



تأثیر میکروسیلیس بر مقاومت فشاری و روند رشد آن در ملات‌های سیمانی

محمدرضا توکلی زاده^۱، علیرضا رضانی^۲، الیار ظفر خواه^۲، سید دانیال غفاریان^۲ و سید فرزانه کاظمی^۲

۱- استادیار گروه عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشجوی کارشناسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

drt@um.ac.ir

چکیده

در این مطالعه تأثیر میکروسیلیس بر مقاومت فشاری و روند رشد آن در ملات‌های ماسه-سیمان بررسی می‌شود. در این راستا پنج گونه ملات، با نسبت‌های مختلف وزنی میکروسیلیس و میزان روان کننده متفاوت در قالب بیش از ۱۸۰ نمونه تهیه شد. آزمایش مقاومت فشاری بر روی نمونه‌های مکعبی ۵ سانتیمتری در سنین مختلف انجام شد. نتیجه اینکه در صورت استفاده از روان کننده، ملات‌های حاوی ۱۰٪ میکروسیلیس بیشترین مقاومت فشاری را نشان می‌دهند؛ در غیر این صورت مقاومت فشاری همواره با افزایش مقدار میکروسیلیس، کاهش می‌یابد. روند رشد مقاومت نیز در نمونه‌های حاوی ۱۰٪ میکروسیلیس در ابتدا کم و در سنین بالاتر افزایش می‌یابد.

کلمات کلیدی: ملات سیمان، میکروسیلیس، مقاومت فشاری، روند رشد مقاومت، روانی

۱. پیشگفتار

میکروسیلیس یکی از موادی است که در دهه اخیر استفاده از آن به طور جدی مورد توجه مهندسين قرار گرفته است. این ماده پودری به رنگ خاکستری روشن یا تیره یا به رنگ خاکستری سبزگون متمایل به آبی می‌باشد. به دلیل خصوصیات بارز پوزولانی میکروسیلیس استفاده از آن جهت بهبود خواص مکانیکی و افزایش دوام بتن رو به افزایش است. همچنین نرمی این ماده باعث می‌شود که میکروسیلیس خاصیت پرکنندگی نیز داشته باشد. برای استفاده از این ماده حتماً باید از روان کننده استفاده نمود. میکروسیلیس یک محصول فرعی حاصل از عملیات احیای کوارتز ناخالص با زغال سنگ در یک کوره قوس الکتریکی در جریان تولید آلیاژهای سیلیس یا فروسیلیس می‌باشد [۱].

برای ساخت بتن‌های با مقاومت‌های بالاتر از ۵۰ مگاپاسکال وجود میکروسیلیس در بتن ضروری است. ریز ساختمانی بتن دارای میکروسیلیس، شامل هیدرات‌های بلورین کمی می‌باشد و خمیر آنها متراکم تر و دارای خلل و فرج کمتری است. تأثیرات اساسی میکروسیلیس در بتن‌های با مقاومت بالا بهبود ریز ساختار ناحیه انتقال بین سنگدانه‌ها و خمیر است. بدین صورت که با اضافه کردن میکروسیلیس به بتن‌هایی که به اندازه بتن‌های معمولی متبلور و متخلخل نیستند، تمام فضاهای اطراف سنگدانه‌ها توسط هیدرات‌های سیلیکات کلسیم بدون شکل اشغال می‌شوند. همچنین پیوستگی مستقیم بین سنگدانه و هیدرات‌های سیلیکات کلسیم قوی‌تر از ارتباط سنگدانه با هیدروکسید کلسیم در بتن‌های معمولی می‌باشد [۲]. در تحلیل شیمیایی میکروسیلیس مشاهده می‌شود که این ماده متشکل از اکسیدهای فلزی و غیر فلزی مانند SiO_2 ، Al_2O_3 ، K_2O ، MgO ، CaO و Fe_2O_3 می‌باشد.

سطح ویژه ذرات میکروسیلیس بسیار بالا و از ۱۳ تا ۳۰ مترمربع در هر گرم متغیر است. چگالی میکروسیلیس در محدوده ۲/۱۰ تا ۲/۲۵ بوده و جرم حجمی توده‌ای آن حدود ۲۵۶ تا ۳۰۴ کیلوگرم بر مترمکعب است [۳].

