رویکردهای نوین در مهندسی عمران
دوره ششم، شماره چهارم، ۱۴۰۱، صفحه: ۱۹-۳۲

بررسی تاثیر سیمان دوجزئی بر مشخصه های فیزیکی بتن های خود متراکم و میزان کربناته شدن آن

سید رحیم بهارآور [*۱] ، سیما بهارآور [۲]

*[*۱] استادیار، گروه مهندسی عمران، موسسه آموزش عالی شمس گنبد، گنبدکاووس، ایران*

(seyedbah80@gmail.com)

[۲] کارشناسی اشد معماری، مدرس آموزشکده فنی و حرفه ای الزهراء، تبریز، ایران

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۷/۲۵، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۱۱/۰۶)

چکیده

در این تحقیق ۱۹ اختلاط متفاوت وجود دارد که هر یک از آنها از ترکیب سیمان سفید و خاکستری ۳۲۵-۱، ۴۲۵-۱و ۵۲۵-۱ تشکیل شده است .نمونه ها با جایگزینی ۱۰و ۲۰و ۳۰ و۴۰ و ۵۰ درصد سیمان سفید به جای سیمان خاکستری در قالبهای مربوطه به شرح زیر تهیه و تحت آزمایش های فشاری و کششی و جذب آب و در نهایت کربناته شدن قرار گرفته اند که نتایج در جداول مربوطه در فصل چهارم داده شده است. به صورت کلی تعداد ۲۲۸ نمونه بتنی در ۷ ترکیب در ۴ قالب متفاوت بتن ریزی گردید که نمونه ها بعد از ۲۸ روزگی تحت آزمایشهای ذکر شده سنجیده شده اند . نتایج کلی نشان دهنده بالا بودن مقاومت فشاری نمونه های حاوی درصد بالای سیمان سفید می باشد که در کربناته شدن نتایجی معکوس کاملا برعکس از خود نشان داده است ولی چذب آب نیز در بتنهای حاوی سیمان سفید کمتر از سیمان خاکستری بوده است.

کلمات کلیدی

سیمان سفید، سیمان خاکستری، خودتراکم ، کربناته شدن.

رویکردهای نوین در مهندسی عمران
دوره ششم، شماره چهارم، ۱۴۰۱، صفحه: ۱۹-۳۲

Investigating the Effect of Two-Component Cement on the Physical Characteristics of Self-Compacting Concrete and Its Carbonation Rate

Seyed Rahim Baharavar [1*], Sima Baharavar [2]

*[*1] Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Shams Gonbad Higher Education Institute, Gonbadkavos, Iran*

(seyedbah80@gmail.com)

[2] Ms.c. of Architecture, Lecturer at Al-Zahra Technical and Vocational School, Tabriz, Iran

(Date of received: 17/10/2022, Date of accepted: 26/01/2023)

ABSTRACT

In this research, there are 19 different mixtures, each of them consists of a combination of gray and 325-1, 425-1, and 525-1 cement. The samples are made by replacing 10, 20, 30, 40, and 50 percent of white cement instead of gray cement. They have been prepared in the relevant molds as described below and subjected to compressive and tensile tests, water absorption and finally carbonation, the results of which are given in the relevant tables in the fourth chapter. In general, 228 concrete samples were concreted in 7 combinations in 4 different molds, and the samples were measured after 28 days under the mentioned tests. The general results show the high compressive strength of the samples containing a high percentage of white cement, which showed completely opposite results in carbonation, but the water absorption was also lower in concrete containing white cement than gray cement.

Keywords:

White Cement, Gray Cement, SCC, Carbonation.

۱- مقدمه

سیمان از مصالح ساختمانی پرکاربرد برای ساخت و ساز است. جوزف آسپیدان انگلیس برای نخستین بار در سال ۱۸۴۲ ساخت این نوع ماده ساختمانی را برای ساخت‌وساز به ثبت رساند. خمیر سیمان سخت شده به سنگ طبیعی موجود در پورتلند انگلیس شبیه است به همین دلیل به سیمان پرتلند معروف شد. به همین دلیل سیمان جایگزین مناسبی برای تمامی اتصالات مانند آهک و خاک رس شد [۱]. سیمان مقاوم‌ترین ماده اتصال‌دهنده آهک است. این ماده ساختمانی بیشترین کاربرد را در موارد تجاری ساختمانی مانند بتن‌آرمه، گچ، ملات، بتن ساده، دوغاب، رنگ و سایر عناصر از پیش‌ساخته‌شده است. معمولا در صنعت ساخت‌وساز سیمان تقریباً ۱۰ الی ۱۲ درصد هزینه ساخت را تشکیل می‌دهد. در بعضی از ساخت‌وسازهای بزرگ مثل پل‌ها سیمان اهمیت دوچندانی دارد. سیمان از ترکیبات مختلفی تشکیل شده است به همین علت امکان ترکیب با آب، یک ملات آبی محسوب می‌شود. مواد اولیه‌ای که برای تولید سیمان مورد استفاده قرار می‌گیرد در هنگام پخت با یکدیگر واکنش نشان می‌دهد و ترکیبات جدیدی ایجاد می‌شود. به صورت کلی می‌توان به ۴ ترکیب اصلی سیمان اشاره کرد:

