یازدهمین کنفرانس دانشجویان عمران سراسرکشور CESC 2004
1 تا 4 دیماه 1383- دانشگاه هرمزگان

مقایسه الیاف فولادی با الیاف مصنوعی در مخلوط شاتکریت تر

محمد نیسی شوشتری دانشجوی کارشناسی عمران-عمران دانشگاه آزاد اسلامی ،واحد اهواز[1]
محمد نیکو دانشجوی کارشناسی عمران-عمران، دانشگاه آزاد اسلامی ،واحد اهواز
مهدی نیکو دانشجوی کارشناسی عمران-عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهواز

چکیده :

همانطور که می دانیم شاتکریت عبارت است از ملات یا بتنی که بافشار هوا و سرعت زیاد به سطح کار پاشیده می شود یا به عبارت دیگر بتن بدون قالب میباشد.مزیت استفاده از شاتکریت در پروژهای فراوانی در سرتاسر دنیا به اثبات رسیده است.زمانی که پیشرفته ترین تکنولوژی ها مورد استفاده قرار می گیرد کارایی الیاف بطور کلی برابر یا بهتر از سیستم سنتی مش فولادی است.در این مقاله مزایای استفاده از الیاف در شاتکریت در مقایسه با مش فولادی بیان شده.همچنین دو نوع الیاف قابل استفاده در شاتکریت (الیاف فولادی و الیاف مصنوعی)مورد مقایسه قرار گرفته.در نهایت این مقاله پاسخی به این سوال خواهد بود که چگونه الیاف با کارایی بالای پلی پروپیلن (HPP)که به تازگی استفاده از آن ها رایج شده را با الیاف فولادی مورد مقایسه قرار دهیم.همچنین نتایج آزمایشات انجام شده ارائه گردیده است.

کلمات کلیدی *:الیاف -شاتکریت -مصنوعی فولادی -پلی پروپیلن*

۱-مقدمه

استفاده از الیاف به منظور تقویت بتن، از اوایل دهۀ ۱۹۶۰ میلادی شروع شده است.در ابتدا از الیاف فولادی مستقیم جهت تقویت ماتریس استفاده شد که این امر موجب افزایش قابل توجهی در شکل پذیری و نیز طاقت شکست گردید. یکی از مشکلات عمده در استفاده از الیاف در ابتدای کار مسئله تجمع و گلوله شدن الیاف و کاهش کارآیی بتن، در مقادیر بالای استفاده بود که این مشکلات با اصلاحاتی که در طرح مخلوط، ابداع الیاف با چسبندگی مکانیکی بیشتر (الیاف قلابدار) و در نتیجه امکان کاهش مقدار الیاف مورد نیاز و هم چنین گسترش استفاده از روان کننده ها و فوق روان کننده ها در بتن، تا حد زیادی حل شد.

آدرس : اهواز ، بین۲۴ متری و نظام وفا، کوچه مصطفایی، روبرو اداره کار،طبقه اول، نیسی
کد پستی :۶۱۹۳۶۶۳۷۸۹ تلفن: ۲۲۲۹۲۵۱ -۰۶۱۱ و ۰۹۱۶۶۱۱۳۷۹۶
email address :mnaissi@yahoo.com

و اما سرآغاز استفاده از الیاف پلیمری در سال ۱۹۶۵ بوده است. از این الیاف که معمولاً پلی پروپلین می باشند به علت پایین بودن مدول الاستیسته عمدتاً برای کنترل ترکهای بتن (ترکهای نشست و جمع شدگی پلاستیک) که در ساعات اولیه بوجود می آیند استفاده می شود. (دکتر باقری)

۲ـ تعریف شاتکریت و انواع آن :

