Archive of SID

بررسی تجربی و تحلیلی کنترل ترک طولی در تراورس بتنی پیش‌تنیده

فریدون رضایی*، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
سیامک رزاقی، کارشناس ارشد، دانشکده فنی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
محمدرضا شیری، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
E-mail: frezaie@basu.ac.ir
دریافت: ۱۳۸۸/۱۲/۰٤- پذیرش: ۱۳۸۹/۰٦/۳۰

چکیده

در شبکه راه‌آهن ایران، تراورس بتنی پیش‌تنیده به علت مقاومت بیشتر و سایر مزایای آن در برابر انواع دیگر تراورس‌ها بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از عیوب مشاهده شده در این نوع تراورس‌ها، ایجاد ترک طولی قبل و در هنگام بهره برداری است که معمولاً در رویه تراورس از محل رولپلاکها شروع و به سمت ناحیه وسط و کناره تراورس امتداد می‌یابد. این ترکها می‌تواند به علت فشار اضافی درون رولپلاکهای تراورس، ناشی از یخ‌زدگی آب درون رولپلاک، وجود ذرات ریز سنگدانه در هنگام بستن پیچ رولپلاک، اعوجاج و استاندارد نبودن پیچ و یا رولپلاک و یا عواملی از این قبیل به وجود آید. در این مقاله، تأثیرات عوامل مذکور توسط فشار سیلندری در محل سوراخ رولپلاکها تقریب و مدلسازی شدند. مطالعات عددی با کمینه تغییرات در هندسه تراورس بتنی پیش‌تنیده منوبلوک B70 و با مدل‌سازی سوراخ محل رولپلاک‌ها و آرماتورهای پیش‌تنیدگی انجام پذیرفت و رابطه مابین فشار اضافی ناخواسته داخل رولپلاکها و بتن مورد بررسی قرار گرفت. با اعمال فشار سیلندری در محل رولپلاکها و افزایش آن تا مرحله گسیختگی بتن، تأثیر این فشار در محل رولپلاک‌ها به صورت تحلیلی و تجربی با انجام آزمایش تجربی کنتراک بررسی شد.

نتایج نشان می‌دهند فشارهای ناخواسته درون رولپلاکها، باعث افزایش تنش‌کششی عرضی و وقوع ترک می‌شود. در مرحله بعد و با توجه به مسیر ترکها، با قرار دادن آرماتورهای تقویتی عرضی، تنش‌های کششی عرضی در تراورس تقویت نشده با تراورس تقویت شده مقایسه شد. نتایج نشان می‌دهند که استفاده از آرماتور معمولی عرضی می تواند راهکاری برای کنترل ترکها و کاهش تنش های کششی در اطراف سوراخ رولپلاکها باشد.

واژه های کلیدی: تراورس بتنی، مدل‌سازی، آزمایش تجربی، پیش‌تنیدگی، فشار سیلندری

۱. مقدمه

خطوط راه‌آهن شامل قسمت‌های مختلف از جمله ریل، تراورس، بالاست و سیستم‌های پابند است. تراورس‌ها جزئی از سیستم خطوط ریلی هستند که بین ریل و بالاست قرار می‌گیرند و نقش آنها حفظ هندسه خط، مقاومت در برابر بارهای قائم و جانبی و انتقال آنها به لایه بالاست است (شکل ۱). پیشرفتهای حاصله در مبحث بتن موجب استفاده از تراورس‌های بتنی شد که عموماً به دو گروه تراورس‌های بتن‌مسلح دوبلوکی (دی‌بلوک) و تک‌بلوکی (منوبلوک) تقسیم می‌شوند. تراورس بتنی پیش‌تنیده منوبلوک، پراستفاده‌ترین تراورس در صنعت راه‌آهن ایران است [رضایی و همکاران،۱۳۸۳].

این نوع تراورس، یک عضو بتنی یکپارچه است که با استفاده از فنآوری پیش‌تنیدگی به نوعی طراحی شده که تنش وارد بر بتن همیشه به صورت فشاری باقی بماند و این نوع تراورس دارای مقاومت بیشتر و وزن کمتر نسبت به تراورس بتنی غیر پیش‌تنیده باشد. در ایران غالباً از تراورس‌های نوع B70 که مشخصات هندسی آنها در شکل ۲ آورده شده است، استفاده می‌شود. وزن تقریبی تراورس‌های بتنی B70 در حدود ۳۵۰ کیلوگرم است که درآنها ۸ عدد آرماتور طولی با قطر ۷ میلی‌متر به منظور ایجاد نیروی پیش‌تنیدگی بکار می‌رود.

