

# بررسی همگنی مقاومت بتن در دیوارهای ساخته شده از بتن های خود تراکم حاوی نانو سیلیس - دوده ی سیلیس و زئولیت

جاوید ملک دوست

کارشناسی ارشد دانشگاه گیلان  
j.malakdoust@gmail.com

رحمت مدندوست

دانشیار دانشکده عمران دانشگاه گیلان  
madandoust@yahoo.com

ملک محمد رنجبر

استادیار دانشکده عمران دانشگاه گیلان  
ranjbar@guilan.ac.ir

## چکیده:

همگنی نامناسب بتن در نتیجه ی پدیده ی جدایش و تراکم ضعیف می تواند عملکرد آن را در محل سرویس دهی به طور قابل ملاحظه ای تحت تاثیر قرار دهد. امروزه با افزایش استفاده از بتن خود تراکم در کارهای عمرانی، تحقیق در مورد همگنی خصوصیات سخت شده ی آن در محل، از جمله مقاومت فشاری، ضروری به نظر می رسد. در این مطالعه به ارزیابی همگنی مقاومت فشاری بتن در ارتفاع دیوارهای ساخته شده از بتن خود تراکم و مقایسه آن با بتن معمولی پرداخته شده است. در این تحقیق از مواد پوزولانی نظیر دوده ی سیلیس - نانوسیلیس و زئولیت به عنوان جایگزین بخشی از سیمان استفاده شده است تا تاثیر این مواد در تغییرات مقاومت فشاری در اختلاط های بتن خود تراکم بررسی گردد. دیوارها در ابعاد واقعی ساخته شده اند و برای لحاظ کردن شرایط واقعی اجرا آرماتورگذاری گردیدند. آزمایش های غیرمخرب فراصوتی، چکش اشمیت و آزمایش نیمه مخرب مغزه گیری بر روی دیوار انجام گرفت. نتایج آزمایش ها بیانگر همگنی بیشتر مقاومت برای دیوارهای حاوی بتن خود تراکم نسبت به دیوار ساخته شده از بتن معمولی می باشد. همچنین استفاده از ترکیب دوده ی سیلیس - نانوسیلیس نسبت به زئولیت عملکرد بهتری در کاهش تغییرات و بهبود یکنواختی خصوصیات در محل، در اختلاط های بتن خود تراکم از خود نشان داده است. تغییرات مقاومت در ارتفاع دیوار های ساخته شده از بتن خودتراکم و معمولی به ترتیب ۶ و ۸ درصد بوده است که نشان دهنده عملکرد مناسب بتن های خودتراکم در المان های با ابعاد واقعی می باشد.

**کلمات کلیدی:** بتن خودتراکم، مقاومت فشاری درجا، نانو و دوده ی سیلیس، زئولیت، فراصوتی، مغزه گیری، چکش اشمیت

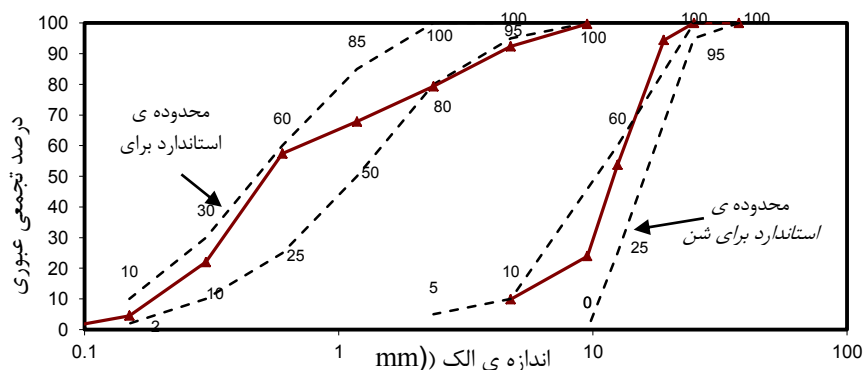
## ۱. مقدمه

یکی از رایج ترین معایب بتن که در هنگام بتن ریزی المان هایی با ابعاد واقعی نمود بیشتری می یابد جداشدگی و عدم همگنی بتن ریخته شده می باشد. در هنگام بروز این نقیصه سنگدانه ها به سمت ترازهای تحتانی و ملات و شیره ی بتن به سمت تراز های فوقانی متمایل می گردند و آب های آزاد موجود در ماتریس بتن به سمت لایه های فوقانی حرکت کرده که موجب به وجود آمدن لایه های ضعیف در ترازهای فوقانی و لایه های قوی در تراز های تحتانی می شوند. همچنین با تبخیر تدریجی این آب ها ترک های سطحی بروز خواهد نمود که بی تردید تبدیل به نقطه ی ضعف سازه در برابر نفوذ مواد خورنده به داخل بتن از این ناحیه و کاهش دوام بتن خواهد شد. عامل دیگری که به عدم همگنی خصوصیات سخت شده ی بتن کمک می کند تراکم نامناسب بتن ریخته شده می باشد که این عامل یا بر اثر فقر نیروی کار ماهر می باشد و یا اصولاً مربوط به عدم امکان برای عملیات و بیره به دلیل حجم آرماتور گذاری بالا می باشد. عوامل ذکر شده در بالا در واقع خاستگاه ظهور بتن خودتراکم می باشد. زیرا این بتن به دلیل جریان پذیری و کارایی بالای خود بدون احتیاج به هیچگونه عملیات تراکم تمام گوشه های قالبی که در آن جای گرفته است را پر می کند. اما به دلیل جریان پذیری بالای این بتن نگرانی در مورد جداشدگی دانه بندی آن در المان هایی با ابعاد واقعی و در حضور آرماتور وجود دارد. از این رو در این تحقیق به بررسی همگنی مقاومت فشاری که مهم ترین خصوصیت سخت شده ی بتن می باشد، در ارتفاع و طول دیوار های ساخته شده از بتن های خودتراکم و معمولی، پرداخته شده است. یکی از ویژگی هایی که طرح اختلاط بتن های خودتراکم را از بتن معمولی متمایز می سازد استفاده از مواد پرکننده ی بیشتر می باشد. یکی از این مواد پرکننده پوزولان های می باشند که با توجه به محاسن عمده ی آن از جمله بهبود دوام و خصوصیات سخت شده بتن، کاهش حرارت هیدراتاسیون در زمان بتن ریزی های حجیم و در برخی موارد کاهش قیمت تمام شده ی بتن، به طور گسترده ای در طرح های اختلاط بتن خودتراکم حضور یافته است. در این مطالعه نیز از ۳ پوزولان نانو و میکرو سیلیس و زئولیت بهره گرفته شده است تا تاثیر این پوزولان ها بر روی روند تغییرات مقاومت بتن نیز بررسی گردد. برای ارزیابی تغییرات مقاومت بتن در ارتفاع و طول دیوار از آزمایش های غیر مخرب اولتراسونیک و چکش برجهندگی اشمیت و آزمایش نیمه مخرب مغزه گیری استفاده شده است.

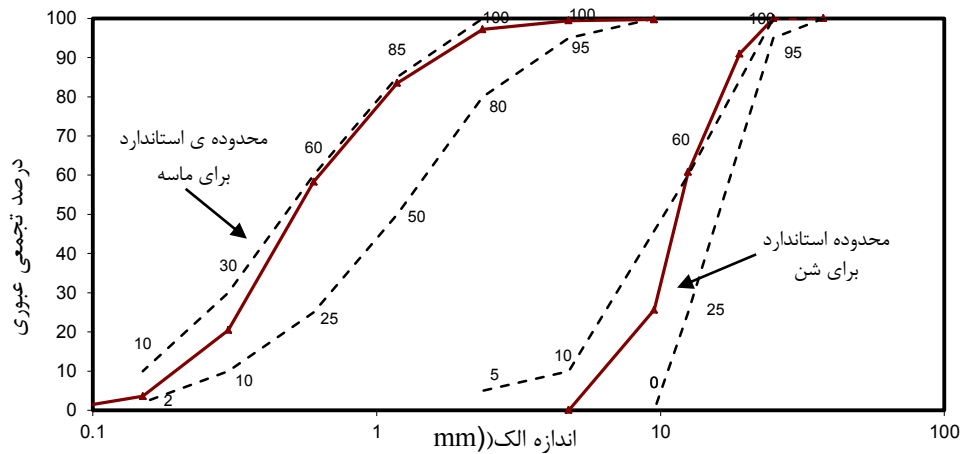
## ۲. برنامه آزمایشگاهی

### ۲.۱. سنگدانه های به کار رفته

در این تحقیق از دو نوع شن گرد گوشه و شکسته با ماکزیمم اندازه ی به ترتیب ۱۹ و ۱۶ میلی متر و از دو نوع ماسه ی گرد گوشه (رودخانه ای) و ماسه شکسته استفاده شده است. نمودار دانه بندی شن و ماسه مصرفی در شکل های ۱ و ۲ و خصوصیات فیزیکی آنها در جدول نیمه لگاریتمی ۱ آورده شده است.



