

کنترل ترک در بتن

ترجمه:

هادی عزیزیان

ادریس معروفی نیا

۱. دانشجوی دکتری عمران سازه و عضو باشگاه پژوهشگران و نخبگان دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهاباد
۲. دانشجوی دکتری عمران آب علوم و تحقیقات تهران و عضو باشگاه پژوهشگران و نخبگان دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهاباد

این کتاب با مساعدت و همکاری معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهاباد تدوین گردیده است.

عنوان و نام پدیدآور	:	کنترل ترک در بتن / ترجمه هادی عزیزیان، ادریس معروفی نیا.
مشخصات نشر	:	تهران: راز نهان، ۱۳۹۴.
مشخصات ظاهری	:	۸۶ ص.
شابک	:	978-600-258-634-6
وضعیت فهرست نویسی	:	فیا
یادداشت	:	عنوان اصلی: Transportation Research Board Basic Research and Emerging Technologies Related to Concrete Committee
موضوع	:	بتن -- ترک خوردگی
موضوع	:	بتن -- خوردگی
موضوع	:	بتن -- پایداری
شناسه افزوده	:	عزیزیان، هادی، ۱۳۶۰ - مترجم
شناسه افزوده	:	معروفی نیا، ادریس، ۱۳۶۷ - مترجم
رده بندی کنگره	:	TA۱۴۰۰۰۰ ۱۳۹۴
رده بندی دیویی	:	۶۲۰/۱۳۶۶
شماره کتابشناسی ملی	:	۳۸۹۸۷۱۸



نام کتاب : کنترل ترک در بتن

مترجمین : هادی عزیزیان

ادریس معروفی نیا

ناشر : انتشارات رازنهان

نوبت چاپ : اول - ۱۳۹۴

شمارگان : ۱۰۰۰ نسخه

قیمت : ۸۰۰۰۰ ریال

شابک : 978-600-258-634-6

چاپ و صحافی : میعاد

صفحه آرای و طراحی جلد : میعاد

کلیه حقوق مادی و معنوی این کتاب برای مولفین محفوظ می باشد

مقدمه مترجمین

حمد و سپاس خداوند یکتا را ما را به راه راست هدایت نمود و اگر ما را هدایت نمی کرد در گمراهی دوری بسر می بردیم. با سلام و درود بر آموزگار بشریت حضرت محمد مصطفی (ص) و یاران و خاندان بزرگوارش. این کتاب تحت عنوان کنترل ترک در بتن جهت افزایش سطح علمی مهندسين عمران ترجمه گردید تا به سهولت مهندسين این آب و خاک از نکات اجرایی و مهم در این زمینه آشنا گردند. بتن از سه عنصر اصلی شن و ماسه و سیمان تشکیل شده است که در آن شن و ماسه توسط سیمان به یکدیگر چسبیده می شوند. این ماده ساختمانی دارای مزایا و معایبی است که کاربرد آن را در مواردی لازم و مفید و در موارد دیگر غیر ممکن یا مضر می سازد. از جمله معایب بتن مقاومت کششی بسیار ناچیز آن می باشد که این رفتار ترد و شکننده موجب شکست ناگهانی و فروریختن سازه های بتنی در هنگام زلزله می گردد. برای کاهش ترک خوردگی بایست اعضاء را برای تحمل تمام بارهای پیش بینی شده طراحی گردد. درزهای کنترلی و جداکننده مناسب تهیه گردد. عملیات بتن ریزی روی زمین، بستر زیرکار پایدار و استوار تدارک دیده شود، بر طبق آیین نامه های بتن، مستقر ساخته و پرداخت نموده و بتن را به روش های صحیح و مناسب حفاظت و عمل آوری نمود.

کتاب حاضر ترجمه کتاب CIRCUAR رسته شده توسط انجمن تحقیقات حمل و نقل آمریکا می باشد که در خصوص کنترل ترک در سازه های حمل و نقل مثل پل، پیاده رو و... انجام اقدامات احتیاطی برای استفاده مدت زمان طولانی بدون از دست دادن ایمنی و زیبایی این نوع سازه ها و افزایش عمر و سرویس دهی مدنظر قرار داده شده و همچنین علل ترک خوردگی، تست و راههای به حداقل رساندن تنش کششی که می تواند باعث ترک خوردگی در سازه های حمل و نقل گردد بحث نموده و راهکارهای مناسبی جهت استفاده ارائه داده است. همچنین به دلایل ایجاد ترک در بتن پرداخته و راهکارهای موثر جهت جلوگیری از ترک پیشنهاد می گردد.