الف- سه کلسیم سیلیکات

ب- دو کلسیم سیلیکات

ج- سه کلسیم آلومینات

د- چهار کلسیم آلومینو فریت

سیلیکات‌ها نقش پررنگی در بالا بردن میزان مقاومت خمیر سیمان هیدراته دارند. در حقیقت این نوع مصالح ساختمانی زیرمجموعه مهم‌ترین ترکیبات است. با توجه به اینکه این نوع ترکیبات خالص نیستند و از اکسیدهای جزیی که تأثیر قابل‌توجهی در خاصیت هیدرولیکی و شکل‌دهی اتم‌ها دارند تشکیل‌شده‌اند [۲]. کلسیم آلومینات از ترکیب آهک با سیلیس تشکیل‌شده است که موجب شده است تا فرایند تولید سیمان به سرعت انجام شود؛ لذا تأثیری بر روی مقاومت سیمان ندارد. ۴ کلسیم آلومینو فریت نسبت به سایر ترکیبات دیگر مقداری کمی در سیمان وجود دارد به همین علت به سرعت هیدراتاسیون سیلیکات‌ها را افزایش می‌دهد اما در عملکرد سیمان تأثیری ندارد. از دیگر ترکیباتی که در سیمان وجود دارد به نام اکسید پتاسیم و اکسید سدیم است که تحت عنوان اکسیدهای قلیایی است. این نوع ترکیبات شیمیایی به دلیل واکنش با سنگدان‌ها باعث تخریب بتن می‌شوند. انواع سیمانها از متداول‌ترین مصالح ساختمانی در بازار مصالح ساختمانی دردنیا محسوب می‌شود که هر کدام از آن‌ها تأثیرات مختلفی بر روی مقاومت سازه‌های بتنی دارند که برحسب میزان مقاومت و عملکرد خود برای مکان‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۱- سیمان نسوز

۲- سیمان سرباره

۳- سیمان رنگی

۴- سیمان بنایی

۵- سیمان‌سفید

۶- سیمان انبساطی

۷- سیمان پرتلند

۸- سیمان پوزولانی

در ادامه سیمان سفید و پرتلند را که اجزائ تشکیل دهنده ترکیبهای بتنی ما در این تحقیق هستند را بیشتر توضیح خواهیم داد.

تولید سیمان سفید کمی پیچیده‌تر از سیمان خاکستری است و برای سفید نمودن رنگ سیمان، مواد بسیاری را به غیر از آهک می‌طلبد. در اصل سیمان در حالت کلی از آهک و رس ساخته می‌شود. رنگ تیره سیمان به دلیل وجود سولفات آهن و سولفات منیزیم در سیمان است، همچنین دوده ناشی از سوخت نیز باعث رنگ تیره سیمان می‌شود. پس برای سفید شدن سیمان باید سولفات آهن و منیزیم از سیمان حذف شود و همچنین از سوخت مناسب و بدون دوده استفاده شود. به همین جهت برای تولید

سیمان سفید، از خاک رسی که میزان سولفات آهن و منیزیم آن از ۸ درصد کمتر است استفاده می‌کنند. از طرفی سوخت کوره را به نحوی انتخاب می‌کنند که تولید دوده نکند (مثلا از گاز استفاده می‌کنند) بنابراین با مخلوط نمودن موادی دیگر نوعی رس با رنگ سفید و بدون مواد فوق ساخته می‌شود. سنگ‌های کائولن، وست، فلدسپات و غیره از عناصری هستند که در سیمان سفید به جای خاک رس به کار می‌روند. گفتنی است در آسیاب نمودن و خرد کردن کلینکر (تا تبدیل به سیمان شود) برای سفیدتر شدن رنگ سیمان و همچنین برای کمک به استحکام، به آن مقداری پودر سنگ گچ نیز افزوده می شود[۳] .خط تولید سیمان سفید را به طور کلی می‌توان به مراحل ذیل دسته‌بندی کرد:

۱- استخراج مواد اولیه از معدن
۲ -خرد کردن اولیه و مخلوط نمودن کامل مواد خام اولیه
۳ -آسیاب و خرد کردن کامل مواد اولیه و انبارش مواد خام
۴ -پخت مواد خام و تولید و انبارش کلینکر
۵ -آسیاب و خرد کردن کامل کلینکر و تولید و انبارش سیمان سفید
۶ -بسته‌بندی و بارگیری سیمان سفید
۷- نمونه‌برداری از قسمت‌های مختلف خط تولید و محصول نهایی و کنترل کیفی سیمان سفید

۱-۱- سیمان پرتلند

سیمان پرتلند تیپ ۱ در سه مقاومت مختلف تولید می گردد که در ادامه به آنها می پردازیم.

۱-۱-۱- سیمان پرتلند تیپ ۱-۳۲۵

این نوع سیمان که سیمان پرتلند معمولی نیز گفته می‌شود،مهمترین کاربرد این نوع سیمان همراه با آنالیز شیمیایی وفیزیکی عبارتند از:

اصولا تقسیم بندی و کلاسه کردن سیمان در کشورهای مختلف متفاوت می باشد و مبناهای مختلفی برای تقسیم بندی انتخاب شده است از جمله اینکه سیمان ممکن است به صورت های زیر تقسیم بندی شود:

۱- دسته بندی بر اساس مقاومت فشاری (معمولا مقاومت فشاری ۲۸ روزه)
۲- تقسیم بندی بر اساس انواع سیمان و اینکه از چه منبعی تهیه شده است مانند سیمان پرتلند، سیمان روباره و سیمان پوزولان (تراس)
۳- دسته بندی بر اساس مشخصات ویژه مانند با گرمای هیدراتاسیون پایین، سیمان مقاوم در برابر مواد شیمیایی (مانند سولفات ها، قلیایی ها و امثالهم) ،سیمان با مقاومت اولیه بالا
۴- سیمان پرتلند نوع یک : به عنوان سیمان پرتلند معمولی برای مصارف عمومی در ساخت بتن یا ملات به کار می رود.

