

بررسی تاثیر الیاف ترکیبی بر میزان جذب انرژی بتن*

۱- علی امانی ۲- حامد علیزاده ۳- محمد قاسمی

مدیر تحقیقات و توسعه شرکت دنیای بتن پارسیان

ali.amani.civil.eng@gmail.com

کارشناس ارشد فنی شرکت دنیای بتن پارسیان

hamed.ali@yahoo.com

مدیر تولید شرکت دنیای بتن پارسیان

mohammadghasemi@mail.com

چکیده

بتن به ذات خود ماده ای ترد و شکننده می باشد که همواره از سنین ابتدایی و در طول خدمت پذیری مستعد ترک خوردگی می باشد. ترک ها اغلب سازه ای و یا غیر سازه ای می باشند. از یکپارچگی ریز ترک ، ترک های بزرگتر حاصل می شوند. ایجاد ترک های اولیه و مخصوصا ثانویه باعث ضعف در پارامترها و خواص مهندسی بتن می گردد، که باعث بروز اختلاف و تغییر خواص بتن اجرا شده در مقایسه با بتن طراحی شده می شود. جلوگیری از تشکیل ریز ترک ها، ممانعت از بهم پیوستگی آنها و گسترش ترک ها همواره مورد توجه مهندسین بوده است، بطوری که اخیرا با استفاده بکارگیری الیاف های با طول های مختلف مورد بررسی قرار گرفته اند و نتایج آنها مستند می باشد. اما از آنجا که خواص و مشخصات ذاتی هر نوع از الیاف مختلف متفاوت می باشد، در این تحقیق سعی بر آن شد با بکارگیری انواع مختلف الیاف و با طول های متفاوت به بررسی میکروسکوپی مکانیسم تشکیل ترک ها و عملکرد الیاف در جلوگیری از تشکیل ترک و بعد از رخداد ترک، به بهینه یابی مقدار استفاده هر یک از الیاف ها در بتن خودتراکم پرداختیم. در این تحقیق با بکارگیری ۹۲ طرح اختلاط که حاوی الیاف با طول های یکسان، الیاف با طول های متفاوت و الیاف با نوع و طول متفاوت به بررسی تاثیر استفاده از الیاف ترکیبی با طول های متفاوت پرداختیم. نتایج حاکی از آن است که استفاده از الیاف ترکیبی با طول های متفاوت عملکرد بهتری در افزایش پارامترها و خواص مهندسی بتن و مخصوصا افزایش میرایی ذاتی (جذب انرژی) بتن می گردد.

واژه های کلیدی : بتن خودتراکم، ترک خوردگی، الیاف ترکیبی، جذب انرژی، خواص بتن خودتراکم

Investigation of the effect of combination fibers in concrete energy absorption

1-Ali Amani, 2-Mohammad ghasemi

1-management R and D of Donyaye beton parsian

ali.amani.civil.eng@gmail.com

2-management product of Donyaye beton parsian Company

mohammadghasemi@mail.com

Abstract

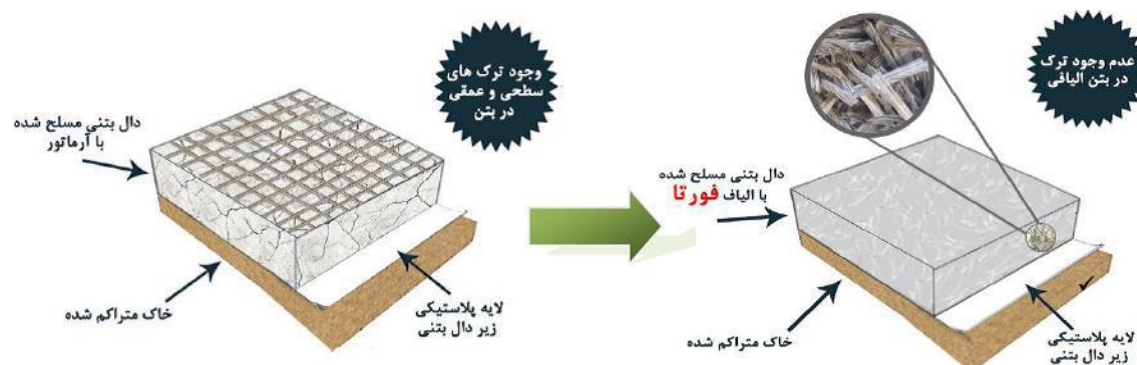
Concrete is brittle material itself, which is always talented to cracking early and be flexible on length of service. Cracks are often structural or non-structural. The integration of micro-cracks, larger cracks are obtained. Creation primary and especially secondary cracks weakens the parameters and the engineering properties of concrete, Which causes the difference and change implemented concrete properties to be in designed concrete. Prevent the formation of tiny cracks, preventing them coherence and crack propagation has been considered by engineers, as recently by using fibers of different lengths have been examined and the results are documented. However, since the properties and characteristics inherent of each type of fiber is different, In this study it was attempted using different types of fibers and with different lengths to microscopic investigation of mechanism of crack formation and performance of fiber in preventing the formation of cracks and after creation crack. The optimization of each of the fibers used in concrete self-compacting discussed. In this study, using the 92 mix that contains same fiber length, with different fiber length and with different fiber type and length, the effect of the combined use of fibers with different lengths discussed. the results indicate that the use of combination fibers with different lengths has better performance in increasing parameters and engineering properties and in particular increase the inherent damping (energy absorption) of concrete.

Keywords: self-compacting concrete, cracking, synthetic fibers, energy absorption properties of self-compacting concrete.