در پایان بر خود لازم می دانیم که زحمات بی دریغ، معاونت محترم پژوهشی و فناوری دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهاباد که در شکل گیری این مجموعه ما را یاری نمودند، از تمامی اساتید گرانقدر، دانشجویان عزیز و فرهیختگان و پژوهشگران خواهشمند است هر گونه ضعف، نقص و پیشنهاد خود را جهت اصلاح و استفاده بهتر کتاب، از طریق رایانامه hadi.azizian@yahoo.com در میان بگذارید. انتقادات و پیشنهادات تمامی عزیزان موجب دلگرمی مولفین شده و سعی می گردد موارد فوق در چاپ های جدید لحاظ گردد.

و من الله التوفیق

هادی عزیزیان-ادریس معروفی نیا

پیشگفتار

بتن جزء مصالح ترد مانند می‌باشد و دارای ظرفیت کم در برابر تنش کششی است. عواملی همچون بارگذاری مکانیکی، واکنش‌های زیان آور و بارگذاری‌های محیطی در ایجاد تنش کششی بر روی سازه های بتنی تاثیر بسزایی دارد. تمامی این تنش های کششی اغلب موجب ترک خوردگی و کاهش کارایی بتن می‌شود. با این حال، با اعمال یک سری نکات مهم و کاربردی در طراحی، مصالح و طرح اختلاط مواد و روش‌های ساخت و ساز می‌توان پتانسیل ترک خوردگی را به حداقل رساند. در نتیجه لحاظ نمودن نکات ضروری در سازه‌های بتنی بدون تاثیر گذاری بر زیبایی سازه، طول عمر، امنیت و سرویس دهی آن موجب خواهد شد که بتن بصورت رضایت بخشی مورد استفاده قرار گیرد. در این کتاب به بررسی و شرح عوامل ایجاد ترک، اندازه گیری و راهکارهای به حداقل رساندن تنش‌ها و کرنش‌ها که موجب شکل گیری ترک در سازه‌های حمل و نقل مانند پل، روسازی ها و پی ها می‌شود، پرداخته‌ایم. مخاطب این کتاب آن دسته از خوانندگان و متخصصان محترم هستند که به یادگیری نحوه نظارت و کنترل سازه‌های بتنی در جهت افزایش طول عمر سازه‌های حمل و نقل به شیوه مقتصدانه رغبت دارند.

۱۵	مقدمه
۱۹	دلایل ایجاد ترک
۲۱	بارگذاری مکانیکی
۳۱	بارگذاری استاتیکی
۲۵	بارگذاری دوره ای (خستگی)
۲۶	پایداری حجمی
۲۶	نشست
۲۷	انقباض در بتن تازه
۳۱	انقباض در بتن سخت شده
۲۳	انقباض حرارتی
۳۵	بارگذاری محیطی و دوام
۳۵	یخ زدن و آب شدن
۳۷	خوردگی
۳۸	واکنش قلیا- سنگدانه
۴۱	حملات سولفاته
۴۲	آزمایش و تشخیص ترک
۴۲	بارگذاری مکانیکی
۴۲	بارگذاری استاتیکی
۳۷	خستگی
۴۳	پایداری حجمی
۴۳	ترک ناشی از نشست و انقباض پلاستیک
۴۴	انقباض ناشی از خشک شدن
۴۵	انقباض - انبساط حرارتی
۴۶	انقباض خودزدا

