

بررسی اثر استفاده از شورآبه زیرزمینی و زئولیت بر مقاومت فشاری بتن غیر مسلح (مطالعه موردی: اراضی خشک شمال و غرب استان گلستان)

کامی کابوسی^{۱*}، مهران فدوی^۲، احسان ستایش^۳

^۱ دانشیار، گروه مهندسی آب، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان

^۲ استادیار، گروه عمران، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان

^۳ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه عمران، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان

k.kaboosi@gorganiau.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۹۷/۱۲/۲۲]

تاریخ دریافت: [۹۷/۱/۲۰]

چکیده

به دلیل مجاورت به دریا، شرایط زمین‌شناسی و ویژگی‌های هیدروژئولوژی مناطق شمالی و غربی استان گلستان، آب زیرزمینی در این منطقه بسیار شور است. از سوی دیگر، به دلیل عدم دسترسی به آب سطحی با کیفیت مناسب در اغلب ماه‌های سال، انجام فعالیت‌های عمرانی و ساختمانی در این منطقه همواره با چالش‌هایی همراه است. بر این اساس، این پژوهش با هدف بررسی ۱۲۰ تیمار دربرگیرنده سه سطح کیفیت آب (شامل آب شهری، شورآبه زیرزمینی و ترکیب آب شهری و شورآبه زیرزمینی با نسبت برابر)، چهار سطح زئولیت (شامل کاربرد ۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد زئولیت به جای سیمان در طرح اختلاط)، دو سطح مصالح سیمانی (شامل ۲۵۰ و ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب) و پنج سن اندازه‌گیری مقاومت فشاری (۳، ۷، ۲۱، ۵۶ و ۹۰ روز) در سه تکرار صورت گرفت. نظر به تنوع قابل ملاحظه تیمارهای آزمایش در این پژوهش و با توجه به عدم تجزیه و تحلیل‌های آماری در پژوهش‌های قبلی، نتایج پژوهش حاضر در قالب طرح کاملاً تصادفی به صورت آزمایش فاکتوریل تحت آزمون‌های تجزیه واریانس (ANOVA) و مقایسه میانگین‌ها (LSD) قرار گرفت. نتایج نشان داد که دلیل وجود برهمکنش‌های دوگانه و سه‌گانه عوامل مورد بررسی که به معنای آثار متفاوت نوع آب و درصد زئولیت در عیارهای مختلف سیمان بر مقاومت فشاری بتن است، انتخاب بهترین سطح کاربرد زئولیت و نوع آب با توجه به عیار سیمان مورد نظر باید بر اساس آزمون طرح اختلاط در کارگاه به دست آید. با این حال، استفاده از شورآبه زیرزمینی و زئولیت در طرح اختلاط بتن به ویژه در عیار سیمان ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب بدون آن که موجب کاهش معنی‌دار مقاومت فشاری بتن شود، و حتی این ویژگی را در برخی شرایط به طور معنی‌داری افزایش دهد، توصیه می‌شود.

واژگان کلیدی: آب نامتعارف، سن بتن، طرح اختلاط، عیار سیمان.

۱- مقدمه

گرم سیمان حدود ۰/۲۵۳ گرم آب و برای ساخت هر مترمکعب بتن ۱۷۰-۱۵۰ لیتر آب نیاز است [1-2]. تخمین زده شده است که سالانه بیش از ۱۰ میلیارد تن بتن تولید می‌شود که بدون در نظر گرفتن آب مورد نیاز برای عمل‌آوری، به

سیمان و بتن از مهمترین مواد صنعت ساختمان هستند که تولید آنها وابسته به آب است به طوری که برای آب‌پوشی هر

افزودنی‌های معدنی پوزولانی که در ایران به وفور یافت می‌شود ژئولیت است که قیمت آن بسیار کمتر از خاکستر بادی و دوده سیلیس بوده ولی فعالیت پوزولانی آن بین این دو است [12, 2]. ژئولیت‌های طبیعی شامل گروه وسیعی از آلومینوسیلیکات‌های هیدراته هیپتوکریستالی با ساختار لانه زنبوری سه وجهی ساخته شده با تراهدروس‌های Si-O و Al-O است که در آنها حفرها و کانال‌هایی با ابعاد ۱۰-۳ آنگستروم وجود دارد [12-13]. با وجود ساختار بلوری، ویژگی‌های پوزولانی ژئولیت‌های طبیعی اثبات شده است که به دلیل وجود مقدار قابل توجه SiO_2 و Al_2O_3 واکنش‌پذیر آن که با Ca(OH)_2 برای تولید بیشتر سیلیکات کلسیم و آلومینوسیلیکات کلسیم واکنش می‌دهد، هست [12]. کاربرد ۱۰ و ۲۰ درصد [14] و ۱۰ و ۱۵ درصد [15] ژئولیت موجب کاهش مقاومت فشاری به ترتیب ۷ و ۳ روزه بتن نسبت به عدم کاربرد ژئولیت شد، لیکن مقاومت به ترتیب ۲۸ و ۹۰ روزه بتن نسبت به تیمار شاهد افزایش نشان داد که این موضوع با نتایج [13] نیز همخوانی دارد. همچنین این افزایش در سطح ۱۰ درصد بیشتر از ۲۰ درصد بود [14]. در پژوهشی جایگزینی تمام سطوح از ۱۰ تا ۳۰ درصد ژئولیت به جای سیمان موجب افزایش مقاومت فشاری ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه بتن خودتراکم نسبت به عدم کاربرد ژئولیت شد با این حال مقدار جایگزینی بهینه برای مقاومت ۷ و ۲۸ روزه برابر ۱۵ درصد و برای مقاومت ۹۰ روزه برابر ۲۰ درصد به دست آمد [16]. از سوی دیگر در برخی پژوهش‌ها کاهش مقاومت فشاری بتن در اثر کاربرد ژئولیت مشاهده شده است. گزارش شد که جایگزینی ۲۰ درصد سیمان با ژئولیت طبیعی موجب ۱۷-۵ درصد کاهش مقاومت فشاری بتن ۳ تا ۹۰ روزه شد. در عین حال این کاهش در سنین کمتر بیشتر بود [9]. در پژوهشی، جایگزینی ۱۰ درصد سیمان با ژئولیت موجب افزایش مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه بتن شد ولی این اثر در سطح کاربرد ۲۰ و ۳۰ درصد به ترتیب غیرمحسوس و کاهش بود [8]. همچنین کاربرد ۱۰ و ۲۰ درصد ژئولیت مقاومت فشاری ۲۸ و ۹۰ روزه بتن را به طور غیرمحسوس (کمتر از ۴ درصد) افزایش داد [11] در حالی که مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن را

حدود ۰/۶-۳/۸ میلیارد مترمکعب آب احتیاج است [3, 1]. کمبود منابع آب یکی از مهمترین مشکلات امروز جوامع بشری است و انجام پژوهش مستمر برای یافتن منابع آب جایگزین برای استفاده در صنعت ساختمان، به ویژه در کشورهای دارای کمبود منابع آب، بسیار ضروری است [2]. استفاده از شورابه‌های حاصل از تصفیه آب دریا [2, 4]، آب دریا [5-6] و آب شور [1] برای ساخت بتن مورد بررسی قرار گرفته است. ترکیب قابل قبول آب شورزایی شده و زیرزمینی شور برای ساخت بتن معمول است [7]. استفاده از آب دریا در مقایسه با آب آشامیدنی در نسبت‌های مختلف آب به سیمان موجب کاهش ۱۰-۲ درصدی مقاومت فشاری بتن ۷، ۲۱، ۲۸، ۶۰ و ۹۰ روزه شد (به طور متوسط ۶ درصد) که این موضوع به غلظت بالای کلرید و سولفات (۱۸۰ در برابر ۶/۷ میلی‌گرم بر لیتر) نسبت داده شد [6]. با این حال، یک پژوهش نشان داد که مقاومت ۷ و ۱۴ روزه بتن ساخته شده و عمل‌آوری شده با آب دریا (TDS حدود ۴۰۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و pH حدود ۸/۲) و بتن ساخته شده با آشامیدنی و عمل‌آوری شده با آب دریا نسبت به بتن ساخته شده و عمل‌آوری شده با آب آشامیدنی بیشتر است ولی مقاومت ۲۸ و ۹۰ روزه آنها کمتر است [4]. در پژوهشی استفاده از شورابه‌های خروجی از تصفیه‌خانه آب دریا، که دارای ۸۲۶، ۲۵۵۳ و ۳۹۴۲۶ میلی‌گرم بر لیتر به ترتیب کلسیم، منیزیم و کلرید بود، در ساخت بتن موجب تاثیر منفی بر مقاومت فشاری بتن نشد [2]. همچنین پژوهش [5] نشان داد که استفاده از آب دریا موجب افزایش قابل ملاحظه مقاومت فشاری ۳، ۷ و ۲۸ روزه ملات سیمان بتن در مقایسه با آب آشامیدنی شد. علت این امر به تسریع آب‌پوشی سیمان توسط کلرید کلسیم آب دریا برای افزایش میزان CH سیمان، کاهش میزان منافذ با قطر بزرگتر از ۱۰ نانومتر و اصلاح ساختار منافذ، نسبت داده شده است.

