

مقایسه تاثیر استفاده از سبکدانه های طبیعی و مصنوعی رایج در ایران در خواص بتن های سبک و نیمه سبک

مجتبی رضایی دوگانه¹، ملک محمد رنجبر تکلیمی²

1دانشجوی کارشناسی ارشد عمران، گرایش سازه، پردیس بین الملل دانشگاه گیلان

2 استادیار گروه عمران دانشکده فنی مهندسی دانشگاه گیلان

Mojtaba.Rezaee@yahoo.com

Ranjbar86@yahoo.com

چکیده :

نیاز گسترده و روز افزون جامعه به ساختمان و مسکن ضرورت استفاده از روش ها و مصالح جدید به منظور افزایش سرعت ساخت، سبک سازی و نیز مقاوم نمودن ساختمان ها در برابر زلزله را بیش از پیش مطرح کرده و استفاده از مصالح قدیمی و روش های سنتی ساخت، دیگر جوابگوی سرعت مورد نظر و نیاز های طراحی نمی باشد. کاهش وزن در کنار حفظ مقاومت بتن منجر به ساخت بتن های سبک و نیمه سبک سازه ای و غیر سازه ای می شود. که نتایج آن کاهش وزن سازه ها در اثر کاهش بار مرده و نیروی زلزله و تبعات جانی و مالی آن می باشد. این فواید باعث شده تا از دهه های گذشته اکثر کشورها به ساخت و ساز با استفاده از بتن های سبک و نیمه سبک بپردازند. با وجود اینکه کشور ما دارای منابع مختلف و متعدد سبکدانه می باشد لیکن کاربرد عملی آن علیرغم مزایای فراوانش هنوز گسترش نیافته و در مرحله تحقیقاتی بوده و نیاز به فرهنگ سازی مناسب دارد.

در این تحقیق با توجه به اینکه در بتن، سنگدانه های تشکیل دهنده یکی از مهمترین عوامل تاثیرگذار بر خواص و جرم حجمی آن می باشد و کاهش جرم حجمی اکثرا کاهش مقاومت ها را به دنبال خواهد داشت، به بررسی خصوصیات مهندسی سبکدانه های رایج در کشور، شامل سبکدانه های طبیعی اسکریا و پومیس و سبکدانه های مصنوعی لیکا و پرلیت پرداخته شده است. آن چیز که به اهمیت این پژوهش می افزاید استفاده از چهار سبکدانه مختلف به منظور مقایسه با هم در بتن می باشد. برای نیل به این هدف، سبکدانه های مذکور با درصد های مختلف جایگزینی 65 و 80 درصد با درشت دانه (شن طبیعی) و همچنین به همراه بتن شاهد که فاقد سبکدانه می باشد، با ثابت نگه داشتن محدوده اسلامپ و نسبت آب به مصالح سیمانی 0/35 (عیار سیمان 400 کیلوگرم بر مترمکعب می باشد که 10 درصد آن با میکروسیلیس جایگزین شده است)، از حیث آزمایش های مقاومت فشاری در سنین 14، 28 و 42 روز، مقاومت کششی (شکافت) در سن 28 روز، مقاومت خمشی در سن 28 روز، جذب آب 24 ساعته در سن 28 روز و وزن بتن تازه و اسلامپ مورد بررسی و مقایسه قرار گرفتند. نتایج حاکی از آن است که به ترتیب نمونه های حاوی سبکدانه های اسکریا، پومیس، لیکا و پرلیت کمترین کاهش وزن را داشته اند ولی از نظر مقاومت فشاری، نتایج برای سبکدانه های اسکریا و لیکا تقریبا یکسان بوده است. در مورد سایر آزمایشات، نمونه های حاوی سبکدانه های لیکا و اسکریا توانستند نتایج بهتری را کسب کنند.

واژه های کلیدی : بتن سبک، خواص مهندسی، سبکدانه، اسکریا، پومیس، لیکا، پرلیت منبسط شده

1- مقدمه

سبک سازی یکی از مباحث نوین در علم ساختمان است که روز به روز در حال گسترش و پیشرفت می باشد. این فن آوری عبارتست از: کاهش وزن تمام شده ساختمان با استفاده از تکنیک های نوین ساخت و بهینه سازی روش های اجرا. ایران درحالی به روش های مدرن ساختمان سازی از جمله سبک سازی و کاربرد بتن سبک می نگرند که زمین لرزه های مخری را در 30 سال گذشته تجربه کرده است. یقیناً در صورت استفاده از این روش ها در آن زمان باعث کاهش شدید آمار کشته شدگان و صدمات جانی و مالی آن حوادث می شد. برای بکارگیری تکنیک های سبک سازی نخست باید به مسئله اول علل سنگین شدن وزن ساختمان توجه کافی شود.

هدف از این تحقیق بررسی خواص مکانیکی بتن سبکدانه با تغییر جنس سبکدانه (اسکریا، لیکا، پومیس و پرلیت) و جایگزینی درصد هایی از حجم شن با سبکدانه های مذکور در چگالی های مختلف و تاثیر این تغییرات در خصوصیات مکانیکی بتن سبک می باشد.

2- روش تحقیق

2-1- مصالح مورد استفاده

2-1-1- سیمان

سیمان مورد استفاده برای ساخت نمونه ها از نوع سیمان پرتلند تیپ II تولید کارخانه سیمان هگمتانه می باشد.

2-1-2 میکروسیلیکا

میکروسیلیکا مورد استفاده در این مطالعه با نام تجاری GAM 112 تولید کارخانه گامیران بوده است.

2-1-3 آب مصرفی

آب مصرفی در این تحقیق جهت ساخت و همچنین عمل آوری نمونه ها، از آب شرب شهر رشت می باشد که معیارهای توصیه شده توسط ASTM D1129 را رعایت می نماید.

2-1-4 فوق روان کننده

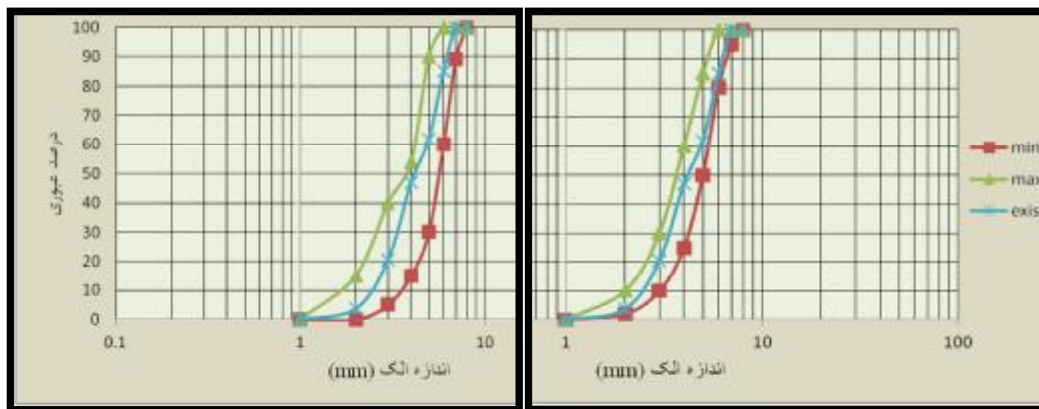
در این تحقیق از فوق روان کننده پلی کربکسیلات اتری با نام تجاری GLENIUM-51P استفاده شده است. که این محلول از نسل سوم فوق روان کننده ها و فاقد یون کلر می باشد.

2-1-5 سنگدانه

بر اساس تعریف ASTM-C125 سنگدانه ها نه تنها در مقاومت بتن بسیار مؤثرند، بلکه دوام و پایداری بتن نیز تا حد زیادی تحت تأثیر آن ها قرار می گیرد. در این مطالعه شن و ماسه توسط الک 120 الک شده تا خاک موجود در آن ها گرفته شود.

