بسم الله الرحمن الرحیم

پردیس بین الملل
گروه عمران
گرایش سازه

بررسی خواص مهندسی بتن سبک، حاوی سبکدانه های متفاوت

از :
مجتبی رضایی دوگاهه

استاد راهنما :

دکتر ملک محمد رنجبر

استاد مشاور :

دکتر رحمت مدندوست

تقدیم به :

پدر عزیزم

که همیشه حامی و مشوقم بود و در این راه از هیچ کوششی دریغ نکرد

و

مادر مهربانم

که با محبت بی حدش لحظات سخت را برایم هموار ساخت و با دعای خیرش ناامیدی را به

امید تبدیل کرد

و

همسر فداکارم

که با صبرش جای هیچ ملالی را باقی نگذاشت

تقدیرنامه

اکنون که نگارش این پایان نامه با یاری ایزد متعال به پایان رسیده است، پس از شکر خداوند باری تعالی بر خود وظیفه می‌دانم که از زحمات همه افرادی که بنده را راهنمایی و یاری نمودند تشکر و قدردانی نمایم. در ابتدا از استاد راهنمای ارزشمند، جناب آقای **دکتر ملک محمد رنجبر** که حقیقتاً کار با ایشان از بزرگ ترین توفیقات زندگی حقیر می باشد، کمال تشکر و قدردانی را دارم. از زحمات استاد مشاور، جناب آقای **دکتر رحمت مدندوست** سپاس گزاری می نمایم.

از اساتید بزرگوار جناب آقایان **دکتر جواد رزاقی** و **دکتر سید حسین قاسم زاده موسوی نژاد** که زحمت بازخوانی این پایان نامه را بر عهده داشته و نظرات ارزنده و مفیدی در هر چه بهتر و پربارتر شدن آن ارائه نموده‌اند سپاسگزاری می نمایم. همچنین از کلیه اساتید بزرگوار گروه عمران بابت زحماتشان در طول تحصیل اینجانب در دوره کارشناسی ارشد سپاسگزارم.

مراتب تشکر و قدردانی خود را از پرسنل محترم شرکت گیلان میکا و کان آذر تبریز جهت همکاری ایشان در تهیه مصالح مورد نیاز و کارشناسان و کارکنان آزمایشگاه بتن و مصالح ساختمانی دانشکده فنی، سرکار خانم **مهندس حاج جعفری**، آقای **مهندس کاتبی**، آقای **سرمست** و همچنین آقای **جهانگیری** که در انجام آزمایشات کمک‌های شایانی نمودند، اعلام می دارم.

بدینوسیله از راهنمایی و همراهی دوستان عزیزم در طول دوره انجام این پایان نامه، **مهندسین میثم پیکرنگار، محمد سینا فخاری** و **سروش عیسی پور** سپاس گزارم.

فهرست مطالب

عنوان **شماره صفحه**

چکیده فارسی.....س

چکیده انگلیسی.....ع

فصل اول - پیشگفتار

مقدمه.....2

هدف از تحقیق.....3

ساختار کلی پایان نامه.....3

فصل دوم - بررسی انواع سبکدانه

2-1 مقدمه.....6

2-2 - دسته بندی سبکدانه ها.....7

2-2-1 - سبکدانه های طبیعی.....7

2-2-1-1 - اسکریا.....7

2-2-1-2 - پومیس.....8

2-2-1-3 - توف.....9

2-2-1-4 - دیاتومیت.....9

2-2-2 - سبکدانه های مصنوعی.....13

2-2-2-1 - سنگدانه مصنوعی با استفاده از مواد طبیعی.....13

2-2-2-1-1 - پرلیت.....14

2-2-2-1-2 - ورمیکولیت.....17

2-2-2-1-3 - رس منبسط شده.....19

2-2-2-1-3-1 - لیکای ایران.....21

2-2-2-1-3-2 - لیکای نروژ.....22

2-2-2-1-4 - شیل منبسط شده..... 22
2-2-2-1-5 - اسلیت منبسط شده 23
2-2-2-2 - سنگدانه مصنوعی با استفاده از مواد جانبی صنایع..... 24
2-2-2-2-1 - خاکستربادی کلوخه شده..... 24
2-2-2-2-2 - سرباره متخلخل..... 25
2-3 خواص سنگدانه های سبک 26