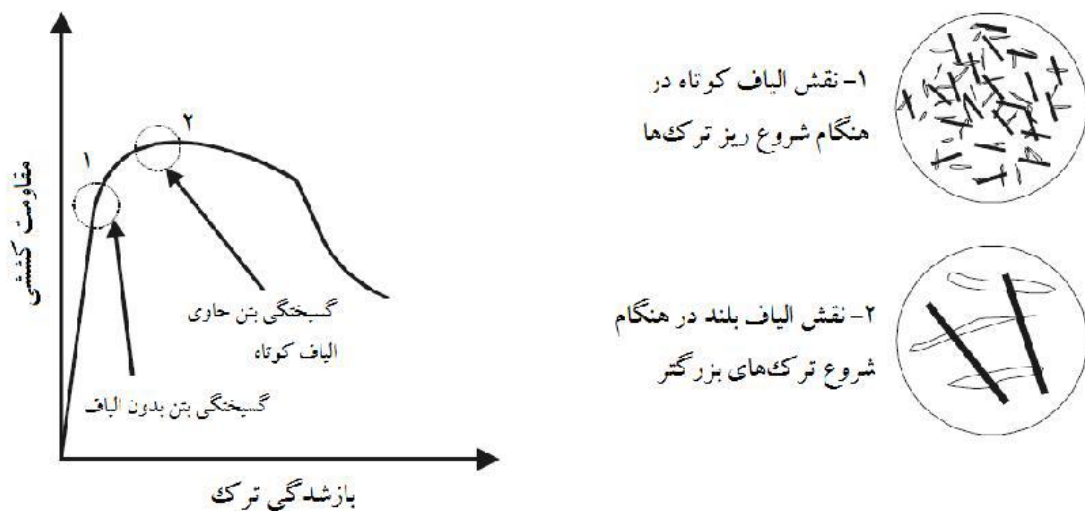
۱. مقدمه

در سال های اخیر با پیشرفت دانش فنی در علوم مهندسی و بکارگیری روش های نوین در اجرا، امکان ساخت سازه های منحصر بفرد تسهیل یافته است. ساخت سازه های بلند مرتبه و یا با دهانه های طولانی از جمله آسمان خراش ها و پل های با دهانه های بلند، بالطبع افزایش ضریب لاغری را در پی دارد. با افزایش ضریب لاغری نیاز مطالعه نسبت به بارهای متناوب، بارهای ضربه ای، خستگی افزایش می یابد. بارهای متناوب باعث کاهش سختی اجزا و در نتیجه عمر سازه می شوند. از آن جهت که، بتن دومین ماده پرمصرف دنیا می باشد و از آنجا که بتن ذاتا ماده ای ترد و شکننده بوده، مقاومت اندکی در برابر بارهای ضربه ای و متناوب دارا می باشد. از این رو اخیرا مطالعات گسترده و فراوانی پیرامون انعطاف پذیری و افزایش جذب انرژی بتن صورت گرفته است. پخش تصادفی الیاف در بتن، با بهبود خصوصیات مکانیکی بتن، بعنوان یک راه حل موثر و اقتصادی برای کاهش بارهای خستگی و انتقال نیروی استاتیکی مطرح شده است. استفاده از میلگرد جهت جلوگیری از ترک خوردگی و افزایش انعطاف پذیری بتن چندان موثر نمی باشد زیرا میلگرد ها بتن را تنها در دو جهت و آن هم در محل قرار گیری میلگرد ها کنترل می کند اما در صورت استفاده از الیاف، با پخش الیاف در بتن آن را در تمامی جهات کنترل می کند و عملکرد بهتری از میلگرد دارد شکل (۱). الیاف با کنترل و جلوگیری از تشکیل ریزترک ها، که در اثر تغییرات حجمی ناشی از انقباض و تنش های حرارتی بوجود می آیند، باعث افزایش مقاومت کششی، خمشی، فشاری، قابلیت جذب انرژی، کاهش چقرمگی و تردی بتن می شوند شکل (۲). البته ناگفته نماند بسیاری از ترک های بزرگ، بهم پیوستن ریزترک ها می باشد.

استفاده از میلگرد باعث افزایش مقاومت کششی بتن می شود. استفاده از الیاف در ساخت بتن، یکی از روشهای مؤثر برای کاهش ترک خوردگی، افزایش طاقت شکل پذیری و جذب بهتر انرژی و نیز افزایش مقاومت کششی بتن است. استفاده از الیاف در مواد ماتریس شکننده دارای سابقه های طولانی بوده و به ۳۵۰۰ سال قبل، هنگامی که آجر آفتاب پخته تقویت شده با نی، برای ساخت تپه مرتفع ۳۵ متری آکارکوف نزدیک بغداد استفاده شد، بر می گردد(۱). همچنین از موی دم اسب نیز برای تقویت ملات بنایی و گچ استفاده شده است(۲).



شکل (۱) - شمایینک کنترل ترک خوردگی در بتن با استفاده از الیاف



شکل (۲) - مکانیزم الیاف با طول بلند و کوتاه در مکانیزم کنترل ترک [۲]

۱-۱- تحقیقات پیشین

در سالیان متمادی تحقیقات و مطالعات فراوانی در خصوص کاربرد الیاف در بتن صورت گرفته است که نتایج آنها بصورت مکتوب و مستند موجود می باشد از جمله:

در یک تحقیق صورت گرفته به روی بتن های مسلح الیافی به ابعاد $25 \times 25 \times 21$ سانتی مترمکعب که شامل $1.39-2.78$ درصد الیاف فولادی، $1.12-2.24$ درصد الیاف شیشه، $1.71-3.47$ درصد الیاف پلی پروپیلن و $0.79-1.57$ درصد آزمایش انفجار صورت گرفت، نتایج آزمایش نشان می دهد که هیچ یک از بتن های الیافی دچار گسیختگی و فروپاشی نگردید. در بتن حاوی الیاف شیشه ترک و تغییری مشاهده نشد و همچنان بدون تغییر باقی ماند. اما بتن های حاوی الیاف کربن با ترک هایی همراه بود. بتن های حاوی الیاف فولادی و پلی پروپیلن رفتار مشابهی بعد از ترک از خود نشان دادند. استفاده از دو درصد الیاف فولادی با انتهای گیردار، می تواند باعث افزایش دو برابری مقاومت خمشی بتن شود.

در یک تحقیق دیگر، اثر افزایش درصد الیاف پلی پروپیلن در بتن الیافی هیبریدی مورد بررسی قرار گرفته است. سه درصد مختلف الیاف پلی پروپیلن در 1% حجمی الیاف فولادی جایگزین شد. در پایان، خواص مکانیکی نمونه های بتن الیافی هیبریدی فولادی - پلی پروپیلن شامل طاقت خمشی، مقاومت خمشی و مقاومت به ضربه با یکدیگر و بتن شاهد مقایسه شده است نتایج آزمایش ها نشان دهنده آن است که الیاف پلی پروپیلن قابلیت پل زدن بر روی ریزترک ها را داشته و اثر ناچیزی بر بهبود رفتار بتن بعد از ایجاد اولین ترک را دارند. هرچه الیاف فولادی با درصد بیشتری از الیاف پلی پروپیلن جایگزین شود، میزان مقاومت خمشی، جذب انرژی و مقاومت به ضربه کاهش می یابد.

