



دانشگاه تهران

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



اولین کنفرانس ملی سبک

بررسی ظرفیت مقاومتی سبکدانه اسکریا به منظور کاربرد در بتن سبکدانه سازه ای

عباس مجدی^۱، محمد شکرچی زاده^۲، احمد جعفری^۱، نیکلاس علی لیبر^۳، عباس ناصری^۴

^۱ استادیار دانشکده مهندسی معدن، پردیس دانشکده های فنی دانشگاه تهران

^۲ سرپرست انستیتو مصالح ساختمانی، پردیس دانشکده های فنی دانشگاه تهران

^۳ مدیر پژوهشی انستیتو مصالح ساختمانی، پردیس دانشکده های فنی دانشگاه تهران

^۴ فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی معدن، دانشکده مهندسی معدن، پردیس دانشکده های فنی دانشگاه تهران

چکیده

وقتی بتن به عنوان یک ماده ترکیبی تحت اثر نیروهای فشاری قرار می گیرد، این نیروها به نسبت سختی اجزای تشکیل دهنده بتن توسط آنها تحمل می شود. در بتن معمولی چون عمدتاً فاز خمیر سیمان ضعیف تر از سنگدانه است، عامل محدود کننده مقاومت بتن، مقاومت ملات است. اما در مورد بتن سبکدانه، معمولاً مقاومت سبکدانه ها از ملات کمتر است، عامل محدود کننده مقاومت بتن، سبکدانه ها هستند. در بتن سبکدانه پارامتری به عنوان ظرفیت مقاومتی مطرح می گردد، به این صورت که قبل از رسیدن مقاومت بتن به ظرفیت مقاومتی، سبکدانه ها اثر کاهنده مشخصی در مقاومت بتن ندارند؛ ولی پس از عبور مقاومت بتن از آن حد، به دلیل ایجاد و گسترش ترک در فاز سبکدانه، با افزایش مقاومت ملات، مقاومت بتن افزایش چندانی پیدا نمی کند. مقدار ظرفیت مقاومتی بتن سبکدانه و رفتار آن پس از ظرفیت مقاومتی، تاثیر اساسی در توجیه اقتصادی برای استفاده از سبکدانه مشخص، در ساخت و تولید بتنی با مقاومت تعیین شده دارد. در این تحقیق، ظرفیت مقاومتی یکی از سبکدانه های طبیعی معمول ایران (اسکریا)، بررسی و با نتایج تحقیقات قبلی درباره ظرفیت مقاومتی سبکدانه پومیس، مقایسه شده است. منحنی نتایج نهایی نشان می دهد سبکدانه اسکریا نسبت به سبکدانه پومیس از ظرفیت مقاومتی بالاتری برخوردار است و قابل استفاده در ساخت بتن سبکدانه سازه ای می باشد.

واژه های کلیدی: بتن سبک، سبکدانه، مقاومت فشاری، مقاومت سنگدانه، ظرفیت مقاومتی

۱- مقدمه

امروزه به دنبال وقوع زلزله های متعدد و مرگبار در گوشه و کنار جهان، مهندسان دریافته اند که سبک سازی سازه ها در مقابل نیروی وارده در اثر زلزله، یکی از مناسب ترین راهکارهای علمی، عملی و اقتصادی جهت کاهش خطرات و آسیب های ناشی از زلزله می باشد [۱]. یکی از راه های سبک سازی سازه ها در عین حفظ مقاومت های لازم، استفاده از بتن سبک سازه ای می باشد.

بارزترین پارامتری که در بتن سبک سبب ایجاد جرم مخصوص کمتر می‌گردد، وجود تخلخل در مواد تشکیل دهنده و خمیره بتن است. این تخلخل به سه روش ایجاد می‌شود. اولین و پرکاربردترین راه، استفاده از سنگدانه متخلخل با جرم مخصوص ظاهری کم است که بتن حاصله بتن سبکدانه نام دارد. راه دوم ایجاد تخلخل در خمیر سیمان است که بتن های گازی و کفی از این دسته اند. سومین راه بر اساس حذف سنگدانه های ریز از مخلوط بتن استوار است که بتن حاصله بتن بدون ریزدانه نامیده می‌شود. در میان بتن های ساخته شده با این روش ها، متداول ترین روش برای تهیه بتن سبک سازه ای، استفاده از سبکدانه سازه ای است. بنابراین اساس این تحقیق بر مبنای سبک سازی بتن به روش استفاده از سنگدانه های متخلخل و سبک، و ساخت «بتن سبکدانه» استوار است.

علیرغم گسترش تولید و کاربرد بتن سبک در سالهای اخیر، یکی از مهمترین مسائلی که کاربرد بتن سبکدانه را محدود می‌کند، کاهش مقاومت فشاری بتن به دلیل استفاده از سبکدانه ها به جای سنگدانه های معمولی است. به عبارت دیگر در دو بتن با طرح اختلاط های یکسان و سنگدانه های مختلف، بتنی که دارای سبکدانه است معمولاً مقاومت کمتری نسبت به بتن با سنگدانه معمولی از خود نشان می‌دهد [۲]. دلیل این امر نیز واضح است. بتن سخت شده از سه فاز ملات بتن، سنگدانه ولایه مرزی تشکیل شده است. بنابراین مقاومت بتن تابعی از مقاومت این سه فاز می‌باشد. معمولاً سبکدانه ها نسبت به سنگدانه های معمولی مقاومت کمتری دارند. بنابراین طبیعی است که با کاهش مقاومت سنگدانه، مقاومت کل بتن نیز کاهش یابد.

Chi و همکاران [۳] ضمن مطالعاتی درباره تاثیر خواص سنگدانه روی بتن های سبکدانه، بیان داشته اند که مقاومت بتن توسط جزء ضعیف تر کنترل می‌شود و با استفاده از مدلسازی میکرومکانیک، روشی برای تخمین مقاومت بتن های سبکدانه ارائه داده اند. در این مورد کارهای مشابهی نیز توسط Yang و Huang [۴] انجام شده است. Karl و Weigler [۵] با مقایسه روند افزایش مقاومت در بتن سبک و ملات، تئوری وجود حدی از مقاومت را ارائه داده اند که پس از آن روند افزایش مقاومت در بتن سبک و ملات تغییر می‌کند. Chen و همکاران [۶] با استفاده از روشهای آزمایشگاهی، صحت این تئوری را تایید کرده اند و روشی برای محاسبه این حد مقاومت ارائه داده اند. بررسی های عددی اثرات مقاومت سنگدانه در مقاومت بتن نیز توسط محققینی چون Mori و Tanaka [۷] و Faust [۸] انجام شده است. در این بررسی ها نیز حدی از مقاومت که پس از آن روند افزایش مقاومت در بتن تغییر می‌کند، مشاهده شده است.