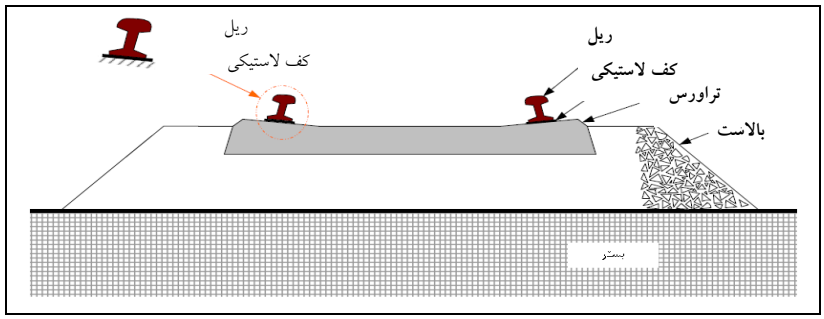
* نویسنده مسئول

www.SID.ir

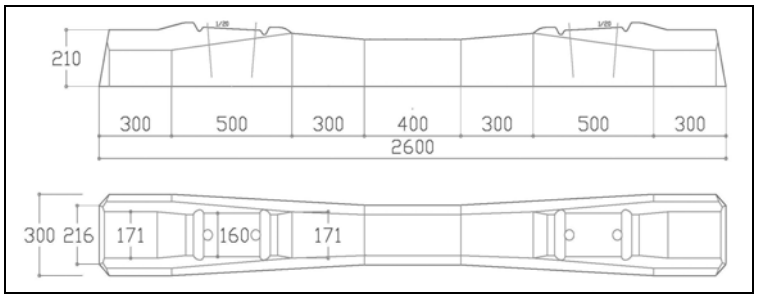
Archive of SID

مصالح اصلی در تراورس بتنی پیش‌تنیده بتن، میلگرد پیش‌تنیدگی، رولپلاک و پلاک‌های کوچک و بزرگ است. بتن از مهم‌ترین مصالح تراورس به شمار می‌آید و معمولاً از مقاومت فشاری بالا حدود ۵۰ تا ۷۰ مگاپاسکال درآن استفاده می‌شود. از طرفی به علت تماس تراورس با محیطهای مهاجم مختلف، طراحی دوامی آن نیز از اهمیت بسزایی برخوردار است. میلگردهای مصرفی برای کاربردهای پیش‌تنیدگی در تولید تراورس B70 از نوع مفتولهای ST160 است. مصرف رولپلاک در تراورسها به جهت بستن پیچهای ادوات اتصال ریل به تراورس و تهیه کوپلاژ ریل است. در هر طرف تراورس دو رولپلاک برای بستن اداوات اتصال ریل به تراورس (پابند) تعبیه می‌شود. پلاکها به جهت ثابت نگهداشتن میلگردها بعد از اعمال پیش‌تنیدگی و در آوردن پیچهای ثابت و کششی پیش‌تنیدگی مورد استفاده قرار می‌گیرند.[رضایی و همکاران،۱۳۸۳].

چنان که برای تراورس بتنی B70 مشکلی در حین ساخت و یا بهره‌برداری پیش نیاید، بیش از ۵۰ سال عمر می‌کند، ولی گاهی، مواردی باعث معیوب شدن این نوع تراورس‌ها می‌شوند. برای مثال چنان که رولپلاکها در معرض مستقیم نور آفتاب قرار گرفته و به صورت نامناسب دپو شوند، ممکن است باعث تغییر مشخصات مکانیکی از جمله ترد شدن و اعوجاج رولپلاکها شود. یکی از عیوب مشاهده شده ترک طولی است که معمولاً در رویه تراورس مشاهده شده و از محل رولپلاکها شروع و به سمت ناحیه وسط و کناره تراورس امتداد می‌یابد (شکل ۳) [رضایی و کوثری، ۱۳۸٤].



شکل ۱. اجزاء تشکیل دهنده سیستم خطوط راه‌آهن



شکل۲. هندسه تراورس بتنی پیش‌تنیده منوبلوک نوع B70 مورد مصرف در خطوط ریلی ایران

شکل ۳. ایجاد ترکهای طولی در تراورس‌های بتنی پیش‌تنیده B70 قبل و در هنگام بهره‌برداری

www.SID.ir

Archive of SID

هدف از این مقاله بررسی اثر فشارهای ناخواسته از طرف سوراخ به بتن اطراف رولپلاک در ایجاد ترکهای طولی و نحوه تقویت عرضی تراورس‌هاست. این فشار می‌تواند ناشی از یخ‌زدگی آب درون رولپلاک، وجود ذرات ریز سنگدانه در هنگام بستن پیچ رولپلاک، اعوجاج و استاندارد نبودن پیچ یا رولپلاک و یا عواملی از این قبیل باشد. تأثیرات مذکور توسط فشار سیلندری در محل رولپلاکها تقریب و مدلسازی شده‌اند. در ادامه، با تعبیه آرماتورهای معمولی، کنترل ترکهای طولی به صورت تجربی با آزمایش کتراک و تحلیلی مورد بررسی قرار گرفته است.

۲. مطالعات عددی تحت بارگذاری فشاری سیلندری محل رولپلاکها

به منظور تحلیل تراورس بتنی پیش‌تنیده B70 تحت بارگذاری فشاری سیلندری محل رولپلاکها، از روش المان محدود توسط نرم‌افزار ANSYS استفاده شد. معمولاً در مدلسازی تراورس از مدل ساده شده‌ای استفاده می‌شود و محل سوراخ رولپلاک‌ها که محل اتصال ریل و تراورس از طریق پیچ و رولپلاک است، مدلسازی نمی‌شود [Sadeghi and Babaee, 2006]. در این تحقیق محل سوراخ رولپلاکها نیز در مدل وارد گردید و با افزایش فشار سیلندری که بر جداره داخل سوراخ‌ها اعمال شده، تأثیر آن در محل رولپلاک‌ها بررسی شده است.

