

# ساخت و مقایسه رفتار بتن سبک سازه ای با پومیس و بتن معمولی

دکتر جعفر بلوری بزازی<sup>۱</sup> ، محمد خدادادی<sup>۲</sup>

۱- دانشیار دانشکده عمران ، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه علوم تحقیقات خراسان رضوی

Bolouri@um.ac.ir

Khodadadi\_m56@yahoo.com

کد انجمن: 15C

کدمقاله: c

## چکیده

بتن سبک از مصالحی است که به سبب کاهش وزن سازه و در نتیجه اقتصادی تر نمودن پروژه ها، امروزه مورد توجه محققان و طراحان قرار گرفته است. هدف اصلی این پروژه ساخت بتن سبک سازه ای با استفاده از متدهای پومیس منطقه قروه سنندج بوده، به گونه ای که طرح های اختلاط تولید شده دارای مزایای اقتصادی و قابلیت کاربرد در عمل باشد. با توجه به اهمیت انتخاب مصالح مورد استفاده، دانه بندی های انتخاب شده بر مبنای آیین نامه ASTM C330 صورت پذیرفته است، همچنین در این پژوهش تاثیر استفاده از ماسه به جای ریزدانه پرمیس، استفاده از میکروسیلیس و فوق روان کننده، عیار سیمان در مقاومت فشاری نمونه ها مورد بررسی قرار گرفته است.

واژگان کلیدی: بتن سبک سازه ای- پومیس- مقاومت فشاری.

## ۱- مقدمه

اولین گزارش های تاریخی در مورد کاربرد بتن سبک و مصالح سبک وزن، به روم باستان برمی گردد. پیشرفت در تولید بتن سبک در قرن بیستم آغاز گردید. در طول جنگ های جهانی، بتن سبک در ساخت کشتی ها و شناورهای بزرگ به کار گرفته شد. [۱]

در ساخت استادیوم ولینگتون نیوزلند در سال ۲۰۰۲ بخش عمده سازه در ورزشگاه از دانه های منبسط شده ساخته شده در کالیفرنیا استفاده گردید که در عمل مقاومت فشاری ۴۴ مگاپاسکال و چگالی ۱۸۴۵ کیلوگرم بر مترمکعب برای بتن مصرفی در این پروژه ثبت گردیده است. [۲]

بتن های سبک در حالت کلی به سه نوع بتن سبک غیرسازه ای، بتن سبک نیمه سازه ای و بتن سبک سازه ای تقسیم می گردد. (۲۸) بتن سبک سازه ای بتن هایی هستند که علیرغم دارا بودن چگالی کمتر از ۲۰۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب مقاومت فشاری بیش از ۱۷ مگاپاسکال دارند. [۲]

هدف این مقاله ساخت بتن سبک سازه ای با استفاده از دانه های سبک از جنس پومیس منطقه قروه سنندج می باشد به طوریکه ضمن قابلیت کاربرد در عمل، دارای مزایای اقتصادی نیز باشد.

## ۲- روش شناسایی تحقیق

برنامه آزمایشگاهی جهت تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی بتن های سبک سازه ای تولید شده به صورت زیر می باشد:

۱- بررسی مساله و جمع آوری اطلاعات در زمینه های مختلف از نوع، جنس، در دسترس بودن، مقاومت، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی.

۲- انتخاب چهار نوع دانه بندی مختلف بر اساس آیین نامه ASTM c330. [۸]

۳- انتخاب آب مورد نیاز بر اساس طرح اختلاط پیشنهاد شده کمیته ACI همچنین میزان جذب آب سنگدانه های پومیس بر اساس آزمایشات صورت پذیرفته.

۴- انتخاب سه نسبت آب به سیمان مختلف با استفاده از طرح اختلاط پیشنهادی کمیته ACI. [۹]

۵- ساخت نمونه های بتنی با استفاده از سبکدانه ها بدون هیچ گونه افزودنی و تعیین مقاومت فشاری آن ها.

۶- انتخاب دو نوع دانه بندی که بتن ساخته شده با آنها دارای مقاومت بیشتری می باشد.

۷- انجام آزمایشات با نسبت های مختلف آب به سیمان، عیارهای مختلف سیمان، اضافه کردن میکروسیلیس و فوق روان کننده و جایگزین نمودن ماسه به جای ریز دانه پومیس.

۸- تعیین بالاترین مقاومت بر اساس نمونه های ساخته شده و نتیجه گیری های لازم. [۳]

## ۳- مواد

در ادامه توصف کوتاهی از مصالح به کار رفته در بتن ها ارائه میشود :

- سنگدانه ها

از سنگدانه های سبک طبیعی ( دانه های درشت و ریز ) معدن قروه سنندج استفاده گردیده است.

- سیمان

از سیمان پرتلند تیپ ۲ (مطابق ASTM C595) تولید شده توسط کارخانه سیمان تهران در این بررسی استفاده گردیده است.

جدول ۱ مشخصات شیمیایی سیمان تهران

مشخصات شیمیایی سیمان	C3A%	C2S%	C3S%	Ir%	LOI%	SO3%	MgO%	CaO%	Fe2O3%	Al2O3%	SiO2%
حد	-	-	-	MAX	MAX	MAX	MAX	-	-	-	-
استاندارد				0.75	3	3	5				
سیمان تهران	5.8	22.5	51.8	0.5	1.8	1.5	1.3	63.1	4.7	5.2	21.5

جدول ۲ مشخصات فیزیکی سیمان تهران

مقاومت فشاری Kg/cm2		درصد انبساط اتوکلاو	گیرش (دقیقه)		بلین Cm2/gr	مشخصات فیزیکی سیمان
۲۸ روزه	۲ روزه		نهایی	ابتدایی		
Max 625	Min 425	Min 100	Max 0.8	Max 360	Min 45	حد استاندارد
۴۹۴	۱۲۲	۰,۰۴	۱۶۸	۱۰۷	۳۰۳۲	سیمان تهران

- آب

در ساخت نمونه ها از آب شرب شهری تهران استفاده شده است.

- میکروسیلیس

مشخصات میکروسیلیس استفاده شده برابر جدول زیر میباشد.

جدول ۳ مشخصات شیمیایی میکروسیلیس

ترکیب	درصد
SiO <sub>2</sub>	۹۳/۸۶
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱/۳۲
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۰/۸۷
CaO	۰/۴۹
MgO	۰/۹۷
Na <sub>2</sub> O	۰/۳۱
K <sub>2</sub> O	۱/۰۱
SiC	۰/۵۳
O	۰/۳۴
P <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۰/۱۶
SO <sub>3</sub>	۰/۱
Cl	۰/۰۴

جدول ۴ مشخصات فیزیکی میکروسیلیس

پودر خاکستری رنگ	شکل ظاهری
پوزولان متشکل از ۹۸٪ ذرات فعال $\text{SiO}_2$	پایه شیمیایی
۱۵۰ الی ۳۰۰ $\text{Kg/m}^3$	وزن مخصوص
۲۰ $\text{m}^2/\text{gr}$	سطح ویژه
Micron ۰/۰۲ - ۰/۰۵	قطر ذرات
۰/۹۷۴ درصد	قلیابیت ( $\text{Na}_2\text{O} + ۰/۶۵۸\text{K}_2\text{O}$ )
به دور از فشار زیاد	شرایط نگهداری
در شرایط ایده آل به مدت نامحدود	مدت نگهداری
کیسه های ۴۰ کیلو گرمی	بسته بندی

- فوق روان کننده

فوق روان کننده مورد استفاده در ساخت نمونه ها از شرکت ComexLX برابر مشخصات فنی جدول زیر استفاده گردیده است.

جدول ۵ مشخصات فنی فوق روان کننده COMEX LX

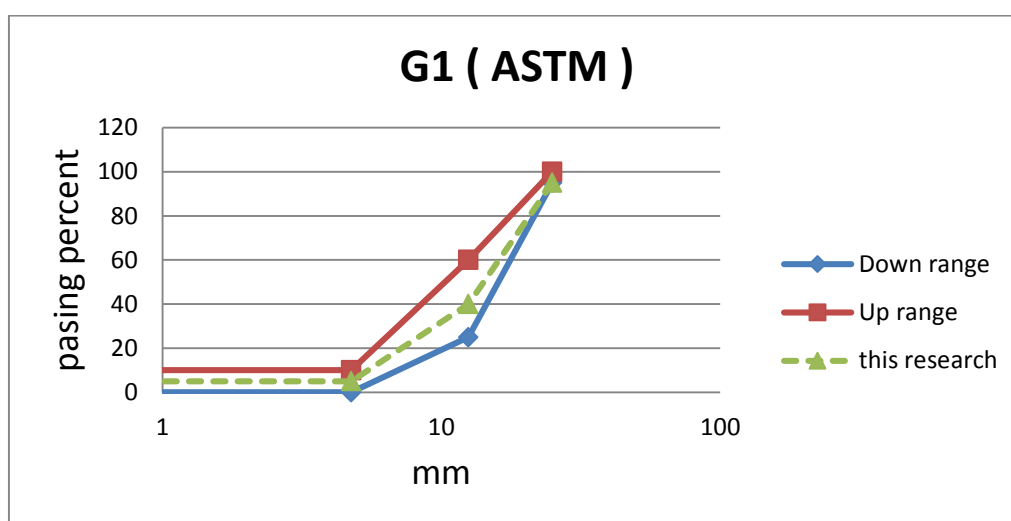
مایع	حالت فیزیکی
قهوه ای	رنگ
۱۱/۰۵ $\text{gr/cm}^3$	وزن مخصوص
۹/۵ الی ۸/۵	Ph
تا یکسال بدور از یخ زدگی	زمان و شرایط نگهداری
ندارد	یون کلر
ASTM C494 TYP G	استاندارد
در گالن های پلاستیکی ۲۰ و بشکه های ۲۰۰ کیلوئی	بسته بندی

۳-۱- خصوصیات سنگدانه ها

دانه بندی سنگدانه های سبک انتخاب شده در نمودار های زیر ارائه گردیده است، دانه بندی های انتخاب شده مطابقت مناسبی با منحنی های استاندارد ASTM C330 نشان میدهند.

جدول ۶ دانه بندی سنگدانه ها (G1)

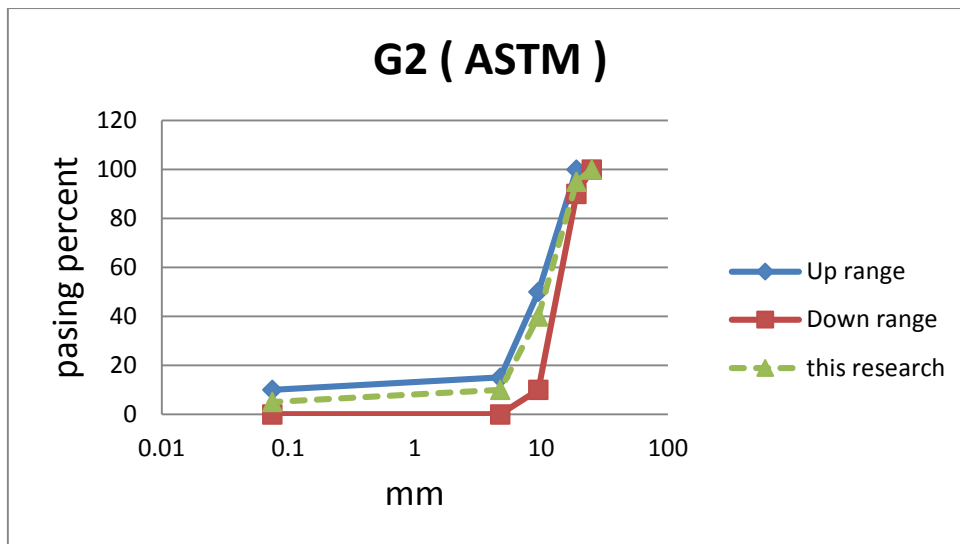
اندازه الک (mm)	درصد عبوری		درصد در نظر گرفته شده در این تحقیق
	حد بالا	حد پایین	
۲۵	۱۰۰	۹۵	۹۵
۱۲,۵	۶۰	۲۵	۴۰
۴,۷۵	۱۰	۰	۵
۰,۰۷۵	۱۰	۰	۵



شکل ۱ نمودار دانه بندی G1 براساس آیین نامه ASTM

جدول ۷ دانه بندی سنگدانه ها (G2)

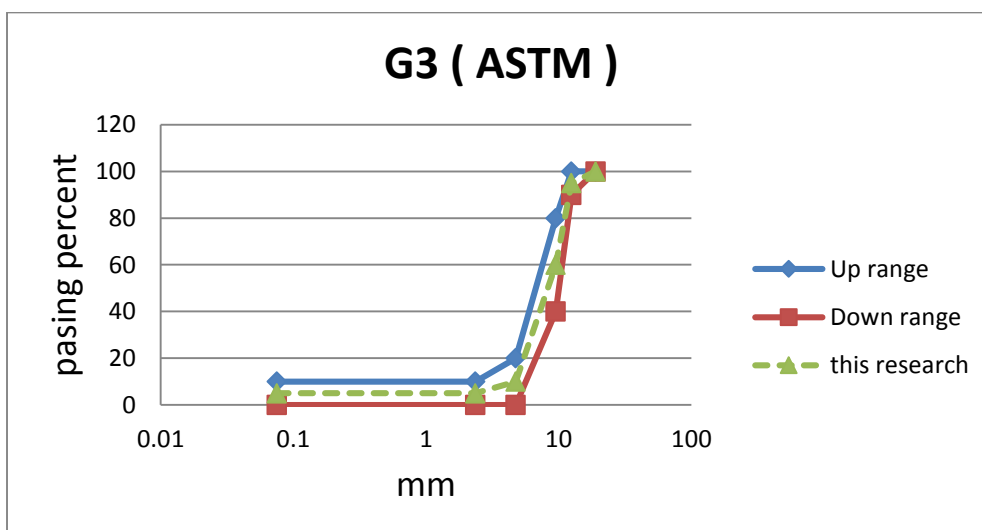
اندازه الک (mm)	درصد عبوری		درصد در نظر گرفته شده در این تحقیق
	حد بالا	حد پایین	
۲۵	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۱۹	۱۰۰	۹۰	۹۵
۹/۵	۵۰	۱۰	۴۰
۴/۷۵	۱۵	۰	۱۰
۰/۰۷۵	۱۰	۰	۵



شکل ۲ نمودار دانه بندی G2 براساس آیین نامه ASTM

جدول ۸ دانه بندی سنگدانه ها (G3)

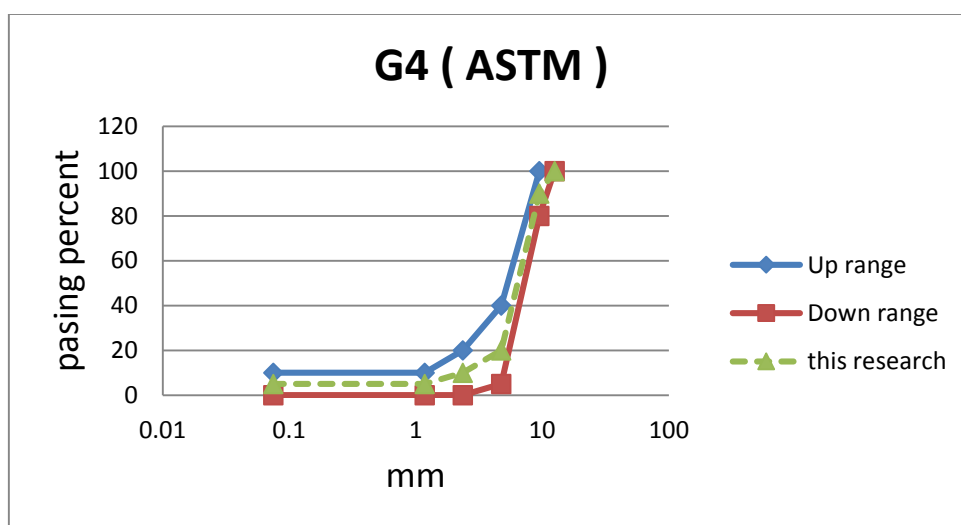
اندازه الک (mm)	درصد عبوری		درصد در نظر گرفته شده در این تحقیق
	حد بالا	حد پایین	
۱۹	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۱۲/۵	۱۰۰	۹۰	۹۵
۹/۵	۸۰	۴۰	۶۰
۴/۷۵	۲۰	۰	۱۰
۲/۳۶	۱۰	۰	۵
۰/۰۷۵	۱۰	۰	۵



شکل ۳ نمودار دانه بندی G3 براساس آیین نامه ASTM

جدول ۹ دانه بندی سنگدانه ها (G4)

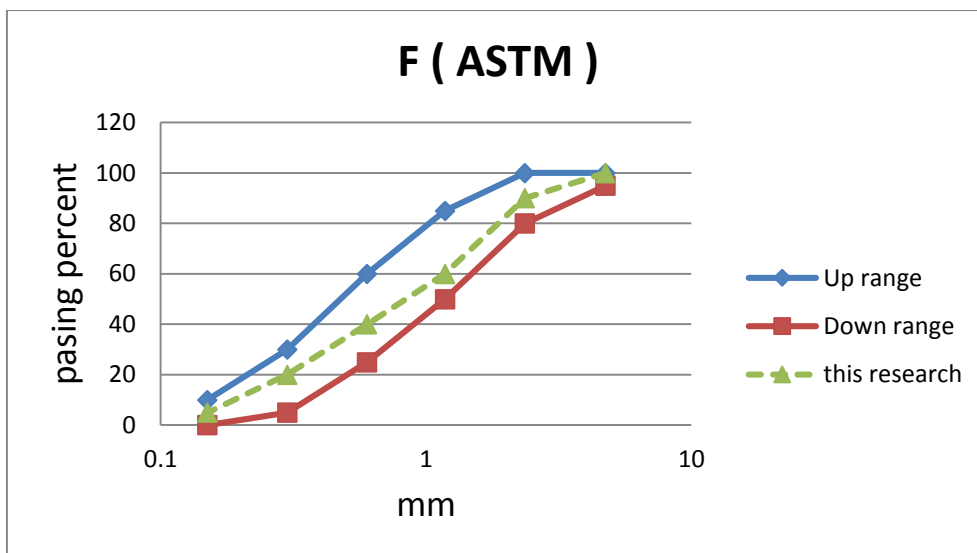
اندازه الک (mm)	درصد عبوری		درصد در نظر گرفته شده در این تحقیق
	حد بالا	حد پایین	
۱۲/۵	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۹/۵	۱۰۰	۸۰	۹۰
۴/۷۵	۴۰	۵	۲۰
۲/۳۶	۲۰	۰	۱۰
۱/۱۸	۱۰	۰	۵
۰/۰۷۵	۱۰	۰	۵



شکل ۴ نمودار دانه بندی G4 براساس آیین نامه ASTM

جدول ۱۰ دانه بندی سنگدانه ها (F)

اندازه الک (mm)	درصد عبوری		درصد در نظر گرفته شده در این تحقیق
	حد بالا	حد پایین	
۴/۷۵	۱۰۰	۹۵	۱۰۰
۲/۳۶	۱۰۰	۸۰	۹۰
۱/۱۸	۸۵	۵۰	۶۰
۰/۶	۶۰	۲۵	۴۰
۰/۳	۳۰	۵	۲۰
۰/۱۵	۱۰	۰	۵



شکل ۵ نمودار دانه بندی F براساس آیین نامه ASTM

در این تحقیق از پومیس معدن قروه استان کردستان استفاده گردیده است، که ترکیب شیمیایی دانه های مورد استفاده برابر جدول زیر میباشد. [۱۰]

جدول ۱۱ ترکیب شیمیایی پومیس

TiO2	MnO	P2O5	LOI,1050C,1hr	So3	K2O	Na2O	MgO	CaO2	Fe2O3	AL2O3	SIO2	ترکیب شیمیایی
۱/۷۸	۰/۱۱۸	۱/۷۹	۰/۶	۰/۳۱	۳/۲۷	۴/۶۳	۹/۵۸	۸/۴۳	۸/۰۷	۱۲/۴۹	۴۸/۳۷	درصد

۳-۲- مقدار آب جذب شده توسط سنگدانه های سبک وزن

با توجه به وجود خلل و فرج در سبک دانه ها و جذب آب بالا، لزوم تعیین مقدار متوسط آب جذب شده مشخص میگردد. درصد جذب آب مصالح سبکدانه در زمانهای مختلف برابر جدول زیر میباشد. [۳، ۴]

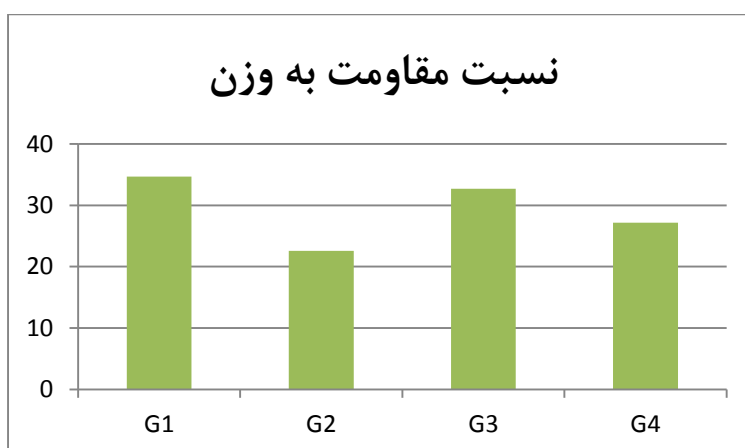
جدول ۱۲ درصد جذب آب مصالح پومیس

دانه بندی	درصد جذب آب در حالت اشباع	درصد جذب آب اون ۲۴ ساعت	درصد جذب آب اون ۵ ساعت	نسبت جذب آب ۵ به ۲۴ ساعت
سبکدانه درشت دانه	۱۷	۱۴/۲۵	۱۳/۲۲	۱/۲
سبکدانه ریز دانه	۹/۵	۱۰/۸	۱۰/۱۵	۰/۷۲۶



#### ۴- طرح اختلاط

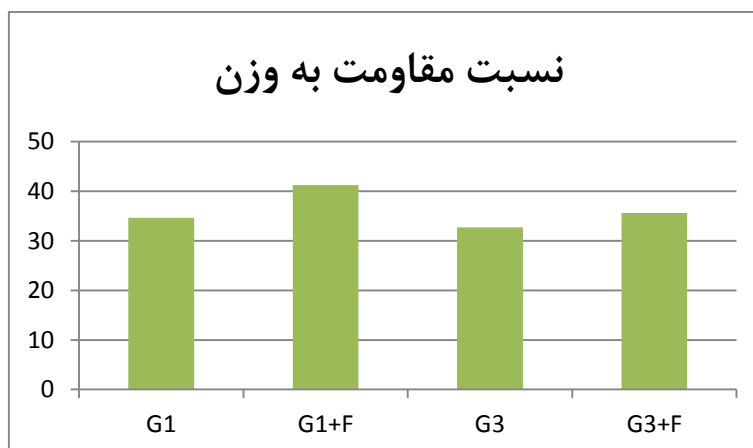
۴-۱- ابتدا چهار نوع دانه بندی ( G1, G2, G3, G4 ) انتخاب می گردد سپس با استفاده از روش طرح اختلاط ارائه شده در ACI 211.1 مقدار آب مورد نیاز و نسبت آب به سیمان مشخص میگردد. با توجه به طرح اختلاط ACI 211.1 برای نسبتهای آب به سیمان ( ۰,۶۲ و ۰,۴۸ و ۰,۴۲ ) مخلوط ها با مقدار سیمان ( ۳۰۰ و ۳۴۵ و ۴۹۳ ) کیلوگرم بر متر مکعب ساخته میشود، سپس مقاومت نمونه ها به وزن بر اساس دانه بندی برابر نمودار زیر مقایسه میگردد. [۶]



شکل ۶ مقاومت نمونه ها به وزن بر اساس دانه بندی

با توجه به نمودار، نمونه های ساخته شده با G1 و G3 بهینه ترین طرح اختلاط میباشند.

۴-۲- با جایگزین کردن ماسه به جای ریز دانه پومیس ( رد شده از الک شماره ۴ ) نمونه های بتنی G1+F و G3+F ساخته شد. نسبت مقاومت به وزن (بر اساس مقاومت ۲۸ روزه استاندارد) مطابق نمودار زیر بررسی میگردد. مشاهده میشود جایگزین کردن ماسه به جای ریزدانه پومیس باعث افزایش مقاومت شده است.



شکل ۷ مقاومت نمونه ها به وزن بر اساس دانه بندی با جایگزین کردن ماسه به جای ریزدانه پومیس

۳-۴- نمونه های ساخته شده با دانه بندی  $G1+F$  و  $G3+F$  دارای بهترین شرایط از لحاظ مقاومت و وزن بوده که برای تعیین بهترین طرح اختلاط از دانه بندی فوق نمونه هایی با عیار سیمان مختلف مطابق جداول زیر ساخته و نتایج را با هم مقایسه مینماییم.

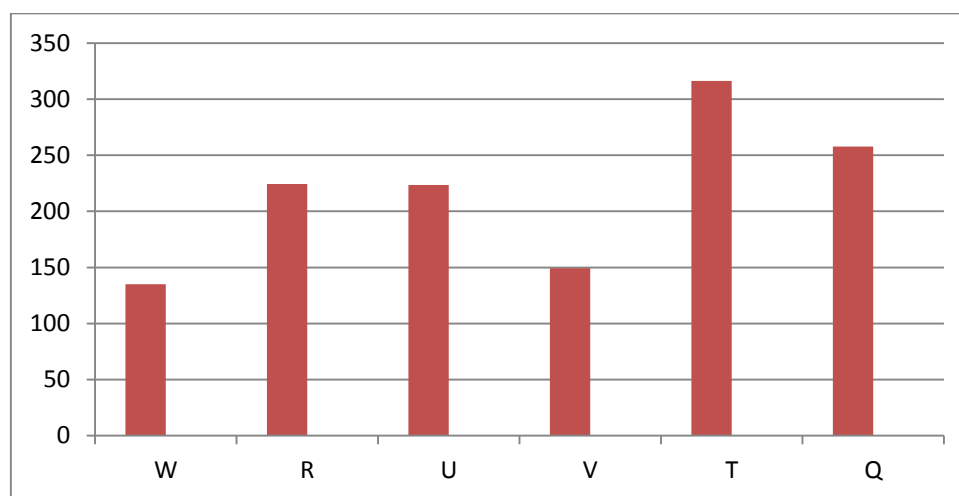
جدول ۱۳ نمونه های ساخته شده با دانه بندی  $G1+F$

نمونه	عیار سیمان	میکروسیلیس	روان کننده	$\frac{W}{C}$	وزن مرطوب Kg	وزن ۲۴ ساعته kg	مقاومت فشاری ۲۸ روزه استاندارد
V	۳۰۰	۰/۱۵	۰/۰۱	۰/۶۲	۵/۷۷۵	۵/۶۷۵	۱۴۹/۳
T	۳۹۵	۰/۱۵	۰/۰۱	۰/۴۸	۶/۲۱۵	۶	۳۱۶/۴
Q	۴۹۳	۰/۱۵	۰/۰۱	۰/۴۲	۶/۲۶۴	۶/۲۰	۲۵۷/۷

جدول ۱۴ نمونه های ساخته شده با دانه بندی  $G3+F$

نمونه	عیار سیمان	میکروسیلیس	روان کننده	$\frac{W}{C}$	وزن مرطوب Kg	وزن ۲۴ ساعته kg	مقاومت فشاری ۲۸ روزه استاندارد
W	۳۰۰	۰/۱۵	۰/۰۱	۰/۶۲	۵/۶۷۵	۵/۵۶۳	۱۳۵/۱
R	۳۹۵	۰/۱۵	۰/۰۱	۰/۴۸	۵/۹۴۴	۵/۸۷۲	۲۲۴/۵
U	۴۹۳	۰/۱۵	۰/۰۱	۰/۴۲	۶/۰۰۲	۵/۸۵	۲۲۳/۴

۴-۴- نمونه های ساخته شده با دانه بندی  $G1+F$  و  $G3+F$  با عیارهای مختلف سیمان از لحاظ وزن و مقاومت فشاری ۲۸ روزه استاندارد توسط نمودار زیر مقایسه شده است. با توجه به مقاومت فشاری به وزن نمونه ها میتوان نتیجه گرفت نمونه T بهترین نمونه ساخته شده میباشد.



شکل ۸ مقایسه مقاومت فشاری ۲۸ روزه با عیارهای سیمان متفاوت

## نتیجه گیری

- ۱- به وسیله مصالح پومیس (پوکه معدنی قروه سنندج) می توان بدون افزایش افزودنی ها، بتن سبک سازه ای با حداقل مقاومت ۱۷ مگاپاسکال (مقاومت مد نظر ASTM C330) و وزن مخصوص ۱۴۴۰ الی ۱۸۴۰ با مقدار سیمان در اندازه نرمال تولید نمود.
  - ۲- با افزایش ۱۲ الی ۱۵ درصدی مصالح ریز دانه ماسه معمولی (عبوری از الک نمره ۴) به وزن مخصوص بتن سبک بصورت میانگین ۱۰ الی ۱۵ درصد افزایش یافته و مقاومت فشاری بتن سبکدانه نیز ۱۴ الی ۲۶ درصد افزایش می یابد که نشان دهنده رابطه مستقیم وزن با مقاومت می باشد.
  - ۳- استفاده از مصالح ریز دانه ماسه معمولی سطح تخلخل بتن ما کاهش یافته و باعث افزایش دوام بتن سبک می شود .
  - ۴- ماسه معمولی به میزان زیادی از انقباض بتن سبک را کاهش می دهد.
  - ۵- با اضافه نمودن میکروسیلیس به میزان ۱۵ درصدی وزن سیمان به طرح اختلاط می توان مقاومت فشاری بتن سبکدانه را تا ۳۰ درصد افزایش داد.
  - ۶- در هنگام استفاده از میکروسیلیس در بتن سبک تخلخل سطح از بین رفته و سطح یکدست بدست می آید که این امر باعث افزایش دوام بتن می گردد.
  - ۷- با افزایش میکروسیلیس و ماسه معمولی و روان کننده به بتن سبک می توان مشکل پمپاژ بتن را تا حد زیادی حل نمود.
  - ۸- بهترین انتخاب عیار سیمان برای طرح اختلاط ۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب می باشد.
  - ۹- بهترین نسبت آب به سیمان با توجه به نمونه های ساخته شده از ۰/۴۲ الی ۰/۵ می باشد .
- با توجه به بررسی های بعمل آمده از لحاظ مقاومت فشاری، کششی، برشی، دوام، بتن سبکدانه به بتن معمولی می توان نتیجه گرفت مصالح طبیعی سبک نسبت به مصالح مصنوعی سبک (لیکا) که دارای قیمت بیشتری می باشند جایگزین مناسبی هستند.

- ۱- راهنمای کاربردی بتن سبکدانه سازه ای- محمد شکرچی زاده، نیکلاس علی لیبر، مارال جلیلی- انتشارات علم و ادب(۱۳۹۰)
- ۲- تکنولوژی بتن- نویل، آدام- ترجمه: دکتر رمضانپور علی اکبر-دکتر شاه نظری محمد رضا-انتشارات علم و صنعت(۱۳۷۸)
- ۳- بتن با سنگدانه سبک- دکتر فامیلی هرمز- مهندس حکیمما بهروز-انتشارات جهاد دانشگاهی علم و صنعت(۱۳۶۵)
- ۴- باقری علیرضا مواد جایگزین در بتن مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ۱۳۷۷
- ۵- ماجدی اردکانی محمد حسین- ترکیبات و ویژگیهای فوق روان کننده بتن - مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ۱۳۷۴
- ۶- روش ملی طرح مخلوط بتن - مرکز تحقیقات مسکن- شماره نشریه ض ۴۷۹- (۱۳۸۶)
- ۷- آیین نامه ACI 318-05 طراحی سازه های بتنی و تفسیر به انضمام تغییرات سال ۲۰۰۶- ترجمه علی قربانی - مهیار لاجوردی - مهدی داود نبی- نشر علم عمران-۱۳۸۵

- 8- ASTM ,Standard Specification for Lightweight aggregate Concrete for Structural Concrete, Designation:C330-99,P.P, 1-4
- 9- ACI Committee 213, "Guide for Structural Lightweight aggregate Concrete", Journal of the American Concrete Institute 64,1967.No 8,PP 433-469
- 10- samuel green , nicholas brooke , len mcsaveney-PUMICE AGREGATES FOR STRUCTURE LIGHTWEGHT AND INTERNALLY CURED CONCRETES-university of auckland,new zealand.