با توجه به بررسی هایی که تاکنون بر روی سبکدانه های طبیعی از جمله اسکریا و پومیس انجام گرفته، باتوجه به نتایج اولیه موجود، چنین به نظر می‌رسد که استفاده از این مواد برای تحقیقات، نتایج مفیدی را در پی داشته است. Hanifi Binici ضمن بررسی اثر سبکدانه پومیس بر رفتارهای مقاومتی بتن سبکدانه، به تاثیر وجود این سبکدانه بر مقاومت ملات بتن ساخته شده با آن پرداخته است [۹]. Fatih Altun و همکارانش [۱۰] در اقدامی جدید، با استفاده از تئوری شبکه های عصبی، به بررسی مقاومتی بتن سبکدانه مسلح شده با الیاف فلزی پرداخته اند. Gunduz به بررسی مقاومتی بتن های سبکدانه ساخته شده با اسکریا، پومیس و پرلیت پرداخته و نتایج را بر روی بلوک های ساختمانی سبک غیرباربر آزمایش کرده است [۱۱]. در این تحقیق نتایج اسکریا و پومیس بهترین نتایج بوده اند. Moufti و Sabatan ضمن انتخاب اسکریا به عنوان سبکدانه مقاوم، تحقیقاتی را بر روی مقاومت های فشاری بتن و ملات بتن ساخته شده با این سبکدانه (قالب گیری شده در آزمایشگاه) انجام دادند و نتایج به دست آمده، ملزومات استاندارد ASTM را برآورده کرد [۱۲].

در این مقاله، هدف این است که محدوده ظرفیت مقاومتی مذکور، برای یک نوع سبکدانه موجود در کشور (اسکریا) به همراه وابستگی ظرفیت مقاومتی به تغییر حجم نسبی سبکدانه و روش تعیین این کمیت تعیین گردیده و در انتها نتایج آزمایشات با تجربه مشابه پژوهشگر در مورد سبکدانه پومیس مقایسه شود. ویژگی شاخص تحقیق حاضر در این است که اولاً برای اولین بار، ظرفیت مقاومتی سبکدانه اسکریا بررسی می‌گردد، ثانیاً با وجود آزمایش های انجام یافته در این مورد در سایر کشورها، بدلیل ماهیت طبیعی سبکدانه اسکریا، سبکدانه خاص هر منطقه نیاز به انجام آزمایش های جدید دارد که تحقیق حاضر، هدف مذکور را نیز تامین می‌کند.

۲- تئوری ظرفیت مقاومتی

در بتن معمولی مقاومت سنگدانه معمولاً بیشتر از مقاومت ماتریس آن است. بنابراین عامل تعیین کننده در مقاومت بتن، مقاومت ماتریس در بر گیرنده سنگدانه ها می‌باشد. در این حالت انتظار می‌رود که افزایش یا کاهش مقاومت بتن صرفاً تابعی از مقاومت

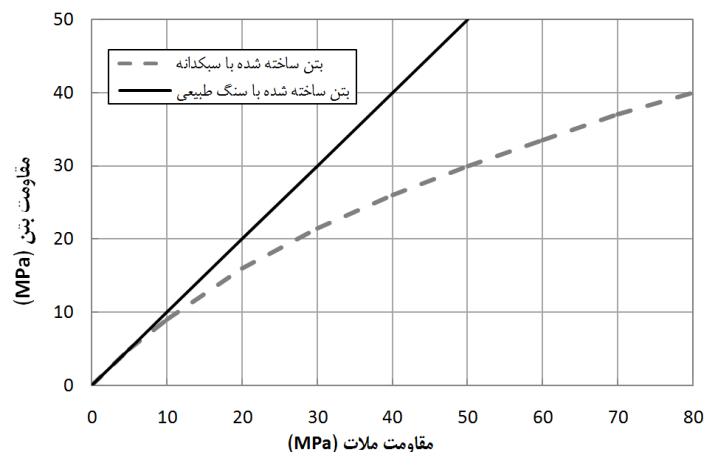
ماتریس آن باشد. در بررسی بتن سبکدانه می توان در نظر گرفت که بتن از دو فاز تشکیل شده است. فاز اول ملات که شامل خمیر سیمان و ریزدانه طبیعی است و فاز دوم که شامل درشت دانه سبک است [۲].

در بتن سبکدانه معمولاً مقاومت سبکدانه چندان زیاد نیست و مقاومت بتنی تابعی از هر دو عامل مقاومت سبکدانه و مقاومت ملات در بر گیرنده آن است. فرض شود مقاومت مشخصی از بتن مورد نیاز است. در صورتی که مقاومت سبکدانه کمتر از مقاومت مشخصه مورد نیاز بتن باشد، مقاومت ملات بتن سبکدانه باید از مقاومت ماتریس بتن معمولی متناظر آن بیشتر شود تا هر دو بتن دارای مقاومت فشاری یکسان باشند. این افزایش مقاومت ملات بتن سبکدانه که معمولاً به وسیله افزایش عیار سیمان یا استفاده از مواد افزودنی شیمیایی انجام می شود، هزینه ای اضافی به ساخت بتن تحمیل می کند که ممکن است استفاده از بتن سبک را غیر اقتصادی بنماید. بنابراین انتخاب سبکدانه مناسب برای کاربرد در بتن سبک باید بر مبنای مقاومت مشخصه مورد نیاز بتن انجام گیرد. در حالت ایده آل مقاومت سبکدانه بهتر است که بزرگتر یا برابر مقاومت مشخصه مورد نیاز بتن باشد [۱۳].

تعیین مقاومت مطلق سنگدانه به دلیل عدم امکان انجام آزمایش مستقیم مقاومت فشاری و کششی بر روی دانه ها و نیز وابستگی آن به اندازه دانه تقریباً امکان پذیر نمی باشد. از سوی دیگر حتی در صورت معلوم بودن مقاومت مطلق سبکدانه، بررسی نحوه تاثیر آن بر مقاومت بتن نیازمند تحلیل عددی محیط مرکب بر مبنای اندرکنش سنگدانه ها و ماتریس در بر گیرنده آن با استفاده از روشهای مکانیک شکست غیر خطی است که بر پیچیدگی کار می افزاید.