فصل سوم - بررسی خواص بتن سبک

3-1 - مقدمه..... 30
3-2 - تاریخچه استفاده و کاربرد مصالح سبک..... 30
3-3 - اهم مزایای استفاده از بتن سبک 31
3-4 - معایب استفاده از بتن سبک 40
3-5 - انواع تقسیم بندی بتن سبک..... 40
3-5-1 - طبقه بندی بتن سبک بر اساس مقاومت 41
3-5-1-1 - مقدمه..... 41
3-5-1-2 - بتن سبک غیر سازه ای 42
3-5-1-3 - بتن سبک با مقاومت متوسط..... 43
3-5-1-4 - بتن سبک سازه ای 43
3-5-2 - نقطه تقسیم مقاومت در بتن سبک 44
3-5-3 - تقسیم بندی بتن سبک بر اساس روش تولید..... 45
3-5-3-1 - تولید بتن با ایجاد حباب های ریز هوا 45
3-5-3-2 - تولید بتن با ساختار باز 47
3-5-3-3 - تولید بتن با استفاده از سنگدانه های سبک..... 48
3-5-3-3-1 - سبکدانه های طبیعی 49
3-5-3-3-2 - سبکدانه مصنوعی 50
3-5-4 - بتن پلی استایرن منبسط شده..... 51

5-5-3 - بتن خاک اره ای 51
6-5-3 - بتن ESA 52
7-5-3 - بتن OPS 53
8-5-3 - بتن سبک با استفاده از NYT 54

فصل چهارم - برنامه آزمایشگاهی

4-1 - مقدمه 57
4-2- مصالح مورد استفاده 57
4-2-1- سیمان 57
4-2-2- میکروسیلیس 57
4-2-3- آب مصرفی 59
4-2-4 - سنگدانه 60
4-2-4-1 - ماسه 60
4-2-4-2 - شن 62
4-2-5 - سبکدانه ها 63
4-2-5-1 - مقدمه 63
4-2-5-2 - آیین نامه ها و استاندارد ها 64
4-2-5-3 - سبکدانه های مورد بررسی 64
4-2-6 - فوق روان کننده 69
4-3 - رطوبت و جذب آب 70
4-4 - آب آزاد و آب اختلاط 72
4-5- طرح اختلاط و ساخت بتن 73
4-6 - قالب گیری نمونه ها 75
4-6 -1 - نحوه قالب گیری نمونه ها 75
4-6 -2 - ابعاد نمونه ها 75
4-7 - عمل آوری نمونه ها 76

8-4 - آزمایش های انجام شده 77
1-8-4 آزمایش بتن تازه 77
1-1-8-4 - آزمایش اسلامپ 77
1-1-1-8-4 - نحوه آزمایش اسلامپ 77
2-1-1-8-4 - نتایج آزمایش اسلامپ 78
2-1-8-4 - آزمایش چگالی (جرم حجمی) بتن سبک تازه 79
1-2-1-8-4 - حداکثر چگالی بتن سبک تازه 79
2-2-1-8-4 - نحوه آزمایش و محاسبه چگالی بتن تازه 80
2-8-4 - آزمایشهای بتن سخت شده 80
1-2-8-4 - مقاومت فشاری 80
2-2-8-4 - مقاومت خمشی (مدول گسیختگی) 82
3-2-8-4 - مقاومت کششی (شکافت) 84
4-2-8-4 - آزمایش جذب آب 85

فصل پنجم - بحث بر روی نتایج

1-5 مقدمه 87
2-5- نتایج آزمایشات بتن تازه 88
1-2-5 آزمایش اسلامپ 88
2-2-5 - آزمایش جرم حجمی(چگالی) بتن تازه 89
3-5- نتایج آزمایشات بتن سخت شده 92
1-3-5 - بررسی تغییرات مقاومت فشاری 92
2-3-5 - بررسی تغییرات مقاومت فشاری و جرم حجمی 96
3-3-5 - بررسی عملکرد سازه ای 97
4-3-5 - بررسی عملکرد سازه ای، مقاومت فشاری و جرم حجمی بتن تازه نمونه های ساخته شده از سبکدانه های مشابه توسط سایر محققین 99
5-3-5 - بررسی تغییرات مقاومت کششی به روش دو نیم شدن 103

