تحقیقات بتن
سال پنجم، شماره دوم
پاییز و زمستان ۹۱
ص ۸۳ـ۶۹
تاریخ دریافت: ۹۲/۵/۲۹
تاریخ پذیرش: ۹۲/۸/۱۶

# بررسی روابط طراحی تیر بتن مسلح سبک سازه‌ای حاوی سبکدانه‌های رس منبسط‌شده و پلی‌استایرن منبسط‌شده

**علی صدر ممتازی***
**دانشیار دانشکدهٔ فنی،دانشگاه گیلان**
**حسن نصرتی**
**کارشناس ارشد عمران- سازه،دانشگاه گیلان**

## چکیده

با توجه به مزایای فراوان بتن خودتراکم مانند عدم نیاز به ویبره، کیفیت بالا، کاهش آلودگی صوتی هنگام اجرا و ... تمایل به استفاده از این نوع بتن به طور روزافزون در حال افزایش است. از سوی دیگر، یافتن راهی برای استفاده از سبکدانه‌های مصنوعی به منظور کاهش وزن مردهٔ سازه، کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی و حفظ منابع مصالح سنگی موجود، ما را به سمت استفاده از مصالح جدید سوق می‌دهد. در این مقاله تاثیر به کارگیری دو نوع مصالح سبک مصنوعی شامل رس منبسط شده (LECA[1]) و پلی‌استایرن منبسط شده (EPS[2]) در بتن خودتراکم ارزیابی شده و الزامات بتن خودتراکم در حالت تازه و امکان قرار گیری در ردهٔ بتن خودتراکم سبک سازه‌ای در حالت سخت شده، مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور ارزیابی امکان استفاده از بتن خودتراکم سبک سازه‌ای در اعضای باربر خمشی، تیرهای بتن مسلح با توجه به ضوابط آیین‌نامهٔ ACI 318M-11 طراحی شده و در آزمایشگاه تحت بارگذاری قرار داده شدند. نتایج بارگذاری تیرها در هر سه سطح ترک‌خورگی، بهره‌برداری و نهایی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهدکه استفاده از روابط آیین‌نامهٔ ACI 318M-11 درمورد به کارگیری بتن خودتراکم سبک سازه‌ای حاوی سبکدانهٔ رس منبسط شده کاملا در جهت اطمینان است. در این حالت ضریب تاثیر بتن سبک λ که توسط آیین‌نامهٔ ACI 318M-11 به دست می‌آید کوچکتر از مقدار به دست آمده در آزمایشگاه می‌باشد. روابط آیین‌نامهٔ لنگرهایی کوچکتر از لنگر حقیقی تیر و خیزهایی بزرگتر از خیز حقیقی آن را نشان می‌دهند. این در حالی است که استفاده از سبکدانهٔ EPS در ساخت تیر بتن مسلح سبک سازه‌ای از هماهنگی کامل با روابط آیین‌نامهٔ برخوردار نمی‌باشد.در این حالت ضریب تأثیر بتن سبک λ که توسط آیین‌نامهٔ ACI 318M-11 به دست می‌آید بزرگتر از مقدار به دست آمده در آزمایشگاه است و در حد ترک‌خوردگی مدول گسیختگی و لنگر ترک‌خوردگی محاسباتی بزرگتر از مقدار واقعی آنهاست که این امر در خلاف جهت اطمینان است.

**واژه‌های کلیدی:** تیر بتن مسلح، روابط طراحی، بتن خودتراکم سبک‌سازه ای،رس منبسط شده، EPS

* نویسنده مسؤول:Sadrmomtazi@yahoo.com

[1] LECA Light Expanded Clay Aggregate
[2] EPS Expanded Poly Styrene



Archive of SID
www.SID.ir

## ۱- مقدمه

بتن خودتراکم بتنی با کارآیی بالا است. این بتن به‌آسانی می‌تواند از بین ازدحام میلگردها عبور نماید وحجم قالب را پر نماید و همچنین تحت اثر وزن خود بدون جداشدگی و آب‌انداختگی تراکم یابد. روانی بالای بتن خودتراکم امکان پر نمودن قالب بدون نیاز به لرزاندن آن را فراهم نموده است[۲-۱]. بتن خودتراکم می‌تواند مشکلات عدیدهٔ بتن معمولی را به آسانی مرتفع سازد، لذا از اهمیت بسزایی در صنعت بتن و ساختمان برخوردار می‌باشد. امروزه موضوع بسیاری از تحقیقات مهم مخصوصاً در ژاپن و اروپا بتن خودتراکم می‌باشد[۳]. در سالیان اخیر با توسعه و رشد روزافزون استفاده از بتن خودتراکم امکان به کارگیری انواع سبکدانه‌های طبیعی و مصنوعی توسط محققان مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته است [۷-۴]. در آیین‌نامهٔ ACI 318M-11 در تعریف بتن سبک ذکر شده است که بتن سبک‌سازه‌ای، بتنی است که چگالی آن کمتر از ۱۸۴۰ کیلوگرم بر متر مکعب بوده و مقاومت فشاری ۲۸ روزهٔ آن بیشتر از ۱۷ مگاپاسکال باشد. حداقل مقاومت فشاری لازم برای المان‌های سازه‌ای براساس آئین‌نامهٔ ACI 318M-11، ۲۰ مگاپاسکال می‌باشد[۸]. شیدلر در سال ۱۹۵۷ نیل به مقاومت‌های اقتصادی بتن سبکدانهٔ سازه‌ای را در محدودهٔ ۲۰ تا ۳۵ مگاپاسکال مطرح نمود[۹].

هر سبکدانه‌ای با توجه به چگالی و میزان تخلخلش می‌تواند مزایا و معایبی را به همراه داشته باشد. یکی از مصالح فوق سبک، سبکدانهٔ آبگریز پلی‌استایرن منبسط شده می‌باشد. این نوع سبکدانه به دلیل عدم تأثیرگذاری روی آب کلی اختلاط مورد توجه است. البته به کار گیری آن در بتن خودتراکم می‌تواند تأثیرات نامطلوبی بر روی خواص بتن تازه و سخت شده به همراه داشته باشد.بر اساس مطالعات بابوبا افزایش میزان پلی استایرن منبسط شده در بتن مقاومت آن کاهش پیدا می‌کند. هم‌چنین براساس مطالعاتی که او بر روی بتن حاوی EPS در حضور دودهٔ سیلیس انجام داد درصد جایگزینی بهینهٔ دودهٔ سیلیس را ۹ درصد گزارش کرد، که بتن تولید شده دارای مقاومت فشاری ۲۰مگاپاسکال بود[۱۰و۱۱]. صدرممتازی و همکارانش درصدهای مختلف جایگزینی پلی‌استایرن منبسط شده را بر روی بتن معمولی حاوی دودهٔ سیلیس و خاکستر پوستهٔ شلتوک برنج بررسی کردند، مطابق نتایج ایشان با جایگزینی ۱۵ درصد حجم بتن توسط سبکدانهٔ EPS بتنی با چگالی ۱۹۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و مقاومت ۲۸ روزهٔ ۳۲ مگاپاسکال به دست آمد. با جایگزینی ۲۵ درصد حجم بتن توسط EPS چگالی بتن به ۱۷۰۰کیلوگرم بر مترمکعب و مقاومت فشاری آن به حدود ۱۷ مگاپاسکال کاهش یافت[۱۲]. بنابراین مقاومت بتن سبک حاوی پلی استایرن منبسط شده به‌شدت تابع چگالی آن می‌باشد. یکی دیگر از سبکدانه‌های مورد بررسی در این مطالعه، سبکدانهٔ رس منبسط شده (لیکا) می‌باشد. جذب آب لیکا به دلیل متخلخل بودن ساختار آن زیاد است. خصوصیات بتن خودتراکم سبک حاوی لیکا در فاز تازه و سخت شده در تحقیقات مظاهری‌پور و همکارانش مورد بررسی قرار گرفته است[۴]. همچنین بر اساس مطالعات تامیو همکارانش مقاومت بتن سبک حاوی رس منبسط شده تابعی از اندازهٔ دانه‌های آن است و بهترین نتایج وقتی به دست آمد که اندازهٔ دانه‌ها به ۱۵ میلی‌متر محدود می‌شد [۱۳]. بتن سبک سازه‌ای مشابه بتن معمولی است با این تفاوت که جرم حجمی کمتری دارد. برای ساخت این بتن از سبکدانه (هم سبکدانه درشت و هم سبکدانهٔ ریز) یا ترکیبی از سبکدانه‌ها و سنگدانه‌های معمولی استفاده می‌شود. اصطلاح " بتن سبک ماسه‌دار" به بتن سبکی اطلاق می‌شود که با سبکدانهٔ درشت و ماسهٔ طبیعی ساخته شده باشد[۸]. جرم حجمی خشک شده در هوا برای بتن سبک سازه‌ای باید بین ۱۴۰۰ تا ۱۸۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب و مقاومت فشاری آن بیش از ۱۷ مگاپاسکال باشد. بتن سبک سازه‌ای اساسا به منظور کاهش بار مردهٔ ناشی از وزن اعضای بتنی مانند سقف‌ها در ساختمان‌های بلندمرتبه به کار گرفته می‌شود. به هر حال سبکدانه‌های تولید شده باید مورد آزمایش قرار بگیرند تا همخوانی با ملزومات آیین‌نامه را اثبات نمایند. در این مقاله به منظور ارزیابی امکان به کارگیری بتن خودتراکم سبک سازه‌ای در اعضای باربر خمشی، تیرهای بتن مسلح با توجه به ضوابط آیین‌نامهٔ ACI 318M-11 طراحی شده و در آزمایشگاه تحت بارگذاری قرار داده شدند. درمورد بتن‌های سبک متعارف آیین‌نامه ضرایب و روابطی را ارائه داده است ولی درمورد بتن‌های سبک حاوی سبکدانه‌های EPS نیاز