«تئوری ظرفیت مقاومتی» برای حل این مشکل توسعه یافته است. در این تئوری مقاومت بتن و مقاومت ملات تشکیل دهنده آن در مقیاس ماکرو بررسی شده و اثر مقاومت سبکدانه در مقاومت بتن سبک با ترسیم نمودار مقاومت بتن در مقابل مقاومت ملات تشکیل دهنده آن بررسی می گردد. در صورتی که مقاومت سبکدانه بیشتر از مقاومت ملات در بر گیرنده آن باشد (حالتی که در بتن های معمولی ساخته شده با سنگدانه های طبیعی مشاهده می شود) شیب این نمودار برابر یک می گردد. در این حالت به ازای هر واحد افزایش مقاومت ملات، مقاومت بتن نیز یک واحد افزایش می یابد. اما در صورتی که مقاومت سبکدانه کمتر از مقاومت ملات در بر گیرنده باشد (حالتی که در بتن سبکدانه وجود دارد) شیب انتهایی نمودار ظرفیت مقاومتی نسبت به شیب ابتدایی آن، کاهش می یابد. هر چقدر میزان این کاهش شیب بیشتر باشد نشان از مقاومت کمتر سبکدانه ها دارد [۱۴].

ترسیم و بررسی نمودار ظرفیت مقاومتی، تعیین محدوده کاربرد بهینه سبکدانه ها را امکان پذیر می نماید. نمودار ظرفیت مقاومتی بتن های سبکدانه مطابق شکل ۱ معمولاً به صورت خط صاف نبوده و نمی توان یک شیب برای آن تعریف نمود. معمولاً استفاده از شیب اولیه و شیب ثانویه برای مشخصات نمودار ظرفیت مقاومتی که به شکل منحنی است مناسب می باشد.



شکل ۱: نمودار مقاومت بتن نسبت به مقاومت ملات بتن در بتن های معمولی و سبکدانه [۱۴]

به این ترتیب ظرفیت مقاومتی سبکدانه ها به عنوان پارامتری سودمند برای تعیین محدوده مقاومتی مناسب برای استفاده از سبکدانه، مطرح می شود. برای بدست آوردن ظرفیت مقاومتی، نیاز است مقاومت ملات بتن تغییر داده شود و مقاومت بتن متناظر تعیین گردد [۱۵]. روش های متفاوتی برای تغییر مقاومت ملات بتن قابل استفاده است، مانند: تغییر عیار سیمان، تغییر آب مصرفی و نسبت آب به سیمان، استفاده از مواد افزودنی و تغییر سن نمونه ها. به طور منطقی مقدار ظرفیت مقاومتی باید مستقل از نحوه

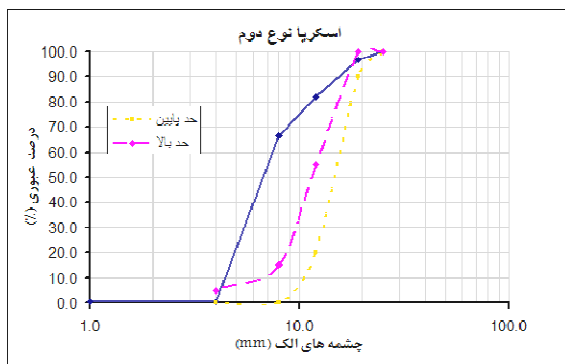
تعیین آن باشد. در این تحقیق از روش تغییر سن نمونه ها و تغییر نسبت آب به سیمان به صورت توانان برای تعیین ظرفیت مقاومتی اسکریا استفاده شده است.

۳- شرایط عمومی آزمایش ها

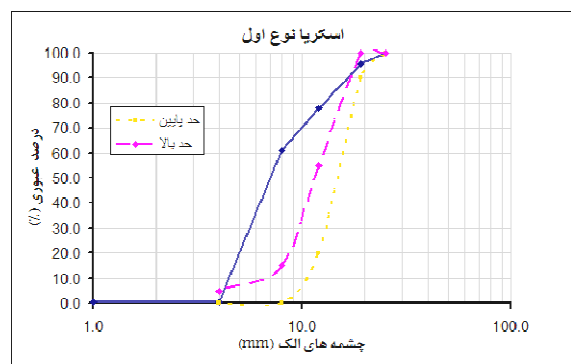
مصالح به کار رفته در این آزمایشها، ماسه شسته شده رودخانه ای (کوچکتر از ۶ mm) و سبکدانه درشت با اندازه حداکثر دانه ۱۲ mm (درشت تر از ۴ mm) و سیمان تپ II تهران می باشد. از Gelenium ۵۱ در برخی از طرح اختلاط ها بعنوان افزودنی روان کننده استفاده شده است. این افزودنی با پایه پلی کربوکسیلات است. در کلیه آزمایش ها، از نمونه های مکعبی ۱۰۰×۱۰۰×۱۰۰mm برای بتن و ملات استفاده شده است. همچنین برای تهیه نمونه های ملات از روش الک تر که در آن از الک کردن بتن تازه توسط الک شماره ۴.۷۵ استاندارد ASTM به نحوی که سبکدانه از ملات جدا گردد استفاده شده است. نمونه های بتن یک روز پس از ساخت از قالب باز شده و تا زمان انجام آزمایش، در آب با دمای 1 ± 24 درجه سانتیگراد نگهداری شدند. شکست نمونه ها به وسیله چک فشاری با ظرفیت ۲۰۰۰ kN و با دقت ۰.۱ kN انجام شد. در طی آزمایش بر روی نمونه ها، سرعت بارگذاری دستگاه ثابت و برابر ۵ kN/Sec بود. نمونه ها یک تا سه ساعت پیش از انجام آزمایش از آب بیرون آورده شدند تا در هوای آزاد خشک شوند. در کلیه آزمایش ها، از میانگین مقاومت دو نمونه ملات و دو نمونه بتنی استفاده شده است.