در یک تحقیق اثر الیاف پلی پروپیلن با درصدهای حجمی مختلف بر روی طاقت خمشی بتن بررسی شده است. بدین منظور از تیرهای به ابعاد 10 ضربدر 10 ضربدر 50 سانتیمتر جهت آزمایش طاقت خمشی استفاده گردید. متغیرهای آزمایش شامل چهار درصد حجمی مختلف الیاف (0 ، $5/0$ ، 1 ، $5/1$ درصد) و همچنین دو مقاومت زمینه با نسبت آب به سیمنان $4/0$ و $5/0$ بوده است. نتایج آزمایشات نشان داد که با افزایش مقدار الیاف پلی پروپیلن (HPP) به بتن میزان جذب انرژی و بخصوص طاقت خمشی بتن افزایش می یابد.

در این راستا، متوسلیان (۱۳) به بررسی تأثیر استفاده از الیاف پلی پروپیلن بر میزان ترکهای ناشی از جمع شدگی در بتن خودتراکم پرداخت. آنها در تحقیقات خود، تأثیر استفاده از درصدهای مختلف الیاف پلیمری شامل الیاف پلیمری نسل جدید (ماکرو) و فولادی را بر روی خواص مقاومت ضربه ای بتن بررسی نمودند. در ادامه، حسینیان و همکاران (۱۴) به بررسی اثر توام الیاف شیشه و الیاف پلی پروپیلن بر خصوصیات مکانیکی بتنهای خودتراکم پرداختند. پادرون و زولو (۱۵)، اثر دو نوع الیاف پلی پروپیلن را در کاهش ترکهای آبرفتگی پلاستیک در ملات

سیمان و در بتن مورد بررسی قرار دادند. آنان برای ایجاد ترک، بتن تازه را به مدت ۱۶ ساعت در معرض جریان هوا با سرعت ۲۲٫۵ کیلومتر بر ساعت قرار دادند. نتایج این تحقیقات نشان داد، استفاده از ۰٫۱ الیاف با طول ۱۹ میلیمتر در بتن، ترکها را تا حدود ۲۳ درصد نمونه بدون الیاف کاهش می دهد. در تحقیق دیگری، برک و دالایر (۱۶)، با استفاده از قالبهای پیشنهادی استاندارد ICBO، آزمایشاتی برای بررسی اثر الیاف پلی پروپیلن در کاهش ترکهای آبرفتگی پلاستیک بتن انجام دادند. این آزمایشات نشان داد، الیاف با طول بیشتر، تأثیر بیشتری در کاهش ترکها دارد. در ادامه، بالاگورا (۱۷) از قالبهای مستطیلی با زائده هایی در کف، برای تسريع در ترک خوردگی بتن ساخته شده با الیاف استفاده کرد. یکی از انواع الیاف مورد استفاده در آزمایشات او، الیاف پلی پروپیلن با طول ۱۴ میلیمتر بود که در صورت استفاده از این الیاف در ملتهای سیمانی، میزان ترکها را به حدود ۴۳ درصد ترکهای نمونه بدون الیاف می رساند. با توجه به اینکه مدول الاستیسیته و مقاومت کششی الیاف پلیمری و میلگردهای فولادی متفاوت است، فرمول های کلاسیک در زمینه مقاومت خمشی مقاطع مسلح شده با الیاف پلیمری FRP قابل استفاده نیست. بنابراین، تعدادی از محققین همچون صدرممتازی و حاتمی (۱۸) به بررسی ضوابط قابل استفاده در طرح مقاطع خمشی بتنی مسلح به الیاف پلیمری و نیز مقاطع تقویت شده با الیاف پلیمری FRP پرداختند.

هدف از این تحقیق بررسی تأثیر ترکیب الیاف مختلف بر میزان جذب انرژی بتن می باشد. با توجه به گستردگی تنوع، خصوصیات متفاوت الیاف های موجود و تأثیری که بر خواص بتن دارند، سعی بر آن شد تا با استفاده از همزمان چند نوع الیاف و بکارگیری همزمان ویژگی های خاص هر کدام، با یکدیگر به بررسی بهبود خواص و کارایی بتن، بویژه میزان جذب انرژی بتن بپردازیم.

برای دست یابی به هدف بیان شده و ارتباط بین ویژگی های مدنظر، با استفاده از برنامه ی کامپیوتری که در محیط برنامه نویسی ++C بر اساس مدل Trapezoidal Rule نوشته شده است، منحنی تنش-کرنش هر نمونه رسم گردید. برای ارزیابی تأثیر الیاف از آزمایش های مطابق با آیین نامه ACI544 که معیاری برای ارزیابی توانایی بتن در جذب انرژی می باشد، استفاده شد. از جمله آزمایش های Drop Weight Test (DWT) و Compression Toughness Energy Test (CTET) استفاده شد.

ظرفیت ضربه پذیری بتن، با انجام آزمایش ساده و کم هزینه Drop Weight Test (DWT) تشریح شده بر اساس ACI544، انجام می شود [۱]. این آزمایش نشان دهنده ی تعداد ضربه وارد شده به نمونه بتنی مورد نظر، برای رسیدن به سطح خرابی مورد انتظار، می باشد. آزمایش CTET برای بدست آوردن میزان جذب انرژی بتن تحت فشار و رسم منحنی تنش-کرنش بکار گرفته شد. هدف اصلی از انجام آزمایش های مذکور ایجاد یک رابطه بین مقدار انرژی جذب شده توسط بتن تحت فشار و مقدار انرژی جذب شده بتن در برابر ضربه که در نهایت با مقایسه نتایج حاصله میزان جذب انرژی بتن بدست می آید. در ادامه به شرح مختصری از هریک از آزمایشات می پردازیم:

