

## ارزیابی آزمایشگاهی استفاده از نخاله های ساختمانی و شیشه بازیافتی جهت تولید بتن سبک الیاف دار

1- سید احسان وکیلی، دانشجوی دکتری عمران سازه، دانشگاه خوارزمی

2- محمد دنلواز، استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی

3- پیمان همای، استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی

### چکیده

امروزه با گسترش روز افزون ساخت و سازها در صنعت ساختمان، شاهد تخریب ساختمان‌های موجود در کشور و برداشت بی رویه معادن خدادادی هستیم که این موضوع باعث تخریب ناخواسته محیط زیست خواهد شد. در حالی که الزامات توسعه پایدار در هر کشوری زمینه استفاده از نخاله‌های ساختمانی و سایر دور ریزهای آن مانند شیشه را در ساخت مصالح جدید مانند بتن ضروری می‌سازد. از طرفی قرارگیری کشور ایران در کمربند زلزله و بکارگیری سازه های مقاوم در برابر زلزله با وزن کم، شکل پذیری و مقاومت بالا همواره مورد توجه بوده است. در این تحقیق سعی شده است از بتن سبک الیاف دار که از دانه های سبکدانه لیکا، نخاله های ساختمانی و شیشه بازیافتی به عنوان فاز سنگدانه و از سیمان، مواد افزودنی و آب به همراه الیاف پلی پروپیلن که نوعی پلیمر مصنوعی هیدروکربنی است با درصدهای مختلف جهت حفظ انسجام و جلوگیری از گسیختگی ترد بتن، به عنوان فاز ملات استفاده شد. که این موضوع توسط محققان زیادی از جمله داو و هانات [4-5-6] به اثبات رسیده است در این زمینه طرح اختلاط‌های مختلفی بر اساس آیین نامه BS جهت تولید بتن سبک الیاف دار با مصالح تشکیل دهنده ارائه شده است. که در بهینه ترین شیشه (40 گرم)، سیمان (1285 گرم)، آب (471 گرم)، الیاف پلی پروپیلن تک رشته ای نازک (20 گرم)، میکروسیلیس (60 گرم)، روان ساز (از نوع HE200 فوق روان کننده زود سخت کننده) شرکت نامیکاران (30<sup>cc</sup>)، نتایج بدست آمده نشان داد، میانگین نمونه ها در سن 7 روز دارای وزن مخصوص  $\frac{gr}{cm^3}$  1770 و مقاومت فشاری 28/5 مگاپاسکال می باشد.

واژه کلیدی: طرح اختلاط، بتن سبک، الیاف پلی پروپیلن،

## مقدمه

افزایش روز افزون جمعیت در دنیا از یک طرف و نیاز شدید به تأمین احتیاجات اولیه انسان از جمله نیاز به مسکن از سوی دیگر موجب توسعه و افزایش فعالیت های عمرانی شده است حجم بالای نخاله های ساختمانی ناشی از این فعالیت های عمرانی باعث ایجاد مشکلات زیادی از جمله معضلات زیست محیطی و..... شده است.

محدودیت منابع طبیعی خدادادی و حفظ محیط زیست برای نسل آینده محققان را برآن داشته است تا نسبت به حفاظت از معادن تحقیقات ویژه انجام دهند که در این تحقیق سعی شده است از نخاله های ساختمانی به عنوان مصالح جایگزین در بتن استفاده شود.

همانطور که می دانیم وزن بالای بتن در سازه های بتنی و قرار گیری کشور عزیزمان در کمربند لرزه ای و نیاز مبرم به سبک سازی سازه ها به جهت کاهش اثر زلزله، طرح اختلاط بتن سبک که در آن مقاومت فشاری با بتن معمولی یکسان باشد مورد توجه قرار گرفته است نکته دیگر در بتن سبک حائز اهمیت است رفتار ترد و شکننده می باشد که موجب شکست ناگهانی و فرو ریختن سازه های بتنی در هنگام زلزله خواهد شد که یکی از راهکارهای مقابله با ترد شکنی استفاده از الیاف پلی پروپیلن در بتن می باشد.

در این تحقیق سعی شده است از بازیافت نخاله های ساختمانی و شیشه به همراه مصالح سبکدانه لیکا و الیاف پلی و پروپیلن طرح اختلاط بتنی ارائه داد که در آن حفاظت از محیط زیست به جهت کاهش برداشت از معادن در راستای توسعه پایدار و همچنین تولید بتن سبک الیافی مرغوب به جهت کاهش وزن بتن و ترد شکنی با مقاومت فشاری یکسان با بتن معمولی در راستای ارتقاء صنعت بتن گام موثری برداشت.

