

# بررسی اثر جمع شدگی و مواد افزودنی مختلف بر روی مقاومت پیوستگی بتن های پایه و تعمیری

مصطفی خانزادی<sup>۱</sup>، رضا عباس نیا<sup>۲</sup>، جمال احمدی<sup>۳</sup>

دانشکده عمران دانشگاه علم و صنعت، تهران

j\_ahmadi@iust.ac.ir

## خلاصه

با توجه به گستردگی سازه های بتنی و بدنبال آن نیاز به تعمیر و تقویت این سازه ها، ارائه مواد تعمیری با کارایی بالا بگونه ای که بطور یکپارچه با بتن عمل نمایند دارای اهمیت روز افزون می باشد. جهت رسیدن به این هدف پارامترهای مختلفی از بتن تعمیری و از جمله مهمترین آنها یعنی مقاومت پیوستگی می بایست مورد مطالعه و بررسی قرار گیرد. در این راستا و در این مقاله اثر استفاده از مواد پلیمری، و پوزلانی به همراه الیاف بر روی مقاومت پیوستگی بین بتن پایه و تعمیری مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفته است. همچنین با توجه به نقش بسیار مهم جمع شدگی بتن تأثیر این فاکتور نیز مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج حاصل از آزمایشها بیانگر بهبود مقاومت پیوستگی حین استفاده از میکروسیلیس علیرغم افزایش اولیه جمع شدگی می باشد. همچنین استفاده از مواد پلیمری که موجب کاهش مقدار جمع شدگی آزاد گردیده، موجب بهبود مقاومت پیوستگی شده است.

کلمات کلیدی: مقاومت پیوستگی، جمع شدگی آزاد، سازگاری.

## مقدمه

از عوامل بسیار مهم در کارایی و مقاومت بتن های تعمیری، مقاومت پیوستگی بین بتن تعمیری و بتن پایه می باشد، که خود معلول عوامل مختلف و متنوعی است. تحقیقات وسیعی بر روی مقاومت پیوستگی بتن های تعمیری صورت گرفته است و عوامل عمده مؤثر بر آن تا حدود زیادی در مراکز مختلف تحقیقاتی شناسایی و آزمایش های گسترده ای بر روی آنها انجام گرفته است (۱). در اکثر مواقع برای بهبود خصوصیات بتن های تعمیری و رفتار آنها از مواد افزودنی نظیر مواد پلیمری و پوزلانی استفاده می شود. از مهمترین اهداف استفاده از مواد افزودنی می توان به بالا رفتن کارایی بدون افزایش آب و کاهش افت یا ایجاد انبساط و کاهش افت اسلامپ، تسریع در کسب مقاومت در سنین اولیه، افزایش مشخصات مکانیکی و کاهش نفوذپذیری اشاره کرد (۲). استفاده از مواد پلیمری در بتن دارای سابقه نسبتاً طولانی می باشد، از انواع لاتکس های پلیمری که برای اصلاح بتن استفاده می شود می توان به استات پلی وینیل، بوتادین استیرین و اکریلیکها اشاره کرد (۳). همانگونه که اشاره شد در حال حاضر مواد پلیمری به خصوص SBR و اکریلیک، بصورت گسترده ای در بتن های تعمیری و پلیمری مورد استفاده قرار می گیرند، و از این رو می بایست تأثیر این مواد و عملکرد آنها در ترکیب با مصالح سیمانی مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد. البته در مورد اثر مواد افزودنی مهمترین عامل تعیین کننده، سازگاری و یا عدم سازگاری بین بتن های تعمیری و بتن پایه می باشد (۴). میکروسیلیس نیز به عنوان ماده پوزلانی در حال حاضر بصورت گسترده ای در ترکیب مواد تعمیری استفاده می شود از جمله آثار استفاده از میکروسیلیس در بتن می توان به افزایش مقاومت فشاری، مقاومت کشش، مدول الاستیسیته، کاهش نفوذ پذیری، افزایش دوام و عمر بتن یا بتن تعمیری، افزایش مقاومت سایشی و ... (۵ و ۶) اشاره کرد.

