

تعمیر و ترمیم بتن معمولی با هسته متخلخل با استفاده از محلول باکتری آلكالیفیلیک

ابوالفضل محمدی جانکی^۱، ابوالفضل حسنی^۲

1- دانشجوی کارشناسی ارشد راه و ترابری دانشگاه تربیت مدرس

2- استاد دانشکده محیط زیست و عمران دانشگاه تربیت مدرس

Abolfazl.m3027@gmail.com

hassani@modares.ac.ir

چکیده

یکی از روش‌های ترمیم بتن معمولی استفاده از تکنیک ترمیم باکتریایی بوسیله باکتری‌های آلكالیفیلیک (alkaliphilic) می‌باشد این باکتری‌ها با مصرف مواد مغذی ترکیبات کلسیم را تولید می‌کنند که می‌توانند باعث بسته شدن ترک‌های ایجاد شده در بتن معمولی شوند. و برای تزریق مواد مغذی به محل ترک می‌توان از تکنیک تیر مرکب حاوی هسته متخلخل که دارای یک شبکه‌ای از منافذ است و به عنوان یک رسانا برای انتقال مواد ترمیم به منطقه شکست کاربرد داشته است و پوسته بتن معمولی که نقش باربری را به عهده دارد استفاده کرد. با تزریق مواد مغذی باکتری از طریق منافذ موجود در بتن متخلخل به محل ترک در قسمت بتن معمولی، و انجام فعل و انفعالات باکتریایی در محل ترک، بتن برابر ترمیم می‌شود. ظرفیت ترمیم با استفاده از شکل‌گیری کلسیم کربنات (CaCO₃) که در آن باکتری آلكالیفیلیک وجود دارد انجام می‌شود. برای تولید بیشتر کلسیم کربنات به مقدار لازم نمک کلسیم در سیستم مورد نیاز است تا ترمیم ترک به خوبی صورت گیرد. بررسی این آزمایش با انجام سی تی اسکن نمونه و همچنین انجام آزمایش نفوذپذیری انجام می‌شود. یک عیب عمده این ماده این است که خلل و فرج بتن متخلخل را مسدود می‌نماید و نفوذپذیری آن کاهش می‌یابد.

کلمات کلیدی: باکتری آلكالیفیلیک، خود ترمیمی، بتن متخلخل، رسوب کلسیم کربنات

1. مقدمه

بتن متخلخل نوع خاصی از بتن با تخلخل بالاست که یکی از عمده ترین کاربردهای آن، احداث و اجرای روسازی می باشد. این بتن رواناب و آب باران را از خود عبور می دهد و منجر به کاهش رواناب جاری شده بر سطح می شود. اگر از بتن معمولی که ترکیبی از سیمان، آب، درشت دانه و ریزدانه می باشد، همگی بخش ریزدانه و یا قسمت اعظم ریزدانه آن حذف شود، ترکیبی با تخلخل بالا به دست می آید که بتن متخلخل (اسفنجی) نامیده می شود. این بتن می تواند حداقل 3 و حداکثر 7 برابر بیشتر از بتن معمولی دارای فضای خالی باشد، به طوری که محدوده فضای خالی آن، بین 15 تا 35 درصد قابل ایجاد می باشد. اما ترمیم این بتن یکی از معضلات می باشد که در ادامه بیشتر به این موضوع اشاره می شود. بتن معمولی با هسته متخلخل نمونه از بتن است که از خواص هر دو نوع بتن معمولی و بتن متخلخل استفاده می کند [1]

