Journal of Structural and Construction Engineering, 8(Special Issue 1), 2021, pp. 86-110

Journal of Structural and Construction Engineering

www.jsce.ir

Experimental study of Fresh and hardened properties of self-compacting concrete containing coarse and fine electric arc furnace slag aggregate

Mohammed Hamednezhad[1], Mahboubeh Mirzaei AliAbadi [2]*,alireza dadpour[3]

1- MSc Student, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Khatam Al-Anbia University of Technology, Behbahan,iran
2- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Khatam Al-Anbia University of Technology, Behbahan,iran
3- Expert of Civil Laboratory, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Khatam Al-Anbia University of Technology, Behbahan,iran

ABSTRACT

Self-compacting concrete is one of the Highest potential Concrete Currently available due to its wonderful fresh and hardened properties. Fresh properties of concrete include the ability to pass, flow and stability, and with these properties will increase the efficiency of self-compacting concrete in all stages from making to utilization .One of the most important wastes in the steel industry is the electric arc furnace slag and one of its applications is the use as aggregate in concrete .The steel slag of Khuzestan Steel Company consists of fine and coarse aggregates, and in this research we first seek to design a suitable mix of self-compacting concrete And then we replace the amounts of coarse and fine slag by 10% incrementally as long as the concrete remains self-compacting. Replacement of coarse and fine slag has been possible up to 30%. Fresh concrete tests include slump flow, V Funnel, J-ring and L-box which is evaluated according to the EFNARC guideline. Hardened concrete tests include compressive and Split tensile strength performed on standard cubic and cylindrical specimens after curing saturation of concrete at 3,7,28 days. Replacement of coarse slag up to 30% improves hardened concrete properties, But slight decrease in fresh properties. By modifying the mix design and the use of super plasticizer to 3% by weight of cement The coarse slag has been 100% replaced by coarse aggregate and has achieved good fresh and hardened results. Replacement of fine slag by 10% of fine particle is the most optimal condition for fresh and hardened concrete properties, And replacing more than this percentage will greatly reduce the fresh and hardened properties.

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

ARTICLE INFO

Receive Date: 10 November 2019
Revise Date: 28 February 2020
Accept Date: 07 March 2020

Keywords:
Electric arc furnace slag
Self-compacting concrete
Concrete performance
Laboratory study
Fresh and hardened properties

doi: https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2020.208260.1999

*Corresponding author: Mahboubeh Mirzaei AliAbadi
Email address: mahbobehmirzaie@gmail.com

نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی - پژوهشی)
www.jsce.ir

Journal of Structural and Construction Engineering
JSCE
نشریه علمی-پژوهشی مهندسی سازه و ساخت

بررسی آزمایشگاهی خصوصیات تازه و سخت شده بتن خودتراکم حاوی سنگدانه درشت و ریز سرباره کوره قوس الکتریکی

محبوبه میرزایی علی آبادی[1*]، محمد حامدنژاد[2] ، علیرضا دادپور[3]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد،گروه مهندسی عمران،دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیا(ص) بهبهان

۲-استادیار،گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیا(ص) بهبهان

۳- کارشناس آزمایشگاه عمران، گروه مهندسی عمران،دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیا(ص) بهبهان

چکیده

بتن خودتراکم از توانمند ترین بتن های حال حاضر به دلیل خصوصیات رئولوژی و سخت شده فوق العاده خود می‌باشد. خصوصیات تازه بتن شامل توانایی عبور،قابلیت جریان و پایداری است و با توجه به این خصوصیات باعث افزایش بهره‌وری بتن خودتراکم در تمامی مراحل از ساخت تا بهره برداری خواهد شد. از جمله مهمترین ضایعات صنعت فولاد، سرباره های آهنگدازی کوره قوس الکتریکی می‌باشد و یکی از کاربرد های آن استفاده به عنوان سنگدانه در بتن می باشد. سرباره های فولادی شرکت فولاد خوزستان اهواز شامل ریز و درشت می-باشند و ما در این کار تحقیقاتی در ابتدا به دنبال طرح اختلاط مناسبی از بتن خودتراکم هستیم و سپس مقادیر سرباره های درشت و ریز را از ۱۰ درصد به صورت افزایشی تا جایی که بتن خودتراکم بماند جایگزین می‌کنیم. جایگزینی سرباره درشت و ریز تا ۳۰ درصد امکان پذیر بوده است.آزمایشات تازه بتن شامل جریان اسلامپ،قیف V، حلقه J و جعبه L می‌باشد که بر اساس راهنمای $EFNACR$ ارزیابی و صورت گرفته است. آزمایشات سخت شده بتن شامل مقاومت فشاری و کششی دو نیم شدن است که بر اساس نمونه های استاندارد مکعبی و استوانه ای پس از عمل آوری اشباع بتن ها در سنین ۳، ۷، ۲۸ روز انجام شده است. جایگزینی سرباره درشت تا ۳۰درصد سبب بهبود خصوصیات سخت شده بتن می‌شود ولی کمی کاهش در خصوصیات تازه به همراه دارد.با اصلاح طرح اختلاط و استفاده از فوق روان کننده تا ۳ درصد وزنی سیمان سرباره درشت به مقدار ۱۰۰ درصد جایگزین سنگدانه درشت شده است و نتایج تازه و سخت شده خوبی نیز حاصل شده است. جایگزینی سرباره ریز به مقدار ۱۰درصد ریزدانه ها بهینه ترین حالت خصوصیات تازه و سخت شده بتن خودتراکم می‌باشد و جایگزینی بیش از این درصد سبب کاهش زیادی در خصوصیات تازه و سخت شده می‌گردد.

کلمات کلیدی: سرباره کوره قوس الکتریکی،بتن خودتراکم،کارایی بتن ، بررسی آزمایشگاهی،خصوصیات تازه و سخت شده

سابقه مقاله:					
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	شناسه دیجیتال:
۱۳۹۸/۰۸/۱۹	۱۳۹۸/۱۲/۰۹	۱۳۹۸/۱۲/۱۷	۱۳۹۸/۱۲/۱۷	۱۴۰۰/۰۳/۳۰	doi: 10.22065/jsce.2020.208260.1999
					https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2020.208260.1999

*نویسنده مسئول: محبوبه میرزایی علی آبادی

پست الکترونیکی: mahbobehmirzaie@gmail.com

۱- مقدمه

صنایع تولید فولاد جهان با استفاده از کوره قوس الکتریکی در حال حاضر بیش از ۴۰٪ از تولید فولاد جهان را شامل می‌شود[۱]. سرباره فولادی که در کوره قوس الکتریکی [1](EAF) از تولید فولاد و پس از خنک شدن از دمای ۱۵۸۰ درجه سانتی گراد تولید می شود ظاهری سنگ مانند، رنگ سیاه و سفید کم رنگ (خاکستری)و حاوی کربنات کلسیم و زبری بالا است. این سرباره ها به طور کلی به دو نوع مختلف تقسیم می شوند: (۱) سرباره اصلی سیاه، با محتوای آهک پایین تر از ۴۰٪ ناشی از بارگیری سرد ضایعات و چگالی بالا (حدود ۳/۴ تن در متر مکعب)، جذب آب کم (حدود ۱/۵٪) و تخلخل پایین. (۲) سرباره های اصلی سیاه و سفید، با محتوای آهک بالاتر از ۴۰٪، چگالی پایین (حدود ۳/۱ تن در متر مکعب)، جذب آب بیشتر (در حدود ۴/۲٪) و تخلخل بالاتر.سرباره کوره قوس الکتریکی به عنوان سنگدانه خواص مکانیکی خوبی دارد. سرباره سیاه اکسید عمدتاً توسط اکسیدها تشکیل شده است: حدودا شامل ۷۰ درصد مجموعه ای از اکسید های آهن، کلسیم و سیلیکون است، به علاوه مقادیر جزئی منیزیم، آلومینیوم و اکسید منگنز. وجود اکسید کلسیم و منیزیم آزاد، عمدتاً مسئولیت پدیده هیدراتاسیون در سرباره است. سرباره در تماس با آب بسیار سریع هیدراتهای کلسیم اکسید تولید می کند در حالی که تولید اکسید منیزیم هیدرات آهسته تر گسترش می‌یابد و زمان طولانی تری می‌خواهد . یک روش مناسب برای تثبیت سرباره قرار دادن آنها در فضای آزاد حداقل برای ۹۰ روز است تا امکان استفاده ایمن از سرباره به عنوان سنگدانه در تولید بتن فراهم شود[۲]. تفاوت در نوع و کاربرد سرباره ها در بتن به نحوه تولید سرباره و سرد شدن آن بستگی دارد.اگر سریع خنک شود و خاصیت پوزولانی پیدا کند می تواند به عنوان جایگزین سیمان تحت عنوان[2]GGBFS و اگر در هوای آزاد به آهستگی خنک شود [3]EAFS می‌تواند جنبه استفاده به عنوان سنگدانه در بتن را داشته باشد.

در حال حاضر بتن پر مصرف ترین ماده بعد از آب در جهان می‌باشد و با توجه به رشد روز افزون آن در صنعت ساخت وساز و با توجه به اهمیت زیاد این ماده ساختمانی باید شناخت دقیقی روی آن صورت گیرد تا بتوان سازه های بتنی با کیفیت بنا کرد با توجه به رشد صنعت ساختمان سازی در سال های اخیر نیاز بر استفاده از بتن افزایش یافته است. از بتن های توانمند حال حاضر می توان به بتن خودتراکم اشاره کرد. در سال۱۹۸۶ اوکامورا راه حل جهت حل مشکلات اجرایی بتن از قبیل مشکلات تراکم آن در ژاپن را مطرح کرد.بتن خودتراکم باید تحت اثر وزن خودش بتواند جاری گردد و بدون نیاز به لرزاندن متراکم شود.در سال ۱۹۸۸ مطالعات بیشتری حول کارایی بتن توسط اوزاوا و مایکاوا در دانشگاه توکیو انجام شد و بتن خودتراکم ساخته شد و نتایج قابل قبولی از جنبه های خواص فیزیکی و مکانیکی را از خود نشان داد[۳].این بتن با خواص بالای رئولوژی خود می‌تواند باعث افزایش کیفیت ساختمان سازی و افزایش طول عمر بتن گردد. از مصالح معمول که در بتن معمولی استفاده می‌شود برای ساخت بتن خودتراکم استفاده می‌گردد ولی با افزودن مقادیر نسبتاًزیادی فوق روان کننده و در صورت نیاز افزودنی اصلاح کننده لزجت به مقدار کم، طراحی می‌شود.بتن خودتراکم یعنی شناخت صحیح از رفتار و ویژگی های آن و ارائه طرح اختلاط مناسب هنر می‌باشد این طرح باید کارایی بالا و عدم جداشدگی را به همراه داشته باشد. از دلایل اصلی توسعه این بتن کوتاه کردن مدت زمان ساخت، تراکم بهتر بتن تحت اثر وزن خودش و حذف ویبراسیون خارجی و برطرف کردن مشکلات تراکم مخصوصاً در نواحی با تراکم آرماتور، حذف پارازیت های صوتی حاصل ازویبراسیون،توانایی تغییر شکل فوق العاده، دارای خصوصیات سخت شدگی کافی بدون جداشدگی و یا آب انداختگی ، بهبود ناحیه انتقال بین خمیر سیمان و سنگدانه می‌باشد [۵،۴].از خصوصیات تازه [4]SCC می‌توان به توانایی پرکنندگی، توانایی عبور و مقاومت در برابر جداشدگی اشاره کرد که همین باعث تمایز بتن خودتراکم با بتن های معمولی می‌شود [۶].بتن خودتراکم به طور اساسی در ۳ خصوصیات گفته شده با بتن معمولی تفاوت دارد.افزایش جریان‌پذیری خطر جداشدگی را افزایش می‌دهد،بنابراین ضروری است طرح اختلاط شایسته ای ارائه شود. به دلیل خصوصیات رئولوژی بتن

[1] Electric Arc Furnace
[2] ground granulated blast furnace slag
[3] electric arc-furnace slag
[4] Self Compacting Concrete

ضروری است از فیلرها در بتن خودتراکم در کنار فوق روان کننده استفاده شود. استفاده از مقدار بهینه سیمان برای کاهش حرارت هیدراتاسیون و همچنین استفاده از مواد معدنی همچون خاکستر بادی، میکروسیلیس و... به عنوان جایگزین بخشی از پودر توصیه می-شود[۷].مؤسسه اروپایی EFNARCدر سال ۲۰۰۲ راهنمای بتن خودتراکم را منتشر کرد.در سال ۲۰۰۵ ،EFNARC به همراه چهار مؤسسه دیگر نیز تجربیات عملی در زمینه بتن خودتراکم را تحت عنوان راهنمای اروپایی بتن خودتراکم منتشر کردند. با کاربرد صحیح از بتن خودتراکم در صنعت ساخت سازه های بتنی ما علاوه بر بهبود فاکتور اقتصادی باید افزایش بهره‌وری نیز داشته باشیم که بتن خودتراکم با بر طرف کردن مشکل تراکم ناکافی در سازه های بتنی که باعث بروز نقاط ضعف در بتن می‌شود و همچنین با کارایی بالای آن سرعت بتن‌ریزی افزایش می‌یابد و باعث کاهش هزینه ها و کاهش زمان ساخت می‌گردد .بتن خودتراکم با بر طرف کردن این مشکلات باعث افزایش بهره‌وری در کار می‌شود. بتن خودتراکم به دلیل عدم نیاز به ویبراسیون خارجی و خواص بالای جریان پذیری باعث تحول در صنایع تولید بتن پیش‌ساخته شده است. با توجه به نکات گفته شده بتن خودتراکم نقشی کلیدی در پیشرفت صنعت بتن ایفا می‌کند [۸] . انواع بتن خودتراکم به ۳ دسته کلی به شرح زیر تقسیم می‌شوند:

۱-نوع پودری: در این نوع بتن فقط از پودر برای ایجاد مقاومت در مقابل جداشدگی استفاده می‌شود .پودر شامل سیمان، مواد افزدنی معدنی مانند میکروسیلیس، متاکائولین و پودر سنگ آهکی است .مواد کوچکتر از ۱۵۰ میکرون پودر محسوب می‌شوند .گاهی به این مواد پرکننده نیز اتلاق می‌شود، اما بهتر است این واژه برای مواد خنثی مانند پودر سنگ به کار رود .مقدار کل پودر بین ۵۰۰تا Kg/m^3 ۵۷۰ می‌باشد.

