اثر مخلوط های مختلف بتنی در پیوستگی بتن های تعمیراتی

علی اکبر رمضانیانپور
استاد

ناصر صدرایی
کارشناس ارشد

دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده

افزایش روزافزون سازه های بتنی که احتیاج به تعمیر داشته و مورد تعمیر واقع می شوند، این مسئله را در ذهن می پروراند که بتن تعمیری تا چه حدی با بتن سازه اصلی پیوستگی خواهد داشت و آیا می توان به عملکرد مطمئن و رضایتبخش این دو با یکدیگر مطمئن بود.

در این مقاله به بررسی اثر استفاده از مواد پوزولانی و همچنین فوق روان کننده بر مقاومت فشاری، میزان پیوستگی و جمع شدگی بتن های تعمیراتی پرداخته شده است.

در این تحقیق از مواد پوزولانی میکروسیلیس، تراس جاجرودو دیاتومه ممقان تبریز و همچنین از فوق روان کننده ملامین فرمالدئید (Melment) استفاده شده است.

آزمایش مقاومت فشاری بر روی نمونه های مکعبی و آزمایش برش مایل (Slant test) بر روی نمونه های منشوری انجام شده است. این نمونه ها با زاویه ۳۰° نسبت به محور قائم بریده شده و پس از آماده نمودن سطح آنها توسط بتن جدید تعمیر شده اند. آزمایش برش مستقیم نیز بر روی نمونه های استوانه ای به قطر ۶cm صورت پذیرفته است که برای این منظور وسیله ای ساخته شده است که بتوان برش خالصی را به مقطعی که فصل مشترک دو بتن جدید و قدیم است اعمال نمود. در آزمایش جمع شدگی از نمونه های منشوری استفاده شده است.

نتایج حاصل از انجام آزمایش ها نشان می دهند که استفاده از فوق روان کننده بیشترین تأثیر را در افزایش مقاومت فشاری و مقاومت پیوستگی دارد. به طوری که استفاده از این ماده مقاومت فشاری را تا حد ۵۰ درصد و مقاومت پیوستگی را تا حد ۷۰ درصد نسبت به بتن معمولی افزایش می دهد. این ماده همچنین جمع شدگی را تا حد ۲۰ درصد نسبت به بتن معمولی کاهش می دهد. استفاده از میکروسیلیس موارد فوق را به ترتیب ۱۸ و ۲۷ درصد افزایش داده و همچنین جمع شدگی را تا حد ۲۰ درصد کاهش می دهد. استفاده از دیاتومه و تراس تغییرات قابل ملاحظه ای نسبت به بتن معمولی نشان نداده اند.

The Effect of Different Concrete Mixtures on Bonding of Repaired Concretes

A. A. Ramezanianpour
Professor

Naser Sadrai
M.SC. in Civil Engineering

Civil Engineering Dept., Amirkabir Univ.

Abstract

There are a lot of concrete structures which need repair. The bonding between new and old concretes is an important factor to be considered in a successful and reliable concrete repair work.

In this paper the effects of pozzolonic materials and superplasticizers on compressive strength, bonding strength and shrinkage of repaired concretes are assessed. Silica fume, trass and diatomite as pozzolanic materials and melment as a superplasticizer were used throughout this investigation.

The compressive strength and slant shear tests were carried out. Some specimens were cut at an 30° angle and repaired with new concretes after surface preparations. Pure shear tests were carried out on 6 cm diameter cylinderical specimens at the surface of new and old concretes after cutting and repairing with new concretes. The concrete prism specimens were used for shrinkage tests.

Results of the tests show that the use of superplasticizers can increase the compressive strength and bonding strength of concrete mixtures. It has increased the compressive strength up to 50% and the bonding strength up to 70% in comparison with the normal concrete. It has also decreased the shrinkage of concrete up to 20%. The use of silica fume in concrete has increased the same strengths to 18% and 27% respectively. The reduction in the shrinkage of concrete was 20% . The use of diatomite and trass didnot show a significant improvement on the strength and shrinkage properties of the concrete mixtures.