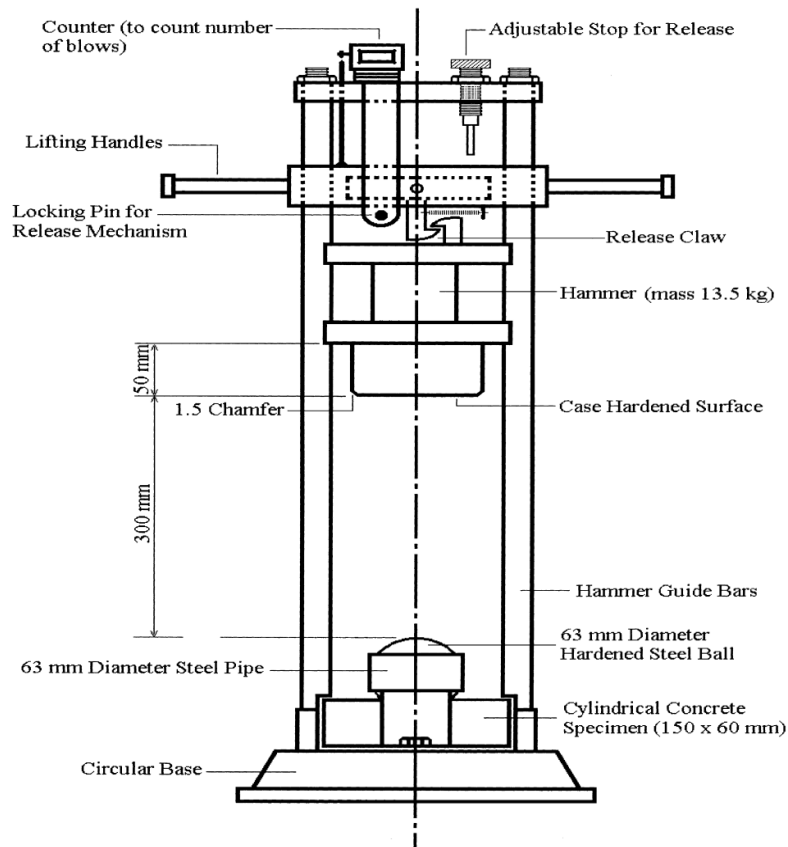
۱-۲- آزمایش Drop Weight Test (DWT) :

برای انجام آزمایش DWT شکل (۳)، نمونه هایی استوانه ای شکل به ابعاد $(d)15 \times (l)6$ از نمونه های استوانه ای آماده شده به ابعاد $(d)15 \times (l)30$ اخذ شد. با انجام مراحل آزمایش تعداد ضربات از میانگین سه نمونه مورد آزمایش تا رسیدن به اولین ترک و فروپاشی کامل بدست می آید. مطابق با روش انجام آزمایش DWT استفاده از وزنه ی $kg4,54$ برای بتن های الیافی با مقاومت معمولی مورد استفاده قرار می گیرد و از وزنه ی $kg13,5$ برای بتن های پرمقاومت الیافی (مقاومت بیش از ۴۱ مگاپاسکال) برای کاهش تعداد ضربات وارده و سهولت کار بکار می رود. در این آزمایش ارتفاع سقوط وزنه $(cm30)$ می باشد. در نهایت مقدار انرژی وارد شده به نمونه از رابطه زیر محاسبه می شود رابطه (۱):

$$E = \frac{1}{2} MV^2 N \quad \text{رابطه (1)}$$

قابل ذکر است در تحقیقات دیگر از رابطه زیر نیز استفاده می شود رابطه (۲):

$$E = M * g * h \quad \text{رابطه (2)}$$



شکل (۳) - دستگاه DWT

۳-۱- آزمایش مقاومت فشاری بتن تحت فشار

نمونه های مورد آزمایش جذب انرژی در مقاومت فشاری به ابعاد $10 \times 10 \times 10$ cm با سرعت بارگذاری $0.3 \frac{mm}{min}$ قرار گرفتند. که میانگین سه نمونه بعنوان مقدار نهایی برای هر طرح اختلاط مورد آزمایش قرار گرفت. تنش وارده به نمونه ها تا رسیدن به کرنش 0.23 برای تمامی نمونه ها ادامه یافت در نهایت نمودار تنش-کرنش رسم شد. میزان جذب انرژی در فشار از مساحت زیر منحنی تنش-کرنش بدست آمد.

در مطالعات اخیر، روش های متفاوتی برای ارزیابی کرنش مقاطع تحت فشار بکار برده می شود از جمله استفاده از انبساط سنج که به نقطه میانی نمونه استوانه ای متصل و مقدار کرنش را اندازه گیری می کند. البته توجه به این نکته ضروری می باشد که ترک های بوجود آمده در نمونه تحت فشار، باعث اختلال در نتایج بدست آمده می شود.

۲- مطالعات آزمایشگاهی

۲-۱- مصالح مصرفی

۲-۱-۱- سنگدانه

سنگدانه های مصرفی از معادن اطراف شهریار تهیه شد. که مطابق با کلیه بندهای آیین نامه ملی ایران به شماره ۳۰۲ مورد آزمایش قرار گرفت. آنالیز دانه بندی سنگدانه مصرفی بر طبق منحنی فولر-تامسون اصلاح شده و با توان 0.40 در نظر گرفته شد. مقاومت مکانیکی سنگدانه در جدول (۱) آمده است.

جدول (۱) - خصوصیات مکانیکی سنگدانه ها

مقدار	خصوصیات
۲۳۰	مقاومت فشاری (Mp)
۶۴,۹۶	مدول الاستیسیته (Gpa)
۱۶۸۲,۳۶	وزن مخصوص (kg/m^3)
۲,۶۹	چگالی
۰,۴ درصد	درصد جذب آب

۲-۱-۲-سیمان

سیمان مصرفی از سیمان تیپ ۲ تهران استفاده شد که آنالیز شیمیایی و خصوصیات فیزیکی به ترتیب در جدول (۲) و جدول (۳) آمده است.

جدول (۳) - خصوصیات فیزیکی سیمان

مقدار	خصوصیات
۳۱۰۰ (cm^3/gr)	سطح ویژه
140min	زمان گیرش اولیه
0.03درصد	مقدار انبساط حجمی
25درصد	مقدار آب مورد نیاز

جدول (۲) - آنالیز شیمیایی سیمان

مقدار ماده	ترکیب شیمیایی
20.96	SiO_2
5.78	Al_2O_3
3.12	Fe_2O_3
62.72	CaO
2.42	MgO
2.30	SO_3
0.45	Na_2O
0.55	K_2O

۲-۱-۳-آب

آب مصرفی از آب شرب استان تهران استفاده شد.

۲-۱-۴-افزودنی

در طرح حاضر به دلیل در نظر گرفتن اسلامپ اولیه پایین و عدم کارایی مناسب بتن از افزودنی کاهنده ی شدید آب بر پایه ی کربکسیلات (قهوه ای رنگ) با کد BP107 تهیه شده از شرکت دنیای بتن پارسیان، مورد استفاده قرار گرفت.