۲- نوع ویسکوزیتی :برای حفظ مقاومت در مقابل جداشدگی از ماده افزودنی شیمیایی اصلاح کننده ویسکوزیته (VMA^{5}) در این نوع بتن استفاده می‌شود .مقدار کل پودر بین ۳۲۰ تا Kg/m^3 ۴۰۰می‌باشد. ۳-نوع ترکیبی :دراین نوع بتن هم پودر و هم ماده اصلاح کننده ویسکوزیته استفاده می‌شود تا مقاومت در مقابل جداشدگی افزایش یابد .مقدار کل پودر بین ۴۰۰ تا Kg/m^3 ۵۰۰ است.

در تمام انواع بتن خودتراکم از ماده افزودنی شیمیایی فوق روان‌کننده قوی استفاده می‌شود تا تغییر شکل بالا را در بتن ایجاد کند.راهنمای EFNARC جهت دستیابی به بتن خودتراکم حدود استفاده از مصالح جهت ساخت بتن و همچنین آزمایشاتی از قبیل :جریان اسلامپ،قیف‌v،حلقه‌j و جعبه‌L را جهت ارزیابی خصوصیات رئولوژی بتن خودتراکم ارائه می‌کند [۹].

تحقیقات نشان می‌دهد که استفاده سرباره کوره قوس الکتریکی در بتن معمولی به عنوان سنگدانه درشت مفید می‌باشد و سبب بهبود خصوصیات سخت شده بتن و افزایش در مقاومت آن می‌شود [۱ ،۱۰] . محققین با استفاده از سرباره درشت به عنوان جایگزین بخشی از سنگدانه های درشت در ساخت بتن و با استفاده از عکس برداری میکروسکوپی از بتن، به این نتیجه رسیده اند که کیفیت خوب سرباره های فولادی سبب بهبود ناحیه انتقال در بتن خودتراکم شده است و همین امر سبب افزایش مقاومت بتن ها شده است[۱۲،۱۱]. بر اساس مطالعات برای تولید بتن خودتراکم با استفاده از سرباره درشت به این نتیجه رسیده ایم که از حداکثر سایز درشتدانه mm ۱۲/۵- ۸ در تحقیق فعلی استفاده کنیم که بتن در محدوده قابل قبول EFNARC قرار بگیرد، ولی با این حال استفاده از سرباره کاهش کارایی در بتن را به همراه دارد و باید در طرح مخلوط بتن به این موضوع دقت شود [۱۳،۱۲] . مطالعاتی حول استفاده از سرباره ریز کوره قوس الکتریکی و تأثیرات آن بر خصوصیات تازه و سخت شده بتن تاکنون به جز تحقیقات سانتاماریا و همکاران که از ریزدانه EAFS ریز ترmm ۵ استفاده کرده است صورت نگرفته است. بر اساس پیشینه استفاده از سرباره درشت یا ریز در بتن خلاء طرح اختلاط مناسب که از مقادیر سرباره درشت وریزبهینه در تولید بتن خودتراکم استفاده گردد که سبب کاهش کارایی زیادی در بتن نگردد و افزایش خصوصیات سخت شده بتن را نیز به همراه داشته باشد حس شده است و در نهایت به دنبال طرح اختلاطی جهت به کاربردن ۱۰۰٪سرباره درشت در بتن خودتراکم می‌باشیم که خصوصیات تازه و سخت شده آن نیز فوق العاده باشد. تحقیق حاضر در ابتدا به بررسی خصوصیات فیزیکی سرباره ها پرداخته و سپس بر اساس حدود EFNARC و تجربیات عملی، بتن خودتراکم مبنایی که خصوصیات تازه فوق العاده عالی داشته باشد را تولید کرده ایم. سرباره مورد استفاده در بتن خودتراکم به عنوان جایگزین سنگدانه در این تحقیق از کشور ایران و سرباره شرکت فولاد

[5] viscosity modifying admixture

خوزستان اهواز می‌باشد. با توجه به تولید بالای سرباره در شرکت فولاد خوزستان در حدود ۲۸ درصد از تولید فولاد سالانه و همچنین قیمت بسیار مناسب آن نسبت به سنگدانه های طبیعی ، استفاده از این ضایعات از نظر اقتصادی مقرون به صرفه می باشد. با استفاده از این سرباره ها در پروژه های ساختمانی ازجمله(راهسازی، ساختمان سازی ، زیرسازی جاده ها، راه آهن و...)، می توانیم این ضایعات را به چرخه صنعت برگردانیم. از طرفی با توجه به استفاده فعلی از منابع طبیعی مثل منابع سنگ طبیعی رودخانه ها و نگرانی اینکه استفاده بی رویه سبب تخریب محیط زیست می‌گردد، ما می توانیم این سرباره ها را به عنوان جایگزین مصنوعی خوبی در تولید بتن معرفی کنیم. ما می-خواهیم به این مسئله پاسخگو باشیم که اگر از سرباره های فولادی در بتن خودتراکم به عنوان جایگزین سنگدانه های درشت و ریز استفاده کنیم و عملکرد بتن ها را در حالت های تازه و سخت شده با بتن مرجع بدون سرباره مقایسه کنیم چه تفاوت هایی خواهیم دید و مزایا و معایب این بتن های سرباره ای را با نمونه های مرجع مقایسه کنیم. اهداف تحقیق در حالت تازه به کمک آزمایشات تازه بتن(جریان اسلامپ،قیفV ،جعبهLو حلقهJ) و حالت سخت شده نیز به کمک تست مقاومت فشاری و کششی حاصل می‌گردند و نتایج آزمایش مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند. یکی از ویژگی های بتن حفظ عملکرد مطلوب خودش تحت عمر بهره برداری از آن است و باید چنین بتنی با عوامل مخربی که با آن روبرو می‌شود مقابله کند و تحمل نماید،به چنین بتنی بتن با دوام می‌گویند. از جمله عوامل مخرب خارجی می-توان به حملات یون هایی مانند کلریدها،سولفات ها اشاره کرد. بر اساس تحقیقاتی از محققین بر دوام بتن های خودتراکم و معمولی ساخته شده با سنگدانه سرباره کوره قوس الکتریکی می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱- تحقیقات سانتاماریا و همکاران در سال۲۰۱۸بر بتن های خودتراکم حاوی سرباره ریز و درشت،شامل آزمایشات دوام مانند(چرخه های ذوب و یخبندان،چرخه های رطوبت و خشک شدگی،خوردگی آرماتور در بتن و نفوذ یون های کلر و سولفات) بوده است. نمونه های بتن خودتراکم خواص فیزیکی ،مکانیکی و پایداری ابعادی قابل قبولی از خود نشان داده اند و بتن جهت استفاده در کاربرد های سازه ای تأیید می‌شود[۱۴]. ۲- بر اساس تحقیقات توسط گنزالس و همکاران در سال ۲۰۱۹ بر دوام بتن های خودتراکم حاوی سرباره آنها به این نتایج دست یافتند که بتن های خودتراکم حاوی سرباره نسبت به بتن خودتراکم معمولی عمق نفوذ آب بیشتر ،انبساط حجمی کمی بیشتر،عمق کربناسیون بالاتری دارند و همچنین ایجاد لکه هایی بر سطح ظاهری بتن های خودتراکم سرباره ای را مشاهده کرده اند. با توجه به تحقیقات آنها ،استفاده از اینگونه بتن در شرایطی همچون(از منظر زیبایی شناختی دارای اهمیت بالایی باشد ویا بتن در معرض بارندگی و تغییرات قابل توجه رطوبت قرار دارد) توصیه نمی‌گردد[۱۵]. ۳- بر اساس تحقیقات مانسو و همکاران در سال۲۰۰۶ نتایج دوام بتن معمولی حاوی سرباره نسبت به بتن معمولی فاقد سرباره کمی کمتر ودر محدوده قابل قبولی بوده است. بنا به نتایج آنها اگر در طراحی مخلوط بتن و همچنین در مرحله بهره برداری از بتن عمل آوری و نگه داری از بتن به خوبی صورت گیرد مشکلی در دوام بتن ایجاد نمی-شود در غیر اینصورت دوام مختل خواهد شد[۱۶]. با توجه به تحقیقات بر دوام بتن های حاوی سرباره کوره قوس الکتریکی از کشور های دیگر و به دلیل اینکه سرباره های آنها با سرباره های شرکت فولاد خوزستان تشابه در آنالیز شیمیایی و همچنین خصوصیات فیزیکی دارند توصیه بر تحقیقات مفصل بر دوام بتن هایی است که از این سرباره ها به عنوان جایگزین سنگدانه درشت و یا ریز استفاده شده است.با توجه به ماهیت تحقیق حاضر و امکانات آزمایشگاهی موجود تنها بررسی خصوصیات سنگدانه سرباره از منظر شناخت فیزیکی و شیمیایی و همچنین بررسی خصوصیات تازه بتن خودتراکم و خصوصیات سخت شده بتن خودتراکم شامل مقاومت های فشاری و کششی ممکن بوده است.

۲ -مواد و روش

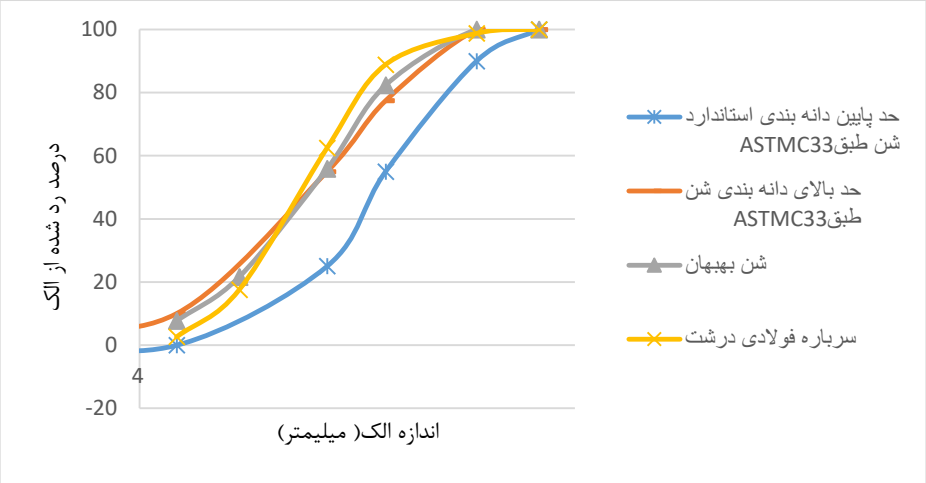
۲-۱مصالح مصرفی جهت ساخت بتن

سنگدانه های طبیعی از نوع شسته رودخانه ای و از معادن بهبهان تهیه شده است.شامل درشت دانه ها در رنج دانه بندی ۴/۷۵-۱۹میلی‌متر و ریز دانه در رنج دانه بندی ۰/۰۹۵-۴/۷۵ میلی‌متر می‌باشند. میزان تولید سرباره شرکت فولاد خوزستان اهواز به ازای سال ۱۳۹۶، ۱۰۲۰۰۰۰ هزار تن، تقریباً ۲۸ درصد از فولاد تولیدی بوده است که این مقدار تولید سرباره بسیار زیاد می‌باشد و باید به فکر استفاده صحیح از آن بود چرا که منبع جایگزین سنگدانه مصنوعی خوبی است. سرباره های فولادی در ۳ دسته درشتmm ۱۲/۵ - ۹/۵،متوسطmm ۹/۵ -۴/۷۵ و ریز دانه ۴/۷۵≤ استفاده شده است. مدول نرمی ماسه طبیعی ۳/۹ و ماسه سرباره ای ۴/۰۶ می-باشد.خصوصیات فیزیکی سنگدانه های طبیعی و همچنین سرباره ها با استفاده از آزمایشات دانه بندی[۱۷] ،درصد جذب آب [۱۸] ،وزن مخصوص [۱۹] ،درصد تطویل و تورق[۲۰] ،مقاومت در برابر سایش با استفاده از دستگاه لس آنجلس[۲۱] ،آزمایش سلامت سنگدانه های درشت با استفاده از نمک سدیم سولفات[۲۲] و همچنین به بررسی شکل ظاهری و بافت سطحی سنگدانه ها[۲۰] نیز پرداخته شده است.

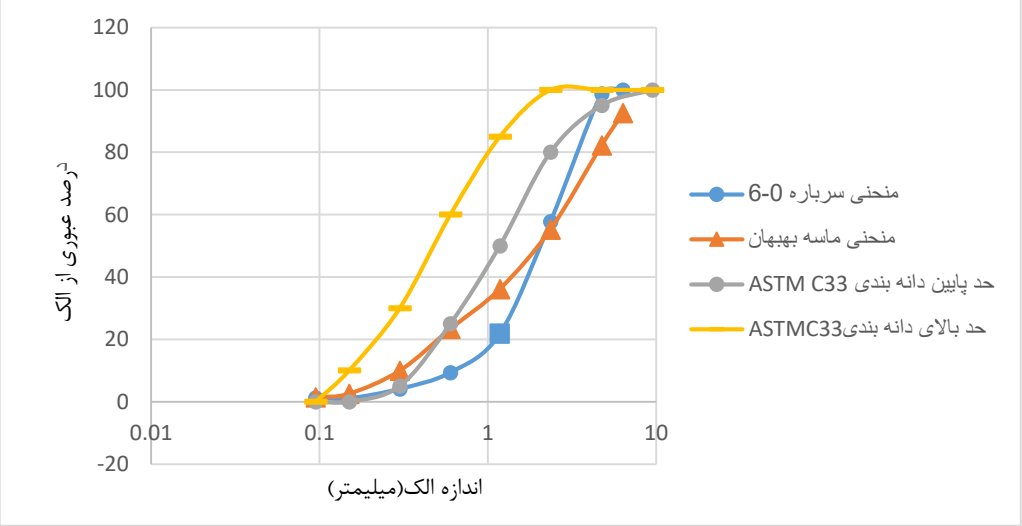
شکل۱: شکل ظاهری و بافت سطحی سنگدانه های درشت طبیعی و سرباره فولادی به ترتیب از چپ به راست

جدول ۱ : مشخصات فیزیکی سنگدانه ها و سرباره فولادی

نوع سنگدانه	جرم حجمی دانه ای اشباع با سطح خشک	درصد جذب آب	مدول نرمی ماسه	درصد تطویل	درصد تورق	درصد سایش	درصد افت وزنی با استفاده از محلول سولفات سدیم
	Kg/m^3	(%)					
شن	۲۷۰۰	۱/۲۲	-	۹/۱۶	۸/۷۴	۲۵/۱۴	۸/۲۹۷
ماسه	۲۵۷۰	۳/۵	۳/۹	-	-	-	-
سرباره درشت	۳۶۵۰	۰/۹۷	-	۶/۰۹	۱۸/۱۲۱	۱۹/۳	۷
سرباره ریز	۳۴۷۰	۳/۸۸	۴/۰۶	-	-	-	-



شکل۲:منحنی دانه بندی درشت دانه ها و حدود استاندارد ASTMC33



شکل۳: منحنی دانه بندی ریز دانه ها و محدوده استاندارد ASTMC33

در این تحقیق از سیمان پرتلند نوع پنج (TypeV) تولید کارخانه سیمان بهبهان استفاده شده است. یکی از مواد لازم جهت تأمین ویسکوزیته یا لزجت مناسب در بتن خودتراکم پودرسنگ سیلیس است. فیلری مانند پودرسنگ سیلیس ذرات بسیار ریزی دارد و معمولاً رد شده از الک ۱۲۰ می‌باشد و همین امر باعث پر کردن فضای خالی و حفره‌های موجود بین ذرات سیمان شده که باعث کاهش تخلخل و افزایش درجه توپری بتن می‌گردد. آب مصرفی برای ساخت نمونه‌ها، آب آشامیدنی شهرستان بهبهان با میزان pH حدود ۵/۹ و غلظت یون کلرید ۱۶۰ppm تا ۲۸۰ ppm می‌باشد. دمای آزمایشگاه در حدود ۲۵درجه سانتیگراد می‌باشد.

جدول ۲:آنالیز شیمیایی سرباره و سیمان

مواد موجود٪	K_2O	SO_3	Mgo	Cao	Al_2o_3	Sio_2	P	Mno	Fe_2o_3	Feo	Fe(t)
سرباره فولاد خوزستان	-	-	۶/۷۳	۳۱/۶۵	۳/۶۷	۱۶/۴۹	۰/۲۸	۰/۵۳	۲۲/۷۵	۲۴/۷۵	۲۷/۶۸
سیمان پرتلند نوعV	۰/۶۷	۳/۰۰	۲/۸۹	۶۰/۱۸	۴/۸۹	۲۲/۲۳	-	-	۵/۴۵	-	-

با توجه به آنالیز شیمیایی بر اساس نتایج آزمون XRF می‌توان دریافت که عناصر تشکیل دهنده سرباره فولاد خوزستان همچون سیلیس ،اکسید آلومینیوم و کلسیم اکسید مقادیری کمتری نسبت به سیمان پرتلند تیپ ۵ داشته اند و حاوی مقادیر بالایی از اکسید آهن می‌باشد. چون خصوصیات فیزیکی سنگدانه سرباره همچون(مقاومت در برابر سایش و همچنین مقاومت در اثر حملات سولفات سدیم) نسبت به سنگدانه طبیعی بهتر می‌باشد جهت جایگزینی به عنوان سنگدانه در بتن مناسب می‌باشد ولی اگر این سرباره را به صورت ذرات پودر در اندازه سیمان تولید کنیم و بخواهیم به عنوان جایگزین بخشی از سیمان استفاده کنیم به دلیل عناصر تشکیل دهنده آن و خاصیت سیمانی کمتر از سیمان پرتلند، قطعاً باعث کاهش مقاومت در بتن خواهد شد .

افزودنی های شیمیایی : جهت ساخت بتن خودتراکم از فوق روان کننده(PC5000(HR استفاده شده است.این فوق روان کننده از خانواده پلی کربوکسیلاتها و قوی‌ترین نوع فوق روان کننده‌ها به‌حساب می‌آید که وزن مخصوص آن gr/cm^3 ۱/۱۰ و غلظت ۲۰٪ مطابق با استاندارد اروپایی BS EN-934-2می‌باشد . علاوه بر فوق روان کننده ازVMA به‌عنوان اصلاح‌کننده لزجت جهت کنترل ناپایداری بتن خودتراکم که از خانواده میکروبال پلی ساکارید که پودری سفیدرنگ است استفاده گردید. این افزودنی شیمیایی دارای وزن مخصوص gr/cm^3 ۱/۰۷، گرانروی ۵۵۰۰-۳۰۰۰ پوآز و PH ۱۲-۱۱ می‌باشد.

۲-۲ مبانی طرح اختلاط و روش ساخت بتن های خودتراکم:

در این کار آزمایشی ما ۳ طرح اختلاط مبنا معمولی که همه اجزا ثابت فقط سیمان به ترتیب ۴۲۵،۴۰۰و ۴۵۰ کیلوگرم استفاده شده است. پس از ساخت۱۰ سری بتن با درصد جایگزینی سرباره های درشت و ریز متفاوت بهینه ترین حالت طرح بر اساس آزمایش کارایی و خواص سخت شده را انتخاب و با سیمان های ۴۲۵ و ۴۵۰ کیلوگرم نیز آن طرح ها را می‌سازیم و هدف از این کار بررسی افزایش مقدار مواد پودری در نسبت آب به سیمان ثابت بر خصوصیات بتن تازه و سخت شده می‌باشد.معمولاً در بتن‌های خود تراکم برای جلوگیری از جداشدگی و آب انداختگی تمایل به استفاده از سنگ‌دانه با حداکثر سایز کمتر می‌باشد. سرباره های درشت دانه بادامی با حداکثر بعد دانه ۱۲/۵ میلی‌متر و نخودی الک $\frac{۳}{۸}$ اینچ است با نسبت های ۱۰، ۲۰و۳۰ درصد جایگزین سنگدانه درشت در طرح های فوق گشته است. مقدار جایگزینی ۴۰ درصد سرباره نیز آزمایش شده است ولی سبب انسداد و بتن خودتراکم نشده است. در بتن با سیمان ۴۰۰ کیلوگرم بر اساس یک طراحی آزمایش درصد فوق روان کننده را از ۱/۵درصد وزنی سیمان تا مقدار ۳ درصد افزایش داده و مقدار VMA نیز متناسب با فوق روان کننده جهت کنترل و اصلاح ویسکوزیته و جلوگیری از ناپایداری بتن بالا رفته است و به مقدار ۱۰۰گرم رسیده است. توانستیم بتن خودتراکم خوبی با ۱۰۰درصد جایگزینی سرباره درشت تولید کنیم.

جدول۳ :طرح مخلوط های(SCC) با سرباره درشت

مصالح (Kg/m³)	ماسه	شن نخودی ۳/۸ اینچ	شن بادامی ۱/۲ اینچ	سرباره بادامی ۱/۲ اینچ	سرباره نخودی۳/۸ اینچ	سیمان تیپ۵	آب	پودر سنگ سیلیس	فوق روان کننده	VMA
SCC1طرح اختلاط مرجع	۱۰۹۸	۳۸۴/۳	۱۶۴/۷	-	-	۴۰۰	۱۵۶	۱۷۵	۶/۴۶۶	۲۶
SCC2طرح اختلاط ۱۰درصد سرباره درشت	۱۰۹۸	۳۴۵/۸۴	۱۴۸/۲۳	۱۶/۴۷	۳۸/۴۳	۴۰۰	۱۵۶	۱۷۵	۶/۴۶۶	۲۶
SCC3طرح اختلاط ۲۰درصد سرباره درشت	۱۰۹۸	۳۰۷/۴۴	۱۳۶/۷۶	۳۲/۹۴	۷۶/۸۶	۴۰۰	۱۵۶	۱۷۵	۶/۴۶۶	۲۶
SCC3طرح اختلاط ۳۰درصد سرباره درشت	۱۰۹۸	۲۶۹/۰۱	۱۱۵/۲۹	۴۹/۴۱	۱۱۵/۲۹	۴۰۰	۱۵۶	۱۷۵	۶/۴۶۶	۲۶
طرح طرح اختلاط ۴۰درصد SCC4 سرباره درشت	۱۰۹۸			۶۵/۸۸	۱۵۳/۷۲	۴۰۰	۱۵۶	۱۷۵	۶/۴۶۶	۲۶
SCC5طرح اختلاط ۱۰۰درصد سرباره درشت	۱۰۹۸			۷/۱۶۴	۳۸۴/۳	۴۰۰	۱۵۶	۱۷۵	۶/۴۶۶	۱۰۰

سرباره ریز۰-۶ میلی‌متر نیز مانند بالا به ترتیب با نسبت های ۲۰،۱۰ و۳۰درصد جایگزین ماسه طبیعی بهبهان گشته است .جدول طرح اختلاط به شرح زیر است:

جدول ۴ :طرح اختلاط های بتن با سرباره ریز ماسه ۰-۶

مصالح(Kg/m³)	ماسه	شن نخودی۳/۸ اینچ	شن بادامی ۱/۲ اینچ	ماسه سرباره ای میلی‌متر۶ -۰	سیمان تیپ۵	آب	پودر سنگ سیلیس	فوق روان کننده	VMA
طرح اختلاط مرجعSCC1	۱۰۹۸	۳۸۴/۳	۱۶۴/۷	-	۴۰۰	۱۵۶	۱۷۵	۶/۴۶۶	۲۶
طرح اختلاط ۱۰درصد SCC2 سرباره ریز	۹۸۸/۲	۳۸۴/۳	۱۶۴/۷	۱۰۹/۸	۴۰۰	۱۵۶	۱۷۵	۶/۴۶۶	۲۶
طرح اختلاط ۲۰درصد SCC3 سرباره ریز	۸۷۸/۴	۳۸۴/۳	۱۶۴/۷	۲۱۹/۶	۴۰۰	۱۵۶	۱۷۵	۶/۴۶۶	۲۶
طرح اختلاط ۳۰درصد SCC4 سرباره ریز	۷۶۸/۶	۳۸۴/۳	۱۶۴/۷	۳۲۹/۴	۴۰۰	۱۵۶	۱۷۵	۶/۴۶۶	۲۶

حداکثر تا ۳۰ درصد توانستیم سرباره جایگزین کنیم و با جایگزینی ۴۰ درصد سرباره افت شدید کارایی مشاهده شده است. سرباره ریز را نیز مانند سرباره درشت تا ۱۰۰ درصد جایگزین ماسه طبیعی کرده ایم ولی بتن با وجود فوق روان کننده زیاد (۴درصد وزنی سیمان) باز هم خودتراکم نشده است ویک بتن تقریباً روان با اسلامپ ریزشی معمولی شده است. دلایل این اتفاق چگالی بالای سرباره فولادی و همچنین حجم بالای ریزدانه در بتن خودتراکم است که متأسفانه سنگدانه در خمیر سیمان معلق نمانده است و دچار ناپایداری استاتیکی و دینامیکی در بتن خودتراکم شده ایم.موارد ناپایداری مشاهده شده شامل جداشدگی سنگدانه از خمیر سیمان و همچنین آب انداختگی شدید می‌باشد. به منظور بررسی تاثیر افزایش پودر در بتن های خودتراکم، دو نماینده بهینه از بتن های سرباره ای شامل (سرباره درشت ۲۰ درصد و سرباره ریز ۱۰ درصد) انتخاب نموده و بتن های خودتراکم با سیمان ۴۲۵ و ۴۵۰ کیلوگرم و نسبت آب به سیمان ثابت ۰/۳۹ ساخته ایم که طرح اختلاط این بتن ها در جدول زیرآمده است.