مدلسازی با در نظر گرفتن کمینه اختلاف با هندسه واقعی انجام شد. با در نظر گرفتن تقارن نسبت به صفحه عمود بر محور طولی تراورس و به منظور کاهش حجم حافظه مورد نیاز و نیز افزایش سرعت تحلیل، تنها نصف سازه را می‌توان با اعمال شرایط مرزی سازگار با صفحه تقارن مدلسازی کرد [Shokrieh and Rahmat, 2005]. برای مدلسازی بتن از المان SOLID65 و برای فولاد از المان LINK8 استفاده شد. المانSOLID65 یک المان مکعبی سه-بعدی با ۸ گره و ۳ درجه آزادی انتقالی در جهات x,y,z است. این المان قادر به مدلسازی رفتار غیرخطی، تغییرشکلهای پلاستیک و ترک‌خوردگی بوده و همچنین قابلیت و توانایی آشکارسازی مسیرهای ترک‌خوردگی را داراست [Anthony and Wolanski, 2004]. مدلسازی آرماتورهای طولی با قراردادن المانهای LINK8 با مشخصات مکانیکی فولاد ST160 و سطح مقطع ۳۸/۵ میلیمتر مربع انجام شد. LINK8 یک المان میله‌ای سه‌بعدی با ۲ گره و ۳ درجه آزادی انتقالی در جهات x,y,z است. این المان قادر به مدلسازی تغییرشکلهای پلاستیک و پیش‌تنیدگی است. بر اساس اصول روش المان محدود، با توجه به لزوم انطباق گره‌های ابتدایی و انتهایی المان LINK8 با گره‌های المان SOLID65 و جهت سهولت این انطباق، حجم اولیه به چندین زیر حجم تبدیل شد تا در مرزهای این حجم‌ها بتوان المانهای LINK8 را قرارداد (شکل ٤) [Kaewunruen and Remennikov, 2006].

با توجه به یکنواخت نبودن مقطع تراورس در طول آن، از المانهای هرمی شکل استفاده شده است (شکل ۵). برای مشخص کردن تعداد المانهای مناسب مورد نیاز، نمودار شکل ٦ تهیه شد. در این نمودار ابتدا مدل با تعداد المانهای کمتر، مش‌بندی شده و بیشینه تنش کششی عرضی روی سطح تراورس در اطراف رولپلاک‌ها، ناشی از بار میلگردهای پیش‌تنیدگی محاسبه شد و سپس با افزایش تعداد المانها، تغییرات تنش کششی عرضی بررسی شد.

مشخص شد که با افزایش تعداد المانها به بیش از ۲٦۰۰۰، تغییرات چندانی در پاسخ تنش کششی عرضی مشاهده نمی‌شود. بنابراین تعداد المانهای لازم برای رسیدن به یک جواب با دقت و سرعت مناسب حدود ۲٦۰۰۰ انتخاب شد.

برای آرماتورهای پیش‌تنیدگی، از مدل دوخطی الاستو- پلاستیک استفاده شد [Kaewunruen and Remennikov, 2007]. آرماتور پیش‌تنیدگی با تنش تسلیم معادل۱٤۳۰ مگاپاسکال، مدول‌کشسانی اولیه ۲۱۰۰۰ مگاپاسکال و مدول کشسانی ناحیه پلاستیک برابر ۲۰۰۰ مگاپاسکال منظور شد. مقاومت فشاری مشخصه بتن f'_c برابر ۵۵ مگاپاسکال و مدول کشسانی آن از رابطه۱ محاسبه شد[رضایی و دیگران،۱۳۸۳]. برای منظور کردن رفتار تنش کرنش چندخطی بتن با مقاومت بالا از رابطه پوپوویچ استفاده شد [Popovics, 1973].

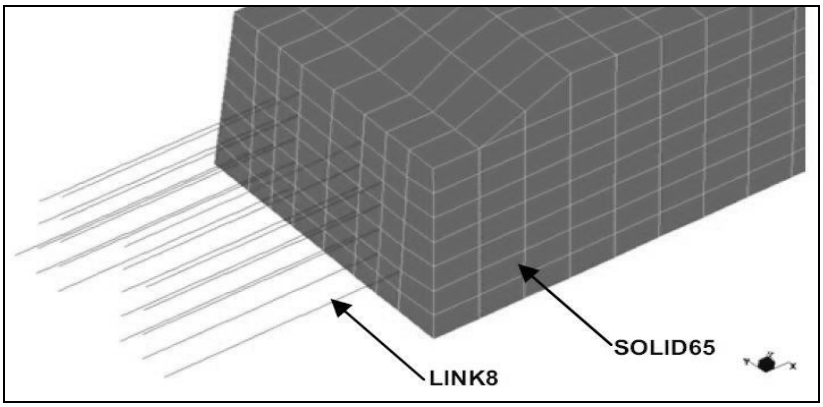
$$E_C = 5000\sqrt{f'_c} \qquad (۱)$$

به منظور انجام روند تحلیل، در ابتدا نیروی پیش تنیدگی معادل ٤/۵ تن، در هر یک از مفتول‌های پیش‌تنیدگی به تراورس اعمال شد[رضایی و کوثری،۱۳۸٤]. مطابق نتایج تحلیل و با بررسی صفحات تنش مشخص شد که با توجه به هندسه تراورس در