www.SID.ir

به بررسی بیشتر می‌باشد، لذا نتایج بارگذاری تیرها در هر سه سطح ترک‌خورگی، بهره‌برداری و نهایی مورد بررسی قرار گرفته و امکان استفاده از روابط آیین‌نامه درمورد طرح اختلاط‌های پیشنهادی بررسی شده است.

## ۲- مصالح مصرفی

شن و ماسهٔ مصرفی رودخانه‌ای بوده و چگالی آنها در حالت اشباع با سطح خشک به ترتیب ۲/۶۴ و ۲/۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد. جذب آب ۲۴ ساعتهٔ شن و ماسه به ترتیب ۱/۵ و ۲/۵ درصد تعیین شده است، همچنین برای افزایش کارایی بتن و افزایش بخش ریزدانهٔ ماسه از پودر سنگ با چگالی۲/۷ گرم بر سانتیمتر مکعب استفاده شده است، چگالی لیکا با در نظر گرفتن جذب آب نیم‌ساعته آن (براساس استاندارد BS EN 1097-6) ۱/۱۲ گرم بر سانتیمتر مکعب، جذب آب نیم‌ساعتهٔ آن ۸ درصد و جذب آب ۲۴ ساعتهٔ آن ۱۴ درصد است. دانه‌بندی شن و ماسه بر اساس استانداردASTM C33 و دانه‌بندی لیکا بر اساس استاندارد ASTM C330 انجام گرفته است. همچنین پلی‌استایرن منبسط شده آبگریز بوده و چگالی آن ۰/۰۲۵گرم بر سانتیمتر مکعب می‌باشد. جزئیات دانه‌بندی مصالح در جدول ۱ ذکر شده است. مصالح سیمانی مورد استفاده در این مطالعه سیمان پرتلند نوع یک با عیار ۴۲۵ و چگالی $3.15 gr/cm^3$ و دودهٔ سیلیس با چگالی $2.12 gr/cm^3$ هستند. ترکیبات شیمیایی سیمان و دودهٔ سیلیس در جدول ۲ نشان داده شده‌اند.

## ۳- طرح اختلاط

طرح‌های اختلاط به سه گروه مختلف تقسیم شده‌اند. در گروه اول بتن خودتراکم بدون سبکدانه با استفاده از سیمان پرتلند نوع ۱ و دوده سیلیس ساخته شده است. در گروه دوم تمام شن ۱۲/۵-۶ و ماسه ۶-۳ با لیکا جایگزین شده است. در گروه سوم

جدول ۱- دانه‌بندی مصالح

| اندازهٔ الک (mm) | درصدعبوری | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | شن (۱۲/۵-۶mm) | ماسه (۶-۰mm) | پودر سنگ | EPS | لیکا (۱۲/۵-۶mm) | لیکا (۶-۳mm) |
| mm۱۹ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| mm۱۲/۵ | ۹۱/۱ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |
| mm۹/۵ | ۶۷/۱۲ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۴۲ | ۱۰۰ |
| mm۴/۷۵ | ۴/۳۶ | ۹۹/۷۹ | ۱۰۰ | ۹۷ | ۰ | ۱۰۰ |
| mm۲/۳۶ | ۰/۴۳ | ۹۲/۹۶ | ۱۰۰ | ۳ | ۰ | ۲۵ |
| mm۱/۱۸ | ۰ | ۷۷/۳۵ | ۹۵ | ۰ | ۰ | ۴ |
| μm۶۰۰ | ۰ | ۵۸ | ۸۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| μm۳۰۰ | ۰ | ۲۲/۳۲ | ۶۱ | ۰ | ۰ | ۰ |

جدول ۲- آنالیز شیمیایی سیمان و دودهٔ سیلیس

| مصالح سیمانی | ترکیبات شیمیایی ٪ | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | CaO | MgO | $Na_2O$ | $K_2O$ | $SO_3$ |
| سیمان | ۲۱ | ۵/۲۶ | ۳ | ۶۳ | ۲/۷ | ۰/۲۷ | ۰/۵۸ | ۲/۳ |
| دودهٔ سیلیس | ۹۳/۶۲ | ۱/۳۲ | ۰/۸۷ | ۰/۴۹ | ۰/۹۷ | ۰/۳۱ | ۱/۰۱ | ۰/۱ |



Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۳- طرح اختلاط

| نام طرح | مواد سیمانی | | سنگدانه‌ها | | | | | آب | | W/b | SP | چگالی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | C | SF | LS | S(0-3) | S(3-6) | G(6-12.5) | Leca | EPS | | | | |
| | Kg/m$^3$ | Kg/m$^3$ | Kg/m$^3$ | Kg/m$^3$ | Kg/m$^3$ | Kg/m$^3$ | Kg/m$^3$ | Kg/m$^3$ | Kg/m$^3$ | | Kg/m$^3$ | Kg/m$^3$ |
| SF10 | ۴۰۵ | ۴۵ | ۲۵۰ | ۵۳۵ | ۱۳۵ | ۸۵۰ | ۰ | ۰ | ۱۶۲ | ۰/۳۶ | ۵/۴ | ۲۳۳۵ |
| LSF10 | ۴۰۵ | ۴۵ | ۲۵۰ | ۵۳۵ | ۰ | ۰ | ۴۲۰ | ۰ | ۱۶۲ | ۰/۳۶ | ۵/۴ | ۱۷۵۰ |
| ESF10 | ۴۰۵ | ۴۵ | ۲۵۰ | ۳۴۷ | ۸۷/۷ | ۵۵۲/۵ | ۰ | ۰/۵۱ | ۱۶۲ | ۰/۳۶ | ۵/۴ | ۱۸۰۷ |

۳۵ درصد حجم شن و ماسه که معادل ۲۰ درصد حجم کل بتن است با سبکدانهٔ EPS جایگزین شده است. جزئیات طرح‌های اختلاط در جدول ۳ مشاهده می‌شود.

### ۳-۱- طرح اختلاط بتن خودتراکم

ابتدا شن و ماسه به داخل مخلوط‌کن ریخته شده و به مدت دو دقیقه مخلوط‌کن روشن شده و مصالح مخلوط گردید. پس از آن سیمان و پودر سنگ و مواد پوزولانی به درون مخلوط‌کن ریخته شد و عملیات اختلاط دو دقیقهٔ دیگر ادامه یافت. در این مرحله بخشی از آب اختلاط به مخلوط اضافه شد پس از آن باقی آب اختلاط به همراه فوق‌روان‌کننده به‌تدریج به مخلوط اضافه شده و اختلاط برای مدت ۳ الی ۴ دقیقهٔدیگر ادامه پیدا کرد.

### ۳-۲- طرح اختلاط بتن سبک خودتراکم حاوی سبکدانهٔ لیکا

در طرح‌های اختلاط شامل لیکا ابتدا به منظور کاهش تاثیر منفی جذب آب موثر در مخلوط بتن توسط سبکدانه‌ها، قبل از مخلوط کردن مصالح، پیش‌خیس‌کردن سبکدانه‌ها انجام شد. به این منظور حدود پانزده دقیقه عملیات پیش خیس کردن در مخلوط‌کن ادامه یافت. سپس ماسه و پودر سنگ اضافه شده و اختلاط به مدت ۱ دقیقه انجام شد. درنهایت سیمان و مواد پوزولانی به همراه باقی ماندهٔ آب و فوق‌روان‌کننده اضافه گردید به نحوی که در پایان مقدار آب جذب شده توسط لیکا معادل جذب آب نیم‌ساعته و از پیش تعیین شده گردید.