شکل ۱- دانه بندی شن و ماسه کوجصفهان



شکل ۲- دانه بندی شن و ماسه کارخانه ی لوله شمال

جدول ۱- مشخصات فیزیکی سنگدانه ها

سنگدانه	وزن مخصوص	جذب آب	مدول نرمی
ماسه ۰-۳	۲/۷۲	۲/۳۰	۲/۳۱
ماسه ۰-۶	۲/۶۷	۲/۲۵	۲/۷۷
شن ۵-۱۶ (شکسته)	۲/۷۴	۱/۲۱	۷/۹۸
شن ۵-۱۹ (گرد گوشه)	۲/۷۱	۱/۲۱	۸/۱۸

## ۲.۲. مواد سیمانی

سیمان مورد استفاده در این مطالعه، سیمان تیپ ۲ کارخانه سیمان هگمتان بوده است. در این مطالعه از پوزولان های زئولیت، نانو سیلیس و میکرو سیلیس استفاده شده است. میکرو سیلیس نیز محصول صنایع فرو آلیاژ ایران می باشد. نانو سیلیس مورد استفاده از شرکت وند شیمی ساختمان تهیه شده است و به صورت مایعی بی رنگ، محلول در آب و دارای وزن مخصوص ۱/۳ kg/L می باشد که ۵۰ درصد وزنی کل محلول را ذرات سیلیس تشکیل داده اند. زئولیت مورد استفاده از معادن شرق سمنان و از شرکت افرازند تهیه شده است. مشخصات فیزیکی و شیمیایی مواد سیمانی در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- مشخصات فیزیکی و شیمیایی مواد سیمانی کننده مورد استفاده

نوع مواد	خصوصیات شیمیایی									خصوصیات فیزیکی	
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	L.O.I	وزن مخصوص (g/cm <sup>3</sup> )	ریزی (m <sup>2</sup> /kg)
سیمان	۲۱/۵۴	۴/۹۵	۳/۸۲	۶۳/۲۴	۱/۵۵	۲/۴۳	۰/۴۸	۰/۷۵	۱/۱۵	۳/۱۵	۲۹۰
زئولیت	۶۸/۵	۱۱	۱/۵۰	۰/۶	۱/۳	۰/۳۳	۳/۸۰	۴/۴۰	۱۱	۲/۳۰	۳۲۰
میکرو سیلیس	۹۵/۱	۱/۳۲	۰/۸۷	۰/۴۹	۰/۹۷	۰/۱	۰/۳۱	۱/۰۱	-	۲/۲	۲۰۲۰۰

### ۳.۲. آب و مواد افزودنی

آب مورد استفاده آب شرب شهر رشت بوده است. در این مطالعه از فوق روان کننده ای بر پایه کربوکسیلات و با نام تجاری Gelenium51p استفاده شد که از محصولات شرکت BASF ایرانیان می باشد. VMA مورد استفاده structuro 480 بوده که از شرکت فارس ایران تهیه شده است.

جدول ۳- مشخصات فوق روان کننده ی مورد استفاده

نام	بر پایه	ظاهر	وزن مخصوص (kg/cm <sup>3</sup> )	PH	یون کلر
Gelenium51P	پلی کربوکسیلات	مایع غلیظ قهوه ای کم رنگ	۱/۰۶-۱/۰۸ در دمای ۲۰ درجه سلسیوس	۶/۶	ندارد

### ۴.۲. طرح اختلاط به کار رفته

برای استفاده ی بهینه از پوزولان های به کار رفته، در ابتدا اقدام به ساخت نمونه های آزمایشی با درصد های جایگزینی مختلف گردید. نمونه های مکعبی در سن ۴۲ روز مورد آزمایش قرار گرفته و درصد بهینه ی آنها در طرح اصلی مورد استفاده قرار گرفت. در جدول ۴ درصد های بهینه ی به کار رفته نمایش داده شده است.

جدول ۴- درصد های جایگزینی پوزولان های به کار رفته

پوزولان	ژئولیت	نانو سیلیس	میکرو سیلیس
درصد های جایگزین شده	۵-۱۰-۱۵-۲۰	۲-۳-۴-۵	۱۰
درصد جایگزینی بهینه	۱۵	۵	۱۰

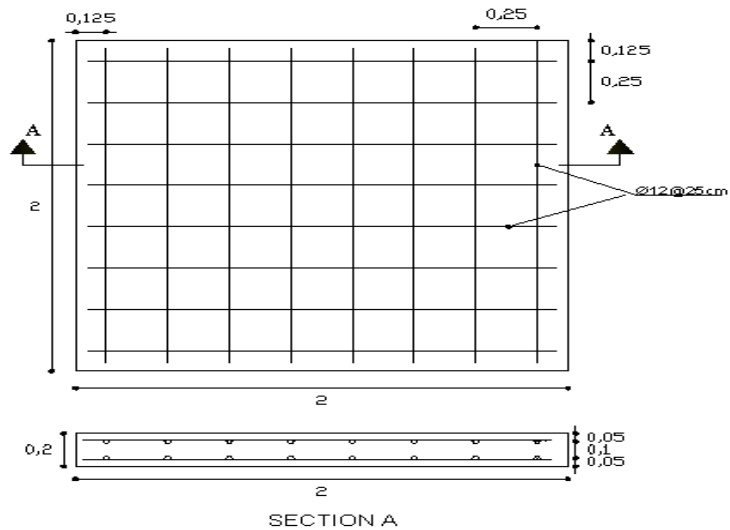
در تمامی طرح ها نسبت آب به سیمان و مقدار عیار سیمان به منظور مقایسه صحیح تر ثابت نگه داشته شد، و سعی شد تا با استفاده از فوق روان کننده، خصوصیات بتن تازه برای کلیه ی طرح ها در حد قابل قبول باشد. طرح اختلاط نهایی به کار رفته برای دیوارها و نمونه های آزمایشگاهی ریخته شده در جدول ۵ آمده است. خصوصیات بتن تازه نیز در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۵- طرح اختلاط به کار رفته (kg/m<sup>3</sup>)

نوع بتن	ماسه ۳۰۰	ماسه ۶۰۰	شن ۱۵-۵	شن ۵-۲۰	سیمان	ژئولیت	خاکستر پوسته برنج	میکرو سیلیس	نانو سیلیس	مواد سیمانی	آب	آب / سیمان	HR	VMA
SCC-Z (ژئولیت)	-	۹۳۵	۳۸۵	۳۸۵	۴۰۴	۷۱	-	-	-	۴۷۵	۱۸۵	۰/۳۹	۶	-
SCC-N-M (نانو و میکروسیلیس)	-	۹۳۵	۳۸۵	۳۸۵	۴۰۲/۵	-	-	۴۷/۵	۲۴	۴۷۵	۱۸۵	۰/۳۹	۵	-
NVC (کنترل)	۳۰۰	۶۰۰	۴۵۰	۴۵۰	۴۷۵	-	-	-	-	۴۷۵	۱۸۵	۰/۳۹	-	-

### ۵.۲. المان به کار رفته

برای بررسی تغییرات مقاومت بتن خودتراکم و معمولی در یک المان سازه ای با ابعاد واقعی، از دیوارهایی با ابعاد ۲×۲×۰/۲ متر که بوسیله ی دو شبکه میلگرد نمره ی ۱۲ آرماتور گذاری گردیده اند استفاده شد. در شکل ۳ جزئیات دیوار و نحوه ی آرماتور گذاری آن نشان داده شده است.



شکل ۳- جزئیات دیوار بتن مسلح

## ۲.۶. قالب بندی، بتن ریزی و عمل آوری

قالب هایی که برای ساخت المان های با ابعاد واقعی و ریخته شده با بتن خودتراکم به کار می روند به دلیل روانی بالای این بتن باید برای فشار بالاتری نسبت به بتن معمولی طراحی شوند و نیروی بالادستی در این بتن بسیار حایز اهمیت می باشد. برای جلوگیری از نیروی بلند شدگی پای دیوار بتن ریزی گردید. در شکل ۴ جزئیات این کار نشان داده شده است. بتن ریزی در ۶ مرحله و با استفاده از میکسری با ظرفیت ۱۵۰ لیتر انجام گرفت. قبل از بتن ریزی دیوار آزمایش های بتن تازه انجام گرفت. نیمی از نمونه های مکعبی در شرایط عمل آوری مشابه با دیوار و نیمی دیگر در شرایط مرطوب و در داخل آزمایشگاه نگهداری گردیدند. عمل آوری دیوارها تا سن ۷ روز به وسیله گونی های کنفی انجام گرفت، و پس از آن در هوای آزاد تا سن آزمایش نکه دری شدند.



شکل ۴- الف) بلند شدن قالب از زمین به دلیل نیروی بلند شدگی ب) مهار قالب به زمین برای جلوگیری از بلند شدگی

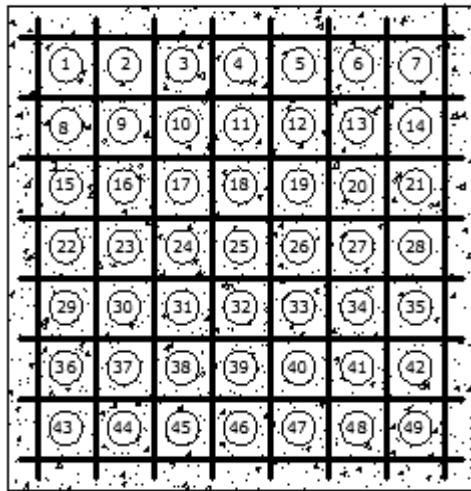
## ۲.۷. آزمایش های انجام گرفته

### ۲.۷.۱. شکست فشاری نمونه های آزمایشگاهی

به منظور بررسی روند تغییرات مقاومت فشاری با گذشت زمان و ترسیم نمودارهای کالیبراسیون، نمونه های آزمایشگاهی در قالبهای مکعبی ۱۰ سانتی متری به همراه بتن ریزی دیوارهای اصلی ریخته شدند. نیمی از آن ها در شرایط مشابه با دیوار و نیم دیگر در آزمایشگاه و تحت شرایط نکه داری مرطوب تا سن آزمایش نکه داری شدند. آزمایش شکست فشاری در سنین ۳، ۷، ۱۴، ۲۸ و ۴۲ روز انجام گرفت.

