رویکردهای نوین در مهندسی عمران، دوره هشتم، شماره اول ۱۴۰۳، صفحه: ۳۲-۴۶

تاثیر میکرو اکسید آلومینیوم و میکرو سیلیس بر روی مشخصه های فیزیکی و شیمیایی بتنهای با مقاومت بسیار بالا

سید رحیم بهارآور [۱]، مریم اسماعیلی*[۲]

[۱] استادیار گروه عمران، موسسه آموزس عالی شمس گنبد، گنبدکاووس، ایران

[۲] کارشناس ارشد عمران گرایش سازه، موسسه آموزس عالی شمس گنبد، گنبدکاووس، ایران

(Maryam1371@gmail.com)

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۱۲/۲۰، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۳/۲۵)

چکیده

در این تحقیق به بررسی تاثیر اکسید آلومینیوم همراه با میکرو سیلیس خاص پرداختیم تا میزان مقاومت آن را در جایگزینی با سیمان سنجیده و تاثیر آن را بر بتنهای فوق مقاوم مشاهده نماییم. نمونه های بتنی حاضر شده در این پژوهش با ۴۰۰ کیلگرم سیمان در متر مکعب حاضرو بقیه مواد پر کننده سنگدانه و درصدی میکرو سیلیس بوده است. پودر آلومینیوم نیز در درصدهای ۲،۴،۶و۸ جایگزین سیمان گردیده و با بتن شاهد طبق آزمایشهای زیر مقایسه و نتایج آنها در فاین تحقیق آورده شده است. نمونه های بتنی که در آنها از اکسید آلومینیوم استفاده شده است بعد از افزودن بیش از دو درصد روند منفی در اکثر ازمایشها داشته است و مقاومت نیز روند نزولی داشته استولی با افزایش میکروسیلیس روندها مثبت بوده و در ترکیب این دو مصالح نیز نمودارها تا ۴ درصد اکسید آلومینیوم مورد قبول و روندی بهینه دارد ولی بعد از آن مسیر نزولی بوده است و نمونه های حاوی اکسید آلومینیوم با افزایش این افزودنی در دمای پایینتر عملکرد بهتری تا ۴ درصد داشته اند که در نمونه های بالای ۵ درصد افت مقاومت مشاهده می گردد.

کلمات کلیدی

سیمان سفید، سیمان خاکستری، خودتراکم ، کربناته شدن.

The Effect of Micro Oxide of Aluminum and Micro Silica on the Physical and Chemical Characteristics of very High Strength Concrete

Seyed Rahim Baharavar [1]***, Maryam Esmayili*** [2*]

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

[*2] *Master of Civil Engineering Department, Shams Gonbad Higher Education Institute, Gonbadkavos, Iran*

(Maryam1371@gmail.com)

(Date of received: 10/03/2024, Date of accepted: 14/06/2024)

ABSTRACT

In this research, we investigated the effect of aluminum oxide with special micro-silica in order to measure its resistance in replacing it with cement and observe its effect on ultra-resistant concrete. The concrete samples presented in this research were with 400 kilograms of cement per cubic meter, and the rest of the fillers were aggregates and a percentage of micro-silica. Aluminum powder has been replaced with cement in percentages of 2, 4, 6, and 8 and compared with control concrete according to the following tests and their results are given in this research. Concrete samples in which aluminum oxide has been used have a negative trend in most of the tests after adding more than two percent, and the resistance also has a downward trend, but with the increase of microsilica, the trends are positive, and in the combination of these two materials, the graphs are up to 4%. Aluminum oxide is accepted and has an optimal trend, but after that it has been a downward trend, and the samples containing aluminum oxide with the increase of this additive at a lower temperature had a better performance up to 4%, and in the samples above 5%, resistance loss is observed.

Keywords:

Aluminum oxide, microsilica, high resistance concretes, carbonation.

۱- مقدمه

یکی از انواع بتن، بتن با مقاومت فشاری حداقل ۴۵ مگاپاسکال، بتن مقاومت بالا یا HSC می گویند. مقاومت این محصول از بتن معمولی بیشتر است و این قدرت در ۲۸ روز به دست می آید. برای ساخت این نوع بتن، مواد باید از کیفیت بالایی برخوردار باشند تا محصول به مقاومت فشاری تعیین شده دست یابد. بتن های پرمقاومت تاریخچه طولانی دارند. تا اواخر دهه ۱۹۷۰، استفاده از بتن بیش از ۴۰ مگاپاسکال در ساختمان های بلند شناخته شده نبود. اکنون با استفاده مؤثر از مواد افزودنی و سایر کاربردهای پیچیده تکنولوژی بتن، به راحتی می توان به مقاومت ۵۰ مگاپاسکال در ۱۲ تا ۱۸ ساعت و بالاتر از ۷۰ مگاپاسکال در ۲۸ روز دست یافت. تولید بتن با مقاومت فشاری تا ۱۵۰ مگاپاسکال در ۹۱ روز امکان پذیر است.

۱-۱- طرح اختلاط بتن پر مقاومت

مهمترین عامل تعیین میزان مقاومت درHSC ، تخلخل در سه فاز بتن یعنی سنگدانه، خمیر سیمان و ناحیه انتقال است. به دلیل عدم توانایی در تعیین تخلخل زمینه و ناحیه انتقالی در بتن نمی توان مدل های دقیقی برای محاسبه مقاومت ایجاد کرد. برای به دست آوردن مقاومت بالا باید از سنگدانه های مرغوب و سیمان پرمقاومت استفاده شود. همانطور که می دانید بتن از دو قسمت اصلی سنگدانه و خمیر سیمان تشکیل می شود. سنگدانه در حقیقت استخوان بندی بتن را تشکیل می دهد و سیمان ماده چسباننده سنگدانه می باشد.