### ۳-۳- طرح اختلاط بتن خودتراکم حاوی سبکدانهٔ EPS

برای ساخت نمونه‌های پلی‌استایرن منبسط شده از شیوهٔ خیاط و همکاران استفاده شده است[۱۴]. ابتدا سنگدانه‌ها شامل شن و ماسه و پودر سنگ و سبکدانهٔ EPS به مدت ۳۰ ثانیه مخلوط شد، پس از آن در حالیکه مخلوط‌کن روشن بود نصف آب مصرفی به مخلوط اضافه شده و به مدت یک دقیقه عملیات اختلاط ادامه یافت. در این مرحله مخلوط‌کن خاموش شده و سیمان و پوزولان اضافه گردید و به مدت ۱ دقیقهٔ دیگر مخلوط‌کن روشن شد. آب باقیمانده به همراه فوق‌روان‌کننده به مخلوط اضافه شد و عملیات اختلاط برای ۵ دقیقه ادامه یافت.

## ۴- بررسی نتایج آزمایشگاهی

### ۴-۱- نتایج بتن تازه

در جدول ۴ مشخصات بتن تازه براساس راهنمای بتن خودتراکم اروپا نشان داده شده است[۱۵]. چنانچه مشاهده می‌شود حضور سبکدانه‌ها باعث کاهش خصوصیات بتن تازه شده است. با به کار بردن سبکدانه‌ها نتایج اسلامپ و قیف V تغییر محسوسی نکرده اند ولی قابلیت عبور از میان میلگردها با به کار بردن پلی‌استایرن منبسط شده به‌طور محسوسی کاهش پیدا کرده است. هر چند بر اساس راهنمای بتن خودتراکم اروپا ردهٔ بتن کماکان PA2 بوده و مطلوب می‌باشد. قابل ذکر است که رده PA2 در آزمایش جعبه L شامل ۳ میلگرد می‌باشد و برای تراکم آرماتورهای زیاد مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به مشخصات ذکر شده در جدول ۴ کلیهٔ طرح اختلاط‌ها الزامات بتن خودتراکم را برآورده کرده و می‌توانند در اعضای سازه‌ای از قبیل تیر و سقف به کار گرفته شوند. لذا به کارگیری آنها در تیرهای بتن مسلح که در آنها تراکم آرماتور وجود دارد بلامانع می‌باشد.

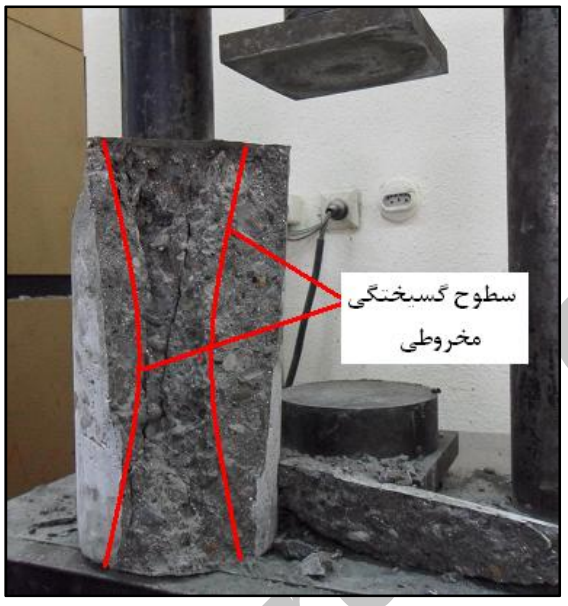

www.SID.ir
Archive of SID

جدول ۴- خصوصیات بتن تازه

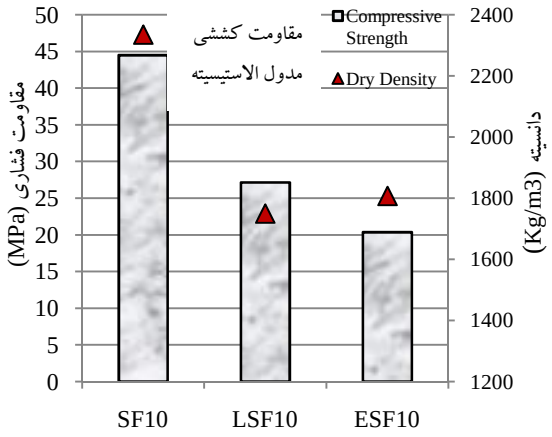
| Mix ID | جریان اسلامپ | | قیف V | | جعبه L | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | mm | رده | Sec | رده | H2/H1 | رده |
| SF10 | ۷۰۰ | SF2 | ۸ | VF1 | ۰/۹۸ | PA2 |
| LSF10 | ۷۰۰ | SF2 | ۸ | VF1 | ۰/۹۶ | PA2 |
| ESF10 | ۷۲۰ | SF2 | ۹ | VF2 | ۰/۸۶ | PA2 |

## ۴-۲- نتایج بتن سخت شده

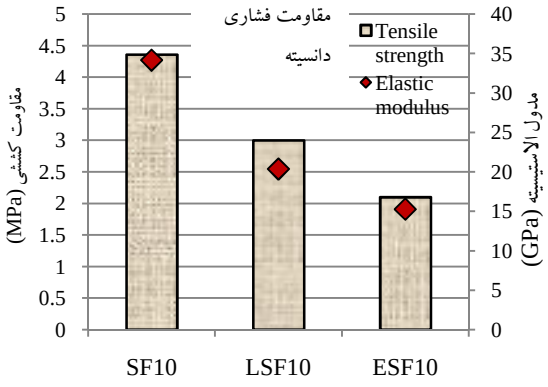
مقاومت فشاری براساس استاندارد ASTM C496 بر روی آزمونه‌های استوانه‌ای ۱۵ x ۳۰cm انجام شده است. تعداد آزمونه‌ها در هر مورد ۳ عدد بوده و نتایج به صورت میانگین ارائه شده است. مقاومت کششی براساس ASTM C496 بر روی آزمونه‌های استوانه‌ای ۱۵ x ۳۰ cm انجام شده است، تعداد آزمونه‌ها در این آزمایش برای بتن‌های سبک ۸ عدد و برای بتن با وزن معمولی ۳ عدد می‌باشد. همچنین مدول الاستیسیته براساس استاندارد ASTM C469 بر روی آزمونه‌های استوانه‌ای ۱۵ x ۳۰ cm و آزمایش تعیین چگالی براساس استاندارد ASTM C567 انجام گرفته است. سن بتن در زمان انجام آزمایش‌ها ۲۸ روز بوده و کلیهٔ آزمونه‌ها تا زمان آزمایش به‌صورت مرطوب نگهداری شده‌اند. نحوهٔ گسیختگی آزمونهٔ فشاری استوانه‌ای در شکل ۱ نشان داده شده است. همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود چگالی دو طرح حاوی سبکدانهٔ کمتر از $1860\ kg/m^3$ می‌باشد و بر اساس استاندارد ACI 318 این بتن‌ها در رده بتن سبک قرار می‌گیرند. همچنین مقاومت فشاری کلیهٔ طرح‌ها بیشتر از ۱۷ مگاپاسکال بوده و استفاده از آنها در اعضای سازه‌ای بلامانع می‌باشد. شکل ۳ بیانگر کاهش مدول الاستیسیته و مقاومت کششی بتن حاوی سبکدانه است. کمترین مقاومت کششی و مدول الاستیسیته مربوط به طرح ESF10 می‌باشد.




شکل ۱- گسیختگی آزمونه استوانه‌ای در فشار




شکل ۳- مقاومت کششی و مدول الاستیسیتهٔ ۲۸ روزه




شکل ۲- مقاومت فشاری و چگالی ۲۸ روزه



Archive of SID
www.SID.ir

## ۵- آماده‌سازی و بارگذاری تیرهای بتنی

### ۵-۱- تهیه و عمل‌آوری تیرهای بتنی

به منظور بررسی پارامترهای طراحی تیر بتنی خودتراکم حاوی سبکدانه‌های لیکا و EPS و امکان‌سنجی استفاده از روابط آیین‌نامه ACI 318 در طراحی آن به عنوان عضو سازه‌ای سه تیر بتنی با ابعاد و سطح مقطع نشان داده شده در شکل ۴ ساخته شدند. یکی از تیرها با استفاده از طرح اختلاط (SF10) که مربوط به بتن خودتراکم حاوی دودهٔ سیلیس است ساخته شده و دو تیر دیگر با استفاده از طرح اختلاط (LSF10) که مربوط به بتن خودتراکم سبک سازه‌ای حاوی سبکدانهٔ لیکا است و طرح اختلاط (ESF10) که مربوط به بتن خودتراکم سبک سازه‌ای حاوی سبکدانهٔ پلی‌استایرن منبسط شده است ساخته شده‌اند. جزئیات طرح اختلاط تیرها در جدول ۳ ذکر گردیده است. لازم به ذکر است که از هر تیر سه عدد ساخته شده و نتایج به صورت میانگین ارائه شده است. قالب تیرها پس از گذشت ۲۴ ساعت از بتن‌ریزی باز شده و پس از آن به منظور فراهم آوردن شرایط عمل آوری تیرها در داخل استخر آب قرار داده شدند. تیرها پس از گذشت ۲۸ روز از عمل‌آوری از آب خارج شده و به مدت یک هفته در محیط آزمایشگاهی نگهداشته شده‌اند تا کاملا خشک شده و آمادهٔ انجام مراحل بعدی آزمایش شوند. کلیهٔ میلگردهای به کار رفته از نوع AIII با تنش نهایی $۴۰۰۰\ Kg/cm^2$ است.

