

انقباض بتنهای حاوی سیمان پوزولانی

علی اکبر مقصودی^۱، حامد احمدی مقدم^۲

1- عضو هیات علمی، بخش عمران، دانشگاه شهید باهنر کرمان

2- عضو هیات علمی مدعو، گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد فومن

تلفن: 09111480311، پست الکترونیکی: hamedahmadi_m@yahoo.com

خلاصه

امروزه استفاده از پوزولانها به دلیل مزایای زیاد آن به مقدار زیادی در صنعت بتن به عنوان جایگزین سیمان رواج یافته است. این بتن‌ها در جمع شدگی ناشی از انقباض رفتار متفاوتی نسبت به نمونه‌های شاهد دارند. هدف از پژوهش حاضر بررسی مقدار انقباض نمونه‌های منشوری بتنی تا سن 90 روز، در صورت تغییر پارامترهای درصد پوزولان جایگزین سیمان، نوع پوزولان و نوع سیمان بتن با طرح اختلاط و نسبت آب به مواد سیمانی ثابت در شرایط نگهداری مرطوب و مقایسه آن با نمونه شاهد می باشد.

کلمات کلیدی: پوزولان، انقباض بتن.

1. مقدمه

هنگامی که خمیر سیمان اشباع در رطوبت محیط معمولی قرار می گیرد از لحاظ ابعادی پایدار نمی ماند و در این محیط غیر اشباع، به علت آنکه ژل سیلیکات کلسیم هیدراته، مقداری از آب جذب شده خود را از دست می دهد، تغییر شکل ناشی از جمع شدن پیدا می کند. به طور خلاصه کرنش ایجاد شده بر اثر جمع شدگی، به خروج آب جذب شده و حرکت آن از خمیر سیمان هیدراته نسبت داده می شود. علت فرعی جمع شدگی ناشی خشک شدن، حرکت و خارج شدن آب در فضاهای مویینه بتن بر اثر کشش هیدرواستاتیکی است. اگرچه جمع شدگی ناشی از خشک شدن تابعی از مقدار خمیر سیمان هیدراته شده است اما تناسب مستقیمی بین آنها موجود نیست و این موضوع به دلیل قیودی است که کنترل کننده تغییر شکل بوده و تاثیر زیادی بر میزان تغییر شکل می گذارد. عواملی نظیر دانه بندی، حداکثر اندازه سنگدانه، شکل و بافت سنگدانه ها نیز در میزان جمع شدگی موثر می باشند. اکثر محققین معتقدند که مدول ارتجاعی سنگدانه مهمترین عامل می باشد و خواص دیگر سنگدانه به صورت غیر مستقیم، یعنی یا از طریق تاثیرشان بر روی میزان سنگدانه بتن و یا از طریق تاثیر بر روی تراکم پذیری مخلوط بتن، موثر خواهند بود. به گونه ای که با افزایش میزان سنگدانه، نسبت جمع شدگی کاهش می یابد [1]. تروکسل و همکارانش [2] در تحقیقاتی که بر روی جمع شدگی بتن تا سن 23 سال انجام داده اند، نشان دادند که مقدار جمع شدگی بتن، بر اثر تعویض سنگدانه با مدول ارتجاعی بالا نسبت به جمع شدگی سنگدانه با مدول ارتجاعی پایین، 2/5 برابر شده است. یکی دیگر از عوامل جمع شدگی بتن، تراوش آب جذب شده و آب نگه داشته شده در حفرات ریز توسط کشش مویینگی خمیر سیمان هیدراته شده، به طرف فضاهای مویینه بزرگتر یا به طرف خارج سیستم می باشد که یک عمل وابسته به زمان است. تروکسل و همکارانش [2] در تحقیقات خود در مورد جمع شدگی بتن های با نسبتهای اختلاط مختلف و با انواع سنگدانه ها و شرایط مختلف محیطی و بارگذاری دریافتند که 20 تا 25 درصد جمع شدگی 20 ساله در 2 هفته، 50 تا 60 درصد آن در 3 ماه و بالاخره 70 تا 80 درصد آن در یک سال اتفاق می افتد. با یک مقدار سیمان ثابت، افزایش نسبت آب به سیمان سبب افزایش جمع شدگی می شود. کاهش مقاومت (و بنا بر این مدول ارتجاعی) و افزایش تراوایی بتن احتمالاً می تواند دلایل بروز پدیده فوق باشد. اندازه و شکل قطعه بتنی نیز تعیین کننده میزان جمع شدگی در بتن می باشد. این امر به علت مقاومتی که در خروج آب از داخل بتن به محیط خارج وجود دارد، آهنگ خروج آبی که در طی جمع شدگی از بتن خارج می گردد بستگی به طولی دارد که آب باید از داخل، به سطح بتن طی کند.

