بررسی رفتار خمشی تیرهای ساخته شده از بتن خود متراکم

مرتضی حسینعلی بیگی، استادیار دانشکده فنی و مهندسی بابل، دانشگاه مازندران ×
جواد واثقی امیری، استادیار دانشکده فنی و مهندسی بابل، دانشگاه مازندران
پیام شفیق، عضو هیئت علمی موسسه آموزش عالی شمال - آمل
رضا مولوی، کارشناسی ارشد عمران – سازه دانشگاه علوم و فنون بابل، مازندران

چکیده:

در دهه اخیر، بتنی تحت عنوان بتن خود تحکیم و بدون نیاز به ویبره ،که به اختصار SCC نامیده میشود، به عنوان یکی از دستاوردهای مهم صنعت بتن معرفی گردید. در این تحقیق رفتار خمشی تیرهای ساخته شده از بتن خود تحکیم، با مقاومت بالا مورد آزمایش قرار گرفت و همچنین مقادیر لنگر نهایی تجربی، با مقادیر تئوری حاصله از آیین نامه بتن ایران مقایسه گردید. در این تحقیق ٤ تیر با ابعاد مقطع ۲۰*۱۲ و طول ۱۹۰ سانتیمتر مورد آزمایش قرار گرفتند که همه آنها دارای بتن خود تحکیم با مقاومت فشاری مشخصه ۷۰MPa بودند. این نمونه ها دارای آرماتور کششی به میزان ١٤٪، ۳۲٪، ٥٦٪ و ٨٦٪، فولاد متعادل مقطع همراه با میلگرد برشی به فواصل ٥cm بوده، ارتفاع موثر مقطع نیز ١٦cm میباشد. نتیجه این بررسی نشان می دهد که در طراحی خمشی تیرهای ساخته شده از بتن های خود تحکیم میتوان از روابط ارائه شده در آیین نامه بتن ایران (آبا) بدون هیچگونه تغییری استفاده کرد.

واژه ها کلیدی: ***بتن خود تحکیم، مقاومت خمشی، تیرهای بتن آرمه، کرنش***

۱- مقدمه

بتن خود تحکیم **(SCC)**[1]، برای اولین بار حدود ده سال قبل در کشور ژاپن ابداع گردید .این بتن به نحوی تعریف شده است که احتیاج به هیچ نوع ویبره داخلی وخارجی ندارد وفقط تحت اثر وزن خود ، خود را تحکیم می کند و فواصل بین آرماتورها را پر کرده و همزمان یکنواختی خود را نیز حفظ می نماید. برای دستیابی به چنین رفتار و ویژگی ، بتن تازه باید هر دو حالت سیالیت بالا و چسبندگی خوب را همزمان داشته باشد. در این صورت این بتن می تواند برای بتن ریزی سازه های بتن پیش تنیده با سطوح عاری از خلل و فرج و دالها و پی ها با تراکم بالای میلگرد و مقاطع پر آرماتور و باریک و به طور کلی محل هایی که امکان استفاده از ویبراتور وجود ندارد، بتنی ایده آل باشد.

با ابداع **SCC**، به جهت عدم استفاده از ویبراتور منجر به بهبود مهمی در رابطه با محیط زیست و سلامتی و ایمنی و حذف بعضی از خطاهای افراد دست اندر کار بتن ریزی و همچنین افزایش حجم کار و کاهش زمان و هزینه کلی انجام کار گردیده است [۱]. علی رغم این ویژگی ها، این نوع بتن شامل همان ترکیبات بتن معمولی ویبره شده از قبیل شن، ماسه، سیمان، آب و مواد افزودنی میباشد، اما نسبت های آن متفاوت است. همچنین به منظور ارزیابی عملکرد در برابر پارامترهای روانی و چسبندگی آزمایشات متنوعی روی بتن تازه انجام میشود که

[1] **Self compacting concrete**

از ارائه جزئیات مقوله طرح اختلاط و آزمایشات کنترل کیفیت در این مقاله خوداری میشود. توضیحات کامل و مشروح در مراجع [۱و۲] و یا مرجع [۵] آمده است. علی رغم خصوصیات جذاب **SCC**، عامل اصلی که موجب متداول نشدن استفاده از این نوع بتن در اکثر کشورها گردیده فقدان روابط و ضوابط لازم و کافی برای طراحی اجزاء سازه ای می باشد.