مقدمه

امروزه نوع بتن و روش اجرایی که برای تعمیر سازه های بتنی مورد استفاده قرار می گیرد، مسئله مهم در مباحث تعمیر این سازه به شمار می آید. برای بهبود خواص اینگونه بتن ها از مواد مختلفی استفاده می شود که این مواد یا در حین ساخت بتن مورد استفاده قرار می گیرند و یا اینکه به عنوان جایگزین سیمان مصرف می شوند. مصرف بعضی از اینگونه مواد علاوه بر اینکه توجیه اقتصادی دارند، سبب بهبود خصوصیات مکانیکی و دوام بتن ها می گردند. در میان خصوصیات مکانیکی مقاومت فشاری مهم ترین آنها می باشد و سایر خصوصیات تقریباً به طور مستقیم با آن در ارتباط می باشند.

در این مقاله که هدف آن بررسی اثر مخلوط های مختلف بر روی پیوستگی بتن های تعمیری می باشد، مقایسه ای بین میزان رشد مقاومت فشاری و مقاومت پیوستگی بین دو بتن صورت پذیرفته است.

موادی که برای مخلوط های مختلف استفاده شده اند شامل مواد پوزولانی و فوق روان کننده بوده است که مواد پوزولانی به صورت جایگزینی بخشی از سیمان مصرفی به کار رفته است. فوق روان کننده نیز برای کاهش نسبت آب به سیمان مخلوط مورد استفاده قرار گرفته است. آزمایش هایی که میزان پیوستگی بین دو لایه توسط آنها اندازه گیری شده است، آزمایش های برش مایل و برش مستقیم بوده است. در این میان آزمایش برش مایل از مقبولیت بیشتری برخوردار است که استاندارد آن در ASHTO-۲۳۷ آمده است. آزمایش برش مستقیم نیز به هر حال آزمایش قابل قبولی می باشد، هر چند که استانداردی برای آن تدوین نشده است.

مصالح مصرفی و شرح آزمایش ها

شن و ماسه ای که برای انجام آزمایش ها مورد استفاده قرار گرفته اند از نوع غیر شکسته بوده و حداکثر اندازه مصالح شنی ۲۰ mm می باشد. مصالح شن و ماسه قبل از مصرف در بتن دانه بندی گردیدند که در حدود مشخص شده توسط استاندارد BS۸۸۲ قرار داشتند. ماسه در ناحیه یک دانه بندی این استاندارد قرار گرفت. دانه بندی ماسه در شکل ۱ و دانه بندی شن در جدول ۱ مشخص شده اند.

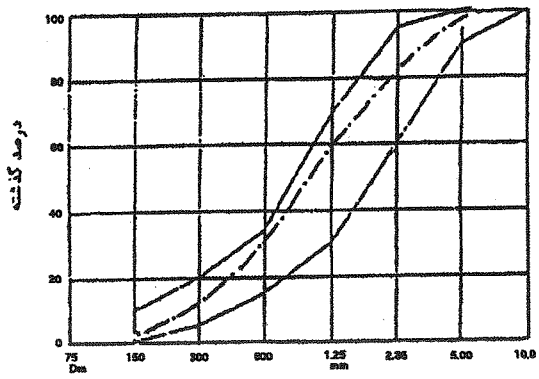
جدول (۱) دانه‌بندی شن مصرفی

درصد عبوری مشخص شده توسط استاندارد BS ۸۸۲	درصد وزنی عبوری از الک	اندازه In	الک mm
۱۰۰	۱۰۰	۱/۲ و ۱	۳۷/۵
۹۵–۱۰۰	۹۸	۳/۴	۲۰/۰
۳۰–۶۰	۵۷	۳/۸	۱۰/۰
۰–۱۰	۳	۳/۱۶	۵/۰

سیمان: سیمانی که جهت ساخت بتن مصرف شده است ، از نوع سیمان پرتلند نوع I بوده است. این سیمان محصول کارخانجات داخلی می باشد.

آب: آب مصرف شده جهت تولید بتن، آب لوله کشی شهر بوده که به دلیل استفاده شرب و بی مزه و طعم بودن آن، برای ساخت بتن مناسب تشخیص داده شد.

پوزولان های مصرفی: پوزولان هایی که برای تولید بتن های مختلف مصرف گردید، عبارتند از: دیاتومه، ممقان تبریز، تراس جاجرود و میکروسیلیس که میزان مصرف آنها برای تولید بتن به ترتیب ۱۰، ۱۵ و ۷ درصد جایگزین سیمان به صورت وزنی بوده است.