شاتکریت عبارت است از ملات و یا بتنی که با فشار و سرعت بالا به سطح مورد نظر پاشیده می شود که به دو نوع شاتکریت مخلوط تر (Wet Mix shotcrete) و مخلوط خشک (Dry Mix shotcrete) شناخته شده است در شاتکرت با مخلوط خشک (DMS) مصالح شامل : ماسه وسیمان توسط پمپ شاتکریت بداخل لوله انتقال هدایت شده و به قسمت پاشنده ملات (Nozzle) منتقل می گردد. آب مورد نیاز در این حالت در حین خروج مصالح از سر نازل به آنها اضافه می گردد که با توجه به سرعت بسیار زیاد خروج مصالح از سر نازل این عمل در کسری از ثانیه صورت می پذیرد که در این حالت ممکن است آب به بعضی از دانه های سیمان نرسیده و در نتیجه این دانه ها هیدراته نشوند بهمین دلیل از روشDMS تنها در عملیات تثبیت قبل از اجرای لاینینگ تونلها و کارهای روکش و تعمیراتی با ضخامت کمتر از ۱۰ cm استفاده می گردد . اما در روش WMS (شاتکریت با مخلوط تر) بتن آماده به داخل پمپ شاتکریت ریخته شده و پس از عبور از لوله انتقال به سر نازل رسیده و از آنجا به کمک فشار باد کمپرسور به سطح زیر کار پاشیده می شود از این روش در جاهایی می توان استفاده کرد که مقاومت فشاری مورد نظر است.از طرفی دیگر در این روش امکان اجرای بتنی با ضخامت ۵۰ cm برای دیوار و ۲۰ cm برای سقف در یک مرحله به راحتی امکان پذیر است. (مهمدی کرتلایی۱۳۸۰)

۳ـ مزیت اجرایی شاتکریت تر به خشک :

در روش شاتکریت تر در اغلب موارد برای احداث سازه های بتنی نیازی به قالب بندی نیست و در موارد خاص نیز استفاده از یک سپر چوبی برای عملیات استقرار بتن کافی می باشد. شاتکریت مخلوط تر همچنین این امکان را فراهم می آورد تا دیگر اجرای سازه های بتنی با اشکال منحنی ، مدور و غیر منظم مانعی بر سر راه طراحان و مجریان نباشد. شاتکریت مخلوط تر با حداقل هزینه و سرعتی بسیار بالا که از خصوصیات این روش است در عین بالا بودن کیفیت مشکل را حل می نماید.

تثبیت کوهها ، و صخره ها با استفاده از پوشاندن آنها با یک شبکه مش و پاشیدن بتن بر روی آن ، محافظت از لوله های فولادی و افزایش ضخامت لوله های بتنی یا پیچیدن یک شبکه مش به اطراف لوله و پاشیدن بتن و صیقلی کردن آن در محیط های خورنده و خطرناک در مقابل آتش سوزی ، روکش کردن دیوارها ، پایه پلها ، بدنه سدها و لاینینگ تونلها ، تثبیت جداره رود خانه ها و ... از جمله دیگر توانایی های روکش WMS است. (مهمدی کرتلایی۱۳۸۰)

۴-چه نوع الیافی را برای ساخت شاتکریت الیافی بکار گیریم؟

الیاف مختلفی از جمله الیاف فولادی، شیشه ای، نایلونی، پلی پروپلین، کربنی و ... را می توان جهت ساخت بتن الیافی بکار برد ولی باید توجه داشت که جهت بکار بردن هر کدام از آنها نیاز به این می باشد که تعیین کنیم کدام نوع از الیاف ترکیب بهینه تری با توجه به مشخصات فرآورده و کاربری بنا به ما می دهد. برای این مهم ابتدا باید با مشخصات فیزیکی و مکانیکی الیاف آشنا باشیم، تا با توجه به این مشخصات بتوانیم از آنها در ماتریسهای سیمانی بهرۀ کافی را ببریم.در شاتکریت از ۲ دسته الیاف فولادی و مصنوعی استفاده می شود.گروهی از الیاف مصنوعی مانند شیشه، استیل و کربن مدول بالاتری از بتن دارند و دسته ای مثل نایلون و پلی پروپیلن دارای مدول کمتری از بتن می باشند.که دسته دوم در سیستم شاتکریت مورد نظر می باشد .در ادامه مقاله خواهیم دید که کاربرد هر کدام در کجاست.

۵-معرفی

مزیت استفاده از بتن الیافی در شاتکریت در پروژه های فراوانی در سراسر دنیا به اثبات رسیده است وقتی پیشرفته ترین تکنولوژی مورد استفاده قرار می گیرد کارائی بتن الیافی بطور کلی برابر یا بهتر از استفاده از سیستم مش فولادی بصورت سنتی می باشد.(Knut ,F 2000) وقتی یک ملات خالص یا یک تیر با بتن خالص تحت اثر نیروی قرار می گیرد، ترک خوردگی ناحیهٔ کششی فوراً به گسیختگی تیر منجر می شود. اما باید بخاطر داشت که ترک خوردگی در بتن یک پدیده جدا از خاصیت بتن نیست. اندازه گیریهای دقیق تأئید کرده است که یک ترک اصلی در شکست یک تیر ناشی از رشد آهسته ترک های ریزی است که قبلاً وجود داشته است.

