

مجله علمی - پژوهشی  
مهندسی عمران مدرس  
دوره نوزدهم، شماره ۵، سال ۱۳۹۸

## بررسی رفتار قطعات بتنی غیرمسلح در برابر حریق

احسان دهقانی<sup>۱\*</sup>، و حیدرضا افخمی<sup>۲</sup>

۱- استادیار و عضو هیئت علمی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم

۲- دانشجوی دکتری مهندسی سازه، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم

\*dehghani@qom.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۸/۳/۱۶ تاریخ پذیرش: ۹۸/۷/۳۰

### چکیده

بن یکی از مصالح پرکاربرد در صنایع امروزی می‌باشد که نیاز است رفتار آن در برابر پدیده‌های محیطی و از جمله حریق مورد بررسی قرار گیرد. هنگامی که قطعه‌ی بتنی تحت افزایش دمای ناشی از حریق قرار می‌گیرد، فشار‌حفره‌ای در آن تشکیل شده و این حرارت منجر به ایجاد تنش‌هایی در بتن می‌گردد که با افزایش این تنش‌ها، لایه‌ای از سطح بتن کنده می‌شود و تورق صورت می‌گیرد. در تحقیق پیش‌رو با ارائه‌ی یک مدل تحلیلی برنامه‌ی نرم‌افزار آباقوس، به بررسی رفتار قطعات بتنی در برابر حریق پرداخته می‌شود. در مدل مذکور پس از تحلیل حرارتی اولیه، با ورود نفوذپذیری و دیگر مشخصه‌های بتن و نیز با الحاق سابروتین‌های مدنظر در تحلیل 'Soils' از آباقوس، میزان فشار‌حفره‌ای و تورق در بتن مشخص می‌گردد. نتایج گویای این مهم است که اعمال حریق هیدروکربنی نسبت به حریق استاندارد، می‌تواند بیش از دو برابر حداقل فشار‌حفره‌ای بتن را افزایش دهد و روند تورق در بتن را تسریع کند و نیز با افزایش ده برابری نفوذپذیری بتن (از  $5 \times 10^{-17} \text{ m}^2$  به  $5 \times 10^{-16} \text{ m}^2$ )، میزان حداقل فشار‌حفره‌ای بتن حین حریق استاندارد، به نزدیک یکدهم تقلیل یافته که این تغییر می‌تواند منجر به جلوگیری از پدیده‌ی تورق در قطعه‌ی بتنی گردد.

**واژگان کلیدی:** قطعه‌ی بتنی، حریق، فشار‌حفره‌ای، تورق، نفوذپذیری.

### ۱- مقدمه

تمامین ایمنی سازه‌های مهندسی وظیفه‌ای است که علاوه بر اذهان مهندسین، توجه سازمان‌ها و نهادهای دولتی را نیز به خود مشغول کرده است. عوامل غیرمتربقه‌ی محیطی بسیاری هستند که می‌توانند با تاثیراتی که بر اینگونه سازه‌ها دارند، امنیت جانی و مالی افراد را به خطر بیندازند. یکی از این عوامل مخرب،

استفاده از نتایج این آزمایش‌ها در سازه‌های بتی محافظت‌کارانه نبوده و خطاها بزرگی در پیش‌بینی رفتاری این‌گونه سازه‌ها در برابر حریق بوجود آورده است [8].

در سالیان اخیر، برخی تحقیقات بر روی موضوع حریق در اجزای بتی صورت گرفته است [9-10]. متساو و همکاران [9] به رفتار در برابر افزایش دمای قطعات بتی ساخته شده از سنگدانه‌های کوارتزی و دولومیتی پرداختند. نتایج گویای این مطلب است که تغییر مشخصه‌های فیزیکی و نوع ترک‌های ایجاد شده در اثر افزایش دما در این قطعات، متأثر از نوع سنگدانه‌های مصرفی بوده است. کدور و همکاران [10] به بررسی عواملی مثل رسانایی دمایی، گرمای ویژه، ضربه انبساط حرارتی و افت وزنی در ستون‌های ساخته شده از بتن‌های پرمقاومت و معمولی به همراه پدیده‌ی تورق و گسترش ترک در این ستون‌های بتی پرداختند. نتایج گویای ضعف بیشتر ستون‌های ساخته شده از بتن‌های پرمقاومت نسبت به نوع بتن معمولی در برابر حریق و افزایش دما بوده است. فان [11] عوامل موثر بر ایجاد و توسعه‌ی فشار‌حرفره‌ای تحت اثر حرارت ناشی از حریق را مورد بررسی قرار داده است. عواملی مثل نسبت آب به سیمان، شرایط نگهداری، نرخ حرارت‌دهی و افزودن فیبر پلی‌پروپیلن مبنای بررسی قرار گرفته است. نتایج گویای این مطلب است که اضافه کردن فیبر پلی‌پروپیلن اثر قابل توجهی در کاهش خطر پذیری تورق در بتن‌های پرمقاومت خواهد داشت.

از تحقیقات جدیدتر می‌توان به بررسی چوئی و همکاران [12] اشاره کرد که در آن اثر نرخ حرارت‌دهی بر انواع قطعات بتی پرمقاومت با مقاومت فشاری مختلف مورد آزمایش قرار گرفته است. نتایج گویای وابستگی شدید انتقال بخار‌آب، توسعه‌ی فشار‌حرفره‌ای و در نهایت تورق در قطعات بتی به نسبت آب به سیمان در مخلوط بتی دردهای بالا می‌باشد. کائنانو و همکاران [13] به بررسی اثر دماهای بالای ناشی از حریق بر رفتار فیزیکی و شیمیایی بتن با فیبر‌های فولادی پرداخته‌اند. در این تحقیق آزمایشگاهی اثرات میزان این فیبرها بر مقاومت فشاری و برخی دیگر از مشخصه‌های ریزساختاری قطعات بتی حین حریق، مورد بررسی قرار گرفته است. آسیف

آتش‌سوزی است، که در کنار عواملی دیگر مثل زلزله و یا باد، می‌تواند این‌منی سازه‌ها را به مخاطره بگذارد. برخلاف عوامل لرزه‌ای در سازه‌ها، موضوع حریق یا آتش‌سوزی به عنوان عامل مهمی که در طول عمر مفید سازه امکان رخداد آن وجود دارد، تا حد زیادی مورد چشم‌پوشی طراحان در سطح دنیا و به طور خاص در کشور ما قرار گرفته است.

بتن یکی از مصالح پر مصرف در صنعت ساختمانی بوده است که مواد تشکیل دهنده‌ی آن به آسانی در طبیعت یافت می‌شود و این مسئله استفاده از این ماده‌ی مرکب را افزایش داده است. خصوصاً با روشها و افزودنی‌هایی که امروزه در جهت بهبود عملکرد قطعات بتی ارائه شده است [1-3]. روند بکارگیری این ماده در صنایع مختلف بیشتر شده است. با این حال موضوع شناخت رفتاری بتن به علت اندرکنش رفتاری مواد تشکیل دهنده‌ی آن از موضوعات مورد اهمیت بوده و نیاز است که رفتار قطعات بتی در برابر حریق و افزایش دما مورد بررسی قرار گیرند. علاوه بر این واقعی مثلاً حادثه‌ی ۱۱ سپتامبر ۲۰۰۱ میلادی و موج حملات تروریستی، جنگ و بروز آتش‌سوزی‌های ناشی از آن، توجه به بررسی عملکرد رفتاری سازه‌های بتی در برابر حریق را افزایش داده است [4]. در حین حریق، اجزای بتن در معرض بالاترین دماها قرار می‌گیرند که حرارت ناشی از آن، اثرات مستقیم و غیر مستقیم، مثل افت مقاومت و سختی بتن و میلگردها (با افزایش تنش‌های درونی ناشی از حرارت و تغییر شکل‌های حین حریق و پس از آن)، بر این اجزا خواهد داشت [5].

