رویکردهای نوین در مهندسی عمران
دوره ششم، شماره دوم، ۱۴۰۱، صفحه: ۴۵- ۵۷

تاثیر دوده سیلیس برمشخصه فیزیکی بتنهای خشک گوگردی مذاب

*سیدرحیم بهارآور [*۱]، بلقیس شیخ [۲]*

*[*۱] استادیار، گروه مهندسی عمران. دانشگاه شمس، گنبد کاووس، ایران (seyedbah80@gmail.com)*

[۲] کارشناس ارشد مهندسی عمران-سازه، دانشگاه شمس، گنبد کاووس، ایران

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۳/۱۲، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۶/۱۰)

چکیده

در این تحقیق به بررسی تاثیر دوده سیلیس با نسبت های ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ ،۵۰، ۶۰ درصد وزن کل بتن خشک گوگردی پرداختیم. پودر گوگردی بعد از ذوب در دمای ۱۷۵ درجه سانتیگراد با میکروسیلیکای پیش گرمایش شده که به درجه پودر گوگرد مذاب رسیده باشد ترکیب گردید و سپس در قالبهای مورد نظرریخته شد. در این مقاله به تعداد ۱۸۹ عدد نمونه درقالبهای مختلف از جمله مکعبی ۱۰ سانتیمتری برای آزمایش مقاومت فشاری ، مکعب ۵ سانتیمتری برای آزمایش مقاومت اسیدی وذوب و انجماد، همچنین نمونه ۴*۴*۱۶ سانتیمتری برای مقاومت خمشی تهیه شده شده است. نمونه ها طبق پیش آزمایشهای انجام شده ۱، ۲۴ و ۷۲ ساعت بعد از بتن ریزی تحت آزمایشهای مورد نظر قرار گرفته اند. تمامی نمونه ها در شرایط آزمایشگاهی نگهداری و در قالبها ریخته شده اند. برای رساندن پودر گوگرد به درجه ذوب از آون موجود در آزمایشگاه استفاده شده است.برای آزمایش دوام اسید سولفوریک به کار برده شده و سعی گردیده است تمامی مراحل آزمایش در شرایط یکسان آب و هوایی و رطوبتی انجام شود.

کلمات کلیدی

دوده سیلیس، پودر گوگرد، بتن خشک، اسید سولفوریک.

رویکردهای نوین در مهندسی عمران
دوره ششم، شماره دوم، ۱۴۰۱، صفحه: ۴۵- ۵۷

The Effect of Silica Fume on the Physical Properties of Molten Sulfur Dry Concrete

Seyed Rahim Baharavar [1*], Belgeis Sheykh [2]

*[*1] Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Shams Gonbad University, Gonbad Kavous, Iran (seyedbah80@gmail.com)*

[2] M. Sc. of Structural Engineering, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Shams Gonbad University , Gonbad Kavous, Iran

(Date of received: 02/06/2022, Date of accepted: 01/09/2022)

ABSTRACT

In this study, we investigated the effect of silica fume with ratios of 10, 20, 30, 40, 50, 60% of the total weight of sulfur dry concrete. After melting at 175 ° C, sulfur powder was mixed with preheated microsilica that reached the level of molten sulfur powder and then poured into molds. In this paper, 189 samples in different forms, including a 10 cm cube for compressive strength test, a 5 cm cube for acid resistance, melting and freezing tests, and a 16 x 4 x 16 cm sample for flexural strength have been prepared. The samples were tested 1, 24 and 72 hours after concreting according to the pre-tests. All samples are stored in the laboratory and poured into molds. An oven in the laboratory was used to bring the sulfur powder to the melting point. Sulfuric acid has been used to test its.

Keywords:

Microsilica, Sulfur powder, Dry concrete, Sulfuric acid.