۱-۲- سنگدانه پرمقاومت

سنگدانه ها از لحاظ مقاومت، شکل و دانه بندی می توانند بر مقاومت بتن تاثیر گذار باشند. هرچقدر شکل سنگدانه تیز گوشه تر و شکسته تر باشد، مقاومت بتن افزایش می یابد و برعکس، هر چقدر گرد گوشه تر باشد، مقاومت بتن کاهش ولی در مقابل کارایی بتن افزایش می یابد. این نکته در مورد ماسه نیز صدق می کند. در بتن های بالای مقاومت ۴۵ تا ۵۰ مگاپاسکال می توانیم از سنگدانه های رودخانه ای استفاده کنیم ولی برای تولید بتن های بالای ۸۰ مگاپاسکال، باید از سنگدانه های پرمقاومت تر مانند انواع سنگدانه های آذرین مثل گرانیت، بازالت و سیلیسی استفاده کنیم.

مقاومت فشاری بتن	حداکثر اندازه سنگدانه
70 مگاپاسکال	۲۰-۲۵ میلیمتر
100 مگاپاسکال	۱۴-۲۰ میلیمتر
120 مگاپسکال	۱۰-۱۴ میلیمتر

در مورد دانه بندی نیز این نکته مهم را خوب است بدانید که اگر مقاومت های بالای ۸۰ مگاپاسکال و بیشتر مد نظرتان باشد، دیگه بهتره از شن استفاده نکنید و به سراغ ماسه و ماسه های ریز دانه تر بروید. یعنی برای تولید بتن با مقاومت ۱۰۰ مگاپاسکال باید از ماسه های زیر الک ۸ استفاده کنید. ماسه هایی با سنگدانه پر مقاوم تر مانند بازالت و گرانیت ۱۰۰ درصد شکسته می تواند مقاومت بتن را تا ۱۰۰ مگاپاسکال افزیش بدهد.

۱-۳- سنگدانه پرمقاومت

میزان سیمان در این بتن ۴۵۰ تا ۵۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب می باشد که بهتر است به جای سیمان معمولی از سیمان پرمقاومت استفاده کرد. میزان مصرف سیمان در ساخت بتن پرمقاومت نسبت بتن معمولی بیشتر است. البته با افزایش مقدار سیمان، اندازه سنگدانه‌ها نیز در مقایسه با NSC باید افزایش یابد.

۱-۴- آب

آب به عنوان یک جزء حیاتی در HSC باید با سیمان و مواد افزودنی معدنی/شیمیایی سازگار باشد. آب مورد استفاده برای اختلاط بتن با مقاومت بالا باید تمیز و عاری از هرگونه مواد عالی و مقادیر مضر قلیایی، اسید، روغن، نمک و شکر باشد.

۱-۵- نسبت آب به سیمان در بتن پر مقاومت

در اختلاط بتن های با مقاومت زیاد بایستی تا حد ممکن نسبت آب به سیمان را کاهش داد. نسبت سیمان آب ۰,۲۵ تا ۰,۳۵ است اما گاهی اوقات می توان از ۰,۲۰ کرد. اما همان‌طور که می‌دانید با کاهش نسبت آب به سیمان، میزان کارایی و اسلامپ بتن نیز کاهش می یابد. برای حل این مشکل و تامین کارایی می توان از روان کننده بتن یا فوق روان کننده ها استفاده نمود. مقدار این ماده شیمیایی در ۱ متر مکعب باید ۵ تا ۱۵ لیتر باشد و همچنین از دوده سیلیس در بتن با مقاومت بالا استفاده می شود. از دود سیلیس برای پرکردن فضاهای خالی استفاده می شود و بتن استحکام بیشتری خواهد داشت. نتایج حاصل از تحقیقات نشان می دهد که با نسبت آب به سیمان ۰,۳۸ ، ۰,۳۶ و ۰,۳۴ می توان به ترتیب به مقاومت های فشاری ۴۰ ، ۵۲ و ۶۰ دست پیدا کرد.

۲- نحوه ساخت بتن پر مقاومت

برای ساخت بتن های پرمقاومت باید در طرح اختلاط بتن از سنگدانه های پر مقاومت آذرین و کاهش حداکثر اندازه سنگدانه ها استفاده شود. این امر باعث همگنی بیشتر در ترکیبات بتن می شود. نسبت آب به سیمان بسیار پایین در ساخت این بتن اهمیت زیادی دارد. امروزه حتی بسیاری از پیمانکاران و مهندسان نسبت آب به سیمان را برای تهیه بتن ۱۸ به صفر در نظر می‌گیرند. این امر برخی دانه‌های سیمان هیدراته نشده را به صورت ریزدانه‌های پرکننده درآورده و باعث افزایش مقاومت بتن می‌شود. البته برای افزایش کارایی بتن باید از روان‌کننده‌ها، فوق روان‌کننده‌ها و پخش‌کننده ذرات ریز در ساخت بتن استفاده کرد. لازم به ذکر است که با افزایش مقاومت بتن، میزان شکنندگی و تردی آن نیز بیشتر می‌شود که برای حل این مشکل و افزایش نرمی بتن می‌توان به آن‌ها الیاف‌های کوتاه اضافه کرد. نکته :در تولید بتن پرمقاومت به جای استفاده از میکسرهای معمولی باید از همزن های برقی با دور تند استفاده کرد.