مثلاً در ترکیبات ساخته شده با الیاف فولادی چون مدول الاستیسته فولاد تقریباً ۱۰ برابر مدول الاستیسته بتن خالص است، بنابراین افزایش حجم الیاف ، افزایش بار را بدنبال خواهد داشت و در اثر این بار، نمودار بار ـ تغییر شکل تیر از حالت خطی منحرف می شود. چنانچه درصد بسیار کمی از الیاف فولادی در بتن بکار رود تأثیر الیاف در حد جاری شدن یا مقاومت نخستین ترک بتن الیافی خیلی ناچیز خواهد بود.

حال پس از این بررسی شایان ذکر است که بیان کنیم با افزودن الیاف به بتن می توان مقاومت ضربه ای را که بتن الیافی بدست می آورد به نصف زمانی که همان مقاومت را بتن معمولی بدست می آورد کاهش داد و دوام آن را به اندازهٔ ۳۰ درصد افزایش داد این یکی از مزایایی است که ما را به سوی استفاده از بتن الیافی ترغیب می کند، و به طور کلی می توان مزایای بتن الیافی را نسبت به بتن معمولی در غالب موارد ذیل برشمرد : (کیوانی ۱۳۸۰)

الف- مقاومت در مقابل تورق، سایش و هوازدگی سطح

ب- مقاومت زیاد در مقابل تنشهای خستگی

پ- مقاومت بسیار عالی در مقابل ضربه و در واقع توانایی بالای جذب انرژی

ت- قابلیت کشش عالی (بالا بردن ظرفیت زیاد تغییر شکل نسبی)

ث- قابلیت باربری زیاد بعد از ترک خوردگی

ج- مقاومت کششی، خمشی و برش زیاد

چ- طاقت خیلی زیاد نسبت به بتن معمولی

ح- و یکی از مهمترین مزایا ظرفیت بالای بتن الیافی به منظور تبدیل کار خارجی به:

الف) انرژی کرنشی ذخیره شدهٔ قابل تغییر

ب) کار داخلی (که این عمل معمولاً با تشکیل ترکهای جدید، رها شدن و تغییر شکل الیاف و یا تولید حرارت می باشد)

علاوه بر این شاتکریت مصلح به الیافی مزیتهای شایان ذکر دیگری نیز دارد :

a- استعمال شاتکریت الیافی روی صخره های آسیب دیده و مجوف با حداقل بیشتر از دو بار پاشیدن تأثیر بسیار بیشتری دارد .

b- وقتی که از دستگاههای کنترل از راه دور خودکار برای پاشیدن شاتکریت استفاده می شود ایمنی و ضریب اطمینان را چندین برابر می کند (کسی ریسک بستن شبکه مش را در زیر زمین مهار شده یا نشده نخواهد کرد)

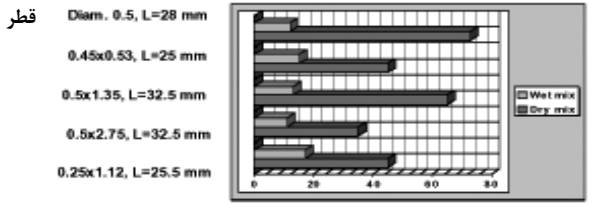
c- با استفاده از شاتکریت الیافی هیچ ناحیه ای با تراکم پائین در جاهایی که ۳ تا ۴ لایه مش روی هم قرار دارند بوجود نخواهد آمد که در صورت عدم استفاده از شاتکریت الیافی بدلیل عدم امکان ویبراسیون مناسب بتنی با کیفیت بسیار پائین و ریسک بالای خوردگی آتی شبکه مش و پوسته پوسته شدن بتن وجود خواهد داشت .

d- ضخامت خواسته شده و بطور کلی کمیتهایی از شاتکریت را که می خواهیم با دقت خوبی بدست می آید همچنین از مشکل پوشاندن (Cover) بیش از حد شبکه مش روی سطوح بنیادی جلوگیری می شود .

e- یک لایه مش در عمقهای مختلفی از یک لایه شاتکریت قرار می گیرد و نمی تواند در سطح مقطع ، در نواحی تحت کشش قرار بگیرد . در صورتی که الیاف می تواند در تمام سطح مقطع قرار بگیرد بدون در نظر گرفتن این موضوع کـه کشش در کجا اتفاق می افتد .

f- و ضریب منطقی جلوگیری از کارگزاری و بستن شبکه مش در زیر زمین .

