

بسمه تعالی



دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران مرکز

موضوع:

پروژه بتن پیشرفته (بتن سبک)

استاد راهنما:

دکتر منوچهر بهرویان

نگارنده:

فاطمه کماني

شماره دانشجویی:

۸۶۰۰۲۱۹۶۵

سال تحصیلی:

تابستان ۱۳۸۹ – ۱۳۸۸

مقدمه

در طول فرآیند خشک شدن به سبب هیدراسیون بتن منقبض می شود و آن ممکن منجر به ترک های ریزی در مرزهای سنگ دانه و ذرات سیمان شود. ترک های میکروسکوپی به درازی آنهایی که در سایشان خیلی کوچک باقی مانده اند بی خطر می باشد وقتی که مصالح در معرض بارهای سرویس می باشد. اما معمولاً افزایش بارها منجر به رشد ترک و یکی شدن آنها و سرانجام گسیختگی بتن می شود. گسیختگی بتن معمولاً در شروع اولین ترک ریز فاجعه انگیز می باشد. تسلیح الیاف روش خیلی موثری برای جلوگیری کردن از گسیختگی فاجعه انگیزی ناشی از انتشار سریع ترک می باشد ممکن تبدیل به مصالح خیلی شکل پذیر با الیاف ها می شود به خاطر آنکه قادر به کنترل انشار ترک می باشد. (Nanni ۱۹۹۱). در عملکرد بتن الیافی (FRC) بلند، فرآیند سخت شدگی کرنش اتفاق می افتد وقتی که ظرفیت باربری مصالح پس از مقاومت اولین ترک خوردگی افزایش می یابد (wu and li ۱۹۹۵) و رخ می دهد زمانی که توسط الیاف مسلح شده رشد ترک به اندازه کافی با تأخیر می افتد. (li:۱۹۹۲)

کامپوزیت های سیمانی با الیاف مسلح شده. (HPFRCC)، نشان دهنده عملکردی قوی عملکرد سخت شدگی کرنش را دائماً بسط می دهند (e.g li etal: ۱۹۹۵).

بهبودی گسیختگی مقاوم در برابر (HPFRCC) عملکرد سخت شدگی کرنش کامپوزیت ها را یکپارچه می سازد. در اصل فرآیند سخت شدگی کرنش بر خصوصیات الیاف؛ خصوصیات ماتریس و وجه مشترک الیاف - ماتریس حاکم می باشد. خصوصیات بتن بر اساس اجزای تشکیل دهنده و خصوصیات مخلوط آن از قبیل نسبت آب به سیمان و نسبت سنگ دانه به پیمان می باشد.

در حال حاضر تقریباً همه (HPFRCC) را با بتن معمولی با ملات تولید می کنیم. از طرف دیگر؛ بکارگیری مصالح سبک در بتن مطلوب می باشد به این منظور اعضای سازه ای سبک وزن دارای مزیت می باشد. دانسیته و مقدار مصالح سبک بکار گرفته شده می باشد. ممکن بتن سبک را بکارگیری سنگ دانه های سبک؛ ترکیبات (حباب های مواد هوازا) و اسفنج های با دانسته ای به کمی ۷۰٪ کمتر از بتن معمولی (Mehta and honterio, ۱۹۹۰, ۲۱۱ ACI committee). کاهش در دانسیته؛ صرفه جوهرایی را در طراحی و ساخت سازه ها، مهیا می سازد بنابراین توسعه بیش از حد عملکرد بتن سبک مطلوب پذیر می باشد. چون مقاومت بتن معمولی به طور عادی نسبت به دانسیته بتن می باشد لذا؛ کاهش مقاومت با کاهش دانسیته همراه است. مقاومت بتن سبک معمولی کمتر از بتن معمولی می باشد. بنابراین مقاومت های پایین کاربردهای متداول بتن سبک در عملکردهای سازه ای محدود شده است. اضافه کردن الیاف راه حل مناسبی برای بالا بردن مقاومت بتن سبک و شکل پذیری به دلایل یکسان می باشد. زمانی که آنها را در بتن معمولی بکار می گیریم.

۱,۲ واقعه نگرانه و مهم:

هدف این بررسی نخست توسعه بتن سبک الیافی با عملکرد بالا (HPFRLWC) می باشد و سپس؛ خصوصیات مکانیکی و مقاومت گسیختگی را مشخص می سازد. بررسی های زیادی روی عملکرد گسیختگی بتن معمولی؛ بتن سبک؛ بتن معمولی با الیاف مسلح شدن. (FRC) انجام شده است. شرایط برای رساندن عملکرد گسیختگی کامپوزیت های سیمانی با الیاف مسلح شده به طور تئوری فرموله شده را افزایش می دهد. (Li et al ۱۹۹۵). اما هنوز عوامل زیادی وجود دارد که بر عملکرد گسیختگی کامپوزیت تأثیر دارند. اساساً ماتریس طرح اختلاط برای کامپوزیت های سیمانی شکل پذیر یکی از بزرگترین چالش نما باقی مانده است.

HPFRLLC نسبتاً دارای مصالح جدیدی می باشد و باید به این مصالح جدید کاملاً پی ببریم قبل از آنکه به پذیرش متداول برسد. برای سازه ای که از مصالح جدید استفاده کرده ایم انتظار داریم تا دارای عملکردی با مقاومت کافی ؛ شکل پذیری تقویت شده؛ پایداری بالا و هزینه پایین را دارا باشند. در HPFRLC؛ مصالح سبک هزینه پایین را مهیا می سازد که باعث کاهش بار مرده سازه می شود. الیاف مقاومت و شکل پذیری و ترکیبات سیمانی (سیمان، خاکستر آتشفشانی؛ دوره سلیسنی) کامپوزیت را با همدیگر نگه می دارند و پایداری را مهیا می سازند اما به کارگیری همه این مصالح با خصوصیات کامپوزیت تصادفی همیشه نتایج مطلوبی را نمی دهد. پارامترهای بحرانی نیازمند به مشخص سازی مصالحی با عملکرد بالا می باشند و تست های مکانیکی معمولاً نیازمند ارزیابی نمودن مصالح می باشند. در این بررسی؛ ما به توسعه عملکرد بالای بتن سبک با الیاف مسلح شده (HPFRLWC) می پردازیم. طراحی (HPFRLWC) با بکارگیری مکانیزم گسیختگی بر اساس مدل میکرو مکانیکی انجام خواهد شد. سودمندی باشد تا عملکرد گسیختگی بتن سبک با الیاف مسلح شده را ارزیابی نمایم بکارگیری مکانیزم گسیختگی بخاطر شرح های از مدل گسیختگی کامپوزیت ها می باشد.

مدل های میکرو مکانیکی ممکن به طراحی سیستم کمک کنند اما آزمایش نیاز به تایید شدن نتایج دارد. نیاز به توسعه کلاس جدیدی از HPFRLWC با خصوصیات مصالح بهبود یافته علت این بررسی می باشد که منجر به واکنش گسیختگی مطلوبی می شود.

کامپوزیت های مخلوط بهینه را مشخص می کنیم؛ ما باید تأثیرات سیمان، سنگدانه سبک، حساب هوایی مواد هوازا و محتویات الیاف روی مشخصات گسیختگی کامپوزیت ها را بررسی کنیم. ما می دانیم که مقاومت گسیختگی کامپوزیت الیافی به مشخصات الیاف از قبیل طول و قطر الیاف و مقاومت چسبندگی میان ماتریس و الیاف مربوط می باشد. بسیاری از پارامترهای دیگر از قبیل نسبت آب به سیمان (W/C)؛ نسبت سنگدانه به سیمان (a/c)؛ نسبت حباب هوایی مواد هوازا به سیمان (ac/a)؛ انواع و اندازه های سنگ دانه؛ شرایط عمل آوری و غیره، ... بر مشخصات ماتریس تأثیر می گذارند. در

این بررسی w/c ؛ a/c و ae/c پارامترهای غالب می باشند که بر مشخصات مکانیکی ماتریس ما کم می باشند. در این گزارش دو موضوع اصلی برای بررسی ترتیب داده شده است:

۱- تأثیر سنگدانه سبک و حباب هوایی مواد هوازا را روی مشخصات گسیختگی ماتریس پی می بریم.

۲- بهینه مصالح کامپوزیت های؛ که مقاومت گسیختگی بهبود یافته HPFRLWC را ارائه خواهیم داد؛ را توسعه می دهیم.

۱,۳ ضرورت و اهمیت:

در این بررسی؛ سه مفهوم اساسی بحث می شود.

(a) اهمیت بکارگیری الیاف در محصولاتی بر پایه سیمان

(b) اهمیت بکارگیری مصالح سبک در محصولاتی بر پایه سیمان

(c) عملکرد گسیختگی و دوام مصالح سیمانی تولید شده با الیاف و مصالح سبک

از دیدگاه مصالح؛ بتن سبک نزدیک به بیش از چهار دهه مطالعه شده است (Mehta, monterio ۱۹۹۳)

از دیدگاه مکانیزم گسیختگی؛ متأسفانه اهمیت مطالعه روی HPFRLWC موجود نمی باشد.

گرچه مکانیزم گسیختگی برای سازه های مهندسی راه و ساختمان نزدیک به سه دهه بکارگرفته شده است. (baeant and palanas ۱۹۹۸)

(در کامپوزیت سیمانی الیافی، مزیت اصلی؛ از جمله الیاف به صورت محصولاتی بر مبنای سیمان در حالت پس از ترک خوردگی اتفاق می افتد جای که پل بندی الیاف توزیع ترک ها تا افزایش در مقاومت؛ کرنش گسیختگی و چقرمی کامپوزیت می باشد. (hannant ۱۹۹۴).)

شکل های بسیار متفاوتی از الیاف برای بتن به تدریج توسعه یافته است. برای نمونه؛ الیاف پلاستیکی برای جایگزینی میله های فولادی بکار گرفته می شوند. اما طراحی اعضای سازه همان گونه می باشد. (آن برای مسلح شدن با میله های فولادی قرار دادی می باشد).

نمونه عادی دیگری از بکارگیری در بستن؛ الیاف کوتاهی که به طور تصادفی با ملات ها یا خمیر سیمان مخلوط شده است. این الیاف را به عنوان مصالح کامپوزیتی جدید فرض می کنیم زیرا الیاف یکی از مصالح مخلوط می باشد.

در ارتباط با طرح اختلاط؛ ACI (۱۹۹۶، ۸۹-۳۱۸) و FIP (راهنمای FIP برای بتن سنگ دانه سبک ۱۹۹۳) برای بتن معمولی و بتن سبک توصیه های را منتشر ساخته است اما توصیه HPFRLWC یا FLRWC را در بر نمی گیرد. آیین نامه روی طراحی گسیختگی یا عملکردهای گسیختگی یا عملکردهای گسیختگی مصالح بتن الیافی موهوم می باشد و اساساً در مورد HPFRLWC می باشد. گذشته از این به علت عدم توصیه ها؛ تحقیق جداگانه هم سنگ آن خیلی محدود است. اما با افزایش تقاضا برای کاربرد مصالح کامپوزیت با عملکرد بالا در سازه صنعتی نیازهای تفضیلی را روی مصالح بررسی نکرده ایم.

۱،۴ سازماندهی رساله :

این رساله به ۷ فصل سازمان داده شده است فصل اول انگیزه توسعه بتن الیافی شکل پذیر و سبک را مهیا می سازد. فصل دوم؛ با نوشته های عملکرد مکانیکی مصالح سیمانی مسلح شده را بازنگری می کنند. فصل سوم شامل بازبینی مدل های مکانیزم گسیختگی برای مصالح سیمانی می باشد. فصل چهارم؛ شرح تفضیلی تحلیلی به ما می دهد و به روش شنایی طرح اختلاط در این رساله را بکار می گیرد. فصل پنجم؛ شرح های از برنامه آزمایشگاهی؛ یافته های آزمایشگاهی و تأکیدات پیش بینی شده به طور تئوری از روی فصل چهارم را در بر می گیرد. فصل ششم؛ در برگیرنده توصیف های عملکرد

پتانسیلی بتن سبک الیافی نظیر پانل های دیواری می باشد. فصل هفتم؛ نتیجه گیری و پیشنهاداتی را برای مطالعات آینده می دهد.

۲ فصل دوم:

بازنگری نوشته ها:

۲,۱ مقدمه:

انگیزه ساختن مصالح مهندس نوین ابتداً تقاضای بالا برای تکنولوژی و نیازهای اقتصادی می باشد؛ گذشته از این؛ مصالح بهتر و خصوصیات مکانیکی تولید شده می باشد. انتخاب مصالح برای این اهداف و البته به دسترس پذیر بودن مصالح؛ فرآیند شکل دهی روی خصوصیات مصالح و هزینه می باشد (charles etal ۱۹۹۷). اساساً دو وضعیت بنیادی برای مصالح تولید شده وجود دارد:

(a) توسعه محصول موجود

(b) بهبودی محصول موجود

توسعه محصول نوین دقیقاً واسطه دارد با برآوری نیازهای مشتری (یا ضروریات). محصول نوین باید همچنین با عملکرد بالاتر یا گسیختگی های بیشتر یا هر دویی آنها را معیار سازد تا در بازار مقبول واقع گردد و مقدار پول باید بر حسب هزینه و کیفیت باشد.

بهبودی محصول موجود معمولاً ارجع می باشد. در عوض طراحی محصول جدید با ارتقاء محصول موجود؛ اقتصادی؛ صرفه جویی در زمان و معتبر می باشد.

بتن نظیر مصالحی می باشد که افزایش مصالح جدید یا / و تغییر اجزاء متشکله اش یا بهبودی خصوصیات اجزاء متشکله جداگانه خصوصیاتش را ارتقا می دهد. اساس اجزاء متشکله بتن سیمان؛ سنگدانه و آب می باشد. به تدریج می توان از انواع زیادی از سیمان و جایگزینی های سیمان؛ سازگاری

بیشتر؛ به اندازه و کیفیت سنگ دانه ها؛ مصالح پوزولان ؛ ترکیبات، الیاف؛ مواد شیمیایی بکار گرفته شده برای تولید بتن بهتر یا تولید بتن که نیازها را برآورده می سازد و استفاده کنیم. حالت بازنگری نوشته ها، طبقه بندی مصالح، طبقه بندی بتن؛ طرح اختلاط بتن الیافی (FRC) و مکانیزم FRC را در بر می گیرد.

۲,۲ بازنگری مصالح کامپوزیت پیشرفته

بسیاری از انواع سیمان توسعه داده می شود تا دوام خوبی از بتن تحت شرایط متنوع را فراهم کند. انواع اصلی سیمان های پرتلند در جدول ۲۰۱ لیست کرده ایم (Nevilhe, ۱۹۹۵). سنگ دانه ها را با سیمان بکار می گیریم تا محصول بتنی نه فقط ناشی از دلایلی اختصاصی بلکه افزایش تأثیرات روی مقاومت بتن را هم بوجود آورد.

بسیاری از انواع سنگدانه های معمولی به کار گرفته شده و خصوصیاتشان را در جدول ۲۰۲ آورده ایم (Neville ۱۹۹۵).

هر یک از انواع سیمان و سنگ دانه وابسته به خصوصیات مصالح شان می باشند که تأثیر قابل ملاحظه ای روی مقاومت و دوام بتن دارد. مادامی که ترکیبات مؤلفه های ضروری مخلوط بتن را نداریم؛ اهمیت دارد تا به طور فزاینده مؤلفه ها را بکار می گیریم. (ترکیبات شیمیایی که فوراً؛ قبل یا در طول مخلوط و تغییر کردن با معنا تازگی بتن؛ سن زودرس یا مشخصات سخت شدگی برای بتن اضافه می شود).

طبقه بندی ترکیبات توسط Astm ۴۹۴-۹۲ در جدول ۲,۳ داده شده است (Nevill, ۱۹۹۵). مصالح سیمانی از قبیل پوزولان ها (خاکستر آتشفشانی؛ سیمان های پوزولانی) و دوده سیسیلی نظیر جایگزین سیمان عادی یا نظیر تناسب با سیمان معمولی بکار گرفته می شود. سنگ دانه های سبک و حباب های هوازا را در مخلوط بتن برای اهداف دقیقی بکار می گیریم. تأثیر مشخصات بتن با معنا می باشد.

بتن ساخته شده از سنگدانه سبک و / یا مصالح هوا داده شده را بتن سبک می نامیم. طبقه بندی سنگدانه سبک در جدول ۲,۴ داده شده است.

(Neville , ۱۹۹۵). انواع اصلی حباب های هوایی مواد هوازا نمک ها یا اسیدهای چرب می باشند. که مشتق شده از گیاهان روغنی و چربی حیوانات؛ نمک های الکلی ریزین های چوبی؛ نمک های قلیایی سولفات شده؛ مخلوط های سازمان یافته سولفید شده می باشد (Neville , ۱۹۹۵).

حباب های هوایی مواد هوازا ممکن به صورت ترکیب طبقه بندی شوند. مواد هوازا سطح فعالی دارند؛ مواد هوازایی که ملکول زنجیره ای طولانی دارند موقعیت خودشان را تشخیص می دهند تا کشش سطحی آب و شکل های از حباب های هوایی در طول مخلوط را کاهش دهند. پودر زنیس ماده شیمیایی دیگری می باشد که حباب های گاز را در ملات تولید می کند.

اسفنج همچنین ماده هوازایی بکار گرفته شده در تشکیل بتن متخلخل می باشد. (Neville , ۱۹۹۵). الیاف طولانی را در بتن بکار گرفته ایم تا مقاومت بتن در کشش افزایش یابد. فلزات؛ اساساً فولاد را به شکل پیوسته به عنوان تسلیح کننده قرار دادی بکار می گیریم.

در چند دهه گذشته؛ از اشکال فلزی کوتاه، پلی مر، شیشه و الیاف آلی به عنوان تسلیح کننده پیشرفته استفاده می شود. انواع اصلی الیاف بکار گرفته شده در زیر بنا را در جدول ۲,۵ لیست کرده ایم (Bentur. And midness ۱۹۹۰)

۲,۲ بتن سبک:

ایده بکارگیری مصالح سبک در ساخت بتن به سبب دلایل اقتصادی مورد پسند واقع شده است. اگر تولید بتن سبک با شکل پذیری و مقاومت کافی حاصل شود؛ هزینه ساخت به طور معنی داری کاهش می یابد. بیشترین اهمیت مزیت بکارگیری بتن سبک کاهش بار مرده سازه می باشد. از

کاهش بار مرده گذشته؛ استحکام ساختمان؛ کاهش هزینه های انتقال و حمل و نقل و کاهش نیروی انسانی از جمله از عوامل مؤثر برای بکارگیری بتن سبک می باشند. گذشته از سبک شدن سازه؛ که حرارت از مشخصات دیگر بتن سبک می باشد. بنابراین کاهش انرژی یا مصرف سوخت در طول بهره برداری از ساختمان ها ضرورت دارد لذا تقاضا برای بتن سبک افزایش می یابد. به عنوان تعویض از بتن سبک؛ بتن با دانستید کمتر از 1850 k/m^3 را به عنوان بتن سبک لحاظ می کنیم (Neville, 1995) اصولاً بتن سبک را به دو نوع طبقه بندی می کنیم: بتن سنگدانه سبک و بتن اسفنجی (هوادار)؛ در بخش های ذیل شرح آنها را خواهیم آورد.

۲,۳,۱ بتن سنگ دانه سبک:

بکارگیری سنگ دانه متخلخل با سنگینی خاص کمتر از $6/2$ ؛ بتن سنگدانه سبک را حاصل می کند. اصولاً دو نوع سنگ دانه سبک وجود دارد؛ سنگ دانه های سبک ساخته شده و طبیعی. سنگ دانه های سبک طبیعی را می توانیم در دو نوع متفاوت تلفیق کنیم: به طور طبیعی رد طبیعت موجود می باشد و یا طی فرایندی از مصالح مازاد حاصل می شود. سنگ دانه های سبک طبیعی عبارت اند از : دیاتمیت، پامیس، اسکوریا، گدازه های آتشفشانی و توف می باشند. سنگ دانه های سبک طبیعی حاصل شده طی فرایند عبارت اند از : کلینکر کوره ای، خاکستر ته کوزه و ذرات چوب می باشند.

سنگ دانه های سبک تولیدی، از روی رس و سیسیت و خاکستر پود شده سوخت ساخته می شوند. مصالح را در معرض انبساط یا انبساطی قرار می دهند. فرایند انبساطی؛ مصالح را تا 1100°C به بالا گرم می کنیم و ذرات ذوب شده ای که ساخته شده از سنگ دانه پرداخته شده می باشد با مخلوط کردن به یکدیگر می چسبانیم. فرایند انبساط؛ مصالح مناسب را دوباره گرم

می کنیم تا قادر به منبسط شدن در درجه حرارتی بالا باشید تا سنگ دانه سبک را حاصل کنیم (۱۹۸۳؛ راهنما FIP).