برخی از تحقیقات صورت گرفته بر روی رفتار قطعات بتی در برابر حریق که تا گسیختگی جز بتی پیش رفتند [6]، بیانگر غیرقابل اعتماد بودن توصیه‌های آئین‌نامه‌های طراحی در برابر آتش‌سوزی بوده است. علت این امر را می‌توان در استناد این آئین‌نامه‌ها بر یکسری آزمایش‌های غیرواقعي و قدیمی بر روی قطعات بتی مجرزا جستجو کرد [7]. در این تحقیقات عموماً هیچ‌گونه آزمایشی روی قطعات بتی با اندازه واقعی آنجام نشده است و در بسیاری مواقع، عواملی که در واقعیت بر رفتار در برابر حریق اجزای بتی، موثر است، در مدل آزمایشگاهی لحاظ نشده است. علاوه براین، در بسیاری موارد،

می‌سازد.

## ۲- تورق در بتن در اثر حریق

پدیده‌ی حریق یکی از موضوعاتی است که می‌تواند اثرات مستقیم و غیرمستقیم بر اجزای بتنی سازه‌ها وارد کرده و اینمی آن‌ها را به مخاطره اندازد. در حین حریق و در معرض بالاترین دماها با ایجاد گرادیان دمایی در قطعه‌ی بتنی، برخی تنش‌ها در قطعه ایجاد می‌گردد که به نوبه‌ی خود تغییر شکل‌هایی در قطعه ایجاد می‌کند. علاوه بر این با افزایش دما می‌توان انتظار پدیده‌ای در ابتدای حریق و هنگامی که دمای حریق کمتر از ۱۰۰ درجه‌ی سانتیگراد هست، تغییرات فیزیکی و شیمیابی در ساختار بتن رخ می‌دهد اما به محض رسیدن دمای بتن به دمای ۱۰۰ درجه‌ی سانتیگراد، یکسری واکنش‌ها در ساختار بتن رخ خواهد داد که منجر به بروز تورق در بتن خواهد شد. در این دما، آب موجود در حفرات بتن مستعد تبخیر خواهد بود که این فرآیند با عبور دمای بتن از ۱۰۰ درجه‌ی سانتیگراد، تشدید شده و آب بیشتری از حفرات تبدیل به بخارآب می‌شود. در ادامه‌ی این فرآیند با افزایش حرارت قطعه‌ی بتنی، قسمتی از بخارآب ایجاد شده به سمت لایه‌های داخلی سردتر بتن رهسپار شده و فضای حفرات را اشغال می‌کند و حالت اشباعی از این لایه‌ها ایجاد می‌کند طوری که فضای آن قسمت از بتن دیگر پذیرای هجوم بیشتر بخارآب نبوده و یک سد در مقابل حرکت آن‌ها ایجاد خواهد شد [18]. در پشت این لایه، فشار‌حفره‌ای شکل گرفته و به تدریج با هجوم بخارآب و افزایش حرارت، تشدید خواهد شد تا جایی که میزان تنش‌های کششی ناشی از این تحریک فراتر از مقاومت کششی بتن شده و منجر به جدا شدن لایه‌ای از بتن گردد که این پدیده به نام تورق شناخته می‌شود که با کاهش ضخامت قطعه‌ی بتنی باربری آن را کاهش خواهد داد [19]. شکل (۱) مراحل فرآیند منجر به تورق در قطعه‌ی بتنی را به نمایش می‌گذارد.

شکل ۱. فرآیند پوسته‌پوسته شدن [20]

شاه و همکاران [14] با بررسی اثر حریق بر ۸ نوع ستون بتنی مختلف، مشخصه‌هایی مثل مقاومت و محصور شدگی را مورد بررسی قرار داده و تأکید کرده‌اند که محصور شدگی عامل مهمی در بهبود عملکرد در برابر حریق اجزای بتنی خواهد بود. خالیق و همکاران [15] به بررسی رفتاری بتن با مقاومت بالا با نوع سنجگانه‌ی طبیعی و بازیافت شده در برابر افزایش دما پرداخته‌اند. در این بررسی آزمایشگاهی مشخص گردید که افت مقاومت کششی و فشاری بتن با مقاومت بالا با سنجگانه‌های باز یافته در برابر نوع طبیعی آن کمتر بوده و در این نوع بتن، تحت اثر افزایش دما، تغییر رنگ و ترک‌های کمتری در مقایسه با نوع دارای سنجگانه‌های طبیعی مشاهده می‌شود. موهدعلی و همکاران [16] عملکرد قطعات بتنی دارای افزودنی‌های ژئولیمیری را مورد ارزیابی قرار داده و حد معینی از این افزودنی‌هایی برای جلوگیری از پدیده‌ی تورق در برابر حریق هیدرولکربنی را پیشنهاد کرده‌اند. علی و همکاران [17] اثر افزودنی‌هایی مثل شیشه‌های ضایعاتی و نانوسیلیکات‌ها در اجزای بتنی را مورد بررسی قرار داده و با بررسی مشخصه‌های مقاومتی و فیزیکی قطعات بتنی ساخته شده از این نوع از بتن پس از حریق اعمالی، نظر به بهبود عملکرد قطعات بتنی دارای افزودنی شیشه‌ای داشته‌اند.

عموماً در بررسی رفتار قطعات بتنی در برابر حریق کمتر از روش‌های عددی و تحلیلی استفاده شده است و بیشتر به ارائه مطالعات آزمایشگاهی روی آورده شده است. در تحقیق پیش‌رو به بررسی عددی رفتار قطعات بتنی در برابر حریق و افزایش دمای ناشی از آن پرداخته می‌شود. جهت پیش‌بینی رفتار در برابر حریق اجزای بتنی، یک مدل تحلیلی مبتنی بر نرم‌افزار آباکوس ارائه شده است که این مدل قادر به تحلیل حرارتی این اجزای بتنی بوده و همزمان اندرکنشهای فازهای مختلف مواد موجود در بتن را در نظر می‌گیرد. نتایج این تحقیق شامل نحوه توزیع و انتقال حرارت در مقاطع بتنی، روند توسعه‌ی فشار‌حفره‌ای و تورق در قطعات بتنی می‌باشد که با به چالش کشیدن نگرش اولیه نسبت به مقاومت مناسب قطعات بتنی در برابر آتش و بررسی پارامترهای مختلف در مقاومت حریق بتن، راه را در شناخت پیشتر رفتار اجزای بتنی حین حریق هموارتر

منحنی های حریق سلولزی در ساختمان ها بوده، منحنی حریق *HydroCarbon* که مرتبط به آتش سوزی ناشی از فرآورده های نفتی در سازه ها می باشد و در آخر منحنی حریق *Rabt* که از منحنی های حریق شناخته شده در تونل ها می باشد، در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است. منحنی های حریق مورد اشاره به عنوان یک بار حرارتی دینامیکی بر سطح زیرین قطعه وارد می شود، در حالی که دیگر نقاط قطعه بتنی در وضعیت اولیه دمایی محیط (۲۵ درجه سانتیگراد) قرار دارند.

شکل ۲. انواع منحنی های حریق [21]

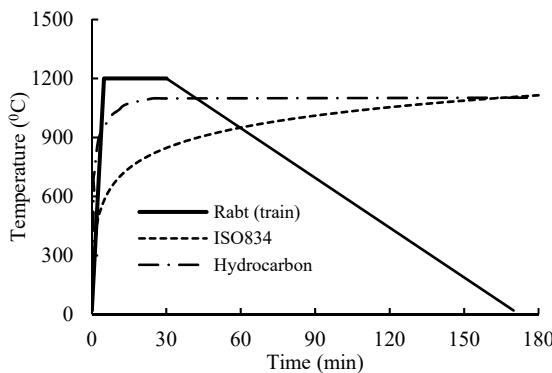


Fig. 2. Types of fire curves [21]

یکی از نرم افزار های که بوسیله ای آن تحلیل های حرارتی صورت می گیرد، نرم افزار آباکوس [22] بوده که به عنوان یکی از مشهور ترین نرم افزار های مهندسی مکانیک شناخته می شود. در این تحقیق با استفاده از این نرم افزار، موضوع حریق در اجزای بتنی تحت بررسی قرار گرفته است. مدل سازی حریق در این نرم افزار شامل دو مرحله مجزا بوده است که در قسمت اول تحلیل انتقال حرارت صورت گرفته و در ادامه انتقال حرارت سیال در قطعه بتنی مورد بررسی قرار می گیرد.