این نوع سیمان با سه رده مقاومتی ۳۲۵-۱ ، ۴۲۵-۱ ،۵۲۵-۱ مشخص می شود.

مقاومت فشاری سیمان در آزمایشگاه کارخانجات در سنین ۲، ۳، ۷ و ۲۸ روزه اندازه گیری می شود مقاومت فشاری سیمان قطعاً نقش عمده ای در استحکام و قدرت یک بنا دارد. اعداد ۳۲۵- ۴۲۵- ۵۲۵ معرف مقاومت فشاری ۲۸ روزه سیمان بر حسب kg/cm^2 می باشد. این نوع سیمان تحت عنوان سیمان پرتلند معمولی (ordinary protland cement)OPC نامیده می شود و دارای مصارف عمومی درابنیه و ساختمان دارد درصورتیکه ویژگی های خاصی از بتن خواسته نشده باشد و صرفا مقاومت فشاری بتن مد نظر باشد [۴] . از ویژگی های این نوع سیمان می توان به مقاومت اولیه نسبتا بالا و به رشد سریع اشاره کرد که دارای کاربرد مصارف خاص با توجه به خواص سیمان انتخاب می شود این نوع سیمان در کلیه سازه های بتنی و غیرمسلح، پل ها، جاده سازی ها، بتن

پیاده رو ها، لوله های بتنی و قطعات بتنی معمولی استفاده می گردد. سیمان ۳۲۵-۱ غالبا مشخصات سیمان نوع ۲ را تامین می نماید (بجز مقاومت در برابر یون سولفات و گرمای هیدراتاسیون)

جدول۱: مشخصات فیزیکی و شیمیایی سیمان ۳۲۵-۱.

Type 1-325		
Standard Requirement	**Result**	**Chemical Specification**
	21/18	٪SiO_2
	5/24	٪Al_2O_3
	3/55	%Fe_2O_3
	63/56	%CaO
Max:5	1/79	%MgO
Max:3	2/33	%SO_3
	0/5	%K_2O
	0/35	%Na_2O
Max:3	1/30	%L.O.I (LossOf Ignition)

یادآوری می گردد به طور کلی بهتر است این سیمان در موارد معمول استفاده شده و در محیط های خورنده حاوی یون های مهاجم استفاده نشود. برای کلاس ها با مقاومت بالا از سیمان ۴۲۵-۱ و ۵۲۵-۱ استفاده می شود در مناطق گرمسیر که خطر افزایش دمای بتن به ۳۲ درجه سانتی گراد و در بتن ریزی حجیم به ۱۵ درجه سانتیگراد وجود دارد، مصرف این کلاس از سیمان ها بایستی با احتیاط صورت گیرد [۵].

۱-۱-۲- سیمان پرتلند تیپ ۱-۴۲۵

این سیمان طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۳۸۹ ISIRI ، تولید می شود که دارای مشخصات شیمیایی و فیزیکی سیمان ۳۲۵-۱ می باشد. لیکن دارای مقاومت فشار اولیه (۲ روزه) حداقل ۱۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع و مقاومت نهایی (۲۸ روزه) حداقل ۴۲۵ کیلوگرم بر سانتی متر مربع و حداکثر ۶۲۵ کیلو گرم بر سانتی متر مربع می باشد که یک سیمان زود سخت شونده محسوب شده و در کلیه سازه های بتنی مسلح و غیر مسلح که نیاز به مقاومت اولیه و نهایی بیشتر می باشد ، قابلیت کاربرد دارد. استفاده در بتنهای معمولی به شرح بیان شده بجای سیمان ۳۲۵-۱ ، کلیه ستونها ، سقفها ، دال پلها ، سازه هایی که نیاز به بازکردن سریع قالب است و بتن ریزی در هوای سرد ، زمینه های کاربرد این سیمان می باشد.

جدول۲: مشخصات فیزیکی و شیمیایی سیمان ۴۲۵-۱.

Type 1-425					
Standard Requirement	**Result**	**Physical Specification**	**Standard Requirement**	**Result**	**Chemical Specification**
Min:2800	3200±10	Blaine({tex}cm^2{/tex}/g)		0/3±20/7	٪SiO_2
Max:0.8	0/08±0/02	Auto Clave Method %		0/2±5/2	٪Al_2O_3
Min:45	140±20	Setting Time In (minute)		0/2±4/7	%Fe_2O_3
Max:360	240±20	Setting Time Fi (minute)		0/5±60	%CaO
Min:100	210±20	Comp.Strength kg/{tex}cm^2{/tex} (2day)	Max:5	1/8±0/2	%MgO
	440±10	Comp.Strength kg/{tex}cm^2{/tex} (7day)	Max:3	0/4±2/2	%SO_3
Min:425	530±10	Comp.Strengthkg/{tex}cm^2{/tex}(28day)		0/06±0/5	%K_2O
	1.2±0.2	Sieve 0.09 mm		0/05±0/15	%Na_2O
	3.13±0.01	Density g/{tex}cm^3{/tex}	Max:3	0/5±1	%L.O.I (LossOf Ignition)
			Max:0.75	0/1±0/5	% I.R (Insoluble Residue)
				0/2±1/3	%FreeCaO
				59/47	٪C_3S
				14/48	٪C_2S
				6/00	%C_3A
				14/00	٪C_4AF