هدف از انجام آزمایش ها، تعیین ظرفیت مقاومتی سبکدانه های طبیعی است. از آنجا که در تجربه مشابه امدادی و همکاران [۲]، این مقدار برای پومیس به دست آمده است، در این سری از آزمایش ها با تمرکز روی اسکریا، با دو ایده کلی تغییر محل برداشت نمونه و تغییر حجم استفاده شده نمونه در بتن، ظرفیت مقاومتی برای این سبکدانه بررسی شد. برای این منظور به جهت حصول هدف اول یعنی تاثیر جغرافیایی محل استخراج سبکدانه، از دو نوع سبکدانه اسکریا از دو قسمت مختلف معدن مورد استفاده، با نام های S1 و S2 و با مشخصات فیزیکی متفاوت استفاده شد (نمودارهای ۱ و ۲ و جدول ۱). سپس برای حصول هدف دوم یعنی بررسی اثر حجم سبکدانه استفاده شده از دو حجم بالا و پایین مصرف سبکدانه استفاده گردید. حدپایین مقدار سبکدانه، حدی است که اگر کمتر از آن سبکدانه مصرف شود، چگالی بتن سبک از حد مجاز چگالی آن (حدود ۳۲۰۰ kg/m³) بیشتر می شود. حد بالای مصرف سبکدانه هم حدی است که با توجه به عیار مورد استفاده و آب مصرفی در بتن، در صورتیکه بیشتر از آن سبکدانه مصرف گردد، بتن بیش از اندازه خشن شده، ساخت و ویریه آن مشکل می گردد. بدین ترتیب، چهار سری آزمایش مطابق جدول ۲ طراحی و اجرا گردید.

در آزمایش ها، از طرح اختلاط ارائه شده در جدول ۳ برای سبکدانه نوع اول و جدول ۴ برای سبکدانه نوع دوم استفاده شده است. در آزمایش های مربوط به تغییر نسبت آب به سیمان، در طرح اختلاط های با نسبت آب به سیمان ۲۷٪، نمونه ها در سنین ۱، ۳، ۷، ۱۴، ۲۱، ۲۸ روزه و در طرح های با نسبت آب به سیمان ۴۷٪ و ۵۷٪، نمونه ها در سنین ۱، ۳، ۵، ۷، ۱۴، ۲۸ مورد آزمایش قرار گرفته اند.



نمودار ۲: دانه بندی اسکریای نوع دوم



نمودار ۱: نمودار دانه بندی اسکریای نوع اول

جدول ۱: مشخصات فیزیکی سبکدانه های مصرفی

مشخصات فیزیکی	اسکریا نوع اول (S1) اندازه دانه ها ۱۲-۴ میلیمتر	اسکریا نوع دوم (S2) اندازه دانه ها ۱۲-۴ میلیمتر
جرم مخصوص (kg/m^3)	۰.۷۹	۰.۷۸
جذب آب نیم ساعته (%)	۳.۵	۳.۴
جذب آب یک ساعته (%)	۳.۷	۳.۵
جذب آب ۲۴ ساعته (%)	۹.۲	۸.۸

جدول ۲: مشخصات سری آزمایش های طراحی و انجام شده بر روی سبکدانه اسکریا

سری آزمایش	مقدار سبکدانه (دید حجمی)	نوع سبکدانه (دید مکانی)	تعداد نمونه های مکعبی ملات	تعداد نمونه های مکعبی بتن	تعداد طرح اختلاط	تغییرات
۱	حد پایین (کم حجم)	اسکریا - نوع ۱	۳۶	۳۶	۳	درصد آب به سیمان
۲	حد بالا (پر حجم)	اسکریا - نوع ۱	۳۲	۳۴	۳	درصد آب به سیمان
۳	حد پایین (کم حجم)	اسکریا - نوع ۲	۳۶	۳۶	۳	درصد آب به سیمان
۴	حد بالا (پر حجم)	اسکریا - نوع ۲	۳۶	۳۶	۳	درصد آب به سیمان

جدول ۳: طرح اختلاط سری های اول و دوم (مربوط به اسکریا نوع ۱)

اسکریا نوع ۱ (S1)						نوع سبکدانه نسبت آب به سیمان (%) حد مصرفی
۵۷		۴۷		۲۷		
حد بالا	حد پایین	حد بالا	حد پایین	حد بالا	حد پایین	
۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	ماسه (kg/m^3)
۴۹۸	۳۱۱	۴۹۸	۳۱۱	۴۹۸	۳۱۱	سبکدانه (kg/m^3)
۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	سیمان (kg/m^3)
.	.	.	.	۱	۱	افزودنی روان کننده (%)
۱۹۷۷	۲۰۰۴	۲۰۰۵	۲۰۵۴	۱۹۹۸	۲۲۱۳	جرم مخصوص بتن تازه (kg/m^3)
۲۲۵۰	۲۲۶۸	۲۳۲۹	۲۳۱۰	۲۳۶۶	۲۳۳۶	جرم مخصوص ملات تازه (kg/m^3)
۱۹۱۷	۱۹۸۲	۱۹۶۱	۱۹۷۷	۱۹۱۹	۲۰۵۰	جرم مخصوص بتن ۲۸ روزه (kg/m^3)
۲۲۰۴	۲۱۹۱	۲۳۰۱	۲۲۴۱	۲۲۹۱	۲۲۴۵	جرم مخصوص ملات ۲۸ روزه (kg/m^3)

جدول ۴: طرح اختلاط سری های سوم و چهارم (مربوط به اسکریا نوع ۲)

اسکریا نوع ۲ (S2)						نوع سبکدانه نسبت آب به سیمان (%) حد مصرفی
۵۷		۴۷		۲۷		
حد بالا	حد پایین	حد بالا	حد پایین	حد بالا	حد پایین	
۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	ماسه (kg/m^3)
۴۹۸	۳۱۱	۴۹۸	۳۱۱	۴۹۸	۳۱۱	سبکدانه (kg/m^3)
۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	سیمان (kg/m^3)
.	.	.	.	۱	۱	افزودنی روان کننده (%)
۲۰۲۱	۲۰۳۳	۱۷۹۵	۲۰۸۶	۲۰۶۴	۲۱۴۹	جرم مخصوص بتن تازه (kg/m^3)
۲۲۲۱	۲۲۷۸	۱۹۰۹	۲۳۰۱	۲۳۳۳	۲۳۹۹	جرم مخصوص ملات تازه (kg/m^3)
۱۹۷۲	۱۹۶۳	۱۷۷۶	۲۰۲۸	۲۰۲۱	۲۱۱۲	جرم مخصوص بتن ۲۸ روزه (kg/m^3)
۲۱۵۰	۲۲۷۴	۲۲۵۳	۲۲۷۷	۲۲۰۵	۲۳۴۶	جرم مخصوص ملات ۲۸ روزه (kg/m^3)