۲. پژوهش‌های پیشین

نتایج آزمایشگاهی مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن طبق استاندارد ASTM C 1202 حاکی از آن است که استفاده از ۷ تا ۱۰ درصد ژل میکروسیلیس در ساختار بتن سبب کاهش مصرف آب و افزایش مقاومت‌های مکانیکی بتن تا ۳۰٪ می‌گردد همچنین در مقایسه با ترکیب میکروسیلیس و فوق روان کننده خواص و کارایی بتن تا ۱۰٪ افزایش نشان می‌دهد [۴]. همچنین در پژوهش‌هایی که توسط محققین مرکز تحقیق سیمان ایران صورت گرفته، بیان شده است که به علت سطح ویژه بالای میکروسیلیس، با افزایش آن، کارایی ملات سیمان کاهش خواهد یافت. لذا باید برای جبران این کاهش کارایی از روان کننده یا فوق روان کننده استفاده نمود. در این وضعیت می‌توان نسبت آب به سیمان را نیز کاهش داد. در نتیجه با افزایش میکروسیلیس عموماً مقاومت فشاری افزایش خواهد یافت. در پژوهشی که توسط دکتر هرمنفامیلی و دکتر علیرضا باقری با عنوان



"بررسی کیفیت دوده سیلیسی تولید داخل کشور و تعیین میزان تاثیر آن روی خواص بتن تازه و سخت شده انجام شده است به نتایج زیر رسیده اند.

در پژوهشی که در دانشگاه علم و صنعت صورت پذیرفته است، چنین نتیجه گرفته شده است که استفاده از میکروسیلیس هرچند موجب افزایش جزئی مقدار جمع شدگی ملات‌های ساخته شده می‌شود، ولی بر روی مشخصات مکانیکی ملات‌ها تأثیر مثبتی گذارده است. مراد از مشخصات مکانیکی، مقاومت فشاری، مقاومت کششی و مدول الاستیسیته می‌باشد. در مورد اثر میکروسیلیس نیز چنین ذکر شده است که مقاومت فشاری ملات‌های حاوی میکروسیلیس در روزهای اولیه کم‌تر از ملات بدون ماده‌ی افزودنی است، ولی با گذشت زمان (در مقاومت ۲۸ روزه) مقاومت این ملات بالاتر از ملات بدون ماده‌ی افزودنی می‌باشد [۵].

در پژوهشی دیگر که در دانشگاه شهید باهنر کرمان انجام شده است، پژوهشگران چنین نتیجه گرفتند که مقاومت فشاری نمونه‌های دارای پوزولان در سنین اولیه از آهنگ رشد کندتری نسبت به نمونه‌های فاقد پوزولان (نمونه‌های شاهد) برخوردار بوده، در حالی که در فاصله‌ی زمانی ۲۸ تا ۹۰ روزه، مقاومت فشاری نمونه‌های دارای پوزولان، از آهنگ رشد بالاتری برخوردار است و لذا چنین پیشنهاد دافند که تعیین درصد بهینه‌ی پوزولان بر اساس مقاومت‌های درازمدت صورت پذیرد تا با اطمینان بیشتری نسبت به نتایج همراه باشد. در این پژوهش توصیه شده است آزمایش‌هایی در سنین بالاتر از ۹۰ روز انجام گردد. در همین پژوهش برخی از منافع مهندسی کاربرد مواد افزودنی معدنی، بهبود مقاومت در برابر ترک خوردگی حرارتی به علت حرارت کم هیدراتاسیون، زیاده‌تر شدن مقاومت نهایی و نفوذناپذیری به خاطر بهبود وضعیت منافذ، و در نتیجه کاهش قلیانیت و دوام بهتر در مقابل حملات شیمیایی بر شمرده شده است [۶].

در پژوهشی دیگر نیز که توسط چند تن از پژوهشگران نوشتار حاضر صورت گرفته است، تأثیر میکروسیلیس بر روی زمان گیرش و مقاومت فشاری ملات‌های سیمانی بدون استفاده از روان‌کننده بررسی شده است. در پژوهش مذکور نتیجه گرفته شده است که با افزایش میکروسیلیس در صورت عدم استفاده از روان‌کننده، مقاومت فشاری و کارایی ملات کاهش یافته و زمان گیرش و غلظت نرمال ملات افزایش می‌یابد و لذا چنین نتیجه‌گیری شده است که استفاده از روان‌کننده برای ساخت ملات‌های حاوی میکروسیلیس، امری اجتناب‌ناپذیر است [۷].