۱-۱-۳- سیمان پرتلند تیپ ۱-۵۲۵

طبق استاندارد ملی ایران به شماره ۳۸۹ ISIRIتولید و دارای مشخصات شیمیایی و فیزیکی همانند سیمان پرتلند نوع ۳۲۵-۱ می باشد ، لیکن دارای مقاومت فشاری اولیه (۲ روزه) حداقل ۲۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع و مقاومت نهایی (۲۸ روزه) حداقل ۵۲۵ کیلوگرم بر سانتی متر مربع می باشد [۶].

جدول۳: مشخصات فیزیکی و شیمیایی سیمان ۵۲۵-۱.

Type 1-525					
Chemical Specification	Result	Standard Requirement	Physical Specification	Result	Standard Requirement
٪SiO_2	0/3±21/5		Blaine ({tex}cm^2{/tex}/g)	3200±10	Min:2800
٪Al_2O_3	0/2±5/6		Auto Clave method %	0/08±0/02	Max:0.8
%Fe_2O_3	0/05±1/7		Setting Time In (minute)	140±20	Min:45
%CaO	0/5±63		Setting Time Fi (minute)	240±20	Max:360
%MgO	0/3±0/1	Max:5	Comp.Strengthkg/{tex}cm^2{/tex}(2day)	210±20	Min:200
%SO_3	0/3±3/2	Max:3	Comp. Strength kg/{tex}cm^2{/tex}(7 day)	440±10	
%K_2O	0/02±0/3		Comp. Strengthkg/{tex}cm^2{/tex}(28 day)	530±10	Min:525
%Na_2O	0/05±0/18		Sieve 0.09 mm	1.2±0.2	
%L.O.I (LossOf Ignition)	0/5±1	Max:2	Density g/{tex}cm^3{/tex}	3.13±0.01	
% I.R (Insoluble Residue)	0/1±0/5	Max:0.5	توجه : با توجه به سخت شوندگی سریع ، حرارت هیدراسیون تولید شده توسط این سیمان بیشتر بوده و لذا برای بتن ریزی های حجیم در فصل تابستان و هوای گرم توصیه نمی گردد و برای بتن ریزی های معمولی در هوای گرم نیز با رعایت حداکثر دمای بتن تا ۲۳ درجه سانتیگراد بهتر است با احتیاط مصرف شود.		
%FreeCaO	0/2±1/3				
٪C_3S	68/47				
٪C_2S	15/48				
%C_3A	7/00				
٪C_4AF	9/00				

۱-۲- طرح اختلاط

برای انجام آزمایشها ۲۲۸ نمونه در قالبهای شمشی ۱۰×۱۰×۴۰ سانتیمتر و قالبهای مکعبی ۱۰*۱۰ سانتیمتری تهیه شد و بتنها بعد از قالب گیری و گذشت ۲۸ روز مورد آزمایش مقاومت فشاری و کششی و جذب آب قرار گرفتند و طبق استاندارد مربوط به کربناته شدن نیز نمونه ها بعد از ۲۸ روز به مدت ۵۶ روز در محفظه کربناته شدن سریع قرار گرفت و سپس مورد آزمایش قرار گرفت. ترکیب اختلاطهای بتنی به شرح جدول زیر می باشد:

جدول۴: طرح اختلاط نمونه های طراحی شده-

وزن سیمان کیلوگرم	نسبت آب به سیمان ٪	ماسه ۰-۴,۷۵ ٪	شن۴,۷۵-۱۹ ٪	۱-۵۲۵ ٪	۱-۴۲۵ ٪	۱-۳۲۵ ٪	سیمان سفید ٪	نام نمونه
۳۵۰	۵۵	۴۵	۵۵	۰	۰	۰	۱۰۰	W100
۳۵۰	۵۵	۴۵	۵۵	۰	۰	۱۰۰	۰	B32100
۳۵۰	۵۵	۴۵	۵۵	۰	۱۰۰	۰	۰	B42100
۳۵۰	۵۵	۴۵	۵۵	۱۰۰	۰	۰	۰	B52100
۳۵۰	۵۵	۴۵	۵۵	۰	۰	۹۰	۱۰	W10B3290
۳۵۰	۵۵	۴۵	۵۵	۰	۰	۸۰	۲۰	W20B3280
۳۵۰	۵۵	۴۵	۵۵	۰	۰	۷۰	۳۰	W30B3270
۳۵۰	۵۵	۴۵	۵۵	۰	۰	۶۰	۴۰	W40B3260
۳۵۰	۵۵	۴۵	۵۵	۰	۰	۵۰	۵۰	W50B3250
۳۵۰	۵۵	۴۵	۵۵	۰	۹۰	۰	۱۰	W10B4290
۳۵۰	۵۵	۴۵	۵۵	۰	۸۰	۰	۲۰	W20B4280
۳۵۰	۵۵	۴۵	۵۵	۰	۷۰	۰	۳۰	W30B4270
۳۵۰	۵۵	۴۵	۵۵	۰	۶۰	۰	۴۰	W40B4260
۳۵۰	۵۵	۴۵	۵۵	۰	۵۰	۰	۵۰	W50B4250
۳۵۰	۵۵	۴۵	۵۵	۹۰	۰	۰	۱۰	W10B5290
۳۵۰	۵۵	۴۵	۵۵	۸۰	۰	۰	۲۰	W20B5280
۳۵۰	۵۵	۴۵	۵۵	۷۰	۰	۰	۳۰	W30B5270
۳۵۰	۵۵	۴۵	۵۵	۶۰	۰	۰	۴۰	W40B5260
۳۵۰	۵۵	۴۵	۵۵	۵۰	۰	۰	۵۰	W50B5250