شکل (۱) منحنی دانه بندی ماسه مصرفی

جدول (۲) نتایج تجزیه شیمیایی پوزولان های مصرفی

نوع پوزولان	SiO_2 %	Al_2O_3 %	Fe_2O_3 %	CaO %	MgO %	K_2O %	Na_2O %	SO_3 %
دیاتومه	۷۳/۷	۱۳/۰	۱/۰	۱/۶۸	۰/۸	–	–	–
تراس	۶۸/۳	۱۲/۷	۱/۰	۲/۵۰	۱/۰	–	–	–
میکروسیلیس	۹۸/۰	۰/۲	۰/۲	۰/۱	۰/۱	–	–	–

میکروسیلیس مصرفی باتوجه به عدم تولید آن در داخل کشور در زمان انجام پروژه از نوع وارداتی بوده است. در صورتی که تراس و دیاتومه از منابع داخلی تهیه و آسیاب شده اند.

فوق روان کننده مصرفی از نوع Melment و ساخت کشور آلمان می باشد که از شرکت های داخلی تهیه گردیده است. فوق روان کننده فوق الذکر مطابق با استانداردهای ASTM C۴۹۴ و BS ۵۰۷۵ تهیه گردیده است. روان ساز ممتازی که برای این آزمایش ها مصرف شده از نوع Melment F۱۰ می باشد که به صورت پودر سفید رنگ است و دارای چگالی در حدود ۴۵ تا ۶۵ گرم بر هر ۱۰۰ سانتیمتر مکعب می باشد. براساس مشخصات توصیه شده درصد بهینه برای مصرف، ۱ درصد وزنی سیمان می باشد.

طرح اختلاط بتن های مصرفی

جهت انجام آزمایش از پنج نوع بتن استفاده شده است که به صورت زیر نامگذاری شده اند:

علامت اختصاری	نوع مواد سیمانی
OP	سیمان پرتلند معمولی (نوع I)
MP	سیمان پرتلند معمولی به اضافه ۷ درصد وزنی میکروسیلیس جایگزین سیمان
SP	سیمان پرتلند معمولی به اضافه ۱ درصد وزنی فوق روان کننده

TP سیمان پرتلند معمولی به اضافه ۱۵ درصد وزنی تراس جایگزین سیمان

DP سیمان پرتلند معمولی به اضافه ۱۰ درصد وزنی دیاتومه جایگزین سیمان

طرح اختلاط بتن های مختلف باتوجه به دانه بندی شن و ماسه و اندازه آنها براساس روش پیشنهادی Road Note 4 انجام پذیرفته است. مقادیر مواد مصرفی در جدول ۳ نمایش داده شده است. مقاومت مشخصه حدود kg/cm^2 ۳۵۰ انتخاب شده، همچنین اسلامپ موردنظر نیز بین ۳۰ تا ۶۰ میلیمتر در نظر گرفته شده است.

جدول (۳) مقادیر مصالح مصرفی در ساخت بتن ها

نسبت آب به مواد سیمانی	پوزولان kg/m^3	آب Lit	سیمان kg/m^3	شن kg/m^3	ماسه kg/m^3	نوع بتن
۰/۴۴	–	۱۵۴	۳۵۰	۱۱۷۵	۷۸۰	OP
۰/۴۴	۲۴/۵	۱۵۴	۳۲۶	۱۱۷۵	۷۸۰	MP
۰/۳۸	–	۱۳۳	۳۵۰	۱۱۷۵	۷۸۰	SP
۰/۴۴	۵۳/۰	۱۵۴	۲۹۸	۱۱۷۵	۷۸۰	TP
۰/۴۴	۳۵/۰	۱۵۴	۳۱۵	۱۱۷۵	۷۸۰	DP