صنعت سیمان به تنهایی مسئول تولید ۷-۵ درصد دی‌اکسید کربن جهان است [2, 8-10]. تولید هر تن سیمان موجب انتشار ۹۰۰-۹۵۰ کیلوگرم دی‌اکسید کربن به جو می‌شود [2, 11]. بنابراین کاهش مصرف سیمان همزمان با افزایش یا حفظ مقاومت و دوام بتن، برای توسعه پایدار ضروری است. یکی از

با ساخت ۳۶۰ بلوک بتنی در قالب ۱۲۰ تیمار دربرگیرنده سه سطح کیفیت آب (شامل W1: آب شهری، W2: ترکیب آب-های شهری و آب شور زیرزمینی با نسبت برابر و W3: آب شور زیرزمینی)، چهار سطح زئولیت (شامل Z1: ۰٪، Z2: ۱۰٪، Z3: ۲۰٪ و Z4: ۳۰٪ زئولیت به جای سیمان در طرح اختلاط)، دو سطح مصالح سیمانی بتن (شامل C1: ۲۵۰ و C2: ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب) و پنج سن آزمون مقاومت فشاری بتن (شامل شکستن نمونه‌ها در d1: ۳، d2: ۷، d3: ۲۱، d4: ۵۶ و d5: ۹۰ روز پس از ساخت آزمون‌های بتنی) در سه تکرار صورت گرفت.

۲-۲- آب اختلاط

آب شور زیرزمینی مورد استفاده از یک حلقه چاه واقع در اطراف روستای سقرتپه تهیه شد. روستای سقرتپه در فاصله حدود ۱۵ کیلومتری شمال شهر آق‌قلا، ۳۲ کیلومتری شمال شهر گرگان (مرکز استان گلستان) و ۳۸ کیلومتری شرق دریای خزر واقع شده است. پارامترهای کیفی هر سه نوع آب (آب شور زیرزمینی، آب شهری و آب ترکیبی) مطابق روش استاندارد [18] اندازه‌گیری شد (جدول ۱). برای مقایسه کیفیت آب‌های مورد بررسی با استانداردهای ملی و بین‌المللی، محدوده مجاز ناخالصی‌های آب برای ساخت بتن غیرمسلح در جدول (۲) ارائه شده است.

۲-۳- طرح اختلاط و روش ساخت و عمل‌آوری

برای ساخت بتن از دو نوع سنگدانه شن و ماسه از نوع شکسته به صورت دوبر شسته استفاده شد. وزن مخصوص مصالح ریزدانه و درشت‌دانه به ترتیب ۲۵۵۰ و ۲۶۲۰ کیلوگرم بر مترمکعب و ظرفیت جذب آب به ترتیب ۳/۳ و ۲/۱ درصد بود. آزمون دانه‌بندی سنگدانه‌ها بر اساس استاندارد ملی ۴۹۷۷ [19] صورت گرفت که نشان داد الزامات استاندارد ملی ۳۰۲ [20] رعایت شده است به طوری که بیشینه اندازه مصالح ریزدانه و درشت‌دانه به ترتیب ۹/۵ و ۱۹ میلی‌متر و ضریب نرمی مصالح ریزدانه ۲/۹ بود. سیمان و زئولیت مورد استفاده به ترتیب از نوع پرتلند تیپ ۲ از کارخانه سیمان شاهرود و

به ترتیب یک درصد افزایش و هشت درصد کاهش داد [12]. بتن غیرمسلح در دیوارهای وزنی، کف‌سازی‌ها، محوطه‌سازی، کانال‌های کوچک جمع‌آوری و هدایت رواناب‌های سطحی، کانال توزیع آب کشاورزی و یا به عنوان بتن نظافتی، ملات در بسیاری از سازه‌ها و ابنیه‌های فنی (مانند دیواره‌های سنگی-ملاتی) و بلوک وزنی در موج‌شکن‌های ساحلی و غیره کاربرد دارد. به دلیل مجاورت به دریا، شرایط زمین‌شناسی و ویژگی‌های هیدروژئولوژی مناطق شمالی و غربی استان گلستان، آب زیرزمینی در این منطقه بسیار شور است. از سوی دیگر، با توجه به این که دسترسی به آب سطحی با کیفیت مناسب در این منطقه در اغلب ماه‌های سال محدود است، انجام فعالیت‌های عمرانی و ساختمانی همواره به دلیل عدم دسترسی راحت و ارزان به آب آشامیدنی با چالش‌هایی همراه است. بنابراین بررسی امکان استفاده از آب‌های نامتعارف در این منطقه ضروری به نظر می‌رسد. به دلیل گوناگونی میزان و نوع آلودگی‌ها در آب‌های نامتعارف، ارائه یک جمع‌بندی کامل برای استفاده از این آب‌ها در ساخت بتن مشکل است [17] و به همین دلیل لزوم ادامه پژوهش روی استانداردهای موجود کیفیت آب مورد استفاده در ساخت بتن مورد تاکید قرار گرفته است [17]. از سوی دیگر، اگرچه در بسیاری از پژوهش‌ها کاربرد زئولیت طبیعی موجب افزایش دوام بتن شد، با این حال به دلیل تنوع زئولیت‌های طبیعی و تفاوت ساختار، ترکیبات شیمیایی، واکنش‌پذیری و درجه خلوص آنها نتایج مطالعات آزمایشگاهی مشابه نبوده و حتی گاهی متناقض نیز هست [10]. همچنین با توجه به عدم بررسی امکان‌سنجی استفاده از شورآبه زیرزمینی به عنوان آب اختلاط و عدم بررسی آماری برهمکنش آب، زئولیت و عیار سیمان بر مقاومت فشاری بتن، پژوهش حاضر به مطالعه اثر سه نوع آب، چهار سطح زئولیت و دو عیار سیمان بر مقاومت فشاری سنین مختلف بتن می‌پردازد.

۲- مواد و روش‌ها

۱-۲- تیمارها و طرح آماری

این پژوهش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی

مصالح و مراحل اجرایی را نشان می‌دهد.