5-3-6 - بررسی رابطه بین مقاومت فشاری و مقاومت کششی 107
5-3-7 - بررسی تغییرات مقاومت خمشی 111
5-3-8 - بررسی رابطه بین مقاومت فشاری و مقاومت خمشی 115
5-3-9 - بررسی تغییرات جذب آب 118

فصل ششم - نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات

6-1 - مقدمه 123
6-2 - نتیجه گیری 123
6-3 - پیشنهادات 125

مراجع 126

فهرست جداول

عنوان **شماره صفحه**

جدول 2-1 - میزان تولید پومیس در ایران (تن) 9

جدول 2-2 – مقادیر تولید سالانه پومیس و مواد مشابه در جهان در سال 2009 (تن) 13

جدول 2-3 - لیست ذخایر مهم پرلیت در ایران 15

جدول 2-4 - اطلاعات تولید پرلیت منبسط در ایران 15

جدول 2-5 - مصرف پرلیت منبسط در صنایع مصرف کننده داخلی (تن) 16

جدول 2-6 - مقادیر تقریبی تولید پرلیت در کشورهای مختلف در سال 2010 (هزارتن) 17

جدول 2-7 - میزان تولید ورمیکولیت در کشورهای مختلف جهان در سال 2009 (هزارتن) 19

جدول 2-8- تولید رس منبسط در کشور 21

جدول 2-9 - مقدار تولید و مصرف سالانه خاکستر بادی در ایالات متحده (تن) 25

جدول 2-10 – خصوصیات سبکدانه ها 27

جدول 2-11 – کاربردها, کشورهای تولید کننده و حجم تولید جهانی سبکدانه ها 28

جدول 3-1 - طبقه بندی بتن سبک 41

جدول 3-2 - خواص مهندسی بتن کفدار 46

جدول 3-3 - مقایسه خصوصیات فیزیکی سبکدانه های سیلیسی و رسی 53

جدول 3-4 - ویژگی های دانه های OPS در مقایسه با ماسه 54

جدول 3-5 - ویژگی بتن سخت شده OPS 54

جدول 3-6 - برخی از ویژگی های NYT 55

جدول 3-7 - برخی از خصوصیات بتن تازه و سخت شده با NYT 55

جدول 3-8 - مقایسه خصوصیات بتن تازه و سخت شده بتن های حاوی لیکا و NYT 55

جدول 4-1- ترکیبات شیمیایی و خواص فیزیکی میکروسیلیس 58

جدول 4-2- الزامات بروز خاصیت پوزولانی در میکروسیلیس 59

جدول 4-3 - جزئیات دانه بندی ماسه مصرفی 60

جدول 4-4- جزئیات دانه بندی شن مصرفی 62

جدول 4-5 - جزئیات دانه بندی سبکدانه لیکا مصرفی 65
جدول 4-6 - جزئیات دانه بندی سبکدانه پومیس مصرفی 66
جدول 4-7 - جزئیات دانه بندی سبکدانه پرلیت مصرفی 67
جدول 4-8 - جزئیات دانه بندی سبکدانه اسکریا مصرفی 68
جدول 4-9 - مشخصات سبکدانه های مصرفی 69
جدول 4-10 - ویژگی های فوق روان کننده GLENIUM-51P 70
جدول 4-11 - جزئیات طرح های اختلاط 74
جدول 4-12- اندازه و تعداد نمونه ها 76
جدول 5-1- علائم اختصاری خصوصیات مخلوط های بتن 87
جدول 5-2 - نتایج آزمایش اسلامپ 88
جدول 5-3 - درصد کاهش وزن بتن های ساخته شده 91
جدول 5-4 - دسته بندی بتن های ساخته شده 91
جدول 5-5 - نتایج مقاومت فشاری، جرم حجمی و عملکرد سازه ای طرح های مختلف در سن 28 روز 98
جدول 6-5 - جذب آب و کیفیت نمونه ها 120

