



دانشگاه تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۰
تالار شهید چمران - انستیتو مصالح ساختمانی
پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران



اولین کنفرانس ملی بتن سبک

بررسی و مقایسه برخی خصوصیات مکانیکی انواع سبکدانه‌های طبیعی و

مصنوعی

علی اصغر ذکاوتی^{۱*}، نقی عبدی زاده^۲، حسن افشین^۳

^۱ کارشناس ارشد سازه، پژوهشگاه نیرو، تهران

^۲ کارشناس ارشد سازه، بنیاد بتن ایران، تهران

^۳ دانشیار دانشگاه صنعتی سهند، دانشکده مهندسی عمران، تبریز

چکیده

مقاومت بتن سبک تابعی از دو عامل خصوصیات مکانیکی سبکدانه و ملات در برگیرنده آن است. از طرفی با توجه به استفاده روز افزون از بتن سبک سازه‌ای به جهت ویژگی‌های منحصر به فرد آن از قبیل کاهش وزن سازه، عایق صوتی و حرارتی، شناخت و بررسی خصوصیات مکانیکی سبکدانه‌های گوناگون کمک شایانی در بهبود روشهای تولید و کاهش هزینه‌های ساخت بتن سبک خواهد کرد. در این مقاله با به‌کارگیری آزمایش "تعیین ارزش ده درصد ریزدانه" خواص مکانیکی انواع سبکدانه‌های طبیعی و مصنوعی از قبیل پومیس، اسکریا و لیکا بررسی و مقایسه می‌شود و تاثیر آنها در مقاومت بتنهای سبک تهیه شده مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. نتایج حاکی از تنوع ساختاری و مقاومتی انواع سبکدانه‌ای موجود در ایران می‌باشد که می‌توان با توجه به ویژگی‌های خاص هریک از آنها و استفاده از مکمل‌های پودری به مقاومت سازه‌ای و طرح اختلاط مناسبی دست یافت.

کلمات کلیدی: بتن سبک، سبکدانه، پومیس، لیکا، اسکریا، خصوصیات مکانیکی

۱- مقدمه

استفاده از بتن‌های سبک در سازه‌ها، علاوه بر کاهش بار مرده و در نتیجه کاهش در نیروهای عمل‌کننده بر سازه در اثر زلزله، موجب کاهش در ابعاد اعضای سازه‌ای و فونداسیون‌ها خواهد شد. وجود تخلخل در مواد تشکیل‌دهنده و خمیره بتن سبک، جنس و خصوصیات سبکدانه‌ها موجب کاهش جرم مخصوص و به دنبال آن کاهش مقاومت فشاری می‌شود اما در چند دهه اخیر کشف انواع سبکدانه‌های طبیعی، تولید مصنوعی سبکدانه‌ها از جمله لیکا و طرح‌های اختلاط متنوع منجر به ساخت بتن‌های سبک سازه‌ای با رده‌های مختلف مقاومتی شده است.

سبکدانه‌های سازه‌ای معمولاً برحسب فرایند تولیدشان طبقه‌بندی می‌شوند، زیرا روش‌های تولید گوناگون، سنگدانه‌هایی با خواص متفاوت تولید می‌کنند. مشخصات این سبکدانه‌های سازه‌ای فرآوری شده باید با ضوابط [ASTM C 330 1] مطابقت داشته باشند، این سبکدانه‌ها شامل موارد زیرند:

* کارشناس گروه سازه پژوهشکده انتقال و توزیع پژوهشگاه نیرو، آدرس: تهران، شهرک قدس، انتهای بلوار شهید دامن، ایمیل: zekavati.ali@gmail.com

رس‌ها، شیل‌ها و سنگ لوح‌های منبسط شده در کوره چرخان
شیل‌ها و سنگ لوح‌های منبسط شده روی توری داغ
توده گلوله شده یا به هم چسبیده خاکستر بادی
روباره‌های منبسط شده

بتن‌های سبک سازه‌ای را می‌توان با انواع دیگری از سبکدانه‌ها نیز تولید کرد، از جمله این مواد می‌توان به پومیس^۱ و اسکریا^۲ که در طبیعت یافت می‌شوند، اشاره کرد. اسکریا در اثر ورود مواد مذاب آتشفشانی به دریا یا دریاچه‌ها و تخلیه‌ی گاز در هنگام انجماد سریع ماگمای روان ایجاد میشود. اسکریا ترکیبی سخت و مشابه بازالت دارد و سطح آن بسیار متخلخل است و عموماً به نام سنگ پا شناخته شده است.

