

تأثیرات پودر پوکه معدن دماوند به عنوان سوپر پوزولان در ساخت بتن

علی باقریان

مهندس معدن - سرپرست آزمایشگاه تحقیق و پژوهش بتن شرکت پریفاب

چکیده:

این مقاله تحقیقی است به منظور تعیین نسبت های طرح مخلوط بتن سازه ای با مقاومت بالاتر از بتن ساده که برای دستیابی به این بتن از پودر پوکه معدنی پومیس معدن دماوند استفاده شده و با بتن حاوی پودر میکرو سیلیس مقایسه گردیده . با در نظر داشتن جنبه های اجرایی این نوع از بتن، متغیرها در طر حهای مختلف عبارتند از :نسبت آب به مصالح سیمانی، مقدار پودر پوکه و میکروسیلیس. آزمایش های مقاومت فشاری نمونه های ساخته شده در آزمایشگاه بتن شرکت پریفاب تا روز آزمایش در حوضچه عمل آوری قرار گرفتند. نتایج این پژوهش نشان می دهد که می توان با استفاده از پودر پوکه معدنی با قیمت نازلتر از میکروسیلیس به مقاومت فشاری نزدیک به بتن حاوی پودر میکرو سیلیس رسید .

واژه های کلیدی: پودر پوکه پومیس ، میکروسیلیس، سبکدانه ، سوپر پوزولان

مقدمه :

پوزولان ها هم باعث بالارفتن مقاومت فشاری و هم افزایش دوام در بتن می شوند. [1] پودر پوکه معدنی دماوند با داشتن ۶۰ درصد سیلیس به عنوان یک سوپر پوزولان هم باعث بالارفتن مقاومت فشاری و هم دوام بتن می گردد. این پودر در اصل باطله پوکه پومیس در معدن پوکه دماوند می باشد. استفاده از این پودر در بتن تولیدی با این روش دارای قابلیت های زیر می باشد:

- کاهش نسبی وزن مخصوص.

- کاهش اسلامپ بتن و در چند دقیقه اولیه به علت جذب آب بالای آن و قابلیت استفاده در شاتکریت

- قیمت آن نسبت به پودر های مصنوعی پایین تر است و به وفور یافت می شود.

- فاقد مواد زیان آوری است که ممکن است در تولید پودرهای مصنوعی بکار رفته باشد.

در حال حاضر منابع غنی از پوکه های معدنی در کشور وجود دارند که تعدادی از آنها در حال استخراج و بهره برداری هستند که از جمله این معادن می توان به معادن حاشیه کوه دماوند اشاره نمود. لیکن علیرغم پتانسیل بالای این مواد مصرف آنها از لحاظ حجمی و تنوع کاربرد بصورت شایسته انجام نمی گیرد. یکی از دلایل عمده این مسئله عدم شناخت کافی تولیدکنندگان واحدهای صنعتی از خواص مهندسی و کاربردهای بالقوه آنهاست. هدف اصلی از این تحقیق تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی این نوع از مصالح در ناحیه اطراف دماوند می باشد. این پودر همان طور که قبلاً ذکر شد از باطله ی معدن کاری، خردایش و آسیاب سنگ معدن پومیس حاصل شده و با وجود سیلیس بالا (حدود ۶۰٪) می تواند به عنوان یک سوپر پوزولان می تواند باعث افزایش مقاومت فشاری و دوام گردد. [2]

جزئیات آزمایش :

۱۰ طرح مقایسه ای در بتن با کلاس C30 با مشخصات موجود در جدول ۸ ساخته شد که طرح اول شاهد و بدون هیچگونه افزودنی، طرح دوم با ۱۰ درصد پودر پوکه و طرح سوم با ۱۰ درصد میکروسیلیس زده شد. مصالح به کار رفته به شرح زیر است. سیمان به کار رفته در این پژوهش سیمان تهران تیپ ۴۲۵-۱ می باشد که دارای مشخصات زیر است :

