

بررسی تاثیرات سولفات ها بر مقاومت فشاری انواع بتن های پوزولانی و اندازه گیری میزان نفوذ با آزمون فراصوت در سنین مختلف

رضا فرخ زاد *

عضو هیئت علمی دانشکده عمران و نقشه برداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین

سجاد یاسری

پژوهشگر مرکز تحقیقات صنعت ساختمان و بتن دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین (CCRC)

محمد حسین انتظاریان

پژوهشگر مرکز تحقیقات صنعت ساختمان و بتن دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین (CCRC)

امیر یآوری

پژوهشگر مرکز تحقیقات صنعت ساختمان و بتن دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین (CCRC)

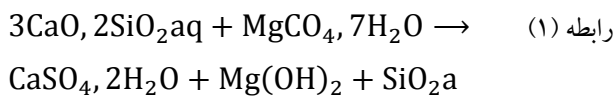
چکیده

شاخص های طراحی، ساخت و بهره برداری سازه های بتنی، توجه ویژه به توسعه پایدار و مباحث زیست محیطی می باشد به طوری که سعی می شود با افزایش عمر مفید این سازه ها و صرفه جویی های اقتصادی از ایجاد خسارت به طبیعت نیز جلوگیری گردد. بر همین اساس محققین در سال های اخیر، دیدگاه بتن پایدار داومی را در کنار بتن مقاومتری مطرح می کنند و با جایگزینی انواع افزودنی طبیعی به جای سیمان، علاوه بر کاهش در مصرف سیمان، کاهش هزینه و آلاینده های تولید آن، میزان مقاومت و دوام بتن را بهبود می دهند. بر همین راستا و نیاز به تحقیقات بیشتر جهت بررسی دوام بتن های حاوی مواد افزودنی و پوزولانی در برابر حملات سولفاتی سبب شد تا در این مطالعه از انواع مختلف مواد افزودنی شامل میکروسیلیس، زئولیت، خاکستر بادی، متاکائولن و نانوسیلیس به عنوان جایگزین بخشی از سیمان مورد استفاده قرار گیرد. همچنین به منظور بررسی میزان تاثیر و قدرت تخریب انواع مهاجم های سولفاتی، بتن های پوزولانی ساخته شده درون چهار محیط اشباع حاوی سولفات های آهن، منیزیم، سدیم و کلسیم با pH ثابت قرار داده شدند و جهت مقایسه و بررسی برای تمامی طرح ها نمونه ی شاهد اشباع در آب آهک ساخته شد. سپس نمونه ها با آزمایش مقاومت فشاری و آزمون غیر مخرب عبور امواج فراصوتی در سنین ۷، ۱۴، ۲۸، ۶۰، ۱۸۰ و ۳۶۰ روز مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد بتن های حاوی میکرو و نانوسیلیس به ترتیب بیشترین مقاومت را در برابر حملات سولفاتی دارند. همچنین نتایج توانایی و تاثیر مخرب بالای سولفات منیزیم سپس سدیم و کلسیم را به ترتیب نشان داد و مشاهده شد که سولفات آهن در مقایسه با دیگر سولفات ها تاثیر تخریبی کمتری دارد. بررسی های سرعت امواج فراصوتی نیز نشان داد که با افزایش سن از ۱۸۰ به ۳۶۰ روز سرعت امواج افزایش محسوسی دارد. همچنین با افزایش تشکیل ماده مخرب اترینگایت در بتن سرعت موج نیز افزایش می یابد. بیشترین تاثیر افزایش سرعت با افزایش اترینگایت در نمونه های سولفات کلسیم مشاهده شد.

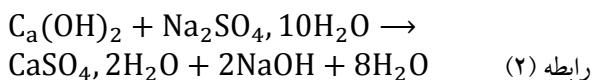
واژه های کلیدی: بتن پوزولانی، اترینگایت، دوام بتن، سولفات، سرعت امواج فراصوتی.

۱- مقدمه

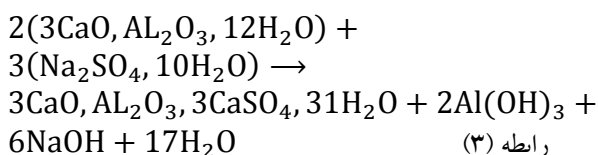
فاضلاب های صنعتی نیز به وجود آمده باشند [۲]. واکنش هریک از سولفات ها را می توان بر اساس مرجع [۲] بدین صورت معرفی نمود، سولفات منیزیم به هیدرات های سیلیکات کلسیم و همچنین $\text{Ca}(\text{OH})_2$ و هیدرات آلومینات کلسیم حمله می کند. فرمول شیمیایی زیر را ایجاد می نماید [۲].



به علت قابلیت انحلال خیلی کم $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ، این واکنش تا مرحله تکمیل شدن ادامه می یابد به طوری که تحت پاره ای از شرایط، حمله سولفات منیزیم از دیگر سولفات ها شدیدتر است. واکنش بیشتری بین $\text{Mg}(\text{OH})_2$ و ژل سیلیسی امکان پذیر است و حتی ممکن است منجر به از هم پاشیدن بتن گردد، نتیجه حیاتی حمله سولفات منیزیم، از هم پاشیده شدن C-S-H است. سولفات سدیم به $\text{Ca}(\text{OH})_2$ حمله می نماید و واکنشی به صورت زیر ایجاد می نماید [۲].



این حمله از نوع اسیدی می باشد. در آب های جاری، $\text{Ca}(\text{OH})_2$ می تواند کاملاً حل شود و به خارج راه یابد، اگر NaOH انباشته گردد، حالت تعادل حاصل می شود و فقط قسمتی از SO_3 به صورت گچ رسوب می نماید. سولفات کلسیم فقط به هیدرات آلومینات کلسیم حمله می کند و سولفوآلومینات کلسیم $(\text{CaO}, \text{Al}_2\text{O}_3, 3\text{CaSO}_4, 31\text{H}_2\text{O})$ را که به نام اترینگایت شناخته می شود، تشکیل می دهد. واکنش با آلومینات کلسیم هیدراته شده را می توان به صورت زیر نوشت [۲].



سیمان هایی که دارای میزان بیش از ۸٪ ماده C_3A باشند در صورتی که $\text{Ca}(\text{OH})_2$ در مجاورت سولفات ها قرار گیرد، ماده مخرب و انبساط زای اترینگایت تشکیل می گردد [۳]. به طور متوسط حدود ۵،۳ درصد از وزن آب دریاها حاوی نمک ها و سولفات های مختلف می باشند [۴].

امروزه بتن به عنوان ماده ای پر کاربرد در صنایع مختلف مورد استفاده قرار می گیرد. بسته به نوع کاربرد بتن، می توان خواص متفاوتی را از آن انتظار داشت. استفاده های فراوان در صنایعی از قبیل پل سازی، سدسازی، محوطه سازی، سازه های ساختمانی، ایجاد بندرها، اسکله ها و سازه های خاص موجب گردیده این ماده ارزشمند، به عنوان مرکز توجه بسیاری از محققین و دانشمندان قرار گیرد. بسته به نوع کاربرد و محل استفاده از بتن، این ماده دارای محدودیت ها و مشکلات نیز می باشد. یکی از عوامل ایجاد خسارت های جبران ناپذیر به چرخه صنعت و اقتصاد کشورها، خرابی های بتن در طولانی مدت است، که امروزه در خواص دوامی بتن موجب توجه ویژه دانشمندان قرار گرفته است. بتن های بادوام و پایایی زیاد، علاوه بر افزایش عمر مفید سازه، موجب کاهش خسارت های جبران ناپذیر به محیط زیست می گردند. حملات سولفاتی در بتن ها، یکی از عواملی است که ممکن است در طولانی مدت باعث کاهش عمر مفید سازه گردیده، به طوری که ترمیم آن نیز به سادگی امکان پذیر نمی باشد. بر همین اساس محققین همواره تلاش نموده اند راهکارهایی موثر در همین راستا ارائه نمایند. افزودن پوزولان ها و مواد معدنی متفاوت، ممکن است خواص دوامی بتن را ارتقاء داده و آسیب پذیری این ماده ارزشمند را در مقابل حملات سولفاتی به حداقل برسانند.

رمضانپور و همکاران [۱] به بررسی فرآیند حملات سولفاتی در بتن پرداختند. آن ها بیان نمودند قسمت هایی از سیمان هیدراته، دارای هیدروکسید کلسیم و آلومین هستند که آسیب پذیری بتن و سیمان را در مقابل حملات یون های سولفاته افزایش می دهد. در واقع حملات تخریبی سولفات مربوط به اترینگایت می باشد. اعمال فشار ناشی از بلورهای در حال رشد اترینگایت و متورم شدن ناشی از جذب آب در محیط قلیایی توسط اترینگایت، عواملی هستند که می توانند موجب خرابی در بتن شوند.

سولفات های متداول عبارت اند از سولفات سدیم، پتاسیم، منیزیم و کلسیم که در خاک یا در آب زیرزمینی وجود دارند. اهمیت این امر در این حقیقت نهفته است که سایر سولفات ها نه فقط با $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ، بلکه با محصولات مختلف هیدراتاسیون سیمان، واکنش نشان می دهند. سولفات های موجود در آب های زیرزمینی معمولاً منشا طبیعی دارند، اما ممکن است از کوه ها یا از

حمله سولفات ها ممکن است همراه با واکنش های زیر باشد [۵]:

- ۱- تبدیل $\text{Ca}(\text{OH})_2$ به سولفات کلسیم که با انبساط و تخریب بتن همراه است.
- ۲- تبدیل آلومینات ها به اترینگایت که سبب انبساط و تخریب بتن می شود.
- ۳- تجزیه C-S-H (همان چسب سیمان) که سبب نرم شدن بتن و کاهش مقاومت آن می شود.

* اگر سولفات کلسیم به بتن حمله کند فقط واکنش ۲ رخ می دهد.
 * اگر سولفات سدیم به بتن حمله کند واکنش ۱ و ۲ انجام می شود.
 * اگر سولفات منیزیم به بتن حمله کند واکنش های ۱، ۲ و ۳ انجام می شود.

۲- برنامه آزمایشگاهی

۲-۱- مواد و مصالح مصرفی

در این مقاله از سیمان پرتلند تیپ ۱ استفاده شده است که مقادیر آنالیز شیمیایی آن در جدول ۱ قابل مشاهده است. ماسه مصرفی از نوع رودخانه‌ای با وزن مخصوص ۲۶۴۰ کیلوگرم بر متر مکعب، با اندازه دانه بین ۴/۷۵ تا ۰/۰۷۵ میلی‌متر می‌باشد. درشت‌دانه از نوع شکسته با وزن مخصوص ۲۵۸۰ کیلوگرم بر متر مکعب، با اندازه دانه بین ۱۹ تا ۴/۷۵ میلی‌متر می‌باشد. این محدوده‌ها با منحنی دانه‌بندی تقسیم شده اند که در شکل ۱ و شکل ۲ نمایش داده شده است. محدوده دانه‌بندی شن و ماسه مطابق با آئین نامه ASTM C33 انتخاب شده است [۱۳].

