

کاربرد RCC در سد جگین و بررسی تاثیر پوزولان طبیعی

بعنوان مصالح جایگزین سیمان

هومن اندیشه¹، امین روستایی²

1- دانشجوی کارشناسی عمران دانشگاه آزاداسلامی لارستان

2- دانشجوی کارشناسی عمران دانشگاه آزاداسلامی لارستان

¹ تلفن: 09126046706، پست الکترونیکی: Andisheh.h@gmail.com

² تلفن: 09173696693، پست الکترونیکی: Amin_R64@yahoo.com

چکیده

بتن کوبیده غلطکی روشی نسبتاً جدید جهت اجرای بتن در پروژه های عمرانی است. رواج استفاده از این نوع بتن به علل متعددی رو به فزونی است، که مهمترین آنها تسریع عملیات اجرایی، کاهش هزینه ساخت، سادگی در تولید و عدم نیاز به تجهیزات و تاسیسات اجرایی ویژه می باشد. به همین علت در صنعت سد سازی با تلفیق دو تکنولوژی بتن و عملیات خاکی و بهره گیری از فن جاگذاری لایه های آسفالت موفق به ابداع بتن غلطکی با روانی صفر گردیدند.

در فرهنگ اصطلاحات بتن و سیمان انجمن بتن امریکا (ACI)، بتن متراکم شده با غلطک (Roller-Compacted-Concrete) و یا بتنی که با حرکت بر روی آن در حالت سخت نشده متراکم گردد و در ادبیات فنی رول کریت نامیده می شود، بعنوان تعریفی جامع از بتن غلطکی مطرح گردیده است. در حال حاضر بتن غلطکی در سه کلاس مختلف که بیشتر بر پایه امکانات محلی استوار می باشد مورد استفاده قرار می گیرد که عبارتند از: بتن کم ملات، بتن با ملات متوسط، بتن با ملات زیاد. در این مقاله علاوه بر معرفی بتن غلطکی به بررسی اولین سد بتن غلطکی در ایران (سد جگین) که تمامی مراحل طراحی، اجرا و نظارت آن توسط متخصصان داخلی انجام گرفته نیز می پردازیم. همچنین استفاده از پوزولان به عنوان مصالح جایگزین سیمان نیز مورد ارزیابی و تحلیل علمی قرار داده شده است.

واژه های کلیدی: بتن غلطکی، Roller-Compacted-Concrete، سد جگین، پوزولان طبیعی، اثر بخشی

مقدمه

بتن کوبیده غلطکی روشی نسبتاً جدید جهت اجرای بتن در پروژه های عمرانی است. رواج استفاده از این نوع بتن به علل متعددی رو به فزونی است، که مهمترین آنها تسریع عملیات اجرایی، کاهش هزینه ساخت، سادگی در تولید و عدم نیاز به تجهیزات و تاسیسات اجرایی ویژه می باشد. به همین علت در صنعت سد سازی با تلفیق دو تکنولوژی بتن و عملیات خاکی و بهره گیری از فن جاگذاری لایه های آسفالت موفق به ابداع بتن غلطکی با روانی صفر گردیدند.

در فرهنگ اصطلاحات بتن و سیمان انجمن بتن امریکا (ACI)، بتن متراکم شده با غلطک (Roller-Compacted-Concrete) و یا به اختصار RCC، بتنی است که با حرکت بر روی آن در حالت سخت نشده متراکم گردد و در ادبیات فنی رول کریت نامیده می شود. لازم به ذکر است خاصیت روانی و پلاستیکی بتن غلطکی در حالت تر، اساساً با خواص پلاستیکی بتن درجا ریز معمولی متفاوت می باشد. البته باید توجه داشت که اسلامپ بتن غلطکی باید در حد صفر باشد تا وزن غلطک متراکم کننده را تحمل نماید. ماشین آلات مورد استفاده جهت حمل و نقل، بارگیری و تراکم بتن RCC شامل ماشین آلاتی با ظرفیت بالا می باشند که در کارهای خاکی حجیم نظیر سد سازی و راهسازی به کار می روند. به طور کلی در ساختن بتن غلطکی میزان عملیات دستی (غیر ماشینی) مورد نیاز در مقایسه با عملیات ساخت بتن های معمولی کمتر است. استفاده از بتن RCC در سد سازی در مقایسه با نوع بتنی مسلح از نظر مالی 15 درصد کاهش هزینه را در بر داشته و همچنین آنگیری سد نیز بین دو تا چهار سال زودتر صورت می گیرد. در حال حاضر بتن غلطکی در سه کلاس مختلف که بیشتر بر پایه امکانات محلی استوار است مورد استفاده قرار می گیرد که عبارتند از: بتن کم ملات، بتن با ملات متوسط، بتن با ملات زیاد.

در این مقاله علاوه بر معرفی بتن غلطکی به بررسی اولین سد بتن غلطکی در ایران (سد جگین)، با حجم ذخیره 300 میلیون متر مکعب در 107 کیلومتری شهرستان جاسک در استان هرمزگان می پردازیم. این سد علاوه بر تامین آب آشامیدنی شهرستان جاسک، آب مصرفی بخشهای صنعتی و خدماتی، کنترل سیلابهای فصلی و آب مصرفی 4500 هکتار از اراضی کشاورزی پایین دست خود را نیز تامین می کند. تمامی مراحل طراحی، اجرا و نظارت در این پروژه توسط متخصصان داخلی انجام شده است. همچنین استفاده از پوزولان به عنوان مصالح جایگزین سیمان نیز مورد ارزیابی و تحلیل علمی قرار داده شده است.

سیمای طرح سد مخزنی جگین

سد جگین در ساختگاه دهانه مرنگ، سدی است بتنی وزنی که ارتفاع آن از کف رودخانه 53 متر و با تاجی به طول 150 متر و عرض 7 متر می باشد. آورد متوسط رودخانه از محل این سد 91/8 میلیون متر مکعب در سال بوده و با احداث آن، 60 میلیون متر مکعب آب در سال تنظیم خواهد شد. سیلاب کارگاهی بیست و پنج ساله رودخانه در محل دهانه مرنگ 2030 مترمکعب بر ثانیه برآورد شده است که در هنگام ساخت سد توسط سیستم انحراف موقت منحرف گردیده. این سیستم شامل یک فراز بند خاکی به ارتفاع 15 متر از بستر رودخانه، یک تونل بتنی انحراف آب به قطر 9 متر، به طول 300 متر و یک نشیب بند از جنس مصالح بنایی به ارتفاع 3 متر می باشد. سیلاب هزار ساله رودخانه در محل سد برابر 5190 مترمکعب بر ثانیه برآورد شده که برای تخلیه سیلاب مذکور یک سرریز آزاد به طول تاج 80 متر روی بدنه سد پیش بینی شده است، که می تواند نیمی از سیلاب را تخلیه کند. از سوی دیگر با توجه به وجود تونل انحراف موقت با قطر بالا، یک چاه قائم 9 متری با تاج دایره ای در کناره چپ در بالای تونل در نظر گرفته شده، که تونل انحراف موقت مذکور به شکل یک سرریز لاله ای است و به واسطه آن نیم دیگر سیلاب تخلیه می گردد این سرریز در پایاب تونل مجهز به یک قاشقک است.