6-1-2 ماسه

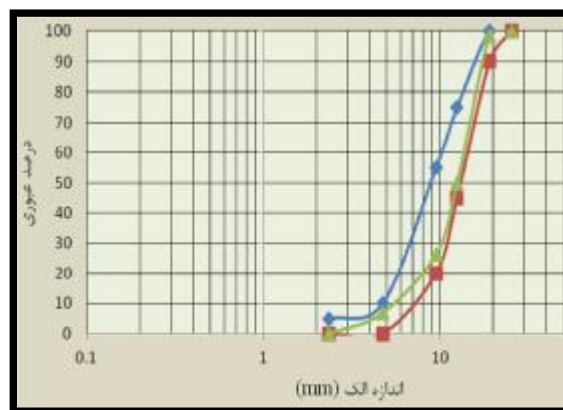
ماسه مصرفی از نوع رودخانه ای و با دو اندازه (0-3) و (0-6) میلیمتر تشکیل شده بود. درصد اختلاط برای ماسه 0 تا 6 میلیمتر، 50 درصد و برای ماسه 0 تا 3 میلیمتر، 50 درصد، مطلوبترین درصد اختلاط برای بدست آوردن دانه بندی استاندارد تعیین گردید. توده ویژه ماسه مخلوط 2/587، جذب آب آن 2/8 درصد، درصد رطوبت کارگاهی 0/4 درصد و مدول نرمی ماسه نیز 2/82 محاسبه گردیده است. منحنی دانه بندی در شکل های (1) و (2) آمده است.



شکل (1) منحنی دانه بندی ماسه (ASTM C33) شکل (2) منحنی دانه بندی ماسه (مبحث 9)

7-1-2 شن

شن مصرفی از معدن شهر کوچصفهان تهیه شده که از نوع مصالح شکسته می باشد. کیفیت آن از لحاظ وجود دانه های پولکی و همچنین درصد خاک موجود در آن توسط آزمایشات مربوطه مورد تایید قرار گرفته است. توده ویژه آن 2/604، میزان جذب آب آن 1/01 درصد، درصد رطوبت کارگاهی 0/15 درصد و در هنگام دانه بندی از درشتدانه هایی که از الک شماره 19 رد شده بودند برای ساخت نمونه ها استفاده شد. منحنی دانه بندی در شکل (3) موجود است.



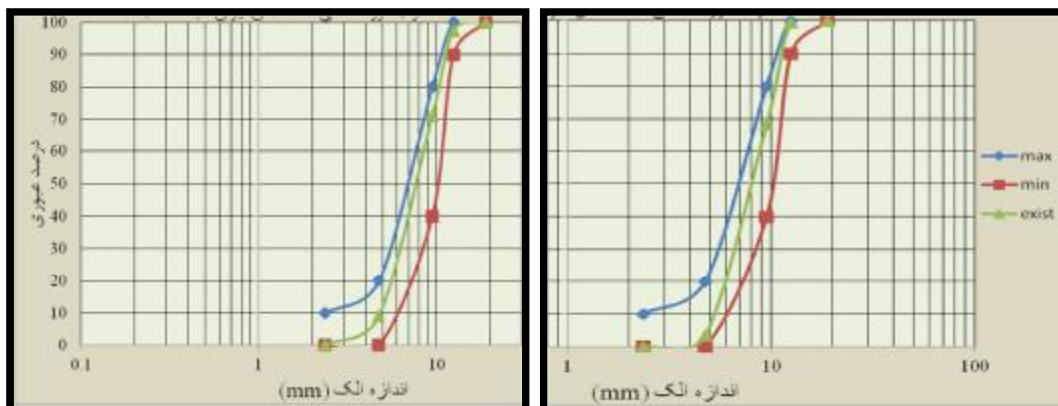
شکل (3) منحنی دانه بندی شن (ASTM C33) و (مبحث 9)

8-1-2 سبکدانه

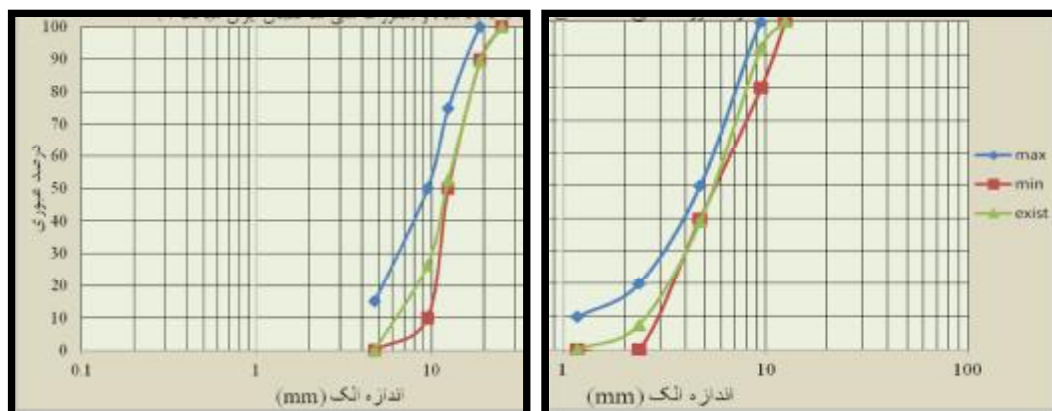
مشخصات سبکدانه های مصرفی در جدول (1) و منحنی دانه بندی در شکل های (4) تا (7) آمده است.

جدول (1): مشخصات سبکدانه های مصرفی

نام سبکدانه	رنگ	وزن مخصوص دانه ای (ظاهری) (kg/m^3)	وزن مخصوص توده ای (انبوهی) (kg/m^3)	دانه بندی معدن یا کارخانه (mm)	محدوده سایز مصرفی (mm)	نوع جایگزینی	محل معدن یا کارخانه تولیدی	جذب آب 30 دقیقه (%)
لیکا	قهوه ای	1054/5	565	0-25	4/75-12/5	جایگزینی با شن	شهر ساوه	4
پومیس	سفید، خاکستری، قهوه ای، زرد	1177	648	0-19	4/75-12/5	جایگزینی با شن	شهر بستان آباد	25
اسکریا	سیاه، خاکستری، قهوه ای	1471/5	885	4/75-25	4/75-19	جایگزینی با شن	شهر قروه	11
پرلیت	سفید	543	130,38	0-9/5	4/75-9/5	جایگزینی با شن	شهر تبریز	80



شکل (4 و 5) منحنی دانه بندی لیکا سمت راست و پومیس سمت چپ (ASTM C330-82a) و (مبحث 9)



شکل (6 و 7) منحنی دانه بندی پرلیت سمت راست و اسکریا سمت چپ (ASTM C330-82a) و (مبحث 9)

2-2 طرح اختلاط

نسبت های اختلاط اجزاء مطابق استاندارد ACI 211-1-91 تعیین گردید و برای تخمین سنگدانه های سبک از روش حجم مطلق استفاده شد. در این تحقیق عیار مواد سیمانی برای تمامی طرح های اختلاط ثابت و برابر 400 kg/m^3 در نظر گرفته شد. همچنین از پوزولان میکروسیلیس به عنوان جایگزین 10 درصد وزنی از سیمان مصرفی استفاده شده است. جهت ساخت بتن، مخلوطها با نسبت آب به سیمان 0/35 ساخته شدند. برای ثابت نگهداشتن اسلامپ در محدوده 25-40 میلیمتر از فوق روان کننده به میزان حد اکثر 1/2 درصد استفاده شد. یکی از ویژگی های بارز این تحقیق، استفاده از سبکدانه های مختلف و رایج در کشور در طرح های اختلاط می باشد. تعداد طرح های اختلاط برابر 9 عدد می باشد که جهت رسم نمودارها و جداول از علائم اختصاری جهت نام گذاری اختلاط ها استفاده شده است که توضیحات آن در جدول (2) و طرح های اختلاط در جدول (3) ارائه شده است.