عمل آوری نمونه های بتن

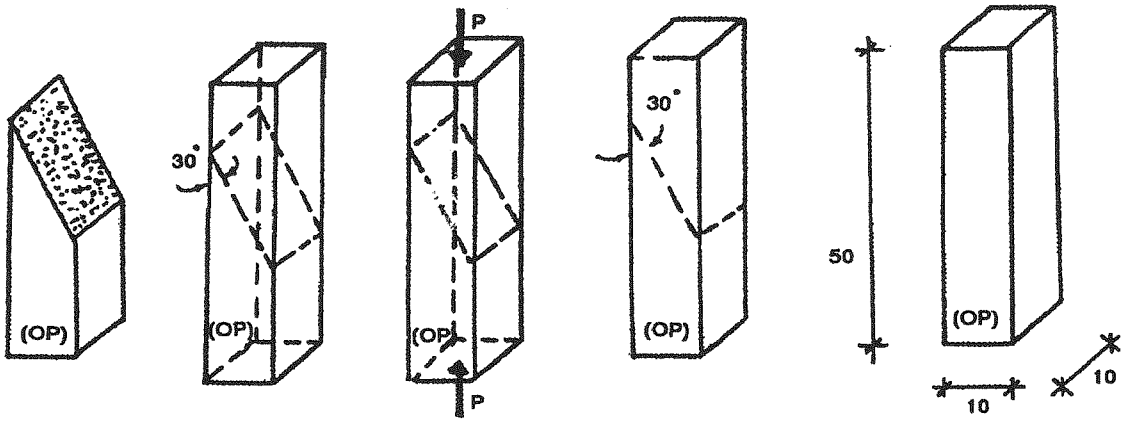
کلیه نمونه های ساخته شده تا روز آزمایش موردنظر در آب عمل‌آوری شده‌اند، به جز نمونه های مربوط به آزمایش جمع شدگی که پس از ۲۸ روز نگهداری در آب در محیط آزمایشگاه با رطوبت ۶۰ درصد و دمای ۲۰°c نگهداری شده‌اند.

ساخت نمونه های لازم

نمونه های مقاومت فشاری: جهت انجام آزمایش مقاومت فشاری از نمونه های مکعبی به ضلع ۱۵ سانتیمتر استفاده گردیده که توسط پرس‌های ۱۵۰ و ۳۰۰ تن مورد آزمایش قرار گرفتند.

نمونه های آزمایش برش مایل: برای تولید این نمونه ها ابتدا نمونه های مکعب مستطیل به ابعاد ۵۰×۱۰×۱۰ و با بتن های نوع (OP) ساخته شد. این نمونه ها پس از عمل‌آوری به مدت ۲۸ روز در آب، توسط دستگاه برش و با زاویه ۳۰ درجه نسبت به محور قائم بریده شدند. پس از انجام عمل فوق نمونه های آماده شده دوباره در قالب cm ۵۰×۱۰×۱۰ قرار گرفتند و قسمت های خالی قالب توسط بتن های مختلف پرگردیدند. جهت تراکم نمونه ها نیز از میز لرزان استفاده شده است. لازم به ذکر است که از هیچ ماده‌ای که ایجاد پیوستگی نماید استفاده نشده است. مراحل آزمایش در شکل ۲ نشان داده شده است.

نمونه های آزمایش برش مستقیم: برای ساخت این نمونه ها ابتدا نمونه هایی به طول ۷cm و قطر ۶ cm با بتن نوع (OP) ساخته شد. این نمونه ها به مدت ۲۸ روز در آب عمل‌آوری شدند. به هنگام ریختن بتن ها (OP) از یونولیت مضرس در ته قالب ها استفاده شد تا یک سطح زبر را ایجاد نماید. پس از گذشت ۲۸ روز از ساخت نمونه ها، قسمت خالی قالب ها به طول حدود ۵ cm توسط بتن های مختلف (پنج نوع) پر گردیده که پس از انجام عمل تراکم، جهت عمل‌آوری در آب قرار گرفتند. این نمونه ها در سنین ۲۸ و ۹۰ روزه از قالب ها خارج گردیدند و مورد آزمایش قرار گرفتند.



شکل (۲) مراحل انجام آزمایش برش مایل

ساخت نمونه ها جهت آزمایش جمع شدگی

جهت انجام این آزمایش از نمونه های مکعب مستطیل به ابعاد cm ۵۰ × ۱۰ × ۱۰ استفاده شده است. نمونه ها پس از خارج شدن از قالب به مدت ۲۸ روز در آب عمل‌آوری شدند و پس از این مدت در محیط آزمایشگاه در رطوبت ۶۰ درصد و درجه حرارت c° ۳۰ قرار گرفتند.

جهت قرائت میزان جمع شدگی از کرنش سنج مخصوص استفاده شده است.

ارائه نتایج و بررسی آنها

نتایج مربوط به مقاومت فشاری در جدول۴ و نتایج مربوط به آزمایش برش مایل در جدول ۵ و نتایج مربوط به برش مستقیم در جدول ۶ آورده شده‌اند.

