



تأثیر پوزولان طبیعی چکنه و نانوسیلیس بر مقاومت فشاری و جذب بتن در معرض گازوئیل

ایمان سلیمانی مقدم^۱، محمدرضا سهرابی^۲، حمیدرضا وارسته پور^۳، محمد حسن برازنده^۴

۱- کارشناس ارشد عمران سازه دانشگاه آزاد واحد زاهدان (مدرس دانشگاه آزاد تربت حیدریه)

۲- استادیار دانشگاه سیستان و بلوچستان

۳- استادیار مؤسسه آموزش عالی صنعت آب و برق مشهد

۴- کارشناس ارشد عمران سازه دانشگاه آزاد واحد زاهدان

۱- imia65@yahoo.com

خلاصه

بتن قابلیت کاربرد در شرایط و محیط های مختلف را دارا می باشد، لیکن در بعضی موارد از بتن در محیط های صنعتی با فرآیند شیمیایی نظیر پالایشگاه ها بصورت نمایان استفاده می شود. چنین بتنی می تواند در معرض اثرات تخریبی مواد شیمیایی قرار گیرد. در این پژوهش مطالعات آزمایشگاهی گسترده ای صورت گرفته است و به بررسی نقش جاگزینی پوزولان طبیعی چکنه و نانوسیلیس بجای سیمان در محیط شیمیایی گازوئیل پرداخته شده است. نمونه ها با طرح اختلاط های مختلف با نسبت آب به سیمان ۰٫۴، شامل بتنهای با سیمان پرتلند معمولی (بتن کنترل)، بتن شامل درصد های مختلفی از پوزولان طبیعی چکنه و نانوسیلیس ساخته شدند. در ابتدا تأثیر جاگزینی سیمان پرتلند با پوزولان چکنه و نانوسیلیس به صورت مجزا و با هم، بر مقاومت فشاری ۲۸ روزه مورد ارزیابی قرار میگیرد و سپس نمونه ها بعد از ۲۸ روز عمل آوری، به مدت ۷، ۲۲ و ۶۰ روز در گازوئیل غوطه ور می شوند و میزان افت مقاومت و جذب نفت نسبت به مرحله اولیه (بعد از ۲۸ روز عمل آوری) مقایسه شده اند. نتایج نشان میدهد که افزودن پودر پوزولان طبیعی چکنه، باعث افت مقاومت فشاری ۲۸ روزه و نانوسیلیس باعث افزایش آن میشود. همچنین با قرارگیری نمونه های حاوی پوزولان چکنه و نانوسیلیس (چه به صورت مجزا و چه به صورت ترکیبی) در گازوئیل، همواره شاهد کاهش مقاومت نسبت به مقاومت ۲۸ روزه خود بوده اند. بعلاوه با گذشت زمان شاهد افزایش جذب گازوئیل بوده ایم. در نهایت دیده میشود که نمونه حاوی ۲ درصد نانوسیلیس و ۱۰ درصد پوزولان طبیعی چکنه در محیط گازوئیل بدترین شرایط را دارد.

کلمات کلیدی: پوزولان چکنه، نانوسیلیس، گازوئیل، مقاومت فشاری، جذب، بتن

۱. مقدمه

تغییر از مخازن فولادی به بتنی برای ذخیره فرآورده های نفتی به دلیل هزینه کم تعمیر، نگهداری و ساخت پیشنهاد گردیده است، علاوه بر این بتن مقاومت قابل توجهی در برابر آتش و مواد منفجرشونده دارا می باشد. این مسئله، تحقیق بر روی مقاومت بتن برای نگهداری انواع ماده های نفتی را ضروری می سازد. در طی دهه ۱۹۷۰ تجربیات قابل توجهی برای طراحی مخازن ذخیره نفت بدست آمد. در حال حاضر اکثر مخازن بتنی برای ذخیره نفت در زیر آب به کار می روند مانند میدان اکوفیسک (Ekofisk-Field)، میدان نفتی دریایی برنت و سکوی بتنی دریایی استرترفورد (Stratford B) [۱].

نفت خام و فرآورده های آن از کالاهای استراتژیک و حیاتی برای اغلب کشورهای جهان محسوب میگردد. ذخیره سازی این فرآورده ها در زنجیره تولید و انتقال و ارسال آن به پالایشگاهها، بنادر و فرودگاهها برای مقاصد لشکری و کشوری ضرورت دارد. استفاده از مخازن فلزی به طور گسترده در ایران و سایر نقاط جهان رایج میباشد، لیکن پیشرفت روز افزون تکنولوژی ساخت سازه های بتنی و مزیت های غیرقابل انکار اینگونه سازه ها، ضرورت مطالعه و بررسی امکانات دیگری احداث مخازن بتنی را اجتناب ناپذیر مینماید [۲].



با توجه به لزوم استفاده از مخازن بتنی در پالایشگاهها و مجاورت مواد نفتی با سکوها، باراندازها، بررسی شناخت رفتار مقاومتی و جذب بتن در مجاورت با این فرآورده ها از طریق انجام آزمایشاتی در این راستا حائز اهمیت می باشد.

۲. برنامه آزمایشگاهی

در این تحقیق از پودر پوزولان چکنه با نسبت های وزنی ۰، ۱۰ و ۲۰ درصد و نانوسیلیس با نسبت وزنی ۲ درصد سیمان استفاده و جایگزین سیمان مصرفی شده است. نسبت آب به مواد سیمانی نیز برای تمامی نمونه ها یکسان و برابر ۰،۴ در نظر گرفته شده است. جهت تعیین نسبت های اختلاط اجزای تشکیل دهنده بتن از روش حجم مطلق مطابق آیین نامه ACI، استفاده شده است. ابعاد قالب های مکعبی استفاده شده برای تعیین مقاومت فشاری، نمونه های ۱۵*۱۵*۱۵ سانتی متر در نظر گرفته شده است. این تحقیق شامل دو مرحله می باشد، در مرحله نخست تمامی نمونه ها به مدت ۲۸ روز عمل آوری شده، میزان مقاومت فشاری هر طرح اختلاط تعیین می شود. در مرحله دوم بعد از توزین نمونه ها، آنها را به مدت ۷، ۴۲ و ۶۰ روز در محیط گازوئیل قرار داده، با تعیین تغییرات مقاومتی و وزنی به بررسی تأثیر جایگزینی پوزولان طبیعی می پردازیم.

۳. مصالح مصرفی

دانه بندی ماسه و شن مصرفی مطابق ملزومات استاندارد ASTM و به ترتیب در محدوده ۰-۴،۷۵-۴،۷۵ میلیمتر و ۲۵-۴،۷۵ میلیمتر می باشد. مصالح سنگی مورد استفاده از نوع شکسته انتخاب و مدول نرمی ماسه ۲،۸۶ می باشد. در جدول های (۱) و (۲) نتایج مربوط به آزمایش های تعیین مشخصات فیزیکی سنگدانه ها به عنوان پارامترهای لازم برای طرح اختلاط بتن ارائه شده اند.

جدول (۱). مشخصات فیزیکی شن

$\omega_{SSD,CA}$	ω_{CA}	G_{CA}	$\gamma(kg/m^3)$	مشخصات فیزیکی
C127	C566	C127	C29	شماره استاندارد ASTM
۰،۶۵٪	۰	۲،۷	۱۶۹۳،۳۳	مقدار حاصل از آزمایش

γ وزن مخصوص خشک میله خورده، G_{CA} چگالی شن، ω_{CA} درصد رطوبت شن در حالت طبیعی و $\omega_{SSD,CA}$ درصد جذب آب شن در حالت اشباع می باشد.

جدول (۲). مشخصات فیزیکی ماسه

FM	$\omega_{SSD,FA}$	ω_{FA}	G_{FA}	مشخصات فیزیکی
C136	C128	C566	C128	شماره استاندارد ASTM
۲،۸۶	۲٪	۱،۲۱٪	۲،۶۶	مقدار حاصل از آزمایش

G_{FA} چگالی ماسه، ω_{FA} درصد رطوبت ماسه در حالت طبیعی، $\omega_{SSD,FA}$ درصد جذب آب ماسه در حالت اشباع و FM نیز مدول نرمی ماسه اصلاح شده می باشد.



برای افزایش میزان کارآیی نمونه های بتنی، از فوق روان کننده با نام تجاری RB-PC180 و بر پایه پلی کربکسیلات اتر استفاده شده است. در این پژوهش از پودر پوزولان طبیعی چکنه استفاده شده است که شرایط استاندارد ASTM-C618 را برآورده می سازد. پوزولان چکنه، یک پوزولان سیلیسی آلومیناتی می باشد و از معدنی به همین نام که در نزدیکی شهرستان قوچان قرار دارد، استخراج می شود و به کارخانه سیمان بجنورد حمل می گردد و از آن برای تولید سیمان پوزولانی استفاده می شود.

جدول (۳) نتایج آنالیز XRF بر روی این پوزولان را نشان می دهد.

جدول (۳). مشخصات پوزولان چکنه با الزامات استاندارد ASTM C618 [۳]

ASTM C618	پوزولان بش آقاج	ترکیبات شیمیایی
-	٪۷۰/۹۶	SiO ₂
-	٪۱۴/۵۲	Al ₂ O ₃
-	٪۲/۴۴	Fe ₂ O ₃
-	٪۰/۷۴	Mgo
-	٪۳/۵۲	CaO
-	٪۳/۷۵	Na ₂ O
-	٪۲/۲۵	K ₂ O
حداکثر ۴ درصد	٪۰/۰	SO ₃
حداکثر ۱۰ درصد	٪۱/۲۸	LOI
حداقل ۷۰ درصد	٪۸۷/۹۲	SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃

سیمان مصرفی در این تحقیق آزمایشگاهی نیز از سیمان پرتلند نوع دو تولید شده در کارخانه سیمان شرق مشهد استفاده می شود. ترکیب شیمیایی سیمان در جدول (۴) ارائه گردیده است.

جدول (۴). نتایج تجزیه شیمیایی سیمان مصرفی [۴]

ترکیب شیمیایی	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	LOI
سیمان	٪۲۲,۶۴	٪۴,۵	٪۳,۵۱	٪۲,۸۸	٪۶۲,۵۱	-	-	٪۲	-	-	٪۱,۲۸

جدول (۵). ویژگی های فیزیکی سیمان پرتلند نوع دو مشهد [۴]

انقباض اتوکالف	زمان گیرش اولیه (دقیقه)	زمان گیرش نهایی (دقیقه)	سطح مخصوص (cm ² /gr)
۰,۰۱	۱۸۵	۲۰۵	۳۲۲۱



در این تحقیق از نانوسیلیس به صورت محلول در آب ۳۰٪ که از شرکت آسان خریداری شد، استفاده گردید. مشخصات نانوسیلیس مصرفی در جدول (۶) نشان داده شده است.

جدول (۶). مشخصات نانوسیلیس مصرفی

نوع ذرات	درصد ذرات جامد محلول	سایز ذرات (nm)	سطح مخصوص (m ² /gr)	pH
SiO ₂	٪۳۰	۹/۳-۱۰/۵	۲۸۰-۲۵۰	۹/۵-۱۰

جدول (۷) طرح اختلاط نمونه های مختلف را نشان می دهد. نام گذاری طرح ها در این جدول به صورت ذیل انجام گرفته است:

C: (Concrete) بیانگر بتن شاهد می باشد.

P: (Natural pozzolan) بیانگر پودر پوزولان طبیعی چکنه می باشد.

N: (Nano Silica) بیانگر نانو سیلیس می باشد.

لازم به ذکر می باشد که عدد پس از حروف لاتین نشانگر درصد جایگزین افزودنی مورد نظر بجای سیمان می باشد.

جدول (۷). نسبت های اختلاط بتن (kg/m³)

طرح	ماسه	شن	سیمان	آب	فوق روان کننده	پوزولان چکنه	نانوسیلیس ٪۳۰	میکروسیلیس
C	۹۹۰	۸۱۰	۴۰۰	۱۶۰	-	-	-	-
CP ₁₀	۹۹۰	۸۱۰	۳۶۰	۱۶۰	-	۴۰	-	-
CP ₂₀	۹۹۰	۸۱۰	۳۲۰	۱۶۰	-	۸۰	-	-
CN ₂	۹۹۰	۸۱۰	۳۹۲	۱۴۱	۴/۴	-	۲۶/۶۷	-
CP ₁₀ N ₂	۹۹۰	۸۱۰	۳۵۲	۱۴۱	۴/۴	۴۰	۲۶/۶۷	-
CP ₂₀ N ₂	۹۹۰	۸۱۰	۳۱۲	۱۴۱	۴/۴	۸۰	۲۶/۶۷	-

۴. نتایج آزمایش ها و بررسی آنها

در جدول (۸) نتایج مربوط به اسلامپ، میزان مصرف فوق روان کننده، مقاومت فشاری ۲۸ روزه در آب (عمل آوری) و مقاومت فشاری ۷، ۴۲ و ۶۰ روزه در محیط گازوئیل مشاهده می شود. اسلامپ نمونه های CP₁₀ و CP₂₀ به ترتیب برابر ۹ و ۸٫۵ سانتی متر است که نسبت به نمونه شاهد دچار افت شده اند. دلیل این پدیده، بیشتر بودن سطح مخصوص پوزولان چکنه، نسبت به سطح مخصوص سیمان است. لذا به طور منطقی، با افزایش سطح مخصوص مواد سیمانی مورد استفاده در ساخت بتن، آب مورد نیاز برای خیس کردن سطح دانه های مواد سیمانی افزایش می یابد و لذا اسلامپ بتن به طور محسوسی افت می کند. نکته



بسیار مهمی که در مورد استفاده از نانو مواد و بخصوص نانو سیلیس در بتن باید اشاره شود این است که زمانی که ما از نانو سیلیس در بتن استفاده می کنیم، به شدت با کمبود آب در بتن مواجه می شویم، این امر باعث کاهش شدید روانی بتن و سخت شدن آن می گردد که متعاقباً باعث کاهش اسلامپ بتن شده، و عمل تراکم در قالب ریزی به خوبی انجام نمی گردد [۵]. در واقع به دلیل سطح ویژه بسیار بالای نانو ذرات سیلیس، این ذرات مقداری از آب موجود در بتن را جذب کرده و باعث کاهش کارایی مخلوط های بتن می شود. در نمونه های حاوی ۲٪ نانو سیلیس برای قرار گیری در محدوده مورد نظر اسلامپ از ۱/۱٪ فوق روان کننده استفاده شده است. با توجه به میزان مصرف فوق روان کننده مصرفی، مقدار اسلامپ نمونه CN_2 برابر با ۸/۵ سانتی متر است.

جدول (۸). نتایج آزمایش مقاومت فشاری

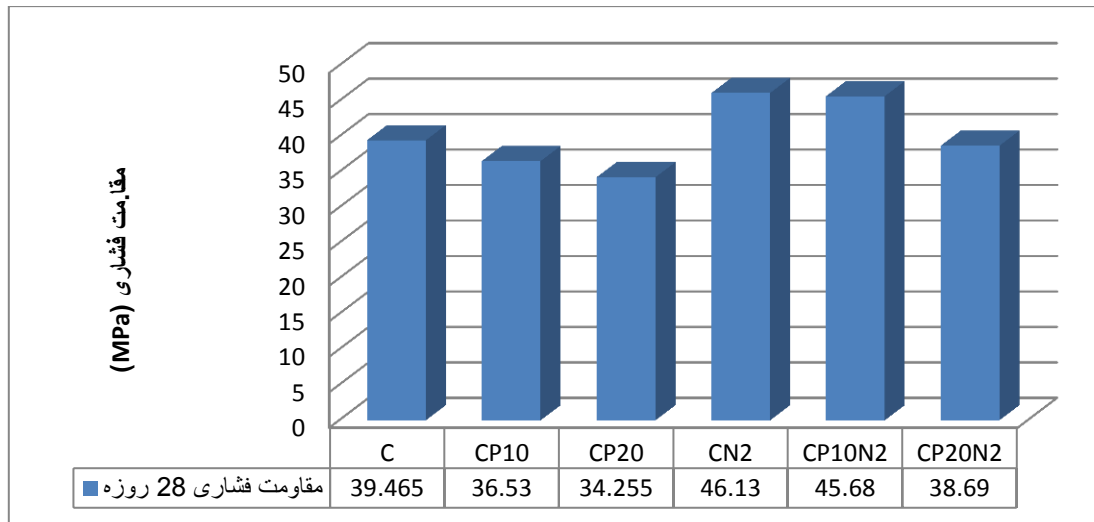
شماره	طرح	اسلامپ	٪ فوق روان	مقاومت فشاری	مقاومت فشاری	مقاومت فشاری	مقاومت فشاری ۶۰
طرح	(cm)	کننده	روزه ۲۸ (MPa)	روزه ۷ (MPa)	روزه ۲۸ (MPa)	روزه ۷ (MPa)	روزه (MPa)
۱	C	۹,۵	۰	۳۹,۴۶۵	۳۷,۹۶	۳۶,۸۹	۳۶,۶
۲	CP ₁₀	۹	۰	۳۶,۵۳	۳۵,۸۴	۳۴,۲۳	۳۳,۵
۳	CP ₂₀	۸,۵	۰	۳۴,۲۵۵	۳۴,۱۵	۳۲,۹۷	۳۲,۶۴
۴	CN ₂	۸,۵	۱,۱	۴۶,۱۳	۴۲,۴	۴۱,۸۳	۴۱,۱۴
۵	CP ₁₀ N ₂	۸	۱,۱	۴۵,۶۸	۴۲,۱۸	۳۸,۴۴	۳۸,۰۸
۶	CP ₂₀ N ₂	۷,۵	۱,۱	۳۸,۶۹	۳۷,۷۵	۳۷	۳۴,۹۶

در شکل (۱) ملاحظه می شود با افزایش درصد جایگزینی سیمان با پودر پوزولان طبیعی چکنه مقاومت فشاری ۲۸ روزه کاهش می یابد. بطوریکه با جایگزین کردن ۲۰ درصد وزنی سیمان با پوزولان چکنه، شاهد بیشترین افت مقاومت فشاری نسبت به مقاومت فشاری نمونه شاهد (حدود ۱۴,۲۷٪) هستیم. به نظر می رسد که فعالیت پوزولانی پوزولان چکنه، نتوانسته است به نحو مطلوبی، افت مقاومت ناشی از کاهش سیمان را جبران نماید.

با توجه به شکل (۱) ملاحظه می گردد که جایگزین نمودن ۲٪ وزنی سیمان با نانو سیلیس، منجر به افزایش قابل توجه مقاومت فشاری، نسبت به مقاومت فشاری نمونه شاهد شده است. افزودن نانو سیلیس به مخلوط بتن باعث می شود تا سیلیس فعال (SiO_2) آن با محلول هیدروکسید کلسیم ($Ca(OH)_2$) آزاد ناشی از خمیر سیمان موجود در منافذ موین ترکیب گردد و کریستال سیلیکات کلسیم نامحلول تولید نماید و در نهایت باعث تراکم ساختار خمیر سیمان و کاهش نفوذ پذیری و افزایش مقاومت بتن گردد [۶].

با توجه به نتایج ارائه شده در شکل (۱)، ملاحظه می گردد که مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه حاوی ۱۰٪ پوزولان چکنه و ۲٪ نانو سیلیس (CN_2P_{10}) نسبت به نمونه شاهد ۱۴/۳۱٪ افزایش داشته است. اما مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه حاوی ۲۰٪ پوزولان چکنه با ۲٪ نانو سیلیس (CN_2P_{20}) نسبت به نمونه شاهد ۳,۱۷٪ کاهش داشته است. واضح است که با افزایش میزان مصرف پوزولان چکنه، از تاثیر نانو سیلیس در ارتقای مقاومت فشاری نمونه ها کاسته می شود.

شکل (۱). مقایسه مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه های حاوی پوزولان

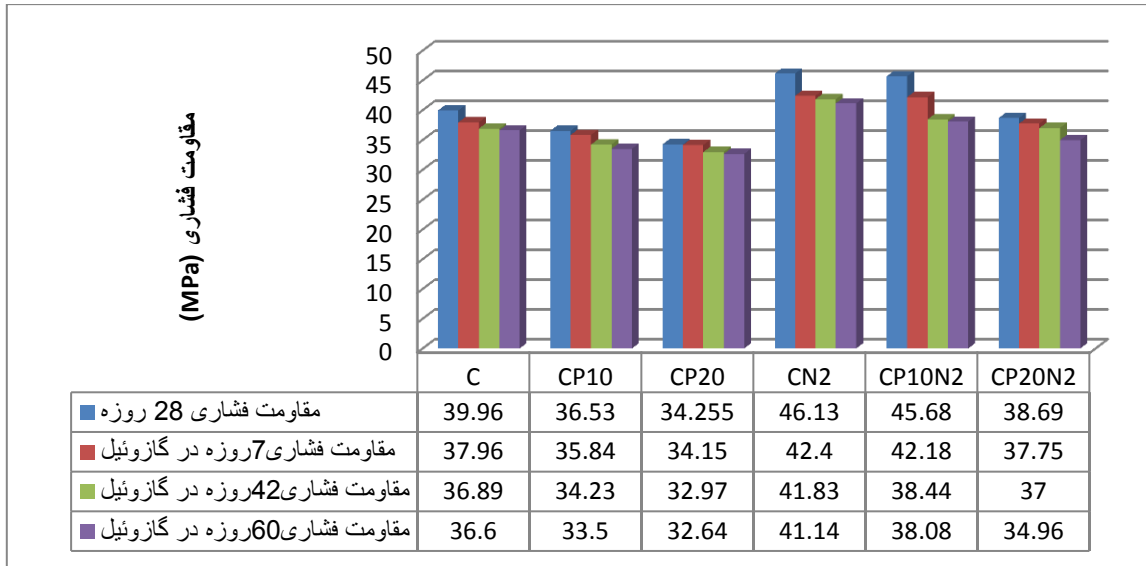


در شکل (۲) نتایج حاصل از آزمایش مقاومت فشاری بر روی بتن های غوطه ور در محیط گازوئیل در سنین ۷، ۴۲ و ۶۰ روزه ارائه گردیده است. چنانچه مشاهده می گردد مقاومت فشاری تمام نمونه های قرار گرفته شده در گازوئیل نسبت به مقاومت فشاری ۲۸ روزه خودشان دچار کاهش شده اند که می تواند ناشی از نفوذ گازوئیل به داخل نمونه های بتنی می باشد.

در سن ۴۲ روز غوطه وری در محیط گازوئیل، مقاومت فشاری نمونه های CP₁₀ و CP₂₀ نسبت به مقاومت فشاری ۲۸ روزه خود به ترتیب ۶/۲۹٪ و ۳/۷۵٪ کاهش یافته است که هر دو از میزان کاهش نمونه شاهد در همین سن کمتر است. علت این رویه را می توان به شروع شدن فعالیت پوزولانی، پوزولان چکنه و جلوگیری از کاهش مقاومت دانست. در مقایسه دو طرح CP₁₀ و CP₂₀، مشاهده می شود که در تمامی سنین مقاومت فشاری نمونه CP₂₀ نسبت به مقاومت فشاری ۲۸ روزه خود دارای کاهش کمتری بوده است. با توجه به گذشت زمان و کاملتر شدن فرآیند هیدراتاسیون سیمان و تشکیل هیدروکسید کلسیم بیشتر پوزولان باقی مانده بصورت خنثی به مرور زمان فعالیت پوزولانی خود را آغاز می کند. این روند باعث افزایش دوام نمونه های بتنی می شود.

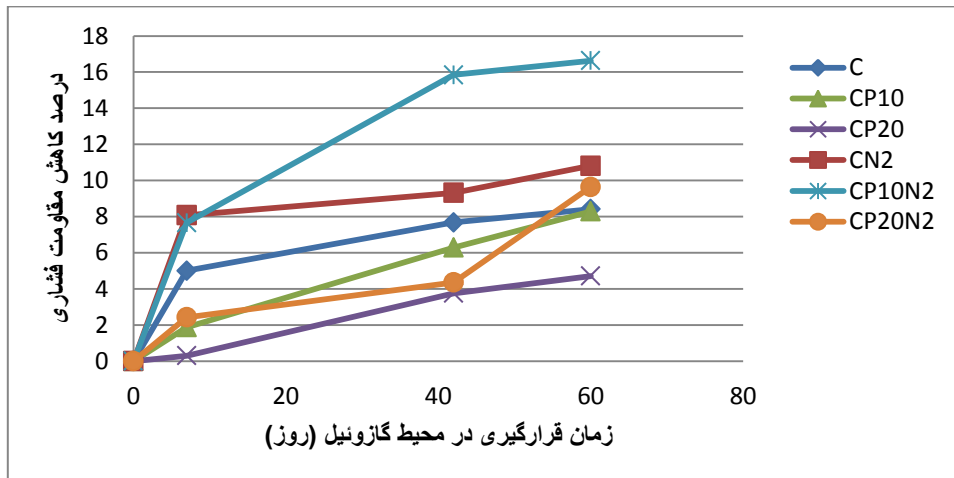
میزان کاهش مقاومت فشاری CN₂ بعد از ۷، ۴۲ و ۶۰ روز غوطه وری در گازوئیل نسبت به مقاومت فشاری ۲۸ روزه اش در مقایسه با نمونه شاهد، بیشتر می باشد، که می تواند به دلیل فعالیت پوزولانی نانو سیلیس تنها در سنین پایین عمل آوری باشد. در سنین ۷، ۴۲ و ۶۰ روزه کاملاً واضح است که بین دو طرح CN₂P₁₀ و CN₂P₂₀، با افزایش درصد جایگزینی پوزولان به نمونه حاوی ۲٪ نانو سیلیس، درصد کاهش مقاومت فشاری در محیط گازوئیل نسبت به مقاومت فشاری ۲۸ روزه کم می شود. در مقایسه سه نمونه حاوی نانو سیلیس، نمونه CN₂P₂₀ در تمامی سنین، درصد کاهش مقاومت کمتر و نمونه CN₂P₁₀ تقریباً درصد کاهش مقاومت بیشتری دارد. علت کمتر بودن درصد کاهش مقاومت فشاری نمونه CN₂P₂₀ را میتوان به این دلیل دانست که پوزولان چکنه در سنین بالا فعالیت خود را آغاز می کند. همچنین نرخ رشد کاهش مقاومت فشاری از سن ۴۲ روز تا ۶۰ روزه در نمونه CN₂P₁₀ نسبت به نمونه CN₂P₂₀ کمتر می باشد که شاید بتوان گفت که علت آن، این است که نانو سیلیس بخش عظیمی از هیدروکسید کلسیم خمیر سیمان را مصرف کرده است و مصرف پوزولان بیشتر باعث می شود، پوزولان بیشتری در نمونه بدون انجام فعالیت پوزولانی باقی مانده و فقط بعنوان یک پرکننده خنثی باشد. زیرا در این حالت پرکننده خنثی هیچ مقاومتی در برابر نفوذ گازوئیل از خود نشان نمی دهد و در نتیجه راحت تر اجازه نفوذ را می دهد.

شکل (۲). مقایسه مقاومت فشاری نمونه های حاوی پوزولان چکنه و نانوسیلیس در محیط معمولی و گازوئیل



در شکل (۳) درصد افت مقاومت فشاری نمونه های بتنی مشاهده می شود. با توجه به شکل (۳)، با یک جمع بندی کلی از لحاظ درصد تغییرات مقاومت فشاری نمونه CN_2P_{10} بدترین حالت را داشته است.

شکل (۳). درصد افت مقاومت فشاری نمونه های بتنی در محیط گازوئیل

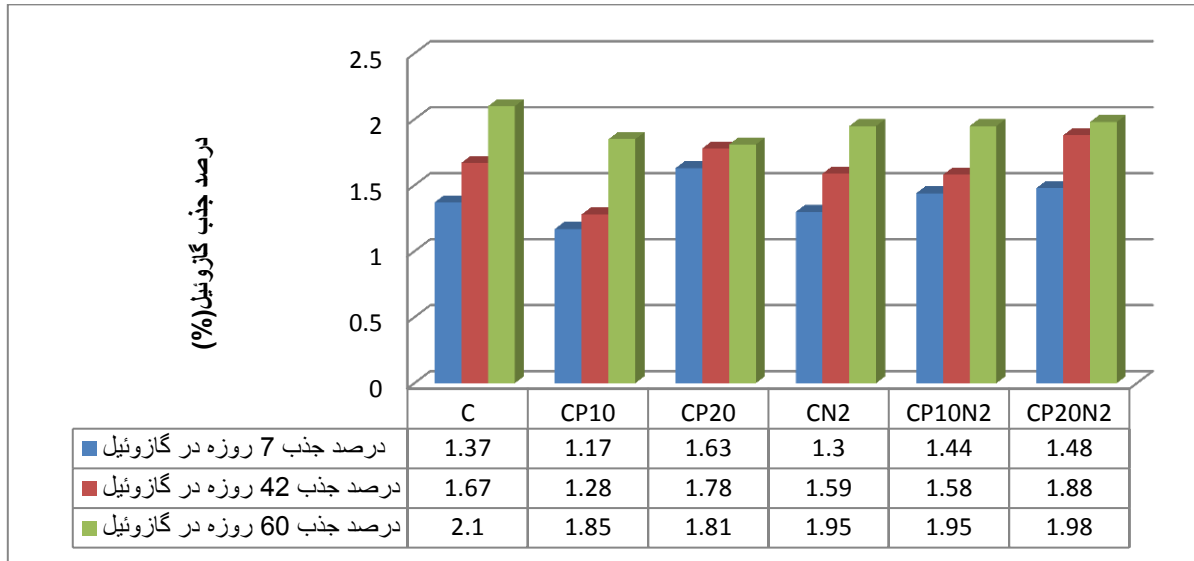


نمونه های بتنی پس از گذشت زمان های ۷، ۴۲ و ۶۰ روز از حوضچه گازوئیل خارج شدند و شستشو گردیدند. توزین نمونه ها ۲۴ ساعت پس از خشک شدن در محیط آزمایشگاه انجام گرفت. با استفاده از تفاوت وزن اولیه و مقدار وزن نمونه بعد از غوطه وری در گازوئیل، درصد جذب نمونه ها بدست آمد. نتایج حاصل از جذب در شکل (۴) نشان داده شده است.

همانطور که ملاحظه می شود، درصدهای جذب علاوه بر جزئی بودن، بسیار نزدیک به هم می باشند که عملاً قضاوت و مقایسه بین آنها را سخت می کند.

با توجه به میزان جذب ها در سن ۶۰ روزه می توان فهمید با افزایش درصد جایگزینی سیمان با پوزولان چکنه، مقاومت بتن در برابر جذب گازوئیل بهتر شده و درصد جذب کمتری رخ داده است. همچنین ملاحظه می شود که استفاده از نانو سیلیس باعث کاهش جذب گازوئیل می شود. این مسئله این فرضیه را اثبات می کند که استفاده از نانو سیلیس باعث بهبود بیشتر ریزساختارهای بتن بویژه ناحیه انتقال می شود.

شکل (۴). درصد جذب گازوئیل نمونه های بتنی



۵. نتیجه گیری

- افزایش میزان جایگزینی سیمان با پوزولان چکنه، منجر به کاهش اسلامپ بتن می گردد.
- جایگزین نمودن پوزولان طبیعی چکنه به جای بخشی از سیمان مصرفی، منجر به کاهش مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن می شود که میزان این کاهش با افزایش درصد جایگزینی سیمان با پودر پوزولان طبیعی افزایش می یابد. به نظر می رسد که فعالیت پوزولانی پوزولان چکنه، نتوانسته است به نحو مطلوبی، افت مقاومت ناشی از کاهش سیمان را در سن ۲۸ روز، جبران نماید.
- پس از ۶۰ روز غوطه وری در گازوئیل نیز همانند سن ۴۲ روزه نمونه های CN_2 و CP_{20} به ترتیب با ۱۶،۶۳٪ و ۴،۷۱٪، بیشترین و کمترین میزان افت مقاومت فشاری را از خود نشان داده اند، در حالیکه نمونه شاهد بعد از ۶۰ روز غوطه وری، ۸،۴۱٪ کاهش مقاومت را نشان داده است. (در سن ۴۲ روزگی مشابه همین حالت بوده است).
- در سن ۶۰ روز غوطه وری در گازوئیل، تمامی نمونه های حاوی نانو سیلیس یعنی نمونه های CN_2 ، CN_2P_{10} و CN_2P_{20} کاهش مقاومت فشاری بیشتری در مقایسه با نمونه شاهد داشته اند.
- افزودن ۲۰ درصد پوزولان چکنه به نمونه حاوی ۲ درصد نانو سیلیس، در مقایسه با افزودن ۱۰ درصد پوزولان چکنه در زمینه تغییرات مقاومت فشاری در محیط گازوئیل، نتایج بهتری می دهد.
- بر اساس نتایج بدست آمده در اکثر نمونه ها، بخش اعظم جذب گازوئیل تا همان سن ۷ روزه صورت گرفته است. درصدهای جذب گازوئیل در نمونه ها بسیار نزدیک به یکدیگر می باشد.



- پس از ۶۰ روز غوطه وری در محیط گازوئیل، نمونه شاهد با ۲۰٪ بیشترین میزان جذب و نمونه CP₂₀ با ۱۰۸٪ کمترین میزان جذب گازوئیل را داشته اند.

۶. قدردانی

با سپاس فراوان از مدیریت شرکت بنیان بتن مشهد، بویژه مسئولین محترم آزمایشگاه بتن زیرا بدون همیاری آنان، انجام این پژوهش میسر نبود.

۷. مراجع

1. Ramzi, B., Azad, A., Compressive and tensile strength of concrete loaded and soaked in crude oil, Engineering journal of the university of Qatar, Vol. 13, 2000.
۲. رضایانپور، ع.، طاحونی، ش.، امیری، م.، بررسی مقامت و نفوذپذیری بتن برای مخازن نفتی، ششمین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران، ۱۳۸۲.
۳. اطلاعات آزمایشات انجام شده توسط شرکت کانساران بینالود
۴. اطلاعات آزمایشات انجام شده توسط شرکت سیمان شرق مشهد
۵. کربلایی، م.، سهرابی، م.، بررسی و مقایسه خواص مکانیکی بتن حاوی میکروسیلیس، بتن حاوی نانو سیلیس و بتن حاوی مخلوط میکروسیلیس و نانو سیلیس، اولین کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت زیرساختها، تهران، آبان ۱۳۸۸.
۶. رستمی، م.، بررسی ویژگیهای مکانیکی بتن حاوی پوزولان بش آقاج در محیط های فاضلاب شهری، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران (سازه)، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۱۳۹۰.