جرم حجمی سبکدانه‌های سازه‌ای به مراتب کمتر از سنگدانه‌های معمولی است. جرم حجمی انبوهی سبکدانه‌های سازه‌ای بین ۵۶۰ تا ۱۱۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب است، در حالی که جرم حجمی انبوهی سنگدانه‌های معمولی بین ۱۲۰۰ تا ۱۷۶۰ کیلوگرم بر متر مکعب تغییر می‌کند. جذب آب سبکدانه‌های سازه‌ای بین ۵ تا ۲۰ درصد وزن مصالح خشک است. در این مقاله خصوصیات مکانیکی انواع سبکدانه‌ها مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت تاثیر آنها در مقاومت بتن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۲- سنگدانه‌ها

در این مقاله خصوصیات سه نوع سبکدانه طبیعی پومیس، اسکریا، پرلیت و سبکدانه مصنوعی لیکا مورد بررسی قرار می‌گیرد. در ادامه مشخصات و ساختار کلی سبکدانه‌های فوق توضیح داده می‌شود. منطقه آذربایجان شرقی از لحاظ معادن سبکدانه‌های طبیعی بسیار غنی می‌باشد. مطابق لیستی که از سازمان معادن تبریز اخذ شد معادن پرلیت و پوکه معدنی (پومیس) در مناطق زیر پراکنده شده است:

۹ معدن پرلیت

۷ معدن در میانه

۲ معدن در بستان آباد

۱۸ معدن پوکه معدنی (پومیس)

۱ معدن در اسکو

۱۲ معدن در بستان آباد

۴ معدن در تبریز

۱ معدن در مراغه

پوکه معدنی در معادن فوق از جنس اسکوریا یا پومیس می‌باشند. پومیس مورد تحقیق در این مقاله پومیس منطقه بستان آباد تبریز (معدن بنه‌که‌ل) و پومیس منطقه اسکو (معدن اسکندان) می‌باشد. در ناحیه کردستان نیز معادن اسکوریا به وفور یافت می‌شود که در این تحقیق از معدن قروه سندج استفاده شده است.

شکل (۱) انواع سبکدانه‌های طبیعی و مصنوعی مورد استفاده در این مقاله و مقایسه ظاهری آنها با سنگدانه معمولی را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود سطح سبکدانه‌های اسکریا نسبت به دیگر سبکدانه‌ها متخلخل تر و زبرتر است.

1.Pumice

2.Scoria



شکل ۱- ساختار ظاهری سبکدانه های طبیعی و مصنوعی و مقایسه آن با سنگدانه معمولی

با توجه به شکل (۱) و همان طور که نتایج نشان خواهد داد، ساختار سلولی و سطح نامنظم دانه‌های پومیس‌های اسکندران و بستان آباد موجب بهبود چسبندگی بین خمیر سیمان و دانه‌های سبک می‌شود که باعث تشکیل باندهای بهتر و افزایش قفل و بست مکانیکی می‌شود.

جدول (۱) وزن مخصوص و درصد جذب آب سبکدانه های مورد استفاده را نشان می‌دهد.

جدول ۱- خصوصیات انواع سبکدانه ها

نوع مصالح	میانگین وزن مخصوص ظاهری (kg/m^3)	جذب آب %
پومیس بنه کهل	۴۵۷	۳۷
پومیس اسکندران	۷۳۰	۲۰
اسکریا	۸۵۰	۱۶
لیکا	۳۶۷	۱۵

۳- آزمایش تعیین ارزش ده درصد ریزدانه

در قسمت سوم آیین‌نامه BS 812:1975 [۲] آزمایشی جهت تعیین خواص خرد شدن انبوه سنگدانه‌ها، به نام آزمایش ارزش خرد شدگی^۱ آمده است. وقتیکه سنگدانه‌های با عملکرد شناخته نشده مد نظر باشند (بخصوص در مواردیکه سنگدانه‌ها مشکوک به داشتن مقاومت کمتر می‌باشند) برای مثال در مورد سنگ آهک و بعضی از گرانیت‌ها و بازالت‌ها، ارزش خرد شدگی می‌تواند راهنمای مفیدی باشد. در این آزمایش بار KN 400 تدریجاً و در طول زمان ۱۰ دقیقه بر روی کل سطح پیستون وارد می‌آید.