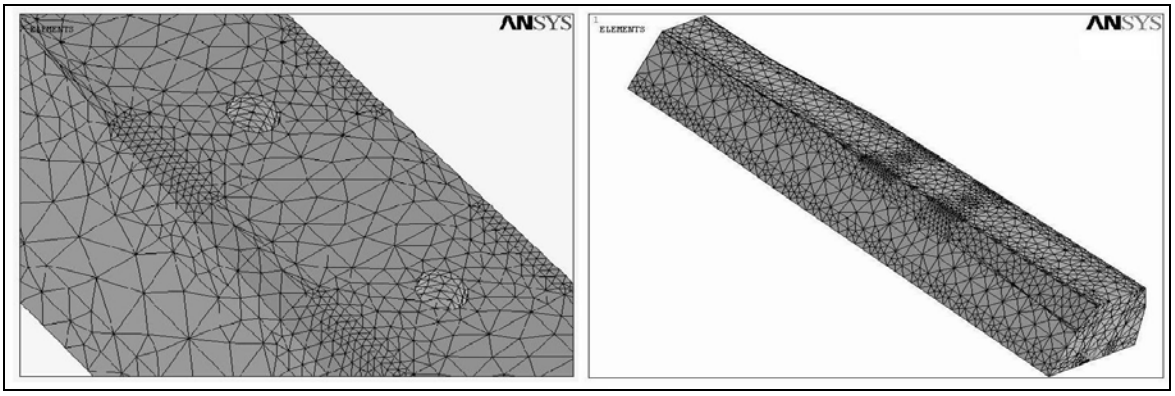
www.SID.ir

Archive of SID

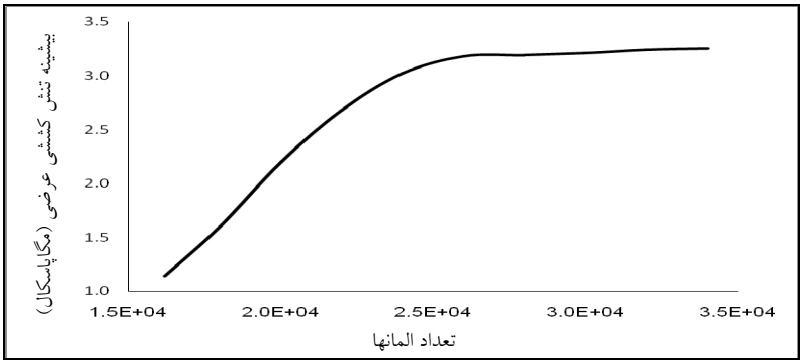
اطـراف سـوراخ رولپلاکهـا نیـروی کششـی‌عرضـی ایجـاد یخ‌زدگی آب درون رولپلاک، وجود ذرات ریـز سـنگدانه در هنگـام ناشی از یخ‌زدگی آب درون رولپلاک، وجود ذرات ریز سـنگدانه در هنگام بستن پیچ و یا اعوجاج و استاندارد نبودن پـیچ و رولـپلاک و دیگر عواملی از این قبیل، باعث افـزایش ایـن تـنش کششـی شـود، ممکن است تنشهای القایی از حـد تـوان و تحمـل بـتن در کشـش بگذرد و ترک رخ دهد. مقدار تنش کششی اطراف سـوراخ‌هـا، تنهـا می‌شود[Gonzalez-Nicieza, C. 2008]. همچنین چنان کـه آثـار تحت بار پیش تنیدگی آرماتورها به ۳/۲ مگاپاسکال می‌رسـد کـه مقداری قابل توجه و در حدود ۷۰٪ تنش ترک‌خوردگی و یـا تـنش کششی قابل تحمل در بتن است (شـکل ۷). از طرفـی تفـاوت بـین نیروی پیش‌تنیدگی آرماتورهـا، باعـث افـزایش تـنش‌هـای کششـی عرضی شده که خود می‌تواند بـه عنـوان پـارامتر تعیـین‌کننـده‌ای در ایجاد و یا ازدیاد ترکهای طولی محسوب شود.



شکل٤. نحوه قرارگیری آرماتورهای طولی در مدل عددی [Kaewunruen and Remennikov, 2006]



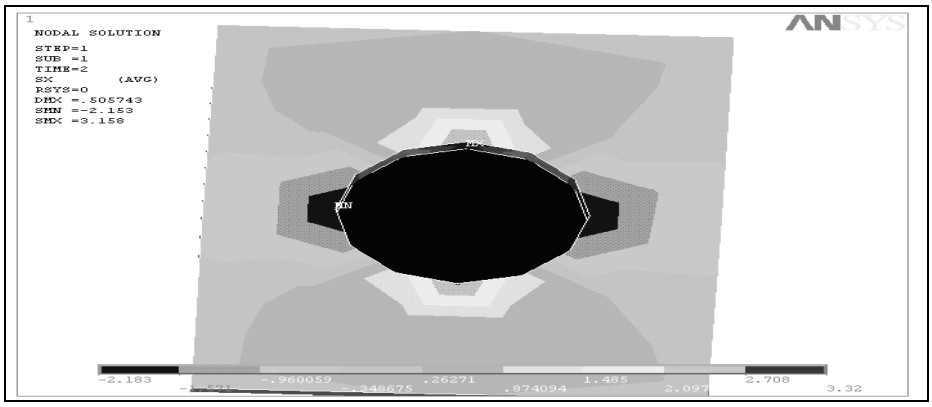
شکل٥. مش‌بندی کلی و بزرگنمایی شده اطراف سوراخ‌های رولپلاک تراورس بتنی پیش‌تنیده B70



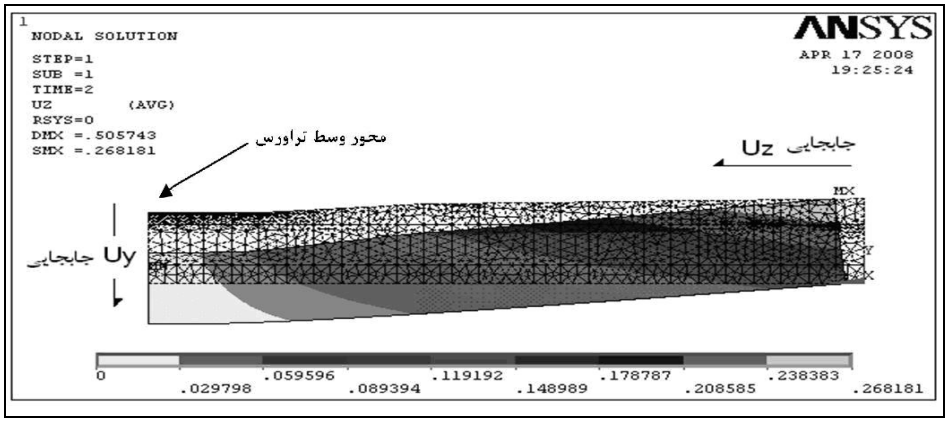
شکل ٦. نمودار افزایش تعداد المان ها و تأثیر آن بر بیشینه تنش کششی‌عرضی در محل رولپلاکها

