

کاربرد روش اجزای محدود در سازه‌های فروسیمانی سبک

امیرحسین مددی^۱، حمید اسکندری*^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی مهندسی عمران، دانشگاه حکیم سبزواری
^۲ استادیار دانشکده فنی و مهندسی، گروه عمران، دانشگاه حکیم سبزواری

Ah_madadi@yahoo.com

*Hamidiisc@yahoo.com

کد موضوع مقاله: C

کد انجمن: 2C

چکیده:

فروسیمان در واقع نوعی بتن مسلح با ضخامت کم است که در آن از توری با قطر سوراخ‌های کم به عنوان مسلح‌کننده استفاده شده و درزهای آن با استفاده از ملات پر شده است. محصولات فروسیمانی به دلیل داشتن وزن سازه‌ای نسبتاً کم کاربردهای فراوانی از جمله ساخت قایق، مخازن، سیلوها، مجسمه‌ها، سقف‌ها و تعمیر سازه‌ها دارند. بنابراین بررسی استانداردهای ساخت فروسیمان و تاثیر استفاده از مواد تشکیل‌دهنده مختلف مانند نوع سنگدانه‌های گوناگون و همچنین مواد افزودنی در سبک‌سازی و بهبود عملکرد سازه‌های فروسیمانی می‌تواند از اهمیت زیادی برخوردار باشد.

در این تحقیق تاثیر استفاده هر یک از سنگدانه‌های سبک بر مقاومت بتن فروسیمان با آزمایش بر روی نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور چهار نمونه آزمایشگاهی ساخته شده که سنگدانه یک نمونه ماسه معمولی بوده و در سه نمونه دیگر به ترتیب از سبکدانه‌های لیکا، پومیس و پرلیت به عنوان جایگزین ماسه استفاده شده است. تمامی نمونه‌ها توسط رابیتس و میلگرد با قطر ۶ میلیمتر مسلح شده‌اند. مدل‌سازی این نمونه‌ها نیز به روش اجزای محدود در نرم‌افزار آباکوس و با توجه به اختلاف در میزان وزن مخصوص و مدول الاستیسیته بتن‌ها صورت گرفته و نتایج آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است.

نتایج نشان می‌دهد که سنگدانه‌های سبک می‌تواند در فرآورده‌های فروسیمانی استفاده گردد به طوری که تفاوت چندانی در مقاومت خمشی آن‌ها ایجاد نشود و همچنین در بین سازه‌های فروسیمانی سبک، افزایش چگالی و مدول الاستیسیته می‌تواند موجب افزایش ظرفیت خمشی سازه شود.

واژگان کلیدی: فروسیمان، بتن مسلح، بتن سبک، روش اجزای محدود.

۱. مقدمه

فروسیمان در واقع به مخلوطی از سیمان پرتلند و ماسه گفته می‌شود که با لایه‌هایی از توری فلزی و یا انواع دیگر آن و با قطر منافذ بسیار کوچک مسلح می‌گردد. آیین نامه ACI 549 فروسیمان را به این صورت تعریف می‌کند: «فروسیمان نوعی بتن مسلح نازک است که عموماً ملات آن از سیمان هیدرولیکی ساخته شده و توسط توری‌هایی با فواصل کم از یکدیگر که دارای قطر سوراخ‌هایی کوچکی نیز می‌باشند مسلح می‌شود» [۱]. این بتن می‌تواند به شکل صفحات منحنی شکل نازکی ساخته شده و در ساخت قایق‌ها [۲ و ۳]، سقف‌ها [۴]، مخازن ذخیره آب [۵]، سیلوها [۶]، منازل شهری و روستایی [۷]، تعمیر سازه‌ها [۸] و... مورد استفاده قرار گیرد. همچنین این بتن می‌تواند کاربردهای دیگری از جمله ساخت مجسمه [۹] و اجزای ساختمانی پیش ساخته [۱۰] داشته باشد.

سبک‌سازی سازه به منظور کاهش نیروهای وارد بر آن موضوعی است که امروزه مورد توجه همگان قرار گرفته است و استفاده از اجزای پیش ساخته سبک به عنوان یک راه حل مناسب می‌تواند کمک شایانی به این امر بنماید [۱۱]. یکی از موارد سبک‌سازی اجزای پیش ساخته بتنی استفاده از سنگدانه‌های سبک مانند لیکا، پومیس و پرلیت می‌باشد که علاوه بر کاهش چگالی، رسانایی گرمایی را نیز کم می‌کند [۱۲]. صفحات فروسیمانی به دلیل داشتن ضخامت کم (در حدود ۳۰ mm) دارای وزن سازه‌ای نسبتاً کمی می‌باشند به طوری که استفاده از سنگدانه‌های سبک به جای ماسه در ساخت این صفحات می‌تواند تاثیر مضاعفی بر کاهش وزن این نوع بتن و در نهایت کل سازه داشته باشد. استفاده از الیاف مختلف به عنوان افزودنی می‌تواند تاثیرات متفاوتی در هر یک از ویژگی‌های بتن داشته باشد. از جمله این الیاف می‌توان به الیاف پروپیلن اشاره نمود که افزودن آن به ملات فروسیمان موجب افزایش ظرفیت خمشی و بهبود رفتار شکست مقطع فروسیمانی و همچنین جذب انرژی بیشتر می‌گردد [۱۳].