۲-۴- تجزیه و تحلیل آماری

در پژوهش‌های قبلی میزان تغییر مقاومت فشاری فقط به صورت درصد تغییر بیان شده است و تجزیه و تحلیل‌های آماری برای بررسی معنی‌داری یا عدم معنی‌داری این تغییرات صورت نگرفته است. از سوی دیگر در این پژوهش چهار عامل نوع آب، درصد ژئولیت، عیار سیمان و سن آزمون‌ها و برهمکنش بین آنها (۱۰ حالت برهمکنش آماری) می‌تواند عامل تغییر میزان مقاومت فشاری آزمون‌های بتنی باشد. بنابراین در پژوهش حاضر آزمون‌های تجزیه واریانس (ANOVA) و مقایسه میانگین (بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪) با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۱ روی داده‌های مقاومت فشاری انجام گرفت.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی کیفیت آب اختلاط

با مقایسه حدود ذکر شده استانداردهای مختلف برای ناخالصی‌های مجاز آب اختلاط بتن در جدول (۲) می‌توان دید که محدوده مجاز استانداردهای مختلف بیشتر به یکدیگر نزدیک و بعضاً مشابه یکدیگر نیز است. با این حال، بین حد مجاز کل جامدات معلق استاندارد EPA [24] با سایر استانداردها، کل جامدات محلول کشور انگلستان (۲۰۰۰ ppm) و آبا [25] (۳۵۰۰ ppm) و بین حد مجاز کلرید آبا [25] (۱۰۰۰۰ ppm) و استاندارد ایران [26] (۴۵۰۰ ppm) یا یکدیگر و با سایر استانداردها اختلاف قابل ملاحظه‌ای وجود دارد. همچنین مقایسه ویژگی‌های کیفی آب‌های مورد بررسی جدول (۱) با این استانداردها جدول (۲) نشان می‌دهد که تقریباً در تمام ویژگی‌های کیفیت آب شهری در محدوده مجاز آب اختلاط بتن غیرمسلح است ولی این موضوع در خصوص تمام ویژگی‌های آب ترکیبی و شورابه زیرزمینی، بجز pH، غلظت پتاسیم، فسفر و نیتروژن، صادق نیست و اختلاف قابل توجهی بین استانداردهای کیفیت آب اختلاط و آب‌های نامتعارف مورد بررسی وجود دارد. برای نمونه، غلظت کلرید

کلینوپتیلولیت پودری از شرکت نگین پودر سمنان تهیه شد (جدول ۳). وزن مخصوص این مصالح به ترتیب ۳۱۱۰ و ۲۱۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب بود. ساخت بلوک‌های بتنی به ابعاد ۱۵۰×۱۵۰×۱۵۰ میلی‌متر بر اساس استاندارد ملی شماره ۵۸۱ [21] در میکسر ۱۰۰ لیتری و تراکم بتن در قالب به مطابق استاندارد ملی ۳۲۰۱-۱ [22] صورت گرفت. ۱۸ طرح اختلاط مختلف متشکل از سه نسبت سنگدانه شن و ماسه، دو نسبت آب به سیمان و سه میزان وزن مخصوص بتن در سه تکرار (۵۴ بلوک بتنی) بررسی شد و در نهایت بر مبنای بیشترین مقاومت سه روزه، طرح اختلاط مناسب بر اساس میانگین وزن مخصوص بتن ۲۴۰۰ کیلوگرم بر مکعب (بر اساس کلیه طرح‌های اختلاط نهایی)، نسبت وزنی برابر مصالح شن و ماسه و نسبت آب به مواد سیمانی ۴۵ درصد انتخاب شد (جدول ۴). با توجه به این که کاربرد ژئولیت موجب کاهش روانی بتن می‌شود، از فوق‌روان‌کننده تجاری بر پایه کربوکسیلاتی استفاده شد. مقدار مصرف آن بر اساس آزمون و خطا در طرح‌های اختلاط مقدماتی به دست آمد. همچنین برای اطمینان از کارایی بتن و کنترل آن در طول آزمایش‌ها، آزمایش اسلامپ بتن برای هر طرح اختلاط (تیمار) حداقل یک‌بار تکرار شد.

در این پژوهش مجموعاً ۴۱۴ بلوک بتنی ساخته شد که از این تعداد ۵۴ عدد برای انتخاب طرح اختلاط مناسب و ۳۶۰ عدد برای آزمایش نهایی مورد استفاده قرار گرفت. نمونه‌های آزمایشگاهی پس از ساخته شدن به مدت ۲۴ ساعت درون قالب در محیط آزمایشگاه (دمای 20 ± 4 درجه سانتی‌گراد) نگهداری شدند. سپس قالب‌ها باز شده و عملیات عمل‌آوری آغاز شد [17]. به منظور شبیه‌سازی کامل تاثیر تیمارهای آب بر مقاومت فشاری، عمل‌آوری بلوک‌ها با آب اختلاط صورت گرفت. برای این منظور سه حوضچه بتنی جداگانه با ابعاد $1 \times 1 \times 1$ متر ساخته شد و هر یک از حوضچه با یکی از انواع آب اختلاط بتن پر شد. مقاومت فشاری آزمون‌های بتنی توسط دستگاه جک هیدرولیکی دیجیتال مدل ADR-Auto 3000 ساخت کارخانه ELE International با سرعت بارگذاری $6/8$ کیلونیوتون بر ثانیه اندازه‌گیری شد. برای این منظور الزامات استاندارد ملی ۳۲۰۶ [23] رعایت شد. شکل (۱) نمایی از

در آب ترکیبی و شورآبه زیرزمینی به ترتیب ۱۰/۳ و ۲۰/۵ است.
 برابر استاندارد آبا [25]، ۱۰۳ و ۲۰۵ برابر استاندارد ASTM ۲-۳- تجزیه آماری
 C1602 [27] و ۲۳ و ۴۶ برابر استاندارد ملی ۱۴۷۴۸ [26] نتایج آزمون تجزیه واریانس (ANOVA) در جدول (۵)

جدول ۱. مشخصات شیمیایی آب‌های استفاده شده (بر حسب ppm بجز برای pH و هدایت الکتریکی)

Property	Carbonate	Bicarbonate	Chloride	Sulfate	Total Anions	Calcium	Magnesium	Sodium	Potassium	Total Cations
Tap Water	0.0	396.6	134.7	115.3	646.6	58.1	58.4	59.8	4.0	180.3
Mixed Water	0.0	899.9	102901.4	20230.2	124031.5	730.5	1792.4	62532.4	5.5	65060.7
Briny Water	0.0	1403.2	205668.0	40345.2	247416.4	1402.8	3526.4	125005.0	7.0	129941.2
Property	EC (ds.m ⁻¹)	Total Dissolved Solids	pH	Total Hardness	Total P	Total N	BOD	COD	TSS	
Tap Water	1.26	806	7.6	385	0.5	1.2	0	0	0	
Mixed Water	116.13	104403	7.5	9193	0.4	140.6	1080	18335	4395	
Briny Water	231.01	208001	7.3	18000	0.2	280	2160	36670	8790	

Table 1. Chemical properties of used water (as ppm except pH and EC- Electrical Conductivity)

جدول ۲. محدوده مجاز ناخالصی آب اختلاط برای بتن غیر مسلح (بر حسب ppm است بجز در موارد علامت‌دار)

Property	Limits	Reference	Property	Limits	Reference	Property	Limits	Reference		
pH	7-9	[28]	Carbonate	1000	[29]	Nitrate	500	[26]		
	6-9	[24]		1000	[30]		500	[31]		
	5.0-8.5	[25]		400	[29]		500	[28]		
Total Suspended Solids (TSS)	2000	[29]	Bicarbonate	400-1000	[30]	Total Alkalinity*	1500	[31]		
	30	[24]		3000	[27]		600	[25]		
Total Dissolved Solids (TDS)	2000	[25]	Sulfate	3000	[25]	Inorganic Solids	3000	[29]		
	35000	[28]		2000	[3]		Organic Solids	200	[29]	
Total Solids (TS)	50000	[27]	Magnesium	2000	[26]	Detergents**	2	[31]		
	10000	[25]		2000	[28]		Sugars	100	[29]	
Chloride	1000	[27]	Sodium	2000	[28]	BOD ₅	30	[24]		
	500	[3]		Calcium	2000		[28]	COD	500	[3]
	4500	[26]			Potassium		2000		[28]	Oil and Grease
Chloride Residual	1	[24]	Phosphate	100	[31]	Fecal Coliform***	200	[24]		

* EPA [24] values are presented for restricted reuse of wastewater after secondary treatment and disinfection.