۲-۱-۵-الیاف

تمامی انواع الیاف مصرفی از شرکت دنیای بتن پارسیان تهیه گردید شکل (۴).
الیاف های مورد استفاده در این از ترکیب چند نوع مختلف الیاف استفاده شد که مشخصات الیاف ها در جدول (۵) آمده است.



شکل (۴) - نمونه ای از الیاف های بکار برده شده (pp and forta)

جدول (۵) - خصوصیات فیزیکی الیاف

نام الیاف	طول	قطر	$\frac{l}{d}$
فولادی (Macro)	۵ cm	mm ۱	۵۰
فولادی (Micro)	cm ۵	mm ۱	۵۰
PP	cm ۱,۲	mm ۰,۰۲۵	۴۸۰
سنتتیک	cm ۵	mm ۱	۵۰
Forta	cm ۵	mm ۰,۳۴	۱۴۷,۰۶

۲-۲- مصالح مصرفی و طرح اختلاط

طرح اختلاط بتن مصرفی بر طبق آیین نامه طرح ملی مخلوط بتن ایران محاسبه شده است و با چند سعی و خطا به طرح اختلاط نهایی جدول (۶) دست یافتیم.

ابتدا سطح داخلی میکسر را با آب خیس کرده و سپس مصالح سنگی شامل شن ، ماسه و پودرسنگ را اضافه کردیم ، پس از ۳۰ ثانیه اختلاط یک سوم آب اختلاط را را اضافه کردیم و پس از ۱ دقیقه اختلاط مخلوط کن را خاموش کردیم و سیمان را به مخلوط اضافه نمودیم و همزمان با چرخش دستگاه مقدار آب باقی مانده به همراه افزودنی به مخلوط اضافه نمودیم و اجازه ۳ دقیقه اختلاط را به آن دادیم سپس الیاف را به آرامی در مخلوط پخش نمودیم و نهایتا بعد از ۳ دقیقه نهایی اختلاط مخلوط کن متوقف و آماده نمونه گیری شد. (شکل ۵)

جدول (۶) - طرح اختلاط بتن ساخته شده

نام	سیمان	آب	شن نخودی	شن بادامی	ماسه	الیاف	افزودنی
مقدار	۴۱۴	۱۸۵	۵۷۱,۴	۲۸۵,۷	۱۰۴۲,۸۵	متغییر	۱,۶۵۰

نمونه ها در قالب های استوانه ای به ابعاد ۱۵*۳۰ cm و قالب های مکعبی به ابعاد ۱۰*۱۰*۱۰ cm آماده شدند. و به مدت ۲۸ روز در آب اشباع شده با آهک نگهداری شدند (شکل ۶).



شکل (۵) - طرح اختلاط



شکل (۶) - نمونه گیری

۳- نتایج آزمایش ها

پس انجام آزمایش های DWT و CTET و آزمایشات بتن تازه، نتایج بدست آمده در جدول (۷) شامل میزان هوای بتن، مقاومت در برابر ضربه، مقدار انرژی جذب شده در مقاومت فشاری و تعداد ضربات مورد نیاز برای رخدادهای ترک و فروپاشی نهایی را نشان می دهد.