در سازه‌های فروسیمانی از توری جهت مسلح کردن بتن استفاده می‌شود. توری‌ها دارای جنس‌های مختلف بوده و بنا به کاربرد سازه می‌تواند نوع آن تغییر یابد. همچنین ممکن است توری‌ها در چندین لایه مورد استفاده قرار گیرند که تعیین تعداد لایه‌ها و فاصله قرارگیری آنها از یکدیگر نیاز به طراحی داشته و این امر در ظرفیت مقاومتی سازه و همچنین عملکرد آن بسیار تاثیرگذار خواهد بود به طوری که افزایش ضخامت توری و کاهش فاصله آنها از یکدیگر موجب افزایش ظرفیت خمشی سازه خواهد شد [۱۴].

مطالعات بسیاری بر روی سازه‌های فروسیمانی مختلف با وزن معمولی انجام شده است در حالی که بررسی سازه‌های فروسیمانی سبک موضوعی است که نسبتاً جدید بوده و تحقیقات انجام شده بیشتر در مورد دیوارهای پیش ساخته سبک می‌باشد [۱۵]. در این پژوهش تاثیر استفاده از هر یک از سنگدانه‌های سبک به جای ماسه مورد بررسی قرار گرفته است. مدل‌سازی اجزای محدود نیز در جهت شبیه‌سازی رفتار صفحات فروسیمانی تحت بار خمشی دو نقطه‌ای و با نرم‌افزار آباکوس صورت گرفته و نتایج آن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

۲. روش طراحی

۲-۱. محاسبه ظرفیت شکست مسلح کننده‌ها (V_f)

در بتن فروسیمان در صورتی که توری مورد استفاده دارای سوراخ‌های مربعی شکل باشد می‌توان برای به دست آوردن ظرفیت شکست توری از رابطه زیر استفاده کرد:

$$V_f = \frac{N\pi d_b^2}{4h} \left(\frac{1}{D_l} + \frac{1}{D_t} \right) \quad (1)$$

که در آن N تعداد لایه‌های توری؛ D_b قطر سیم‌های توری؛ h ضخامت فروسیمان؛ D_l فاصله مرکز به مرکز سیم‌های توری قرار داده شده در جهت طولی و D_t فاصله مرکز به مرکز سیم‌های توری قرار داده شده در جهت عرضی می‌باشد.

۲-۲. محاسبه ظرفیت لنگر اسمی (M_n)

لنگر خمشی قابل تحمل توسط مقطع از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$M_n = \sum_{i=1}^n C_{si} T_{si} \left(d_i - \frac{\beta_1 c}{2} \right) \quad (2)$$

که در این رابطه M_{II} لنگر مقاوم اسمی؛ d_i فاصله تار فشاری تا مرکز توری لایه i ؛ β_1 ضریب تعیین عمق بلوک تنش مستطیلی و c فاصله از تار فشاری تا تار خنثی است.

۳. برنامه آزمایشگاهی

۳-۱. مصالح مورد استفاده

سیمان مصرفی در ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی از نوع سیمان پرتلند تیپ ۲ (opc 52.5) کارخانه سیمان زاوه تربت با ویژگی ضدسولفات پایین و قلیایی کم می‌باشد که در آن الزامات مربوط به استاندارد ASTM C150 رعایت شده است. جدول ۱ نتایج آزمایشات فیزیکی سیمان مورد استفاده و مقادیر مجاز استاندارد را نمایش می‌دهد. در جدول ۲ نیز درصد مواد شیمیایی موجود در مواد سیمانی آورده شده است.

جدول ۱: آزمایشات فیزیکی سیمان

مقدار مجاز Allowable scale	میزان	
Min = ۲۸۰۰	۳۰۸۳	نرمی (Blain)
Min = ۴۵	۱۱۹	زمان گیرش (Setting time) (Min)
Max = ۳۶۰	۲۱۸	
	خوب	سلامت سیمان (Soundness)
Max = ۰/۸	۰/۱۲	انبساط اتوکلاو (Aut. Exp.)

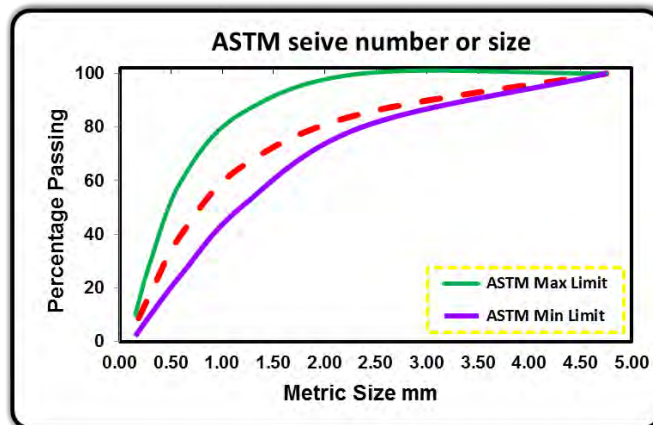
جدول ۲: درصد مواد شیمیایی تشکیل دهنده سیمان