۲-۱-مزایا و معایب بتن پر مقاومت

بتن با مقاومت بالا دارای مزایا و معایب زیر است.

۲-۱-۱- مزایا بتن پر مقاومت

افزایش دوام سازه: نسبت w/c کم، محتوای سیمان بالا و استفاده از پازولانا و فوق روان کننده ها باعث کاهش نفوذپذیری و افزایش دوام سازه می شود. افزایش دوام عامل خوبی برای ساخت و ساز پایدار است.

کاهش وزن خود سازه: از آنجایی که کل بتن مصرفی به دلیل استحکام بالای آن کمتر است، بار مرده وارد بر ساختمان ها کاهش می یابد.

کاهش خزش: مدول الاستیسیته بتن افزایش می یابد که باعث کاهش خزش بتن در سازه می شود.
کاهش در انحراف: با کاهش مدول الاستیسیته، انحراف سازه نیز کاهش می یابد.
کاهش نفوذپذیری در برابر عوامل شیمیایی
بهینه سازی فضا با کاهش ابعاد هندسی سازه مورد نظر
افزایش سرعت اجرا با کاهش حجم عملیات

۲-۱-۲- معایب بتن پر مقاومت

بتن با مقاومت بالا را نمی توان برای ساخت اعضایی که در معرض چرخه های انجماد و ذوب هستند استفاده کرد. اقدامات کنترل کیفیت سختگیرانه تری باید در انتخاب مصالح و ساخت انجام شود. مواد برای HSC باید با دقت انتخاب شوند و ممکن است گرانتر باشند.

۳- مصالح مورد استفاده در تحقیق حاضر

۳-۱- سیمان پرتلند تیپ ۵۲۵-۱

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.[6]

۳-۲- اکسید آلومینیوم

آلومینیوم اکسید یک ترکیب شیمیایی از آلومینیوم و اکسیژن با فرمول شیمیایی Al 2 O 3 است .این ماده جزء متداول‌ترین اکسیدهای آلومینیوم است و به‌طور خاص به عنوان اکسید آلومینیوم شناخته می‌شود که معمولاً به آن آلومینا گفته می‌شود ولی ممکن است بسته به فرم یا برنامه‌های کاربردی خاص aloxite , aloxide یا alundum نامیده شود. این یک اکسید آمفوتر است و نام‌های تجاری متنوعی مانند آلومینا، کرندوم دارد. تنوع نام‌های این اکسید نشان دهندهٔ کاربرد فراوان این ماده در صنایع گوناگون است. کرندوم فراوان‌ترین و پایدارترین فرم اکسید آلومینیوم است که در طبیعت وجود دارد که به آن α آلومینا گفته می‌شود. یونهای اکسیژن به صورت هگزاگونال متراکم (HCP) هستند و یونهای +Al3 دو سوم فضاهای خالی هشت وجهی را اشغال نموده‌اند. در مرکز این ساختار +Al3 به صورت یک هشت وجهی است. در هر سلول واحدHCP، از ۲ واحد فرمولی اکسید آلومینیوم تشکیل شده‌است. آلومینا همچنین به صورت فازهای دیگر نیز وجود دارد. که آن‌ها را براساس حروف یونانی نام گذاری می‌کنند. این فازها عبارتند از .θ: δ,ð, χ, η هر کدام از این فازها دارای ساختار کریستالی و ویژگی خاص خود هستند. البته تمام این فازها، فازهایی غیرپایدار هستند. پس از حرارت دهی آلومینا و تشکیل این فازها در نهایت فاز α تشکیل می‌شود. رایج‌ترین شکل اکسید آلومینیوم کریستالی به عنوان کوراندوم شناخته می‌شود که فرم پایدار ترمودینامیکی است [۸].یون‌های اکسیژن با یون‌های آلومینیوم، یک ساختار شبکه کریستالی هگزاگونال فشرده را تشکیل می‌دهند. از نظر کریستالوگرافی، کرندوم یک شبکه مثلثی Bravais با یک گروه فضایی R ۳) c شماره ۱۶۷ در جداول بین‌المللی) است که سلول واحد آن حاوی فرمول اکسید آلومینیوم است.

جدول۱: 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				

جدول۲: مشخصات فیزیکی و شیمیای پودر آلومینیوم.

CAS No	۱۳۴۴-۲۸-۱
فرمول شیمیایی	Al۲O۳
شکل ظاهری	پودر
رنگ	سفید
فاز	آلفا
چگالی	gr/cm۳ ۳.۹۷
جرم مولکولی	gr/mol ۱۰۱.۹۶
نقطه ذوب	۲۰۷۲ درجه سانتیگراد
نقطه جوش	۲۹۷۷ درجه سانتیگراد
اندازه ذرات	۴۵ میکرون
درصد خلوص	۹۹%