مشخصات اساسی از قبیل میزان جذب آب، دانستید و ریز ساختار سنگدانه سبک اهمیت پر معنی در بالا بردن مقاومت یا بالا بردن عملکرد بتن سبک (zhang and Gjorv ۱۹۹۱b) دارد. دانستید متنوع سنگ دانه های سبک $0.038/cm^3$ یا به زیادی $0.99cm^3$ برسند (zhang and Gjorv ۱۹۹۱b).

swamy lamber (۱۹۸۱) گزارش کردند که چسبندگی عالی میان سنگ دانه سبک و خمیر سیمان موجود می باشد و تقریباً 70% ۲۴ ساعت جذب آب در جی ثانیه تحت مخلوط اتفاق می افتد.

Muller-Rochholz, ۱۹۹۷ گزارش کرده اند که جذب آب سنگدانه سبک نه فقط به مشخصات سنگ دانه و البته می باشد بلکه به نسبت آب به سیمان بتن نیز وابسته می باشد. ۲,۳,۲ بتن اسفنجی (هوادار):

با تشکیل حفره های در خمیر سیمان بتن اسفنجی (متخلخل) حاصل می شود که این حفره ها توسط گاز منتج شده از واکنشی های شیمیایی (بتن گازی) یا مصالحی از نوع اسفنجی تعریف شده یا حباب های هوایی مواد هوازا (بتن اسفنجی) می توانند حفره های را در مخلوط خلق کنند. در بتن گازی؛ یا پودر زینس معمولاً مصالح بکار گرفته شده برای حباب های گازی در ملات می باشد. واکنش پودر فعال با هیدروکسید کلسیم یا مواد؛ اقلیایی حباب های هیدروژنی را آزاد می کنند که این حباب ها مشخصات سبکی را به بتن می دهند.

پیشنهاد می دهیم که مشخصات پودر فعال با کیفیت کافی حدود 2% از سیمان باشد.

(Neville, ۱۹۹۵; FIP ۱۹۸۳, Shortand kinniburgh ۱۹۹۳, Neville and Brooks,)

بالا بردن عملکرد (قبلاً مهیا شده) اسفنجی پایدار برای ملات یا تولید کردن مواد حباب زا ساده یا با شلاق زدن ملات بتن اسفنجی را تولید می کنیم. معمولاً پروتئین هیدرولیز یا صابون زرینی به عنوان ماده ی اسفنجی استفاده می شوند. ماده تولید می کنیم و حباب های هوا در طول مخلوط در سرعت بالا آن را پایدار می کند. این فرایند را فرایند شلاقی می نامیم. با افزایش عملکرد دوام اسفنج (از قبیل اسفنج فروشان آتش) در مخلوط همچنین بتن اسفنجی را می توان تولید کرد. در هر دو مورد بتن اسفنجی و گازی سطح حفره ها باید قادر باشند تا در مقابل مخلوط شدن و تراکم تاب بیاورند.

(Neville, ۱۹۹۵; FIP ۱۹۸۳, Shortand kinniburgh ۱۹۶۳, Neville)

۲,۴ بتن الیافی:

به خاطر آنکه بتن مصالحی ترد دارد؛ ب بکارگیری الیافی قوی ملات ماتریس ترد نسبتاً ضعیف (در کشش) شکل پذیری ماتریس را افزایش می دهیم به این روش یکی از روش های مؤثر می باشد. وقتی که بتن سبک در معرض بارهای خمشی افزایشی می باشد؛ ترک خوردگی در ناحیه کشش ناشی از تغییر شکل های گفته شده بتن معمول استمرار داشته باشد. ترک اصلی که در اثر گسیختگی تیر نتیجه می شود با نمود ریز ترک های آهسته کند می شود و گسیختگی محلی تدریجی در بتن الیافی تا زمانی است که الیاف پاره شوند یا / و الیاف نچسبند سپس، خارج شوند. در شکل ۲,۱ تأثیر الیاف ردی سبط ترک را نشان داده ایم. مشاهده می کنیم که ماتریس در برگیرنده الیاف چندین ترک را تحت بار خمش نشان می دهد.

الیاف می توانند فلزی؛ پلی مری یا طبیعی باشند الیاف فلزی دارای مقاومت و مدول بالایی می باشند. عملکردشان شکل پذیر می باشد. الیاف پلی مری قوی و شکل پذیرند اما مدول شان

نسبتاً پایین تر از کامپوزیت سیمان می باشد. الیاف طبیعی نسبتاً قوی می باشند اما مشخصات چسبندگی شان به خوبی الیاف فلزی نمی باشد.

این الیاف ها در کامپوزیت اساساً سه کارکرد دارند.

(۱) افزایش چتری ترکیب با مهیا نمودن مکانیزم جذب انرژی در خصوص فرایند خارج شدگی و عدم چسبندگی رشته پل زده شده ترک ها.

(۲) افزایش شکل پذیری ترکیب با ایجاد چند ترک

(۳) افزایش ممکن مقاومت ترکیب با تنش های انتقالی و ترک های عرضی بارها

برای کامپوزیت های سیمانی الیافی منحنی بار- تغییر شکل، ایده ای درباره اثر الیاف ردی چقرمی کامپوزیت و ترک اش پتانسیل کنترل را دارد. منطقه ای تحت منحنی بار- تغییر شکل ظرفیت جذب انرژی را نشان می دهد، همچنین ما می دانیم که مانند مجموع انرژی گنیمگی یا چقرمی مصالح می باشد. مکانیزم چقرمی همچنین شکل پذیری را مهیا می سازد؛ قابلیت تغییر شکل های بزرگ ترکیب را نشان می دهد.

در مطالعات اخیر؛ بسیاری از طرح های ماتریسی برای کامپوزیت های سیمانی مهندس شده (Ecc) و کامپوزیت های سیمانی با عملکرد بالا (Hpsc) توسعه داده شده است (Kubo et al, ۱۹۹۱, liteal, ۱۹۹۵). Kubo et al (۱۹۹۱) گزارش کردند که با رابطه ای خطی می توان مقاومت کامپوزیت و چقرمی را با افزایش کسر حجمی الیاف بهبود بخشید. (۱۹۹۵) Li گزارش کرد که چقرمی ماتریس کاهش می یابد، شکل پذیری ماتریس افزایش می یابد.

مقالات اشاره دارند بر اینکه با ۰.۲٪ یا کمتر از کسر حجمی رشته پلی اتیلین؛ چقرمی ماتریس باید کمتر از $0.01kj\sqrt{m}$ باشد تا برای سخت شدگی مصنوعی اطمینان حاصل کنیم. اگر کسر حجمی رشته ای افزایش می یابد، علاوه بر این؛ مقاومت اولین ترک نیز افزایش می یابد وقتی که کسر حجمی رشته ای سخت نمی شود. سخت شدگی کرنش مصنوعی تضمین می شود؛ مقاومت اولین ترک مانند مقاومت

کشش نهایی کامپوزیت می شود. برای کامپوزیت های سخت شدگی کرنشی مقاومت نهایی بالاتر از مقاومت اولین ترکی است که با کسر حجمی رشته ای کنترل شده است : (li ۱۹۹۵)

$$\sigma_{cu} = 0.5g\pi v_f (l_f / d_f) \quad ۲,۱$$

بتن سبک الیافی:

اساساً الیاف را بکار می گیرند تا مشخصات بتن سبک را بهبود ببخشید. به سبب خصوصیات ضعیف مواد سبک ساز یا مصالح (سنگدانه سبک یا حباب های مواد هوازا)؛ بتن سبک آسیب پذیرتر- (برای بارهای مکانیکی و محیطی) از بتن معمولی می باشد. از این گذشته برای بهبودی مشخصات مصالح اجزای جداگانه ای از بتن را مخلوط می کند؛ بهبودی مشخصات بتن با اضافه کردن الیاف برای مخلوط امکان پذیر می شود. فرض می کنیم که الیاف در بتن سبک با اصول یکسانی کار می کنند. نظیر آنچه در بتن ساده انجام می شود.

Balaguru , Rjmakirishna (۱۹۸۷) بتن سبک وزنی با محتوی هوا و بکارگیری الیاف فولادی کوتاه و ماسه به جای سنگدانه را بررسی کردند. آنها FRC با وزن مخصوص و رنجی ۱,۷۵ تا $1.99c^3$ ($117lb / jd^3$ تا 110) حاصل کردند. نتایج اولیه شان چقرمی بتن سبک الیافی را در حدودی نظیر چقرمی بتن الیافی معمولی نشان می داد. بتن الیافی معمولی در مقایسه با بتن الیافی سبک مقاومت ضمشی کمتری دارد.

FRC, Balagurv, Dipsia ۱۹۹۳ نیمه سبک با مقاومت بالا با دانسته $2.14 \frac{g}{c^3}$ ($135lx / yd^3$) را همچنین بررسی کردند که از سنگ دانه های سبک (منبسط شده شیبست) و سه طول متفاوت $۶۰, ۵۰, ۳۰$ mm (۱,۲,۲,۲,۴in) از الیاف فولادی در آن استفاده کرده بودند. آنها دریافتند که الیاف شکل پذیری را اساساً در فشار، کشش شکافی، خمش و مدل های بار برشی را بهبود می دهند.

الیاف مقاومت کششی شکافی را تا ۱۶۰٪ بالا می‌برند؛ مقاومت خمشی را تا ۹۰٪ بالا می‌برند و مدول الاستیته را تا ۸۰٪ بالا می‌برند؛ در مقایسه با بتن معمولی با وزن نرمال؛ مهیا می‌سازیم.

Balaguru, foden (۱۹۹۶) هر دو بتن سنگدانه سبک (شیست منبسط شده) و بتن با مواد هوازا (بخار خنثی شده و زین وین مول) با الیاف فولادی کوتاه با طول های $50,60 \text{ mm}$ (۲,۲,۴in) و محتویات سه الیافی در رنجی از $45,60,90 \text{ k/m}^3$ ، $(75,100,150 \text{ lb/y}^3)$ را بررسی کرده اند. حدود 42 mpa (۶ksi) می باشد؛ مدول الاستیته تقریباً ۳۰٪ از بتن معمولی می باشد؛ مقاومت کششی شکافی و مدول گسیختگی تقریباً ۱۰۰٪ بیشتر از بتن معمولی می باشد؛ اندیس های چقرمی محاسبه شده طبق ASTM C1018 بیشتر از بتن معمولی بودند.

کاربرد بتن سبک الیافی:

کاربرد بتن الیافی وابسته به اهداف بکارگیری مصالح در مزایای شان از جمله مقاومت؛ مشخصات جذب انرژی با سبکی؛ دوام و غیره، ... می باشد. کاربردهای کنونی بتن الیافی در برگیرند اعضاء سازه؛ سکوها، روسازی؛ دیوارهای پانلی؛ پوشش ها و تعمیر می باشند. اما فولاد و پنبه نسوز مناسب و راحت تر از انواع الیافی اند که برای اعضاء سازه استفاده می شود.

پنبه نسوز به سبب محتوی پر خطر محبوبیتی ندارد. فولاد نیز به سبب آسیب پذیر بودن و در زنگ زدگی جذابیت اش را از دست داده است. امروزه الیاف شیشه ای و پلی مری بیش از بیش الیاف ارجع می باشند.

در کاربردهای بتن الیافی فولادی؛ آزمایش های از دال های باند پرواز فرودگاه با ۲٪ الیاف دردامد حجم در بخش آزمایشگاهی Miss, Vicksburg, v.s Army Nater Ways داشته ایم .

نتایج موفقیت آمیزی در مقایسه با بتن معمولی (ACI ۵۴۴, I-R۸۲,۱۹۸۲) بدست آورده ایم. ضخامت دال بتن الیافی حدود نصف ضخامت دال بتن معمولی برای بار چرخ یکسان (ACI ۵۴۴, I-) R۸۲,۱۹۸۲ می باشد.

دو کاربرد بزرگ کف سازی که از بتن فولادی بکارگرفته است در فرودگاه بین المللی Nevada, las vegas, Mccarrn می باشد. سنگ فرش آسفالتی موجود در محوطه پارکینگ هواپیما دارای ضخامت ۶ اینچی از بتن الیاف فولادی در مقایسه با ضخامت ۱۵ اینچی بتن الیافی متداول پوشانیده شده است که به (ACI ۵۴۴, I-R۸۲,۱۹۸۲) احتیاج پیدا خواهد کرد.

در Sweden؛ دو منطقه بزرگی از شیب ضمره با بتن پاش الیافی فولادی مستحکم شده است. در کاربردی متشابه در راه آهن قطع شده در طول رودخانه Snake؛ ایالت واشنگتن بتن الیافی همچنین برای تعمیرات ستون های بتونی، تیرها، روسازی و سازه های هیدرولیکی استفاده می شوند. در Ader Dams , Maj field؛ بتن الیاف فولادی را برای متوقف کردن پیشرفت فرسایش سنگ بستر استخر شناور (ACI ۵۴۴, I-R۸۲,۱۹۸۲) استفاده کرده ایم. در سد lower Monumental و Little Goose؛ سازه های انحرافی ساخته شده با بتن الیافی در حدود ۱۵ تا ۱۸ اینچ برای مقاوم بودن در برابر تخریب فرسایش سرانه می باشد. (ACI ۵۴۴, I-R۸۲,۱۹۸۲).

British Rail Authority از بتن پاش الیافی فولادی استفاده کرد تا قوس های آجری که تحت پل های خط راه آهن در بیرمنگام، انگلیس تعمیر نماید (ACI ۵۴۴, I-R۸۲,۱۹۸۲).

کاربردهای گذشته بتن الیافی پنبه نسوز عبارت اند از: لوله های پرس شده، کشتی ها، اعضاء سازه و دیوارهای پانلی می باشند. لوله های پرس شده پنبه نسوز- سیمانی برای سال های بسیار زیادی به عنوان انتقال دهنده آب، فاضلاب، گاز، نفت، آب دریا و سیال های صنعتی کاربرد داشته اند. دامنه تغییرات قطر (لوله های پرس شده) از ۵۰ تا ۹۰mm و پرس های مجاز از $0.75mn/m^2$ تا $1.25mn/m^2$ می باشد. زمینه اصلی کاربردهای بتن الیافی شیشه ای (GFRC) پانل های متصل شده

به قاب ستون فولادی است نظیر آن چه در بام، گنبد، دیوارها می باشد. کاربردهای دیگر GFRC در لوله ها، خطوط فاضلاب و مخازن می باشد، کاربرد الیاف پلی تری رد بتن نسبتاً جدید می باشد و در مرحله بررسی می باشد. آنها جایگزینی های مستقیمی برای پنبه نسوز می باشند (Hannant ۱۹۹۴).

کاربردهای بتن سبک نظیر اعضای سازه ای؛ پوندهای دیوارهای پانلی؛ دال ها؛ با سازی و مصالح صنعتی در ساختمان ها و پل ها کاربرد متداول می باشند. خصوصیات بقای انرژی حرارتی و وزن کم هر دو کاربرد بتن سبک را افزایش می دهند. شرکت kajima ژاپن الیافی کربنی (CFRC) را ساخت های ساختمانی استفاده کرده است. به عنوان؛ دیوارهای پرده ای (دیوارهای پانلی)؛ بتن سبک الیاف کربنی (CFRLwc) در ساختمان های زیادی در ژاپن استفاده شده است. نمونه ی از کاربرد science Expo ؛ sumitamo pavilion intsucubas؛ CFRLwc در توکیو، ژاپن می باشد. بنای یاد Mounment که در شکل ۲،۲ نشان داده شده؛ در بیابانی در عراق ساخته شده است که از مصالح ریز با دوامی در شرایط بیابانی (kajima corporation technical data no ۸۸-۰۲) پیشنهاد کرده است.

مکانیزم بتن های الیافی:

اگرچه بتن مصالحی نزد دارد که ناشی از ناممکن بودن اش می باشد. مقاومت گسیختگی بتن خیلی بسیار متفاوت تر از مصالح نزد همگنی نظیر شیشه می باشد. فصل مشترک میان اجزای مجزای بتن یا بتن FRC و عملکرد گسیختگی در حین خشک شدن؛ نیروهای داخلی و پسماند شکل شکستن با مهارت به کار می گیرد. در بتن؛ ترک های ریز ممکن در نتیجه آب رفتگی در حین خشک شدن نیروهای داخلی و پسماند شکل بگیرند. تحت تنش، ترک های ریز به ترک های کلان نمو می یابند و سرانجام منجر به گسیختگی مصالح می شوند. در سنگ دانه ای بتن معمولی عموماً مقاومت بالاتر از ملات سیمان یا فصل مشترک چسبنده می باشد. ترک های ریز توسط پیچ در پیچ شدن اطراف

سنگدانه ناشی از خارج شدن سنگدانه انتشار می یابد. بنابراین؛ مقاومت چقرمی بتن بیشتر از خمیر سیمان به سبب خارج شدن سنگدانه می باشد.

متشابه با فصل مشترک سیمان ماتریس- سنگدانه در بتن الیافی رشته کوتاه (FRC)، تأثیر پل زده ده توسط الیاف حاکم طی شود. بته عبارت دیگر؛ گسیختگی کامپوزیت توسط الیاف خارج شده و الیاف پل زده شده کنترل می شود، به علاوه؛ الیاف شکسته شده و خارج شده نظیر چقرمی گسیختگی بتن کنترل می شوند. (li and liang ۱۹۸۵)

Naaman and shah (۱۹۷۵) روی مکانیزم خارج شدن FRC با تمرکز شدن روی زاویه میل الیاف برای حجمات مختلف بارگذاری؛ تعداد الیافی که به طور همزمان از سطح یکسانی خارج می شوند و تشخیص تصادفی کارایی کرده اند.

آنها سرمدی آزمایش خارج شدن با الیافی به قطر $40,25,4,15 \mu m$; (in) $(0,16,0,1,0,06)$ را انجام دادند. در دسته اول، بهر قطر هر یک از الیاف زوایای ذیل؛ $i, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$ برای جهت یابی بار اعمال می شوند. در دسته دوم آزمایشات تأثیر تعداد الیاف ای که به طور همزمان از مسافت $1in^2$ به عنوان قطر الیاف در نظر گرفتند. در دسته سوم آزمایشات بستگی به آزمایش خمشی ای که از ضمات سیمان الیافی با ابعاد $12,7mm * 76 * 30,5$ (in) $(12 * 3 * 0,5)$ بکار گرفته است دارد. دو سری نمونه بوجود می آید؛ یکی الیافی که به طور تصادفی در دو جهت تطبیق داده شده و یکی الیافی که موازی صحبت قنش کششی تنظیم شده است.

از دو قطر الیاف $25,4,40 \mu m$ (in) $(0,16; 0,1)$ و سه کسر حجمی متفاوت الیاف: ۵،۱،۲٪ استفاده می شود.

نتایج مطالعه عبارتند از:

(۱) اوج بار خراج شده برای الیاف کج شده نسبت به صحت بارگذاری به بزرگی الیافی است که موازی صحت می باشند. از این رو اندازه گیری کارایی چسبندگی اوج بار خارج شده را لحاظ

می کند؛ نتایج نشان می دهد که؛ کارایی چسبندگی الیاف کج شده اساساً یکسان یا بهتر از الیاف موازی می باشد.

۲) اوج خارج شدن برای الیاف کج شده با قطر الیاف افزایش می دهیم.

۳) کار و زحمت مورد نیاز برای خارج کردن کامل الیاف کج شده بیشتر از الیاف موازی می باشد.

۴) افزایش تعداد الیاف در واحد سطح بر اوج بار خارج شده موثر نمی باشد؛ در مقایسه ای؛ برای الیاف کج شده در اوج بار خارج شده؛ بار نهایی و مجموع کار خارج شده را با افزایش تعداد الیاف در واحد سطح کاهش می دهیم.

(۱۹۸۴) LI پیشنهاد داد که اگر مقاومت گسیختگی مصالح از ویژگی مصالح از ویژگی باشد. نباید و البته به روش آزمایش، هندسه نمونه و اندازه یا رو پیکربندی بارگذاری باشد. در این مطالعه همچنین اشاره کرده ایم که؛ LI از آزمایش GF استفاده کرده که آزمایشی استاندارد برای اندازه گیری مقاومت گسیختگی بتن می باشد که توسط کمیته RILEM (توصیه های RILEM ؛ ۱۹۸۲) پیشنهاد شده است. در روش آزمایش GF (میزان انرژی گسیختگی آزاد شده) اندازه گیری شده به عنوان سطحی که تحت منحنی تغییر شکل - بار توسط سطح هم گسیختگی تقسیم می کنیم مطابق با نتایج آزمایشی که LI بکار گرفت LI دریافت که GF پارامتر وابسته به - اندازه نمونه را نمایان می کند و همچنین مطابق با تحلیل اش روی نتیجه مطالعات موجود با LI پیشنهاد کرد که اندازه کوچکتر نمونه ها کمترین وابستگی اندازه را دارند.

li, Ling (۱۹۸۵) را در بتن و کامپوزیت های سیمانی الیافی بررسی کردند. توسعه زون فرآیند ترک نسبت به عملکرد مشخصه رابطه تنش - جدا شدگی؛ پیکر بندی بارگذاری و هندسه سازه مطالعه شده است. تنش کفش یکنواخت در مرکز ترک خوردگی پانل بارگذاری می کند. و نمو ترک به طور پیوسته کنترل می شود. در نتیجه آزمایش؛ منحنی تنش - جدا شدگی فراهم می شود. منحنی تنش - جدا شدگی ائتلاف انرژی همراه با سنگدانه و فرآیند خارج شدن الیاف را منعکس می کند. سطح تخت

منحنی تنش - جدا شدگی اندازه چتری گسیختگی مصالح را مهیا می سازد. تحلیل اهمیت شکل منحنی تنش - جدا شدگی را در کنترل سراسر عملکرد سازه اثبات می کند و پیشنهاد می کند که با بکار گیری منحنی تنش - جدا شدگی مزایای طراحی ریز ساختار مصالح را امکان پذیر نمایم تا خاصیت مکانیکی میکروسکوپی مطلوبی کامل شود.