سایر	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	MgO	CaO	Fe ₂ O ₃	AL ₂ O ₃	SiO ₂	مواد تشکیل دهنده
۱/۲۴	۰/۴۸	۰/۷۵	۲/۴۳	۱/۵۵	۶۳/۲۴	۳/۸۲	۴/۹۵	۲۱/۵۴	مقدار (%)

ماسه مصرفی نیز از نوع ماسه شسته سیلیسی و با قطر ذرات کمتر از ۴/۷۵ میلیمتر می‌باشد که مشخصات دانه‌بندی آن با توجه به محدوده استاندارد ASTM C-778-06 در جدول ۳ نمایش داده شده است. همچنین شکل ۱ منحنی دانه‌بندی ماسه مورد استفاده در ساخت ملات فروسیمان را نمایش می‌دهد. از آنجا که یکی از اهداف در این تحقیق بررسی ظرفیت خمشی صفحات فروسیمانی سبک و مقایسه آن‌ها با صفحات فروسیمانی معمولی بوده است، در نتیجه سه نوع سنگدانه سبک به عنوان جایگزین برای ماسه در ساخت نمونه‌های فروسیمانی استفاده شده است که جدول ۴ مشخصات این سبکدانه‌ها را ارائه می‌کند. آب مصرفی نیز از نوع آب آشامیدنی و مطابق با استاندارد ASTM D 1129 بوده که جهت ساخت و عمل‌آوری نمونه‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به اینکه مسلح کردن بتن فروسیمان توسط توری صورت می‌گیرد، از رابیتس جهت انجام این امر استفاده شده و میلگرد $\phi 6$ نیز برای تقویت بیشتر به کار گرفته شده است.

جدول ۳: دانه‌بندی ماسه مورد استفاده مطابق ASTM C-778-06

اندازه الک	۴/۷۵	۲/۳۶	۱/۱۸	۰/۶۰	۰/۳۰	۰/۱۵
ASTM Min Limit	۱۰۰	۸۰	۵۰	۲۵	۱۰	۲
Practical Sample	۱۰۰	۸۵	۶۵	۴۰	۱۸	۶
ASTM Max Limit	۱۰۰	۱۰۰	۸۵	۶۰	۳۰	۱۰



شکل ۱: منحنی دانه بندی ماسه مورد استفاده در فروسیمان

جدول ۴: مشخصات سبکدانه مصرفی

نام سبکدانه	رنگ	وزن مخصوص ظاهری (kg/m ³)	وزن مخصوص توده‌ای (kg/m ³)	نوع جایگزینی	جذب آب (%)
لیکا	قهوه‌ای	۸۶۰	۳۳۷	جایگزینی با ماسه	۱۶
پومیس	قهوه‌ای	۷۳۰	۷۲۸	جایگزینی با ماسه	۲۰
پرلیت	سفید	۳۲۵	۱۶۲/۵	جایگزینی با ماسه	۱۸

۳-۲. طرح اختلاط و روش ساخت نمونه‌ها

در این پژوهش چهار نمونه صفحه فروسیمانی به ابعاد ۳*۶۰*۱۲۰ سانتیمتر در آزمایشگاه ساخته شده است به طوری که نمونه اول از نوع فروسیمان معمولی و سه نمونه دیگر فروسیمان سبک می‌باشند که در آنها به جای ماسه به ترتیب از سنگدانه‌های سبک لیکا، پومیس و پرلیت استفاده شده است. نسبت آب به سیمان با توجه آیین‌نامه ACI 549R-97 در همه نمونه‌ها ثابت و برابر ۰/۵ در نظر گرفته شده است. جدول ۵ جزئیات طرح مخلوط ملات فروسیمان را نمایش می‌دهد. روش ساخت نمونه‌ها به این صورت بوده که پس از مخلوط کردن مصالح و به دست آمدن ملات فروسیمان، ابتدا یک لایه از ملات را به اندازه ۱cm در قالب مورد نظر ریخته و سپس توری مورد نظر، تشکیل شده از دو لایه رابیتس با فاصله کم از یکدیگر و سه عدد میلگرد به طول ۶۰cm در امتداد عرضی و دو عدد میلگرد به طول ۱۲۰cm در امتداد طولی که در بین دو لایه قرار گرفته‌اند، بر روی آن قرار داده می‌شود و در نهایت لایه دیگری از ملات به ضخامت حدوداً ۲cm بر روی آن ریخته شده و سطح نمونه صاف می‌شود.