۳-۳- میکرو سیلیس

ماسه سیلیس ذرات کوارتز کوچکتر از ۲ میلی متر است که در نتیجه هوازدگی سنگ های ماگمایی و دگرگونی غنی از کوارتز تشکیل شده است. ماسه سیلیس، عنصر اصلی سیلیکون (Si)، یکی از معادن موجود در زمین است. عدد اتمی آن (تعداد پروتون ها) ۱۴ است. چگالی آن ۲,۳۳ گرم بر سانتی متر مکعب است. سیلیسیم را می توان در طبیعت به شکل اسید سیلیکات (mSiO2.nH2O) و نمک های آن به شکل ماسه، کوارتزیت یا کوارتز (SiO2) یافت. این عنصر دیامغناطیس (غیر مغناطیسی) سختی بالایی دارد. نسبت سیلیس، ساختارهای شیمیایی و نسبت سختی بر اساس ساختار خصوصیات معادن و مناطق متفاوت است. ماسه سیلیس به طور کلی به رنگ های زرد، خاکستری، بژ و سفید است. در هر رنگ و اندازه ای از ۰-۱۰۰ میکرون تا ۱۰۰-۱۲۰ AFS تا ۱۰-۱۵ AFS از ۵۰ میکرون تا ۱ میلی متر موجود است. TS EN 12904 ماسه سیلیسی؛ همچنین به عنوان ماسه صافی و ماسه ساحلی استفاده می شود. ماسه سیلیس، یکی از سخت ترین معادن جهان، یکی از معادن مورد نیاز امروزی است. این ماسه ها که فرمول شیمیایی آنها به عنوان SiO2 شناخته می شود، در فعالیت های متنوعی از جمله شیشه، صنعت، صنعت لوله، صنایع سنگین در اقتصاد ما، صنعت، زمین های ورزشی، مناطق تفریحی استفاده می شود. پس از اینکه ماده معدنی استخراج شده به طور طبیعی از طریق شستشوهای بسیار ویژه عبور داده شد، از خاک رس و شفت پاک می شود و خالص ترین شکل خود را به وجود می آورد، سپس از مرحله الک عبور می کند و از ۰,۰۵ میکرون به ۳ میلی متر جدا می شود و لایه های ۵ میلی متری ۸ میلی متری ۲۰-۳۰ میلی متری جدا می شود. وسیله هیدروسایزر است و با دادن آن به کوره خشک کن رطوبت زدایی می شود. معمولاً آنها می پرسند که ماسه سیلیس چه تفاوتی با ماسه کوارتز دارد. هیچ تفاوتی بین ماسه کوارتز طبیعی و ماسه سیلیس وجود ندارد، به جز ماسه کوارتز غیر خرد شده. با توجه به نسبت دی اکسید سیلیکون و اکسید آهن در ماسه سیلیس، کیفیت آن افزایش یا کاهش می یابد.

۳-۴- روان کننده کربوکسیلاتی

برای کاهش مقدار آب در ترکیب از فوق روان کننده کربوکسیلاتی ساخت کشور المان استفاده شده است که مقدار استفده آن نیز ۱ درصد وزن سیمان بوده که موجب کاهش آب تا ۳۰ درصد وزن سیمان شده است. مشخصات فوق روان کننده به شرح زیر می باشد. آنالیز شیمیایی و فیزیکی روان کننده مورد نظر به شرح زیر می باشد:

جدول ۳. آنالیز فیزیکی و شیمیایی روان کننده.

light-burnt magnesia		bischofite	
Component	Content (wt%)	Component	Content (wt.%)
Magnesium oxide (MgO)	85.24	Magnesium chloride ($MgCl_2$)	46.43
Calcium oxide (CaO)	1.64	Potassium chloride (KCl)	0.21
Aluminium oxide (Al_2O_3)	0.21	Sodium chloride (NaCl)	0.36
Silicon dioxide (SiO_2)	4.70	Calcium chloride ($CaCl_2$)	0.01
Ferric oxide (Fe_2O_3)	0.29	Magnesium sulfate ($MgSO_4$)	0.02
Loss on ignition	7.92	Water insolubles	0.07
-	-	Crystal water	52.90

۳-۵- طرح اختلاط بتن

بتن مورد نظر در این تحقیق به شرح زیر مخلوط گردیده است.

جدول۴: طرح اختلاط نمونه های طراحی شده.

نام نمونه	گرانیت ۰-۹٫۵	میکرو سیلیس جایگزین گرانیت	سیمان درصد نسبت به سنگدانه	آب به سیمان	اکسید آلومینیوم به سیمان	روان کننده درصد کل بتن
GM0A0	100	0	20	30	0	1.5
GM0A2	100	0	18	30	2	1.5
GM0A4	100	0	16	30	4	1.5
GM0A6	100	0	14	30	6	1.5
GM0A8	100	0	12	30	8	1.5
GM10A0	90	10	20	30	0	1.5
GM20A0	80	20	20	30	0	1.5
GM30A0	70	30	20	30	0	1.5
GM10A2	90	10	18	30	2	1.5
GM10A4	90	10	16	30	4	1.5
GM10A6	90	10	14	30	6	1.5
GM10A8	90	10	12	30	8	1.5
GM20A2	80	20	18	30	2	1.5
GM20A4	80	20	16	30	4	1.5
GM20A6	80	20	14	30	6	1.5
GM20A8	80	20	12	30	8	1.5
GM30A2	70	30	18	30	2	1.5
GM30A4	70	30	16	30	4	1.5
GM30A6	70	30	14	30	6	1.5
GM30A8	70	30	12	30	8	1.5

در تحقیق انجام شده بتنها با توجه به جدول ۴. ترکیب و پس از رسیدن به سن مورد نظر تحت آزمایشهای ۲۸ و ۹۰ روزه قرار گرفتند.

۴- برنامه آزمایشگاهی

۴-۱- 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[7].

۴-۲- آزمایش مقاومت خمشی

طبق استاندارد ASTM C 109 نمونه ها در قالبهای ۱۵۰در ۱۵۰ در ۵۰ میلیمتر 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[8].

$$\delta = 1.5\, PL/b^3 \qquad (۱)$$

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 می باشد.

۴-۳- آزمایش جذب آب 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 [9] . از فرمول شماره ۲ برای تعیین ضریب جذب آب استفاده می شود:

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

شکل۱: تعدادی از نمونه ها درحال آزمایش جذب آب.

