

ارزیابی جمع شدگی در بتن مسلح شده با الیاف‌های مصنوعی

مسلم یوسفوند^۱، یاسر شریفی^۲ سعید یوسفوند^۳

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش سازه دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان M.yousefvand.vru@gmail.com
۲- دانشیار و عضو هیئت علمی گروه مهندسی عمران دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان Y.sharifi@gmail.com
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش سازه دانشگاه ملایر saeid.yousefvand@stu.malayeru.ac.ir

چکیده

تکنولوژی بتن مسلح شده با الیاف، به طور گسترده‌ای در نقاط مختلف دنیا و در پروژه‌های زیر بنایی اکثر کشورها استفاده شده است. به نظر می‌رسد دست اندر کاران و مهندسان صنعت ساخت در کشور ما، با خواص و مزیت‌های استفاده از این تکنولوژی آشنایی چندانی ندارند؛ نتیجه آن کم توجهی و عدم به کارگیری این تکنولوژی در اکثر پروژه‌های زیربنایی کشور است. جمع‌شدگی از مهمترین خواص دوام بتن به شمار می‌رود. رخداد ترک‌های ناشی از انقباض در بتن می‌تواند هزینه‌های زیادی از جمله تعمیر و نگهداری را با خود به همراه داشته باشد. جمع‌شدگی در سنین اولیه، خود به خود، جمع‌شدگی کربناتاسیونی و جمع‌شدگی ناشی از خشک شدن از اقسام مختلف جمع‌شدگی هستند. میزان جمع‌شدگی ناشی از خشک شدن در مقایسه با اقسام دیگر جمع‌شدگی در پژوهش حاضر از اهمیت بالاتری برخوردار بوده است. در پژوهش حاضر نیز با ثابت نگه داشتن تمامی پارامترهای اختلاط سعی بر آن شده که تاثیر هر کدام از الیاف‌های مصنوعی در کنترل میزان تغییر طول (جمع شدگی) بتن در آزمایشگاه را نشان دهیم. الیاف‌های مصنوعی تاثیر مثبتی را بر میزان جمع شدگی بتن از خود نشان دادند. استفاده از الیاف دوجزئی به میزان 4 کیلوگرم بر مترمکعب (۰/۴۴ درصد حجمی) می‌تواند در کنترل میزان جمع شدگی بتن کاربردی باشد. الیاف دوجزئی میزان ۲۲٪ و الیاف کورتا میزان ۱۸٪ درصد در مدت زمان ۱۵۰ روز بر بر کاهش جمع‌شدگی در نمونه بتنی تاثیر گذار بوده‌اند. این میزان جمع شدگی در طول آزاد نمونه است.

کلمات کلیدی: تکنولوژی بتن مسلح شده با الیاف، جمع شدگی

مقدمه

زوال یا اضمحلال در بتن عبارتست از هر گونه تغییر زیان آور در خصوصیات معمول شیمیایی، فیزیکی و مکانیکی بتن که هم در سطح و هم در جسم بتن رخ می دهد. از ویژگیهای مهم مصالح که تاثیر زیادی بر توانمندی و دوام سازه های بتنی مسئله جمع شدگی می باشد که سازه را دچار زوال می کند [1]. از عوامل موثر بر میزان جمع شدگی می توان به اندازه و نوع سنگدانه، نسبت آب به مصالح سیمانی، اندازه عضو، شرایط محیطی، افزودنی ها، پوزولان ها، و نوع سیمان اشاره کرد. آزمایش تعیین میزان جمع شدگی در بتن سخت شده بر اساس ASTM C157/C157M – 08 انجام شده است. این آزمایش در طول آزاد نمونه بتنی انجام می شود. مکانیزم الیاف برای کنترل ترک های ناشی از جمع شدگی را می توان به صورت زیر توضیح داد [2]:

- به جای ایجاد یک ترک سراسری، تعدادی ترک منقطع ایجاد می شود.
 - تنش های کششی از میان ترک ها منتقل می شوند. در واقع بتن الیافی پس از وقوع ترک، بخشی از مقاومت کششی خود را حفظ می کنند.
 - به دلیل انتقال تنش در یک مدت طولانی، امکان بسته شدن ترک های حاصل وجود دارد.
- آلفس^۱ تاثیر مقدار سنگدانه، مدول الاستیسیته آن و مقدار دوده سیلیسی را بر جمع شدگی بررسی نمود [3]. آن ها دریافتند که با افزایش زمان عمل آوری بتن و کاهش نسبت آب به مواد سیمانی، جمع شدگی ناشی از خشک شدن، کاهش می یابد.
- منگات و آذری^۲ دریافتند که الیاف تغییر شکل یافته می تواند انقباض بتن مسلح شده با الیاف فولادی را تا حدود ۴۰ درصد کاهش دهد [4].
- وانسا^۳ و همکاران تاثیر هر کدام از الیاف های مصنوعی و فلزی بر روی جمع شدگی بتن پیاده رو ها انجام دادند و دریافتند که الیاف مصنوعی بیشترین تاثیر را بر جمع شدگی دارد [5].