فهرست شکل ها

عنوان **شماره صفحه**

شکل 2-1 - شکل سمت راست اسکریا و شکل سمت چپ سبکدانه تشکیل شده از آن..... 7

شکل 2-2 - سبکدانه های پومیس..... 8

شکل 2-3 - سبکدانه های توف..... 9

شکل 2-4 - سمت راست دیاتومیت و سمت چپ دیاتومه..... 10

شکل 2-5 - نمایی از معادن دیاتومیت مراغه (سمت راست) و ممقان آذر شهر (سمت چپ)..... 11

شکل 2-6 - بترتیب از چپ به راست، سنگ پرلیت، پرلیت شکسته شده، پرلیت منبسط شده..... 14

شکل 2-7 - شکل تولید سالیانه پرلیت در ایران..... 16

شکل 2-8 - ورمیکولیت قبل و پس از متورق شدن و رخنمون رگه ورمیکولیتی..... 18

شکل 2-9 - سبکدانه لیکا، سمت راست در سایزهای مختلف، وسط سایز بر اساس میزان حرارت برای انبساط، چپ مقطع برش خورده..... 20

شکل 2-10 - شیل منبسط شده..... 23

شکل 2-11 - سنگ اسلیت و اسلیت منبسط شده..... 23

شکل 2-12 - سبکدانه های ساخته شده با خاکستر بادی..... 24

شکل 2-13 – سرباره کوره آهن گدازی (الف) سبکدانه خنک شده در هوا (ب)، سبکدانه خنک شده توسط جت آب (پ)..... 26

شکل 3-1 - معبد پانتئون..... 31

شکل 3-2 - آمفی تئاتر کلوسئوم..... 31

شکل3-3 - کشتی آتلانتوس به وزن 3000 تن..... 32

شکل 3-4 - کشتی سلما به وزن 7500 تن و طول 132 متر..... 32

شکل 3-5 - ترمینال TWA در فرودگاه نیویورک..... 33

شکل 3-6 - فرودگاه دالس در واشنگتن..... 33

شکل 3-7 - سالن اطراف هتل Lake و تیر های پیش ساخته به کار رفته در آن..... 34

شکل 3-8 - تصویر شماتیک و واقعی از نحوه اجرا عرشه پل رودخانه sJame..... 35

شکل 3-9 - پل رودخانه Coleman..... 35

شکل 3-10 - پل Jeff Danzer 37
شکل 3-11 - پل رودخانه Mattaponi 37
شکل 3-12 - نمونه هایی از المان پیش ساخته 37
شکل3-13 - ضریب هدایت حرارتی انواع بتن های ساخته شده با سنگدانه های سبک 39
شکل 3-14 - ارتباط بین جرم حجمی با نوع بتن سبک و سبکدانه مصرفی 42
شکل 3-15 - نمودار ارتباط بین حجم سبکدانه ها و مقاومت فشاری 44
شکل 3-16 - بتن با ساختار باز 47
شکل 3-17 - نمونه های از بتن EPS 51
شکل 4-1- ترکیبات شیمیایی و خواص فیزیکی سیمان پرتلند مصرفی 57
شکل 4-2 - منحنی دانه بندی ماسه (ASTM C33) 61
شکل 4-3 - منحنی دانه بندی ماسه (مقررات ملی ساختمان ایران مبحث 9) 61
شکل 4-4 - منحنی دانه بندی شن (ASTM C33) و (مقررات ملی ساختمان ایران مبحث 9) 63
شکل 4-5 - منحنی دانه بندی لیکا (ASTM C330-82a) و (مقررات ملی ساختمان ایران مبحث 9) 65
شکل 4-6 - منحنی دانه بندی پومیس (ASTM C330-82a) و (مقررات ملی ساختمان ایران مبحث 9) 66
شکل 4-7 - منحنی دانه بندی پرلیت (ASTM C330-82a) و (مقررات ملی ساختمان ایران مبحث 9) 67
شکل 4-8 - منحنی دانه بندی اسکریا (ASTM C330-82a) و (مقررات ملی ساختمان ایران مبحث 9) 68
شکل 4-9 - حالت های مختلف رطوبتی سنگدانه ها 71
شکل 4-10 - حالت های مختلف رطوبتی سنگدانه ها 71
شکل 4-11 - مراحل انجام آزمایش اسلامپ 78
شکل 4-12 - موارد مختلف نتایج آزمایش اسلامپ 79
شکل 4-13 - دستگاه تست مشخصات مکانیکی بتن 82
شکل 4-14- دستگاه آزمایش مقاومت کششی (مدول گسیختگی) بتن 83
شکل 4-15- دستگاه آزمایش شکافتن بتن 84
شکل 4-16 - حوضچه نگه داری نمونه ها 85
شکل 5-1 - جرم حجمی بتن در ترکیب های مختلف 89
شکل 5-2 - تغییرات جرم حجمی در کلیه نمونه ها 90
شکل 5-3 - تغییرات مقاومت فشاری در درصدهای متفاوت جایگزینی شن با سبکدانه های مختلف در سن 7 روز 92