جدول (2) علائم اختصاری خصوصیات مخلوط های بتن

مورد	بتن شاهد	اسکریا	لیکا	پومیس	پرلیت	جایگزینی 80 درصد جایگزینی 65 درصد جایگزینی 50 درصد
علامت	C	S	L	P	Per	80% 65% 50%
اختصاری	Control	Scoria	LECA	Pumice	Perlite	

جدول (3) طرح های اختلاط نمونه ها

ردیف	کد طرح ها	نسبت آب به مواد سیمانی	سیمان (kg/m^3)	میکرو سیلیس (kg/m^3)	جذب آب مصالح (%)	آب (kg/m^3)	اسکوریا (kg/m^3)	لیکا (kg/m^3)	پومیس (kg/m^3)	پرلیت (kg/m^3)	شن (kg/m^3)	ماسه (0-3) (kg/m^3)	ماسه (3-6) (kg/m^3)	فوق روان کننده (%)
1	C	0/35	360	40	5/1	140	0	0	0	0	894	466	466	1
2	S65	0/35	360	40	40/3	140	328	0	0	0	314	466	466	1/2
3	S80	0/35	360	40	48/5	140	404	0	0	0	179	466	466	1/2
4	L65	0/35	360	40	13/6	140	0	235	0	0	314	466	466	1
5	L80	0/35	360	40	15/6	140	0	289	0	0	179	466	466	1/1
6	P65	0/35	360	40	69/7	140	0	0	262	0	314	466	466	0/84
7	P80	0/35	360	40	84/8	140	0	0	323	0	179	466	466	0/79
8	Per65	0/35	360	40	101	140	0	0	0	121	314	466	466	0/86
9	Per80	0/35	360	40	123	140	0	0	0	149	179	466	466	0/92

3-2 نوع آزمایش و ابعاد نمونه های به کار رفته در این تحقیق

آزمایش های مورد بررسی و تعداد و ابعاد نمونه های ساخته شده و همچنین دستگاه های مورد استفاده در دانشگاه گیلان در جدول (4) و شکل (8) آمده است.

جدول (4) : نوع آزمایش و نوع نمونه ها

ردیف	نوع آزمایش	نوع نمونه	تعداد نمونه ها در هر سن	جمع کل
1	مقاومت فشاری	نمونه های مکعبی $10 \times 10 \times 10$ سانتیمتر	3	9
2	جذب آب	نمونه های مکعبی $10 \times 10 \times 10$ سانتیمتر	3	3
3	مقاومت خمشی (مدول گسیختگی)	نمونه های منشوری $10 \times 10 \times 30$ سانتی متر	3	3
4	مقاومت کششی (شکافت)	نمونه های استوانه ای 15×30 سانتی متر	3	3
5	چگالی بتن تازه	نمونه های استوانه ای 15×30 سانتی متر	1	1
6	اسلامپ	مخروط ناقص با ابعاد استاندارد	در دفعات مختلف تا رسیدن به نتیجه	



شکل (8) دستگاه های مورد استفاده در تحقیق

3- نتیجه گیری

3-1- نتایج آزمایشات بتن تازه

3-1-1- آزمایش اسلامپ

نتایج آزمایش اسلامپ، مقدار روان کننده و بیشینه دمای هوا در روز ساخت نمونه مطابق جدول (5) می باشد. آزمایش اسلامپ در بتن سبک به دلیل چگالی کمتر این نوع بتن و نیروی کمتر برای ایجاد تغییر شکل، کارپذیری بتن را مقدار کمتری بر آورد می کند. در صورتیکه اسلامپ بتن سبکدانه حدود دو سوم اسلامپ بتن معمولی باشد، معمولاً کارپذیری مشابه ای خواهد داشت. به عنوان مثال کار پذیری بتن سبکدانه ای که اسلامپ آن حدود 4 سانتی متر باشد، تقریباً معادل کارپذیری بتن معمولی است که اسلامپ آن 6 سانتی متر می باشد. در کلیه نتایج جدول (5)، در طی انجام آزمایش، کلیه طرح های اختلاط مشمول

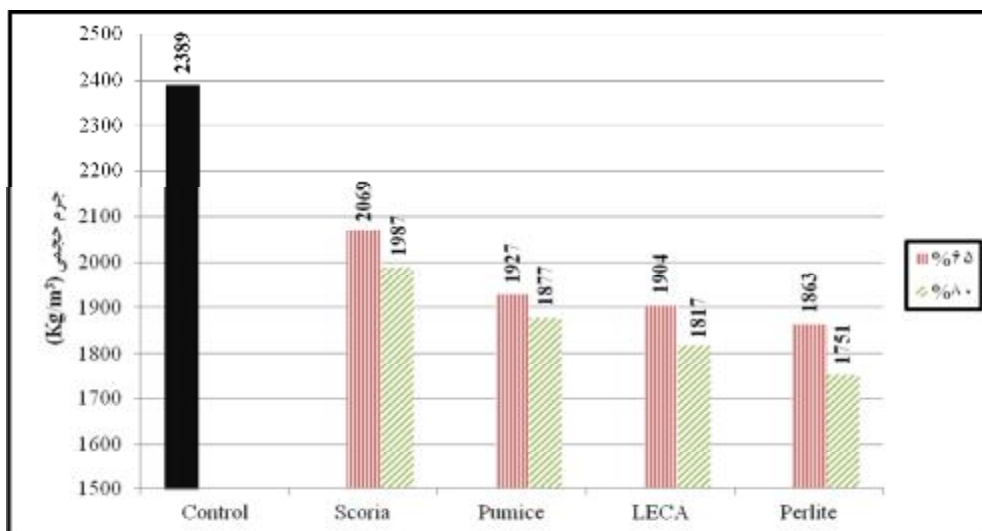
هیچکدام از حالات رد نتایج آزمایش اسلامپ نشده اند و تنها تفاوت در مقدار اسلامپ بوده است. برای ثابت نگهداشتن اسلامپ در محدوده 25-40 میلیمتر با تغییر در مقدار فوق روان کننده (حد اکثر 1/2 درصد وزن مواد سیمانی) استفاده شده است.

جدول (5) نتایج آزمایش اسلامپ

طرح	C	S65	S80	L65	L80	P65	P80	Per65	Per80	
دمای هوا C°	26 °	28 °	25 °	28 °	28 °	29 °	23 °	26 °	26 °	
فوق روان کننده (%)	1	1/2	1/2	1	1/1	0/84	0/79	0/86	0/92	
مقادیر اسلامپ در مراحل مختلف	بار اول	0	10	15	25	20	0	5	15	10
	بار دوم	10	25	20	-	40	5	10	35	40
	بار سوم	25	-	35	-	-	30	30	-	-
	اسلامپ نهایی mm±2	25	25	35	25	40	30	30	35	40

3-1-2- آزمایش جرم حجمی (چگالی) بتن تازه

جرم حجمی یک از مهمترین خصوصیات بتن می باشد که بر بسیاری از مشخصات فیزیکی تاثیرگذار است. با افزایش درصد جایگزینی، جرم حجمی بتن کاهش می یابد که علت آن هم وزن کمتر دانه های سبکدانه ها نسبت به سنگدانه های طبیعی می باشد. در شکل (9) جرم حجمی بتن در ترکیب های مختلف ارائه شده است. همانگونه که مشاهده می شود سیر صعودی کاهش جرم حجمی به ترتیب از اسکریا آغاز شده و سپس پومیس، لیکا و نهایتاً به پرلیت با بیشترین کاهش جرم حجمی ختم می شود که با افزایش در میزان جایگزینی در کلیه طرح ها این روند عیناً تکرار شده است.



شکل (9) جرم حجمی بتن در ترکیب های مختلف

در جدول (6) مقدار کاهش وزن بتن های ساخته شده در درصد های مختلف جایگزینی شن با سبکدانه های مختلف نسبت به بتن شاهد آورده شده است. همانگونه که ملاحظه می شود اسکریا به نسبت سایر سبکدانه ها کمترین کاهش جرم حجمی را در درصد های مختلف داشته است و در هر نسبت جایگزینی، پرلیت و لیکا و پومیس تفاوتی بین 1 تا 2 درصد نسبت به هم داشته اند در صورتیکه برای اسکریا این تفاوت در حدود 5 درصد با پومیس و حدود 10 درصد با پرلیت می باشد. همچنین در این مطالعه وزن مخصوص دانه ای (ظاهری) پرلیت مورد استفاده 543 کیلوگرم بر مترمکعب و وزن مخصوص دانه ای (ظاهری) لیکا مورد استفاده 1054/5 کیلوگرم بر مترمکعب بدست آمده بود، از اینرو انتظار می رفت که کاهش وزن نمونه های ساخته شده با پرلیت نسبت به لیکا بیشتر باشد ولی مشاهده می شود که کاهش وزن تنها با تفاوت 1 درصد در کلیه نسبت ها (حدود 50 کیلوگرم بر متر مکعب در حالت میانگین) می باشد، می توان کم بودن تفاوت مذکور را مربوط به جذب آب سبکدانه پرلیت برای رسیدن به حالت SSD دانست. با توجه به اینکه وزن بتن تازه، ملاک قرار گرفته است از این رو می توان جذب آب پرلیت را که 20 برابر بیشتر از لیکا می باشد عامل این موضوع دانست.