بیشترین حجم تحقیقات گذشته در مورد **SCC** در رابطه با بحث تکنولوژی بتن آن بوده و در حیطه بررسی رفتار سازه ای تحقیقات بسیار کمی انجام شده است، که مشروح آن در مراجع [۲،۱ و۳] و یا [۵] آمده است. برخلاف پژوهشهای قبلی که از مقادیر ثابت میلگرد طولی استفاده شده بود، در این تحقیق از مقادیر مختلف فولاد کششی استفاده گردید. همچنین در این پژوهشها مقاومت بتن تیرهای بتن مسلح در محدودهٔ معینی قرار داشت، اما در این تحقیق برای تمام نمونه ها از مقاومت بتن یکسان و برابر با (**۷۰MPa**) استفاده گردید تا تأثیر میلگرد طولی بر روی رفتار خمشی تیر ساخته شده از بتن خود تحکیم با مقاومت بالا بررسی گردد.

۲- برنامه آزمایشگاهی

۲-۱- مصالح مصرفی

در این تحقیق ۴ تیر بتن مسلح با ابعاد یکسان مورد آزمایش قرار گرفت. طول کلیه این تیرها ۱۹۰سانتیمتر در نظر گرفته شد که بر روی تکیه گاه‌هایی با دهانه ۱۸۰ سانتیمتر **(L=180cm)** مورد بارگذاری و آزمایش قرار گرفتند. عرض مقطع این تیرها ۱۲ سانتیمتر **(b =12cm)**، ارتفاع مقطع ۲۰ سانتیمتر **(h =20cm)** و عمق موثر ۱۶ سانتیمتر **(d =16cm)** میباشد. مشخصات و مقاومت تسلیحات به کار رفته در تیرها در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱- *مشخصات و مقاومت تسلیحات فولادی بکار رفته در تیرها*

میلگرد ها	قطر(**mm**)	مقاومت تسلیم (**MPa**)	مقاومت نهایی(**MPa**)	ضریب ارتجاعی**MPa*10^5**
میلگرد کششی	۱۶ - ۸	۴۵۲/۵	۶۰۳	۲
خاموت	۸	۲۵۱	۴۳۵	۲

مقادیر اجزاء مخلوط بتن **SCC** به کار رفته در ساخت تیرها و نتایج آزمایشهای بتن تازه به ترتیب در جداول (۲ و ۳) آمده است.

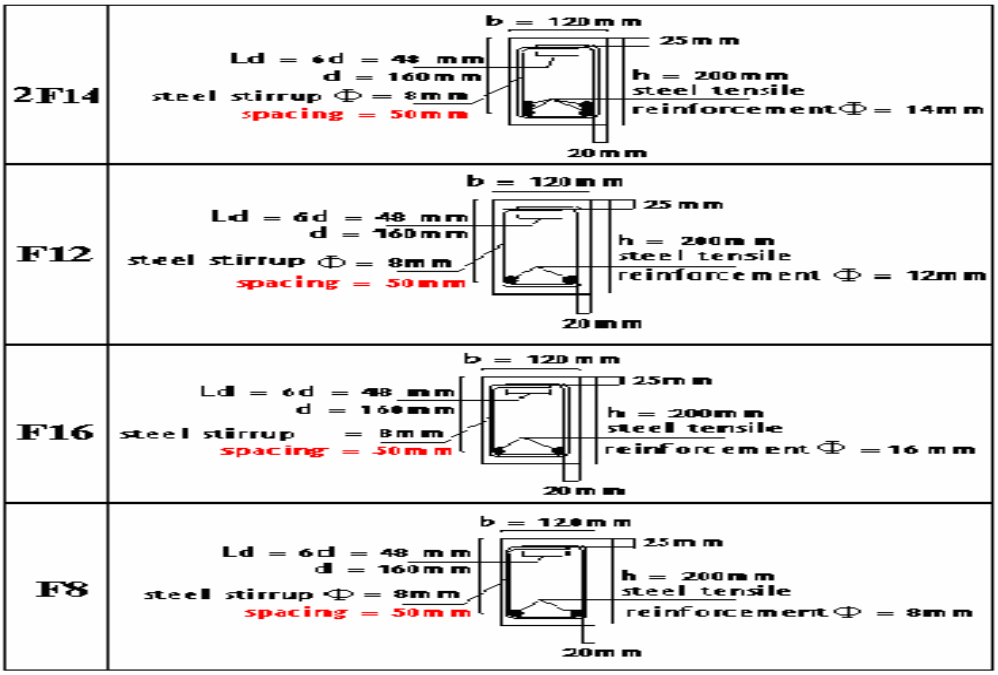
جدول ۲- *مقادیر اجزاء مخلوط بتن خود تحکیم (SCC) به کار رفته در ساخت تیرها*