۱- مقدمه

امروزه یکی از مسایلی که بیش از پیش در فرهنگ مهندسی مهم جلوه می نماید هم راستا با ساخت و ساز و پیشبرد کارهای عمرانی به حداقل رساندن تخریبات محیط زیستی می باشد. لذا یکی از وظایف مهم جامعه مهندسی جایگزین کردن مواد و مصالحی هست که توان جایگزینی پر مصرف ترین ماده چسباننده مورد استفاده در حوضه های عمرانی که همان سیمان است را کامل و یا تا حدودی داشته باشد. یکی از موادی که سال ۲۰۲۱ به علت بتن ریزی ناسا در کره ماه در کانون توجه مهندسین مواد و تکنولوزی بتن قرار گرفت بی شک استفاده از گوگرد در بتنهای خشکی بود که به علت نبود آب در کره ماه بتن ریزی و ساخت و ساز را دچار مشکل نموده بود. ما در این تحقیق بر آنیم تا بااستفاده از پودر گوگرد که یکی از محصولات جانبی استخراج گازهای زیر زمینی است و به علت همسایگی کشورمان با ترکمنستان در شمال شرق کشور و همچنین منابع گاز عدیده جنوب، در کشور به وفور یافت می شود با اعمال بعضی آزمایشها از توانایی این ماده در شرایط فیزیکی و شیمیایی آگاهی بیشتری را کسب و در پیشبرد اهداف تعین شده اقدام نماییم. بتنهای معمولی که در صنعت ساختمان مورد استفاده قرار میگیرند ترکیبی هستند از پرکننده ها ، مواد چسباننده و مواد روان ساز که عمدتا از سنگدانه ها برای پرکنندگی و سیمان برای چسبانندگی و آب نیز جهت روانگرایی بتن استفاده می گردد. گاها کمبود بعضی از این مصالح و یا استراتژیک بودن آن باعث میگردد تا ما به فکر مصالح جایگزین باشیم . بتن خشک گوگردی از جمله بتنهایی هست که میتوان بدون آب و با استفاده از حرارت آن را تبدیل به سیال نموده و در ترکیب با دیگر مصالح مانند سنگدانه ها همانند بتن آسفالتی از آن بهره بگیریم. استفاده از میکروسیلیکاتها در مقالات زیادی از جمله (Use of microsilica in concrete construction) "استفاده از میکروسیلیس در ساخت و ساز بتن" نوشته عبدالعزیز، بابشیت و بسام در دانشگاه فهد در سال ۲۰۰۷ مورد استفاده قرار گرفته است که از نتایج حاصله می توان به افزایش دوام در برابر سولفاتها و حملات اسیدی اشاره نمود [۱]. همچنین در تحقیق دیگری با موضوع (MICRO SILICA IN CONCRETE–THE SPECIAL CONCRETE) "میکرو سیلیس در بتن – بتن ویژه" چاپ شده در سال ۲۰۱۵ در دانشگاه آمیت هندوستان نشان داده است که استفاده از میکرو سیلیس باعث افزایش مقاومت فشاری در اثر خاصیت پرکنندگی بالای این ماده به دلیل ریز دانه بودن آن داشته است. با توجه به پیشینه ای که در استفاده از میکروسیلیسها در بتنها داشته ایم در این تحقیق قصد داریم تا از این مصالح در تقویت بتن خشک گوگردی نیز استفاده نماییم تا نتایج حاصل از این فرآیند را با استفاده از آزمایشهای مورد نظر تحلیل و بررسی نماییم [۲]. گوگرد مذاب همانند سیمان دوغاب خالص مقاومت چندان زیادی ندارد ولی زمانی که به عنوان ماده چسباننده بین مواد پرکننده ای مانند سنگدانه ها قرار گیرد میتواند مقاومت بالایی از خود نشان دهد. البته یکی از اهداف این تحقیق نیز نشان دادن تاثیر همین میکروسیلیسها بر روی مقاومت فشاری و دوام بتنهای خشک گوگردی می باشد.

۲- موارد استفاده از بتن گوگردی

با توجه به پیش آزمایشهای انجام شده و عایق بودن بتن خشک گوگردی میتوانیم از این بتن در کف سازس استخرها و حتی دیواره آنها استفاده نماییم و فقط با این مصالح هم بدنه استخر را تشکیل دهیم و هم اینکه بتئانیم استخر را کانلا عایق نماییم . از موارد دیگری که میتوان از این بتن استفاده کرد راهسازیهای جاده ای می باشد چرا که میتوان با بچینگهای گرم آسفالتی پودر گوگرد را ذوب و در همانجا با سنگدانه ترکیب و روسازس نمود، همچنین می توان از بتن خشک گوگردب با مقاومتهای بالای ۲۵ Mpa در سازه های ساختمانی خاص نیز بهره برد.