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۷. تنش کششی در اطراف سوراخ رولپلاک درجهت عرضی تراورس تحت حداکثر نیروی پیش‌تنیدگی القایی به آرماتورها



شکل۸. تغییر شکل تراورس فقط بر اثر نیروی پیش‌تنیدگی

تغییرمکان‌های حاصله در تراورس بر اثر نیروی پیش‌تنیدگی با بزرگ‌نمایی در شکل ۸ نمایش داده شده است. کاهش بُعد عضو بتنی در راستای طولی تراورس Uz که باعث کاهش اثرات پیش‌تنیدگی نیز می‌شود، به ۰/۲۷میلی‌متر می‌رسد. در این حالت حداکثر جابجایی ارتفاعی Uy به وجود آمده در وسط تراورس به ۰/۵۱ میلی‌متر می‌رسد.انحنای به وجود آمده تحت بار پیش‌تنیدگی در خلاف جهت انحنای ناشی از بارگذاری قطار است و مطابق با اصول طراحی اعضای پیش‌تنیده، نیروی پیش‌تنیدگی آرماتورها به مقاومت خمشی قطعه کمک می‌کند.

به منظور مدل‌سازی اثر فشارهای ناخواسته از سوراخ رولپلاک‌ها به تراورس، بارگذاری سوراخ رولپلاکها به صورت فشار سیلندری از ۲۰ مگاپاسکال شروع و در هر مرحله با افزایش فشار، تحلیل غیر خطی به صورت استاتیکی تکرار و مقادیر مختلف تنش‌های کششی وارد بر تراورس در هر بارگذاری ثبت شد. مقدار ۲۰ مگاپاسکال، مقدار بار سیلندری است که تأثیر چندانی بر سازه تراورس اعمال نمی‌کند و به این دلیل و به‌خاطر کاهش سیکل‌های بارگذاری-تحلیل، بارگذاری از این مقدار شروع گردیده و افزایش داده شده است. با افزایش فشار سیلندری، مقادیر بیشینه تنش‌های کششی وارد بر بتن تراورس که در امتداد خط واصل دو رولپلاک هر پابند ریل به وجود می‌آید، در هر بارگذاری ثبت شد (شکل ۹).

در ابتدای بارگذاری و با گذشتن تنش کششی بتن از حد مقاومت کششی آن (۳/۷ مگاپاسکال)، بتن در امتداد خط واصل دو رولپلاک هر پابند ترک می‌خورد (شکل ۳). طول و بازشدگی این ترکها با افزایش نیرو بیشتر شده و با پیوستن آنها به همدیگر، ترکهای جدیدی شکل می‌گیرند. در ادامه، تجمع این ترکها در یک ناحیه باعث رخداد ترک وسیع طولی و شکست بتن می‌شود (محدوده نزولی شکل۹). نتایج ترک‌خوردگی مدل تحت فشار سیلندری، منطبق بر ترکهای طولی ایجاد شده در تراورس‌های واقعی است که خود شاهدی بر انتخاب صحیح پارامتر مخرب و ترک دهنده تراورس است.

www.SID.ir

Archive of SID

شکل۹. تغییرات تنش‌کششی حداکثر اطراف سوراخ رولپلاک‌ها (حد واصل دو رولپلاک هر پابند) با افزایش فشار سیلندری

۳. آزمایش تجربی ماده کتراک و ساخت تراورس بتنی پیش‌تنیده تقویت‌شده با آرماتور عرضی

در این مرحله با هماهنگی شرکت کارخانجات تولید تراورس کرج اقدام به تهیه نمونه و ساخت تراورس B70 با آرماتورهای عرضیAIII ، قطر ۱۲ میلیمتر و با ٦ تیپ مختلف شد (شکل۱۰).

استفاده از آرماتور طولی صرفاً برای ثابت نگهداشتن آرماتورهای عرضی و سهولت در نصب بوده است.

با توجه به لزوم مجاورت آرماتورهای تقویتی با ترکهایی طولی تراورس، شبکه آرماتور معمولی به میلگردهای فوقانی پیش تنیدگی متصل شد (شکل۱۱).

در ادامه صرفاً به منظور مشاهده چشمی و مدل‌سازی واقعی عوامل مخرب ترک‌دهنده تراورس و ایجاد اثرات ناشی از انبساط ناخواسته در درون سوراخ رولپلاکها، نسبت به انجام آزمایش با ماده کتراک اقدام شد.

کتراک ماده‌ای شیمیایی است که پس از ترکیب با آب انبساط حجمی شدیدی پیدا کرده و در صورت محصور شدن، نیرویی فشاری تا مقدار ۸۰ مگاپاسکال ایجاد می‌کند. این ماده به جهت استفاده از همین خاصیت، برای تخریب قطعات بتنی و سنگی بکار می‌رود. ماده کتراک باید پس از اختلاط با آب در مدت ۱۰ دقیقه مصرف شود. میزان اختلاط آب و کتراک در این پروژه به نسبت ۱/۳۳ لیتر آب و ۵ کیلوگرم کتراک بود. در مراحل اولیه آزمایش، ابتدا ماده کتراک روی چند تراورس ضایعاتی آزمایش و پس از حصول نتایج کمی و کیفی، اقدام به استفاده از این ماده در تراورس‌های ساخته شده اصلی شد. برای تراورس‌های تقویت شده از ماده کتراک به میزان بیشتری استفاده شد تا ترک‌خوردگی به وجود آید. نتایج حاصله از بکار بردن کتراک در تراورس‌های تقویتی و تقویت نشده (شاهد) نشان داد که:

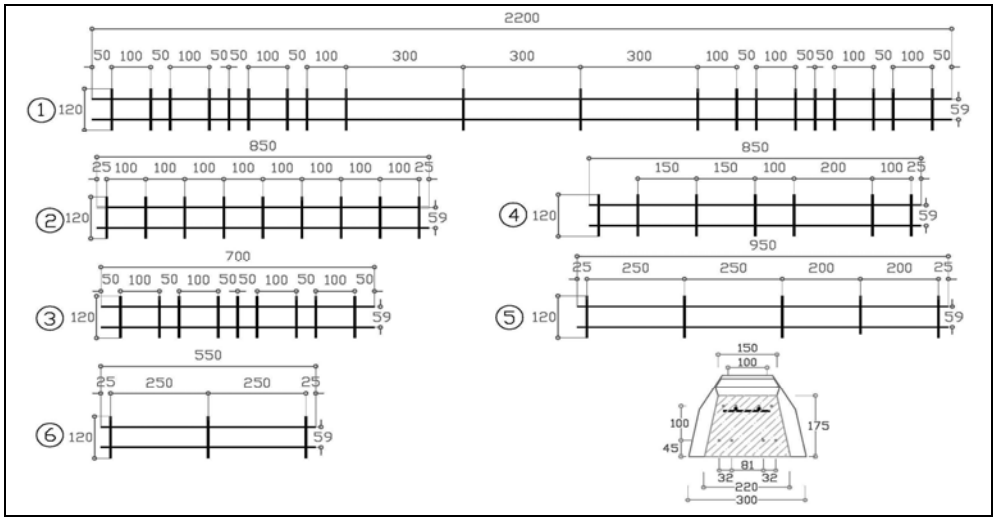
الف) شبیه‌سازی اثرات مخرب و ترک‌دهنده تراورس، که به‌صورت کاملاً ابتکاری با ماده کتراک انجام شده است، درست و معقول بوده و می‌توان از آن به‌منظور درک بهتر رفتار و مدل‌سازی تراورس تقویت شده و شاهد، و بررسی صفحات ترک‌خورده استفاده کرد (شکل۱۲).

ب) با توجه به لزوم افزایش میزان کتراک مصرفی به منظور ایجاد ترک در تراورس‌های تقویتی نسبت به تراورس‌های شاهد، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که استفاده از آرماتورهای عرضی تقویتی موجب افزایش مقاومت تراورس در برابر عوامل مخرب ترک‌دهنده خواهد شد.

ج) در صورت استفاده از آرماتورهای تقویتی و با آرایش بهینه آنها، می‌توان تراورس را در برابر عوامل مخرب ترک‌دهنده مقاوم کرد به‌طوری که با تراکم بیشتر آرماتورهای تقویتی در اطراف سوراخ رولپلاکها، تراورس در جهت عرضی تقویت شده و فشار القایی بیشتری را تحمل می‌کند. با افزایش فشار القایی از طرف ماده کتراک به تراورس، مسیر ترکها و صفحه ترک‌خوردگی آن تغییر می‌یابد (شکل۱۳).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۰. تیپ‌های مختلف شبکه آرماتور تقویتی و محل جای‌گذاری آن‌ها در تراورس

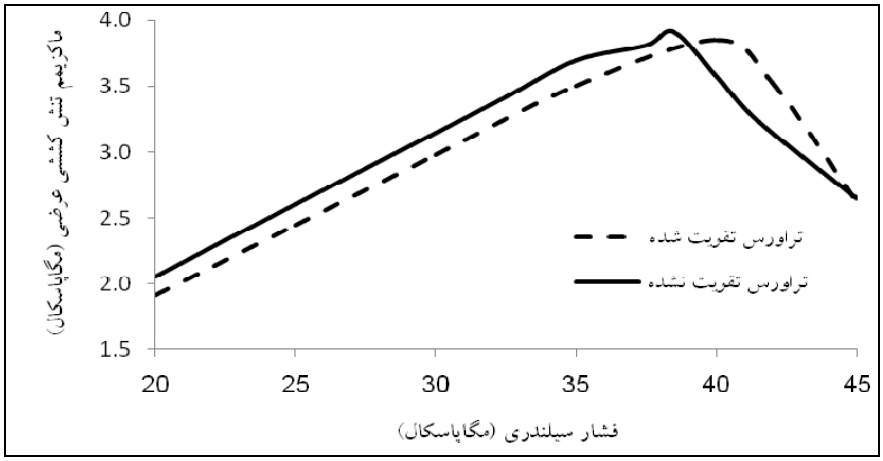
شکل ۱۱. تقویت تراورس با شبکه‌های آرماتور

شکل ۱۲. تأثیر آزمایش کتراک بر روی تراورس تقویت نشده

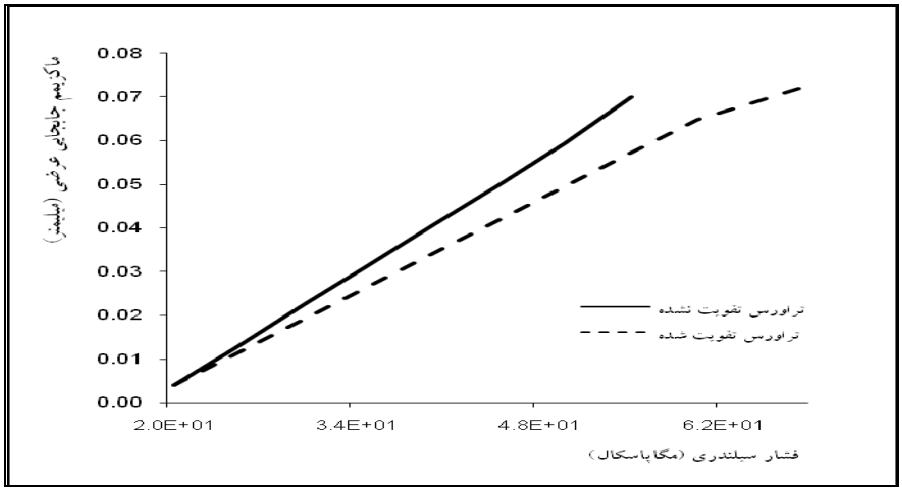
www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۱۳. تأثیر آزمایش کتراک بر روی تراورس تقویتی با شبکه آرماتورهای معمولی