برای رسیدن به مزیتهای بالا روش شاتکریت مخلوط تر باید مورد استفاده قرار گیرد به این دلیل که در پروسـه مخلـوط خشک فقدان کنترل و مقدار زیادی کمانه کردن الیاف وجود دارد . بعنوان مثال کمانه کردن الیـاف فـولادی در پروسـه مخلوط خشک ۵۰ درصد و در استفاده از الیاف مصنوعی احتمالاً این مقدار بیشترینه باشد در مقایسه کمانه کردن الیاف فولادی در پروسه مخلوط تر حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد می باشد به شکل یک مراجعه کنید . (Knut F 2000)



کمانش الیاف فولادی

شکل ۱

تاکنون الیاف فولادی تنها جایگزین برای شبکه تقویتی مش بوده است اخیراً الیاف پلی پروپیلن با کـارایی بـالا (**HPP**) توانسته اند به درجه ای برسند که با الیاف فولادی قابل قیاس باشند وقتی استفاده از چنین الیافی را در سر داشته باشیم واکنش منطقی استفاده کنندگان جدید این محصول این است که چگونه می توان آنها را با الیاف فولادی مورد مقایـسه قرار داد ؟

این مقاله تلاش دارد با استفاده از خلاصه اطلاعاتی از تستهای انجام شده توسط دانشگاهها و سایر آزمایشگاههای معتبر ذهنیتی برای پاسخ به این سئوال ایجاد کند . در پایان هر تست نیز نتیجه لازم ارائه شده است .

۶- توصیف صنایع الیاف مصنوعی HPP S-152

الیاف تقویتی **HPP-S152** دارای بیس مواد پلیمری می باشند وبیشتر برای افزایش کارائی بتنهای تحت تـأثیر تـنش طراحی شده است. این الیاف در بتن با تکنیکهای معمول روز مخلوط می شوند . همچنین الیافی مقاومت بالا هستند که به نسبت ۱ تا ۲ درصد حجمی (Kg/m^3 ۱۸ تا ۹) در بتن مورد استفاده قرار می گیرند .

نسبت حجمی بیشتری از این الیاف باعث افزایش فوق العاده کارایی سازه ای نسبت به حالتی می شود که از آرماتور نوع دوم استفاده شود .(منظور از نسبت حجمی همانYield می باشد که حجم بتن تازه ای است که از مقدار معینی مصالح تولید می شود بعبارت دیگر وزن کل بچ بتن به کیلوگرم تقسیم بر جرم حجمی به کیلوگرم بر متر مکعب مساوی است با راندمان حجمی $(Y = \frac{W_1}{W})$.

الیاف **HPP** بخصوص برای مقاومت در برابر جمع شدگی ملات وبهبود کارائی بتن حتی بعد از توسعه تنشهای ناشی از ترکها ساخته می شود . آزمایشات نشان داده که الیاف **HPP** باعث افزایش کارائی بتن در مقابل تغییر شکل ناشی از بار خواهند بود .

بسته بندی این محصول با دوز دلخواهی انجام می شود تا محصول نهائی دارای مشخصات دلخواه ما باشند .

جدول ۱: مشخصات الیاف HPP

مقدار	مشخصه
0.91	وزن مخصوص
0.9 mm	قطر اسمی رشته (فیلامان)
35;40;50 mm	طول الیاف موجود
$3/10 \ mm$	فضای تغییر شکل
$3500 \ N/mm^2$	مدول الاستیکی
15%	قابلیت نهایی طویل شدن
Zero	جذب آب
$175^\circ C$	درجه ذوب
$360^\circ C$	درجه احتراق
High	مقاومت قلیایی/ اسیدی
$0.2 \frac{W}{mk} \ at \ 20^\circ C$	هدایت گرمایی
خیلی کم	هدایت الکتریکی

۷-استنادات :

الف)مرجع شماره ۱ : E.S Bernard , July 1999

مدرسه مهندسی عمران و محیط زیست در دانشگاه سیدنی غربی ، نپن – گزارشی را با عنوان زیر منتشر کرد . شماره گزارش **CE9**

این گزارش شامل ۱۸ صفحه در مجموع و نتایج آزمایش ۲۰۴ تیم و ۲۰۴ پانل را ارائه می دهد خلاصه آنرا در زیر می خوانیم .

در تمام این آزمایشات از یک مخلوط بتن برای پاشیدن به کالبدهای چند لایه استفاده شد ، فقط نوع ومقدار الیاف فرق می کرد .آزمایشات روی یک تیر درسه نقطه انجام شد ، تست بار در وسط تیر ، تست پانل EFNARL و تست پانل ثابت جانبی .