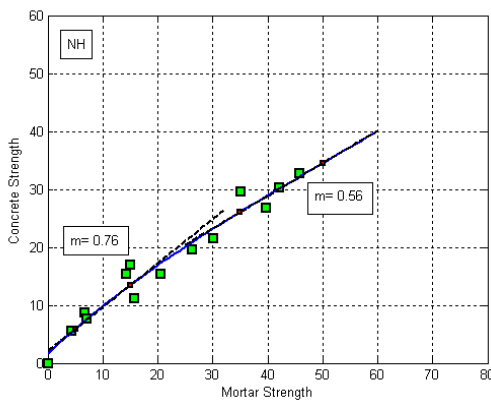
۴- بحث و بررسی نتایج

برای ترسیم نمودارهای ظرفیت مقاومتی از روش تقریب بر مبنای حداقل مربعات متحرک استفاده شده است. استفاده از این روش باعث می‌گردد که نیازی به در نظر گرفتن الگوی خاص از پیش تعیین شده مانند توابع خطی، درجه دو، نمایی و نظایر آن برای نمودار ظرفیت مقاومتی نباشد و نمودار بهینه بر مبنای آرایش گره‌ها به صورت خودکار ترسیم می‌گردد. برنامه ترسیم نمودار ظرفیت مقاومتی در محیط نرم افزار Matlab7.3 نوشته و اجرا گردیده است. نمودارهای ظرفیت مقاومتی هر کدام از سبکدانه های آزمایش شده در ادامه بررسی می‌گردد.

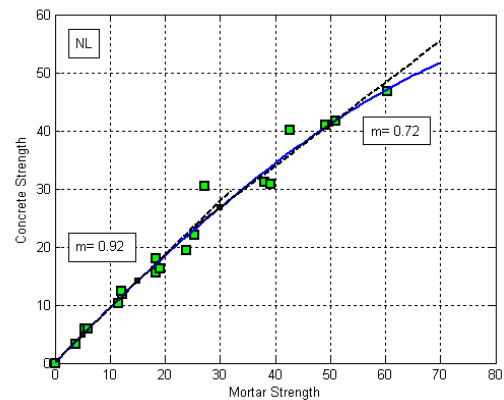
برای بررسی نتایج، نمودار مقاومت بتن در برابر مقاومت ملات، برای سری های اول تا چهارم آزمایش به تفکیک نوع اول و نوع دوم سبکدانه، در نمودارهای ۳-الف، ۳-ب، ۴-الف و ۴-ب نشان داده شده است.

در نامگذاری کلیه نمودارها، نام اختصاصی N، برای سبکدانه نوع اول (S1) و نام اختصاصی M، برای سبکدانه نوع دوم (S2) استفاده شده است. همچنین نام اختصاصی L، برای نشان دادن حجم پایین مصرف سبکدانه و H، برای نشان دادن حد بالای مصرف آن می‌باشد.

همچنین جهت مشاهده تاثیر استفاده از حجم بالا یا پایین سبکدانه، در نمودارهای ۵-الف و ۵-ب، نتایج آزمایش های حد پایین و حد بالا، فارغ از طبقه بندی نوع اول و نوع دوم سبکدانه مصرفی ترسیم شده است.

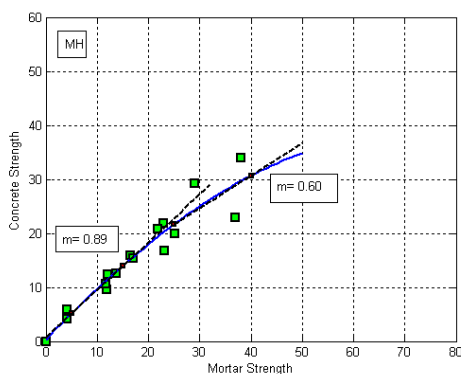


(ب)

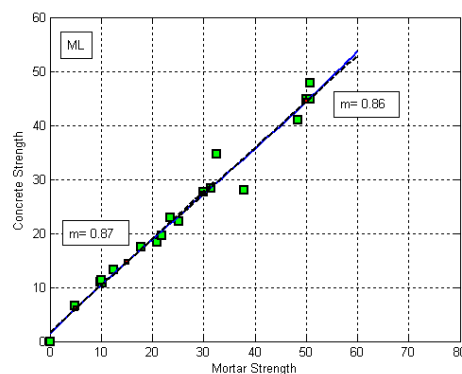


(الف)

نمودار ۳- رابطه بین مقاومت بتن سبک و ملات بتن در بتن های ساخته شده با، الف) اسکریا نوع ۱ و حد پایین (سری اول)، ب) اسکریا نوع ۱ و حد بالا (سری دوم)

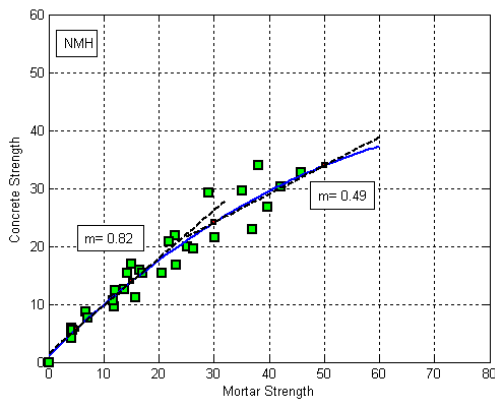


(ب)

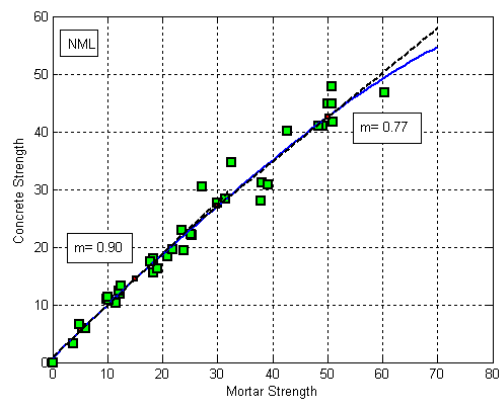


(الف)