سیستم آبیگری سد به صورت مجرای به مقطع مربع شکل به ابعاد 1×1 متر در بدنه سد نزدیک به کناره چپ رودخانه پیش بینی شده که طول کل آن 19 متر است. مجرای تخلیه کف سد نیز با مقطع مربع شکل به ابعاد 2×2 متر به طول 30 متر در داخل بدنه نزدیک به کناره چپ در نظر گرفته شده است. در سد مذکور با بهره گیری از روش RCC به جهت تسریع عملیات اجرایی و کاهش هزینه ساخت با توجه به استفاده عمده از کلاس نوع سه بتن غلطکی (بتن با ملات زیاد) و استفاده پوزولان طبیعی به عنوان مصالح جایگزین سیمان در بتن مصرفی به تحلیل و ارزیابی آن می پردازیم.

مصالح سنگی در بتن غلطکی

یکی از مهمترین موارد اختلاف بین مصالح سنگی بتن های سازه ای و غلطکی، ماسه مورد مصرف آن می باشد. در بتن غلطکی مقدار مصالح عبوری از الک نمره 200 در ماسه مصرفی تا حدود 18% افزایش می یابد. لذا ضریب نرمی ماسه به مراتب از ماسه بتن سازه ای پایین تر است که می بایست از نوع غیر چسبنده باشد.

پس از بررسی کارشناسان داخلی، همگام با متخصصین خارجی و با در نظر گرفتن امکانات در تهیه و حمل مواد جایگزین سیمان شش طرح اختلاط بتن غلطکی با استفاده از مصالح طبیعی جهت استفاده در پروژه سد جگین تهیه گردید که عبارتند از:

- 1- خاکستر بادی کشور هندوستان
- 2- پوزولان طبیعی کارخانه سیمان خاش
- 3- سر باره کوره مس
- 4- تفالله سرد شده کوره از اصفهان
- 5- پوزولان طبیعی سیرجان
- 6- مصالح ریز دانه طبیعی بستر رودخانه محل برداشت مصالح سنگی

که پس از بررسی دقیق طرحهای ساخته شده از نظر جداسدگی دانه ها در زمان حمل، پخش، کوبیدگی و همچنین شناخت هر چه بیشتر امکانات داخلی و استفاده در پروژه های دیگر در نهایت تصمیم به استفاده از پوزولان طبیعی کارخانه سیمان خاش به جای خاکستر بادی وارداتی اتخاذ گردید. به عنوان مصالح جایگزین سیمان، برای شناخت بیشتر از میزان تاثیر گذاری آن در روند افزایش مقاومت در سنین مختلف در مقایسه با خاکستر بادی طرحهای مختلفی تهیه گردید و رشد مقدماتی آنها تا سن سه سالگی (1000 روزه) مورد بررسی قرار گرفت، که مقاومت های بدست آمده در جدول شماره (1) نشان داده شده است.

جدول 1- مقاومت‌های کسب شده با استفاده از پوزولان به عنوان ماده جایگزین سیمان

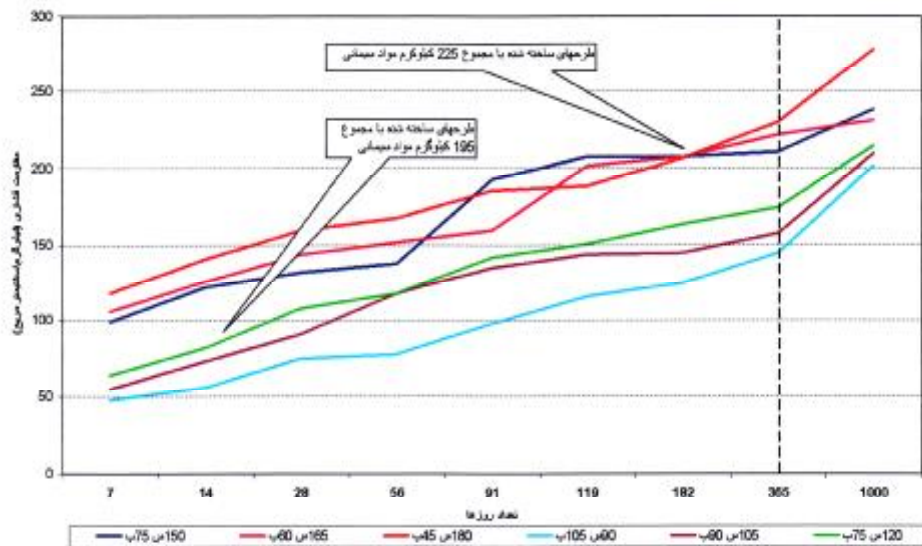
شماره طرح	مقاومت فشاری 1000 روزه	مقاومت فشاری 365 روزه	مقاومت فشاری 182 روزه	مقاومت فشاری 119 روزه	مقاومت فشاری 91 روزه	مقاومت فشاری 56 روزه	مقاومت فشاری 28 روزه	مقاومت فشاری 14 روزه	مقاومت فشاری 7 روزه	مقدار پوزولان %	مجموع سیمان + پوزولان	پوزولان (Kg)	سیمان (Kg)
1	238	211	208	208	193	138	132	122	99	33	225	75	150
2	231	222	208	202	160	152	144	126	106	26	225	60	165
3	278	230	207	189	186	168	160	141	118	20	225	45	180
4	202	145	125	116	98	78	75	56	48	53	195	105	90
5	210	158	145	144	135	118	91	73	55	46	195	90	105
6	215	175	164	151	142	118	108	82	64	38	195	75	120

مقایسه مقادیر مقاومت‌های کسب شده در سنین پایین با میزان سیمان مصرفی گویای این واقعیت می باشد که مقدار مقاومت در سنین پایین رابطه مستقیم با مقدار سیمان مصرفی داشته ولی در سنین بالا این نسبت صدق نمی کند و درصد پوزولان بیشتر موجب افزایش قابل توجه مقاومت ها می گردد. مقایسه طرح های شماره (4) و (6) که مقدار کل مواد سیمانی شان با هم برابر است و به میزان 25% از لحاظ مقدار سیمان مصرفی باهم فرق میکنند، جالب توجه است: طرح شماره(4) در سنین 119- 182- 365- 1000 روزه به ترتیب 77 - 76 - 83 - 94 درصد مقاومت طرح دیگر را کسب نموده است. همچنین اثر بخشی پوزولان طبیعی کارخانه سیمان خاش در جدول شماره (2) برای سنین مختلف نشان داده شده است.