۳. پژوهش پیش رو

در این پژوهش، هدف بررسی تأثیر میکروسیلیس بر روی مقاومت فشاری و روند رشد مقاومت ملات سیمان است. در ابتدای افزایش میکروسیلیس بر غلظت نرمال و زمان گیرش سیمان با انجام آزمایش‌های مربوطه طبق استانداردهای ASTM C191 و ASTM C187 بررسی شد که نتایج آنها در جدول ۱ قابل مشاهده است.

جدول ۱- مقادیر غلظت نرمال و گیرش اولیه و نهایی برای خمیر سیمان حاوی میکروسیلیس

کد طرح	SC100	SC95	SC90	SC85	SC80
غلظت نرمال (گرم)	149.2	170.5	184.5	198.9	229.7
زمان گیرش اولیه (دقیقه)	88.0	137.7	150.6	190.1	222.1
زمان گیرش نهایی (دقیقه)	129.3	169.4	176.0	209.2	278.8

سپس نمونه‌هایی با مقادیر مختلف میکروسیلیس ساخته شد و برای رسیدن به روانی متعارف به آنها از آب اضافه شد. سپس مقدار افزایش آب برای رسیدن به روانی مورد نظر از طریق آزمایش سیلان که در شکل ۱ نمایش داده شده، بدست آمد که نتایج آن در جدول ۲ قابل مشاهده است.

جدول ۲- نسبت آب به سیمان برای خمیر سیمان حاوی مقادیر مختلف میکروسیلیس

نسبت آب به سیمان	کد طرح
0.46	SC100
0.96	SC95
1.00	SC90
1.06	SC85
1.15	SC80

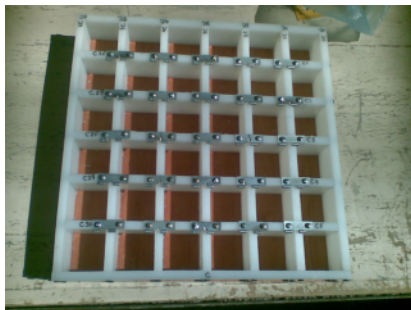
با استفاده از نسبت آب به سیمان بدست آمده از این آزمایش نمونه‌های مکعبی مطابق استاندارد ASTM C109 ساخته شد و مقاومت فشاری آن در سن ۲۸ روزه اندازه‌گیری شد که نتایج آن در جدول ۳ ملاحظه می‌شود.



جدول ۳- مقاومت فشاری ملاتهای حاوی مقادیر مختلف میکروسیلیس

کد طرح	مقاومت فشاری (MPa)
SC100	13.48
SC95	13.25
SC90	11.50
SC85	11.50
SC80	10.65

با توجه به نتایج این آزمایشها تصمیم گرفته شد بجای آب از فوق روان کننده برای رسین به روانی متعارف استفاده شود. بنابراین نمونههایی با نسبت میکروسیلیس به مصالح سیمانی (SF/CM) صفر تا ۵٪ صاف ساخته شد و برای شکستن نمونه ها در سنین ۱ روزه، ۳ روزه، ۷ روزه، ۱۴ روزه، ۲۸ روزه، دو ماهه، ۴۵ روزه، سه ماهه، شش ماهه، یکساله و دوساله، که در هر نوبت سه نمونه شکسته شود، از هر طرح ۳۶ نمونه ساخته شد. همچنین برای اینکه شرایط ساخت نمونهها و نگهداری آنها یکسان باشد، قالبهای ۳۶ی با استفاده از پلاستیک فشرده (تفلون) ساخته شد (شکل ۲) که این امکان را فراهم می آورد که هر طرح در یک مرحله ریخته شود.



شکل ۲- قالب های ۳۶ قلو برای ساختن نمونهها بطور همزمان



شکل ۱- میز سیلان برای تعیین روانی متعارف

۴. تعیین درصد اختلاط مصالح:

مقادیر سیمان و ماسه برای نمونه های فشاری ملات ماسه - سیمان طبق استاندارد ASTM C109 تعیین شفاسه و سیمان به نسبت ۳ به ۱) و درصد جایگزینی میکروسیلیس بجای سیمان نیز ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد در نظر گرفته شد. در این پژوهش از سیمان قائن که یک سیمان غیر پوزولانی است، استفاده شده است. همچنین ماسه مصرفی نیز مطابق استاندارد ASTM ماسه استاندارد بوده است. مقدار آب یا روان کننده نیز برای ملات هلی که با سیمانی غیر از سیمان پرتلند ساخته می شوند، بر اساس توصیه ASTM، باید توسط آزمایش میز سیلان مطابق شکل ۱ تعیین شود. چون در ملات های ساخته شده علاوه بر سیمان، میکروسیلیس نیز وجود دارد، بنابراین سیمان، سیمان غیر پرتلندی محسوب می شود).
چون هدف، استفاده از روان کننده برای رسیدن به روانی مطلوب بوده است، مقدار آبی که از آزمایش میز سیلان برای ملات های بدون میکروسیلیس، برای رسیدن به روانی متعارف بدست آمده است، در ملات های حاوی میکروسیلیس نیز استفاده می شود و از روان کننده برای رسیدن به روانی مورد نظر استفاده می شود. نتایج حاصل از آزمایش میز سیلان در جدول شماره ۴ آمده است.

جدول ۴- نسبت آب و فوق روان کننده مصرفی، به مواد سیمانی برای هر طرح

کد طرح	SC80	SC85	SC90	SC95	SC100
نسبت آب به مواد سیمانی W/CM	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
نسبت فوق روان کننده به مصالح سیمان	0.00592	0.00464	0.00336	0.00208	0.00000

پس از ساختن نمونهها آنها را به مدت ۲۴ ساعت در اون مرطوب نگهداری کرده و سپس آنها را از قالب خارج کرده و تا هنگام شکستن در آب، قرار می دهیم. نمونه ها را یک ساعت قبل از شکستن از آب خارج کرده و ابعاد آنها را با کولیس اندازه می گیریم و سپس با سرعت 0.8 KN/S با جک هیدرولیکی که در شکل شماره ۳ ملاحظه می شود، بارگذاری می کنیم.