1 استادیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه علم و صنعت

2 دانشیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه علم و صنعت

3 دانشجوی دکتری دانشکده مهندسی عمران دانشگاه علم و صنعت

### برنامه آزمایشگاهی

در این تحقیق، ۷ نوع بتن که در آنها از مواد افزودنی مختلفی استفاده شده، به منظور مطالعه اثر استفاده از مواد افزودنی مختلف بر روی مقاومت پیوستگی در نظر گرفته شده است. که در سنین ۷ و ۲۸ و ۵۶ روزه، آزمایش مقاومت پیوستگی<sup>۱</sup> به همراه تعیین میزان جمع شدگی بر روی آنها انجام گرفته است.

مواد افزودنی مورد استفاده عبارت بودند از: میکروسیلیس، اکریلیک، SBR و الیاف، که در نهایت مقاومت پیوستگی آنها با حالت بتن فاقد ماده افزودنی مقایسه شده است.

### مصالح مصرفی

در این پژوهش از ماسه طبیعی برای ساخت نمونه های مختلف استفاده شده است. دانه بندی مصالح سنگی نیز (بر مبنای دانه بندی ASTM C33) بصورت جدول زیر در نظر گرفته شده است:

جدول ۱- دانه بندی مصالح سنگی مورد استفاده در ساخت بتن (درصد رد شده).

شماره الک	اندازه سوراخ	ASTMC33
۳/۸	۹/۵ (میلیمتر)	۱۰۰٪
۴	۴/۵۷	۹۵
۸	۲/۶۳	۹۰
۱۶	۱/۸۱	۷۰
۳۰	۶۰۰ (میکرون)	۴۰
۵۰	۳۰۰	۲۰
۱۰۰	۱۵۰	۸

همچنین سیمان مورد استفاده سیمان نوع ۱ می باشد.

برای افزایش کارایی بتن های ساخته شده و کاهش نسبت آب به سیمان، در ساخت بتن های تعمیراتی از فوق روان کننده استفاده شده است. به منظور مطالعه اثر میکروسیلیس بر روی مقاومت پیوستگی از این ماده به عنوان ماده افزودنی به مقدار ۷٪ (بر مبنای یک سری آزمایش مقدماتی) وزنی سیمان استفاده شده است.

همچنین از اکریلیک و SBR به عنوان مواد پلیمری در طرح اختلاط چند نمونه از بتن های ساخته شده، استفاده گردیده است (جدول ۲). در آزمایشهای مربوط به این مقاله درصد مصرف اکریلیک پس از انجام چند نمونه آزمایش مقدماتی، ۷٪ وزنی سیمان و درصد مصرف SBR ۱۰٪ وزنی سیمان در نظر گرفته شده است. آب مورد استفاده در تهیه بتن های نیز از آب شهری می باشد.

الیاف مورد استفاده در این تحقیق، از نوع الیاف پروپیلن، در طولهای حدوداً ۶ میلیمتر و قطر ۱۸ میکرومتر می باشد. مقدار مصرف این مواد نیز بر مبنای پیشنهاد شرکت تولید کننده بین ۰/۵۰ الی ۱ کیلوگرم در هر متر مکعب بتن است که در این پروژه از ۰/۵۰ کیلوگرم در هر متر مکعب بتن استفاده شده است. نکته قابل توجه در هنگام استفاده از این الیاف مشکل بودن افزودن و توزیع همگن آنها در داخل بتن و افت شدید کارایی بتن می باشد.

### نسبتهای اختلاط

در جدول زیر طرح اختلاط بتن های ساخته شده که در آن نسبت آب به سیمان، نسبت سیمان به ماسه، نوع و درصد مواد افزودنی مشخص شده، ارائه گردیده است:

<sup>۱</sup>Bond Strength

جدول ۲- مشخصات بتنهای ساخته شده برای بررسی مقاومت پیوستگی

بتن	ماده افزودنی	سیمان/آب	سیمان/ماسه
OSM	میکروسیلیس ۷٪	۰/۴	۱/۳
OSM-C	میکروسیلیس + الیاف	۰/۴	۱/۳
OM	-----	۰/۴	۱/۳
LAMM	اکریلیک ۷٪	۰/۴	۱/۳
LAMM-C	اکریلیک + الیاف	۰/۴	۱/۳
LSMM	SBR	۰/۴	۱/۳
LSMM-C	SBR + الیاف	۰/۴	۱/۳

#### نگهداری نمونه ها

پس از ساخت نمونه های آزمایشگاهی، نمونه ها به مدت ۲ روز در معرض عمل آوری با آب قرار داده شدند. که شامل یک روز عمل آوری نمونه ها در قالب با چتائی مرطوب نیز می باشد. پس از دو روز هر کدام از نمونه ها تا زمان انجام آزمایش، در شرایط آزمایشگاهی (۶۰٪ رطوبت و ۲۰ درجه سانتیگراد دما) قرار داده شدند اند.

#### شرح آزمایشها

آزمایش صورت گرفته در این پروژه برای تعیین مقاومت پیوستگی آزمایش برش مورب (Slant Shear Test)، می باشد. این آزمایش مطابق با استاندارد ASTM C882 صورت می گیرد که در ادامه بطور خلاصه به شرح آن پرداخته شده است.

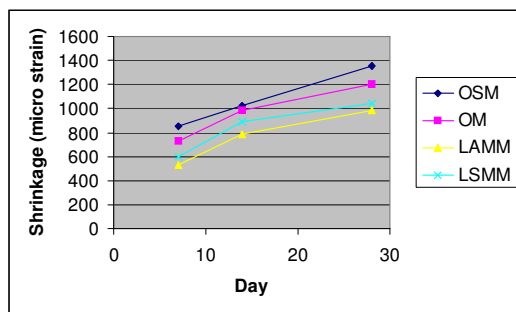
از این آزمایش برای شبیه سازی حالت ترکیب تنش برشی - فشاری استفاده شده است در استاندارد ASTM از قالبهای استوانهای شکل به قطر ۲ ± ۷۶/۲ میلیمتر و ارتفاع ۱۵۲/۴ ± ۲ میلیمتر استفاده می شود، که از وسط با زاویه ۳۰ درجه بریده شده است (ASTM C882). مقاومت پیوستگی بطور خلاصه بدین ترتیب تعیین می گردد که، پس از پر کردن نصف استوانه با بتن پایه (با مشخصات قید شده در استاندارد ASTM C109) و پس از عمل آوری و آماده کردن سطح آن (بعد از گذشت حداقل ۲۸ روز) بتن تعمیری را بر روی بتن پایه (سطح مشترک) ریخته و بعد از عمل آوری مناسب، و کلاهک گذاری دو انتهای نمونه با مخلوط گوگرد (Capping) مطابق استاندارد ASTM C617-76 نمونه ها را تحت فشار قرار داده، و در نهایت با توجه به نحوه گسیختگی و میزان بار وارده، مقاومت پیوستگی بدست می آید.

حالتهای گسیختگی ممکن در این آزمایش شامل گسیختگی در بتن پایه، گسیختگی در بتن تعمیری و گسیختگی در لایه چسبنده (سطح مشترک) می باشد. از میان حالتهاى فوق، بهترین حالت گسیختگی مربوط به عملکرد یکپارچه سطح گسیختگی می باشد، که در آن سطح گسیختگی با زاویه ۴۵ درجه نسبت به افق از میان هر سه قسمت عبور می نماید.

همچنین آزمایشهای مقاومت فشاری (با استفاده از نمونه های مکعبی ۵\*۵) و آزمایش تعیین مدول الاستیسیته دینامیکی و تعیین مقدار جمع شدگی آزاد نیز برای اندازه گیری مشخصات مکانیکی و رفتار جمع شدگی بتنهای ردیفهای ۱، ۳، ۴ و ۵ انجام گرفته است.

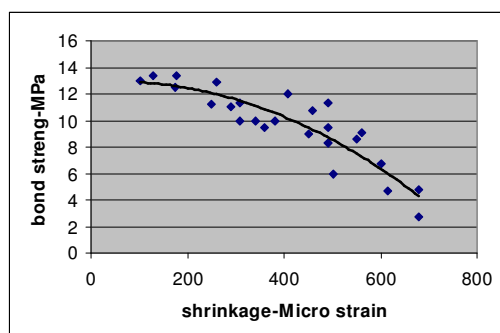
#### ارائه نتایج

نتایج آزمایش اندازه گیری جمع شدگی آزاد نشان می دهد که استفاده از میکروسیلیس موجب افزایش مقدار جمع شدگی شده است. همچنین استفاده از مواد پلیمری اکریلیک و SBR موجب کاهش جمع شدگی شده است که دلیل آن را می توان به کاهش مصرف آب بر اثر افزایش کارایی بتن های حاوی مواد پلیمری عنوان کرد.



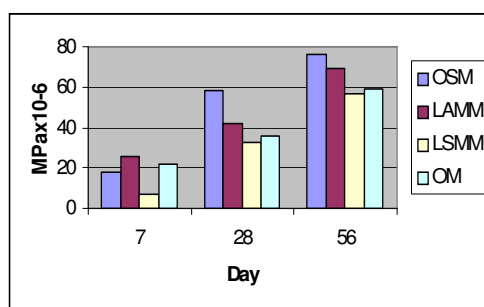
شکل ۱ - نتایج مربوط به آزمایش تعیین جمع شدگی آزاد بتن تعمیری

همچنین نتایج آزمایشها بیانگر کاهش قابل توجه میزان مقاومت پیوستگی با افزایش میزان جمع شدگی می باشد. که دلیل آن ایجاد تنشهای برشی در سطح مشترک بین بتن های تعمیری و بتن پایه است که موجب کاهش مقاومت پیوستگی بین دو ماده متفاوت می گردد (شکل ۲).



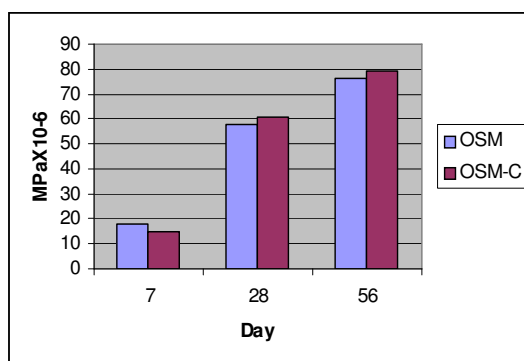
شکل ۲- تغییرات مقاومت پیوستگی با مقدار جمع شدگی آزاد

با توجه به شکل (۳) مشاهده می شود که در روزهای اولیه (مقاومت ۷ روزه) بتن تعمیری حاوی اکریلیک (LAMM) بالاترین مقاومت پیوستگی را از خود نشان داده است، و بتنهای بدون ماده افزودنی (OM) نتیجه مشابه با بتن های حاوی میکروسیلیس (OSM) داشته اند. بتن LSMM حاوی SBR ( نیز عملاً پایین ترین مقدار مقاومت پیوستگی را داشته است. بطوریکه اکثر سطوح گسیختگی در این نمونه منطبق بر فصل مشترک می باشد. نتایج حاصل از آزمایشها نشان می دهد که با گذشت زمان مقاومت بتن OSM با سرعت بیشتری رشد کرده و در نهایت بالاترین مقدار پیوستگی را کسب کرده است. نتایج این آزمایش ها نشان می دهد که استفاده از ماده پلیمری اکریلیک در کل باعث بهبود مقاومت پیوستگی (۵۶ روزه) شده است.



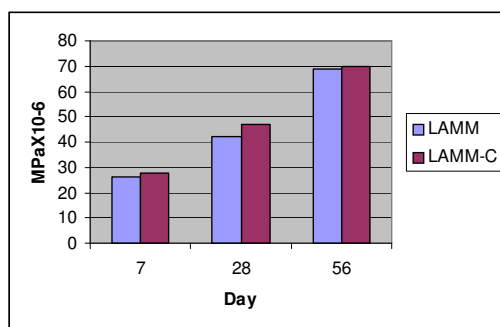
شکل ۳- اثر مواد افزودنی بر روی مقاومت پیوستگی

برای مطالعه اثر الیاف بر روی مقاومت پیوستگی از سه نوع بتن با و بدون الیاف استفاده شده است. مطابق با شکل زیر (شکل ۴) بین مقاومت های پیوستگی بتن های OSM, OSM-C, (بتن های تعمیری با میکروسیلیس و الیاف) تفاوت چندانی مشاهده نمی شود.



شکل ۴- اثر الیاف پروپیلنی بر روی مقاومت پیوستگی در بتنهای حاوی میکروسیلیس

این مطلب در مورد بتن های حاوی اکریلیک نیز مشاهده می گردد. به عبارت دیگر استفاده از الیاف مصنوعی تاثیر قابل توجهی بر روی مقاومت پیوستگی نداشته است (شکل ۵).



شکل ۵- اثر الیاف پروپیلنی بر روی مقاومت پیوستگی در بتنهای حاوی اکریلیک

### نتیجه گیری

- درکل استفاده از اکریلیک به مقدار ۷٪ وزنی سیمان، موجب کاهش جمع شدگی آزاد و افزایش مقاومت پیوستگی شده است. همچنین استفاده از SBR به میزان ۱۰ درصد وزنی سیمان، باعث کاهش مقاومت پیوستگی بتن علیرغم کاهش مقدار جمع شدگی آزاد شده است. با توجه به این مورد لزوم انجام آزمایشهای کنترل کیفی مواد پلیمری و تعیین شرایط استفاده از آنها (درصد مصرف، شرایط عمل آوری و ...) و کلاً تدوین استاندارد ها و معیارهای لازم برای استفاده از مواد پلیمری در بتن منطبق بر شرایط اقلیمی ایران بیشتر احساس می شود.
- استفاده از ۷٪ وزنی میکروسیلیس باعث افزایش مقاومت پیوستگی شده است. همچنین استفاده از میکروسیلیس موجب افزایش جمع شدگی آزاد گردیده است.
- بر مبنای نتایج بدست آمده استفاده از الیاف در بتنهای حاوی میکروسیلیس، اکریلیک و SBR تاثیر قابل توجهی بر روی مقاومت پیوستگی نداشته است.

1. Austin, S.A. and Robins, P.J. (1995). Tensile bond testing of concrete repairs. *Material and Structures*. pp (28) 249-259.
2. Spiratos, N. and Jolicoeur, C. (2000). Trends in Concrete Chemical Admixtures for the 21st Century. *ACI Material Journal*. pp (195) 1-16.
3. El-Hawary, M.1. Al-Khaiat, H. and Fereig S. (2000). Performance of epoxy-repaired concrete in a marine environment. *Cement and concrete research*. pp. 259-266(8).
4. Guangjing, X, and Jinwei, L. (2002). A way for improving interfacial transition zone between concrete substrate and repair materials. *Cement and concrete research*. pp 1877-1881.
5. Agarwal, S.K. (2006). Pozzolanic activity of various siliceous materials. *Cement and concrete research*. pp. 1735-1739.
6. Tumidajski, J. (2005). Relationship between resistivity, diffusivity and microstructural descriptors for mortars with silica fume. *Cement and concrete research*. pp. 1262-1268.