جدول ۱ - نتایج آزمایشهای انجام شده بر روی سیمان ۴۲۵-۱

ویژگی	استاندارد	حد استاندارد	نتیجه آزمون
وزن مخصوص	ملی ۳۸۹ ایران	۳,۱۵	۳,۱۵
نرمی	ملی ۳۸۹ ایران	۲۸۰۰	۳۰۰۰
مقاومت فشاری	ملی ۳۸۹ ایران	۴۲۵	۴۳۸

پوکه استفاده شده از نوع پوکه معدنی، معدن دماوند با مشخصات زیر است :

پوکه های معدنی بدلیل بعضی از خواص فیزیکی خود همچون سبکی، مقاومت در مقابل آتش، ضریب هدایت صوتی و حرارتی پایین (عایق صوتی و حرارتی) دارای کاربردهای بسیار متنوع در بخشهای مختلف صنعت می باشند. در بسیاری از کشورهای صنعتی دنیا این منابع بصورت شایسته ای مورد شناسایی قرار گرفته و در صنایع مختلف استفاده می شوند [3]

آزمایشات مربوط به این قسمت بر اساس استاندارد $ASTM-C94$ و $ASTM-C97$ انجام شده که در آنها با داشتن وزن مصالح در حالت خشک و اشباع در هوا و بصورت غوطه ور در آب، پارامترهای مذکور محاسبه می شوند. پودر پوکه استفاده شده از نوع پودر پوکه پومیس بوده و دارای مشخصات زیر است:



شکل ۱ - پوکه معدنی پومیس

پودر مورد نظر از نوع پومیس بوده و آنالیز شیمیایی آن از قرار زیر است :

جدول ۲ - آنالیز شیمیایی پودر پوکه پومیس

sample	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	سایر عناصر
	%	%	%	%	%
7592	65	25	5	2	3

جدول ۳ - خصوصیات فیزیکی پوکه معدنی پومیس

نوع نمونه	وزن مخصوص در حالت $(kg/m^3)_{ssd}$	وزن مخصوص خشک (%)	درصد جذب آب (%)
زیر الک #16	۱,۵۵	۰,۵۵	۱۲,۵۸

دانه بندی پودر پوکه به شرح زیر است :

جدول ۴- دانه بندی پودر پوکه

Standard Test Sieve Size	weight of	cumulative	percentage	percentage	specification	
	material	weight			percentage	percentage
	retained	retained	retained	passing		
	(g)	(g)	(%)	(%)	MIN.	MAX.
# 16 (1.19 mm)	0.0	0	0.0	100.0	50	85
# 30 (0.590 mm)	100.0	100	14.7	85.3	25	60
# 50 (0.300 mm)	100.0	200	29.4	70.6	5	30
# 100 (0.150 mm)	120.0	320	47.1	52.9	0	10
# 200 (0.075 mm)	40.0	360	52.9	47.1	0	3
Pan	320.0	680				
Total	680.0					
Passing 200%		47.06%				
F.M		0.91				

مشخصات میکروسلیس استفاده شده بر مبنای کیفی *ASTMC1240 - EN13263* به شرح زیر می باشد.

مشخصات شیمیایی :

جدول ۷- آنالیز شیمیایی میکروسلیس

ترکیب شیمیایی مواد	درصد
<i>Sio2</i>	95-97%
<i>Al2o3</i>	1-2%
<i>Cao</i>	0.4-0.5%
<i>L.O.I</i>	1-1.5%

مشخصات فیزیکی :