هر سه نمونه با هر روش آزمایش و برای هر مخلوط بتن مورد استفاده قرار گرفتند .

از ۳۴ مخلوطی که مورد آزمایش قرار گرفت مخلوطهای زیر برای مقایسه انتخاب شد ند.

جدول ۲: مقایسه مخلوطهای مختلف

Kg/m^3	تقویت کننده	طرح مخلوط	مخلوط شماره
۲۵	الیاف Dramix ZP 30	۱	۳
۵۰	الیاف Dramix ZP 30	۱	۴
۵۰	الیاف Novotex 0730	۱	۵
۹	الیاف 5o mm HPP	۲	۸
۱۳	الیاف 5o mm HPP	۲	۹

در اینجا متذکر شویم که مخلوطهای شماره ۱ تا ۵ تفاوت کمی در طرح بتن دارند. تفاوت عمده در ۲۰ کیلوگرم سیمان بیشتر و۴۰ کیلوگرم فلای اش (خاکستر زغال سنگ) اضافه شده می باشد .

وقتی که نتایج را برای مخلوطهای ۳ تا ۵ مقایسه می کنیم هیچ تأثیری دیده نمی شود. ولی وقتی ۳ تا ۵ را با ۸ و۹ مقایسه می کنیم تفاوت در طرح مخلوط می تواند تأثیر گذار باشد . این اختلاف احتمالاً به علت مزیت نتایج اندازه گیری شده مخلوطهای ۳ و ۵ است . میانگین ۳ نمونه گزارش در زیر آمده است.

جدول ۳: مقایسه انرژی مستهلک شده برای مخلوطهای مورد نظر

مخلوط شماره	Ucs(Mpa)	EFNARC Panel Energy(J)	Round Panels Energy(J)
۲۵ Dramix zp30 Kg/m^3		۷۶۵	۲۵۶
۵۰ Dramix zp30 Kg/m^3		۴۰۲۶	۴۳۹
۵۰Novotex 0730 Kg/m^3		۱۰۹۶	۴۳۹
۹ HPP 50mm Kg/m^3	۵۹/۸	۱۴۵۰	۴۵۵
۱۳/۵HPP 50mm Kg/m^3	۵۸/۵	۱۴۵۰	۵۱۳

ب) مرجع شماره ۲ : N.Banthia and C.Yan

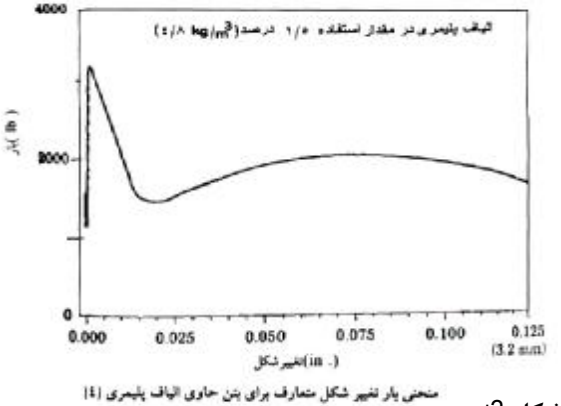
خلاصه :

قسمتی از یک آزمایش بزرگتر به وسیله کمپانی **AGRA** انجام شد. ۶پانل مخاوط شاتکریت تر به محل دانشگاه ونکور کلمبیا برده شدند.که با استفاده از پروسه تست استاندارد EFNARC آزمایش شدند. تمامی این پانلها دارای الیاف تقویتی ۵۰ میلی متر طول و از نوع الیاف پروپلن با کارایی s-152 که در دوزهای ۱٪ مورد استفاده قرار گرفته بودند. این مشخصات ۴ پانل را ارایه می کند.۲ پانل آزمایش شده ۷ روزه و ۲ پانل ۲۸ روزه. ۲ پانل دیگر هم در یک عمل آوری طولانی در ۹۶ امین روز تست شدند.