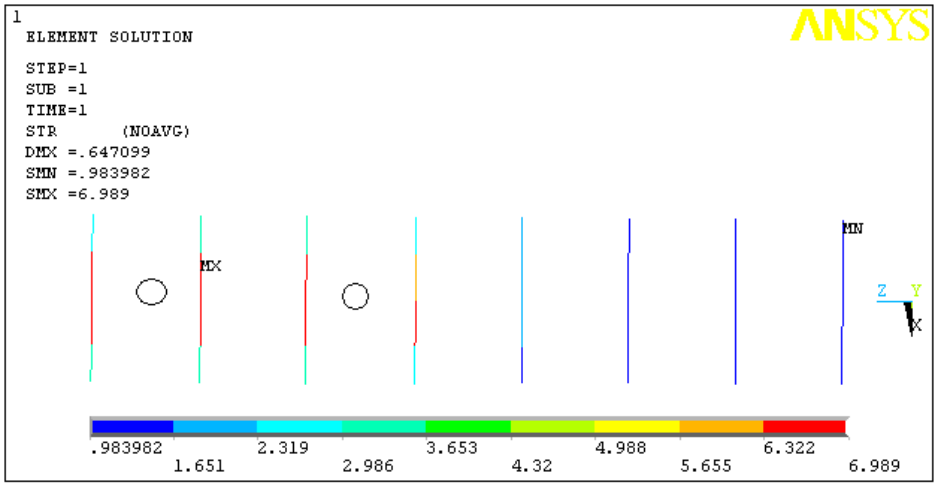
شکل ۱٤. مقایسه تغییرات بیشینه تنش‌کششی‌عرضی در تراورس تقویت‌نشده و تقویت‌شده تحت بارگذاری سیلندری محل رولپلاک‌ها



شکل ۱۵. نمودار بیشینه جابجایی عرضی مجاور رولپلاک‌ها در تراورس تقویت‌نشده و تقویت شده

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ١٦. توزیع تنش‌های کششی در آرماتورهای عرضی تقویتی

٤. مدل‌سازی عددی تراورس تقویت‌شده

به منظور تدقیق مطالعات آزمایشگاهی و بررسی نحوه عملکرد تراورس تقویت شده، با افزودن آرماتورهای تقویتی عرضی به مدل و تکرار مراحل بارگذاری، تنش‌های کششی عرضی که عامل ایجاد کننده ترک‌های طولی تراورس هستند در تراورس تقویت نشده و تقویت شده مقایسه شد (شکل ١٤). نتایج نشان می‌دهند که با اعمال بارگذاری‌های پیش‌تنیدگی و فشاری سیلندری، بر روی تراورس تقویت شده، تنش کششی عرضی در بتن در قسمت فوقانی تراورس کاهش یافته و با افزودن مقدار فشارسیلندری تنش کششی قابل توجهی در آرماتورهای تقویتی به وجود خواهد آمد که حاکی از عملکرد مطلوب آن‌ها در جهت تقویت عرضی تراورس است.

برعکس در قسمت تحتانی تراورس تنش کششی ایجاد و شروع به افزایش خواهد کرد که با افزایش فشار سیلندری، در این قسمت ترک خوردگی رخ می‌دهد. از آنجایی که تقویت فقط در نیمه بالایی و در یک لایه در مجاورت وجه فوقانی تراورس انجام شده (شکل ١٠)، بنابراین روشن است که امکان ترک‌خوردگی طولی در ناحیه تحتانی تراورس وجود دارد و نتایج آزمایشگاهی آزمایش کتراک نیز مبین آن است (شکل ١٣). از طرفی استفاده از آرماتور تقویتی، مقدار فشار سیلندری لازم برای رسیدن به تنش‌کششی قابل تحمل بتن را حدود ١٣ درصد بهبود می‌بخشد.

حداکثر جابجایی عرضی سطح بالای تراورس در اطراف رولپلاکها که معیاری برای بررسی عرض ترک طولی به وجود آمده است، در تراورس تقویت شده با تراورس تقویت‌نشده مقایسه شد(شکل ١٥).

در تراورس تقویت‌شده، حداکثر جابجایی‌عرضی نسبت به حالت تقویت‌نشده کاهش یافته و نشان‌دهنده کاهش عرض ترک است. حداکثر جابجایی عرضی در بار ٥٥ مگاپاسکال تراورس تقویت‌نشده ٠/٠٧٣٤ میلی‌متر و در تراورس تقویت شده به ٠/٠٥٤ میلی‌متر کاهش یافته است که نشان دهنده ٣٠٪ کاهش جابجایی و دلالت بر کاهش عرض ترک طولی رویه تراورس به میزان قابل توجه در تراورس تقویت شده و ایجاد تنش کشش در آرماتورهای تقویتی عرضی می‌شود.