بسیاری از مردم به خوبی از لحاظ زیست شناسی نمی دانند و کلمه باکتری را به معنی چیزی که دوست انسان نیست و عامل پاتوژن که باعث بیماری و عفونت گر است می دانند. اما باکتری در هضم غذا کمک می کند، تخمیر مواد غذایی و بهبودی حاصل خیزی خاک و همچنین چند خواص در تکنولوژی بتن از جمله بهبود مقاومت ملات، تمیز کردن سطح بتن، ترمیم و آب بندی ترک بتن کاربرد دارد. باکتری آلکالیفیلیک به هسته متخلخل تزریق می شود. این نوع از بتن دارای یک شبکه ای از منافذ است که می تواند به عنوان یک رسانا برای انتقال مواد ترمیمی به منطقه شکست استفاده شود. نفوذ پذیری با استفاده از آزمون اشعه X در بازه زمانی خاص قبل از تزریق محلول انجام می شود و کارایی ترمیم با چند آزمایش نفوذ پذیری آب قبل و بعد از تزریق اندازه گیری شده و بدست آمد. ترک با استفاده از بارگذاری خمش سه نقطه ای ایجاد شده و آب شیر و محلول باکتری از طریق شبکه متخلخل به محل ترک منتقل می شود.

باکتری آلکالیفیلیک جهت ترمیم از طریق کربنات بوجود می آید، کانی های زیستی (میکروبیولوژی ناشی از بارش کربنات کلسیم، رسوب کربنات کلسیم در چند پلی مورفهای مختلف، کلسیت، آراگونیت می باشد. مواد معدنی ترمودینامیکی کلسیت پایدارترین این مواد می باشد که از کربنات کلسیم بوجود می آید. توسعه تکنیک هایی که استفاده رسوب باکتری کلسیت آلکالیفیلیک، سیستم تعمیر باکتری های به تازگی توسط ویکتور ولنکر در آزمایشگاه دانشگاه فنی دلفت توسعه داده شده است. این سیستم زیستی به طور خاص برای تعمیر ترک در بتن موجود طراحی شده است. سیستم مایع شامل سه جزء 1- رسوب باکتری (کلسیت آلکالیفیلیک) 2- مواد مغذی و 3- انتقال محلول می باشد. [2]

بتن متخلخل با تقلید از مورفولوژی استخوان بندی پستانداران طراحی شده است که در انجام این آزمایش در آزمایشگاه وقتی ترک بازتر از یک آستانه مجاز شود، توسط حسگر شناسایی شده و محلول به صورت خودکار توسط محرک تزریق می شود. در نهایت پس از انجام آزمایش محلول را به سطح بتن اسپری کرده و ترمیم ترک منجر به کاهش تخلخل مخلوط بتن می شود. [1 و 3]

2. مواد

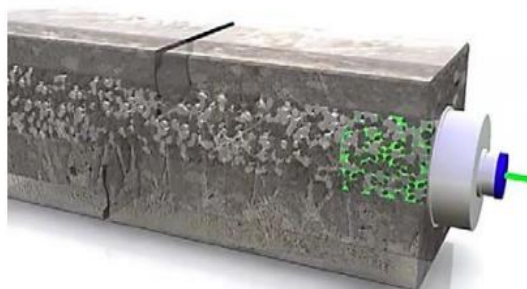
خود ترمیمی بتن با استفاده از باکتری ها به واسطه بارش کلسیت و از طریق تبدیل سوخت و ساز از مواد مغذی صورت می گیرد.

باکتری باید مقاوم در برابر محیط قلیایی در بتن تازه باشد، همچنین باکتری باید مقاومت کافی در برابر کمبود اکسیژن داشته و قادر به تشکیل تخم میکروب به منظور زنده ماندن در زمان بسیار طولانی می باشد. رسوب کلسیت با استفاده از این مکانیسم باکتری ها سبب ترمیم ترک می شود. در این مطالعه سیستم تعمیر با باکتری های متشکل از دو نوع محلول ترکیب باکتری ها، مواد مغذی و ترکیب حاوی کلسیم برای ترویج رسوب کربنات کلسیم می باشد [1]

3. بتن معمولی با هسته بتن متخلخل

یکی از روش‌های ترمیم بتن معمولی استفاده از تکنیک ترمیم باکتریایی بوسیله باکتری‌های آلکالیفیلیک می‌باشد این باکتری‌ها با مصرف مواد مغذی ترکیبات کلسیم را تولید می‌کنند که می‌توانند باعث بسته شدن ترک‌های ایجاد شده در بتن معمولی شوند. و برای تزریق مواد مغذی به محل ترک می‌توان از تکنیک تیر مرکب حاوی هسته متخلخل و پیوسته بتن معمولی که نقش باربری را به عهده دارد استفاده کرد و با تزریق مواد مغذی باکتری از طریق منافذ موجود در بتن متخلخل به محل ترک در قسمت بتن معمولی، و انجام فعل و انفعالات باکتریایی در محل ترک، بتن برابر ترمیم می‌شود.