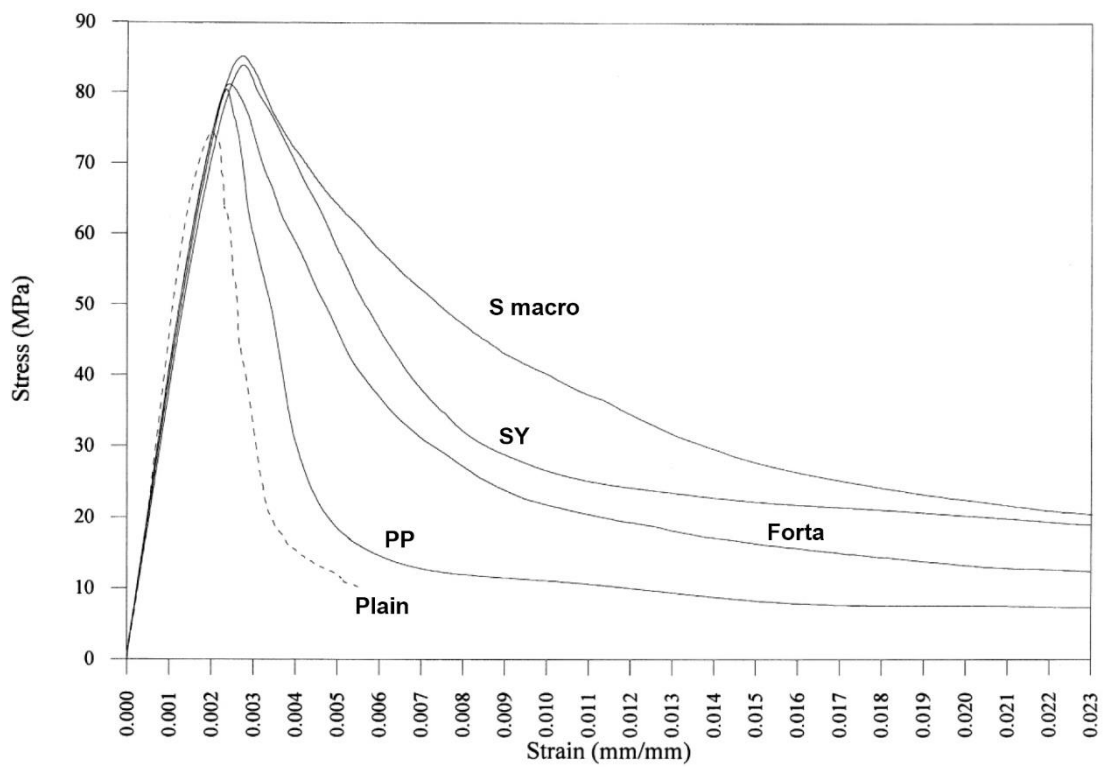
جدول (۷) - نتایج آزمایش های DWT و CTET

کد نمونه	$\frac{l}{d}$	حجم الیاف		تعداد ضربات مورد نیاز		E_I	E_{CT}
		الیاف ۱ درصد	الیاف ۲ درصد	رخداد اولین ترک	شکست کامل	در شکست کامل N.m	در کرنش ۰,۰۲۳ N.m
plain	-	-	-	۴	۵	۱۱۱	۱۱۲۴
SS	۵۰	2.4	2.4	۱۹۳	۳۷۳	۸۲۳۱	۸۵۵۲
SPP	۲۶۵	۳,۶	۰,۲	۷۵	۱۶۰	۳۵۳۱	۷۲۰۰
SFO	۹۸,۵۳	۳,۶	۰,۲۱	۸۱	۱۷۲	۳۷۹۵	۷۳۲۰
PPFO	۳۱۳,۵۳	۰,۱۲	۰,۱۱	۷۲	۱۵۴	۳۳۹۸	۷۱۲۰
SSY	۵۰	۳,۰	۱,۲	۱۱۶	۲۷۶	۶۰۹۰	۷۸۷۳
SYPP	۲۶۵	۱,۲	۰,۰۸	۹۰	۱۷۰	۳۷۵۱	۷۴۰۵
S-micro	۵۰	۳,۶	۰,۲۵	۱۰۰	۱۹۲	۴۲۳۷	۶۰۲۰
SYFO	۹۸,۵۳	۱,۲	۰,۱	۹۴	۱۷۹	۳۹۵۰	۵۹۰۰
S-macro	۶۰	۴,۸	۰	۱۰۱	۱۹۴	۴۲۸۱	۷۱۰۰
PP	۰,۰۲۵	۰,۳	۰	۵۸	۱۰۰	۲۲۰۷	۶۰۲۰
FO	۱۴۷,۰۶	۰,۳۸	۰	۶۲	۱۱۰	۲۴۲۷	۶۶۶۸
SY	۵۰	۱,۲	۰	۷۰	۱۳۰	۲۸۶۹	۶۳۰۰

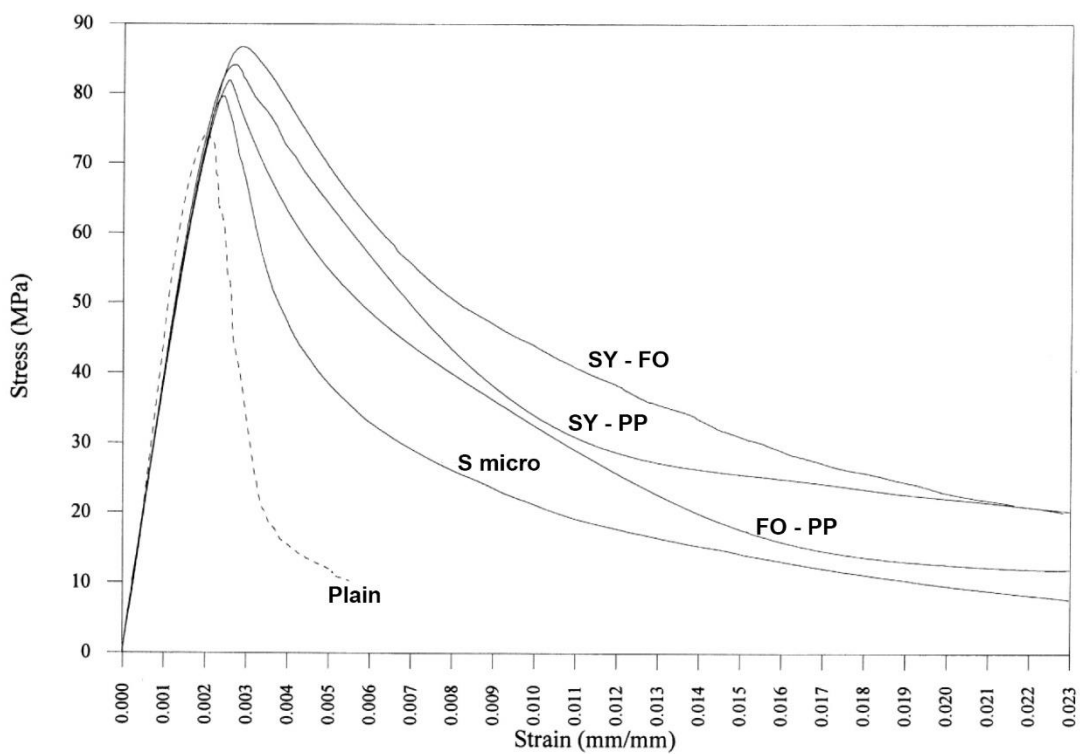
E_I انرژی وارد شده

E_{CT} جذب انرژی در مقاومت فشاری

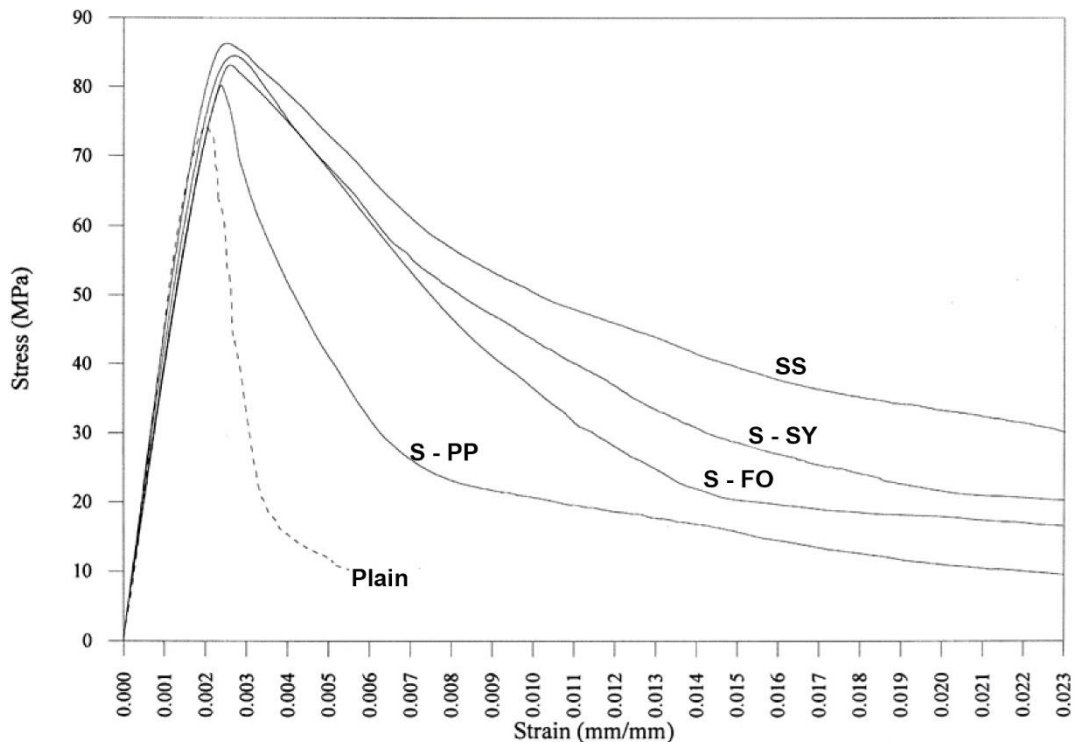
نمودار های تنش کرنش های حاصله نیز در ادامه در اشکال (۷) تا (۹) آمده است.