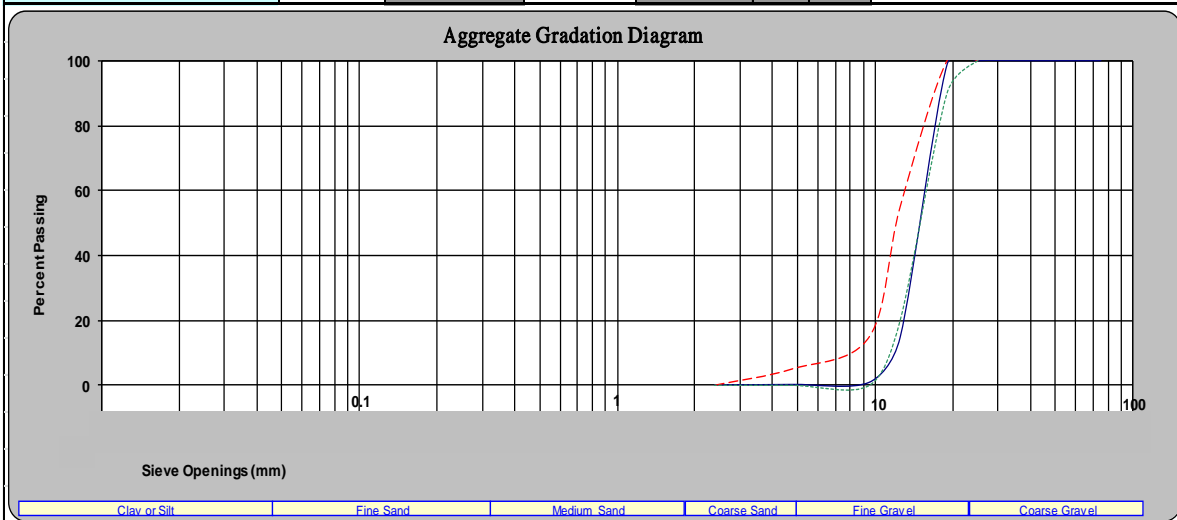
جدول ۸- مشخصات فیزیکی میکروسلیس

چگالی	۲,۲ g/cm ³
چگالی حجمی	۶۰۰
چگالی ظاهری	۰,۳۶
ضریب فعالیت پوزولانی (هفت روزه)	۱-۱۱۴

شن و ماسه استفاده ، شن و ماسه تولیدی شرکت پریفاب با مشخصات و دانه بندی زیر می باشد.

جدول ۵- دانه بندی و مشخصات شن استفاده شده (ASTM C 33)

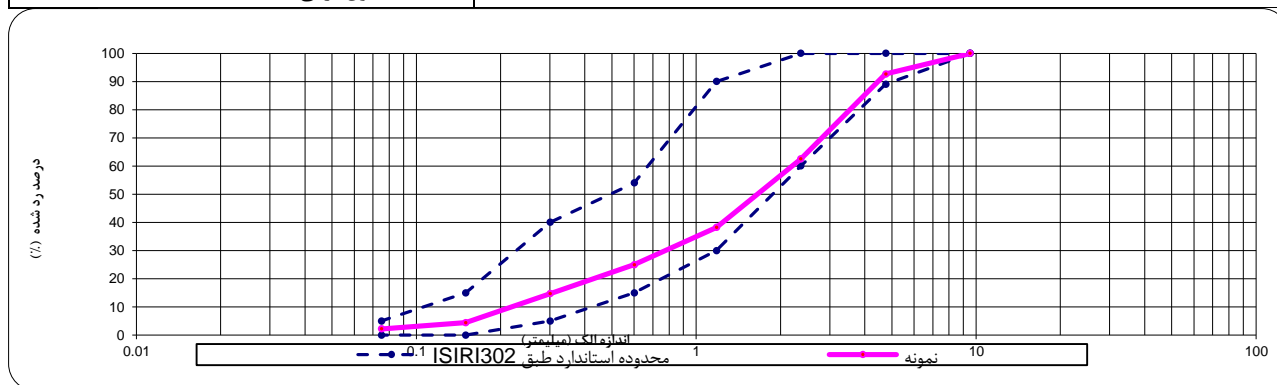
Standard Test Sieve Size	weight of material retained (g)	cumulative weight retained (g)	percentage retained (%)	percentage passing (%)	specification limit for passing		REMARKS
					MIN.	MAX.	
4" (100 mm)							
3" (75 mm)							
2" (50 mm)							
1.5" (37.5 mm)							
1.0" (25.0 mm)	0.0	0	0.0	100.0	100	100	
3/4" (19.0 mm)	28.0	28	1.2	98.8	90	100	
1/2" (12.5 mm)	1951.0	1979	85.2	14.8	20	55	
3/8" (9.5 mm)	322.0	2301	99.1	0.9	0	15	
3/16" (4.75 mm)	16.0	2317	99.7	0.3	0	5	
# 8 (2.38 mm)	2.0	2319	99.8	0.2	0	0	
Pan	4.0	2323	100.0	0.0			
Total	2323.0						