با توجه به فعل و انفعالات شیمیایی پوزولان‌ها در بتن، بررسی میزان هر یک از عناصر شیمیایی در آن‌ها بسیار مهم و ضروری به نظر می‌رسد در نتیجه پوزولان‌های میکروسیلیس، متاکائولن، خاکستر بادی و زئولیت مورد آنالیز شیمیایی قرار گرفت و در برخی از موارد نیز از آنالیزهای شیمیایی تهیه شده توسط شرکت سازنده استفاده گردید که نتایج آن در جدول شماره ۲ آمده است. نانوسیلیس مورد استفاده به صورت محلول می‌باشد که مشخصات فنی آن در جدول ۳ آمده است. جهت پراکندگی یکنواخت محلول نانو در بتن، قبل از اضافه کردن آب طرح اختلاط، نانو با آب طرح مخلوط گردید و به خوبی هم زده شد سپس محلول ترکیبی آب و نانو به میکس.خشک (مواد سیمانی به همراه سنگدانه‌ها) اضافه گردید و میکس شد. جهت بررسی اثرات سولفاتی چهار نوع سولفات کلسیم، سدیم، منیزیم و آهن تهیه گردید که آنالیز شیمیایی هر یک از آن‌ها در جدول شماره ۴ آمده است.

مصرف پوزولان‌ها در بتن‌ها، موجب کاهش مصرف سیمان، کاهش سرعت و میزان حرارت زایی سیمان، بهبود کارایی بتن، افزایش مقاومت بتن و افزایش پایایی بتن به دلیل کاهش نفوذپذیری می‌گردد [۶].

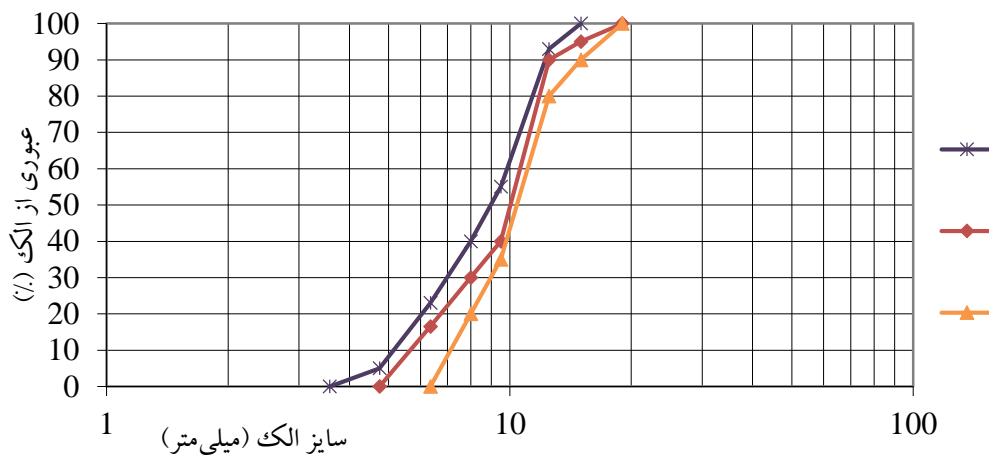
چو و همکاران در سال ۲۰۱۳ [۹] به بررسی سرعت پالس در بتن‌های در معرض سولفات پرداختند. در این تحقیق، سرعت امواج در بتن با یک ضریب کاهندگی محاسبه می‌گردد که این ضریب، به عواملی از قبیل سرعت موج الاستیک، زمان در معرض بودن بتن تحت سولفات بستگی دارد. ضرایب کاهندگی سرعت امواج فراصوتی در نمونه‌های بتنی، با طرح اختلاط‌های مختلف، تحت اثر حملات سولفاتی مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. نمونه‌های بتنی با استفاده از فلاش ساخته شده‌اند. نتایج در این مقاله نشان داد با افزایش شدت ضرایب کاهندگی در بتن، شدت سولفات‌ها در بتن نیز افزایش می‌یابد.

در سال ۲۰۱۳ [۱۱] زو و همکاران به بررسی خواص دینامیکی ملات سیمان تحت اثر حملات سولفاتی با استفاده از امواج فراصوتی پرداختند و ملات‌های سیمانی سولفات‌ها در دو حالت، فاقد یون کلراید و دارای یون کلراید به میزان ۸ درصد مورد بررسی قرار گرفتند. همه نمونه‌ها در سنین مختلف ۷ روزه الی ۳۶۰ روزه تحت آزمایش فراصوتی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد در نمونه‌های فاقد یون کلر، با افزایش سن ملات، سرعت امواج فراصوتی نیز افزایش می‌یابد.

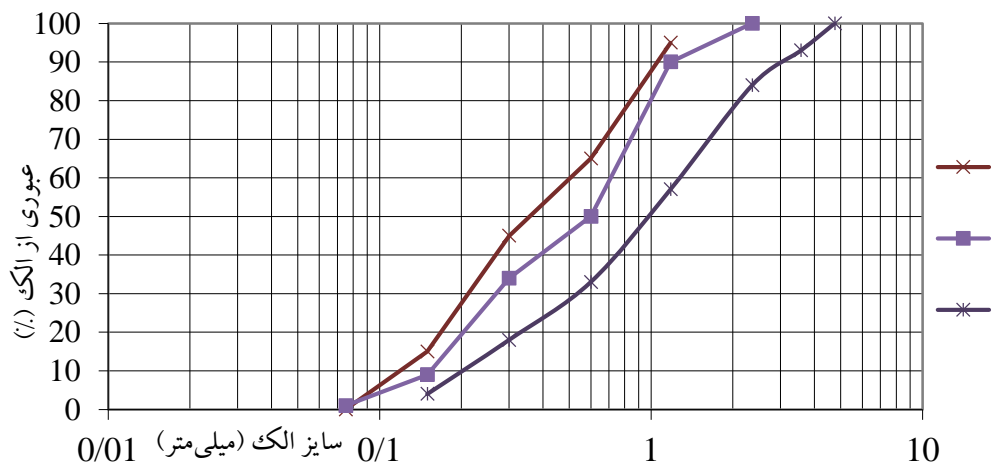
در این تحقیق سعی شد نقش انواع پوزولان‌ها شامل میکروسیلیس، نانوسیلیس، متاکائولن، زئولیت و خاکستر بادی بر افزایش دوام بتن

جدول ۱: مقادیر آنالیز شیمیایی سیمان

عناصر	Min – Max (%)	عامل	Min – Max (%)
SiO ₂	21.1 – 22.5	Insoluble I.R	0.2 – 0.5 0.75 (Max)
Al ₂ O ₃	4.7 – 5.5	Free lime F.CaO	0.4 – 1
Fe ₂ O ₃	3.8 – 4.2	Lime Saturation Factor LSF	92 – 94
CaO	63 – 65	Silica Module SiM	2.35 – 2.45
MgO	1.5 – 2.2	Alumina Module AM	1.15 – 1.35 5% (Max)
SO ₃	1.5 – 2.5	Tricalcium Silicate C ₃ S	50 – 60 3% (Max)
kO ₂	0.45 - 0.65	Dicalcium Silicate C ₂ S	15 – 25
Na ₂ O	0.45 – 0.65	Tricalcium Aluminate C ₃ A	5.5 – 7.5 8% (Max)
L.O.I	1.0 – 2.0	TricalciumAluminoFrit C ₄ AF	10 – 12
Total	100		



شکل ۱: نمودار تقسیم بندی محدوده دانه بندی شن



شکل ۲: نمودار تقسیم بندی محدوده دانه بندی ماسه

جدول ۲: مشخصات شیمیایی انواع پوزولان های متاکالوئن، خاکستر بادی، زئولیت، میکروسیلیس

Mn ₂ O ₃	CaO.f	LO.I	K ₂ O	Na ₂ O	So ₃	Mgo	CaO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Chemical components
-	-	0.5	0.25	0.01	-	0.19	0.1	1	44.87	50.9	متاکالوئن
0.1	-	-	2.2	2.6	1	1.8	5.6	9.2	26.8	44.9	خاکستر بادی
-	-	11.42	1.32	2.04	.6	1.1	1.68	1.44	14.76	65.69	زئولیت
-	-	3.5	-	-	-	2	1.5	2	1	85	میکروسیلیس

جدول ۳: آنالیز شیمیایی و فیزیکی نانوسیلیس

رنگ	لزجت	غلظت SiO ₂	چگالی	PH
سفید / روشن	(20°C, AP-014) ~10 m Pa.s	40 ± 1 %	(20°C, AP-005) 1.3 kg/l)	(20°C, AP-009) 9.5 to 9.8)

جدول ۴: آنالیز شیمیایی و فیزیکی سولفات های مورد استفاده

سولفات سدیم		سولفات آهن		سولفات منیزیم		سولفات کلسیم	
Mg (magnesium)	0.001%	Cr (chromium)	0.01%	Heavy metal	0.0005%	Fluoride(F)	0.03%
Heavy metals	0.001%	Heavy metal	0.005%	As (arsenic)	0.0002%	Heavy metals	0.001%
As(arsenic)	0.0003%	As (arsenic)	0.0002%	Fe (iron)	0.0010%	As(arsenic)	0.003%
Fe (iron)	0.001%	Cu (copper)	0.0025%	Ca (calcium)	0.01%	Fe (iron)	0.002%
Ca (calcium)	0.005%	Hg (mercury)	0.0003%	Se (selenic)	0.0001%	Hg (mercury)	0.001%
Chloride (Cl)	0.002%	Po (lead)	0.001%	-	-	Po (lead)	0.0005%
Loss on drying(105°C)	0.5%	Zn (zinc)	0.003%	-	-	Se (selenic)	0.003%
-	-	Iron	0.04%	-	-	Chloride (cl)	0.03%
-	-	-	-	-	-	Loss on ignition(800°C)	23.0%

۲-۲- طرح اختلاط مورد استفاده

جهت رسیدن به اهداف تحقیق طرح اختلاط با استفاده از انواع مواد افزودنی نانوسیلیس، زئولیت، خاکستر بادی، متاکائولن و میکروسیلیس جهت ساخت بتن استفاده گردید که در همه طرح های ساخته شده نسبت آب به سیمان، عیار سیمان و نوع دانه بندی ثابت در نظر گرفته شده است. در طرح ها سعی شده است تمامی شرایط ثابت نگه داشته شوند و تنها میزان جایگزینی مواد پوزولانی و نوع حیط سولفاتی متفاوت باشند. مواد پوزولان جایگزین سیمان بوده و به مقدار افزودن آن از میزان سیمان کاسته شده است. مقادیر جایگزینی پوزولان در سیمان برای میکروسیلیس ۷ درصد، متاکائولن ۱۰ درصد، خاکستر بادی ۱۰ درصد، زئولیت ۱۵ درصد و نانوسیلیس ۲ درصد به شرح جدول ۵ می باشد.