## ۲.۷.۲. آزمایش چکش برجهندگی اشمیت

آزمایش چکش اشمیت در نمونه های آزمایشگاهی نیز در سنین مشابه با آزمایش شکست فشاری و در هر سن بر روی ۳ نمونه ی مکعبی ۱۰ سانتی متری و در هر نمونه حداقل ۱۲ قرائت انجام پذیرفت. توصیه شده است که در نمونه های مکعبی این آزمایش حداقل در دو وجه عمود بر هم انجام گیرد [۱]. این آزمایش به شرایط رطوبت سطح مورد آزمایش نیز حساس می باشد و اگر سطح نمونه مرطوب باشد احتمال دارد که مقادیر مقاومت های به دست آمده نسبت به آزمایش در سطح خشک ۱۰ درصد پایین تر باشد [۱]، که این مقدار در تحقیقی دیگر تا ۲۰ درصد نیز گزارش شده است [۲]. بنابر این توصیه شده است که نمونه های مکعبی حداقل ۲۴ ساعت قبل از انجام آزمایش، تحت هوای داخل آزمایشگاه خشک گردند [۳]. از این رو تمامی نمونه ها تحت شرایط مذکور مورد آزمایش قرار گرفتند. توصیه شده است که نمونه های مکعبی که برای تهیه نمودارهای کالیبراسیون و به منظور تخمین خصوصیات بتن درجا به کار برده می شود در شرایط مشابه با آن المان نگه داری گردند [۱] که این موضوع نیز در این تحقیق رعایت گردیده و در تهیه ی نمودارهای کالیبراسیون از نمونه هایی که در کنار دیوار و در شرایط عمل آوری مشابه نگه داری شده اند استفاده گردید. آزمایش چکش اشمیت بر روی دیوارها نیز در سن ۴۲ روز و در ۴۹ موقعیت نشان داده شده در شکل ۵ الف و در هر موقعیت حداقل ۱۶ قرائت انجام شد. به دلیل وزن کم نمونه های مکعبی انجام آزمایش چکش اشمیت بر روی آنها در صورتی که به درستی مهار نگردند، با خطای زیادی همراه خواهد بود و مقادیر را به مقدار قابل توجهی پایین تر تخمین خواهد زد. به همین دلیل توصیه شده است که توسط جکی نمونه به خوبی مهار گردد و حداقل بار توصیه شده برای اعمال به نمونه  $7 \text{ N/mm}^2$  می باشد [۴]. تمامی نمونه ها توسط جک های دستگاه شکست فشاری تحت نیروی مذکور به خوبی ثابت گردید که در شکل ۵-ب نشان داده شده است.



(ب)



(الف)

شکل ۵- الف) موقعیت انجام آزمایش در دیوار ب) نحوه ی انجام آزمایش چکش اشمیت در نمونه های استاندارد مکعبی

## ۲.۷.۳. آزمایش اولتراسونیک

آزمایش اولتراسونیک با استفاده از دستگاه پاندیت که فرکانس های ۵۴ KHZ تولید می کند، انجام گرفت. در ۴۹ نقطه ی دیوار این آزمایش انجام گرفت. این آزمایش در تمام سنین مذکور بر روی ۳ نمونه ی مکعبی ۱۰ سانتی متری انجام گرفت. قرائت در نمونه های آزمایشگاهی نیز در دو وجه صورت گرفت و میانگین آن ها ثبت گردید. سطح نمونه ها پس از انجام آزمایش اولتراسونیک به خوبی تمیز گردید و آماده ی انجام آزمایش چکش اشمیت شد. در شکل ۶ (۱) دستگاه پاندیت نشان داده شده است.

### ۳.۸.۲. مغزه گیری

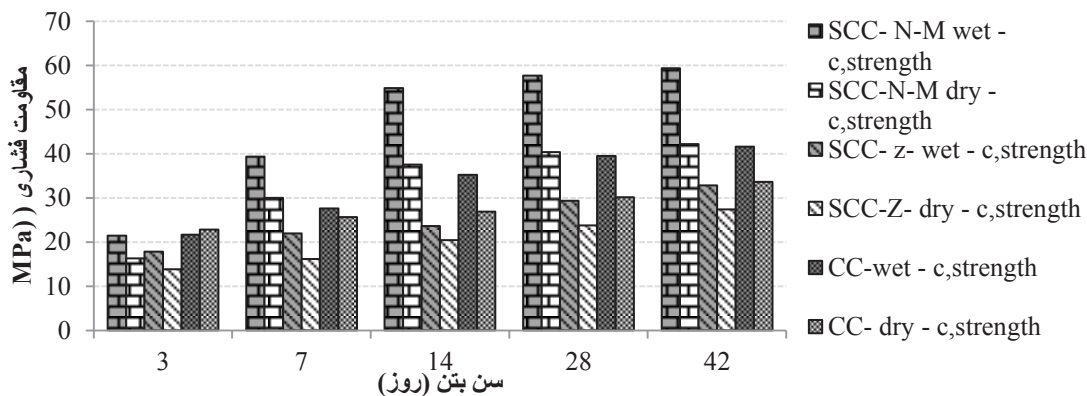
آزمایش مغزه گیری با استفاده از مته هایی به قطر ۷۵ میلی متر انجام گرفت. تصویر دستگاه مغزه گیر در شکل ۶ (۲) نشان داده شده است. پس از خواباندن دیوارها عملیات مغزه گیری انجام پذیرفت سپس نمونه های مغزه گیری شده با استفاده از دستگاه برش، تسطیح و سپس به نسبت های طول به قطر یک برش داده شدند. نمونه ها پس از برش کلاhek گذاری گردیدند. برش و کلاhek گذاری نمونه های حاصل از مغزه گیری در شکل ۶ (۳ و ۴) نشان داده شده است.



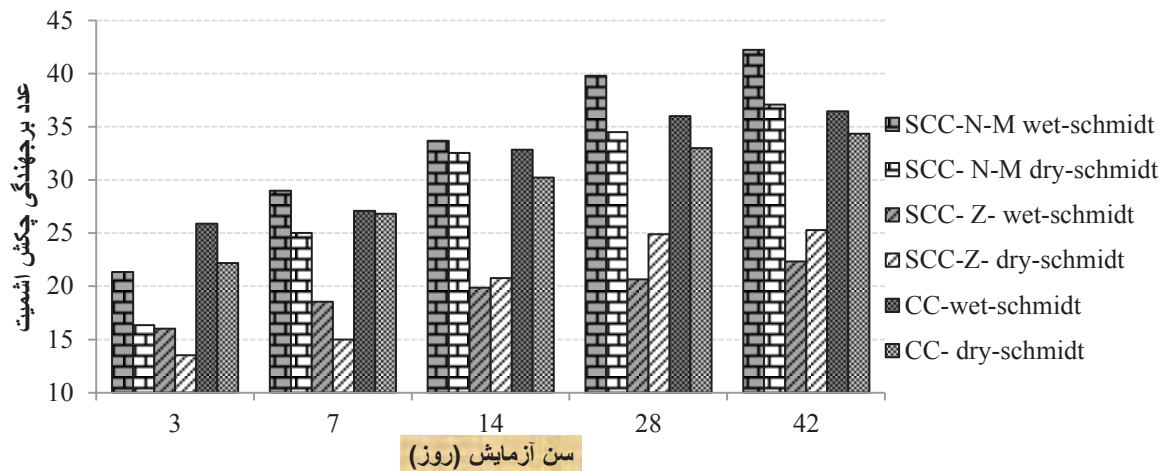
شکل ۶- الف) دستگاه پاندیت ب) دستگاه مغزه گیری ج) برش نمونه های مغزه گیری شده د) کلاhek گذاری نمونه های مغزه گیری شده