آزمایش ارزش خرد شدگی نسبت به تغییرات در مقاومت مصالح کم قدرت (یعنی ارزش خرد شدن بیش از ۲۵ تا ۳۰) از حساسیت کافی برخوردار نیست زیرا قبل از اینکه تمام بار KN 400 به نمونه وارد آید مواد ضعیف‌تر خرد و متراکم می‌شوند و لذا از خرد شدن بقیه مواد در جریان مراحل آخر آزمایش می‌کاهد. بدین دلیل آزمایش ارزش ده درصد ریزدانه^۲ ابداع شده و در قسمت سوم آیین‌نامه BS 812:1975 [3] آمده است. لازم به ذکر است که در این آزمایش بر خلاف آزمایش استاندارد شده ارزش خرد شدن، نتیجه عددی آن معرف مقاومت انواع سنگدانه‌ها می‌باشد. برای سنگدانه‌های پر قدرت، آزمایش ارزش ده درصد ریزدانه رابطه نسبتاً خوبی با آزمایش استاندارد شده ارزش خرد شدن نشان می‌دهد، در حالیکه برای سنگدانه‌های ضعیف‌تر آزمایش ده درصد ریزدانه حساس‌تر بوده و تصویر حقیقی‌تری از اختلافات بین نمونه‌های کم و بیش ضعیف بدست می‌دهد. لذا این آزمایش جهت ارزیابی مصالح سبک وزن با ارزش است اما هیچگونه رابطه ساده‌ای بین نتیجه این آزمایش و حد فوقانی مقاومت بتن ساخته شده با سنگدانه‌های مورد آزمایش وجود ندارد [۴].

وسایل مورد نیاز برای آزمایش در شکل (۲) نشان داده شده است.

¹.Aggregate Crushing Value

².10 Percent Fine Value



شکل ۲- دستگاه آزمایش ارزش خردشدگی و ده درصد ریزدانه

۳-۱- روش انجام آزمایش

در این آزمایش دستگاه استاندارد شده آزمایش خرد شدن بکار گرفته می‌شود تا بار لازم جهت ایجاد ده درصد ریزدانه از ذراتیکه اندازه آنها بین ۱۴ تا ۱۰ میلیمتر ($1/2$ تا $3/8$ اینچ) تعیین گردد. در این تحقیق از دستگاه UTM برای اعمال بار استفاده (شکل ۱- ۲۵). این کمیت را با افزودن تدریجی بار روی پیستون تا اینکه در طی ۱۰ دقیقه پیستون به حدود مقادیر زیر در استوانه فرو رود بدست می‌آورند.

۱۵ میلیمتر برای مصالح گردگوشه

۲۰ میلیمتر برای مصالح خرد شده

۲۴ میلیمتر برای مصالح پوک (مانند سنگ رسی منبسط شده و یا روباره کوره پف کرده)

شکل (۳) نحوه انجام آزمایش در این مقاله را با دستگاه UTM دانشگاه صنعتی سهند نشان میدهد.



شکل ۳- سیکدانه داخل سیلندر تحت آزمایش ارزش ده درصد ریزدانه با دستگاه UTM

مقادیر فرو رفتن در قالب مذکور باید منجر به $7/5$ تا $12/5$ درصد مواد ریزدانه که از الک $2/36$ میلیمتر (نمره ۸ ASTM) می‌گذرد گردد. اگر چنانچه y برابر درصد واقعی مواد ریزدانه در اثر حداکثر بار x تن باشد در اینصورت بار لازم برای ایجاد ده درصد ریزدانه

مطابق با معادله ۱-۲ خواهد بود:

$$\frac{14x}{(y+4)} = \text{بار لازم برای ایجاد ده درصد ریزدانه} \quad (۱)$$

البته مقادیر فرو رفتن پیستون پیشنهادی کلی است و برای انواع سنگدانه‌های سبک این مقادیر تغییر می‌کند و بایستی با سعی و خطا مقدار حقیقی را بدست آورد.