یکی از جنبه‌های مهم ساخت بتن خودترمیم انتقال عامل ترمیم به محل آسیب دیده یعنی شکستگی یا ترک می‌باشد، با این فرایند مواد مغذی در سطح ترک با استفاده از انتقال سلولی (انتقال مواد از طریق هسته متخلخل بهم پیوسته) در سطح میکرونی انتقال می‌یابد. انتقال توسط عوامل متعددی مانند شیب، دما، فشار، رطوبت و یا غلظت محلول تاثیر پذیر است. بدون نیروی محرک خارجی ممکن است به اندازه کافی عامل ترمیم به منطقه ترک نرسد. در این آزمایش بتن متخلخل شبکه‌ای از دو نوع بتن تشکیل شده است که بتن متراکم (بتن معمولی) در بیرون و بتن متخلخل به عنوان هسته متخلخل می‌باشد. هر دو بتن با آب شرب و برخی مواد افزودنی ساخته شده است، درشت‌دانه به صورت توزیع غیریکنواخت استفاده شده و ریزدانه استفاده نشده است. هسته متخلخل با فضای خالی بهم پیوسته می‌باشد که در نتیجه سطح معینی از ویسکوزیته مایع به راحتی جریان یافته و به عنوان یک مجرا برای عامل خود ترمیمی می‌باشد. [4]



شکل 1- بتن معمولی با هسته بتن متخلخل [2]

شکل 1 تصویر نیمه شفاف بتن شبکه‌ای متخلخل با هسته متخلخل داخل تیرهای بتنی معمولی که شروع ترک تازه بتن و در نهایت شکاف و ترمیم از طریق هسته بتن متخلخل را نشان می‌دهد.

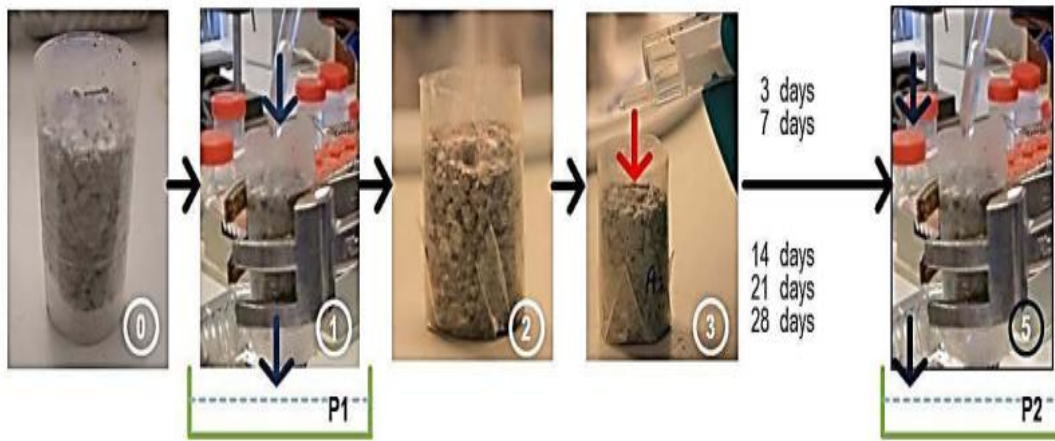
4. روش‌های آزمایش

4-1. رسوب کلسیم در هسته بتن متخلخل

پیش بینی شده است که ترمیم با استفاده از باکتری‌ها می‌تواند ترک بتن متخلخل را ترمیم نماید. محلول باکتری در هسته بتن متخلخل با قطر 25 میلی‌متر و ارتفاع 30 میلی‌متر که مغزه گیری شده انجام گرفته تزریق صورت می‌گیرد.