ماسه	شن	پودر سنگ	آب	فوق روان کننده	میکروسیلیس	سیمان
۴۷۳	۶۶۲	۳۸۵	۲۲۰	۱۰	۵۵	۴۹۵

جدول ۳- *مقادیر متوسط نتایج آزمایشات بتن خود تحکیم* ***(SCC)*** *تازه*

Slump flow	$T_{50}(s)$	D_{final} (cm)
	۲/۵	۷۹
L-box	h_2/h_1	$T_{20}-T_{40}$
	۰/۷۱	۰/۵۷ – ۱/۱۲

مشخصات هندسی یکسان تیرها نسبت به بارهای وارده و نیز نحوه آرایش میلگردها برای هرکدام از آنها در شکل (۱) نشان داده شده است. عدد نشان داده شده بعد از حرف **F** بیانگر قطر میلگرد طولی بکار رفته می باشد.

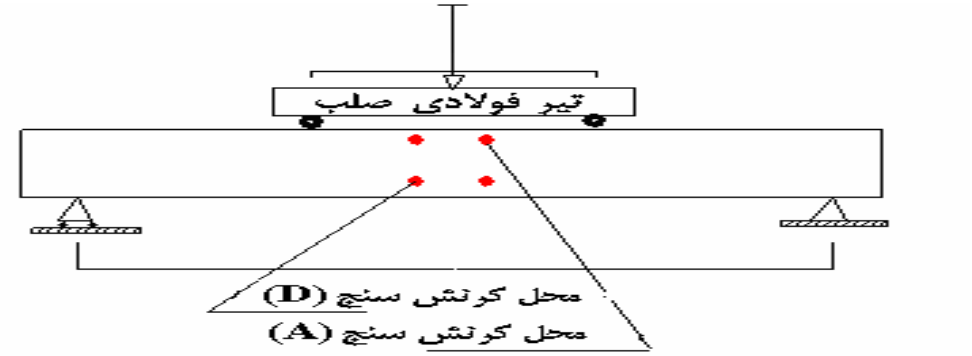


شکل ۱- *مشخصات تیرهای مورد آزمایش*

۲- ۲- چگونگی آزمایش تیرها

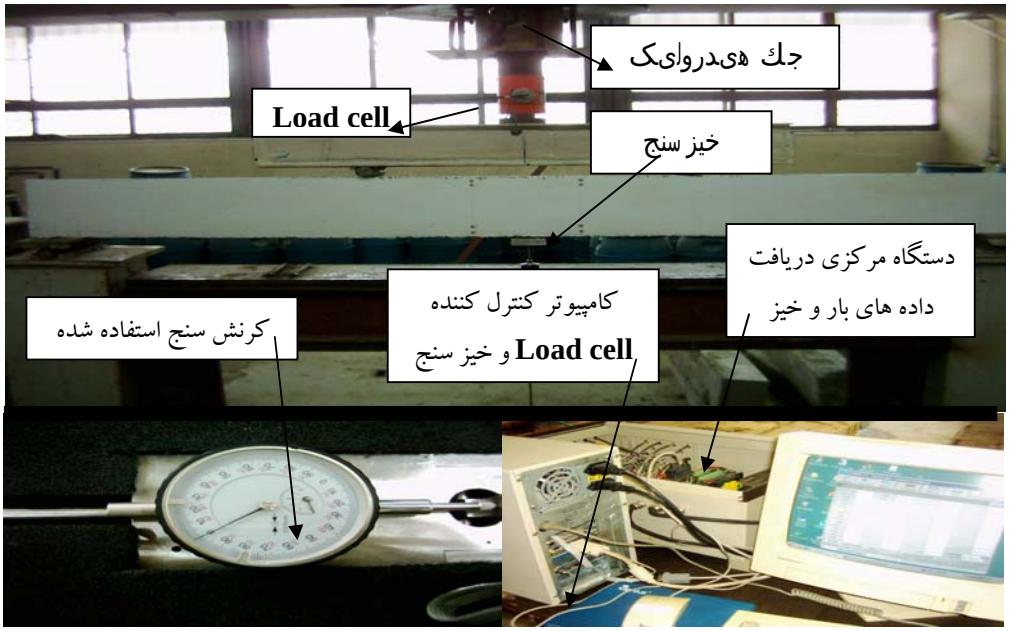
آزمایش کلیه تیرها پس از گذشت ۲۸ روز از تاریخ بتن ریزی انجام گرفت. قبل از اعمال بار بر روی تیرها، برای مشخص شدن مسیر ترکها که بر اثر اعمال بار به وجود می آیند، سطح تیر با رنگ سفید پوشانده شد و پس از آن محل دقیق اعمال بار، محل تکیه‌گاهها، محل قرارگیری خیز سنج در مرکز تیر و نقاط مربوط به سنجش