** as ppm CaCO₃ *** Blobs should be disappear after 2 minutes counts per 100 ml.

Table 2. Permissible limits of mix water impurity for plain concrete (as ppm except signed properties)

جدول ۳. ترکیبات شیمیایی سیمان و زئولیت (واحدها بر حسب درصد)

Compound	Cement	Zeolite	Compound	Cement	Zeolite	Compound	Cement	Zeolite
SiO ₂	21.11	69.28	CaO	63.36	3.56	MgO	1.51	0.50
Al ₂ O ₃	4.42	10.43	Na ₂ O	0.38	0.73	SO ₃	2.61	0.005
Fe ₂ O ₃	3.96	0.49	K ₂ O	0.51	1.27	LOI	2.98	12.97

Table 3. Chemical composition of cement and zeolite (as percent)

جدول ۴. جزئیات طرح اختلاط (مقادیر بر حسب کیلوگرم در هر مترمکعب بتن است)

Treatment	Water	Cement	Zeolite	Gravel	Sand	Treatment	Water	Cement	Zeolite	Gravel	Sand
C1Z1	112	250	0	969	969	C2Z1	158	350	0	896	896
C1Z2	112	225	25	969	969	C2Z2	158	315	35	896	896
C1Z3	112	200	50	969	969	C2Z3	158	280	70	896	896
C1Z4	112	175	75	969	969	C2Z4	158	245	105	896	896

C: cement content (1: 250 & 2: 350 kg.m⁻³) Z: zeolite level (1: 0; 2: 10; 3: 20 & 4: 30%)

Table 4. Details of mix design (values are as kg per cubic meter of concrete bulk)

شکل ۱. ساخت آزمون، مخزن عمل‌آوری و تجهیزات مورد استفاده

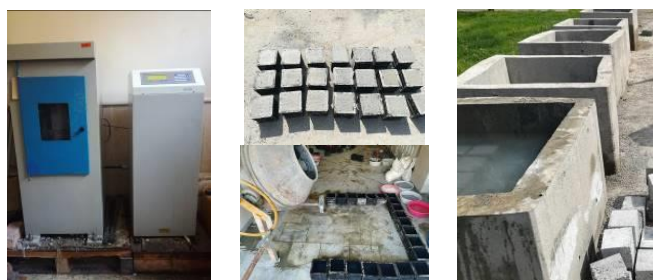


Fig. 1. Construction of concrete pieces, curing tanks and used instruments

۳-۳- مقایسه میانگین اثرات ساده عوامل

نتایج مقایسه میانگین آثار ساده چهار عامل مورد بررسی بر مقاومت فشاری آزمون‌های بتنی در شکل (۲) نشان داده شده است. لازم به توضیح است که در هر عامل مورد بررسی، تیمارهایی که حداقل یک حرف مشترک با یکدیگر داشته باشند، در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر ندارند. مطابق انتظار، افزایش مقاومت فشاری آزمون‌ها با افزایش سن در تمام سطوح معنی‌دار بود و افزایش عیار سیمان از ۲۵۰ به ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب نیز موجب افزایش معنی‌داری (۱۵۸ درصد) مقاومت فشاری بتن شد (شکل ۲).

استفاده از آب ترکیبی در ساخت بتن (نسبت برابر از آب شهری و شورابه زیرزمینی) موجب کاهش معنی‌دار مقاومت فشاری آزمون‌ها نسبت به آب شهری (۸/۰ درصد) و شورابه (۱۰/۵ درصد) شد. همچنین شورابه زیرزمینی مقاومت فشاری آزمون‌های بتنی را نسبت به آب شهری به میزان ۲/۹ درصد افزایش داد ولی این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نبود (شکل ۲). در همین راستا گزارش شده است که مقاومت فشاری آزمون‌های بتنی در اثر استفاده از آب شور با هدایت الکتریکی ۱۲۴/۱ دسی‌زیمنس بر متر به میزان ۴/۲ درصد افزایش یافت [1] و در اثر کاربرد شورابه‌های خروجی از تصفیه‌خانه آب دریا با غلظت قابل توجه کلسیم، منیزیم و کلرید (به ترتیب ۸۲۶، ۲۵۵۳ و ۳۹۴۲۶ میلی‌گرم بر لیتر) تاثیر منفی نپذیرفت [2] که با نتایج این پژوهش همخوانی نزدیکی دارد. ناخالصی‌های موجود در آب اختلاط آثار متفاوتی بر بتن دارند و ممکن است همه ناخالصی‌ها اثر منفی روی بتن ایجاد نکنند به‌گونه‌ای که برخی می‌توانند بی‌زیان باشند و حتی باعث بهتر شدن

ارائه شده است که نشان می‌دهد اثر ساده عیار سیمان، نوع آب، کاربرد ژئولیت و سن آزمون، همه برهمکنش‌های دوگانه، بجز برهمکنش‌های دوگانه نوع آب در سن آزمون و درصد ژئولیت در سن آزمون، و برهمکنش‌های سه‌گانه عیار سیمان در نوع آب در ژئولیت و نوع آب در ژئولیت در سن آزمون بر مقاومت فشاری آزمون‌های بتنی در سطح احتمال یک درصد ($P \text{ value} \leq 0.01$) معنی‌دار است. بنابراین برهمکنش‌های دوگانه نوع آب در سن آزمون و درصد ژئولیت در سن آزمون و برهمکنش سه‌گانه عیار سیمان در نوع آب در سن آزمون و برهمکنش چهارگانه عیار سیمان در نوع آب در ژئولیت در سن آزمون بر میزان مقاومت فشاری آزمون‌های بتنی معنی‌دار نبود. عدم معنی‌داری برهمکنش دوگانه نوع آب در سن آزمون و درصد ژئولیت در سن آزمون نشان‌دهنده روند مشابه تاثیرگذاری به ترتیب نوع آب و درصد کاربرد ژئولیت بر مقاومت فشاری آزمون‌ها در سنین مختلف است. همچنین عدم معنی‌داری برهمکنش‌های سه‌گانه عیار سیمان در نوع آب در سن آزمون بیانگر تاثیرپذیری مشابه مقاومت فشاری آزمون‌های بتنی از نوع آب در سنین مختلف آزمون‌ها در عیارهای مختلف سیمان است. به طریق مشابه غیرمعنی‌داری برهمکنش چهارگانه عیار سیمان در نوع آب در ژئولیت در سن آزمون نشان می‌دهد که عیارهای مختلف سیمان در انواع مختلف آب و در شرایط مورد بررسی کاربرد ژئولیت تاثیرگذاری مشابهی بر مقاومت فشاری آزمون‌های بتنی در سنین مختلف دارند. بنابراین در بخش بعد فقط نتایج مقایسه میانگین منابع تغییری که موجب اثر معنی‌دار بر مقاومت فشاری آزمون‌ها شدند، ارائه می‌شود.

آب‌پوشی سیمان توسط کلرید کلسیم آب دریا موجب افزایش میزان هیدروکسید کلسیم سیمان، کاهش میزان منافذ با قطر بزرگتر از ۱۰ نانومتر، اصلاح ساختار منافذ و در نهایت افزایش مقاومت فشاری بتن می‌شود. در مقابل، در عیار سیمان ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب، بیشترین مقاومت فشاری به ترتیب در نمونه‌های ساخته شده با آب شهری، شورآبه زیرزمینی و آب ترکیبی به دست آمد و اختلاف بین آنها نیز از نظر آماری معنی‌دار بود. کاهش مقاومت نمونه‌های ساخته شده با شورآبه زیرزمینی و آب ترکیبی نسبت به آب شهری به ترتیب ۴ و ۱۱ درصد بود که با نتایج [6] مبنی بر کاهش ۶ درصدی مقاومت فشاری بتن در اثر استفاده از آب دریا در مقایسه با آب آشامیدنی همخوانی نزدیکی دارد. به این ترتیب میزان کاهش مقاومت فشاری در شرایط استفاده از شورآبه زیرزمینی در محدوده مجاز کمتر از ۱۰ درصد بر اساس استاندارد ملی شماره ۱۴۷۴۸ [26] و آبا [25] و استانداردهای بین‌المللی و در شرایط استفاده از آب ترکیبی در محدوده مجاز کمتر از ۲۰ درصد بر اساس استاندارد BS 3148 انگلستان [28] است که استفاده از این آب را مشروط بر جبران کاهش مقاومت از طریق اصلاح طرح اختلاط مجاز می‌نماید. بنابراین به نظر می‌رسد کاربرد شورآبه زیرزمینی و آب ترکیبی به عنوان آب اختلاط بتن در هر دو عیار سیمان بدون ایجاد محدودیت قابل توصیه است.

مقایسه میانگین برهمکنش دوگانه عیار سیمان در زئولیت (جدول ۶-ب) نشان می‌دهد در عیار سیمان ۲۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب جایگزینی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد زئولیت در مقایسه با تیمار عدم کاربرد زئولیت موجب کاهش معنی‌دار مقاومت فشاری به ترتیب به میزان ۲۹/۹، ۲۹/۲ و ۴۲/۸ درصد شد ولی اختلاف سطح کاربرد ۱۰ و ۲۰ درصد با یکدیگر معنی‌دار نبود. در مقابل، در عیار سیمان ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب، بین مقاومت فشاری تیمارهای ۰، ۱۰ و ۲۰ درصد کاربرد زئولیت اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و فقط تیمار ۳۰ درصد زئولیت با کاهش مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی به میزان ۱۳/۱ درصد، موجب ایجاد اختلاف آماری معنی‌داری با تیمار عدم استفاده از زئولیت شد. همچنین با توجه به این تغییرات می‌توان دریافت که نرخ کاهش مقاومت فشاری نمونه‌ها در

ویژگیهای بتن شوند. در بیشتر مواقع محدودیت‌های مجازی برای مقدار ناخالصی‌های موجود در آب اختلاط بتن وجود دارد در حالی که در آن محدوده ناخالصی‌ها می‌توانند بی‌زیان باشند [32-33]. این موضوع دلیل افزایش جزئی مقاومت نمونه‌های ساخته شده با هر دو آب نامتعارف نسبت به آب شهری است.

استفاده از زئولیت منجر به کاهش معنی‌دار مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی در تمام سطوح شد اما اختلاف بین سطح کاربرد ۱۰ و ۲۰ درصد با یکدیگر معنی‌دار نبود. میزان کاهش مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی برای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد جایگزینی سیمان با زئولیت نسبت به شرایط بدون کاربرد آن به ترتیب ۹/۹، ۹/۵ و ۲۳/۱ درصد بود (شکل ۲). این نتایج با یافته‌های [9] که گزارش کردند جایگزینی ۲۰ درصد سیمان با زئولیت طبیعی موجب ۱۷-۵ درصد کاهش مقاومت فشاری بتن ۳ تا ۹۰ روزه شد، و یافته‌های [10] که نشان داد جایگزینی ۱۵ و ۳۰ درصد سیمان با زئولیت موجب کاهش مقاومت فشاری بتن در تمام سنین (۷، ۱۴، ۲۸، ۹۰ و ۳۵۶ روز) به ترتیب میزان بین ۱۵-۳ و ۳۸-۷ درصد شد همخوانی دارد. همچنین گزارش شد که کاربرد ۱۰، ۲۰ و ۴۰ درصد زئولیت به جای سیمان به ترتیب منجر به کاهش مقاومت سنین ۷، ۲۸ و ۳۶۰ روزه بتن به میزان ۱۸-۴، ۳۵-۲۵ و ۶۳-۴۵ درصد شد [34] که با نتایج این پژوهش هماهنگی دارد.

۳-۴- مقایسه میانگین برهمکنش‌های دوگانه

مقایسه میانگین‌های برهمکنش‌های دوگانه عیار سیمان در نوع آب، عیار سیمان در زئولیت، عیار سیمان در سن نمونه و نوع آب در زئولیت در جدول (۶) ارائه شده است. نتایج جدول (۶-الف) نشان می‌دهد که در عیار سیمان ۲۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب، اختلاف بین تیمارهای آب ترکیبی و آب شهری معنی‌دار نبود ولی شورآبه زیرزمینی با ۲۲/۸ و ۲۱/۸ درصد افزایش مقاومت فشاری به ترتیب نسبت به آب شهری و آب ترکیبی اختلاف آماری معنی‌داری با آنها داشت. این یافته‌ها با نتایج پژوهش [5] که نشان داد استفاده از آب دریا موجب ۲۲ درصد افزایش مقاومت فشاری بتن ۲۸ روزه نسبت به آب آشامیدنی شد، هماهنگی دارد. گزارش شده است که تسریع

ژئولیت) مشاهده شد. در عین حال، کمترین مقاومت فشاری در نمونه‌های ساخته شده با هر سه نوع آب در شرایط کاربرد ۳۰ درصد ژئولیت با ۳۲ درصد کاهش نسبت به تیمار شاهد به دست آمد. تیمارهای آب شهری با ۲۰ درصد ژئولیت و شورابه زیرزمینی با ۲۰ درصد ژئولیت اگرچه موجب کاهش مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی در مقایسه با تیمار شاهد (آب شهری بدون کاربرد ژئولیت) شد ولی این کاهش از نظر آماری معنی دار نبود. در همین راستا گزارش شده است که جایگزینی

اثر کاربرد ژئولیت در عیار سیمان ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب به مراتب کمتر از عیار سیمان ۲۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب بود. بنابراین به نظر می‌رسد که استفاده از ژئولیت تا میزان ۲۰ درصد در بتن‌های با عیار سیمان بیشتر بدون ایجاد محدودیت بر مقاومت فشاری بتن قابل توصیه باشد. مقایسه میانگین برهمکنش دوگانه نوع آب در ژئولیت (جدول ۶-ج) نشان می‌دهد بیشترین مقاومت فشاری در نمونه‌های ساخته شده با شورابه زیرزمینی بدون کاربرد ژئولیت با ۱۴/۶ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد (آب شهری بدون کاربرد

جدول ۵. نتایج آزمون تجزیه واریانس (ANOVA) بر روی مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی

Source of Variation	d.f	Mean Square	P Value
Cement Content (C)	1	27669.00	0.000
Water Type (W)	2	153.40	0.000
Zeolite (Z)	3	399.27	0.000
Curing Time (d)	4	944.44	0.000
Interaction of C*W	2	119.86	0.000
Interaction of C*Z	3	102.05	0.000
Interaction of C*d	4	207.00	0.000
Interaction of W*Z	6	56.15	0.000
Interaction of W*d	8	11.31	0.110
Interaction of Z*d	12	6.52	0.493
Interaction of C*W*Z	6	61.42	0.000
Interaction of C*W*d	8	8.62	0.264
Interaction of W*Z*d	24	14.20	0.003
Interaction of C*W*Z*d	36	7.05	0.424
Total Error	240	6.83	-

Table 5. Result of analysis of variance (ANOVA) test on compressive strength of concrete pieces

شکل ۲. اثر ساده عوامل مورد بررسی (راست) و برهمکنش سه‌گانه عیار سیمان در ژئولیت در نوع آب (چپ) بر مقاومت فشاری نمونه‌ها

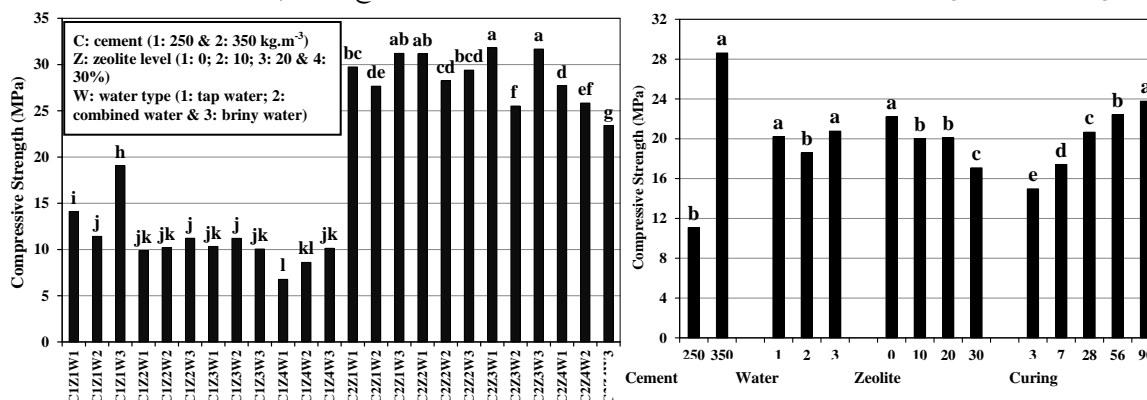


Fig. 2. The simple effects of studied factors (right) and three-way interaction of cement content*zeolite*water type (left) on compressive strength of concrete pieces