جدول ۵: طرح های اختلاط بتن مورد استفاده

کد طرح	نسبت آب به سیمان Kg/m ³	عیار مواد سیمانی Kg/m ³	درصد وزنی مواد جایگزین سیمان نسبت به عیار سیمانی	نسبت شن به ماسه	مقدار ریز دانه Kg/m ³	مقدار درشت دانه Kg/m ³	مقدار افزودنی جایگزین سیمان Kg/m ³
شاهد(کنترل) S	۲۵۰	۵۰۰	-	2/3	۵۸۳	۱۱۶۷	۰
میکروسیلیس MS7	۲۵۰	۵۰۰	۷	2/3	۵۸۳	۱۱۶۷	۳۵
متاکائولن MC10	۲۵۰	۵۰۰	۱۰	2/3	۵۸۳	۱۱۶۷	۵۰
خاکستر بادی FA10	۲۵۰	۵۰۰	۱۰	2/3	۵۸۳	۱۱۶۷	۵۰
زئولیت ZE15	۲۵۰	۵۰۰	۱۵	2/3	۵۸۳	۱۱۶۷	۷۵
نانوسیلیس NS2	۲۵۰	۵۰۰	۲	2/3	۵۸۳	۱۱۶۷	۱۰



تصویر شماره ۱- دستگاه فراصوتی و پراب های مورد استفاده

طرح اختلاط ها و نام گذاری های مربوط به هر طرح در جدول ۵ آمده است. جهت مقایسه و بررسی تأثیر پوزولانی و اثرات سولفاتی برای تمامی طرح ها نمونه ای به عنوان شاهد ساخته شده است. برای نمونه برداری از قالب های ۱۰*۱۰*۱۰ سانتیمتر استفاده گردید. سپس تمامی طرح های ساخته شده در داخل محلول آب آهک، سولفات کلسیم، سولفات منیزیم، سولفات آهن و سولفات سدیم قرار گرفت. در نهایت آزمایش های مقاومت فشاری به منظور تأثیر محیط های سولفاتی بر مقاومت نمونه ها و سرعت امواج فراصوتی (UltraSonic) جهت ارزیابی تأثیر سولفات ها بر تخریب داخلی بتن در شش سن ۷، ۱۴، ۲۸، ۶۰، ۱۸۰ و ۳۶۰ روزه مورد بررسی قرار گرفتند.

۲-۳- آزمایش فراصوتی (Ultrasonic Test)

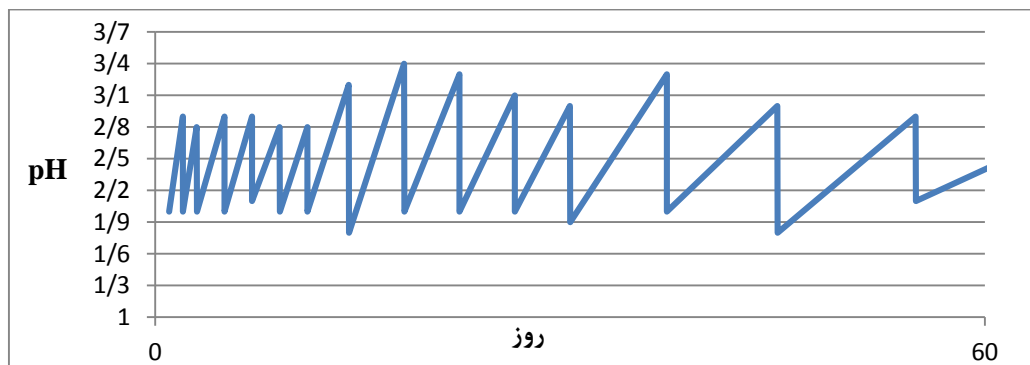
جهت انجام آزمایش فراصوتی در بتن از استاندارد ASTM C597 [۱۵] استفاده گردید که مطابق این استاندارد می توان نحوه اندازه گیری سرعت موج در اجسام را به دست آورد این آزمایش توسط دستگاه Pundit Lab متعلق به شرکت Proceq انجام گردید. میزان فرکانس ورودی و خروجی معمولاً در محدوده ۴۰-۸۰ KHZ برای ارزیابی استفاده می گردد [۱۶]. در این مطالعه میزان این فرکانس برابر با 54HZ تنظیم شد [۱۷]. این دستگاه دارای دو پراب ورودی و خروجی می باشد که در تصویر شماره ۱ مشخص شده است و با اتصال به دستگاه اصلی توسط پراب ورودی فرکانس 54HZ به جسم مورد نظر اعمال شده و پراب خروجی میزان فرکانس دریافت شده را به دستگاه ارسال می نماید و این گراف توسط نرم افزار پردازش دستگاه قابلیت تبدیل به سرعت موج بر حسب متر بر مجذور ثانیه را دارد.

۲-۴- آزمایش مقاومت فشاری

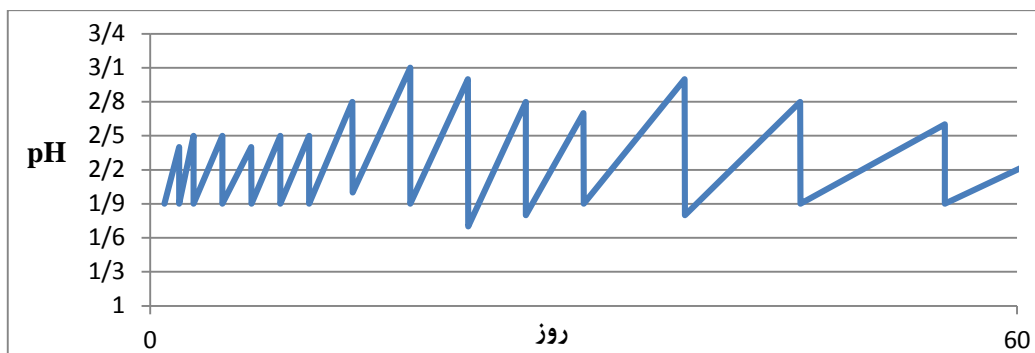
نمونه ها مطابق استاندارد ایران به شماره ۳۲۰۶ [۱۴] در دمای آزمایشگاهی ۲۸ درجه سانتی گراد بر اساس طرح اختلاط های جدول ۵، ساخته و در قالب های ۱۰×۱۰×۱۰ پر شدند. این آزمونه ها پس از ۲۴ ساعت از قالب خارج و نمونه های شاهد در حوضچه آب آهک اشباع با دمای 22 ± 2 به مدت مورد نظر عمل آوری شدند و باقی آزمونه ها در محلول های سولفاتی سدیم، آهن، کلسیم و منیزیم (اشباع) قرار گرفتند.

۲-۵- بررسی میزان pH در سولفات های مورد استفاده

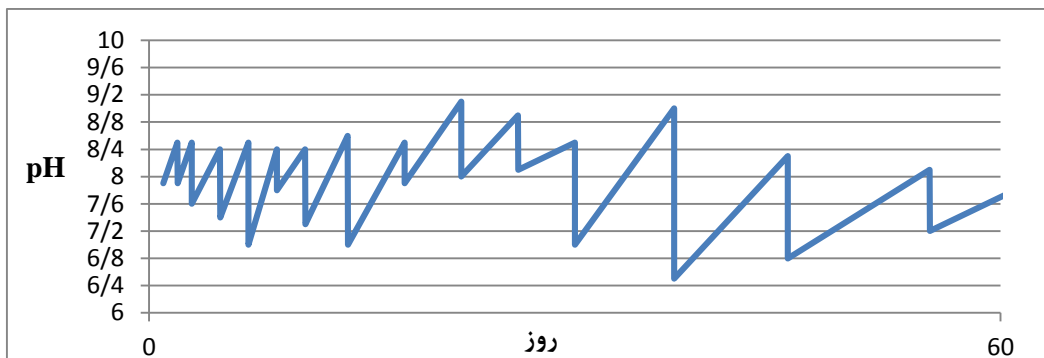
میزان pH محلول بنا بر فرآیند هیدراتاسیون بتن و قلیایی شدن محیط افزایش می یابد که این افزایش pH با افزودن اسید سولفوریک ۹۸٪ کنترل می شود تا به محیط های طبیعی نزدیکتر شود. سرعت تغییرات pH با گذشت زمان کاهش می یابد از این رو در روزهای اولیه با فاصله زمانی کوتاهی نسبت به سنین بالاتر، کنترل صورت می گرفت. در ادامه تغییرات pH بر حسب زمان در شکل های ۳ الی ۶ آورده شده است.



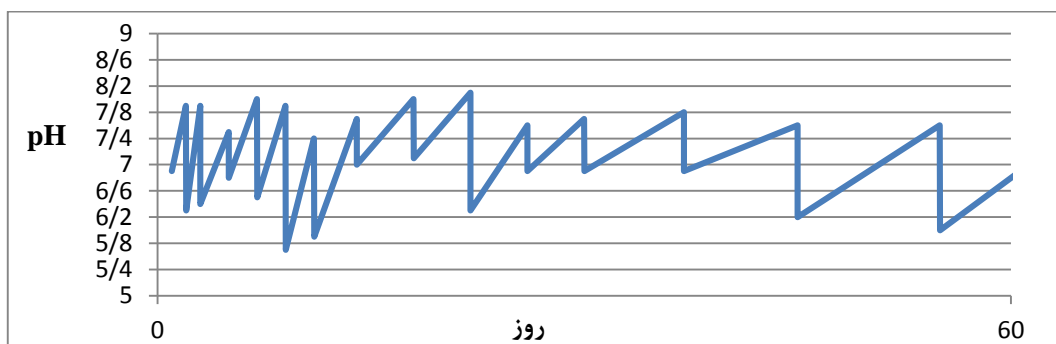
شکل ۳: تغییرات pH محلول سولفات سدیم



شکل ۴: تغییرات pH محلول سولفات آهن

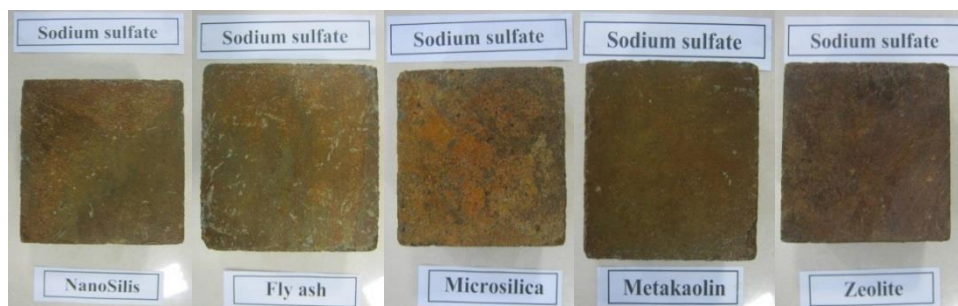


شکل ۵: تغییرات pH محلول سولفات کلسیم



شکل ۶: تغییرات pH محلول سولفات منیزیم

با وجودی که روزانه به طور مصنوعی با جریان دادن به محلول ها با وجودی که روزانه به طور مصنوعی با جریان دادن به محلول ها تلاش می شد که از رسوب سولفات ها بر روی نمونه ها جلوگیری شود مقادیری از سولفات روی نمونه ها رسوب کردند که این امر تا حدودی در محیط های طبیعی هم رخ می دهد. و این رسوب ها با کاهش نفوذ پذیری از نفوذ بیشتر سولفات ها به داخل بتن جلوگیری می کنند. تنها نمونه هایی که در محلول های اسیدی قرار داشتند یک لایه نازک از آنها بعد از ۱۸۰ روز دچار خرابی ظاهری و سطحی شد اما تغییر رنگ در تمامی نمونه ها ناشی از محلول سولفات دیده شد. در تصویر های ۳ الی ۶ تاثیر انواع سولفات بر نمونه ها در سنین پایانی دیده می شود.