۴- نتایج آزمایش ارزش ده درصد ریزدانه برای مصالح معمولی و انواع سبکدانه‌های مختلف

در این تحقیق برای شناخت خصوصیات مکانیکی انواع سنگدانه‌های سبک و طبیعی، آزمایش ده درصد ریزدانه بر ۵ نوع مصالح زیر صورت گرفت:

سبکدانه پومیس معدن بنه کهل بستان آباد (تبریز)

سبکدانه پومیس معدن اسکندان (تبریز)

سبکدانه قروه سنندج

سبکدانه لیکا

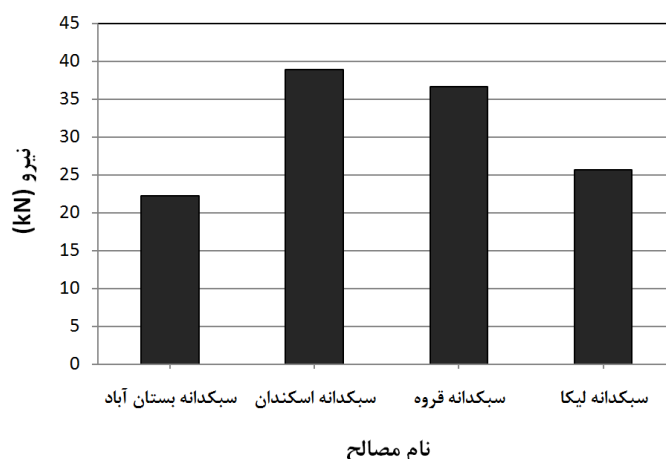
شن طبیعی معدن پیام مرند تبریز

نتایج آزمایش فوق برای مصالح مختلف ذکر شده در جدول (۲) آورده شده است.

جهت مقایسه ارزش ده درصد ریزدانه سبکدانه‌های مختلف، نتایج آزمایش مذکور بصورت نمودار میله‌ای در شکل (۴) نشان داده شده است.

جدول ۲- نتایج آزمایش ده درصد ریزدانه

نتایج آزمایشات			
نوع مصالح	نام مصالح	وزن مخصوص (سنگدانه‌های بین ال‌ک ۱/۲ و ۳/۸ اینچ)	نیرو (جهت ایجاد ده درصد ریزدانه) KN
سبک	پومیس بستان آباد	453	22
	پومیس اسکندان	728	39
	اسکریا قروه سنندج	826	37
	لیکا	356	26
معمولی	سنگدانه پیام مرند	1603	221



شکل ۴- نیروی لازم جهت ایجاد ده درصد ریزدانه برای سبکدانه‌های مختلف

از شکل (۴) پیداست که سبکدانه بنه کهل بستان آباد نسبت به دیگر سبکدانه‌ها مقاومت کمتری دارد و موجب می‌شود درصد خردایش در طی زمان اختلاط افزایش یابد ولی همان‌طور که در بخش بعدی نتایج ساخت بتن سبک با این سبکدانه نشان داده خواهد شد، می‌توان با استفاده از راهکارهایی از قبیل کاهش V_g/V_a (حجم درشت دانه‌ها به کل سنگدانه‌ها)، اشباع کردن سبکدانه‌ها قبل از ریختن طرح، استفاده از مخلوط‌کن‌های مناسب، استفاده از ماسه معمولی، مشکلاتی نظیر افزایش خردایش در طی زمان اختلاط و جذب آب اختلاط را کاهش داد و بتنی سازه‌ای و به صرفه از لحاظ اقتصادی تولید کرد.