شکل (۷) - نمودار تنش-کرنش



شکل (۸) - نمودار تنش-کرنش



شکل (۹) - نمودار تنش-کرنش

با توجه به نتایج بدست آمده مطابق جدول (۷) مشاهده می شود استفاده از ترکیب چند نوع الیاف در مقایسه با استفاده از یک نوع الیاف نتایج بهتری بدست می آید.

از نتایج فوق دریافته‌ایم که با استفاده از الیاف ترکیبی (با طول های بلند و کوتاه) و افزایش خاصیت چسبندگی الیاف به ماتریس بتن، باعث افزایش مقاومت ترک خوردگی و افزایش میزان جذب انرژی بتن می شود و عملکرد بهتری از الیاف شاهد بودیم به عبارت دیگر با جلوگیری از تشکیل ریزترک ها و یا جلوگیری از بهم پیوستن آنها می توان مقاومت بتن در برابر ترک خوردگی و میزان جذب انرژی بتن را افزایش داد. علت این امر به این علت است در بکاربردن الیاف های با طول متفاوت، الیاف های با طول کوتاه علاوه بر ممانعت از تشکیل ریزترک ها بعنوان یک پل بعد از ترک خوردگی عمل می کند اما از آنجا که طول این الیاف کوتاه می باشد و بالطبع طول محصورشده آنها کم می باشد مقاومت چندانی در بهم دوختن ترکها ندارند اما الیاف های با طول بلند بعد از تشکیل ترکهای بزرگتر وارد عمل می شوند و با بهم دوختن ترک ها بر میزان جذب انرژی بتن می افزاید.

بر خلاف نتایج تحقیقات پیشین صرف افزایش نسبت منظری $(\frac{l}{d})$ ، باعث افزایش مقاومت جذب انرژی بتن نمی شود. بلکه در کنار افزایش نسبت منظری جنس، مقاومت کششی، مدول الاستیسیته و طول الیاف از پارامترهای مهم در افزایش جذب انرژی بتن الیافی می باشد. همانطور که مشاهده شد ترکیب الیاف های فولادی علی الرقم نسبت منظری کمتر نسبت به بعضی از ترکیب های الیاف دیگر، تاثیر بیشتری در افزایش میزان جذب انرژی بتن داشت. مقدار اختلاف تعداد ضربات وارده برای رخدادن اولین ترک و فروپاشی کامل، با افزایش میزان جذب انرژی بتن افزایش می یابد. به عبارت دیگر پس از رخداد اولین ترک، بتن مقاومت بیشتری در برابر فروپاشی کامل دارد و مقدار انرژی بیشتری را تحمل می کند.

شکل ظاهری الیاف ها (گیرداری آنها و مضرص بودن سطح الیاف) از عوامل مهم جلوگیری از رشد ترک ها و فروپاشی بتن می باشد. همانطور که اشاره شد الیاف بعد از رخداد ترک بعنوان یک پل مانع از گسیختگی بتن می شود و در نتیجه با ایجاد گیرداری بیشتر، تاخیر بیشتری در گسیختگی ایجاد می شود.

۴- نتایج

باتوجه به نمودارها و نتایج بدست آمده از آزمایش های شرح داده شده می توان به نتایج زیر دست یافت:

- با توجه به نمودارها و نتایج بدست آمده در جدول (۷) استفاده از ترکیب الیاف ها (بتن هیبریدی) تاثیر بیشتری بر افزایش میزان جذب انرژی بتن در مقایسه با بکار بردن یک الیاف دارد.
- خصوصیات فیزیکی الیاف ها می تواند تاثیر فزاینده ای بر میزان جذب انرژی بتن داشته باشد. از این رو ترکیب الیاف ها با یکدیگر علاوه بر بهره بردن از ویژگی های هرکدام می توان میزان جذب انرژی بتن را افزایش داد. بطور کلی می توان گفت:

- با افزایش نسبت طول به قطر میزان جذب انرژی بالا می رود.
- شکل ظاهری الیاف می تواند باعث بهبود چسبندگی بهتر به ماتریس خمیر شود.
- الیاف های فولادی چسبندگی بهتری نسبت به سایر الیاف ها به بتن دارند.
- تمامی موارد ذکر شده باعث بهبود و افزایش در خصوصیات مکانیکی و جذب انرژی بتن می شود.
- ترکیب الیاف فولادی با طول های متفاوت بیشترین میزان جذب انرژی را دارا می باشد. چسبندگی خوب این الیاف به ماتریس سیمان، مقاومت کششی بالای الیاف و بهبود مقاومت فشاری بتن از عوامل مزیت این ترکیب الیاف بر دیگر ترکیب های الیاف می باشد.
- ترکیب الیاف فولادی و سنتتیک (پا ملخی) ترکیب مناسبی بعد از ترکیب الیاف های فولادی می باشد.
- با ترکیب الیاف های مختلف و بررسی اقتصادی طرح های اختلاط انجام شده:
- برای ساختمان های معمولی ترکیب SPP مناسبترین بتن هیبریدی و برای سازه های با اهمیت بالاتر استفاده از ترکیب SS و SSY مناسبترین گزینه می باشد.