نام آزمایش	روش آزمایش	نتیجه آزمایش	روش آزمایش
200 درصد گذشته از الک	ASTM C117-03	0.7%	ASTM C131-03
چگالی ریزدانه (SSD)	ASTM C128-01	-	BS 812
چگالی درشت دانه (SSD)	ASTM C127-01	2.51	BS 812
جذب آب ریزدانه	ASTM C128-01	-	روش طرح ملی مخلوط بتن
جذب آب درشت دانه	ASTM C127-01	2.22	IS 2386-part4

جدول ۶ - دانه بندی و مشخصات ماسه استفاده شده (ISIRI 4977)

شماره و اندازه الک (mm)	وزن مانده روی الک (gr)	درصد مانده روی الک	درصد مانده تجمعی	درصد عبوری از الک	محدوده استاندارد طبق ISIRI302	
					حداقل	حداکثر
3/8 "	9.5	0	0	100.0	100	100
نمره ۴	4.75	100	7	92.6	89	100
نمره ۸	2.36	410	30	62.5	60	100
نمره ۱۶	1.18	330	24	38.2	30	90
نمره ۳۰	0.6	180	13	25.0	15	54
نمره ۵۰	0.3	140	10	14.7	5	40
نمره ۱۰۰	0.15	140	10	4.4	0	15
نمره ۲۰۰	0.075	30	2	2.2	0	5
زیرالک	40	3	100			
مدول نرمی (FM)			3.6			



نام آزمایش	روش آزمایش	نتیجه آزمایش	نام آزمایش	روش آزمایش	نتیجه آزمایش
درصد گذشته از الک ۲۰۰	ASTM C117-03	۲,۹%	درصد سایش	ASTM C131-03	-
چگالی ریزدانه (SSD)	ASTM C128-01	۲,۳۸	تطویل	BS 812	-
چگالی درشت دانه (SSD)	ASTM C127-01	-	تورق	BS 812	-
جذب آب ریزدانه	ASTM C128-01	۳,۲۴	درصد شکستگی	روش طرح ملی مخلوط بتن	-
جذب آب درشت دانه	ASTM C127-01	-	ارزش ماسه ای	ASTM D2419	٪۹۴

مشخصات مصالح در طرح های مخلوط به شکل زیر می باشد.

جدول ۹- مشخصات مصالح مورد استفاده

مصالح	حدکثر اندازه سنگدانه <i>MSAmm</i>	سهم %	جذب آب %	چگالی <i>SSD</i> <i>Kg/m3</i>	مدول نرمی <i>FM</i>	درصد گذشته از الک ۲۰۰
ماسه طبیعی	4.75	65.0	3.24	2.38	3.50	2.00
شن نیمه شکسته	25	35.0	2.22	2.51		0.4
پودر پوکه	2	10.0	12.58	1.55	0.91	39.5
ترکیب سنگدانه ها		25	100	2.29	4.48	0.87
مواد سیمانی	سیمان	تیپ ۱,۴۲۵ تهران		3.15		
	میکروسیلیس			2.2		