در پژوهش حاضر نیز با ثابت نگه داشتن تمامی پارامترهای اختلاط سعی بر آن شده که تاثیر هر کدام از الیاف های مصنوعی کورتا و دوجزئی را در کنترل میزان تغییر طول (جمع شدگی) بتن در آزمایشگاه را نشان دهیم. به نظر استفاده از الیاف های مذکور تاثیر بالایی هم بر میزان جمع شدگی شدن بتن داشته است.

¹ Alfes

² Mangat and Azari

³ Vanesa



مرکز تحقیقات
راه، مسکن و شهرسازی

دهمین کنفرانس ملی بتن
۱۵ و ۱۶ مهر ماه ۱۳۹۷
مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی



انجمن علمی بتن ایران



انجمن بتن ایران
انجمن علمی بتن ایران

۱. مصالح

روش تحقیق

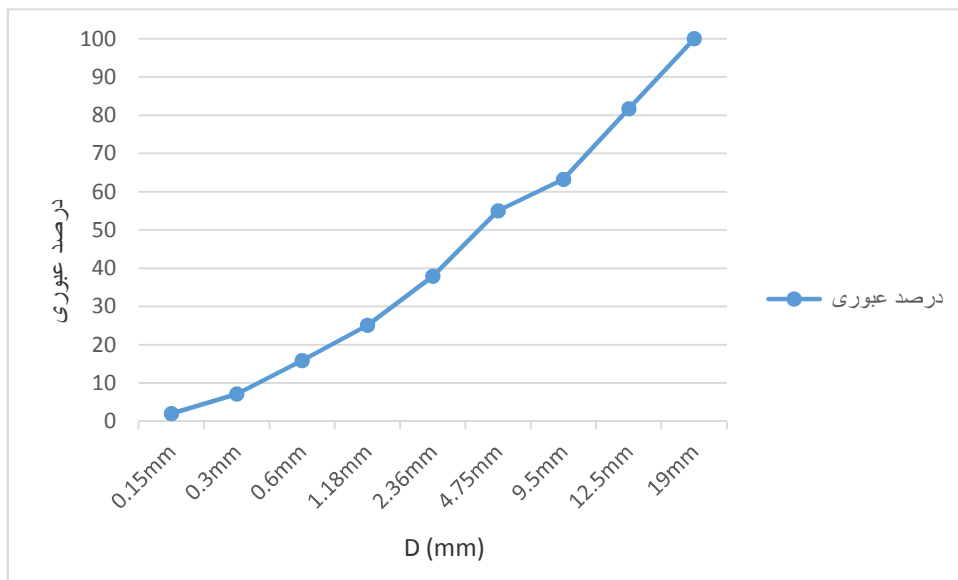
سنگدانه‌های مصرفی (شن و ماسه) در این پژوهش از مصالح بومی منطقه رفسنجان استان کرمان می‌باشند (شکل ۱)، (نمودار ۱)، دانه‌بندی کل مخلوط سنگدانه‌ها است. مقدار نرمی کل مخلوط برابر ۵/۱۴ می‌باشد. درشت دانه مصرفی در این پژوهش از نوع رودخانه‌ای با چگالی ۲/۶۹ و حداکثر اندازه ۱۹ میلی‌متر، همچنین ریزدانه مصرفی از نوع طبیعی شسته با چگالی ۲/۶ استفاده شد. سیمان مصرفی سیمان پرتلند تیپ ۲ کرمان می‌باشد (جدول ۱). جهت رسیدن به اسلامپ

مناسب از افزودنی فوق روان کننده کربوکسیلاتی استفاده شده است. الیاف‌های مصرفی شامل الیاف کورتا و الیاف دوجزئی هستند (شکل ۳-۲) و مشخصات آن‌ها در (جدول ۳-۲) آورده شده است. الیاف به میزان ۴ و ۲ کیلوگرم در مترمکعب (۰/۴۴ و ۰/۲۲ درصد حجمی) برای آزمایش جمع‌شدگی استفاده شده است.