شکل 5-4 - تغییرات مقاومت فشاری در درصدهای متفاوت جایگزینی شن با سبکدانه های مختلف در سن 14 روز 93
شکل 5-5 - تغییرات مقاومت فشاری در درصدهای متفاوت جایگزینی شن با سبکدانه های مختلف در سن 28 روز 93
شکل 5-6 - تغییرات مقاومت فشاری در درصدهای متفاوت جایگزینی شن با سبکدانه های مختلف در سن 42 روز 94
شکل 5-7 - تغییرات مقاومت فشاری در سنین مختلف برای ترکیب های با 80 درصد جایگزینی شن با سبکدانه های مختلف..... 95
شکل 5-8 - تغییرات مقاومت فشاری در سنین مختلف برای ترکیب های با 65 درصد جایگزینی شن با سبکدانه های مختلف..... 95
شکل 5-9 - تغییرات مقاومت فشاری در سنین مختلف برای ترکیب های با 50 درصد جایگزینی شن با سبکدانه های مختلف..... 96
شکل 5-10 - تغییرات جرم حجمی بتن با مقاومت فشاری در سن 28 روز برای درصدهای متفاوت جایگزینی شن با سبکدانه های مختلف 97
شکل 5-11 - مقایسه عملکرد سازه ای نمونه ها در هر گروه سبکدانه 98
شکل 5-12 - عملکرد سازه ای کلیه طرح ها از بزرگترین تا کوچکترین مقدار 99
شکل 5-13 - جرم حجمی و مقاومت فشاری کلیه نمونه های ساخته شده و مقایسه شده 101
شکل 5-14 - عملکرد سازه ای بر اساس درصد جایگزینی کلیه نمونه های ساخته شده و مقایسه شده 101
شکل 5-15 - تغییرات مقاومت کششی در درصدهای متفاوت جایگزینی شن با سبکدانه های مختلف در سن 28 روز 103
شکل 5-16 - نحوه شکست سبکدانه و سنگدانه در جهات مختلف نیرو.....104
شکل 5-17 - تصویر سمت راست نحوه عبور ترک از داخل سبکدانه اسکریا و تصویر سمت چپ نحوه عبور ترک از داخل سنگدانه.....104
شکل 5-18 - توزیع سبکدانه ها و تصویر شکست آنها بعد از آزمایش شکافت.....105
شکل 5-19 - درصد تغییرات مقاومت کششی نمونه ها نسبت به نمونه شاهد.....106
شکل 5-20 - مقاومت کششی کلیه طرح ها از بزرگترین تا کوچکترین مقدار 107
شکل 5-21 - تغییرات مقاومت کششی در مقایسه با مقاومت فشاری در سن 28 روز.....108
شکل 5-22 - رابطه مقاومت کششی با مقاومت فشاری نمونه های مختلف 109
شکل 5-23 - رابطه مقاومت کششی با مقاومت فشاری نمونه های مختلف 110
شکل 5-24 - رابطه کلی مقاومت کششی با مقاومت فشاری برای همه نمونه ها.....111
شکل 5-25 - نتایج مدول گسیختگی ترکیبات با درصد های متفاوت جایگزینی شن با سبکدانه های مختلف 112
شکل 5-26 - توزیع سبکدانه ها و تصویر شکست آنها بعد از آزمایش مدول گسیختگی.....113
شکل 5-27 - درصد تغییرات مقاومت خمشی نمونه ها نسبت به نمونه شاهد.....114
شکل 5-28 - مقاومت خمشی کلیه طرح ها از بزرگترین تا کوچکترین مقدار 115