نمودار ۴- رابطه بین مقاومت بتن سبک و ملات بتن در بتن های ساخته شده با، الف) اسکریا نوع ۲ و حد پایین (سری سوم)، ب) اسکریا نوع ۲ و حد بالا (سری چهارم)



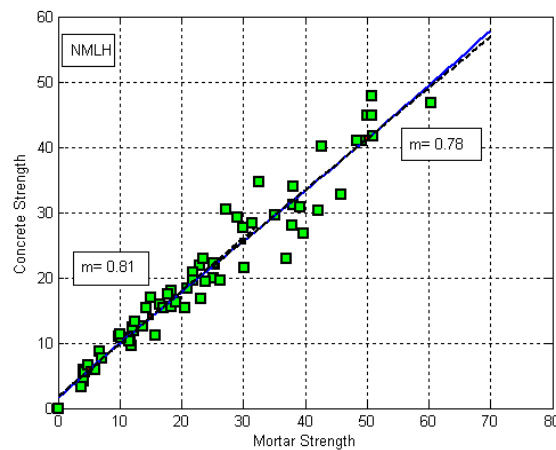
(ب)



(الف)

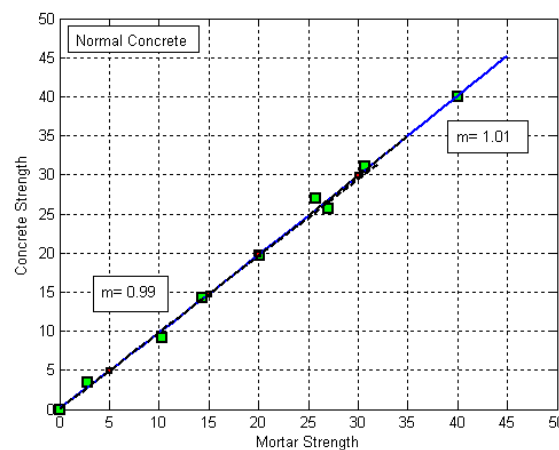
نمودار ۵) رابطه بین مقاومت بتن سبک و ملات بتن در بتن های ساخته شده با الف) حد پایین (سری های اول و سوم)، ب) حد بالا (سری های دوم و چهارم)

در ادامه، جهت مقایسه کلی بین بتن سبکدانه اسکریا با بتن معمولی، صرفنظر از تاثیر محل برداشت نمونه و یا حجم مصرفی سبکدانه در بتن، با استفاده از داده های کلیه آزمایش های انجام شده بر روی اسکریا (هرچهار سری آزمایش) نمودار ۶ ترسیم شد.



نمودار ۶) رابطه بین مقاومت بتن سبک و ملات بتن در کلیه بتن های ساخته شده با اسکریا (هر چهار سری آزمایش)

همچنین به جهت مقایسه بهتر این دو نوع بتن، در نمودار ۷، نمودار مقاومت بتن در برابر مقاومت ملات در حالت بتن معمولی (بدست آمده از آزمایش تغییر سن) بر اساس تجارب امدادی و همکاران، نشان داده شده است [۲]. این نمودار بر اساس داده های آزمایش های ایشان، در محیط نرم افزار نوشته شده در این تحقیق، اجرا و رسم گردیده است.



نمودار ۷: تغییرات مقاومت بتن معمولی بر حسب مقاومت ملات بتن (روش تغییر سن) [۲]

جدول ۵: مقادیر ظرفیت مقاومتی به دست آمده از آزمایش ها

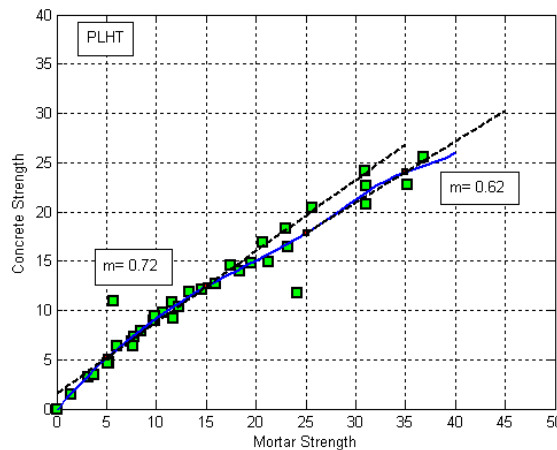
نوع بررسی	شیب منحنی		سری آزمایش
	شیب ابتدایی	شیب انتهایی	
تفکیک نوع سبکدانه و حجم مصرفی	۰.۷۲	۰.۹۲	اسکریا نوع ۱ - حد پایین
	۰.۵۶	۰.۷۶	اسکریا نوع ۱ - حد بالا
	۰.۸۶	۰.۸۷	اسکریا نوع ۲ - حد پایین
	۰.۶۰	۰.۸۹	اسکریا نوع ۲ - حد بالا
تفکیک حجم مصرفی بدون تفکیک نوع سبکدانه	۰.۷۷	۰.۹۰	اسکریا نوع ۱ و ۲ - حد پایین
	۰.۴۹	۰.۸۲	اسکریا نوع ۱ و ۲ - حد بالا
بدون تفکیک (بررسی کلیه نتایج)	۰.۷۸	۰.۸۱	اسکریا

همانطور که پیش تر نیز اشاره شد و انتظار می رفت، در بتن معمولی هیچ تغییر محسوسی در شیب نمودار مشاهده نمی شود. شیب خط بدست آمده در حدود یک می باشد و با افزایش مقاومت ملات، مقاومت بتن نیز به همان نسبت افزایش می یابد. اما در بتن سبک، پس از عبور مقاومت بتن از ظرفیت مقاومتی سبکدانه، شیب نمودار مقاومت بتن به مقاومت ملات بتن مقداری کاهش می یابد. این کاهش ناچیز در شیب نمودار قبل و بعد از ظرفیت مقاومتی، بیانگر مقاومت نسبی قابل توجه سبکدانه اسکریا می باشد.