جدول ۵: طرح اختلاط های بتن های خودتراکم با سیمان های متفاوت

مصالح(Kg/m^3)	ماسه	ماسه سرباره ۰-۶ میلی-متر	شن نخودی ۳/۸ اینچ	شن بادامی ۱/۲ اینچ	سرباره بادامی۱/۲اینچ	سرباره نخودی ۳/۸اینچ	سیمان تیپ۵	آب	پودر سنگ سیلیس	فوق روان کننده	VMA
طرح اختلاط بتن مرجع1 -C425	۱۰۹۸	-	۳۸۴/۳	۱۶۴/۷	-	-	۴۲۵	۱۶۵/۷۵	۱۷۵	۶/۴۶۶	۲۶
طرح اختلاط 20درصد سرباره درشت-C425	۱۰۹۸	-	۳۰۷/۴۴	۱۳۱/۷۶	۳۲/۹۴	۷۶/۸۶	۴۲۵	۱۶۵/۷۵	۱۷۵	۶/۴۶۶	۲۶
طرح اختلاط ۱۰ درصد سرباره ریز-C425	۹۸۸/۲	۱۰۹/۸	۳۸۴/۳	۱۶۴/۷	-	-	۴۲۵	۱۶۵/۷۵	۱۷۵	۶/۴۶۶	۲۶
طرح اختلاط بتن مرجع C۴۵۰ -۲	۱۰۹۸		۳۸۴/۳	۱۶۴/۷	-	-	۴۵۰	۱۷۵/۵	۱۷۵	۶/۴۶۶	۲۶
طرح طرح اختلاط۲۰درصد سرباره درشت-C450	۱۰۹۸	-	۳۰۷/۴۴	۱۳۱/۷۶	۳۲/۹۴	۷۶/۸۶	۴۵۰	۱۷۵/۵	۱۷۵	۶/۴۶۶	۲۶
طرح اختلاط ۱۰ درصد سرباره ریز-C450	۹۸۸/۲	۱۰۹/۸	۳۸۴/۳	۱۶۴/۷	-	-	۴۵۰	۱۷۵/۵	۱۷۵	۶/۴۶۶	۲۶

برای ساخت بتن، ابتدا سیمان و پودر سنگ به مدت ۳۰ ثانیه درون میکسر مخلوط می‌شود سپس کل سنگ‌دانه‌ها درون میکسر ریخته می‌شود، بعد از گذشت ۳ دقیقه $\frac{۱}{۳}$ وزنی آب به همراه ابر روان کننده به مخلوط اضافه می‌شود. $\frac{۱}{۳}$ دیگر از آب بعد از سپری شدن ۲ دقیقه به مخلوط اضافه می‌شود. مقدار آب باقی‌مانده را همراه با VMA بعد از گذشت ۲ دقیقه به درون میکسر اضافه کرده و به بتن اجازه می‌دهیم تا به مدت ۵/۵ دقیقه مخلوط شود. در طول این مدت عمل میکس کردن بتن ۱ دقیقه متوقف می‌گردد.بلافاصله پس از پایان یافتن فرآیند مخلوط کردن بتن، آزمایش‌های بتن تازه روی مخلوط‌ها انجام می‌گیرد. همچنین پس از انجام بخشی از آزمایش‌های تازه، نمونه‌گیری از بتن برای انجام آزمایش‌های منتخب سخت شده انجام می‌گیرد. این نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در داخل قالب و در فضای کنترل‌شده با دمای ۲±۲۲ درجه سلسیوس و مرطوبت نگهداری می‌شوند. سپس نمونه‌های مقاومت فشاری و کششی از قالب خارج‌شده و به

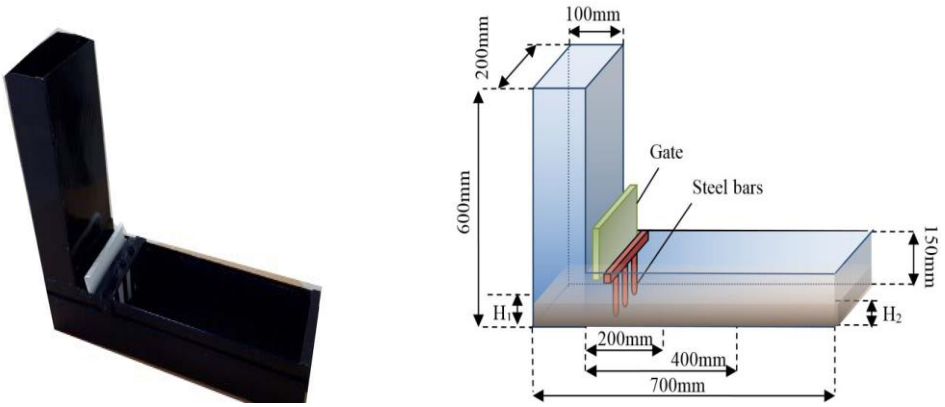
مخزن عمل‌آوری آب با دمای ۲±۲۰ درجه سلسیوس منتقل گردیده و تا سنین انجام آزمایش در این وضعیت نگهداری می‌شوند. نمونه‌های مکعبی ۱۵۰×۱۵۰ میلی‌متری جهت آزمایش مقاومت فشاری در نظر گرفته شدند و نمونه‌های استوانه‌ای به قطر ۱۵۰ میلی‌متر و ارتفاع ۳۰۰ میلی‌متر به‌منظور انجام آزمایش مقاومت کششی دونیم شدن در نظر گرفته‌شده‌اند.

۳-۲ آزمایشات تازه بتن خودتراکم :

آزمایش جریان اسلامپ و زمان(T_{50}) : این آزمایش پرکاربردترین آزمایش بتن خودتراکم بوده و روشی برای سنجش قابلیت پرکنندگی این بتن و به منظور تعیین توانایی تغییر شکل بتن تحت اثر وزن خودش و بدون هیچ مانعی بجز اصطکاک صفحه جریان می-باشد .

شکل۴: قطر جریان بازشدگی و محاسبه آن

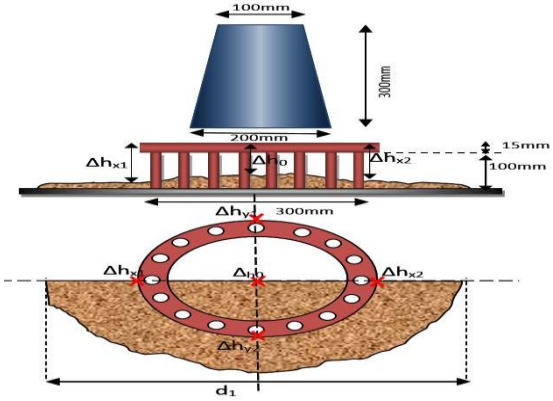
آزمایش جعبهLشکل(L_{BOX}): این آزمایش به منظور سنجش قابلیت عبور بتن خودتراکم و قابلیت پرکنندگی است.همچنین می-توان جداشدگی و یا عدم جداشدگی محتمل را چشمی مشاهده کرد.



شکل۵:جعبهL

شکل۶: بتن خودتراکم در حال عبور در جعبه L

آزمایش حلقهj(jring) : این آزمایش سنجش توانایی پر کنندگی و قابلیت عبور در بتن خودتراکم است و به نوعی شبیه سازی عبور بتن از بین موانع مانند آرماتورهای متراکم در سازه بتن آرمه است.قابلیت عبور بتن تازه متأثر از دو پارامتر اصلی تنش تسلیم و ویسکوزیته خمیری می‌باشد .



شکل۷:حلقه J

شکل۸: نحوه انجام آزمایش حلقهJ

آزمایش قیفv: این آزمایش برای سنجش توانایی پرکنندگی بتن خودتراکم می‌باشد. با توجه به نحوه خروج بتن در این آزمایش لزجت خمیری نیز توصیف می‌شود.همچنین می‌توان این آزمایش را معیاری برای تعیین جداشدگی بتن دانست.

شکل۹ : قیف v

۴-۲ آزمایشات سخت شده بتن ها:

آزمایش مقاومت فشاری بتن‌ها طبق استاندارد BS 1881:PART 11 [۲۳] در سنین ۷،۳و۲۸ روز پس از عمل آوری اشباع بتن ها با استفاده از ۳ نمونه مکعبی ۱۵۰×۱۵۰×۱۵۰ میلی‌متر و با استفاده از جک فشاری بتن محاسبه می‌گردد.نتیجه نهایی میانگین ۳ عدد مقاومت می‌باشد.

آزمایش مقاومت کششی دونیم شدن طبق استانداردASTMC496 M-04 [۲۴] در سنین ۷،۳و۲۸ روز پس از عمل آوری اشباع بتن ها با اعمال نیروی فشاری قطری روی طول نمونه استوانه‌ای بتن با سرعتی در محدوده مناسب تا گسیختگی نمونه انجام می‌شود.

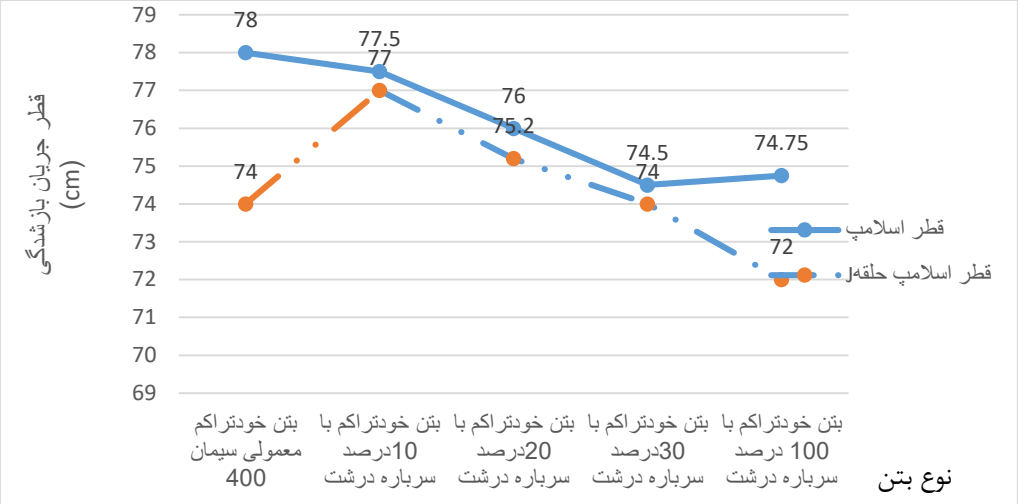
شکل۱۰: آزمایش مقاومت فشاری و کششی و بتن شکسته شده بعد از مقاومت کششی به ترتیب از چپ به راست

۳- بحث و نتایج آزمایشات تازه و سخت شده

۳-۱ نتایج تازه

جدول ۶: نتایج آزمایش بتن در حالت تازه با سرباره درشت

نام آزمایش / نوع بتن	قطر جریان اسلامپ	زمان ۵۰t	قطر جریان اسلامپ حلقهj	زمان۵۰tj	اختلاف اسلامپ با حلقه j	قابلیت عبورPj	زمان معمولی قیفV	زمان ۵دقیقه قیفV	نسبت انسداد جعبهL	وزن مخصوص تازه بتن
بتن خودتراکم معمولی سیمان ۴۰۰	۷۸	۳	۷۴	۳/۵	۴	۰	۶	۷	۱	۲۴۴۶
بتن خودتراکم با ۱۰درصد سرباره درشت	۷۷/۵	۳	۷۷	۳/۵	۰/۵	۰/۴۵	۶/۵	۸/۵	۱	۲۵۱۶
بتن خودتراکم با ۲۰درصد سرباره درشت	۷۶	۳/۵	۷۵/۲	۴	۰/۸	۱/۱	۶/۵	۹	۰/۹	۲۶۰۷
بتن خودتراکم با ۳۰درصد سرباره درشت	۷۴/۵	۴	۷۴	۴/۵	۰/۵	۰/۷۵	۷	۱۰	۰/۹	۲۶۵۴
بتن خودتراکم با ۴۰ درصد سرباره درشت(بتن خودتراکم نشده است)	_	_	۷۱	۳	_	بسیارنامناسب است .تجمع در مرکز و انسداد رخ داده است	۶	_	_	۲۶۸۹
بتن خودتراکم با ۱۰۰ درصد سرباره درشت	۷۴/۷۵	۳	۷۲	۴	۲/۷۵	۰/۸۷۵	۸/۵	۱۰/۵	۰/۸۷۵	۲۷۲۰