تصویر شماره ۳: بررسی تغییرات ظاهری نمونه ها تحت اثر سولفات سدیم



تصویر شماره ۴: بررسی تغییرات ظاهری نمونه ها تحت اثر سولفات منیزیم



تصویر شماره ۵: بررسی تغییرات ظاهری نمونه ها تحت اثر سولفات کلسیم



تصویر شماره ۶: بررسی تغییرات ظاهری نمونه ها تحت اثر سولفات آهن

۳- نتایج آزمایش و تحلیل آن‌ها

۳-۱- بررسی نتایج آزمایش مقاومت فشاری

به طور کلی حملات سولفاتی در بتن ممکن است سه واکنش ایجاد نمایند که در جدول ۶ به نوع فرآیند و اثر تخریبی آن اشاره شده است [۵].

شکل ۷ مقاومت فشاری بدست آمده از نمونه‌های بدون پوزولان را در آب آهک و سولفات‌های منیزیم، کلسیم، آهن و سدیم در سنین ۷، ۱۴، ۲۸، ۶۰، ۱۸۰ و ۳۶۰ روز نشان می‌دهد. تغییرات مقاومت فشاری پس از سن ۶۰ روز مشهود به نظر می‌رسد.

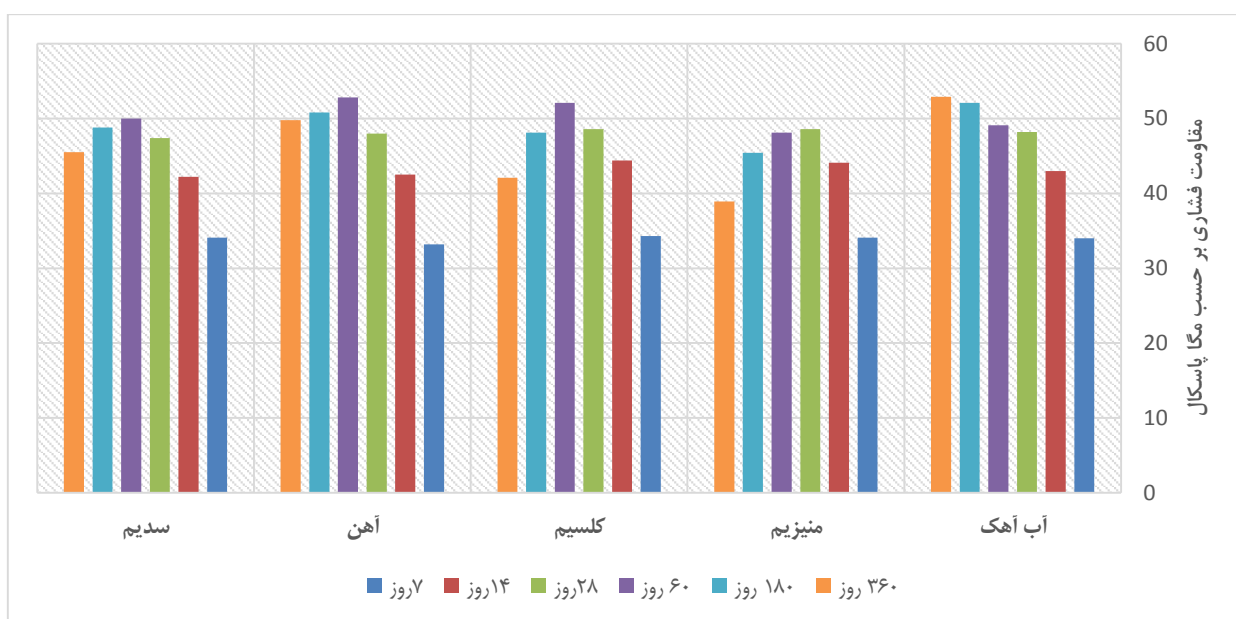
به نظر می‌رسد مشاهده چشمی در نمونه‌های در معرض سولفات جهت بررسی رفتاری بتن به عنوان یک پارامتر اولیه و کلی می‌تواند به کار برده شود. به طوری که نمونه‌های نانوسیلیس، میکروسیلیس به دلیل اندازه بسیار کوچک در طولانی مدت تحت تحول بیشتری قرار گرفته و ظاهر آن‌ها تغییرات بیشتری را نمایش می‌دهد. با افزایش اندازه ذرات در در افزودنی‌ها میزان تغییرات ظاهری کاهش یافته و نمونه در نهایت تغییرات کمتری از خود بروز می‌دهد به طوری که می‌توان علت آن را در واکنش پذیری بیشتر ریز دانه‌ها دانست به طوری که با افزایش ریزی ذرات واکنش پذیری آن‌ها به شدت افزایش می‌یابد.

در نمونه‌های اشباع شده در آب آهک روند رشد افزایش مقاومتی تا سن ۳۶۵ روز مشهود می باشد. نتایج جدول ۷ نشان می دهد که سولفات منیزیم دارای بیشترین اثر تخریبی بر روی نمونه های بتنی بوده به طوری که پس از ۳۶۰ روز حدود ۲۵ درصد نسبت به نمونه ی شاهد، مقاومت فشاری کاهش یافته است. همچنین سولفات آهن کمترین اثر تخریبی بر روی نمونه ها را نشان داد و شاید بتوان علت آن را عدم تشکیل ماده اترینگایت در بتن دانست که تنها به میزان ۶ درصد کاهش مقاومت فشاری را شاهد بودیم. شکل ۸ اثر افزودنی زئولیت را در انواع محیط های سولفاتی نشان می دهد.

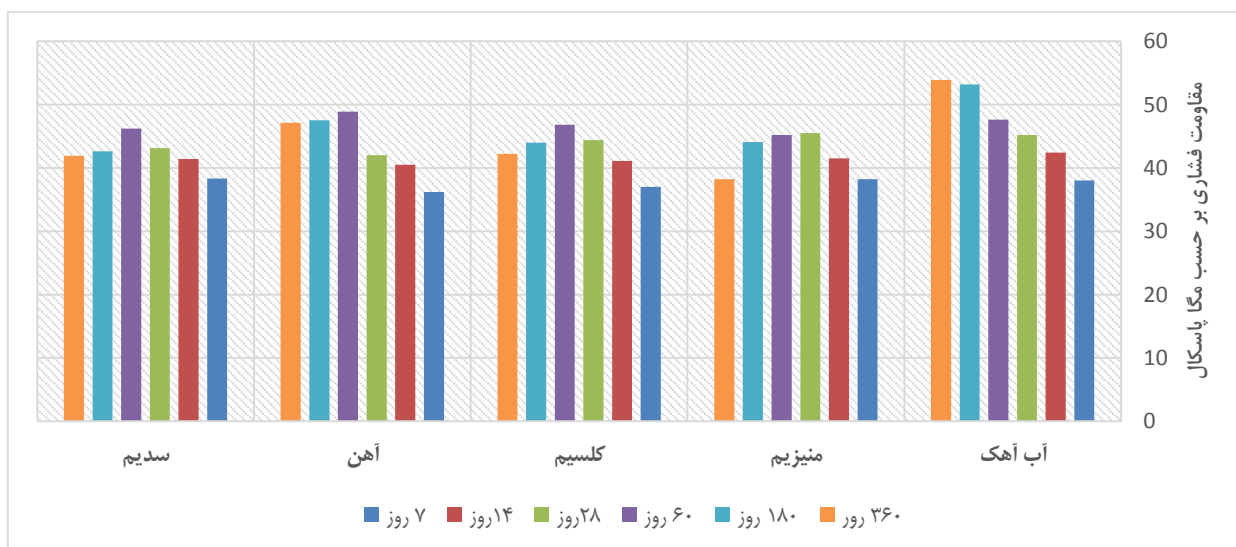
جدول شماره ۶: انواع واکنش های احتمالی در بتن تحت اثر

حمله سولفاتی [۵]

واکنش	نوع فرآیند	اثر تخریبی
A	تبدیل Ca(OH)_2 به سولفات کلسیم	با انبساط و تخریب بتن
B	تبدیل آلومینات ها به اترینگایت	سبب انبساط و تخریب بتن
C	تجزیه حلقه C-S-H	- نرم شدن بتن - کاهش مقاومت آن



شکل ۷: تغییرات مقاومت فشاری نمونه شاهد در انواع محلول

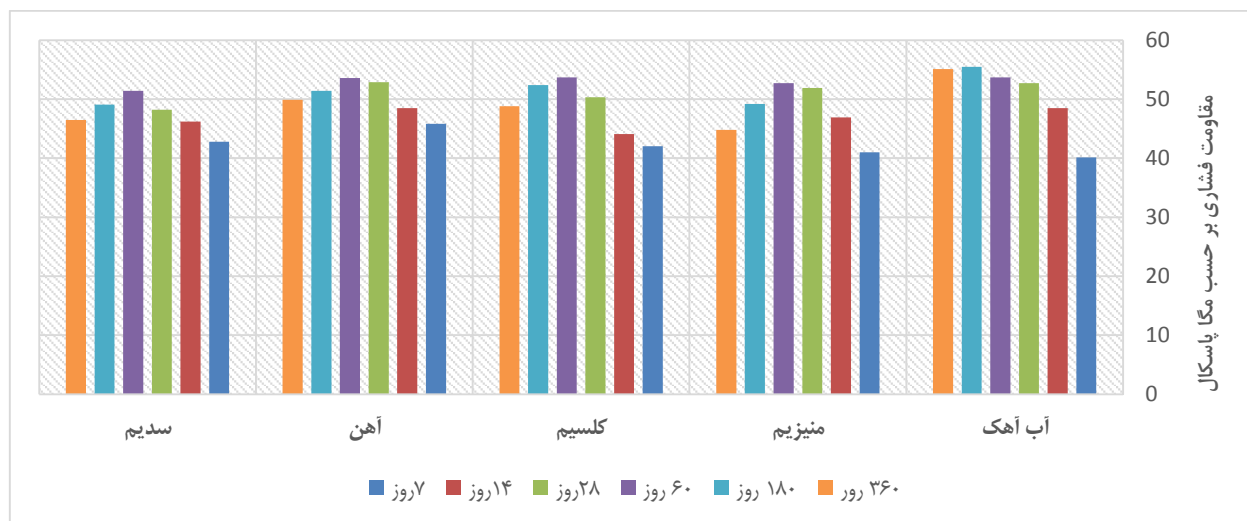


شکل ۸: تغییرات مقاومت فشاری نمونه زئولیت در انواع محلول

توجه به آزمایش های انجام گرفته، زئولیت ممکن است در حالت عادی به علت خاصیت پوزولانی خود موجب افزایش مقاومت فشاری گردد ولیکن تاثیر آن بر حملات سولفاتی برای حالت سولفات منیزیم ناچیز مشاهده شد.

نانوسیلیس به عنوان یک ماده با اندازه ی ذرات ریز با توجه به پر نمودن حفرات نمونه ها موجب کاهش نفوذپذیری در نمونه ها می-گردد و این فرآیند موجب کاهش اثرات حملات سولفاتی در بتن شده است. در نمودار شماره ۹ نتایج بدست آمده از نانو سیلیس برابر حملات سولفاتی مشاهده می شود. مشخص است نانو سیلیس موجب کاهش اثر مخرب انواع حملات سولفاتی در بتن شده به طوری که کاهش مقاومت فشاری به صورت محسوسی در نمونه سولفات منیزیم کمتر رخ داده است. پس از منیزیم سولفاتهای سدیم، کلسیم و سپس آهن به ترتیب از بیشترین تا کمترین میزان تاثیر بر کاهش مقاومت فشاری را داشته اند.

