

## بررسی و ارزیابی فاکتور K در بتن‌های خودتراکم حاوی زئولیت و سرباره کوره آهن‌گدازی

امیرخانی<sup>۱</sup>، محسن تدین<sup>۲</sup>، محمد ابراهیم کمکی<sup>۳</sup>، سید محمد سجادی عطار<sup>۴</sup>

- ۱- دانشجو کارشناسی ارشد سازه دانشگاه صنعتی شاهرود
- ۲- استادیار دانشگاه بوعلی سینا همدان
- ۳- کارشناس مهندسی عمران- عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد
- ۴- مربی دانشکده شهید منتظری مشهد و مدیر آزمایشگاه کنترل کیفیت خط دو قطار شهری مشهد

### چکیده

مهم‌ترین توسعه متحولانه در ساخت و اجرای بتن در سه دهه اخیر، استفاده از بتن‌های خودتراکم می‌باشد. بتن خودتراکم به منظور حذف سروصدای ناشی از لرزاننده در قطعات بتنی، کاربرد قابل توجهی پیدا کرده است. استفاده از این نوع بتن در محیط کارگاه سبب کاهش آلودگی صوتی و حتی امکان ایجاد کارگاه قطعات بتنی در سطح شهر را میسر می‌سازد. استفاده از بتن خودتراکم در ساخت قطعات بتنی رفته‌رفته رو به افزایش است. استفاده از بتن خودتراکم هزینه لرزاننده را ذخیره می‌کند و تراکم بتن در سازه‌ها را نیز تضمین می‌کند. تولید سیمان یکی از صنایع آلاینده محیط‌زیست محسوب می‌شود به نحوی که به ازای تولید هر تن کلینکر سیمان تقریباً یک تن گاز دی‌اکسید کربن وارد جو می‌شود. به همین علت تولید بتن مقاوم و بادوام با سیمان کمتر و به جای آن استفاده از افزودنی‌های معدنی و شیمیایی می‌تواند تأثیر قابل ملاحظه‌ای در حفظ محیط‌زیست داشته باشد. از آنجایی که زئولیت و سرباره کوره آهن‌گدازی به وفور در کشور یافت می‌شود و استفاده از آن‌ها نیز از نظر اجرایی و همچنین اقتصادی قابل توجه است؛ لذا در تحقیق حال حاضر به بررسی فاکتور K در بتن خودتراکم می‌پردازیم. در تحقیق انجام شده ۲۱ طرح مخلوط بتن خودتراکم در نسبت‌های آب به سیمان ۰/۴۰، ۰/۴۵ و ۰/۵۰ با مصرف زئولیت ۰/۵، ۱/۰ و ۱/۱۵ و سرباره کوره آهن‌گدازی ۱۵٪، ۲۵٪ و ۳۵٪ استفاده گردیده که با بتن شاهد در سن مقاومتی ۲۸ روزه مورد مقایسه قرار گرفته است و فاکتور K برای زئولیت و سرباره کوره آهن‌گدازی در بتن خودتراکم محاسبه گردیده است.

**کلمات کلیدی:** بتن خودتراکم، فاکتور K، زئولیت، سرباره کوره آهن‌گدازی

amirkhani62@yahoo.com

### ۱. مقدمه

با توجه به گسترش شهرنشینی امروزه سازه‌ها نسبت به سازه‌های قدیمی بزرگ‌تر و پیچیده‌تر هستند و لذا شامل پی‌های حجیم‌تر، تیرها و ستون‌هایی‌اند که می‌باید از بتن مسلح استفاده گردند که در مقایسه فنی و اقتصادی با سازه‌های چوبی و فولادی مورد بررسی دقیق‌تری قرار گیرند.

بتن به عنوان پرمصرفترین مصالح صنعت ساخت همواره دستخوش تحولات و پیشرفت‌های شگرفی شده است. زمان، هزینه و کیفیت سه عامل مهم در اجرا سازه‌های بتنی می‌باشند که تأثیر مهمی در صنعت ساختمان دارند [۱]. استفاده از انواع پوزولان به عنوان ماده جایگزین سیمان در بتن علاوه بر کمک به کاهش مصرف سیمان و انرژی و تولید گازهای گلخانه‌ای، خواص مکانیکی مانند مقاومت فشاری در سنین بالا و دوام بتن نظیر نفوذپذیری را بهبود می‌بخشد [۲]. همچنین استفاده از مواد پوزولانی همراه با مواد افزودنی شیمیایی در سال‌های اخیر این امکان را برای دانشمندان علم تکنولوژی بتن فراهم نموده است که بتوانند بتن‌های خاصی را برای شرایط مختلف طراحی نمایند.

تفاوت عمده بتن خودتراکم با بتن معمولی استفاده از مقادیر بالای مواد پودری و فوق روان‌کننده‌های قوی در بتن خودتراکم می‌باشد. درحالی که در بتن معمولی در بسیاری از اوقات نیازی بر استفاده از این مواد نیست. همچنین در بتن خودتراکم به دلیل روانی بالا احتمال جداسازی مصالح سنگی درشت از بتن زیاد می‌باشد لذا غلظت مناسب باید تأمین گردد.

طرح بتن خودتراکم باید به نحوی باشد که علاوه برداشتن مشخصات مناسب از لحاظ کارایی و رئولوژی، از نظر مقاومت و دوام نیز مشخصات فنی را برآورده سازد. به همین دلیل تاکنون روش استاندارد و مورد اجماع در دنیا برای طرح مخلوط بتن خودتراکم بیان نشده است [۳].

برای تولید بتن خود تراکم استفاده از فوق روان کننده‌ها برای رسیدن به خواسته‌های مورد انتظار نظیر کارایی نیز الزامی می‌باشد. همچنین استفاده از فوق روان کننده‌ها سبب کاهش مصرف آب گردیده که کاهش تخلخل بتن و بهبود رفتار ناحیه انتقال بتن را به دنبال دارد. انتخاب دانه‌بندی مناسب سنگ‌دانه‌ها و استفاده از مواد افزودنی معدنی سبب کنترل آب انداختگی و جداسازی در بتن خودتراکم می‌گردد.

ژئولیت یک ماده معدنی است که عمدتاً از آلومینوسیلیکات تشکیل شده و به‌طور خلاصه از دسته کانی‌های رسی هستند که همچون سایر کانی‌های رسی از پایه هیدرو سیلیکات‌های آلومینیوم همراه با برخی کاتیون‌ها و اکسیدهای فلزات قلیایی و قلیایی خاکی تشکیل شده‌اند.

سرباره محصولی مصنوعی و جانبی است که به هنگام جداسازی آهن در کوره‌های ذوب آهن از ناخالصی‌های موجود در سنگ آهن به وجود می‌آید. سرباره ترکیبی از سیلیکات و اکسیدهای فلزی پیچیده است که پس از سرد شدن مواد ناخالص، باقی می‌ماند. این ترکیب پس از شکل گرفتن در مصارفی اعم از سیمان‌های سرباره‌ای و مواد نسوز و پشم سرباره و بالاست راه آهن و مصالح زیرسازی جاده و مصالح سنگی آسفالت و بتن کاربرد دارد.

یکی از مزایایی که در روش طرح ملی مخلوط بتن وجود دارد جامعیتی است که نسبت به سایر روش‌ها در آن دیده می‌شود و نقش عوامل متعددی که در ویژگی‌های بتن اثرگذار است در آن دیده شده است. از جمله این موارد میزان اثربخشی پوزولان‌ها بر مقاومت و دوام بتن می‌باشد که با فاکتور K تعیین شده است [۴]. این مسئله در روش طرح ملی مخلوط بتن با فاکتور K توصیف شده است. از طرفی با گسترش بتن‌های ویژه نظیر بتن خودتراکم ضرورت تدوین روش طرح ملی طرح مخلوط بتن خودتراکم احساس می‌شود ولی مطالعات اولیه کافی در خصوص آن وجود ندارد. هدف از تحقیق فعلی به دست آوردن فاکتور K برای ژئولیت و سرباره کوره آهن‌گدازی در بتن خودتراکم است که در شرایط مختلف از دیدگاه مشخصات مکانیکی مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.

## ۲. برنامه آزمایشگاهی

### ۱.۲. مصالح مصرفی

#### ۱.۱.۲. مواد سیمانی

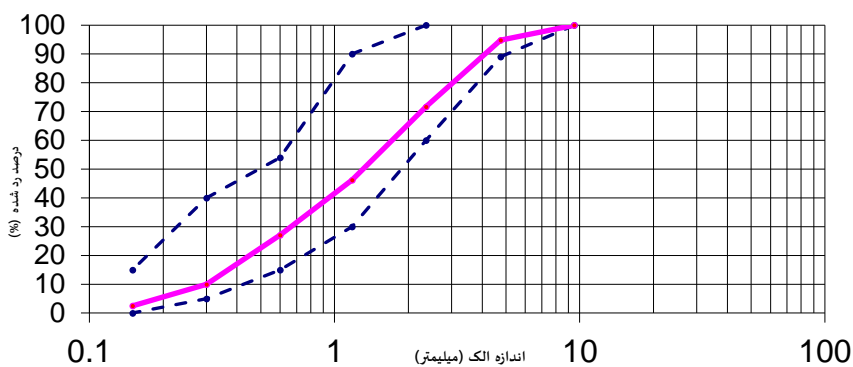
سیمان مورد استفاده در این پژوهش از نوع پرتلند تیپ ۲ مطابق استاندارد ASTM C150 تولید کارخانه سیمان بجنورد می‌باشد. مشخصات شیمیایی ژئولیت مطابق جدول ۱ می‌باشد.

جدول ۱: مشخصات شیمیایی ژئولیت

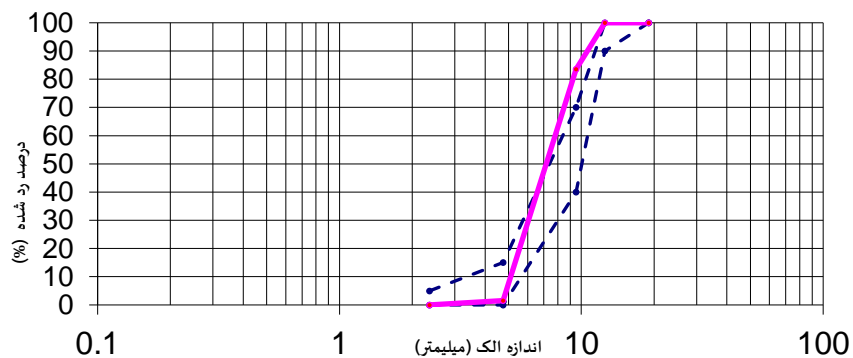
L.O.I	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>
۱۲/۲	۰/۲-۰/۹	۰/۶	۴/۴	۳/۸	۱۱	۶۸/۵

### ۲.۱.۲. سنگ‌دانه‌ها

درشت‌دانه مصرفی در این پژوهش از نوع شکسته با حداکثر قطر ۱۹ میلی‌متر و وزن مخصوص ۲۶۸۰ کیلوگرم بر مترمکعب و ماسه با وزن مخصوص ۲۶۸۰ کیلوگرم بر مترمکعب و ماسه‌بادی با وزن مخصوص ۲۶۸۵ استفاده شد. همچنین از پور سنگ آهکی با وزن مخصوص ۲۷۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب نیز استفاده گردید. در نمودار ۱ و ۲ منحنی دانه‌بندی ماسه و شن نخودی و در نمودار ۳ منحنی ترکیبی دانه‌بندی و همچنین در جدول ۲ سهم استفاده از مصالح و مدول نرمی نیز آورده شده است.



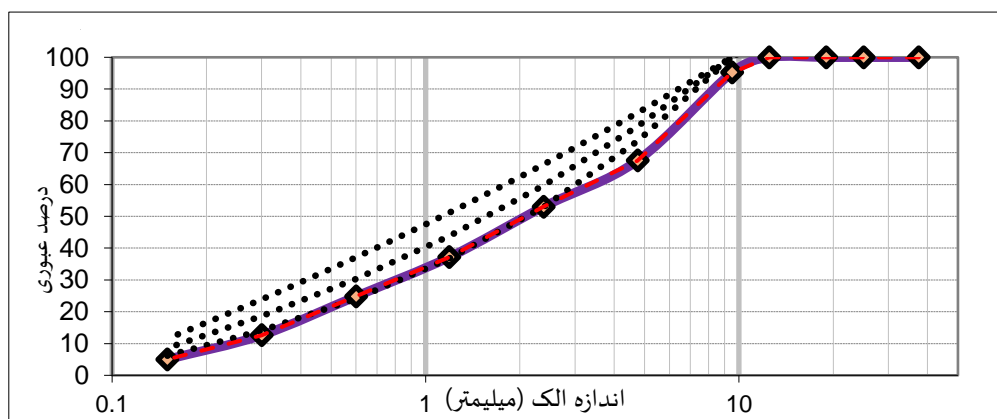
نمودار ۱: منحنی دانه‌بندی ماسه



نمودار ۲: منحنی دانه‌بندی شن نخودی

جدول ۲: سهم استفاده از مصالح و مدول نرمی مصالح

مصالح	سهم	مدول نرمی FM
شن ریز (نخودی)	۳۰	۶/۱۳
ماسه	۶۰	۳/۴۸
ماسه بادی	۴	۱/۳۹
پودر سنگ	۶	۱/۰۷
ترکیب سنگدانه‌ها	۱۰۰	۴/۰۵



نمودار ۳: منحنی دانه‌بندی ترکیبی مصالح

### ۳.۱.۲ آب

آب مصرفی جهت ساخت بتن از آب آشامیدنی شهر چناران با  $PH=7/5$  استفاده گردید.

### ۴.۱.۲ افزودنی فوق روان کننده

به منظور رسیدن به خواص رئولوژیکی مناسب در بتن خودتراکم از فوق روان کننده با پایه پلی کربکسیلات با وزن مخصوص ۱۰۹۰ کیلوگرم بر مترمکعب و درصد مواد جامد ۴۹٪ استفاده گردید.

### ۲.۲ طرح مخلوط و نحوه ساخت و عمل آوری

طرح مخلوط بتن باید به گونه‌ای طراحی گردد که بتواند تمامی ویژگی‌های بتن تازه و سخت شده را برآورده نماید. در ابتدای هرروز درصد رطوبت مصالح گرفته شده و پس از توزین مصالح، ابتدا سنگ‌دانه‌ها و پودر سنگ آهکی درون مخلوط‌کن ریخته شد و پس از یک دقیقه چرخیدن مخلوط‌کن و یکنواخت شدن مصالح، سیمان و پوزولان و در انتها آب نیز به طرح اضافه گردید. فوق روان کننده به عنوان تنها پارامتر متغیر طرح‌ها با توجه به رسیدن جریان اسلامپ در محدوده ۵۵ الی ۷۵ سانتیمتر به طرح‌ها اضافه می‌گردید. سپس آزمایش‌های جریان اسلامپ، T50، حلقه J و جعبه L نیز صورت گرفتند. همچنین جداسازی دانه‌ها و آب‌انداختگی بتن به صورت چشمی کنترل گردید.

نمونه‌ها مطابق با استاندارد ASTM C192 پس از ۲۴ ساعت عمل‌آوری در قالب و با یک‌لایه روکش پلاستیکی بلافاصله پس از خروج از قالب در حوضچه‌های آب با دمای استاندارد تا روز آزمون قرار گرفتند. طرح‌های اختلاط در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳: طرح‌های اختلاط

نام طرح	مجموع مواد سیمانی (kg)	درصد مصرف پوزولان	نسبت آب به مواد سیمانی	سیمان (kg)	زئولیت (kg)	سرباره کوره آهن-گدازی (kg)	شن (kg)	ماسه (kg)	ماسه‌بادی (kg)	پودر سنگ (kg)	فوق روان کننده (kg)
Z1	۴۵۰	%۵	۰/۴۰	۴۲۷/۵	۲۲/۵	-	۵۲۵	۱۰۴۹	۷۰	۱۰۶	۱/۸۷
Z2	۴۵۰	%۵	۰/۴۵	۴۲۷/۵	۲۲/۵	-	۵۰۷	۱۰۱۴	۶۸	۱۰۲	۱/۷۵
Z3	۴۵۰	%۵	۰/۵۰	۴۲۷/۵	۲۲/۵	-	۴۸۹	۹۷۸	۶۵	۹۹	۱/۲۲
Z4	۴۵۰	%۱۰	۰/۴۰	۴۰۵	۴۵	-	۵۲۱	۱۰۴۲	۶۹	۱۰۵	۳/۵۷
Z5	۴۵۰	%۱۰	۰/۴۵	۴۰۵	۴۵	-	۵۰۴	۱۰۰۸	۶۷	۱۰۲	۲/۳۴
Z6	۴۵۰	%۱۰	۰/۵۰	۴۰۵	۴۵	-	۴۸۷	۹۷۴	۶۵	۹۸	۱/۴
Z7	۴۵۰	%۱۵	۰/۴۰	۳۸۲/۵	۶۷/۵	-	۵۲۰	۱۰۳۹	۶۹	۱۰۵	۲/۹۲
Z8	۴۵۰	%۱۵	۰/۴۵	۳۸۲/۵	۶۷/۵	-	۵۰۲	۱۰۰۴	۶۷	۱۰۱	۲/۴۹
Z9	۴۵۰	%۱۵	۰/۵۰	۳۸۲/۵	۶۷/۵	-	۴۸۴	۹۶۹	۶۵	۹۸	۱/۸۷
S1	۴۵۰	%۲۵	۰/۴۰	۳۳۷/۵	-	۱۱۲/۵	۵۴۰	۱۰۷۹	۷۲	۱۰۹	۳/۱۴
S2	۴۵۰	%۲۵	۰/۴۵	۳۳۷/۵	-	۱۱۲/۵	۵۲۴	۱۰۴۹	۷۰	۱۰۶	۲/۴۹
S3	۴۵۰	%۲۵	۰/۵۰	۳۳۷/۵	-	۱۱۲/۵	۵۰۹	۱۰۱۸	۶۸	۱۰۳	۱/۸۷
S4	۴۵۰	%۳۵	۰/۴۰	۲۹۲/۵	-	۱۵۷/۵	۵۴۵	۱۰۸۹	۷۳	۱۱۰	۳/۷۳
S5	۴۵۰	%۳۵	۰/۴۵	۲۹۲/۵	-	۱۵۷/۵	۵۳۱	۱۰۶۲	۷۱	۱۰۷	۲/۱۸
S6	۴۵۰	%۳۵	۰/۵۰	۲۹۲/۵	-	۱۵۷/۵	۵۱۶	۱۰۳۳	۶۹	۱۰۴	۱/۸۷
S7	۴۵۰	%۱۵	۰/۴۰	۳۸۲/۵	-	۶۷/۵	۵۳۵	۱۰۷۰	۷۱	۱۰۸	۱/۸۷
S8	۴۵۰	%۱۵	۰/۴۵	۳۸۲/۵	-	۶۷/۵	۵۱۸	۱۰۳۷	۶۹	۱۰۴	۱/۸۷
S9	۴۵۰	%۱۵	۰/۵۰	۳۸۲/۵	-	۶۷/۵	۵۰۲	۱۰۰۴	۶۷	۱۰۱	۱/۴۷
A1	۴۵۰	%۰	۰/۴۰	۴۵۰	-	-	۵۲۷	۱۰۵۴	۷۰	۱۰۶	۱/۵۶
A2	۴۵۰	%۰	۰/۴۵	۴۵۰	-	-	۵۰۹	۱۰۱۹	۶۸	۱۰۳	۱/۲۵
A3	۴۵۰	%۰	۰/۵۰	۴۵۰	-	-	۴۹۲	۹۸۳	۶۶	۹۹	۰/۵۶

### ۳.۲. نمونه‌های آزمایشگاهی

جهت سنجش مقاومت فشاری از آزمون مکعبی  $10 \times 10 \times 10$  سانتی متری استفاده گردید که معیار ارزیابی و محاسبه فاکتور K طبق استاندارد DIN CEN/TR 16639 نیز در سن ۲۸ روزه می‌باشد که جهت ارزیابی دقیق‌تر از ۳ آزمون در این سن و میانگین‌گیری نتایج استفاده گردید [۵].

### ۳. بحث و بررسی

#### ۱.۳. خواص بتن تازه

به‌منظور بررسی ویژگی‌های رئولوژی بتن خودتراکم؛ آزمایش‌های جریان اسلامپ، T50، حلقه J و جعبه L نیز انجام پذیرفت که در شکل ۴ مشخص می‌باشد. همچنین نتایج آن در جدول ۴ ارائه گردیده است. در جدول ۵، ملاک‌ها و معیارهای قبول بتن خودتراکم (از نظر کارایی)، برای حداکثر اندازه سنگ‌دانه کمتر از ۲۰ میلی‌متر آورده شده است. همچنین مجموعه‌عللی که باعث پدید آمدن جواب‌های ناصحیح برای آزمایش‌های کارایی می‌شوند، بیان شده است [۶].



شکل ۴: عکس رئولوژی بتن خودتراکم، نمونه‌ها، شکستن نمونه‌ها

جدول ۴: خواص بتن تازه خودتراکم

نام طرح	جریان اسلامپ (cm)	T50(sec)	حلقه J (cm)	جعبه L
Z <sub>1</sub>	۶۹	۳/۸۵	۶۵	۰/۸۷
Z <sub>2</sub>	۶۰	۳/۹	۵۶	۰/۷۶
Z <sub>3</sub>	۶۰	۳/۴	۵۷	۰/۷۷
Z <sub>4</sub>	۷۳	۳/۴۵	۷۱	۰/۸۹
Z <sub>5</sub>	۷۵	۳/۱۵	۷۱	۰/۹۲
Z <sub>6</sub>	۷۵/۵	۳/۴	۵۳	۰/۷۱
Z <sub>7</sub>	۶۹	۳/۶۵	۶۵	۰/۸۶
Z <sub>8</sub>	۶۷	۳/۸	۶۳	۰/۸۱
Z <sub>9</sub>	۶۲	۴/۲	۵۸	۰/۷۸
S <sub>1</sub>	۷۰	۴/۶	۶۷	۰/۹۲
S <sub>2</sub>	۶۷/۵	۴/۸۵	۶۱	۰/۸۷
S <sub>3</sub>	۶۰	۵/۲	۵۷	۰/۸۲
S <sub>4</sub>	۶۸/۵	۴/۷	۶۴	۰/۸۹
S <sub>5</sub>	۵۷	۴/۸	۵۳	۰/۸۰
S <sub>6</sub>	۵۵	۴/۶	۵۱	۰/۷۶
S <sub>7</sub>	۶۶	۴/۷	۵۸	۰/۹۰
S <sub>8</sub>	۷۳	۳/۸	۶۹	۰/۸۶
S <sub>9</sub>	۶۰	۵/۱	۵۳	۰/۷۹
A <sub>1</sub>	۶۶	۳/۲	۵۵	۰/۹۲
A <sub>2</sub>	۵۷	۳/۵	۴۸	۰/۸۴
A <sub>3</sub>	۵۶	۳/۸	۴۷/۵	۰/۸۲

جدول ۵: معیارهای قبول بتن خودتراکم از نظر کارایی و عوامل پدیدآورنده اختلال در نتایج [۶]

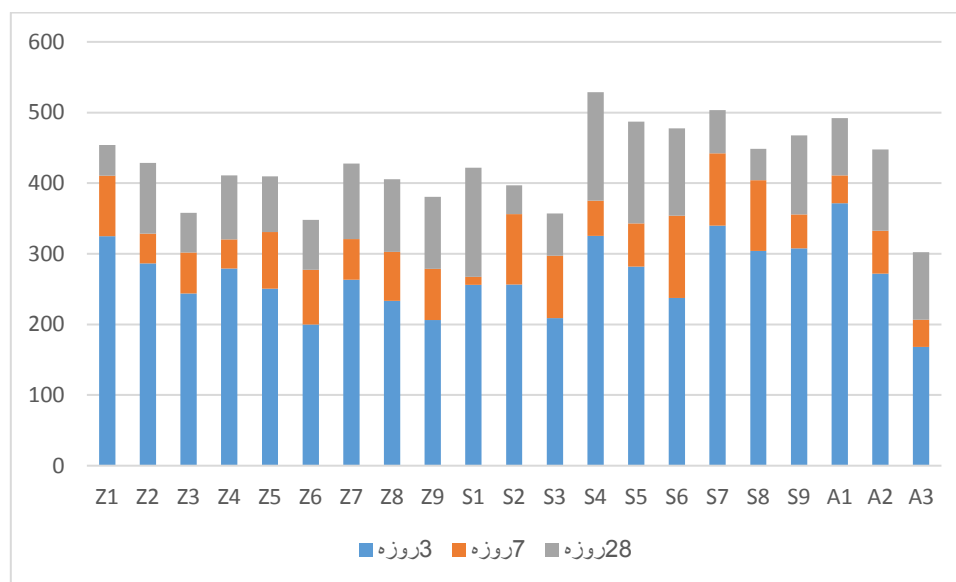
نام آزمایش	محدوده مقادیر قابل قبول		واحد	علت احتمالی نتیجه کمتر از محدوده	علت احتمالی نتیجه بیشتر از محدوده
	حداقل	حداکثر			
جریان اسلامپ	۶۵	۸۰	سانتی متر	لزجت بسیار بالا حد تسلیم بسیار پایین	لزجت بسیار پایین جداشدگی
T50 (اسلامپ)	۲	۵	ثانیه	لزجت بسیار پایین	لزجت بسیار بالا حد تسلیم بسیار بالا

لرزش بسیار پایین جداشدگی	لرزش بسیار بالا حد تسلیم بسیار بالا جداشدگی انسداد	سانتی‌متر	۱۰	۰	حلقه J
جواب غلط	لرزش بسیار بالا حد تسلیم بسیار بالا انسداد	$\frac{h_2}{h_1} +$	۱	۰/۸	جعبه L

با توجه به نتایج جریان اسلامپ مشخص گردید کلیه طرح‌ها در محدوده‌ی ۵۵ الی ۷۵ سانتی‌متری می‌باشند که بیشترین و کمترین مقادیر اسلامپ به ترتیب مربوط به طرح‌های Z۶ و A۳ نیز می‌باشد. طبق آزمایش T50 ملاحظه گردید که بتن‌های حاوی سرباره کوره آهن‌گدازی نسبت به بتن‌های حاوی زئولیت زمان بیشتری را صرف رسیدن به قطر ۵۰ سانتی‌متری می‌کند که این به دلیل لرزش ظاهری بالاتر بتن‌های حاوی سرباره کوره آهن‌گدازی نسبت به بتن‌های حاوی زئولیت می‌باشد. در کلیه طرح‌ها در آزمایش جعبه L عدم جداشدگی بتن در پشت میلگردها نیز مشاهده گردید و در بتن‌های حاوی سرباره کوره آهن‌گدازی سرعت حرکت بتن نسبت به بتن‌های شاهد و بتن‌های حاوی زئولیت کمتر بود.

### ۲.۳. آزمایش مقاومت فشاری

برای هریک از طرح‌ها تعداد ۷ عدد آزمون مکعبی ۱۰×۱۰×۱۰ گرفته شده است که ۴ عدد از این آزمون‌ها در سنین ۳ و ۷، ۳ عدد از این آزمون‌ها در سن ۲۸ روزه مورد آزمایش قرار گرفت که نتایج آن در نمودار شماره ۵ آورده شده است.



نمودار ۵: نتایج مقاومت فشاری در سنین ۳، ۷ و ۲۸ روزه

همان‌طور که انتظار آن را داشتیم با افزایش سن نمونه‌ها؛ مقاومت فشاری نیز افزایش می‌یابد. همچنین با توجه به طرح مخلوط‌های ساخته شده شاهد آن هستیم که با افزایش نسبت آب به مواد سیمانی از ۰/۴۰ به ۰/۵۰ مقاومت فشاری کاهش یافته است. بیشترین و کمترین مقادیر مقاومت فشاری به ترتیب مربوط به طرح‌های ۴ و A۳ نیز می‌باشد. همچنین ملاحظه می‌گردد که بتن‌های حاوی سرباره کوره



آهن‌گذاری نسبت به بتن‌های حاوی ژئولیت از نظر مقاومت فشاری عملکرد بهتری داشته و توصیه می‌گردد در بتن‌ریزی‌هایی که مقاومت فشاری در سازه مدنظر است از سرباره کوره آهن‌گذاری جهت افزایش مقاومت بتن نیز استفاده نماییم. البته ذکر این نکته حائز اهمیت است که درصد مصرف پوزولان‌های سرباره کوره آهن‌گذاری و ژئولیت و همچنین قیمت آن‌ها باید مدنظر قرار گیرد.

### ۳.۳. محاسبه و ارزیابی فاکتور K

در روش طرح ملی مخلوط بتن برای محاسبه نسبت آب به سیمان معادل و جهت منظور نمودن اثر پوزولان‌های طبیعی و مصنوعی در طرح مخلوط از ضریب K استفاده می‌شود. ضریب K بیانگر میزان اثربخشی پوزولان‌های مختلف بر مقاومت و دوام بتن می‌باشد به نحوی که میکروسیلیس در مقادیر برابر اثر بیشتری نسبت به سیمان دارند در حالی که خاکستر بادی و پوزولان‌های طبیعی معمولاً در اوزان مساوی کم‌اثرتر نسبت به سیمان می‌باشند.

$$\left(\frac{W}{C}\right)_e = \frac{W_f}{C + k.M} \quad (1)$$

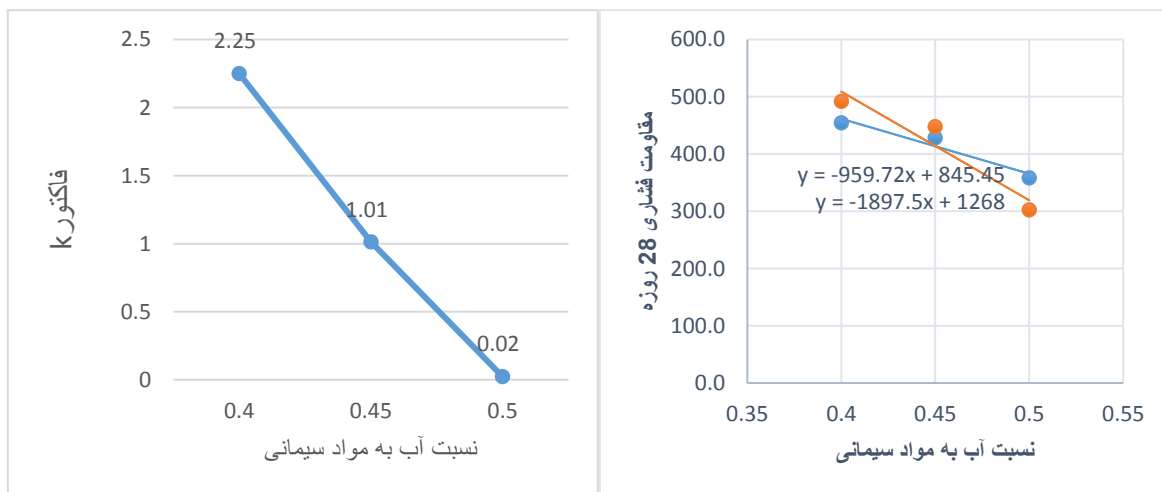
که در آن:

$\left(\frac{W}{C}\right)_e$ : نسبت آب به سیمان معادل

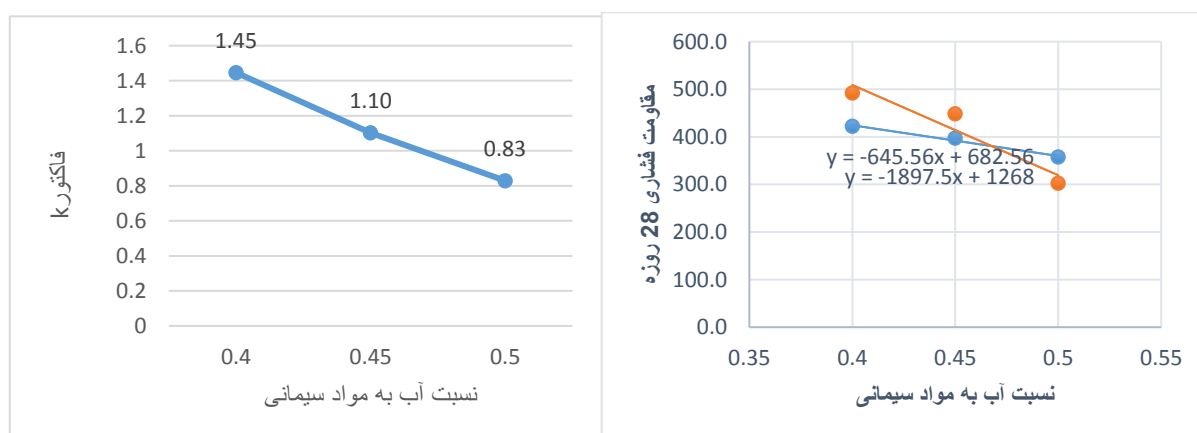
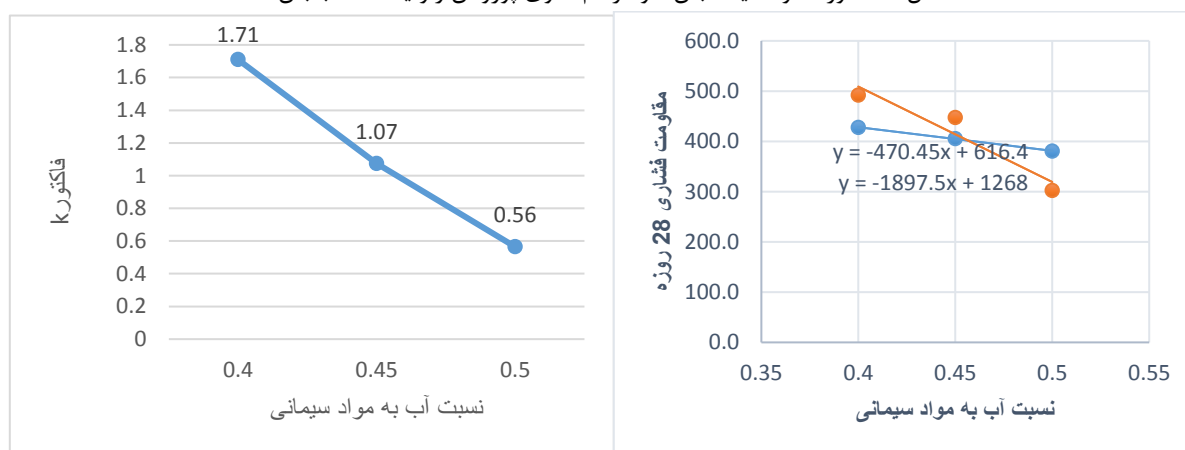
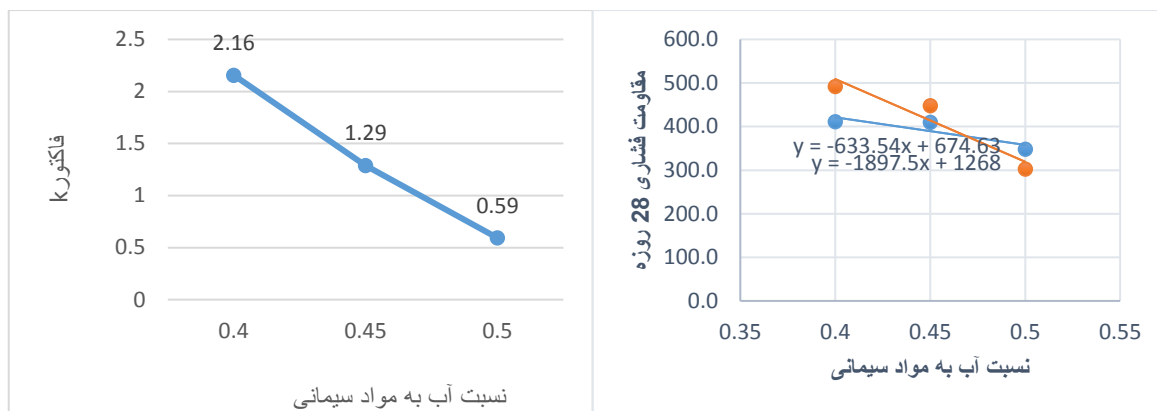
$W_f$ : آب آزاد

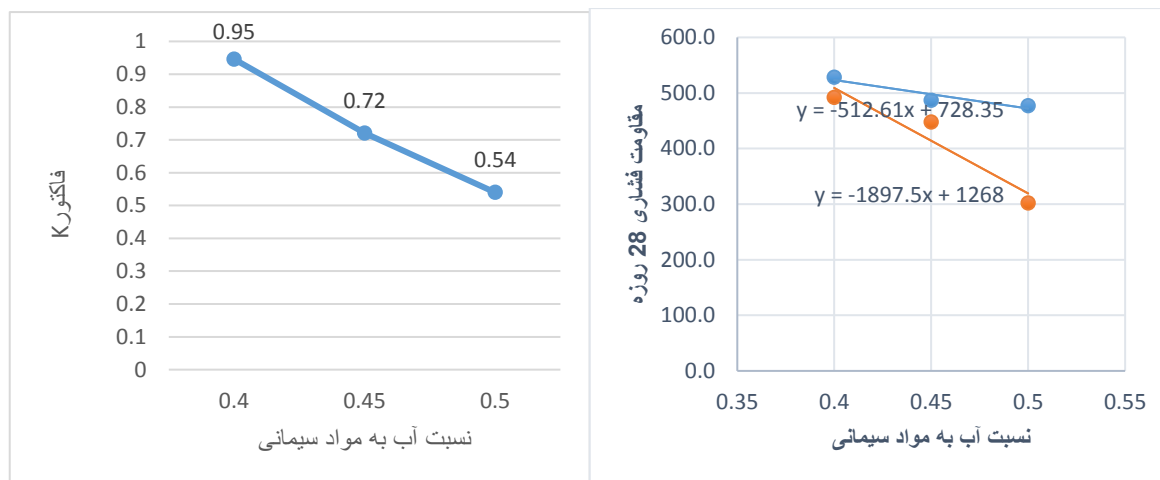
M: مقدار افزودنی معدنی پودری فعال

از طرفی با گسترش بتن‌های ویژه نظیر بتن خودتراکم ضرورت تدوین روش طرح ملی طرح مخلوط بتن خودتراکم اح‌ساس می‌شود ولی مطالعات اولیه کافی در خصوص آن وجود ندارد، به همین دلیل در این پژوهش سعی بر آن شد که برای ژئولیت و سرباره کوره آهن‌گذاری در بتن خودتراکم این ضریب با توجه به استاندارد اروپایی DIN CEN/TR 16639 نیز به دست آید. نمودارهای فاکتور K در برابر نسبت آب به سیمان در بتن خودتراکم برای طرح‌های ساخته‌شده مطابق شکل‌های شماره ۶ الی ۱۱ نیز می‌باشد.