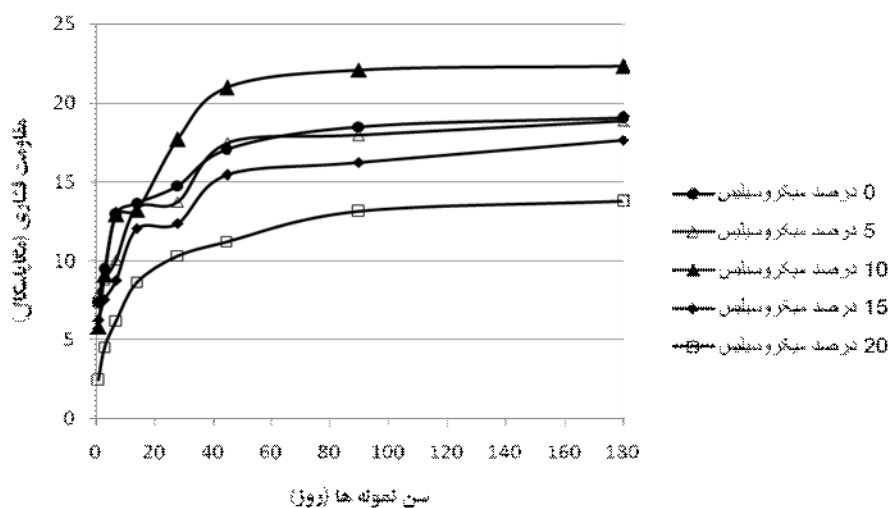
شکل ۳- چک هیدرولیکی برای شکستن نمونه‌ها

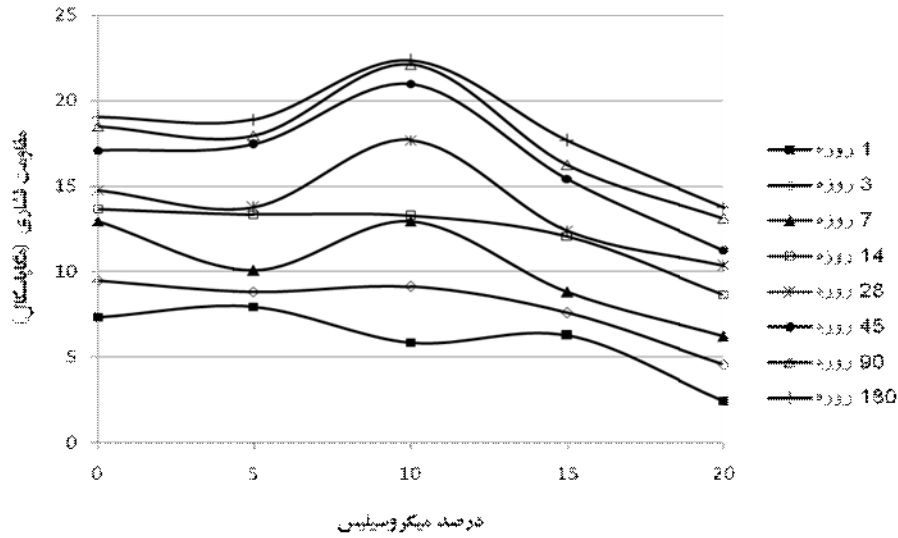
پس از شکستن نمونه‌ها و بررسی مقاومت فشاری آنها در سنین مختلف، نتایج بدست آمده را در جدولی مانند جدول شماره ۵ مرتب می‌کنیم.

جدول ۵- مقاومت فشاری نمونه‌های ساخته شده با مقادیر مختلف میکروسیلیس در سنین مختلف

سن نمونه‌ها (روز)	مقاومت فشاری (MPa)				
	SC100	SC95	SC90	SC85	SC80
1	7.33	7.94	5.84	6.25	2.44
3	9.45	8.81	9.11	7.58	4.55
7	12.94	10.06	12.94	8.78	6.21
14	13.66	13.34	13.24	12.05	8.65
28	14.75	13.73	17.69	12.39	10.34
45	17.08	17.43	20.98	15.43	11.23
۹۰	18.51	17.96	22.11	16.23	13.12
۱۸۰	19.03	18.9	22.33	17.66	13.76

بنابر نتایج بدست آمده می‌توان نمودارهای روند رشد مقاومت فشاری (شکل ۵ و ۴) را مانند شکل‌های زیر رسم کرد.





شکل ۵- روند رشد مقاومت نمونه‌های دارای مقادیر مختلف میکروسیلیس

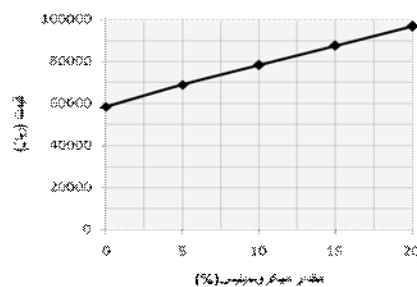
۵. برآورد هزینه:

برای استفاده از ملات ماسه - سیمان حاوی میکروسیلیس، باید صرفه اقتصادی آن را نیز در مقابل مزایا و معایب آن در نظر گرفت. در جدول ۶ مقدار و چگالی مصالح مصرفی برای ساختن یک متر مکعب ملات بر حسب کیلوگرم، قیمت مصالح مصرفی بر حسب ریال به ازای هر کیلوگرم و قیمت تمام شده هر طرح ارائه شده است. همچنین تغییرات قیمت تمام شده برای هر متر مکعب ملات، در نمودار شکل ۶ قابل مشاهده است. برای مقایسه تغییرات قیمت ملات، در مقابل تغییرات مقاومت فشاری ملات‌های ساخته شده با درصد‌های مختلف میکروسیلیس، مقادیر مقاومت فشاری و قیمت‌ها را بر بیشترین مقدار آنها تقسیم کرده، و مقادیر نرمالایز شده آنها را بدست آورده، سپس با تعیین یک تابع هدف (مانند ST/COST که در آن ST بیانگر مقاومت و COST بیانگر قیمت است) و قرار دادن مقادیر نرمالایز شده در این تابع و با رسم نمودار مطابق شکل ۷ و بدست آوردن مقدار ماکسیم آن، بهترین مقدار برای هدف مورد نظر بدست می‌آید.