پنج طرح اختلاط E (شاهد)، EK (الیاف کورتا)، ED (الیاف دوجزئی) که مشخصات طرح‌های اختلاط بتن در این پژوهش در (جدول ۴) آمده است.



شکل ۱- تصویر مربوط به سنگدانه‌های مصرفی (شن و ماسه) با حداکثر اندازه ۱۹ میلیمتر



نمودار ۱- دانه بندی سنگدانه‌ها (شن و ماسه)

جدول ۱- مشخصات شیمیایی سیمان پرتلند تیپ ۲ کرمان

Component	Loss on Ignition	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Cl	Free CaO	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
Result (%)	1/19	21/50	4/95	3/97	63/52	1/75	2/20	-	1/4	50	24	6/4	12/1



شکل ۳- الیاف کورتا



شکل ۲- الیاف دو جزئی

جدول ۳- مشخصات کلی الیاف کورتا

پلی پروپیلن - کوپلیمر اصلاح شده	مواد سازنده
رشته درهم تابیده شده	شکل
۴۵ میلیمتر	طول
۸۰۰-۴۵۰ مگاپاسکال	مقاومت کششی
۰/۹۴ - ۰/۹۱	وزن مخصوص
ندارد	جذب آب

جدول ۲- مشخصات کلی الیاف دو جزئی

پلی الفین اصلاحی شده نانویی	مواد سازنده
تارهای شبکه ای تابیده	شکل
۱۸ میلیمتر	طول
۲۵۰۰-۵۰۰ مگاپاسکال	مقاومت کششی
۰/۹۴ - ۰/۹۱	وزن مخصوص
ندارد	جذب آب

جدول ۴- طرح اختلاط

طرح اختلاط (Mix)	الیاف (kg/m ³)	فوق روان کننده (kg/m ³)	سیمان (kg/m ³)	شن (kg/m ³)	ماسه (kg/m ³)	آب (kg/m ³)
E	-	0/6	400	850	957	195
ED	4 2	0/6	400	850	957	195
EK	4 2	0/6	400	850	957	195

۲. جمع شدگی

این روش آزمایش بر اساس ASTM C157/C157M - 08 به تعیین تغییرات طولی که توسط علل غیر از نیروهای خارجی اعمال شده و تغییرات دما در ملات هیدرولیکی و بتن ساخته شده در آزمایشگاه و در معرض شرایط کنترل شده درجه حرارت و رطوبت را پوشش می‌دهد. اندازه‌گیری تغییر طول اجازه می‌دهد که پتانسیل انبساط حجمی یا انقباض ملات یا بتن به دلیل علل مختلف به غیر از نیروی اعمال شده یا تغییر دما را اندازه بگیریم. این روش آزمون به ویژه برای ارزیابی مقایسه‌ای این پتانسیل در ملات هیدرولیک یا مخلوط‌های بتنی متفاوت است. کاهش حجم یکی از ویژگی‌های مهم مصالح است. جمع - شدگی به چهار رده جمع شدگی در سنین اولیه (پلاستیک یا موبینه)، جمع شدگی خود به خود، جمع شدگی ناشی از خشک شدن، و جمع شدگی ناشی از کرناسیون تقسیم می‌شود. جمع شدگی اولیه استفاده از طرح اختلاط و عمل‌آوری درست قابل کنترل است. به نظر ASTM C305، که توصیه می‌کند در هوای گرم و خشک، قالب‌های چوبی نمی‌توانند از تبخیر آب جلوگیری کنند و در صورت استفاده از این نوع قالب‌ها، باید آنها را با پوشش مناسب و مرطوب محافظت کرده جهت کنترل این نوع از جمع شدگی است. جمع شدگی خود به خودی نتیجه تغییرات حجمی ناشی از هیدراسیون سیمان است. جمع شدگی خشک شدن ناشی از خشک شدن سیمان و مصالح بتنی است. جمع شدگی کرناسیونی نیز هنگامی رخ می‌دهد که محصولات ناشی از هیدراسیون با CO₂ محیط واکنش می‌دهد [6].