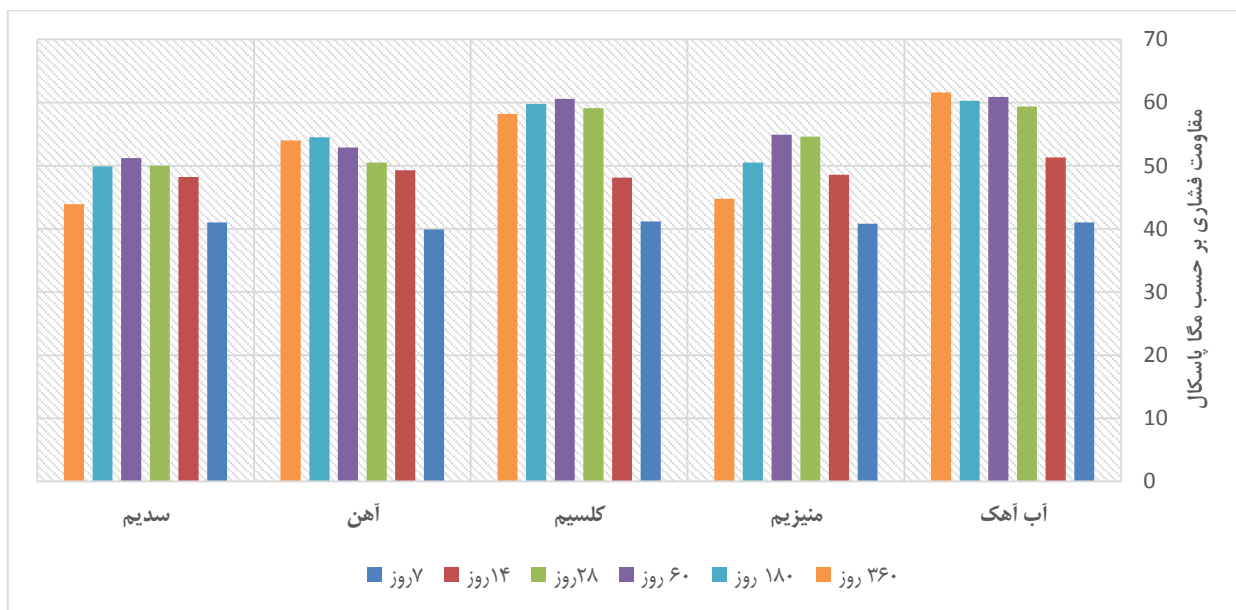
از نتایج بدست آمده اثر تخریبی سولفات منیزیم مشاهده گردید به طوری که حدود ۲۹ درصد از مقاومت فشاری در مقایسه با نمونه ی قرار گرفته در محیط آب و آهک، کاسته و موجب افت شدید مقاومتی شده است که علت آن را می توان از بین رفتن تدریجی حلقه های C-S-H و تبدیل آلومینات ها به سولفات کلسیم دانست که در واقع هر سه واکنش A, B, C باهم رخ داده اند و سبب ایجاد این پدیده تخریبی گردیده است. با مقایسه ای اجمالی بین حالت نمونه های فاقد پوزولان و نمونه دارای زئولیت می توان به این نکته پی برد که این ماده افزودنی در طولانی مدت تأثیر چندانی بر روی اثرات مخرب حمله سولفاتی نداشته است. همچنین سولفات آهن مشابه نتایج قبلی (شکل ۷) اثرات مخرب چندانی بر مقاومت فشاری نگذاشته است. به نظر می رسد سولفات سدیم و کلسیم در این حالت اثرات تخریبی خود را همچنان حفظ کرده اند که در اثر رخ دادن دو واکنش A, B این پدیده را می توان توجیه نمود. با



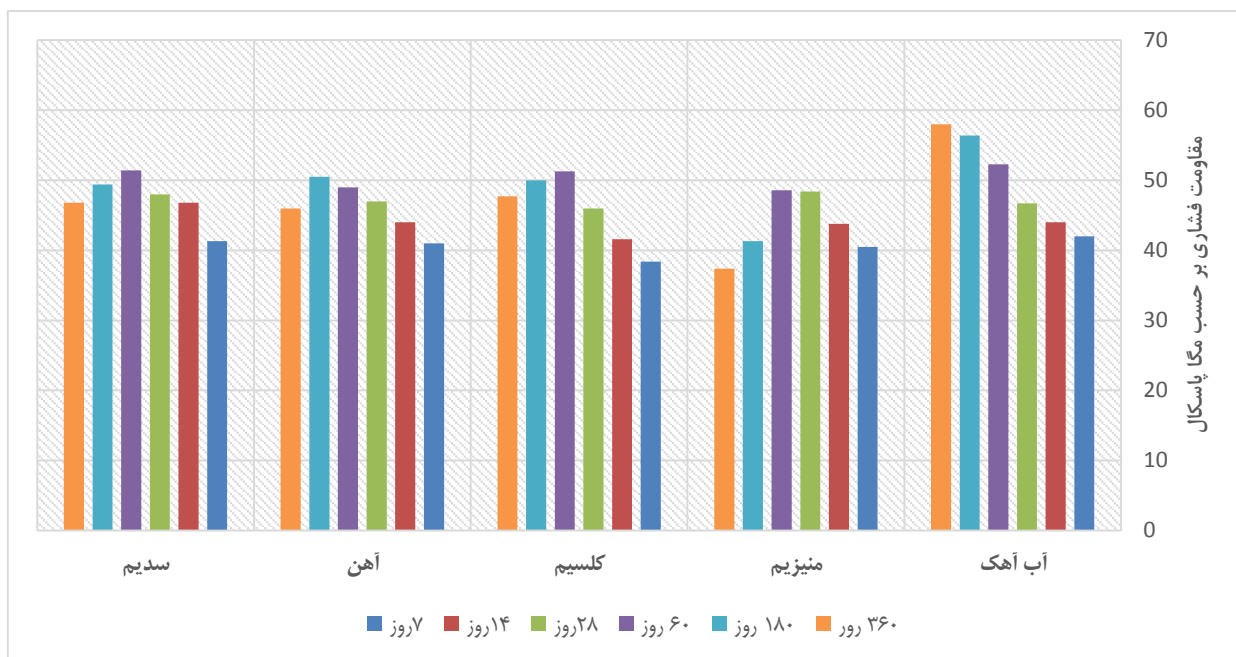
شکل ۹: تغییرات مقاومت فشاری نمونه نانو سیلیس در انواع محلول

شکل ۱۱ اثرات تخریبی نمونه های بتنی ساخته شده با خاکستر بادی را در انواع محیط های سولفاتی ارائه می دهد. این اثرات در سولفات منیزیم مشابه نتایج قبل (شکل ۷، ۸، ۹ و ۱۰) تاثیر تخریبی بیشتر را در مقایسه با دیگر محیط های سولفاتی، نشان داد. به نظر می رسد با توجه به ساختار خاکستر بادی و آنالیز شیمیایی آن واکنش بین سولفات آهن و این ماده بوجود آمده که موجب گریده به میزان حدود ۲۰ درصد کاهش مقاومت فشاری داشته باشیم.

در شکل ۱۰ تغییرات مقاومت فشاری نمونه های حاوی میکروسیلیس قابل مشاهده می باشد. مقدار افت مقاومت فشاری در سن ۳۶۰ روز در اثر حمله سولفات منیزیم تا حدود ۲۷ درصد کاهش یافته است که علت آن را کاهش نفوذپذیری نمونه بتنی می توان توجیه نمود. اثرات مواد میکرو و نانو سیلیس را می توان در یک گروه تقسیم بندی نمود به طوری که با کاهش نفوذپذیری بتن، منافذ کمتری جهت تشکیل ماده مخرب اترینگایت وجود دارد و این پدیده سبب کاهش اثرات تخریبی این دو ماده می گردد.



شکل ۱۰: تغییرات مقاومت فشاری نمونه میکروسیلیس در انواع محلول



شکل ۱۱: تغییرات مقاومت فشاری نمونه خاکستر بادی در انواع محلول

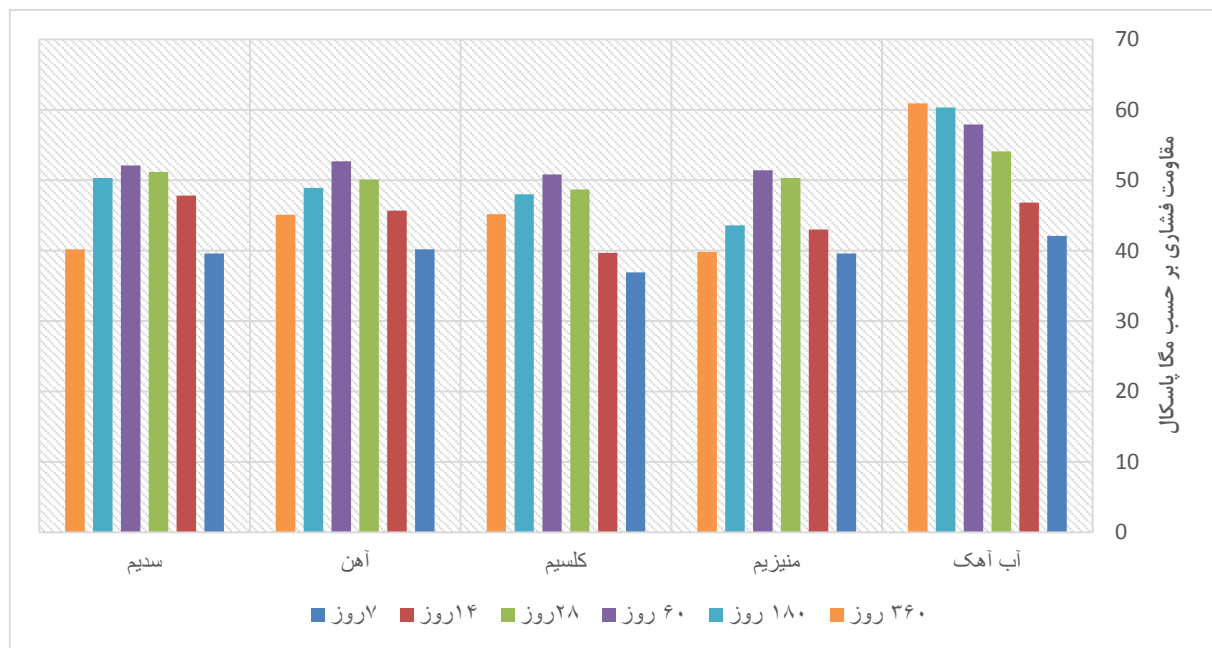
در همه حالات از سن ۶۰ روز به بعد قابل مشاهده می باشد که علت آن تشکیل اترینگایت به نظر می رسد و موجب کند شدن روند افزایش مقاومت فشاری می گردد. ولی با افزایش سن نمونه ها این ماده با افزایش حجم خود موجب تخریب بافت های داخلی شده و از طرفی دیگر با تبدیل آلومینات ها به سولفات کلسیم آهنگ کاهش مقاومت به شدت افزایش یافته و در برخی حالات پیوند C-S-H از بین رفته و موجب کاهش شدید مقاومت می گردد.