جدول شماره 2- اثر بخشی پوزولان به عنوان ماده جایگزین سیمان در کسب مقاومت

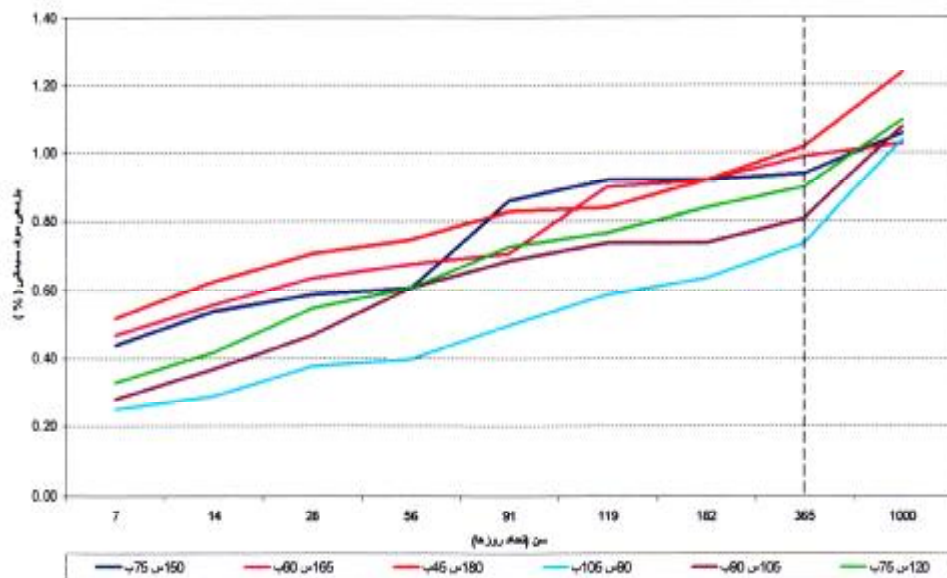
شماره طرح	اثر بخشی 1000 روزه	اثر بخشی 365 روزه	اثر بخشی 182 روزه	اثر بخشی 119 روزه	اثر بخشی 91 روزه	اثر بخشی 56 روزه	اثر بخشی 28 روزه	اثر بخشی 14 روزه	اثر بخشی 7 روزه	مقدار پوزولان %	مجموع سیمان + پوزولان	پوزولان (Kg)	سیمان (Kg)
1	1/04	0/94	0/92	0/92	0/86	0/61	0/59	0/54	0/44	33	225	75	150
2	1/03	0/99	0/92	0/90	0/71	0/68	0/64	0/56	0/47	26	225	60	165
3	1/24	1/02	0/92	0/84	0/83	0/75	0/71	0/63	0/52	20	225	45	180
4	1/04	0/74	0/64	0/59	0/50	0/40	0/38	0/29	0/25	53	195	105	90
5	1/08	0/81	0/74	0/74	0/69	0/61	0/47	0/37	0/28	46	195	90	105
6	1/10	0/90	0/84	0/77	0/73	0/61	0/55	0/42	0/33	38	195	75	120

نمودار شماره (1) مقاومت‌های طرح‌های مختلف را با استفاده از پوزولان به عنوان ماده جایگزین شده سیمان در دو رده مختلف از نظر مقدار مواد سیمانی در هر متر مکعب نشان می دهد. تأثیر زمان بر افزایش مقاومت بر اثر استفاده از پوزولان کاملاً مشهود می باشد باین تفاوت که استفاده از پوزولان موجب بروز حرارت هیدراسیون کمتری در زمان گیرش شده و لذا می توان لایه های بتن غلطکی را با سرعت قابل توجهی بر روی یکدیگر جاسازی نمود.



نمودار شماره (1): مقاومت فناوری طرح اختلاط

نمودار شماره (2) اثر بخشی پوزولان طبیعی طرحهای مختلف را نشان می دهد، لازم به توضیح است که واحد اثر بخشی برابر است با مقاومتی کسب شده در سنین مختلف به مجموع مقادیر سیمان و مواد جایگزین آن در یک متر مکعب از بتن.



نمودار شماره (2): اثر بخشی پوزولان طبیعی

در طول زمان انجام آزمایشات، رفتار مواد جایگزین سیمان به لحاظ روش اختلاط با مصالح سنگی نیز مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حاصله موید این مهم بوده است که اختلاط مواد جایگزین سیمان قبل از اختلاط آنها با مصالح سنگی مقاومتی حاصله را به طور قابل ملاحظه ای افزایش می دهد.

ماشین آلات مورد نیاز ساخت و اجرای بتن RCC :

وسایلی که در این بخش به آنها اشاره می گردد تنها مربوط به دستگاه های ویژه ساخت و اجرای بتن RCC می باشد. (به استثنای ماشین آلات ای جهت پهن کردن و تسطیح بتن در سطح و نیز وسایل اجرای بتن ریزی با بتن معمولی)

1. ساخت بتن RCC :

در این پروژه مصالح بتن از محل آبرفت های رودخانه، پیش بینی شده است. در نتیجه ماشین آلات ذیل برای اجرای عملیات در نظر گرفته شده است.