۴-۴- 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 [10] مخزن تسریع کربناته شدن به صورت شکل زیر تهیه گردید.

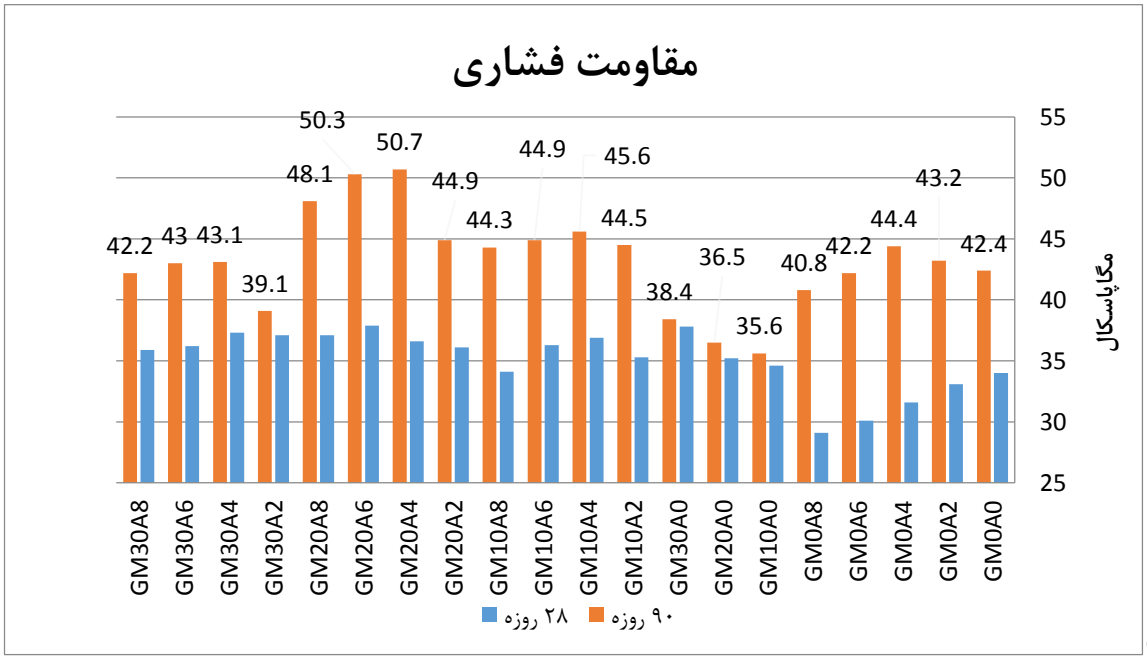
شکل۲: مخزن نگهداری نمونه ها تحت فشار گاز دی اکسید کربن.

۵- نتایج آزمایشگاهی و تحلیل آنها

نتایج نمونه ها بعد از اعمال آزمایشها در سنین مورد نظر ثبت و نمودار آنها در صفحات پیش رو ارایه گردیده است.

۵-۱- 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 جدول زیر ثبت نمودیم.

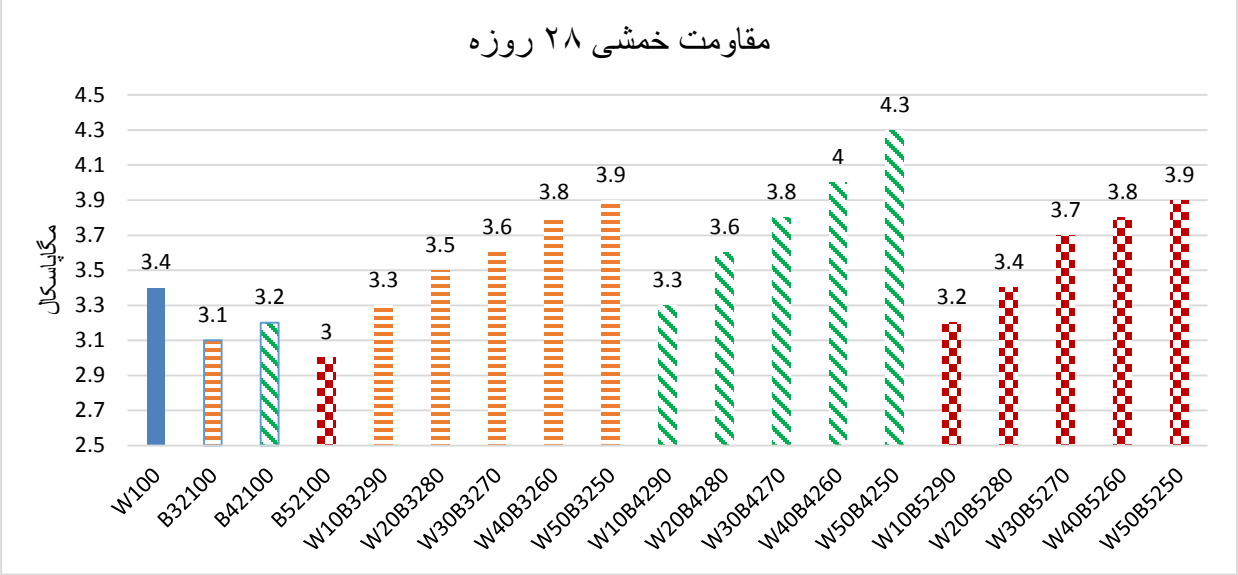


شکل۳: مقاومت فشاری نمونه های بتنی.