کرنشها به طور دقیق تعیین و علامتگذاری شدند. پس از علامتگذاری نقاط موردنظر برای سنجش کرنش در ارتفاع تیر، برروی نقاط مربوطه دکمه های مورد نیاز برای دستگاه کرنش سنج، با چسب سنگ چسبانده می شود. شکل(۲) مدل تیر مورد آزمایش را همراه با موقعیت اعمال بار (دو بار متمرکز به فاصله یک سوم طول

دهانه) و دکمه های سنجش کرنش نشان می دهد. کرنش سنج ***D*** دقیقاً در وسط دهانهٔ تیر و با تقریب خوبی در آخرین تار کششی و کرنش سنج ***A*** دقیقاً در وسط دهانهٔ تیر و با تقریب خوبی در آخرین تار فشاری قرار گرفت. دلیل استفاده از این مناطق بررسی رفتار قسمت کششی و فشاری تیر براساس کرنش و بار وارده می باشد.



شکل ۲- *نمایش نحوه اعمال نیرو وموقعیت کرنش سنج ها*

پس از قرار دادن تیر بر روی تکیه گاهها، از موقعیت صحیح تکیه گاهها و محل اعمال بار و تراز بودن تیر و تکیه گاهها اطمینان حاصل می شود . شکل (۳)طرح کلی دستگاه بارگذاری که قرائت بار و خیز توسط کامپیوتر قرائت میشود را همراه با دستگاه کرنش سنج نشان می دهد.