۴۷	شناسایی ترک
۴۷	شناسایی ترک منفصل
۴۸	تکنیک های اندازه گیری میکرو ترک ها
۴۹	ما فوق صوت
۴۹	آزمون انتشار امواج صوتی
۵۰	کنترل ترک
۵۰	کنترل ترک در پل ها
۵۱	عوامل طرح با
۵۲	انتخاب مصالح و تعبیه نسبت بتن و اسف سیمان
۵۷	روش های ساخت و ساز
۵۷	کنترل ترک در روسازی های بتنی
۵۸	طرح های کنترل ترک
۵۸	انتخاب مصالح و طرح اختلاط
۶۰	روش های ساخت و ساز
۶۱	کنترل ترک ها در پایه پی ها
۶۳	پوشه سیمان
۶۵	مصالح
۶۵	روش های ساخت و ساز
۶۶	ترمیم ترک ها
۶۶	ترمیم سازه های پلی
۶۷	ترمیم در روسازی های بتنی
۶۲	پی ها
۷۰	معرفی روش های پیشگیری از ایجاد ترک
۷۰	سازه های پلی
۷۱	انتخاب مواد و مصالح
۷۲	روش های ساخت و ساز

۷۷		روسازی‌های بتنی
۷۷		انتخاب و گزینش مصالح
۷۷		روش‌های ساخت و ساز
۷۱		پی‌ها
۷۸		انتخاب و گزینش مصالح
۷۸		روش‌های ساخت و ساز
۷۹		منابع و مراجع

www.ketab.ir

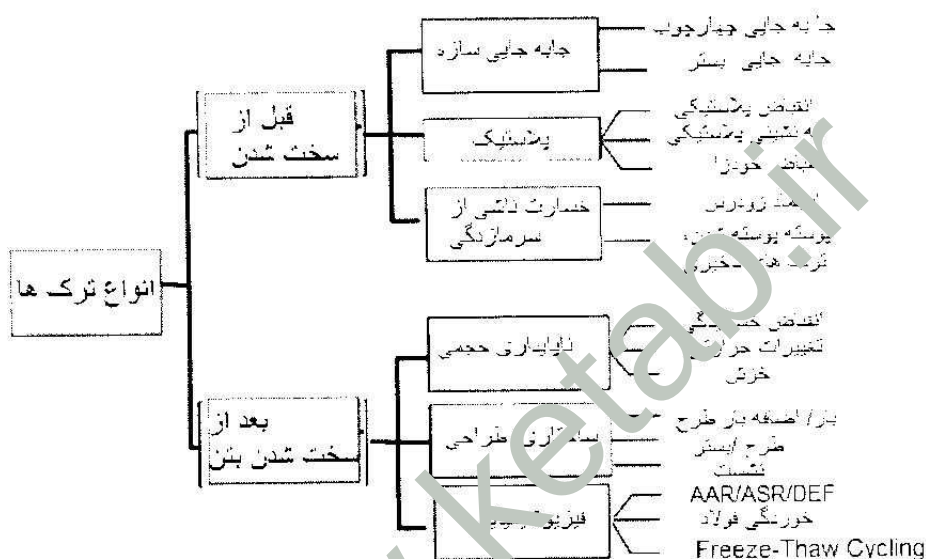
یک اصل قدیمی در بتن این است که بتن ترک بر می دارد. هر چند ترک ها ممکن است به دلایل مختلفی در بتن ایجاد شوند اما دلیل اصلی می تواند مقاومت کششی نسبتاً کم بتن باشد. ترک هایی که با چشم قابل رویت هستند زمانی رخ می دهند که تنش های کششی از مقاومت کششی مصالح بیشتر گردد. از آن جایی که وجود ترک های قابل رویت می تواند باعث نفوذ محلول های فرساینده به داخل بتن و در نتیجه به فولاد مسلح کننده یا دیگر اجزای سازه ای برسد و منجر به تخریب گردد از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد. در این کتاب دلایل ترک مورد بازبینی قرار گرفته و آزمایش های مختلفی را که می تواند به ارزیابی متعددی یک مصالح برای ترک برداشتن کمک کند مورد بحث و بررسی دقیق قرار می گیرد و همچنین چندین مطالعات موردی را فراهم می کند.

مهم است که دلیل بروز ترک در سازه های بتنی بزرگراه و روسازی ها فهمیده شود. اگر چه برخی به طور معمول بارگذاری را یکی از دلایل اصلی تنش های کششی در مصالح می دانند اما بیشتر ترک در بتن ها را می توان به ناپایداری جمع خاکی بتن یا واکنش های شیمیایی مخرب نسبت داد. ناپایداری حجمی موجب پاسخ بتن در مقابل رطوبت و نوسانات شیمیایی و حرارتی می گردد. علاوه بر این واکنش های شیمیایی مخرب گوناگون از قبیل مواد تشکیل دهنده بتن یا مصالح بستر می تواند نقش مهمی را در ایجاد انبساط های داخلی موضعی فراهم سازند.