جدول (6) درصد کاهش وزن بتن های ساخته شده

مقدار کاهش وزن بتن های ساخته شده در درصد های مختلف جایگزینی نسبت به بتن شاهد (%)		
سبکدانه	درصد های جایگزینی سبکدانه ها با شن	
	80 %	65 %
پرلیت	26/71	22/02
لیکا	23/94	20/30
پومیس	21/43	19/34
اسکریا	16/83	13/39

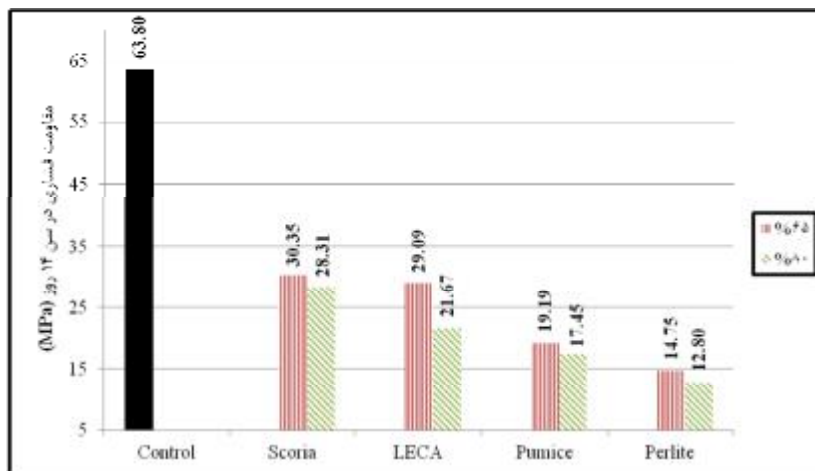
3-2- نتایج آزمایشات بتن سخت شده

3-2-1 - بررسی تغییرات مقاومت فشاری

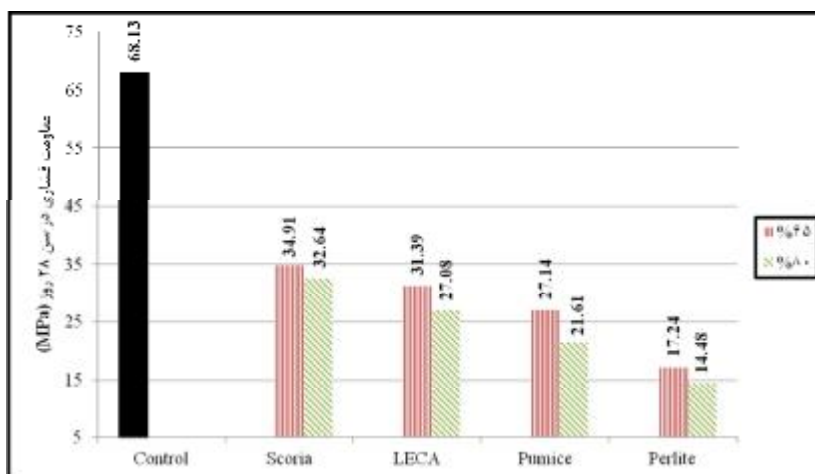
از آنجائیکه مقاومت فشاری به عنوان یکی از مهمترین ویژگی های بتن سخت شده برای طبقه بندی در آیین نامه ها محسوب می شود، بررسی آن به خصوص در مورد بتن سبک مورد توجه می باشد. در بتن سبک حاوی سبکدانه از مهمترین عوامل در مقاومت فشاری، نسبت آب به سیمان، میزان سبکدانه، مقدار مصالح چسباننده و مواد مضاف مصرفی می باشد. در مخلوط های این مطالعه نسبت آب به سیمان و مقدار مصالح چسباننده در تمامی مخلوط ها یکسان می باشد، لذا تاثیر این عوامل در تمام بتن ها یکسان بوده و عامل متغیر در این مطالعه جنس سبکدانه ها در بتن است.

در شکل های (10) تا (12) به ترتیب مقایسه مقاومت فشاری نمونه های ساخته شده با اسکریا، لیکا، پومیس و پرلیت در سنین 14، 28 و 42 روز قابل مشاهده است. کلیه نمونه ها بجز پرلیت با جایگزینی 80 درصد، به مقاومت بالای 17 مگاپاسکال در سن 28 روز رسیده اند. بیشترین مقاومت مربوط به اسکریا با 65 درصد جایگزینی می باشد که حدود نصف مقاومت بتن شاهد

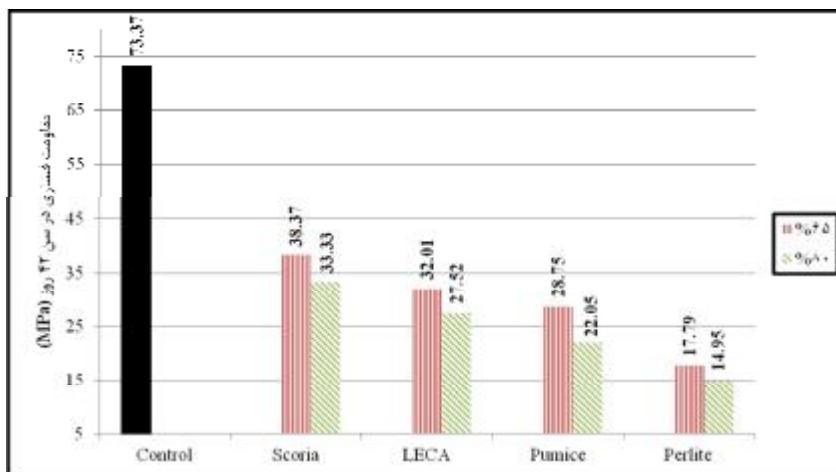
را در کلیه سن ها دارا می باشد که با همه این تفاسیر مقاومت مناسبی به مقدار نزدیک به 39 مگاپاسکال را کسب نموده است. این مقدار مقاومت فشاری برای لیکا 65 درصد نیز برابر 32 مگاپاسکال بدست آمده است.



شکل (10) تغییرات مقاومت فشاری در درصدهای متفاوت جایگزینی شن با سبکدانه های مختلف در سن 14 روز

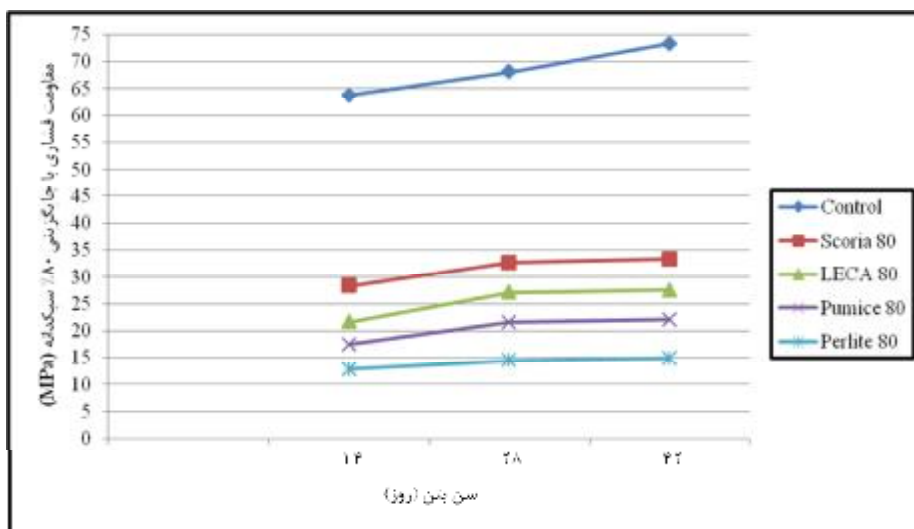


شکل (11) تغییرات مقاومت فشاری در درصدهای متفاوت جایگزینی شن با سبکدانه های مختلف در سن 28 روز