شکل ۱۲ نتایج مقاومت فشاری نمونه های حاوی متاکائولن را در انواع محیط های سولفاتی نمایش می دهد. تأثیر بالای سولفات منیزیم و سدیم در کاهش مقاومت مشاهده می شود. نتایج نشان می دهد سولفات کلسیم و آهن تأثیری مشابه به هم و در مقایسه با سولفات منیزیم و سدیم تأثیر تخریبی کمتری را داشته اند. مشخص است که نمونه حاوی متاکائولن در مقایسه با نمونه شاهد خود فاقد پوزولان عملکردی مطلوبی در بابر حملات سولفات منیزیم داشته است. به طور کلی اثرات تخریبی نمونه ها تحت حملات سولفاتی

نشد و نتایج مشابه نمونه های شاهد داشت. در محیط سولفات منیزیم میکروسیلیس با بهبود و افزایش مقاومت حدود ۸ درصدی نسبت به نمونه ی شاهد خود به عنوان پوزولانی با خاصیت مطلوب در بهبود مقاومت فشاری مشاهده شد. در محیط سولفات سدیم که پس از منیزیم به عنوان مخرب ترین سولفات بود، نمونه های حاوی نانو سیلیس و خاکستر بادی عملکرد بهتری در مقایسه با میکروسیلیس و متاکائولن داشتند. همچنین از ژئولیت تاثیر چندانی در بهبود مقاومت دیده نشد.

اما به طور کلی استفاده و جایگزینی ۷ درصد از میکروسیلیس در این مطالعه نشان داد که این پوزولان می تواند به عنوان جایگزینی مناسب بخشی از سیمان در بهبود مقاومت فشاری و کاهش خلل و فرج برای بتن های قرار گرفته در محیط های سولفاتی به ویژه سولفات منیزیم باشد، همچنین نانو سیلیس و متاکائولن تاثیر مطلوبی جهت جلوگیری از کاهش شدید مقاومت فشاری داشتند.

نتایج مقاومت فشاری ارائه شده در شکل های ۷ الی ۱۲ نشان می دهد که در محیط معمولی آب و آهک، میکروسیلیس عملکرد بهتری در مقایسه با دیگر پوزولان ها داشته است پس از آن متاکائولن، خاکستر بادی و نانو سیلیس به ترتیب در افزایش مقاومت تاثیرگذار بودند و ژئولیت با کمترین تاثیر نتایج مشابه مقاومت فشاری نمونه شاهد (فاقد پوزولان) را نشان داد. از نتایج مقاومت فشاری نمونه های قرار گرفته در محیط سولفات منیزیم مشاهده شد که پوزولان های میکروسیلیس، نانو سیلیس و متاکائولن عملکرد خوبی در بهبود مقاومت بتن در برابر حمله ی سولفات منیزیم داشته اند و از ژئولیت و خاکستر بادی تاثیر چندانی در این محیط سولفاتی مشاهده نگردید. نتایج مقاومتی نمونه های حاوی میکروسیلیس، نانو سیلیس، متاکائولن و خاکستر بادی به ترتیب بهترین عملکرد را در محیط سولفات کلسیم نشان دادند، در این محیط سولفاتی از نمونه های ژئولیت تاثیر چندانی مشاهده



شکل ۱۲: تغییرات مقاومت فشاری نمونه متاکائولن در انواع محلول

آن انجام می شود، زمان عبور امواج (T) از آزمون اندازه گیری شده و بر طول آزمون (L) تقسیم می شود که حاصل آن سرعت عبور امواج فراصوتی (V) خواهد بود. بررسی نتایج امواج فراصوتی از شکل ۱۳ (فاقد پوزولان) نشان داد، با افزایش سن بتن، سرعت پالس در دو محیط شاهد و سولفات افزایش داشته است. این تغییرات سرعت در نمونه های اشباع در

۳-۲- نتایج و تحلیل آزمایش سرعت امواج فراصوتی

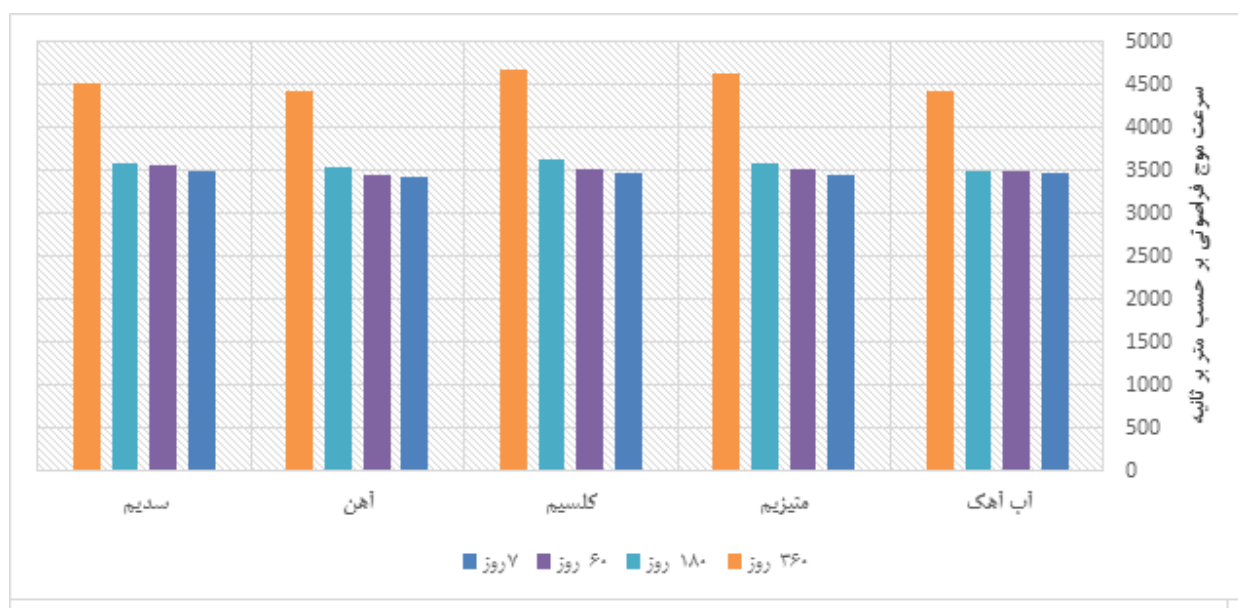
بررسی سرعت امواج فراصوتی در آزمون ها بر اساس استاندارد ASTM C597 صورت پذیرفت. امواج فراصوتی به وسیله یک مبدل الکتریکی - صوتی تولید شده و به سطح آزمون اعمال می - شود. در سمت دیگر امواج عبوری از آزمون توسط مبدلی دیگر دریافت و تقویت می گردد. به وسیله ی یک مدار که زمان توسط

بیشترین سرعت موج فرا صوتی در سن ۳۶۰ روز در سولفات کلسیم مشاهده گردید، این تغییرات سرعت در هر چهار محیط سولفاتی نتایج مشابهی داشته اند. شاید علت را بتوان در تاثیر پایین ژئولیت در بهبود رفتار دوامی بتن دانست. از طرف دیگر نتایج مقاومت فشاری ژئولیت مطابق شکل ۸ نیز تاثیر کم این پوزولان را تایید می نماید.

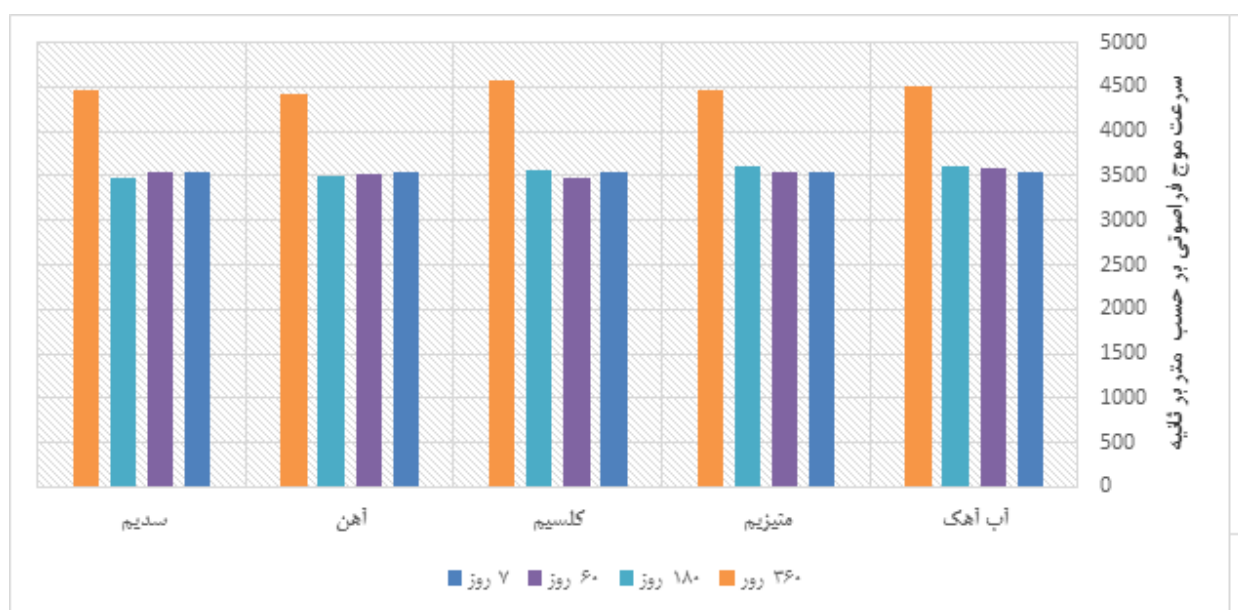
شکل ۱۵ تغییرات امواج فرا صوتی در نمونه حاوی نانوسیلیس را نمایش می دهد. بیشترین سرعت پالس در محیط های سولفات کلسیم، منیزیم و سدیم در مقایسه با نمونه قرار گرفته در آب و آهک دیده شد.

محیط کلسیم، منیزیم و سدیم به ترتیب بیشتر از محیط اشباع در آب آهک مشاهده گردید. علت این تغییرات را می توان تاثیر مخرب سولفات کلسیم، منیزیم و سدیم در تشکیل اترینگایت دانست. به عبارت دیگر افزایش اترینگایت موجب افزایش چگالی بتن و در نتیجه افزایش سرعت پالس خواهد شد. همچنین سرعت امواج در محیط سولفات آهن مشابه نتایج محیط اشباع در آب آهک بوده است که نشان دهنده ی تاثیر پایین این سولفات می باشد.