همانطور که در جدول اختلاط مشاهده می نماییم سیمان سفید با درصدهای ۱۰ الی ۵۰ با هر سه نوع سیمان پرتلند ترکیب شده است .

۲- برنامه آزمایشگاهی

۲-۱- آزمایش مقاومت فشاری

با توجه به سنین مورد نظر، نمونه ها بعد از خروج از حوضچه آب آهک طبق ASTM C39 کاملا پاک شده وبعد از ۲۴ ساعت نگهداری در آزمایشگاه آماده آزمایش شد که بعد از قرارگیری دقیق نمونه داخل دستگاه جک بتن-شکن، نرخ بار اعمالی روی ۸۰۰ نیوتن برثانیه تنظیم شد و پس از شکست نمونه با تقسیم حداکثر نیروی وارده برسطح نمونه مقاومت فشاری به دست آمد [۷].

۲-۲- آزمایش مقاومت خمشی

طبق استاندارد ASTM C 109 نمونه ها در قالبهای 10×10×40 سانتیمتری قرار داده می شود و برای هر آزمایش ۳ نمونه ریخته می شود و زیر دستگاه تک محوره قرار گرفته و تیروی ئارده ثبت می گردد که بیشترین نیروی وارد شده P نامیده می شود و با فرمول شماره ۱ مقاومت خمشی در نمونه به دست می آید [۸].

$$\delta = 1.5\ PL/b^3 \quad (۱)$$

که در فرمول بالا Pحداکثر نیروی وارده و L فاصله دو فک تکیه گاهی پایین و b ضخامت نمونه است که طبق قالب ۴ سانتیمتر میباشد.

۲-۳- آزمایش جذب اب نمونه ها

بعد از خارج شدن هر نمونه، وزن و مقدار آن M1 ثبت می‌شود. سپس هر نمونه طبق ASTM C 20 به گونه‌ای قرار می‌گیرد که محور طولی آن به صورت افقی و در روی آن ۵ ±۲۵ میلی‌متر آب قرار می‌گیرد. نمونه ها به مدت ۰٫۵ ±۳۰ دقیقه در حوضچه آب می‌ماند. برای از بین بردن آب اضافی روی سطح آزمونه، پس از خروج آزمونه‌ها از آب، آزمونه‌ها تکان داده شده و به سرعت با یک پارچه خشک می‌شوند. سپس وزن هر نمونه M2 ثبت می‌شود [۹]. از رابطه شماره ۲ برای تعیین ضریب جذب آب استفاده می شود:

$$\text{آب جذب درصد} = \frac{M2 - M1}{M1} * 100 \quad (۲)$$

شکل۱: تعدادی از نمونه ها درحال آزمایش جذب آب.

۲-۴- کربناته شدن

نمونه ها در ابعاد ۱۰×۱۰×۱۰ سانتیمتر بعد از ۵۶ روز نگهداری در محفظه دی اکسید کربن با اسپری فنل فتالیین مورد آزمایش قرار گرفت. با توجه به به اینکه عمل کربناته شدن را که پروسه ای چند ماهه و گاهاچند ساله است را به صورت تسریع شده انجام دهیم. لذا با توجه به EN BS 13295:2004 [۱۰] مخزن تسریع کربناته شدن به صورت شکل زیر تهیه گردید.

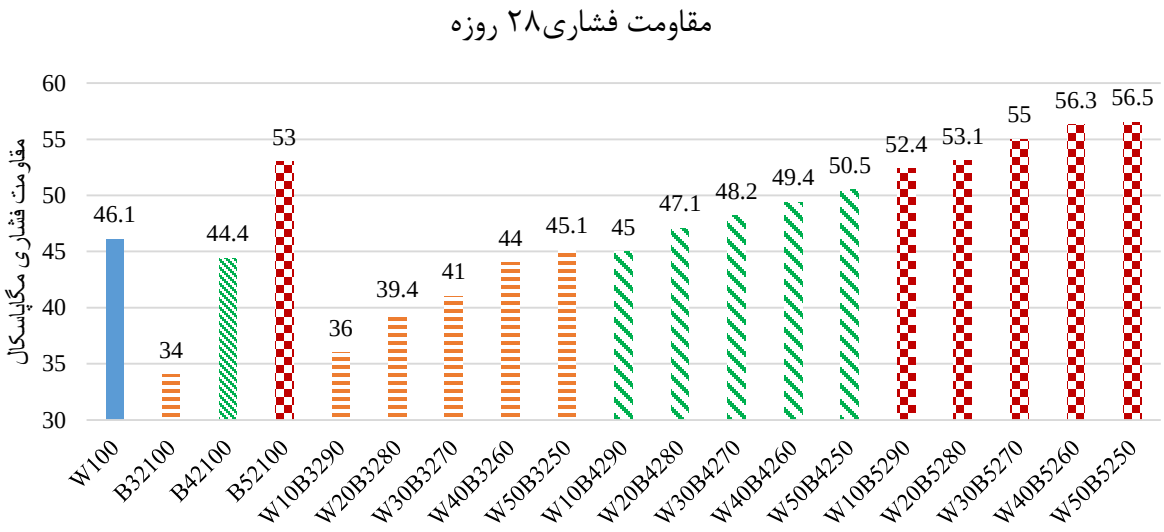
شکل۲: مخزن نگهداری نمونه ها تحت فشار گاز دی اکسید کربن.