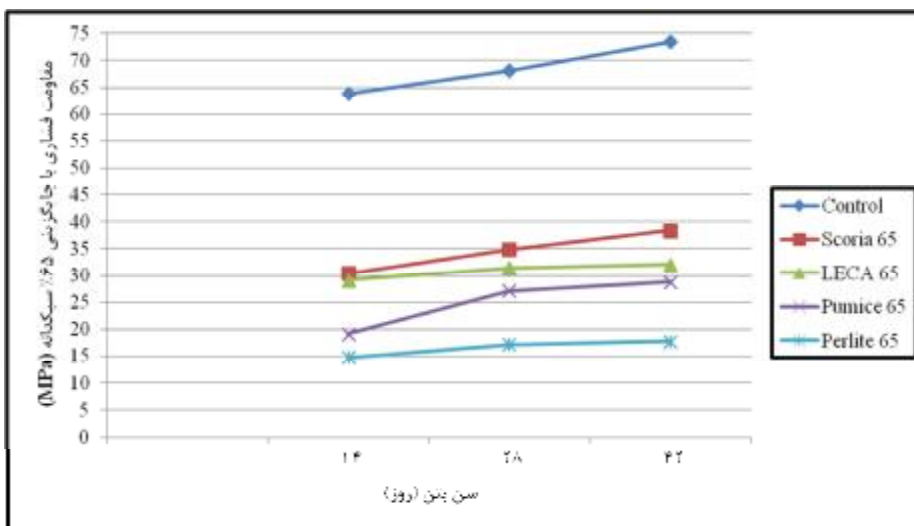


شکل (12) تغییرات مقاومت فشاری در درصدهای متفاوت جایگزینی شن با سبکدانه های مختلف در سن 42 روز

همچنین برای بررسی بیشتر مقاومت فشاری نمونه ها، سیر صعودی کسب مقاومت فشاری کلیه نمونه ها در هر درصد جایگزینی در سن های 14، 28 و 42 روز در شکل های (13) و (14) آورده شده است. همانگونه که در نمودارهای مذکور مشاهده می شود در جایگزینی 65 درصد، لیکا و پومیس از نقطه نظر مقاومت فشاری به هم نزدیک شده و در بازه 29 تا 32 مگاپاسکال قرار گرفته اند. همچنین به علت وجود میکروسیلیس رشد مقاومتی کلیه بتن ها در سنین اولیه سرعت بیشتری پیدا کرده است اما نکته حائز اهمیت این است که با کاهش سهم سبکدانه ها در نمونه ها، رشد یا جهش های مقاومت از سنین اولیه تا 42 روز، بزرگتر شده است. از طرفی جدا از بررسی رفتار سبکدانه ها با ملاحظه بتن شاهد مشاهده می شود که با استفاده از میکروسیلیس بصورت 10 درصد جایگزین سیمان و نسبت آب به سیمان 0/35 و مصالح مناسب و دانه بندی خوب به مقاومت بالای 70 مگاپاسکال دست یافت.



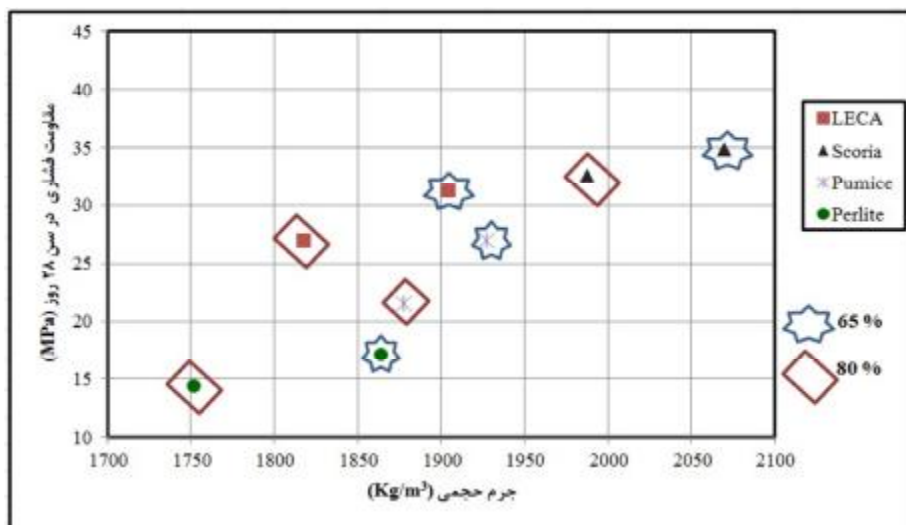
شکل (13) تغییرات مقاومت فشاری در سنین مختلف برای ترکیب های با 80 درصد جایگزینی



شکل (14) تغییرات مقاومت فشاری در سنین مختلف برای ترکیب های با 65 درصد جایگزینی

3-2-1-1- بررسی تغییرات مقاومت فشاری و جرم حجمی

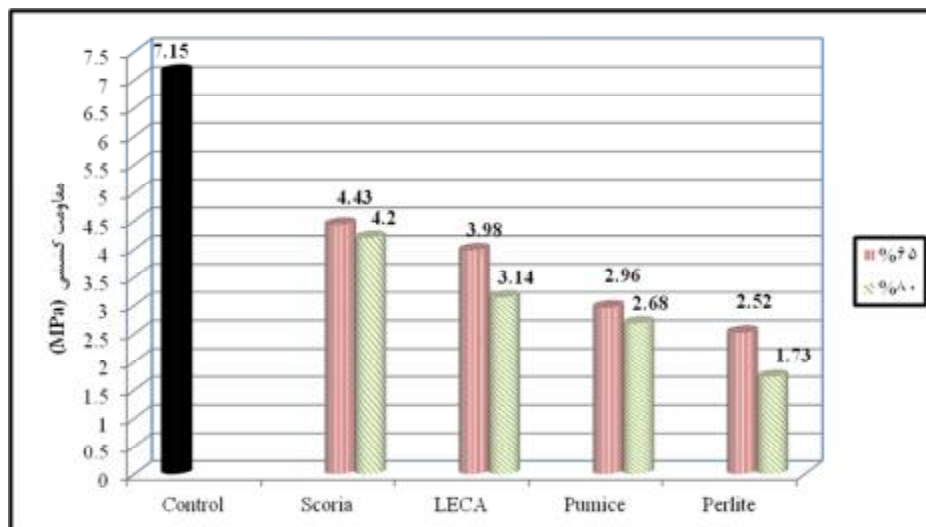
همانگونه که پیشتر گفته شد مقاومت فشاری به جرم حجمی بتن مرتبط است. بتن نرمال با بیشترین وزن بیشترین مقاومت فشاری را دارا می باشد، در ارتباط با سبکدانه ها در شکل (15) مشخص است که به ترتیب اسکریا، لیکا، پومیس و پرلیت هم از حیث جرم حجمی و هم از حیث مقاومت فشاری بعد از هم قرار دارند. اما موضوع حائز اهمیت اینست که مقاومت فشاری در سن 28 روزه، بتن ساخته شده با 65 درصد لیکا در حد 3/52 مگاپاسکال کمتر از اسکریا 65 درصد می باشد ولی از نظر جرم حجمی لیکا 65 درصد، حدود 165 کیلوگرم بر متر مکعب از اسکریا ی نظیر کمتر بوده که مزیتی برای استفاده از لیکا محسوب می شود.