- وسایل و تجهیزات شستشوی مصالح بتن

- تجهیزات سرند کردن و تفکیک دانه بندی مصالح با طبقه بندی پیش بینی شده
- یک دستگاه سنگ شکن برای شکستن قطعات بزرگتر از 75 میلیمتر با ظرفیت 20 تن در ساعت
- یک آسیاب برای تولید مواد ریز جهت تهیه و تضمین مقدار کافی مصالح دانه ریز کوچکتر از 0/1 میلیمتر با ظرفیت تولید 2 تن در ساعت
- مخلوط کننده بتن نوع Pug mill در رده مخلوط کننده با ظرفیت تولید فراتر از 60 تن در ساعت. (شایان ذکر است بتن RCC با همان وسایل و تجهیزاتی که بتن معمولی را می سازند، نیز می تواند تولید شود)

2. حمل و انتقال بتن به کارگاه :

در یک کارگاه استفاده از RCC بین مرکز تولید و تخلیه آن در محل مورد نظر یک مرحله توقف وجود دارد در پروژه سد جگین نیز این چنین بوده، در واقع کامیون ها یا دامپرها که بتن را حمل می کنند هرگز مجاز به حرکت روی سد نیستند. زیرا با خود مقداری مواد کشیف که پاکسازی آن مشکل است را به محل بتن ریزی حمل می کنند.

3. تدارکات کارگاه :

همانطور که در پیش ذکر گردید، لازم است برای این کارگاه وسیله ای پیش بینی شود که بتواند بتن RCC را از ایستگاه تولید بتن تا محل دامپرهایی که بتن را در سطح کار پخش می کنند انتقال دهد [شکل شماره(1)].



شکل شماره 1- جاگزاری بتن غلطکی و شیوه انتقال آن با استفاده از شوت انتقال

دستگاههایی مانند:

- کابل نقاله
- جرثقیل برقی
- فونیکولر

همچنین شایان ذکر است که دستگاه انتقال مذکور بایستی آنقدر قدرت داشته باشد، که بتواند سریعاً و در حالت اضطراری، در هنگام وقوع سیلاب کلیه وسایل و تجهیزات کاربردی بتن RCC را که امکان دارد در اثر عبور سیلاب با آب برده شود، را از روی سد تخلیه نماید.

4. اجرای عملیات بتن ریزی با بتن RCC :

- انتقال بتن RCC از محل دریافت بتن روی سد به نقاط مختلف مورد اجرا، توسط دامپرهایی با حجم متناسب و با تولید پیش بینی شده صورت می گیرد. در اجرای سد جگین حداقل تعداد 6 دامپر، استفاده گردیده. برای پهن کردن بتن RCC به صورت لایه های افقی، از بولدوزرهای نوع D6 یا مشابه آن استفاده شد. برای پهن کردن ملات بین دو لایه یا پهن کردن بتن RCC با دانه بندی نسبتاً کوچک در صورت نیاز در بعضی از محل های اتصال بین لایه ها یک لودر کوچک که مخزن مصالح آن به یک تیغه پهن کننده مجهز باشد، پیش بینی گردیده. در این پروژه عمل کوبیدن بتن با یک غلطک لرزان با وزن حداقل 10 تن از نوع غلتک های مورد استفاده در راهسازی صورت گرفته. برای ساخت این سد حداقل تعداد 3 غلتک ضروری می بود.

- برای محل هایی که این نوع غلطک قابل استفاده نباشد، یک غلتک کوچک دستی بکار گرفته می شد. (غلتک نوع CASE یا BOMAG) [شکل شماره (2)] همچنین لازم است یک دستگاه ماشین برای کوبیدن و متراکم کردن مصالح از نوعی که یک صفحه لرزان عمل کوبیدن را انجام

می دهد، پیش بینی شود. دستگاه مذکور برای نقاطی که محل تماس بین بتن معمولی با بتن RCC است بکار گرفته می شود.



شکل شماره 2- جاگذاری بتن غلطکی

- برای آب پاشی و عمل آوردن بتن روی سطح کوبیده شده، از یک کامیون تانکر آب استفاده می شود.
- برای متراکم کردن بتن معمولی در محل تماس با بتن RCC بایستی از یک سری ویبراتورهای برقی که روی بازوی بولدوزر کوچک یا لودر نصب شده باشند استفاده نمود.
- اجرای درزهای سد از طریق ادخال ورق های فلزی در لایه بتن RCC قبل از کوبیدن بتن انجام می گیرد و برای این کار از یک چکش هیدرولیکی که روی بازوی بیل هیدرولیکی نصب شده باشد استفاده شده.

نتیجه گیری

با توجه به نتیجه نهایی مطالعات انجام شده در مرحله شناخت روی حوزه های آبریز رودخانه جگین، احداث یک سد مخزنی بر روی رودخانه جگین در ساختگاه دهن مرنگ همراه با شبکه آبیاری جهت کنترل، تنظیم و استفاده در کشاورزی و رفع نیازهای شهری و بهره برداری از حدود 83 میلیون متر مکعب از آبهای جنوب کشور که در حال حاضر بدون استفاده به دریا می ریزند، توصیه گردید.

به منظور استفاده از پوزولان طبیعی بعنوان مصالح جایگزین سیمان در بتن RCC رعایت نکات ذیل قابل تأمل است :

الف- با توجه به اثر بخشی پوزولان در کسب مقاومت در سنین بالا، می بایست حتی الامکان با توجه به زمان واقعی بارگذاری، سن تعیین مقاومت بتن غلطکی در پروژه های سد سازی به یکسال افزایش داده شود.

ب - پوزولان طبیعی به عنوان ماده جایگزین سیمان می تواند در بتن سازه ای نیز مورد استفاده قرار گیرد مشروط به اینکه سن تعیین مقاومت فشاری 90 روزه حتی المقدور بالاتر باشد. تأثیر پوزولان در روند رشد مقاومت در بتن سازه ای نیز هم زمان با بتن غلطکی مورد بررسی قرار گرفته و نتایج حاصله منتج به ضرایب 52 ، 60،64 ، درصد اثر بخشی برای جایگزینی حدود 40% پوزولان در دوره های شش ماهه، یکساله، سه ساله شده است.