تاثیر ترک بر دوام، مخصوصاً فرسایش، برای بسیاری از سازه های حمل و نقل زیان آور می باشد. در حالت خاص در معرض قرار گرفتن بارهای چرخه ای و جزر و مدی و آب به وجود آمدن چرخه های خشک و خیس شدن متناوب و در نتیجه با ایجاد یک منبع ثابت نمک ها برای ورود به ترک می تواند تخریب را تسریع بخشد. به طور مشابه بتن دارای ترک در تماس با خاک سولفاته می تواند منجر به تسریع حملات سولفاته گردد. روابط پیچیده بین ترک و تخریب سریع در شرایط خاص منحصر به فرد بوده و قابل درک نمی باشد. بنابراین کمیته تحقیق بایستی توجه لازم را جهت فهم درست اصول مربوطه را داشته و آنها را برای کمیته مهندسی جهت بهبود دوام بتن ارسال کند.

شکل (۱) لیستی از انواع ترک ها و تفاوت هایشان را بسته به زمان ترک برداشتن در بتن نشان می

دهد.



شکل (۱) دلایل معمول ترک در سازه های بتنی

ترک هایی را که قبل از سخت شدن و عمدتاً ناشی از نشست حرکات ساختمانی و تأخیر بیش از حد آب می باشد را ترک های پلاستیک می گویند. ترک های پلاستیک را می توان غالباً، به نسبت مناسب در هنگام طرح اختلاط، جای گذاری مصالح و عمل آوری بتن حذف نمود. ترک هایی را که بعد از سخت شدن بتن رخ می دهد می تواند ناشی از عوامل مختلفی باشد. این ترک ها می توانند ناشی از بارگذاری مکانیکی، رطوبت، گرادیان دما و واکنش های شیمیایی مصالح نامناسب (مثلاً واکنش های قلیایی سنگدانه) یا بارگذاری محیطی (به طور مثال یخ زدن آب در سنگدانه نا سالم و یا خمیر بتن) باشد. جدول (۱) مجموعه ای از ترک های ناشی از شرایط محیطی را فراهم آورده و زمان اتفاق افتادن آن را مورد بحث قرار می دهد.

که دیگران بر این باور هستند که فرسایش در بتن های ترک دار در نواحی موضعی رخ می دهد. به این دلیل باعث تسریع خسارت یا زیان نمی گردد.

بنابر مطالعات آزمایشگاهی عرض ترک تاثیر قابل توجهی بر فرایند فرسایش دارد. برای مثال بسیاری از مهندسين گزارش داده اند که زمانی که ترک ها نسبتاً کوچک هستند یعنی $[<1\text{ mm } (0.04\text{ in})]$ ، تاثیر کمی بر روند فرسایش دارد در حالی که ترک های بزرگ تر $[>1\text{ mm } (0.04\text{ in})]$ باشد آهنگ فرسایش را افزایش می دهد. مطالعات اخیر بر عناصر تیر بتن مسلح (یون و همکاران ۲۰۰۰)^۱ نشان می دهد که ترک بخصوص تحت بار ثابت باعث باز نگه داشتن ترک می شود می تواند روند فرسایش را تسريع و مقاومت را کاهش دهد. البته یافته های جدید در رابطه با تاثیر عرض ترک بر نرخ فرسایش نشان می دهد که ترک، زمان را برای شروع فرسایش کاهش می دهد. فرسایش موضعی در مناطق ترک برداشته منجر به ترک های سطحی طولی بیشتر، لایه لایه سدرگی و خوردگی شده و در نهایت باعث کاهش ظرفیت مقاومت و سختی سازه شود. مطالعاتی که اجرای گارد ریل های سی ال ها را مورد مطالعه قرار می دهد بیان می کند که لایه متخلخل بتن اغلب تحت تسلیح بالایی خود نشان می دهند آب و دیگر آلاینده ها در داخل ترک ها نفوذ کرده و با عبور از لایه متخلخل باعث ایجاد فرسایش در تمام طول تسلیح می شود (پارک و پولی ۱۹۷۵- آتانایکده و آکتان ۲۰۰۴). ایجاد ترک در قسمت های مهم و تر عناصر سازه ای موضوع نگران کننده ای می باشد. فرسایش تاندون اولیه که با دخول رطوبت از داخل ترک شروع می شود با وارد شدن به قسمت انتهایی بتن و تداخل یا مسیر بارگذاری باعث کاهش ظرفیت تیر می شود (اکان و همکاران ۲۰۰۳).