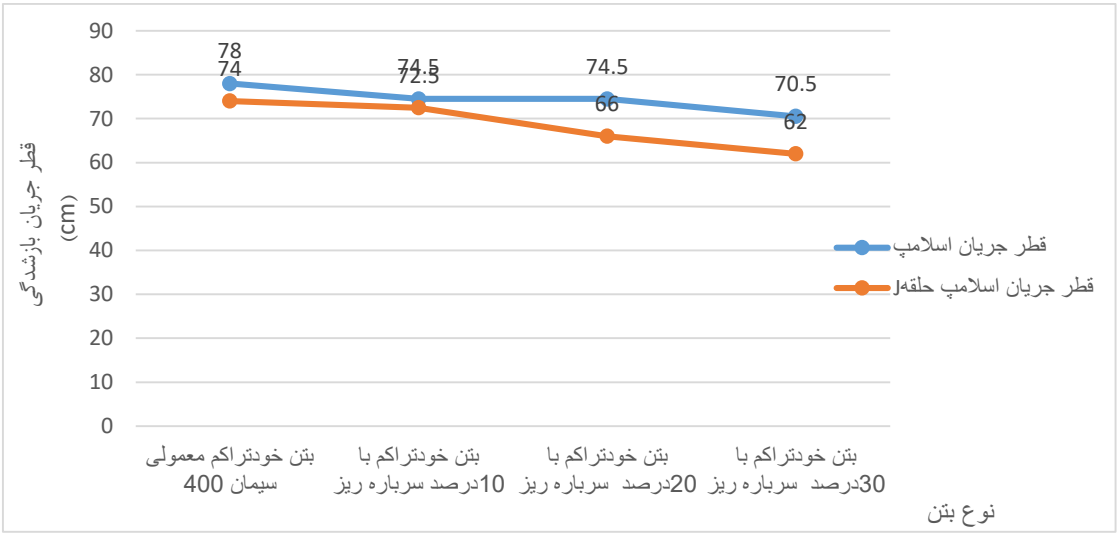


شکل۱۱: قطر جریان اسلامپ با جایگزینی سرباره درشت

با توجه به جدول ۶، بتن های (معمولی،۱۰و۲۰ درصد سرباره درشت) در رده SF3 و بتن های ۳۰درصد و ۱۰۰درصد سرباره در رده SF2 قرار می‌گیرند. هر دو رده این بتن ها برای کاربری های معمول ساختمان مناسب است ولی SF3 در مقاطع با تراکم بالای آرماتور بسیار مناسب تر است . با توجه به قطر جریان اسلامپ مشاهده می‌شود با افزایش درصد سرباره ما کاهش در کارایی بتن را به همراه داریم و متأثر از این است که ۱-سرباره چگالی بالایی دارد پس درصد جایگزینی آن باعث کاهش در قابلیت حمل بتن می‌شود.۲- از نظر شکل ظاهری و بافت سطحی تیزگوشه و خشن تر از سنگدانه های معمولی است و همین امرنیز در کاهش کارایی بتن خودتراکم تأثیر دارد. تمامی بتن های خودتراکم ساخته شده به لحاظ مشاهده بصری دچار هیچگونه ناپایداری نشده اند و از لحاظ توانایی جریان یافتن بسیار خوب هستند. کمی روند سیل نزولی در قطر جریان با افزایش درصد سرباره مشاهده می‌شود ولی با این حال بتن ها در محدوده قابل قبولی هستند. با افزایش درصد سرباره زمان رسیدن به قطر اسلامپ ۵۰سانتی متر افزایش یافته است.این افزایش در زمان از ۲۰درصد جایگزینی سرباره شروع می‌شود و در بتن با ۳۰ درصد جایگزینی به زمان ۴ ثانیه رسیده که بالا ترین زمان موجود بوده است. بر اساس راهنمایEFNARC زمان ۳تا ۷ ثانیه برای کاربرد های متداول ساختمانی مناسب است. در این بازه زمانی بودن به عبارتی نشان دهنده این است که ویسکوزیته و تنش تسلیم بتن در حد متعادلی است. در بتن با ۱۰۰درصد جایگزینی سرباره درشت درصد فوق روان کننده ۳ درصد وزنی سیمان است. زمان رسیدن به قطر ۵۰ سانتی متر ۳ ثانیه است و قطر پخش شدگی نهایی آن نسبت به بتن های خودتراکم معمولی،۱۰و۲۰ درصد سرباره کمتر شده ولی از بتن خودتراکم با ۳۰ درصد سرباره بیشتر می‌باشد.دلیل کاهش قطر جریان در این بتن چگالی بالای آن نسبت به سایر بتن ها و همچنین به دلیل اصطکاک بیشتر ذرات سرباره با خمیر سیمان امکان جریان پذیری و قدرت حمل سرباره در بتن کاهش یافته است و به عبارتی ویسکوزیته داخلی بتن نیز افزایش یافته است. از لحاظ توانایی عبور تمامی بتن ها نسبت انسداد بالای ۰/۸ داشته اند و عدد مورد قبول استاندارد است و هر چه این عدد به ۱ نزدیک تر شود توانایی عبور بتن بسیار بالاتر می‌رود ولی باید مراقب ایجاد جداشدگی سنگدانه و آب انداختگی باشیم. با افزایش درصد جایگزینی سرباره روند نزولی کمی در نسبت انسداد داشته ایم به گونه ای که در بتن با ۱۰۰ درصد سرباره کمترین نسبت انسداد را داشته ایم .دلیل این کاهش نسبت انسداد، باقی ماندن حجم کمی از سنگدانه های سرباره ای در پشت میلگرد های جعبه L می‌باشد که باعث ایجاد اختلاف ارتفاعی بیشتری نسبت به سایر بتن های خودتراکم شده است . با افزایش درصد جایگزینی سرباره زمان خروج بتن از قیف V در زمان معمولی و همچنین زمان ۵ دقیقه افزایش یافته است و حاکی از افزایش ویسکوزیته در بتن است. در بتن با ۱۰۰ درصد جایگزینی سرباره درشت این زمان به بیشترین مقدار خود رسیده است. بر طبق استاندارد زمان ۶تا ۱۲ ثانیه برای زمان خروجی معمولی و حداکثر ۳ ثانیه بیشتر از زمان معمولی برای زمان خروج ۵ دقیقه مجاز شمرده شده است.

جدول ۷: نتایج آزمایش بتن تازه با سنگدانه سرباره ریز دانه

نتایج آزمایش / نوع بتن	قطر جریان اسلامپ	زمان ۵۰t	قطر جریان اسلامپ حلقهj	زمان j۵۰t	اختلاف اسلامپ با حلقه j	قابلیت عبورPj	زمان معمولی قیفV	زمان ۵دقیقه قیفV	نسبت انسداد جعبهL	وزن مخصوص تازه بتن
بتن خودتراکم معمولی سیمان ۴۰۰	۷۸	۳	۷۴	۳/۵	۴	۰	۶	۷	۱	۲۴۴۶
بتن خودتراکم با ۱۰درصد سرباره ریز	۷۴/۵	۳	۷۲/۵	۴	۲	۰/۵	۷	۸	۰/۹	۲۵۵۲
بتن خودتراکم با ۲۰درصد سرباره ریز	۷۴/۵	۳	۶۶	۴	۸/۵	۰/۶۵	۸	۱۲	۰/۸۹۴	۲۶۵۰
بتن خودتراکم با ۳۰درصد سرباره ریز	۷۰/۵	۳	۶۲	۴	۸/۵	۰/۷	۱۳	۱۶	۰/۸۴۲	۲۶۶۳
بتن با ۱۰۰ درصد سرباره (خودتراکم نشده است)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	۲۷۹۸



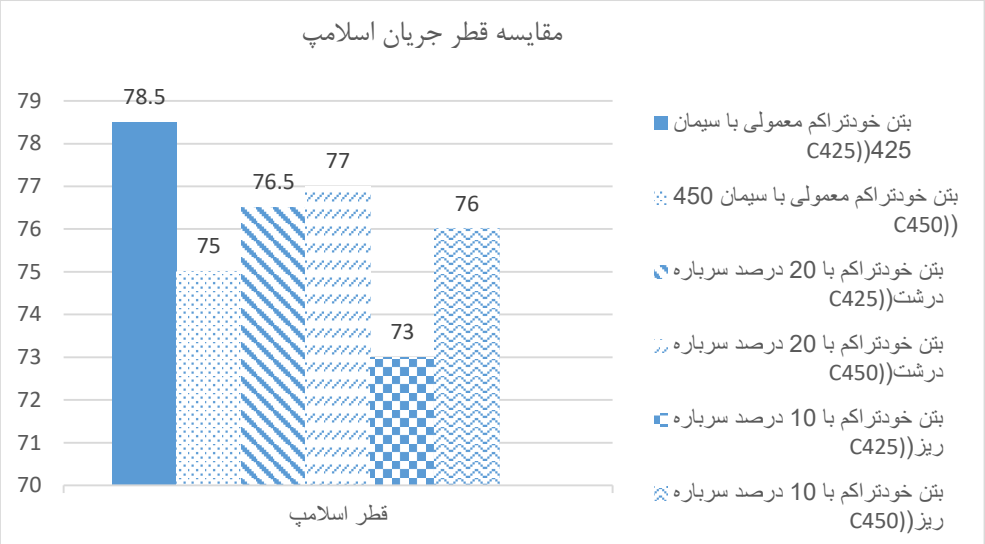
شکل۱۲: قطر جریان اسلامپ با جایگزینی سرباره ریز

با توجه به جدول۷ با افزایش درصد سرباره ریز قطر جریان اسلامپ کاهش می‌یابد وبه دلیل اینکه مقدار ماسه در بتن خودتراکم ۷۰ درصد از حجم سنگدانه ها است با جایگزینی آن با سرباره ریز وزن بیشتری از ماسه جایگزین می‌گردد، بنابراین حتی قبل از ساخت بتن نیز می‌توانستیم حدس بر کاهش کارایی بزنیم این کاهش کارایی متأثر از چگالی بالای سرباره ریز و همچنین مدول نرمی بالای آن و درشت بودن ذرات آن است. تمامی بتن ها با جایگزینی سرباره ریز در رده SF2 قرار می‌گیرند.جایگزینی مقادیر سرباره ریز بیش از ۳۰ درصد با طرح اختلاط فعلی امکان پذیر نبوده و باید از مقادیر بیشتری فوق روان کننده استفاده کنیم. زمان رسیدن به قطر جریان ۵۰ سانتی متر در تمامی بتن ها یکسان و در حدود ۳ ثانیه بوده است. شاید خطای ناچیز غیر عمدی انسانی در محاسبه زمان رسیدن به قطر ۵۰ در نتایج این بتن ها دخالت داشته باشد ولی در تمامی بتن ها زمان رسیدن به قطر جریان ۵۰ سانتی متر کمتر از ۴ ثانیه می‌باشد. دلیل دیگر می‌تواند این باشد که با جایگزینی سرباره هر چه بتن چگال تر می‌شود زمان رسیدن به قطر جریان ۵۰ سانتی‌متر تحت وزن خودش بیشتر شده و جریان اولیه بالایی داشته باشد ولی پس از طی کردن مسافتی بتن سرباره ای زودتر از بتن معمولی بدون سرباره از

حرکت نهایی متوقف می‌شود و به همین دلیل است قطر جریان نهایی کمتری نسبت بتن بدون سرباره دارد. توانایی جاری شدن اولیه بهتر در بتن های سرباره ای نشان دهنده کاهش تنش تسلیم اولیه در هنگام جاری شدن این بتن ها است. -همانطور که در نمودار مشخص است ،قطر جریان حلقه j با افزایش درصد جایگزینی سرباره کاهش یافته است. بر اساس اختلاف قطر جریان اسلامپ و قطر حلقه j ، بتن خودتراکم معمولی در رده دوم با احتمال بلوکه شدگی جزیی ،بتن خودتراکم با ۱۰ درصد سرباره در رده اول و بدون بلوکه شدگی،در بتن خودتراکم با ۲۰ و۳۰ درصد سرباره اختلاف ۸/۵ سانتی دارد که این در رده سوم و احتمال بلوکه شدگی زیاد می‌باشد. به عبارتی این درصد جایگزینی بسیار خطرناک برای بتن خودتراکم است و خطر بسیار جدی در انسداد ممکن است وجود داشته باشد. -زمان رسیدن به قطر ۵۰ سانتی متر مانند آزمایش اسلامپ به یک عدد رسیده است و نشان از رسیدن بتن های خودتراکم سرباره ای به زمان قطر جریان یکسان می‌باشد و این نتیجه ای قابل تأمل است. زمان خروج بتن از قیفV ۶تا۱۲ ثانیه طبق راهنمای EFNARC مجاز شمرده شده است. در بتن های معمولی،۱۰ و۲۰ درصد جایگزینی سرباره این زمان مجاز بوده است ولی در بتن با ۳۰ درصد جایگزینی زمان ۱۳ ثانیه حاصل شده است. به عبارتی ویسکوزیته بتن بسیار افزایش یافته است و به دنبال آن ما کاهش کارایی در بتن را ارزیابی کرده ایم و ممکن است در هنگام بتن ریز در اجرا مشکلاتی از قبیل توانایی عبور و جریان کم و همچنین احتمال ناپایداری در آن رخ دهد. زمان خروج ۵ دقیقه بتن در قیف V می‌تواند حداکثر ۳ ثانیه اختلاف با زمان خروج معمولی داشته باشد .در بتن تا ۱۰ درصد سرباره این اختلاف ۱ ثانیه است و قابل قبول ولی در بتن با ۲۰ درصد سرباره ۴ ثانیه و در بتن با ۳۰ درصد سرباره ۳ثانیه شده است. به عبارتی با افزایش درصد جایگزینی سرباره به دلیل افزایش ویسکوزیته بتن در طول مدت زمان ۵ دقیقه سکون در قیفV باعث گشته است که اختلاف نتیجه مجاز بین زمان خروج معمولی و زمان خروج ۵ دقیقه به حداکثر مقدار خود برسد.