شکل (15) تغییرات جرم حجمی بتن با مقاومت فشاری در سن 28 روز برای درصدهای متفاوت جایگزینی

3-2-2- بررسی تغییرات مقاومت کششی به روش دو نیم شدن

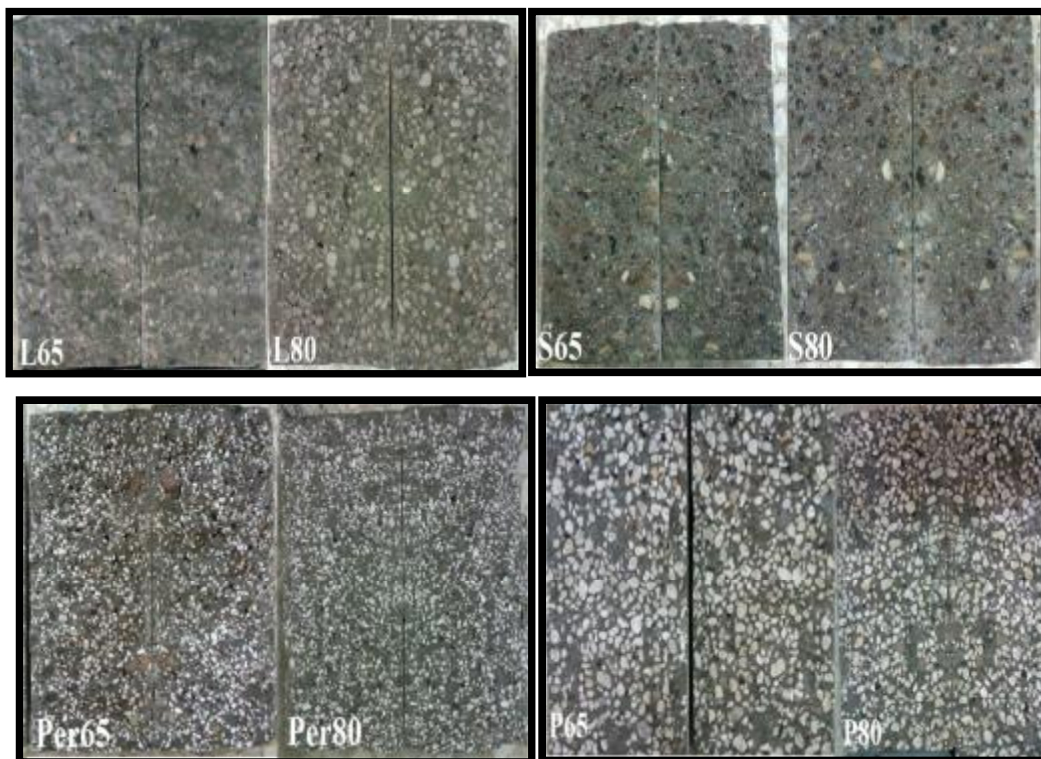
در شکل (16) تغییرات مقاومت کششی با درصدهای متفاوت جایگزینی لیکا، پومیس، پرلیت و اسکریا نشان داده شده است.



شکل (16) تغییرات مقاومت کششی در درصدهای متفاوت جایگزینی بتن با سبکدانه های مختلف در سن 28 روز

ملاحظه می گردد که با افزایش دانه های سبکدانه در ماتریس بتن، مقاومت کششی بتن کاهش می یابد. مطابق با آنچه در ارتباط با مقاومت فشاری نمونه ها مشاهده گردیده شد، همان روند از نظر کاهش مقاومت کششی بتن های حاوی سبکدانه ها به ترتیب اسکریا، لیکا، پومیس و پرلیت در درصد های جایگزینی یکسان، مشاهده شد. گروه اسکریا و لیکا (به جزه لیکا 80 درصد) دارای مقاومت کششی بالای 4 مگاپاسکال می باشند.

در بتن های معمولی، مسیر گسیختگی بتن در هنگام برخورد با سنگدانه ها به گونه ای است که از کنار آنها عبور می کند، زیرا سنگدانه ها دارای مقاومت کششی نسبتا مناسبی هستند. در حالیکه در بتن سبک این مسیر به دلیل کم بودن مقاومت سبکدانه ها، از داخل آنها عبور می کند. به این دلیل مقاومت کششی بتن سبکدانه کمتر از مقاومت کششی بتن معمولی است. توزیع سبکدانه ها و تصویر شکست آنها بعد از آزمایش شکافت نیز در کلیه بتن های ساخته شده در شکل (17) نمایش داده شده است.



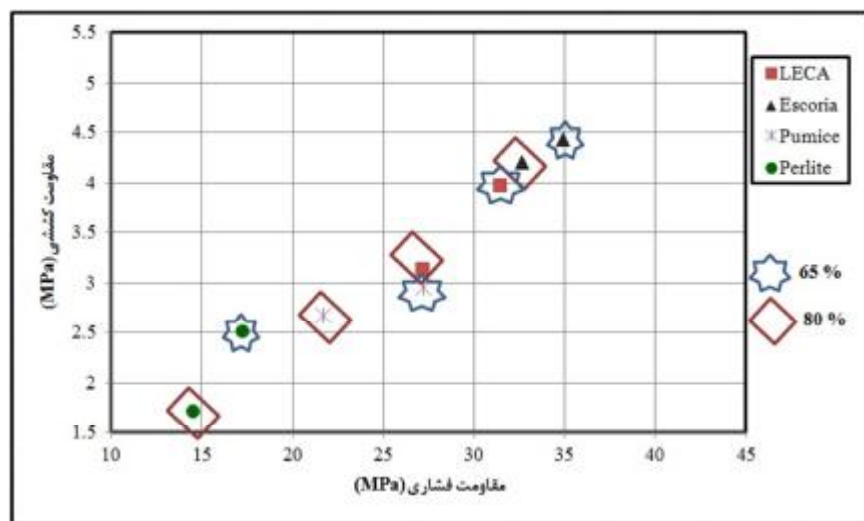
شکل (17) توزیع سبکدانه ها و تصویر شکست آنها بعد از آزمایش شکافت

در سبکدانه هایی مثل اسکریا به دلیل شکل ظاهری که نامنظم، خشن، سخت و شکسته می باشد و همچنین روزه های فراخ موجود در این سبکدانه که دوغاب یا شیرابه ملات بتن را در خود کشانده است، جملگی باعث شده تا سطح شکست، سطحی صاف و متقارن نبوده، بلکه سطحی مملو از تورفتگی و برجستگی باشد. در سبکدانه لیکا به علت گرد گوشه بودن و عدم دسترسی شیریه ملات به منافذ داخل سبکدانه به علت سطح ظاهری خاص آن، مشارکت در ممانعت از راحت شکسته شدن، کمتر مشاهده شده و

شکست متقارنتر و سطحی با ظاهر صافتر از اسکریا بعد از شکست مشاهده شده است. در سبکدانه پومیس منافذ روی سطح آن از لیکا بیشتر ولی مقاومت ذاتی آن حتی با وجود اینکه شکلی نامنظم و خشنتر از لیکا داشته ولی بازهم مقاومت کمتر آن، باعث خرد شدگی سطحی و راحتتر شکافته شدن مجموعه شده است. اما در مورد پرلیت سطح ها صافتر، خرد شدگی سطحی بیشتر و شکست از چند صفحه اکثرا همراه بوده، به گونه ای که دو یا سه صفحه با فاصله های 1 تا 5 سانتیمتر از صفحه مرکزی دو نیم شدن، شکسته می شد که ترد بودن این محصول از عوامل شایعتر این تاب نیاوردن ها می باشد.

3-2-2-1 - بررسی رابطه بین مقاومت فشاری و مقاومت کششی

از نتایج مقاومت فشاری و مقاومت کششی ملاحظه می گردد که این دو مقاومت به یکدیگر وابسته هستند و با افزایش مقاومت فشاری، مقاومت کششی نیز افزایش می یابد. بدین منظور تغییرات مقاومت کششی بدست آمده از آزمایش شکافت با مقاومت فشاری بتن های حاوی درصد های متفاوت سبکدانه در شکل (18) ارائه گردیده است. همانطور که در این شکل مشاهده می شود، مقاومت کششی نمونه ها با افزایش در مقدار مقاومت فشاری آنها، افزایش می یابد.