Lietal (۱۹۹۰) تأثیر انحراف زاویه، دسته دسته کردن و بهسازی سطح را برای الیاف مصنوعی خارج شده از FRC بررسی کرده اند. مطابق با این مطالعه؛ قبل از ترک خوردگی مخلوط؛ کرنش محوری الیاف کج شده در زاویه شان اتفاق می افتد تا صحت اعمال شده بار کمتر از کرنش محوری کامپوزیت در جهت بارگذاری باشد. بنابراین سهم الیاف کج شده برای تنش کامپوزیت کمتر از الیاف بلند ردیف شده در صحت بار نیازمند به انرژی می باشد تا الیاف را خارج نمایند.

و آزمایش های روی توزیع تصادفی نمونه های از کامپوزیت سیمانی الیاف کوتاه انجام می شود که اشاره دارد بر الیافی که در جهت بار کج شده اند و می تواند مقاومت الیاف را برای، باز شدگی ترک در طول گسیختگی FRC افزایش دهد.

Shah (۱۹۹۰) چه این مقاومت گسیختگی الیاف تغییر یافته و ظرفیت سیمان را بر اساس ماتریس کامپوزیت بررسی کرده است shah سه روش آزمایش ابداعی را بکار گرفته است تا مکانیزم چقرمی بتن را تعیین نماید:

- تحلیل تصویری کیفیت
- تداخل سنجی هولوگرافی لیزری
- انشار صوت

نمونه ها شامل ۱۲ و ۸/۷٪ الیاف پلی پروپیلن در واحد حجم می باشند و بررسی مکانیزم چقرمی ترک تکی رشد یافته با بکارگیری کشش غیر محوری روی نمونه ای که شکاف - تکی دارد انجام می شود. نتایج آزمایش نشان می دهد که مقاومت کشش کامپوزیت با افزایش حجم الیاف برای کرنش های

یکسان افزایش می یابد و ترک خوردگی چندگانه ای برای هر دو کسر حجمی رشته ای ۱۲ و ۸/۷٪ مشاهده می شود. در مصالح ترد عملکرد منحنی - R نشان داده شده است. مشاهده می کنیم که مقاومت گسیختگی FRC بیشتر از بتن معمولی می باشد و نتایج آزمایش بسیاری از پیش بینی های بکار گرفته شده مکانیزم گسیختگی لاستیک خطی (LEFM) منحنی می شود تا مصالح ترد حاصل کند.

Glaving and aarre (۱۹۹۰)؛ چقرمی گسیختگی با مقاومت بالایی FRC تحت فشار را بررسی کرده اند. تحقیقات مجموعه ای از بتن مقاومت نرمال با مقاومت فشاری ۴۵mpa و بتن مقاومت بالا با مقاومت فشاری ۹۰ mpa را بکار می گیرند. از الیاف فولادی و پلی پروپیلن در کیفیت های ۰/۵ و ۱٪ در واحد حجم به ترتیب استفاده شده است. آنها دریافتند که کسر حجمی رشته ای ۱ و ۰/۵٪ بر مقاومت فشاری بتن مقاومت بالا موثر نمی باشد.

kubo et al (۱۹۹۰) به این نتیجه رسیدند که تأثیرات پارامترهای متنوع را روی چقرمی و مقاومت مصالح بتن الیافی تحقیق کنند. پارامترهای لحاظ شده عبارت اند از: محتوی الیاف، تفاوت در توزیع تنش یا تمرکز ناشی از ابعاد نمونه؛ و تفاوت در حالت تنش می باشد. آنها از دو نوع الیاف (شیشه ای و PVA) با ۰، ۰/۵، ۱، ۱/۵٪ الیاف شیشه ای در واحد حجم و ۰، ۰/۶، ۱/۵٪ الیاف PVA در واحد وزن و دو نوع متفاوت از اعضای سازه (ضمه و تیر) را بکارگرفته اند. روش های آزمایش دو روش ارزیابی بکارگیری مدول چقرمی (MOT) می باشد. آنها دریافتند که اضافه کردن الیاف، افزایش در مقاومت ناشی شده از افزایش در محتوی الیاف که تمایل به خطی شدن دارند؛ بالا بردن FES و متمایل شدن MOT به سهمی شدن، مقاومت و چقرمی را بهبود می بخشد.

nunni (۱۹۹۱) یافته های از عکس العمل بار - تغییر شکل FRC که در معرض خمش استاندارد (ASTMC - ۱۰۱۸) و آزمایشات کشش - شکافی (ASTMC- ۴۹۶) می باشد را گزارش کرده اند. موضوع آزمایش چگونگی تعیین کردن همبستگی بیان چقرمی خمشی و چقرمی کششی - شکافی بود.

برای این هدف Nanni ۱۴ نوع فولاد و سه نوع رشته مصنوعی را در دو حجم متفاوت رشته ای بکار گرفتند. یافته های شان بر اساس افزودن الیافی بود که با شکل پذیری مصنوعی توسط مکانیزمی که از ترک خوردگی ممانعت می کرد تهیه شده بود.

و دو رویه آزمایشی در خصوص مقاومت اولین ترک نشان می دهد که کشش شکافی همواره کمتر از کشش خمشی می باشد. نسبت مقاومت خمشی نهایی به مقاومت خمشی ترک اولیه $I_5:1/25$ ، I_{10} ، I_{20} اند بس های چقرمی $4/98$ ، $10/62$ و $32/92$ به ترتیب نیز؛ مشابه با $33/8$ ، $12/2$ ، $5/4$ ، $1/32$ برای استوانه مانند ای که تحت کشش شکافی می باشد. به نظر می رسد که شباهت میان چقرمی خمشی و چقرمی کششی - شکافی وجود دارد.

Gopalaratman (۱۹۹۱) و همکارانش به این نتیجه رسیدند که به مطالعه روی چقرمی گسیختگی FCR که از آزمایشات استاندارد موجود برای اندازه گیری چقرمی گسیختگی مصالح استفاده کرده اند از قبیل (استانداردهای ASTM) $1018-ASTMC$ ، (انستیتو بتن ژاپن) JCI (انجمن مهندسين راه و ساختمان ژاپن) JSCE پرداختند.

تحقیقات تأثیرات اندازه نمونه، نوع و محتوی حجم رشته ای؛ تأثیر محدود گسیختگی محلی (بکارگیری نمونه شکافته شده) روی چقرمی و کل عملکرد خمشی FRC بررسی می کند. در این بررسی دو اندازه متفاوت از تیرها؛ دو نوع فولاد؛ دو نوع الیاف پلی پروپیلن و دو کشش حجمی بکار گرفته شده است. در می یابیم که تغییر شکل ترک اولیه می تواند خیلی وابسته به روش بکار گرفته شده باشد. اندیس های چقرمی ویژه تأثیر متضادی روی خطاهایی که در اندازه گیری تغییر شکل ها می باشد می گذارند. ایندکس های سختی اندازه گیری شده $1018-ASTMC$ ، عدم حساسیت در نوع رشته، کسر حجمی و اندازه نمونه را مشاهده می کند و تنش در ترک اولیه نسبتاً متصل از کسر حجمی رشته ای مشاهده می شود اگرچه مقاومت نهایی توسط کسر حجمی رشته ای به طور معناداری مؤثر می باشد و انرژی جذب در واحد سطح مقطع خالص مساحت با محتوی حجمی رشته ای افزایش می یابد.

ZHOU (۱۹۹۲) و همکارانش انرژی گسیختگی بتن اسفنجی اتو کلاوه (AAC) را بررسی کرده اند در این بررسی بتن اسفنجی اتو کلاوه را با دانسیته 582 k/m^3 و با نمونه $100\text{ mm} \times 200\text{ mm} \times 200\text{ mm}$ و با یک شکاف با استفاده از آزمایش شکاف توصیه شده با RILEM آزمایش کرده ایم. نتایج مطالعه نشان می دهد که میان meso سازه مصالح بتنی شروع و رشد نامید فرآیند ترک ریز را کنترل می کنند. انرژی گسیختگی G_f ؛ قویاً وابسته به فرآیندهای زون و ابعاد fractal می باشد.

(fractal): تئوری fractal توسط Manderbbrot در سال ۱۹۷۰ پیشنهاد شده است؛ که برای شرح پدیده های تصادفی و نا منظم در طبیعت از قبیل توزیع خلل و فرج و ترک ها در بتن استفاده می شود.)

Slowik;wittmann(۱۹۹۲) روی انرژی گسیختگی و نرم شدگی کرنش ACC کار کرده اند. تحقیق توصیه rilem را برای آزمایش مقاومت گسیختگی بکار گرفته است. برای این هدف آنها نمونه ای با ابعاد $100\text{ mm} \times 200\text{ mm} \times 200\text{ mm}$ و یک شکاف را بکار بردند. آنها چهار نمونه AAC با دانسته متفاوت داشتند. به طور آزمایشگاهی تأیید می کنیم که دانسیته نوع تحقیق شده ACC بیشتر می باشد؛ بیشتر از انرژی گسیخته است.

دانسته بر مقادیر نرم شدگی کرنش کمتر از مقادیر تنشی تأثیر می گذارد. انرژی گسیختگی و مقاومت کشش هر دو با افزایش میزان قسمت باز ترک بیشتر می شوند.

۲,۸ تحلیل گسیختگی:

Kaplan(۱۹۶۱) اولین بار LEFM باری گسیختگی بتن و ملات بکار برده است. او تیرهای پیش شکافته شده را با هر دو تنوع در اندازه تیر و طول شکاف اولیه آزمایش کرد. او مشاهده کرد که برای اندازه یکسان میزان آزاد شدگی انرژی بحرانی یکسان باقی می ماند وقتی که با طول های شکافی متفاوت آزمایش می کنیم.

توضیح این مشاهدات به شرح ذیل می باشد:

در ابتدا، رشد ترک آهسته و پایدار اتفاق می افتد، این مرحله رشدی بی خطر از ترک های ریز تحت بارگذاری متوسط را دارد. در مرحله بعدی؛ با افزایش بار، رشد ترک سرعت می یابد و رشد سریع ترک ناپایدار می شود. رشد ترک آهسته در مصالح کاملاً همگن مشاهده نمی شود.

در مطالعات بعدی برای نمونه Hi llerborg et al (۱۹۷۶)؛ ناحیه فزاینده گسیختگی را نظیر توسعه و ترک واقعی که در معرض فشار بتن وابسته به تغییر مکان باز شد ترک را مدل کردند.

Catalano; ingrattea (Ballarini et al ۱۹۸۴)؛ روش اجزای محدود را در طول همه مساحت توسعه دادند. ترک سه عنوان فشار بسته ای که مقاوم در برابر باز شو ترک می بشد مدل شد. Wecharatana and shah (Ballarini et al ۱۹۸۴) مدلی را پیشنهاد کردند که فزاینده زون و زون پشتر را در بر گرفته بود. ترک قابل رویت در ترک خوردگی ریز و تغییر شکل های غیر لاستیکی دیگر اتفاق می افتد. Ballarini , shah, keer , later (Ballarini et al ۱۹۸۴)؛ مدل پیشنهاد شده توسط (Ballarini ۱۹۸۱) wechararana and shajh را با زیاد کردن بخش تعیین شده تغییر مکان های باز شو ترک و ضریب شدت تنش برای مطالعه بهبود می یابد. مدل را بکار می گیریم تا رشد ترک در بتن الیافی به خوبی بتن پیش بینی شود. مدل پیشنهادی نتایج آزمایشی آزمایشگاه را برای تیر دابل به خوبی ارائه می دهد. اما تفاوت نا چیزی میان پیش بینی های مدل و نتایج آزمایشی آزمایشگاهی برای تیر شکافته شده وجود دارد.

Sih (Ballarini et at ۱۹۸۴)؛ مدل پیش بینی کننده پاسخ غیر خطی تیرهای بتنی با اعمال ضابطه دانسته انرژی کرنش توسعه دادند او منحنی هایی متفاوت (منحنی های R) را در شکلی از دانسته انرژی کرنش نظیر تابع طول ترک برای خصوصیات مصالح متنوع و هندسه های تیر بدست آورد

در مورد بتن الیافی، مطالعاتی روی پدیده های ترک خوردگی چندگانه متمرکز شدند Aveston et al (wu,li ۱۹۹۵) شرایط ترک خوردگی چند گانه را در کامپوزیت های تردد الیافی پیوسته مطالعه

کردند در مدل فرض شده است که ترک ها به طور یکنواخت توزیع شود و تنش ترک خوردگی ماتریس یکسان می باشد. فرض تنش یکنواخت در طول ترک خوردگی چندگانه با نتایج آزمایشگاهی کامپوزیت های ملات ترد الیافی که توزیع تصادفی پیوسته و ناپیوسته دارند متضاد می باشد در حقیقت تحت بار کششی افزایشی کامپوزیت های ملات ترد الیافی که به طور تصادفی توزیع شده اند افزایش مقاومت را بعد از اولین مقاومت ترک خوردگی در طول چند ترک خوردگی (wu and li ۱۹۹۵) ارائه شده اند است.

۲,۹ خلاصه:

تأثیر تحلیل گسیختگی روی مصالح سیمانی انگیزه این مطالعه می باشند. ما دریافتیم که ارزیابی گسیختگی کامپوزیت به منظور مشخص نمودن گسیختگی کامپوزیت سودمند می باشد و طراحی کامپوزیتی که مشخصات بهتری دارد ارائه شده است. این مطالعه در طراحی کردن بتن سبک با عملکرد بالا منحصر به فرد می باشد که شکل پذیری، مقاومت بالا و چقرمی گسیختگی بهبود یافته را ارائه خواهد کرد.

۳ فصل سوم:

ریز مکانیک بر اساس مدل های گسیختگی:

۳,۱ مقدمه:

به سبب مشخصات سیمان پرقلند و کامپوزیت های در برگیرنده سیمان، مانند: بتن پیش تنیده، الیاف بتن سیمانی مهندسی شده بتن با الیاف معمولی انتشار ترک بر این مصالح به طور بحرانی تأثیر دارد که منجر به گسیختگی ترد مصالح می شود. و مشخصات مقاومت ترک کامپوزیت های سیمانی یا کامپوزیت های سیمانی مهندسی شده با بکار گیری مقادیر بحرانی پارامترهای مکانیک گسیختگی از

قبیل؛ ضریب شدت تنش k میزان آزاد شدگی انرژی پتانسیل G جا به جایی باز نوک ترک (CTOD) و انرژی گسیختگی G_f شرح داده شده است بیشتر این پارامترها از انرژی مکانیک گسیختگی لاستیک خطی (LEFM) یا مکانیک گسیختگی لاستیک-پلاستیک (PEFM) می گیریم.

۳,۲ گسیختگی در FCR:

عملکرد کششی کامپوزیت های الیافی به سه مرحله تقسیم می شوند:

(۱) اساساً تا ترک اولیه خطی می باشد، بعد از اولین ترک الیاف انتشار ترک را آهسته می کنند و سبب می شود تا نمونه خمش پیدا کند؛ این ناحیه را همچنین فوق نقطه خمش می نامند؛ (shah ۱۹۹۱).

(۲) مرحله ترک خوردگی چندگانه؛ این مرحله همچنین به عنوان سخت شدگی کرنش معرفی شده است.

(۳) مرحله نرم شدگی- کرنش را همچنین گسیختگی تعریف می کنیم (Marikunte; shah ۱۹۹۷) این عملکرد را همچنین در خمش مشاهده می کنیم کلاً گسیختگی در اثر رشد ریز ترک ها رخ می دهد. گذشته از این تئوری ترک الیاف چقرمی مصالح را افزایش می دهند؛ توسعه ناحیه ریز ترک در کل مقاومت گسیختگی مصالح را افزایش می دهد. (Evans; Faber ۱۹۸۱) لیکن؛ Evans; Faber ۱۹۸۴؛ گزارش کردند که مقاومت گسیختگی وابسته به رشد ترک می باشد که بر آن ممانعت الیاف همچنین تأثیر می گذارد. بخش های ذیل شرح تفصیل از فرآیند گسیختگی بتن الیافی را می دهند.

ممانعت ترک با الیاف:

نتایج بسیاری از آزمایش ها اثبات می کند که با افزایش بار ترک های جزء موازی شکل می یابند و مقاومت نهایی کامپوزیت های الیافی به طور قابل ملاحظه بیشتر از مقاومت اولین ترک می شود.

مقاومت اولین ترک بعنوان مقاومت کاربردی که اولین ترک بزرگ را ایجاد می کند تعریف شده است. در کامپوزیت الیافی، الیافی خارج شده و پل زده شده انتشار ترک ماتریس را قطع می کنند. میان کرنش الیاسیته و کرنش نهایی؛ دامنه تغییرات کرنش غیر الیاسیته به طور قابل ملاحظه ای گسترده می شود.

دلیل اصلی گسترده بودن دامنه تغییرات ظرفیت کرنش غیر لاستیک الیاف پل زده شده می باشد و تنش از میان الیاف انتقال می یابد. الیاف از انتشار ریز ترک به طرف الیاف جلوگیری به عمل می آورند و الیاف اولیه مقاوم در برابر انتشار ترک می باشند و بعد از اینکه ترک از وسط عبور می کند برشته در دو سمت ترک همدیگر را نگه می دارد. آن را پل زنی الیاف می نامند و با انتشار پل زنی الیاف ترک سرعت اش کاهش می یابد یا متوقف می شود؛ کلاً وابسته به درجه بار خارجی است (در شکل ۳,۱ نشان داده شده است).

فزایند بدون چسبندگی الیاف مرحله دومی در ترک خوردگی بتن الیافی می باشد اگر بار بکار بدره شده برای الیاف بزرگتر از مقاومت چسبندگی میان الیاف و ماتریس باشد چسبندگی نبودن الیاف اتفاق می افتد. مرحله سوم؛ خارج شدگی یا پارگی الیاف می باشد. بعد از رسیدن به بیشترین بارهای بدون چسبندگی؛ خارج شدن رشته ای شروع می شود یا رشته ای پاره می شود وقتی که بارهای بکار بدره شده بیش از مقاومت گسیختگی الیاف باشد.

۳,۲,۲ رشد ترک:

وقتی که ترک بار القایی در حال پیشرفت با هد برخورد می کند شکل ترک خوردگی را مشاهده می کنیم؛ رشته بطور اصلی در ۴ گروه مجزا مشخص می کنند. (Diamond and Bentur ۱۹۸۴).

هر یک از مدل مجزا را در شکل ۳,۲ نشان می دهیم. نوع مدل ترک I اگرچه یک مدل ساده ای است، لیکن نسبتاً شاخص می باشد مطابق با (Diamond and Bentur ۱۹۸۴) کمتر از ۱۰٪

آزمایش های نمونه رشته شیشه ای و فولادی چنین رفتاری را نشان می دهند. این نوع؛ رشد ترکی کمتر از الگوی نوع I دارد دوباره مطابق با (Diamond and Bentur, ۱۹۸۴) فقط چند تا نمونه مسلح شده با الیاف شیشه ای رشد ترک نوع II را نشان می دهد. نوع III و نوع IV بیشتر از انواع معمولی رشد ترک را در بتن الیافی دارند. تقاطع ای اتفاق می افتد که از کنار، در طول مسافت رشته ترک را جا به جا می کند یا منشعب به چند ترک می شود بعد از اینکه با رشته برخورد می کند.

به علاوه اطلاعات و تصاویر در (Diamond and Bentur, ۱۹۸۴) قابل دسترسی می باشند.

پل زنی و خارج شدن رشته:

چسبندگی رشته- ملات یا پل زنی رشته انتقال تنش میان رشته و ملات را مجاز می کند. مزیت اصلی الیافی بودن ملات توقیف ترک و پل زنی الیاف در دنباله نوک ترک می باشد. بعد از ترک اولیه؛ تحت افزوده شدن بار نمونه کار برای رشد کردن ترک می خورد. وقتی که ترک با رشته یا گروهی از الیاف برخورد می کند؛ رشد ترک متوقف می شود تا انرژی رشد ترک بیشتر افزایش یابد این فرایند را سخت تر شدن می نامند. با پل زنی رشته ای آشنا می شویم که یکی از مکانیزم های اصلی سخت تر شدن در فرایند گسیختگی بتن الیاف مصنوعی می باشد (Wang et al, ۱۹۸۸, liteal) وقتی که بار خارجی بیش از حد می شود؛ مقاومت پل زنی رشته یا خراج شدن یا گسیختگی رشته اتفاق می افتد که وابسته به خاصیت رشته می باشد. انتقال تنش میان الیاف و ملات قبل از ترک اولیه انتقال تنش لاستیک می باشد و تنش در وجه مشترک رشته توسعه می یابد و ملات تنش برشی دارد که در طول رشته به طور غیر یکنواخت توزیع می شود. با افزایش بار خارجی عدم چسبندگی الیاف و ملات اتفاق می افتد و انتقال عمده تنش؛ تنش بر مبنای - اصطکاک می باشد که به طور یکنواخت در؛ طول بدون چسبندگی در امتداد رشته توزیع می شود.