در مورد استفاده از این نوع سنگدانه‌ها برای ساخت بتن سبک سازه‌ای می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: تشخیص حالت SSD در سبکدانه‌ها بخصوص سبکدانه‌های طبیعی بسیار مشکل می‌باشد و نیاز به تجربه و دقت زیاد دارد. به علت جذب آب بالا بخصوص در پومیس‌ها، چنانچه هنگام اختلاط بتن از مصالح سبک بصورت خشک استفاده شود، مصالح بلافاصله آب اختلاط بتن را جذب و با یک بتن با اسلامپ متغیر مواجه خواهیم شد. لذا بهتر است مصالح، حدود ۱۸۰ دقیقه قبل از آزمایش و تهیه مخلوط بتن بصورت فوق اشباع نگهداری شود. برای سبکدانه اسکریا و لیکا زمان کمتری جهت اشباع شدن مورد نیاز است.

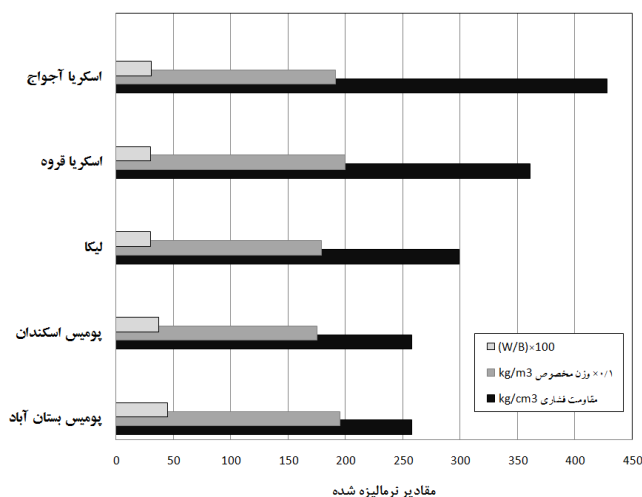
درصد خردشدگی این سبکدانه‌ها بخصوص پومیس و لیکا در حین اختلاط نسبت به سنگدانه معمولی و اسکریا زیاد می‌باشد. لذا بایستی در انتخاب نوع مخلوط کن و تنظیم فاصله بازوهای مخلوط کن و سطح درام یا بدنه دقت زیادی شود. به این صورت که بایستی بازوها کاملاً مماس با بدنه دوران کنند و از چسبیدن مصالح به بدنه درام جلوگیری کنند و یا فاصله مابین بازوها و درام از ۱/۵ برابر ماکزیمم اندازه درشت‌دانه‌ها بیشتر باشد تا از گیر کردن سنگدانه‌های درشت در بین بازو و درام و خردشدگی آنها اجتناب شود.

۴-۱- نتایج مقاومت فشاری ۲۸ روزه

طرح اختلاط و نتایج حاصل از مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن‌های سبک ساخته شده با پومیس بستان آباد و اسکندران که در آزمایشگاه دانشگاه صنعتی سهند در دمای ۲۰ الی ۳۰ درجه در داخل حوضچه‌های آب عمل آوری شده‌اند به همراه طرح اختلاط و نتایج مقاومت فشاری بتن سبک ساخته شده توسط دیگر محققین [۷و۵،۶] با اسکریای قروه سندنجان، اسکریای آجواج و لیکا در جدول (۳) نشان داده شده است.

جدول ۳- طرح اختلاط و نتایج مقاومت فشاری بتن‌های سبک

مصلح سبک	طرح اختلاط	سبکدانه (kg)		ریزدانه معمولی (kg)	سیمان (kg)	SP/C	W/Binder	SF/C	مقاومت فشاری وزن مخصوص	
		ریز دانه	درشت دانه						(kg/m ³)	(kg/cm ²)
پومیس بستان آباد	P01	0	286	958	420	0.020	0.45	0.16	1956	258
پومیس اسکندران	P02	513	467	0	400	0.006	0.37	0.10	1753	258
لیکا	L01	0	260	860	450	0.011	0.30	0.11	1790	299
اسکریا قروه	S01	0	595	728	450	0.011	0.30	0.11	1998	361
اسکریا آجواج	S02	0	685	700	432	0.016	0.31	0.11	1915	428



