

## استفاده از میکروسیلیس و نانوسیلیس جهت ارتقاء خواص مکانیکی و دوامی بتن خود تراکم حاوی سنگدانه‌های حاصل از بازیافت بتن

رضا فرخزاد\*

استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، قزوین، ایران

محسن مهرپویا

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، قزوین، ایران

r.farokhzad@qiau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۸/۱۴ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۵/۱۱/۱۸

### چکیده:

امروزه پسماندهای ناشی از تخریب بتن به عنوان یک معضل محیط زیستی قلمداد می‌گردد. به طوری که این مشکل به عنوان یکی از بزرگترین مشکلات پیش رو در صنعت ساختمان می‌باشد. بر همین اساس محققین زیادی بر آن شدند مواد و مصالح سنگدانه‌های حاصل از تخریب را، مجدداً در چرخه تولید بتن استفاده نمایند. در این مقاله سعی گردید با افزودن نانوسیلیس و میکروسیلیس در بتن خودتراکم حاوی سنگدانه‌های بازیافتی (حاصل از تخریب بتن فرسوده)، خصوصیات مکانیکی و دوامی را مورد بررسی قرار داده و در صورت امکان ارتقا داده شود. یکی از نقاط قابل توجه در این مقاله سعی در استفاده از آزمایش‌هایی مانند آزمایش نیم پیل و تعیین سرعت موج در بتن می‌باشد در همین راستا ۷۲ طرح اختلاط در قالب ۸ مجموعه مورد بررسی قرار گرفت. در این طرح اختلاط‌ها با توجه به میزان سنگدانه‌های بازیافتی، میزان نانوسیلیس و میکروسیلیس تغییر نموده است. سپس نمونه‌ها تحت آزمایش‌های مکانیکی شامل مقاومت فشاری، کششی و آزمایش‌های دوامی شامل آزمایش پتاسیل خوردگی، تعیین سرعت موج در بتن (التراسونیک) و مقاومت الکتریکی قرار داده شد. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش نانوسیلیس و میکروسیلیس، کارایی و روانی در بتن تازه کاهش و مقاومت فشاری و کششی بتن افزایش می‌یابد. همچنین در یک مقاومت ثابت نانوسیلیس کارایی و روانی کمتری نسبت به میکروسیلیس ایجاد می‌نماید. به علاوه با افزایش در صد جایگزینی سنگدانه‌های بازیافتی در بتن، کارایی و روانی و همچنین مقاومت فشاری و کششی بتن کاهش می‌یابد.

**کلید واژگان:** بتن خودتراکم، بتن بازیافتی، نانوسیلیس، میکروسیلیس، خواص مکانیکی و دوامی بتن

## ۱- مقدمه

بتن یکی از مهمترین و رایج ترین مصالح ساختمانی است که تولید و مصرف آن بسیار گسترش یافته است. همچنین استفاده از مواد افزودنی در بتن، باعث ایجاد تحولات شگرف در این صنعت شده است. در بسیاری از کشورهای توسعه یافته، بتن، بدون استفاده از ماده افزودنی، منسوخ شده است. از طرفی دیگر با گذشت عمر مفید سازه‌های بتنی از قبیل جداول خیابان‌ها، ساختمان‌های بتنی، پل‌ها و غیره و تخریب آنها، بحث استفاده مجدد از بتن‌های تخریبی و ساخت بتن‌هایی با سنگدانه‌های بازیافتی مطرح شده است. بر همین اساس تحقیقات بسیاری بر روی این بتن بازیافتی از دو حیث دوام و مقاومت انجام گرفته است. در این تحقیق با توجه به نوع سنگ دانه‌های بازیافتی در دسترس، تاثیر استفاده از نانو سیلیس و میکروسیلیس در ارتقاء خواص مکانیکی و دوامی بتن‌های معمولی بازیافتی و بتن‌های خودتراکم بازیافتی مورد بررسی قرار گرفته شده است. مدینا و همکاران در سال ۲۰۱۵ (۱) بر روی طرح اختلاط بتن‌های بازیافتی تحقیقات بسیار جامعی انجام دادند. در این تحقیق بین ۲۵ الی ۵۰ درصد از سنگدانه‌های بازیافتی استفاده گردید. در سال ۲۰۱۴ اسماعیل و همکاران (۲) بر روی مقاومت مکانیکی و جمع شدگی بتن‌های حاصل از بازیافت تحقیقاتی را انجام دادند. در این تحقیق بتن‌های ساخته شده با سنگدانه‌های درشت مورد بررسی قرار گرفته و آزمایش‌های مختلفی از قبیل مقاومت فشاری، اشعه X و عکس‌های میکروسکوپی استفاده شد. در نهایت ثابت نمودند با استفاده از این سنگدانه‌ها در شرایط خاص می‌توان جمع شدگی در بتن را کاهش داد. فرخزاد و همکاران (۳، ۴) در سال ۲۰۱۶ بر روی خواص بتن خود تراکم با سنگدانه‌های مختلف تحقیقات گسترده‌ای انجام دادند. پیوستگی سنگدانه‌ها با استفاده از پارامترهای خاک مانند ضریب پیوستگی و ضریب یکنواختی تعیین گردید و تاثیر آن را در خواص بتن تازه مورد بررسی قرار دادند. حسینی و همکاران (۵) در سال ۲۰۰۹ با افزودن نانو سیلیس بر روی خواص مکانیکی و ریزساختاری بتن‌های بازیافتی مطالعاتی انجام دادند. بر همین اساس با استفاده از عکس‌های SEM، نواحی انتقال و زیرساختار بتن بازیافتی حاوی نانوسیلیس دارای خواص ارتقاء یافته‌ای جهت افزایش تحمل تنش و دوام می‌باشد. عکس‌های SEM، تصاویر میکروسکوپی از ریزساختارهای بتن می‌باشد که جهت بررسی واکنش‌ها و شکل آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در سال ۲۰۱۲ ونکیو و همکاران (۶) بر روی نواحی انتقال بتن‌های بازیافتی

مطالعاتی انجام داده و تاثیر مواد بازیافتی را در ریز ساختارهای بتن مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق تقویت پیوندهای مقاومتی در اثر استفاده از مواد بازیافتی در تصاویر میکروسکوپی مشاهده شد. در سال ۲۰۱۶ فرخزاد و همکاران (۷) بر روی تاثیر میکروسیلیس و نانوسیلیس بر خواص دوامی بتن مانند حملات سولفاتی تحقیقات نمودند و تاثیر میکرو و نانو سیلیس را در افزایش دوام بتن نشان دادند به طوری که با وجود میکروسیلیس دوام بتن در مقابل حملات سولفاتی تا ۲۰٪ افزایش می‌یابد.

وان و همکاران (۸) در سال ۲۰۱۲ به بررسی تاثیر سنگدانه‌های بازیافتی و الگوی ترک خوردگی در بتن‌های بازیافتی پرداختند. در این تحقیق نوع الگوی ترک در بتن‌های بازیافتی کاملاً متفاوت از بتن‌های عادی دست آمد. مانگیالاردی و همکاران در سال ۲۰۰۵ (۹) به بررسی تاثیر استفاده از فوق روان کننده در روانی بتن با سیمان پرتلند حاوی میکروسیلیس پرداختند. در این تحقیق تاثیر میزان فوق روان کننده بر روی زمان روانی بتن مورد بررسی قرار گرفت به طوری که با میزان درصد ۱٪ مواد افزودنی، حفظ اسلامپ تا ۱۵ دقیقه خواهد بود. اوتسوکوی و همکاران (۱۰) در سال ۲۰۰۹ بر روی حملات کلرایدی بر روی نواحی انتقال و به طور کلی خواص دوامی بتن بازیافتی مطالعاتی انجام دادند به طوری که با افزایش نسبت آب به سیمان ناحیه انتقال بین سنگدانه‌های بازیافتی و بتن جدید دارای مشخصات یکسانی می‌باشد ولی با کاهش نسبت آب به سیمان، ناحیه انتقال بتن در بین سنگدانه‌های بازیافتی موجب کاهش مقاومت بتن می‌گردد. کوی و همکاران (۱۱) در سال ۲۰۱۴ تاثیر مواد معدنی بر روی بتن‌های بازیافتی را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها نشان دادند با استفاده از مواد معدنی می‌توان خواص مکانیکی و دوامی بتن بازیافتی را اصلاح نمود. در این تحقیق طرح‌های اختلاط با ثابت نگه داشتن ریزدانه طبیعی، مقدار درشت دانه طبیعی با درصدهای صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ با درشت دانه بازیافتی جایگزین می‌شود. در حالت دیگری در همین مجموعه با ثابت نگه داشتن درشت دانه طبیعی، مقدار ریز دانه طبیعی با درصدهای صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ با ریز دانه بازیافتی جایگزین می‌شود. در همه این طرح‌ها نسبت آب به سیمان برابر ۰٫۴ انتخاب شده است. به منظور بررسی تاثیر استفاده از نانوسیلیس و میکروسیلیس در مجموعه‌های طرح‌های اختلاط به ترتیب از ۱۰ و ۱۵ درصد میکروسیلیس و ۲٫۵ و ۵ درصد نانوسیلیس استفاده می‌شود.

## ۲- مواد و مصالح مصرفی

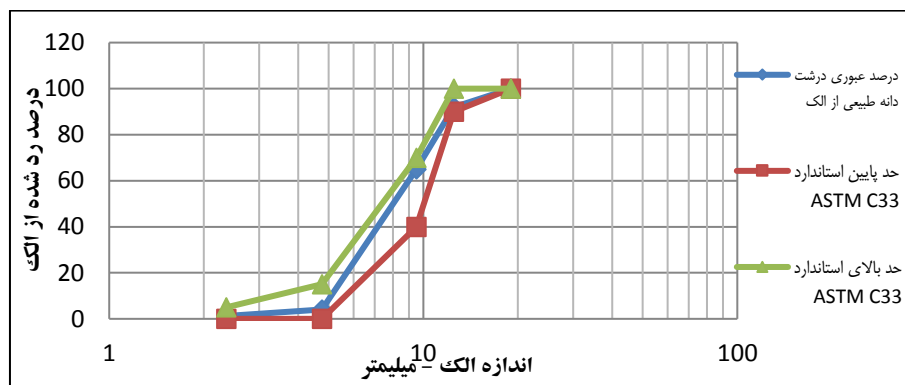
سیمان مصرفی در کلیه طرح‌ها، سیمان پرتلند آبی یک تیپ ۲ با وزن مخصوص ۳۱۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد. مشخصات شیمیایی، سیمان مصرفی در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱ - مشخصات شیمیایی سیمان مصرفی برگرفته از مرجع (۳)

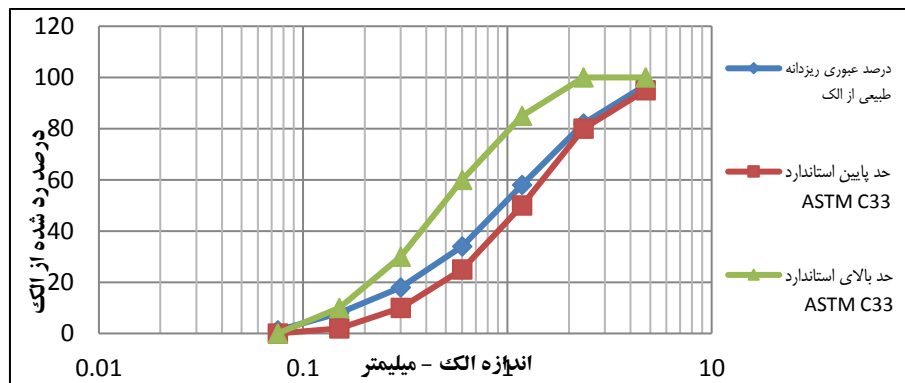
ترکیبات شیمیایی	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>
درصد ترکیب	۲۰٫۸	۴٫۳	۲٫۲	۶۵٫۳	۲٫۱۷	۰٫۳۶	۰٫۶۳	۱٫۸۹

ترتیب ۲۵۵۰ و ۲۴۳۰ کیلوگرم بر متر مکعب است و دانه‌بندی مطابق استاندارد ASTM C33 (۱۲) در نمودارهای شماره ۱ و ۲ نشان داده شده است.