¹ استادیار

² مربی

امروزه استفاده از مواد پوزولانی به صورت طبیعی و مصنوعی در سیمان، نه تنها باعث کاهش آلودگی محیط زیست می گردد بلکه بهای تمام شده بتن را نیز کاهش می دهد و مهمتر اینکه موجب دوام بتن در محیط های مخرب می گردد [3].
پوزولانها سبب افزایش حجم حفرات ریز در محصولات ناشی از هیدراتاسیون سیمان می شوند. از آنجا که جمع شدگی در بتن وابسته به آب محبوس شده در حفرات ریز در محدوده 3 تا 20 نانومتر می باشد، لذا بتن های حاوی افزودنیهای ایجاد کننده حفرات ریز، معمولا جمع شدگی بیشتری را نشان می دهند [1].

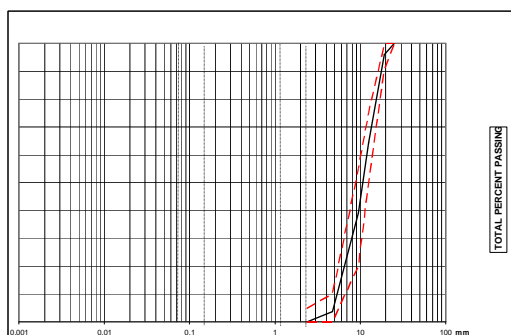
موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به منظور استفاده از پوزولان در سیمان و بتن دو استاندارد 3433 با عنوان «ویژگیهای پوزولانهای طبیعی» [4] و 3433 با عنوان «ویژگیهای سیمان پرتلند پوزولانی» [5] را تصویب کرده است. استاندارد 3432 موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، سیمان پرتلند پوزولانی را اینگونه بیان می کند: «سیمان پرتلند پوزولانی، مخلوطی است از حداکثر 15 درصد پوزولان طبیعی و دست کم 85 درصد کلینکر یا سیمان پرتلند با نرمی مشخص که در مجاورت آب به صورت جسم چسبنده ای در کارهای ساختمانی مصرف می شود».

2. هدف از این تحقیق

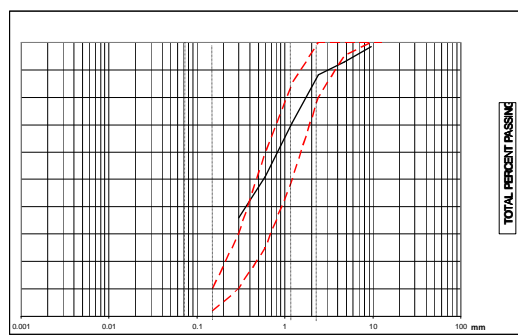
هدف از این تحقیق، بررسی و مقایسه کرنش ناشی از انقباض نمونه های بتنی تا سن 90 روز، در صورت تغییر پارامترهای درصد پوزولان جایگزین سیمان، نوع پوزولان و نوع سیمان بتن با طرح اختلاط و نسبت آب به مواد سیمانی ثابت 0/5، در محیط مرطوب می باشد.