۳- مصالح و برنامه آزمایشگاهی

۲-۱- مصالح

مصالح مورد استفاده در این ترکیب عبارتند از پودر گوگرد و میکرو سیلیکا که مشخصات آنها در قسمت زیر داده شده است. عنصر گوگرد در طبیعت به صورت طبیعی و خالص، یا به صورت ترکیبات سولفید و سولفات همراه با دیگر عناصر فلزی و نافلزی یافت می‌شود. گوگرد سرد و خالص، زرد رنگ می‌باشد ولی بیشتر به سبب حرارت بالا یا ناخالصی‌ها تغییر رنگ می‌دهد. عنصر گوگرد به همراه عناصر دیگر در کانی‌های مختلفی یافت می‌شود که مهم‌ترین آنها، پیریت، مارکاسیت، پیروتیت، کالکوپیریت، کالکوزیت، کوولیت، بورنیت، اسفالریت، انیدریت، ژیپس و غیره است[۳]. گوگرد به دوشکل زیر در بازار وجود دارد: نمونه خالص موجود در بازار به صورت پودری می باشد که بسته به ساختار و محل استخراج دارای درجه حرارت بین ۱۷۵ و ۲۳۰ درجه سانتیگراد می باشد. گوگرد دارای چگالی ۱,۹۲ الی ۲ gr/cm3 می باشد[۳]. نمونه ناخالص (گوگرد گرانول بنتونیت دار)، این ماده همان گونه که از نامش پیداست به صورت گرانوله های دلیروی شکل در بازار موجود می باشند که عموما با بنتونیت ترکیب می گردد و بیشتر موارد مصرف آن در کارهای کشاورزی می باشد.

شکل ۱: نمونه گوگرد پودری.

شکل ۲: نمونه ای از گوگرد گرانوله.

پودر گوگرد مورد استفاده در این تحقیق دارای مشخصات فیزیکی و شیمیایی زیر می باشد. همانطور که در جدول شماره ۱ مشاهده می نماییم پودر گوگرد مورد استفاده در این مقاله کاملا مطابق استانداردهای جهانی بوده است که موجب قابل استنادشدن نتایج حاصله در سطح جهانی می گردد.

جدول ۱: مشخصات فیزیکی گوگرد پودری.

مشخصات نمونه	مشخصات استاندارد	استاندارد	ویژگی
زرد	زرد	بصری	رنگ
۰,۰۷	حداکثر ۰,۲	ISO 3425	خاکستر و محتوای هیدروکربن
۹۹,۸۳	حداقل ۹۹,۸	B.S 4113	خلوص
۰,۰۱	حداکثر ۰,۵	B.S 4113	درصد رطوبت کل
۰,۰۱	حداکثر ۰,۰۲	ISO 3704	اسیدیته (H2SO4)
۱۶۲۰	۱۷۰۰-۱۱۰۰		چگالی

دوده سیلیس سیلیس بسیار ریز غیر بلوری است که در کوره های قوس الکتریکی به عنوان محصول جانبی تولید سیلیکون یا آلیاژهای حاوی سیلیکون تولید می شود. اندازه متوسط یک ذره دوده سیلیس حدود ۱۰۰ برابر کوچکتر از یک ذره متوسط سیمان پرتلند است. چگالی مواد ۲,۲ گرم بر سانتی متر مکعب است و وزن واحد حجمی آن در محدوده ۲۰۰-۲۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب است. در کارخانه فروکروم رفسنجان، حدود ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ تن در سال تولید می شود. مشخصات دوده سیلیس استفاده شده که از کارخانه فروکروم رفسنجان تهیه شده است مطابق با جدول شماره۲ می باشد .

جدول۲: مشخصات میکرو سیلیکا یا دوده سیلیس.

مشخصات فیزیکی		ترکیب شیمیایی٪	
2.36	وزن مخصوص (g/cm3)	۹۴,۶۱	SiO2
		۲,۲۰	Al2O3
2000	مساحت سطح تماس (m2/kg))	۰,۲۰	Fe2O3
		۱,۴۰	CaO
		-	MgO
		۰,۲۱	SO3

۲-۲- شرایط بتن ریزی و عمل آوری

جادهی و شرایط ترکیب بتنی در بتنهای خشک با یتنهای معمولی متفاوت تر است چرا که ماده ای به نام آب که حالت روانی به بتن را می بخشد حذف شده است و به جای تکمبل هیدراتاسیون تکمیل سخت شدگی پیوندهای ایزوتروپ شیمیایی را داریم. در بتن خشک گوگردی ایتدا گوگرد پودر در درجه حرارت ۱۷۰ الی ۱۸۵ درجه سانتیگراد ذوب می گردد و سپس دوده سیلیس نیز در این درجه حرارت گرم شده و در پودر سیلیس مذاب به مدت ۱۰ ثانیه مخلوط می شود بهد از اختلاط این دو مصالح مخلوط مورد نظر در قالبهای فلزی و یا چوبی ریخته می شود که در این پژوهش همانند شکل ۳ از قالبهای چوبی برای نمونه ای مکعب ۱۰ و قالبهای فلزی برای نمونه های مکعبی ۵ سانتیمتری استفاده شده است.