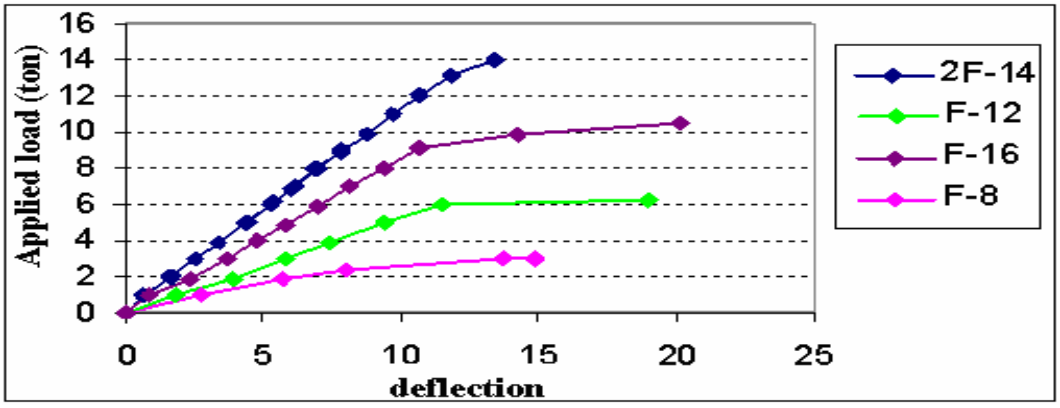


شکل ۳- *دستگاه انجام آزمایش*

۳- ارزیابی نتایج آزمایش

۳-۱- بررسی سختی و تغییر مکان تیرها

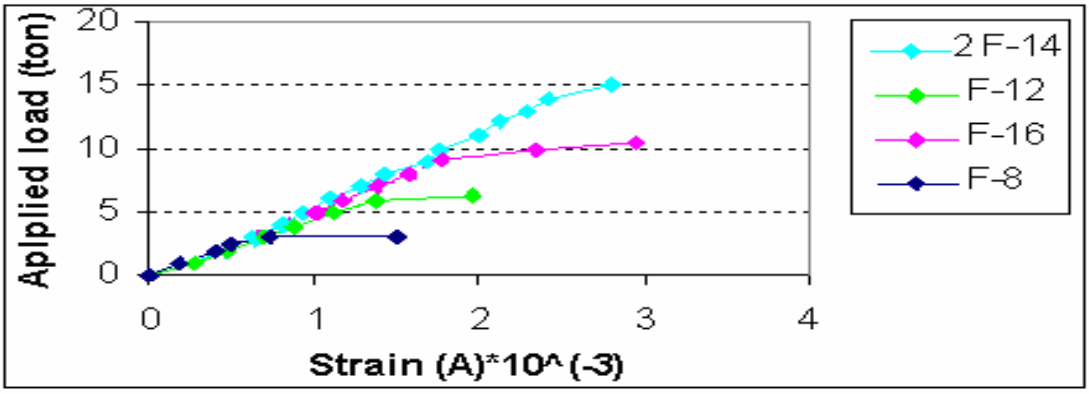
برای بررسی سختی و تغییر مکان تیرها، منحنی بار- خیز تیرها در شکل(۴) نشان داده شده‌است. همانطوری که در این شکل دیده میشود، در تیرهای ساخته شده از بتن **SCC** افزایش میزان میلگرد طولی نیز مانند بتن های دیگر سبب افزایش شیب منحنی ها گردید که این امر نشان دهنده افزایش سختی و کاهش تغییر مکان ها در تیر دارای میلگرد کششی بیشتر می باشد.



شکل ٤ – *نمودار بار خیز تیرهای 2F14، F12، F16 و F8*

۳-۲- نمودار بار- کرنش فشاری *A*

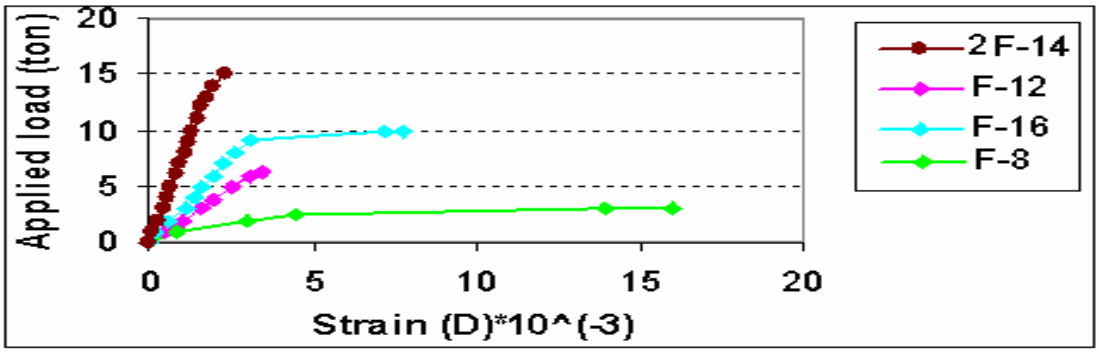
در این بخش منحنی‌های بار- کرنش **A** را که تقریبا در آخرین تار ناحیه فشاری در وسط دهانه تیر قرار دارد (مطابق شکل ۲) بررسی می شوند. لازم به ذکر است که دلیل استفاده از این منطقه برای سنجش میزان کرنش، بدلیل بحرانی‌تر بودن آن و همچنین کنترل کرنش نهایی بتن و مقایسه آن با کرنش نهایی پیشنهادی آیین نامه بتن ایران (آبا) می‌باشد. با مقایسه نمودار شکل(۵)، با توجه به شرایط کاملا یکسان مقاومت بتن برای کلیه تیرها مشخص میشود که افزایش میلگرد طولی کششی سبب کاهش کرنش منفی گردیده است.