3. مصالح مورد استفاده

شن و ماسه مصرف شده در این طرح از نوع شکسته، تهیه شده از معادن شهر کرمان می باشد که منحنی های دانه بندی ریز دانه و درشت دانه به ترتیب در شکل های (1) و (2) در مقایسه با محدوده مجاز ارائه شده توسط استاندارد ASTM C33 [6] آمده است. سیمان مورد استفاده در این پژوهش، دو نوع سیمان نوع 2 و 5 کارخانه سیمان کرمان می باشد که هر نوع، از یک خط تولید این کارخانه تهیه و بصورت یکجا در آزمایشگاه تکنولوژی بتن پیشرفته دانشگاه شهید با هنر کرمان دپو شده است. آب مورد استفاده در این مطالعه آب آشامیدنی شهر کرمان است و پوزولان مورد نیاز از معادن شهرهای رفسنجان و سیرجان تهیه شده است که پس از حمل به کارخانه سیمان کرمان در آسیاب این کارخانه آسیاب شده و پس از الک کردن به دانه بندی مورد نظر استاندارد 3433 موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران [5] (حداکثر درصد باقیمانده روی الک 45 میکرون به روش تر، برابر 34 درصد) رسیده است.



شکل (2) - منحنی دانه بندی شن طرح اختلاط



شکل (1) - منحنی دانه بندی ماسه طرح اختلاط

به منظور اطمینان از کیفیت پوزولانهای تولید شده، مقداری از آن در آزمایشگاه شیمی کارخانه سیمان کرمان، تحت آزمون شیمیایی ترکیبات تشکیل دهنده قرار گرفته است که نتایج آن به همراه نتایج مربوط به آنالیز شیمیایی دو نوع سیمان مورد استفاده، در جدول (1) آمده است. همچنین نتایج آزمایش بلین و مانده روی الک 170 برای دو نوع سیمان، در جدول (2) آمده است.

جدول (1) - آنالیز شیمیایی سیمان نوع 2 و 5 (سیمان کرمان) و پوزولانهای رفسنجان و سیرجان

	LOI	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Total
سیمان نوع دو	1/40	21/90	5/09	3/90	62/40	1/90	1/83	98/42
سیمان نوع پنج	1/25	21/67	3/51	4/72	63/91	1/8	2/07	98/93
پوزولان رفسنجان	2/96	60/68	18/88	4/24	4/72	1/39	0/06	92/93
پوزولان سیرجان	4/18	62/08	18/38	4/16	3/33	1/59	0/05	93/77

جدول (2) - بلین سیمان و مانده روی الک 170

نوع سیمان	بلین	باقیمانده روی الک 170
سیمان نوع دو	2850	3/1
سیمان نوع پنج	3258	-

بر اساس استاندارد ایران، مجموع در صداهای اکسید سیلیسیم، اکسید آلومینیوم و اکسید آهن نباید کمتر از 70 درصد باشد [5]. با توجه به جدول (1) ملاحظه می گردد که نتایج پوزولانهای رفسنجان و سیرجان، اراضع کننده مشخصات استاندارد ایران می باشد. همچنین برای تعیین کیفیت پوزولانهای مذکور، میزان فعالیت پوزولانی آنها به دو روش ترموگراویمتری و فیزیکی تعیین گردید. نتایج آزمایش ترموگراویمتری در جدول (3) آمده است. بر اساس نتایج این آزمایش که در آزمایشگاه نسوز شرکت تحقیق و توسعه صنعت سیمان انجام گرفته و با مقایسه آن با نتایج پوزولان مرغوب جاجرود (سیمان تهران) و همچنین با توجه به اینکه پوزولانهای مرغوب دارای اکتیویته 14 روزه حدود 45٪ تا 50٪ می باشند، نمونه های پوزولان سیرجان و رفسنجان به لحاظ اکتیویته، جزو پوزولانهای مناسب و نسبتا مرغوب محسوب می گردند.

جدول (3) - نتایج اکتیویته پوزولان به روش ترمو گراویمتری

ردیف	اکتیویته پوزولان				افت
	3 روزه	7 روزه	9 روزه	14 روزه	
نمونه پوزولان رفسنجان	25/98	-	43/56	46/04	1/99
نمونه پوزولان سیرجان	26/12	-	35/28	46/88	2/99
پوزولان مرغوب جاجرود	40/68	50/51	53/19	60/19	11/61

آزمایشات فیزیکی تعیین فعالیت پوزولانی نیز در آزمایشگاه کارخانه سیمان کرمان انجام گرفته است که نتایج آن در جدول (4) آمده است. در این جدول کلیه نمونه ها، از مخلوط سیمان نوع دو به اضافه 30 درصد پوزولان بوده و فعالیت پوزولانی از تقسیم مقاومت فشاری سیمان پوزولانی به مقاومت فشاری سیمان شاهد به دست می آید.