جدول ۵: طرح اختلاط نمونه‌های آزمایشگاهی

شماره طرح اختلاط	سیمان (kg)	آب (kg)	نسبت آب به سیمان (w/c)	ماسه (kg)	سنگدانه سبک (kg)
۱	۱۵	۷/۵	۰/۵	۰	۳۰
۲	۱۵	۷/۵	۰/۵	۳۰	۰

۳-۳. روش انجام آزمایش

پس از ساخت و عمل‌آوری مناسب، نمونه‌ها تحت آزمایش بارگذاری خمشی قرار گرفتند که به دلیل نبود دستگاه مناسب جهت آزمون نمونه‌ها این آزمایشات به صورت تقریبی و با استفاده از جداول بتنی با وزن مشخص صورت پذیرفت. از مقاطع فولادی نیز به عنوان تکیه‌گاه و همچنین جهت تبدیل بار به صورت دونقطه‌ای، استفاده شد. شکل ۲ جزئیات استفاده از مقاطع فولادی و مراحل انجام بارگذاری را برای نمونه فروسیمانی معمولی نشان می‌دهد. این آزمایش به صورت مشابه برای سه نمونه دیگر نیز انجام شد.



شکل ۲: آزمایش بارگذاری بر روی نمونه فروسیمانی معمولی

۴. مدلسازی به روش اجزای محدود (FEM)^۱

روش اجزای محدود در مقایسه با دیگر روش‌های تحلیل رفتار بتن ابزار قدرتمندتری جهت بررسی و تجزیه و تحلیل به ویژه برای بتن فروسیمان می‌باشد [۱۶]. بدین منظور در این فرآیند مدلسازی از نرم افزار آباکوس^۲ استفاده شده است که امکانات مناسبی را جهت ایجاد مدل بسیاری از مواد از جمله بتن و فولاد با شرایط مرزی و خصوصیات مربوطه را فراهم آورده است. امکان اعمال اثر متقابل بین بتن و میلگرد و توری نیز در این نرم افزار وجود دارد. در این مرحله مدلسازی برای هر چهار نمونه و با توجه به اختلاف در وزن مخصوص و مدول الاستیسیته هر یک از انواع بتن‌های ساخته شده صورت گرفته است که وزن مخصوص و مدول الاستیسیته داده شده به نرم افزار برای هر یک از این بتن‌ها در ادامه آورده شده است.

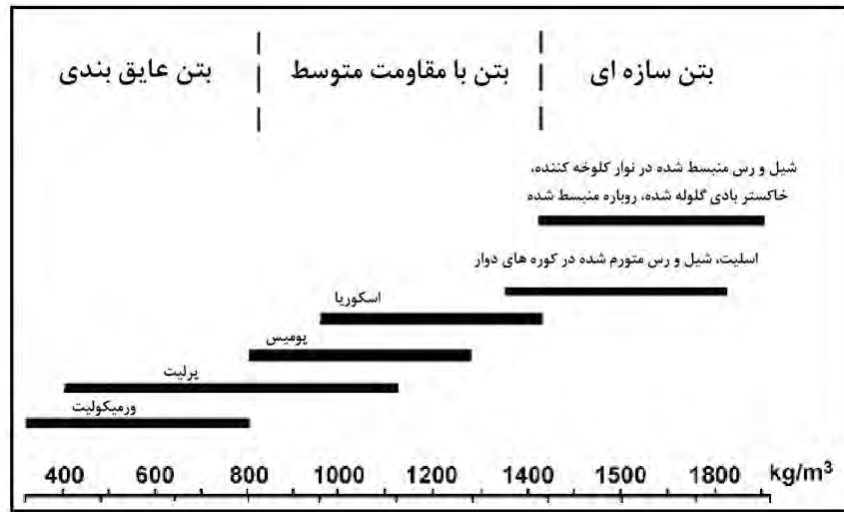
شکل ۱ حدود چگالی بتن های سبک را برای سبکدانه‌های مختلف نمایش می‌دهد. دسته اول بتن های با چگالی کم (Low Density Concretes) بوده که معمولاً به عنوان عایق و جداسازهای سبک مورد استفاده قرار می‌گیرند و دارای وزن مخصوص کمتر از 2400 kg/m^3 و مقاومت فشاری بین 7 MPa تا 17 MPa می‌باشند. بتن‌های با مقاومت متوسط (Moderate Strength Concrete) در دسته

¹ Finite Element Method

² ABAQUS

دوم قرار گرفته و دارای چگالی بین 800 kg/m^3 تا 1400 kg/m^3 می‌باشند و مقاومت فشاری آن‌ها نیز در محدوده 7 MPa تا 17 MPa قرار دارد. دسته سوم مربوط به بتن‌های سازه‌ای (Structural Concrete) بوده، وزن مخصوص آن‌ها بیشتر از 1400 kg/m^3 بوده و تا حدود 1900 kg/m^3 می‌تواند تغییر کند و حداقل مقاومت فشاری تعریف شده برای آنها 17 MPa می‌باشد [۱۸].

با توجه به مطالب ارائه شده وزن مخصوص بتن ساخته شده با سبک‌دانه پرلیت 800 kg/m^3 ، با پومیس 1300 kg/m^3 و با لیکا 1800 kg/m^3 در نظر گرفته شده است. چگالی بتن فروسیمانی معمولی نیز 2400 kg/m^3 می‌باشد.