شکل ۳: قالب چوبی و نمونه بتن خشک گوگردی.

همانطور که میدنیم در عمل آوری بتنهای معمولی عاملی که موجب گیرش بتن می گردد هیدراتاسیون سیمان موجود در آن است که برای بالا بردن مقاومت نیز مجبور به عمل آوری آن برای حصول نتیجه بهتر هستیم ولی در بتن خشک گوگردی عمل آوری تفاوتهایاساسی با بتن معمولی دارد که عبارتند از:

۱- کنترل حرارت مصالح ترکیبی جهت جلوگیری از انفجار سردو گرم مصالح

۲- کنترل حرارت محیط بتن ریزی جهت جلوگیری از سردشدن ناگهانی و ایجاد ترک (دمای محیط زیر صفر نباشد)

۳- احتبیاط در هنگام بتن ریزی به علت احتمال سوختگی

۴- قالبهای کاملا عایق به علت بالا بودن روانی مذاب گوگرد

۲-۳- طرح اختلاط

برای انجام آمایشهای مورد نظر ۱۸۹ نمونه در قالبهای مختلف طبق طرح اختلاط مندرج در جدول زیر تهیه گردیده است و نمونه ها در ۱،۲۴ و ۷۲ ساعت مورد آزمایش قرار گرفته اند.

جدول ۳: طرح اختلاط بتن خشک گوگردی.

نمونه	سیلیکا(دودسیلیس)%	درصد پودر گوگرد	وزن سیلیکا (دوده سیلیس)kg/m3	وزن پودر گوگردKg/m3
DCS0	0	100	0	2200
DCS10	10	90	220	1980
DCS20	20	80	440	1760
DCS30	30	70	660	1540
DCS40	40	60	880	1320
DCS50	50	50	1100	1100
DCS60	60	40	1320	880
DCS= Dry, Concrete and Silicate				

بتن ریزی ها طبق جدول شماره ۳ با طرح اختلاط داده شده به شرح زیر انجام گردید:

۱- ۶۳ نمونه مکعبی ۱۰*۱۰*۱۰ سانتیمتری برای آزمایش مقاومت فشاری برای سنین ۱و۲۴ و ۷۲ ساعته در ۷ ترکیب داده شده است.

۲- ۶۳ نمونه شمشی ۴*۴*۱۶ سانتیمتری برای آزمایش مقاومت خمشی برای سنین ۱،۲۴و ۷۲ ساعته در ۷ ترکیب داده شده است.

۳- ۴۲ نمونه مکعبی ۵*۵*۵ سانتیمتریبرای آزمایش اسیدی برای سنین ۲۴ ساعته در ۷ ترکیب داده شده که ۲۱ نمونه بعد از ۲۴ ساعت وزن گردیده وشکسته شده ۲۱ نمونه دیگر بعد از ۲۸ روز غرقاب شدن در اسید مورد آزمایش قرار گرفته است.

۴- ۲۱ نمونه مکعبی ۵*۵*۵ سانتیمتری برای آزمایش ذوب و انجماد برای سنین ۲۴ساعته در ۷ ترکیب داده شده

نمونه ها بعد از اتمام بتن ریزی در سنین مورد نظر تحت آزمایشهای تعیین شده قرار گرفته و نتایج در ادامه ارائه شده است.

شکل ۴: بتن گوگردی مذاب درون قالبها.

۲-۴- برنامه آزمایشگاهی

۲-۴-۱- آزمایش مقاومت فشاری

این آزمایش بر روی مکعبهای با ابعاد ۱۰ سانتیمتری و بر اساس استاندارد BS-206 انجام گرفت[۴]. بعد از خروج نمونه ها ازقالب در سنین مورد نظر نمونه ها کاملا پاک شده و 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.

