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

فائزه نوری[1]، جاوید چاخرلو[2*]، بهمن شروانی تبار[3]

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 نمونه-هایی 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 پوزولان‌ها و مواد شبه سیمانی می‌باشند. این مواد به منظور تامین یک یا چند خاصیت، بسته به این موارد به کار می‌روند: کاهش مصرف سیمان، کاهش سرعت و میزان حرارت هیدراسیون، افزایش مقاومت بتن، افزایش پایایی بتن از طریق کاهش نفوذپذیری آن، که این مواد در بعضی موارد به عنوان یک ماده مضاف یا افزونه با سیمان مخلوط می‌شوند و در برخی موارد دیگر به عنوان جایگزین بخشی از سیمان مورد استفاده قرار می گیرد. لذا استفاده از این مواد، علاوه بر سودمندی‌های فراوان آن‌ها، موجب صرفه جویی در مصرف سیمان نیز می‌شود. تعریف پوزولان در ACI ۱۱۶R-۰۰[1] در قسمت اصطلاحات بتن و سیمان بیان شده است که طبق آن پوزولان یک ماده سیلیسی یا سیلیسیمی 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 قدیمی‌ترین سبک‌دانه‌ای است که مورد استفاده قرار گرفته است. این سنگ در اثر ورود مواد مذاب آتشفشانی به مخزن‌های آب مانند دریاها و دریاچه‌ها و تخلیه‌ی گاز در هنگام انجام سریع ماگمای روان ایجاد می‌شود. از دیدگاه ماکروسکوپی، پوکه معدنی اسکوریا به رنگ خاکستری تیره که به قهوه ای میگراید و ظاهری شبیه به سنگ پا دارد، می‌باشد [1]. پومیس یا پوکه معدنی، در بیشتر نقاط دنیا یافت می‌شود. این ماده در ایران در بیشتر مناطق بخصوص در منطقه تیکمه داش آذربایجان و یکی از مرغوب‌ترین پوکه معدنی در شهر بستان آباد تبریز در دامنه بسیار زیبای کوه سهند استخراج می‌گردد که درصد زیادی از پوکه معدنی کشور به فروش و بخش اعظمی از این ماده ارزشمند نیز صادر می‌گردد. پوکه معدنی معمولا به دلیل تخلخل بالا، سبک بوده و در سطح آب شناور می‌باشد. 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 حباب‌های به وجود آمده توسط بخار و گازهای موجود در آن به وجود می‌آید. 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 سبکدانه‌ها در حدود ۴۰۰ تا ۷۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد. 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 می‌شود که خاصیت عایق بودن آن خوب می‌باشد 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 می‌شوند عمدتا داری چهار نوع دانه بندی بادامی، نخودی، عدسی و پودری می‌باشند. که هرکدام 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 می‌شود. 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

[1] ACI ۱۱۶R-۰۰،۲۰۰۰, 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 و۲ آورده شده است.

جدول۱. مشخصات فیزیکی سیمان نوع دو صوفیان

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

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

ترکیب شیمیایی	درصد	ترکیب شیمیایی	درصد
SiO_2	۲۰/۰۵	LOI	۰/۷۵
Al_2O_3	۵/۰۴	I.R	۰/۵۸
Fe_2O_3	۳/۴۷	C_3S	۴۹/۵
CaO	۶۴/۵۶	C_3A	۷
MgO	۲/۳۸	C_2S	۲۵/۴۷
CaO.f	۱/۰۸	K_2O	۰/۹۷
C_4AF	۱۰/۵۳	Na_2O	۰/۳۴
SO_3	۱/۷۳		

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، تقریبا 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 (μ۱۵۰m) 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	۶۳/۴۵	SrO	۰/۰۹
Al_2O_3	۱۷/۲۴	MgO	۱/۰۳
TiO_2	۰/۳۷	K_2O	۲/۱۶
P_2O_5	۰/۲۱	SO_3	۰/۱۶
CaO	۳/۲۲	NA_2O	۲/۰۰
Fe_2O_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 می باشد.

۳- آماده سازی و عمل آوری نسبت‌های مخلوط

ابتدا قالب ها را آماده می‌کنیم. داخل قالب ها 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 کاملا 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 عمل آوری و جذب آب ۲۸ روزه و همچنین بعد از انجام آزمایش نمونه-های 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 مجددا 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 به‌ترتیب، A۰، P۵، P۱۰، P۱۵، P۲۰، P۲۵، AP۲۰ و AP۲۵ می‌باشد. علایمی که دارای حرف P است، شامل پودر پومیس و علایم دارای AP، شامل تکرار همان طرح با افزایش نسبت آب به مواد سیمانی می باشد. مشخصات تمام نسبت‌های مخلوط مطابق جدول ۴ می‌باشد.