طرح مخلوط ها و نسبت های بکار رفته در طرح های آزمایشی:

تمامی طرح های آزمایشی در رده مقاومتی *C30* طراحی شده و طرح اول که به صورت شاهد خواهد بود بدون استفاده از هیچگونه افزودنی می باشد. در طرح ها چون حالت مقایسه ای، ما بین بتن بدون افزودنی، پودر پوکه و میکروسیلیس می باشد در این طرح ها مقدار سیمان و اسلامپ ثابت گرفته شده است. البته به جز بتن نمونه ۱۰۴ که سیمان به میزان ۱۰ درصد نسبت به طرح های قبلی افزایش داشته تا مشاهده شود که با افزایش سیمان به میزان ۱۰ درصد می توان جایگزین به مقاومت بتن حاوی پودر پوکه یا میکروسیلیس رسید یا نه.

جدول ۱۰- اجزای مخلوط های آزمایشی در یک متر مکعب بتن (*kg*) و وزن مخصوص نمونه ها (*kg/m3*)

شماره طرح	سیمان	میکروسیلیس	آب کل	آب آزاد	شن	ماسه	پودر پوکه	اسلامپ <i>cm</i>	وزن مخصوص محاسباتی	وزن مخصوص تر	وزن مخصوص خشک
100	400	0	218	172	598	1054	0	8	2.109	2.355	2.3
101	400	0	213	172	598	891	102	8	2.054	2.320	2.29
102	400	40	233	189.2	567	999	0	8	2.083	2.315	2.32
103	400	0	216	172	598	942	51	8	2.081	2.328	2.3
104	440	0	228	174	564	994	0	8	2.095	2.345	2.32
105	400	0	232	189	644	916	40	8	2.064	2.312	2.9
106	400	20	241	198	564	994	0	8	2.083	2.340	2.3
100(2)	400	0	218	172	598	1054	0	8	2.108	2.356	2.3
101(2)	400	0	213	172	598	891	102	8	2.055	2.321	2.28
102(2)	400	40	233	189.2	567	999	0	8	2.083	2.315	2.31

از طرح های که در جدول ۱۰ ذکر شده طرح های ۱۰۰، ۱۰۱، ۱۰۲ و ۱۰۴ نتایج نزدیکتری به حالت مقایسه ای دارد که رفتارسنجی نمونه ها بعد از تولید به شرح زیر می باشد.

بتن شاهد بتنی بدون هیچ نوع افزودنی می باشد که طبق جدول ۱۰ با شماره ۱۰۰ نامگذاری شده است. این بتن از کلاس C30 بوده و با اسلامپ ۸ و با W/C ، ۵۵٪ تهیه گردیده و مشخصات آن به شکل زیر است.

جدول ۱۱- مشخصات بتن نمونه ۱۰۰ (شاهد)

زمان	5min	15 min	۳۰ min				
اسلامپ cm	۸	۶	۳,۰				
دمای بتن تازه 'C	چگالی بتن تازه kg/m3		چگالی محاسباتی kg/m3	جداشدگی	آب انداختن	خمیری بودن	تراکم پذیری
۲۱	۲,۳۵		۲۱۰۹	ندارد	ندارد	خوب	خوب

بتن حاوی پودر پوکه پومیس با ۶۰٪ سیلیس با شماره ۱۰۱ نامگذاری شد و با W/C ۵۳٪ تهیه و به اسلامپ ۸ رسید اما بعد از حدودا ۵ دقیقه با جذب آب آزاد مخلوط بتن به اسلامپ ۳ رسید. تا دقیقه ۱۵ اسلامپ تغییر محسوسی نداشت و این تفکر که این پودر باعث زودگیری می شود را از ذهن دور کرد و تنها عامل افت اسلامپ جذب آب بالای آن است. ضمنا باید ذکر کرد که پودر پوکه در ۱۰٪ حجمی سنگدانه شرکت داده شده است و به همان اندازه از ماسه کم شده است. به این دلیل که پودر پوکه به همانند پودر میکرو سیلیس میکرونیزه نبوده و به علت اینکه از الک با مش ۱,۱۸ میلیمتر به پایین است مقداری زیادی از آن در مخلوط جایگزین ماسه خواهد شد.