۲-۴-۲- آزمایش مقاومت خمشی

طبق استاندارد ASTM C 109 نمونه ها در قالبهای ۴*۴*۱۶ 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[۵].

$$\delta = 1.5\, PL/b^3 \qquad (۱)$$

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

۲-۴-۳- آزمایش دوام در برابر شرایط اسیدی

در این آزمایش نمونه های مکعبی ۵ سانتیمتری بعد از سنین مورد نظر از قالب خارج و یک دسته از آنها تحت مقاومت فشاری قرار می گیرند و دسته دوم ابتدا وزن و سپس به مدت ۲۸ وز در درون اسید سولفوریک قرار داده می شوند و بعد از گذشت ۲۸ روز نمونه ها از اسید خارج و بعد از خشک شدن وزن و دوباره زیر جک قرار گرفته و وزن اولیه و ثانویه و همچنین مقاومتها با یکدیگر مقایسه می گردند[۶].

شکل۵: نمونه های خارج شده از اسید سولفوریک.

۲-۴-۴- آزمایش جذب آب نمونه ها

بعد از خارج شدن هر نمونه، وزن و مقدار آن M1 ثبت می‌شود. سپس هر نمونه به گونه‌ای در قرار می‌گیرد که محور طولی آن به صورت افقی و روی آن ۵ ±۲۵میلی‌متر 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. از فرمول شماره ۲ برای تعیین ضریب جذب آب استفاده می شود:

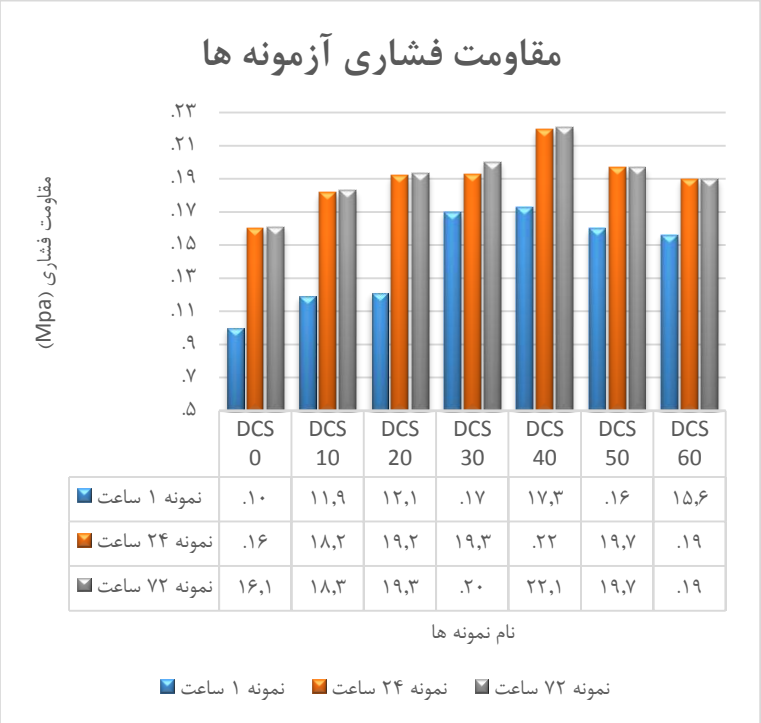
$$\text{آب جذب درصد} = \frac{M2 - M1}{M1} * 100 \quad (۲)$$

شکل۶: تعدادی از نمونه ها درحال آزمایش جذب آب.