شکل 5-29 - تغییرات مقاومت خمشی بر اساس مقاومت فشاری 116
شکل 5-30 - رابطه مقاومت خمشی با مقاومت فشاری نمونه های مختلف 117
شکل 5-31 - رابطه کلی مقاومت خمشی با مقاومت فشاری برای همه نمونه ها 117
شکل 5-32 - تغییرات جذب آب در سن 28 روز برای ترکیب های با 50 درصد جایگزینی شن با سبکدانه های مختلف 118
شکل 5-33 - تغییرات جذب آب در سن 28 روز برای ترکیب های با 65 درصد جایگزینی شن با سبکدانه های مختلف 119
شکل 5-34 - تغییرات جذب آب در سن 28 روز برای ترکیب های با 80 درصد جایگزینی شن با سبکدانه های مختلف 119
شکل 5-35 - جذب آب و مقاومت فشاری نمونه ها 121

چکیده

بررسی خواص مهندسی بتن سبک، حاوی سبکدانه های متفاوت
مجتبی رضایی دوگاهه

نیاز بشر به بتن امری اجتناب ناپذیر است. از این رو بتن یکی از پرمصرفترین ماده ها در قرن حاضر می باشد. یکی از مهمترین عواملی که امروزه باعث افزایش بیشتر مصرف بتن می شود کاهش وزن آن درکنار حفظ مقاومت می باشد که 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، کاهش مصرف میلگردها، افزایش مساحت مفید ساختمان، کاهش نیروی زلزله وتبعات جانی و مالی آن در اثر کاهش برش پایه و...می باشد. این فواید باعث شده تا از دهه های گذشته اکثر کشورها به ساخت ساختمانهای مرتفع، پل هایی با طول بلند و دهانه های عریض، تونل و ...از بتن های سبک و نیمه سبک بپردازند. با وجود اینکه کشور ما دارای منابع مختلف و متعدد سبکدانه می باشد اما استفاده از بتن سبک سازه ای هنوز در مرحله تحقیقاتی می باشد.

در این رساله 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 تحقیق در این پایان نامه 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 درصدهای مختلف جایگزینی 50، 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 7، 14، 28و 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 قرارگرفتند. 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.

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

1-1 - مقدمه

نیاز بشر به بتن امری اجتناب ناپذیر است. از این رو بتن یکی از پرمصرفترین ماده ها در قرن حاضر می باشد. یکی از مهمترین عواملی که امروزه باعث افزایش بیش از پیش مصرف بتن می شود، نیاز گسترده و روز افزون جامعه به ساختمان و مسکن است، از این رو 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.

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. کاهش وزن ساختمان بوسیله سبک سازی بتن علاوه بر صرفه جویی در هزینه های اقتصادی و زمان و انرژی بوسیله عایق بودن در مقابل گرما، سرما و صدا، مقاومت فوق العاده در مقابل آتش، کاهش ابعاد برخی از اجزا ساختمان، صرفه جویی در میزان مصرف میلگرد های فولادی استفاده شده در اسکلت و پی، افزایش مؤثر فضای مفید درون سازه ای، قابلیت های مختلف انعطاف و تنوع در اشکال و کار پذیری، سادگی و سرعت و سهولت در اجرا، باعث شده تا زیان های جانی و مالی ناشی از حوادث طبیعی مانند زلزله، سیل، باد و ... کاهش پیدا کند و صدمات ناشی از وزن زیاد ساختمان را به حداقل رساند. این فواید باعث شده تا از دهه های گذشته اکثر کشورها به ساخت سازه هایی هم چون ساختمانهای مرتفع، پل هایی با طول بلند و دهانه های عریض، سازه های فرا ساحلی، تونل، ورزشگاه و ... از انواع بتن های سبک بپردازند.

ایران درحالی به روش های مدرن ساختمان سازی از جمله سبک سازی و کاربرد بتن سبک می نگرد که زمین لرزه های های مخربی 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.

در کشور ما اگرچه بسترهای مناسبی برای استفاده از مصالح و شیوه های سبک سازی وجود داشته و دارد و حتی مبحث پنجم از مقررات ملی ساختمان ایران نیز بر آن تاکید داشته است، لیکن کاربرد عملی آن علیرغم مزایای فراوانش هنوز گسترش نیافته و نیاز به فرهنگ سازی مناسب دارد.

