

به نام خداوند جان و خرد
دکتر علی معظمی
شرکت مهندسی سازه بتن خاورمیانه

بتن هوشمند (Smart Concrete) :

بتن شکل پذیر قابل ارتجاع (Elasto Plastic Concrete)

بتن خود ترمیم (Self Healing Concrete)

چکیده :

بتن هوشمند شکل پذیر قابل ارتجاع خود ترمیم، با اضافه کردن الیاف پلیمری و نانو ذرات سیلیس به بتن معمولی باعث افزایش مقاومت کششی، خمشی، برشی، سایشی و خود ترمیمی بتن می گردد .

کاربرد الیاف پلیمری و نانو ذرات سیلیس در بتن پیوستگی و یکپارچگی عالی در بتن ایجاد می نماید .

نانو ذرات سیلیس واکنش پوزولانی به کریستالهای هیدروکسید کلسیم Ca(OH)_2 داده و ژل متراکم، یکپارچه و نامحلول هیدروکسید کلسیم سیلیکات (C - S - H) تشکیل می دهد .

نانو سیلیس به علت داشتن سطح ویژه بسیار زیاد مانند هسته عمل کرده و چسبندگی بسیار قوی با سیمان هیدراته تشکیل می دهد و از رشد بیشتر بلورهای هیدروکسید کلسیم جلوگیری نموده و مانند پوزولانها ترکهای ریز و منافذ مویین را پر کرده و در نهایت سبب تراکم ساختار سیمان، کاهش نفوذ پذیری، افزایش مقاومت، دوام و عمر مفید سازه های بتنی می گردد .

در اثر آب و هوا ترکهای ریز و منافذ مویین بتن، خود ترمیم شده و بتن آسیب دیده استحکام خود را دوباره بدست می آورد.

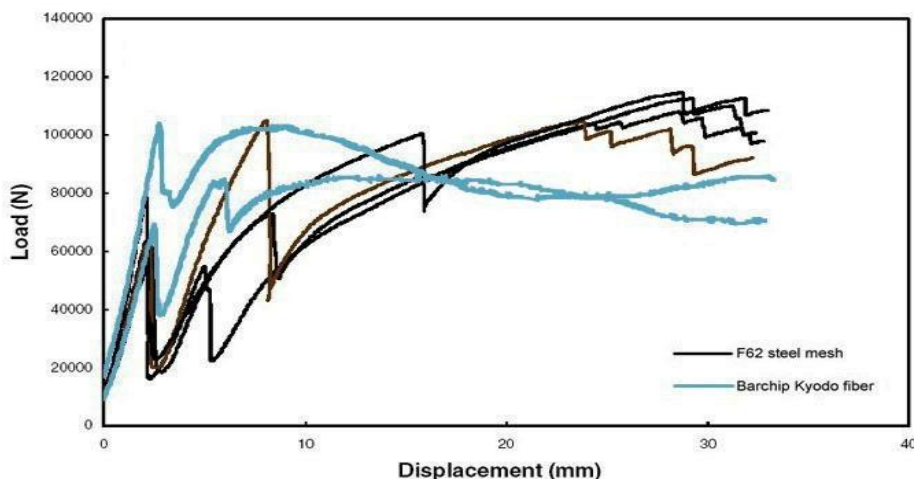
واژگان کلیدی : بتن ، الیاف پلیمری ، نانو ذرات سیلیس ، بتن هوشمند شکل پذیر خود ترمیم ، آزمایش.

بتن، سنگ مصنوعی ساخته دست بشر مخلوطی از سیمان، آب و سنگدانه است و پر مصرف ترین ماده در جهان می باشد . در گروه جامدات هوشمند بودن بتن برای بشر نا شناخته بوده و انسان به درصد کمی از پیچیدگی های بتن پی برده است. با کسب علم و دانش لازم می توان عمر مفید سازه های بتنی را افزایش داده و خواص این ماده هوشمند را در سازه های بتنی با دوام، با عمر مفید زیاد همراه با طبیعت این کره خاکی گام به گام پیش برد. بتن معمولی ترد و شکننده بوده و نیروهای زلزله باعث شکست ناگهانی و فروریختن سازه های بتنی می گردد . با قرار دادن فولاد داخل بتن و مسلح کردن آن فولاد نیروهای کششی را تحمل نموده و از طرفی در خیلی از موارد نیروهای کششی به طور دقیق مخصوصاً در بارهای دینامیکی مشخص نمی باشد . ایران از نظر لرزه خیزی در منطقه فعال جهان قرار دارد. به گواهی اطلاعات مستند علمی و مشاهدات قرن بیستم یکی از پر خطرترین مناطق جهان در اثر زمین لرزه های پر قدرت محسوب می شود . به طور متوسط هر پنج سال یک زمین لرزه با آسیب های جانی و مالی بسیار زیاد در ایران رخ داده است. ژاپنی ها تحقیقات وسیعی روی بتنی انجام داده اند که بتن قبل از شکستن چندین برابر بتن معمولی مقاومت کششی را تحمل می نماید . در خصوص تامین نرمی و طاقت بتن در کشش و کنترل ترکها استفاده از الیاف پلیمری مورد توجه قرار گرفته است.