جدول (4) - نتایج تست روانی نمونه های پوزولان و آزمون فیزیکی تعیین فعالیت پوزولانی

فعالیت پوزولانی	مقاومت فشاری (کیلوگرم بر سانتیمتر مربع)			روانی	نوع سیمان
	3 ماهه	28 روزه	7 روزه		
-	442	372	300	138	سیمان شاهد نوع دو
1/01	448	346	228	144	نمونه معدن پوزولان سیرجان
1/05	462	356	234	151	نمونه معدن پوزولان رفسنجان

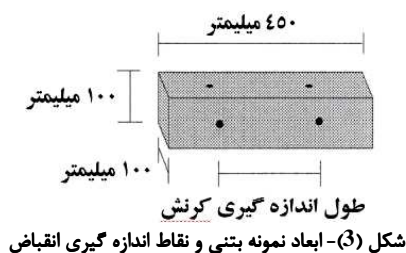
4. انجام آزمایشات و نتایج آن

پس از تهیه مصالح و تعیین مشخصات مورد نیاز، طرح اختلاط بتن به روش ACI211 [7] مطابق جدول (5) به دست آمد و بر این اساس نسبت به ساخت نمونه های منشوری بتنی به ابعاد 100×100×450 میلیمتر برای هریک از حالتها شاهد، 10 درصد و 16 درصد پوزولان جایگزین سیمان، از هر دو نوع سیمان دو و پنج و هر دو نوع پوزولان سیرجان و رفسنجان اقدام شد. تعداد نمونه ها سه نمونه برای هر سن می باشد.

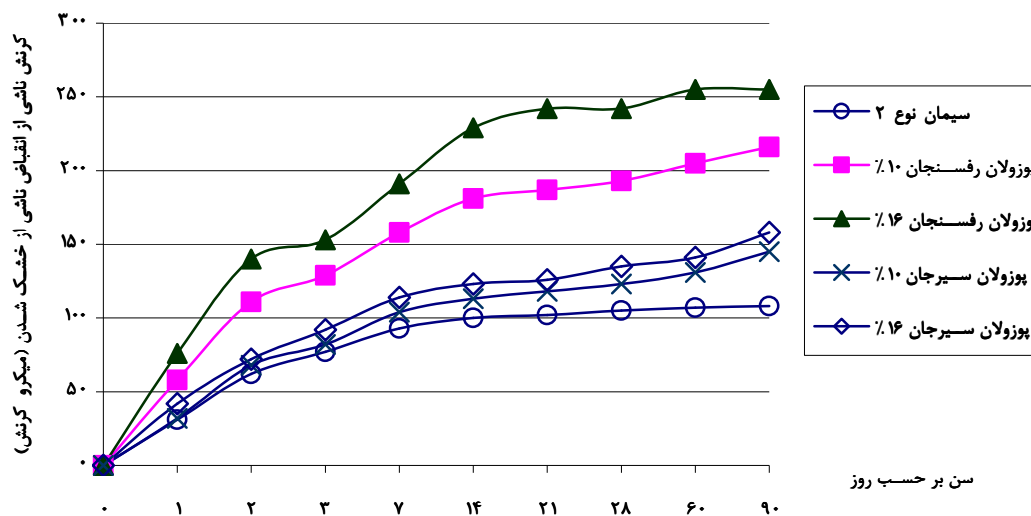
جدول (5)- ویژگیهای طرح بتن شاهد (بدون پوزولان) به روش ACI211

نوع نمونه	سیمان	درشت دانه	ریز دانه	آب
مقدار بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب بتن	350	800	937	175