با توجه به شکل۳ بهترین نمونه موجود در کل اختلاط در ۲۸ روز GM20A6ودر نمونه های ۹۰ روزه GM20A4 ودر تعقیب این نمونه GM20A6 بوده است که نشانگر بهینه بوده این نمونه در هر سن می باشد ولی خارج از این نمونه که بهینه ترین حالت ترکیب بوده است شاهد افزایش مقاومت نمونه های ترکیبی با اکسید آلومینیوم با گذشت زمان می باشیم.

۵-۲- نتایج و تحلیل آزمایش درصد افت در معرض اسید

نمونه های عمل آوری شده بعد از ۹۰ روز از مخزن خارج و به مدت ۳ روز در درون اسید قرار گرفتند و بعد از ۷۲ ساعت تحت مقاومت فشاری قرار گرفته و تغییرات درصدی آنها نسبت به نمونه های اولیه در جدول زیر درج گردید.

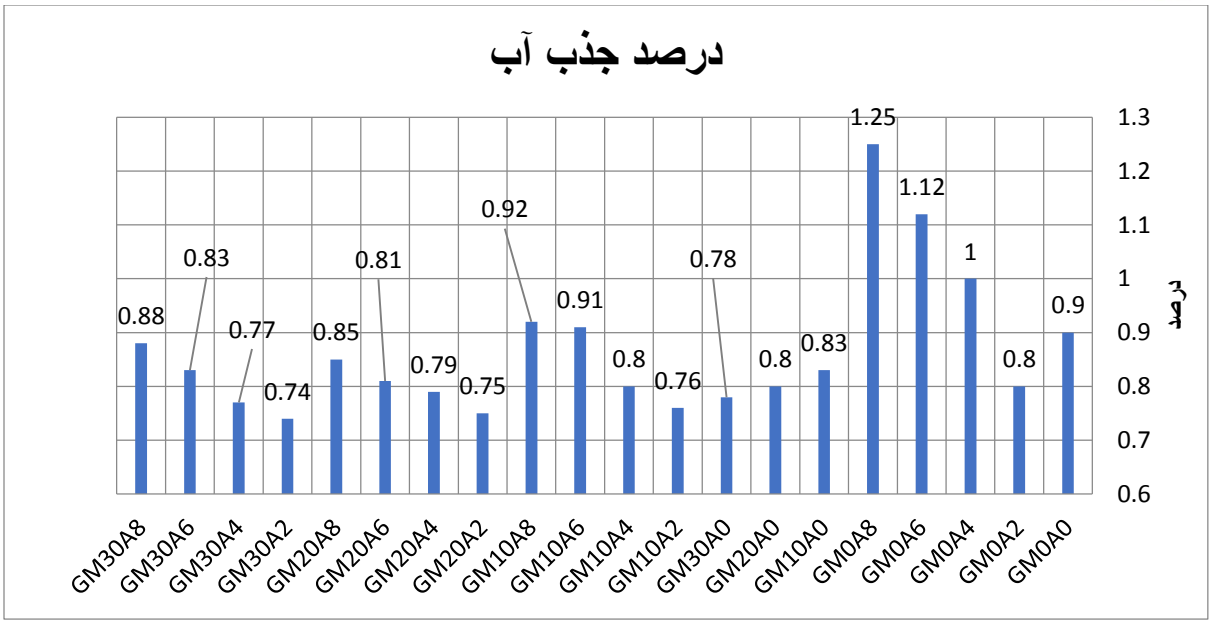


شکل۴: نمودار مربوط به درصد افت مقاومت فشاری تحت محیط اسیدی.

با آنالیز شکل ۴ روند صعودی در درصد کاهش نمونه ها در نمونه های دارای آلومینیوم اکسید کاملا واضح است و بعد از گذشت از این نمونه ها روند نزولی از نمونه GM10A0 شروع می گردد که دارای ۱۰ درصد میکروسیلیس است و این روند نزولی در تمام نمونه های دارای میکروسیلیس دیده می شود که با افزایش میکروسیلیس این روند نیز کاهشی تر می گردد ولی با افزایش اکسید آلومینیوم در نمونه مثلا در GM20A8 روند دوباره به حالت صعودی بر میگردد.

۵-۳- نتایج 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 جدول زیر داده شده است.

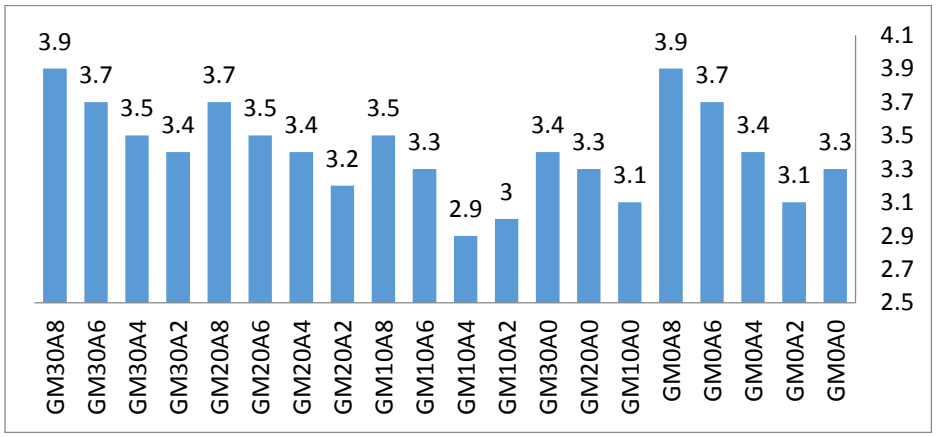


شکل۵: درصد جذب آب نمونه های بتنی.