آزمون ارزیابی تعمیر با محلول باکتری با پنج سری (A, B, C, D) و نمونه کنترلی) و با دوتکرار در هر سری آزمون طراحی شده است. در این آزمون بتن با سنین 7.3، 14، 21 و 28 روز استفاده شده است. در سری A، بتن متخلخل با سن 3 روز آزمایش انجام شده و تزریق محلول صورت گرفته، در سری B بتن با سن 7 روز تزریق انجام شده، در سری C بتن در سن 14 روز تزریق انجام گرفته و در سری D با استفاده از بتن در سن 21 و 28 روزه تزریق صورت می‌گیرد به همین صورت مورد ترمیم قرار گرفتند. در سری آخر (نمونه کنترلی) تنها محلول بدون تزریق باکتری (با آب شیر) به آن تزریق شده و تحت ترمیم قرار

گرفتند. برای انجام نظارت بوسیله اشعه X برای تعیین کارایی سیستم در پایان دوره ترمیم انجام می‌شود. آماده سازی آزمایش مواد و آزمایش نفوذپذیری در شکل 2 نشان داده شده است. [1 و 5]



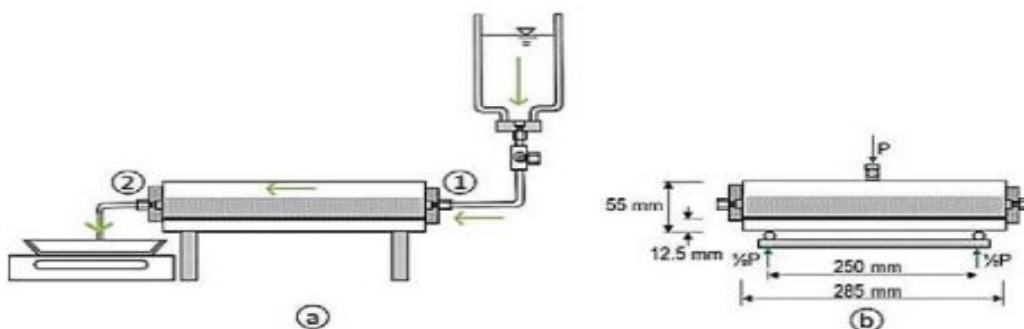
شکل 2- آماده سازی، آزمایش مواد و آزمایش نفوذپذیری [1]

مراحل آزمایش شامل موارد زیر می‌باشد

1. آماده سازی نمونه، نمونه در فیلم‌های پلاستیکی ریخته شده است
2. انجام آزمایش نفوذپذیری (نفوذپذیری اولیه)
3. اشعه ایکس به نمونه تابیده می‌شود (اسکن اولیه)
4. نمونه را با محلول باکتری آکالیفیلیک اشباع می‌کنیم
5. پس از اشباع با اشعه ایکس اسکن شده (اسکن ثانویه)
6. آزمایش نفوذپذیری بروی نمونه‌ای که با باکتری اشباع شده بود انجام می‌شود (نفوذپذیری ثانویه)

5. ترمیم ترک

عمل آوری بتن متخلخل در شرایط خیس با رطوبت نسبی 95٪ و در دمای مثبت و منفی 20 درجه سانتی گراد انجام می‌شود و در سری دیگر در حالت خشک عمل آوری تحت شرایط آزمایشگاهی با رطوبت نسبی 30٪ و دمای مثبت و منفی 20 درجه سانتی گراد صورت گرفته. در شکل 3 ترک خوردگی وسط دهانه منشور بتن متخلخل با استفاده از فشار سه نقطه تحت کنترل را نشان می‌دهد، که عرض اولیه ترک در سمت پایین در حدود 250 میکرو متر به دست آمده.

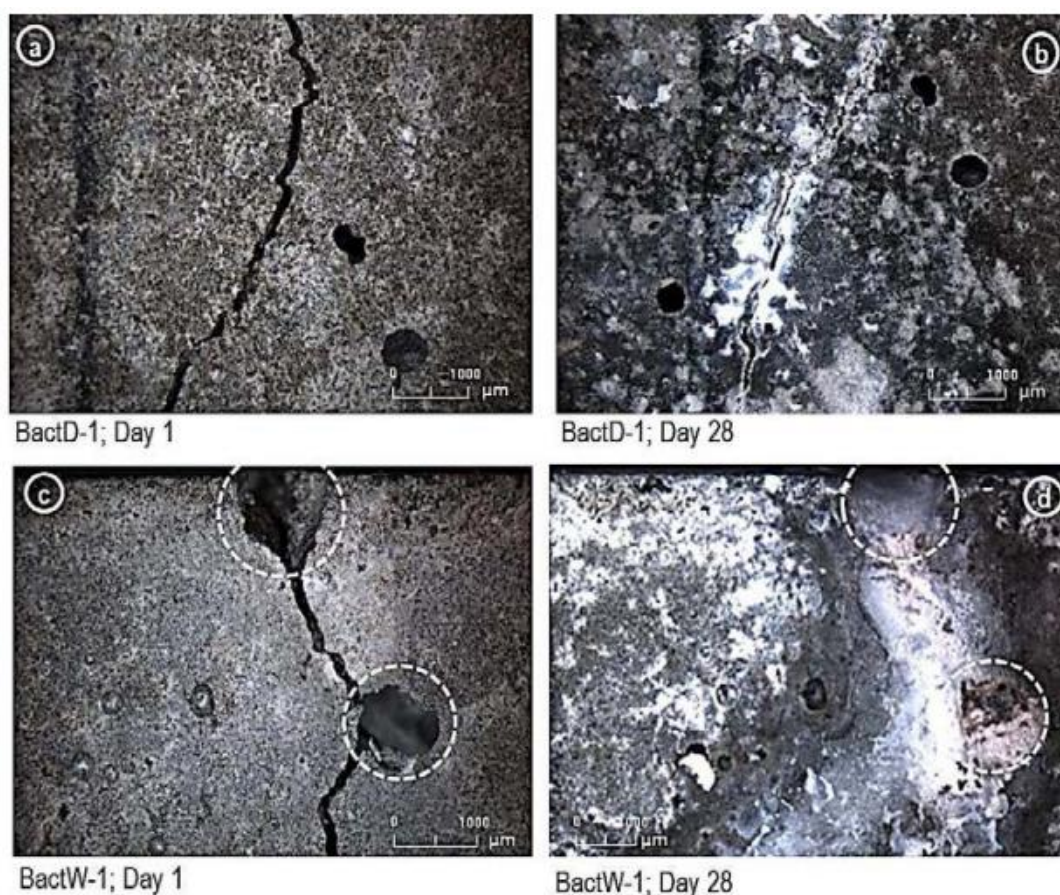


شکل 3- (a) آزمایش نفوذ پذیر (b) خمش سه نقطه ای کنترل شده [1]

ترمیم نمونه ها بتن تحت شرایط آزمایشگاهی و در اتاق مرطوب در سنین 7، 21، 14 و 28 روز انجام شده است، سپس نمونه زیر میکروسکوپ قرار گرفته و همچنین آزمایش نفوذ پذیری انجام می شود. این آزمایش ها نشان می دهد نفوذ پذیری کاهش می یابد. داده های پردازش شده از میکرو سیتی اسکن مشخص گردید که سه روز پس از تزریق، حدود 6٪ مواد جدید در بتن متخلخل پیدا شده است.

نفوذپذیری وسی تی اسکن، ارائه شده نشان می دهد که هیچ شاخص معنی داری از ظرفیت تعمیر با محلول های باکتری در درون بتن متخلخل نمی نماید. [1 و 6]

همانگونه که در شکل 4 مشخص شده است پس از تزریق محلول باکتری، بلور کلسیم در نمونه 28 روز پس از تزریق رسوب کرده.