۴- تحلیل نتایج آزمایشگاهی

۴-۱- نتایج آزمایش مقاومت فشاری

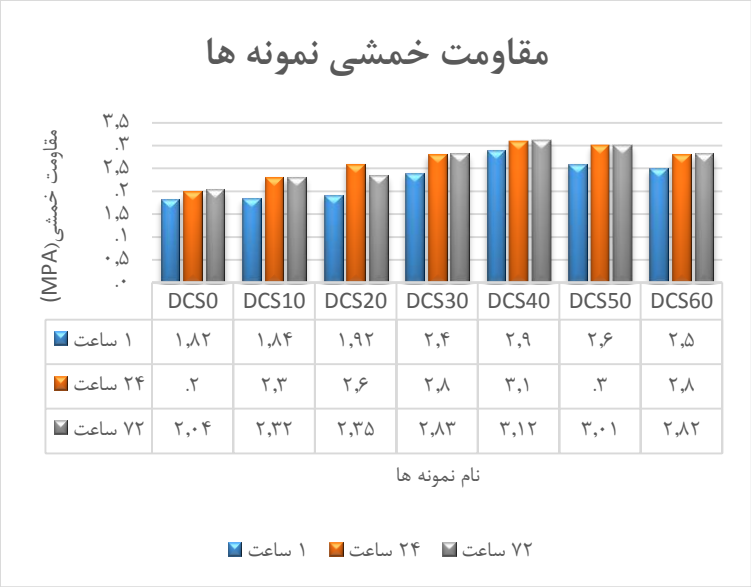
نتایج شکل ۷ نشانگر آن است که مقاومت فشاری نمونه ها با افزایش درصد دوده سیلیس تا ۴۰ درصد به صورت صعودی رشد داشته است ولی با عبور از ۴۰ درصد مقاومت فشاری افت قابل توجهی را نشان می دهد که علت آن ریز دانه تر بودن دوده سیلیس و بالا بودن سطح تماس آن است که با افزایش مقدار دوده سیلیس، ماده گوگرد که به عنوان چسباننده بین دانه ها عمل می کند نمیتواند این مساحت از سطح تماس را با همان کیفیت قبلی همپوشانی نماید. همچنین باافزایش میزان دوده سیلیس به نظر می رسدهمگنی بین دانه ها نیز متزلزل گردیده است ودر درصدهای ۵۰ و ۶۰ به وضوح میتوان این ضعف را در اختلاطها مشاهده نمود. در بین نمونه ها DCS40 با مقاومت فشاری ۲۲,۱ Mpa بهترین عملکرد را داشته است که نسبت به نمونه شاهد ما که مذاب گوگرد خالص بوده است ۳۷ درصد افزایش مقاومت را از خود نشان می دهد. با دقت در نمودار میتوانیم مشاهده نماییم که در تغییر دوده سیلیس از ۳۰ به ۴۰ درصد مقاومت از ۲۰,۰۱ به ۲۲,۱ مگاپاسکال افزایش داشته است که این نشانگر صعودی ۱۰,۵ درصدی می باشد که در برابر دیگر پله های افزایشی ۱۰ درصدی دوده سیلیس این تغییر بیشترین صعود را نشان می دهد. همچنین با توجه به نتایج حاصله در شکل ۷مشاهده می نماییم که نمونه ها بعد از گذشت ۲۴ ساعت تقریبا ۱۰۰٪ مقاومت نهایی خودرا کسب نموده اند و نمونه های ۲۴ ساعته در برابر نمونه های ۱ ساعته افزایشی معادل ۴۰ الی ۶۰ درصد داشته اند ولی در نمونه های ۷۲ ساعته تغییر محسوسی در نمونه ها نبوده و نمونه ها بعد از ۲۴ ساعت آماده بهره برداری بوده اند. با توجه به نتایج حاصله میتوان گفت که نمونه DCS40 از لحاظ مقاومتی بهترین عملکرد را از خود نشان داده است وهمه نمونه های بتن خشک گوگردی با دوده سیلیس در عرض ۲۴ ساعت به مقاومت بهره برداری رسیده اند و با در نظر گرفتن اطلاعات آزمایشگاهی مقدار بهینه دوده سیلیس ۴۰ درصد وزن بتن گوگردی بوده است .



شکل ۷: نتایج حاصل از آزمایش مقاومت فشاری.