## مصالح مصرفی و مشخصات مربوط به آنها

در این تحقیق از شیشه که یک قلیایی غیرپایدار است به عنوان یک ماده بازیافتی استفاده شده است شیشه در محیط بتن می تواند باعث بوجود آمدن مشکلات ناشی از واکنش قلیایی-سیلیسی ASR شود این ویژگی به عنوان یک مزیت در خرد کردن شیشه و استفاده از آن به عنوان یک ماده پوزولانی در بتن می تواند مطرح شود البته رفتار دانه های بزرگ شیشه در واکنش قلیایی در آزمایشگاه را نمی توان با رفتار واقعی پودر شیشه در طبیعت برابر دانست. این واکنش می تواند برای پایداری بتن بسیار خطرناک باشد. به همین منظور باید پیشگیری مناسبی در جهت کمتر کردن اثر این واکنش شود [1] مناسب ترین پیشگیری می تواند با استفاده از یک ماده پوزولانی مناسب مانند خاکستر بادی، سربراره کوره آهن گدازی و یا میکروسیلیس با نسبت مناسب در مخلوط بتن انجام گیرد. حساسیت شیشه به مواد قلیایی این حدس را بوجود می آورد که شیشه درشت و فیبر شیشه می تواند اثر واکنش تفاله های کوره های بلند یا سیلیکات فوم SF را کم و یا محو کند هرچند استفاده از پودر شیشه GLP می تواند مانند یک ماده پوزولانی و در جهت کاهش اثر واکنش سنگدانه ها ASR عمل کند [3] در این تحقیق برای ساخت نمونه ها به میزان 3 درصد وزنی سیمان از پودر شیشه عبور کرده از الک نمره 100 و مانده روی الک نمره 200 و از سیمان تیپ 1-425 با چگالی دانه ای  $3,1 \frac{gf}{cm^3}$ ، میکروسیلیس با چگالی دانه ای  $2, \frac{gf}{cm^3}$ ، فوق روان کننده زود سخت کننده (HE200 شرکت نامیکاران)، الیاف پلی پروپیلن با چگالی  $0,91 \frac{gf}{cm^3}$  طبق جدول شماره 1، لیکا به عنوان مصالح سبکدانه با جذب آب نیم ساعته 9,5 درصد و جذب آب 24 ساعته 12,52 درصد و همچنین از بازیافت نخاله های ساختمانی (بتن، آجر، موزاییک، کاشی) به عنوان جایگزین مصالح سنگی در طرح اختلاط بکار برده شده است.

جدول 1) مشخصات فنی الیاف پلی پروپیلن

شکل ظاهری	پایه شیمیایی	وزن مخصوص	طول	قطر	مقاومت کششی	نقطه ذوب (درجه سانتیگراد)
الیاف سفید رنگ	پلیمر پلی پروپیلن	$900 \frac{kg}{m^3}$	6-18 mm	20 $\mu$	$3500 \frac{kg}{m^2}$	160 <sup>c</sup>

### روند انجام آزمایش

در آزمایشگاه دانشگاه اشراق 6 طرح اختلاط بتن سبک ارائه گردید و به این 6 مورد نخاله های ساختمانی بازیافت شده و پودر شیشه به میزان برابر به هریک از طرح ها اضافه گردید. در ادامه به منظور عمل آوری نمونه های بتن سبک الیافی ساخته شده از بازیافت نخاله های ساختمانی و پودر شیشه بعد از ساخت، به مدت زمان 24 ساعت در قالب زیر پوشش جهت حفظ رطوبت قرار گرفت و سپس داخل مخزن آب با دمای 19-23 درجه سانتی گراد قرار گرفتند. و بعد از 7 روز از مخزن بیرون آورده شده و در دمای محیط آزمایشگاه قرار گرفت و در ادامه چگالی نمونه های مکعبی 10 cm اندازه گیری شده و مقاومت فشاری آنها با جک بتن شکن مورد آزمایش قرار گرفت که نتایج همراه با 6 طرح اختلاط در جدول ذیل آمده است.

جدول 2) طرح اختلاط شماره 1

نسبت آب به مواد سیمانی	مصالح	مقدار kg/m <sup>3</sup>	چگالی kg/m <sup>3</sup>	حجم m <sup>3</sup>	حجم 25 لیتر kg	3 تا قالب 10*10 gr	حجم اسلامپ gr
0.59	آب	271.53	1000.00	0.27	6.79	814.59	1900.71
	سیمان	408.00	3150.00	0.13	10.20	1224.00	2856.00
درصد درشت دانه وزنی	میکرو سیلیس	51.20	1250.00	0.02	1.28	153.60	358.40
19.93	روان کننده	41.20	900.00	0.05	1.03	123.60	288.40
	لیکا 4/3	0.00	600.80	0.00	0.00	0.00	0.00
	لیکا 2/1	69.50	843.75	0.13	1.74	208.50	486.50
	لیکا 8/3	104.25	967.50	0.10	2.61	312.75	729.75
درصد درشت دانه حجمی	لیکا 4no	392.69	1063.33	0.37	9.82	1178.07	2748.83
25.15	لیکا 8no	130.00	1337.41	0.10	3.25	390.00	910.00
	لیکا 16no	55.00	1410.00	0.04	1.38	165.00	385.00
	ماسه 4no	0.00	1915.83	0.00	0.00	0.00	0.00
	ماسه 8no	70.00	1628.80	0.04	1.75	210.00	490.00
	ماسه 16no	50.50	1668.80	0.03	1.26	151.50	353.50
	مجموع	1643.87		1.28	34.31	4117.02	9606.38

مقاومت نمونه بتنی 7 روزه 22 مگاپاسکال وزن خشک نمونه 1550 گرم (40 گرم پودر شیشه رد شده از الک نمره 100

و مانده روی الک نمره 200 و به میزان 20 گرم الیاف پلی پروپیلن)

جدول 3) طرح اختلاط شماره 2

نسبت آب به مواد سیمانی	مصالح	مقدار kg/m <sup>3</sup>	چگالی kg/m <sup>3</sup>	حجم m <sup>3</sup>	حجم 25 لیتر kg	تاقالب 3 10*10 gr	حجم اسلامپ gr
0.47	آب	200.00	1000.00	0.20	5.00	600.00	1400.00
	سیمان	375.00	3150.00	0.12	9.38	1125.00	2625.00
درصد درشت دانه وزنی	میکرو سیلیس	50.00	1250.00	0.02	1.25	150.00	350.00
30.00	روان کننده	14.29	900.00	0.02	0.36	42.87	100.03
	لیکا 4/3	49.50	600.80	0.06	1.24	148.50	346.50
	لیکا 2/1	79.20	843.75	0.08	1.98	237.60	554.40
	لیکا 8/3	118.80	967.50	0.11	2.97	356.40	831.60
درصد درشت دانه حجمی	لیکا 4no	400.00	1063.33	0.38	10	1200.00	2800.00
39.30	لیکا 8no	115.00	1337.41	0.09	2.88	345.00	805.00
	لیکا 16no	140.00	1410.00	0.10	3.50	420.00	980.00
	ماسه 4no	31.00	1915.83	0.02	0.78	93.00	217.00
:	ماسه 8no	40.93	1628.80	0.03	1.02	122.79	286.51
	ماسه 16no	50.50	1668.80	0.03	1.26	151.50	353.50
	مجموع	1664.22		1.26	41.61	4992.66	11649.54

مقاومت نمونه بتنی 7 روزه 24 مگاپاسکال وزن خشک نمونه 1560 گرم (40 گرم پودر شیشه رد شده از الک نمره 100 و مانده روی الک نمره 200 و به میزان 20 گرم الیاف پلی پروپیلن)

جدول 4 ( طرح اختلاط شماره 3

نسبت آب به مواد سیمانی	مصالح	مقدار kg/m <sup>3</sup>	چگالی kg/m <sup>3</sup>	حجم m <sup>3</sup>	حجم 25 لیتر kg	سه تا قالب 10*10 gr	حجم اسلامپ gr
0.45	آب	205.00	1000.00	0.21	5.13	615.00	1435.00
	سیمان	407.00	3150.00	0.13	10.18	1221.00	2849.00
درصد درشت دانه وزنی	میکرو سیلیس	41.20	1250.00	0.02	1.03	123.60	288.40
24.43	روان کننده	7.14	900.00	0.01	0.18	21.42	49.98
	لیکا 4/3	0.00	600.80	0.00	0.00	0.00	0.00
	لیکا 2/1	82.11	843.75	0.08	2.05	246.33	574.77
	لیکا 8/3	135.25	967.50	0.13	3.38	405.75	946.75
درصد درشت دانه حجمی	لیکا 4no	457.63	1063.33	0.43	11.44	1372.89	3203.41
25.15	لیکا 8no	135.25	1337.41	0.10	3.38	405.75	946.75
	لیکا 16no	28.57	1410.00	0.02	0.71	85.71	199.99
	ماسه 4no	191.40	1915.83	0.10	4.79	574.20	1339.80
:	ماسه 8no	15.67	1628.80	0.01	0.39	47.01	109.69
	ماسه 16no	43.82	1668.80	0.03	1.10	131.46	306.74
	مجموع	1750.04		1.27	43.76	5250.12	12250.28

مقاومت نمونه بتنی 7 روزه 25 مگاپاسکال وزن خشک نمونه 1678 گرم (40 گرم پودر شیشه رد شده از الک نمره 100 و مانده روی الک نمره 200 و به میزان 20 گرم الیاف پلی پروپیلن )

جدول 5) طرح اختلاط شماره 4

نسبت آب به مواد سیمانی	مصالح	مقدار kg/m <sup>3</sup>	چگالی kg/m <sup>3</sup>	حجم m <sup>3</sup>	حجم 25 لیتر kg	تاقالب 3 10*10 gr	حجم اسلامپ gr
0.43	آب	177.60	1000.00	0.18	4.44	532.80	1243.20
	سیمان	370.00	3150.00	0.12	9.25	1110.00	2590.00
درصد درشت دانه وزنی	میکرو سیلیس	40.00	1250.00	0.02	1.00	120.00	280.00
19.59	روان کننده	8.57	900.00	0.01	0.21	25.71	59.99
	لیکا 3/4	0.00	600.80	0.00	0.00	0.00	0.00
	لیکا 1/2	59.57	843.75	0.08	1.49	178.71	416.99
	لیکا 3/8	202.45	967.50	0.19	5.06	607.35	1417.15
درصد درشت دانه حجمی	لیکا 4no	425.21	1063.33	0.4	10.63	1275.63	2976.47
25.15	لیکا 8no	180.00	1337.41	0.13	4.50	540.00	1260.00
	لیکا 16no	126.98	1410.00	0.09	3.17	380.94	888.86
	ماسه 4no	0.00	1915.83	0.00	0.00	0.00	0.00
:	ماسه 8no	67.82	1628.80	0.04	1.70	203.46	474.74
	ماسه 16no	165.00	1668.80	0.10	4.13	495.00	1155.00
	مجموع	1823.20		1.36	45.58	5469.6	12762.4

مقاومت نمونه بتنی 7 روزه 26 مگاپاسکال وزن خشک نمونه 1735 گرم (40 گرم پودر شیشه رد شده از الک نمره 100 و مانده روی الک نمره 200 و به میزان 20 گرم الیاف پلی پروپیلن)

جدول 6) طرح اختلاط شماره 5

نسبت آب به مواد سیمانی	مصالح	مقدار kg/m <sup>3</sup>	چگالی kg/m <sup>3</sup>	حجم m <sup>3</sup>	حجم 25 لیتر kg	تاقالب 3 10*10 gr	حجم اسلامپ gr
0.38	آب	154.00	1000.00	0.15	3.85	462.00	1078.00
	سیمان	370.00	3150.00	0.12	9.25	1110.00	2590.00
درصد درشت دانه وزنی	میکرو سیلیس	33.57	1250.00	0.02	0.84	100.71	234.99
19.59	روان کننده	8.57	900.00	0.01	0.21	25.71	59.99
	لیکا 3/4	0.00	600.80	0.00	0.00	0.00	0.00
	لیکا 1/2	59.57	843.75	0.06	1.49	178.71	416.99
	لیکا 3/8	302.45	967.50	0.28	7.56	907.35	2717.15
درصد درشت دانه حجمی	لیکا 4no	425.21	1063.33	0.4	10.63	1275.63	2976.47
25.15	لیکا 8no	180.00	1337.41	0.13	4.50	540.00	1260.00
	لیکا 16no	126.98	1410.00	0.09	3.17	380.94	888.86
	ماسه 4no	0.00	1915.83	0.00	0.00	0.00	0.00
:	ماسه 8no	67.82	1628.80	0.04	1.70	203.46	474.74
	ماسه 16no	165.00	1668.80	0.10	4.13	495.00	1155.00
	مجموع	1893.17		1.4	47.33	5679.51	13852.19

مقاومت نمونه بتنی 7 روزه 2/27 مگاپاسکال وزن خشک نمونه 1750 گرم ( 40 گرم پودر شیشه رد شده از الک نمره 100 و مانده روی الک نمره 200 و به میزان 20 گرم الیاف پلی پروپیلن )

"هشتمین کنفرانس ملی سالیانه بتن ایران - تهران - 15 مهرماه 1395"

جدول 7) طرح اختلاط شماره 6

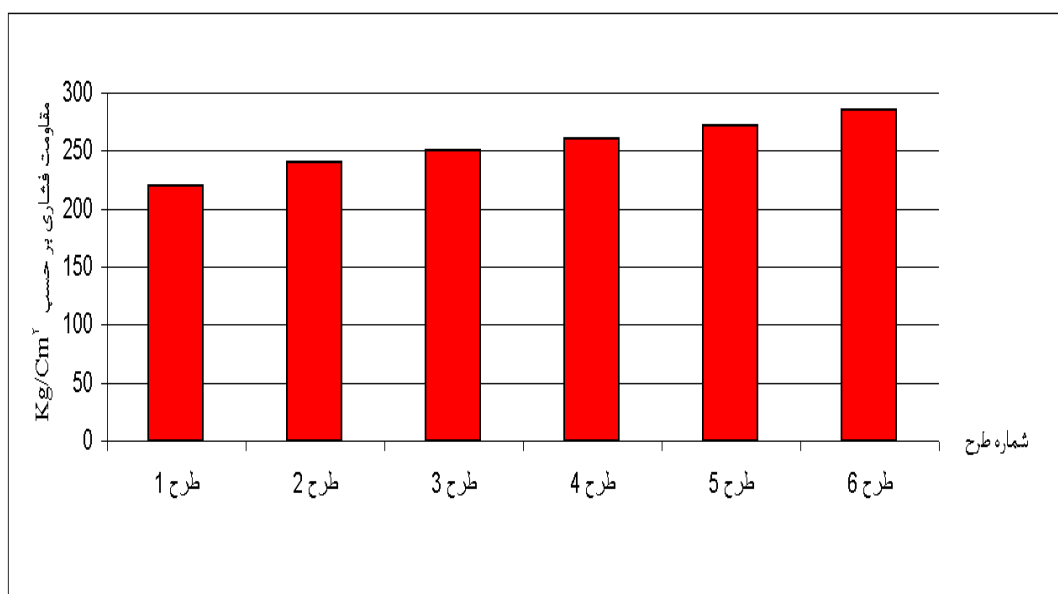
نسبت آب به مواد سیمانی	مصالح	مقدار kg/m <sup>3</sup>	چگالی kg/m <sup>3</sup>	حجم m <sup>3</sup>	حجم 25 لیتر kg	تاقالب 3 10*10 gr	حجم اسلامپ gr
0.35	آب	157.00	1000.00	0.16	3.93	471.00	1099.00
	سیمان	428.20	3150.00	0.14	10.71	1284.60	2997.40
درصد درشت دانه وزنی	میکرو سیلیس	20.00	1250.00	0.02	0.50	60.00	140.00
23.93	روان کننده	22.75	900.00	0.03	0.57	68.25	159.25
	لیکا 4/3	0.00	600.80	0.00	0.00	0.00	0.00
	لیکا 2/1	82.11	843.75	0.06	2.05	246.33	574.77
	لیکا 8/3	137.82	967.50	0.13	3.45	413.46	964.74
درصد درشت دانه حجمی	لیکا 4no	649.03	1063.33	0.61	16.23	1947.09	4543.21
25.15	لیکا 8no	137.82	1337.41	0.10	3.45	413.46	964.74
	لیکا 16no	125.74	1410.00	0.09	3.14	77.22	880.18
	ماسه 4no	26.91	1915.83	0.01	0.67	80.73	188.37
	ماسه 8no	15.67	1628.80	0.01	0.39	47.01	109.69
	ماسه 16no	43.82	1668.80	0.03	1.10	131.46	306.74
	مجموع	1846.87		1.39	46.19	5240.61	12928.09

مقاومت نمونه بتنی 7 روزه 5/28 مگاپاسکال وزن خشک نمونه 1770 گرم (40 گرم پودر شیشه رد شده از الک نمره 100 و مانده روی الک نمره 200 و به میزان 20 گرم الیاف پلی پروپیلن)

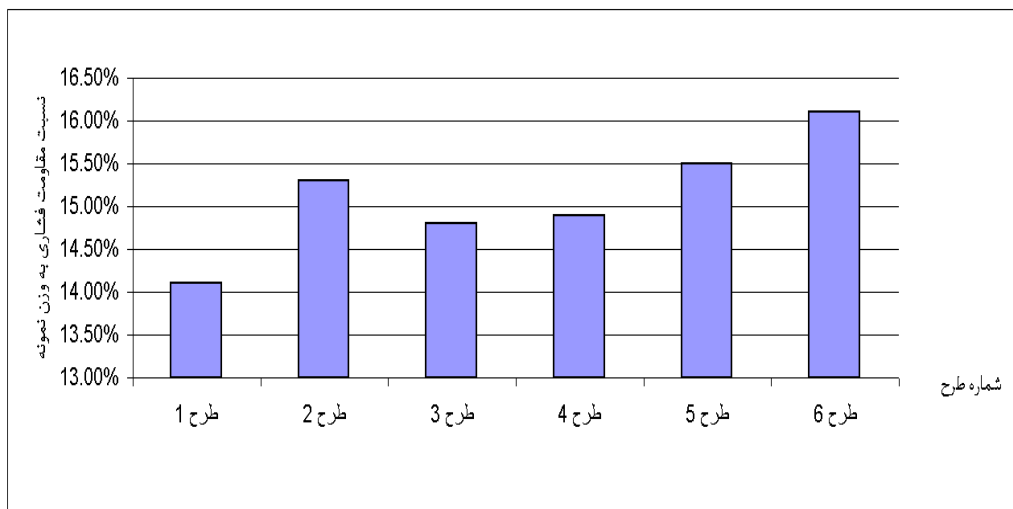


## نتایج آزمایش ها و تجزیه و تحلیل آنها

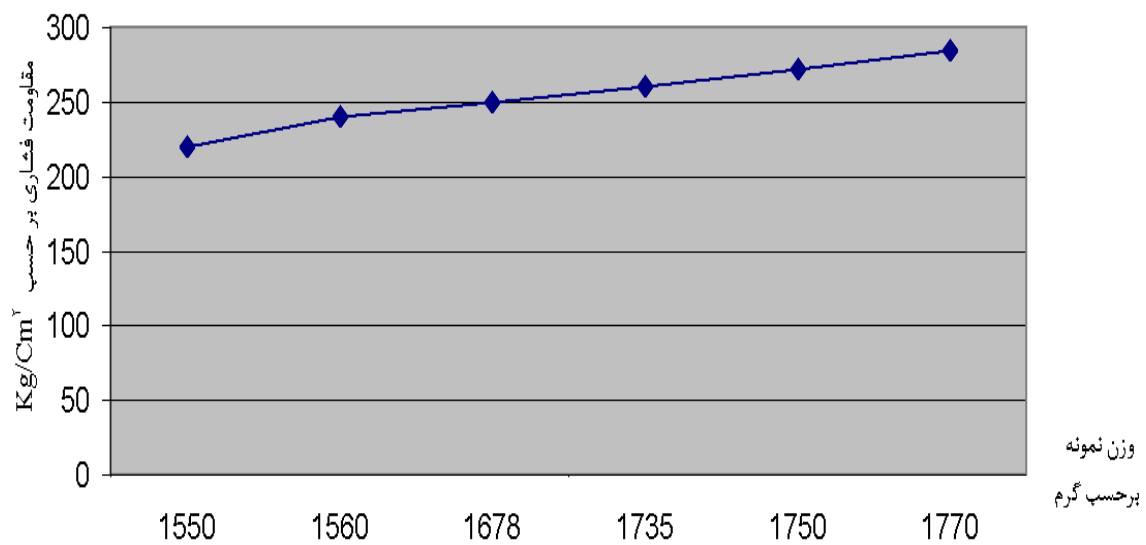
در این تحقیق 6 طرح اختلاط بتن سبک الیافی ارائه شده است، که از بازیافت نخاله های ساختمانی و پودر شیشه به جای مصالح سنگی بکار برده شده است در 6 طرح ارائه شده مشاهده گردید با که با کاهش نسبت آب به سیمان و استفاده از مواد افزودنی فوق روان کننده می توان بتنی با مقاومت فشاری بالا نسبت به طرح های دیگر ساخت. استفاده از الیاف پلی پروپیلن به همراه دیگر مصالح مصرفی در این تحقیق نشان داد که باعث کاهش اسلامپ بتن شده و مخلوط بتن تازه را بسیار چسبنده می کند و در هنگام فرآیند اختلاط حرکات برشی مواد سازنده بتن باعث جداسدن الیاف دسته ای از همدیگر شده به گونه ای که به علت سطح مخصوص زیاد خواص مکانیکی سیمان را بهبود می بخشد که وجود الیاف باعث جلوگیری از رشد ترک ها می شود و از طرفی با اعمال تنش کششی، الیاف این تنش ها را پخش می کند که پس از بارگذاری و شکست نمونه ها مشاهده گردید به دلیل وجود الیاف، انسجام و یکپارچگی بتن حفظ شده و باعث افزایش شکل پذیری بالای نمونه بتنی می باشد و به عبارتی این ویژگی باعث جلوگیری از تردشکنی نمونه در اثر بارگذاری خواهد شد. و از سوی دیگر وجود پودر شیشه منجر به سطح زبر و افزایش مقاومت ملات سیمان شده که تأثیر بسزایی در افزایش مقاومت بتن شده است به گونه ای که نتایج مقاومت فشاری هر طرح از میانگین گیری حداقل 3 نمونه بتن (سن 7 روزه) در نمودار شکل 1 ارائه گردیده است.