جدول (۴) نتایج مقاومت فشاری بتن های مختلف

نوع بتن	سن (روز)	متوسط مقاومت فشاری kg/cm^2
OP	۲۸	۴۵۴
	۹۰	۵۰۰
MP	۲۸	۵۳۴
	۹۰	۵۸۶
SP	۲۸	۶۳۳
	۹۰	۷۶۷
TP	۲۸	۳۵۷
	۹۰	۴۱۶
DP	۲۸	۳۵۹
	۹۰	۴۸۹

جدول (۵) نتایج آزمایش برش مایل بتن های مختلف

نوع بتن	متوسط نیروی پرس مقاومت Ton		متوسط تنش در سطح لغزش kg/cm^2	
	۲۸ روزه	۹۰ روزه	۲۸ روزه	۹۰ روزه
OP	۱۵/۹	۱۸	۸۰	۹۰
MP	۱۷/۳	۲۲/۹	۸۶	۱۱۴
SP	۲۵/۹	۳۱/۵	۱۲۹	۱۵۸
TP	۱۲/۷	۱۹/۰	۶۴	۹۵
DP	۱۴/۳	۱۹/۵	۷۱	۹۸

جدول (۶) آزمایش برش مستقیم

نوع بتن	متوسط نیروی گسیختگی (Ton)		متوسط نیروی گسیختگی (Ton)	
	۲۸ روزه	۹۰ روزه	۲۸ روزه	۹۰ روزه
OP	۱/۱۱	۱/۲۸	۳۹	۴۵
MP	۱/۲۴	۱/۶۰	۴۴	۵۷
SP	۱/۴۴	۱/۷۲	۵۱	۶۱
TP	۰/۹۲	۱/۳۱	۳۳	۴۶
DP	۰/۹۴	۱/۳۶	۳۳	۴۸

همانطوری که در جدول ۴ مشاهده می‌گردد، بیشترین مقاومت در حالت استفاده از فوق روان کننده حاصل گردیده است. پس از آن نیز استفاده از میکروسیلیس بیشترین تأثیر در کسب مقاومت را دارا بوده است. استفاده از تراس و دیاتومه احتیاج به عمل‌آوری بیشتر و مؤثرتری نسبت به سایر بتن‌ها دارد و کسب مقاومت آنها نیز به نسبت کند می‌باشد. البته در سنین بالاتر تقریباً مقاومتی برابر با مقاومت بتن معمولی کسب کرده است. بتن ساخته شده با تراس در سن ۹۰ روز دارای مقاومتی در حدود ۱۵ درصد کمتر از بتن معمولی بوده است. هر چند از نتایجی که قبلاً توسط محققین دیگر به دست آمده است، انتظار می‌رفت مقاومت بیشتری از بتن معمولی داشته باشد که این امر را شاید بتوان به تغییر در خصوصیات محصولات به دست آمده از معادن مختلف و حتی تغییرات موجود در لایه‌های مختلف یک معدن دانست. در حالت استفاده از فوق روان کننده در سن ۹۰ روزه در حدود ۵۳ درصد افزایش مقاومت داشته، در حالی که در حالت استفاده از میکروسیلیس در حدود ۱۷ درصد افزایش نسبت به بتن معمولی مشاهده می‌گردد.