نحوه و نتایج آزمایش :

روش آزمایش با توجه به طرح کلی مرجع ۱ انجام شد. به طور خلاصه ، در این آزمایش از یک اسلب شاتکریت به ابعاد۱۰۰mm×۶۰۰ mm×۶۰۰mm که ۴ گوشه آن مهار شده بود و بار روی مرکز آن در یک سطح ۱۰۰mm ×۱۰۰mm وارد شد.قسمتهای ناهموار و ناصاف پانل در خلال این آزمایش در زیر بودند.ار نیز در جهت خلاف بتن پاشی وارد می شد.منحنی بار تغییر شکل به دست آمد و از منحنی بار تغییر شکل منحنی دومی به دست آمد که بیانگر انرژی مصرف شده به عنوان عاملی برای تغیر شکل پانل بود.ملاحظه شد که ۷ روزه ب ترتیب انرژی ۱۰۱۲ و ۱۰۷۴ ژول را زیر بار نقطه ای با جابه جایی mm ۲۵ مستهلک کردند.از طرف دیگر ۲ اسلب ۲۸ روزه انرژی کمی بیشتر به میزان ۱۱۲۲ و ۱۱۷۷ ژول را مستهلک کردند. وقتی بار نهایی مد نظر باشد اسلب با سن ۷ روز بار نهایی KN ۵۸/۸۱ را تحمل می کند . دیگری با سن ۲۸ روز به طور متوسط بار نهایی KN ۶۳/۸۶ را تحمل می کند.رفتار بار جابجایی تا ۵۰٪ بار نهایی به صورت خطی می باشد.اما بعد از آن این منحنی به صورت قابل توجه و ملموسی غیر خطی می شود۰ (European Specification for Sprayed Concrete1996)

قسمت نزولی نمودار بیانگر نرم شدن مداوم با مقادیر زیاد انرژی مستهلک شده می باشد۰با مشاهده سطوح ترک خورده به این نکته پی برده شد که بیشتر الیاف از بتن حالت جدا شدگی پیدا می کنند۰



منحنی بار تغییر شکل متعارف برای بتن حاوی الیاف پلیمری [۴]

شکل 2:

نتیجه:

نتیجه گرفته شد که پانل های شاتکریت مخلوط تر مسلح به الیاف بلند ۵۰ میلی متر **S 152** در دوز ٪۱ وقتی با توجه به روش EFNARC آزمایش می شود برای هر دو سن بتن ۷ روزه ۲۸ روزه انرژی زیادی به میزان ۱۰۰۰ ژول را برای جا به جایی ۲۵ میلی متر در نقطه اعمال بار مستهلک می کند۰

۲ پانل باقی مانده با یک عمل آوری ۹۶ روزه مورد آزمایش قرار می گیرند۰

ج) مرجع شماره ۳: Dr R. Morgan , AGRA Ltd

مزایا و معایب مختلفی برای هر دو نوع الیاف فولادی و مصنوعی برای بتن مسلح به منظور مهارهای زیر زمینی در معادن وجود دارد۰با انتخاب شاتکریت پلاستیک احتمالا تمایل به استفاده از مقدار زیادی الیاف مصنوعی داریم۰ به این دلیل که قابلیت پمپاژ و همچنین پاشیدن و اتمام کار در این حالت در مقایسه با الیاف فولادی بیسار بهتر می باشد۰الیاف مصنوعی باعث کاهش فشار پمپ ،کمتر پاره و خراب شدن تجهیزات پمپ و لوله و نازل در مقایسه با الیاف

فولادی می شوند. وقتی که سطحی تمام شده و پرداخت شده مورد نیاز باشد شاتکریت با الیـاف مـصنوعی نـسبت بـه شاتکریت با الیاف فولادی عمدتا راحت تر بریده ، تراشیده و پرداخت می شوند٠

وقتی که سطحی را با شاتکریت بتن پاشی می کنیم این سطح ناهموار بوده و باید پرداخت شود٠برای پرداخت کار نیز روش های مختلفی وجود داردکه در این مقاله به آنها وارد نمی شویم٠در تمام تفاسیر بیان شده مخلوط شـاتکریت تـر مقدم می باشد٠ما در مخلوط شاتکریت خشک از مقادیر زیاد الیاف مصنوعی استفاده نمی کنیم٠

وقتی که شاتکریت سخت را انتخاب می کنیم معمولا شاتکریت با الیاف فولادی مقاومت بیشتری در برابر ترکهای ناشی از تنشهای پسماند ظرفیت باربری نسبت به مقدار زیادی الیاف مصنوعی در شاتکریت با تغییر شـکل کـم و در صـورتی کـه عرض ترک ها باریک است دارد٠شاتکریت با الیاف فولادی با مقدار کافی الیاف اضافی به میزان(تقریبا 50 تا 60 kg/m^3) معمولا در تونلهای زیر زمینی که حرکت کم زمین در آنها انتظار می رود و همچنین در نزدیکی شیارهای آب بندی شده (مثلا ترکهای با عرض کم) مورد نیاز است٠