در طول فرایند خارج شدن، سطح رشته عکس منفرداً مالشی شود بنابراین ممکن مقاومت چسبندگی اصطکاکی میان الیاف و ملات افزایش یابد. در آزمایش خارج شدگی تک رشته؛ با رشته ای که دارنده طول گیر دارای L ؛ قطر d و مدول کشش E_t می باشد. نقطه ای که شیب منحنی بار-خارج شدگی را افزایش میدهد به طور ناگهانی تکمیل عدم چسبندگی را از روی قطعه مدفون شده مطابقت می دهد. (Wang et al ۱۹۸۸ شکل ۳,۳)

با کامل شدن عدم چسبندگی؛ کل قطعه رشته ای به طور کامل بدون چسبندگی می باشد و اصطکاک بر محدوده تنش برش حاکم می باشد.

فرض می کنیم مقاومت چسبندگی اصطکاکی ثابت است ما می توانیم بار p و کشیدگی رشته ای Δ را در ترم های از مقاومت چسبندگی η بدست آوریم.

$$p = \Pi dl \eta z \quad ۳,۱ \quad \Delta = 4\eta l^2 (E_p d) \quad ۳,۲$$

هر دو معادله را ترکیب می کنیم و با توجه به اینکه مجموع جدایی ترک؛ δ شامل کشیدگی رشته ای در هر دو صحبت ملات $\Delta = \delta/2$ جدایی ترک در کل عدم چسبندگی

$$\delta = 8lp / (\pi d^2 e_f) \quad (۳,۳)$$

بعد از کامل شدن عدم چسبندگی الیاف شروع به شکافته شدن می کنند و اصطکاک میان رشته و ملات نیروی خارج شدگی را متعادل می نماید. مقاومت چسبندگی اصطکاکی η ممکن با فاصله لغزش رشته ای S نسبت به ملات، تغییر کند که وابسته به خاصیت رشته ون ملات می باشد. (Wang et al ۱۹۸۸)

Swamy and rao (mindess ۱۹۸۳)؛ با بکارگیری مجموع جذب انرژی در طول گسیختگی؛ نشان دادند که ترتیب تأثیر گذاری انواع متفاوت رشته ای پلی پروپیلن > شیشه > فولاد می باشد mai et al (mindess, ۱۹۸۳) ، تخمین زدند که چقرمی گسیختگی کامپوزیت از روی کار مورد نیازی که برای عدم چسبندگی الیاف بتن انجام می شود بدست می آید. بعداً mail (mindess

(۱۹۸۳؛ تخمین زد که سهم رشته خارج شده تقریباً ۹۵٪ باری کل عمل گسیختگی روی بتن پنبه نسوز می باشد. Akers et al (minds ۱۹۸۳) نشان داد که مکانیزم رشته خارج شده وابسته به قطر رشته می باشد. وقتی که مقاومت رشته ای بزرگتر از مقاومت چسبندگی می باشد پل زنی رشته ای اتفاق می افتد و الیاف به عنوان متوقف کننده، ترک عمل می کنند.

۳,۲,۴ به سخت شدگی کرنش:

تحت افزایش بار کشش، اگر کامپوزیت چندین ترک خوردگی را نشان دهد و مقاومت نهایی کامپوزیت بیشتر از مقاومت برگ نخست باشد آن را به عنوان شبه سخت شدگی کرنش بیان می کنیم. (آن همچنین معرف شبه شکل پذیری نیز می باشد) (li and wu, ۱۹۹۲, li et al) (۱۹۹۵) شبه سخت شدگی کرنشی معمولاً عملکرد فلزات را دارد اما آزمایشات نشان می دهد که کامپوزیت های الیاف کوتاه با نمای عملکرد مشابه فلزات تحت افزایش بار با چندین ترک خوردگی نیز همراه می شود.

به سبب توقف ترک ها ریز توسط الیاف، ملات ترد الیافی که شبه سخت شدگی کرنشی را نشان می دهند دارای مقاومت و کرنش ترک اولیه بیشتر از ملات ساده می باشند. بعد از اینکه اولین ترک خوردگی اتفاق می افتد ممکن چندین ترک خوردگی با بسیاری از ترک های جزئی موازی توسعه یابد. نشانگر طرح تنش کرنش را برای تردی و گسیختگی شکل پذیر در شکل ۳,۴ نشان داده ایم.

گسیختگی شکل پذیری در انتهای چندین ترک خوردگی می باشد. کرنش ϵ_{mc} و مقاومت δ_{mc} ممکن چندین بیشتر از کرنش اولین ترک خوردگی ϵ_{mu} و مقاومت δ_{mc} به ترتیب باشد به علاوه، افزایش در مقاومت در این مرحله به سبب پل زنی و خارج شدن الیاف است و سطح شان وابسته به توزیع اندازه اولیه می باشد.

مقاومت خارج شدگی تأثیر خیلی زیادی روی عملکرد سخت شدگی شبه کرنش کامپوزیت های سیمانی الیاف کوتاه ناشی از مقاومت بدون چسبندگی می گذارد. آن بسیار وابسته بر نیروی اصطکاکی میان ملات و رشته و هندسه و خاصیت مصالح است.

(kubo et al ۱۹۹۱) گزارش کرد که مقاومت و چقرمی با افزایش حجم های رشته ای که دارای رابطه ای خطی می باشد بهبود می یابد. (li et al ۱۹۹۵) گزارش کرد که کردن چقرمی ملات آسان تر است تا شبه سخت شدگی کرنش را توسط مسلح کردن رشته حاصله کنیم؛ مقاومت بالای چسبندگی کارایی کامپوزیت را بهبود می بخشد.

الیاف کج همچنین تأثیر روی شبه سخت شدگی کرنشی دارد برای نمونه، در کامپوزیت های FRC بعد از ترک خوردگی ملات انرژی مورد نیاز برای خارج شدگی رشته کج شده بیشتر از الیاف ردیف شده در صحبت بار می باشند.

۳,۳ مدل های تحلیل گسیختگی:

مکانیزم های گسیختگی را اساساً می توان به دو رده تقسیم کرد. تئوری کلاسیک خطی و غیر خطی؛ در تئوری کلاسیک خطی، مکانیزم گسیختگی نخست؛ برای مصالح همگن ۱ لاستیکی توسط Inglis در حدود سال ۱۹۱۰ اعمال شد.

که او این راه حل را برای تنش در نوک سوراخ بیمندی در بی نهایت جامد بدست آورد و دریافت که تنش در نوک بیضی تمایل به بی نهایت دارد. همچنین بیضی به خط ترک نزدیک می شود.

(*Bazant and planas ۱۹۹۸) سپس Grifih؛ در حدود سال ۱۹۲۰ به این نتیجه رسید که مقدار تنش نمی تواند به عنوان معیار گسیختگی نظیر تنش در نوک تیزی ترک بکار گرفته شود. در

پیوستار ۱ لاستیک بی نهایت روی ماده می باشد که بار کاربردی کوچکی دارد (Bazant and plands ۱۹۹۸)

اخيراً Giffith معیار انرژی گسیختگی پیشنهاد کرده که شکل های براساس مصالح گسیختگی ۱ لاستیک خطی کلاسیک دارد. مطابق با این معیار؛ ترک منتشر می شود اگر انرژی قابل دسترس از انرژی کرنش آزاد شده معادل انرژی مورد نیاز می باشد. مساحت واحد سطح ترک را بسط می دهد. Griffith این انرژی را معادل با $2\gamma S$ گرفت (همچنین؛ حیران آزاد شدگی انرژی G نامید)؛ انرژی سطح مشخص ۱ لاستیک صلب می باشد، نشانگر انرژی است که مود را در ریز ساختار مصالح می شکند و دو مساحت واحد از سطح جدید ایجاد می کند؛ لیکن، بعداً دریافت که انرژی واقعی مورد نیاز برای انتشار واحد ترک بسیار زیادتر از $2\gamma S$ می باشد. سبب این قیت که ترک ها در اکثر مصالح مستقیم و مضاف نمی باشند اما ناهمواری و مارپیچی است و همراه با ریز ترک می باشد. شکاف ۱ لاستیکی و پلاستیته اطراف نوک گسیختگی می باشد. به این دلیل، انرژی سطح مشخص؛ $2\gamma S$ را با مقاومت رشد ترک R ؛ جانشین می شود (B^* *).

اگر به مکانیزم گسیختگی ۱ لاستیک خطی (LEEM) تئوری ساده ای است که دلالت بر ترک های تیز در اجسام ۱ لاستیک دارد و پیش بینی های مطمئنی را می دهد وقتی که گسیختگی خیلی ترد می باشد. LEFM برای هر مصالحی عملی می باشد.

اساساً شرط اندازه نامید غیر ۱ لاستیک در نوک ترک شرایط را برآورده می کند. در LEEM؛ نامید غیر ۱ لاستیک باید نسبتاً کوچک تر از اندازه ترک و خود جسم ۱ لاستیک باشد. بنابراین تأثیر نامید کوچک غیر ۱ لاستیک جلوی نوک ترک در بتن. بنابراین به مکانیزم گسیختگی غیر خطی نزدیک می شویم که برای چنین مصالحی توسعه داده می شود، اساساً دو رویکرد وجود دارد. مدل های ترک معادل (روش انتگرال - J و تاثیر اندازه مدل؛ مدل دو پارامتری؛ منحنی - R) و مدل های ترک چسبنده (مدل ترک فرضی؛ مدل شناخته شده Hillerborg؛ مدل Bazant؛ Dugdale-Baraebat). بعداً مدل های بر مبنای - پیوستار نظیر مدل های اجزای محدود (FEM) و مکانیزم مدل های تخریب پیوسته را نیز توسعه یافتند. (Bazant and planas ۱۹۹۸).

۳,۳,۱ گسیختگی ۱ لاستیک خطی:

در مصالح ترد؛ اطلاعات ترک مقدار مسلمی از انرژی در واحد سطح صحنه ترک را نیاز دارد. انرژی مشخص برای ترک مورد نیاز می باشد که رشد (ترک) ممکن است وابسته به تاریخ ترک خوردگی و مقاومت رشد ترک که R نامیده می شود داشته باشد. (Bazant and planas ۱۹۹۸). گسیختگی ۱ لاستیک جای که تغییر شکل غیر ۱ لاستیک کوچک ناچیز می باشد؛ R ثابت است. موضوع اصلی مکانیزم گسیختگی ۱ لاستیک اندازه گیری؛ R، مقاومت نمو ترک در یک سو می باشد و محاسبه G؛ باشد گسیختگی روی دهد. وقوع گسیختگی را اساساً می توان اینچنین خلاصه کرد:

(پایدار) بدون رشد ترک اگر $G < R$

امکان رشد شبه استاتیک اگر $G = R$

(غیر پایدار) رشد دینامیکی ترک اگر $G > R$

یادآوری می کنیم که؛ تعیین میزان انرژی آزاد شده، یا انرژی قابل دسترس برای رشد ترک؛ G؛ موضوع اصلی در مکانیزم گسیختگی می باشد. اخیراً Irwin در حدود سال (Bazant and planas ۱۹۹۸). مفهوم ضریب شدت تنش؛ K؛ را به عنوان پارامتری برای انتشار ترک معادل ارائه کرد. این پارامتر (ضریب شدت تنش؛ K) نسبت به میزان آزاد شدگی انرژی، G، می باشد.

برای مصالح سیمان جای الیافی ۱ لاستیک خطی (LEFM)؛ (Romvaldi, mandel(mindess)؛ (۱۹۸۳) دریافتند که مسلح کردن رشته مقاومت را پس از ترک خوردگی FRC افزایش می دهند. و مقالات پیشنهاد شده فرمولی را برای میزان انرژی آزاد شده؛ G، در ترم های از پارامترها تقویت کردند. و رشته را نظیر شکل ۳,۵ نشان داده شده خوابانیدن (mindell ۱۹۸۳)

$$G = \frac{\eta \pi L_F \alpha V_f}{380 d_f}$$

که با مقاومت چسبندگی است. L_f طول رشته است؛ L_f نظر رشته است. V_f ؛ درصد حجمی الیاف است، α_9 با زاویه میان سطح ترک است. لیکن با براساس مدل متفاوت روش الیاف؛ عملکرد و خوابانیدن نظیر شکل ۳,۶ می باشد. (Parami and Sridhar (mindess ۱۹۸۵) فرمول متفاوتی را برای G بدست آوردن.

$$G = (\pi^2 l_{p^3} v_f) / (314 E_f d_f^2) \quad (۳,۵)$$

که E_f مدول لاستیک الیاف؛ و نماد دیگری که در فرمول قبل مشخص شده است. هر دو فرمان مقادیر کاملاً متفاوتی را برای G بدست می آورند.

Li و همکارانش (Li, ۱۹۸۴; Li, liang; ۱۹۸۵; Li; ۱۹۹۲; Li, leuig ۱۹۹۲) چندین مطالعه روی گسیختگی FRC اجرا کردند مطابق با نتیجه گیری ها شان؛ ترک خوردگی حالت پایدار باید تضمین کننده برای چند ترک خوردگی حاصل شده در کامپوزیت باشد. بعد از اینکه اولین ترک شکل می گیرد یا خارج شدگی رشته ای به سبب بارگذاری بیش از حد روی انتهای رشته اتفاق می افتد یا بار دوباره ملات به سبب انتقال تنش از میان سطح مشترک؛ شکل دیگری از ترک را تشکیل می دهد. با تکرار این فرایند چندین ترک خوردگی اتفاق می افتد. (Li; lenug; ۱۹۹۲), (LI; leung ۱۹۹۲) فرمولی را برای میزان آزاد شدگی انرژی G بدست آورده اند.

$$G = 2083 g z v_f d_f \delta (l_f / d_f) \quad (v_f \geq v_f^{crit}) \quad (۳,۶)$$

که g ضریب (مانع) می باشد π فصل مشترک مقاومت چسبندگی اصطکاکی می باشد. v_f کسر حجمی رشته ای می باشد v_f^{crit} کسر حجمی رشته ای بحران می باشد. d_f قطر رشته است. l_f طول رشته است. δ جا به جای قسمت بار ترک می باشد.

Naama et al ۱۹۷۳ توزیع تنش جلوتر از ترک پنی شکل را پیشنهاد می کند و فرض می کند که مقاومت FRC توسط بدترین در کنترل می شود. آنها میل گسیختگی استاتیکی بر اساس دقت های احتمالی بدست آوردن چند تا مدل برجسته دیگری به شرح ذیل باز بینی شده اند.

۳,۳,۲ مدل دو پارامتری:

مدل دو پارامتری (TPM) توسط shah; jeng (RILEM ۱۹۸۵, توصیه شده است. Nallathambi; kariha ۱۰۰ ۱۹۸۹; jeng and shah ۱۹۸۶; jeng and shah ۱۹۸۵ به عنوان روش مستقیمی برای محاسبه نمودن اندازه پارامترهای مستقل گسیختگی نظیر ضریب شدت تنش بحرانی k_{ic} و جا به جا به قسمت باز نوک ترک بحرانی CTOD از روی نتایج تیرهای شکافته شده تک لبه در معرض سه نقطه خمشی می باشد. مدل رسم نمودن بارهای (p) در مقابل جا به جا به قسمت باز دهانه ترک (CMOD) در برداشتن زنجیره بارگذاری/ عدم بارگذاری در ۹۰٪ اوج بار؛ p_{max} ؛ روی قسمت فروریختگی نمودار p-cmod را نیاز دارد.

Cmod برای تنظیم کردن محاسبه نمو ترک پایداری که ممکن قبل از اوج بار اتفاق بیافتد می باشد. جا به جا به های غیر لاستیک به سبب رشد ترک غیر خطی باید کم شود تا فرمول مکانیزم گسیختگی لاستیک خطی (LEFM) بکار گرفته شود. با بارگذاری و عدم بارگذاری نمونه، جا به جا به های زیاد قسمت باز ترک بدست می آید با بکارگیری منحنی های بار- cmod گسیختگی غیر خطی کامپوزیت را می توانیم شرح دهیم. c_i تسلیم اولیه برای تعیین کردن مدول الاستیته E ملات استفاده می کنیم و CU تسلیم عدم بارگذاری برای تخمین تأثیر طول ترک a بکار می گیریم برای این مدل ذکر شده، ضریب شدت تنش بحرانی k_{ic} را می توان توسط فرمول زیر تعیین کرد.

$$k_{ic} = \frac{3p_{max}S}{2BW^2} \sqrt{\pi a} F(\alpha) \quad (۳,۷)$$

جا به جا که a، طول ترک موثر می باشد. p_{max} بسبب شینه بار می باشد؛ S؛ دهانه بارگذاری می باشد. B؛ عرض نمونه می باشد. W؛ ارتفاع نمونه می باشد؛ $F(\alpha), \delta$ هستند.

$$\alpha = \frac{a}{W} \quad (۳,۸)$$

$$F(\alpha) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{1.99 - \alpha(1 - \alpha)(2.15 - 3.93\alpha + 2.7\alpha^2)}{(1 + 2\alpha)(1 - \alpha)^{\frac{3}{2}}} \quad (۳,۹)$$

مطابق با مدل دو پارامتر؛ K_{ie} ضریب شدت تنش بحرانی اساساً؛ مستقل از ارتفاع نمونه می باشد. آن میان 0.93 و $1/53MPa\sqrt{m}$ را برای بتن معمولی تغییر می کند. این مدل به چهار معادله غیر خطی برای محاسبه طول ترک بحرانی موثر؛ α نیاز دارد. (karihaloo. Nalla tha mbi ۱۹۸۹)

۳,۳,۳ اثر اندازه مدل:

بحث اثر اندازه مدل بر اساس اثر اندازه می باشد که توسط (Bazant and planas ۱۹۹۸) پیشنهاد شده است این مدل اندازه گیری بیشینه بارها؛ P_f برای: چندین تیر شکافته شده فقط با عمق متنوع؛ اما دارنده عرض یکسان؛ دهانه یکسان برای عمق و شکاف برای نسبت های گودی؛ نیاز دارد. مطابق با مدل؛ میزان آزاد شدگی انرژی گسیختگی یا انرژی گسیختگی با G_f ؛ انرژی مشخص مورد نیاز برای رشد گسیختگی در نمونه بزرگ می باشد.

میانگین انرژی گسیختگی G_f برای انتشار گسیختگی در نمونه ∞ بزرگ نیاز به محاسبه یا از نظر عددی یا گرافیکی دارد که از فرمول مکانیزم گسیختگی ۱ لاستیک غیر خطی و یا خطی استفاده می شود.

۳,۳,۴ منحنی - R:

تعریف منحنی - R ؛ $\Delta\theta_c$ (منحنی های مقاومت گسیختگی) رسم نمودن مقاومت رشد ترک؛ R؛ در مقابل تاثیر بسط ترک می باشد.

ضخامت مصالح تأثیری قوی؛ روی مقاومت گسیختگی دارد. به عنوان ناحیه پلاستیک بزرگ می شود؛ مقاومت مصالح سبب رشد ترک پایدار را افزایش می یابد. مطابق با (shah ۱۹۹۰) ؛ منحنی -R ممکن به عنوان مکان هندسی میزان آزاد شدگی انرژی گسیختگی؛ G ؛ برای اندازه متفاوت نمونه با طول ترک اولیه یکسان تعریف شده باشد. منحنی -R برای مصالح متفاوت تصویر شده می توان در شکل ۳,۷ دید که در زیر نشان داده ایم مطابق با (shah ۱۹۹۰) منحنی های -R را برای مشخصات مقاومت بکار

گرفته می شود تا بنابراین طبق Li(۱۹۸۴) درکل؛ منحنی R- در تعیین پایداری رشد ترک مفید می باشد. لیکن؛ برای بتن که ناحیه فرایند بزرگی دارد؛ تعیین رشد ترک و میزان آزاد شدگی انرژی؛ شکل پذیر را حاصل می کند. بنابراین سودمندی منحنی R- محدود است.

۳،۳۵. انتگرال -j:

انتگرال -j توسط Ricc در سال ۱۹۶۰ (Bazant, planas ۱۹۹۸) معرفی شده است، ممکن به عنوان انرژی مورد نیاز برای بسط ترک تعبیر شود و آن انتگرال خطی انرژی مسیر مستقل دارد که اندازه گیری میانگین یک پارامتر الاستیک - پلاستیک زمینه شود. یکی به نوک ترک است (mindess etdl) (۱۹۷۷).

ممکن به عنوان انرژی پتانسیل تعریف شود. فرق میان دو جسم عیناً بارگذاری شده دارند طول ترک متفاوت را تعریف کند.

$$J=-($$

$$\partial v / \partial a (۳,۱۰)$$

که V انرژی پتانسیل و a طول ترک می باشد.