جمع شدگی خودبه خودی به کاهش حجم به علت هیدراتاسیون سیمان اطلاق می‌شود. این پدیده در شرایطی که رطوبت از بتن به محیط انتقال پیدا نمی‌کند، نیز صورت می‌گیرد. برای بتن‌های با مقاومت معمولی و نسبت آب به سیمان بیشتر از 0/4 تغییر حجم ناشی از جمع شدگی خودبه خودی کمتر از جمع شدگی ناشی از خشک شدن می‌باشد و معمولاً در نظر گرفته نمی‌شود. فعل و انفعالات بین خمیر سیمان سخت شده و کربن دی‌اکسید منجر به جمع شدگی کرناتاسیونی می‌شود. کاهش حجم ناشی از این پدیده به آهستگی و در محیط پیرامونی صورت می‌گیرد و نسبت به جمع شدگی ناشی از خشک شدن قابل صرف نظر می‌باشد [7].

تجهیزات آزمایش

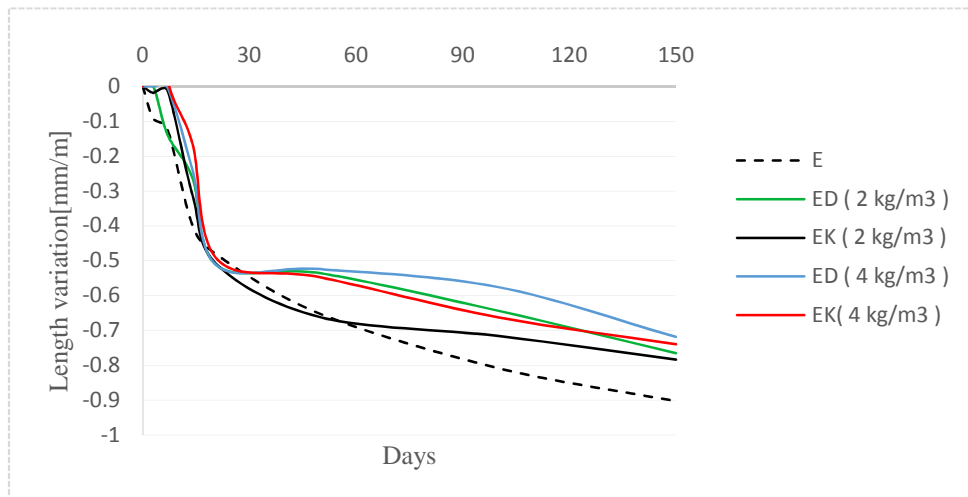
قالب، دستگاه اندازه‌گیری طول، میله کوب، اتاق خشک، وسیله‌های کنترل (دما سنج و رطوبت سنج) نمونه برداری

نمونه بتن تازه را مطابق ASTM C192 دستورالعمل ساخت و عمل‌آوری نمونه بتن در آزمایشگاه آماده و در قالب منشوری ۵*۵*۲۸ سانتی متر ریخته شد و به مدت ۲۸ روز در آب آهک عمل‌آوری‌آوری شدند. اگرچه ابعاد قالب استاندارد ۷/۵*۷/۵*۲۸ سانتی متر است اما به دلیل اینکه هدف اندازه‌گیری تغییرات طول نمونه است از آن چشم‌پوشی می‌کنیم. روش و فرایند انجام آزمایش

پس از نمونه‌گیری و عمل‌آوری نمونه‌ها، نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در آب با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند و سپس قرائت اولیه طول نمونه‌ها انجام شد. پس از آن نمونه‌ها به اتاق خشک انتقال یافتند. اتاق کاملاً ایزوله و دما و رطوبت موجود در اتاق توسط دمای اتاق ۲۶ درجه و درصد رطوبت ۵۰ درصد اندازه‌گیری شد. تا پایان مراحل آزمایش کنترل و ثابت نگه داشته شد. قرائت طول توسط دستگاه دیجیتالی دقیق با دقت هزارم میلی‌متر در روزهای ۳، ۷، ۱۴، ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰ مطابق (شکل ۴) انجام شد. و نمودار مطابق (نمودار ۲) گزارش شده است.