سنگدانه‌های طبیعی مصرفی استفاده شده در این تحقیق، از نوع رودخانه‌ای و به صورت گردگوشه طبیعی می‌باشد. وزن مخصوص خشک سنگدانه‌های درشت (شن) و سنگدانه‌های ریز (ماسه) به



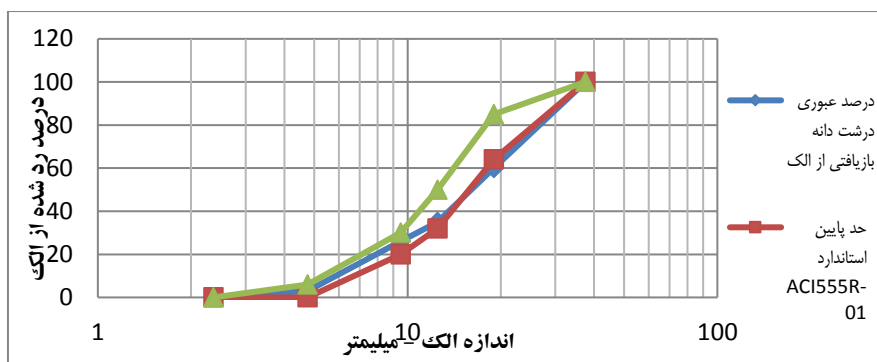
نمودار شماره ۱ - دانه‌بندی سنگدانه‌های درشت‌دانه طبیعی بر اساس استاندارد ASTM C33



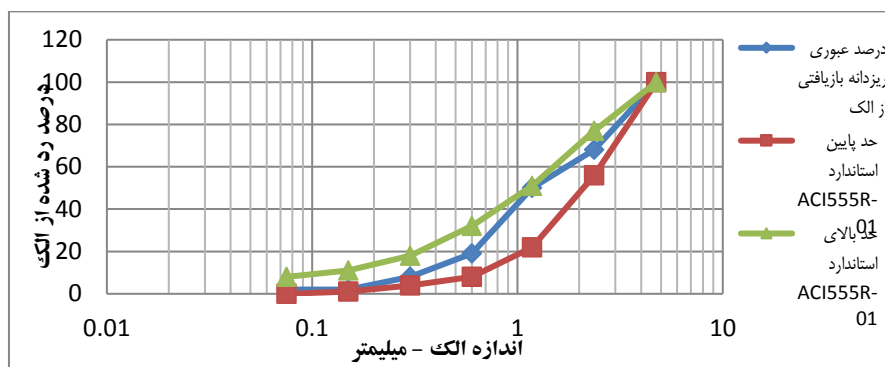
نمودار شماره ۲ - دانه‌بندی سنگدانه‌های ریزدانه طبیعی بر اساس استاندارد ASTM C33

دلیل وجود بافت بتن قدیمی در اطراف سنگدانه متغیر بوده و میزان آن در مخلوط شن و ماسه بازیافتی بین ۰٫۷٪ الی ۲٪ متغیر می‌باشد. وزن مخصوص سنگدانه‌های ریز برابر ۲٫۵۵ گرم بر سانتیمتر مکعب و در درشت‌دانه‌ها برابر ۲٫۵۱ گرم بر سانتیمتر مکعب می‌باشد. میزان مدول نرمی برای ریزدانه‌ها برابر ۳٫۴۴ می‌باشد.

کلیه سنگدانه‌های بازیافتی مورد استفاده در این تحقیق از نوع نخاله ساختمانی حاصل از تخریب ساختمان‌های بتنی و در دو اندازه درشت-دانه و ریزدانه استفاده شده‌اند. دانه‌بندی مطابق استانداردهای ASTM C33 (۱۲) و (۱۳) در نمودار شماره ۳ و ۴ نشان داده شده است. (۱۴) تعیین میزان جذب آب در سنگ‌دانه‌های بازیافتی به



نمودار شماره ۳ - دانه بندی سنگدانه های درشت دانه بازیافتی بر اساس استاندارد ACI 555



نمودار شماره ۴ - دانه بندی سنگدانه های ریزدانه بازیافتی بر اساس استاندارد ACI 555

می باشد. مشخصات شیمیایی میکروسلیس مورد استفاده در طرح های اختلاط این تحقیق مطابق جدول شماره ۲ می باشد.

ماده فوق روان کننده استفاده شده بر پایه پلی کربکسیلات اتر و با نام تجاری Panflow-110 Type II می باشد، این ماده کاهنده شدید آب برای کسب مقاومت های بالای بتن بوده و به صورت مایع قهوه ای رنگ با وزن مخصوص ۱۱۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب

جدول شماره ۲- مشخصات شیمیایی میکروسلیس بر گرفته از مرجع (۱۵)

ترکیبات شیمیایی	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>
درصد ترکیب	۹۲,۴۱	۰,۷۴۸	۰,۸۲۹	۰,۴۴	۰,۹۰۲	۰,۲۹۴	---	۰,۱۹

نمونه ای از مصالح استفاده شده در این تحقیق در شکل شماره ۱ قابل مشاهده می باشد. نمونه های بتن خرد شده با استفاده از آزمایش دانه بندی در اندازه های مختلف تقسیم بندی شده و در ظروف مختلف نگهداری شده که در هنگام طرح اختلاط با یکدیگر مخلوط شده و جایگزین سنگدانه های طبیعی می شوند. در شکل شماره ۱ نمونه ای از اندازه های دانه بندی قابل رویت می باشد.



شکل شماره ۱- نمونه‌ای از دانه‌بندی سنگ دانه‌های بازیافتی مورد استفاده در بتن خود تراکم

جدول شماره ۳ ضوابط پذیرش بتن خود تراکم (۱۶)

حدود تغییرات اندازه‌ها	واحد	روش آزمایش	حدود تغییرات اندازه‌ها	
			حداقل	حداکثر
800	650	mm	جریان اسلامپ	
8	2	sec	قیف V شکل	
1	0.8	-	جعبه L شکل	
30	0	mm	جعبه U شکل	

### ۳- برنامه آزمایشگاهی

نمونه‌های مورد نظر تحقیق دارای طرح اختلاطی بدین شرح می‌باشند. در یک مجموعه از طرح‌های اختلاط با ثابت نگه داشتن ریزدانه طبیعی، مقدار درشت دانه طبیعی با درصدهای صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ با درشت دانه بازیافتی جایگزین می‌شود. در حالت دیگری در همین مجموعه با ثابت نگه داشتن درشت دانه طبیعی، مقدار ریز دانه طبیعی با درصدهای صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ با ریز دانه بازیافتی جایگزین می‌شود. در همه این طرح‌ها عیار سیمان ۴۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب و نسبت آب به سیمان برابر ۰٫۴ انتخاب شده است. در مجموعه اول طرح‌های اختلاط از میکروسیلیس، نانو سیلیس استفاده نشده و بتن به صورت شاهد می‌باشد. به منظور بررسی تأثیر استفاده از نانوسیلیس و میکروسیلیس در مجموعه‌های بعدی طرح‌های اختلاط به ترتیب از ۱۰ و ۱۵ درصد میکروسیلیس و ۲٫۵ و ۵ درصد نانوسیلیس استفاده می‌شود.



شکل شماره ۲- نمونه‌ای از نحوه انجام آزمایش جریان اسلامپ

پس از اختلاط هر طرح نمونه بتن، خواص بتن خود تراکم تازه با آزمایش‌های جریان اسلامپ، قیف V، ارمیت، حلقه L، جعبه L و جعبه U مشخص خواهد شد. سپس از هر مخلوط بتن، ۶ قالب مکعب مربع به ابعاد ۱۵۰ میلی‌متر برای آزمایش مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه، ۳ قالب استوانه‌ای به قطر ۱۵۰ میلی‌متر و ارتفاع ۳۰۰ میلی‌متر برای آزمایش کشش غیرمستقیم (برزیلی) و ۴ قالب مکعب مربع به ابعاد ۱۵۰ میلی‌متر برای آزمایش‌های پتانسیل خوردگی، التراسونیک، مقاومت الکتریکی تهیه خواهد شد. همه‌ی نمونه‌های ساخته شده بدون لرزش مکانیکی و با تراکم دستی قالب‌ریزی می‌شوند. سپس نمونه‌های قالب‌ریزی شده با ورقه‌های پلاستیکی و گونی‌های اشباع از آب پوشیده شده و در اتاق قالب‌ریزی به مدت ۲۴ ساعت نگهداری می‌شوند. سپس نمونه‌ها از قالب خارج شده و به استخر عمل‌آوری با دمای  $22 \pm 1$  درجه‌ی سلسیوس و نسبت رطوبت ۱۰۰ درصد منتقل شده و تا روز آزمایش نگهداری می‌شوند.



شکل شماره ۳- نمایی از نحوه انجام آزمایش حلقه جی

### ۴- نتایج و بحث آزمایش‌های بتن تازه

برای هر طرح اختلاط، خصوصیات تازه بتن خود تراکم شامل قابلیت جریان، قابلیت عبور و قابلیت پرکنندگی مطابق پیشنهاد آئین‌نامه EFNARC (۱۶) توسط دستگاه‌های آزمایش جریان اسلامپ، حلقه J، ارومیت و قیف V شکل انجام گرفته است. اما چنانچه طرح مخلوطی ضوابط این آزمایش را ارضاء نکند، دلیل بر خود تراکم نبودن آن طرح مخلوط نمی‌شود. مقادیر قابل قبول برای آزمایش‌های فوق در جدول شماره ۳ گردآوری شده است.



شکل شماره ۵- نمونه ای از نحوه انجام آزمایش قیف V



شکل شماره ۴- نمونه ای از نحوه انجام آزمایش یو

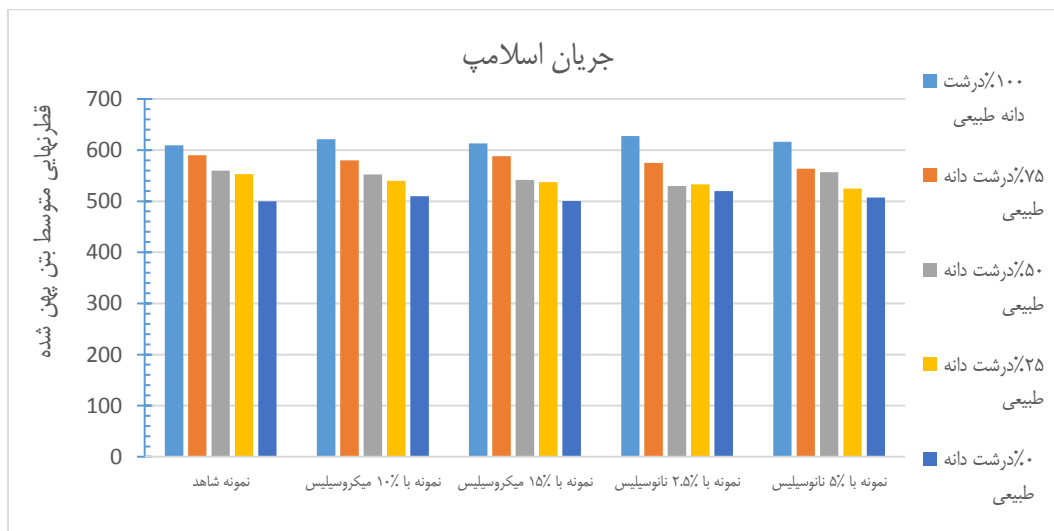


شکل شماره ۶- نمونه ای از نحوه انجام آزمایش جعبه L

#### ۴-۱ - نتایج آزمایش جریان اسلامپ

آزمایش جریان اسلامپ به عنوان آزمایش پایه و اساسی برای معتبر ساختن ترکیب بتن به عنوان بتن خود تراکم انتخاب شده است. بر

اساس EFNARC (۱۶) مقدار اسلامپ می تواند بین ۶۵۰ تا ۸۰۰ میلی متر باشد که این عدد به درجه قابلیت پرمکنندگی بستگی دارد.