با تحلیل نمودار ۵ مشاهده می نماییم که با افزایش مقدار میکرو سیلیس میزان جذب اب نزولی بوده و بالعکس با افزایش اکسید آلومینیوم مقدار جذب آب افزایش می یابد که در ترکیب ۲ درصدی اکسید آلومینیوم که احتمالا به دلیل واکنشهای شیمیایی آن می باشد نمونه ها نتایج بهتری از میکرو سیلیس خالص از خود نشان می دهند. به هر حال طبق نمودار نمونه دارای ۸ درصد اکسید آلومینیوم بیشترین و نمونه دارای ۲ درصد اکسید آلومینیوم همراه با ۳۰ درصد میکروسیلیس بهترین نتیجه را داشته است.

۵-۴- *نتایج آزمایش کربناته شدن*

آزمایش کربناته شدن سریع طبق EN BS 13295:2004 بر روی نمونه های مکعبی ۱۰ سانتیمتری انجام و نتایج آن در جدول زیر داده شده است.



شکل۶: میزان کربناته شدن سریع نمونه ها

با توجه به شکل ۶ که نمودار مربوط به کربناته شدن می باشد مشاهده می نماییم که بیشترین مقدار کربناته شدن در نمونه GM0A8 و GM30A8 با ۳,۹ میلی متر و کمترین مقدار کربناته شدن نیز در نمونه GM10A4 با ۲,۹ میلی متر بوده است که اختلاف ۲۵ درصدی داشته اند که در نمونه های با بیشترین مقدار کربناته شدن میزان ۸ درصدی اکسید آلومینیوم بسیار مهم است و با توجه به تاثیر اکسید آلومینیوم بر مقدار کربناته شدن علیرغم تصورات نمونه دارای ۴ درصد اکسید آلومینیوم در ترکیب با ۱۰ درصد ماسه سیلیسی کمترین کربناته شدن را داشته است که ما کمترین کربناته شدن را برای نمونه های بدوم اکسید آلومینیوم متصور بودیم.

۶- جمع بندی و نتیجه گیری

با توجه به اینکه یکی از مشکلات عمده بتنها جذب آب بالا و پایین بودن مقاومت خمشی آنهاست در بسیاری از تحقیقات اساتید و دانشجویان در این عرصه تلاش می کنند تا به نحوی این دو نقیصه را تا حدودی در بتن برطرف نمایند که در این فرآیند شاهد استفاده از مصالح و متریالهای گوناگونی به صورت افزودنی یا ترکیبی در بتن هستیم. با توجه به استفاده از اکسید آلومینیوم در این تحقیق که به عنوان ماده افزودنی جایگزین سیمان گردیده است به همراه میکروسیلیس که جایگزین سنگدانه ها شده است ۲۰ ترکیب مختلف با درصدها و مشخصات متفاوت تهیه گردید که جهار آزمایش مقاومت فشاری و جذب آب همراه با کربناته شدن و مقاومت اسیدی بر روی آنها اعمال گردید. در این تحقیق ۳۰۰ نمونه بتنی تهیه شده است که ۱۲۰ عدد آن در ۲۸ و ۹۰ روزکی برای مقاومت فشاری و برای سه آزمایش بعدی نیز هرکدام ۶۰ نمونه استفاده شده است که نتایج حاصل از این آزمایشها در فصل ۴ آورده شده است که میتوان به صورت زیر دسته بندی نمود:

۱- با توجه به نمودار و شکل ها که داده های مربوط به نمونه های ۲۸ و ۹۰ روزه داده شده است مشاهده می نماییم که با افزایش اکسید آلومینیوم در نمونه مقاومت تا مقدار مشخصی که حدود ۲ درصد اکسید آلومینیوم می باشد صعودی بوده است ولی درصدهای بالای دو درصد تاثیر منفی بر روی نمونه ها داشته است و همزمان با افزایش مقدار میکرو سیلیس نیز مقاومت فشاری افزایشی بوده است و زدر ترکیباتی که نمونه ها با ترکیب اکسید آلومینیوم و میکرو سیلیس بوده است بتنها بهترین نتایج را داشته است به طوری که بتنهای دارای ۲۰ درصد میکرو سیلیس با ۴ درصد اکسید آلومینیوم بهترین نتیجه را داشته است.

۲- با توجه به نتایج حاصل از آزمایش کربناته شدن ملاحظه می نماییم که نمونه های بتنی در حالت نرمال که ۳,۳ میلی متر کربناته شدن داشته است و با افزایش اکسید آلومینیوم روند کربناته شدن صعودی بوده است به طوری که در نمونه دارای ۸ درصد اکسید آلومینیوم به ۳,۹ میلیمتر رسیده است و با افزایش مقدار میکروسیلیس نیز از ۱۰ ب۰ ۳۰ درصد سنگدانه ها میزان کربناته شدن صعودی بوده است و جالب است که بهترین نمونه از لحاظ کربناته شدن حاصل ترکیب دو مصالحی است که به تنهایی نتیجه خوبی نداشته اندو کمترین میزان کربناته شدن را نمونه دارای ۱۰ درصد میکروسیلیس همراه با ۴ درصد اکسید آلومینیوم داشته است.