### ۳.۳. ارائه نتایج و تحلیل

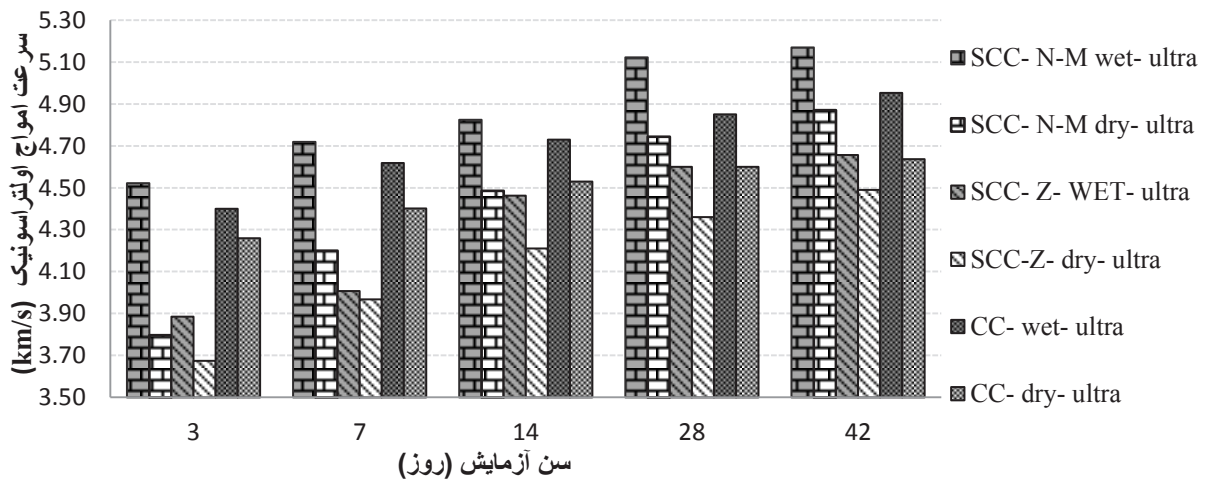
به منظور تهیه نمودار های کالیبره برای تخمین مقاومت بتن موجود در سازه آزمایش های اولتراسونیک، چکش برجهنگی اشمیت و آزمایش شکست فشاری بر روی نمونه های مکعبی ۱۰ سانتی متری و در سنین ۳، ۷، ۱۴، ۲۸ و ۴۲ روز بر روی نمونه های نگه داری شده در شرایط عمل آوری مشابه با دیوار و نمونه های نگه داری شده در شرایط مرطوب، به عمل آمد. نتایج آزمایش شکست فشاری، آزمایش اولتراسونیک و آزمایش چکش اشمیت به ترتیب در جداول ۶، ۷ و ۸ آورده شده است. نتایج ارائه شده میانگین نتایج آزمایش های انجام گرفته بر روی ۳ نمونه ی مکعبی ۱۰ سانتی متری می باشد. به طور کلی نتایج هر ۳ آزمایش با گذشت زمان در حال افزایش می باشد ولی روند افزایش سرعت امواج اولتراسونیک نسبت به دو آزمایش دیگر کندتر می باشد. همانطور که انتظار می رفت طرح حاوی نانو و میکرو سیلیس در هر ۳ آزمایش نتایج بالاتری در تمامی سنین نسبت به دو طرح دیگر از خود نشان داده است. این در حالی می باشد که طرح حاوی ژئولیت عملکرد محدود ضعیف تری را نسبت به بتن شاهد و بتن خودتراکم حاوی نانو و میکرو سیلیس دارا بوده است و با توجه به روند افزایش مقاومت طرح های حاوی ژئولیت انتظار می رود در سنین بالاتر (۶۰ و ۹۰ روز) این مقادیر به مقادیر نمونه های کنترل نزدیک تر گردند که این مطلب منطبق با نتایج شکرچی زاده می باشد که نشان داده است که فعالیت پوزولانی ژئولیت از میکرو سیلیس کمتر ولی نرخ این فعالیت برای ژئولیت بیشتر است [۵].



شکل ۷: تغییرات مقاومت فشاری با گذشت زمان در نمونه های آزمایشگاهی



شکل ۸: تغییرات عدد برجهندگی چکش اشمیت با گذشت زمان در نمونه های آزمایشگاهی



شکل ۹: تغییرات سرعت امواج اولتراسونیک با گذشت زمان در نمونه های آزمایشگاهی

در این مطالعه رابطه ی یک برای ارزیابی مقاومت دیوارها با استفاده از چکش اشمیت مورد تحلیل قرار گرفت.

$$f_c = aR^b \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن R عدد برجهندگی چکش اشمیت،  $f_c$  مقاومت فشاری بتن بر حسب  $kg/cm^2$  و a, b ضرایب تجربی هستند که برای بتن های مختلف و در شرایط نگه داری مختلف می توانند متفاوت باشند. ضرایب a, b برای طرح های اختلاط مختلف در جدول ۶ آمده است.

جدول ۶: ضرایب a, b و ضریب همبستگی ( $R^2$ ) برای آزمایش چکش اشمیت

		طرح اختلاط	SCC-Z	SCC-N-M	CC
شرایط عمل آوری	خشک	ضریب a	۱/۱۹۹	۰/۶۶۸	۱/۸۶۱
		ضریب b	۰/۹۴۷	۱/۱۵۸	۰/۸۰۱
		ضریب همبستگی ( $R^2$ )	۰/۹۶	۰/۹۹	۰/۹۱
	مرطوب	ضریب a	۰/۰۹۹	۰/۲۲۴	۰/۱۰۶
		ضریب b	۱/۸۶۱	۱/۵۱۷	۱/۶۶۰
		ضریب همبستگی ( $R^2$ )	۰/۹۴	۰/۹۳	۰/۹۵

در این مطالعه رابطه ی دو برای تخمین مقاومت بتن در المان سازه ای پیشنهاد و مورد تحلیل قرار گرفت.

$$f_c = ae^{bv} \quad \text{رابطه ۲}$$



که در آن  $f_c$  مقاومت فشاری بتن بر حسب  $\text{kg/cm}^2$ ،  $v$  سرعت امواج بر حسب کیلومتر بر ثانیه و  $a$ ،  $b$  ضرایب تجربی که به عوامل مختلفی از جمله نوع بتن، شرایط مختلف عمل آوری، سن بتن و غیره بستگی دارند. در جدول زیر ضرایب تجربی به همراه ضریب همبستگی نمودارهای کالیبراسیون برای طرح های اختلاط مختلف ارائه شده است.

جدول ۷: ضرایب  $a$ ،  $b$  و ضریب همبستگی ( $R^2$ ) برای آزمایش اولتراسونیک

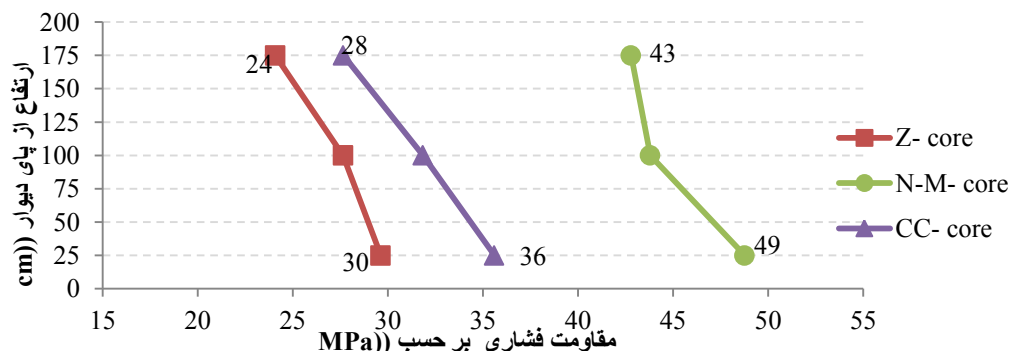
شرایط عمل آوری	نوع بتن	طرح اختلاط	SCC-Z	SCC-N-M	CC
		ضریب $a$	۰/۵۸۶	۰/۷۰۹	۰/۴۵۶
		ضریب $b$	۰/۸۴۹	۰/۸۵۹	۰/۹۱۵
		ضریب همبستگی ( $R^2$ )	۰/۹۸	۰/۹۰	۰/۹۰
عمل آوری	پور	ضریب $a$	۱/۵۷۹	۰/۰۵۱	۰/۰۸۸
		ضریب $b$	۰/۶۳۵	۱/۳۸۸	۱/۲۵۲
		ضریب همبستگی ( $R^2$ )	۰/۸۶	۰/۷۸	۰/۹۷

### بررسی همگنی مقادیر مقاومت در ارتفاع المان های دیوار

جهت ارزیابی تغییرات مقاومت بتن در ارتفاع دیوارها آزمایش های مغزه گیری، اولتراسونیک و چکش برجهندگی اشمیت در سه تراز تحتانی، میانی و فوقانی انجام گرفت. آزمایش های اولتراسونیک و چکش اشمیت در ۷ موقعیت نشان داده شده در شکل ۵الف و در هر تراز انجام گرفت و نتایج مغزه گیری نیز میانگین حداقل ۳ مغزه ی گرفته شده در تراز های فوق الذکر می باشد. مقاومت های معادل نیز بر اساس نمودارهای کالیبراسیونی به دست آمدند که بر حسب نمونه های نگه داری شده در شرایط مشابه با دیوارها تهیه شده بودند. در شکل ۱۰ تغییرات مقاومت بتن حاصل از مغزه های گرفته شده در ۳ تراز فوقانی، میانی و تحتانی نشان داده شده است. برای تخمین مقاومت بتن با استفاده از مغزه های گرفته شده از رابطه ی که توسط BS پیشنهاد شده است، استفاده گردید.

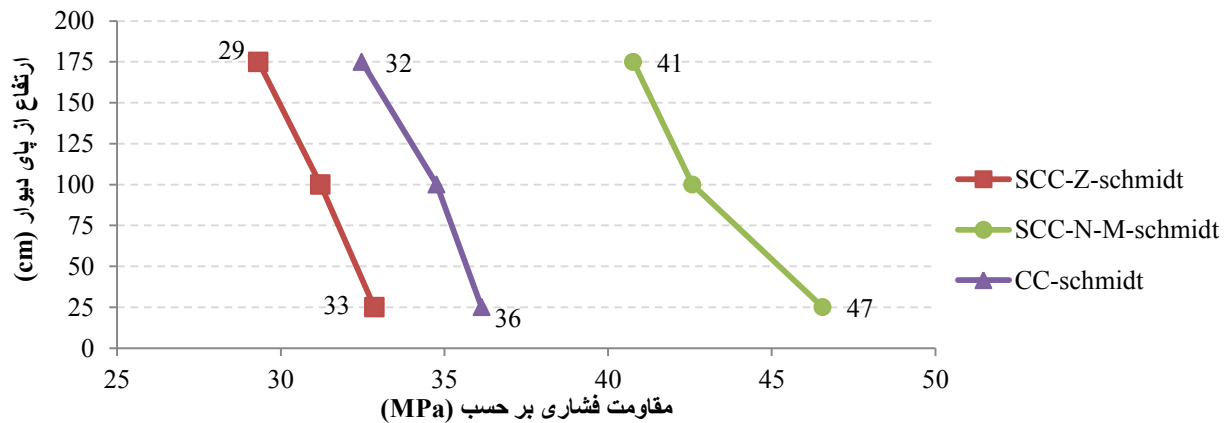
$$f_{\lambda} = \text{فرمول مقاومت مغزه هایی با نسبت طول به قطر } (\lambda) = \frac{2.5f_{\lambda}}{1.5 + \left(\frac{\lambda}{10}\right)} = \text{مقاومت مکعبی در جای تخمین زده شده}$$

از آنجایی که مغزه های گرفته شده دارای نسبت طول به قطر یک می باشد، لذا ضریب اصلاحی برابر یک، برای مقاومت های به دست آمده از آزمایش فشاری مغزه ها اعمال شده است. همانگونه که انتظار می رفت نتایج حاصل از مغزه های گرفته شده در دیوار ساخته شده با پوزولان های میکرو و نانو سیلیس بالاترین مقادیر را در تراز های مختلف نسبت به سایر طرح ها دارا بوده اند که این می تواند به واسطه ی خاصیت پرکنندگی و پوزولانی بالای میکرو و نانو سیلیس باشد. تغییرات مقاومت در دیوار های ساخته شده از بتن خودتراکم به ۶ مگاپاسکال محدود شده است، در حالی که در بتن معمولی این مقدار ۸ مگاپاسکال می باشد که این می تواند بیانگر عملکرد بهتر بتن خودتراکم از حیث یکنواختی خصوصیات در تراز های مختلف باشد.

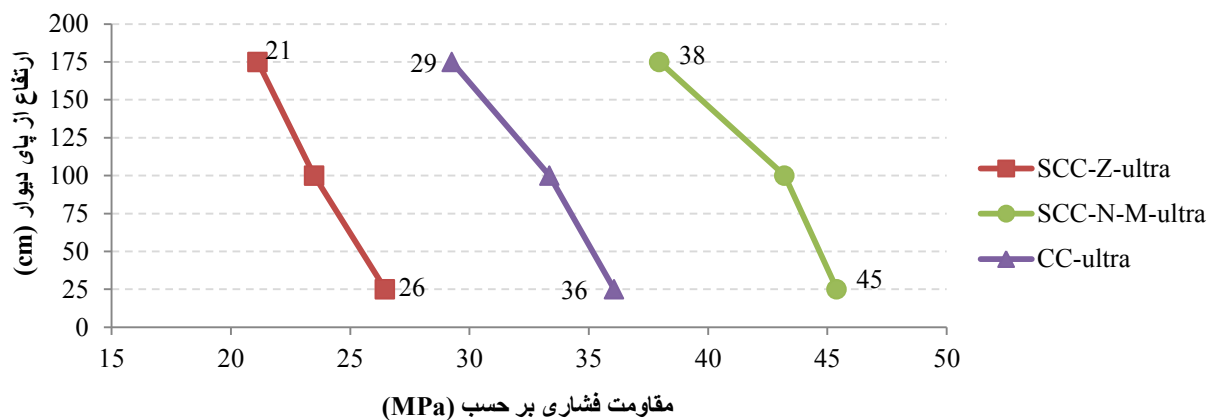


شکل ۱۰: تغییرات مقاومت فشاری به دست آمده از مغزه گیری در ترازهای تحتانی، میانی و فوقانی دیوارها

نتایج ارائه شده در شکل های ۱۱ و ۱۲ نیز به ترتیب مقاومت های معادل مکعبی به دست آمده از آزمایش های چکش اشमित و اولتراسونیک می باشد. به منظور ارزیابی بهتر تغییرات مقاومت بتن در ارتفاع دیوار نتایج حاصل بر حسب درصدی از مقادیر پای دیوار در شکل های ۱۳، ۱۴ و ۱۵ نشان داده شده است.

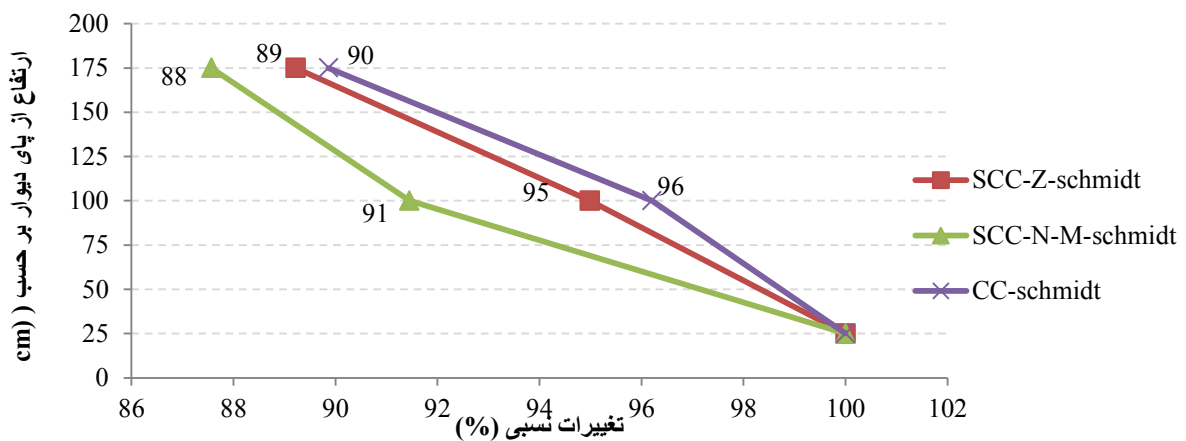


شکل ۱۱: تغییرات مقاومت فشاری مکعبی معادل حاصل از آزمایش چکش اشमित در ترازهای تحتانی، میانی و فوقانی دیوارها

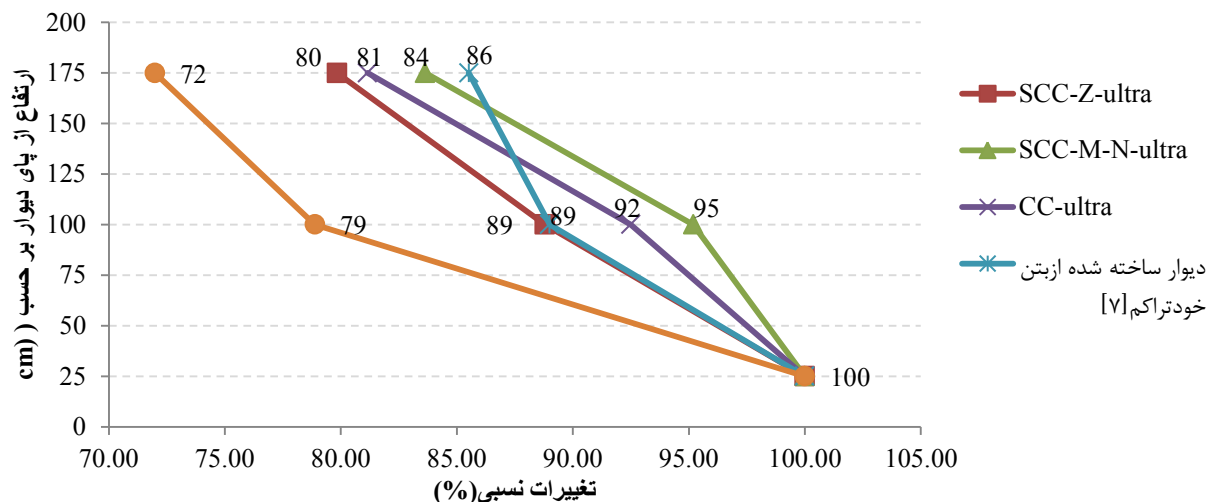


شکل ۱۲: تغییرات مقاومت فشاری مکعبی معادل حاصل از آزمایش اولتراسونیک در ترازهای تحتانی، میانی و فوقانی دیوارها

تغییرات مقاومت های معادل مکعبی به دست آمده از آزمایش چکش اشमित در ارتفاع تمام دیوارها روند مشابهی داشته است و به گونه ای می باشد که هرچه از سطوح فوقانی به سمت ترازهای تحتانی حرکت کنیم، مقاومت افزایش می یابد. چنین روندی توسط Zhu و همکاران [۶] نیز برای ستون ها گزارش شده است. Zhu و همکاران نشان داده اند که عدد برجهنگی قرائت شده در ترازهای فوقانی نسبت به ترازهای تحتانی در ستون هایی با ارتفاع ۳ متر، برای بتن های خودتراکم با رده ی مقاومت ۳۵ و ۶۰ مگاپاسکال، ۸۸ و ۹۷ درصد و برای بتن های معمولی ۸۵ و ۹۵ درصد بوده است. همانطور که از شکل ۱۳ مشخص است در المان های دیوار ساخته شده با اختلاط های SCC-Z (طرح حاوی زئولیت)، SCC-N-M (طرح حاوی نانو و میکرو سیلیس) و CC (بتن معمولی و پیره شده) مقاومت در تراز فوقانی نسبت به تراز تحتانی به ترتیب کاهشی برابر ۱۱، ۱۲ و ۱۰ درصد داشته اند، که این می تواند بیانگر عملکرد مشابه بتن های خودتراکم و معمولی در لایه های سطحی باشد.



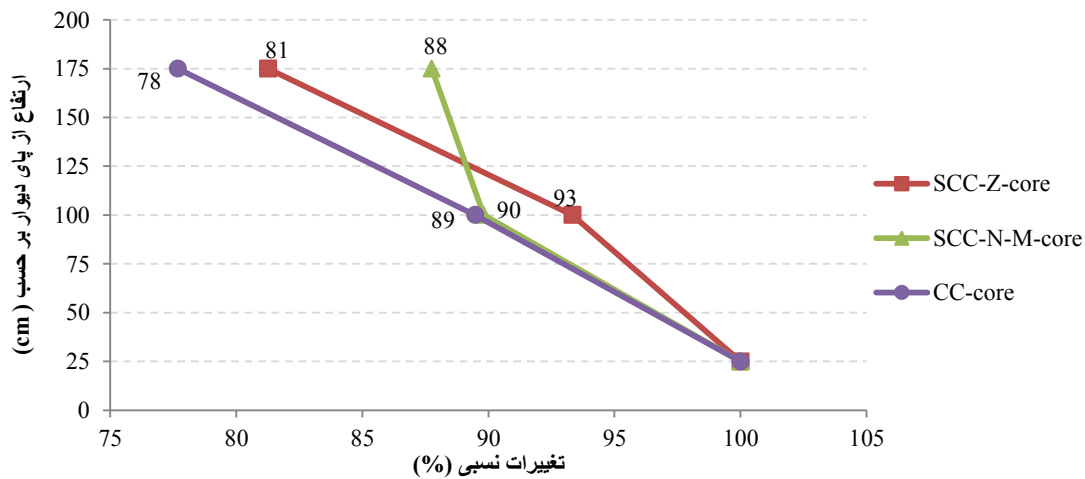
شکل ۱۳: تغییرات نسبی مقاومت فشاری مکعبی معادل حاصل از آزمایش چکش اشمیت بر حسب درصدی از مقادیر دریای دیوار



شکل ۱۴: تغییرات نسبی مقاومت فشاری مکعبی معادل حاصل از آزمایش اولتراسونیک بر حسب درصدی از مقادیر دریای دیوار

شکل فوق گویای این مطلب است که هرچه در جهت بتن ریزی و از بالای دیوار به سمت پای دیوار حرکت کنیم مقاومت فشاری افزایش خواهد یافت. چنین روندی توسط مدندوست [۸] و رنجبر [۷] به ترتیب برای دیوارهای ساخته شده از بتن های معمولی و خودتراکم نیز دیده شده است. روند مشابهی برای المان های تیر، توسط مدندوست گزارش شده است [۹]. نتایج آزمایش اولتراسونیک نشان می دهد که مقاومت های معادل مکعبی به دست آمده در ترازهای فوقانی و میانی نسبت به تراز تحتانی در تمامی دیوارهای ساخته شده از بتن خودتراکم، قابل مقایسه با بتن معمولی بوده است. ضعیف ترین عملکرد مربوط به بتن خودتراکم ساخته شده با طرح اختلاط SCC-Z می باشد که کاهش مقاومتی برابر ۲۰ و ۱۱ درصد در تراز های فوقانی و میانی نسبت به تراز تحتانی داشته است. در المان ساخته شده با طرح SCC-N-M مقادیر مقاومت در سطوح فوقانی و میانی نسبت به تراز تحتانی به ترتیب کاهشی برابر ۱۶ و ۵ درصد را از خود نشان می دهد که نزدیک به مقادیر ۱۴/۵ و ۱۱ درصدی می باشد که توسط رنجبر و همکاران در المان دیوار ساخته شده از بتن خودتراکم حاوی میکرو سیلیس گزارش شده است. در بتن معمولی نیز در تراز فوقانی و میانی نسبت به تراز تحتانی به ترتیب کاهشی برابر ۱۹ و ۸ درصد را از خود نشان می

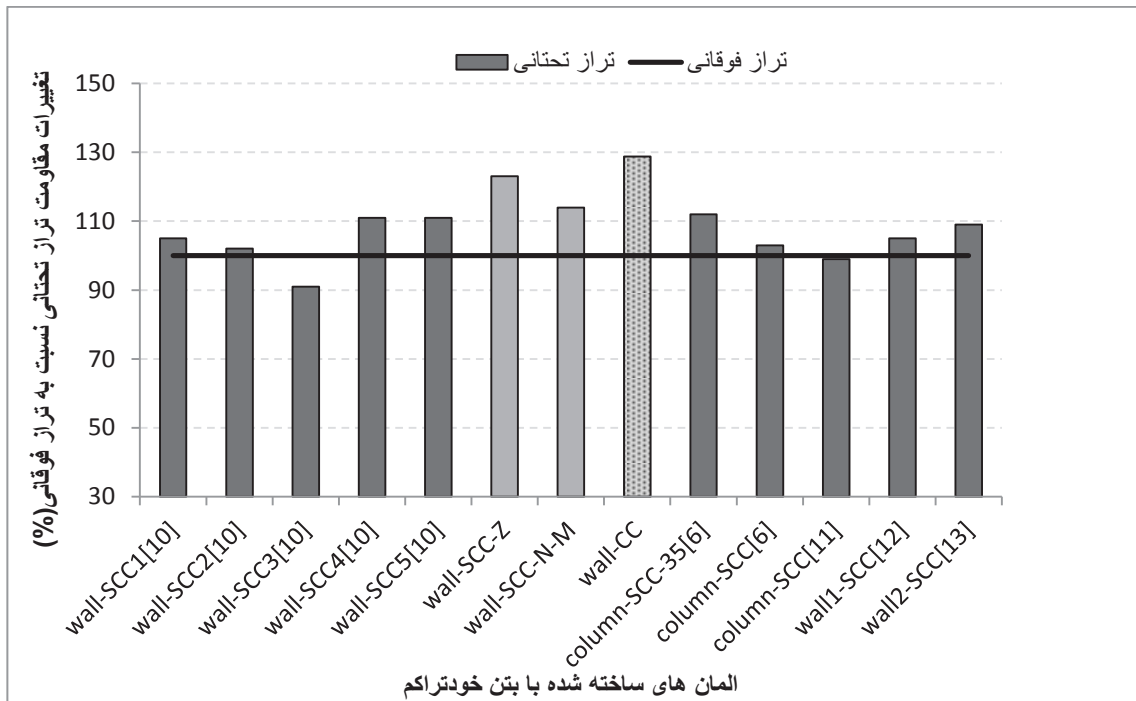
دهد. این مقادیر نسبت به المان های دیوار ساخته شده توسط مدندوست که به ترتیب در نقاط مشابه کاهش مقاومتی برابر ۲۸ و ۲۱ درصد داشته اند، عملکرد مناسب تری از خود نشان داده است که این می تواند به دلیل جایگیری و تراکم بهتر بتن در قالب بوده باشد. به طور کلی کاهش در مقاومت های معادل مکعبی در ارتفاع دیوار های ساخته شده از بتن خودتراکم را می توان ناشی از مجموعه عواملی شامل تراکم بیشتر لایه های تحتانی تحت اثر نیروی وزن لایه های فوقانی و یا جداسدگی های جزئی و گاه اجتناب ناپذیر به دلیل مسائل اجرایی و در هنگام ریختن بتن در المانی با آرماتور گذاری انبوه دانست. با این وجود نتایج همچنان از عملکرد بهتر بتن خودتراکم نسبت به بتن معمولی در این زمینه حکایت دارد.



شکل ۱۵: تغییرات نسبی مقاومت فشاری مکعبی معادل حاصل از آزمایش مغزه گیری بر حسب درصدی از مقادیر پای دیوار

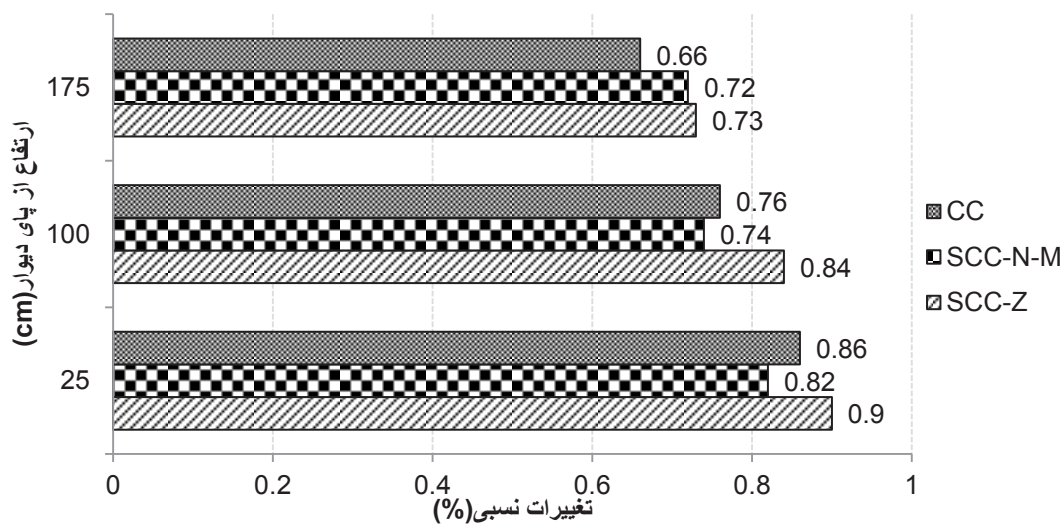
به طور کلی نتایج به دست آمده از آزمایش مغزه گیری نسبت به آزمایش های اولتراسونیک و چکش اشمیت می تواند شناخت بهتری از خصوصیات واقعی بتن ریخته شده در محل ارائه نماید. میانگین مقاومت بتن در ترازهای فوقانی و میانی و تحتانی در المان های دیوار ساخته شده با طرح های اختلاط مختلف در شکل ۱۵ آمده است. همانطور که مشاهده می شود تمامی دیوارها روند مشابهی در تغییرات مقاومت در ارتفاع دیوار از خود نشان داده اند و مقادیر مقاومت در ترازهای تحتانی نسبت به ترازهای میانی و فوقانی بیشتر می باشد که این می تواند ناشی از آثار هیدرواستاتیک بتن در ارتفاع دیوارها و پدیده ی جداسدگی دانه بندی و آب انداختگی احتمالی باشد. روند مشابهی از تغییرات مقاومت در ارتفاع المان های سازه ای نظیر تیر و ستون نیز توسط Zhu و همکاران گزارش شده است [۶]. میزان کاهش مقاومت بتن در تراز های فوقانی نسبت به تراز تحتانی در ستون ها به ۱۵ و در امتداد تیرها به ۷ درصد محدود شده است.

در شکل ۱۶ نتایج مطالعات محققین مختلف در بررسی میزان تغییرات مقاومت بتن های خودتراکم در ارتفاع المان های دیوار و ستون نشان داده شده است و نتایج حاصل با مقادیر به دست آمده در این تحقیق مقایسه گردیده است. همانطور که نتایج نشان می دهد در اکثر دیوارها و ستون های با ابعاد واقعی میزان مقاومت بتن در ترازهای فوقانی کمتر از مقدار مقاومت در پای المان ها بوده است. دیوار ساخته شده از بتن معمولی بیشترین تغییرات مقاومت را در آزمایش مغزه گیری از خود نشان داده است، به گونه ای که مقاومت فشاری در تراز تحتانی نسبت به تراز فوقانی، ۲۹ درصد افزایش داشته است که بیشتر از مقادیر مشابه برای دیوار های ساخته شده از بتن های خودتراکم بوده است. همانطور که در شکل ۱۶ مشخص می باشد، تغییرات مقاومت بین ترازهای فوقانی و تحتانی در دیوار های ساخته شده از بتن خودتراکم در این مطالعه نسبت به دیوار های ساخته شده توسط khayat از افزایش نسبی برخوردار می باشد که این موضوع می تواند به دلیل ارتفاع کمتر و غیر مسلح بودن دیوار های ساخته شده توسط khayat و همکاران باشد.



شکل ۱۶: تغییرات مقاومت بتن های خودتراکم در المان های دیوار و ستون

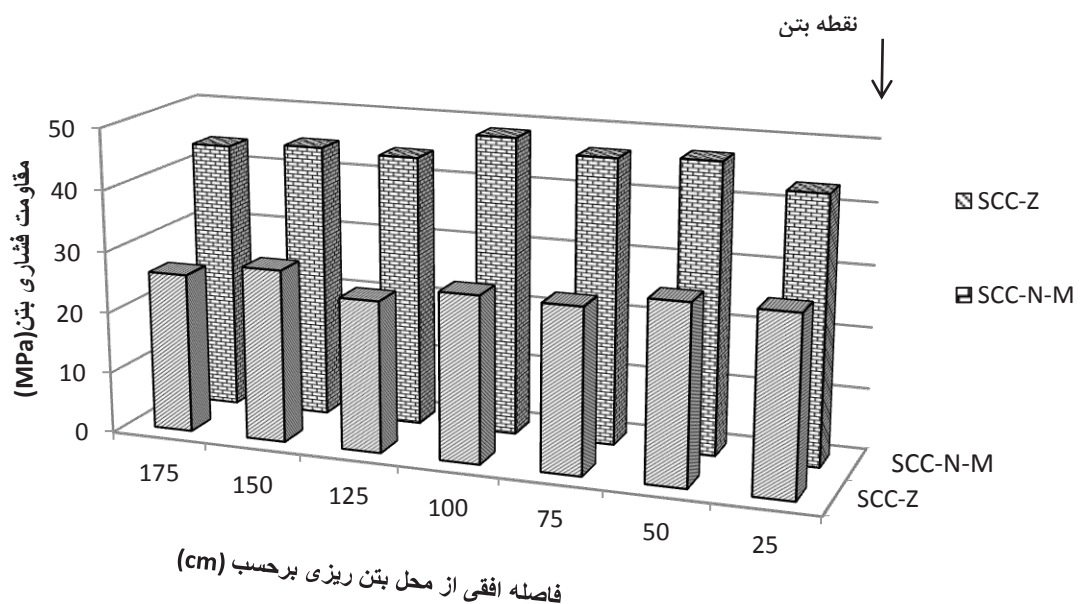
در شکل زیر مقادیر نسبی مقاومت مغزه های گرفته شده در تراز های مختلف دیوار به مقاومت نمونه های مکعبی عمل آوری شده در شرایط مرطوب، ارائه شده است. نتایج نشان می دهد که بهترین عملکرد از این حیث مربوط به نمونه های ساخته شده از بتن خودتراکم حاوی زئولیت می باشد، و این امر را می توان به توانایی بالای جذب آب زئولیت دانست که به دلیل ساختار لانه زنبوری خود می تواند آب را در داخل شبکه های زنجیره ای خود برای مدت بیشتری محبوس نگه داشته و از این رو شرایط عمل آوری مشابه تری نسبت به نمونه های مکعبی نگه داری شده در شرایط مرطوب ایجاد کند. بتن های خودتراکم از این جنبه نیز عملکرد بهتری نسبت به بتن های معمولی داشته اند.



شکل ۱۷- مقادیر نسبی مقاومت مغزه به نمونه های مکعبی نگه داری شده در شرایط مرطوب

به طور کلی از نمودار شکل ۱۷ نتیجه می شود که حداقل مقاومت مغزه ها (در تراز های فوقانی) در دیوارهای ساخته شده از بتن های خودتراکم ۷۲ و ۷۳ درصد مقاومت نمونه های استاندارد نگه داری شده در شرایط مرطوب می باشد که به میزان مناسبی بیشتر از مقدار ۶۵ درصد گزارش شده برای چنین المان هایی است [۶]. این مقدار برای بتن معمولی ۶۶ درصد به دست آمده است. در مطالعه انجام شده توسط مدندوست [۹] بر روی المان های تیر ساخته شده از بتن های معمولی این مقدار ۷۲ درصد به دست آمده است. در مطالعه ای دیگر از همین مؤلف [۸] بر روی المان های دیوار ساخته شده از بتن معمولی، کمترین مقدار مقاومت بتن درجا نسبت به نمونه های نگه داری شده در شرایط مرطوب ۶۲ درصد به دست آمده است که نزدیک به مقدار ۶۶ درصد به دست آمده در این مطالعه برای چنین بتن هایی می باشد. نتایج به دست آمده نشان می دهد که نسبت حداقل مقاومت های درجا در دیوارهای ساخته شده از بتن خودتراکم به نمونه های مکعبی استاندارد، بیش تر از حداقل مقدار توصیه شده در آیین نامه ی بتن ایران (آبا) [۱۴] مبنی بر در نظر گرفتن مقاومت بتن در حد ۶۰ درصد مقاومت نمونه های استاندارد می باشد. از این رو پیشنهاد می گردد که مقدار این ضریب با توجه به نوع بتن و عضو سازه ای مورد نظر، اصلاح گردد.

یکی از محاسن بر شمرده برای بتن خودتراکم کاهش نقاط بتن ریزی و سرعت ریختن بتن و در نتیجه صرفه جویی در زمان و هزینه می باشد. کاهش نقاط بتن ریزی در نتیجه ی جریان پذیری بتن خودتراکم در بین آرماتورها حاصل می شود که در نتیجه، برای داشتن یک بتن همگن در طول سازه که عاری از جداسدگی باشد، می بایست بتن ریخته شده علاوه بر مشخصه ی روانی دارای لزجت لازم هم باشد. بتن های خودتراکم نشان داده اند که در صورت انتخاب یک طرح اختلاط مناسب، به راحتی هر دو مشخصه ی فوق را تأمین می کنند. برای این منظور و اطمینان از همگنی بتن در طول جاری شده، خصوصیات سخت شده ی آن در طول دیوار بررسی شد. نتایج نشان می دهد که با وجود سقوط آزاد بتن در درون قالب و با توجه به حجم آرماتورگذاری، بتن های خودتراکم دارای همگنی مناسبی در طول دیوار می باشند. به طوریکه مقدار مقاومت مغزه ها در میانه و انتهای جریان نسبت به محل بتن ریزی بسیار به هم نزدیک می باشد و این نشان دهنده ی این است که بتن توانسته بعد از سقوط از ارتفاع ۲ متری، به صورت آزادانه و بدون جداسدگی از بین آرماتورها عبور کرده و خود را مسطح نماید.



شکل ۱۸: تغییرات مقاومت فشاری حاصل از مغزه های گرفته شده در طول دیوار

#### ۴. نتیجه گیری

۱- با افزایش سن نمونه ها و افزایش مقاومت فشاری آنها، سرعت امواج اولتراسونیک و عدد چکش برجهنگی اشمیت نیز افزایش می یابد ولی روند افزایش نتایج سرعت امواج اولتراسونیک نسبت به دو آزمایش دیگر کندتر می باشد.

۲- مقاومت مغزه ها با افزایش ارتفاع از پای دیوار کاهش می یابد

۳- مقاومت های معادل مکعبی به دست آمده از آزمایش های اولتراسونیک و چکش اشمیت با افزایش ارتفاع از پای دیوار کاهش می یابد.

۴- تغییرات مقاومت در دیوار های ساخته شده از بتن خودتراکم به ۶ مگاپاسکال محدود شده است، در حالی که در بتن معمولی این مقدار ۸ مگاپاسکال می باشد که این می تواند بیانگر عملکرد بهتر بتن خودتراکم از حیث یکنواختی خصوصیات در تراز های مختلف باشد.

۵- مقاومت مغزه های گرفته شده در تراز فوقانی در دیوار های ساخته شده با طرح های SCC-Z و SCC-N-M و CC نسبت به تراز تحتانی کاهشی برابر ۱۹،۱۲ و ۲۲ درصد را از خود نشان داده اند.

۶- نتایج چکش اشمیت نشان می دهد که این آزمایش مقادیر مقاومت بتن موجود در سازه را نسبت به مقاومت های حاصله از آزمایش مغزه گیری تا حدودی دست بالاتر تخمین می زند.

۷- دیوار های ساخته شده با طرح SCC-Z بهترین عملکرد را از لحاظ نزدیکی مقادیر مقاومت درجا به مقاومت نمونه های مکعبی نگه داری شده در شرایط عمل آوری مرطوب از خود نشان داده اند.

۸- دیوار های ساخته شده با طرح SCC-N-M در تمامی تراز های دیوار دارای مقاومت های بالاتری نسبت به سایر طرح ها بوده اند.

۹- می توان توصیه نمود که ضرایب تقلیل مقاومت بتن توصیه شده در آیین نامه ی بتن ایران (آبا) با توجه به نوع بتن و نوع سازه ی مورد نظر اصلاح گردد.

۱۰- دیوار های ساخته شده با بتن های خودتراکم نشان داده اند که دارای همگنی مناسبی در طول دیوار می باشند.

۱۱- به طور کلی دیوار های ساخته شده از بتن خودتراکم همگنی بهتری از لحاظ مقادیر مقاومت در تراز های مختلف نسبت به بتن معمولی از خود نشان داده است و می توان با اطمینان خوبی از این نوع بتن در ساخت المان هایی با ابعاد واقعی و آرماتور گذاری انبوه استفاده نمود.

**تشکر و قدردانی:** با تشکر فراوان از همکاری مسئولین و پرسنل آزمایشگاه سازه دانشگاه گیلان که در انجام آزمایشهای پرزحمت این تحقیق نهایت همکاری و مساعدت را مبذول داشتند.

#### مراجع:

1. Final report submitted to the Florida department of transportation(contract No:BD503), "Mix design and testing of self-consolidating –concrete using Florida materials"December 2004
2. S.Bakhtiyari, A. Allahverdi, and M. Rais-Ghasemi, "The influence of permanent expanded polystyren formwork on fire resistance of self-compacting and normal vibreted concretes", *Asian Journal of Civil Engineering(Bulding and Housing)* vol.12,No.3(2011)pp.353-374
3. *Self-compacting concrete: An analysis of 11 years of case studies*, Cement & P.L. Domone, "Concrete Composites 28 (2006)pp. 197–208
4. S.Girish, R.V. Ranganath, Jagadish Vengala, " Influence of powder and paste on flow properties of SCC", *Construction and Building Materials* 24 (2010)pp. 2481–2488

5. Amadi. Babak, Shekarchi. Mohammad, "Use of natural zeolite as a supplementary cementitious material", *cement and concrete composites*, 32(2010), pp.134-141
6. Zhu W, Gibbs JC, Bartos PJM. "Uniformity of in situ properties of self-compacting concrete in full scale structural elements". *CementConcr Comp* 2001; 23:pp.57-64
۷. ملک محمد رنجبر، رحمت مدندوست، ایمان محمد پور نیک بین، "انتشار امواج اولتراسونیک در بتن خودتراکم و بررسی توزیع مدول الاستیسیته دینامیکی در اعضای بتنی"، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران، اردیبهشت ۱۳۸۷
۸. رحمت مدندوست، "ارزیابی مقاومت بتن در دیوار بتن مسلح"، اولین کنفرانس بین المللی بتن و توسعه، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، شماره ۱، اردیبهشت ۱۳۸۰
9. Bungey J.H, Madandoust R. "Strength variations in lightweight concrete beams". *Cem. Concr. Compos.* 1994; 16:pp.49-55
10. Soo-Duck Hwang, Kamal H. Khayat, "Comparison of in situ properties of wall elements cast using self-consolidating concrete", *Materials and Structures*, DOI 10.1617/s11527-011-9755-4, Received: 15 November 2010 /Accepted: 17 May 2011
11. Khayat KH, Trembley S, Paultre P. "Structural response of self-consolidating concrete columns. In: Skarendahl A, Petersson O, First international RILEM symposium on self-compacting concrete, Sweden: Stockholm, September 13-14, 1999, pp. 291-305.
12. Khayat KH, Petrov N, Attiogbe EK, See HT. "Uniformity of bond strength of prestressed strands in conventional flowable and self-consolidating concrete mixtures". In: Wallevik O, Nielsson I, editors. *Proceedings of third RILEM international symposium on selfcompacting concrete Reykjavik Iceland. Bagnaux, France: RILEM Publications, PRO 33; 2003. pp. 703-12.*
13. Khayat KH, Manai K, Trudel A. "In suit mechanical properties of wall elements cast using self-consolidating concrete". *ACI Mater J* 1997; 94(6):pp.491-500.
۱۴. کمیته ی تدوین آیین نامه ی بتن ایران، "آیین نامه بتن ایران (آبا) - بخش اول"، انتشارات سازمان برنامه و بودجه، معاونت امور فنی و تدوین معیار ها، نشریه شماره ۱۳۷۷، ۱۲۰.



## Study on concrete strength homogeneity in walls made with self compacting concrete containing silica fume- nano SiO<sub>2</sub> and zeolite

Javid Malak Doust<sup>1\*</sup>, Rahmat Madandoust<sup>2</sup>, Malek Muhammad Ranjbar<sup>3</sup>

1. M.Sc. student, department of civil engineering, university of guilan
2. Associate Professor, department of civil engineering, university of guilan
- 3- Assistant professor, department of civil engineering, university of guilan

### Abstract

*Improper homogeneity of concrete due to segregation phenomenon and low compaction can affect its in situ performance. Today, by increasing the use of self compacting concrete (SCC) in civil engineering applications, it seems to be necessary to investigate the homogeneity of concrete by measuring the in situ hardened properties such as compressive strength.*

*In this study, the assessment of concrete compressive strength was carried out in the height of walls made with SCC and it was compared with normal concrete (NC). In this research, pozzolanic materials such as combination of silica fume-nano SiO<sub>2</sub> and zeolite are used as partial replacement of cement to investigate the effect of these materials on strength variation in SCC mixtures. The walls made in full scale and had been reinforced for considering real condition in application Nondestructive tests such as ultrasonic pulse velocity and Schmidt hammer and partial destructive test such as core were carried out on the walls. The test results show more homogeneity in strength for walls made with SCC compared to NC. Also the use of combination of silica fume- nano SiO<sub>2</sub> indicates more improvement on homogeneity compared to containing zeolite of SCC mixtures. Variations of strength in height of the wall made with SCC and NVC was 6 and 8 percent, respectively, that indicate the proper function of self-compacting concrete in full-scale elements.*

### Key words:

*scc, in situ compressive strength, silica fume, nano SiO<sub>2</sub>, zeolite, ultrasonic, coring, Schmidt hammer*