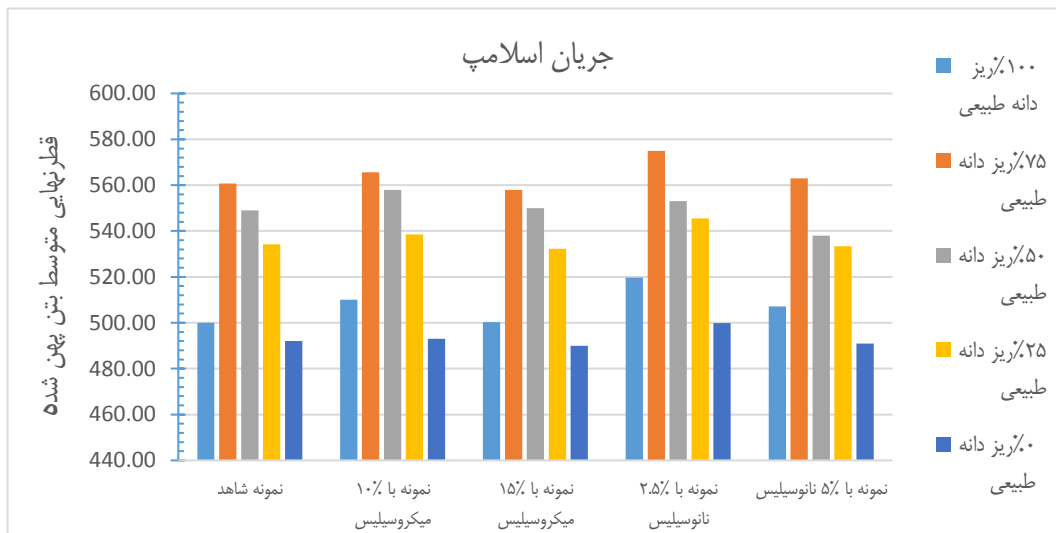


نمودار شماره ۵- تغییرات قطر نهایی متوسط بتن با درصدهای مختلف درشت دانه طبیعی و بازیافتی در آزمایش جریان اسلامپ



درصد میکروسیلیس و حاوی صد در صد مصالح درشت دانه طبیعی، بیشترین مقدار در قطر نهایی متوسط بتن پهن شده را دارد. در نمودار شماره ۶، نمونه با ۲٫۵ درصد نانو سیلیس و حاوی ۷۵ درصد ریزدانه طبیعی، بیشترین مقدار در قطر نهایی متوسط بتن پهن شده را دارد. کمترین مقدار متوسط بتن پهن شده در این شکل مربوط به نمونه با ۱۵ درصد میکروسیلیس حاوی ۱۰۰ درصد مصالح بازافتی می‌باشد.

با مشاهده نمودارهای مربوط به قطر نهایی متوسط بتن پهن شده می‌توان به این نتیجه رسید که با افزایش درصد جایگزینی درشت دانه بازافتی با درشت دانه‌های طبیعی یا افزایش درصد جایگزینی ریزدانه بازافتی با ریزدانه‌های طبیعی، قطر نهایی متوسط بتن پهن شده در آزمایش جریان اسلامپ کاهش می‌یابد. در نمودار شماره ۵ مشاهده گردید که نمونه با ۲٫۵ درصد نانو سیلیس و نمونه با ۱۰

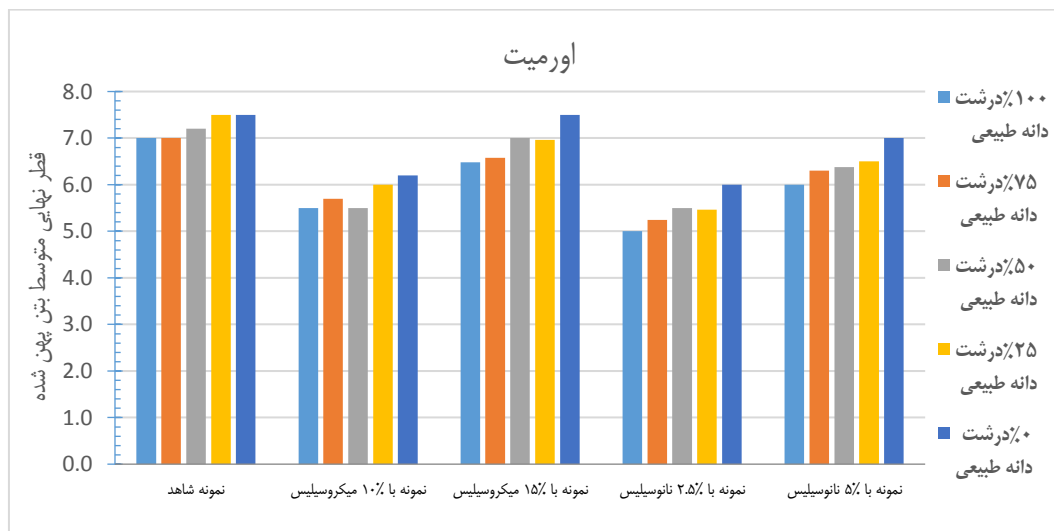


نمودار شماره ۶- تغییرات قطر نهایی متوسط بتن با درصد‌های مختلف ریزدانه طبیعی و بازافتی در آزمایش جریان اسلامپ

بتن خودتراکم استفاده می‌شود. در صورتیکه در زیر دستگاه اُریمت، حلقه چپ گذاشته شود، می‌تواند مدلسازی خوبی برای جداسازی دینامیکی باشد. نتایج بدست آمده برای اغلب بتن‌های آزمایش شده در محدوده ۱ تا ۵ ثانیه قرار می‌گیرند.

#### ۲-۴- نتایج آزمایش روزنه یا اوریمت

این آزمایش به عنوان روشی برای ارزیابی کارایی مخلوط‌های بتن تازه در کارگاه گسترش یافته است و نشان دهنده روانی بتن در مدت جایدگی می‌باشد. از این روش به عنوان شاخصی برای تعیین لزجت



نمودار شماره ۷- تغییرات قطر نهایی متوسط بتن با درصد‌های مختلف درشت دانه طبیعی و بازافتی در آزمایش جریان اورمیت

افزایش می‌یابد. در مجموع تأثیر جایگزینی درشت دانه بازافتی در افزایش زمان جریان پس از استراحت ۱۰ ثانیه بتن کمتر از تأثیر جایگزینی ریزدانه بازافتی است. در نمودار شماره ۷ مشاهده گردید

با افزایش درصد جایگزینی درشت دانه بازافتی با درشت دانه‌های طبیعی یا افزایش درصد جایگزینی ریزدانه بازافتی با ریزدانه‌های طبیعی، زمان جریان پس از استراحت ۱۰ ثانیه در آزمایش اورمیت

که نتایج بدست آمده در قسمت آزمایش‌های بتن تازه نیز موید این موضوع می‌باشد. در نمودار شماره ۸ مشاهده گردید که نمونه شاهد دارای صفر درصد مصالح بازیافتی بیشترین مقدار در قطر نهایی متوسط بتن پهن شده را دارد. همچنین نمودار بیانگر آنست که نمونه‌های حاوی ۲.۵ درصد نانو سیلیس کمترین مقدار در قطر نهایی متوسط بتن پهن شده را دارند.

که نمونه با ۱۵ درصد میکروسیلیس و حاوی ۱۰۰ درصد مصالح طبیعی در آزمایش اورمیت، بیشترین مقدار در قطر نهایی متوسط بتن پهن شده را دارد. همچنین در این آزمایش مشاهده شد نمونه‌های شاهد بدون هیچ گونه مواد افزودنی، دارای بیشترین مقدار در قطر نهایی متوسط بتن پهن شده را دارند. افزودن میکرو و نانو سیلیس در بتن با توجه به ساختار ریز این دو ماده موجب کاهش کارایی و روانی می‌شود

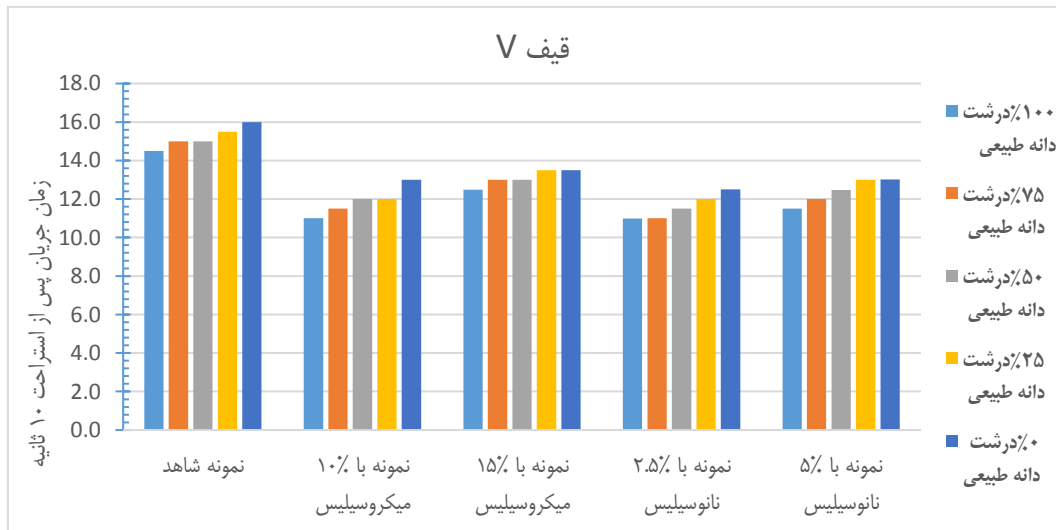


نمودار شماره ۸ - تغییرات قطر نهایی متوسط بتن با درصدهای مختلف ریز دانه طبیعی و بازیافتی در آزمایش جریان اورمیت

### ۳-۴ نتایج آزمایش قیف V

دقیقه در همان حالت باقی مانده و دوباره آزمایش فوق صورت می‌گیرد. چنانچه بتن دچار جداشدگی شود، زمان جریان‌یابی آن بطور محسوسی افزایش می‌یابد. (۱۶)

آزمایش قیف V به منظور اندازه‌گیری قابلیت پرکنندگی بتن بکار می‌رود. زمان لازم برای جریان پیدا کردن بتن از میان دستگاه اندازه‌گیری می‌شود. سپس قیف دوباره از بتن پر شده و مدت ۵