پیشنهاد شده که تعریف را می توان به عنوان نامید تحت معنی بار - انحراف نمونه ترک خورده منهای انرژی الاستیک جذب شده اش تغییر کنم . مطابق با تعریف فرمول انتگرال -j برای نمونه در چهار نقطه می توانیم این چنین بنویسیم:

$$j(s) = \frac{2}{bB} \int_0^8 p d\delta (۳,۱۱)$$

b؛ طول رباط غیر ترک خورده شده می باشد؛ B ضخامت نمونه است. p بار اعمال شده است و δ جا به جای عمودی نقطه بار سبب حضور ترک است.

Li(۱۹۸۴) انتگرال -j را برای نمونه ها تحت کشش مستقیم بر اساس تعریف J-riice اینچنین:

$$j(w) = \int_0^w \delta(w) dw \quad (3.12)$$

$\delta(W)$ تنش نرمال است و w جا به جایی تحت بار ترک است.

(Mindnes et al (۱۹۷۷), halvorsen (۱۹۸۰)) دریافت که J (میزان آزاد شدگی انرژی برای مورد الاستیک - پلاستیک) می تواند با انعکاس محتوی رشته ای ارتباط داشته باشد. تغییر در عملکرد مصالح در شکل ۳,۸ نشان داده شده است. برای مصالح الاستیک خطی؛ J معادل با G ؛ میزان آزاد شدگی انرژی می باشد در مطالعات بعدی؛ (halversen (۱۹۸۰)) نشان داد که J وابسته به ابعاد نمونه می باشد و می تواند برای مشخصات مقاومت ترک اولیه بکار گرفته شود. لیکن velazeca et al ۱۹۸۰ دریافتند که J وابسته به طول ترک می باشد و (sin (mindness ۱۹۸۳)) پیشنهاد کردند که به طول تئوریک انتگرال نمی تواند برای FRC به خاطر ناحیه فرایند ترک بزرگ بکار گرفته شود. لیکن؛ مطابق با (li et al ۱۹۹۳) انتگرال J بر اساس روش هایی به طور موفقیت آمیزی بکار گرفته شده تا نتایج آزمایش های کشش غیر محوری را پیش بینی کند و توافق خوبی را حاصل کند ضمن صحت انتگرال J بر اساس روش هایی به طور موفقیت آمیزی بکار گرفته شده است تا نتایج آزمایش های کشش غیر محوری را پیش بینی کند توافق خوبی را حاصل کند ضمن صحت انتگرال J بر اساس روش تست گسیختگی می باشد.

۳,۴ روش های آزمایش گسیختگی بتن الیافی:

تحلیل گسیختگی مصالح بر اساس سیمان بر مبنای نتایج آزمایشی است.

با روش های آزمایشی متفاوت؛ با خصوصیات متفاوت اندازه گیری یا تغییر شکل های فیزیکی نمونه کامپوزیت؛ تحقیقات سعی می کنند تا عملکرد کامپوزیت را دریابیم و فرمولی را بنا کنند تا عملکردش تعیین شود. اساساً روش های آزمایشی آنچه در ذیل آمده است؛ تنش مستقیم، خم شدن خمش و

تست های کشش شکافی برای تعیین عکس العمل کششی و مقاومت گسیختگی مصالح بکار می گیرد. و شرح هایی روی چقرمی گسیختگی مصالح اندازه گیری شده با روش های متفاوت را توضیح می دهد یا چقرمی گسیختگی ویژگی مصالح را ندارد. یا تست ها احتمالی طراحی شده برای چقرمی گسیختگی آزمایش مصالح نمی باشد.

Astm c ۱۰۱۸ به طور ویژه بتن الیافی را برای چقرمی خمشی معین (کتاب های astm annual) طراحی می کند.

Astm c ۱۰۱۸ به نمونه خشی به نقطه ای بدون شکاف نیازمند می باشد. ابعاد نمونه پیشنهادی: $14 \times 4 \times 4 \text{ in}$ ($356 \times 100 \times 100 \text{ mm}$) می باشد که چقرمی گسیختگی یا هر پارامتر گسیختگی دیگری برای مصالح نزد تعیین می شود. بنابراین؛ ضریب شدت تنش؛ میزان انرژی آزاد شده استانداردهای E۳۹۹, E۱۲۹۰, E۸۱۳ ممکن افت کند و همچنین اطلاعات مربوطه را مهیا می سازند. برای بکارگیری آزمایش های ذکر شده بالا برای پیشنهادات متفاوتی تحقیق شده است. اساساً جا به جای قسمت باز نوک ترک را برای کاربرد نمونه شکل پذیری شکل برای عملکرد نزد؛ کاهش درجه حرارت را نشان می دهد؛ مناسب می باشد.

این روش های آزمایشی به ویژه برای نمونه های شکافته شده عملی می باشند. نمونه های پیشنهادی سه نقطه خم شده یا نمونه های کششی متراکم شده را دارند. در شکل ۳,۹ خم شدگی و در شکل ۳,۱۰ نمونه های آزمایش تراکمی نشان می دهد. رویکرد آزمایش؛ اندازه گیری و ثبت جا به جایی قسمت باز نوک ترک را در بر می گیرد. برای این هدف؛ گیره سنجی را بالای دو طرف ترک قرار می دهیم و با افزایش بار قسمت نوک ترک ثبت می شود.

ضریب شدت تنش k ؛ محاسبه می شود با

(a) برای خم کردن نمونه آزمایش

۳,۱۸

$$k = ps / (BW^{3/2}) f(a/w)$$

p ، ۹۰٪ بیشینه بار، p_{max} اعمال شده می باشد. s فاصله میان تکیه گاه می باشد. b عرض نمونه است
 w ضخامت نمونه است؛ a طول ترک است. و $F(a/w)$ به شرح ذیل محاسبه می شود:

$$f(a/w) = \frac{1.5(a/w)^{1/2}(1.99 - a/w)(1 - a/w)(2.15 - 3.93a/w + 2.t(a/w)^2)}{(1 + 2a/w)(1 - a/w)(1 - a/w)^{3/2}} \quad (3.19)$$

(b) برای نمونه آزمایشی متراکم شده

$$k = p(BW)f(a/w)$$

۳,۲۰

$$f(a/w) = \frac{(2ta/w)(0/886 + 4/64a/w - 13022(a/w)^2 - 5/6(a/w^4) + 14/72(a/w)^3)}{(1 - a/w)^{3/2}}$$

۳,۵ مقاومت گسیختگی بتن سبک

بکارگیری مکانیزم گسیختگی برای بتن سبک در مرحله کنونی زود می باشد. برای نمونه؛ مدل های ترک چسبنده بر اساس مکانیزم گسیختگی غیر خطی تهیه می شود تا ابزار سودمندی برای شرح کاهش پایداری روی بار بتن شبیه مصالح کامپوزیستی بعد از اوج بار می باشد. بیشترین کاربرد مدل برای شرح دادن عملکرد؛ مدل ترک فرجسی (FCM) می باشد که توسط *hillerbarg* و همکارانش در سال ۱۹۷۶ بسط داده شد.

در این مدل فرض شده است که ترک فرضی یا ناحیه فرآیند گسیختگی عمود تا موقعیت تنش کشش بیشینه بسط می یابد. تابع نزولی تدریجی تنش کشش با افزایش قسمت باز ترک در شکل ۳,۱۱ تصویر شده است. پس عملکرد اوج را نرم شدگی کرنشی می نامند.

مطابق با تئوری ناحیه FCM تحت کشش؛ منحنی قسمت باز تنش - ترک را معادل با انرژی گسیختگی GF می کند. تعیین آزمایش نیاز به آزمایش کشش پایدار دارد. سبب مشکلات آزمایشگاهی در عملکرد آزمایش کشش پایدار؛ آزمایش خم کرد سه نقطه ای نوعاً بکار گرفته می شود تا دیاگرام نرم شدگی - کرنشی را بدست آوریم.

مطابق با نتایج آزمایش گسیختگی روی AAC؛ توسط Alverado و Wittmann (۱۹۹۲)؛ اجرا شده است. نوع یکسان AAC ممکن به صورت تردد یا با روش شکل پذیر؛ وابسته به ابعاد نمونه فرو بریزد. برای ابعاد یکسان نمونه؛ انرژی گسیختگی AAC ممکن تعیین کند که آیا المان AAC در حالت ترد یا روش شکل پذیر فرو می ریزد.

فصل ۴:

روش شناسی طرح عملکرد کوبیدن:

۴،۱ مقدمه:

رویکرد طرح عملکرد کوبیدن در اوایل سال ۱۹۹۰ توسط Li و همکارانش (Li, leung, li, ۱۹۹۲) (Li, wu, ۱۹۹۲) معرفی شد. این روش روی ایجاد کردن شبه شکل پذیری مدات کامپوزیت ترد الیافی متمرکز می شود.

شکل شکل پذیری همراه با ترک خوردگی چند گانه می باشد که در بتن ساده اتفاق نمی افتد. در کامپوزیت های مهندسی شده الیافی؛ ترک خوردگی چندگانه به طور آزمایشگاهی توسط li و همکارانش تایید شده است.

در این مطالعه؛ مدل بالا را انتخاب می کنیم تا مصالح و خاصیت مکانیکی کامپوزیت های سیمانی سبک الیافی را ارزیابی نمایم. بکارگیری خاصیت گسیختگی مصالح رویکردی برای ارزیابی مصالح می باشد. ما می خواهیم تا شکل پذیری بتن سبک الیافی را افزایش دهیم و شکل پذیری کامپوزیتی که بشر سخت شدگی کردنش را نشان می دهد مقاومت را تدریجی افزایش می دهند که می تواند بشر از مقاومت اولین ترک خوردگی باشد. مدل پدیده های ترک خوردگی چندگانه را با بکارگیری مکانیزم گسیختگی شرح می دهد. تا به طور صحیح تاثیر رشته ای را تعریف کند.

۹/ یا اصل دیگر اجزا را روی گسیختگی مخلوط می کند،

در این مورد سنگ دانه سبک و حفره های هوا توسط؛ ماده محبوس کننده هوا؛ تولید می شوند، لازم است تا دریابیم که الیاف در کامپوزیت ها چگونه رفتار می کنند.

از این گذشته ارزیابی مصالح و خاصیت مکانیکی کامپوزیت های مهندسی شده؛ تاثیرات مصالح ویژگی ها را مخلوط می کند از این گذشته ارزیابی مصالح و خاصیت مکانیکی کامپوزیت های مهندسی شده؛ تاثیرات مصالح ویژگی ها را مخلوط می کند و نوع، اندازه سنگدانه بکار گرفت نسبت به محتوی رشته ای روی مقاومت گسیختگی کامپوزیت های مهندسی شده بررسی خواهد شد.

۴,۲ روش شناسی:

پیش از تأکید کردیم که کامپوزیت مهندسی نظیر بتن سبک الیافی، شبه سخت شدگی - کرنش را باید نشان دهد بنابراین برای بتن معمولی بالا دست می باشد. چقرمی شبه سخت شدگی کرنش یا چندین ترک خوردگی در کامپوزیت های سیمانی الیافی؛ با الگوی ذیل روی می دهند:

اول؛ ترک ریز شکل می گیرد سپس بار به طور منظم توسط ملات به الیاف انتقال خواهد یافت. الیاف سپس شبیه پل عمل می کنند و به انتقال بار به عقب ملات از میان فصل مشترک می پردازد. بار دوباره در ملات شکل دیگری از ترک را به وجود می آورد. با تکرار این فرایند؛ چندین ترک خوردگی روی می دهد. (Li, leung ۱۹۹۲; Li,wu ۱۹۹۲) با افزایش بارها به طور پیوسته نهایتاً یا رشته خارج می شود یا کامپوزیت گسیخته می شود.

شکل پذیری یا چند ترک خوردگی در بتن رابطه خیلی زیادی با ملات و مشخصات مصالح رشته ای؛ به خوبی مقدار کافی تسلیحی، دارد. برای کامپوزیت هایی با الیاف تصادفی کوتاه؛ تسلیح کافی اشاره دارد بر اینکه الیاف پل زده شده دارای تعداد چشمگیری می باشند. مقدار بالای مقاومت چسبندگی اصطکاکی و سطح اصطکاک معینی از بارها توسط ملات ترک خورده نگه داشته می شود. (Li,wu ۱۹۹۲).

مقدار کافی یا بحرانی رشته ای؛ کسر حجمی رشته ای بحرانی v_f^{crit} نامیده می شود؛ معادله (۴،۱)
 برای تسلیح تصادفی رشته کوتاه داده شده است (Li, leung ۱۹۹۲; Li, wu ۱۹۹۲; li ۱۹۹۵)

$$v_f^{crit} = \frac{12G_{tip}}{gz^2 2l_r} l_f (d_f / l_f)^2 (1 + \eta) \quad (۴،۱)$$

G_{tip} چقرمی ماکزیم (جذب انرژی کامپوزیت در نوک ترک) $g = (4 + f^2)(1 + e^{f/2})$ (عامل مانع)؛ F ؛ ضریب مانع؛ π مقاومت چسبندگی اصطکاکی l_f طول رشته ای d_f قطر رشته ای $E_f, v_f; \eta = v_f E_f / (1 - v_f) E_m$ به ترتیب کسر حجمی رشته ای و مدول لاستیک رشته ای مدول الایسته ملات می باشد.

این فرمول بر اساس تئوری ریز مکانیکی بسط ترک ملات را به وجود می آید و پل زدگی رشته ای بازتاب کننده مقدار مینم الیافی که نیاز به تبدیل شدن به ملات ترد برای کامپوزیت شکل پذیر که دارای چند ترک خوردگی نشان داده شده است می باشد. مدل خارج شدگی الیاف کج شده تا گسیختگی سطح را حساب می کند. در مورد الیاف با مقاومت پایین از پاره گی رشته ای باید ممانعت شود و مقاومت چسبندگی ملات- رشته ای باید پایین نگه داشته شود. در مورد الیاف قوی و ملات قوی کسر حجمی رشته ای باید افزایش یابد به منظور اینکه نیازمندی هایی را برای خارج شدگی رشته ای برآورده سازیم. برای ترک رشته ای پل زده شده نیروهایی فصل مشترک محلی میان الیاف مورب و ملات در نقطه خارج رشته ای در برابر بار پل زده شده مقاوم می باشد.

بنابراین با بکارگیری ضریب اصطکاکی مانع f ، (Li et al ۱۹۹۰) نیروهای محلی را می توانیم شرح دهیم. این ضریب تأثیر افزایشی بر روی نیروهای پل زده شده رشته ای برای الیاف کج شده در هر باز شو ترک ملات دارد. دامنه تغییرات ضریب اصطکاکی مانع توسط رشته تکی آزمایشات خارج شدگی؛ با تطبیق دادن الیاف با زوایای متفاوت برای نیروی خارج شدگی؛ تعیین می شود (Li et al ۱۹۹۰)

چقری نوک ترک کامپوزیت G_{tip} تابعی از چقری گسیختگی ملات k_m می باشد و می توانیم آن را این چنین بنویسیم:

$$G_{tip} = k_m^2 (1 - \nu_f)(1 - \nu_m^2) / E_m \quad (4,2)$$

ν_m نسبت پواسون ملات می باشد.

با بکارگیری معادله (4,1) کسرهای حجمی رشته بحرانی کامپوزیت ها که طرح اختلاط متفاوتی دارند برای شناسایی امکان پذیر می شوند بنابراین مقاومت های متفاوت شبه شکل پذیری حاصل می شود. از این رو خاصیت رشته ای مصالح برای هر رشته ای که انتخاب می کنیم شناخته می شود و با آزمایش کردن می توانیم چقری گسیختگی ملات را تعیین می کنیم. لیکن؛ مقاومت هایی چسبندگی سطح مشترک میان رشته و ملات می تواند خیلی زیاد باشد اما نوعاً اندازه گیری نمی شود. با این وجود مقاومت چسبندگی متضاد برای متنوع کسر حجمی رشته بحرانی را می تواند رسم کند. این منحنی ها، نشان داده شده در شکل را می توان در طرح اختلاط بکار بگیریم. بعد از شناسایی دامنه تغییرات تقریبی مقاومت چسبندگی اصطحاکاکی؛ و پارامترهای نسبی دیگر بتن سبک الیافی، کسر حجمی رشته بحرانی؛ بتن سبک را می توان از روی این گراف ها تخمین زد.

مقاوم چسبندگی فصل مشترک و چقری گسیختگی ملات بر روی پارامترهای مخلوط؛ ذخایر: نسبت سیمان به آب؛ محتوی سنگ دانه و کسر حجمی رشته ای تاثیر می گذارند. این عامل ها مشکلاتی را در کنترل هر یک از پارامترهای ریز مکانیکی سبب می شوند برای فهمیدن بهترین تاثیرات؛ آزمایشات چقری گسیختگی و خارج شدگی معمولاً مورد نیاز می باشد.

در این مطالعه؛ بر اساس تئوری که با ملات ترد شبه سخت شدگی کنش را ارائه می کند با مقاومت کنش نهایی؛ کامپوزیت با مقاومت پل زده شدگی بیشینه، معادل می باشد؛ مقاومت چسبندگی را محاسبه می کند.

مقاومت کشش نهایی؛ تابعی از مقاومت چسبندگی می باشد. کسر حجمی رشته ای و نسبت بعد ظاهری در معادله (۴,۳) داده شده است:

از آن جایی که؛ مقاومت کششی نهایی در این مطالعه نا شناخته می باشد؛ ممکن از روی رابطه میان مقاومت خنثی مقاومت کشش آن را تخمین بزنیم؛ و همکارانش تحقیقی تفضیلی را برای توسعه رابطه میان مقاومت خمش و کششی برای بتن الیافی داشته اند. آنها منحنی (شکلی ۴,۲) را رسم کرده اند که تغییر نسبت مقاومت خمش و مقاومت ترک خوردگی اولیه کشش) $\sigma_{tu} / \sigma_{te}$ (؛ نظیر تابع نسبت مقاومت کشش نهایی برای مقاومت ترک خوردگی اولیه کشش نشان می دهد. مقاومت اولین ترک خوردگی کشش را از روی معادله (۴,۴) (popovics ۱۹۹۸) محاسبه می کنیم.

$$\sigma_c = 0.63\sigma_{fc} - 0/61(4.4)$$

Gfc مقاومت اولین ترک خوردگی خمش در psi می باشد.

با شناختن MOR؛ و مقاومت اولین ترک خوردگی کشش؛ مقاومت کشش نهایی را محاسبه می کنیم. مقاومت کشش نهایی محاسبه شده در معادله بکار می گیریم تا مقاومت چسبندگی و تعیین کنیم.

۴,۳ بتن وزن معمولی الیافی:

از بررسی طرح اختلاط (li et al ۱۹۹۵)؛ دریافتند که ممکن مخلوطی تولید شود که شبه سخت شدگی کرنش را نشان دهد و همچنین دارنده مدول الاستیک بالایی با محتوی مصالح متغییر و کامپوزیت مخلوط باشد.

آنها (li et al ۱۹۹۵) همچنین؛ شیوه طراحی برای بتن وزن معمولی الیافی را بنا نهادند.

مطابق با آزمایش ها شان و نتایج شیوه ابداعی شان؛ کنترل بتن با ۲٪ رشته پلی استیلن در واحد حجم سخت شدگی کردنش را نشان می دهد. با افزایش مدول الاستیته؛ چقرمی گسیختگی همچنین با افزودن بیشتر ماسه افزایش می یابد (نظیر ریز سنگدانه). بتن با نسبت ماسه / سیمان ۲ تقریباً ۷۰

درصد بیشتر از مدول الایسته می باشد و ۴۰٪ بیشتر از چقرمی گسیختگی بتن بدون ماسه می باشد. A:
۲٪ کسر حجمی رشته ای برای سخت شدگی کرنش در بتن با جدول الایسته بالا ناکامی می باشند. در
این مورد با بتن شکل پذیر داریم؛ کسر حجمی رشته ای باید با ۲/۵٪ افزایش یابد.

۴,۴ بتن سبک الیافی

رشته بکار گرفته شده در این بررسی رشته ۰/۰۳۷ mm PVA (poly vinyl alcohol) ؛ با
قطر ۱۵mm ؛ طول مدول الایسته ۴۰Gpa؛ مقاومت کششی ۱,۶ Gpa و دانستیم ۱,۳۹ g/cm^۳ می
باشد.

چقرمی یا انرژی گسیختگی کامپوزیت سنگدانه سبک انتخاب شده محتوی ۲۰٪ سنگدانه سبک تقریباً
۳۶ j/m^۲ می باشد. فرض می کنیم که مقاومت چسبندگی اصطحاکاکی: این مخلوط تقریباً Mpa
۱,۰ می باشد. (فرض ما مطابق با مطالعه (kanada etal ۱۹۹۸) برای آزمایش خارج شدگی
الیاف PVA از درون خمیر سیمان می باشد.

شبه شکل پذیری را برای این مخلوط نگه می داریم؛ محتوی رشته ای باید بیشتر از کسر حجمی رشته
بحرانی (۰/۰۷ درصد در واحد حجم) باشد نظیر آنچه در شکل ۴,۱ می بینیم.