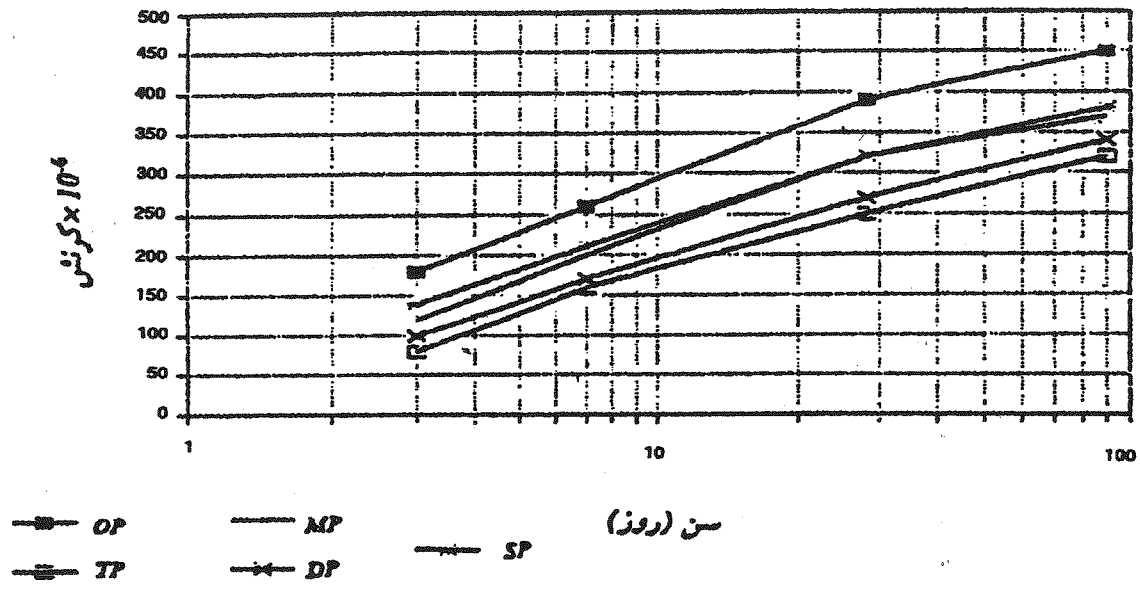
از مقایسه نتایج در جدول ۵ مشاهده می‌شود که بیشترین مقاومت پیوستگی در سن ۲۸ روزه را بتن با فوق روان‌کننده کسب کرده است. پس از آن، بتن با میکروسیلیس و سپس بتن معمولی دارای بیشترین مقاومت پیوستگی می‌باشند، در صورتی که بتن های ساخته شده با دیاتومه و تراس دارای مقاومت کمتری نسبت به بتن معمولی می‌باشند. در سن ۹۰ روزه نیز بیشترین مقاومت‌ها به ترتیب مربوط به بتن ساخته شده با فوق روان کننده و میکروسیلیس می باشد. پس از آن نیز بتن‌های ساخته شده با دیاتومه و تراس دارای بیشترین مقاومت می‌باشند.

در این سن بتن معمولی دارای کمترین مقاومت پیوستگی می‌باشد. استفاده از فوق روان‌کننده و میکروسیلیس در سن ۹۰ روزه به ترتیب در حدود ۷۵ و ۲۷ درصد افزایش مقاومت نسبت به بتن معمولی دارد.

نتایج آزمایش برش مستقیم در جدول ۶ آورده شده است. در سن ۲۸ روزه بتن با فوق روان کننده بیشترین مقاومت را کسب کرده است. پس از آن نیز بتن با میکروسیلیس دارای بیشترین مقاومت است.

بتن‌های ساخته شده یا دیاتومه و تراس تقریباً دارای یک مقاومت می باشند. البته این مقاومت از مقاومت بتن معمولی کمتر می‌باشد. در سن ۹۰ روزه نیز بیشترین مقاومت مربوط به استفاده از فوق روان‌کننده می‌باشد و پس از آن میکروسیلیس در رده دوم قرار می‌گیرد. در این سن باتوجه به ادامه واکنش‌های دیاتومه و تراس با سیمان، مقاومت افزایش می‌یابد. به طوری که مقاومت این دو از بتن معمولی بیشتر شده است. در این حالت استفاده از فوق روان کننده و میکروسیلیس در سن ۹۰ روزه به ترتیب ۲۶ و ۲۷ درصد افزایش مقاومت نشان داده است در صورتی که استفاده از تراس و دیاتومه سبب کاهش مقاومت در سن ۲۸ روزه می‌گردد. این مقاومت در سن ۹۰ روزه حدود ۵ درصد از مقاومت بتن معمولی بیشتر است.