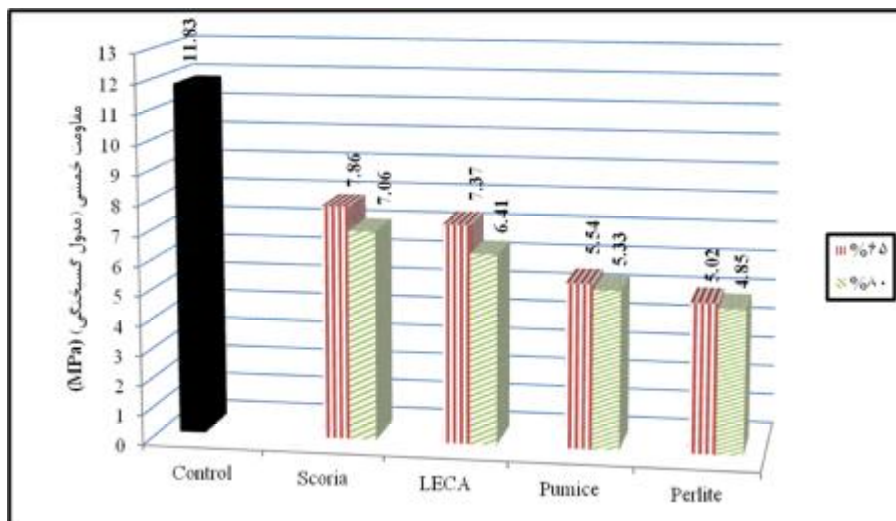


شکل (18) تغییرات مقاومت کششی در مقایسه با مقاومت فشاری در سن 28 روز

3-2-3 - بررسی تغییرات مقاومت خمشی

نتایج حاصل از انجام آزمایش مدول گسیختگی (مقاومت کششی ناشی از خمش) بر روی کلیه اختلاط ها در سن 28 روز در شکل (19) ارائه شده است.

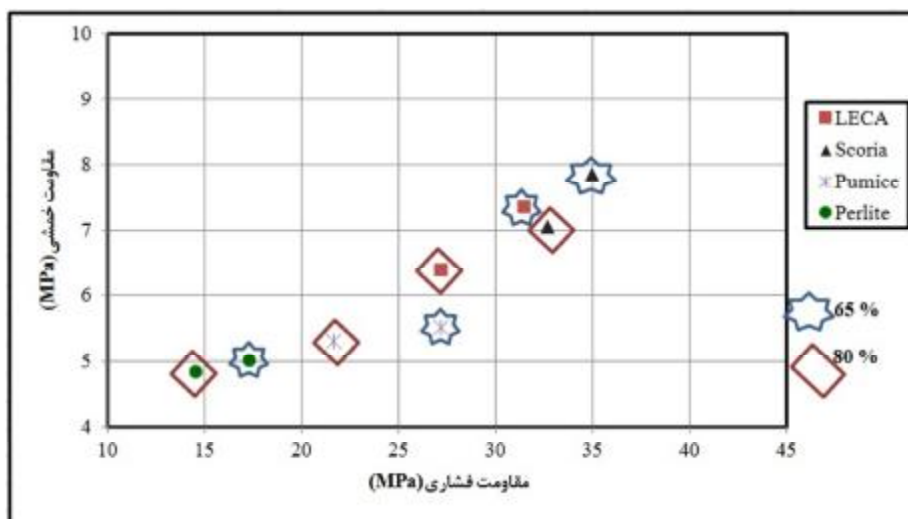
همانند کلیه آزمایشات مورد بحث، با افزایش درصد جایگزینی سبکدانه، شاهد کاهش مقاومت خمشی هستیم، اما روند کاهش در تغییر جنس سبکدانه از اسکریا به لیکا کمتر از 1 مگاپاسکال، از لیکا به پومیس کمتر از 1/5 مگاپاسکال و پومیس به پرلیت نیز کمتر از 0/5 مگاپاسکال می باشد.



شکل (19) نتایج مدول گسیختگی ترکیبات با درصد های متفاوت جایگزینی شن با سبکدانه های مختلف

3-2-3-1 - بررسی رابطه بین مقاومت فشاری و مقاومت خمشی

تغییرات مقاومت خمشی بر اساس مقاومت فشاری بدست آمده از مدول گسیختگی (مقاومت کششی ناشی از خمش) در شکل (20) ارائه گردیده است. همانطور که در شکل (20) مشاهده می شود، به طور کلی می توان اذعان داشت که مقاومت خمشی نمونه ها از یک خانواده سبکدانه با افزایش در مقدار مقاومت فشاری آنها، افزایش می یابد اما همانند مقاومت کششی در اینجا هم در بین گروه های مختلف سبکدانه چند استثنا وجود دارد که می توان به اسکریا 80 در مقایسه با لیکا 65 درصد اشاره کرد.

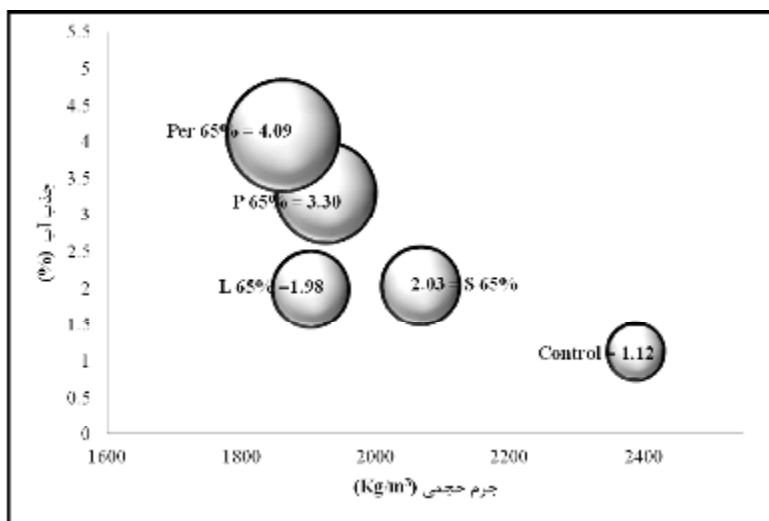


شکل (20) تغییرات مقاومت خمشی بر اساس مقاومت فشاری

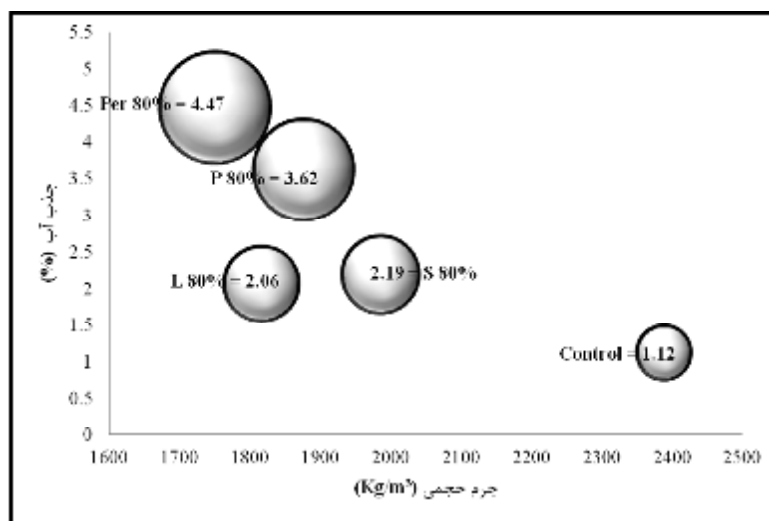
3-2-4 - بررسی تغییرات جذب آب

به منظور بررسی اثر عملکرد نفوذپذیری نمونه های ساخته شده که یکی از معیارهای دوام بتن به حساب می آید، آزمایش

جذب آب براساس دستورالعمل ASTM-C 642 در پایان سن 28 روز صورت پذیرفت. نتایج آزمایش ها به همراه جرم حجمی و درصد های مشابه از سبکدانه های مورد بررسی در شکل های (21) و (22) آمده است.