### ۵-۲- لوازم و تجهیزات اندازه‌گیری ، بارگذاری

برای بارگذاری تیرهای بتنی از دستگاه یونیورسال کنترل بار با ظرفیت ۲۰۰ KN استفاده شد (شکل ۵). برای اندازه‌گیری خیزها از تغییر مکان‌سنج‌های مکانیکی با دقت ۰/۰۰۰۱ اینچ استفاده شد که توسط پایه‌های فلزی به سطح بتن نصب شده بودند (شکل۶). از میان چهار تغییر مکان‌سنج، دو تغییر مکان‌سنج بر روی سطح جانبی بتن و در سطح هم‌تراز با میلگردهای فشاری و کششی طولی در وسط تیر به ترتیب برای اندازه‌گیری مقادیر کرنش فشاری و کششی بتن نصب گردیدند. دو تغییر مکان‌سنج مکانیکی دیگر در وسط تیر و در راستای اعمال بار برای اندازه‌گیری مقادیر خیز تیرها نصب گردیدند.نحوهٔ قرارگیری تیر بتنی بر روی دستگاه بارگذاری یونیورسال در شکل ۷ نشان داده شده است. نحوهٔ گسیختگی تیرها درشکل ۸ نمایش داده شده است. ترک‌ها در ناحیهٔ لنگر ثابت بین دو نقطهٔ بارگذاری گسترش پیدا کرده و ترک اصلی در محل قرار دادن گیج‌ها در ناحیه کششی رخ داده است.

### ۵- ۳- محاسبهٔ مدول گسیختگی، لنگر و تغییر مکان حد ترک‌خوردگی براساس آیین‌نامهٔ ACI 318M-11

در جدول ۵ مقادیر مربوط به مدول گسیختگی، لنگر ترک‌خوردگی و تغییر مکان نظیر حد ترک‌خوردگی با استفاده از آیین نامه 318ACI محاسبه شده است. مدول الاستیسیته $E_c$ با توجه به رابطهٔ ۱ تعیین شده است.

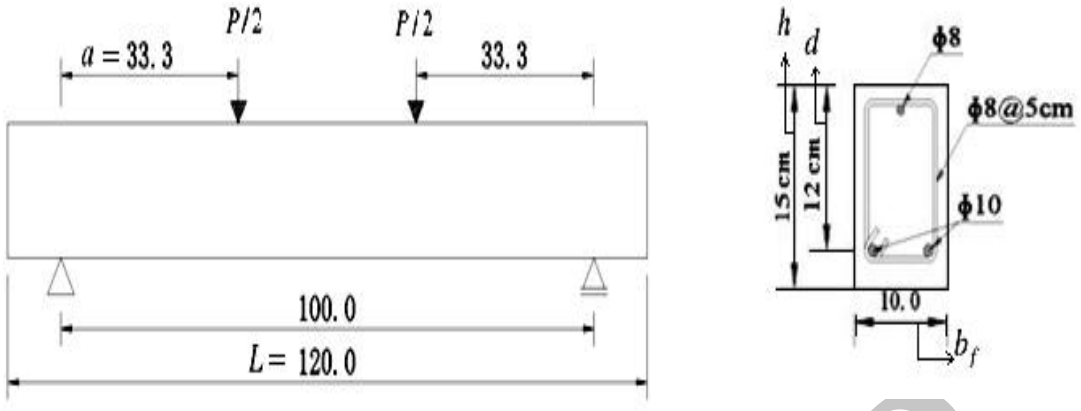
$$E_c = w_c^{1.5} 0.043 \sqrt{f'_c} \qquad \text{رابطهٔ ۱}$$

در رابطهٔ ۱ ، $f'_c$ مقاومت فشاری مشخصهٔ بتن و $W_c$ چگالی تعادلی بتن است و از شکل ۲ برداشت شده است. $\lambda$ ضریب کاهش مقاومت بتن سبک است. در بتن خودتراکم سبک حاوی لیکا از مقدار توصیه شده توسط آیین‌نامه که در جهت اطمینان است استفاده کرده‌ایم، این ضریب برای بتن‌های سبک ماسه‌ای که تمامی درشت‌دانه‌ها سبک و ریزدانه‌ها ماسه می‌باشند ۰/۸۵ در نظر گرفته شده است. از آنجایی که در بتن خودتراکم سبک حاوی EPS بخشی از شن و ماسه با سبکدانه جایگزین شده، ضریب اثر بتن سبک $\lambda$ با استفاده از رابطهٔ ۲ محاسبه شده است. ضریب اثر بتن سبک ۰/۸۳ به دست آمده است که کوچکتر از ۰/۸۵ می‌باشد. لذا در بتن خودتراکم سبک حاوی EPS ضریب اثر بتن سبک را ۰/۸۳ در نظر گرفته‌ایم.

$$\lambda = \frac{f_{ct}}{0.56\sqrt{f'_c}} \leq 1 \qquad \text{رابطهٔ ۲}$$

در رابطهٔ ۲ ، $f_{ct}$ مقاومت کششی دو نیم شدن بتن سبک بوده و از شکل ۳ برداشت شده است. با توجه به توضیحات ذکر شده مقادیر مدول گسیختگی ( $f_r$ )، لنگر ترک‌خوردگی ( Mcr ) و تغییر مکان نظیر حد ترک‌خوردگی( $\Delta_{cr}$ ) به ترتیب با استفاده

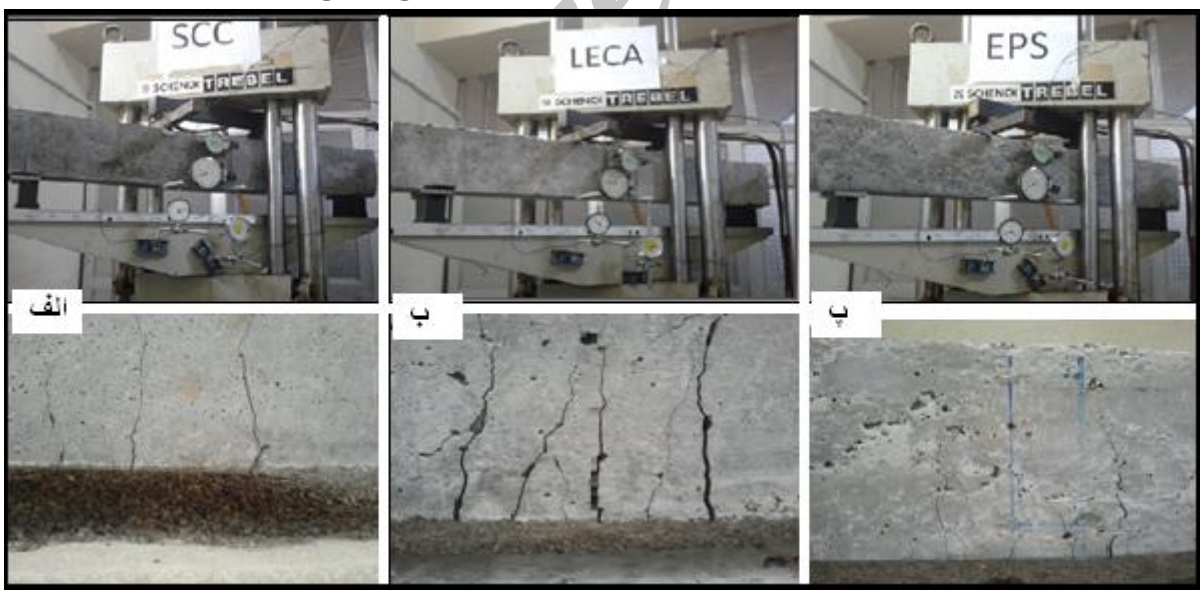

www.SID.ir
Archive of SID




شکل ۴- مقطع طولی و عرضی تیرهای بتن مسلح

شکل ۵- دستگاه بارگذاری

شکل ۶- اتصال کرنش‌سنج به سطح بتن با پایه‌های فلزی




شکل ۷- بارگذاری و نحوهٔ انتشار ترک در لحظهٔ گسیختگی

الف) تیر بتنی خودتراکم؛ ب) تیر بتنی خودتراکم سبک حاوی لیکا؛ پ) تیر بتنی خودتراکم سبک حاوی EPS



www.SID.ir

شکل ۸ – مقایسهٔ نحوه ترک خوردگی تیرها و خیز آنها در زمان گسیختگی

از روابط ۳ ، ۴ و۵ محاسبه شده و در جدول ۵ نمایش داده شده‌اند.