در جدول ۵، میزان شیب اولیه و ثانویه نمودارهای مقاومت بتن بر حسب مقاومت ملات سبکدانه اسکریا به تفکیک نوع ۱ و نوع ۲ (تعیین شده توسط روش تغییر نسبت آب به سیمان) نشان داده شده است. بر اساس این نتایج، سبکدانه اسکریا از ظرفیت مقاومتی مناسبی برخوردار می باشد؛ چرا که اولاً شیب ابتدایی در تمام نمودارها عدد بالایی بوده (حدود ۰.۸ - نمودارهای ۳ تا ۶) و کاهش چندانی نسبت به شیب ابتدایی نمودار بتن معمولی (حدود ۱ - نمودار ۷) نشان نمی دهد، ثانیاً تفاوت شیب ابتدایی و انتهایی در تمامی نمودارها ناچیز بوده و عمده تفاوت در آزمایش های سری های حد بالا (که به دلیل حجم زیاد سبکدانه، مخلوط خشن شده و شاهد ناهمگنی در قالب گیری نمونه ها بودیم) روی داده است. همچنین با بررسی نمودارهای ۳-الف و ۴-الف با یکدیگر و همچنین ۳-ب و ۴-ب با هم، قابل ذکر است محل برداشت نمونه و به عبارتی استفاده از سبکدانه های اسکریا نوع ۱ و نوع ۲، تاثیر چندانی در نتایج حاصله ندارد. همچنین با بررسی نمودارهای ۵-الف و ۵-ب با یکدیگر، تاثیر حد مصرفی سبکدانه در بتن نیز بسیار ناچیز ارزیابی می شود. به عبارت بهتر، بر اساس نمودارهای ۳ تا ۶ حد بالا و یا پایین حجم استفاده از هر کدام از سبکدانه ها، تاثیر چندانی در نتایج حاصله نداشته و تفاوت جواب های حاصله ناشی از خطاهای معمول آزمایشگاهی می باشد. بنابراین می توان ظرفیت مقاومتی سبکدانه مورد استفاده در بتن سبک را صرفاً تابعی از مقاومت سبکدانه اختیار کرد.

عدم وابستگی به حجم مصرفی، در برخی دیگر از سبکدانه های طبیعی از جمله پومیس هم گزارش شده است [۲]. برای مشاهده بهتر رفتار بتن ساخته شده با اسکریا، ضمن مروری بر نتایج بتن ساخته شده با پومیس، با انطباق نمودارهای متناظر هر کدام بر روی یکدیگر نتایج جالبی بدست خواهد آمد.

در تجربه مشابه امدادی و همکاران بر روی سبکدانه پومیس، از دو روش تغییر سیمان و تغییر سن نمونه ها برای تعیین ظرفیت مقاومتی استفاده شده است [۲]. در این تحقیق، وابستگی ظرفیت مقاومتی به روش آزمایش نیز مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت نتایج کلی آزمایش ها پس از ترسیم منحنی داده ها در محیط نرم افزار نوشته شده در این تحقیق، در نمودار ۸ نشان داده شده است.



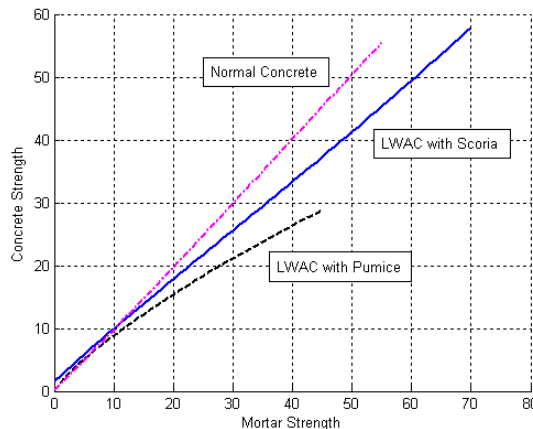
نمودار ۸: رابطه بین مقاومت بتن سبک و ملات بتن در بتن های ساخته شده با پومیس (کلیه حالات) [۲]

بر اساس این نتایج، سبکدانه پومیس از ظرفیت مقاومتی ضعیف تری نسبت به اسکریا برخوردار می باشد؛ چرا که شیب ابتدایی حدود ۰.۷ است و نسبت به شیب ابتدایی نمودار بتن معمولی (حدود ۱) کاهش محسوسی دارد. همچنین شیب انتهایی آن به ۰.۶ کاهش می یابد.

در انتها با انطباق نمودار نتایج کلی رابطه مقاومت بتن و ملات آن، در بتن معمولی و بتن سبکدانه ساخته شده با پومیس بر نتایج کلی بتن سبکدانه ساخته شده با اسکریا در نمودار ۹ و بررسی شیب ابتدایی و انتهایی نمودارها در جدول ۶ نکات جالبی حاصل می گردد.

بر اساس نمودار ۹، ظرفیت مقاومتی بهینه سبکدانه اسکریا (محل حدودی تغییر شیب منحنی) حدود ۵۰ مگاپاسکال ارزیابی می شود. بر اساس همین نمودار، این ظرفیت برای سبکدانه پومیس در حدود ۲۰ مگاپاسکال می باشد.

همچنین نتایج آزمایش های سبکدانه اسکریا تا محدوده تقریبی ۷۰ مگا پاسکال با افت شیب بسیار کم پیش رفته است، لیکن در مورد سبکدانه پومیس، علیرغم اینکه نتایج آزمایش ها تا محدوده تقریبی ۴۰ مگا پاسکال موجود است، با توجه به افت شیب محسوس در این بازه، با ادامه ساخت نمونه ها و انجام آزمایشات تکمیلی، می بایست در محدوده ۷۰ مگا پاسکال (متناظر با محدوده فعلی حداکثر نتایج اسکریا) افت شیب بسیار بیشتری حاصل گردد. این دو نکته، تفاوت ظرفیت مقاومتی این دو سبکدانه را مشهودتر می کند.



نمودار ۹: مقایسه رابطه بین مقاومت بتن سبک و ملات بتن در بتن معمولی، بتن های سبک ساخته شده با اسکریا و پومیس

جدول ۶: مقایسه نتایج آزمایش های ظرفیت مقاومتی

نوع بتن	شیب ابتدایی نمودار	شیب انتهایی نمودار	حداکثر مقاومت حدودی در شیب انتهایی (Mpa)	تغییر شیب ابتدا و انتهای نمودار (%)
بتن معمولی	۰.۹۹	۱.۰۱	۵۵	۱.۹۸
بتن سبکدانه ساخته شده با اسکریا	۰.۸۱	۰.۷۸	۷۰	۳.۷
بتن سبکدانه ساخته شده با پومیس	۰.۷۲	۰.۶۲	۴۵	۱۳.۹

۵- نتیجه گیری

ظرفیت مقاومتی سبکدانه اسکریا با کاهش بسیار کم و قابل اغماض شیب ابتدا و انتهای نمودار نتایج، و شیب ابتدایی نزدیک به نمودار بتن معمولی، بسیار خوب ارزیابی می شود.