شکل ۵- مقایسه مقاومت فشاری، وزن مخصوص و نسبت آب به خمیر سیمان بتن های سبک

نتایج مقاومت فشاری و نسبت های آب به خمیر سیمان شکل (۵) نشان میدهد که سبکدانه اسکرپا با توجه به بافت سخت و مقاومت مکانیکی بالای خود نتایج بهتری نسبت به دیگر سبکدانه ها می دهد. برای سبکدانه پومیس بستان آباد به دلیل مقاومت پایینی مکانیکی آن (نیرو ایجاد ده درصد ریزدانه = KN23/22) جهت رسیدن به مقاومت فشاری سازه ای نیاز به استفاده از سنگدانه های معمولی (ماسه) و حجم بالای خمیر می باشد ($SF/C = 0.16$). علیرغم نزدیکی مقاومت مکانیکی پومیس اسکندران و اسکرپا با توجه به درصد بالای جذب آب و استفاده ریزدانه سبک در طرح پومیس اسکندران مقاومت فشاری پایینتری نسبت به اسکرپا حاصل میشود.

۵- نتیجه

نتایج حاصل از بررسی و مقایسه خصوصیات مکانیکی انواع سبکدانه ها به شرح زیر خلاصه می شوند: با توجه به اینکه مقاومت بتن سبک تابعی از هر دو عامل سبکدانه و ملات در برگیرنده آن است، اگر مقاومت مکانیکی سبکدانه پایین باشد می توان با کاهش Vg/Va (حجم درشت دانه ها به کل سنگدانه ها)، اشباع کردن سبکدانه ها قبل از ریختن طرح، استفاده از مخلوط کن های مناسب، استفاده از ماسه معمولی، مشکلاتی نظیر افزایش خردایش در طی زمان اختلاط و جذب آب اختلاط را کاهش داد و بتنی سازه ای مناسب تولید کرد. با توجه به آزمایش ده درصد ریزدانه مشخص شد مقاومت مکانیکی سبکدانه اسکرپا و پومیس اسکندران نسبت به دیگر سبکدانه ها بیشتر است که تاثیر آن به وضوح در نتایج مقاومت فشاری قابل مشاهده هست. درصد خردشدگی سبکدانه های پومیس و لیکا در حین اختلاط نسبت به سنگدانه معمولی و اسکرپا زیاد می باشد. لذا اگر زمان اختلاط با توجه به نوع سبکدانه تنظیم نشده باشد و یا فاصله بازوهای مخلوط کن و سطح درام مناسب نباشد، با خرد شدن سبکدانه حین اختلاط، سطح مخصوص سنگدانه بالا رفته و آب طرح اختلاط جذب سنگدانه شده و مقاومت بتن کاهش می یابد. بر مبنای نتایج آزمایشات انجام شده، اسکرپا سبکدانه ای طبیعی مناسبی می باشد که میتواند برای ساخت بتن سبک سازه ای کاربرد وسیعی داشته باشد.

۶- مراجع

1. ASTM 330-05, (Reapproved in 2003), "Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete", ASTM International, West Conshohocken, Pa., 1997
2. BS 812:110, "Testing aggregates, Methods for determination of aggregate crushing value (ACV)", 1975.
3. BS 812:111, "Testing aggregates, Methods for determination of ten per cent fines value (TFV)", 1975.

۴. فامیلی هرمز، بتن شناسی (خواص بتن)، انتشارات دانشگاه علم و صنعت، ۱۳۷۹.
۵. آق باشلو تورج، "تخمین خواص اساسی بتن های سبکدانه سازه ای ساخته شده از پومیس معدن اسکندران با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و روش های آماری و مقایسه نتایج دو روش"، پایان نامه کارشناسی ارشد سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی سهند، ۱۳۸۵.
۶. جمشید اسماعیلی، علی رضا انتظاری، " بررسی اثر سنگدانه های سبک روی خصوصیات مکانیکی بتن سبک سازه ای تهیه شده با اسکوریا و پومیس"، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد.
۷. علی رضا چاله کایی، مصطفی خانزادی، "بهبود مشخصات بتن های سبکدانه موجود در ایران"، کنفرانس مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد