

تاثیر استفاده از پوکه معدنی تبریز بر مقاومت فشاری و جذب آب خمیر سیمان

فائزه نوری^۱، جاوید چاخارلو^{۲*}، بهمن شروانی تبار^۳

- ۱- دانش آموخته‌ی کارشناسی مهندسی عمران-عمران، دانشگاه دولتی شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران
- ۲- کارشناس ارشد مهندسی عمران-سازه، هنرآموز رسمی آموزش و پرورش، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران
- ۳- عضو هیئت علمی گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران

Javid.Chakherlou@gmail.com

چکیده

در این پژوهش از پودر پوکه‌ی معدن بنه‌کهل بستان آباد تبریز به صورت افزودنی در خمیر سیمان استفاده گردید. این ماده دارای خواص پوزولانی بوده و در مجاورت خمیرسیمان، خواص سیمانی خود را نشان می‌دهد و در نتیجه جزو مواد سیمانی محسوب می‌شود. نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳۵ و ۰/۴ در نظر گرفته شده است. نتایج آزمایش‌ها نشان داده‌اند که از لحاظ جذب آب حین عمل آوری همه نمونه‌ها به تدریج جذب آب دارند و همچنین نشان می‌دهد که واکنش‌های هیدراسیون مواد سیمانی و تشکیل کریستال‌ها به صورت منظم ادامه دارد. از لحاظ جذب آب نمونه‌های ۲۸ روزه طبق استاندارد ASTM، نتایج نشان می‌دهد که تخلخل خمیرسیمان با نسبت‌های مختلف پودر پوکه و با افزایش نسبت آب به مواد سیمانی از ۰/۳۵ به ۰/۴ افزایش می‌یابد. از لحاظ مقاومت فشاری نمونه‌هایی که ماده افزودنی پودر پوکه را دارند مقاومت فشاری ۲۸ روزه آن‌ها، دارای افت مقاومت می‌باشند و همچنین برای این نمونه‌ها در سن ۹۰ روزه، برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳۵ اندکی افت مقاومت مشاهده می‌شود ولی برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴ حدود ۱۰٪ افزایش مقاومت ملاحظه گردید.

کلمات کلیدی: پوکه معدنی، مقاومت فشاری، جذب آب، خمیر سیمان

۱- مقدمه

با گسترش استفاده از بتن، تمایل به یافتن موادی که مقاومت آن را بالا برد و از طرفی مقرون به صرفه باشد بیشتر از پیش مورد توجه قرار گرفته است. دستیابی به این مهم از طریق شناخت ساختار شیمیایی این مواد و انجام آزمایش هایی بر روی آن ها امکان پذیر است. مواد جایگزین سیمان یا مواد مکمل سیمان شامل پوزولان ها و مواد شبه سیمانی می باشند. این مواد به منظور تامین یک یا چند خاصیت، بسته به این موارد به کار می روند: کاهش مصرف سیمان، کاهش سرعت و میزان حرارت هیدراسیون، افزایش مقاومت بتن، افزایش پایداری بتن از طریق کاهش نفوذپذیری آن، که این مواد در بعضی موارد به عنوان یک ماده مضاف یا افزونه با سیمان مخلوط می شوند و در برخی موارد دیگر به عنوان جایگزین بخشی از سیمان مورد استفاده قرار می گیرد. لذا استفاده از این مواد، علاوه بر سودمندی های فراوان آن ها، موجب صرفه جویی در مصرف سیمان نیز می شود. تعریف پوزولان در ACI ۱۱۶R-۰۰^۱ در قسمت اصطلاحات بتن و سیمان بیان شده است که طبق آن پوزولان یک ماده سیلیسی یا سیلیسی می و آلومینیمی است، که در خود دارای مقدار کمی چسبندگی که به تنهایی بدون ارزش سیمانی است، اما هنگامی که در مجاورت سیمان یا آهک قرار می گیرد خواص سیمانی خود را نشان می دهد. پژوهشگران به منظور مرتفع سازی و رفع مشکلات آلاینده های زیست محیطی و همچنین بهبود خواص مقاومتی بتن، به دنبال استفاده از موادی با خاصیت مشابه سیمان، به عنوان جایگزین درصدی از سیمان مصرفی در بتن می باشند. پوکه معدنی، سنگ پا با نام علمی پومیس از قدیمی ترین سبک دانه های است که مورد استفاده قرار گرفته است. این سنگ در اثر ورود مواد مذاب آتشفشانی به مخزن های آب مانند دریاها و دریاچه ها و تخلیه ی گاز در هنگام انجام سریع ماگمای روان ایجاد می شود. از دیدگاه ماکروسکوپی، پوکه معدنی اسکوریا به رنگ خاکستری تیره که به قهوه ای میگراید و ظاهری شبیه به سنگ پا دارد، می باشد [1]. پومیس یا پوکه معدنی، در بیشتر نقاط دنیا یافت می شود. این ماده در ایران در بیشتر مناطق بخصوص در منطقه تیکمه داش آذربایجان و یکی از مرغوب ترین پوکه معدنی در شهر بستان آباد تبریز در دامنه بسیار زیبای کوه سهند استخراج می گردد که درصد زیادی از پوکه معدنی کشور به فروش و بخش اعظمی از این ماده ارزشمند نیز صادر می گردد. پوکه معدنی معمولاً به دلیل تخلخل بالا، سبک بوده و در سطح آب شناور می باشد. از مهمترین ویژگی این محصول استحکام بسیار بالا در ترکیب با سیمان و وزن بسیار سبک که دارای قابلیت بالای نگهداری آب می باشد. این سنگ به رنگ سفید مایل به زرد تا خاکستری روشن است و در اثر انباشته شدن خاکسترهای آتشفشانی و آهسته سرد شدن آنها همراه با انبساط ناشی از حباب های به وجود آمده توسط بخار و گازهای موجود در آن به وجود می آید. معادن غنی دیگر آن در ایران (اردبیل، آذربایجان شرقی، قروه کرمانشاه، دامنه های البرز، کرمان و سیستان و بلوچستان می باشد). وزن مخصوص خشک ظاهری این سبکدانه ها در حدود ۴۰۰ تا ۷۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب می باشد. از انواع پوکه معدنی سنگی که ساختمان داخلی آن ضعیف نباشد، بتن رضایت بخشی با وزن مخصوص ۷۰۰ تا ۱۷۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب تولید می شود که خاصیت عایق بودن آن خوب می باشد اما جذب آب و جمع شدگی آن زیاد است [2]. مزیت عمده پوکه معدنی نسبت به مصالح ساختمانی مشابه از قبیل شن و ماسه، وزن مخصوص بسیار کم، دارا بودن درجه سختی بالا و نیز تخلخل بالای آن است. پوکه هایی که از معادن استخراج می شوند عمدتاً داری چهار نوع دانه بندی بادامی، نخودی، عدسی و پودری می باشند. که هر کدام در صنعت ساختمان سازی کاربرد مخصوص خود را دارند. استفاده از پوکه در ساختمان و کارهای عمرانی علاوه بر مزایای گفته شده، باعث مقرون به صرفه بودن پروژه نیز می شود. بر اساس نتایج آزمایشگاهی استفاده از پوکه معدنی به مقدار ۱، ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد وزن سیمان، کاهش مقاومت فشاری بتن نسبت به نمونه شاهد (فاقد پوکه)، را در پی دارد. از طرف دیگر استفاده از پوکه معدنی به میزان ۵ درصد وزنی سیمان باعث افزایش مقدار مقاومت فشاری بتن می شود و در نتیجه طرح مخلوط بتن با ۵ درصد پوکه معدنی می تواند به

^۱ACI 116R-00, Cement and Concrete Terminology

عنوان طرح مخلوط بهینه آزمایشگاهی معرفی گردد [3]. در این تحقیق به بررسی آزمایشگاهی رفتار خمیر سیمان با دو نسبت آب به سیمان ۰/۳۵ و ۰/۴ در نمونه‌هایی با درصد‌های مختلف پودر پوکه معدنی تبریز به صورت افزودنی پرداخته و رفتار خمیر سیمان را از منظر مقاومت فشاری و جذب آب حین عمل آوری در سنین مختلف و همچنین جذب آب ۲۸ روزه بر اساس استاندارد ASTM تحلیل خواهیم کرد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- سیمان

سیمان به کار رفته در این تحقیق از سیمان پرتلند تیپ دو، تهیه شده از کارخانه سیمان صوفیان تبریز می باشد که مشخصات شیمیایی و فیزیکی آن در جدول ۱ و ۲ آورده شده است.

جدول ۱. مشخصات فیزیکی سیمان نوع دو صوفیان

میزان	مشخصات فیزیکی	میزان	مشخصات فیزیکی
۲۷۵	زمان گیرش ثانویه (دقیقه)	۳/۱۲	وزن مخصوص (gr/cm^3)
۱۷۹	مقاومت فشاری ۳ روزه (kgf/cm^2)	۲۹۷۴	بلین (cm^3/gr)
۲۷۴	مقاومت فشاری ۷ روزه (kgf/cm^2)	۰/۲۳	انبساط طولی
۳۷۰	مقاومت فشاری ۲۸ روزه (kgf/cm^2)	۸۰	زمان گیرش اولیه (دقیقه)

جدول ۲. مشخصات شیمیایی مواد تشکیل دهنده سیمان نوع دو صوفیان

درصد	ترکیب شیمیایی	درصد	ترکیب شیمیایی
۰/۷۵	LOI	۲۰/۰۵	SiO_2
۰/۵۸	I.R	۵/۰۴	Al_2O_3
۴۹/۵	C_2S	۳/۴۷	Fe_2O_3
۷	C_2A	۶۴/۵۶	CaO
۲۵/۴۷	C_3S	۲/۳۸	MgO
۰/۹۷	K_2O	۱/۰۸	CaO.f
۰/۳۴	Na ₂ O	۱۰/۵۳	C_2AF
		۱/۷۳	SO_3

۲-۲- پوکه

پوکه های مورد استفاده در این آزمایش از معدن بنه کهل بستان آباد تبریز تهیه شده است. این پوکه‌ها باید از لحاظ اندازه، تقریباً هم اندازه سیمان پرتلند نوع دو باشد، که برای نیل به این هدف پوکه‌های پودری را با استفاده از دستگاه‌های سنگ شکن

خردتر کرده و از الک شماره ۱۰۰ ($\mu 150m$) عبور می‌دهیم. ترکیبات تشکیل دهنده پوکه معدنی خام مصرفی در این پژوهش مطابق جدول ۳ می‌باشد.

جدول ۳. مواد تشکیل دهنده پوکه معدنی

ترکیب شیمیایی	درصد	ترکیب شیمیایی	درصد
SiO ₂	۶۲/۴۵	SrO	۰/۰۹
Al ₂ O ₃	۱۷/۲۴	MgO	۱/۰۳
TiO ₂	۰/۳۷	K ₂ O	۲/۱۶
P ₂ O ₅	۰/۲۱	SO ₃	۰/۱۶
CaO	۳/۲۲	Na ₂ O	۲/۰۰
Fe ₂ O ₃	۲/۸۶	CL	۰/۳۰

۲-۲- آب

در این پژوهش آب به کار رفته برای ساخت نمونه‌ها، آب شرب دانشگاه شهید مدنی آذربایجان-تبریز می‌باشد.

۳- آماده سازی و عمل آوری نسبت‌های مخلوط

ابتدا قالب‌ها را آماده می‌کنیم. داخل قالب‌ها را روغن کاری می‌کنیم. باید دقت کنیم که مقدار روغن نباید زیاد باشد زیرا ممکن است وارد مخلوط شده و بر رفتار آن تاثیر بگذارد. سپس مواد وزن شده در ترازوی دیجیتال را در یک مخلوط کن ریخته تا ابتدا مواد به صورت خشک مخلوط شوند. سپس آب را به داخل کاسه همزن اضافه کرده و بعد مصالح خشک را داخل کاسه می‌ریزیم. همزن را ۱ دقیقه با سرعت معمولی و ۲۰ ثانیه با سرعت تند فعال می‌کنیم. تا در نهایت مخلوط کاملاً همگنی بدست آید. پس از اتمام زمان مخلوط کردن، ریختن ملات در قالب در ۳ مرحله و در هر مرحله با کوبیده شدن صورت گرفته و در نهایت پس از ویبره برای کاهش هوای محبوس شده در بتن نمونه‌های مکعبی ۵*۵*۵ سانتی‌متر برای آزمایش مقاومت فشاری انجام شد و به مدت ۲۴ ساعت درون قالب قرار گرفته و بعد از باز کردن از قالب در استخر ۲۳ الی ۲۵ درجه سانتی‌گراد و در حالت غوطه‌وری عمل‌آوری قرار دادیم. جذب آب حین عمل‌آوری و جذب آب ۲۸ روزه و همچنین بعد از انجام آزمایش نمونه‌های یک روزه، ۳ روزه، ۷ روزه، ۲۸ روزه و ۹۰ روزه توزین شده و در روزهای ۲۸ و ۹۰ مقاومت فشاری آن‌ها را بدست آوردیم.

۳-۱- نسبت‌های مخلوط

از نسبت‌های مخلوط جدول ۵ برای ساخت نمونه‌های آزمایش برای خمیر سیمان استفاده شده است. در این طرح از پودر پوکه با درصدهای ۰، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ به صورت افزودنی استفاده شده است و مجدداً همان درصدهای ۲۰ و ۲۵ با افزایش نسبت آب به مواد سیمانی از ۰/۳۵ به ۰/۴ تکرار شده است، که نام‌گذاری همه آن‌ها به ترتیب، A، P₅، P₁₀، P₁₅، P₂₀، P₂₅ می‌باشد. علائمی که دارای حرف P است، شامل پودر پومیس و علائم دارای AP، شامل تکرار همان طرح با افزایش نسبت آب به مواد سیمانی می‌باشد. مشخصات تمام نسبت‌های مخلوط مطابق جدول ۴ می‌باشد.

جدول ۴. مشخصات نسبت‌های مخلوط

نسبت آب به مواد سیمانی	آب (gr)	پوکه (gr)	سیمان (gr)	نام ترکیب
0.35	910	0	2600	A۰
0.35	956	130	2600	P۵
0.35	1001	260	2600	P۱۰
0.35	1046.5	390	2600	P۱۵
0.35	1092	520	2600	P۲۰
0.35	1137.5	650	2600	P۲۵
0.4	1248	520	2600	AP۲۰
0.4	1300	650	2600	AP۲۵

۴- بررسی نتایج

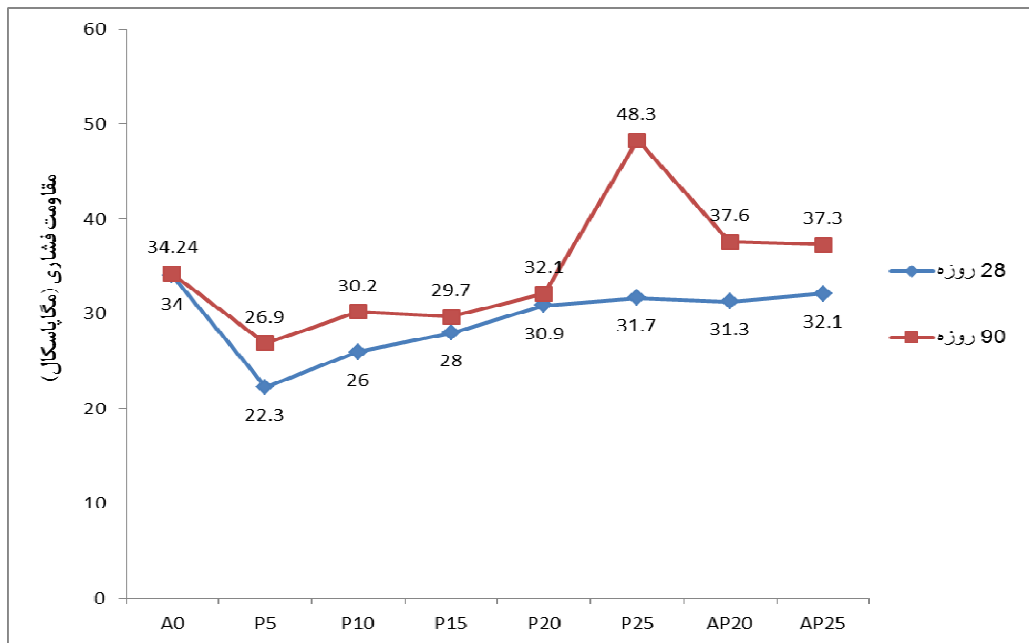
در این قسمت به بررسی نتایج مربوط به آزمایشات مقاومت فشاری و جذب آب در طول مدت زمان عمل‌آوری در سنین ۳، ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه و همچنین جذب آب ۲۸ روزه بر اساس استاندارد ASTM می‌پردازیم.

۴-۱- تعیین مقاومت فشاری نمونه‌ها

در آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی ۵*۵*۵ میلیمتری مطابق با استاندارد ASTM C۱۰۹/C۱۰۹-۰۸ که در سنین ۲۸ و ۹۰ روزه (عمل‌آوری شده در دمای ۲۳ الی ۲۵ درجه سلسیوس به صورت غرقاب) انجام شد. نتایج حاصل از آزمایش مقاومت فشاری در جدول ۵ و در نمودار شکل ۱ آورده شده است.

جدول ۵. مقاومت فشاری برای انواع نسبت‌های مخلوط

مقاومت فشاری (Mpa)		نام ترکیب
۹۰ روزه	۲۸ روزه	
34.24	34	A۰
26.9	22.3	P۵
30.2	26	P۱۰
29.7	28	P۱۵
32.1	30.9	P۲۰
48.3	31.7	P۲۵
37.6	31.3	AP۲۰
37.3	32.1	AP۲۵



شکل ۱. مقاومت فشاری ترکیبات حاوی درصدهای مختلف پوکه معدنی

تأثیر زمان عمل‌آوری و همچنین تأثیر درصد پودر پوکه معدنی اضافه شده بر مقاومت فشاری نسبت‌های مخلوط، در نمودار شکل ۱ قابل مشاهده است و با توجه به نمودار می‌توان بیان کرد که با افزایش زمان عمل‌آوری مقاومت فشاری نمونه‌ها افزایش یافته و مقاومت فشاری مخلوط‌هایی که حاوی ۱۰ الی ۲۵ درصد پودر پوکه می‌باشند دارای مقاومت خوب و تقریباً معادل نمونه شاهد بوده و در عمر ۲۸ روزه آن‌ها، دارای افت مقاومت می‌باشند و همچنین برای این نمونه‌ها در سن ۹۰ روزه، برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۳۵ اندکی افت مقاومت مشاهده می‌شود ولی برای نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴ حدود ۱۰٪ با افزایش مقاومت روبرو بوده است.

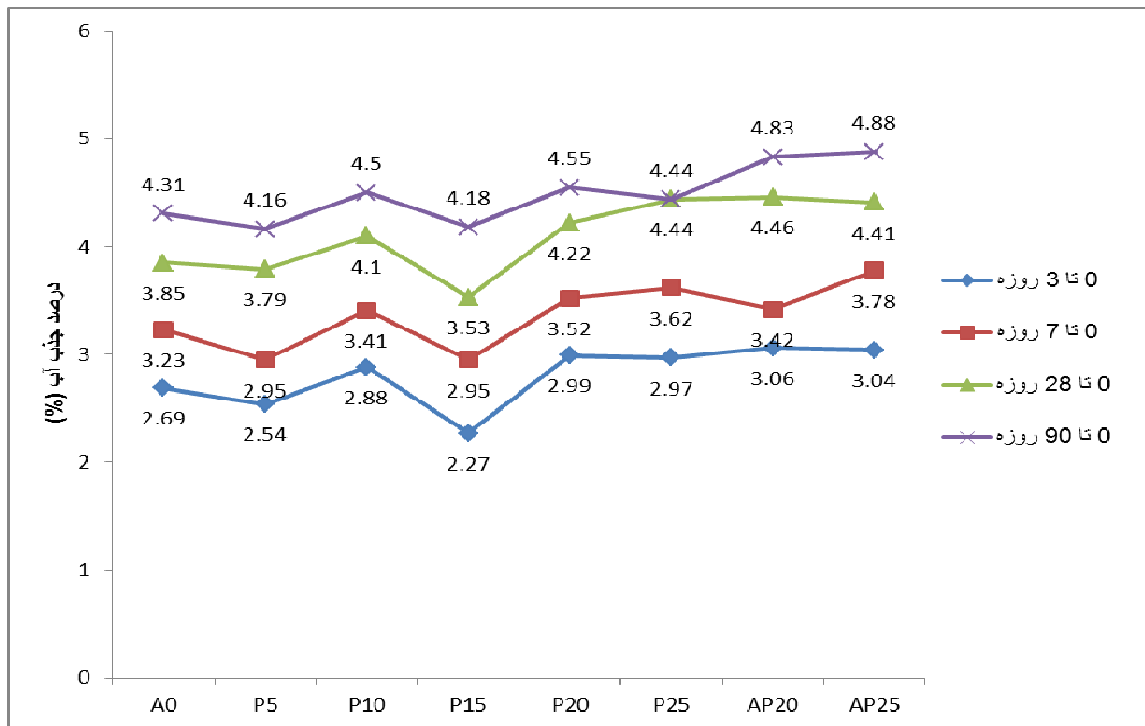
۴-۲- جذب آب در طول مدت زمان عمل‌آوری

برای محاسبه جذب آب حین عمل‌آوری نمونه‌ها بعد از اختلاط طرح‌های مورد نظر و خارج نمودن نمونه‌ها از قالب، اولین توزین انجام می‌گیرد و سپس هنگام خارج کردن از محفظه آب در سنین ۳، ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه توزین انجام می‌گیرد. بدین ترتیب که با یک پارچه آب روی نمونه‌ها رو خشک می‌کنیم. سپس در همین حالت SSD وزن نمونه‌ها توسط ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری می‌شود. در نهایت با استفاده از رابطه زیر میزان جذب آب در طول مدت زمان عمل‌آوری را محاسبه می‌کنیم.

$$\text{جذب آب} = \frac{(\text{جرم قبل از عمل‌آوری} - \text{جرم بعد از عمل‌آوری})}{\text{جرم قبل از عمل‌آوری}} \times 100$$

لازم به ذکر است که چگالی آب ژل طبق بررسی محققان بیشتر از آب معمولی و در حدود ۱/۱ بوده و چگالی آب مولکولی داخل کریستال‌های ناشی از واکنش‌های هیدراسیون بیشتر از چگالی آب ژل می‌باشد. لذا با پیشرفت واکنش‌های هیدراسیون و افزایش عمر بتن، چون نمونه‌ها به صورت غرقاب عمل‌آوری می‌شوند جذب آب ادامه خواهد یافت البته سرعت آن به مرور

زمان کمتر خواهد شد به طوریکه برای نمونه شاهد در عمر سه روزه ۲/۶۹ درصد بوده و در عمر ۹۰ روزه ۴/۳۱ درصد می باشد. نتایج حاصل از محاسبات مطابق شکل ۲ می باشد.

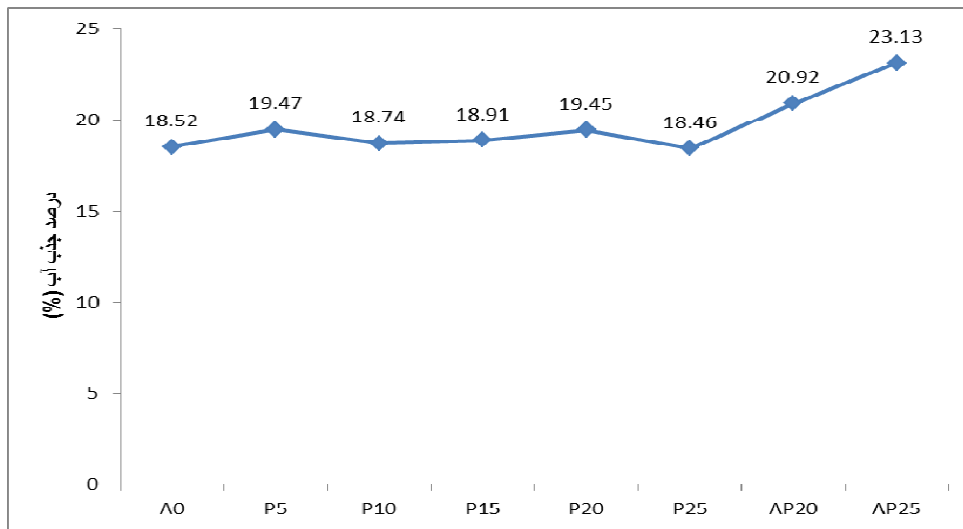


شکل ۲. درصد جذب آب حین عمل آوری برای انواع نسبت های مخلوط

از نتایج حاصل از آزمایش تعیین درصد جذب آب در حین عمل آوری مشاهده می شود که میانگین جذب آب از زمان باز کردن قالب تا موقع انجام آزمایش ها در سنین ۳، ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه با افزایش مقدار پوکه روند جذب آب تقریباً ثابت بوده و جزئی افزایش می یابد و همچنین با افزایش زمان عمل آوری جذب آب در حین عمل آوری بیشتر شده است و نشان می دهد که واکنش های هیدراسیون ادامه داشته است اما با توجه به افزایش جذب آب در سنین مختلف ملاحظه می شود که به تدریج واکنش های هیدراسیون کاهش یافته است.

۴-۳- جذب آب ۲۸ روزه بر اساس استاندارد ASTM C۶۴۲-۰۶

هدف از انجام این آزمایش تعیین درصد جذب آب نمونه های خمیر سیمان سخت شده می باشد. به طور کلی، جذب آب در بتن باعث ایجاد مشکلات جدی می شود که بر مقاومت بتن تأثیر می گذارد. به این علت تعیین درصد جذب آب نمونه های بتنی اهمیت زیادی دارد. شکل ۳ درصد جذب آب نمونه های بتنی ۲۸ روزه خشک شده در آن با دمای ۱۰۰ الی ۱۱۰ درجه سانتی گراد، پس از ۲ روز غوطه وری در آب ۲۵ درجه را نشان می دهد.



شکل ۳. جذب آب ASTM برای انواع نسبت های مخلوط

از نتایج حاصل از آزمایش تعیین درصد جذب آب ۲۸ روزه بر اساس استاندارد ASTM مشاهده می شود که با افزایش مقدار پوکه روند جذب آب تقریباً ثابت بوده و جزئی افزایش می یابد. توضیح اینکه جذب آب در حین عمل آوری نشان دهنده پیشرفت واکنش های هیدراسیون می باشد در حالی که جذب آب نمونه های بتنی در سن ۲۸ روزه طبق استاندارد ASTM C۶۴۲-۰۶ نشان دهنده کل تخلخل داخلی بتن است (اعم از حباب های اتفاقی و شبکه لوله های مؤئینه). همچنین لازم به ذکر است که آب ژل طبق بررسی محققان وزن مخصوصی در حدود ۱/۱ دارد و آب مولکولی داخل کریستال های ناشی از واکنش های هیدراسیون دارای وزن مخصوصی در حدود ۱/۲ می باشد.

۵- نتیجه گیری

نتایج حاصل از آزمایشات با استفاده از مصالح بومی می باشد که ممکن است از لحاظ کمی با نتایج آزمایشات سایر محققان متفاوت باشد، ولی در زمان انجام آزمایشات تمامی معیارها برای رسیدن به نتایجی با کمترین خطا رعایت شده است. در محدوده آزمایشات انجام یافته در این تحقیق، نتایج زیر به دست آمد:

۱- زمانی که پوکه معدنی افزوده می شود مقاومت فشاری خمیر سیمان در سن ۲۸ روزه در همه درصد ها پایین آمده و مخصوصاً در حالت ۵ درصد بدتر از همه حالت ها بوده و مقاومت فشاری حدود ۳۵٪ پایین آمده است و در حالت ۲۰٪ و ۲۵٪ (افزودنی پودر پوکه معدنی) در نسبت های آب به سیمان ۰/۳۵ و ۰/۴ (در همان سن ۲۸ روزه)، کاهش مقاومت فشاری کمتر بوده و در حدود ۸٪ می باشد. علت اینکه در حالت ۵٪ افزودنی، کاهش مقاومت فشاری زیاده تر شده است این است که فاز کسب مقاومت با پیشرفت آگیری ذرات سیمان توسط ذرات پودر پوکه که آب سطحی بیشتری به خود اختصاص می دهند مختل شده است و فاز جدیدی مربوط به آگیری تمامی ذرات و واکنش های بین ذرات سیمان و پوزولان می باشد هنوز کامل نشده است. با افزایش درصد پودر پوکه، نسبت پوزولان به سیمان برای انجام واکنش های فیما بین بهبود یافته و در نتیجه در درصدهای بالاتر مقاومت فشاری خمیر سیمان در سن ۲۸ روزه هم بهبود یافته است. در نسبت آب به سیمان ۰/۴ در هر دو حالت ۲۸ روزه و ۹۰ روزه وضعیت مقاومت فشاری خمیر سیمان بهبود یافته است. احتمالاً به این علت است که آب لازم برای

واکنش‌های بین ذرات سیمان، ذرات پودر پوک و مولکول‌های آب برای بوجود آمدن کریستال و بلوغ آن‌ها، بیشتر از حالتی از که فقط سیمان داشته باشیم. لذا نسبت آب به سیمان $0/4$ نسبت به حالت $0/35$ بهتر عمل کرده است.

۲- در مقاومت ۹۰ روزه، چون واکنش‌های مربوط به آگیری ذرات پوزولان و همچنین واکنش‌های مابین ذرات پوزولان و ذرات سیمان در حال تکمیل شدن هستند لذا مقاومت فشاری در همه حالت‌ها نسبت به سن ۲۸ روزه افزایش یافته است. تنها یک نقطه که مربوط به متوسط مقاومت نمونه‌های P۲۵ می‌باشد افزایش فوق العاده‌ای داشته است که احتمالاً علت آن مربوط نسبت سیمان به پوزولان باشد که در این حالت به یک مقدار اپتیمی نزدیک شده است و واکنش‌های ثانوی ما بین برخی از اجزای تشکیل دهنده سیمان و ذرات پوزولان توسعه بیشتری یافته است.

۳- همانند سایر بتن‌ها و ملات‌ها، با افزایش زمان عمل‌آوری نمونه‌ها، مقاومت فشاری ترکیبات ساخته شده در این تحقیق هم افزایش می‌یابد.

۴- جذب آب نمونه‌های ۲۸ روزه بر اساس ASTM C۶۴۲-۰۶ نشان دهنده تخلخل کلی نمونه‌ها اعم از حباب‌های اتفاقی و شبکه لوله‌های موئینه می‌باشد که نشان می‌دهد در نسبت آب به سیمان $0/35$ در همه نمونه‌ها نزدیک به 20% می‌باشد و در نمونه‌های مربوط به نسبت آب به سیمان $0/4$ به طور متوسط حدود 22% می‌باشد. جذب آب حین عمل‌آوری نشان دهنده پیشرفت واکنش‌های هیدراسیون مربوط به همه ذرات سیمان و پوزولان می‌باشد که نشان می‌دهد تا سن ۹۰ روزه ادامه داشته است و احتمالاً به علت کند بودن واکنش‌های مربوط به پوزولان چند سال هم ادامه یابد. البته در سه روز اول بیشتر بوده و به تدریج کند شده است و بعد از سن ۹۰ روزه کندتر خواهد شد.

۶- مراجع

- [۱]. roghee Satah JO. ۲۰۰۶ Evaluation of Lightweight Concrete Mixtures for Bridge Deck and Prestressed Bridge Girder Applications, Thesis for The Degree Master of Science, Department of Civil Engineering, Kansas State University.
- [۲]. Zhang, M.H, giorv, O.E. ۱۹۹۱ Mechanical properties of high-strength lightweight concrete, ACI Material journal, Vol. ۸۸, No. ۳, pp.۲۴۰-۲۴۷.
- [۳]. Howeidafar, k., Qaderi, b. ۲۰۱۶ the effect of pozzolan Pumice Qarveh on the strength of concrete, Third Congress of new horizons in the field of civil engineering, architecture, culture and urban management, Tehran, Association for the Development and Promotion of Science and Technology Fundamental, (In Persian).
- [۴]. ASTM Standard C ۱۰۹/C ۱۰۹M-08, Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars (using ۲-in. or [۵۰-mm] cube specimens), American society of testing and materials, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.
- [۵]. ASTM C۶۴۲-06, 2006. "Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete", ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- [۶]. ASTM C۴۹۶/C۴۹۶M-۰۴, (2004), "Standard Test Method for Splitting Strength of Cylindrical Concrete", ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.