شکل ٥- *نمودار بار- کرنش فشاری* ***(A)*** *در تیرهای 2F14، F12، F16 و F8*

۳-۳- نمودار بار- کرنش خمشی D

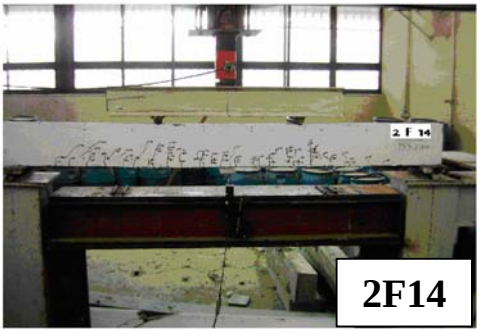
شکل ۶، منحنی‌های بار- کرنش **D** را که در ناحیه کششی در روی آخرین تار کششی در وسط دهانه تیر (مطابق شکل ۲) قرار دارد نشان می‌دهد. دلیل استفاده از این منطقه، بررسی رفتار قسمت کششی تیر براساس کرنش کششی و بار وارده می باشد. همانطوری که در شکل (۶) مشاهده میشود، کلیه تیرهای این نمودار تا قبل از اولین ترک رفتار خطی و بعد از شکل گیری ترکها رفتار غیر خطی دارند و با افزایش بار، شیب منحنی در بارهای نزدیک به بار گسیختگی کاهش می یابد که این امر به دلیل تسلیم شدن میلگرد کششی می باشد که بعد از جاری شدن با افزایش ناچیز بار، کرنشهای کششی **D** به صورت ناگهانی افزایش می یابد. نکته دیگر اینکه تا قبل از تشکیل اولین ترک، نمودارها به هم نزدیک تر بود که این نزدیکی در تیرها با فولاد کششی بالاتر محسوس تر می باشد و بعد از آن یک انحناء قابل توجه به دلیل بروز اولین ترک خمشی در وسط تیر در نمودار بوجود می آید.

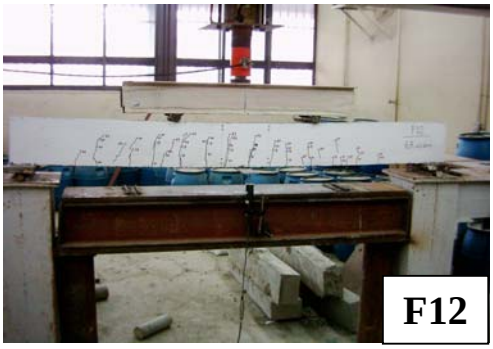


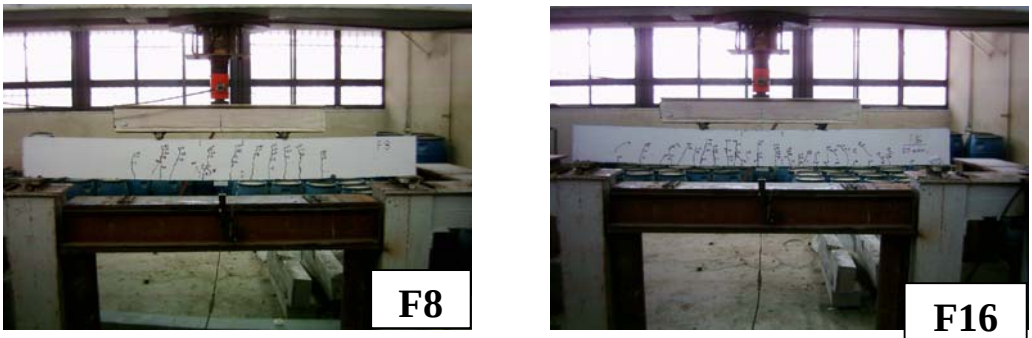
شکل ٦- نمودار *بار- کرنش در ناحیه فولاد کششی* ***(D)*** *در تیرهای 2F14، F12، F16 و F8*