جدول ۶. مقایسه میانگین برهمکنش‌های دوگانه بر مقاومت فشاری آزمون‌ها (مگاپاسکال)

A: Interaction of cement content*water type			B: Interaction of cement content*zeolite		
Cement Content	Water Type	Strength	Cement Content	Zeolite (%)	Strength
250 kg.m ⁻³	Tap	10.3 ^e	250 kg.m ⁻³	0	14.9 ^c
	Mix	10.4 ^e		10	10.4 ^d
	Briny	12.6 ^d		20	10.5 ^d
350 kg.m ⁻³	Tap	30.1 ^a	350 kg.m ⁻³	30	8.5 ^e
	Mix	26.8 ^c		0	29.5 ^a
	Briny	28.9 ^b		10	29.6 ^a
C: Interaction water type*zeolite			D: Interaction of cement content*curing age		
Water Type	Zeolite (%)	Strength	Cement Content	Curing Age (day)	Strength
Tap	0	21.9 ^b	250 kg.m ⁻³	3	8.5 ^f
	10	20.5 ^{cd}		7	9.9 ^h
	20	21.1 ^{bc}		28	11.5 ^g
	30	17.3 ^{fg}		56	12.2 ^{fg}
Mix	0	19.5 ^{de}	350 kg.m ⁻³	90	13.4 ^f
	10	19.2 ^{de}		3	21.5 ^e
	20	18.4 ^{ef}		7	25.0 ^d
	30	17.2 ^{fg}		28	29.9 ^c
Briny	0	25.1 ^a	350 kg.m ⁻³	56	32.6 ^b
	10	20.3 ^{cd}		90	34.2 ^a
	20	20.9 ^{bc}			
	30	16.8 ^g			

Table 6. Mean comparison of two-way interaction effects on compressive strength of concrete pieces (MPa)

در ژئولیت در شکل (۲) و مقایسه میانگین برهمکنش سه‌گانه نوع آب در ژئولیت در سن آزمون در شکل (۳) ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که در عیار سیمان ۲۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب، مقاومت فشاری آزمون‌های بتنی در تیمار بدون ژئولیت با شورآبه زیرزمینی (C1Z1W3) با ۳۵/۱ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد (C1Z1W1) بدون ژئولیت با آب شهری) از برتری آماری معنی‌داری برخوردار بود ولی سایر تیمارها موجب کاهش معنی‌دار مقاومت فشاری نسبت به تیمار شاهد بود (شکل ۲). همچنین بین سایر تیمارها با یکدیگر، بجز ۳۰ درصد ژئولیت با آب‌های شهری (C1Z4W1) و ترکیبی (C1Z4W2)، که به طور متوسط مقاومت فشاری آزمون‌ها را نسبت به تیمار شاهد ۲۵ درصد کاهش دادند، تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده نشد. این در حالی است که در عیار سیمان ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب، ۷ درصد افزایش مقاومت فشاری آزمون‌های بتنی تیمارهای ۲۰ درصد ژئولیت با آب شهری (C2Z3W1) و ۲۰ درصد ژئولیت با شورآبه زیرزمینی (C2Z3W3) نسبت به تیمار شاهد (C2Z1W1) بدون ژئولیت با آب شهری) موجب اختلاف معنی‌دار این تیمارها شد.

سیمان با ژئولیت تا سطح ۲۰ درصد موجب کاهش مقاومت فشاری آزمون‌ها نشد [11, 16] که با نتایج این پژوهش در شرایط آب شهری و شورآبه زیرزمینی هماهنگی نزدیکی دارد. بنابراین به نظر می‌رسد که استفاده همزمان از شورآبه و ژئولیت تا میزان ۲۰ درصد بدون ایجاد کاهش معنی‌دار بر مقاومت فشاری بتن می‌تواند قابل توصیه باشد.

مقایسه میانگین برهمکنش دوگانه عیار سیمان در سن آزمون (جدول ۶-د) نشان می‌دهد که نرخ افزایش مقاومت فشاری با گذشت زمان در دو عیار سیمان با یکدیگر متفاوت است به گونه‌ای که در تیمار عیار سیمان ۲۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب، مقاومت فشاری ۷، ۲۸، ۵۶ و ۹۰ روزه به ترتیب ۱۶، ۳۵، ۴۴ و ۵۸ درصد نسبت به مقاومت فشاری ۳ روزه افزایش یافت در حالی که در تیمار عیار سیمان ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب این رشد به ترتیب ۱۷، ۳۹، ۵۲ و ۵۹ درصد بود. بنابراین این نرخ در عیار سیمان ۳۵۰ بیشتر از ۲۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب است.

۳-۵- مقایسه میانگین برهمکنش‌های سه‌گانه

مقایسه میانگین برهمکنش سه‌گانه عیار سیمان در نوع آب

شکل ۳. مقایسه میانگین برهمکنش سه گانه نوع آب در درصد ژئولیت در سن آزمون بر مقاومت فشاری آزمون‌های بتنی

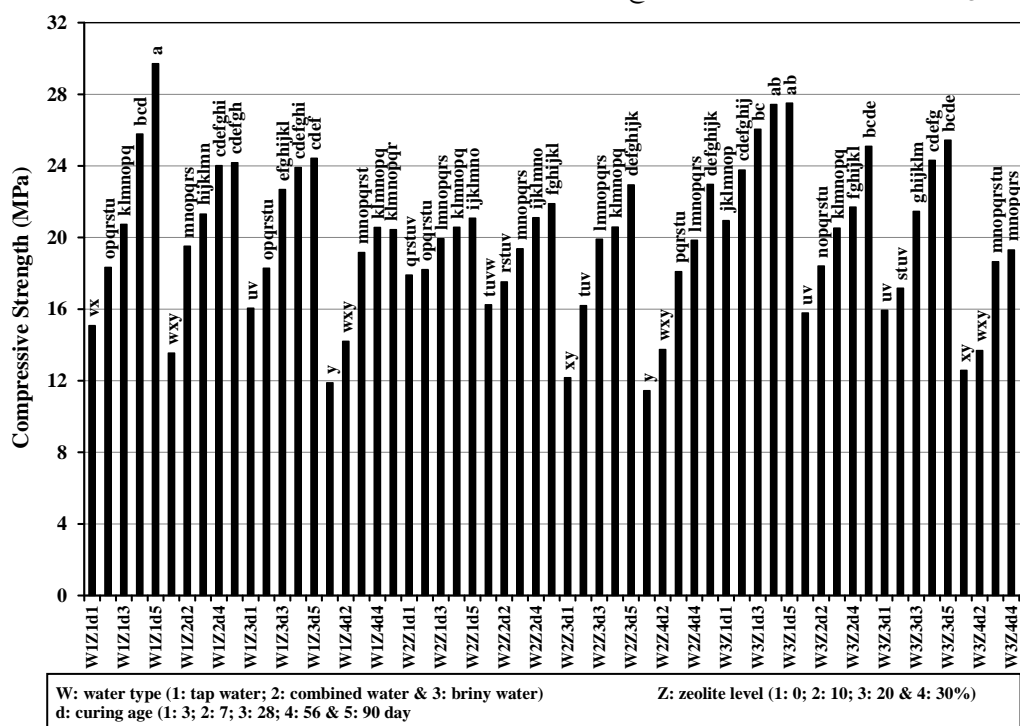


Fig. 3. Mean comparison of three-way interaction of water type*zeolite percent*curing age on compressive strength of concrete pieces