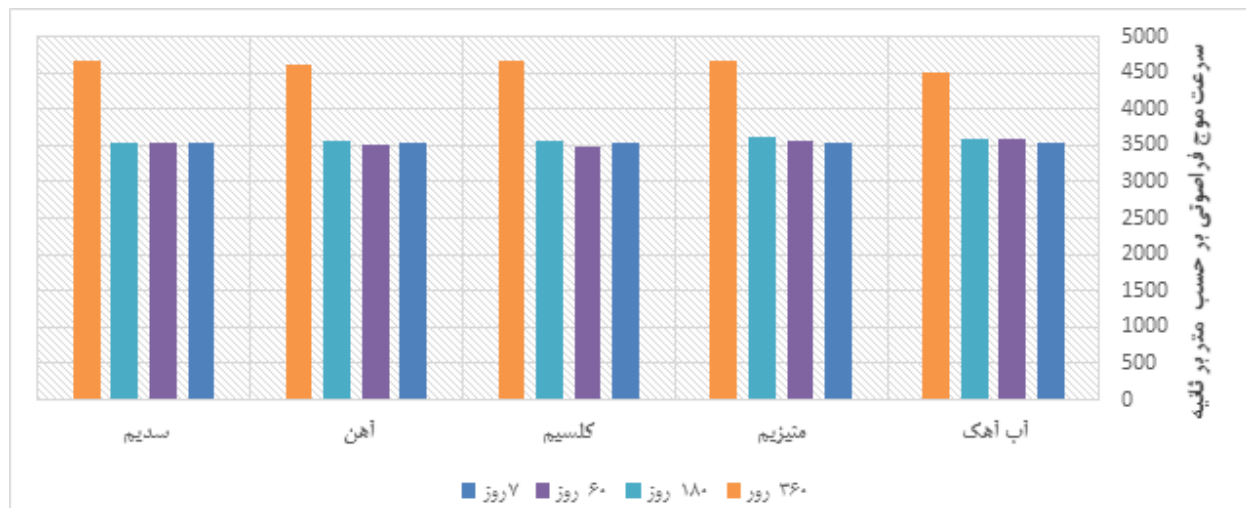
شکل ۱۴ نتایج سرعت امواج مربوط به نمونه های ژئولیت را نمایش می دهد. می توان افزایش سرعت را در سنین مختلف مشاهده نمود.



شکل ۱۳: سرعت امواج فرا صوتی نمونه شاهد در انواع محلول



شکل ۱۴: سرعت امواج فرا صوتی نمونه ژئولیت در انواع محلول



شکل ۱۵: سرعت امواج فراصوتی نمونه نانو سیلیس در انواع محلول

از طرفی، در تمامی نمونه‌های دارای انواع پوزولان در سولفات آهن می‌توان مشاهده نمود که تقریباً بین نمونه شاهد و نمونه در معرض سولفات آهن تفاوتی در سرعت امواج فراصوتی مشاهده نگردید. علت را می‌توان در واکنش پذیری کم سولفات آهن و عدم تشکیل ژل اترینگایت دانست. از مقایسه نتایج شکل ۱۲ و شکل ۱۴ دیده شد که سرعت موج در نمونه‌ی حاوی نانو سیلیس بیشتر از نمونه شاهد (فاقد پوزولان) است. واضح است که نانو سیلیس سبب افزایش چگالی و در نتیجه افزایش سرعت امواج شده است. قبل در ارتباط مستقیم است.

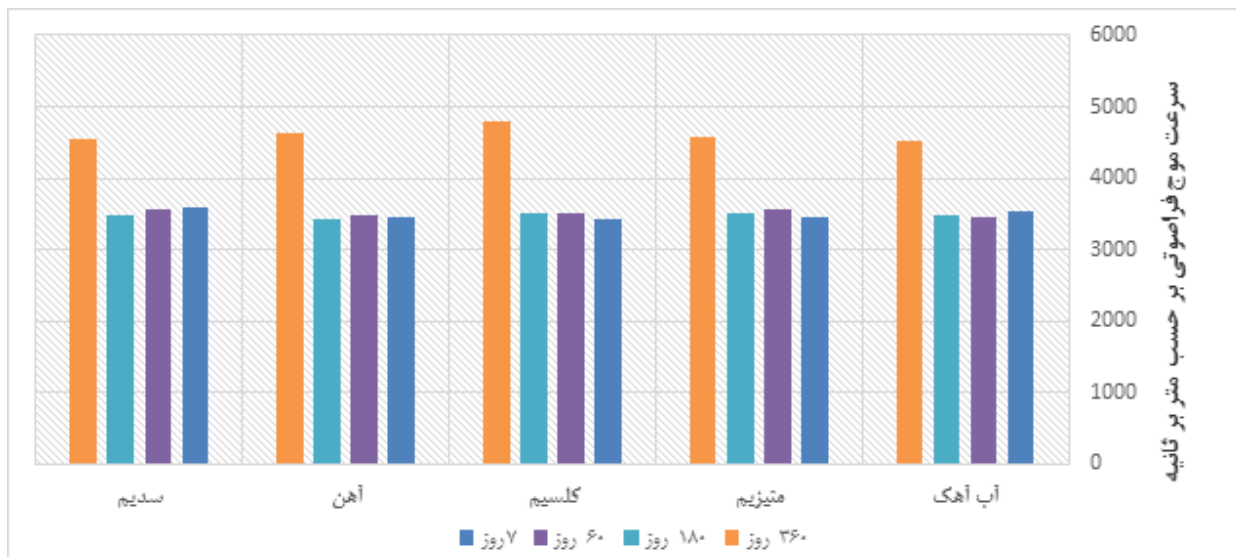
از طرف دیگر نتایج حاصل از مقاومت فشاری نمونه‌های قرار گرفته در محیط سولفاتی نشان داد که با گذشت زمان از مقاومت کاسته شده است در حالی که از نتایج آزمایش سرعت فراصوت واضح است که با افزایش سن از ۱۸۰ به ۳۶۰ روز، سرعت پالس افزایش قابل توجهی داشته است این علت را می‌توان در تشکیل ماده مخرب اترینگایت در بتن دانست، با افزایش سن بتن در سولفات تشکیل اترینگایت نیز افزایش می‌یابد و درحالی که سبب نرم شدن و آسیب رساندن به ساختار بتن می‌شود، افزایش چگالی را به همراه خواهد داشت، از این جهت با افزایش سن، افزایش در سرعت امواج فراصوتی مشاهده شد در حالی که مقاومت فشاری کاهش داشته است. با آنچه که از نتایج مقاومت فشاری و نتایج التراسونیک مشاهده شد می‌توان افزایش سرعت پالس در نمونه‌های قرار گرفته در محیط سولفاتی را با افزایش تولید اترینگایت و با کاهش مقاومت فشاری آن توجیه کرد.

نتایج تغییرات سرعت موج فراصوتی نمونه حاوی میکروسیلیس را ارائه می‌دهد. در دو نمودار نانو و میکروسیلیس می‌توان به تاثیر زیاد ریزدانه‌ها در افزایش چگالی نمونه و در پی آن به افزایش سرعت موج فراصوتی اشاره داشت. در این مورد نیز کمترین تاثیر در محیط سولفات آهن دیده شد.

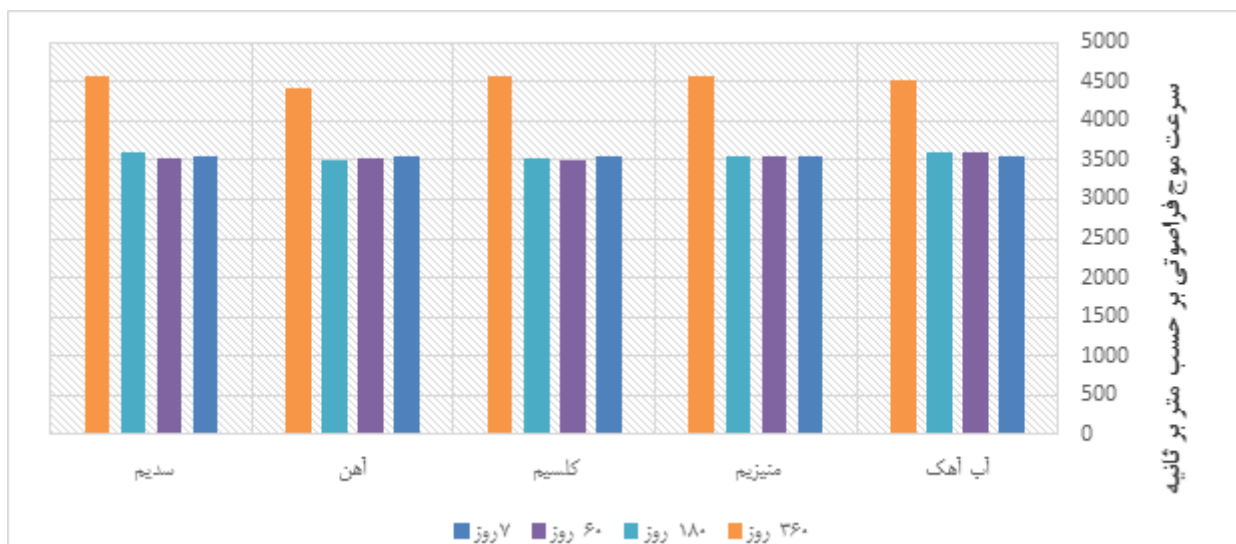
شکل ۱۶ نتایج تغییرات سرعت موج فراصوتی نمونه حاوی میکروسیلیس را ارائه می‌دهد. در دو نمودار نانو و میکروسیلیس می‌توان به تاثیر زیاد ریزدانه‌ها در افزایش چگالی نمونه و در پی آن به افزایش سرعت موج فراصوتی اشاره داشت. در این مورد نیز کمترین تاثیر در محیط سولفات آهن دیده شد.

نتایج بدست آمده از آزمایش فراصوت برای نمونه‌های در محیط سولفاتی نشان می‌دهد که با افزایش سن، به ویژه از سن ۱۸۰ به ۳۶۰ روز، سرعت امواج نیز افزایش می‌یابد [۱۱].

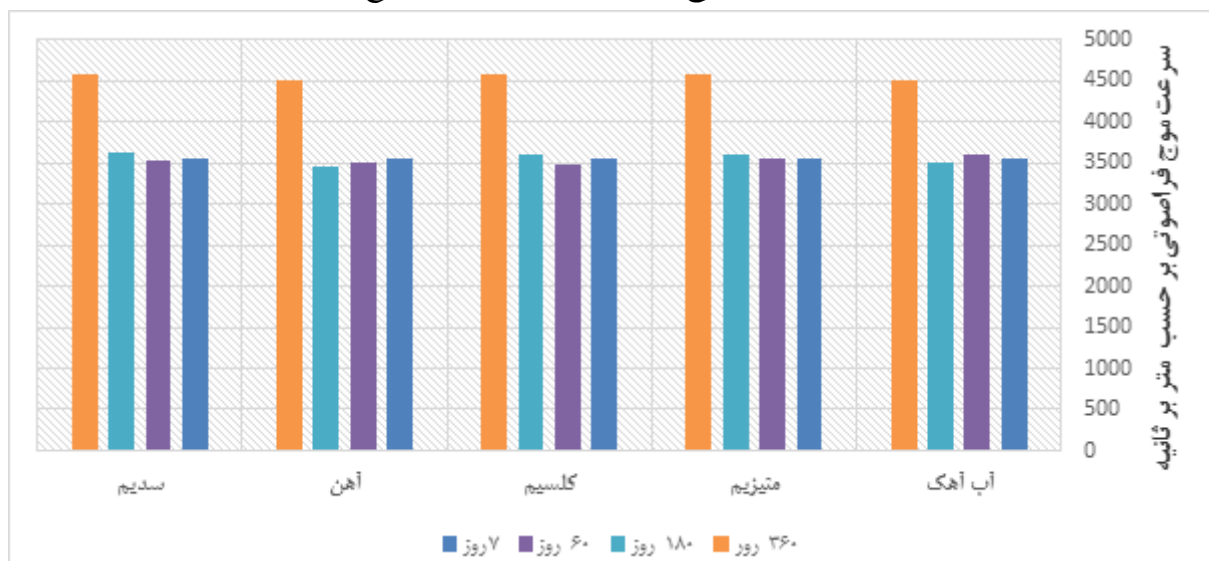
به طور کلی بین نتایج آزمایش التراسونیک و مقاومت فشاری رابطه فیزیکی نمی‌توان برقرار کرد تنها در مواردی که محدودیت‌ها رعایت شده باشند می‌توان آزمایش سرعت پالس را به منظور ارزیابی مقاومت بتن به کار برد، اما بین چگالی بتن و