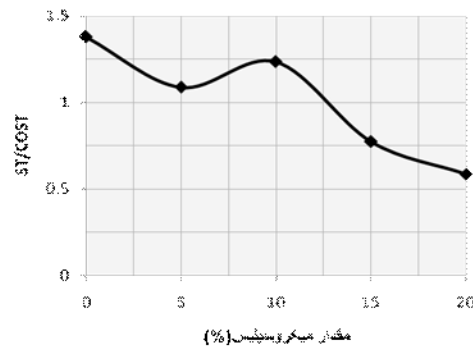
جدول ۶- مقدار مصالح مصرفی برای ساختن یک متر مکعب ملات و قیمت تمام شده هر طرح

	آب	سیمان	فوق روان کننده	میکروسیلیس	ماسه	چگالی (kg/Lit)
قیمت کل	1000	3150	1150	2200	2600	قیمت هر کیلو (ریال)
58455.43	0	1200	8000	5000	60	SC100
68913.07	411.1	428.2	0(0 Lit)	0	1177.6	SC95
78222.05	408.7	404.4	3.4(2.96 Lit)	21.3	1170.7	SC90
87472.44	406.8	381.4	5.34(4.64 Lit)	42.4	1165.3	SC85
96667.46	404.9	358.4	7.34(6.38 Lit)	63.3	1160	SC80
	403	335.9	9.32(8.11 Lit)	84	1154.6	

لازم به ذکر است که به علت استفاده از سیمان قائن (که یک با قیمت آزاد به بازار عرضه می‌شود) قیمت سیمان مصرفی نسبتاً زیاد است.



شکل ۶- تغییرات قیمت تمام شده برای هر متر مکعب ملات برای طرح‌های حاوی مقادیر مختلف میکروسیلیس



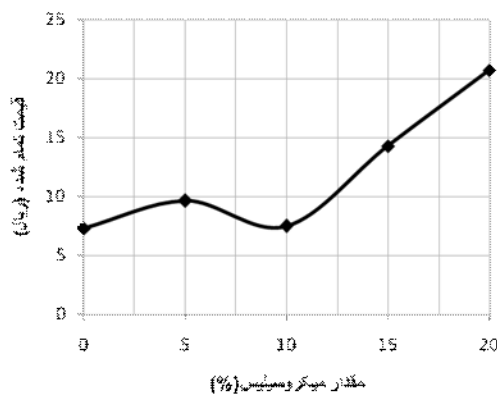
شکل ۷- بهینه سازی مقدار مصرف میکروسیلیس برای رسیدن به بیشترین مقدار ST/COST

همانطور که در نمودار ملاحظه می شود با توجه به تابع هدف، بیشترین مقدار، در طرح بدون میکروسیلیس حاصل می شود. لازم به ذکر است که در اینجا این بررسی به عنوان نمونه انجام گرفته است. در حالی که ممکن است تابع هدف بصورت دیگری تعریف شود که در آن صورت نیز همانطور که در بالا ملاحظه شد، می توان بهترین مقدار میکروسیلیس را در طرح بدست آورد.

همچنین می توان بصورتی دیگر انواع مختلف ملات را از نظر هزینه برآورد کرد. به این صورت که نیروی وارده را ثابت، و برابر نیروی قابل تحمل برای ملات SC100 در سن ۲۸ روزه در نظر می گیریم (۳۶۸۷۵ نیوتن) و برای سایر نمونه ها با افزایش یا کاهش سطح، نیروی مورد نظر را تامین می کنیم. در این صورت حجم نمونه نیز تغییر یافته و قیمت تمام شده هر نمونه، با توجه به حجم جدید آن در نظر گرفته می شود. در این صورت می توان نمونه ای را که دارای کمترین قیمت است به عنوان نمونه اقتصادی برگزید. توجه داریم که در اینجا تمام نمونه ها با حجم جدید قابلیت تحمل نیروی یکسانی را دارند. جدول شماره ۷ و نمودار شکل ۸ بیانگر این تحلیل هستند.

جدول ۷- قیمت تمام شده نمونه های مختلف برای تحمل نیروی فشاری ۳۶۸۷۵ نیوتن

کد طرح	مقاومت فشاری ۲۸ روزه (MPa)	حجم مورد نیاز برای تامین نیروی فشاری ۳۶۸۷۵ N	قیمت تمام شده برای حجم جدید (ریال)
SC100	14.75	125.0	7.3
SC95	13.73	139.9	9.6
SC90	17.69	95.7	7.4
SC85	12.39	163.2	14.3
SC80	10.34	214.1	20.7



شکل ۸- بهینه سازی مقدار میکروسیلیس برای رسیدن به کمترین مقدار قیمت



باید یادآور شود در اینجا تنها مقاومت فشاری و قیمت، برای مقایسه طرح‌ها مد نظر قرار گرفتند. در صورتی که عوامل دیگری نیز وجود دارند که استفاده از میکروسیلیس را در طرح ملات ضروری میسازند که از آن جمله می‌توان به افزایش دوام، افزایش مقاومت در برابر چرخه‌های ذوب و یخ و همچنین کاهش نفوذپذیری ملات‌های دارای میکروسیلیس اشاره کرد که در اینجا مجال پرداختن به آنها وجود ندارد.