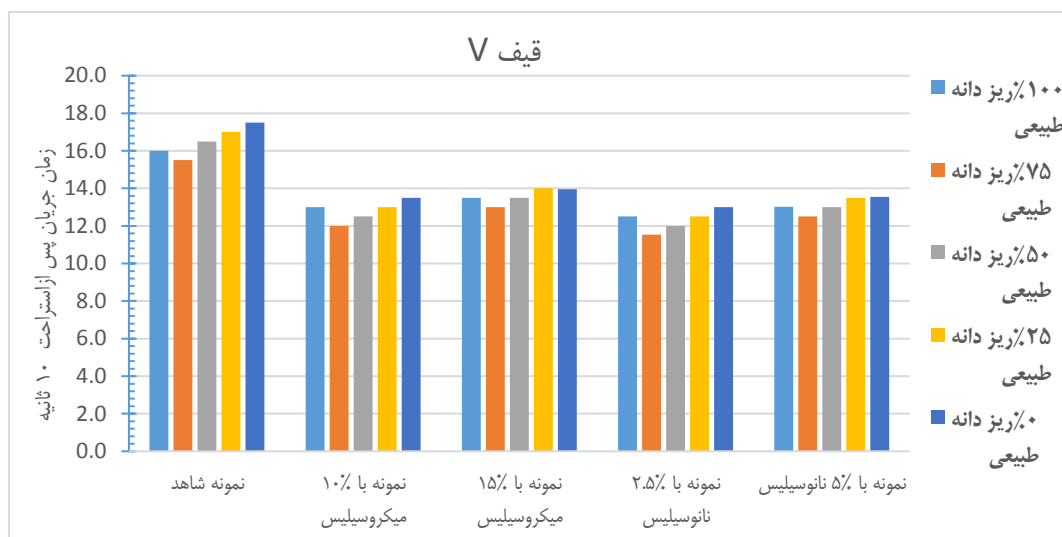


نمودار شماره ۹- تغییرات زمان جریان برای نمونه‌ها با درصدهای مختلف درشت دانه طبیعی و بازیافتی در آزمایش قیف V

مشاهده می‌شود که در نمونه‌های شاهد میزان زمان جریان پس از استراحت ۱۰ ثانیه، بیشتر از سایر نمونه‌های حاوی مواد افزودنی میکروسیلیس و نانو سیلیس می‌باشد.

با افزایش درصد جایگزینی درشت دانه بازیافتی با درشت دانه‌های طبیعی یا افزایش درصد جایگزینی ریز دانه بازیافتی با ریزدانه‌های طبیعی، زمان جریان پس از استراحت ۱۰ ثانیه و ۵ دقیقه در آزمایش قیف V افزایش می‌یابد. با بررسی نمودارهای شماره ۹ و ۱۰



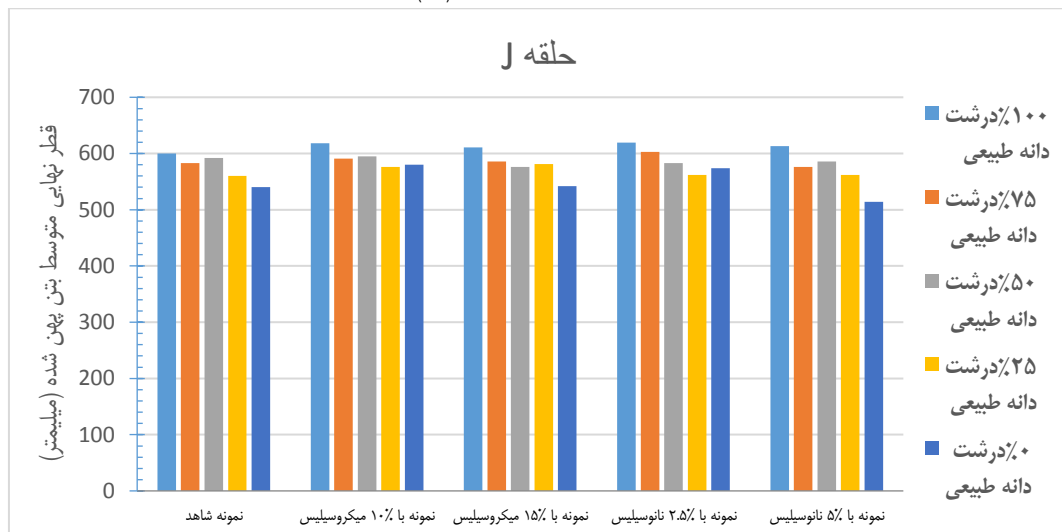


نمودار شماره ۱۰ - تغییرات زمان جریان برای نمونه‌ها با درصد‌های مختلف ریزدانه طبیعی و بازیافتی در آزمایش قیف V

#### ۴-۴- نتایج آزمایش حلقه J

جریان اسلامپ و اریمت باشد. این آزمایش‌های ترکیبی، توانایی جریان‌یابی و گذرندگی بتن را کنترل می‌کنند. پس از اتمام آزمایش اختلاف ارتفاع بتن درون و بیرون حلقه چی اندازه‌گیری شود این مقدار نشانه‌ای برای قابلیت عبور و یا درجه‌ای است که نشان می‌دهد چه حدودی از فاصله بین میلگردها برای عبور بتن قابل استفاده است. (۱۶)

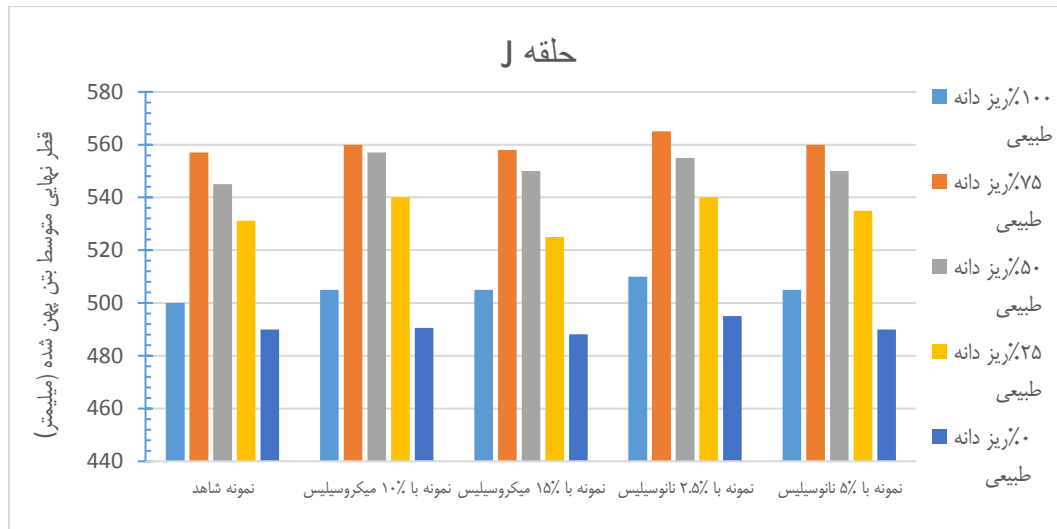
این آزمایش جهت اندازه‌گیری قابلیت عبور بتن بکار می‌رود. قطر حلقه میلگردهای عمودی ۳۰۰ میلیمتر و ارتفاع میلگردها ۱۴۰ میلیمتر می‌باشد که در شکل ۲ نمونه‌ای از آزمایش ذکر شده است. نتایج آزمایش حلقه جی می‌تواند گزینه‌ای جهت تکمیل آزمایش‌های



نمودار شماره ۱۱ - قطر نهایی متوسط بتن پهن شده برای نمونه‌ها با درصد‌های مختلف درشت دانه طبیعی و بازیافتی در آزمایش حلقه J

های طبیعی، قطر نهایی متوسط بتن پهن شده در آزمایش حلقه J کاهش می‌یابد.

با افزایش درصد جایگزینی درشت دانه بازیافتی با درشت دانه‌های طبیعی و نیز با افزایش درصد جایگزینی ریز دانه بازیافتی با ریزدانه

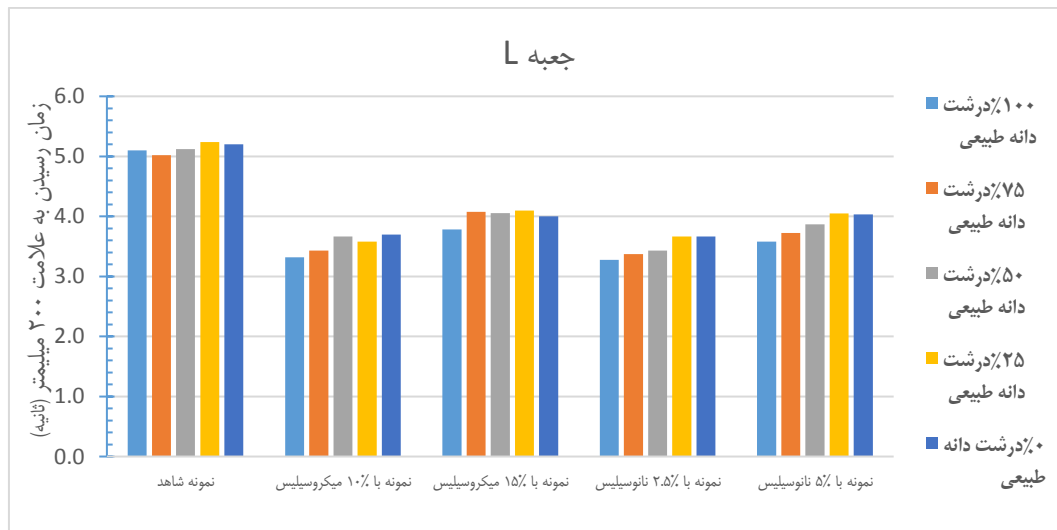


نمودار شماره ۱۲- قطر نهایی متوسط بتن پهن شده برای نمونه‌ها با درصد‌های مختلف ریزدانه طبیعی و بازیافتی در آزمایش حلقه J

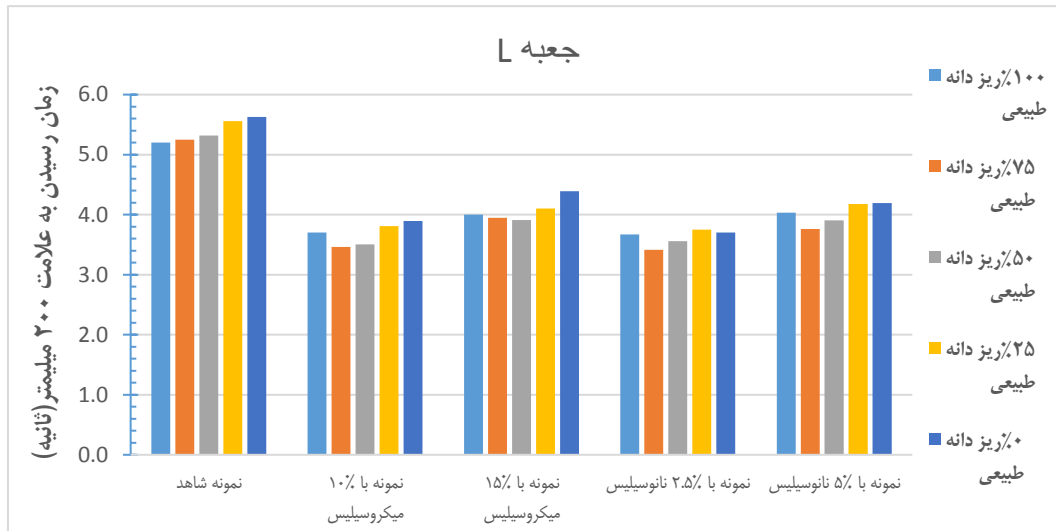
#### ۴-۵- نتایج آزمایش جعبه L

این دستگاه قابلیت عبور و پرکنندگی بتن را نشان می‌دهد. هرچه نسبت دو ارتفاع به یک نزدیکتر باشد، نشان‌دهنده قابلیت بهتر بتن خودتراکم جهت پرکنندگی می‌باشد. تنش تسلیم بتن یکی از پارامترهای تاثیرگذار در رفتار رئولوژیکی بتن می‌باشد که نشان‌دهنده تنش برشی مورد نیاز جهت شروع جاری شدن بتن خودتراکم است. جهت اطلاعات بیشتر در مورد تنش تسلیم می‌توان به مقاله (۱۷) رجوع شود. آزمایش جعبه L را می‌توان با تنش تسلیم بتن خودتراکم مرتبط دانست. اگر ذرات درشت‌دانه به انتهای مسیر برسند، یعنی بتن مقاومت خوبی در برابر جداشدگی دارد (۱۶).