شکل ۱: حدود چگالی بتن‌های سبک با استفاده از سبک‌دانه‌های مختلف [۱۷]

آیین نامه ACI برای به دست آوردن میزان مدول ارتجاعی رابطه‌ای بر اساس وزن مخصوص و مقاومت فشاری بتن ارائه کرده است. رابطه ارائه شده در این آیین‌نامه برای بتن‌های دارای وزن مخصوص در محدوده 1500 kg/m^3 الی 2500 kg/m^3 می‌باشد. رابطه نامبرده در ادامه آورده شده است:

$$E_c = 0.043 * W_c^{1.5} * \sqrt{f'_c} \quad (3)$$

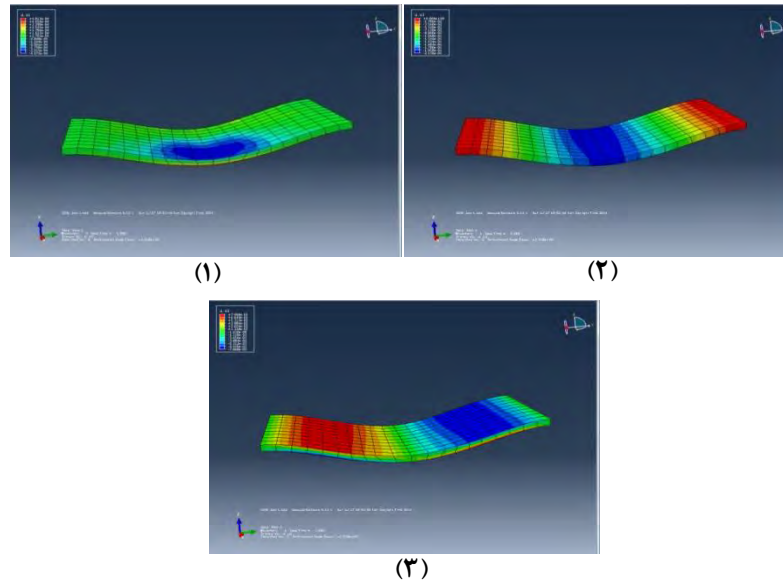
که در آن W_c وزن مخصوص بتن بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب و f'_c و E_c به ترتیب مقاومت فشاری و مدول ارتجاعی بر حسب مگاپاسکال است [۱۹]. بر طبق رابطه ۳، مدول الاستیسیته بتن سبک حاوی لیکا با در نظر گرفتن مقاومت فشاری 20 MPa و وزن مخصوص 1800 kg/m^3 برابر $14/7 \text{ GPa}$ به دست می‌آید ولی با توجه به کم بودن وزن مخصوص بتن‌های سبک حاوی پرلیت و پومیس نمی‌توان از این رابطه برای تعیین مدول الاستیسیته آنها استفاده نمود.

نتایج نشان می‌دهد که بتن با مقاومت بالاتر و دارای سنگدانه با وزن بیشتر، دارای مدول الاستیسیته بیشتری نیز می‌باشد. با این وجود با توجه به اینکه چگالی سنگدانه‌های سبک به هم نزدیک می‌باشد، مدول الاستیسیته بتن حاوی آنها نیز اختلاف چندانی با یکدیگر ندارند [۲۰]. با توجه به این موضوع می‌توان نتیجه گرفت که مدول الاستیسیته بتن‌های سبک حاوی پرلیت و پومیس تفاوت زیادی با مدول الاستیسیته بتن سبک حاوی لیکا نداشته و به همین جهت همان میزان $14/7 \text{ GPa}$ را برای هر سه نوع بتن سبک به عنوان داده ورودی نرم افزار در نظر می‌گیریم.

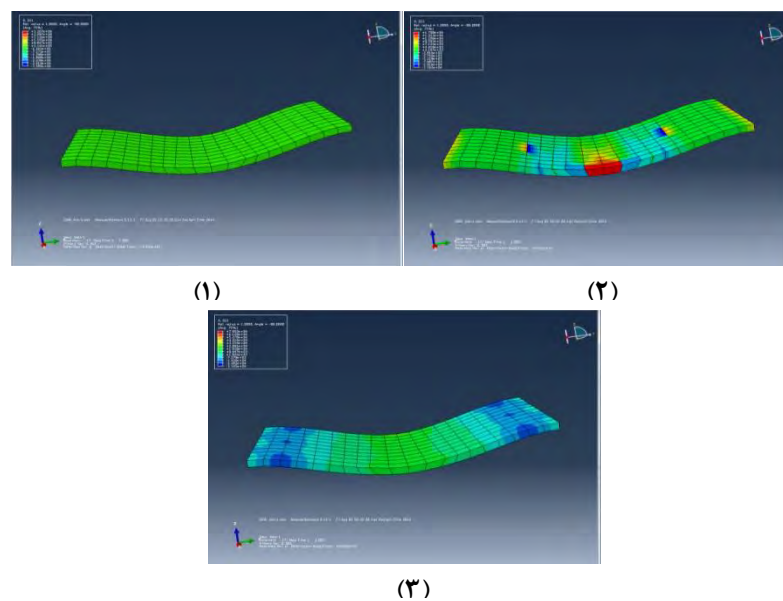
۵. بررسی نتایج

آزمایش بارگذاری نمونه‌ها همان طور که اشاره شد به صورت تقریبی جهت تعیین ظرفیت خمشی آنها صورت گرفت. نتایج نشان می‌دهد که نمونه فروسیمانی معمولی در مقایسه با نمونه‌های فروسیمانی سبک ظرفیت خمشی بیشتری داشته به طوری که حدوداً 30 kg بار را تحمل کرده است. با توجه به تقریبی بودن روش آزمایش برای نمونه‌های فروسیمانی سبک نیز به طور مشابه 270 kg