$$fr = 0.62 \times \lambda \times \sqrt{f'_c}$$ رابطهٔ ۳

$$M_{cr} = \frac{2 \times f_r \times I_g}{h}$$ رابطهٔ ۴

$$\Delta_{cr} = \frac{M_{cr}}{24 \times E_c \times I_g}(3L^2 - 4a^2)$$ رابطهٔ ۵

$I_g$ ممان اینرسی مقطع تیر بتنی و $E_c$ مدول الاستیسیته بتن است. مقادیر L ، a و h در شکل ۳ نمایش داده شده‌اند.

همان‌طور که از جدول ۵ مشخص است بیشترین مدول گسیختگی و لنگر ترک‌خوردگی و کمترین تغییر مکان حد ترک‌خوردگی به بتن خودتراکم فاقد سبک‌دانه (طرح SF10) تعلق دارند. حضور سبکدانه باعث کاهش مدول گسیختگی و لنگر ترک‌خوردگی و افزایش خیز در لحظهٔ‌ترک خوردن می‌شود. بتن خودتراکم سبک حاوی EPS (طرح ESF10) با وجود اینکه وزنی تقریبا برابر با طرح اختلاط حاوی لیکا (طرح LSF10) دارد ولی مدول گسیختگی و لنگر ترک‌خوردگی آن کمتر از طرح اختلاط حاوی لیکا می‌باشد. خیز نظیر لنگر ترک‌خوردگی در هر دو طرح اختلاط حاوی بتن خودتراکم سبک سازه‌ای تقریباً با هم برابر است.

## ۶- بررسی نتایج آزمایشگاهی تیرهای بتنی

### ۶-۱- رسم دیاگرام لنگر – تغییر مکان و بررسی پارمترهای طراحی در حد ترک خوردگی

در طراحی خمشی تیر بتنی نمودار لنگر خمشی- خیز به سه ناحیهٔ خطی تقسیم می‌شود. این سه ناحیه در نمودار خیز- لنگر خمشی که توسط توتانجی و همکارانش بسط داده شده مشاهده می‌گردد ( شکل۹ ). نقاط کنترلی این منحنی شامل خیز و لنگر حد ترک‌خوردگی ($\Delta_{cr}$ , $M_{cr}$)، خیز و لنگر حد جاری شدن میلگردهای کششی ($\Delta_y$ , $M_y$) و خیز و لنگر حد نهایی ( $\Delta_u$ , $M_u$) می‌باشند[۱۶]. در شکل‌های ۹، ۱۰ و ۱۱ نتایج حاصل از بارگذاری تیرهای بتنی به صورت نمودار لنگر – تغییر مکان نمایش داده شده‌اند. همچنین منحنی‌های ایده‌آل سازی شده مشابه نمودار توتانجی( شکل۹) رسم شده‌اند.در آنها نقاط کنترلی شامل خیز و لنگر حد ترک‌خوردگی ($\Delta_{cr}$ , $M_{cr}$)، خیز و لنگر حد جاری شدن میلگردهای کششی ($\Delta_y$ , $M_y$) و خیز و لنگر حد نهایی ($\Delta_u$ , $M_u$) قابل مشاهده می‌باشند ، با استفاده از این نمودارها لنگر ترک‌خوردگی تیر و تغییر مکان نظیر لنگر ترک‌خوردگی را تعیین می‌کنیم.با جایگذاری لنگر ترک‌خوردگی (نقاط کنترلی اول در شکل‌های ۱۰، ۱۱ و۱۲) در رابطه ۶ مدول گسیختگی آزمایشگاهی تیرهای بتنی تعیین می‌شود . سپس با استفاده از رابطه ۷ ضریب $\lambda e$ برای طرح اختلاط‌های حاوی لیکا و پلی‌استایرن منبسط شده تعیین می‌گردد، نتایج محاسبات در جدول ۶ نمایش داده شده است.

$$f_{re} = \frac{M_{cr} \times h}{2 \times I_g} \times 7$$ رابطهٔ ۶

$$\lambda_e = \frac{f_{re}}{0.62 \times \sqrt{f'_c}}$$ رابطهٔ ۷



www.SID.ir

شکل‌های ۱۳ و ۱۴ با توجه به نتایج آزمایشگاهی ذکر شده در جدول ۵ و مقادیر محاسبه شده در جدول ۶ رسم شده‌اند، شکل۱۳ به طور همزمان ضریب λ و مدول گسیختگی را در طرح اختلاط‌های مختلف با هم مقایسه می‌کند. همانطورکه پیشتر نیز به آن اشاره شد، آیین‌نامهٔ ACI 318، ضریب λ را برای بتن‌های سبک ماسه‌ای ۰/۸۵ توصیه می‌کند. در طرحاختلاط LSF10 که بتن بتن سبک ماسه ای است ضریب λ توصیه شدهٔ آیین‌نامه نسبت به مقدار آزمایشگاهی در جهت اطمینان و از آن کمتر می‌باشد. در طرح LSF10 مدول گسیختگی محاسباتی نیز از مقدار بدست آمده در آزمایشگاه بزرگتر بوده و در جهت اطمینان است. طرح اختلاط ESF10 جزو دسته‌بندی‌های آیین‌نامهٔ ACI 318 قرار نمی‌گیرد زیرا بخشی از شن و ماسهٔ بتن با EPS جایگزین شده است. برای این بتن مطابق جدول ۵ ضریب λ به دست آمده با روابط آیین‌نامه ۰/۸۳ است حال آنکه بررسی تیرها حاکی از این است که این ضریب ۰/۷۹۲ می‌باشد چنانچه در شکل ۱۳ مشاهده می‌شود. این موضوع به بروز خطا در محاسبهٔ مدول گسیختگی منجر شده است. بنابراین پیشنهاد می‌شود به جای استفاده از رابطهٔ ذکر شده در آیین‌نامه (رابطهٔ ۲)یا ضریب λ به طور عملی تعیین شود و یا از مقدار توصیه شده توسط آیین‌نامه برای بتن‌های سبکی که کلیهٔ سنگدانه‌های آن سبک می‌باشند یعنی ۰/۷۵ استفاده شود. عدم در نظر گرفتن این نکته می‌تواند باعث بروز خطا در محاسبه ظرفیت لنگر ترک خوردگی بتن شود. در شکل ۱۴ به طور همزمان لنگر و تغییر مکان وسط دهانه در تیرهای مختلف مقایسه شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود در حد ترک‌خوردگی بیشترین خیز وسط دهانه ($\Delta_{cre}$) مربوط به طرح LSF10 می‌باشد.

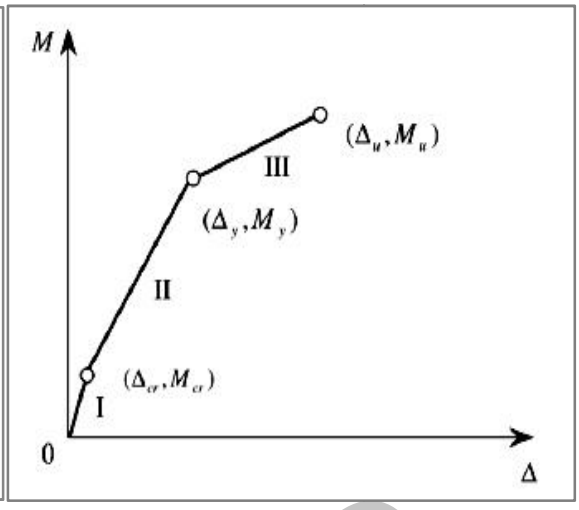
خیز تیر بتنی سبک خودتراکم حاوی EPS نیز نسبت به تیر فاقد سبکدانه افزایش یافته است. لذا برخلاف کاهش ظرفیت خمشی تیرها در حد ترک‌خوردگی شکل‌پذیریشان با استفاده از سبکدانه‌ها افزایش پیدا کرده است.روابط آیین‌نامه درمورد تغییر مکان تیرها همیشه در جهت اطمینان است. یکی از دلایل این موضوع می‌تواند بزرگتر بودن مدول الاستیسیته واقعی بتن (شکل ۳) نسبت به مدول الاستیسیتهٔ محاسباتی (جدول ۲) باشد. لنگر ترک‌خوردگی رابطهٔ مستقیمی با مدول گسیختگی بتن دارد. بنابراین در طرح اختلاط ESF10 ، $M_{cre}$ بزرگتر از $M_{cr}$ و در خلاف جهت اطمینان است. لذا توصیه می‌شود در تعیین لنگر خمشی ترک‌خوردگی نیز نکاتی که پیشتر در مورد تعیین ضریب λ گفته شد رعایت شود.