در جاهایی مثل اتاقهای پمپها و تجهیزات الکتریکی ، نواحی تحت فشار و اتاقک بالا بر زیر زمینی باید از الیاف فولادی در مخلوط شاتکریت استفاده شود٠در مقایسه ، مقادیر زیاد الیاف مصنوعی در شـاتکریت (۱ تـا ۱/۵ درصـد حجمـی) نشانگر مقاومت بیشتر در برابر تنش ناشی از بار در تغییر شکل های زیاد در مقایسه با الیاف فولادی می باشند٠

به طور کلی در تونلهای زیر زمینی الیاف مصنوعی رفتار نزدیکتر به شبکه مش فولادی دارند٠به همین دلیل استفاده از آنها در جاهایی که تغییر شکل زیر زمین زیاد و ترک های عمیق و توسعه یافته (ترک های فعال) تـشخیص داده شـود ترجیح داده می شود ٠ برای مثال، زمین تحت فشار-شیب های تحت ریزش-شـاتکریت بـرای کـار روی صـخره هـای فرسوده و ترکیده را نام برد٠

اخیرا **SnFRS** یا همان شاتکریت با الیاف مصنوعی در معادن طلای آفریقا به صورت گسترده ای مـورد اسـتفاده قـرار گرفته در نهایت مزیت **SnFRS** (شاتکریت با الیاف مصنوعی) به نسبت به **SFRS** (شاتکریت با الیاف فـولادی) ایـن است که الیاف مصنوعی بریده،تکه تکه و پاره نمی شوند که برای الیاف فلزی این اتفاقات خواهد افتاد٠این همیشه یکی از خواسته های معدن چیان برای معدنی امن و ایمن بوده٠

د)مرجع شماره ۴ آفریقای جنوبی ، Geopractica c.c

پاشیدن بتن روی پانل های آزمایشی با بتن مقاومت پایین انجام شد و مقامتی حـدود Mpa ۲۶ تـا ۲ را داد تجهیـزات ناکافی برای فشار هوا بر نازل باعث عمل آوردن بتن با مقاومت ضعیف و با چگالی ۲/۱۶ تا ۲/۲۵ (باید حدود ۲/۳ می بود) شـد٠ آزمـایش اسـتهلاک انـرژی روی پانلهـا کـه معمـولا روی سـطح زیـری انجـام مـی شـود اعمـال شـد٠ (E. S. (Bernard1999

الیاف فولادی هارکس که دارای مقاومت Mpa ۱۱۰۰می باشد در دوزهای 40 تـا 20 kg/m^3 آزمـایش شـدند و الیـاف **Hpp** ۳۰و ۵۰ میلی متر از 10 تا 5 kg/m^3 در مخلوط بتن آزمایش شدند٠ جذاب ترین نتیجه ای که به دست آمـد این بود که ۴۰ کیلوگرم دوز الیاف فولادی هارکس با ۷/۵ و ۱۰ کیلوگرم از الیاف **Hpp** ۵۰ میلـی متـر قابـل مقایـسه است(N. Banthia1999)

جدول ۴ : نتایج میانگین ۳ پانـل بـرای هـر

۳۲۹ Joules	۴۰ kg/m^3 از الیاف فولادی هارکس
۴۶۷ Joules	۷/۵ kg/m^3 از الیاف **.Hpp** ۵۰ میلی متر
۶۵۰ Joules	۱۰ kg/m^3 از الیاف **Hpp** ۱۰ میلی متر

۷-نتایج :

با بررسی نتایج ازمایش های متفاوت توسط موسسات و دانشگاههای معتبر به این نتیجه رسیدیم که هر نوع از الیاف را با توجه به موقعیت و شرایط طرح می توان مورد استفاده قرار داد . هر کدام قابلیت های خاص خود را دارند، ولی الیاف **HPP**مزیت های قابل توجهی دارنـد کـه باعـث شـده تمایـل بـه اسـتفاده از آنهـا روز بـه روز در بـین مهندسـین و دستاندرکاران صنعت بتن بیشتر شود.