شکل 4- a) ترک در بتن متخلخل پس از خمش سه نقطه در روز اول آزمایش b) تشکیل سلول های کربنات کلسیم در محل ترک c و d- عملیات ترمیم

با توجه به آزمایش های صورت گرفته برای تولید بیشتر کلسیم کربنات به مقدار لازم نمک کلسیم در سیستم مورد نیاز است تا ترمیم ترک به خوبی صورت گیرد. [7 و 8]

6. نتیجه گیری

ترمیم بتن معمولی با هسته متخلخل با استفاده از تکنیک ترمیم باکتریایی بوسیله باکتری‌های آلكالیفیلیک یکی از راه‌حل‌های بتن معمولی می‌باشد. در این روش باکتری‌ها با مصرف مواد مغذی ترکیبات کلسیم را تولید می‌کنند که می‌توانند باعث بسته شدن ترک‌های ایجاد شده در بتن معمولی شوند. با تزریق مواد مغذی باکتری از طریق منافذ موجود در بتن متخلخل به محل ترک در قسمت بتن معمولی، و انجام فعل و انفعالات باکتریایی در محل ترک، بتن برابر ترمیم می‌شود. ظرفیت ترمیم با استفاده از شکل گیری کلسیم کربنات که در آن باکتری آلكالیفیلیک وجود دارد انجام می‌شود. برای تولید بیشتر کلسیم کربنات به مقدار لازم نمک کلسیم در سیستم مورد نیاز است تا ترمیم ترک به خوبی صورت گیرد. برای تولید بیشتر کلسیم کربنات به مقدار لازم نمک کلسیم در سیستم مورد نیاز است تا ترمیم ترک به خوبی صورت گیرد. این کار برای ترمیم بتن معمولی با هسته متخلخل بسیار خوب است اما یک عیب عمده دارد که این ماده خلل و فرج بتن متخلخل را مسدود نموده و نفوذپذیری بتن متخلخل را کاهش می‌دهد.

7. قدردانی

تقدیر و تشکر از دکتر امیر کاووسی و همچنین دکتر محمد اصغر زاده را دارم.

8. مراجع

- [1] sanjadji, S., (2016). "The use of alkaliphilic bacteria based repair for solution for porous network concrete healing mechanism". KSCE Journal of Civil Engineering, Vol.20 (1), pp 2860–2868.
- [2] Sangadji, S., Schlangen, E., (2013). "Mimicking Bone Healing Process to Self Repair Concrete Structure Novel Approach Using Porous Network Concrete". sustainabl civil engineering structur and Construction Materials, Vol. 2(1), pp 601-608.
- [3] sarwona, D. (2017). "The application of porous concrete filled with soil and sands for low traffic road". sustainabl civil engineering structur and Construction Materials, Vol. 2(1), pp 1429-1434 .
- [4] محمد طاهری، ب.، رضانیا نیور، ا. (1396). "ارزیابی ویژگی‌های بتن متخلخل به عنوان رویه در روسازی‌های بتنی". دومین کنفرانس ملی رویه‌های بتنی، 6 تا 7 اردیبهشت
- [5] Lin, W., Park, D., Ryu, S., Tae Lee, T. (2016). "Development of permeability test method for porous concrete block pavement materials considering clogging". journal Construction and Building Materials, Vol. 2(1), pp 20-26.
- [6] Liqun, H. (2017). "Temperature Characteristics of Porous Concrete during the Hot Summer Session Portland Cement". Journal of Civil Engineering, Vol.20 (1), pp 2859–2867.
- [7] رضانیا نیور، ع.، جوشقانی، ع.، (1392). "راه حل‌های تعمیر و نگهداری برای روسازی‌های بتنی متخلخل با منافذ پر شده". دومین کنفرانس بین‌المللی صنعت سیمان، انرژی و محیط زیست، 3 تا 4 آذر.
- [8] دایی چینی، م.، محبوبی، ا.، (1387). "بتن متخلخل". چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، 17 تا 19 اردیبهشت.