در شکل ۴,۳؛ چقرمی ملات را در مقابل مقاومت چسبندگی برای کسر حجمی رشته بحرانی ثابت ۱/۵٪
بر اساس معادله (۴,۱) رسم می کنیم. این منحنی سخت شدگی کرنش مجزا و مدل های گسیختگی
شبه ترد را برای بتن های سنگدانه سبک با ۱/۵٪ کسر حجمی رشته ای (مراجعه به جدول ۴,۱) برای
خاصیت مصالح و نتایج آزمایش برای کامپوزیت ها در شکل ۴,۳ داده شده) داریم. با بکارگیری چقرمی
نوک ترک مخلوط و مقاومت چسبندگی اصطحاک رشته ای و ملات برچسب نقاط بتن سنگدانه سبک را
رسم می کنیم.

۴-۵ خلاصه

شرایط برای عملکرد شکل پذیر بتن در ترم های از کسر حجمی رشته بحرانی فرموله شده است و چقرمی گسیختگی نظیر آنچه در بخش ۴,۲ داده ایم. دلیل بکارگیری الیاف در بتن بهبودی شکل پذیری ملات می باشد. بعلاوه؛ شبه شکل پذیری مقاومت نهایی به خوبی افزایش می یابد. برای نمونه؛ در شکل ۴,۴؛ منحنی جا به جایی- بار سنگدانه سبک معمولی و سنگدانه سبک الیافی را نشان داده ایم. علیرغم مقاومت های ترک اولیه تقریباً یکسان؛ کامپوزیت با الیاف دارای شکل پذیری خیلی زیاد و بالا بردن مقاومت خمشی نهایی خیلی زیاد را نشان می دهد. لیکن؛ اگر کسر مجمی رشته ای خیلی پایین نگه داشته شود برای نمونه کمتر از ۱٪ در واحد حجم در کامپوزیت های سیمانی؛ بالا بردن مقاومت ممکن کم اهمیت باشد. بنابراین اهمیت دارد تا کسر حجمی بحرانی الیافی را در مخلوط تعیین نمایم تا شکل پذیری را بدست آوریم.

فصل ۵:

عملکرد کامپوزیت و کنترل آزمایشی.

۵,۱ مقدمه:

موضوع اصلی این رساله توسعه دادن بتن الیاف سبک با عملکرد بالا می باشد که از مصالحی سبک و قوی و شکل پذیر برخوردار می باشد. برای موفق شدن در طرح اختلاط، چندین کامپوزیت مقدماتی را باید مهیا سازیم تا مقاومت و شکل پذیری کامپوزیت ها را ارزیابی نمایم و چقرمی گسیختگی مصالح را اندازه بگیریم.

آزمایش؛ خمش سه نقطه ای و آزمایش چقرمی گسیختگی برای نمونه خم شده به ترتیب اجرا می شود. مشخصات اساسی انواع مختلف طرح اختلاط در ارتباط مقاومت خمش و مشکل پذیری بر اساس نتایج

آزمایش های خمش سه نقطه ای تعریف می شود کامپوزیت های انتخاب شده همچنین آزمایش می شوند تا چقرمی گسیختگی شان تعیین شود.

۵,۲ شناسایی مصالح

در این بررسی مصالح بکار گرفته شده عبارت اند از:

سیمان پرتلند نوع I با دانسته (۱۹۶ lb/ft^۳) ۳,۱۵ g /c^۳

خاکستر آتشفشانی با دانسته (۱۶۲ lb/ft^۳) ۲,۶ g /c^۳ و اندازه میان ۵۰ و ۱۵۰ μm

دوده سیلیس با دانسته (۸۳,۸۵ lb/ft^۳) ۱,۳۴ g /c^۳ و اندازه میان ۰/۱ و ۱ μm

کره های توخالی به شکل LWA (پس از این آن را به عنوان LWA نشان می دهیم)

(CENOSPHERE)

(شکل ۵,۱) با قطر ۳۰۰ μm (۰.۹۱۲in) g (۲۸lb/ft^۳) ۰.۶۴۰۹/cs توسط (شرکت) به ثبت

رسیده خدمات گروهی تولید شده است. الیاف (PVA) (poly vinyl alcohol) (شکل ۵,۲) با

قطر ۳۷ μm (۰.۵۶in) ۱۵mm طول ؛ دانستیم (۸۱ lb/ft^۳) ۱,۳۹/c^۳ ؛ مدول الاستیته (۵۸۰۰ksi)

۴۸۰ gpa توسط شرکت kuraray؛ ژاپن تولید شده است. ماده محبوس کننده هوا ۴۰ monex air؛

توسط boral materials inc

Micro air , MB-VR توسط master Builders

الک ۵۰ (اندازه ذره ۰.۱۲۴in . یا ۳۰۰ μm app) با ۲۰۰ (اندازه ذره ۰.۷۵ app) و ماسه منظم غیر

الک شده ۹ (sp) ۱۰۰ sp (sp) Daracem- و توسط grace construction producis inc تولید می

شود.

۵,۳ کامپوزیت های مخلوط

در برنامه آزمایشگاهی؛ اساساً سه نوع بتن سبک؛ بتن LWA؛ بتن اسفنجی و بتن هیبرید LWA اسفنجی را مهیا می‌سازیم. شرح‌های تفضیلی اندازه مخلوط بتن به شرح ذیل داده شده است. برای آزمایش خمشی ۲۰ پیمان‌ه بتن LWA الیافی با دامنه تغییرات نسبت آب به سیمان از ۰/۲۶ تا ۰/۹۱، نسبت‌های LWA به سیمان ۰/۲ و ۰/۴ و ۰/۶ و ۰/۱.

نسبت‌های خاکستر بادی به سیمان ۰/۱ و ۰/۲

نسبت دوده سیلی به سیمان ۰/۱

و کسرهای حجمی رشته‌ای ۱/۵٪ و ۲٪.

۱۷ پیمان‌ه بتن اسفنجی الیافی با نسبت‌های آب به سیمان دامنه تغییر میان ۰/۳ و ۰/۵

دامنه تغییرات مقدار ماده محبوس‌کننده هوا از ۲٪ تا ۳٪ با سه نوع متفاوت از ماده محبوس‌کننده هوا؛ نسبت خاکستر بادی به سیمان ۲٪؛ نسبت دوده سیلیسی به سیمان ۰/۱ و کسرهای حجمی رشته‌ای ۰/۷۵ و ۱/۵٪ سرانجام، یک اندازه مخلوط بتن اسفنجی LWA، الیافی با نسبت آب به سیمان ۰/۳۸؛ نسبت LWA به سیمان ۰/۲؛ مقدار ماده محبوس‌کننده هوا ۰/۵٪ متناسب با وزن سیمان؛ نسبت خاکستر بادی به سیمان ۰/۲٪ و کسر حجمی رشته‌ای ۱/۵٪ می‌باشد.

بنابراین مخلوط‌هایی کنترل‌کننده؛ ۶ پیمان‌ه ملات الیافی با نسبت آب به سیمان با دامنه تغییراتی از ۰/۳۴ تا ۰/۴۹؛ دامنه تغییرات نسبت، سر به سیمان از ۰/۲ تا ۴ با ماسه الک شده ۵۰#، ۲۰۰# و ماسه منظم غیر الک شده؛ نسبت خاکستر بادی به سیمان ۰/۲؛ نسبت دوده سیلیسی به سیمان ۰/۱ و کسر حجمی رشته‌ای ۱/۵٪ مهیا می‌شود. همه پیمان‌ه‌ها ۲٪ sp را در بر می‌گیرند.

برای آزمایش چقرمی گسیختگی؛ حداقل یک پیمان‌ه با ترکیب بندی شناخته شده طبق نمونه خمش بتن معمولی نمونه آزمایش گسیختگی را مهیا می‌کنند.

برای آزمایش مقاومت فشاری؛ سه پیمان‌ه؛ یک پیمان‌ه با ترکیب بندی الیافی (کسر حجمی الیافی ۱/۵)؛

۴۰٪ LWA؛ ۱۰٪ خاکستر بادی، ۱۰٪ دوده سیلیسی و ۴۵٪ آب؛ یک پیمان‌ه با ترکیب بندی؛

۰.۴۰ LWA؛ ۰.۱۰/خاکستر بادی، ۰.۱۰/ دوده سیلیسی و ۰.۳۶/ آب و سرانجام یک پیمانانه با ترکیب بندی

؛

۰.۴۰ LWA؛ ۰.۱۰/خاکستر بادی، ۰.۱۰/ دوده سیلیسی و ۰.۴۵/ آب تهیه می شود.

ترکیب بندی های مخلوط همه انواع بتن ها تهیه شده را در جدول ۵,۱ تا ۸ و ۱۱ آورده ایم.

مشاهده می کنیم که محتوی آب نیاز دارد تا با مقدار تنظیم شود تا کار این سازگاری را مهیا سازد با افزایش محتویات LWA با محتویات آب سبب ساختار نمی گیر LWA ها افزایش می یابد. لیکن؛ مشاهده می کنیم که مدت زمان سخت شدگی رطوبت مخلوط از ۲۴ ساعت به ۳ تا ۵ روز با افزایش محتویات آب در مخلوط افزایش می یابد. افزایش مدت زمان خشک شدگی با افزایش LWA توضیح داده می شود با سیمان کم و محتویات sp زیاد تولید برای بتن معمولی را اعتا می کنیم.

اگر چه مقدار sp اندکی بزرگتر از بیشینه حدود توصیه شده استفاده می شود. بزرگی مدت زمان کنده در بعضی از موارد ۵ روز مشاهده می شود. بعضی از گزارشات این مشاهدات را تایید می کنند که درست می باشد. (chan et al ۱۹۹۹).

برای بتن اسفنجی، مقدار ماده محبوس کننده هوا بیش از حد سبب ضعف بتن می شود. از این رو حوزه های هوا در بتن با افزایش مقدار ماده محبوس کننده هوا افزایش می دهیم. سیمان نقطه ضعفی که دارد مهیا کردن مقاومت کافی می باشد. بنابراین مشاهده می کنیم که با افزودن دوده سیسیلی به مخلوط کارایی افزایش می یابد. گذشته از تاثیر کارایی گذشته افزودن دوده سیسیلی دانسته را کاهش می دهد. چراکه دانستیه دوده سیلی خیلی کمتر از سیمان و خاکستر بادی می باشد.

افزودن الیاف کارایی را کاهش می دهد. برای مهیا کردن مخلوط کارا با الیاف ضروری است تا به حد کافی آب افزوده شود. اما آب بیش از حد سبب می شود که سیمان و مصالح پر کننده دیگر از الیاف جدا شوند وقتی که مخلوط ریخته می شود و جدایی شدیدی اتفاق می افتد وقتی که مخلوط تکان داده می شود یا مرتعش می شود.

۵,۴ تهیه نمونه

۵,۴,۱ هندسه نمونه ها و آزمایش

چقری گسیختگی و مقاومت خمش را اندازه گیری می کنیم؛ آزمایش هایی خم کردن به نقطه ای را اجرا می کنیم. برای مقاومت فشاری آزمایش استوانه ها را بکار می گیریم. هر دو آزمایش خم کردن و خمش را در قالب ها شیشه پلاستیکی قالب گیری می کنیم. نمونه ها فشاری را در قالب های پلاستیکی قالب گیری می کنیم. قالب ها که باری نمونه ها آزمایش خم کردن، نمونه های آزمایش گسیختگی و نمونه های آزمایش فشاری بکار می گیریم به ترتیب در شکل ۵,۳؛ ۴ و ۵ نشان داده ایم. بعد از ریختن قالب؛ نمونه ها برای سخت شدن مجاز می باشند؛ تقریباً یک تا ۵ روز؛ در دمای درجه حرارت اتاق قرار می گیرند سپس عمل آوری در آب برای چهار هفته انجام می شود. هندسه نمونه ها و پیکربندی بارگذاری را در شکل ۵,۶؛ a,b,c به ترتیب برای آزمایش های خمشی؛ گسیختگی و فشاری آورده ایم. نمونه های خمشی و گسیختگی با بکارگیری ماشین آزمایش هیدرولیک MTS با ظرفیت شکل بار $9800N(22000lb)$ را در شکل ۵,۷ نشان داده ایم و نمونه هایی استوانه ای فشاری را با ماشین آزمایش هیدرولیک Mst با ظرفیت $45000lb$ (۲MN) آزمایش می کنیم.

۵,۴,۲ ملات الیافی PVA نظیر ترکیب بند کنترلی

ترکیب کردن همه مصالح خشک (ماسه، سیمان، خاکستر بادی یا دوده سیلیسی) به جزء الیاف در ظرفیت ۴ لیتر kitchen Aid مخلوط کن؛ کنترل مخلوط ها را مهیا می سازد، مخلوط در حدود یک دقیقه طول می کشد.

SP و آب را به آهستگی اضافه می کنیم تا مخلوطی خوشکار داشته باشیم. بعد از خوشکار شدن مخلوط؛ الیاف را اضافه می کنیم. الیاف سبب سخت شدن مخلوط می شود بنابراین آب بیشتری اضافه می کنیم تا کارایی خوبی را مهیا سازیم تا الیاف به طور یکنواخت توزیع شوند.

۵,۴,۳ بتن LWA با الیاف PVA

در رویکرد اختلاط سازگار یکسان، همه مواد متشکله خشک (سیمان، LWA، خاکستر بادی و / یا دوده سیلس) با همدیگر در یک ظرفیت ۴ لیتری مخلوط کن kitchen Aid در حدود یک دقیقه مخلوط می شوند.

سپس همه sp و مقداری از آب اضافه می شود تا مخلوط خشک شود. سپس باقی آب را به آهستگی اضافه می کنیم تا آنکه تقریباً کارایی یکسانی میان پیمان‌ها متفاوت داشته باشیم. کل زمان اختلاط حدود ۵ تا ۶ دقیقه می باشد مشاهدات اصلی نسبت به بتن LWA می باشد که LWA سبب داشتن ساختار محجوف اش آب را جذب می کند. ممکن رابطه ای میان مقدار آب مورد نیاز و محتویات سنگ دانه ها وجود داشته باشد.

در این بررسی، برای کارایی منطقی برای مخلوط در برگیرنده $LWA/20\%$ (تناسب با سیمان در واحد وزن)، محتویات آب حدود ۳۰ تا ۳۵٪ (متناسب با سیمان در واحد زمان)؛ برای مخلوط در برگیرنده $LWA/40\%$ ؛ محتوی آب در حدود ۴۵ تا ۴۰٪؛ برای مخلوط در برگیرنده $LWA/60\%$ ؛ محتوی آب در حدود ۶۰ تا ۶۵٪ و برای مخلوط در برگیرنده $LWA/100\%$ محتوی آب در حدود ۹۰ تا ۸۰٪ می باشد. بافت بتن LWA الیافی در شرایط رطوبت مخلوط رسم در شکل ۵,۸ را نشان می دهد. در شکل ۵,۹ چند کامپوزیت های LWA الیافی را در کارایی متفاوت نشان می دهیم مقداری از پیمان‌ها محتوی دوره سیلیسی نظیر پر کننده سیمان بعلاوه خاکستر بادی می باشند. پیمان‌ها با دوره سیلیسی کارایی بیشتر از پیمان‌ها در برگیرنده فقط خاکستر بادی را نشان می دهند. که آن به خاطر ذرات دوره سیلس اندازه میان (۱,۱,۱,۱) app.m کوچکتر از خاکستر بادی (اندازه میان ۵۰ تا ۱۰۰ paa) می باشد بنابراین آن ناحیه میان سنگدانه و سیمان بهتر از خاکستر بادی پر می کند.

برای همه پیمان‌ها $sp/2\%$ (متناسب با سیمان) استفاده می کنیم. این مقدار $sp/p\%$ اندکی بزرگتر از بیشینه حد مقدار توصیه شده می باشد.

(۱۰۰- paracem سیمان ۲۰oq/۰۰lb تا ۵۰ سیمان 1300ml/100kg تا 325)

مقدار بیش از حد sp بر سخت تر شدن مخلوط تأثیر می گذارد.
در بعضی از موارد مدت زمان سخت شدگی تا ۵ روز بسط داده می شود.

۵,۴,۴ بتن اسفنجی؛ الیاف PVA:

تهیه بتن اسفنجی شبیه بتن LWA می باشد اولاً همه مصالح در ظرفیت ۴ لیتری مخلوط کن kitchen Aicl حدود یک دقیقه مخلوط می شوند. سپس مواد محبوس کننده هوا را بهتر بکار می گیرد. با مقدار کافی محبوس کننده هوا حجم بتن تقریباً دو برابر می شود بنابراین مخلوط سازگاری داریم و هوا در مخلوط گیر می افتد. بافت بتن اسفنجی در شرایط مرطوب مخلوط شبیه کرم شلاقی می باشد (شکل ۵,۱۰).

در روند این مطالعه سه نوع متفاوت از مواد محبوس کننده هوا را بکار می گیریم.

- monex Air توسط شرکت Boral Material

- micr \Air و MB-VR توسط Master Builders

- مادامی که ۵,۰٪ (سیمان در واحد حجم) ۴۰ MicroAir; MonexAir بتن سبک را به طور مطلوب تولید می کنند.

- ۵,۰٪ MB-VR استاندارد خیلی جذب در ارتباط با دانسته پایین عمل می کند. از طرف دیگر؛ مخلوط با ۲,۰٪ ماده محبوس کننده هوا (MB-VR) سنگین تر از مخلوط در برگیرنده ۵,۰٪ ماده محبوس کننده هوا (MB_VR) می باشد. اما هنوز سبک لحاظ می شود.

در برگیرنده ۱ و ۲٪ مواد محبوس کننده هوا (MB-VR) بکلی را حاصل می کنند اما بتن خیلی ضعیف می باشد. نمونه بتن اسفنجی را در شکل ۵,۱۱ نشان داده ایم.

۵,۴,۵ بتن سنگدانه- هوادار با الیاف PVA

رویگرد دیگر تولید کردن بتن سبکی با بکارگیری هر دو LWA و ماده محبوس کننده هوا با همدیگر می باشد آن همچنین به کاهش هزینه بتن می کند از این رو LWA نسبتاً گران می باشد. در این مورد ۲۰٪ سنگدانه و ۰,۵٪ ماده محبوس کننده هوا (متناسب با سیمان) بکار گرفته می شود. بنابراین از پر کننده های سیمانی، خاکستر بادی و دوده سیلیسی استفاده می شود. مخلوط با دوره سیلیسی مصالح سبک تری را مهیا می کند. که سبب دانسته پایین می شود. و مخلوط خوشکارتر از مخلوط تهیه شده با فقط خاکستر بادی برای توجیه منطقی در بخش ۵,۳ می باشد.

۵,۵ محافظت از مخلوط و نمونه ها

به سبب رشته و LWA) LWA ها آب را منظم تر جذب می کنند (یکنواختی و کار این مخلوط معضلات بزرگتری را دارد. برای مهیا نمودن کارایی خوب و یکنواختی در الیاف از SP استفاده می شود و برای سه تا ۴ دقیقه قبل از اضافه کردن الیاف رطوبت مخلوط را ادامه می دهیم. ضروری است که یک یا دو دقیقه بعد از اضافه کردن SP به مخلوط صبر کنیم تا یراش را ببینیم. اگر آب باقی مانده یا اضافی را اضافه کنیم قبل از آنکه SP شروع به عملیات کند مخلوط به طور ناقص آبکی می شود و تفکیک فاز ممکن اتفاق بیفتد. بعد از آنکه به کارای خوبی رسیدیم؛ مخلوط را در قالب ها می ریزیم.

کارایی مخلوط تر را اندازه گیری می کنیم. مخروط را در شکل ۵,۱۲ نشان داده ایم که دارای قطر پایینی (۳,۵ ۴ in) ۹cm و بالایی (۱,۶۹in) ۴,۳cm و ارتفاع (۶in) ۱۵,۲۵cm می باشد. مخروط را با مخلوط تر پر می کنیم و روی سطح تمیزی با رویه قسمت باز بزرگی قرار می دهیم سپس مخروط را جا به جا می کنیم. انبساط اضافی تری مخلوط را اندازه گیری می کنیم برای هر مخلوط سه اندازه گیری در طول محیط انجام می شود و میانگین مقادیر را گزارش می دهیم.

کارایی اندازه گیری را برای همه پیمانها تکرار می کنیم.

انبساط تقریب در قطر برای بتن LWA الیافی میان $1,5\text{cm}(0,6\text{in})$ ، $0,5\text{cm}(0,2\text{in})$ می باشد

برای بتن اسفنجی الیافی حدود $1\text{cm}(0,4\text{in})$ می باشد.

Cenosphere LWA تمایل به جذب آب تقریباً به زیادی وزن اش دارد.

در شکل ۵,۱۳ در سمت چپ تری مخلوط (فقط) LWA و آب را نشان میدهد که LWA و آب

(به ترتیب؛ با نسبت های ۱:۱) می باشند، آن اسلامی مشابه باتری مخلوط سیمان-LWA- آب

دارد که نسبت سیمان، سنگدانه، آب همچنین ۱:۱:۱ به ترتیب در سمت راست شکل ۵,۱۳ می باشد.