جدول ۵- محاسبهٔ مدول گسیختگی، لنگر و تغییر مکان حد ترک‌خوردگی بر اساس ACI 318M-11

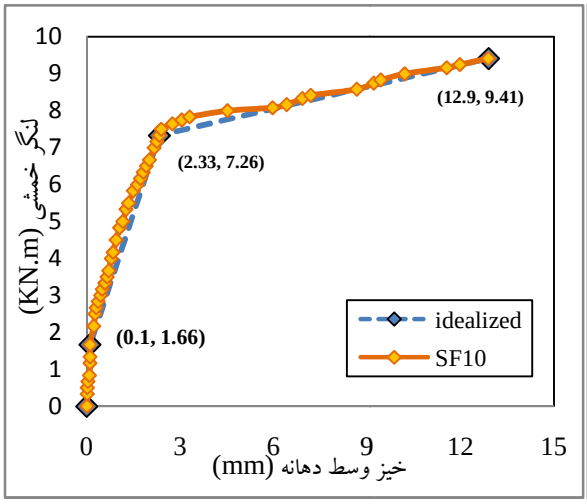
| نام طرح | مقادیر آزمایشگاهی | | | مقادیر محاسبه شده براساس استاندارد ACI 318M-11 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $f'_c$ MPa | MPa | Kg/cm$^4$ | mm$^4$ | MPa | | $f_r$ MPa | $M_{cr}$ KN.m | mm |
| SF10 | ۴۴ | ۴/۳۶ | ۲۳۳۳ | ۱۰$^3$×۲۸۱۲۵ | ۳۲۱۴۱/۵ | ۱ | ۴/۱۱ | ۱/۵۴ | ۰/۱۸ |
| LSF10 | ۲۷/۱۶ | ۳ | ۱۷۶۷ | ۱۰$^3$×۲۸۱۲۵ | ۱۶۶۴۵/۱ | ۰/۸۵ | ۲/۷۴ | ۱/۰۲ | ۰/۲۳ |
| ESF10 | ۲۰/۳۷ | ۲/۱ | ۱۸۰۰ | ۱۰$^3$×۲۸۱۲۵ | ۱۴۸۲۰/۸ | ۰/۸۳ | ۲/۳۲ | ۰/۸۷ | ۰/۲۲ |



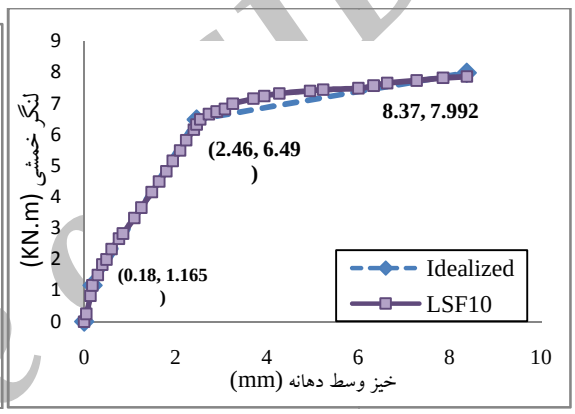
Archive of SID
www.SID.ir



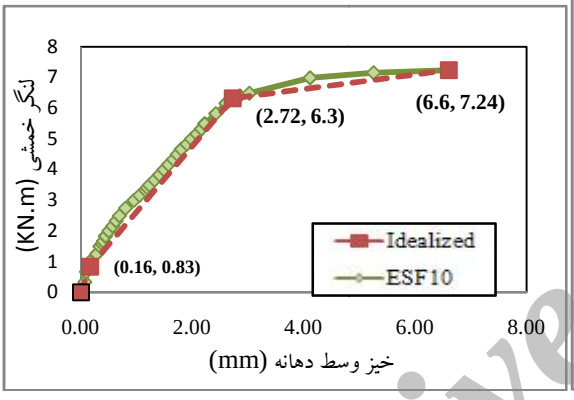

شکل ۹- نمودار ایده‌آل لنگر- تغییر مکان توتانجی [۱۶]




شکل ۱۰- نمودار لنگر- تغییر مکان برای تیر (SF10)




شکل ۱۱- نمودار لنگر- تغییر مکان برای تیر (LSF10)



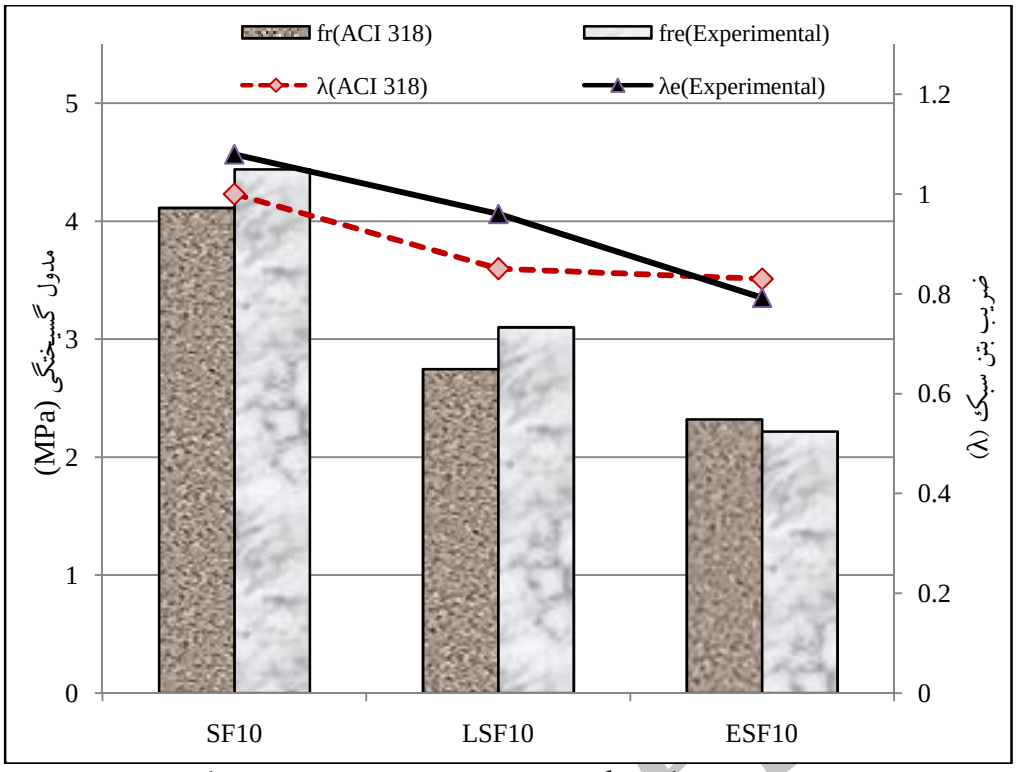

شکل۱۲- نمودار لنگر- تغییر مکان برای تیر (ESF10)

جدول ۶- مقادیر آزمایشگاهی مدول گسیختگی، لنگر و تغییر مکان حد ترک‌خوردگی و ضریب بتن سبک