شکل 1) نمودار مقاومت فشاری نمونه بر حسب کیلوگرم بر سانتیمتر مربع برای هر طرح اختلاط



شکل 2) نمودار نسبت مقاومت فشاری به وزن نمونه بر حسب درصد برای هر طرح اختلاط



شکل 3) نمودار مقاومت فشاری نمونه بر حسب کیلوگرم بر سانتیمتر مربع به وزن نمونه بر حسب گرم

## نتیجه گیری

- در این مطالعه با بررسی نتایج آزمایشگاهی و جمع بندی آنها نتایج به شرح ذیل می باشد.
- 1- مقاومت نمونه های بتنی در طرح اختلاط شماره 6 بیشترین مقاومت را کسب نموده است که می توان در صنعت ساختمان استفاده نمود.
  - 2- استفاده از الیاف پلی پروپیلن به میزان 1/5 درصد وزنی سیمان و پودر شیشه به میزان 3 درصد وزنی سیمان به طرح اختلاط شماره 6 عملکرد مناسبی نسبت به دیگر طرح ها بر اساس مقاومت به وزن نمونه داشته است.
  - 3- استفاده از الیاف پلی پروپیلن باعث افزایش جذب انرژی بتن می شود و بتن حاوی این الیاف در طرح شماره 6 میزان شکل پذیری بتن با توجه به شواهد افزایش خواهد یافت.
  - 4- با افزودن الیاف، مکانیسم شکست از حالت گسیختگی ترد و ناگهانی به حالت گسیختگی نرم تغییر می یابد.
  - 5- با استفاده از نخاله های ساختمانی و پودر شیشه در طرح شماره 6 که بیشترین مقاومت فشاری را از خود نشان داده است می توان به جهت حفاظت از محیط زیست و توسعه پایدار گام موثری برداشت.

## مراجع:

- 1- نویل، آ. ترجمه هرمز فامیلی، بتن شناسی (خواص بتن)، ویرایش سوم، دانشگاه علم و صنعت ایران
2. shayan, A, Xu, value-added Utilisation of waste galass in concrete, cement and Concrete Research, 2004, vol. 34, pp81-89
3. Reindel, j, Report by Recycling Manage, Dane county, Department of Public Works, Madison, USA, August 1998.
4. Dave, N.J, and Ellis, D.G, "Polypropylene Fiber Reinforced Cement," International Journal of Cement Composites, Vol. 1, Construction Prees, Harlow, Essex, England, 1979, Pages 19-28
5. Hannant, D.J., Fiber Cements and fiber Concretes John Wily and Sons, Ltd, New York, 1978, 213 pages
6. A. Bilodeau, V.K.R Kodur, G.C. Hoff. (2004) Optimization of the type and amount of polypropylene fibers fpr preventing the spalling of lightweight concrete subjected to hydrocarbon fire. Cement & concrete composites 26(2004) 163-174