بتن شکل پذیر قابل ارتجاع (Elasto Plastic Concrete)

با اضافه کردن الیاف پلیمری به بتن مقاومت کششی، خمشی، برشی و سایشی بتن افزایش یافته و پیوستگی و یکپارچگی عالی در بتن ایجاد می گردد .

بتن شکل پذیر قابل ارتجاع دارای قابلیت جذب انرژی زیادی بوده (شکل ۱ و نمودار ۲) و در مقابل زلزله، بارهای ضربه ای و نیروهای دینامیکی بسیار مقاوم می باشد .



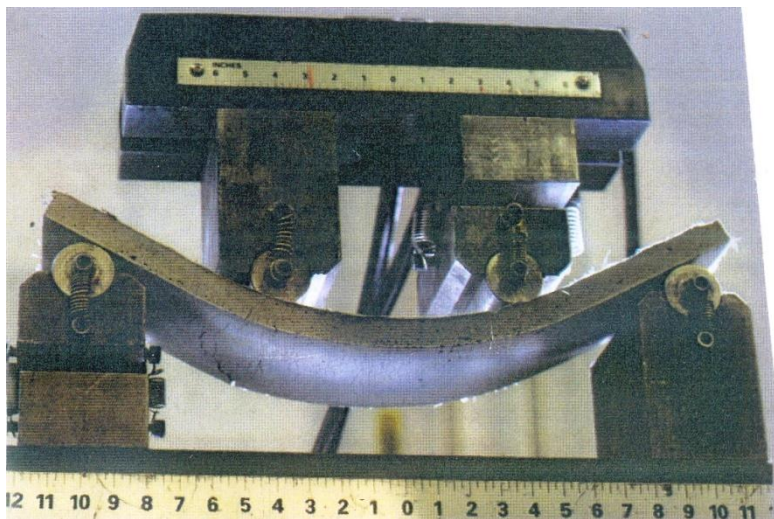
(نمودار ۲)



(شکل ۱) : جذب انرژی بتن شکل پذیر

قابل ارتجاع ASTM C-۱۵۵۰

الیاف پلیمری موجود در بتن شکل پذیر قابل ارتجاع از ایجاد ترک در بتن پیشگیری نموده و باعث افزایش مقاومت بتن در مقابل خوردگی، افزایش دوام بتن، افزایش مقاومت در مقابل خستگی حیاتی بتن، افزایش مقاومت در مقابل تنشهای ناشی از چروک خوردگی بتن، افزایش پایداری در اثر آتش سوزی، شوک حرارتی و انفجار و افزایش مقاومت بتن در مقابل کاویتاسیون (Cavitation) میگردد (شکل ۳).



ROUND PANEL TESTING



BARCHIP
۹۹.۸% RETENTION OF
ENERGY ABSORPTION



STEEL FIBRE
۵۴.۴% RETENTION OF
ENERGY ABSORPTION

(شکل ۳) : بتن شکل پذیر قابل ارتجاع

کاربرد بتن شکل پذیر قابل ارتجاع با استفاده از الیاف پلیمری در دال و عرشه پلها، ترمیم سازه های بتنی، بتن پاششی، گذرگاههای فرودگاه، ورزشگاهها، سرریز سدها، تثبیت خاک، معادن، پوشش تونل TBM، سازه های دریایی، منهول، کانالها، لوله های بتنی، اسکله، دیوارهای برگشت، تزریق حفره های زیر زمینی، پوشش کانالها، استحکام رامپ، استخرها، مخازن بتنی، سقفهای ساختمانهای مسکونی، پیاده روها، مسیرهای عبور و مرور صنعتی و تجاری و پارکینگ، قطعات پیش ساخته، تاسیسات شیمیایی و غیره میباشد.