مخلوط در برگیرنده سیمان خیلی سختی دارد. در شکل ۵,۱۴؛ در سمت راست مخلوط sp-آب-

LWA را نشان می دهد. ترکیب بندی مخلوط LWA آب و sp ۱:۱:۰,۰۲ می باشد. نمایش

جدید کامپوزیت شبیه آنچه در شکل ۵,۱۳ در سمت چپ می باشد. به نظر می رسد که SP بر

کارایی مخلوط ها بدون سیمان تأثیر ندارد. از طرف دیگر؛ در شکل ۵,۱۴ در سمت راست اش می

بینیم که SP اثر بزرگی روی کارایی مخلوط با سیمان LWA آب و SP می گذارد (با نسبت

هایی به ترتیب؛ ۱:۱:۰,۰۲)

۵,۵,۲ عمل آوری:

همه نمونه ها در معرض آب عمل آوری می باشند. هر نمونه را در مخزن آب حداقل ۲۸ روز باقی

می ماند. فوراً بعد از آنکه آزمایش را انجام می دهیم نمونه را از آب جا به جا می کنیم.

۵,۵,۳ ردان ساز اعداد:

برای همه نمونه ها ۰,۲٪ (متناسب با سیمان) sp استفاده می شود (توصیه سازنده برای

parameter-۱۰۰ ۳۲۵ تا ۱۳۰۰ ml/۱۰۰ سیمان با ۵ تا ۲۰ lb/۱۰۰ az)

این مقدار sp نتایج مؤثری را در هر دویی LWA و بتن اسفنجی می کنیم.

گذشته از این کاهش آب sp تأثیر کندی را مشاهده می کنیم.

مدت زمان سخت شدگی بتن معمولی از ۲۴ ساعت به ۲ روز افزایش می یابد. بتن LWA از ۲۴ ساعت به ۵ روز افزایش می یابد همچنین بتن اسفنجی از ۲۴ ساعت به ۳ روز افزایش می یابد. اگرچه. ۱۰۰-Dradcem ممکن به طور متناوب در LWA و بتن اسفنجی واکنش دهد و ممکن در دوره سخت شدگی بسط داده شده نتیجه بدهند.

روان ساز ۱۰۰-Darace صابونی بر اساس مواد شیمیایی می باشد.

در مقدار بیش از حد ممکن به عنوان ماده محبوس کننده هوا عمل کند.

حتی اگر با سرعتی منظم سه تا ۵ دقیقه مخلوط شود؛

مقدار زیادی از هوا را در مخلوط گیر می اندازد.

از روش هایی ویژه نظیر خلاء ممکن استفاده کند تا فقدان هوا از مخلوط را برطرف کنیم.

۵,۵,۵۴ روش مخلوط :

در بخش قبلی توضیح دادیم که در هر پیمانانه ابتدا اجزاء خشک را همدیگر مخلوط می کنیم پس

sp و آب را به آهستگی اضافه می کنیم تا مصالح خشک به سازگاری مطلوب مخلوط قبل از افزودن

الیاف نائل آیند. از این رو سه فاز وجود دارد:

مخلوط همه مصالح خشک؛ افزودن sp و آب و افزودن الیاف در روش مخلوط انجام این امر برای

آسانتر شدن مخلوط مفید و منطقی اگر الیاف به مصالح خشک اضافه شوند قبل از اضافه کردن آب

و SP زمان اختلاط برای مخلوط یکنواخت باید از ۵ تا ۱۰ دقیقه افزایش یابد.

۵,۶ دستورالعمل طراحی

۵,۶,۱ تعیین مخلوط کامپوزیتی شبه شکل پذیر

بتن ساده فردی را نشان می دهد بتن مصالح با الیاف کوتاه شبه تردی را نشان می دهد؛ و بتن سیمان الیافی با عملکرد بالا عملکردی شکل پذیر را نشان می دهد (شکل ۵,۱۵) در این بررسی ثابت می کنیم که فقط مصالح بتن با چقرمی گسیختگی مناسب نظیر آنچه توسط مدل ریز مکانیکی تعریف شده است شبه شکل پذیری را نشان می دهد.

از این رو به شکل پذیری برای ملات ترد نائل می شویم. براساس تئوری ریز مکانیکی ملات بسط ترک و پل زنی ترک توسط الیاف کوتاه تصادفی می باشد، محتوی رشته ای ملات باید بیشتر از کسر حجمی بحران مسلم v_f^{cry} این کسر حجمی رشته بحرانی تابعی از چقرمی گسیختگی G_{tip} فصل مشترک مقاومت چسبندگی اصطکاکی π ، ۹ مشخصات مصالح و فیزیک رشته ای می باشد. شرح تفصیلی v_f^{cry} محاسبه شده در فصل ۴ در بخش ۴,۲ داده شده است.

در این بررسی به عنوان نقطه شروع خاصیت مصالح الیاف PVA را می شناسیم و مقاومت چسبندگی اصطکاکی فرض و چقرمی کامپوزیت درون حدود مسلم، کسر حجمی رشته بحرانی را میزان ملات کامپوزیت محاسبه می کند. بر اساس کسر حجمی رشته بحرانی محاسبه شده، انواع مخلوط کامپوزیت را مهیا می سازیم و آزمایش می کنیم. آزمایش های خمش سه نقطه ای نمونه های مهیا شده را تأیید می کند که این کامپوزیت ها شبه شکل پذیری را با بکارگیری ۱,۵٪ رشته PVA در واحد حجم نشان می دهند.

نمونه تغییر شکل یافته با چند ترک خوردگی و منحنی بار-جا به جایی نمونه ای که شبه شکل پذیری را نشان می دهد در شکل ۵,۱۹ با b و a به ترتیب داده شده است.

بر اساس تعریف تئوری در فصل ۴ در بخش ۴,۲ با بکارگیری معادله v_f^{cry} کسر حجمی رشته بحرانی در برابر π مقاومت چسبندگی اصطکاکی منحنی هایی را برای G_{tip} چقرمی نوک انواع ترک

را برای کنترل (وزن معمولی) ملات و بتن سبک رسم می کند که در شکل ۵,۱۷a به ترتیب نشان داده شده است. دستورالعمل های طراحی ذیل را به عنوان نتیجه شکل ۵,۱۷a رسم می کنیم.

با چقری ملات پایین تر G_{iff} آسان تر به عملکرد شکل پذیر کامپوزیت تأمل می شویم برای کامپوزیت ملات در این بررسی مهیا می شود. کسر حجمی رشته بحرانی تا زیر ۰,۵٪ را تضمین می کند چقری ملات باید کمتر از 0.02 kJm^{-2} برای مقاومت چسبندگی 0.4 MPa یا کمتر باشد. برای کامپوزیت های سبک در این بررسی دوباره مهیا می شود، برای نمونه اگر مقاومت چسبندگی را پیدا کنیم بیشتر از 0.4 MPa می باشد؛ شبه شکل پذیری کسر حجمی رشته مورد نیاز را تضمین می کند که باید بیشتر از ۰,۵٪ باشد.

۵,۶,۲ کنترل مرزی شکل پذیر- ترد مخلوط

چنانچه در بخش ۵,۶,۱ توضیح دادیم v_f^{crit} کسر حجمی رشته بحرانی را محاسبه می کند تا سخت شدگی- کرنش کامپوزیت تضمین شود v_f^{crit} رابطه نزدیکی با رشته و مشخصات مصالح ملات دارد. سخت شدگی کرنش در ملاتی با چقری مناسب برای رشته مسلّم با مشخصات قطعی امکان پذیر می باشد. به عبارت دیگر با نوع یکسان و مقدار یکسان رشته در مصالح متفاوت شبه سخت شدگی کرنش ممکن یا ممکن نیست.

وابسته بودن به چقری ملات و مقاومت چسبندگی فصل مشترک را بدست آورد.

شکل ۵,۱۸ طرح حدی شکل پذیر- ترد را نشان می دهد که خط $v_f^{crit} = 1.5\%$ را برچسب زده ایم. تفضیلی از این رسم را در فصل ۴ شرح داده ایم. سمت دست راست منحنی ۰,۵٪ عملکرد شکل پذیری را نشان می دهد سمت چپ عملکرد تردی را نشان می دهد. کنترل ۱، ۲ در ناحیه شکل پذیر واقع شده است که توسط منحنی های بار- جا به جایی شان تأیید می کنیم. کنترل ۳ و ۴ در ناحیه ترد واقع شده است؛ آن را همچنین توسط منحنی های بار- جا به جایی شان تأیید می

کنیم. باید یادآوری کنیم که منحنی محاسبه می شود براساس این فرضی که خارج شدگی همه الیاف روی صحنه گسیختگی اتفاق می افتد.

برای بتن رشته ای گسیختگی رشته ای داریم پس پیش بینی ها معتبر نمی باشد.

در شکل ۵,۱۹ مشخصات خمشی منحنی های بار-جا به جای مخلوط های کنترل شده را داده ایم. از روی شکل ۵,۱۹ می بینیم که کنترل ۱ سخت شدگی کرنش خیلی واضح را نشان می دهد. کنترل ۲ همچنین سخت شدگی کرنش را نشان می دهد بنابراین شکل پذیری لحاظ می شود و کنترل ۳ و ۴ مصالح قوی دارد و آنها سخت شدگی کرنش را نشان نمی دهند بنابراین آنها شبه ترد می باشند.

از طرف دیگر، ملات های بسیار قوی شبیه کنترل ۵ و ۶ منحنی بار-جا به جای شان را در شکل ۵,۲۰ داده ایم و ترکیب بندی های مخلوط را در جدول ۵,۵ داده ایم. کنترل ۶ ممکن در ناحیه شکل پذیر در شکل ۵,۱۸ واقع شود لیکن در دو مورد محاسبه v_f^{crit} معتبر نمی باشد. به خاطر اینکه بیشتر گسیختگی الیاف و مقاومت چسبندگی را از روی مقاومت اولین ترک محاسبه می کنیم که مقاومت چسبندگی رشته-ملات را نشان می دهد. نظیر آنچه در شکل ۵,۲۱ نشان داده شده است. رشته خارج شده بر سطح گسیختگی نمونه کنترل غالب می باشد که عملکرد شکل پذیری را نشان می دهد در شکل ۵,۲۲ گسیختگی رشته در کنترل ۵ غالب می باشد که شبه ترد می باشد.

۵,۶,۳ مرز شکل پذیری-تردی بتن سبک

مثل کنترل مخلوط پیش بینی حد شکل پذیری ترد بتن سبک را می توان به خوبی مهیا ساخت. ترکیب بندی های نمونه های انتخاب شده بتن LWA و بتن اسفنجی را در جدول ۵,۹ و ۱۰ به ترتیب داده ایم. شکل ۵,۲۳ و ۲۴ حد شکل پذیر ترد بتن LWA و بتن اسفنجی را به ترتیب ارائه می دهد. در شکل ۵,۲۴ دو جزء حجمی رشته بحرانی (۰,۷۵٪ و ۱,۵٪ در واحد حجم) بتن اسفنجی را لحاظ می کند از این رو نمونه ها هر دو ۰,۷۵٪ و ۱,۵٪ محتوی رشته را دارند. منحنی های بار-جا به

جایی ترکیب بندی های انتخاب شده را همچنین در شکل ۵,۲۵ و ۲۶ می بینیم که هر نمونه عملکردی شکل پذیر را نشان می دهند. همه نمونه های انتخاب شده در ناحیه شکل پذیر می باشد که توسط منحنی های بار- جا به جایی نشان تأیید می شوند، برای هر دو بتن اسفنجی و LWA برقرار است.

۵,۷ ارزیابی نتایج آزمایش

۵,۷,۱ کنترل مخلوط

۵,۷,۱,۱ تأثیر ماسه

قبلاً توضیح دادیم؛ شش پیمانانه متفاوت از ملات کنترل شده را مهیا می سازیم تأثیر محتوی ماسه روی مقاومت اولین ترک در خمش؛ روی مدل های گسیختگی (MOR) و روی شکل پذیری در شکل ۵,۲۷ و ۲۸ و ۲۹ به ترتیب آورده ایم. با #۵۰ ماسه (اندازه ذره ۳۰m یا ۰,۱۲۴ in) مقاومت اولین ترک در خمش؛ مدل گسیختگی و شکل پذیری همه با افزودن محتوی ماسه کاهش می یابد. مادامی که افزایش محتوی ماسه شکل پذیری و کاهش مقاومت خمش نهایی را پیش بینی می کند. به سبب کاهش در مقدار الیاف خارج شده در ملات قوی کاهش در مقاومت اولین ترک را انتظار داریم. ممکن توضیح بدهیم که مادامی که مقاومت خمشی نهایی و شکل پذیری قویاً بر الیاف تأثیر می گذارند مقاومت ترک اولیه بیشتر وابسته به خاصیت ملات می باشد از این رو با افزایش محتوی ماسه؛ سیمان به حد کافی نخواهد توانست چسبندگی میان خاصیت ماسه مهیا سازد. ممکن مقاومت اولین ترک را برای کاهش دادن سبب شود.

بنابراین، در شکل ۵,۳۰ می بینیم چقرمی گسیختگی ملات های آزمایش شده دامنه تغییرات میان ۰,۳۵ و ۰,۶mpa-m^{۱/۲} برای #۵۰ ترکیب بندی های مخلوط ماسه را نشان می دهد. همچنین محتوی آب

را تأثیر می دهیم. مادامی که برای نسبت محاسبه به سیمان یکسان، چقرمی گسیختگی نمونه با نسبت کم آب به سیمان افزایش می یابد.

۵,۷,۲ بتن اسفنجی

۵,۷,۲,۱ تأثیر مواد محبوس کننده هوا

قبلاً یادآوری کردیم که اساساً سه نوع ماده محبوس کننده هوا، Micro Air, MB- VR, monexAir۴۰ را استفاده می کنیم. (لطفاً مراجعه شود به جدول ۵,۱,۲ و ۳ برای ترکیب

بندی های مخلوط) برای مقدار یکسان (نسبت های ماده محبوس کننده هوا، ۰

۰,۰۰۷ و ۰,۰۰۵ می باشند)؛ میانگین سه نوع مواد مادامی که monexAir۴۰, از قبل سبک حاصل

نمی شود (دانستیه میانگین $9/c^2$ ، ۲,۱ می باشد) Micro Air ظرفیت بار خمشی بهتری را نشان

می دهد در شکل ۵,۳۲ می بینیم. از طرف دیگر شکل پذیری با مشخصات رشته و مقاومت

چسبندگی میان الیافی و ملات رابطه دارد، سه نوع بتن اسفنجی الیافی عملکرد شکل پذیری را با

وجود دانسته شان نشان می دهد. دلیلی که monexAir۴۰ بتن اسفنجی شکل پذیری کمتری را

نشان می دهد. این است که ترکیب بندی monexAir۴۰ ملات بسیار قوی تری نسبت به ۲ نوع

دیگر دارد. برای ماده محبوس کننده هوا از نوع MB-VR تأثیر محتوی ماده محبوس کننده هوا

روی مقاومت خمش (MOR) و شکل پذیری را در شکل ۵,۳۳ و ۳۴ به ترتیب آورده ایم. بنابراین

از شکل ۵,۳۳ می بینیم که برای نوع یکسان ماده محبوس کننده هوا به همان اندازه مقادیر افزایش

ماده محبوس کنند هوا دانستیه ترکیب بندی و کاهش مقاومت خمشی را داریم.

برای این ترکیب بندی در برگیرنده کمتر از ۱٪ ماده محبوس کننده؛ رابطه دانستیه مقاومت شبه

بتن معمولی می باشد. مقاومت برای نمونه با دانستیه بالا بیشتر می باشد. لیکن برای نمونه های در

برگیرنده بیشتر ۱٪ ماده محبوس هوا کننده هوا، بیشتر کاهش دانستیه مشاهده نمی شود اما

مقاومت خمشی کاهش را مشاهده می کنیم نمونه های در برگیرنده کمتر از ۱٪ ماده محبوس کننده هوا ممکن که از حفره های کوچکتر هوا بزرگتر باشند که کاهش بیشتر مقاومت را سبب می شود. شبیه مقاومت خمشی شکل پذیری همچنین با افزایش محتوی ماده محبوس کننده هوا بالاتر مقاومت چسبندگی اصطکاکی کوچکتری را میان رشته و ملات دارد که ناشی از افزایش در حباب های هوا در ملات می باشد.

دامنه تغییرات دانسته بتن اسفنجی (MB-VR تولید می شود) میان $1.49/c^3$ و 0.8 می باشد. در شکل ۵،۳۵ a و b ؛ a نمونه های کمی از بتن اسفنجی الیافی می باشد که دانسته کمتر از $1.09/c^3$ دارد صاف کردن را در آب نشان می دهیم.

۵،۷،۲،۲ تأثیر نسبت آب به سیمان

شکل ۵،۳۶ و ۳۷ تأثیر نسبت آب به سیمان را دارد مقاومت خمشی (mor) و شکل پذیری بتن اسفنجی الیافی تولید شده با بکارگیری ماده محبوس کننده هوا از نوع MB-VR (۵،۱ و ۲،۱ درصد) آزمایش می کنیم، اوج مقاومت ها در حدود ۳۶٪ محتوی آب می باشد. در این نقطه می توانیم بگویم که نسبت آب/سیمان بهینه برای MB-VR میان ۳۴، ۴۰٪ می باشد بنابراین مقاومت خمشی بالاتری را داریم. تأثیر محتوی آب ردی شکل پذیری قطعی باقی نمی ماند که ناشی از نتایج غیر سازگار می باشد که در شکل ۵،۳۷ نشان داده شده است. نتایج آزمایش به طور فوق العاده بازتاب کننده این است که ۳۰٪ محتوی آب شکل پذیری تقریباً یکسان را برای سه نوع مقاومت ماده محبوس کننده هوا دارد.

مادامی که شکل پذیری برای نمونه های در برگیرنده ۰.۵٪ ماده محبوس کننده هوا افزایش می یابد، شکل پذیری برای نمونه های در برگیرنده ۱٪ ماده محبوس کننده هوا با ۳۶٪ محتوی آب کاهش می یابد، این ناسازگار را میتوان توسط توزیع نامساوی الیاف در ملات نشان دهیم و مقاومت

چسبندگی میان الیاف و ذرات سیمان را داریم. برای نمونه های در برگیرنده ۲٪ نوع MB-VR ماده محبوس کننده هوا، روشن است که کاهش شکل پذیری با افزایش محتویات آب می باشد.

۵,۷,۲,۳ واکنش گسیختگی بتن اسفنجی

برای واکنش گسیختگی چقری گسیختگی (km) بتن اسفنجی با نوع ماده MB-VR افزایش می یابد و با محتوی ماده محبوس کننده هوا کاهش می یابد. (شکل ۵,۳۸) با مقدار کم ماده محبوس کننده هوا، دانسته های نمونه ها افزایش می یابند (شکل ۵,۳۹) همچنین مشاهده می کنیم که دانسته نمونه های گسیخته شده که الیاف را در بر نمی گیرند طبق نمونه های خمشی بالاتر می باشند. ممکن است توضیح بدهیم که سبب وجود نیروها؛ هوای اضافی در ملات گیر می افتد از این گذشته حباب های هوا توسط ماده محبوس کننده هوا سبب کاهش دانسیته بوجود می آید.

۵,۷,۳ بتن LWA

۵,۷,۳,۱ تأثیر LWA

شکل b و a ۵,۴۰ رابطه میان LWA و مقاومت خمشی (MOR) و شکل پذیری را به ترتیب آورده است. بنابراین در شکل ۵,۴۰ می بینیم که مقاومت خمشی با افزایش محتوی LWA کاهش می یابد. دانسته بتن همچنین با افزایش محتوی LWA کاهش می یابد. رابطه میان شکل پذیری و محتوی LWA به دقت در دامنه تغییرات ۴۰ تا ۶۰٪ واقع شده است. دلیلی برای شکل پذیری کم مادامی که مقاومت خمشی بالا است برای ترکیب بندی در برگیرنده LWA₀ کمتر از ۴۰٪ است که ملات بسیار قوی تر از ۶۰٪ تا ۴۰٪ LWA می باشد. بنابراین گسیختگی ممکن شدیدتر باشد.

با این وجود ترکیب بندی ها با ۲۰٪ LWA هنوز شکل پذیری قابل ملاحظه ای را نشان می دهد. از طرف دیگر دلیلی برای شکل پذیری کم برای ترکیب بندی های در برگیرنده بیشتر از ۶۰٪ بتن LWA

می باشد که پس ملات ضعیف می شود که ناشی از کمی محتوی سیمان می باشد بنابراین مقاومت چسبندگی اصطکاکی میان الیاف و ملات ضعیف تر می شود مشابه ترکیب بند در برگیرنده LWA ۲۰٪ ترکیب بندی های با ۱۰۰٪ LWA هنوز شکل پذیری قابل ملاحظه ای را نشان می دهد. بعلاوه بخش رشته یکنواخت ممکن با یکدیگر فرض شود که نیاز به تحقیقات بیشتری دارد.