ظرفیت مقاومتی سبکدانه اسکریا به دلیل شیب ابتدایی نمودار بالاتر و درصد افت شیب کمتر نسبت به نمودار نتایج سبکدانه پومیس، به صورت تقریبی از ظرفیت مقاومتی پومیس بالاتر ارزیابی می شود.

اگر هدف ساخت بتنی با مقاومت فشاری تک محوره حدود ۱۵-۱۰ مگا پاسکال باشد تفاوتی بین بتن معمولی و بتن های سبکدانه ساخته شده با اسکریا یا پومیس وجود ندارد. در اینصورت ملاک انتخاب فاکتور قیمت تمام شده محصول است.

در حالت استفاده از ملات با مقاومت فشاری تک محوره ۵۰ مگاپاسکال، بر اساس نمودار ۹، در حالت بتن معمولی، مقاومت فشاری متناظر بتن نیز ۵۰ مگاپاسکال خواهد شد، ولی در حالت بتن سبکدانه اسکریا، این مقاومت ۴۲ مگاپاسکال می باشد. این بدان معنی است که با فرض داشتن مقاومت ملات یکسان، در صورت استفاده از بتن سبکدانه اسکریا، با کاهش حدوداً ۲۰٪ ای جرم مخصوص، مقاومت فشاری تک محوره تنها ۱۶٪ افت نشان می دهد. این نکته، تأکیدی بر مزایای استفاده از بتن سبکدانه اسکریا می باشد.

اگر هدف ساخت بتنی با مقاومت فشاری تک محوره حدود ۵۰ مگا پاسکال باشد، تفاوت معناداری بین بتن معمولی و بتن سبکدانه ساخته شده با اسکریا وجود ندارد. به عنوان مثال بر اساس نمودار ۹، در حالت مقاومت مورد نیاز ۵۰ مگا پاسکال برای بتن، به مقاومت ملات ۵۰ مگاپاسکال (در بتن معمولی) و ۶۰ مگاپاسکال (در بتن سبکدانه اسکریا) احتیاج است که به جهت تفاوت کمتر از ۲۰٪ ای حالات مذکور، عملاً هر دو جوابگوی نیاز هستند. در این حالت نیز ملاک انتخاب، فاکتور قیمت تمام شده است.

به جهت حصول تقریبی محدوده افت محسوس شیب ابتدا و انتهای نمودار اسکریا، پیشنهاد می شود در ادامه این تحقیق، آزمایش های تکمیلی تا محدوده مقاومتی ۱۰۰ مگاپاسکال بر روی این سبکدانه انجام گیرد.

۶- مراجع

- [۱] رضانیانپور علی اکبر، نیلفروشان امیر، پیدایش منصور، «کاهش خطرات زلزله با کاربرد بتن های سبکدانه سازه ای در ساختمان»، اولین همایش بین المللی مقاوم سازه ای لرزه ای، ۱۳۸۵، تهران، ایران
- [2]- Emdadi, A., Libre, N.A., Shekarchi, M. "Study of Strength capacity in Light Weight Aggregate Concrete" , Malasia congrese of concrete, 2005, p.p. 127-137.
- [3]-J. M. Chi, R. Huang, C.C. Yang and J.J. Chang : "Effect of aggregate properties on the strength and stiffness of lightweight concrete", Cement & Concrete Composite, 25(2003), p.p. 197-205.
- [4]- C.C. Yang and R. Huang : "A tow-phase model for predicting the strength of concrete", Cement and Concrete Research, 26(1996), p.p. 1567-1577.
- [5]-H. Weiler and S. Karl, Stahlleichtbeton. Bauverlag GMBH, Wiesbaden and Berlin, p.p. 38-43, 1972.
- [6]- H.J. Chen, T. Yen, T.P. Lia and Y.L. Haung: "Determination of the strength capacity and its relation to concrete Strength in light weight aggregate concrete", Cement & Concrete Composites 21, pp. 29-37, 1999.
- [7]-T. Mori and K. Tanaka, Acta Metall, 21, p.p. 571-584, 1973.
- [8]- Thorstem Faust and E.H. Gert: "High strength lightweight Aggregate concrete", 2nd Ph. D. International Symposium, Civil engineering, Budapest, 1998.

- [9]- Hanifi Binici, "Effect of crushed ceramic and basaltic pumice as fine aggregates on concrete mortars properties", *Construction and Building Materials* 21, 2007, p.p. 1191–1197.
- [10]- F. Altun, O. ZgurKisi, K. Aydin, "Predicting the compressive strength of steel fiber added lightweight concrete using neural network", *Construction and Building Materials Magazine*, 2007. In Press.
- [11]- L. Gunduz, "Use of quartet blends containing fly ash, scoria, perlite pumice and cement to produce cellular hollow lightweight masonry blocks for non-load bearing walls", *Construction and Building Materials Magazine*, 2007. In Press.
- [12]- M.R. Moufti, A.A. Sabtan, O.R. El-Mahdy, W.M. Shehata, "Assessment of the industrial utilization of scoria materials in central Harrat Rahat, Saudi Arabia", *Engineering Geology* 57, 2000, p.p. 155–162.

[۱۳] خطیبی جاوید، ربانی علیرضا، حسینی مقداد، «طرح بتن سبک - مطالعات کتابخانه ای و تخصصی»، ۱۳۸۱، ۱۲۳ ص.

[۱۴] انستیتو مصالح ساختمانی دانشکده فنی دانشگاه تهران، «تعیین ظرفیت مقاومتی لیکای سازه ای»، گزارش پایانی پروژه، ۱۳۸۶

[۱۵] لیبر نیکلاس علی، امدادی آرزو، اسلامفر مهدی، رضایی حسن، «بررسی اثر استفاده از بتن سبک در هزینه تمام شده ساختمان های بتنی متعارف»، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، دانشکده معماری و عمران، ۱۳۸۴، ۱۴۳ ص.