۳- نتایج آزمایشگاهی و تحلیل آنها

نتایج نمونه ها بعد از اعمال آزمایشها در سنین مورد نظر ثبت و نمودار آنها در بخش های پایین ارایه گردیده است.

۳-۱- نتایج و تحلیل آزمایش مقاومت فشاری

نمونه های مکعبی ۱۰ سانتیمتری بعد از بتن ریزی و ۲۸ روز عمل آوری در آب اشبا شده با آهک از محفظه عمل آوری خارج و بعد از ۲۴ ساعت نگهداری در محیط آزمایشگاهی تحت آزمایش با جک فشاری ۲۵۰ تن قرار دادیم و نتایج آن را طبق شکل زیر ثبت نموده ایم.

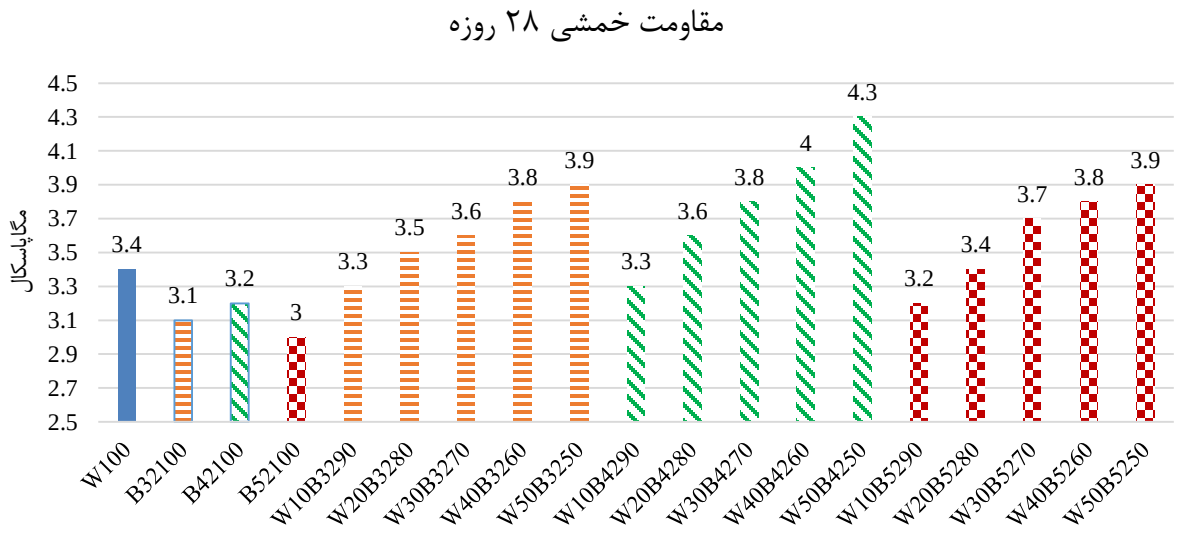


شکل۲: مقاومت فشاری نمونه های بتنی.

با توجه به نمودار بالا مشاهده می نماییم که به ترتیب سیمان ۱-۵۲۵، سیمان سفید ، ۱-۴۲۵ و ۱-۳۲۵ دارای بیشترین مقاومت فشاری هستند و زمانی که سیمان سفید وارد اختلاط بتنهای دارای سیمان خاکستری می گردد با توجه به اختلاف مقاومتی با آنها بر روی مقاومتهای حاصله تاثیر مثبت می گذارد. همانگونه که در تمام نمونه های دوجزئی مشاهده می نماییم مقاومتها با افزایش سیمان سفید سیر صعودی نسبت به مقاومت اولیه خود داشته اند که با توجه به ساختار شیمیایی آن میتوانیم به تاثیر سنگ آهک مصرفی بالا در تهیه سیمان سفید اشاره نماییم که در ترکیب با اکسیدهای سیمان خاکستری که بالاجبار تولید کننده کلسیم سیلیکا هیدراتها هستند وارد واکنش گردیده و مکمل هیدراتاسیوم و متعاقبا در مرحله گیرش ثانویه تشکیل دهنده کریستالهای بیشتر می شوند اشاره نمود.