شکل ۱۶: سرعت امواج فراصوتی نمونه میکروسیلیس در انواع محلول



شکل ۱۷: سرعت امواج فراصوتی نمونه متاکائولن در انواع محلول



شکل ۱۸: سرعت امواج فراصوتی نمونه خاکستر بادی در انواع محلول

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق که به منظور بررسی تأثیر و عملکرد انواع پوزولان ها در بتن تحت حملات سولفاتی انجام گردید که نتایج زیر در دو آزمایش مقاومت فشاری و تعیین سرعت موج فراصوتی بدست آمد. ۱- از آزمایش فراصوتی تا سنین ۱۸۰ روزه تغییر قابل ملاحظه ای در سرعت موج فراصوتی در تمامی نمونه ها مشاهده نگردید، ولیکن در سن ۳۶۰ روزه به دلیل تشکیل کامل ماده اترینگایت و افزایش حجم مواد سرعت موج فراصوتی تغییر قابل ملاحظه ای از خود نشان داد و مقدار آن به شدت افزایش یافت. افزایش سرعت موج فراصوتی در تمامی نمونه های در معرض حملات سولفات کلسیم، سدیم و منیزیم تقریباً در یک سطح بوده ولی بیشترین تأثیر افزایش سرعت مربوط به سولفات کلسیم بوده که علت اصلی آن را در تشکیل ماده اترینگایت و ته نشینی سولفات کلسیم می توان تفسیر نمود. تقریباً در تمامی نمونه ها سولفات آهن دارای کمترین تغییرات سرعتی نسبت به دیگر سولفات ها می باشد که علت آن را در عدم تشکیل ماده اترینگایت می توان تشخیص داد.

در نتیجه می توان بیان نمود، با افزایش عمق نفوذ سولفات ها با گذشت زمان در داخل بتن، ماده بیشتری اترینگایت تشکیل می گردد و در نتیجه تراکم بتن افزایش یافته و سرعت امواج فراصوتی نیز در بتن افزایش می یابد.

۲- میزان تغییرات سرعت در نمونه نانو و میکروسیلیس نسبت به سایر نمونه های حاوی پوزولان بیشتر بوده که علت آن را در ریزدانه بودن و افزایش چگالی نمونه ها می توان در نظر گرفت.

۳- در تمامی نتایج امواج فراصوتی افزایش سرعت موج فراصوتی بین سنین ۷ روزه، ۶۰ روزه، ۱۸۰ روزه و ۳۶۰ روزه مشاهده می شود. به طوری که با افزایش سن از ۱۸۰ روز به ۳۶۰ روز اختلاف زیاد در سرعت امواج ایجاد شده است که می توان دلیل اصلی آن را تشکیل کامل ماده اترینگایت دانست که با افزایش حجم باعث افزایش دانسیته نمونه گردیده چرا که سرعت موج در محیط های متراکم تر از سرعت بیشتری برخوردار می باشد.

۴- انواع بتن حاوی متاکائولن، زئولیت، میکروسیلیس، نانوسیلیس و خاکستر بادی در سنین مختلف ۷ روزه، ۲۸ روزه، ۶۰ روزه، ۱۸۰ روزه و ۳۶۰ روزه تحت حملات سولفات منیزیم، سدیم، آهن و کلسیم قرار گرفته و مقاومت فشاری آن ها با استفاده از قالب ۱۰*۱۰*۱۰ سانتیمتر تعیین گردید. تقریباً در تمامی موارد کاهش

مقاومت تا سن ۶۰ روزه قابل مشاهده نبوده و بعد از این سن شروع به تغییرات منفی در مقاومت فشاری مشاهده می گردد که علت این امر را عدم تشکیل ماده اترینگایت می توان تشخیص داد. تفاوت کاهش مقاومت در سنین ۱۸۰ به ۳۶۰ در تمامی محلول های سولفاتی به غیر از سولفات آهن کاملاً مشهود می باشد. ولی در حالت خاص استفاده از خاکستر بادی در حمله سولفات آهن تغییرات مثبت مقاومت فشاری مشاهده می گردد.

۵- سولفات منیزیم دارای بیشترین اثر تخریبی بوده که علت آن را در تشکیل ماده اترینگایت به همراه تبدیل آلومینات ها به سولفات کلسیم و همینطور از بین رفتن چسب سیمان یا حلقه C-S-H دانست و در همه حالات این پدیده مشاهده گردید. پس از سولفات منیزیم اثر تخریبی سولفات کلسیم و سپس سدیم نیز مشهود می باشد.

۶- با آنچه که از نتایج مقاومت فشاری و نتایج فراصوتی مشاهده شد، می توان افزایش سرعت پالس در نمونه های قرار گرفته در محیط سولفاتی را با افزایش تولید اترینگایت و با کاهش مقاومت فشاری آن توجیه کرد.

۷- به طور کلی استفاده و جای گزینی ۷ درصد از میکروسیلیس در این مطالعه نشان داد که این پوزولان می تواند به عنوان جای گزینی مناسب بخشی از سیمان در بهبود مقاومت فشاری و کاهش خلل و فرج برای بتن های قرار گرفته در محیط های سولفاتی به ویژه سولفات منیزیم باشد، همچنین نانو سیلیس و متاکائولن تاثیر مطلوبی جهت جلوگیری از کاهش شدید مقاومت فشاری داشتند.

۵- مراجع

[۱] رضایانپور علی اکبر، پیدایش منصور، شاه نظری محمدرضا، طاحونی شاپور، قدوسی پرویز، گنجیان اسماعیل، ۱۳۸۹ "کتاب شناخت بتن (مصالح، خواص، تکنولوژی)، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر.

[۲] نویل آدام، ترجمه هرمز فامیلی، "خواص بتن"، انتشارات ابوریحان بیرونی، ۱۳۷۸.

[3] ACI Committee 201, "Guide to Durable Concrete", (ACI 201.2R-01), 2001

[۴] رضایانپور، جهانگیری، احمدی، دلنواز، (۱۳۸۹)، "ارزیابی مدل های تخمین عمر مفید خدمت رسانی برای سازه های بتن مسلح در محیط خلیج فارس"، دومین کنفرانس ملی بتن.

- [19] Assem A.A. Hassan, Mohamed Lachemi, Khandaker, M.A. Hossain, "Effect of metakaolin and silica fume on the durability of self-consolidating concrete", cement and concrete composites, 34(2012)801-807.
- [5] قدوسی پرویز، ۱۳۸۰، "تعمیر سازه های بتنی (مصالح و روش ها)"، انتشارات شهر و سازه.
- [6] زندی یوسف، ۱۳۸۸، "تکنولوژی پیشرفته بتن"، انتشارات فروزش.
- [7] Ahmed E. Ben-Zeitun, "Use of pulse velocity to predict compressive strength of concrete", International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, Volume 8, Issue 1, 1986, P.P 51-59.
- [8] Sandor Popovics, Joseph L. Rose, John S. Popovics, "The behavior of ultrasonic pulses in concrete", Cement and Concrete Research, Volume 20, Issue 2, 1990, P.P. 259-270.
- [9] Hong-yan Chu, Jian-kang Chen, "Evolution of viscosity of concrete under sulfate attack", Construction and Building Materials, Volume 39, 2013, P.P. 46-50.
- [10] J. Alexandre Bogas, M. Glória Gomes, Augusto Gomes, "Compressive strength evaluation of structural lightweight concrete by non-destructive ultrasonic pulse velocity method", Ultrasonics, Volume 53, Issue 5, 2013, P.P. 962-972.
- [11] Jue Zhu, Yong-hui Cao, Jiang-ying Chen, "Study on the evolution of dynamic mechanics properties of cement mortar under sulfate attack", Construction and Building Materials, Volume 43, 2013, P.P. 286-292.
- [۱۲] نویل آدام، بروکس جی جی، ۱۳۹۰، "تکنولوژی بتن"، انتشارات نگارنده دانش، ترجمه رمضانیاپور و اعرابی.
- [13] ASTM C33 (2010), Standard Specification for Concrete Aggregates.
- [۱۴] آیین نامه شماره ۳۲۰۶، "تعیین مقاومت فشاری بتن". سازمان ملی استاندارد.
- [15] ASTM C579 (2010), Standard Test Method for Pulse Velocity through Concrete.
- [16] Saad A., Abo-Qudais, (2005), "Effect of Concrete Mixing Parameters on Propagation of Ultrasonic Waves", Construction and Building Materials 19 PP 257-263.
- [۱۷] مدن دوست، رحمت؛ سیده فاطمه شهابی و رضا قویدل، ۱۳۸۹، "بررسی تاثیر نسبت های مختلف طرح اختلاط بتن بر سرعت امواج اولتراسونیک و ارزیابی مقاومت فشاری بتن به کمک آنالیز رگرسیون چند متغیره"، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد.

Investigating Effects of Sulfates on Compressive Strength of Different Types of Pozzolan Concrete and Measuring Penetration Rate by Ultrasound Tests at Different Ages

Reza Farokhzad *

Department of Civil Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran

Sajad Yaseri

Civil Engineering & Construction Research Center (CCRC), Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran

Mohammad Hosein Entezarian

Civil Engineering & Construction Research Center (CCRC), Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran

Amir Yavari

Civil Engineering & Construction Research Center (CCRC), Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran

Abstract

Today, one of the most important indices in the design, construction, and operation of concrete structures is paying particular attention to sustainable development and environmental issues so that the useful life of structures is increased in order for economic savings and environmental protection. Accordingly, researchers have proposed permanent concrete durability idea along with strength concrete and improved the strength and durability of concrete and also reduced cement consumption by replacing natural additives. In this regard, to assess the durability of pozzolan-containing concrete against sulfate attacks, in this paper, a variety of additives including zeolite, fly ash, metakaolin, as well as micro and nano silica was used as an alternative for a part of cement. In order to investigate the effect of different types of sulfates, concrete was placed within four saturation environments containing iron, magnesium, sodium, and calcium sulfates and the control saturation sample was made in limewater to compare all the designs. The samples were evaluated using compressive strength test and ultrasonic test at the ages of 7, 14, 28, 60, 180, and 360 days. The results showed the concrete containing micro and nano silica had maximum strength against sulfate attacks and the devastating effects of magnesium, sodium, and calcium sulfates and low effect of iron sulfate were respectively demonstrated. Investigating the velocity of ultrasonic waves also showed that wave velocity increased by increasing the age from 180 to 360 days and increasing the formation of Ettringite, a destructive substance, in concrete. The highest effect of increased velocity was observed by increasing Ettringite in the calcium sulfate samples.

Keywords: Pozzolan Concrete, Ettringite, Concrete Durability, Sulfate, Ultrason.

* Corresponding Author: R.Farokhzad@qiau.ac.ir