۶. نتیجه گیری:

مهم‌ترین نتایج به دست آمده از این پژوهش را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

- با افزایش میکروسیلیس مقدار آب لازم، برای رسیدن به غلظت نرمال، روانی متعارف و همچنین زمان گیرش اولیه و نهایی خمیر سیمان، افزایش می‌یابد.
- در صورت استفاده از روان‌کننده، در سنین کمتر از هفت روز، با افزایش میکروسیلیس، مقاومت و روند رشد آن کاهش می‌یابد که به دلیل آن است که نمونه‌های حاوی مقدار بیشتر سیمان، زودتر به مقاومت نهایی خود می‌رسند. در سنین بیشتر از هفت روز، با افزایش میکروسیلیس، تا حدود ۱۰٪ مقاومت و روند رشد آن، افزایش می‌یابد. اما با افزایش مقدار بیشتر میکروسیلیس مقاومت و روند رشد آن کاهش می‌یابد. نمونه‌های حاوی ۱۰٪ میکروسیلیس پس از حدود ۱۷ روز (طبق نمودار شکل ۵) مقاومت فشاری بیشتری در مقایسه با سایر نمونه‌ها نشان می‌دهند.
- در صورت عدم استفاده از روان‌کننده با افزایش میکروسیلیس، مقاومت نمونه‌های فشاری کاهش می‌یابد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از میکروسیلیس به تنهایی مفید نمی‌باشد و استفاده از روان‌کننده امری ضروری می‌باشد.
- با توجه به بررسی اقتصادی مقدار مصرف میکروسیلیس، برای تحمل نیروی مشخصی توسط نمونه، قیمت تمام شده برای نمونه‌های حاوی ۱۰٪ میکروسیلیس و نهادهای بدون میکروسیلیس، تقریباً یکسان است ولی با توجه به کاهش حجم نمونه و همچنین سایر خصوصیات نمونه‌های حاوی میکروسیلیس، مصرف حدود ۱۰٪ میکروسیلیس برای ساخت ملات ماسه - سیمان، توصیه می‌شود.

۷. سپاسگزاری:

بدین وسیله پژوهشگران بر خود لازم می‌دانند از مدیریت گروه عمران دانشگاه فردوسی مشهد جهت ایجاد زمینه مناسب برای انجام این پژوهش قدردانی به عمل آورند. پژوهشگران همچنین مراتب سپاسگزاری و تشکر خود را از جناب آقای حاجی نژاد، مسئولیت محترم آزمایشگاه‌های تکنولوژی بتن و مصالح ساختمانی گروه اعلام می‌دارد. همچنین دلسوزی‌های صمیمانه مهندس ابوالفضل محمدزاده و دیگر دوستانی که ما را در بثمر رساندن این مهم یاری دادند، هرگز فراموش نخواهد شد.

۸. مراجع:

1. <http://www.chemixon.com/fa/products/conadd/microsilis.html>
۲. غفوری فرد و معین رضا، (۱۳۸۷)، "آشنایی با بتن توانمند"، سیمان و بتن، دانشگاه علم و صنعت ایران، شماره بیست و پنجم
۳. استیون اچ کسمانتکا و ویلیام سی پانارس، (۱۳۸۵)، "طراحی و کنترل مخلوط‌های بتن"، ترجمه علیرضا خالو و محمود ایراجیان، تهران، موسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف
4. <http://www.iran-eng.com/showthread.php?t=30383>
۵. عباس نیا، قدوسی و جمال احمدی، (۱۳۸۲)، "اثر مواد افزودنی مختلف بر روی مشخصات مکانیکی و رفتار جمع شدگی ملات‌های تعمیراتی"
۶. مقصودی، احمدی مقدم و امیر شکاری، "بررسی خصوصیات مقاومتی ملات‌های حاوی سیمان آمیخته با پوزولان و مقایسه آن با نمونه شاهد"
۷. ظفرخواه، کاظمی و توکلی زاده، "تأثیر میکروسیلیس بر گیرش و مقاومت فشاری ملات‌های سیمانی"