میزان تحمل بار به ثبت رسیده است که می‌توان این امر را به اختلاف در چگالی فروسیمان سبک و فروسیمان معمولی نسبت داد. مشابه بودن میزان بار قابل تحمل هر سه نمونه فروسیمانی سبک نیز نشان می‌دهد که در واقع اختلاف چندانی بین ظرفیت خمشی این سه نمونه وجود نداشته که اختلاف چگالی کم این سه نوع فروسیمان سبک با یکدیگر نیز این امر را تایید می‌کند. در ادامه نتایج مربوط به مدلسازی اجزای محدود این نمونه‌ها نیز مورد بررسی قرار گرفته است.



شکل ۳: نمایش تغییر شکل نمونه های فروسیمانی تحت بارگذاری؛ (۱) در جهت افقی، (۲) در جهت قائم و (۳) در جهت خارج صفحه

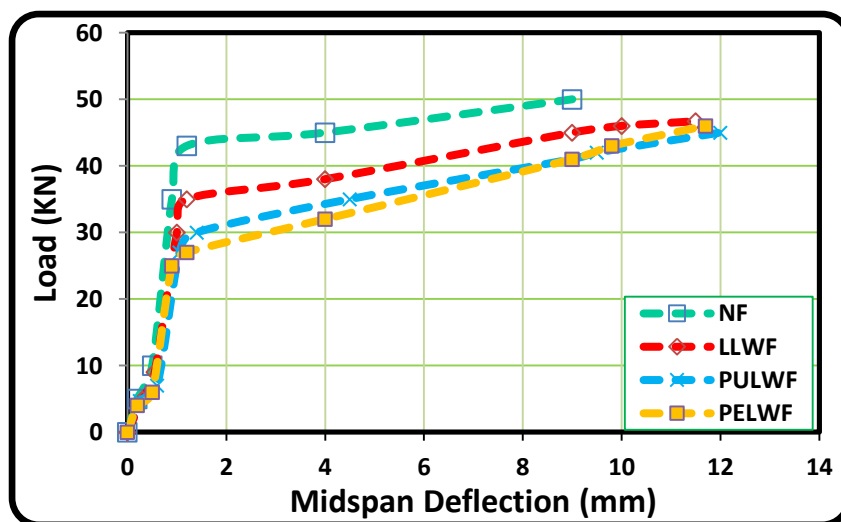


شکل ۴: نمایش تنش اعمالی به نمونه های فروسیمانی تحت بارگذاری؛ (۱) در جهت افقی، (۲) در جهت قائم و (۳) در جهت خارج صفحه

شکل ۳ نمایش حالت تغییر شکل یافته نمونه‌های فروسیمانی می‌باشد که در سه جهت مختلف افقی، قائم و خارج صفحه نمایش داده است. بیشترین تغییر شکل مربوط به مناطقی است که با رنگ آبی مشخص شده‌اند. در جهت افقی بیشترین تغییر شکل در لبه‌های کناری نمونه، در جهت قائم مشخصا بیشینه تغییر شکل در مرکز و در جهت برون صفحه نیز قسمت سمت راست روی نمونه و قسمت سمت چپ زیر نمونه بیشینه تغییر شکل‌ها را دارا می‌باشند.

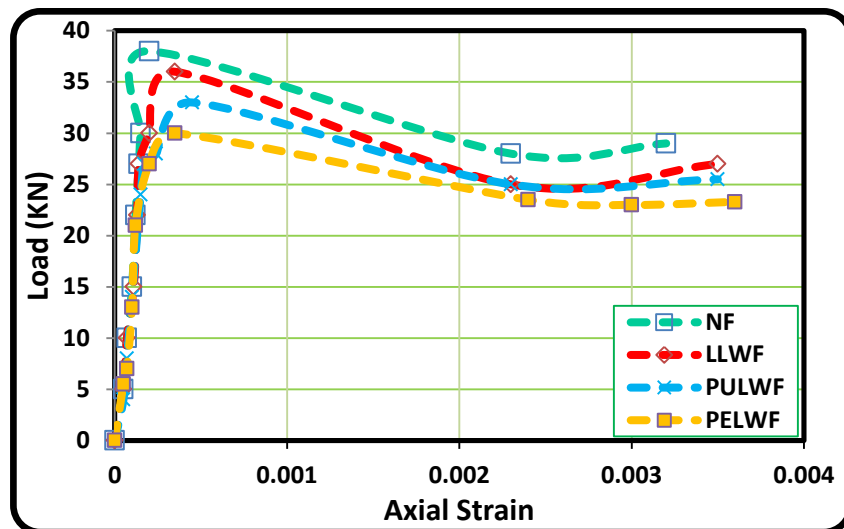
در شکل ۴ حالت‌های مختلف تنش وارده به نمونه‌های فروسیمانی و در سه جهت افقی، قائم و برون صفحه نمایش داده شده است. مشاهده می‌شود که در جهت افقی تنش‌ها تقریبا در همه قسمت‌ها به طور یکسان پخش شده‌اند. در جهت قائم که همان جهت اعمال بار می‌باشد تنش بحرانی در لبه کناری نمونه رخ داده است و در جهت برون صفحه نیز تقریبا مشابه جهت افقی بوده با این تفاوت که در این جهت تنش‌های موجود در تکیه‌گاه‌ها کمتر از جهت افقی بوده و به رنگ آبی نمایش داده شده است. باید توجه داشت که نمایش تنش‌ها برای تمامی نمونه‌های فروسیمانی ساخته شده مشابه هم بوده و تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند و این امر نشان می‌دهد که می‌توان از نمونه‌های فروسیمانی سبک به جای فروسیمان معمولی و با نتایج مقاومتی مطلوب استفاده نمود.