جدول ۱۲- مشخصات بتن نمونه ۱۰۱ (با ۱۰٪ پودر پوکه)

زمان	5 min	15 min	30 min	1hr			
اسلامپ cm	۸	۲	۰				
دمای بتن تازه 'C	چگالی بتن تازه kg/m3		چگالی محاسباتی kg/m3	جداشدگی	آب انداختن	خمیری بودن	تراکم پذیری
۲۱	۲,۳۲		۲۰۵۴	ندارد	ندارد	خوب	خوب

بتن حاوی پودر میکروسیلیس با شماره ۱۰۲ نامگذاری شد و حاوی ۱۰٪ وزنی سیمان ، میکروسیلیس است و آب به سیمان طبق فرمول $W/(C+KM)$ ، ۴۹٪ می باشد این نوع بتن نیز با اسلامپ ۸ تولید و پس از ۱۵ دقیقه فقط ۲ سانتیمتر افت اسلامپ داشت.

جدول ۱۳- مشخصات بتن نمونه ۱۰۲ (با ۱۰٪ میکرو سیلیس)

زمان	5 min	15 min	30 min	1hr			
اسلامپ cm	۸	۶	۴				
دمای بتن تازه 'C	چگالی بتن تازه kg/m ³		چگالی محاسباتی kg/m ³	جداشدگی	آب انداختن	خمیری بودن	تراکم پذیری
۲۱	۲,۳۲		۲,۰۸۳	ندارد	ندارد	زیاد	زیاد

بتن نمونه ۱۰۴ سیمان به میزان ۱۰ درصد نسبت به طرح های قبلی افزایش داشته و آب به سیمان ۵۲٪ و اسلامپ ۸ سانتی متر می باشد تا مشاهده شود که با افزایش خود سیمان به میزان ۱۰ درصد می تواند جایگزین پودر پوکه یا میکروسیلیس شود و به همان مقاومت مورد انتظار رسید یانه.

جدول ۱۳- مشخصات بتن نمونه ۱۰۴ (با ۱۰٪ سیمان اضافه)

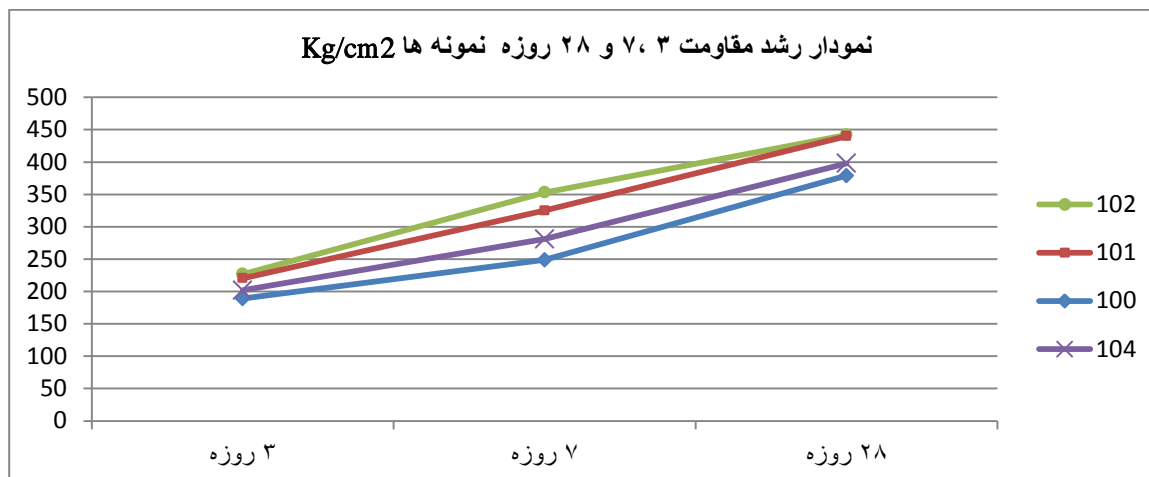
زمان	5 min	15 min	min				
اسلامپ cm	۸	۸	۳,۰				
اسلامپ فلو cm							
دمای بتن تازه 'C	چگالی بتن تازه kg/m ³		چگالی محاسباتی kg/m ³	جداشدگی	آب انداختن	خمیری بودن	تراکم پذیری
	۲,۳۴۵		۲,۰۹۵	ندارد	ندارد	خوب	خوب

نمونه های ۱۰*۱۰*۱۰ تهیه شده در موعد ۳ روزه ۷ روزه و ۲۸ روزه مقاومت سنجی شد که نتایج زیر حاصل گردید .

جدول ۱۴ - مقاومت فشاری مکعبی کسب شده توسط نمونه ها Kg/cm²

نمونه	تاریخ	چگالی kg/m ³	۳ روزه	۷ روزه	۲۸ روزه
100	94/09/10	2.3	189	249	379
101	94/09/10	2.29	220.4	325	440
102	94/09/12	2.35	227	353	442
104	94/09/14	2.32	202	281	398

بررسی رشد مقاومت در نمونه ها نیز به شکل زیر است .



شکل ۲- نمودار رشد مقاومت نمونه ها

با توجه به جدول ۱۴ و نمودار بالا مقاومت فشاری در نمونه ۱۰۰ و ۱۰۴ که فقط از سیمان خالی استفاده شده است با نمونه های ۱۰۱ و ۱۰۲ که حاوی پودر پوک و میکروسیلیس است مقاومت کمتری داشته و نمونه ۱۰۱ در ۲۸ روز خود را به نزدیکترین فاصله مقاومتی به نمونه ۱۰۲ رسانده است و با توجه به قیمت پایین تر نسبت به میکروسیلیس در دوز بالاتر از ۱۰ درصد مطمئناً به مقاومت بتن حاوی میکروسیلیس خواهد رسید.

نتیجه گیری :

با توجه به نمودارهای رشد مقاومت و با توجه به چگالی پایین تر نسبت به نمونه شاهد و نمونه میکروسیلیس دار و افت اسلامپ در کمتر از ۱۰ دقیقه از ۸ سانتی متر به ۲ سانتی متر نتیجه می شود که پودر پوک معدنی پومیس را می توان به عنوان یک افزودنی همانند سوپر پوزولان که هم خاصیت بالابرنده مقاومت فشاری و هم دوام دارد استفاده کرد و هم نسبتاً باعث سبکتر کردن مخلوط بتن می گردد. اختصاصاً مورد استفاده این نوع پودر می تواند به عنوان مقاوم ساز در شاکریت باشد که به علت سبکی و جذب آب بالا درصد اتلاف (*rebound per cent*) را پایین تر می آورد.

منابع :

- ۱- روش ملی طرح مخلوط - مرکز تحقیقات راه ، مسکن و شهر سازی
- ۲- مرتضی حسینعلی بیگی ، سید باقر حسینیان ، پیام شفیق"، ساخت بتن سبک با مقاومت بالا با استفاده از دانه های سبک، پودر سنگ و میکروسیلیس" ، ۱۳۸۶
- ۳- حمیدرضا رحمانی، محمود یزدانی، محمدرضا نیکودل ، تعیین خصوصیات مهندسی پوکه های معدنی دماوند و امکان سنجی موارد کاربرد آنها در صنعت ساختمان ، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران ، 1389