مراجع:

1. بررسی تأثیر پوزولان طبیعی در روند رشد مقاومتی بتن _ شرکت فن آوران بوردو (مدیریت طرح)
2. تکنولوژی بتن پیشرفته _ دکتر علی اکبر رضانیانپور، دکتر پرویز قدوسی، دکتر اسماعیل گنجیان
3. ساختار خواص و اجرای بتن _ دکتر علی اکبر رضانیانپور، دکتر پرویز قدوسی، دکتر اسماعیل گنجیان
4. فصل نامه داخلی انجمن بتن ایران دوره اول و دوم _ انجمن بتن ایران

<http://www.ici.ir>[5]

<http://www.concrete.org/general/home.asp>[6]

<http://pubs.asce.org/bridges>[7]

<https://www.asce.org/bookstore/book/>[8]

<https://www.asce.org/bookstore/year.cfm?strYear=2007> [9]

کاربرد RCC در سد جگین و بررسی تاثیر پوزولان طبیعی

بعنوان مصالح جایگزین سیمان

هومن اندیشه¹، امین روستایی²

1- دانشجوی کارشناسی عمران دانشگاه آزاداسلامی لارستان

2- دانشجوی کارشناسی عمران دانشگاه آزاداسلامی لارستان

1 تلفن: 09126046706، پست الکترونیکی: Andisheh.h@gmail.com

2 تلفن: 09173696693، پست الکترونیکی: Amin_R64@yahoo.com

چکیده

بتن کوبیده غلطکی روشی نسبتاً جدید جهت اجرای بتن در پروژه های عمرانی است. رواج استفاده از این نوع بتن به علل متعددی رو به فزونی است، که مهمترین آنها تسریع عملیات اجرایی، کاهش هزینه ساخت، سادگی در تولید و عدم نیاز به تجهیزات و تاسیسات اجرایی ویژه می باشد. به همین علت در صنعت سد سازی با تلفیق دو تکنولوژی بتن و عملیات خاکی و بهره گیری از فن جاگذاری لایه های آسفالت موفق به ابداع بتن غلطکی با روانی صفر گردیدند.

در فرهنگ اصطلاحات بتن و سیمان انجمن بتن امریکا (ACI)، بتن متراکم شده با غلطک (Roller-Compacted-Concrete) و یا بتنی که با حرکت بر روی آن در حالت سخت نشده متراکم گردد و در ادبیات فنی رول کریت نامیده می شود، بعنوان تعریفی جامع از بتن غلطکی مطرح گردیده است. در حال حاضر بتن غلطکی در سه کلاس مختلف که بیشتر بر پایه امکانات محلی استوار می باشد مورد استفاده قرار می گیرد که عبارتند از: بتن کم ملات، بتن با ملات متوسط، بتن با ملات زیاد. در این مقاله علاوه بر معرفی بتن غلطکی به بررسی اولین سد بتن غلطکی در ایران (سد جگین) که تمامی مراحل طراحی، اجرا و نظارت آن توسط متخصصان داخلی انجام گرفته نیز می پردازیم. همچنین استفاده از پوزولان به عنوان مصالح جایگزین سیمان نیز مورد ارزیابی و تحلیل علمی قرار داده شده است.

واژه های کلیدی: بتن غلطکی، Roller-Compacted-Concrete، سد جگین، پوزولان طبیعی، اثر بخشی

مقدمه

بتن کوبیده غلطکی روشی نسبتاً جدید جهت اجرای بتن در پروژه های عمرانی است. رواج استفاده از این نوع بتن به علل متعددی رو به فزونی است، که مهمترین آنها تسریع عملیات اجرایی، کاهش هزینه ساخت، سادگی در تولید و عدم نیاز به تجهیزات و تاسیسات اجرایی ویژه می باشد. به همین علت در صنعت سد سازی با تلفیق دو تکنولوژی بتن و عملیات خاکی و بهره گیری از فن جاگذاری لایه های آسفالت موفق به ابداع بتن غلطکی با روانی صفر گردیدند.

در فرهنگ اصطلاحات بتن و سیمان انجمن بتن امریکا (ACI)، بتن متراکم شده با غلطک (Roller-Compacted-Concrete) و یا به اختصار RCC، بتنی است که با حرکت بر روی آن در حالت سخت نشده متراکم گردد و در ادبیات فنی رول کریت نامیده می شود. لازم به ذکر است خاصیت روانی و پلاستیکی بتن غلطکی در حالت تر، اساساً با خواص پلاستیکی بتن درجا ریز معمولی متفاوت می باشد. البته باید توجه داشت که اسلامپ بتن غلطکی باید در حد صفر باشد تا وزن غلطک متراکم کننده را تحمل نماید. ماشین آلات مورد استفاده جهت حمل و نقل، بارگیری و تراکم بتن RCC شامل ماشین آلاتی با ظرفیت بالا می باشند که در کارهای خاکی حجیم نظیر سد سازی و راهسازی به کار می روند. به طور کلی در ساختن بتن غلطکی میزان عملیات دستی (غیر ماشینی) مورد نیاز در مقایسه با عملیات ساخت بتن های معمولی کمتر است. استفاده از بتن RCC در سد سازی در مقایسه با نوع بتنی مسلح از نظر مالی 15 درصد کاهش هزینه را در بر داشته و همچنین آنگیری سد نیز بین دو تا چهار سال زودتر صورت می گیرد. در حال حاضر بتن غلطکی در سه کلاس مختلف که بیشتر بر پایه امکانات محلی استوار است مورد استفاده قرار می گیرد که عبارتند از: بتن کم ملات، بتن با ملات متوسط، بتن با ملات زیاد.

در این مقاله علاوه بر معرفی بتن غلطکی به بررسی اولین سد بتن غلطکی در ایران (سد جگین)، با حجم ذخیره 300 میلیون متر مکعب در 107 کیلومتری شهرستان جاسک در استان هرمزگان می پردازیم. این سد علاوه بر تامین آب آشامیدنی شهرستان جاسک، آب مصرفی بخشهای صنعتی و خدماتی، کنترل سیلابهای فصلی و آب مصرفی 4500 هکتار از اراضی کشاورزی پایین دست خود را نیز تامین می کند. تمامی مراحل طراحی، اجرا و نظارت در این پروژه توسط متخصصان داخلی انجام شده است. همچنین استفاده از پوزولان به عنوان مصالح جایگزین سیمان نیز مورد ارزیابی و تحلیل علمی قرار داده شده است.

سیمای طرح سد مخزنی جگین

سد جگین در ساختگاه دهانه مرنگ، سدی است بتنی وزنی که ارتفاع آن از کف رودخانه 53 متر و با تاجی به طول 150 متر و عرض 7 متر می باشد. آورد متوسط رودخانه از محل این سد 91/8 میلیون متر مکعب در سال بوده و با احداث آن، 60 میلیون متر مکعب آب در سال تنظیم خواهد شد. سیلاب کارگاهی بیست و پنج ساله رودخانه در محل دهانه مرنگ 2030 مترمکعب بر ثانیه برآورد شده است که در هنگام ساخت سد توسط سیستم انحراف موقت منحرف گردیده. این سیستم شامل یک فراز بند خاکی به ارتفاع 15 متر از بستر رودخانه، یک تونل بتنی انحراف آب به قطر 9 متر، به طول 300 متر و یک نشیب بند از جنس مصالح بنایی به ارتفاع 3 متر می باشد. سیلاب هزار ساله رودخانه در محل سد برابر 5190 مترمکعب بر ثانیه برآورد شده که برای تخلیه سیلاب مذکور یک سرریز آزاد به طول تاج 80 متر روی بدنه سد پیش بینی شده است، که می تواند نیمی از سیلاب را تخلیه کند. از سوی دیگر با توجه به وجود تونل انحراف موقت با قطر بالا، یک چاه قائم 9 متری با تاج دایره ای در کناره چپ در بالای تونل در نظر گرفته شده، که تونل انحراف موقت مذکور به شکل یک سرریز لاله ای است و به واسطه آن نیم دیگر سیلاب تخلیه می گردد این سرریز در پایاب تونل مجهز به یک قاشقک است.