برای بکارگیری تکنیک های سبک سازی نخست باید به مسئله اول علل سنگین شدن وزن ساختمان توجه کافی شود. پس از شناخت این علل و عوامل باید جهت حذف یا به حداقل رساندن تاثیر آنها بر وزن تمام شده ساختمان تلاش نمود.

روش های سبک سازی ساختمان به طور عمده به دو دسته تقسیم می گردند:

1- سبک کردن اجزای باربر ساختمان

2- سبک کردن اجزای غیر باربر ساختمان

بخش عمده ای از مباحث، به سبک سازی و تکنیک های رایج برای دستیابی به وزن مناسب ساختمانی را در بر می گیرد، که شامل: شناخت مصالح سبک رایج در صنعت ساختمان (در داخل و خارج کشور) و تکنولوژی استفاده از آنها، معیار های ارزیابی میزان کارایی این مصالح به عنوان مصالح سبک، میزان تاثیر به کارگیری مصالح نو در کاهش وزن ساختمان، هزینه و زمان مورد نیاز اجرای یک ساختمان می باشند.

سبک سازی سازه ها را می توان راهکاری اصلی، محوری و عملی برای افزایش ایستادگی و ایمنی سازه ها در برابر زلزله دانست.

1-2 - هدف از تحقیق

کشور ایران دارای پتانسیل های فراوان سبکدانه های طبیعی و مصنوعی(منشاء طبیعی) می باشد که تاکنون بررسی های مقایسه ای به صورت همزمان و با یک طرح واحد در نسبتهای مختلف جایگزینی این سبکدانه ها جهت ساخت بتن سبک، در آن انجام نگرفته است. در این رساله با انتخاب سبکدانه های رایج از نظر معادن، منابع تولید و فرآوری، بومی گزینی و همچنین سوابق استفاده در مصارف مختلف به گونه ای که از نظر دسترسی به این سبکدانه ها، مناطق مختلف سراسر کشور پوشش داده شود، به بررسی تاثیرات نسبت های مختلف سبکدانه های طبیعی پومیس و اسکریا و سبکدانه های مصنوعی لیکا و پرلیت در نسبت های مختلف جایگزینی با درشت دانه(شن) طبیعی، در هر گروه از سبکدانه ها، با سایر سبکدانه ها و با نمونه شاهد که فاقد سبکدانه بوده، پرداخته شده است. به این نحو که در کلیه طرح ها، نسبت های مختلف جایگزینی برای کلیه سبکدانه ها یکسان بوده تا بتوان عملکرد سبکدانه های مورد استفاده در فرآیند اختلاط، معایب، مزایا، تاثیر سبک دانه ها در سبک سازی و خصوصیات نمونه های ساخته شده از لحاظ مقاومت فشاری، کششی، خمشی و مقادیر جذب آب، جرم حجمی و اسلامپ مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد.

1-3 - ساختار پایان نامه

این رساله شامل 6 فصل به شرح ذیل می باشد:

فصل اول شامل سه بخش مقدمه، هدف و ساختار پایان نامه است که در قسمت مقدمه دلایل لزوم تحقیق در مورد بتن سبک ارائه گردیده و در قسمت هدف، هدف از انجام این تحقیق تشریح شده است و در قسمت ساختار پایان نامه به مطالب فصول مختلف این پایان نامه اشاره گردیده است.

فصل دوم مروری بر انواع سبکدانه های موجود در ایران و سایر نقاط جهان بوده که با مقدمه ای شامل انواع دسته بندی سبکدانه ها آغاز شده است، سپس به بررسی سبکدانه های رایج در ایران و سایر نقاط جهان پرداخته شده و تلاش بر این بوده

که سبکدانه های مرسوم در ایران شامل اسکریا، لیکا، پومیس و پرلیت با تفضیل بیشتری مورد توجه، ارزیابی و بررسی های آماری قرار گیرند.

فصل سوم مروری بر بتن سبک بوده که با مقدمه ای شامل شرح بسیار مختصری از تعریف بتن سبک و مزایای بتن سبک آغاز می گردد. سپس تاریخچه ای از ساخت و کاربرد انواع بتن سبک تشریح گردیده و در ادامه به معرفی انواع طبقه بندی بتن های سبک متداول پرداخته شده است.