شکل ۶ نمودار تغییر مکان وسط دهانه را با افزایش تدریجی بارگذاری برای هر چهار نمونه فروسیمانی معمولی (NF)، فروسیمانی سبک با سنگدانه لیکا (LLWF)، فروسیمانی سبک با سنگدانه پومیس (PULWF) و فروسیمانی سبک با سنگدانه پرلیت (PELWF) را نمایش می‌دهد. با توجه به نمودار، سختی قبل از شکست تمامی نمونه‌ها تا ایجاد اولین ترک تقریبا یکسان می‌باشد با این وجود شکست هر یک از نمونه‌ها در میزان بارگذاری متفاوتی اتفاق می‌افتد. نمونه ساخته شده با فروسیمان معمولی در مقایسه با نمونه‌های فروسیمانی سبک مقاومت بیشتری از خود نشان داده و در میزان بار بالاتری ترک می‌خورد. مقایسه بین نمونه‌های فروسیمانی سبک نیز نشان می‌دهد که سبکدانه با چگالی بیشتر می‌تواند موجب افزایش ظرفیت مقاومتی سازه نهایی شود.



شکل ۶: نمودار نیرو-تغییر مکان نمونه‌های فروسیمانی

شکل ۷ نمودار کرنش محوری نمونه‌های فروسیمانی را در مقابل اعمال بار نشان می‌دهد. بر طبق نمودار تمامی نمونه‌ها تقریبا دارای قابلیت شکل‌پذیری مشابهی بوده و تا رسیدن به حد گسیختگی نهایی تغییر شکل‌های نسبتا بزرگی را شامل می‌شوند. با این وجود افزایش چگالی و مدول الاستیسیته بتن‌های مختلف موجب افزایش شکل‌پذیری شده به طوری که نمونه فروسیمانی معمولی از نمونه‌های فروسیمانی سبک ظرفیت بالاتری را دارا می‌باشد.



شکل ۷: نمودار نیرو- کرنش محوری نمونه‌های فروسیمانی

۶. نتیجه‌گیری

- با توجه به بررسی‌های انجام شده، از نتایج آزمایشگاهی و همچنین مدلسازی صورت گرفته نتایج زیر حاصل می‌شوند:
۱. اختلاف چگالی بتن فروسیمانی معمولی و بتن فروسیمانی سبک نسبتاً زیاد می‌باشد و با توجه به اینکه این اختلاف در مورد ظرفیت خمشی این دو نوع بتن کم می‌باشد، در نتیجه بتن فروسیمانی سبک می‌تواند جایگزین بسیار مناسبی برای فروسیمان معمولی بوده و نتایج مقاومتی مورد نیاز را برآورده سازد.
 ۲. در بین مقاطع فروسیمانی سبک هر چه میزان وزن مخصوص و مدول الاستیسیته آن‌ها بیشتر باشد ظرفیت خمشی و قابلیت شکل‌پذیری این مقاطع نیز افزایش می‌یابد.
 ۳. سازه‌های فروسیمانی سبک می‌توانند کاربردهای فراوانی در ساخت سازه‌های پیش‌ساخته بتنی داشته باشند به طوری که هم وزن سازه کاهش یابد و هم به دلیل وجود توری در این نوع بتن ایمنی مورد نظر این سازه‌ها تامین گردد.

۷. مراجع

- [1] ACI Committee 549, Report on Ferrocement, Concrete International. USA 87, 2009.
- [2] Naval Ship Systems Command, "U.S. NAVY Ferrocement Boat Building Manual (1-3)", WASHINGTON, D. C, 1972.
- [3] .G. Scott, C. Eng., P. Eng. "Ferro-Cement for Canadian Fishing Vessels, Industrial Development Branch, Fisheries Service", Department of the Environment, Ottawa, August 1971.
- [4] Al-Rifaie, W.N. and M.M. Joma'ah, "Structural Behaviour of Ferrocement System For Roofing. Diyala Journal of Engineering Sciences, first Engineering Scientific Conference", College of Engineering- University of Diyala. December, pp: 237-248, 2010.
- [5] Y.B.I. Shaheen B. Eltaly and M .Kamel " Damage Detection of Ferrocement Tanks Using Experimental Modal Analysis and Finite Element Analysis", Concrete Research Letters, Vol. 4(2), 2013.
- [6] National Academy of Sciences, "Ferrocement: Applications in developing countries", Washington, D.C., Feb 1973.