در نمودار شماره ۱۱ مربوط به قطر نهایی متوسط بتن پهن شده برای نمونه‌های با درصد مختلف درشت دانه مشاهده می‌گردد که متوسط قطر نهایی بتن پهن شده در نمونه‌های با ۱۰ درصد میکروسیلیس بیشتر از سایر نمونه‌هاست. در نمودار شماره ۱۲ مربوط به قطر نهایی متوسط بتن پهن شده برای نمونه‌های با درصد مختلف ریزدانه، مشاهده می‌گردد که متوسط قطر نهایی بتن پهن شده در نمونه‌های با ۲/۵ درصد نانوسیلیس بیشتر از سایر نمونه‌هاست. با کاهش میزان ریزدانه طبیعی، میزان عبورپذیری بتن در آزمایش J نیز کاهش می‌یابد، در واقع افزایش سنگدانه بازیافتی میزان عبورپذیری را کاهش می‌دهد که علت آن افزایش اصطکاک بین سنگدانه‌ها می‌باشد.



نمودار شماره ۱۳- زمان رسیدن بتن به علامت ۲۰۰ میلیمتر در آزمایش جعبه L برای نمونه‌ها با درصد مختلف درشت دانه طبیعی و بازیافتی با افزایش درصد جایگزینی درشت دانه بازیافتی با درشت دانه‌های طبیعی و همچنین با افزایش درصد جایگزینی ریز دانه بازیافتی با

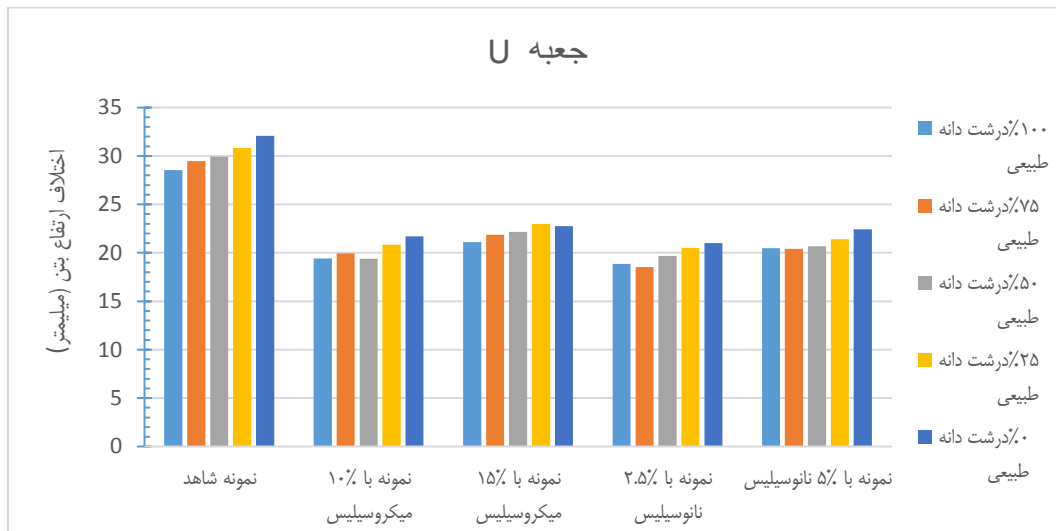


نمودار شماره ۱۴- زمان رسیدن بتن به علامت ۲۰۰ میلیمتر در آزمایش جعبه L برای نمونه‌ها با ریزدانه طبیعی و بازیافتی

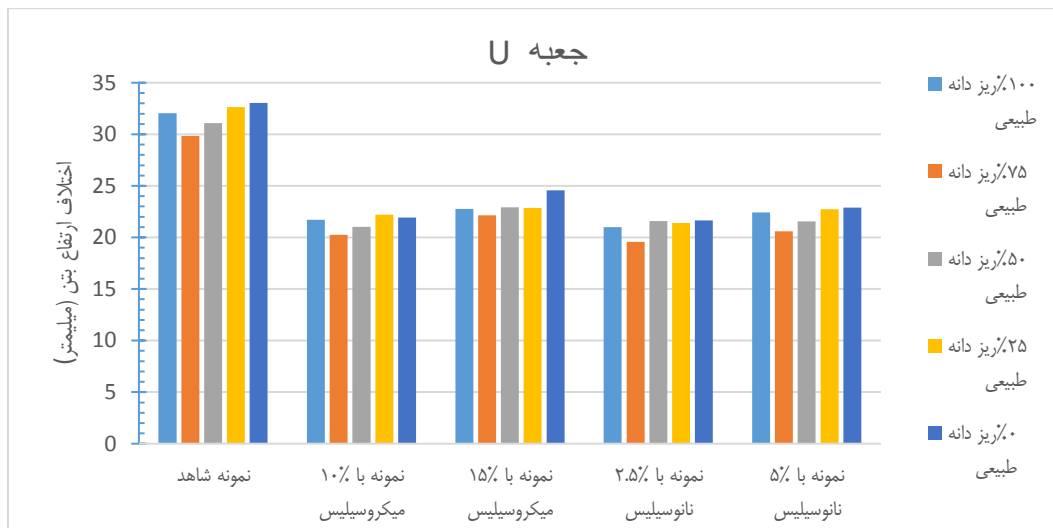
#### ۴-۶- نتایج آزمایش جعبه U

این آزمایش به منظور ارزیابی قابلیت پرکنندگی بتن خودتراکم صورت می‌گیرد. عموماً در محل درجه میانی دو قسمت، میلگردهایی با قطر ۱۳ میلیمتر با فاصله ۵۰ میلیمتر قرار می‌گیرند. میزان اختلاف ارتفاع H2-H1 باید کمتر از ۳۰ میلیمتر باشد. این آزمایش سختگیرانه‌ترین آزمایش بتن خودتراکم می‌باشد و قابلیت عبور و پرکنندگی و توانایی شکل‌پذیری بتن را مدلسازی می‌کند. (۱۶)

در نمودارهای شماره ۱۴ و ۱۵ مربوط به قطر نهایی متوسط بتن پهن شده در آزمایش جعبه L برای نمونه‌ها با درصد مختلف درشت دانه و ریزدانه طبیعی مشاهده می‌گردد، زمان رسیدن بتن به علامت ۲۰۰ میلیمتر در نمونه شاهد بیشتر از سایر نمونه‌هاست.



نمودار شماره ۱۵- اختلاف ارتفاع بتن در آزمایش جعبه U برای نمونه‌ها با درصد مختلف درشت دانه طبیعی و بازیافتی



نمودار شماره ۱۶- اختلاف ارتفاع بتن در آزمایش جعبه U برای نمونه‌ها با درصد مختلف ریزدانه طبیعی و بازیافتی

و طولانی مدت تقسیم‌بندی می‌گردد. بررسی خواص بتن در کوتاه مدت در قالب تعیین مقاومت فشاری و کششی و خمشی می‌شود. بررسی خواص بتن در طولانی مدت مستقیماً با دوام بتن در ارتباط می‌باشد. بررسی آزمایش‌های از قبیل نفوذپذیری، مقاومت الکتریکی، تعیین سرعت موج و پتاسیل خوردگی در قالب دوام بتن مورد بررسی قرار می‌گیرد. در ادامه به بررسی خواص بتن سخت شده در دو حالت کوتاه مدت و بلندمدت پرداخته می‌شود.

با بررسی نمودارهای شماره ۱۵ و ۱۶ مشاهده می‌شود که در نمونه های شاهد، اختلاف ارتفاع بتن در دو بخش جعبه در آزمایش U بیشتر از سایر نمونه‌های حاوی افزودنی میکروسیلیس و نانوسیلیس است.

### ۵- نتایج آزمایش بتن سخت شده

فاز دوم آزمایشگاهی در این تحقیق بررسی رفتار بتن در مرحله سخت شدن می‌باشد. فاز سخت شدن در دو قسمت مورد بررسی کوتاه‌مدت



شکل شماره ۸- نمونه‌ای از انجام آزمایش مقاومت کششی



شکل شماره ۷- نمونه‌ای از انجام آزمایش مقاومت فشاری



شکل شماره ۱۰- نمونه‌ای از انجام آزمایش فراصوتی

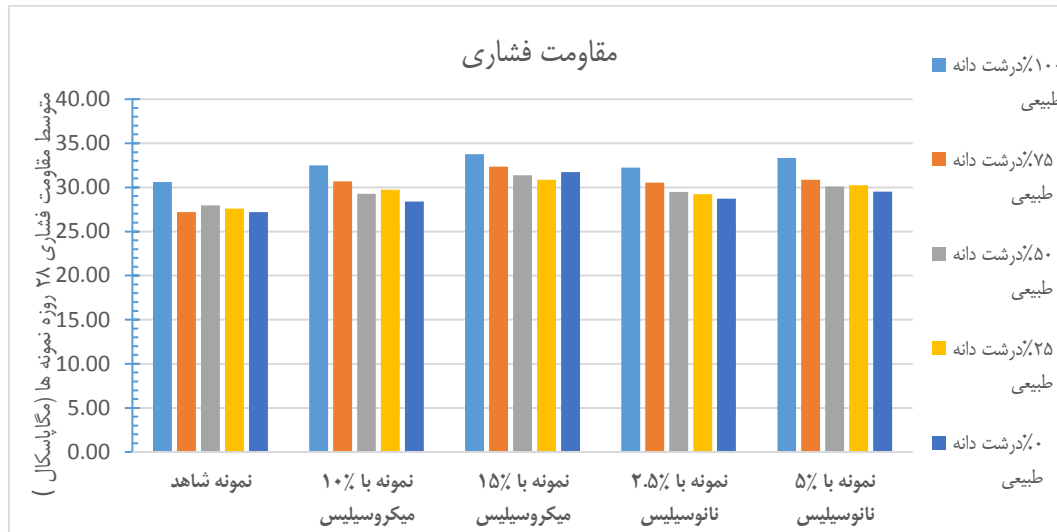


شکل شماره ۹- نمونه‌ای از انجام آزمایش مقاومت الکتریکی

## ۱-۵- نتایج آزمایش مقاومت فشاری

قابل انجام می‌باشد. (۱۸) نتایج آزمایش مقاومت فشاری برای دو حالت ماسه جایگزین و شن جایگزین در نمودارهای شماره ۱۷ و ۱۸ ذکر شده است.

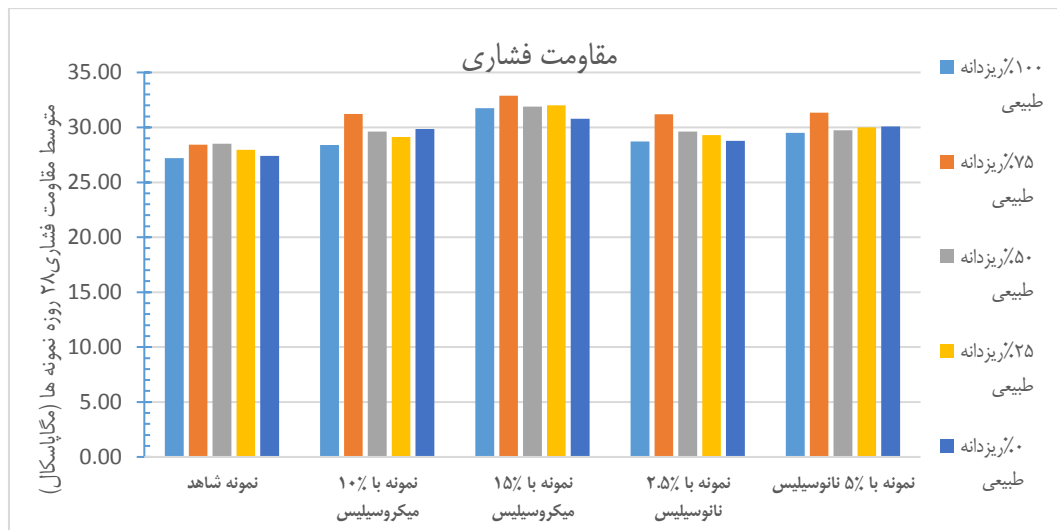
آزمایش مقاومت فشاری یکی از رایج‌ترین و ساده‌ترین روش‌های بررسی خواص بتن در کوتاه‌مدت می‌باشد. نحوه انجام آن بر اساس مکعب‌های ۱۵\*۱۵\*۱۵ سانتیمتری و استاندارد B.S.1881-116



نمودار شماره ۱۷- متوسط مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌ها با درصد‌های مختلف درشت دانه طبیعی و بازیافتی

درصد میکروسیلیس و نانو سیلیس، می‌توان به این نتیجه رسید که با افزایش درصد استفاده از نانوسیلیس و میکروسیلیس در نمونه‌ها، مقاومت فشاری ۲۸ روزه افزایش می‌یابد.

هر چه میزان سنگدانه بازیافتی، بیشتر شود، مقاومت فشاری کاهش می‌یابد. علت این موضوع را می‌توان در کاهش کیفیت جذب آب و دانه‌بندی سنگدانه‌ها یافت. همچنین با درصد ثابت سنگدانه‌ها و تغییر

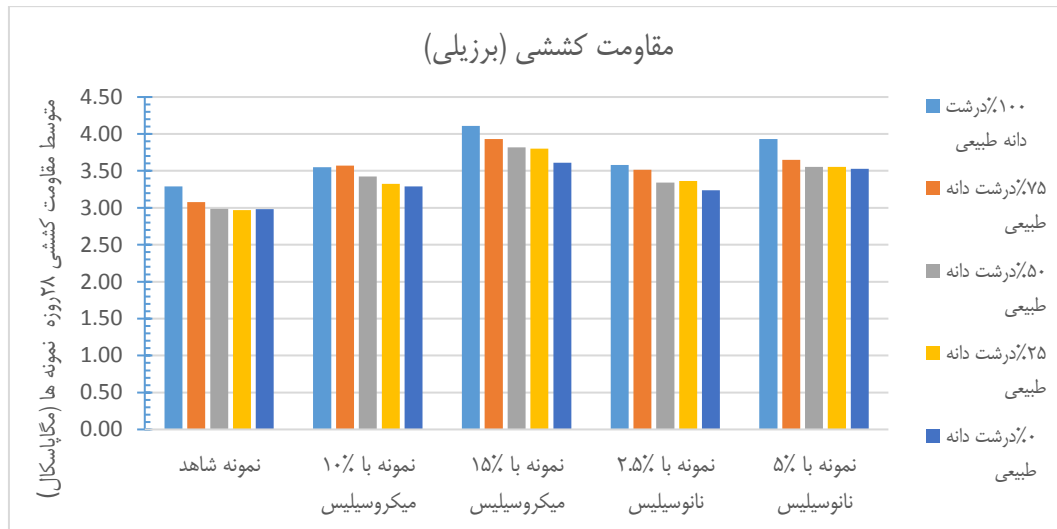


نمودار شماره ۱۸- متوسط مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌ها با درصد‌های مختلف ریزدانه طبیعی و بازیافتی

## ۲-۵- نتایج آزمایش مقاومت کششی برزیلی

یکی از متداول‌ترین روش‌های اندازه‌گیری مقاومت کششی بتن روش آزمایش کشش برزیلی (روش دونیم کردن) می‌باشد. در این روش بار بطور مداوم، یکنواخت و بدون تغییرات ناگهانی با سرعت ثابتی در حدود ۷۰۰ تا ۱۴۰۰ کیلو پاسکال بر دقیقه تا هنگام گسیختگی آزمونه، اعمال می‌شود (۱۹).

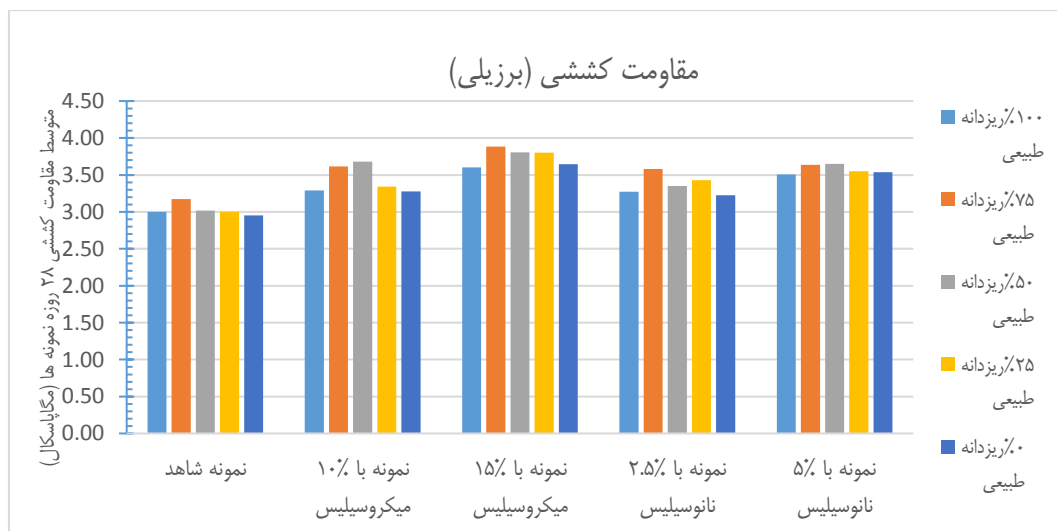
در نمودارهای شماره ۱۷ و ۱۸ مربوط به متوسط مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌ها با درصد‌های مختلف درشت دانه و ریزدانه طبیعی مشاهده می‌گردد که نمونه‌های با ۱۵ درصد میکروسیلیس دارای بیشترین متوسط مقاومت فشاری هستند. کمترین مقدار متوسط مقاومت فشاری مربوط به نمونه‌های شاهد می‌باشد.



نمودار شماره ۱۹ - متوسط مقاومت کششی برزیلی ۲۸ روزه نمونه‌ها با درصدهای مختلف درشت دانه طبیعی و بازیافتی

ثابت سنگدانه‌ها و تغییر درصد میکروسیلیس و نانو سیلیس، می‌توان به این نتیجه رسید که با افزایش درصد نانوسیلیس و میکروسیلیس در نمونه‌ها، مقاومت کششی برزیلی ۲۸ روزه افزایش می‌یابد.

با افزایش درصد جایگزینی درشت دانه بازیافتی با درشت دانه‌های طبیعی یا افزایش درصد جایگزینی ریزدانه بازیافتی با ریزدانه‌های طبیعی، مقاومت کششی برزیلی ۲۸ روزه کاهش می‌یابد. با درصد



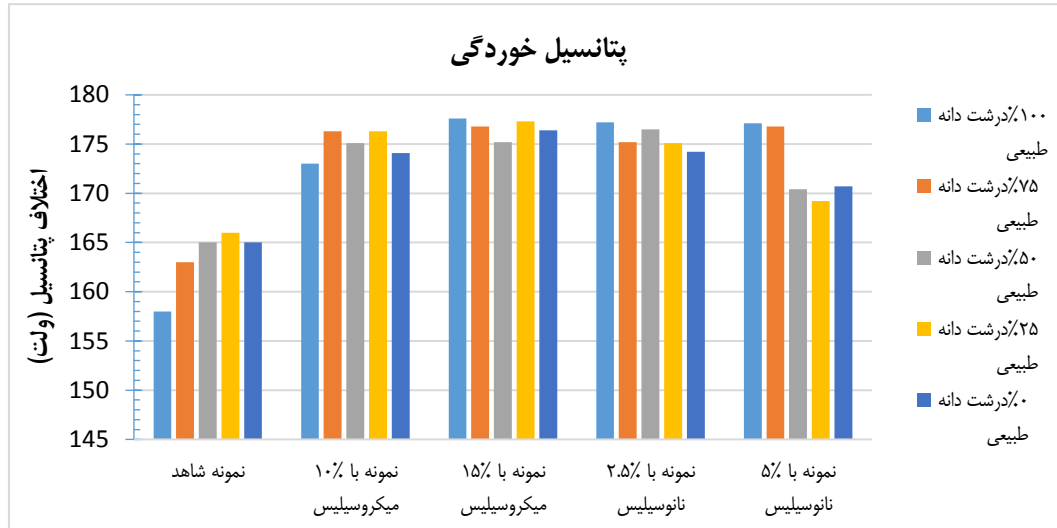
نمودار شماره ۲۰ - متوسط مقاومت کششی برزیلی ۲۸ روزه نمونه‌ها با درصدهای مختلف ریزدانه طبیعی و بازیافتی

بسته به نوع الکتروود مصرفی، ولتاژ قرائت شده متفاوت خواهد بود و قابل تبدیل به یکدیگر می‌باشند. آزمایش نیم پیل دارای دستور العمل استاندارد برای کارگاه می‌باشد مشروط بر اینکه میلگرد بتن دارای پوشش خاصی مانند اپوکسی یا روی نباشد. در کارگاه با ایجاد شبکه‌ای به فواصل ۰/۵ تا یک متر بر روی سطح بتن، اندازه‌گیری‌ها انجام می‌شود و خطوط تراز هم پتانسیل رسم می‌گردد که جهت توضیحات بیشتر می‌توان به استاندارد مربوط مراجعه نمود. (۲۰)

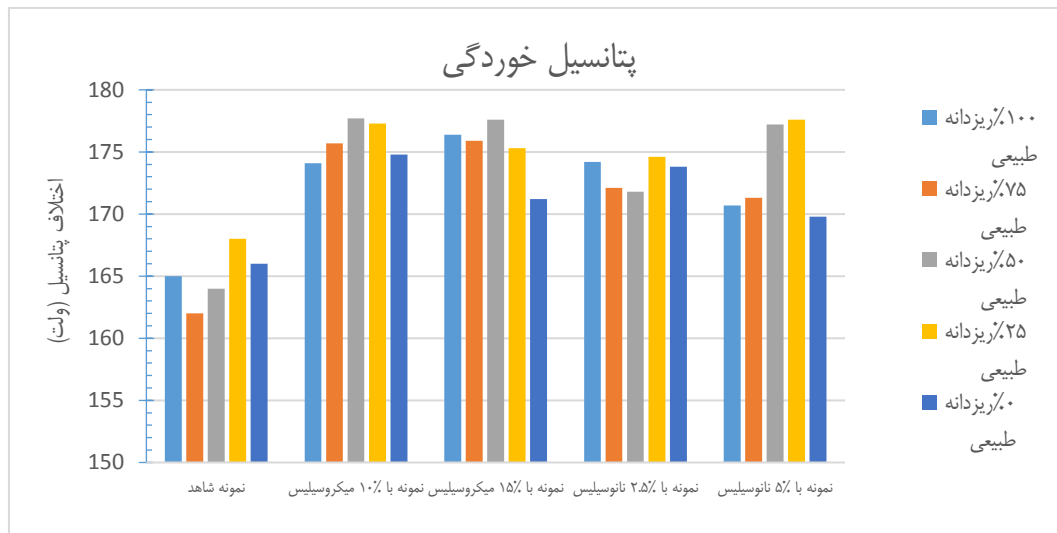
همچنین با مشاهده نمودارهای شماره ۱۹ و ۲۰ مشاهده می‌گردد که در نمونه‌های با ۱۵ درصد میکروسیلیس، متوسط مقاومت کششی ۲۸ روزه نمونه‌ها دارای بیشترین مقدار بوده و نمونه‌های شاهد دارای کمترین مقدار مقاومت کششی ۲۸ روزه می‌باشد.

### ۵-۳- نتایج آزمایش پتانسیل خوردگی

اگر یک سر سیم به میلگرد وصل شود و سر دیگر سیم به کمک یک الکتروود به سطح بتن مرطوب چسبانده شود و در این فاصله ولت‌متری را قرار گیرد، اختلاف پتانسیل را بر صفحه دستگاه مشاهده می‌شود که در حدود چند ده تا چند صد میلی ولت است.



نمودار شماره ۲۱- مقادیر پتانسیل خوردگی نمونه‌ها با درصدهای مختلف درشت دانه طبیعی و بازیافتی



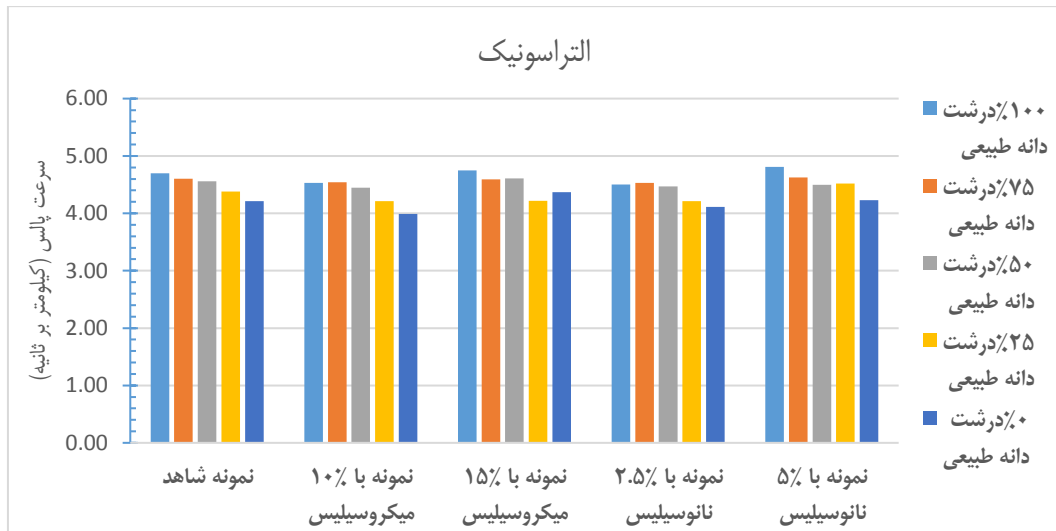
نمودار شماره ۲۲- مقادیر پتانسیل خوردگی نمونه‌ها با درصدهای مختلف ریزدانه طبیعی و بازیافتی

#### ۴-۵- نتایج آزمایش فراصوتی

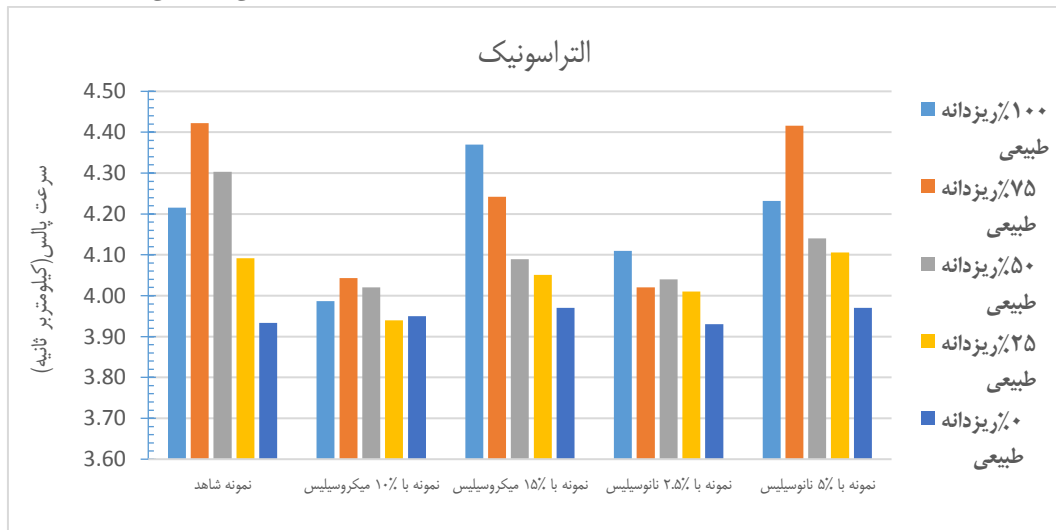
روش‌هایی جهت انجام آزمایش استاندارد (۲۱) و کتب مرجعی (۲۲-۲۴) برای تعیین سرعت موج صوت در بتن وجود دارد ولی در بررسی تعیین سرعت موج در بتن از دستگاه Pundit lab ساخت کشور سوئیس استفاده گردید عملیات انجام آزمایش مکرراً توسط بلوک‌های کالیبراسیون دستگاه کنترل شدند، همینطور جهت بدست آوردن اعداد بازگشت نیز از محصولات شرکت نامبرده استفاده شد. جهت بررسی و ارزیابی خواص بتن از فرکانس در حدود ۴۰ الی ۸۰ کیلو هرتز استفاده می‌شود و با توجه به این موضوع در این تحقیق از سرعت ۵۴ کیلو هرتز استفاده شد.

با مشاهده نتایج آزمایشگاهی می‌توان به این نتیجه رسید که، اختلاف پتانسیل ثبت شده برای همه نمونه‌ها بین ۱۵۸ تا ۱۸۰ ولت می‌باشد. بنابراین چنین نتیجه می‌شود که احتمال شروع فعالیت خوردگی نمونه‌ها کمتر از ۱۰٪ می‌باشد. با بررسی نمودار شماره ۲۱ مشاهده می‌گردد که متوسط پتانسیل خوردگی نمونه‌ها با درصدهای مختلف درشت دانه طبیعی در نمونه‌های حاوی ۱۵ درصد میکروسیلیس اندکی بیشتر از سایر نمونه‌هاست. همچنین در نمودار شماره ۲۲ مقادیر پتانسیل خوردگی نمونه‌ها با درصدهای مختلف ریزدانه طبیعی، نمونه‌های حاوی ۱۰ و ۱۵ درصد میکروسیلیس حائز بیشترین مقادیر پتانسیل خوردگی می‌باشند.





نمودار شماره ۲۳- مقادیر سرعت پالس نمونه‌ها با درصد‌های مختلف درشت دانه طبیعی و بازیافتی



نمودار شماره ۲۴- مقادیر سرعت پالس نمونه‌ها با درصد‌های مختلف ریزدانه طبیعی و بازیافتی

#### ۵-۵- نتایج آزمایش مقاومت الکتریکی

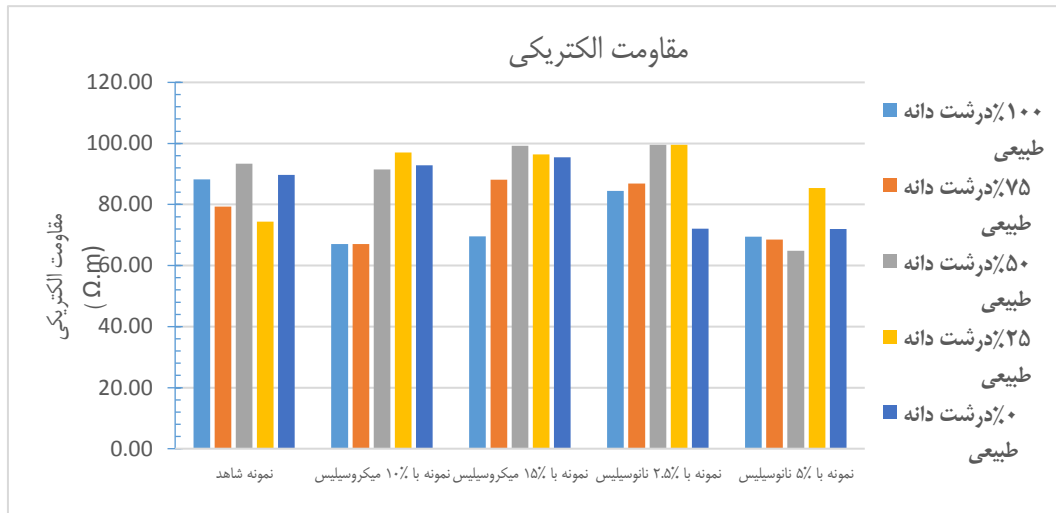
مقاومت الکتریکی آزمون‌ها طبق روش Impedance Spectroscopy (IS) و با اندود کردن سطح بالا و پائین آزمون‌ها، مکیبی ۱۰ سانتی‌متری با خمیر سیمان و با فرکانس ۵ کیلوهرتز انجام شد و همچنین مقاومت ویژه الکتریکی آزمون‌ها با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید.

$$r = (R \times A) / L$$

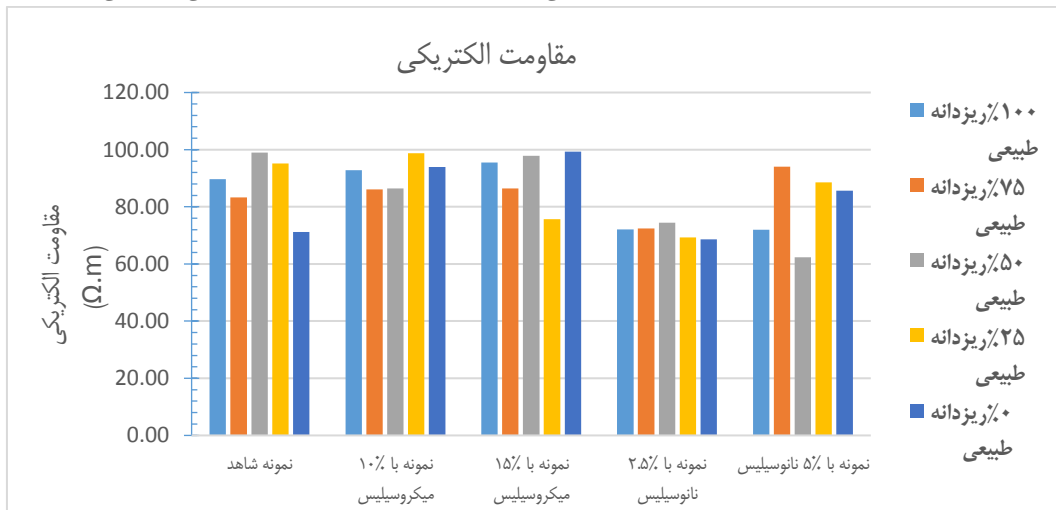
که در آن  $R$  مقاومت الکتریکی،  $A$  سطح مقطع آزمون و  $L$  ارتفاع آزمون می‌باشند و  $r$  مقاومت ویژه الکتریکی می‌باشد.