جدول ۴. مشخصات نسبت‌های مخلوط

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

۴- بررسی نتایج

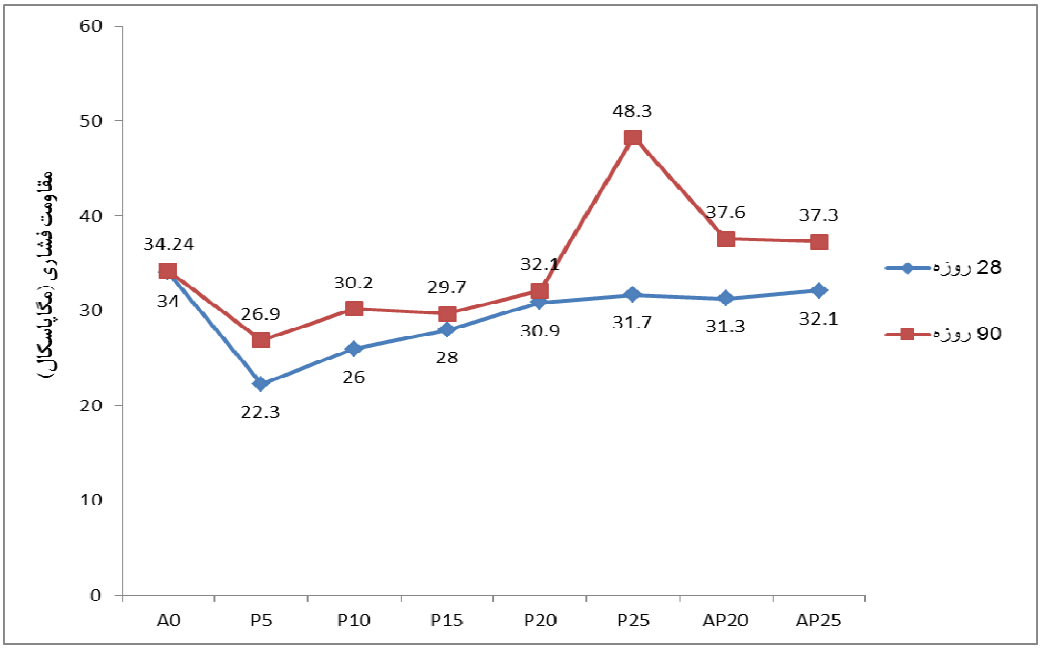
در این قسمت به بررسی نتایج مربوط به آزمایشات مقاومت فشاری و جذب آب در طول مدت زمان عمل‌آوری در سنین ۳، ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه و همچنین جذب آب ۲۸ روزه بر اساس استاندارد ASTM می‌پردازیم.

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 (عمل آوری 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 داده شده است.

جدول ۵. مقاومت فشاری برای انواع نسبت های مخلوط

نام ترکیب	مقامت فشاری (Mpa)	
	28 روزه	90 روزه
A۰	34	34.24
P۵	22.3	26.9
P۱۰	26	30.2
P۱۵	28	29.7
P۲۰	30.9	32.1
P۲۵	31.7	48.3
AP۲۰	31.3	37.6
AP۲۵	32.1	37.3



شکل ۱. مقاومت فشاری ترکیبات حاوی درصدهای مختلف پوکه معدنی

تأثیر زمان عمل‌آوری و همچنین تاثیر 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 تقریبا 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.