- [7] Al-Rifaie, W.N. Modern Housing System Using Ferrocement As Sustainable Construction Materials. 7th. Municipal Work, Conference & Exhibition, Kingdom of Bahrain, 2012.
- [8] D. Rajkumar and B. Vidivelli, "Performances of SBR Latex Modified Ferrocement for Repairing Reinforced Concrete Beams". Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 4(3): 520-531, 2010.
- [9] Johnson, Composer Geir. "Life-Boats—A Sailing Sculptural Installation." Journal of Urban Culture Research (2013): 78.
- [10] Yardim, Y., Waleed, A. M. T., Jaafar, M. S., & Laseima, S. "AAC-concrete light weight precast composite floor slab". Construction and Building Materials, 40, 405-410, 2013.
- [11] NahroRadiHusein, V. C. Agarwal, AnupamRawat, "An Experimental Study on Using Lightweight Web Sandwich Panel as a Floor and a Wall", International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE), Volume-3, Issue-7, December 2013.
- [12] Uğur, I. "Improving the Strength Characteristics of the Pumice Aggregate Lightweight Concretes." In 18th International Mining Congress & Exhibition of Turkey, June, pp. 10-13. 2003. Al-Rifaie, W.N. Modern Housing System Using Ferrocement As Sustainable Construction Materials. 7th. Municipal Work, Conference & Exhibition, Kingdom of Bahrain, 2012.
- [13] Okuyucu, Dilek, Lütfullah Turanlı, Burak Uzal, and Tuğrul Tankut. "Some characteristics of fibre-reinforced semi-lightweight concrete with unexpanded perlite." Magazine of Concrete Research 63, no. 11 (2011): 837-846.
- [14] ACI Committee 549, Guide for design, construction and repair of ferrocement ACI 549 IR-881989, 1989.
- [15] Desayi, Prakash, and Veerappa Reddy. "Strength of lightweight ferrocement in flexure." Cement and Concrete Composites 13, no. 1 (1991): 13-20.
- [16] Nassif, Hani H., and Husam Najm. "Experimental and analytical investigation of ferrocement-concrete composite beams." Cement and Concrete Composites 26, no. 7 (2004): 787-796.
- [17] Dolby, P.G., (1995), "Production and Properties of Lytag™ Aggregate Fully Utilized for the North Sea", Proc. Int. Symp. Structural Lightweight Aggregate Concrete, Sandefjörd, Norway, 1995.
- [۱۸] تالیف جوزف جی وادل و جوزف ای دوبروولسکی، "دستنامه اجرای بتن"، ترجمه علی اکبر رمضانیاپور، شاپور طاحونی و منصور پیدایش، انتشارات علم و ادب؛ ۱۳۸۰.
- [۱۹] یزدانی، محمود، اردکانی، علیرضا، هدایتی، جواد. "جایگاه بتن سازه ای در ایران و جهان - ضوابط آیین نامه ای و کاربرد". اولین کنفرانس ملی بتن سبک، دانشگاه تهران، تهران، ۱۳۹۰.
- [20] Chang, T. P., and B. R. Lin. "ELASTIC PROPERTIES OF HIGH-FLOWABILITY LIGHTWEIGHT CONCRETE." In Utilizing Ready Mix Concrete and Mortar: Proceedings of the International Conference Held at the University of Dundee, Scotland, UK on 8-10 September 1999, p. 187. Thomas Telford, 1999.

Application of Finite Element Method in Lightweight Ferrocement Structures

Amirhossein Madadi ¹; Hamid Eskandari ^{*2}

¹ B.Tech. Student of Civil Engineering, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

² Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

¹Ah_madadi@yahoo.com

^{*2} Hamidiisc@yahoo.com

09158922589

Subject Code: C

Abstract

Ferrocement is a thin reinforced concrete in which small diagonal holes net that is filled with mortar used as reinforcement. Due to the relatively low structural weight of ferrocement applications, it can be applied in manufacturing boats, tanks, silos, statues, ceilings and repairing facilities. So studying ferrocement manufacturing standards and effect of the various ingredients such as different types of aggregates and additions in lightening and improving the function of ferrocement structures could be worthwhile.

In this study, the effect of using each of lightweight aggregates on concrete strength is investigated by testing on samples. Due to this object four samples are constructed which one of them is with sand and the others are with lightweight aggregates including leca, pumice and perlite as an alternative to sand. All samples have been reinforced by lath and 6mm diameter bars. Modeling of these samples with the finite elements method in Abaqus program due to the differences in density and modulus of elasticity of concretes is done.

The results show that lightweight aggregates can be used in ferrocement applications without any significant difference in their bending strength and also between lightweight ferrocement applications, increasing the density and modulus of elasticity can increase the flexural capacity of the structure.

Keywords: Ferrocement, Reinforced Concrete, Lightweight Concrete, Finite Element Method.