نتایج حاصل شده از آزمایش مقاومت الکتریکی در نمودارهای ۲۱ و ۲۲ قابل مشاهده می‌باشند. (۲۵)

با مشاهده نمودارهای مربوط به سرعت پالس می‌توان به این نتیجه رسید که با افزایش درصد جایگزینی درشت دانه بازیافتی با درشت دانه‌های طبیعی یا افزایش درصد جایگزینی ریزدانه بازیافتی با ریزدانه‌های طبیعی سرعت پالس در آزمایش التراسونیک کاهش می‌یابد. با بررسی نمودار ۲۳ مشاهده می‌گردد که نمونه‌های درشت دانه حاوی ۱۵ درصد میکروسیلیس و نمونه‌های درشت دانه حاوی ۵ درصد نانو سیلیس، بیشترین مقادیر را در سرعت پالس نمونه‌ها دارند. همچنین در نمودار شماره ۲۴ مشاهده می‌گردد که نمونه‌های ریزدانه شاهد و نمونه‌های ریزدانه حاوی ۵ درصد نانو سیلیس، بیشترین مقادیر سرعت پالس را دارند.



نمودار شماره ۲۵- مقادیر مقاومت الکتریکی نمونه‌ها با مقادیر مختلف درشت دانه طبیعی و بازیافتی



نمودار شماره ۲۶- مقادیر مقاومت الکتریکی نمونه‌ها با مقادیر مختلف ریزدانه طبیعی و بازیافتی

نمونه با ۲،۵ درصد نانو سیلیس و نمونه با ۱۰ درصد میکروسیلیس و حاوی صد در صد مصالح درشت دانه طبیعی در آزمایش جریان اسلامپ، بیشترین مقدار در قطر نهایی متوسط بتن پهن شده را دارد که علت آن را می‌توان در روانی مخلوط بتن دانست. نمونه‌های با ۱۵ درصد میکروسیلیس دارای بیشترین متوسط مقاومت فشاری هستند. کمترین مقدار متوسط مقاومت فشاری مربوط به نمونه‌های شاهد می‌باشد. با ثابت نگه داشتن سنگدانه‌ها و تغییر درصد میکروسیلیس و نانو سیلیس، می‌توان اثبات نمود با افزایش درصد نانوسیلیس و میکروسیلیس در نمونه‌ها، مقاومت کششی برزیلی ۲۸ روزه افزایش می‌یابد. متوسط پتانسیل خوردگی نمونه‌ها با درصد‌های مختلف درشت دانه طبیعی در نمونه‌های حاوی ۱۵ درصد میکروسیلیس اندکی بیشتر از سایر نمونه‌هاست. مقادیر پتانسیل خوردگی نمونه‌ها با درصد‌های مختلف ریزدانه طبیعی، نمونه‌های حاوی ۱۰ و ۱۵ درصد میکروسیلیس حائز بیشترین مقادیر پتانسیل خوردگی می‌باشند. نمونه‌های درشت دانه حاوی ۱۵ درصد میکروسیلیس و نمونه‌های درشت دانه حاوی ۵ درصد نانو سیلیس، بیشترین مقادیر را در سرعت پالس نمونه‌ها دارند که علت آن افزایش تراکم نمونه‌ها در این حالت می‌باشد.

از آنجایی که مقاومت ویژه الکتریکی نمونه‌ها بین ۷۰ تا ۱۰۰ اهم متر می‌باشد، چنین می‌توان نتیجه گرفت که احتمال رخداد خوردگی در بتن کم است. در نمودار ۲۵ مشاهده می‌گردد که نمونه‌های درشت دانه حاوی ۱۵ درصد میکروسیلیس، مقاومت الکتریکی بیشتری از خود نسبت به سایر نمونه‌ها نشان داده‌اند. همچنین با بررسی نمودار ۲۶ مشاهده می‌گردد که نمونه‌های ریزدانه حاوی ۱۰ درصد میکروسیلیس، مقاومت الکتریکی بیشتری نسبت به سایر نمونه‌ها دارند.

#### ۶- نتیجه گیری

در این تحقیق سعی گردید با استفاده از مواد بازیافتی بتنی و جایگزینی آن بجای سنگدانه‌های شن و ماسه طبیعی، خواص بتن بازیافتی خود تراکم مورد بررسی قرار گیرد. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت با افزایش درصد استفاده از نانوسیلیس و میکروسیلیس در بتن، کارایی و روانی کاهش و مقاومت فشاری و کششی بتن افزایش می‌یابد. با افزایش درصد جایگزینی سنگدانه‌های بازیافتی در بتن، کارایی و روانی و همچنین مقاومت فشاری و کششی بتن کاهش می‌یابد و به علاوه تأثیر استفاده از سنگدانه‌های ریزدانه بازیافتی در کاهش کارایی و مقاومت بیش تر از سنگدانه‌های درشت‌دانه بازیافتی است.

10- Otsuki N, Miyazato S-i, Yodsudjai W. Influence of recycled aggregate on interfacial transition zone, strength, chloride penetration and carbonation of concrete. *Journal of materials in civil engineering*. 2003;15(5):443-51.

11- Çakır Ö. Experimental analysis of properties of recycled coarse aggregate (RCA) concrete with mineral additives. *Construction and Building Materials*. 2014;68:17-25.

12- ASTM C33. Standard Specification for Concrete Aggregates. 2010.

13- ACI 555. Concrete with Recycled Materials. 2002.

14- Bagheri A, Farrokhi F, Mahdikhani M, Farokhzad R, Baghdadi J. Representing Appropriate Aggregates Grading Zone For Self-Consolidating Concrete by Using Soil Classifying Parameters.

16- Yaseri S, Hajiaghahi G, Mohammadi F, Mahdikhani M, Farokhzad R. The role of synthesis parameters on the workability, setting and strength properties of binary binder based geopolymer paste. *Construction and Building Materials*. 2017;157:534-45.

16- EFNARC S. Guidelines for self-compacting concrete. EFNARC, UK (www.efnarc.org). 2005.

۱۷- قدوسی، جاوید ش، چراتی ر. بررسی تنش جاری شدن و ویسکوزیته پلاستیک مخلوط‌های بتن خود تراکم حاوی پودر سنگ با استفاده از دستگاه رتومتر بتن ساخته شده برای اولین بار در ایران. *مهندسی عمران مدرس*. ۱۵، ۲۰۱۵؛ ۱۴(۳): ۱۰۷-۱۵.

18- B.S.1881-116. Testing concrete. Method for determination of compressive strength of concrete cubes 1988.

19- ASTM C496. Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens. 2011.

20- ASTM C876-15. Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete. 2015.

21- ASTM C597-16. Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete. 2016.

22- Sturup V, Vecchio F, Caratin H. Pulse velocity as a measure of concrete compressive strength. *Special Publication*. 1984;82:201-28.

23- Neville AM. *Properties of concrete*: Longman London; 1995.

24- Neville AM, Brooks JJ. *Concrete technology* 1987.

25- McCarter WJ, Starrs G, Kandasami S, Jones R, Chrisp M. Electrode configurations for resistivity measurements on concrete. *ACI materials journal*. 2009;106(3):258-64.

در آزمایش مقاومت الکتریکی مشاهده گردید نمونه‌های درشت دانه حاوی ۱۵ درصد میکروسیلیس، مقاومت الکتریکی بیشتری از خود نسبت به سایر نمونه‌ها نشان داده‌اند.

بر اساس نتایج موجود در تحقیق، می‌توان از موادی نظیر میکروسیلیس و نانوسیلیس جهت مقاومت و دوام کاهش یافته بتن استفاده نمود. میکروسیلیس با توجه به ساختار و اندازه ذرات آن به طور کلی خواص مناسبی در بتن‌های حاوی سنگدانه بازیافتی از خود به نمایش قرار داد و لیکن نمونه‌های حاوی نانوسیلیس علیرغم داشتن دانه‌های ریز، به خوبی خواص تقلیل یافته بتن بازیافتی را اصلاح نمود که آن را در میزان واکنش‌پذیری به سنگ‌دانه‌ها می‌توان توجیه نمود.

#### ۷. مراجع

1 - Medina C, Zhu W, Howind T, de Rojas MIS, Frías M. Influence of mixed recycled aggregate on the physical-mechanical properties of recycled concrete. *Journal of cleaner production*. 2014;68:216-25.

2- Ismail S, Ramli M. Mechanical strength and drying shrinkage properties of concrete containing treated coarse recycled concrete aggregates. *Construction and Building Materials*. 2014;68:726-39.

3- Farokhzad R, Mahdikhani M, Bagheri A, Baghdadi J. Representing a logical grading zone for self-consolidating concrete. *Construction and Building Materials*. 2016;115:735-45.

4- Jelokhani Niaraki R, Farokhzad R. Prediction of mechanical and fresh properties of self-consolidating concrete (SCC) using multi-objective genetic algorithm (MOGA). *Journal of Structural Engineering and Geo-Techniques*. 2017;7(2).

5- Hosseini P, Booshehrian A, Delkash M, Ghavami S, Zanjani M. Use of nano-SiO<sub>2</sub> to improve microstructure and compressive strength of recycled aggregate concretes. *Nanotechnology in Construction* 3. 2009:215-21.

6- Li W, Xiao J, Sun Z, Kawashima S, Shah SP. Interfacial transition zones in recycled aggregate concrete with different mixing approaches. *Construction and Building Materials*. 2012;35:1045-55.

7- Farokhzad R, Yaseri S, Entezarian MH, Yavari A. Investigating Effects of Sulfates on Compressive Strength of Different Types of Pozzolan Concrete and Measuring Penetration Rate by Ultrasound Tests at Different Ages.

8- Kwan WH, Ramli M, Kam KJ, Sulieman MZ. Influence of the amount of recycled coarse aggregate in concrete design and durability properties. *Construction and Building Materials*. 2012;26(1):565-73.

9- Mangialardi T, Paolini A. Workability of superplasticized microsilica-portland cement concretes. *Cement and Concrete Research*. 1988;18(3):351-62.

## Investigating the Effects of Using Microsilica and Nanosilica on the Hardened Mechanical Properties and Durability of SCC Containing Recycled Aggregates

Reza Farokhzad

Assistance Professor, Department of Civil Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran.

Mohsen Mehrpouya

MSc Student, Department of Civil Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran.

### Abstract:

Today, the wastes remaining from concrete degradation is considered as an environmental problem and is one of the biggest challenges in the building industry. Accordingly, many researchers have decided to re-use the materials of aggregates from degradation in concrete production cycles. In this paper, attempts were made to assess and if possible to promote the mechanical and durability characteristics after the addition of nano-silica and micro-silica to self-compacting concrete containing recycled aggregates (obtained from worn concrete degradation). One of the points to be considered in this paper was the attempt to use tests such as half-pole testing and concrete wave velocity. In this regard, 72 mixture designs were studied in 8 collections. In these mixture designs, with respect to the content of recycled aggregates, the nano- and micro-contents were changed. Then, the samples underwent mechanical tests including compressive strength and tensile strength, and durability tests including corrosion potential, concrete wave velocity (ultrasonic) and electrical strength. After the tests, with an increase in the use of nano-silica and micro-silica, the efficiency and fluidity of the fresh concrete were reduced, and compressive strength and tensile strength were increased. Also, at fixed strength, nano-silica caused less efficiency and fluidity than micro-silica and also, with an increase in the content of recycled aggregates in concrete, efficiency and fluidity as well as compressive strength and tensile strength of concrete were reduced.

**Keywords:** Self-compacting concrete, Recycled aggregate concrete, Nano-Silica, Silica fume, Durability, Mechanical properties