ویژگی را در برخی شرایط به طور معنی‌داری افزایش دهد وجود دارد. با این حال، با توجه به وجود برهمکنش سه‌گانه این عوامل که به دلیل آثار متفاوت نوع آب و ژئولیت در عیارهای مختلف سیمان است، انتخاب بهترین سطح ژئولیت و نوع آب با توجه به عیار سیمان مورد نظر باید در کارگاه توسط آزمون طرح اختلاط بدست آید. برهمکنش سه‌گانه نوع آب در ژئولیت در سن آزمون (شکل ۳) نشان می‌دهد که بیشترین مقاومت فشاری ۳، ۷، ۲۸ و ۵۶ روزه در تیمار شورابه زیرزمینی بدون استفاده از ژئولیت (W3Z1) به ترتیب با ۳۹، ۳۰، ۲۶ و ۶ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد (W1Z1d1) به دست آمد. این افزایش در سن ۳، ۷ و ۲۸ روز از نظر آماری معنی‌دار ولی در سن ۵۶ روز غیرمعنی‌دار بود. همچنین اگرچه در این سنین افزایش مقاومت فشاری در برخی تیمارهای دیگر نیز نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد ولی این تغییرات معنی‌دار نبود. با این حال، بیشترین مقاومت ۹۰ روزه در تیمار شاهد (W1Z1d5) مشاهده شد اگرچه کاهش ۷ درصدی تیمار شورابه زیرزمینی بدون استفاده از ژئولیت (W3Z1d5) با آن معنی‌دار نبود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت استفاده از شورابه

همچنین در تیمارهای بدون ژئولیت با شورابه زیرزمینی (C2Z2W1) و (C2Z1W3) ۱۰ درصد ژئولیت با آب شهری (C2Z2W1) نیز مقاومت فشاری بتن به میزان حدود پنج درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داشت ولی این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نبود. در مجموع، در این عیار سیمان، میزان کاهش مقاومت فشاری آزمون‌های بتنی در هیچ تیماری بجز تیمارهای آب ترکیبی با ۰ و ۲۰ درصد ژئولیت و هر سه نوع آب با ۳۰ درصد ژئولیت با تیمار شاهد از نظر آماری معنی‌دار نبود (شکل ۲). این یافته‌ها با نتایج [4] که نشان داد افزایش عیار سیمان به دلیل افزایش مقاومت بتن نسبت به حمله آب دریا، املاح شیمیایی و نمک از افت مقاومت فشاری جلوگیری می‌کند، کاملاً همخوانی دارد. توضیح بیشتر این که افزایش عیار سیمان به معنای افزایش ماتریکس سیمان مواجه شده با نمک است که به کارایی بیشتر بتن و قدرت پیوند بیشتر بین اجزاء بتن منجر می‌شود و در نتیجه افت مقاومت بتن را به تاخیر می‌اندازد [4]. این نتایج نشان می‌دهد که امکان استفاده از شورابه و ژئولیت در طرح اختلاط بتن به ویژه در سطح عیار سیمان بالا بدون آن که موجب کاهش معنی‌دار مقاومت بتن شود و بلکه حتی این

فشاری آزمون‌های بتنی به میزان به ترتیب ۹/۹، ۹/۵ و ۲۳/۱ درصد شد ولی اختلاف بین سطح ۱۰ با ۲۰ درصد معنی‌دار نبود. نتایج نشان داد که امکان استفاده از شورآبه و ژئولیت در طرح اختلاط بتن به ویژه در سطح عیار سیمان بالا بدون آن که موجب کاهش معنی‌دار مقاومت فشاری بتن شود و بلکه حتی این ویژگی را در برخی شرایط به طور معنی‌داری افزایش دهد وجود دارد. با این حال، با توجه به وجود برهمکنش سه‌گانه این عوامل که به دلیل آثار متفاوت نوع آب و درصد ژئولیت در عیارهای مختلف سیمان است، انتخاب بهترین سطح ژئولیت و نوع آب با توجه به عیار سیمان مورد نظر باید در کارگاه بر اساس آزمون طرح اختلاط به دست آید. همچنین استفاده از شورآبه زیرزمینی بدون استفاده از ژئولیت منجر به افزایش معنی‌دار مقاومت فشاری بتن در سنین کم تا ۲۸ روز شد ولی در سنین بعدی (۵۶ و ۹۰ روز) این برتری معنی‌دار از بین رفت.

References

۵- منابع

- [1] Al-Joulani N. M. A. 2015 Effect of wastewater type on concrete properties. *International Journal of Applied Engineering Research*, 10(19), 39865-39870.
- [2] Fattah K. P., Al-Tamimi A.K., Hamweyah W. & Iqbal F. 2017 Evaluation of sustainable concrete produced with desalinated reject brine. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 6, 183-190.
- [3] Ghrair A. M., Al-Mashaqbeh O. A., Sarireh M. K., Al-Kouz N., Farfoura M. & Megdal S. B. 2018 Influence of grey water on physical and mechanical properties of mortar and concrete mixes. *Ain Shams Engineering Journal*, 9(4): 1519-1525.
- [4] Wegian F.M. 2010 Effect of seawater for mixing and curing on structural concrete. *The IES Journal Part A: Civil & Structural Engineering*, 3(4), 235-243.
- [5] Shi Z., Shui Z., Li Q. & Geng, H. 2015 Combined effect of metakaolin and sea water on performance and microstructures of concrete. *Construction and Building Materials*, 74, 57-64.
- [6] Mbadike E. M. & Elinwa A. U. 2011 Effect of salt water in the production of concrete. *Nigerian Journal of Technology*, 30(2), 105-110.
- [7] El-Nawawy O. A. & Ahmad S. 1991 Use of treated effluent in concrete mixing in an arid climate. *Cement and Concrete Composites*, 13, 137-141.
- [8] Valipour M., Yekkar M. Shekarchi M. & Panahi S. 2014 Environmental assessment of green concrete containing natural zeolite on the global warming index in marine environments. *Journal of Cleaner Production*, 65, 418-423.
- [9] Madandoust R., Sobhani J. & Ashoori P. 2013

زیرزمینی بدون استفاده از ژئولیت منجر به افزایش معنی‌دار مقاومت فشاری بتن در سنین کم تا ۲۸ روز شد ولی در سنین بعدی (۵۶ و ۹۰ روز) این برتری معنی‌دار از بین رفت. این نتایج با یافته‌های [4] هماهنگی بسیار زیادی دارد. نتایج نامبرده نشان داد که مقاومت ۷ و ۱۴ روزه بتن ساخته شده و عمل‌آوری شده با آب دریا (TDS حدود ۴۰۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و pH حدود ۸/۲) و بتن ساخته شده با آشامیدنی و عمل‌آوری شده با آب دریا نسبت به بتن ساخته شده و عمل‌آوری شده با آب آشامیدنی بیشتر است ولی مقاومت ۲۸ و ۹۰ روزه آنها کمتر است. دلیل این امر به کاهش نرخ کسب مقاومت نسبت به زمان در تیمار ساخته شده یا عمل‌آوری شده با آب دریا به واسطه بلورسازی نمک نسبت داده شده است [4-5] که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. همچنین تقریباً در تمام سنین، کمترین مقدار مقاومت فشاری در تیمارهای ۳۰ درصد ژئولیت با آب شهری (W1Z4)، آب ترکیبی (W2Z4) و شورآبه زیرزمینی (W3Z4) مشاهده شد که این کاهش در تمام سنین، به جزء در سن ۲۸ روز، نسبت به تیمار شاهد معنی‌داری بود. نتایج نشان داد که از ۱۲ ترکیب ممکن آب و ژئولیت در هر سن، در ۹، ۸، ۱۱، ۱ و ۱ ترکیب به ترتیب در سنین ۳، ۷، ۲۸، ۵۶ و ۹۰ روز کاهش غیرمعنی‌دار یا افزایش مقاومت فشاری آزمون‌ها نسبت به تیمار آب شهری بدون استفاده از ژئولیت محدودیتی در استفاده از آب نامتعارف و ژئولیت ایجاد نمی‌کند. همچنین میزان تغییر مقاومت برای ۱۲ ترکیب ممکن هر سن نسبت به تیمار شاهد همان سن در سنین ۳، ۷، ۲۸، ۵۶ و ۹۰ روز به ترتیب ۳۹+ تا ۲۴-، ۳۰+ تا ۲۵-، ۲۶+ تا ۱۳-، ۶+ تا ۲۵- و ۷- تا ۳۴- بود.