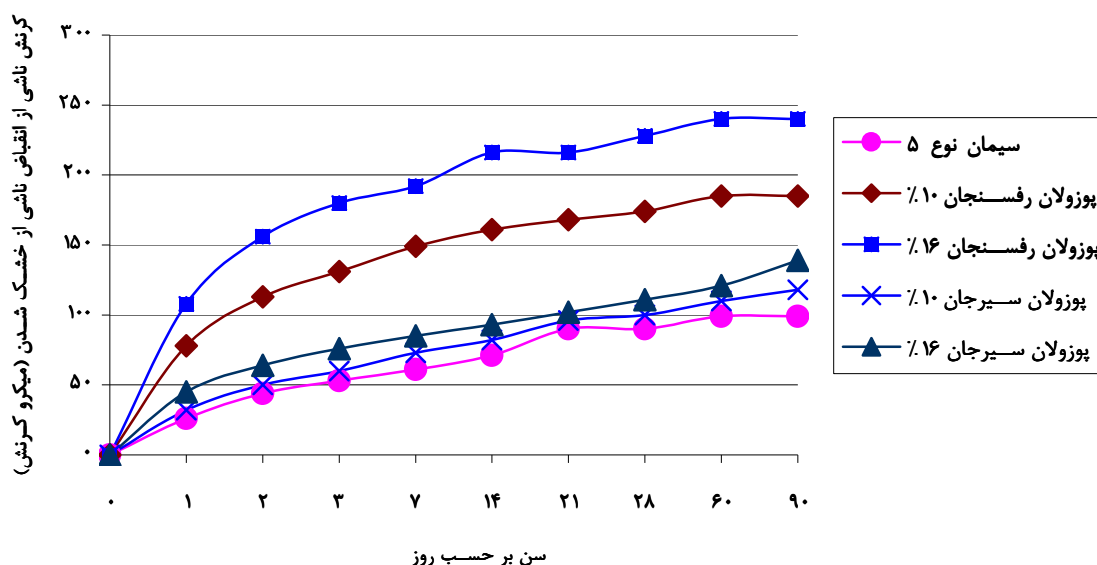
کلیه نمونه ها پس از بیرون آمدن از قالب به مدت چند ساعت در هوای آزاد مانده تا رطوبت سطحی آنها خشک شود، سپس بر روی آنها پولک چسبانده شده و فاصله آنها توسط یک شاخص تنظیم می شود و برای مدتی در هوای آزاد می ماند تا چسب خشک شود. بلافاصله پس از خشک شدن چسب، ابتدا توسط کرنش سنج فاصله بین پولکها قرائت شده و در رطوبت نسبی 75 درصد قرار می گیرند و در سنین 1، 2، 3، 7، 14، 21، 28، 60 و 90 روز کرنش ناشی از تغییر فاصله بین پولکها توسط کرنش سنج اندازه گیری می شود (شکل 3).



نتایج حاصل از قرائتهای کرنش ناشی از جمع شدگی ناشی از خشک شدن برای هر یک از سنین 1، 2، 3، 7، 14، 21، 28، 60 و 90 روز برای هریک از نمونه های شاهد و 10 و 16 درصد پوزولان جایگزین سیمان برای هر دو نوع سیمان کارخانه سیمان کرمان در اشکال (4) و (5) آمده است. نتایج مربوط به نمونه های ساخته شده با سیمان نوع دو در شکل (4) و سیمان نوع پنج در شکل (5) آمده است. در این اشکال مقدار کرنش بر حسب میکرو متر بر متر می باشد و هر یک از مخلوطها با درصد جایگزینی سیمان با پوزولان نشان داده شده اند.