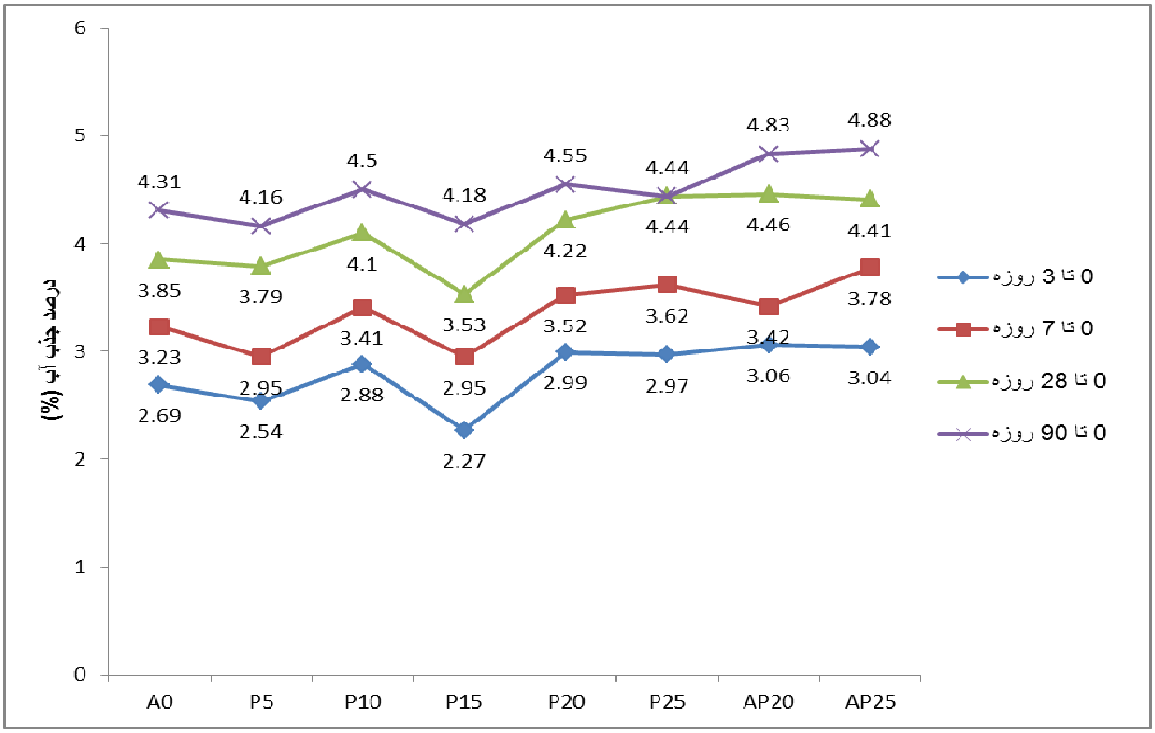
۴-۲- جذب آب در طول مدت زمان عمل‌آوری

برای محاسبه جذب آب حین عمل آوری نمونه‌ها بعد از اختلاط طرح های مورد نظر وخارج نمودن نمونه ها 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 نمونه ها رو خشک می‌کنیم. سپس در همین حالت SSD وزن نمونه ها توسط ترازوی دیجیتال اندازه گیری می‌شود. در نهایت با استفاده از رابطه زیر میزان جذب آب در طول مدت زمان عمل آوری 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 می باشد. لذا با پیشرفت واکنش های هیدراسیون و افزایش عمر بتن، چون نمونه ها به صورت غرقاب عمل آوری می شوند 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 می‌باشد. نتایج حاصل از محاسبات مطابق شکل ۲ می‌باشد.