۴- نتیجه‌گیری

استفاده از شورآبه زیرزمینی موجب افزایش غیرمعنی‌دار مقاومت فشاری آزمون بتنی نسبت به آب شهری شد در حالی که آب ترکیبی این ویژگی را به طور معنی‌داری کاهش داد ولی این کاهش بر اساس استاندارد ملی ۱۴۷۴۸ [26] و آبا [25] و استانداردهای بین‌المللی در محدوده مجاز کمتر از ۱۰ درصد بود. جایگزینی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد سیمان با ژئولیت نسبت به شرایط بدون کاربرد ژئولیت موجب کاهش معنی‌دار مقاومت

- [20] INSO 302. 2015 Concrete aggregates- specifications. 3st revision.
- [21] INSO 581. 2014 Concrete- making and curing concrete test specimens in laboratory- code of practice. 1st revision.
- [22] INSO 3201-1. 2009 Fresh concrete- part 1: sampling. 1st revision.
- [23] INSO 3206. 1992 Concrete- determination of compressive strength of test specimens. 1st revision.
- [24] EPA. 2012 Guidelines for water reuse. EPA/600/R-12/618, Washington, D.C.
- [25] Iranian Budget and Planing Organization, 2004 Iranian concrete code (ABA). No. 120, 434p. (In Persian)
- [26] INSO 14748, 2012 Mixing water for concrete. 1st Edition. (In Persian)
- [27] ASTM C1602. 2012 Standard specification for mixing water used in the production of hydraulic cement concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org
- [28] BS EN3148. 1980 Method of test for water for making concrete (including notes on the suitability of the water). British Standard Institution.
- [29] Babu G.R. & Ramana N. V. 2018 Feasibility of wastewater as mixing water in cement. *Materials Today: Proceedings*, 5, 1607-1614.
- [30] Iranian Budget and Planing Organization, 2004. Commentary of the concrete code of Iran (ABA). (In Persian)
- [31] BS EN1008. 2002 Mixing water for concrete: Specification for sampling, testing and assessing the suitability of water, including water recovered from processes in the concrete industry, as mixing water for concrete. British Standard Institution, www.bsigroup.com
- [32] Mehrdadi N., Akbarian A. & Hagh Elahi A. 2009 Using treated domestic wastewater in concrete mixing. *Journal of Environmental Studies*, 35(50), 129-136. (In Persian)
- [33] Babu G. R., Reddy B. M. & Ramana N. V. 2018 Quality of mixing water in cement concrete: A review. *Materials Today: Proceedings*, 5: 1313-1320.
- [34] Vejmelková E., Ondráček M. & Černý R. 2012 Mechanical and hydric properties of high performance concrete containing natural zeolites. *International Journal of Materials and Metallurgical Engineering*, 6(3), 186-189.
- Concrete made with zeolite and metakaolin: a comparison on the strength and durability properties. *Asian Journal of Civil Engineering (BHRC)*, 14(4), 533-543.
- [10] Najimi M., Sobhani J., Ahmadi B. & Shekarchi M. 2012 An experimental study on durability properties of concrete containing zeolite as a highly reactive natural pozzolan. *Construction and Building Materials*, 35, 1023-1033.
- [11] Khoshroo M., Shirzadi Javid A. A. & Katebi A. 2018 Effects of micro-nano bubble water and binary mineral admixtures on the mechanical and durability properties of concrete. *Construction and Building Materials*, 164, 371-385.
- [12] Sabet F. A., Libre N. A. & Shekarchi M. 2013 Mechanical and durability properties of self consolidating high performance concrete incorporating natural zeolite, silica fume and fly ash. *Construction and Building Materials*, 44, 175-184.
- [13] Valipour M., Pargar F., Shekarchi M. & Khani S. 2013 Comparing a natural pozzolan, zeolite, to metakaolin and silica fume in terms of their effect on the durability characteristics of concrete: A laboratory study. *Construction and Building Materials*, 41, 879-888.
- [14] Soltani A., Tarighat A. & Rostami R. 2017 Effects of calcined clay minerals and silica fume on the compressive strength of concrete. *Journal of Structural and Construction Engineering*, 4(1), 33-50. (In Persian)
- [15] Ranjbar M., Madandoust R. & Mousavi S. 2013 Combined effect of silica fume and zeolite on the fresh and hardened properties of self-compacted concrete. *Concrete Research*, 6(1), 53-71. (In Persian)
- [16] Esmailnia Omran M. & Faridi M. 2015 Relationship between compressive strength and tensile strength, and modulus of elasticity in self compacting concrete containing recycled aggregates and natural zeolite. *Concrete Research*, 7(1), 7-22. (In Persian)
- [17] Al-Jabri K. S., Al-Saidy A. H., Taha R. & Al-Kemyani A. J. 2011 Effect of using wastewater on the properties of high strength concrete. *Procedia Engineering*, 14, 370-376.
- [18] APHA. 2012 Standard methods for examination of water and wastewater. American Public Health Association, 18th Edition, Washington DC.
- [19] INSO 4977. 2015 Aggregates- sieve analysis of fine and coarse aggregates- test method. 1st revision.

The effect of briny groundwater and zeolite on compressive strength of plain concrete (case study: northern and eastern dry regions of Golestan province)

Kami Kaboosi^{*1}, Mehran Fadavi² and Ehsan Setaiesh³

1 Associate Professor, Department of Water Engineering, Gorgan branch, Islamic Azad University, Gorgan, Iran

2 Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Gorgan branch, Islamic Azad University, Gorgan, Iran

3 MSc Graduate, Department of Civil Engineering, Gorgan branch, Islamic Azad University, Gorgan, Iran

* kkaboosi@yahoo.com

Abstract

Global water scarcity and air pollution by greenhouse gases have amplified the need to use of unconventional water and environmental friendly materials in the concrete industry. Because of its proximity to the Caspian sea, the geological conditions and hydrogeological characteristics of the northern and western regions of Golestan province, groundwater in this area is very salty. On the other hand, due to lack of access to good quality surface water in most of the months, civil and construction activities in this area are always challenging. Accordingly, the present study was conducted to investigate 120 treatments (including three levels of water quality including tap water, briny groundwater and mixture of equal ratio of tap water and briny groundwater), four levels of zeolite (including 0, 10, 20 and 30 percent of zeolite application instead of cement in the concrete mix design), two levels of cement content (including 250 and 350 kg.m⁻³) and five curing ages (including 3, 7, 21, 56 and 90 days) in three replications. Considering the considerable types of the experimental treatments in this study and in respect to the lack of statistical analysis in previous studies, the results of this study were analyzed based on a completely randomized design with factorial experiment using analysis of variance (ANOVA) and means comparison (LSD) tests. Averagely, use of briny groundwater resulted insignificant increase in the compressive strength of concrete specimens compared to tap water, while combined water significantly decreased this property, but this reduction was within permissible range 10 percent based on national and international standards. Also, replacement of 10, 20 and 30 percent of cement by zeolite compared to non-zeolite treatment significantly reduced the compressive strength of concrete specimens by 9.9, 9.5 and 23.1 percent, respectively, but the difference between replacement level 10 and 20 percent was not significant. However, Concurrent use of briny groundwater and zeolite up to 20% can be recommended without significantly reducing the compressive strength of concrete. In the cement content of 250 kg.m⁻³, the difference between tap water and combined water treatments was not significant, but the use of briny groundwater resulted significance increase in compressive strength of concrete pieces by 22.8 and 21.8 percent compared to tap water and combined water, respectively. In contrast, in the cement content of 350 kg.m⁻³, the highest compressive strength was obtained in samples made with tap water, briny groundwater and combined water, respectively, and the differences between them were statistically significant. The results showed that due to two- and three-way interaction of these three factors on compressive strength of cement pieces, which means different effects of water quality and application percent of zeolite on different content of cement, the choice of the best application level of zeolite and water type according to the cement content should be selected based on the mix design test in building site. However, using of briny groundwater and zeolite in the concrete mix design, especially in cement content of 350 kg.m⁻³, without significantly reducing the compressive strength of concrete and even significantly increase of this property in some treatments, is recommended.

Keywords: Cement content, Curing age, Mix design, Unconventional water.