۴-۲- نتایج آزمایش مقاومت خمشی

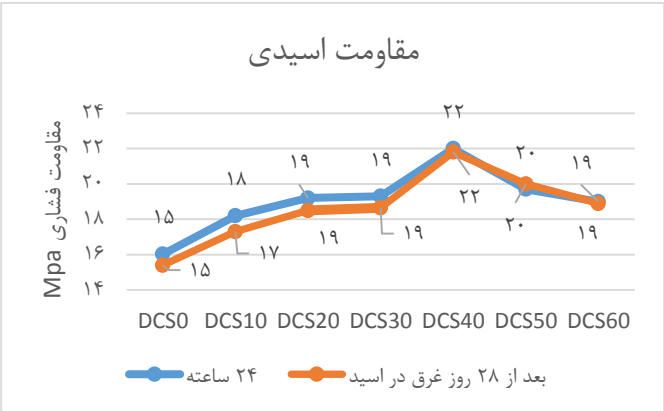
با توجه به شکل ۸ مقاومت خمشی نمونه ها نیز تابعی از مقاومت فشاری بوده است و دقیقا مقاومت خمشی نمونه ها به علت ضعف در چسبندگی از نمونه های بالای ۴۰ درصد دوده سیلیس شروع به روند نزولی نموده و احتمالا با افزایش دوده سیلیس این روند نیز ادامه دار خواهد بود بهترین ترکیب در این آزمایش نمونه دارای ۴۰ درصد دوده سیلیس می باشد که با کسب ۳,۱۲ مگاپاسکال بهترین مقاومت خمشی را از خود نشان داده است.و نسبت به نمونه شاهد ۵۲ درصد و نسبت به نمونه سیلیس دار اولی ۳۴ درصد افزایش را از خود نشان داده است. نتایج در شکل ۸ نشانگر آن است که نمونه در۲۴ ساعت اوله بیشترین مقاومت خود را کسب نموده اند و گذشت زمان بعد از ۲۴ ساعت تاثیر چندانی بر روی مقاومت خمشی نمونه ها نداشته است. و با افزایش مقدار سیلیس نیز درصد افزایش مقاومت خمشی نمونه ۱ ساعته به ۷۲ ساعته با آنکه مثبت بوده است ولی نزولی می باشد چنان که در نمونه شاهد این اختلاف ۶۷ درصد ولی در نمونه DCS60 به ۱۳ درصد کاهش یافته است. از تحلیل نتایج حاصل در شکل ۹ مشاهده می گردد که مقاومت خمشی در بعضی نمونه ها نسبت به بتنهای سیمانی که حدود ۱۰ الی ۱۲ درصد مقاومت فشاری نمونه را در بر میگیرد بیشتر است به طور مثال نمونه DCS30 عددی برابر ۱۵,۲ درصدی مقاومت فشاری خود را در نمودار خمشی از خود به ثبت رسانده است. نقطه قابل توجه دیگر ان است که در مقاومت خمشی نمونه های دارای ۵۰ و ۶۰ درصد دوده سیلیس با آنکه کمتر از نمونه حاوی ۴۰ درصد بوده است ولی بر خلاف مقاومت فشاری با نمونه DCS30 که ۳۰ درصد دوده سیلیس دارد به ترتیب صعودی و برابر هستند.



شکل۸: نتایج حاصل از آزمایش مقاومت خمشی نمونه ها.

۴-۳- نتایج آزمایش مقاومت در برابر اسید سولفوریک

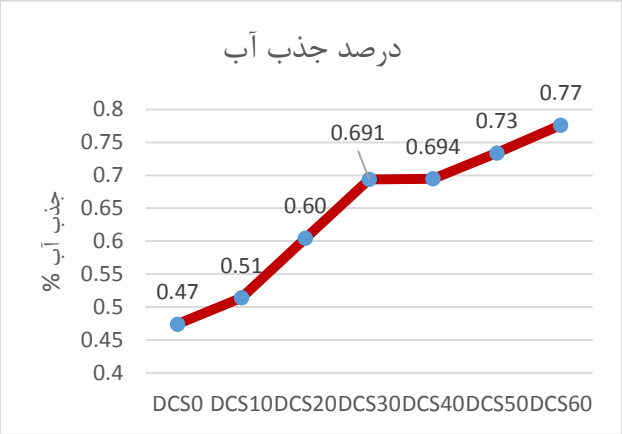
نتایج حاصله از آزمایش مقاومت اسیدی در شکل ۹ بیانگر آن است که مقایسه نمونه های شکسته شده بعد از ۲۴ ساعت و نمونه های ۲۸ روزه غرقاب در اسید با افزایش دوده سیلیس همپوشانی بیشتری داشته اند به طوری که در نمونه های دارای ۴۰ ، ۵۰ و ۶۰ درصد تقریبا مقاومتهای بتنهای خشک در معرض اسیدی با نمونه های شاهد برابر بوده اند . قابل ذکر است که نمونه ها قبل و بعد ا اسیدیته شدن وزن گردیده و وزنها باهم مقایسه شده اند که نتایج نشانگر آن است هیچ خوردگی در نمونه به وجود نیامده و وزنها ثابت بوده اند. در تحلیل رفتار نمونه ها در برابر اسید میتوانیم علت برابر بودن مقاومت فشاری نمونه ها را در DCS40, DCS50 و DCS60 به تاثیر بالای دوده سیلیس بر نمونه ارتباط دهیم که سبب آن شده است تا هیچگونه تاثیری روی مقاومت قبل و بعد از اسیده شدن ایجاد نشود و در کل تمام نمونه ها از لحاظ وزنی و مقاومتی و دوام عملکرد بسیار خئبی از خود در براب اسید سولفوریک نشان داده اند.