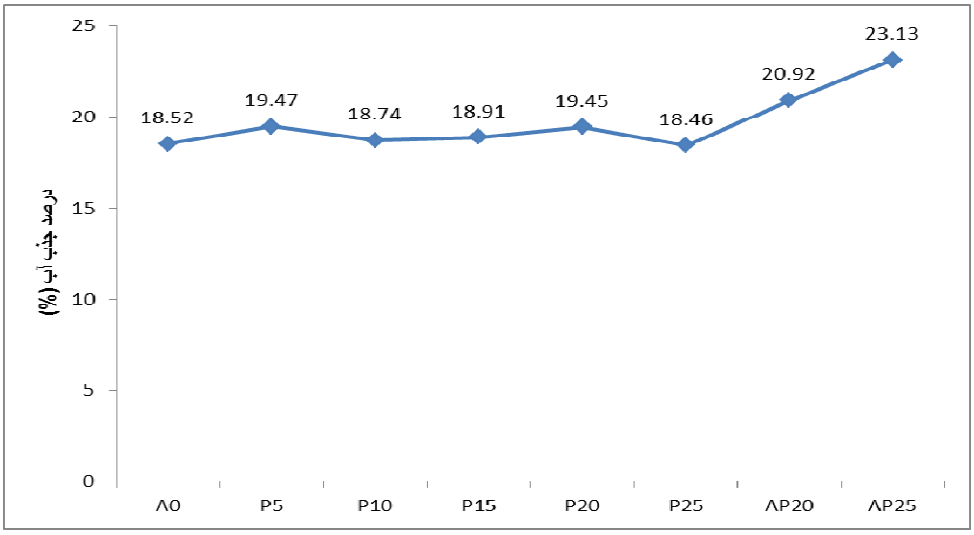


شکل ۲. درصد جذب آب حین عمل آوری برای انواع نسبت های مخلوط

از نتایج حاصل از آزمایش تعیین درصد جذب آب در حین عمل‌آوری مشاهده می‌شود 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 تقریبا ثابت بوده و جزئی افزایش می یابد و همچنین با افزایش زمان عمل‌آوری جذب آب در حین عمل‌آوری بیشتر شده است و نشان می‌دهد که واکنش های هیدراسیون ادامه داشته است اما با توجه به افزایش جذب آب در سنین مختلف ملاحظه می‌شود که به تدریج واکنش‌های 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 نمونه‌های خمیر سیمان سخت‌شده می‌باشد. به طور کلی، جذب آب در بتن باعث ایجاد مشکلات جدی می‌شود که بر مقاومت بتن تأثیر می‌گذارد. به این علت تعیین درصد جذب آب نمونه‌های بتنی اهمیت زیادی دارد. شکل ۳ درصد جذب آب نمونه های بتنی ۲۸ روزه خشک شده در آون با دمای ۱۰۰ الی ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد، 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 می‌شود که با افزایش مقدار پوکه روند جذب آب تقریبا ثابت بوده و جزئی افزایش می یابد. توضیح اینکه جذب آب در حین عمل آوری نشان دهنده پیشرفت واکنش‌های هیدراسیون می‌باشد در حالی که جذب آب نمونه‌های بتنی در سن ۲۸ روزه طبق استاندارد ASTM C۶۴۲-۰۶ نشان دهنده کل تخلخل داخلی بتن است (اعم از حباب‌های اتفاقی و شبکه لوله‌های موئینه). همچنین لازم به ذکر است که آب ژل طبق بررسی محققان وزن مخصوصی در حدود ۱/۱ دارد و آب مولکولی داخل کریستال‌های ناشی از واکنش‌های هیدراسیون دارای وزن مخصوصی در حدود ۱/۲ می‌باشد.

۵- نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از آزمایشات با استفاده از مصالح بومی می‌باشد 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 مخصوصا 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 زیادتر شده است این است که فاز کسب مقاومت با پیشرفت آبگیری ذرات سیمان توسط ذرات پودر پوکه که آب سطحی بیشتری به خود اختصاص می‌دهند مختل شده است و فاز جدیدی مربوط به آبگیری تمامی ذرات و واکنش‌های بین ذرات سیمان و پوزولان می باشد هنوز کامل نشده است. با افزایش درصد پودر پوکه، نسبت پوزولان به سیمان برای انجام واکنش‌های فیمابین 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. احتمالا به این علت است که آب لازم برای

واکنش‌های بین ذرات سیمان، ذرات پودر پوکه و مولکول‌های آب برای بوجود آمدن کریستال و بلوغ آن ها، بیشتر از حالتی از که فقط سیمان داشته باشیم. لذا نسبت آب به سیمان ۰/۴ نسبت به حالت ۰/۳۵ بهتر عمل کرده است.

۲-در مقاومت ۹۰ روزه، چون واکنش های مربوط به آبگیری ذرات پوزولان و همچنین واکنش های مابین ذرات پوزولان و ذرات سیمان در حال تکمیل شدن هستند لذا مقاومت فشاری در همه حالت ها نسبت به سن ۲۸ روزه افزایش یافته است. تنها یک نقطه که مربوط به متوسط مقاومت نمونه‌های P۲۵ می باشد افزایش فوق العاده ای داشته است که احتمالا علت آن مربوط نسبت سیمان به پوزولان باشد که در این حالت به یک مقدار اپتیممی نزدیک شده است و واکنش های 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 عمل آوری نمونه‌ها، مقاومت فشاری ترکیبات ساخته شده در این تحقیق هم افزایش می‌یابد.

۴- جذب آب نمونه های ۲۸ روزه بر اساس ASTM C۶۴۲-۰۶ نشان دهنده تخلخل کلی نمونه ها اعم از حباب های اتفاقی و شبکه لوله های موئینه می باشد که نشان میدهد در نسبت آب به سیمان ۰/۳۵ در همه نمونه ها نزدیک به ۲۰٪ می باشد و در نمونه های مربوط به نسبت آب به سیمان ۰/۴ به طور متوسط حدود ۲۲٪ می‌باشد. جذب آب حین عمل آوری نشان دهنده پیشرفت واکنش‌های هیدراسیون مربوط به همه ذرات سیمان و پوزولان می باشد که نشان می‌دهد تا سن ۹۰ روزه ادامه داشته است و احتمالا به علت کند بودن واکنش های 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, gjorv, O.E. ۱۹۹۱ Mechanical properties of high-strenght 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-۰4, (2004), “Standard Test Method for Splitting Strength of Cylindrical Concrete”, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.