۳-۲- نتایج و تحلیل آزمایش مقاومت خمشی

در نمودار زیر نتایج مقاومت خمشی نمونه ها بعد از ۲۸ روز نگهداری در حوضچه عمل آوری داده شده است:

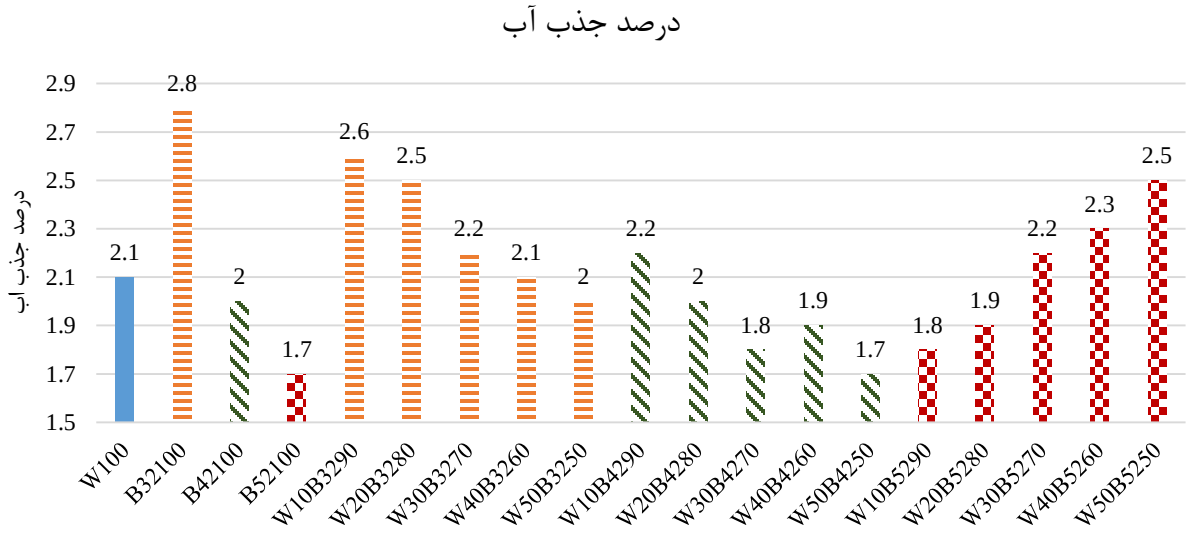


شکل۳: مقاومت خمشی نمونه های بتنی.

با توجه به نمودار خمشی مشاهده می نماییم که بر خلاف نمودار مقاومت فشاری نمونه W100 بیشترین مقاومت خمشی را بین سیمانهای تک جزئی داشته است و زمانی که به عنوان جزئ دوم با سیمانهای ۱-۳۲۵، ۱-۴۲۵ و ۱-۵۲۵ ترکیب شده است سبب افزایش شکل پذیری آنها و دربالا رفتن نتیجه مقاومت خمشی آنها شده است. با افزایش درصد سیمان سفید در ترکیبهای دوجزئی مقاومت خمشی نیز به متناسب آن افزایش دشته است. به طوری که بیشترین مقاومت خمشی متعلق به نمونه W50B4250 که دارای ۵۰ درصد سیمان سفید و ۵۰ درصد سیمان ۱-۴۲۵ بوده است می باشد و نمونه دوجزئی W10B5290 علی رغم آنکه نسبت به نمونه تک جزئی خود B52100 افزایشی ۷ درصدی داشته است با ۳/۲ مگاپاسکال ضعیفترین نمونه بوده است.

۳-۳- نتایج و تحلیل آزمایش جذب آب

نمونه های بتنی بعد از ۲۸ روز عمل آوری در درون آون قرار گرفتند و کاملا خشک شدند و سپس با توجه به استاندارد مربوطه تا زمانی که دیگر در وزن بتن تغییری حاصل نشود با فاصله ساعتی ۱ ساعت وزن و اعداد ثبت گردیدند. در پایان مقدار جذب آب آنها محاسبه شد که در شکل زیر نشان داده شده است.

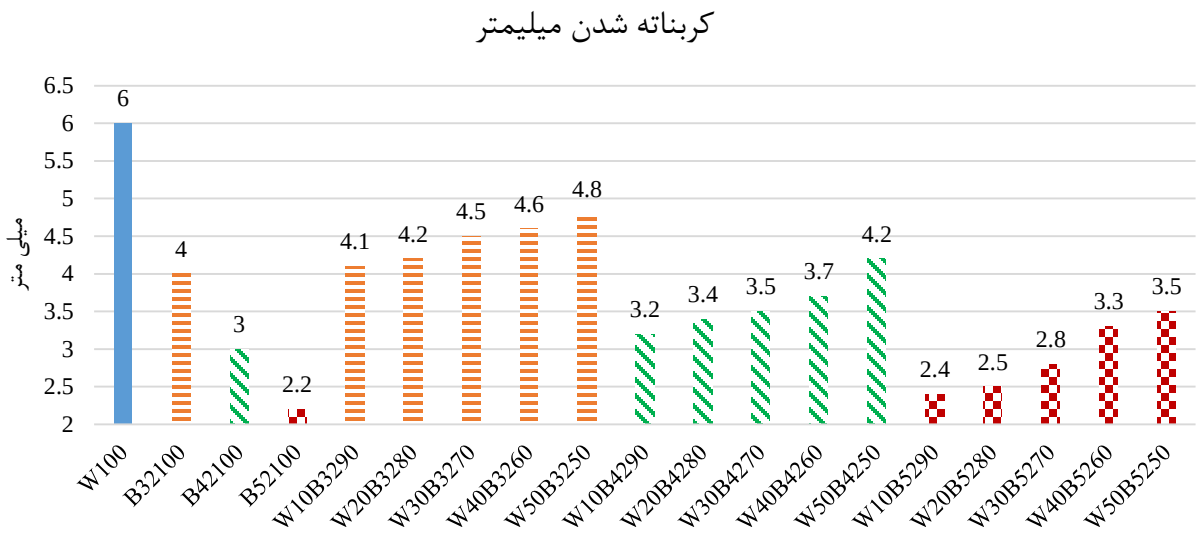


شکل۴: درصد جذب آب نمونه های بتنی.

با توجه به نمودار جذب آب مشاهده می نماییم که نمونه بتنی متشکل از سیمان ۵۲۵-۱ کمترین و در بین تک جزئیها نمونه ۱-۳۲۵ بیشترین جذب آب را داشته است. علی رغم اینکه نمونه های ۳۲۵-۱ و ۴۲۵-۱ با افزایش سیمان سفید در ترکیبشان مقدار جذب اب کمتری داشته اند ولی نمونه ۵۲۵-۱ با افزایش سیمان سفید عملکرد معکوس داشته و جذب آب بیشتری از خود نشان داده است.علت کاهش جذب آب در نمونه های ۳۲۵-۱ و ۴۲۵-۱ میتواند افزایش مقاومت فشاری و به طبه آن کاهش روزنه های مویرگی موجود در بتن باشد .

۳-۴- نتایج و تحلیل آزمایش کربناته شدن

آزمایش کربناته شدن سریع طبق EN BS 13295:2004 بر روی نمونه های مکعبی ۱۰ سانتیمتری انجام و نتایج آن در شکل زیر نشان داده شده است. با دقت در جدول کربناته شدن متوجه می شویم که سیمان سفید نسبت به دیگر سیمانهای تیپ ۱ استعداد کربناته شدن بالایی دارد که این امر میتواند ناشی از کالکر خالصی باشد که در هنگام تکیل این سیمان مورد استفاده قرار می گیرد. بیشترین مقدار کربناته شده در سیمانهای دوجزئی در نمونه W50B3250 با ۴/۸ میلیمتر و کمترین مقدار کربناته شده در نمونه W10B5290 با ۲/۴ میلیمتر حاصل گردیده است که با توجه به نمودار با افزایش سیمان سفید کربناته شدن نیز در تمام نمونه ها سیر صعودی داشته است.



شکل۵: میزان کربناته شدن سریع نمونه ها.

۴- جمع بندی و نتیجه گیری

با توجه به نتایج حاصله در چهار نمودار مربوط به آزمایشهای انجام شده در سیمانهای دوجزئی خاکستری و سفید میتوانیم نتایج کلی زیر را حاصل نماییم:

۱- اگر در پروژه ای نیاز به کربناته شدن داشته باشیم که اکثرا در خودترمیمی بتن مورد نیاز است از سیمان سفید خالص استفاده نماییم.

۲- در بتنهایی که نیازمند مقاومت در برابر مواد شیمیایی و دوام بالایی هستند بهتر است از بتنهای حاوی سیمان ۵۲۵-۱ علی الخصوص W50B4250 که جذب آب بسیار پایینی دارند استفاده کنیم.

۳- اگر مقاومت بالایی مد نظر باشد میتوانیم از سیمان ۵۲۵-۱ و حتی از سیمان دو جزئی W50B5250 استفاده نماییم.

۴- با توجه به نتایج بالا و آزمایشهای انجام شده بهترین نمونه از لحاظ استفاده و حالت بهینه نمونه W50B4250 می باشد که در اکثر آزمایشها بهترین نتیجه را در سیمانهای دو جزئی داشته است.

۵- مراجع

1- Akinkurolere, O., Jiang, C. O., and Shobola, M., 2007, **The Influence of Salt Water on Compressive Strength of Concrete**, Journal of Engineering and Applied Sciences, 2, 412-415.

2- Eiamekamornkul, S., and Saksurpharp, S., 1998, **Effect of Sea Water on Compressive Strength of Fly Ash Concrete.**

3- Griffin., D. F., and Henry, .R. L., 2004, **The Effect of Salt in Concrete on Compressive Strength, Water Vapor Transmission, and Corrosion of Reinforcing Steel**, Technical Report, U.S. Naval Civil Engineering Laboratory, 22 Jully.

4-Baradan, B., and Yazıcı,. H., 2003, **Durability in Reinforced Concrete Structures and Innovations Brought by the TS EN 206-1 Standard**", Turkey Engineering News, Issue 426-2003/4, 62-69.

5-Uyan, M., and Akkaya, Y., 1995, **The Effect of Sea Water as Mixed Water on Concrete Properties**, Ready Mixed Concrete Magazine, Turkish Ready Mixed Concrete Association Publication, 80-84, Istanbul., July-August 1995.
6-Iranian National Standardization Organization (INSO) No.2592 Valiasr Ave., South western corner of Vanak Sq., Tehran, Iran
7- ASTM C39, 2016, Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens.
8-Testing for Bending Strength ASTM C109 (Cubes) & ASTM C39 (Cylinders)
9- ASTM C 20-00, 2005, Standard Test Methods for Apparent Porosity, Water Absorption, Apparent Speci .,(Reapproved 2005).
10-BS EN 13295, 2004, Products and systems for the protection and repair of concrete structures,Test methods, Determination of resistance to carbonation.