شکل (21) تغییرات جذب آب در سن 28 روز برای ترکیب های با 65 درصد جایگزینی شن با سبکدانه های مختلف



شکل (22) تغییرات جذب آب در سن 28 روز برای ترکیب های با 80 درصد جایگزینی شن با سبکدانه های مختلف

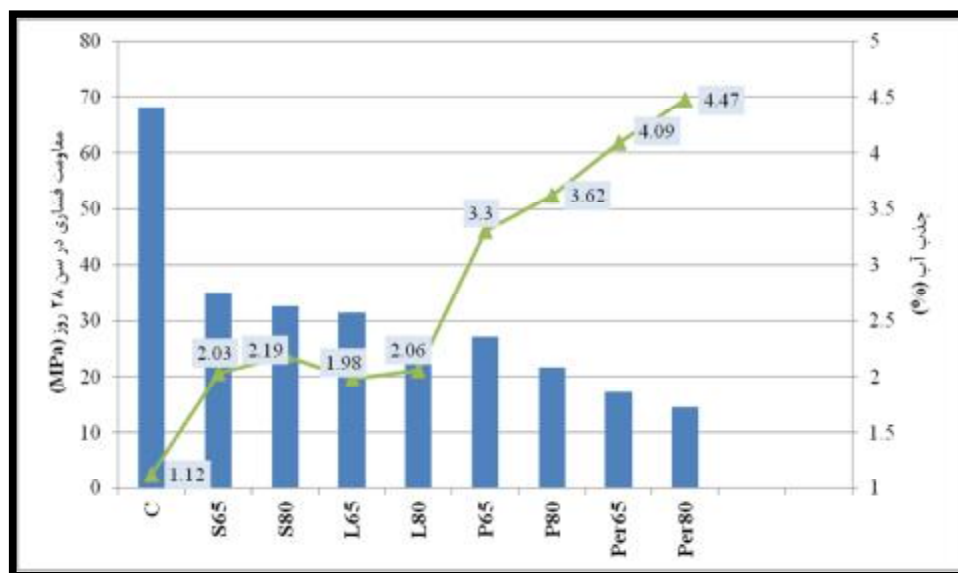
همان طور که مشاهده می شود نمونه هایی که با لیکا ساخته شده اند در کلیه نسبت های جایگزینی، کمترین جذب آب را نسبت به نمونه هایی که با اسکرپا، پومیس و پرلیت ساخته شده اند، دارند. اما نکته حائز اهمیت این است که نتیجه آزمایش جذب آب اسکرپا که با توجه به ذات سبکدانه اسکرپا که خلل و فرج سطح و درون آن نسبت به لیکا فراوانتر و فراختر و همچنین جذب آب نیم ساعته سبکدانه اسکرپا قبل از ساخت بتن، بالغ بر 3 برابر لیکا می باشد، بسیار نزدیک به جذب آب لیکا بدست آمده است. می توان اینگونه برداشت کرد که سطح و قسمتی از نواحی نزدیک به مرکز اسکرپا بوسیله دوغاب سیمان و میکروسیلیس و ماسه های ریز پر شده که همانند قشری که رویه لیکا را پر کرده عمل می کند و این عامل همراه با عوامل دیگر باعث رفتاری

مشابه لیکا بوجود آورد. جدا از وزن زیادتر اسکریا و عوامل ذکر شده در نتایج آزمایشات قبل، می توان عامل فوق الذکر را به عنوان یکی از دلایل وزن زیادتر و مقاومت بیشتر سبکدانه دانست. پرلیت به نسبت بتن شاهد، در درصدهای 65 و 80 درصد به ترتیب 3/65 و 4 برابر بیشتر از بتن فاقد سبکدانه آب جذب نموده است. پومیس نیز 2/94 و 3/23 برابر بتن عادی آب جذب نموده است. در جدول (7) مقادیر جذب آب نمونه ها بر حسب درصد را در سن 28 روز نشان می دهد. کیفیت بتن بر مبنای CEB، در جدول (7) مشاهده می شود، هیچکدام از نمونه ها در رده کیفیتی ضعیف قرار نگرفته اند. پرلیت 80 درصد در بالاترین حد جذب آب در رده متوسط قرار دارد. سبکدانه های اسکریا و لیکا با قرار گرفتن در رده خوب با کاهش میزان جذب آب و نفوذپذیری و به تبع آن عملکرد بهتر و مطلوبتر بتن در مقابل هجوم عوامل مخرب بیرونی را فراهم می آورند.

جدول (7) جذب آب و کیفیت نمونه ها

کیفیت بتن توسط CEB	طرح های اختلاط									
	C	S65	S80	L65	L80	P65	P80	Per65	Per80	
مقادیر جذب	1/12	2/03	2/19	1/98	2/06	3/30	3/62	4/09	4/47	
ضعیف	$5 \leq$									
متوسط	$3 \leq < 5$					*	*	*	*	
خوب	< 3	*	*	*	*	*				

همچنین با مشاهده شکل (16) پی خواهیم برد که میزان جذب آب نمونه ها به طور غیرمستقیم به مقاومت فشاری آن ها بستگی دارد. به طوری که در هر گروه از نمونه ها، افزایش مقاومت فشاری با کاهش جذب آب آن ها همراه بوده و بالعکس.



شکل (22) جذب آب و مقاومت فشاری نمونه ها

4- نتیجه گیری

- 1- هنگامی که بتن ها درون قالب ریخته می شوند به ترتیب اسکریا، پومیس، لیکا و پرلیت بهترین عملکرد را از لحاظ روزدگی نشان دادند، که در این بین نسبت آب به سیمان 0/35 نیز بی تاثیر نبوده است، به هر حال توزیع غیر یکنواخت سبکدانه در هیچ حالت به وجود نیامد.
- 2- در بتن های سبک ساخته شده با سبکدانه های اسکریا، لیکا، پومیس و پرلیت، با افزایش در میزان هر یک از سبکدانه های مذکور، جرم حجمی بتن کاهش می یابد، که در بین درصد های مشابه از جایگزینی، سبکدانه های اسکریا، پومیس، لیکا و پرلیت به ترتیب کمترین تا بیشترین کاهش جرم حجمی را داشته اند.
- 3- چون مقاومت فشاری بتن به خصوصیات فیزیکی و مکانیکی مواد به کار رفته در ماتریس بتن بستگی دارد، لذا افزایش درصد جایگزینی ها باعث کاهش مقاومت فشاری نیز می شود که در درصد های مشابه جایگزینی، این کاهش ها به ترتیب برای سبکدانه های اسکریا، لیکا، پومیس و پرلیت از کمترین تا بیشترین مقدار در تغییر می باشد.
- 4- استفاده از سبکدانه های پرلیت و پومیس در بتن سبب تغییر در ماهیت شکست آن ها تحت بارگذاری فشاری می گردد. طی اعمال بار فشاری، بتن های حاوی پرلیت شکست تدریجی و نرم تری را نسبت به نمونه های مشابه حاوی پومیس به نمایش می گذارند. ماهیت شکست در بتن های حاوی سبکدانه های اسکریا و لیکا به ترتیب بیشترین شباهت را به نحوه شکست بتن شاهد دارد که با کاهش در جایگزینی این شباهت بیشتر شده است.
- 5- به طور کلی مقاومت خمشی از مقاومت کششی دو نیم شدن، بزرگتر می باشد.
- 6- بعد از کلیه آزمایشات که به شکست نمونه منجر می شود جداسدگی سبکدانه ها از سایر اجزاء نمونه به ترتیب کمترین جداسدگی به قرار اسکریا، لیکا، پومیس و پرلیت می باشد.
- 7- بر مبنای طبقه بندی CEB جهت بررسی کیفیت بتن بر مبنای جذب آب، بتن های ساخته شده از سبکدانه های اسکریا و لیکا در رده "خوب" قرار گرفته و بتن های ساخته شده از سبکدانه های پومیس و پرلیت تقریباً در رده "متوسط" قرار می گیرند.
- 8- میزان جذب آب نمونه ها تقریباً به طور غیرمستقیم به مقاومت فشاری آن ها بستگی دارد.

مراجع

- 1- J. L. Clarke, "Structural Lightweight Aggregate Concrete", Blackie Academic & Professional, An Imprint of Chapman & Hall, 2005.
- 2- I. Kogel, N. Trivedi, J. Barker and S. Krukowsk, "Industrial Minerals & Rocks: Commodities, Markets and Uses", Society for Mining Metallurgy, 2006.
- 3- "Lightweight Aggregates" Economic Design and Construction with Lightweight Aggregates Concrete, Document BE96-3942/R15, 2000.

4- United States Geological Survey (USGS) Minerals Resources Program, Mineral Yearbooks of 2003 - 2009.

5- پایگاه اینترنتی انجمن بتن ایران - www.ici.ir

6- محمد شکرچی زاده، نیکلاس علی لیبر، مارال جلیلی، کتاب "راهنمای کاربردی بتن سبکدانه سازه ای"، انتشارات علم و ادب، 1390

7- CEB-FIP-90. Model Code for Prediction of Elastic Modulus, 1990.