جدول ۸: نتایج آزمایشات تازه برای بتن های خودتراکم با سیمان متفاوت

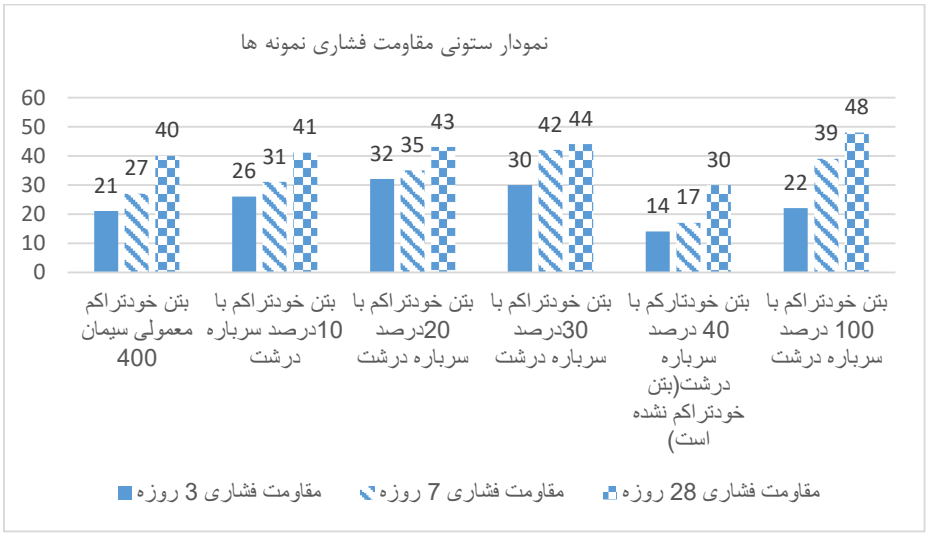
نتایج آزمایش / نوع بتن	قطر اسلامپ	زمان قطر t50	وزن مخصوص تازه بتن
بتن خودتراکم معمولی با سیمان ۴۲۵(۴۲۵C)	۷۸/۵	۴	۲۴۷۷
بتن خودتراکم با ۲۰ درصد سرباره درشت(۴۲۵C)	۷۶/۵	۳/۵	۲۶۳۸
بتن خودتراکم با ۱۰ درصد سرباره ریز(۴۲۵C)	۷۳	۴	۲۵۸۳
بتن خودتراکم معمولی با سیمان ۴۵۰ (۴۵۰C)	۷۵	۳	۲۴۹۶
بتن خودتراکم با ۲۰ درصد سرباره درشت(۴۵۰C)	۷	۳	۲۶۵۷
بتن خودتراکم با ۱۰ درصد سرباره ریز(۴۵۰C)	۷۶	۳	۲۶۰۴



شکل۱۳ : مقایسه قطر جریان اسلامپ در بتن های خودتراکم با سیمان های مختلف

در بتن خودتراکم معمولی با افزایش مقدار سیمان در نسبت آب به سیمان ثابت شاهد کاهش قطر جریان اسلامپ به مقدار ۳/۵ سانتی‌متر بوده ایم. این رویداد به معنی کاهش توانایی جریان یافتن بتن خودتراکم با افزایش سیمان در نسبت آب به سیمان ثابت است. در بتن با ۲۰ درصد سرباره درشت با افزایش مقدار سیمان در نسبت آب به سیمان ثابت باعث افزایش قطر جریان اسلامپ به مقدار ناچیزی شده‌ایم. در بتن با ۱۰ درصد سرباره ریز، افزایش در مقدار سیمان در نسبت آب به سیمان ثابت باعث افزایش قطر جریان به اندازه ۳سانتی متر شده است. در کل مشاهده شده است که افزودن سرباره باعث ایجاد رفتاری معکوس نسبت به بتن معمولی خودتراکم شده است.عامل اصلی در کاهش قطر بازشدگی در بتن خودتراکم معمولی با افزایش سیمان افزایش تنش تسلیم بتن می‌باشد،زیرا که تنش تسلیم بیشتر سبب قطر بازشدگی کمتر می‌شود. حال در بتن های خودتراکم حاوی سرباره ریز و درشت عکس این رویداد رخ داده است و تنش تسلیم بتن ها کم شده است.

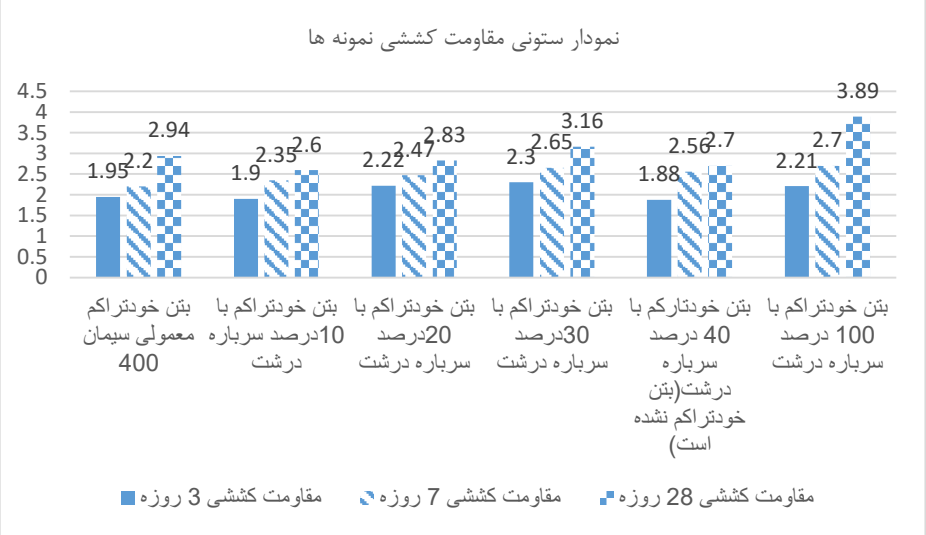
۲-۳نتایج مقاومت فشاری و کششی بتن های خودتراکم:



شکل ۱۴: نتایج مقاومت فشاری بتن های خودتراکم با سرباره درشت

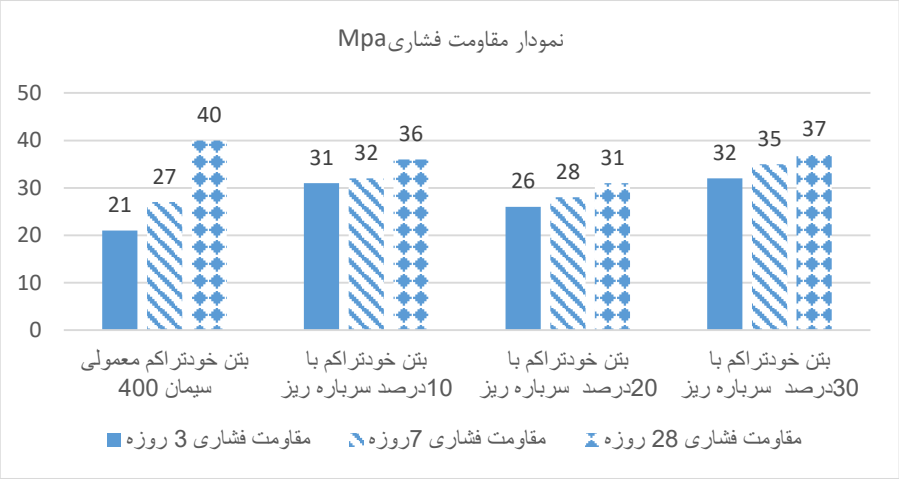
مقاومت ۳ روزه: بر اساس نمودار بتن خودتراکم معمولی به مقاومت ۲۱ مگاپاسکال رسیده است. با افزایش سرباره تا ۳۰ درصد ما شاهد رشد مقاومت در سن ۳روزه بوده ایم و در ۲۰و ۳۰ درصد سرباره در حدود۹تا ۱۱ مگاپاسکال مقاومت بیشتری حاصل شده است.بیشترین مقاومت مربوط به بتن با ۲۰ درصد جایگزینی سرباره درشت بوده است. در بتن خودتراکم با ۱۰۰ سرباره درشت مقاومت ۲۲ مگاپاسکال حاصل شده است و نزدیک به بتن خودتراکم معمولی شاهد ما می‌باشد. بتن با ۴۰ درصد سرباره با اینکه خودتراکم نبوده است ولی قالب گرفته شده است و به عنوان یک بتن با اسلامپ ریزشی نتایج مقاومتش ثبت شده است. مقاومت ۳ روزه آن ۱۴ مگاپاسکال و ضعیف است.

مقاومت ۷ روزه: با توجه به نمودار بتن دارای ۳۰ درصد سرباره دارای بیشترین مقاومت فشاری در بین تمامی بتن ها است و تقریباً ۱۵ مگاپاسکال مقاومتش بیشتر از بتن معمولی خودتراکم شاهد است. بتن با ۱۰۰ درصد سرباره درشت نیز ۱۲ مگاپاسکال مقاومتش بیشتر از بتن خودتراکم معمولی است. مقاومت ۲۸ روزه: بالاترین مقاومت مربوط به بتن با ۱۰۰ درصد جایگزینی سرباره درشت و ۴۸ مگاپاسکال است که ۸ مگپاسکال بیشتر از بتن معمولی خودتراکم شده است. بقیه بتن ها با افزایش درصد سرباره مقاومتی نزدیک به هم داشته اند و از ۴۰ تا ۴۴ مگاپاسکال با افزایش درصد سرباره مقاومت کسب کرده اند. از دلایل افزایش مقاومت بتن ها با جایگزینی سرباره می‌توان به تأثیر مستقیم خصوصیات فیزیکی سرباره بر ویژگی سخت شده بتن اشاره کرد و این خصوصیات سبب بهبود مقاومت در بتن های خودتراکم شده است.

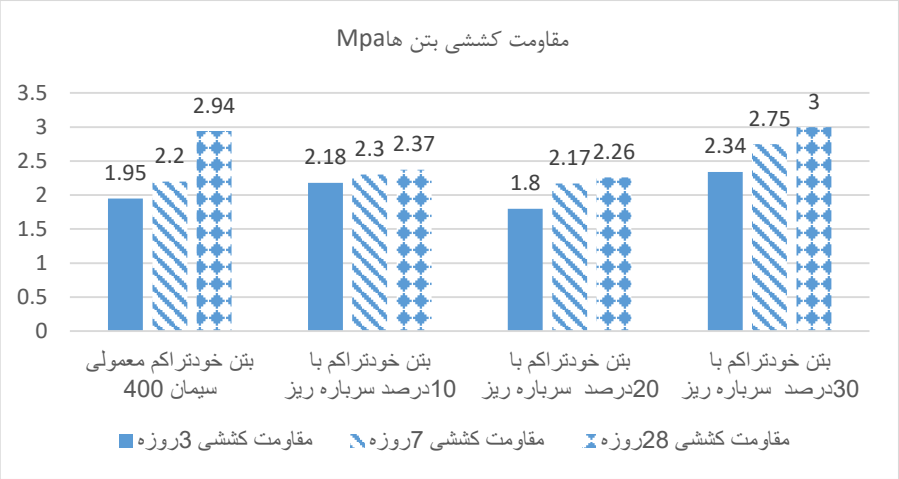


شکل۱۵: نتایج مقاومت کششی بتن های خودتراکم با سرباره درشت

با افزایش درصد سرباره افزایش در مقاومت کششی بتن ها نسبت به بتن معمولی در سنین ۳ و ۷ روزه مشاهده شده است. در سن ۲۸ روزه بتن معمولی خودتراکم به مقاومت کششی ۲/۹۴ مگاپاسکال رسیده است که از مقاومت بتن های ۱۰ و۲۰ درصد سرباره بیشتر است ولی نسبت به مقاومت بتن های ۳۰ و۱۰۰ درصد سرباره کمتر شده است. بیشترین مقاومت مربوط به بتن با ۱۰۰ درصد سرباره درشت و ۳/۸۹ مگاپاسکال شده است. روند رشد در مقاومت کششی بتن های با درصد جایگزینی ۳۰ و ۱۰۰ درصد سرباره می‌تواند با توجه به افزایش پیوستگی خمیر سیمان و سرباره باشد با توجه به شکل و بافت سطحی سرباره ها که این عامل همینطور در مقدمه به آن اشاره شده بود تأثیر مثبت بر ناحیه انتقال بتن داشته است. ناحیه انتقال ضعیف ترین حلقه در ریز ساختار بتن می‌باشد و اگر این ناحیه تقویت شود،سبب بهبود مقاومت بتن خواهد شد.