۳- با توجه به نمودارها و جدول ها بتن شاهد ۰,۹ درصد جذب آب داشتهاست که در ترکیب دودرصدی اکسید آلومینیوم به ۰,۸ درصد کاهش ولی با افزایش مقدار اکسید آلومینیوم روند جذب آب صعودی شده است به طوری که در نمونه دارای ۸ درصد اکسید آلومینیوم این مقدار جذب آب به ۱,۲۵ درصد رسیده است و ضعیفترین نمونه در بین ۲۰ ترکیب موجود بوده است. با افزایش مقدار میکرو سیلیس روند جذب آب روند نزولی داشته است به طوری که بهترین نتایج در نمونه های دارای ۳۰ درصد میکرو سیلیس دیده می شود و کمترین جذب آب نیز با ۰,۷۴ متعلق به نمونه دارای ۳۰ درصد میکرو سیلیس همراه با ۲ درصد اکسید سیلیس بوده است.

۴- با توجه به نمودار و شکل مربوطه به میزان کاهش مقاومت در محیط اسیدی مشاهده می نماییم که نمونه شاهد حدود ۷ درصد کاهش در مقاومت فشاری خود بعد از نگهداری در اسید را داشت است این در حالی است که با افزایش مقدار اکسید آلومینیوم این کقدار روند صعودی داشته است به طوری که در نمونه دارای ۸ درصد اکسید آلومینیوم با ۷,۹ درصد کاهش در مقاومت بیشترین کاهش را در بین نمونه ها داشته است. با افزایش مقدار میکروسیلیس این روند معکوس گردیده و با افزایش مقدار میکروسیلیس

میزان کاهش مقاومت نیز نزولی بوده است و زمانی که این دو ماده به صورت مشترک در ترکیب بتن قرار گرفته اند نتایج به مراتب بهتر بوده است به طوری که نمونه دارای ۲۰ درصد میکروسیلیس و ۴ درصد اکسید آلومینیوم و نمونه دارای ۳۰ درصد میکرو سیلیس همراه ۲ درصد اکسید آلومینیوم با ۴,۵ درصد کاهش بهترین نمونه در بین همه ترکیبات بتنی بوده است.

۷- پیشنهادات

با در نظر گرفتن نتایج حاصل میتوانیم پیشنهادات زیر را برای هر چه بهتر شدن تحقیقات بعدی و یا در راستای راهنمایی کسانی که از این تحقیق در جهت عملی استفاده خواهند نمود ارایه نماییم:

الف- استفاده از اکسید کلسیم بالای ۲ درصد در بتنهای معمولی توصیه نمی شود و در ضمن باید دقت نماییم که این افزودنی با گرمای هیدراتاسیون سیمان تولید گاز می نماید.

ب- پیشنهاد می گردد برای افزایش دوام و مقاومت بتن از ۲۰ تا ۳۰ درصد سنگدانه ها را با میکروسیلیس جایگزین نماییم.

ج- با توجه به رفتار ایده آل بین اکسید آلومینیوم و میکروسیلیس پیشنهاد می گردد در تحقیق هم راستا فقط از میکروسیلیس استفاده شود.

د- پیشنهادمی گردد در تحقیقات بعدی که اکسید آلومینیوم استفاده می شود از یک پوزولان فعال مانند سرباره یا دوده سیلیس نیز استفاده شود.

و- پیشنهاد می گردد اگر در پروژه ای از این بتن استفاده گردید عمل آوری به روش بخار باشد.

۸- مراجع

1-American Concrete Institute Committee, (1995). Ground Granulated Blast-Furnace Slag as a Cementitious Constituent in Concrete, American Concrete Institute, Detroit, USA, ACI 95 – 233.
2-American Concrete Institute Committe 226, (1987). Silica Fume in Concrete, American Concrete Institute Material Journal, 84: 158-166.
3-Ahmaruzzaman, M., (2010). A Review on the Utilization of Fly Ash, Progress in Energy and Combustion Science 36: 327–363.
4-Alasali M.M. and Malhotra V.M. (1991). Role of concrete incorporating high volumes of fly ash in controlling expansion due to alkali-aggregate reaction.
5-American Concrete Institute Material 88: 63 - 159.
6- Aldea, C.M., Young, F., Wang, K. and Shah, S.P. (2000). Effects of curing conditions on properties of concrete using slag replacement, Cement and Concrete Research, 30: 465-472.
7-Anonim, (2007). USGBC, LEED rating system, version 3.0, US Green Building Council, Washington.
8- ASTM C 618, (2000). Standard Specification for Coal Fly Ashand Rawor Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete, Annual Book of ASTM Standard, No. 04.02.
9-Austin, S.A. and Al-Kindy, A.A. (2000). Air Permeability Versus Sorptivity: Effects of Field Curing on Cover Concrete After One Year Old Field Exposure, Magazine of Concrete Research, 52: 17-24.
10-Barker D., Turner S., Napier-Moore P., Clark M. and Davison J. (2009). CO2 capture in the cement industry, Energy Procedia, 1: 87–94.
11-Bayasi, Z., and Zhou, J. (1993). Properties of Silica Fume Concrete and Mortar, American Concrete Institute Materials Journal, 90: 349-356.

12-Belkowitz J., and Armentrout D.L. (2009). The investigation of nano-silica in the cement hydration process.
13-American Concrete Institute Special Publication, 267: 87-100.
14- Bentur, A., Bonen, D. and Goldman, A. (1993). Discussion of a Paper by Chong, X.. at all. Roll of Silica Fume in Compressive Strength of Cement Paste, Mortar and Concrete.
14-American Concrete Institute Material Journal, 376.
15- Bicer A. (2018). Effect of fly ash particle size on thermal and mechanical properties of fly ash-cement composites, Thermal Science and Engineering Progress, 8: 78–82.
16-Brooks, J. J., Joharı, M. A. M. and Mazloom, M. (2000). Effect of admixtures on the setting times of high-strength concrete. Cement and Concrete Composites, 22: 293– 301