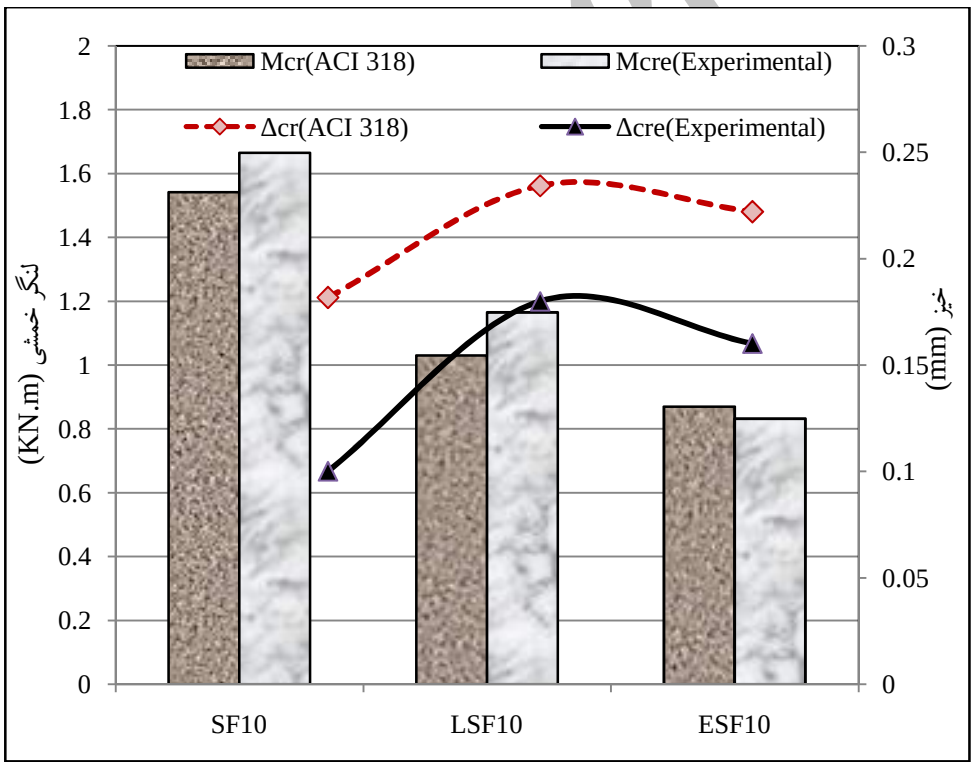
| نام طرح | مقادیر آزمایشگاهی | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | MPa | $mm^4$ | $M_{cre}$ KN.m | mm | $f_{re}$ MPa | λe |
| SF10 | ۴۴ | ۱۰$^{۳}$×۲۸۱۲۵ | ۱/۶۶۵ | ۰/۱ | ۴/۴۴ | ۱/۰۷۹ |
| LSF10 | ۲۷/۱۶ | ۱۰$^{۳}$×۲۸۱۲۵ | ۱/۱۶۵ | ۰/۱۸ | ۳/۱۰۶ | ۰/۹۶ |
| ESF10 | ۲۰/۳۷ | ۱۰$^{۳}$×۲۸۱۲۵ | ۰/۸۳۲ | ۰/۱۶ | ۲/۲۱۸ | ۰/۷۹۲ |



Archive of SID
www.SID.ir



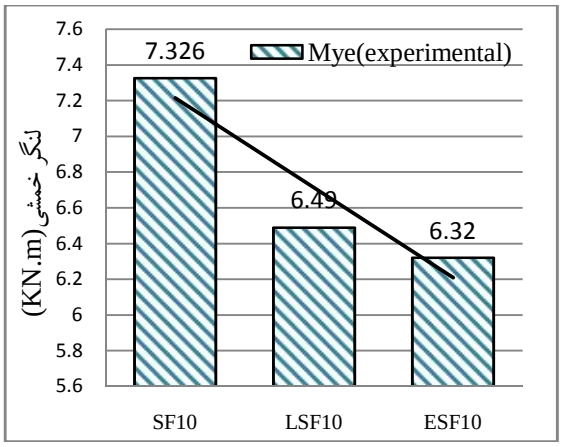

شکل ۱۳– مدول گسیختگی و ضریب بتن سبک در حد ترک‌خوردگی



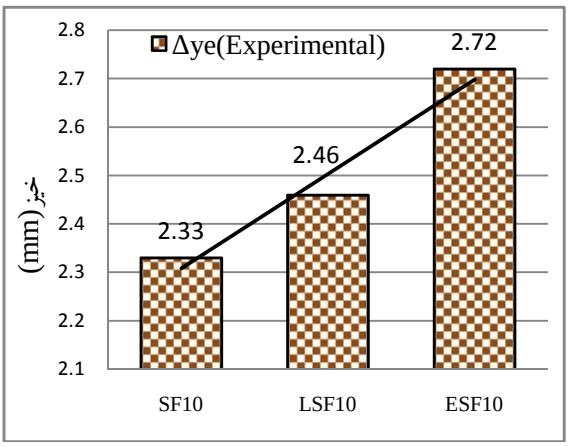

شکل ۱۴– لنگر و خیز نظیر وسط دهانه در حد ترک‌خوردگی



www.SID.ir




شکل ۱۵- ظرفیت خمشی در حد بهره‌برداری




شکل ۱۶- خیز نظیر حد بهره‌برداری

## ۶-۲- کنترل خیز نظیر حد بهره‌برداری:

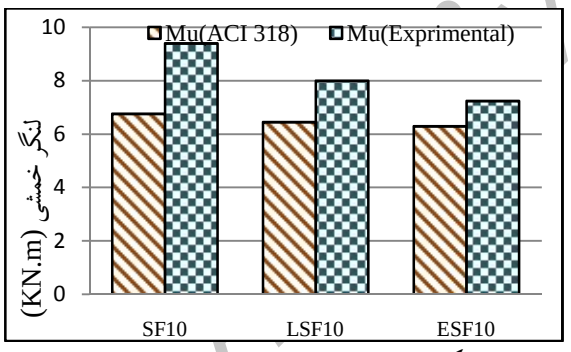
ظرفیت خمشی ($M_{ye}$) و خیز وسط دهانه ($\Delta_{ye}$) تیرهای بتنی در حد بهره‌برداری ( نقطه کنترلی دوم در نمودارهای ۱۰، ۱۱ و ۱۲) در دو شکل ۱۵ و ۱۶ نشان داده شده‌اند. مطابق شکل ۱۵ لنگر نظیر حد بهره‌برداری با حضور سبکدانه‌ها کاهش پیدا کرده است و کمترین ظرفیت خمشی مربوط به طرح ESF10 می‌باشد.

شکل ۱۶ حاکی از افزایش خیز تیرهای بتنی حاوی سبکدانه استدر این حالت طرح اختلاط ESF10 بیشترینخیز را دارد. افزایش خیز تیرهای حاوی سبکدانه به ویژه در کنترل خیز تیرها و دال‌ها به منظور عدم آسیب‌رسانی به اعضای غیرسازه‌ای متصل به آنها اهمیت دارد.

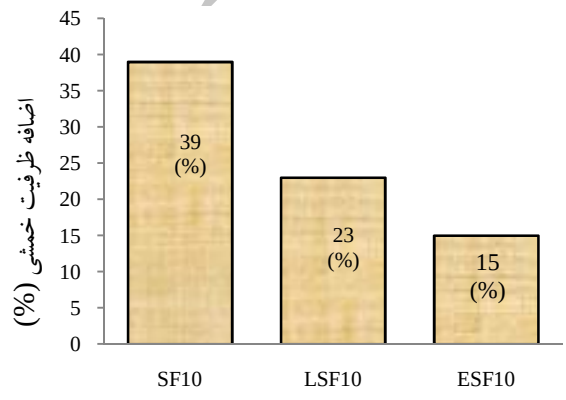
## ۶-۳- نتایج ظرفیت خمشی نظیر حد نهایی:

ظرفیت خمشی تیرهای بتنی در حد نهایی($M_{ue}$) یعنی ( نقطهٔ کنترلی سوم در نمودارهای ۱۰، ۱۱ و ۱۲) و ظرفیت خمشی محاسباتی تیرهای بتن مسلح با فولاد مضاعف ($M_u$) بر طبق ACI 318M-11 در شکل ۱۷ ترسیم و با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

نکته قابل توجه این است که مطابق آیین‌نامهٔ کرنش نهایی بتن سبک ۰/۰۰۳ باید در نظر گرفته شود حال آنکه ممکن است کرنش نهایی واقعی بتن با این عدد تفاوت داشته باشد. همانطور که در شکل ۱۷ مشاهده می‌شود به کارگیری روابط و توصیه‌های آیین‌نامه درمورد تیرهای بتنی سبک حاوی لیکا و EPS به خوبی می‌تواند لنگر نهایی بتن را محاسبه کند و همواره مقداری اضافه ظرفیت در تیر واقعی باقی می‌ماند.در شکل ۱۸ اضافه ظرفیت خمشی نهایی در صورت استفاده از روابط آیین‌نامهٔ ACI 318 مشاهده می‌شود. درمورد بتن خودتراکم و بتن خودتراکم سبک حاوی لیکا با ظریب اطمینان خوبی قادر به استفاده از روابط آیین‌نامه برای محاسبه ظرفیت خمشی تیرهای بتنی ساخته شده می‌باشیم. درمورد تیر بتنی حاوی EPS باید به کاهش ضریب اطمینان روابط آیین‌نامه توجه داشت.