بتن قابل ارتجاع فرم پذیر قبل از شکستن چندین برابر بتنی معمولی کشیده می شود و مقاومت کششی در نخستین ترک و مقاومت کششی نهایی بتن توسط الیاف پلیمری افزایش می یابد.

الیاف پلیمری آجدار موجود در بتن قابل ارتجاع فرم پذیر از انهدام تیر های بتنی در اثر کشش قطری جلوگیری کرده و در برخی از آزمایشها کاربرد الیاف پلیمری مقاومت برشی تیرها را بیش از ۱۰۰ درصد افزایش می دهد. نتایج آزمایشهای انجام شده بر روی ۷ تیر دارای الیاف پلیمری آجدار که چهار تیر آن خاموت هم داشته معادله زیر جهت برآورد V_{cf} پیشنهاد شده است .

$$V_{CF} = \frac{2F_t \left(\frac{d}{a} \right)^{0/25}}{3}$$

F_t : مقاومت کششی بتن که از نتایج کششی مستقیم استوانه ۱۵×۳۰ سانتیمتر بدست می آید.
 $\frac{d}{a}$: نسبت عمق موثر به دهانه برشی است.

اثرات انواع مختلف الیاف از طریق پارامتر F_t در معادله بررسی می شود روش طراحی پیشنهاد شده همان طریق ACI-۳۱۸ را در مورد محاسبه سهم خاموت در ظرفیت برشی را دنبال می کند که به آن نیروهای مقاوم بتن نیز که براساس تنش برشی معادله بالا محاسبه شده اضافه می گردد.

بتن خود ترمیم (Self Healing Concrete)

نانو ذرات سیلیس با ایجاد واکنش پوزولانی با کریستالهای هیدروکسید کلسیم $Ca(OH)_2$ ژل متراکم یکپارچه و نامحلول هیدروکسید کلسیم سیلیکات (C-S-H) تشکیل و نانو سیلیس بعلت داشتن سطح ویژه بسیار زیاد مانند هسته عمل کرده و چسبندگی بسیار قوی با سیمان هیدراته تشکیل میدهد.

نانو سیلیس با هیدروکسید کلسیم واکنش نشان داده و از رشد بیشتر بلورهای هیدروکسید کلسیم جلوگیری و مانند پوزولانها ترکهای ریز و منافذ مویین را پر کرده و در نهایت سبب تراکم ساختار سیمان و کاهش نفوذ پذیری و افزایش مقاومت و دوام و عمر مفید سازه بتنی میگردد.

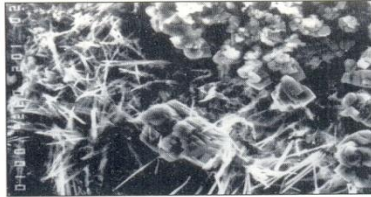
پروفسور ویکتور لی در دانشگاه میشیگان در رابطه با خود ترمیمی بتن در پلها و جاده ها به نتایج جالبی رسیده است بطوریکه ترکهای ریز و منافذ مویین در حد ۳۰ میکرون (یک سوم تار مو) در اثر آب و هوا خود ترمیم شده و بتن استحکام خود را دوباره بدست می آورد .

خود ترمیمی بتن از ورود آب و نمک و یون کلر و مواد شیمیایی داخل سازه بتنی جلوگیری نموده و از خوردگی (Corrosion) فولاد و تخریب بتن پیشگیری خواهد کرد .

- ACI Committee ۰۴۴ Fiber Reinforced Concrete
- www.elastoplastic.com
- Self Healing Concrete Infrastructure
- www.sciencedaily.com
- www.forbes.com
- www.xypex.com
- www.umich.com
- ASTM C-۱۰۰۰ Round Panel Under Test



1. An untreated control sample was sheared through at 50 mm below the end surface and the photograph is of the sheared face. Precipitated $\text{Ca}(\text{OH})_2$ Calcium Hydroxide together with cubic and rhombic particles are visible.



2. The sample treated with Xypex Concentrate was similarly sheared through at 50 mm below the end surface and the photograph is of the sheared face. Crystal formation by catalytic reaction emanating from the Xypex Concentrate is commencing. This can be seen starting from the areas of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ with growth toward the C-S-H gel.



3. This photograph of the sheared face taken at 26 days shows considerable crystallization developed from the gel of C-S-H. Therefore, within 26 days of treating the surface with Xypex Concentrate, the crystal growth had penetrated to a minimum of 50 mm.