سیستم آبیگری سد به صورت مجرای به مقطع مربع شکل به ابعاد 1×1 متر در بدنه سد نزدیک به کناره چپ رودخانه پیش بینی شده که طول کل آن 19 متر است. مجرای تخلیه کف سد نیز با مقطع مربع شکل به ابعاد 2×2 متر به طول 30 متر در داخل بدنه نزدیک به کناره چپ در نظر گرفته شده است. در سد مذکور با بهره گیری از روش RCC به جهت تسریع عملیات اجرایی و کاهش هزینه ساخت با توجه به استفاده عمده از کلاس نوع سه بتن غلطکی (بتن با ملات زیاد) و استفاده پوزولان طبیعی به عنوان مصالح جایگزین سیمان در بتن مصرفی به تحلیل و ارزیابی آن می پردازیم.

مصالح سنگی در بتن غلطکی

یکی از مهمترین موارد اختلاف بین مصالح سنگی بتن های سازه ای و غلطکی، ماسه مورد مصرف آن می باشد. در بتن غلطکی مقدار مصالح عبوری از الک نمره 200 در ماسه مصرفی تا حدود 18% افزایش می یابد. لذا ضریب نرمی ماسه به مراتب از ماسه بتن سازه ای پایین تر است که می بایست از نوع غیر چسبنده باشد.

پس از بررسی کارشناسان داخلی، همگام با متخصصین خارجی و با در نظر گرفتن امکانات در تهیه و حمل مواد جایگزین سیمان شش طرح اختلاط بتن غلطکی با استفاده از مصالح طبیعی جهت استفاده در پروژه سد جگین تهیه گردید که عبارتند از:

- 1- خاکستر بادی کشور هندوستان
- 2- پوزولان طبیعی کارخانه سیمان خاش
- 3- سر باره کوره مس
- 4- تفالله سرد شده کوره از اصفهان
- 5- پوزولان طبیعی سیرجان
- 6- مصالح ریز دانه طبیعی بستر رودخانه محل برداشت مصالح سنگی

که پس از بررسی دقیق طرحهای ساخته شده از نظر جداسازی دانه ها در زمان حمل، پخش، کوبیدگی و همچنین شناخت هر چه بیشتر امکانات داخلی و استفاده در پروژه های دیگر در نهایت تصمیم به استفاده از پوزولان طبیعی کارخانه سیمان خاش به جای خاکستر بادی وارداتی اتخاذ گردید. به عنوان مصالح جایگزین سیمان، برای شناخت بیشتر از میزان تاثیر گذاری آن در روند افزایش مقاومت در سنین مختلف در مقایسه با خاکستر بادی طرحهای مختلفی تهیه گردید و رشد مقدماتی آنها تا سن سه سالگی (1000 روزه) مورد بررسی قرار گرفت، که مقاومت های بدست آمده در جدول شماره (1) نشان داده شده است.

جدول 1- مقاومت‌های کسب شده با استفاده از پوزولان به عنوان ماده جایگزین سیمان

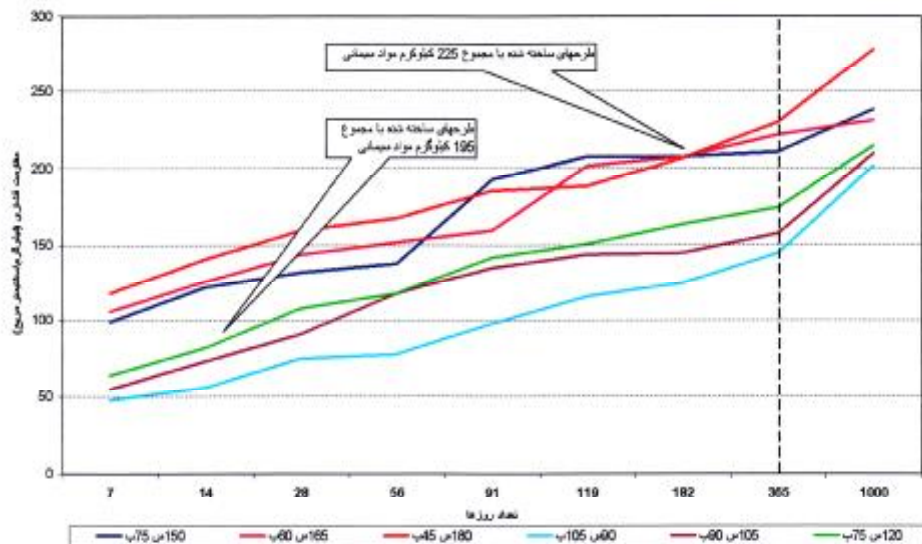
شماره طرح	مقاومت فشاری 1000 روزه	مقاومت فشاری 365 روزه	مقاومت فشاری 182 روزه	مقاومت فشاری 119 روزه	مقاومت فشاری 91 روزه	مقاومت فشاری 56 روزه	مقاومت فشاری 28 روزه	مقاومت فشاری 14 روزه	مقاومت فشاری 7 روزه	مقدار پوزولان %	مجموع سیمان + پوزولان	پوزولان (Kg)	سیمان (Kg)
1	238	211	208	208	193	138	132	122	99	33	225	75	150
2	231	222	208	202	160	152	144	126	106	26	225	60	165
3	278	230	207	189	186	168	160	141	118	20	225	45	180
4	202	145	125	116	98	78	75	56	48	53	195	105	90
5	210	158	145	144	135	118	91	73	55	46	195	90	105
6	215	175	164	151	142	118	108	82	64	38	195	75	120

مقایسه مقادیر مقاومت‌های کسب شده در سنین پایین با میزان سیمان مصرفی گویای این واقعیت می باشد که مقدار مقاومت در سنین پایین رابطه مستقیم با مقدار سیمان مصرفی داشته ولی در سنین بالا این نسبت صدق نمی کند و درصد پوزولان بیشتر موجب افزایش قابل توجه مقاومت ها می گردد. مقایسه طرح های شماره (4) و (6) که مقدار کل مواد سیمانی شان با هم برابر است و به میزان 25% از لحاظ مقدار سیمان مصرفی باهم فرق میکنند، جالب توجه است: طرح شماره(4) در سنین 119- 182- 365- 1000 روزه به ترتیب 77 - 76 - 83 - 94 درصد مقاومت طرح دیگر را کسب نموده است. همچنین اثر بخشی پوزولان طبیعی کارخانه سیمان خاش در جدول شماره (2) برای سنین مختلف نشان داده شده است.