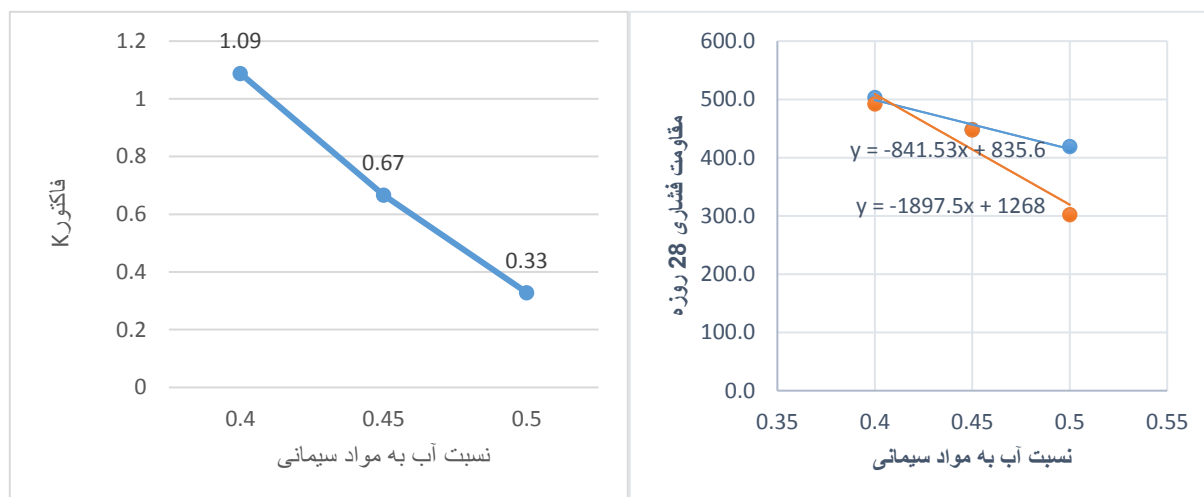


شکل ۶: فاکتور K و مقایسه بتن خودتراکم حاوی پوزولان ژئولیت ۵٪ با بتن شاهد





شکل ۱۰: فاکتور K و مقایسه بتن خودتراکم حاوی پوزولان سرپاره کوره آهن‌گدازی ۳۵٪ با بتن شاهد



شکل ۱۱: فاکتور K و مقایسه بتن خودتراکم حاوی پوزولان سرپاره کوره آهن‌گدازی ۱۵٪ با بتن شاهد

همان‌طور که ملاحظه می‌گردد با افزایش نسبت آب به مواد سیمانی در محدوده ۰/۴۰ الی ۰/۵۰ در بتن‌های حاوی سرپاره کوره آهن‌گدازی و ژئولیت مقادیر فاکتور K کاهش می‌یابد.

#### ۴. نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه مطالعات اولیه در خصوص بتن خودتراکم در حال انجام می‌باشد لذا لازم دانستیم که به بررسی و ارزیابی فاکتور K در بتن خودتراکم در این مطالعه بپردازیم لذا نتایج زیر قابل استخراج می‌باشد:

۱- نتایج نشان می‌دهد که بتن‌های حاوی سرپاره کوره آهن‌گدازی نسبت به بتن‌های حاوی ژئولیت و بتن‌های شاهد دارای لزجت و قوام بیشتری می‌باشد و آزمایش T50 در طرح‌ها نشان می‌دهد که بتن‌های حاوی سرپاره کوره آهن‌گدازی دارای سرعت حرکت کمتری برای رسیدن به قطر ۵۰ سانتی‌متر می‌باشد لذا توصیه می‌گردد در بتن‌ریزی‌هایی که لزجت و قوام بتن از اهمیت بیشتری برخوردار است از این

نوع بتن استفاده گردد. البته شایان ذکر است که میزان مصرف سرباره کوره آهن گدازی با ژئولیت تفاوت چشمگیری دارد و برای مقایسه رئولوژی این دو نوع پوزولان بهتر است در درصد های مصرف یکسان مورد مقایسه قرار گیرند.

۲- نتایج مقاومت فشاری ۲۸ روزه حاکی از آن است که بتن حاوی سرباره کوره آهن گدازی نسبت به بتن شاهد و بتن های حاوی ژئولیت از عملکرد بهتری برخوردار می باشد و همچنین مقاومت فشاری بتن خودتراکم حاوی ۳۵٪ سرباره کوره آهن گدازی از مقادیر دیگر بهتر ارزیابی شده و توصیه می گردد در سازه هایی که مقاومت فشاری بالاتری مدنظر می باشد از سرباره کوره آهن گدازی در طرح های اختلاط استفاده گردد.

۳- با توجه به مطالعه صورت پذیرفته می توان نتیجه گرفت که با افزایش مصرف ژئولیت در بتن خودتراکم شاهد کاهش فاکتور K در بتن خودتراکم نیز می باشیم و مقدار فاکتور K در محدوده نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۰ الی ۰/۵۰ در بتن خودتراکم عدد ۱/۱۰ الی ۱/۶۰ نیز پیشنهاد می گردد.

۴- مقدار فاکتور K برای سرباره کوره آهن گدازی در محدوده نسبت آب به مواد سیمانی ۰/۴۰ الی ۰/۵۰ در بتن خودتراکم عدد ۰/۷۰ الی ۱/۱۵ نیز پیشنهاد می گردد.

## تشکر و قدردانی

از جناب آقایان مهندس محمدجواد طاهباز، مهندس جمال حیدری و مهندس اسلامی به خاطر راهنمایی هایشان سپاس گذاری می شود. همچنین از شرکت صنایع شیمیایی ژیکاوا و تمامی کارکنان این شرکت به دلیل در اختیار گذاشتن تمامی امکانات آزمایشگاهی و انجام آزمایش ها کمال تشکر و قدردانی را داریم.

## مراجع

[۱] توتونچی، ه.، خانزادی، م.، فامیلی، ه.، (۱۳۸۸). "بررسی تأثیر عیار سیمان بر رئولوژی و خواص مکانیکی بتن خودتراکم حاوی میکروسیلیس"، اولین کنفرانس ملی بتن، تهران.

[۲] رضانیان پور، ع.، پیدایش، م.، میرولد، س.، آرامون، ا.، مهدیخانی، م. (۱۳۸۸). "اثر انواع پوزولان طبیعی بر دوام بتن در برابر حمله کلرایدی"، اولین کنفرانس ملی بتن، تهران.

[۳] فدوسی، پ.، شیرزادی جاوید، ع.، رحمتی، ب. (۱۳۹۳). "روش نوین طرح مخلوط بتن خودتراکم بر پایه مقاومت فشاری"، تحقیقات بتن، سال ششم، شماره اول، ص ۸۷-۱۰۲.

[۴] مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، (۱۳۸۸). "روش ملی طرح مخلوط بتن"، نشریه ۴۷۹، چاپ دوم.

[5] DIN CEN/TR 16639.(2014), "Use of k-value concept, equivalent concrete performance concept and equivalent performance of combinations concept", technical report.

[6].Efnarc.(2005), "Specification and Guidelines for Self-compacting concrete".