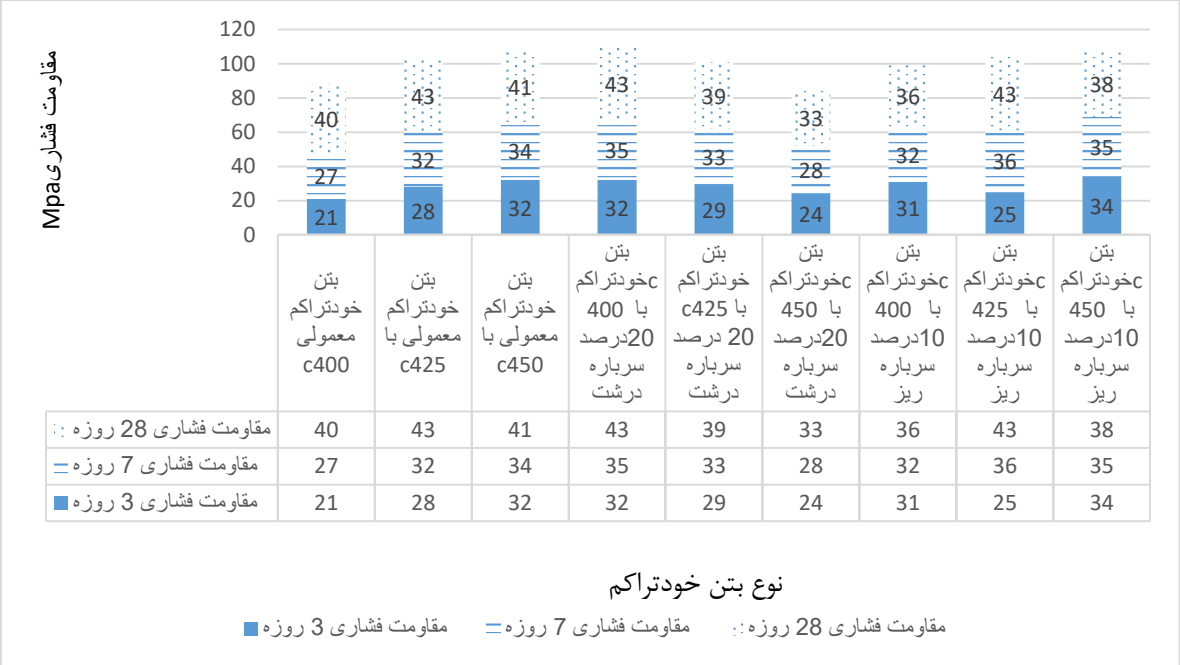


شکل۱۶: نتایج مقاومت فشاری بتن های خودتراکم با سرباره ریز

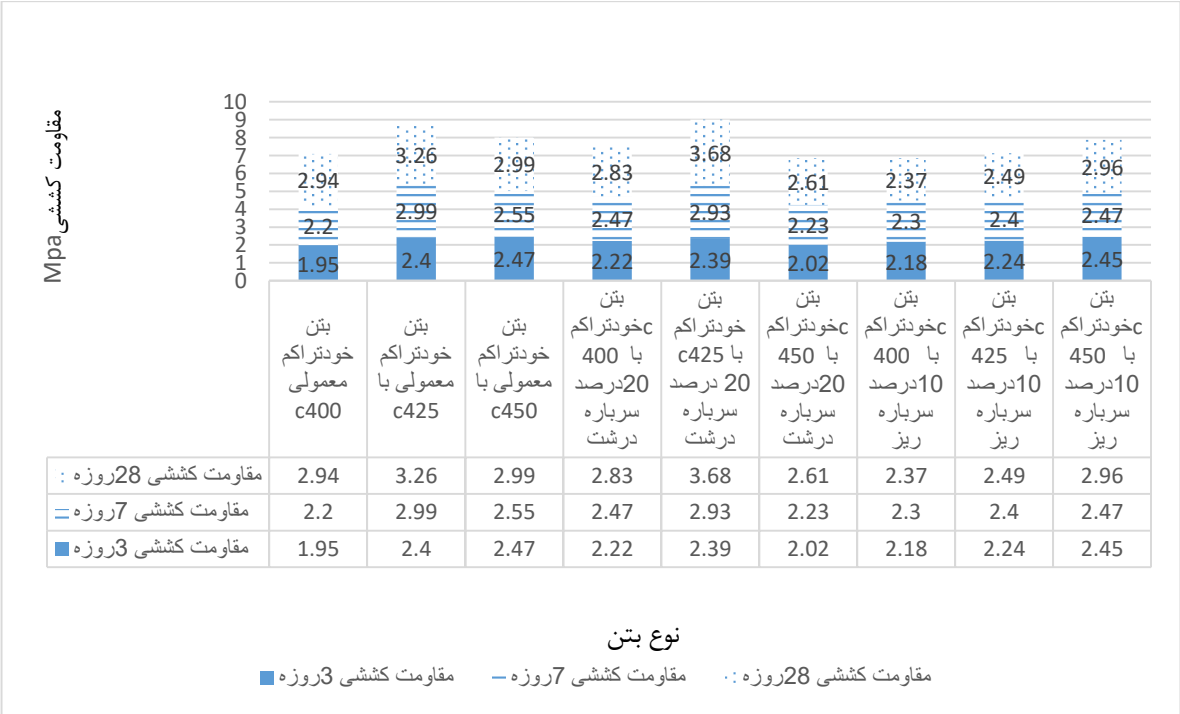


شکل۱۷: نتایج مقاومت کششی بتن های خودتراکم با سرباره ریز

با توجه به نمودار مقاومت فشاری بتن ها،با افزایش درصد سرباره شاهد رشد در مقاومت فشاری نمونه ها در سنین اولیه ۳و۷روزه بوده ایم ولی در سنین ۲۸ روزه بتن معمولی ما دارای بیشترین مقاومت فشاری بوده است و با افزایش سرباره کاهش در سن ۲۸ روزه را شاهد هستیم.دلیل اصلی کاهش مقاومت دانه بندی نامناسب سنگدانه ریز سرباره نسبت به ماسه طبیعی می‌باشد و کاهش در مقاومت بتن های حاوی سرباره متأثر از افزایش درجه تخلخل در بتن ها و تراکم کمتر می‌باشد. بتن با ۲۰ درصد جایگزینی سرباره ریز نسبت به بتن با ۱۰و۳۰ درصد سرباره مقاومت کششی کمتری در تمامی سنین داشته است. با افزایش درصد جایگزینی سرباره ریز شاهد رشد در مقاومت کششی بتن ها می‌باشیم ولی در درصد جایگزینی ۲۰ درصد کمترین نتایج نسبت به تمامی نمونه ها کسب شده است.



شکل ۱۸: مقاومت فشاری بتن های خودتراکم با سیمان های مختلف



شکل۱۹: مقاومت کششی بتن های خودتراکم با سیمان های متفاوت

با توجه به شکل ۱۸ : ۱ - در بتن خودتراکم معمولی در نسبت آب به سیمان ثابت با افزایش میزان سیمان از ۴۰۰ تا ۴۵۰ (kg/m^3)ما شاهد رشد مقاومت بالایی در سنین اولیه نسبت به بتن با سیمان ۴۰۰ کیلوگرم هستیم ولی در سن ۲۸ روز به مقاومت تقریباً یکسانی رسیده اند و بیشترین مقدار بتن با سیمان ۴۲۵ می‌باشد. ۲- با استفاده از سرباره درشت و ریز به مقدار ۲۰ و ۱۰ درصد در بتن با

سیمان ۴۰۰ مقاومت هایی در سنین اولیه و نهایی حاصل شده است که تقریباً نزدیک به بتن خودتراکم معمولی با سیمان ۴۵۰ است و به عبارتی تأثیر بسیار خوبی بر مقاومت بتن ها داشته است. ۳- بااستفاده از ۲۰ درصد سرباره و با افزایش مقدار سیمان از ۴۰۰تا ۴۵۰ کیلوگرم روند نزولی در مقاومت مشاهده شده است.

۳-۳ استدلال هایی بر کاهش مقاومت بر اساس مطالعاتی مشابه از تحقیقات قبلی به شرح زیر است:

الف: در بتن خودتراکم به خاطر نیاز به حجم خمیر بیشتر در طرح اختلاط، استفاده از عیارهای زیاد سیمان مرسوم می باشد و گاهی این افزایش میزان سیمان باعث عبور از مقدار بهینه مصرف سیمان می‌گردد که بر خلاف تصور عموم با افزایش هزینه و مصرف سیمان بیشتر، کاهش مقاومت فشاری را نیز به دنبال دارد. ۱۵ طرح اختلاط بتن با نسبت های آب به سیمان ۰/۳۴،۰/۳۷ و۰/۴ با سیمان های ۴۰۰تا ۵۰۰ و با افزایش ۲۵ کیلوگرم در هر مرحله ساخته شده.بالا رفتن سیمان بیش از ۴۲۵ کیلوگرم باعث کاهش مقاومت شده و عیار بهینه ۴۲۵ است. -دانه های سنگی در تماس مستقیم با یکدیگر نیستند و لایه نازکی از خمیر سیمان بین آنها می باشد، به عبارت دیگر سنگدانه ها توسط پوشش نازکی از دوغاب پوشیده شده اند. (ناحیه انتقال)ساختار ناحیه انتقال، بخصوص حجم حفرات و ترکهای ریز موجود در آن تأثیر عمده ای بر سختی و مدول ارتجاعی بتن دارند. در یک ماده مرکب، ناحیه انتقال همچون پلی بین دو جزء یعنی بخش خمیر ملات و دانه های درشت عمل می کند .با افزایش عیار سیمان این فاصله و پوشش افزایش می یابد و با افزایش حد معینی از عیار، قابلیت چسبانندگی دوغاب کم شده و می تواند باعث ایجاد ترک های موئینه در ناحیه انتقال گردد و در نتیجه کاهش مقاومت را شاهد می باشیم. -در نسبت های آب به سیمان ثابت با افزایش عیار سیمان شاهد افزایش جذب آب و درصد حفرات هستیم که این مسئله بیانگر افزایش نرخ نفوذپذیری به داخل بتن و در نتیجه پایین آمدن طول عمر و دوام بتن می باشد [۲۵].

ب: براساس تحقیق دکتر تدین در سال ۱۳۸۸ تحت عنوان اثر عیار سیمان بر جذب آب بتن[۲۶]مهمترین جز بتن که نقش چسباندن سنگدانه ها را ایفا می کند، سیمان می باشد. میزان عیار سیمان در هر متر مکعب بتن می تواند بر خواص فیزیکی و مکانیکی بتن تازه وسخت شده تاثیر گذار باشد. افزایش عیار سیمان با ثابت نگه داشتن نسبت آب به سیمان سبب افزایش جمع شدگی، افزایش فضاهای موئینه و متعاقب آن افزایش نفوذپذیری بتن و افزایش کارائی بتن خواهد شد. یکی از راهکار های حل این مشکل بر اساس تحقیقات دکتر رمضانیانپور در سال ۱۳۸۵، با افزایش سیمان از ۴۰۰تا ۵۰۰ در نسبت آب به سیمان ثابت ۰/۴ با افزایش سیمان مقدار فوق روان کننده در طرح اختلاط های ایشان کاهش داده شده است و مقاومت بتن های خودتراکم افزایش می‌یابد [۲۷].

۴- نتیجه گیری

۱-دانه بندی ذرات درشت سنگدانه های بهبهان و سرباره های فولاد خوزستان تقریباً نمودار و توزیع ذرات مشابه ای دارند ولی سنگدانه های ریز ماسه بهبهان و سرباره ی فولادی ۰-۶ میلی‌مترتوزیع ذرات متفاوتی دارند و آنچه مشاهده شده است همگنی برتر ماسه بهبهان نسبت به سرباره فولاد خوزستان است ومنحنی پیوسته تری به نمایش می‌گذارد. مدول نرمی ماسه بهبهان کمتر از مدول نرمی سرباره های فولاد خوزستان است که این به معنی ریزدانه تر بودن ذرات آن و مناسب تر بودن جهت استفاده در تولید بتن خودتراکم است.

۲- از نظر شکل ظاهری سنگدانه های بهبهان نامنظم و کمی گرد گوشه و سرباره های فولاد خوزستان دارای شکل ظاهری نامنظم و تیز گوشه است.از نظر بافت سطحی سنگدانه های بهبهان خشن و زبر و سرباره فولادی زبر و خشن و کمی کرمو می‌باشند.طبق مطالعات ممکن است تیز گوشه بودن و شکستگی داشتن در سنگدانه باعث ایجاد پیوند بین سنگدانه و خمیر سیمان بهتری به دلیل اصطکاک داخلی بیشتر سنگدانه با خمیر و به همین دلیل سبب افزایش مقاومت فشاری نمونه بتن بشود .

۳- حداکثر بعد سنگدانه درشت سرباره ای و سنگدانه معمولی در این تحقیق ۱۲/۵میلی‌متر یعنی الک معادل $\frac{1}{2}$ اینچ بوده است. این انتخاب به دلیل وزن مخصوص حقیقی بالای سرباره ها در حدود(۳۵۰۰ Kg/m3) می‌باشد و همچنین با توجه به شکل ظاهری و بافت سطحی سرباره ها که کمی تیز گوشه و زبر هستند باعث کاهش کارایی در مخلوط ها می‌گردد و همین عامل باعث چالش بزرگی در تولید بتن خودتراکم است بنا به مطالعات باید حداکثر بعد سنگدانه درشت به ۱۲/۵ میلی‌متر و کمتر تقلیل یابد تا بتوان قابلیت عبور را افزایش و احتمال جداشدگی دانه و انسداد را مخصوصاً در آزمایش جعبه L کاهش داد.

۴- به لحاظ خصوصیات تازه بتن در تمامی آزمایش ها عملکرد خوبی داشته است ولی با افزایش درصد سرباره تا ۳۰ درصد ما شاهد کاهش مقدار کمی در خصوصیات کارایی بتن بوده ایم که این می‌تواند به دلیل خصوصیات فیزیکی سرباره فولادی باشد. سرباره فولادی در آزمایش قیف V که به نوعی جهت ارزیابی ویسکوزیته و لزجت خمیری بتن نیز کاربرد دارد، با توجه به افزایش زمان تخلیه بتن از قیف باعث افزایش ویسکوزیته بتن به مقدار اندکی نیز گشته است. در تمامی بتن ها تا ۳۰ درصد جایگزینی ما شاهد ارضائ خصوصیات تازه بتن بودیم ولی با افزایش این درصد تا ۴۰ درصد باعث وقوع پدیده انسداد در آزمایش حلقهj و همچنین جعبه L بوده ایم .پس درصد بهینه برای خودتراکم بودن با توجه به این طرح اختلاط ما که اقتصادی نیز هست تا ۳۰ درصد می‌باشد. جهت استفاده از سرباره با جایگزینی بیش از ۳۰ درصد ما نیازمند اصلاح طرح اختلاط و ناگزیر به استفاده از فوق روان‌کننده بیشتری هستیم که موجب غیر اقتصادی شدن طرح می‌گردد ولی در مواردی که بتن با چگالی و مقاومت بالایی مد نظر باشد و همچنین بودجه کافی برای پروژه ای پر اهمیت اختصاص داده شود می‌توان این سرباره ها را تا ۱۰۰ درصد نیز در بتن خودتراکم جایگزین کرد.