جدول شماره 2- اثر بخشی پوزولان به عنوان ماده جایگزین سیمان در کسب مقاومت

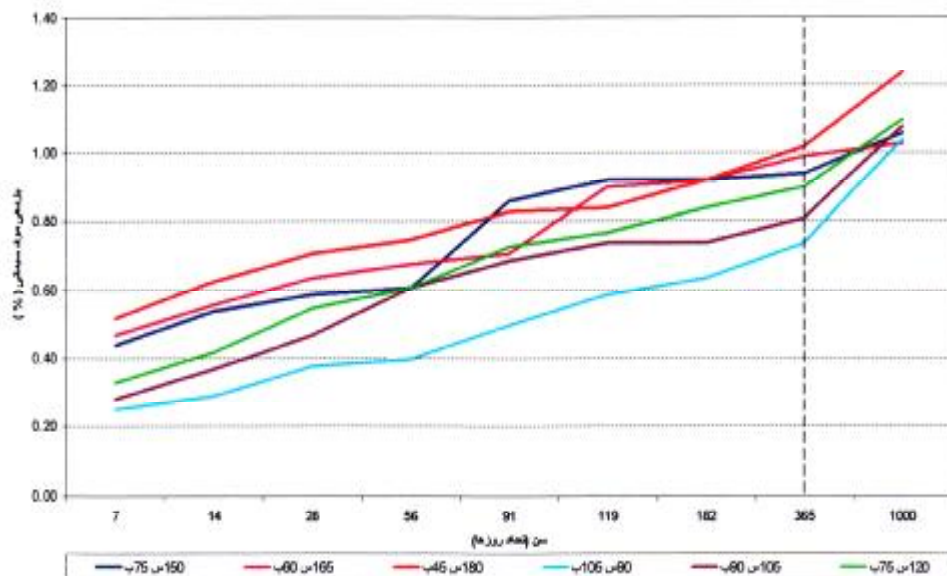
شماره طرح	اثر بخشی 1000 روزه	اثر بخشی 365 روزه	اثر بخشی 182 روزه	اثر بخشی 119 روزه	اثر بخشی 91 روزه	اثر بخشی 56 روزه	اثر بخشی 28 روزه	اثر بخشی 14 روزه	اثر بخشی 7 روزه	مقدار پوزولان %	مجموع سیمان + پوزولان	پوزولان (Kg)	سیمان (Kg)
1	1/04	0/94	0/92	0/92	0/86	0/61	0/59	0/54	0/44	33	225	75	150
2	1/03	0/99	0/92	0/90	0/71	0/68	0/64	0/56	0/47	26	225	60	165
3	1/24	1/02	0/92	0/84	0/83	0/75	0/71	0/63	0/52	20	225	45	180
4	1/04	0/74	0/64	0/59	0/50	0/40	0/38	0/29	0/25	53	195	105	90
5	1/08	0/81	0/74	0/74	0/69	0/61	0/47	0/37	0/28	46	195	90	105
6	1/10	0/90	0/84	0/77	0/73	0/61	0/55	0/42	0/33	38	195	75	120

نمودار شماره (1) مقاومت‌های طرح‌های مختلف را با استفاده از پوزولان به عنوان ماده جایگزین شده سیمان در دو رده مختلف از نظر مقدار مواد سیمانی در هر متر مکعب نشان می دهد. تأثیر زمان بر افزایش مقاومت بر اثر استفاده از پوزولان کاملاً مشهود می باشد باین تفاوت که استفاده از پوزولان موجب بروز حرارت هیدراسیون کمتری در زمان گیرش شده و لذا می توان لایه های بتن غلطکی را با سرعت قابل توجهی بر روی یکدیگر جاسازی نمود.



نمودار شماره (1): مقاومت فناوری طرح اختلاط

نمودار شماره (2) اثر بخشی پوزولان طبیعی طرحهای مختلف را نشان می دهد، لازم به توضیح است که واحد اثر بخشی برابر است با مقاومت‌های کسب شده در سنین مختلف به مجموع مقادیر سیمان و مواد جایگزین آن در یک متر مکعب از بتن.



نمودار شماره (2): اثر بخشی پوزولان طبیعی

در طول زمان انجام آزمایشات، رفتار مواد جایگزین سیمان به لحاظ روش اختلاط با مصالح سنگی نیز مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حاصله موید این مهم بوده است که اختلاط مواد جایگزین سیمان قبل از اختلاط آنها با مصالح سنگی مقاومت‌های حاصله را به طور قابل ملاحظه ای افزایش می دهد.

ماشین آلات مورد نیاز ساخت و اجرای بتون RCC :

وسایلی که در این بخش به آنها اشاره می گردد تنها مربوط به دستگاه های ویژه ساخت و اجرای بتن RCC می باشد.(به استثنای ماشین آلات ای جهت پهن کردن و تسطیح بتون در سطح و نیز وسایل اجرای بتن ریزی با بتن معمولی)

1. ساخت بتن RCC :

در این پروژه مصالح بتن از محل آبرفت های رودخانه، پیش بینی شده است. در نتیجه ماشین آلات ذیل برای اجرای عملیات در نظر گرفته شده است.