در **فصل چهارم** به ذکر برنامه آزمایشگاهی در نظر گرفته شده پرداخته می شود. لذا در ابتدای امر، مصالح مصرفی معرفی شده و در ادامه به طرح اختلاط ها و نمونه های مورد آزمایش اشاره می شود و سپس آزمایش های انجام شده تشریح می گردد.

فصل پنجم نیز شامل بحث، بررسی و تفسیر نتایج بدست آمده از آزمایشات مختلف می باشد. در این قسمت نتایج آزمایش های اسلامپ، چگالی بتن تازه در روز ساخت نمونه و آزمایش های مقاومت فشاری، شکافت، مدول گسیختگی و جذب آب در سن 28 روز ارائه گردیده که تنها در مورد مقاومت فشاری نتایج علاوه بر سن 28 روز، در سنین 7، 14 و 28 روز هم آمده است. همچنین اکثر نتایج در قالب نمودار و جدول نمایش داده شده است.

در **فصل ششم** که فصل انتهایی می باشد، نتایج آزمایشات بصورت کلی بیان شده و پیشنهاداتی نیز برای ادامه تحقیقات در این زمینه ارائه گردیده است.

2-1 - مقدمه

سنگدانه های معمولی عموما دارای چگالی انبوهی 1800-1600 کیلوگرم بر متر مکعب و چگالی دانه ای در حدود 2700-2500 کیلوگرم بر متر مکعب هستند. سبکدانه ها را می توان سنگدانه هایی با چگالی انبوهی و دانه ای کمتر از مقادیر مذکور دانست. سبکدانه در آیین نامه EN 13055 به هر سنگدانه ای اطلاق می شود که چگالی دانه ای کمتر از 2000 کیلوگرم بر متر مکعب و یا چگالی انبوهی کمتر از 1200 کیلوگرم بر متر مکعب داشته باشد. در آیین نامه ACI 318-05 نیز سبکدانه را سنگدانه ای با چگالی انبوهی کمتر از 1120 کیلوگرم بر متر مکعب معرفی کرده اند[2،1]. یکی از دسته بندی های معمول مراجع [5،4،3] برای سبکدانه ها، تقسیم آن ها به دو دسته کلی طبیعی[1] و مصنوعی[2] است.

سنگدانه های پومیس[3]، اسکریا[4]، توف[5] و دیاتومیت[6] را می توان سبکدانه های طبیعی به حساب آورد [5،4،3]. پومیس (پوکه سنگ)، اسکوریا (سنگ پا)، خاکستر ها و توف ها، منشا آتشفشانی دارند ولی برخی دیگر مانند دیاتومیت منشا رسوبی دارند[6]. محدودیت استفاده از این دانه ها اغلب به دلیل مشکلات دسترسی به منابع مناسب و مسائل حمل و نقل است.

سنگدانه های مصنوعی به دسته دیگری اطلاق می شود که برخی از آنها، مانند پرلیت[7]، ورمیکولیت[8]، رس[9]، شیل[10] و اسلیت[11] همگی از جمله مواد اولیه طبیعی هستند که برای ساخت سبکدانه های مصنوعی مورد استفاده قرار می گیرند. خاکستر بادی، خاکستر روباه منبسط شده و خاکستر بستر هم، مواد اولیه ای هستند که به عنوان مواد جانبی صنایع برای ساخت سبکدانه های مصنوعی مورد استفاده قرار می گیرند[5،3]. پرلیت، ورمیکولیت(هم نام با ماده اولیه خود)، لیکا[12]، لیاپور[13]، گرانیولکس(اسلیت منبسط شده)[14]، بیوتیت-ریولیت[15]، لیناژ[16]، پلایت[17]، سرباره اسفنجی[18] و نظایر آن از جمله سبک دانه های مصنوعی به حساب می آیند[5،4،3].

---

[1] Natural
[2] Artificial
[3] Pumice
[4] Scoria
[5] Tuff
[6] Diatomite
[7] Perlite
[8] Vermiculite
[9] Clay
[10] Shale
[11] Slate
[12] LECA (Lightweight Expanded Clay Aggregate)
[13] Liapor
[14] Granulex (Lightweight expanded slate aggregate)
[15] Biotite-Rhyolite
[16] Lytag
[17] Pellite
[18] Foamed Slag