مدل انتقال حرارت ایجاد شده برای قطعه بتنی برمبنای یک جسم صلب و همگن بوده که با توجه به مشخصات مادی قطعه، روند تحلیل انجام می گیرد. همانطور که پیشتر اشاره شد مدل انتقال حرارت بصورت مجزا بوده و توزیع دما در قطعه با استفاده از معادله ای انتقال حرارت فوریه (رابطه ۱) صورت می گیرد [23].

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha_c * \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (1)$$

$$\alpha_c = \frac{\lambda_c}{\rho_c c_c}$$

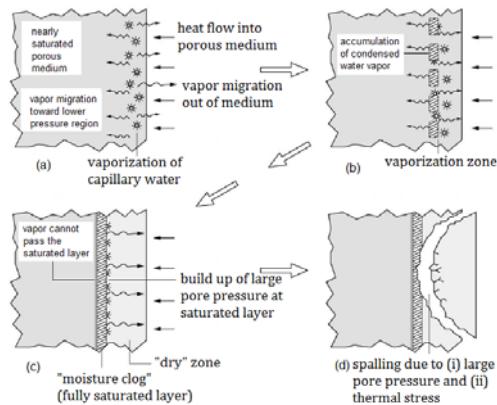


Fig. 1. Spalling process [20]

### ۳- مدل سازی تحلیلی حریق در بتن

هدف از این تحقیق ارائه یک مدل تحلیلی برای دسترسی به رفتار قطعات بتنی در برابر حریق و در نتیجه رسیدن به درک مناسب تر از رفتار بتن در برابر حریق می باشد. با در نظر گرفتن این نکته که بتن ماده ای مرکب است، بنابراین رفتار بتن متأثر از رفتار عناصر سازنده آن و اندرکنش آن ها می باشد و ساختار و اسکلت بتن و بالتبغ آن میزان تخلخل و نفوذ پذیری بتن در رفتار در برابر حریق بتن موثر خواهد بود. در تحقیق پیش رو اثر نفوذ پذیری در رفتار در برابر حریق قطعات بتنی مورد بررسی قرار گرفته است. مدل انتقال حرارت بصورت سه بعدی در نظر گرفته شده است، بنابراین فرض گردیده یک دال (قطعه) بتنی غیر مسلح با ابعاد مشخص، از طریق سطح زیرین خود تحت حرارت قرار گرفته است.

یکی از مهم ترین مشخصه هایی که بر تورق در بتن اثر می گذارد، نرخ حرارت دهی است، که در واقع نحوه پیش روی حرارت و سرعت آن در قطعه بتنی می باشد. افزایش فشار حفره ای و افزایش نرخ تبخیر بصورت مستقیم متأثر از نرخ حرارت دهی است، بنابراین با افزایش نرخ حرارت دهی، احتمال جدا شدگی لایه ای یا تورق در قطعه بتنی افزایش می یابد. در این تحقیق جهت بررسی این موضوع، از چند نرخ حرارت دهی حریق بهره گرفته شده است که به عنوان منحنی های حریق مرسوم، در شکل (۲) به نمایش گذاشته شده است. منحنی حریق ISO834 یا منحنی حریق استاندارد که یکی از شناخته شده ترین

$$V_\theta = \frac{nR\Theta}{P} \quad (2)$$

در رابطه‌ی ۲،  $V_\theta$ ، حجم بخارآب در دمای  $\Theta$  (به درجه کلوین)،  $n$ ، مولاریته آب،  $R$ ، ثابت گازها و  $P$ ، فشار محیط می‌باشد. حجم اولیه‌ی آب برابر ۱ واحد فرض شده و حفرات نیز بصورت کروی در نظر گرفته شده است بنابراین،

$$r_0 = \sqrt[3]{\frac{3(1)}{4\pi}} \quad (3)$$

$$r_\theta = \sqrt[3]{\frac{3V_\theta}{4\pi}}$$

که  $r_0$  و  $r_\theta$ ، به ترتیب شعاع اولیه‌ی حفره‌ی کروی و شعاع در دمای  $\Theta$ ، در نظر گرفته شده است. بنابراین کرنش در حفره از رابطه‌ی ۴ بدست می‌آید.

$$\epsilon_\theta = \frac{r_\theta}{r_0} \quad (4)$$

در نهایت با توجه به کرنش ( $\epsilon_\theta$ )، میزان ضریب انبساط حرارتی بخارآب در دمای مشخص  $\Theta$ ،  $\alpha_\theta$ ، بدست می‌آید.

$$\alpha_\theta = \frac{\epsilon_\theta}{\Delta\Theta} \quad (5)$$

که در رابطه‌ی ۵،  $\Delta\Theta$  تغییرات دما نسبت به دمای ۲۵ درجه‌ی سانتیگراد (دمای اولیه‌ی محیط) می‌باشد.

در مدل *Soils* از ساپروتین‌های *USDFLD* و *UMESHMOTION* [24] جهت محاسبه زمان و عمق لایه‌ی جدا شده از بتون، حین حریق، استفاده شده است. ابتدا بو سیله‌ی ساپروتین *USDFLD* در هر گام از تحلیل، تنش‌های ایجاد شده و فشار‌حفره‌ای در هر نقطه از جز بتونی فراخوانده می‌شود و در ادامه با بهره‌گیری از ساپروتین *UMESHMOTION* در هر زمان، بین تنش‌های کشنشی نقاط مختلف از قطعه و مقاومت کشنشی بتون مقایسه‌ای صورت گرفته که در صورت تجاوز این تنش‌ها از حد مجاز مقاومت کشنشی بتون، با توقف عملیات تحلیل عمق و زمان لایه‌ی تورق شده، محاسبه می‌شود. شکل (۴) نحوه‌ی عملکرد ساپروتین‌های مورد نظر را به نمایش گذاشته است. ساپروتین‌های مذکور در فلوجارت مدل‌سازی به عنوان یکی از مراحل تحلیل وارد شده (شکل (۳)) و از آن طریق نتایج مربوط به تورق بدست می‌آید. در مدل‌سازی صورت گرفته فرض شده که بتون ماده‌ای همگن با حفرات هماندازه بوده است. ضمن اینکه بخارآب به عنوان یک گاز ایده‌آل در نظر گرفته شده است

در رابطه‌ی ۱،  $a_\theta$ ، ضریب نفوذ حرارتی بتون ( $m^2/s$ )،  $\lambda$ ، رسانایی دمایی بتون ( $W/mK$ )،  $\rho$ ، چگالی بتون ( $Kg/m^3$ )،  $c_p$ ، گرمای ویژه‌ی بتون ( $J/Kg.m$ )،  $T$ ، دمای بتون ( $^0C$ )،  $t$ ، زمان (s)، می‌باشدند.

مطابق شکل (۳)، در مدل انتقال حرارت ابتدا مشخصات هندسی، فیزیکی و حرارتی شامل رسانایی، چگالی، گرمای ویژه، شرایط مرزی و گام‌های تحلیل با توجه به ضخامت قطعه‌ی بتونی و دقت تحلیل اعمال می‌گردد و توزیع دمایی لحظه‌ای بدست آمده از آن مبنای مدل بعدی خواهد بود.

در قسمت دوم مدل‌سازی در نرم‌افزار آباکوس از امکانات مدل‌سازی خاک یا *Soils* در این نرم‌افزار بهره گرفته شده است. در این قسمت از مدل‌سازی، نحوه‌ی انتقال سیال (آب یا بخارآب) در قطعه‌ی بتونی و بالتبغ آن نحوه‌ی ایجاد تنش‌های کشنشی در قسمت‌های مختلف قطعه، و در نهایت ضخامت و زمان تورق موردن بررسی قرار می‌گیرد. در این مدل رفتاری مشخصه‌هایی مثل ضریب انبساط حرارتی قطعه‌ی بتونی و سیال (آب، بخارآب یا مخلوطی از هر دو)، نفوذپذیری، مدول الاستیستیه، ضریب پواسون، مدول بالک، میزان اشباع شدگی و تخلخل اولیه استفاده می‌شود. با توجه به اینکه نرم‌افزار آباکوس فقط قادر به مدل‌سازی یک حالت از سیال (آب یا بخارآب) علاوه بر فاز جامد می‌باشد، اطلاعات مربوط به ضریب انبساط حرارتی و مدول بالک سیال به گونه‌ای اعمال شده است که تا دمای ۱۰۰ درجه‌ی سانتیگراد، حالت مایع سیال (آب) در نظر گرفته شده است و در دمای بالاتر از ۱۵۰ درجه‌ی سانتیگراد، فرض شده است که سیال حالت گاز (بخارآب) را داشته و در مابین دماهای ۱۰۰ و ۱۵۰ درجه‌ی سانتیگراد، سیال حالتی مخلوط از آب و بخارآب دارد و در این بازه‌ی دمایی، ویژگی‌های مذکور از سیال، بهو سیله‌ی درونیابی خطی اطلاعات مربوط به دماهای ۱۰۰ و ۱۵۰ درجه سانتیگراد، وارد شده است. ضریب انبساط حرارتی آب در حالت مایع در دماهای ۲۰ و ۱۰۰ درجه‌ی سانتیگراد به تقریب برابر ( $^0C$ ) ۰,۰۰۷۵۲ و ( $^0C$ ) ۰,۰۰۲۰۷ می‌باشند و در صورتی که در دمای ۱۵۰ درجه‌ی سانتیگراد کل حجم آب موجود در حفرات تبدیل به بخارآب شود، برای دماهای ۱۵۰ درجه‌ی سانتیگراد و بالاتر طبق قانون ایده‌آل گازها برای بخارآب خواهیم داشت.

برابر  $1 \text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$  و مدول الاستیسیته اولیه و نسبت پواسون قطعه مذکور به ترتیب برابر  $52 \text{ Gpa}$  و  $0.25$  بوده است. حریق از طریق یکی از وجههای بزرگتر قطعه اعمال شده است و دیگر وجههای در معرض اولیه حریق نمیباشند و در شرایط اولیه دمای اتاق ( $25^\circ\text{C}$ ) سانتیگراد) قرار دارند. شکل (۵) نحوه توزیع دمای ناشی از منحنی حریق مذکور در عمق  $10 \text{ mm}$  از سطح تحت حریق قطعه بتنی در دو مدل آزمایشگاهی و مدل تحلیلی این تحقیق را به نمایش میگذارد.

شکل ۳. فلوچارت مدلسازی.

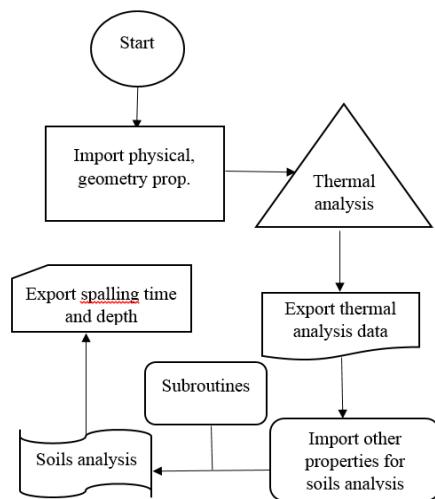


Fig. 3. Modeling flowchart.

شکل ۵. توزیع دما در عمق  $10 \text{ mm}$  از دال بتونی در دو مدل تحلیلی و آزمایشگاهی

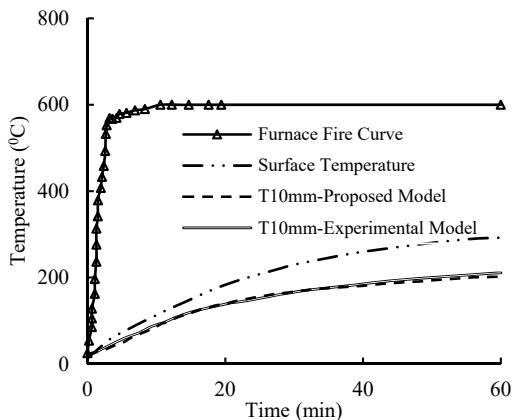


Fig. 5. Temperature distribution in  $10 \text{ mm}$  depth of concrete (proposed and experimental model)

پیشتر اشاره گردید که فشارحرفرهای نقش مهمی در ایجاد تنفس کششی و پدیدهی تورق در قطعه بتنی در اثر افزایش دما دارد، شکل (۶) توزیع فشارحرفرهای در دو مدل تحلیلی و آزمایشگاهی در اعماق  $10$  و  $20$  میلیمتری از سطح تحت حرارت دال بتونی را به نمایش میگذارد. همانگونه که در اشکال (۵) و (۶) مشاهده میشود نتایج مدل تحلیلی در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی (با درنظر گرفتن شرایط خاص مدل آزمایشگاهی در برابر مدل تحلیلی و عوامل متعددی که بر نحوه اعمال حریق، کیفیت و همگنی بتن و ... میتوانند بر نتایج آزمایشگاهی

شکل ۴. فلوچارت عملکرد سابروتینها

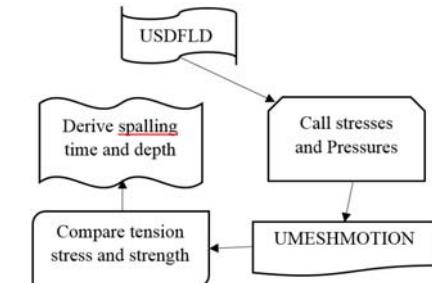


Fig. 4. Subroutines performance flowchart

#### ۴- صحبت سنجی نتایج

با توجه به اینکه رفتار اجزای بتنی در برابر حریق، ارتباط مستقیم با توزیع دما و بالتبع آن روند توسعه فشارحرفره ای در این اجزا دارد، در این قسمت از تحقیق برای به چالش کشیدن و صحبت سنجی مدل ارائه شده، نتایج بدست آمده از این مدل با نتایج آزمایشگاهی مورد مقایسه قرار گرفته است. مدل آزمایشگاهی مورد بررسی یک دال با ابعاد  $300 \times 120 \text{ mm}^3$  بزرگتر خود تحت تاثیر حریق میباشد (B40) [25]. منبع حریق مطابق شکل (۵) به دال مذکور وارد شده است. میزان نفوذپذیری اولیه دال بتونی نوع B40 (که نوع خاص قطعه بتنی مورد بررسی در این قسمت از تحلیل میباشد) با توجه به شرایط اولیه، برابر  $10^{(16)} \text{ m}^2$  و درصد رطوبت برابر  $2.8\%$  میباشد. رسانایی دمایی قطعه بتنی

سانتمتری از سطح تماس حریق در دال بتُنی مبنای را به نمایش می‌گذارد. با توجه به این شکل، حریق استاندارد موجب افزایش دمای تا  $50^{\circ}\text{C}$  درجهٔ سانتیگرادی در عمق ۵ سانتیمتری قطعهٔ بتُنی شده است در حالیکه در اعمق ۱۵ سانتیمتری و بیشتر، حداتر دما، کمتر از  $15^{\circ}\text{C}$  درجهٔ سانتیگراد بوده و عملاً تبخیر کمی از آب در این نواحی از بتُن رخ خواهد داد.

شکل ۷. توزیع دما در دال بتُنی در اعمق ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سانتیمتری از سطح تحت حریق

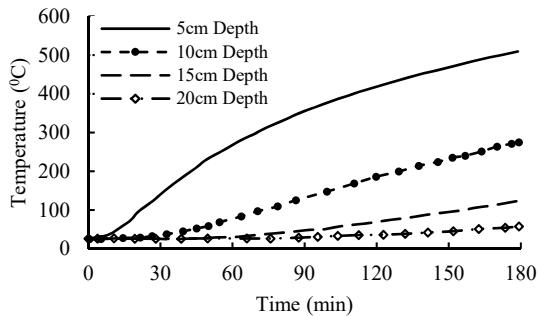


Fig. 7. Temperature distribution in 5 mm, 10 mm, 15mm and 20mm depth of concrete

یکی از موضوعات مورد بررسی در این تحقیق، بحث نفوذپذیری در بتُن می‌باشد. هنگامی که دریچه‌های نفوذ بخارآب بیشتر باشد موانع آبی جهت افزایش سریعتر فشارحرفه‌ای کاهش می‌یابد. با توجه به سه نوع از نفوذپذیری اشاره شده در جدول (۱)، قطعات بتُنی دارای این انواع نفوذپذیری تحت حریق استاندارد قرار گرفته‌اند. اشکال (۸، ۹ و ۱۰) روند توسعهٔ فشارحرفه‌ای در اعمق ۱، ۳ و ۵ سانتیمتری از سطح تحت این نوع از حریق را به نمایش می‌گذارند. اشکال فوق گویای این مطلب هستند که امکان رسیدن به تشن کششی فراتر از مقاومت کششی دال بتُنی (3.2 MPa) در عمق ۵ سانتیمتری و بیشتر وجود نداشت و ضخامت نهایی لایهٔ تورق شدهٔ تحت این نوع از حریق، عمقی کمتر از ۵ سانتیمتر خواهد داشت. با توجه به اینکه منحنی حریق اعمالی یک منحنی دینامیکی بوده و در هر لحظه دمای موجود در هر قسمت بتُن متفاوت خواهد بود، منحنی‌های توزیع فشارحرفه‌ای در زمانهای مشخص ۲، ۵ و ۱۰ دقیقه از لحظه اعمال حریق در اشکال (۱۱ تا ۱۳) ارائه شده است. همانگونه که از اشکال فوق

تأثیرگذار باشد) از دقت مناسبی برخوردار می‌باشد.

شکل ۶. توزیع فشارحرفه‌ای در اعمق ۱۰ و ۲۰ میلیمتری از دال B40 در دو مدل تحلیلی و آزمایشگاهی.

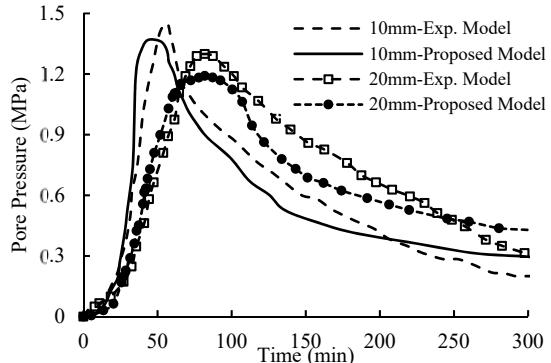


Fig. 6. Pore pressure distribution in 10 mm and 20 mm depth of concrete (proposed and experimental model)

## ۵- نتایج مدل تحلیلی

در این قسمت از تحقیق یک دال بتُنی از وجه پایینی خود تحت تأثیر حریق قرار گرفته است. مشخصات قطعهٔ مذکور در جدول (۱) ارائه شده است. با توجه به اهمیت نفوذپذیری بتُن در رفتار در برابر حریق اجزای بتُنی، سه نوع مختلف از بتُن با نفوذپذیری متفاوت مورد بررسی قرار گرفته است و علاوه بر این در اعمال حریق بر این دال نیز مطابق شکل (۲) از سه منحنی حریق بهره گرفته شده است.

جدول ۱. مشخصات دال بتُنی

Property	Value	Property	Value
Slab dimension	$1 \times 1 \times 0.3 \text{ m}^3$	Specific heat	850 J/Kg.K
Compression strength	30 MPa	Initial temperature	25 °C
Tension strength	3.2 MPa	Fire curve	*
Modulus of elasticity	34 GPa	Thermal expansion coefficient	$10^{-5} \text{ C}^{-1}$
Poisson's ratio	0.25	Porosity	0.15
Density	2400 Kg/m <sup>3</sup>	Permeability	**
Thermal conductivity	1 W/m.K	Saturation ratio	70%

\* Fire1: ISO834, Fire2: Rabt, Fire3: Hydrocarbon

\*\* Case1:  $5 \times 10^{-17} \text{ m}^2$ , Case2:  $1 \times 10^{-16} \text{ m}^2$ , Case3:  $5 \times 10^{-16} \text{ m}^2$

Table. 1. Concrete slab properties

همانگونه که پیشتر اشاره شد، گام نخست در مدل‌سازی تحلیلی رفتار بتُن در برابر حریق، نحوهٔ توزیع و انتقال حرارت در دال بتُنی می‌باشد. شکل (۷) نحوهٔ توزیع دمای ناشی از حریق ۱ (ISO834) را در اعمق ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰

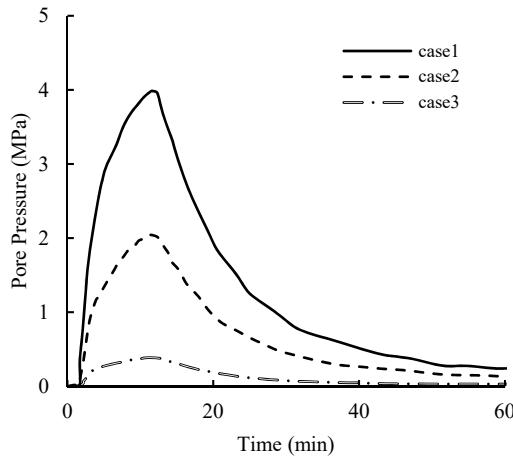


Fig. 9. Pore pressure developing in 3 cm depth of concrete

دریافت می شود افزایش ۲ و یا ۱۰ برابر نفوذپذیری باعث کاهش قابل ملاحظه‌ی فشارحرفره‌ای در قطعه بتنی شده و حداقل فشارحرفره‌ای با نسبتی نزدیک به نسبت افزایش نفوذپذیری کاهش یافته است. بدین معنی که افزایش نفوذپذیری بتن، مجراهای ورود بخارآب به لایه‌های سردتر بتن را افزایش داده و امکان ایجاد سدهایی از بخارآب و آب در فضاهای نزدیک به رویه‌ی تحت حریق قطعه‌ی بتن کاهش می‌یابد. با کاهش فشارحرفره‌ای میزان تنفس کششی در قطعه‌ی بتنی کاهش یافته طوری که مطابق جدول (۲)، باعث افزایش زمان رخدادن تورق اولیه و حتی عدم تورق در قطعه‌ی بتنی (نوع ۳) خواهد شد.

شکل ۱۰. روند توسعه فشارحرفره‌ای در عمق ۵ سانتیمتری از سطح تحت حریق دال بتنی

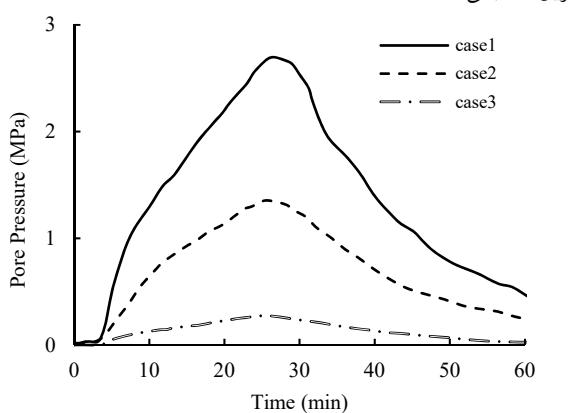


Fig. 10. Pore pressure developing in 5 cm depth of concrete

شکل ۱۱. توزیع فشارحرفره‌ای در عمق دال بتنی پس از ۲ دقیقه از شروع حریق

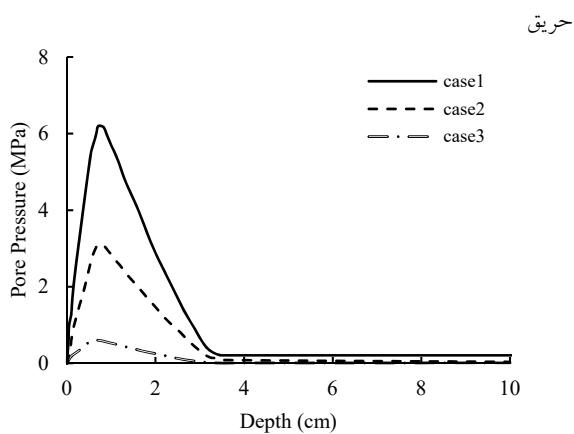


Fig. 11. Pore pressure developing of concrete slab after 2 minute of fire starting

شکل ۸. روند توسعه فشارحرفره‌ای در عمق ۱ سانتیمتری از سطح تحت حریق دال بتنی

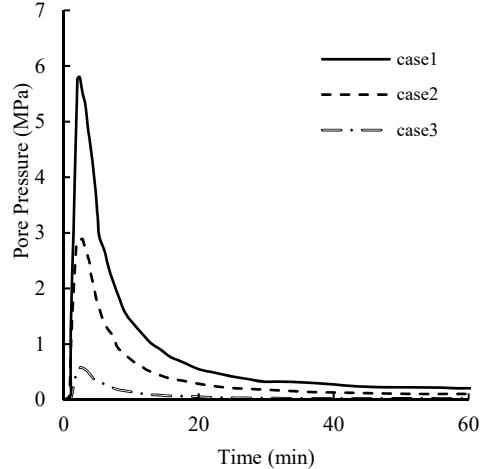


Fig. 8. Pore pressure developing in 1 cm depth of concrete

شکل ۹. روند توسعه فشارحرفره‌ای در عمق ۳ سانتیمتری از سطح تحت حریق دال بتنی

صورتی که در زمانهای فراتر از آن، حریق هیدروکربنی موجب افزایش دمای بیشتری شده است.

جدول ۲. زمان و عمق تورق اولیه در دال بتونی

Fire curve	Permeability	Spalling time	Spalling depth
Iso834	case1	59.6 sec	0.241 cm
Iso834	case2	112.9 sec	0.293 cm
Iso834	case3	no spalling	no spalling
Rabt	case2	77.4 sec	0.38 cm
Hydrocarbon	case2	32.1sec	0.299 cm

Table 2. Spalling depth and time of concrete slab

شکل ۱۴. توزیع دما در اعماق ۵ و ۱۰ سانتیمتری دال بتونی در سه نوع حریق مبنای

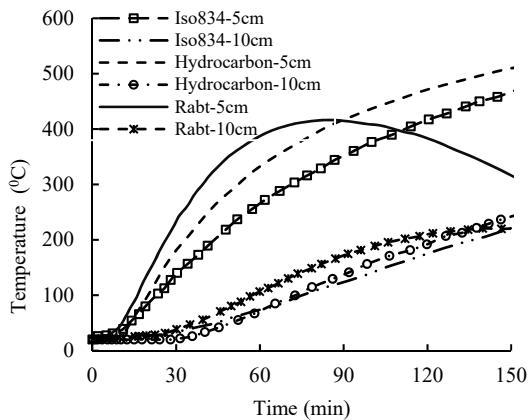


Fig. 14. Temperature distribution in 5 cm and 10 cm depth of concrete in 3 fire curves

منحنی های ارائه شده در اشکال (۱۵ تا ۱۷) روند توسعه فشارحفره ای در اعماق ۳، ۵ و ۱۰ سانتیمتری از سطح تحت حریق را به نمایش می گذارند. با توجه به اشکال فوق منحنی حریق هیدروکربنی موجب افزایش بیشتری در حداکثر فشارحفره ای قطعه ای بتونی تا عمق ۱ سانتیمتری از سطح تحت حرارت شده است در حالی که عملکرد رفتاری قطعه ای بتونی در برابر این منحنی حریق در اعماق بیشتر نزدیک به عملکرد در برابر حریق RABT بوده است. جدول (۲) میزان تورق اولیه و زمان رخدادن این پدیده در قطعه ای بتونی را به نمایش می گذارد. مطابق این جدول در حریق هیدروکربنی نسبت به حریق استاندارد، زمان تورق اولیه، با عمق تورق نزدیک به هم، کمتر از یکسوم بوده و سرعت رخدادن تورق بسیار بیشتر بوده است.

شکل ۱۲. توزیع فشارحفره ای در عمق دال بتونی پس از ۵ دقیقه از شروع حریق

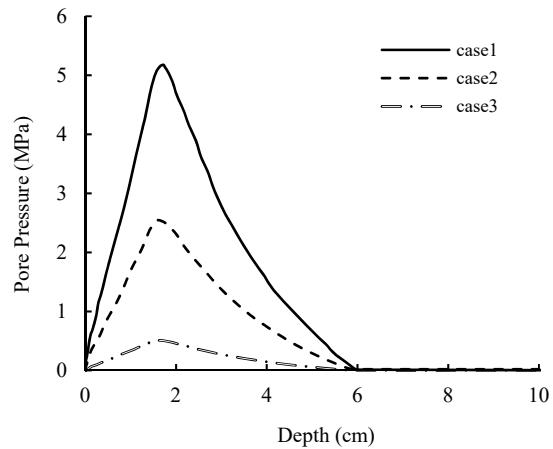


Fig. 12. Pore pressure developing of concrete slab after 5 minute of fire starting

شکل ۱۳. توزیع فشارحفره ای در عمق دال بتونی پس از ۱۰ دقیقه از شروع حریق

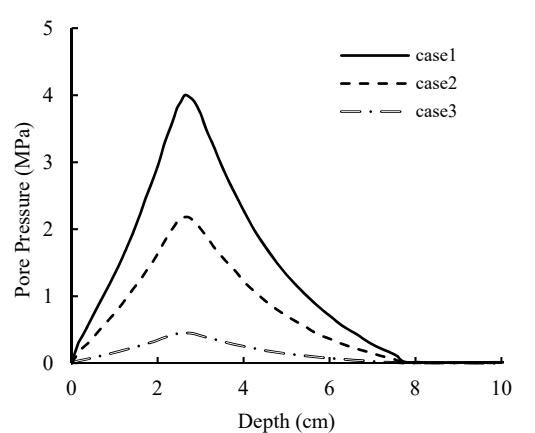


Fig. 13. Pore pressure developing of concrete slab after 10 minute of fire starting

قطعات بتونی موجود در سازه ها در طول عمر مفید خود ممکن است تحت انواع متفاوتی از آتش سوزی قرار گیرند. در این تحقیق از سه نوع منحنی حریق مر سوم در سازه ها که در شکل (۳) ارائه شده بهره گرفته شده است. دال بتونی مشخص شده در جدول (۱) با نفوذ پذیری نوع ۲، اینبار تحت سه نوع حریق ISO834, Hydrocarbon, RABT قرار گرفته است. شکل (۱۴) نحوی توزیع دما دال بتونی مذکور تحت سه نوع حریق مبنای در اعماق ۵ و ۱۰ سانتیمتری را به نمایش می گذارد. مطابق این شکل، در زمانهای کمتر از ۹۰ دقیقه، منحنی حریق موجب افزایش دمای بیشتری در قطعه شده است، در

با توجه به اینکه بتن یک ماده‌ی پر مصرف در صنعت امروزی می‌باشد، نیاز است رفتار این ماده در برابر عوامل محیطی و از جمله آتش سوزی شناخته شود. در حین حریق فرایند تغییر فاز آب به بخارآب و بالتیغ آن جریان بخارآب و تشکیل لایه‌های اشباع در حفرات بتن شکل می‌گیرد. پس از تشکیل لایه‌های اشباع، به علت شکل‌گیری فشارحفره‌ای و در ادامه تنش‌های کششی ناشی از آن، بتن دچار ضعف ساختاری شده که در ادامه در صورت تجاوز تنش‌های کششی از مقاومت کششی در هر قسمت بتن می‌توان انتظار تورق در بتن را داشت.

در این تحقیق با ارائه یک روش مبتنی بر نرم‌افزار اجزای محدود آباکوس، رفتار کلی بتن در برابر حریق، تحت تحلیل قرار گرفته است. با توجه به تحلیل حرارتی صورت گرفته در این نرم‌افزار، با اینکه بتن ماده‌ای با قابلیت انتقال حرارت کوچک شناخته می‌شود، حریق می‌تواند موجب افزایش دمای فراتر از  $100^{\circ}\text{C}$  درجه سانتیگراد، در عمق قابل ملاحظه‌ای از قطعه‌ی بتنی شود. رسیدن دمای هر قسمت از بتن به این دما موجب شکل‌گیری و به راه افتادن جریان بخارآب و در ادامه تشکیل لایه‌های اشباع در قطعه‌ی بتنی شده که در نهایت می‌تواند اینمی‌این قطعات را که تحت باربری هستند، به خطر بیندازد.

با توجه به این نکته که میزان میگاری و دریچه‌های عبور آب و یا بخارآب، می‌تواند بر عملکرد رفتاری قطعات بتونی در برابر حریق اثرگذار باشد، چند نوع قطعه‌ی بتنی مشخص، با میزان نفوذ پذیری مختلف مورد تحلیل حرارتی قرار گرفته و مشخص گردید که افزایش نفوذ پذیری در کاهش شکل‌گیری لایه‌های اشباع بخارآب (تحت حریق) و بالتیغ آن کاهش فشارحفره‌ای و تنش کششی در بتن اثر قابل ملاحظه‌ای خواهد داشت. تا جایی که با افزایش نفوذ پذیری از  $5 \times 10^{-17} \text{ m}^2$  به  $5 \times 10^{-16} \text{ m}^2$  (افزایش ده برابر نفوذ پذیری) میزان فشارحفره‌ای حین حریق استاندارد، نزدیک به یکدهم حالت قبل شده و همزمان با کاهش قابل ملاحظه‌ای تنش کششی ناشی از فشارحفره‌ای، از پدیده تورق پیشگیری می‌شود.

در بیشتر تحلیل‌های حرارتی صورت گرفته از رفتار قطعات مختلف ساختمانی، مبنای کار، منحنی حریق استاندارد

با در نظر گرفتن نتایج ناشی از تورق اولیه در جدول (۲) مشخص می‌گردد که منحنی حریق هیدروکربنی اثر بیشتری در تسريع پدیده تورق و افزایش فشارحفره‌ای در قطعه‌ی بتونی خواهد داشت.

شکل ۱۵. روند توسعه فشارحفره‌ای در عمق ۱ سانتیمتری دال بتونی در سه نوع حریق مبنا

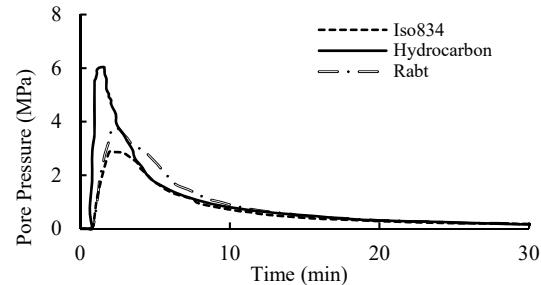


Fig. 15. Pore pressure developing in 1 cm depth of concrete in 3 fire curves

شکل ۱۶. روند توسعه فشارحفره‌ای در عمق ۳ سانتیمتری دال بتونی در سه نوع حریق مبنا

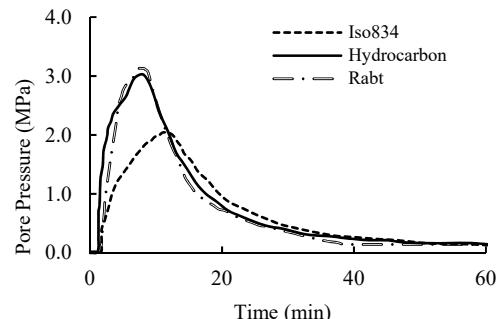


Fig. 16. Pore pressure developing in 3 cm depth of concrete in 3 fire curves

شکل ۱۷. روند توسعه فشارحفره‌ای در عمق ۵ سانتیمتری دال بتونی در سه نوع حریق مبنا

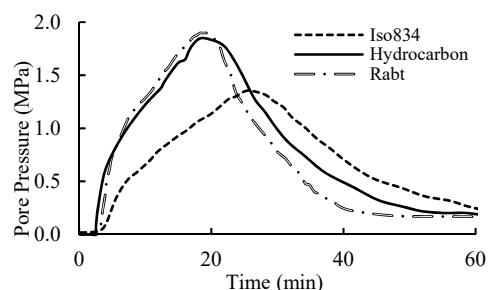


Fig. 17. Pore pressure developing in 5 cm depth of concrete in 3 fire curves

## ۶- نتیجه‌گیری

- [5] Harmathy, T. 1993 *Fire Safety Design and Concrete*. Wiley, NY, USA.
- [6] Lukkunaprasit, P. 1990 Unbonded post-tensioned concrete flat plates under 5-hours of fire. *11th FIP congress in Hamburg*, 61–64.
- [7] Chung, J.H. Consolazio, G.R. 2005 Numerical modeling of transport phenomena in reinforced concrete exposed to elevated temperatures. *Cement and Concrete Research*, **35**, 597-608.
- [8] Gales, J. Hartin, K. Bisby, L. 2016 Structural Fire Performance of Contemporary Post-tensioned Concrete Construction, London: Springer.
- [9] Matesova', D. Bonen, D. Shah, S.P. 2006 Factors affecting the resistance of cementitious materials at high temperatures and medium heating rates. *Materials and Structures*, **39**, 455–469.
- [10] Kodur, V.K.R. McGrath, R. 2003 Fire endurance of high strength concrete columns. *Fire Technology*, **39**(1), 73-87.
- [11] Phan, L. 2007 Spalling and mechanical properties of high strength concrete at high temperature. *Concrete under Severe Conditions: Environment and Loading*, **23**(5), 743-749.
- [12] Choe, G. Kim, G. Yoon, M. Hwang, E. Nam, J. Guncunskib, N. 2019 Effect of moisture migration and water vapor pressure build-up with the heating rate on concrete spalling type. *Cement and Concrete Research*, **116**, 1–10.
- [13] Caetano, H. Ferreira, G. Rodrigues, J.P.C. Pimienta, P. 2019 Effect of the high temperatures on the microstructure and compressive strength of high strength fibre concretes. *Construction and Building Materials*, **199**, 717-736.
- [14] Shah, A.H. Sharma, U.K. 2017 Fire resistance and spalling performance of confined concrete columns. *Construction and Building Materials*, **156**, 161–174.
- [15] Khaliq, W. Taimur. 2018 Mechanical and physical response of recycled aggregates high-strength concrete at elevated temperatures. *Fire Safety Journal*, **96**, 203–214.
- [16] Mohd Ali, A.Z. Sanjayan, J. Guerrieri, M. 2017 Performance of geopolymers high strength concrete wall panels and cylinders when exposed to a hydrocarbon fire. *Construction and Building Materials*, **137**, 195–207.
- [17] Ali, M.H. Dinkha, Y.Z. Haido, J.H. 2016 Mechanical properties and spalling at elevated temperature of high performance concrete made with reactive and waste inert powders. *Engineering*

(ISO834) می‌باشد. با این حال با توجه به عدم آگاهی کافی از مواد سازنده اجزای غیر سازه‌ای، لوازم موجود در ساختمانها و در مواردی احتمال تغییر کاربری ساختمانها، امکان مواجهه‌ی قطعات بتی در برابر انواع حریق وجود دارد. بنابراین در این تحقیق علاوه بر منحنی حریق استاندارد از دو نوع منحنی حریق دیگر جهت اعمال بر قطعه‌ی بتی استفاده شده است. نتایج گویای این موضوع است که قطعات بتی در محیط حریق هیدروکربنی ناشی از فراورده‌های نفتی و یا حریق RABT نسبت به حریق استاندارد حساس‌تر بوده، طوری که این دو نوع حریق، موجب افزایش بیشتر فشار‌حرفره‌ای در قطعه‌ی بتی در مقایسه با حریق استاندارد شده‌اند. با توجه به این موضوع، روند رخدادن تورق در قطعات بتی تحت تاثیر این انواع حریق، بیشتر از نوع حریق استاندارد بوده است. تا جاییکه در یک قطعه بتی مشخص، زمان رخدادن تورق اولیه، تحت حریق هیدروکربنی، کمتر از یک‌سوم زمان تورق اولیه‌ی همان قطعه، تحت اثر حریق استاندارد، بوده است. بنابراین امکان عملکرد ضعیفتر قطعات بتی، تحت اثر انواع دیگر حریق، وجود دارد، که این مساله لزوم بررسی رفتار قطعات بتی با انواع مختلف حریق را نشان می‌دهد.

## -۷ مراجع

- [1] Kheyroddin, A., Naderpour, H., Amiri, G. G., & Vaez, S. H. 2011 Influence of carbon fiber reinforced polymers on upgrading shear behavior of RC coupling beams. *Iranian Journal of Science and Technology. Transactions of Civil Engineering*, **35**(C2), 155-169.
- [2] Kheyroddin, A., Hoseini Vaez, S. R., & Naderpour, H. 2008 Numerical analysis of slab-column connections strengthened with carbon fiber reinforced polymers. *Journal of applied sciences*, **8**(3), 420-431.
- [3] Naderpour, H., & Mirrashid, M. 2015 Application of soft computing to reinforced concrete beams strengthened with fibre reinforced polymers: a state-of-the-art review. *Computational techniques for civil and structural engineering*, **38**, 305-323.
- [4] Groner, N. 2016 A decision model for recommending which building occupants should move where during fire emergencies. *Fire Safety Journal*, **80**, 20–29.

*Science and Technology, an International Journal,*  
**20**(2), 536-541.

- [18] Qian, C. Wang, H. Sun, W. Guo, Z. Stroeven, P. 2005 Numerical calculations of vapour pressure in concrete exposed to fire. *magazine of Concrete Research*, **57**, 179-184.
- [19] Harmathy, T. 1993 Concrete Design and Construction Series. *Fire Safety Design and Concrete*.
- [20] Zeiml, M. Leithner, D. Lackner, R. Manh, H.A. 2006 How do polypropylene fibers improve the spalling behavior of in-sit uconcrete. *Cement and Concrete Research*, **36**, 929-942.
- [21] Yi, Na-H. Choi, Seung-J. W. Lee, Sang. Kim, Jang-H.J. 2015 Failure behavior of unbonded bi-directional prestressed concrete panels under RABT fire loading. *Fire Safety Journal* , **71**, 123–133.
- [22] Abaqus, Abaqus Analysis Theory Manual version 6.14, 2014 United Kingdom.
- [23] Breugel, K. van.Veen, C. J. Braam, C.R. 1998 Betonconstructies onder temperatuur- en krimpvervormingen *Betonpraktijkreeks 2*, **2**(s).
- [24] Abaqus-subroutine, Abaqus User Subroutines, Reference Manual, 2010 Dassault Systèmes, USA.
- [25] Mindegua, J. Pimienta, P. Carré, H. La Borderie, C. 2013 Experimental analysis of concrete spalling due to fire exposure. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, **17**(6), 453-466

# Behavior Evaluation of Structural Concrete under Fire Condition

E. Dehghani<sup>1\*</sup>, V.R. Afkhami<sup>2</sup>

1. Assistant Professor, University of Qom, Qom, Iran

2. Ph.D. Candidate of structural engineering, University of Qom, Qom, Iran

\*dehghani@qom.ac.ir

## Abstract

Concrete is a useful material in today industry that must be known behavior against environmental phenomenon including fire concurrent using this material in various industries. Generally, in concrete two phases being visible, the solid phase includes cement paste with other aggregates and additives, and liquid phase includes water placing in concrete pores. When applying the fire in the concrete segments, in addition to some reactions occur in the solid phase, some changes are seen in the liquid phase and gradually gas phase including vapor in the concrete pores will be built. Usually, evaporation starts in concrete pores water at the 100 °C temperature and since concrete temperature passes 150 °C all of the water in pores changes to vapor and flows in the colder side of concrete and accumulate at this portion. When 100 °C front temperature further progresses in the concrete, evaporation speed increases and flows in the colder side and accumulation zone of water grows until this zone becomes full of vapor and creates a saturated layer in pores that prevents from fluid flowing. After this layer saturated by vapor invasion from the hot side, pore pressure gradually develops and with this event tension stresses at this side of concrete will increase. With continue increasing fire intensity, saturated layer creation speed increases and pore pressure and tension stress increment occur. In the following of this process, if tension stress is becoming bigger than tensile strength, fracturing and loss of material from this layer are caused, i.e. spalling occurs. This paper present an analytical modeling using ABAQUS software to evaluating concrete fire behavior. Modeling and analysis of concrete slab under fire in this study includes some steps. In the first step, heat transfer modeling and analysis of solid part is done. In the following "soils" analysis based on initial heat transfer analysis result is accomplished, that vapor flowing between pores, the saturated layer forming and pore pressure developing occur in this step. Concurrent soils analysis, using USDFLD and UMESHMOTION subroutines that joined to software, pore pressure, and tension stress value are controlled and if spalling occurs in the concrete slab, spalled layer depth and time of spalling are determined and saved. One of the most important issues facing in the fire at structures is elevated temperature patterns subject and especially fire curves types. Because of the importance of this issue, some of these fire curves placed in the famous codes. One of the most popular fire curves in the structure is the ISO834 fire curve that based on cellulose fire. Although many researchers use the ISO834 fire curve in their research, when a fire occurs in structure with petroleum and hydrocarbons products, elevated temperature speed is higher than ISO834. So the fire curve based on petroleum product in the structure presented, is named hydrocarbon curve. Results show that applying Hydrocarbon fire in the concrete increase pore pressure more than double and accelerate spalling process in comparison to ISO834 fire and by modifying permeability of concrete from  $5 \times 10^{-17} \text{ m}^2$  to  $5 \times 10^{-16} \text{ m}^2$ , pore pressure decrease less than one tenth even prevent spalling phenomenon.

**Keywords:** Concrete elements, Fire, Pore Pressure, Spalling, Permeability.