شکل ۹: نتایج حاصل ازآزمایش مقاومت نمونه ها در برابر اسید سولفوریک.

۴-۴- نتایج آزمایش جذب آب نمونه ها

آزمایش جذب آب برروی نمونه های بتن خشگ گوگردی طبق استاندارد انجام شد و طبق نتایج شکل ۱۰ مشاهده می نماییم که نمونه ها بر خلاف آزمایشهای قبلی که با افزایش دوده سیلیس تمام مشخصه ها حالت صعودی داشتند حالت نزولی به خود گرفته اند و بیشترین جذب آب نیز در نمونه دارای ۶۰ درصد دوده سیلیس ود است ولی باید توجه داشته باشیم که این مقدار جذب آب که در نمودار مربوطه درج گردیده است بسیار ناچیز بوده و می توان این ادع را نمود که نمونه های گوگردی و حتی نمونه های بتن خشکگوگردی ترکیبی با دوده سیلیس نیز هیچگونه جذب آبی ندارند. در تحلیل نتایج حاصل از شکل ۱۰ دوده سیلیس موجود د بتن خشک گوگردی جذب آب بالایی را از خود نشان داده است که علت آن نیز میتواند بالا رفتن حرارت نمونه ها در پیش گرمایش قبل از ترکیب در گوگرد باشد که موجب می گردد تمام رطوبت نمونه ها گرفته شود و زمانی که در معرض آب قرار میگیرد آب بیشتری را جذب کند که البت همانطور که ملاحظه می گردد جذب آب نمونه ها در مقابل جذب آب بتنهای (UHPC) با مقاومت بسیار بالا نیز ناچیز است .



شکل ۱۰: نتایج حاصل از آزمایش جذب آب نمونه ها.

۵- جمع بندی و نتیجه گیری

با توجه به نمودارهای حاصل از آزمایشهای انجام شده میتوانیم نتیجه بگیریم که همبستگی بسیار بالایی بین نمونه ها و نتایج آزمایشی وجود دارد به طوری که تمام نمودارها نشان دهنده آن است که با افزایش دوده سیلیس از ۱۰ تا ۴۰ درصد تمان آزمایشها نتایج صعودی داشته اند و بهترین نمونه نیزDCS40 بوده است ولی میتوان گفت ۴۰ درصد دوده سیلیس نقطه عطفی بوده است که بعد از نمونه ها در آزمایشها سیر نزولی به خود گرفته اند و فقط در آزمایش جذب آب بوده است که نمونه ها با سیر نزولی شروع و به اتمام رسیده است. با این حال نمونه ها از نظر مقاومتی بسیار خئب عمل نموده اند و با توجه به اینکه دارای جذب آب بسیار پایین و مقاومت بالای ۲۰ Mpa را نیز لمس نموده اند میتوانیم به صورت سازه ای از این ترکیب استفاده نماییم و از آنجایی که مقاومت کششی بالایی نسبت به بتنها نیز داشته است شاید بتوان به صورت غیر مسلح در دیواره استخرها بدون لایه عایق استفاده نمود که نیازمند تحقیق بیشتری در این زمینه هست.

۶- مراجع

[1]- Abdulaziz, A., Bubshait Bassam, M., and Tahir, M. O., 2007, **Use of microsilica in concrete**, construction Building Research & Information, 24, 41-49

[2]-Piyush, Sh., 2015, micro silica in concrete, the spacial concrete, International Journal of Research, 02(08), 590-607

[۳]- همایون نسب، م.، مهدوی عادلی، م.، ۱۳۹۴، **بررسی درصد جذب آب و مقاومت در برابر خوردگی اسید پوشش گوگردی**. چهارمین کنفرانس ملی مصالح و سازه های نوین در مهندسی عمران.

[4]- BS EN 206, 2016, Concrete - specification, performance, production and conformity.

[5]- ASTM C 109, 2000, Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars. ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States

[6]- Ashyin, D., Smith, A., Tennyson, 2020, **Polymer cements by copolymerization of waste sulfuroleic acid, and pozzolan cements**, International Journal of Research, 16, 100249.