- وسایل و تجهیزات شستشوی مصالح بتن

- تجهیزات سرند کردن و تفکیک دانه بندی مصالح با طبقه بندی پیش بینی شده
- یک دستگاه سنگ شکن برای شکستن قطعات بزرگتر از 75 میلیمتر با ظرفیت 20 تن در ساعت
- یک آسیاب برای تولید مواد ریز جهت تهیه و تضمین مقدار کافی مصالح دانه ریز کوچکتر از 0/1 میلیمتر با ظرفیت تولید 2 تن در ساعت
- مخلوط کننده بتن نوع Pug mill در رده مخلوط کننده با ظرفیت تولید فراتر از 60 تن در ساعت. (شایان ذکر است بتن RCC با همان وسایل و تجهیزاتی که بتون معمولی را می سازند، نیز می تواند تولید شود)

2. حمل و انتقال بتون به کارگاه :

در یک کارگاه استفاده از RCC بین مرکز تولید و تخلیه آن در محل مورد نظر یک مرحله توقف وجود دارد در پروژه سد جگین نیز این چنین بوده، در واقع کامیون ها یا دامپرها که بتن را حمل می کنند هرگز مجاز به حرکت روی سد نیستند. زیرا با خود مقداری مواد کشیف که پاکسازی آن مشکل است را به محل بتن ریزی حمل می کنند.

3. تدارکات کارگاه :

همانطور که در پیش ذکر گردید، لازم است برای این کارگاه وسیله ای پیش بینی شود که بتواند بتن RCC را از ایستگاه تولید بتن تا محل دامپرهایی که بتن را در سطح کار پخش می کنند انتقال دهد [شکل شماره(1)].



شکل شماره 1- جاگزاری بتن غلطکی و شیوه انتقال آن با استفاده از شوت انتقال

دستگاههایی مانند:

- کابل نقاله
- جرثقیل برقی
- فونیکولر

همچنین شایان ذکر است که دستگاه انتقال مذکور بایستی آنقدر قدرت داشته باشد، که بتواند سریعاً و در حالت اضطراری، در هنگام وقوع سیلاب کلیه وسایل و تجهیزات کاربردی بتن RCC را که امکان دارد در اثر عبور سیلاب با آب برده شود، را از روی سد تخلیه نماید.

4. اجرای عملیات بتن ریزی با بتن RCC :

- انتقال بتن RCC از محل دریافت بتن روی سد به نقاط مختلف مورد اجرا، توسط دامپرهایی با حجم متناسب و با تولید پیش بینی شده صورت می گیرد. در اجرای سد جگین حداقل تعداد 6 دامپر، استفاده گردیده. برای پهن کردن بتن RCC به صورت لایه های افقی، از بولدوزرهای نوع D6 یا مشابه آن استفاده شد. برای پهن کردن ملات بین دو لایه یا پهن کردن بتن RCC با دانه بندی نسبتاً کوچک در صورت نیاز در بعضی از محل های اتصال بین لایه ها یک لودر کوچک که مخزن مصالح آن به یک تیغه پهن کننده مجهز باشد، پیش بینی گردیده. در این پروژه عمل کوبیدن بتن با یک غلطک لرزان با وزن حداقل 10 تن از نوع غلتک های مورد استفاده در راهسازی صورت گرفته. برای ساخت این سد حداقل تعداد 3 غلتک ضروری می بود.

- برای محل هایی که این نوع غلطک قابل استفاده نباشد، یک غلتک کوچک دستی بکار گرفته می شد. (غلتک نوع CASE یا BOMAG) [شکل شماره (2)] همچنین لازم است یک دستگاه ماشین برای کوبیدن و متراکم کردن مصالح از نوعی که یک صفحه لرزان عمل کوبیدن را انجام

می دهد، پیش بینی شود. دستگاه مذکور برای نقاطی که محل تماس بین بتن معمولی با بتن RCC است بکار گرفته می شود.



شکل شماره 2- جاگذاری بتن غلطکی

- برای آب پاشی و عمل آوردن بتن روی سطح کوبیده شده، از یک کامیون تانکر آب استفاده می شود.
- برای متراکم کردن بتن معمولی در محل تماس با بتن RCC بایستی از یک سری ویبراتورهای برقی که روی بازوی بولدوزر کوچک یا لودر نصب شده باشند استفاده نمود.
- اجرای درزهای سد از طریق ادخال ورق های فلزی در لایه بتن RCC قبل از کوبیدن بتن انجام می گیرد و برای این کار از یک چکش هیدرولیکی که روی بازوی بیل هیدرولیکی نصب شده باشد استفاده شده.

نتیجه گیری

با توجه به نتیجه نهایی مطالعات انجام شده در مرحله شناخت روی حوزه های آبریز رودخانه جگین، احداث یک سد مخزنی بر روی رودخانه جگین در ساختگاه دهن مرنگ همراه با شبکه آبیاری جهت کنترل، تنظیم و استفاده در کشاورزی و رفع نیازهای شهری و بهره برداری از حدود 83 میلیون متر مکعب از آبهای جنوب کشور که در حال حاضر بدون استفاده به دریا می ریزند، توصیه گردید.

به منظور استفاده از پوزولان طبیعی بعنوان مصالح جایگزین سیمان در بتن RCC رعایت نکات ذیل قابل تأمل است :

الف- با توجه به اثر بخشی پوزولان در کسب مقاومت در سنین بالا، می بایست حتی الامکان با توجه به زمان واقعی بارگذاری، سن تعیین مقاومت بتن غلطکی در پروژه های سد سازی به یکسال افزایش داده شود.

ب - پوزولان طبیعی به عنوان ماده جایگزین سیمان می تواند در بتن سازه ای نیز مورد استفاده قرار گیرد مشروط به اینکه سن تعیین مقاومت فشاری 90 روزه حتی المقدور بالاتر باشد. تأثیر پوزولان در روند رشد مقاومت در بتن سازه ای نیز هم زمان با بتن غلطکی مورد بررسی قرار گرفته و نتایج حاصله منتج به ضرایب 52 ، 60،64 ، درصد اثر بخشی برای جایگزینی حدود 40% پوزولان در دوره های شش ماهه، یکساله، سه ساله شده است.

مراجع:

1. بررسی تأثیر پوزولان طبیعی در روند رشد مقاومتی بتن _ شرکت فن آوران بوردو (مدیریت طرح)
2. تکنولوژی بتن پیشرفته _ دکتر علی اکبر رضانیانپور، دکتر پرویز قدوسی، دکتر اسماعیل گنجیان
3. ساختار خواص و اجرای بتن _ دکتر علی اکبر رضانیانپور، دکتر پرویز قدوسی، دکتر اسماعیل گنجیان
4. فصل نامه داخلی انجمن بتن ایران دوره اول و دوم _ انجمن بتن ایران

<http://www.ici.ir>[5]

<http://www.concrete.org/general/home.asp>[6]

<http://pubs.asce.org/bridges>[7]

<https://www.asce.org/bookstore/book/>[8]

<https://www.asce.org/bookstore/year.cfm?strYear=2007> [9]