در شکل ۳ نتایج آزمایش جمع شدگی به نمایش درآمده است. اصولاً به دلیل ارتباط نزدیک میان میزان سیمان موجود در بتن و میزان جمع شدگی می‌توان انتظار داشت که بتن‌هایی که دارای سیمان کمتر می‌باشند دارای جمع شدگی کمی نیز باشند که این امر جمع شدگی بتن‌های دارای دیاتومه و تراس را به خوبی توجیه می‌کند. در مورد بتن با فوق روان‌کننده نیز به دلیل کمتر شدن حفرات ریز در بتن و در نتیجه کمتر شدن آب از دست رفته، میزان جمع شدگی کاهش می‌یابد. در مورد بتن با میکروسیلیس نیز پدیده را می‌توان به کاهش میزان آب نسبت داد. چنانچه میزان جمع شدگی بتن معمولی را در عمر ۳ روزه ۱۰۰ فرض نماییم، جمع شدگی بتن‌های حاوی میکروسیلیس، فوق روان‌کننده، تراس و دیاتومه به ترتیب برابر ۶۷، ۷۸، ۴۴ و ۵۴ خواهد شد. چنانچه همین مقایسه را برای سن ۹۰ روزه نیز انجام دهیم اعداد ۸۲، ۸۴، ۷۱ و ۷۶ به دست می‌آید. همانطوری که ملاحظه می‌گردد، منحنی بتن با فوق روان‌کننده تقریباً فاصله ثابتی را با بتن معمولی در طول ۹۰ روز دارد. در صورتی که این مقادیر برای سایر بتنها در ابتدا زیاد بوده و پس از گذشت زمان کم می‌گردد. بتن‌های دارای دیاتومه و تراس که در زمان نسبتاً طولانی‌تری مقاومت کسب می‌کنند، در طول زمان نیز به میزان جمع شدگی آنها افزوده می‌شود، در صورتی که این مسئله برای میکروسیلیس که قدرت واکنشی زیاد دارد، در مدت کمتری اتفاق می‌افتد و میزان جمع شدگی آن در روزهای اولیه زیاد می‌باشد.



شکل (۳) منحنی جمع شدگی بتن های مختلف

نتیجه گیری

۱ ـ در میان مواردی که مورد استفاده قرار گرفته اند، فوق روان کننده بیشترین تأثیر را در افزایش مقاومت بتن و خواص مکانیکی آن دارد. استفاده از این ماده مقاومت فشاری را تا حد ۵۰ درصد و مقاومت پیوستگی را تا حد ۷۵ درصد نسبت به بتن معمولی افزایش می دهد. این ماده همچنین میزان جمع شدگی را تا حد ۲۰ درصد کاهش می دهد.

۲ ـ استفاده از میکروسیلیس مقاومت فشاری را تا میزان ۱۸ درصد و مقاومت پیوستگی را تا ۲۷ درصد افزایش می دهد. همچنین جمع شدگی را نیز تا حد ۲۰ درصد کاهش می دهد.

۳ ـ استفاده از دیاتومه در دراز مدت اثر قابل ملاحظه ای را در بهبود خصوصیات مکانیکی برجا می گذارد. این ماده سبب ایجاد مقاومت فشاری در حدود بتن معمولی و افزایش مقاومت پیوستگی تا میزان ۱۰ درصد می گردد. مصرف دیاتومه در بتن جمع شدگی را تا میزان ۶۰ درصد کاهش می دهد.

۴ ـ استفاده از تراس نیز همانند دیاتومه در درازمدت اثر قابل توجهی در بهبود خصوصیات مکانیکی بتن برجا می گذارد. این ماده مقاومت پیوستگی را نسبت به بتن معمولی در حدود ۶ درصد افزایش می دهد. در این حالت جمع شدگی نسبت به بتن معمولی ۶۵ درصد کاهش می یابد.

۵ ـ برای کارهای تعمیراتی در جنوب مصرف فوق روان کننده علاوه بر جلوگیری از مصرف آب بالا که بتن های با دوام کم را به دنبال داشته است، می تواند دوام بتن جدید تعمیراتی را نیز بهبود بخشد.

مراجع

بتن ساخته شده از سیمان تراس جاجرود» سمینار آموزشی انواع بتن و دامنه کاربرد آن در ساخت مسکن، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۵ الی ۷ آبان ۱۳۶۶.

[۴] دکتر علی اکبر رمضانیانپور، «ارزیابی پوزولان های ایران»، از انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، پاییز ۱۳۷۱.

[1] Edward M. Rizzo and Martin B. Sobeiman, "Selection criteria for concrete repair material" , Concrete International, september 1989.

[2] Kal R. Hindo, "In-place bond testing and surface preparation of concrete", Concrete International, April 1990.

[۳] دکتر علی اکبر رمضانیانپور، «مطالعه خواص مهندسی، ساختمان میکروسکوپی و دوام ملات و