مراجع

1. ACI Committee 363 Report, ACI Mater. J. 81_1984. 364.
2. Naaman, A. E., Wongtanakitcharoen, T. and Hauser, G. "Influence of Different Fibers on Plastic Shrinkage Cracking of Concrete", ACI Materials Journal, V. 102, No. 1, Jan.-Feb., pp. 49-58, 2005.
3. ACI Committee 544, "Measurements of Properties of Fiber Reinforced Concrete", ACI Materials Journal, 1996.5. ASTM, Standard Specification for Concrete Aggregates, Concrete and Aggregates, vol. 04.02_1994..
۴. خالوع "خواص مکانیکی و کاربرد بتن مسلح به الیاف" مجله عمران شریف، شماره ۵، ص ۲۸-۵۵
5. Ghosh. S. and Roy. A., "Polypropylene Fiber Concrete Beams in Flexure", Fiber Reinforced Cement and Concrete, RILEM, pp. 486-498, 1992.
- Wei-Ling, L. "Toughness Behavior of Fiber Reinforced Concrete", Fiber Reinforced Cement and Concrete, RILEM, pp. 299-315, 1992.
6. Bayasi, Z. and Zeng, J. "Properties of polypropylene Fiber Reinforced Concrete", ACI Materials Journal, Vol 90, No 6, pp. 605-610, 1993.
7. Soroushian, P., Khan, A. and Jer-win, H. "Mechanical Properties of Concrete Materials Reinforced with Polypropylene or Polyethylene Fibers ", ACI Materials Journal. Vol.89, No 6, pp. 535-540, 1992.
8. Kharjuria, A. and Balaguru, P. "Plastic Shrinkage Characteristics of Fiber Reinforced Cement Composites." Fiber reinforced Cement and Concrete, RILEM, pp. 82-91, 1992.
۹. افشار، ج "ارائه روابط تجربی تحلیلی برای خواص مکانیکی] - بتن با مقاومت بالای مسلح به الیاف فولادی"، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی اصفهان، پایان نامه کارشناسی ارشد،

۱۰. کامرانی ن. و مقصودی ع.ا. "روشهای تخمین تنش های انقباضی ناشی از خشک شدگی در بتن حجیم"، اولین کنفرانس ملی صنعت بتن، مرکز بین المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، -کرمان
۱۱. باقری ع.ر.، زنگانه ح. و شاهمرادی م. "اثر الیاف پلیمری نسل جدید بر مقاومت ضربه ای بتن مسلح به الیاف"، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، ۱۵۴۳
۱۲. مستوفی نژاد، د. و حاتمی، ش. "اثر الیاف پلی پروپیلن بر ترک خوردگی ناشی از آبرفتگی پلاستیک و کارایی بتن"، نشریه دانشکده، مهندسی، سال ۱۴، شماره ۱
۱۳. متوسلیان، م. "تأثیر اضافه کردن الیاف پلی پروپیلن بر ترکهای ناشی از جمع شدگی بتن خود تراکم (SCC)"، اولین همایش بین المللی بتن های ناتراوا مخازن ذخیره آب شرب، شرکت آب و فاضلاب شهری استان گیلان، ۱۵۴۳
۱۴. حسینیان س.ب.، رنجبر م.، محمدی ع. و مسلمی حسینی س.م. اثر توام الیاف شیشه و الیاف پلی پروپیلن بر خصوصیات مکانیکی بتن

15. Padron. I. and Zollo. R.F. "Effect if Synthetic Fibers on Volume Stability and Cracking of Portland Cement Concrete and Mortar", ACI Materials Journal, Vol. 87, No4, pp.327-332, 1990.
16. Berke, N.S. and Dallaire, M.P. "The Effect of Low Addition Rates of Polypropylene Fibers on Plastic Shrinkage Cracking and Mechanical Properties of Concrete", SP- 142 American Concrete Institute Farmington Hills, pp. 19-42, 1991.
17. BSI, Method of Normal Curing of Test Specimens _208C Method., London, BS 1881: Part 111: 1983.
18. B. Barr, A. Bouamrata, Composites 19 _1988. 453.
19. A. Arslan, Mater. Struct. 28 _1995. 473.
20. S. Choi, K.C. Thienel, S.P. Shah, Mag. Concr. Res. 48_1996. 103.
۱۱. طاحونی، ش.، "طراحی ساختمان های بتن مسلح"، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ هفتم، ۱۳۸۳.
21. Manafpour, A. R., Vazifehkhah, N., "Tensile Strength of Fibre Reinforced Concrete with Steel and Polypropylene Fibres", The 9th International Symposium on High Performance Concrete - Design, Verification & Utilization, Rotorua, New Zealand, 2011.
22. Beddar, M., "Development of Steel Fiber Reinforced Concrete from Antiquity until the Present Day", Proceedings, Int'l Conference Concrete: Construction's Sustainable Option, Dundee, UK, 2008, pp 35-44.
23. Clarke, J. L., "Design Guidance for Fibre-Reinforced Concrete", Proceedings, Int'l Conference Concrete: Construction's Sustainable Option, Dundee, UK, 2008, pp 311-322.
24. Darwish, F. A., Oliveira, T. M., Coura, C. G., Kitamura, S., Barbosa, M. T. G., Santos, W., "Influence of Fiber Ratio in the Size Effect", Proceedings, Int'l Conference Concrete: Construction's sustainable option, Dundee, UK, 2008, pp 123-130.
- ۶ [خالو، ع. ر.، "رفتار و کاربردهای بتن الیافی"، مجموعه مقالات اولین کنفرانس تکنولوژی بتن الیافی، دانشگاه صنعتی شریف، ۴ اسفند ۱۳۷۸، ص ۳۰-۱.
25. Sahin, Y., Koksai, F., "The Influences of Matrix and Steel Fibre Tensile Strengths on the Fracture Energy of High-Strength Concrete", Construction and Building Materials, 2011, 25, 1801-1806.
26. Libre, N. A., Shekarchi, M., Mahoutian, M., Soroushian, P., "Mechanical Properties of Hybrid Fiber Reinforced Lightweight Aggregate Concrete Made with Natural Pumice", Construction and Building Materials, 2011, 25, 2458-2464.
27. Yoon, Y. S., Yang, J. M., Lee, J. H., Lee, S. H., "Structural enhancement of High-Performance Concrete Members by Strategic Utilization of Steel fibers", The 9th International Symposium on High Performance Concrete - Design, Verification & Utilization, Rotorua, New Zealand, 2011.
28. Bencardino, F., Rizzuti, L., Spadea, G., Swamy, R. N., "Experimental evaluation of Fiber Reinforced Concrete Fracture Properties", Composites Part B: Engineering, 2010, 41, 17-24.