۵-از لحاظ خصوصیات سخت شده بتن ، بتن ها مقاومت فشاری تقریباً یکسانی در حدود ۴۰تا۴۳ مگاپاسکال داشته اند که این مقاومت رضایت بخش است. نکته قابل توجه این بود که بتن با افزایش درصد سرباره از ۱۰ تا ۳۰ درصد کسب مقاومت بسیار خوبی درسنین اولیه ۳و ۷ روز داشته است و چیزی در حدود ۱۱مگاپاسکال بالاتر بوده است. بتن ها مقاومت کششی مناسبی در تمامی سنین داشته اند ولی بر طبق نتایج ما شاهد مقاومت کششی بالاتری در بتن هایی که سرباره در آن ها جایگزین شده بود هستیم.

۶- با توجه به اینکه هدف استفاده از هر چه بیشتر این ضایعات در ساخت بتن بوده ما سرباره درشت را ۱۰۰ درصد جایگزین درشت دانه کرده ایم و برای اینکه خاصیت خودتراکمی حاصل شود دوز فوق روان کننده بهینه برای این طرح ۳ درصد وزنی سیمان یا ۱۲کیلوگرم به ازای ۱مترمکعب ساخت بتن می‌باشد. بتن حاصل خصوصیات تازه و سخت شده قابل قبول داشته است. ۱۰۰ درصد جایگزینی سرباره هزینه فوق روان کننده را از ۶کیلوگرم به ازای یک متر مکعب بتن به ۱۲ کیلوگرم می‌رساند و این افزایش هزینه ای به دنبال دارد و کمی طرح را غیر اقتصادی کرده است، ولی به دنبال آن با جایگزینی ۱۰۰ درصد سرباره درشت ما ۳۵ هزار تومان کسر قیمت به ازای خرید یک تن شن معمولی داریم و همچنین خصوصیات مقاومتی بیشتری به نسبت بتن های خودتراکم دیگر داشته است.

۷-با توجه به مدول نرمی بالا و همچنین درشت بودن و چگالی بالای ماسه سرباره ای ۰-۶میلی‌متر بتن های خودتراکم سرباره ای کاهش کارایی به نسبت بتن خودتراکم معمولی داشته اند. با افزایش درصد سرباره ما شاهد کاهش خصوصیات تازه بتن های خودتراکم بوده ایم و بالاترین درصدی که توانسته ایم سرباره را جایگزین کنیم ۳۰ درصد بوده است . برای افزایش درصد جایگزینی سرباره به ناچار باید طرح اختلاط را تغییر دهیم .یکی از سعی خطاها جهت ساخت بتن با ۱۰۰ درصد سرباره ریز تغییر دوز فوق روان کننده از ۱/۶ درصدتا ۴ درصد وزنی سیمان یعنی ۱۶کیلوگرم برای ۱متر مکعب بتن بوده است. سرباره ریز چون ۷۰درصد از حجم سنگدانه را تشکیل می‌دهد حجم جایگزینی بالایی دارد و چگالی بتن را خیلی افزایش می‌دهد. ما در این تحقیق متوجه شده ایم که با افزایش دوز فوق روان کننده در عین حال که روانی بتن را افزایش می‌دهیم ولی خمیر سیمان قدرت نگهداری سرباره ها و معلق نگه داشتن سرباره ها در بتن را ندارد و ته نشینی و همچنین جداشدگی سنگدانه زیادی به همراه دارد و به عبارتی ما تنش تسلیم و ویسکوزیته را کاهش داده ایم و بتن خودتراکم نمی‌شود. در طرح اختلاط مبنا که هم اقتصادی است و مواد و مصالح بهینه ای استفاده شده است منطقی و اقتصادی نیست که برای این

هدف که درصد بالایی از سرباره ریز دانه را جایگزین کنیم تغییرات زیادی از جمله افزایش مواد پودری،افزایش فوق روان کننده تا این درصد بالا و همچنین استفاده از VMA بیشتر که همگی متغیر های زیادی هستند و نیازمند طراحی آزمایشات مجدد و به دنبال آن افزایش هزینه خیلی بیشتری برای ساخت بتن به همراه دارد را ایجاد کنیم. نکته قابل توجه در بتن های خودتراکم با سرباره ریز افزایش مقاومت در سنین اولیه ۳و ۷ روز نسبت به بتن معمولی خودتراکم ولی در سن ۲۸ روزه مقاومت بتن خودتراکم معمولی بیشتر از بتن های حاوی سرباره بوده است.

۸- بر اساس بتن های خودتراکم با سیمان های ۴۲۵ و ۴۵۰ کیلوگرم در مترمکعب ، جهت ارزیابی خواص تازه بتن های خودتراکم بر اساس آزمون جریان اسلامپ یافت شد که در بتن خودتراکم معمولی با افزایش مقدار سیمان در نسبت آب به سیمان ثابت ما کاهش قطر جریان اسلامپ را به همراه داریم.دقیقاً برعکس این رویداد برای بتن های خودتراکم با جایگزینی ۲۰ درصد سرباره درشت و ۱۰ درصد سرباره ریز افتاده است، فقط در بتن با سرباره درشت کمی افزایش قطر اسلامپ ولی در بتن با سرباره ریز حدوداً۳ سانتی متر قطر اسلامپ بزرگتر شده است. به خوبی در می‌یابیم که جایگزینی سرباره چه ریز و چه درشت تأثیر قابل توجه‌ای بر زمان جریان ۵۰ سانتی متر ندارد و تقریباً تمامی نتایج یکسان است . با توجه به نتایج مقاومت های فشاری در می‌یابیم که با افزایش سیمان در نسبت آب به سیمان ثابت و با افزایش درصد سرباره درشت تا ۲۰ درصد ما شاهد کاهش در مقاومت نسبت به بتن های معمولی خودتراکم و همینطور بتن خودتراکم با جایگزینی ماسه سرباره ای هستیم. از افزایش مقدار پودر(سیمان) در نسبت آب به سیمان ثابت با توجه به نتایج این پژوهش و همچنین با توجه به پژوهش های قبلی [۲۶،۲۵و۲۷] می‌توان دریافت که برای طرح اختلاط بتن خودتراکم مقدار سیمان بهینه ای وجود دارد و اگر از این مقدار پایین تر یا بالاتر رویم کاهش در مقاومت حاصل می‌شود و دلیل اصلی این کاهش مقاومت ضعیف شدن پیوند سنگدانه با خمیر سیمان یا همان مرز ناحیه انتقال در بتن می‌باشد و باید در طراحی مخلوط دقت شود که اگر مقدار سیمان را افزایش دادیم حتماً مقادیر فوق روان کننده را کمی کاهش دهیم تا از مسئله کاهش مقاومت جلوگیری شود.

پس از ارزیابی کلی نتایج در تمامی بتن های خودتراکم می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از سرباره های فولادی شرکت فولاد خوزستان علاوه بر جنبه اقتصادی که بسیار ارزان تر از مصالح طبیعی است ما با بکارگیری آن ها علاوه بر توجه کردن به اهمیت های گفته شده در توسعه پایدار (جنبه های زیست محیطی) بتن خودتراکم ارزان تر و همچنین با عملکرد سخت شده ای مشابه با بتن های خودتراکم و تا حدودی بیشتر در برخی موارد مانند جایگزینی ۱۰۰درصد سرباره درشت با بعد حداکثر دانه ۱۲/۵میلی‌متر به نوعی از ضایعات صنعتی توانسه ایم در حوضه مهندسی و تکنولوژی بتن استفاده کنیم. چگالی بتن خودتراکم سرباره‌ای به طور قابل توجه ای بالاتر از بتن خودتراکم معمولی است، بنابراین می‌تواند مناسب بتن برای کاربری های چگالی نیمه سنگین نیز باشد. ولی باید به این نکته نیز توجه نمود که بر اساس تحقیقاتی از محققین[۱۵-۱۶]در ارتباط با دوام بتن های ساخته شده با سرباره کوره قوس الکتریکی و با توجه به دوام کمتر این بتن ها نسبت به بتن معمولی بدون سرباره و همچنین نکته اساسی بالاتر بودن کربناسیون در اینگونه بتن ها که منجر به تشدید مکانیزم خوردگی آرماتور ها می‌شود، و همچنین با توجه به اینکه در کشور ایران تحقیقاتی در این زمینه صورت نگرفته است،پیشنهاد به تحقیقات جامع در خصوص دوام بتن های خودتراکم حاوی سرباره فولاد خوزستان می‌شود تا بتوان با دلایل کامل استفاده ایمن از سرباره های شرکت فولاد خوزستان را در تولید بتن تأیید نمود.

مراجع

[1] Abu-Eishah, S. I., El-Dieb, A. S., & Bedir, M. S. (2012). Performance of concrete mixtures made with electric arc furnace (EAF) steel slag aggregate produced in the Arabian Gulf region. Construction and Building Materials, 34, 249-256.

[2]Pellegrino, C., & Gaddo, V. (2009). Mechanical and durability characteristics of concrete containing EAF slag as aggregate. Cement and Concrete Composites, 31(9), 663-671.
[3]Shi, C., Wu, Z., Lv, K., & Wu, L. (2015). A review on mixture design methods for self-compacting concrete. Construction and Building Materials, 84, 387-398.
[4] Okamura, H. (1997). Self-compacting high-performance concrete. Concrete international, 19(7), 50-54.
[5] Shi, C., Wu, Z., Lv, K., & Wu, L. (2015). A review on mixture design methods for self-compacting concrete. Construction and Building Materials, 84, 387-398.
[6] Alyhya, W. S. (2016). Self-compacting concrete: mix proportioning, properties and its flow simulation in the V-funnel (Doctoral dissertation, Cardiff University).
[7] Tomasiello, S., & Felitti, M. (2010). EAF slag in self-compacting concretes. Facta universitatis-series: Architecture and Civil Engineering, 8(1), 13-21.
[8]Kumar Mehta, P., & Monteiro, P. J. M. (2013). Concrete: Microstructure, Properties, and Materials McGraw-Hill Professional.
[9] EFNARC, Specification, Guidelines for Self-compacting Concrete, European Federation of Producers and Applicators of Specialist Products for Structures, 2002.
[10] Monosi, S., Ruello, M. L., & Sani, D. (2016). Electric arc furnace slag as natural aggregate replacement in concrete production. Cement and Concrete Composites, 66, 66-72.
[11] Faleschini, F., Brunelli, K., Zanini, M. A., Dabala, M., & Pellegrino, C. (2016). Electric arc furnace slag as coarse recycled aggregate for concrete production. *Journal of Sustainable Metallurgy*, *2*(1), 44-50.
[12] A. Santamaría a,, A. Orbe b, M.M. Losañez c, M. Skaf d, V. Ortega-Lopez e, Javier J. González a Self-Compacting concrete incorporating electric arc-furnace steelmaking. slag as aggregate,2017.
[13] Tomasiello, S., & Felitti, M. (2010). EAF slag in self-compacting concretes. Facta universitatis-series: Architecture and Civil Engineering, 8(1), 13-21.
[14] Santamaría, A., Orbe, A., San José, J. T., & González, J. J. (2018). A study on the durability of structural concrete incorporating electric steelmaking slags. *Construction and Building Materials*, *161*, 94-111.
[15] González-Ortega, M. A., Cavalaro, S. H. P., de Sensale, G. R., & Aguado, A. (2019). Durability of concrete with electric arc furnace slag aggregate. *Construction and Building Materials*, *217*, 543-556.
[16] Manso, J. M., Polanco, J. A., Losanez, M., & Gonzalez, J. J. (2006). Durability of concrete made with EAF slag as aggregate. *Cement and concrete composites*, *28*(6), 528-534.
[17] ASTM, C. (2006). Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates. C136-06.
[18] ASTM C566 - 97 Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate byDrying
[19] ASTM C29 , C. (2009). Standard test method for bulk density ("unit weight") and voids in aggregate.
[20] BS 812-105-1:1989 European *Standards* adopted as British *Standards* ,Testing aggregates. Methods for determination of particle shape. Flakiness index (declared obsolescent and is superseded but remains current).
[21]ASTM C131 / C131M - 14 Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine.
[22] ASTM C88 - 05, 1990- Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate, Annual Book of ASTM Standards, vol. 04.02, ASTM, Philadelphia, PA.
[23] BS 1881:PART 116, Testing concrete. Method for determination of compressive strength of concrete cubes.
[24] ASTMC496/C496 M-04 , Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens.
[25] Amir Ansari et al ,The effect of increasing cement grade on water-to-cement ratio on fresh concrete properties and durability in self-compacting concrete, ۷th Annual Iranian National Concrete Conference - Tehran - October 15, 2015
[26] Amir Sheibani and Mohsen Tadin, The Effect of Cement Grade (Aggregate to Cement Ratio) on Concrete Water Absorption, First National Conference on Concrete, 15 October 2009
[27] Ali Akbar Ramazanianpour, Yasser Bakhtiari, Investigating the Effect of Cement Grade Increase on Mechanical Properties and Durability of Self-Concrete Concrete, The First Specialized Self-Compressing Concrete Workshop March 10, 2006