از طرفی با مشاهده تنش‌های کششی در آرماتورهای عرضی تقویتی مشخص شد که این آرماتورها در نزدیکی رولپلاکها تحت تنش بیشتری قرار می‌گیرند و در تحمل تنش عرضی تراورس نقش بیشتری ایفا کرده و بقیه عملاً تنش کمتری را تحمل می‌کنند (شکل ١٦). بنابراین به منظور بهینه‌سازی آرایش آرماتورهای تقویتی عرضی در تراورس تقویت شده بهتر است بر تراکم آنها در اطراف سوراخها افزود و تعداد آنها را در سایر نواحی کاهش داد.

٥. نتیجه‌گیری

با انجام مطالعات عددی و آزمایشگاهی بر روی تراورس‌های تقویت‌شده و تقویت‌نشده برای بررسی اثرات فشارهای ناخواسته از طرف سوراخ رولپلاک به بتن اطراف آن که از عوامل مؤثر در ایجاد ترک‌های طولی است مشخص شد که:

www.SID.ir

Archive of SID

– در اطـراف سـوراخ رولپلاکهـا و فقـط در صـورت اعمـال بـار پیش‌تنیدگی، تنش قابل ملاحظه کششی در جهت عرضـی تـراورس ایجاد می‌شود. بنابراین چنان که آثار دیگری همچون یـخ‌زدگـی آب درون رولپلاک، وجود ذرات ریز سنگدانه در هنگام بستن پـیچ و یـا اعوجاج و استاندارد نبودن پـیچ و رولـپلاک، باعـث افـزایش تـنش کششی عرضی شود، امکان بسیاری وجـود دارد کـه تـنش کششـی القـایی در بـتن از حـد تـوان و تحمـل آن در کشـش بگـذرد و ترک خوردکی رخ دهد.

– بیشینه تنش‌کششی در اثر اعمال فشارهای ناخواسته اجرایی درون رولپلاکها، مابین دو رولپلاک هر پابند ایجاد می‌شود.

– شبیه‌سازی پارامترهـای مخـرب و تـرک‌دهنـده تـراورس کـه بـه صورت کاملاً ابتکاری و با استفاده از کتراک با توجه به هندسه ترک القایی از به تراورس انجام شده است، صحیح بوده و می‌تـوان از آن به‌منظور بررسی نحوه تقویت تراورس استفاده کرد.

– فشار سیلندری داخل سوراخها می‌تواند یکـی از عوامـل تشـدید کننده تنش‌های کششی عرضی اطراف سوراخ‌ها باشد که با افـزایش آن تراورس در جهت طولی از لبهٔ بالایی سوراخها ترک مـی‌خـورد. این نوع ترک خوردگی در عمل هم مشاهده شد.

– با افزودن آرماتورهای تقـویتی بـه تـراورس، تـنش‌هـای کششـی عرضی اطراف رولپلاکها، در محلی که استعداد ترک خوردگی وجود دارد کـاهش یافتـه و ترکهـای طـولی مهـار مـی‌شـوند. تـرک خوردگی در تراورس تقویت شده، تحت بار بیشتری که بـا مصـرف ماده بیشتر کتراک نیز همراه بود، رخ می‌دهد.

– آرماتورهای تقویتی عرضی اطراف سـوراخهـا بیشـترین تـنش را تحمل می‌کنند و در تحمل تنش عرضـی بیشـترین نقـش را دارنـد. بنـابراین بهتـر اسـت بـر تـراکم آنهـا در اطـراف سـوراخها افزوده شود.

٦. مراجع

– رضایی، فریدون، تدین، محسن، محمد زاده، سعید و اثنی عشری، مهدی (۱۳۸۳) " مشخصات فنی عمومی تولید تراورس بتنـی پـیش تنیده (تجدید نظر اول)" دفتر مهندسی و نظارت تأسیسات زیربنایی راه آهن جمهوری اسلامی ایران ، نشـریه شـماره ۱۸، خرداد ۱۳۸۳.

– رضایی، فریدون و کوثری، حسین (۱۳۸٤) " بهینه سازی تعمیر و نگهداری تراورس‌های بتنـی پـیش تنیـده" سـومین کنفـرانس ملـی نگهداری و تعمیرات، انجمن نگهـداری و تعمیـرات، وزارت علـوم، تحقیقات و فناوری، ایران.

- Anthony, J. and Wolanski, B.S. (2004) "Flexural behavior of reinforced and prestressed concrete beams using finite element analysis", A thesis submitted to the Faculty of the Graduate School, Marquette University, in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Master of Science Milwaukee, Wisconsin.

- Gonzalez, Nicieza, C. et. al. (2008) "Failure analysis of concrete sleepers in heavy haul railway tracks", Engineering Failure Analysis, Volume 15, Issues 1-2, pp. 90-117, Jan.

- Kaewunruen, S. and Remennikov, A.M. (2006) "Nonlinear finite element modeling of railway prestressed concrete sleeper", Proceedings of the 10th East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering & Construction (EASEC-10), Bangkok, Thailand, August, pp. 3-5.

- Kaewunruen, S. and Remennikov, A.M. (2007) "Experimental and numerical studies of railway prestressed concrete sleepers under static and impact loads", Asian Institute of Technology, Civil Computing.

- Popovics, S. (1973) "A numerical approach to the complete stress-strain curve of concrete", Cement and Concrete Research, Vol. 30, pp. 583-599.

- Sadeghi, J.M. and Babaee, A. (2006) "Structural optimization of B70 railway prestressed concrete sleepers", Iranian Journal of Science & Technology, Transaction B, Engineering, Vol. 30, No. B4.

- Shokrieh, M. and Rahmat, M. (2005) "On the reinforcement of concrete sleepers by composite materials", Composites Research Laboratory, Department of Mechanical Engineering, Iran University of Science and Technology, Available online 28 June 2005.

www.SID.ir