شکل (4) - نمودار انقباض ناشی از خشک شدن (سیمان نوع دو و پوزولان های رفسنجان و سیرجان)



شکل (5)- نمودار انقباض ناشی از خشک شدن (سیمان نوع پنج و پوزولان های رفسنجان و سیرجان)

5. تحلیل نتایج

- 1- در کلیه حالات، مقدار کرنش ناشی از انقباض برای بتنهای حاوی پوزولان در مقایسه با نمونه های شاهد (بدون پوزولان) بیشتر است. این حالت ممکن است ناشی از کانیهای موجود در ساختار کانی شناسی پوزولان باشد. از طرفی ممکن است که چنین حالتی ناشی از عوامل شیمیایی نظیر افزایش مقدار درصد C_3A در اثر جایگزینی پوزولان با سیمان پرتلند باشد.
- 2- در سنین پایین (تا حدود 6 هفته) افزایش انقباض در نمونه های حاوی پوزولان در مقایسه با نمونه های شاهد عموماً از یک روند ثابت افزایشی برخوردار نیستند.
- 3- مقدار کرنش ناشی از انقباض برای نمونه های ساخته شده با سیمان نوع پنج بیشتر از نمونه های ساخته شده با سیمان نوع دو می باشد که این امر را می توان ناشی از کیفیت بالاتر سیمان نوع پنج کارخانه سیمان کرمان نسبت به سیمان نوع دو و نتایج بهتر مقاومتی و افزایش انقباض ناشی از افزایش مقاومت نمونه های ساخته شده با این سیمان دانست.
- 4- مقدار انقباض نمونه های ساخته شده با پوزولان رفسنجان دارای انقباض بیشتری نسبت به نمونه های ساخته شده با پوزولان سیرجان می باشد از طرفی مقدار انقباض در سنین اولیه برای نمونه های حاوی پوزولان رفسنجان نسبت به نمونه شاهد بسیار بیشتر می باشد این امر حاکی از آن است که با توجه به اینکه پوزولان رفسنجان مرغورتر از پوزولان سیرجان می باشد واکنشهای پوزولانی سریعتر و در سنین پایین تر انجام می شود و در نتیجه انقباض در سنین اولیه بیشتر می باشد.
- 5- پوزولانها سبب افزایش حجم حفرات ریز در محصولات ناشی از هیدراتاسیون سیمان می شوند. از آنجا که جمع شدگی در بتن وابسته به آب محبوس شده در حفرات ریز در محدوده 3 تا 20 نانومتر می باشد، لذا بتن های حاوی افزودنیهای ایجاد کننده حفرات ریز، معمولاً جمع شدگی بیشتری را نشان می دهند.
- 6- وقتی که خواص پوزولانی و یا سیمان کننده یک ماده طوری باشد که به عنوان جایگزین نسبی برای سیمان پرتلند در بتن بتواند استفاده شود صرفه جویی زیادی در انرژی و هزینه، نتیجه خواهد شد.

25 mm

7- با توجه به منافع مهندسی و اقتصادی ای که از استفاده از پوزولانها به عنوان جایگزین سیمان در بتن‌ها حاصل می شود این نکته حایز اهمیت است که جمع شدگی ناشی از خشک شدن بتن در این گونه بتن‌ها بیشتر می باشد، لذا باید در مصرف این بتن‌ها در پروژه های حساس دقت نمود و با توجه به نتایج آزمایشگاهی از درصد بهینه پوزولان جایگزین استفاده نمود.

12. مراجع

- [1] رضایانپور، علی اکبر؛ ریز ساختار، خواص و اجزای بتن (تکنولوژی بتن پیشرفته)، انتشارات دانشگاه امیر کبیر، تهران، 1384.
- [2] G.E.Troxll, J. M.Rahpael, and R. E Davis, *Proc. ASTM*, Vol. 58, pp. 1101-20, 1958.
- [3] مقصودی، علی اکبر، احمدی مقدم، حامد؛ بررسی ویژگی های مکانیکی پوشش بتنی کانال های آبیاری حاوی پوزولانهای طبیعی در محیط های سولفات، اولین همایش ملی سد و سازه های هیدرولیکی، کرج، 1386.
- [4] موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران؛ استاندارد شماره 3432، ویژگیهای پوزولانهای طبیعی"، تهران، 1373.
- [5] موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران؛ استاندارد شماره 3433، "ویژگیهای سیمان پرتلند پوزولانی"، تهران، 1373.
- [6] ASTM C 33-99a, "*Standard Specification for Concrete Aggregates*". [7] ACI Committee 211, "*Standard Practice for Selection of Properties for Normal, Heavy weight and Mass Concrete*" (ACI 211.1- Reapproved 1997)