- اگر شاتکریت پلاستیک می خواهید حتما از مقدار زیادی الیاف مصنوعی استفاده کنید.
- وقتی شاتکریت سخت مد نظر شماست به سراغ الیاف فولادی بروید.
- در صورتی که مخلوط شاتکریت خشک را انتخاب کردید از الیاف کمتری استفاده کنیـد و توجـه داشـته باشـید کـه مقدار زیادی از الیاف له و خراب شده و مقدار زیادی نیز به اطراف پرت می شوند .پس وقتی فکر استفاده از الیاف را در سر داریم بهتر است به سراغ شاتکریت مخلوط تر برویم.
- اگر پرداخت سطح بتن برای شما مهم است از الیاف مصنوعی در شاتکریت استفاده کنید.
- الیاف مصنوعی در مقایسه با الیاف فولادی مقاومت بیشتری در برابر تنش های ناشی از بار در تغیر شـکل هـای زیـاد دارند.الیاف مصنوعی در شاتکریت(**SnFRS**) تکه تکه ، پاره و خراب نمی شوند و تجهیزات سیـستم شـاتکریت نیـز آسیب بسیار کمتری می بینند بر خلاف الیاف فولادی در شاتکریت (**SFRS**)
- استفاده از ۳ درصد و بالاتر از الیاف فولادی باعث افزایش وزن مخصوص بتن می شود ، اما امـا بـا اسـتفاده از الیـاف مصنوعی در شاتکریت این مشکل حل خواهد شد.
- در محیط های قلیایی بهترین گزینه به علت دوام و حفظ خواص در دراز مدت الیـاف مـصنوعی پلـی پـروپیلن مـی باشد، پس استفاده از آنها به جای الیاف فولادی توصیه می شود.
- زمانی که شاخصه های مقاومت فشاری و خمشی مد نظر باشد استفاده از الیـاف فـولادی در شـاتکریت مناسـب تـر است.ضریب ارتجایی الیاف مصنوعی پایین بوده ولی مقاومت کششی آنها بـسیار مناسـب اسـت.پـس از ایـن الیـاف در جاهایی که افزایش طاقت شکست و شکل پذیری و محدود کردن ترک خوردگی و جمع شدگی مد نظر باشـد بیـشتر استفاده می کنیم.
- زمانی که بخواهیم قطعات نازک را با بتن اجرا کنیم ، انتخاب الیاف مصنوعی بهتر از الیاف فولادی فولادی خواهد بود. برای اجرای بتن ریزی نیز بهترین سیستمی که می توان انتخاب کرد ، سیستم شاتکریت است.

به عنوان نمونه یک طرح مخلوط بتن که برای شاتکریت و الیاف فولادی ریخته شده ارایه می دهیم.

- در جاهایی که چند لایه مش باید روی هم وجود دارد استفاده از الیاف می تواند جایگزینی بسیار عالی بـرای شـبکه مش باشد.

جدول 5: طرح مخلوط شاتکریت فوم سیلیکایی مسلح - فیبر فولادی و مخلوط تر

مواد	نسبت مخلوط مواد (Kg/m ۳)
سیمان پرتلند نرمال(تیپ ۱۰)	۴۰۰
دوده سیلیس	۵۶
مصالح درشت دانه۱۰ میلیمتر(SSD)	۴۱۰
شن بتنی (SSD)	۱۱۰۰
آب	۱۸۰
مخلوط کاهنده آب	۲L
فوق روان کننده	۷L
فیبر فولادی ۳۰ میلیمتر	۶۰
افزودنی هوازا	چون نیاز است
میزان هوا (در محل)	۷ ± ٪۱
نتایج	۲۲۶۵
اسلامپ	۲۰+۸۰ mm
حداقل مقاومت فشاری ۲۸ روزه	۴۰ Mpa

۸-مراجع :

- باقری علیرضا ، کاربرد الیاف در بتن و فراوردهای سیمانی ، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن
- کیوانی عبدالله ، اصول و تکنولوژی بتن مسلح و الیاف فولادی ، انتشارات رودکی ارومی۱۳۸۰
ـ مهمدی کرتلایی ، سیامک ، روش جا گذاری بتن بدون قالب بندی ،برشور فنی وندشیمی ، زمستان ۱۳۸۰ ، صفحهٔ۶

-E. S. Bernard, "Correlations in the Performance of Fibre Reinforced Shotcrete Beams and Panels", The School of Civic Engineering and Environment at the University of Western Sydney, Nepean,Kingswood NSW Australia, Engineering
- N. Banthia and C. Yan, "TOUGHNESS OF FIBER REINFORCED SHOTCRETE PANELS (EFNARC) WITH S152 DEFORMED POLYPROPYLENE MACRO-FIBER", Department of Civil Engineering, The University of British Columbia, Vancouver, BC, Canada, VGT IZ4Report No. CE9, July 1999
- Knut F.Garshol , "Fiber reinforced shotcrete steel fiber compared to synthetic fibers" shotcrete May 2000 .
- European Specification for Sprayed Concrete, European Federation of Producers and Applicators of Specialist Products for Structures, Hampshire UK, 1996.