۳-٤- بررسی ترک خوردگی و الگوی ترکها

نتایج آزمایشها در مورد نحوه ترک‌خوردگی تیرها نشان می دهد که با افزایش فولاد کششی تعداد بیشتری ترک برشی- خمشی در حالت نهایی به وجود خواهد آمد، در کلیه تیرها به جهت عملکرد خاموتها در کنترل ترک و نیز به دلیل کمتر بودن فولاد خمشی از فولاد حداکثر مقطع، شکست از ناحیه جاری شدن فولاد بوده است. اشکال مربوط با الگوی ترک خوردگی مربوط به این تیرها در شکل (۷) آمده است.







شکل ۷ – *نحوه آزمایش وترک خوردگی تیرهای F8 ،F16 ،F12 ،2F14*

۳-۵- مقایسه لنگر تجربی نهایی با مقادیر محاسباتی براساس آیین نامه بتن ایران (آبا) [۱]

مقادیر لنگر تجربی و تئوری و همچنین مد های شکست و درصد افزایش بار طراحی در جدول(۴) آمده است.آیین نامه بتن ایران در مورد طراحی بتن خود تحکیم مسکوت می باشد ولی با توجه به درصد افزایش بار بدست آمده می توان نتیجه گرفت که برای طراحی حالت نهایی در مقابل خمش می توان از آیین نامه بتن ایران بدون هیچ گونه تغییری در مورد بتن خود تحکیم استفاده کرد.

جدول ٤ – *لنگر تئوری وتجربی تیرهای مورد آزمایش قرار گرفته*

نوع تیر	2F14	F12	F16	F8
ρb	۰/۰۳۷	۰/۰۳۷	۰/۰۳۷	۰/۰۳۷
ρ	%۸۶ρb	%۳۲ρb	%۵۶ρb	%۱۴ρb
مد گسیختگی	جاری شدن فولاد	جاری شدن فولاد	جاری شدن فولاد	جاری شدن فولاد
لنگر نهایی تجربی(KN-m)	۴۶/۳	۱۹/۱۴	۳۳/۵۶	۹/۳۸
لنگرنهایی تئوری (KN-m)	۳۴/۶	۱۲/۱۳	۲۲/۷	۵/۶۲
درصد افزایش بار تجربی نسبت به بار تئوری	٪۳۴	٪۵۸	٪۴۸	٪۶۷

٤- نتیجه گیری

۱- نتایج بدست آمده از بررسی مقادیر خمش نهایی تیرها و مقایسه آنها با مقادیر تئوری بدست آمده از روابط آیین نامه بتن ایران (آبا) نشان می دهد که روابط طراحی خمشی نهایی موجود در آیین نامه بتن ایران می تواند بدون هیچ تغییری در مورد طراحی خمشی بتن خود تحکیم مورد استفاده قرار گیرد.

۲- نحوه ترک خوردگی و کرنشهای بدست آمده نشان میدهند که تیرهای ساخته شده با این نوع بتن **(SCC)** به مانند بتن های متداول از نظر رفتار خمشی و در چهار چوب آیین نامه بتن ایران (آبا) بدون در نظر داشتن ضابطه خاصی قابل استفاده اند.

۵- مراجع

1. " Brite Euram proposal No.BE 96-3801 SCC" 2000

2. H.okamura and M.ouchi " joumal of adrncsd concrete Technology voli ,No.1,5-15"2003

3. Wenzhong zhu ,peter J.M.Bartos"Uniformity of in situ properties of self-compacting concrete in full-scale structural elements"2000

۴. سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، معاونت امور فنی دفتر و تدوین معیارها، "آیین نامه بتن ایران ((آبا)) (تجدید نظر اول)"، ویرایش ۳، چاپ ششم، ۱۳۸۲

۵. رضا مولوی "بررسی رفتار خمشی و برشی تیرهای بتن آرمه ساخته شده از **SCC**" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم و فنون مازندران، (۱۳۸۳)