Nonlinear Analysis, Thermal Load*

*Assistant Professor, Faculty of Passive Defense, Imam Hossein Comprehensive University, Tehran, Iran (speyman@ihu.ac.ir)
Writer-in-Charge