اگر چه وجود ترک در سازه های بتنی امری متداول می باشد ولی دانش ان نکته حائز اهمیت است که وجود ترک می تواند دارای دلایل مختلف بوده و اثرات گوناگونی بر اجرای بلند مدت داشته باشند که این امر ناشی از تاثیرات مخل طراحی بارهای ترافیکی و شرایط اقلیمی مربوط به سازه باشد. ترک ها نیاز به هشدار قبلی ندارد و می تواند به طور منظم و مناسب بدین شکل بیان گردد که حیات سازه در خطر نیست. این کتاب دلایل مختلف ایجاد بتن در سازه های حمل و نقل بتنی را بیان می کند و نیز ارتباط این ترک را با ایجاد بتن مورد بحث قرار می دهد. از روش های آزمایش کنترل کیفیت می توان برای ارزیابی

^۱ Yoon et al., 2000

دوام عناصر مختلف بتنی در مقابل ترک استفاده نمود. دستورالعمل هایی برای به حداقل رساندن ترک و اثرات آن معرفی گردیده و چند نمونه تاریخی نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

دلایل ایجاد ترک

سازه های بتنی تنها در نتیجه کمبود مقاومت دچار شکست نمی گردد بلکه دوام ناکافی یا تکنیک های نامناسب می توانند تاثیرگذار باشند. متداول ترین دلیل تخریب پیش از فراوری به توسعه ترک ها نسبت داده می شود (مهتا ۱۹۹۲- هوبز ۱۹۹۹)^۱. ترک ها در روسازی ها و ساختمان های بتنی می توانند به دلایل مختلفی رخ دهند که می توان آنان را عمدتا در دو گروه بارگذاری مکانیکی و اثرات محیطی طبقه بندی نمود. می توان خطر نشان نمود که در بسیاری از سازه های زمانی که ترک ها توسعه می یابد از مسلح نمودن برای دوختن و نگه دار ترک ها به هم استفاده می گردد. در نتیجه انتقال بار تضمین می گردد ولی شکل پذیری مصالح ترد کاهش می دهد. در نتیجه تمام عوامل ایجاد ترک حائز اهمیت نمی باشد. عناصر بتنی مسلح بر پایه این فرض طراحی می شود که ترک ها بایستی در شرایط بارگذاری استاندارد اتفاق بیافتد (نیلسون و وینتر ۱۹۹۵- نای ۲۰۰۰)^۲. برای مثال روسازی های بتنی مسلح طولی (CRCP) با فولاد گذاری طولی طوری طراحی می کنند که برای کنترل ترک های انقباضی پهنه کنند در حالی که مفاصل تنها در نواحی انتقال سازه و سازه های مابین وجود دارند. در این نوع روسازی که ترک های انقباضی در طول زمان ایجاد می شوند و در سه تا چهار سال اولیه به پایداری می رسند، ترک در جهت عرضی در الگوهای خاصی به سازه ضرر نمی رساند البته سرط به این که ترک ها تنگ بمانند و انتقال بار خوبی را از خود نشان دهند. بنابراین دلیل ایجاد ترک باستی با دقت بررسی می شود تا بتوان تعیین نمود که کدام یک از ترک ها عادی و قابل قبول اند و کدام ترک ها را باید تعمیر نمود و یا این که مورد بررسی بیشتر قرار داد. چندین دستورالعمل در حال حاضر وجود دارد که می تواند به تعیین دلیل ایجاد ترک کمک نماید مثل کمیته بتن آمریکا (ACI)^۳.

¹ Mehta, 1992; Hobbs, 1999

² Nilsson and Winter, 1985; Naway, 2000

³ American Concrete Institute (ACI)