شکل ۱۷- ظرفیت خمشی در حد نهایی




شکل ۱۸- اضافه ظرفیت خمشی در صورت استفاده از ACI 318


www.SID.ir

## ۷- نتیجه گیری

با استفاده از روابط آیین‌نامهٔ ACI بیشترین مدول گسیختگی و لنگر ترک‌خوردگی و کمترین تغییر مکان حد ترک‌خوردگی به بتن خودتراکم فاقد سبکدانه (طرح SF10) تعلق دارند. حضور سبکدانه باعث کاهش مدول گسیختگی و لنگر ترک خوردگی و افزایش خیز در لحظهٔ ترک‌خوردن بتن می‌شود. بتن خودتراکم سبک حاوی EPS (طرحESF10) با وجود اینکه وزنی تقریبا برابر طرح اختلاط حاوی لیکا (طرح LSF10) دارد ولی مدول گسیختگی و لنگر ترک‌خوردگی آن کمتر از طرح اختلاط حاوی لیکا می باشد.

- خیز نظیر لنگر ترک خوردگی در هر دو طرح اختلاط حاوی بتن خودتراکم سبک سازه‌ای تقریبا با هم برابر است.
- در طرح SF10 که مربوط به بتن خودتراکم با سنگدانه‌های طبیعی می‌باشد ، لنگر ترک‌خوردگی و مدول گسیختگی تعیین شده در آزمایشگاه بزرگتر از مقادیر محاسبه شده توسط فرمول‌های ACI می‌باشند لذا کاربرد روابط آیین‌نامه برای محاسبهٔ لنگر ترک‌خوردگی در جهت اطمینان است. در طرح LSF10 که مربوط به بتن خودتراکم سبک حاوی لیکا می‌باشد، لنگر ترک خوردگی و مدول گسیختگی تعیین شده در آزمایشگاه بزرگتر از مقادیر محاسبه شده توسط فرمول‌های ACI می‌باشند. لذا کاربرد روابط آیین‌نامه برای محاسبهٔ لنگر ترک‌خوردگی در جهت اطمینان است. در طرح ESF10 که مربوط به بتن خودتراکم سبک حاوی EPS است، لنگر ترک‌خوردگی و مدول گسیختگی تعیین شده در آزمایشگاه کوچکتر از مقادیر محاسبه شده توسط فرمول‌های ACI هستند لذا کاربرد روابط آیین‌نامه برای محاسبهٔ لنگر ترک‌خوردگی صحیح نمی باشد.
-ضریب اثر بتن سبک ($\lambda$) در تیر بتن مسلح سبک حاوی سبکدانهٔ EPS در آزمایشگاه ۰/۷۹۲ به دست آمده است. در صورتی که طبق روابط آیین‌نامه این مقدار ۰/۸۳ می‌باشد. لذا توصیه می‌شود در صورت استفاده از این بتن در اعضای سازه‌ای حتما با ساخت آزمونه‌هایی، ضریب تاثیر بتن سبک تعیین گردد و یا در جهت اطمینان از ضریب ۰/۷۵ استفاده شود.

خیز تیرهای بتنی ساخته شده با استفاده از بتن خودتراکم سبک چه در حد ترک‌خوردگی و چه در حد نهایی بیش از تیرهای بتنی ساخته شده با بتن خودتراکم معمولی می باشد که این امر باید در طراحی اعضای غیر سازه‌ای متصل به آنها لحاظ شود.
با استفاده از روابط ذکر شده در آیین نامهٔ ACI 318M-11 می‌توان ظرفیت خمشی نهایی تیرهای بتنی سبک حاوی سبکدانهٔ لیکا یا EPS را با ضریب اطمینان مناسبی تعیین کرد.

## ۸- مراجع


[1].K.H. Khayat, "Workability, Testing and Performance of Self Consolidated Concrete", ACI Materials Journal, V.96 No. 3, May-June, 1999, pp 346-352.

[2].K.H. Khayat, J. Assaad., J. Daczko, "Comparison of Field-oriented Test Methods to Assess Dynamic Stability od Self-Consolidated Concrete," ACI Material Journal, V. 101 No. 2, March-April, 2004, pp 168-176.

[3].L.,A. Mata, "Implementation of Self-Compacting Concrete (SCC) for Prestressed Concrete Girders" Master of Science Thesis North Carolina State University November 2004.

[4].Mazaheripour, H.; Ganbarpour, S.; Mirmoradi,SH.; Hosseinpour I.; The effect of polypropylene fibers on the properties of fresh and hardened lightweight selfcompacting concrete, construction and Building Materials, 2011, Vol.25 , 351-8.

[5]. Topcu I. B.; Uygunoglu T.; Effect of aggregate type on properties of hardened self-consolidating lightweight concrete (SCLC), Construction and Building Materials, 2010,Vol.24,1286-95.

[6]. Kim, Y.J.;Choi,Y.W.; Lachemi,M.; Characteristics of self -consolidating concrete using two types of lightweight coarse aggregates, Construction and Building Materials, 2010, Vol.24, 11-16.

[7]. Choi, Y . W.; Kim, Y.J.; Shin, H.C.; Moon, H. Y.; An experimental research on the fluidity and mechanical properties of high-strength light weight self-compacting concrete, Cement and Concrete Reserch , 2006, Vol.36, 1595-602.

[8].Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary; ACI Committee 318,




Archive of SID
www.SID.ir

2011, P.434.

[9].Shideler, J.J; Lightweigth-Aggregate Concrete for Structural Use; ACI Jurnal, V.54, No.4, Oct. 1957, PP. 299-328.

[10]. Babu, K.G., Babu, D. S.; Performance of fly ash concretes containing lightweight EPS aggregates , Cement & Concrete Composites, 2004, Vol.26, 605-11.

[11]. Babu, K.G., Babu, D. S.; Behaviour of lightweight expanded polystyrene concrete containing silica fume , Cement and Concrete Research, 2003, Vol.33, 755-62.

[12]. A. Sadrmomtazi, J. Sobhani, M.A.Mirgozar, M.Najimi; Properties of multi-strength EPS concrete containing silica fume and rice husk ash; Construction and Building Materials 35(2012) 211-219.

[13]. Tommy Y.Lo, W.C. Tang, H.Z. Cui, The effect of aggregate properties on lightweight concrete, Building and Environment 42 (2007) 3025-3029.

[14]. Khayat, K. H.;Bickley, J.; Lessard, M.; Performance of self-consolidating concrete for casting basement and foundation walls, ACI Material journal, 2000,Vol.97,374-80.

[15]. EFNARC,The European guidelines for self-compacting concrete; specification production and use, May 2005.

[16]. Toutanji, H., Zhao, L., Zhang, Y. "Flexural behavior of reinforced concrete beams externally strengthened with CFRP sheets bonded with an inorganic matrix." Engineering Structures 2006; 28(4): 557-566.

Archive of SID



www.SID.ir

# Study on Design Relations of Structural Lghtweight Self-Compacting Concrete Beams Containing Light Expanded Clay and EPS

**A. Sadr Momtazi***
**Associate Professor, University of Guilan**
**H. Nosrati**
**M.Sc. , University of Guilan**

**( Received: 2013/8/20 - Accepted: 2013/11/20)**

## Abstract

The use of lightweight materials in construction industry reduces dead weight of structure and earthquake force acting upon it. On the other hand, the use of lightweight aggregates consider as a way to conserve existing natural aggregate mines .Self-CompactingConcrete (SCC) isa new type ofhighperformanceconcretes that flowsunderits own weight, passes through the reinforcements and fills all the corners of frameworks completely, The use of SCC is growing increasingly because of its great advantagessuch as eliminating the vibration of the concrete, reducing noise pollutionduring the construction time, having high workability and et.

In this paper the effects of using two different artificial lightweight materials including light Expanded Clay Aggregates (LECA) and Expanded Poly-Styrene (EPS) on SCC are investigated. Fresh concrete requirement and the possibility of classification as lightweight self compacting concrete at hardened condition is determined.in order to evaluate structural lightweight self compacting beams, reinforced concrete beams were made of LECA and EPS and their design coefficient, bending capacity, modulus of rupture and deflection , compared with the normal weight SCC and also compared with the corresponding calculated values based on ACI 318.The results Shaw that the proposed relationships by ACI 318 code , are reliable when LECA is applied as lightweight aggregates, In this type of concrete , coefficient of lightweight concrete (λ) and bending capacity calculated by ACI 318 is smaller than corresponding experimental values, and calculated deflection is greater than experimental deflection. but the proposed design relationships by ACI 318 code , aren't reliable when EPS is applied as lightweight aggregates, In EPS concrete , coefficient of lightweight concrete (λ) , bending capacity and modulus of rupture calculated by ACI 318 is greater than corresponding experimental values,

**Key words:** Beam, Design Relations, Structural Lightweight self Compacting Concrete, LECA, EPS

*Corresponding author: Sadrmomtazi@yahoo.com



Archive of SID
www.SID.ir