شکل ۴- قرائت طول توسط دستگاه جمع‌شدگی



نمودار ۲- نتایج مربوط به آزمایش جمع شدگی

جمع بندی، بحث و نتیجه گیری

در بسیاری از اعضای بتنی ممکن است به دلایل تئوریک انتظار ترک‌های ناشی از انقباض وجود داشته باشد اما هیچ ترکی رخ نمی‌دهد یا اندازه ترک‌ها کوچکتر از آنچه که مورد انتظار است می‌باشد. واضح است که جمع‌شدگی خشک شدن (بلند مدت) نمی‌تواند به تنهایی مقدمه‌ای برای بروز ترک بدون در نظر گرفتن بار خارجی باشد. همان‌طور که در متن اشاره شد در صورت استفاده از نسبت آب به سیمان بالاتر از ۰/۴ می‌توان از جمع‌شدگی خود به خود در برابر جمع‌شدگی خشک صرف نظر کرد. جمع‌شدگی ناشی از کرناسیون نیز در مقابل جمع‌شدگی ناشی از خشک شدن نیز قابل چشم‌پوشی است. استفاده از الیاف بر ماتریس خمیر تاثیر می‌گذارد و نواحی اطراف خود را متخلخل می‌کند و باعث آب‌انداختگی به دام افتادن آب در اطراف نواحی اطراف الیاف مسلح کننده می‌شود [8]. استفاده از الیاف میکرو پلی‌پروپیلن به میزان ۰/۹ کیلوگرم بر مترمکعب احتمال ترک‌های ناشی از نشت پلاستیک و جمع‌شوندگی پلاستیک در سنین اولیه بتن را کاهش می‌دهد [9]. روند جمع-شدگی ناشی از کرناسیون به سن نمونه و نسبت آب به سیمان بستگی دارد [10]. در واقع با بالا رفتن سن بتن و کسب مقاومت هیدروکسید کلسیم موجود در بتن رفته رفته مصرف می‌شود و تاثیر بر میزان جمع‌شدگی کمتر می‌شود. با توجه به مطالب ذکر شده استفاده از الیاف بر روی تمام انواع جمع‌شدگی تاثیر گذار است. با توجه به کنترل طرح اختلاط و عمل آوری و بالا بودن نسبت آب به سیمان و کسب مقاومت کافی بتن، می‌توان این آزمایش را تا حدود بسیار زیادی نمایانگر جمع‌شدگی ناشی از خشک شدن در طول آزاد نمونه بتنی دانست. الیاف دوجزئی میزان ۰/۲۲٪ و الیاف کورتا میزان ۰/۱۸٪ درصد بر کاهش جمع‌شدگی در نمونه بتنی تاثیر گذار بوده‌اند. مطمئن الیاف در سازه‌های مقید نقش خود را بیشتر نشان می‌دهد.

در سازه‌های بتنی بار خارجی وجود دارد و الیاف می‌تواند در اعضاء مقید سازه نقش خود را به وضوح نشان دهد. در رابطه با موضوع پژوهش پیشنهاد می‌شود که دست اندرکاران صنعت ساخت و ساز از الیاف در مسلح سازی بتن جهت جلوگیری از وقوع ترک‌های انقباضی در تمامی اعضای سازه استفاده کنند. پیشنهاد می‌شود در اعضای مقید سازه ای آزمایش انجام شود و تاثیر آن با نتایج پژوهش جاری مقایسه شوند.

مراجع

- [۱] رضا اکبری، ترمیم ترک در بتن و پلهای بتنی (انواع ترک، علل و روش های ترمیم)، انتشارات ارکان دانش، ۱۳۸۷.
- [2] Hoff, George C. "Durability of fiber reinforced concrete in a severe marine environment." Special Publication 100 (1987): 997-1042.
- [3] Alfes, C. "Modulus of elasticity and drying shrinkage of high-strength concrete containing silica fume." Special Publication 132 (1992): 1651-1671.
- [4] Mangat, P. S., and M. Motamedi Azari. "A theory for the free shrinkage of steel fibre reinforced cement matrices." Journal of materials science 19.7 (1984): 2183-2194.
- [5] Ortega-López, Vanesa, et al. "Durability studies on fiber-reinforced EAF slag concrete for pavements." Construction and Building Materials 163 (2018): 471-481.
- [6] Shi, Caijun, Mo, Y.L., High-performance construction materials : science and applications, c2008.
- [۷] محمد شکرچی زاده ، سه‌ند عسگرپور، سینا خدابخش رشاد ، احسان کامل. "جمع شدگی بتن های سبک و روشهای اندازه گیری آن در استانداردها و ادبیات فنی " پنجمین کنفرانس ملی بتن ایران- تهران، مهرماه ۱۳۹۵.
- [۸] اوپس افضل‌ی‌ننیز، علی معصومی، بتن های مسلح الیافی، انتشارات حامیان، ۱۳۹۶.
- [9] Concrete society technical report No. 63 (2011), Guidance for the design of steel fiber reinforced concrete, camberley, surry, UK.
- [10] Persson, Bertil. "Experimental studies on shrinkage of high-performance concrete." Cement and Concrete Research 28.7 (1998): 1023-1036.