۵,۷,۳,۲ تأثیر نسبت آب به سیمان

شکل a,b ۵,۴۱ منعکس کننده تأثیر محتوی آب روی مقاومت خمشی و شکل پذیری برای نسبت سنگدانه به سیمان ترکیب بندی ها ۰,۲ به ترتیب می باشد. از روی شکل a,b ۵,۴۱ می بینیم که مقاومت خمشی و شکل پذیری افزایش توسط افزایش محتوی آب از ۲۶ تا ۳۴٪ برای کامپوزیت در برگیرنده ۲۰٪ LWA نشان می دهد. این افزایش در مقاومت خمشی و شکل پذیری توسط افزایش محتوی آب می توان توضیح داد که کارایی بهبود می یابد. شکل a,b ۴۱ ۵. منعکس کننده تأثیر کارایی روی مقاومت خمشی و شکل پذیری برای بتن LWA با نسبت ۲٪ LWA به سیمان فشار داخلی ممکن مقاومت را افزایش دهد.

مادامی که به سبب ضعف در کارایی شکل پذیری کم می شود (شکل a,b ۵,۴۵) برای کارایی یکسان در شکل ۵,۴۶a می بینیم مقاومت خمشی افزایش یافته و در شکل ۵,۴۶b شکل پذیری برای دو کامپوزیت با تفاوت کمی در نسبت آب به سیمان کاهش می یابد لیکن از روی دو پیمانه متفاوت در زمان متفاوت دو کامپوزیت را تولید می کنیم، و بنابراین نسبت های آب به سیمان تقریباً یکسان می باشند؛ تفاوت در شکل ۵,۴۶ ممکن اندازه متنوعی از مخلوط بتن را لحاظ کند.

۵,۷,۳,۳ تأثیر محتوی رشته

برای بتن LWA انتخاب شده (نسبت سنگدانه به سیمان ۰,۴ و ۰,۲) کسر حجمی رشته از ۱,۵ تا ۲ درصد افزایش می یابد. افزایش محتوی رشته ای (شکل b و ۵,۴۷a به ترتیب) مقاومت خمشی و شکل پذیری را در هر دو مورد نسبت های سنگدانه به سیمان کاهش می دهند.

۲٪ الیاف سختی و کمترین کارایی کامپوزیت را ایجاد می کنند این نتایج عنوان می کند که رشته یکنواخت عامل با اهمیتی برای مشخصات مصالح می باشد. اگر با توزیع یکنواخت رشته نیازها برآورده نشود. الیاف موثر ممکن نیست تضمین کننده باشند.

۵,۷,۳,۴ عکس العمل گسیختگی بتن سبک

برای عکس العمل گسیختگی چقرمی گسیختگی (km) بتن LWA را با پایین آوردن محتوی LWA افزایش می دهیم (شکل ۵,۴۸) با محتوی کم LWA دانسته های نمونه ها افزایش می یابند (شکل ۵,۴۸). یا محتوی کم LWA؛ دانسته های نمونه ها افزایش می یابند.

بنابراین ممکن حفره های هوا بزرگ شوند و در نمونه ها منجر به کاهش در مقاومت و شکل پذیر می شوند. از طرف دیگر؛ افزایش در محتوی آب از ۳۴ تا ۳۶٪ مقاومت ضمنی و شکل پذیری را خیل زیاد تغییر نخواهد کرد. بنابراین در شکل a, b, ۵,۴۲ می بینیم که در این مورد؛ افزایش کارایی ممکن همچنین جدایی فاز را موجب شود. لیکن؛ در مورد کامپوزیت در برگیرنده LWA ۴۰٪ افزایش در محتوی آب از ۲۶ تا ۴۷٪ بر مقاومت ضمنی تاثیر نمی گذارد ذخایر آنچه انتظار داریم؛ مادامی که شکل پذیری به طور معنی داری افزایش یابد (شکل a, b, ۵,۳۴). برای آن امکان توضیح وجود دارد. ترکیب بندی با ۲۶٪ محتوی آب کارایی خیلی کمی را نشان می دهد. بنابراین در آزمایش مخروط؛ مخلوط روان نمی شود و هر مقدار اسلامپی را دارد. (شکل ۵,۲۴) و به قالب سخت فشار می آید. صفحه ۱-۳۵. چقرمی گسیختگی با کاهش نسبت آب به سیمان (شکل ۵-۴۹) افزایش می یابد. طبق شکل ۵-۴۸ چقرمی گسیختگی دقیقاً رابطه با دانسته مصالح دارد. در هر دو

شکل (۴۹ و ۴۸-۵) بتن سنگدانه اسفنجی با AA نشان می دهیم. کمی دارد. با این وجود محتوی آب و سنگدانه شان کم است. محتوی هوا ناشی از مواد محبوس کننده هوا تأثیر بر روی چقرمی گسیختگی به خوبی داشته دارند.

در خصوص چقرمی گسیختگی (چقرمی گسیختگی AA حدود)؛ بتن هیبریدی سنگدانه اسفنجی را می توان با بتن LWA در برگیرنده یا بتن اسفنجی در برگیرنده بیشتر از ۱۰٪ مواد محبوس کننده هوا طبقه بندی کنیم. در خصوص دانستید. (دانستیم AA در حدود $0.073MPa - M^{K^{1/2}}$ می باشد)؛ بتن هیبریدی سنگدانه اسفنجی را می توان با بتن LWA در برگیرنده ۱۰۰٪-۶۰؛ LWA یا با بتن اسفنجی محتوی ۱٪ ماده محبوس کننده هوا طبقه بندی کنیم.

۵,۳,۷,۵ مقاومت فشاری بتن LWA

پیمانه های نمونه های فشاری را مهیا می سازیم. ترکیب بندی نمونه های آزمایش را در جدول ۵,۱۱ آورده ایم. منحنی بار جا به جایی نوع فشاری در شکل ۵,۵ نشان داده ایم. جدول یانگ میانگین و مقاومت فشاری را برای هر پیمانه در جدول ۵,۱۲ آورده ایم. اگر چه مشاهده می کنیم که مقاومت های فشاری بتن LWA با و بدون الیاف PVA نزدیک به همدیگر می باشند. مدهای گسیختگی به طور مشخص متفاوت می باشد. مادامی که نمونه ها بدون الیاف گسیختگی انفجاری را نشان می دهند. نمونه ها با الیاف گسیختگی انفجاری را نشان نمی دهند. و یکپارچگی نشان بعد از آزمایش باقی می ماند. تفاوت میان نمونه ها با و بدون الیاف بعد از گسیختگی در شکل ۵,۵۱ نشان داده شده است. نمونه در سمت چپ الیاف می باشد. در شکل c تا ۵,۵۲ گسیختگی انفجاری نمونه بدون رشته در فشار را آورده است.

برای بتن معمولی؛ نمونه هایی با محتوی آب کمتر کمی مقاومت فشاری و مدول یا ننگن پایین تری نسبت به نمونه های با محتوی آب بیشتر دارند. آن ممکن یا از پیمانہ متنوع باشد یا از کارایی سر بزند.

اگرچه ؛ نمونه ها با نسبت آب به سیمان ۰/۳۵ کارایی قابل ملاحظه ای دارند و به تراکم خارجی نیاز دارند و ممکن مقدار زیادی از هوا را در نمونه گیر بیاندازند در حالی که نیاز به متراکم کردن نمونه ها با نسبت آب به سیمان ۰/۴۵ وجود ندارند.

۵،۷،۳،۵ واکنش بار دوره ای بتن LWA الیافی:

واکنش بار خنثی دوره ای بتن الیافی با محتوی ۲۰٪ LWA و ۱/۵٪ کسر حجمی رشته را در شکل ۵،۵۳ نشان می دهد.

در شکل یکسان واکنش خم شدگی یکنواخت نمونه ترکیب بندی شده کاملاً مشابه می باشد. بنابراین از روش شکل می بینیم که تحت بارگذاری دوره ای نمونه تقریباً به ظرفیت بار یکسانی نظیر نمونه خم شده یکنواخت می رسد. وقتی که نمونه ها به مقاومت های نهایی نشان می رسند، آنها به شرح ذیل با الگوی یکسان می شکنند. در شکل f تا ۵،۵۴a در طول بارگذاری دوره ای عکس گرفته شده را نشان می دهد.

۵،۸ عوامل دیگر

تأثیر محتوی LWA ؛ محتوی ماده محبوس کننده هوا و محتوی آب روی خاصیت مکانیکی را شناسایی می کنیم (مقاومت خنثی و چقرمی گسیختگی)؛ اثر مصالح دیگر (خاکستر بادی و دوره سیلس) روی مشخصات مکانیکی تحقیق شده است. سنجش های ذیل را طراحی می کنیم تا عملکرد بتن سبک الیافی را بهتر در یابیم.

۵,۸,۱ تاثیر پر کننده های سیمانی

دوره سیلس خیلی کوچکتر از ذرات سیمان و خاکستر بادی می باشد. آن همچنین می تواند حفره های کوچکتر میان سیمان و ذرات خاکستر بادی را پر کند. انباشتگی بهتری تولید می کند که به سبب مقاومت چسبندگی بهتر میان ذرات می باشد همچنین مشاهده می کنیم که ترکیب بندی هایی با دوره سیلس ارائه می شود که کارایی بهتری را نشان می دهد.

منحنی های بار- جا به جایی طبق بتن LWA الیافی با ترکیب بندی های ثابت به استثنای تفاوت در نوع و مقدار سیمان پر کننده در شکل ۵,۵۵ داده شده است. بنابراین مقدار پر کننده سیمان در ۲۰٪ ثابت می باشد، ترکیب بندی با خاکستر بادی تهیه می کنیم؛ نظیر سیمان پر کننده ظرفیت باربری و شکل پذیری کمتر نمونه را به وجود می آورد.

۵,۸,۲ تأثیر ماده محبوس کننده هوا در بتن LWA

ترکیب بندی در برگیرنده ۲۰٪ LWA و ۵٪ MB-VR از نوع ماده محبوس کننده هوا به طور قابل ملاحظه سبک تر از (دامنه تقریباً در سطح در الیاف) ترکیب بندی ها تهیه شده؛ فقط LWA در محتوی یکسان می باشد (دامنه تغییرات دانستیه میان ۱,۵۵ و $1.659/c^3$ برای ترکیب بندی های در برگیرنده ۲۰٪ LWA می باشد) و تقریباً در دانستیه یکسان دامنه تغییرات ترکیب بندی ها فقط ماده محبوس کننده هوا با محتوی ۵٪ را تهیه می کنیم (دانستیه تقریباً میان ۱,۲ و

$$35g/c^3 \text{ می باشد})$$

برای این سه نوع بتن همه پارامترهای دیگر یکسان می باشد؛ MOR و شکل پذیری در برابر روابط دانستیه در شکل b و ۵,۵۶a به ترتیب داده شده است. مطابق شکل b و ۵,۵۶a

بتن هیبرید اسفنجی LWA با بتن اسفنجی در خصوص شکل پذیری و مقاومت خمشی توافق میکند.

۵,۸,۳ مقایسه بتن سبک معمولی و بتن سبک الیافی

مقاومت اولین ترک خوردگی؛ که همچنین مقاومت خمشی نهایی می باشد در بتن LWA معمولی کمتر از مقاومت ترک خوردگی اولیه بتن LWA الیافی می باشد مانند بتن LWA مقاومت خمشی بتن اسفنجی معمولی کمتر از بتن اسفنجی الیافی می باشد.

این متنوع در مقاومت همچنین بیانگر سهم رشته ای برای مقاومت در اولین ترک خوردگی می باشد.

دامنه تغییرات مقاومت ترک خوردگی اولیه را در خمش برای بتن LWA الیافی و ساده در جدول ۱۵ داده ایم که مطابق با محتوی LWA می باشد.

۵,۸,۴ مقایسه بتن سبک دانه الیافی و معمولی

نشان می دهیم که عکس العمل شبه شکل پذیری بتن سبک مشابه بتن معمولی می باشد، در شکل ۵,۵۷ منحنی های بار- جا به جایی سه نوع بتن را نشان می دهیم. برای نمونه هایی را که در شکل ۵,۵۷a نشان داده ایم، دانستیه هایی LWA و بتن اسفنجی نزدیک به همدیگر انتخاب می شود تا مقایسه منطقی را بسازند.

وقتی که بتن اسفنجی و بتن LWA الیافی تقریباً دارای دانستیه $1,4g/c^3$ می باشند بتن ساده دانستیه را دارد همه انواع بتن سخت شدگی کرنش با اهمیت را در حالی که ظرفیت برابری زیادی دارند نشان می دهند. از این رو عکس العمل سخت شدگی کرنشی انواع متفاوت بتن تقریباً یکسان

می باشد. بتن سبک الیافی ممکن جایگزین بتن معمولی در طراحی یک سازه شود وقتی که مقاومت نگرانی عمده ای ندارد.

از طرف دیگر؛ کامپوزیت های بهینه سازی شده ممکن با افزایش بیشتر

شکل پذیری و همچنین بار نهایی بتن سبک مساوی شوند

برای نمونه، بتن LWA را در شکل ۵,۵۷a محتوی ۲۰٪ خاکستر بادی را نشان می دهد؛ در مورد

جایگزینی ۲۰٪ خاکستر بادی با ۱۰٪ خاکستر بادی و ۱۰٪ هر ده سیلی، بار گسیختگی نهایی با

۲۵٪ افزایش خواهد یافت، جا به جای مطابق با بار گسیختگی نهایی با تقریباً ۶۵٪ افزایش خواهد

یافت؛ همان طوری که در شکل ۵,۵۷b می بینیم.

۵,۹ طراحی کامپوزیت

اگرچه این مطالعه انجام می شود تا بهینه مخلوط کامپوزیت را برای عملکرد بالای بتن سبک الیافی را

شناسایی کند. ضابطه ای را باید برای مخلوط بهینه قرار دهیم. بهینه سازی برای سبکی بهینه سازی

برای مقاومت یا بهینه سازی برای شکل پذیری به ضابطه متفاوتی نیاز دارد. وقتی که طراحی بر وزن

متمرکز می شود؛ ممکن ضروری باشد تا مقاومت ایثار شود. اگر مقاومت مسئله عمده باشد وزن باید

کنار گذاشته شود.

اگر شکل پذیری مطلوب تر باشد هزینه را می توانیم بالا ببریم.

بعد از آنکه مبانی طرح را شرح دادیم، مشخصات و شرایط لازم کامپوزیت را می توانیم تعریف کنیم.

در گزارش این بررسی با بکارگیری ۲۰٪ خاکستر بادی و Cenosphere LWA

دامنه تغییرات دانستیه بستن محتوی Vs LWA را در جدول ۵,۱۳ آورده ایم. با بکارگیری نوع بتن

LWA الیافی ۱,۵٪ کسر حجمی رشته مقدار بزرگی می باشد که شکل پذیری کامپوزیت را ایجاد

می کند. بنابراین شکل ۵,۵۸ بر این اشاره دارد که ۰,۵٪ کسر حجمی رشته PVA حد مینیمی برای

بتن LWA می باشد تا شبه شکل پذیر شود. برای بتن اسفنجی در شکل ۵,۵۹ اشاره بر این دارد که ۱,۵٪ کسر حجمی رشته ای ظاهر می شود تا حد مینم برای شبه شکل پذیری باشد.

فصل ۶

بتن سبک الیافی: با کاربرد مخصوص به عنوان پانل های دیوار خارجی

۶,۱ مقدمه:

بتن سبک الیافی نسبتا مصالح جدیدی دارد؛ اگرچه این مصالح در بسیاری از کاربردهای ساختمانی بیش از یک دهه بکار گرفته شده است. از آن با احتیاط استفاده می کنیم. مطالعات و آزمایشات ضروری دارد که مورد بررسی قرار گیرد تا فهم بهتری از عملکرد مصالح جدید را بدهد. این بررسی نشان می دهد که این مصالح جدید مشخصات خیلی خوبی دارد که بکارگیری اش ارجع می باشد وقتی که آن را مقایسه با مصالح ساختمانی معمولی نظیر چوب فولاد آجر بتن ساده غیره ... دمی کنیم. مهمترین مزیت بکارگیری بتن سبک کاهش بار مرده ساختمان می بشد از کاهش بار مرده گذشته ساخت سریع هزینه حمل مواد و انتقال کم و کاهش در هزینه نیروی انسانی ضریب مؤثری باری بکارگیری بتن سبک می شود.

انتقال حرارتی پایین از مشخصات دیگر بتن سبک می بشد. بنابراین کاهش انرژی یا مصرف سوخت در طول کار کرد. ساختمان ها ضروری با تقاضا مورد نیازی برای بکارگیری افزایش بتن سبک می باشد. در جمله مزیت های بتن سبک توسعه بیشتر با عملکرد بالا را بوجود می آوریم و کاربردهای جدید را در می یابیم.

بتن سبک الیافی را از سیمان مصالح سبک (کلینک کوره ای، قوف آتشفشانی، حباب های هوا، اسفنج) رشته، آب ساخته ایم. بررسی های قبلی اشاره بر این دارد که بتن سبک الیافی می تواند خیلی قوی و

پایدار باشد اگر مقادیر صحیح و انواع مصالح را بکار بگیریم (Nakagawa et al ۱۹۸۹) بررسی برای شناختن مصالح و چه مقدار بکار بردن مصالح را تحلیل طرح اختلاط می نامند.

مقاله یک سری از آزمایشات را روی طرح اختلاط بتن سبک الیافی انجام داده است در می یابیم که مقاومت خمشی بتن سبک الیافی ممکن زیاد یا حتی زیاد تر از بتن وزن معمولی باشد. بتن نزد می باشد. بتن سبک الیافی به طور قابل ملاحظه ای شکل پذیر می باشد که دانستیه اش ممکن تقریباً نصف بتن ساده باشد. این ارتقاء خیلی مرحله مهمی در تحقیق کاربردهای جدید برای بتن سبک الیافی با عملکرد بالا می باشد.

۶,۲ کاربردهای بتن سبک الیافی (FRLWC)

FRLWC به طور انتخاب شده در صنعت ساختمانی (از قبیل دیوارهای پانلی بلوک ها، اعضای سازه ای (ستون ها و تیرها)؛ اسکله ها کف سازی بام سازی روسازی پل و سنگ فرش پوشش تونل و عایق سازی (در برگیرنده لوله عایق) شبکه فاضلاب، شبکه آبیاری، پر کردن حوزه در سدها و جانشینی کیفیت ضعیف زیر زمین زیر سازه را بکار گرفته است در این کاربردها، عمدتاً از الیاف شیشه ای و فولادی استفاده می شود به سبب قابلیت شیشه ای و فولادی به سبب کشش بهتر و مقاومت چسبندگی بکار می گیریم.

در این بررسی ما به طور موفقیت آمیزی بتن سبک الیافی با عملکرد بالا را توسعه داده ایم. به علت مقاومت کشش پلایش این مصالح جدید ممکن برای کاربردهای از قبیل پانل دیوار خارجی جایگزینی شده دیوار آجری قاب چولی و آلومینومی و اندود گچی استفاده شود که آن قوی شکل پذیر و پایدار می باشد. آسان می باشد برای تولید کردن شکل های کامل آسان است برای بریده شدن سبک برای حمل کردن، همچنین امکان پذیر است برای بکارگیری رنگ کردن در طول قالب گیری بنابراین هنری رضایت بخشش و ماندگار است.

۶,۳ هزینه بتن سبک الیافی

با گذشت ۱۰ سال افزایش در بکارگیری بتن سبک الیافی (FRLWC، عمدتاً بتن با مقاومت بالا) را در پل ها و سکو ساحلی می بینیم که دهانه های طولانی تر را فراهم می سازد و بارهای زیادتر شد را در طراحی به هم ملحق می کنیم و ساخت ساختمان هایی که با افزایش وزن مرده شکل دارند را حل می نماید. (HammerY۱۹۹۴) بنابراین این بتن ۲۰٪ سبک تر از بتن معمولی می باشد. از سال ۱۹۸۷، ۵۰ پل اصلی با دهانه های ۱۹۰m (۶۲۳ft) به بالا کلاً یا تا حدودی ساخته شده از FRLWC با مقاومت بالا را داشته ایم (Hammer ۱۹۹۴).

در ساختمان های زیادی؛ اعضای FRWC مانند بلوک ها پانل ها کف ها بام ها را بکار گرفته ایم هزینه بالا مهمترین عامل است که رایج ترین کاربرد FRWC را محدود می کند. سنگدانه های سبک یا ماده محبوس کننده و الیاف که از نظر صنعتی تولید شده بنابراین بسیار گرانتر از مصالح معمولی است که در بتن ساده از قبیل ماسه یا سنگدانه استفاده می شود این مصالح گران تر را بکار می بریم به خاطر اینکه بتن سبک از مزیت مالی برخوردار بشود. تحلیل بازای اخیر (Hammer ۱۹۹۴) انجام می دهیم تا تسهیلات اقتصادی بتن سبک را بررسی کنیم که مقاومت یکسان نظیر بتن معمولی دارد اما با دانستیه کمتر از ۲۵٪ الی ۲۰ و هزینه بالاتر از ۲۵٪ است. تحلیل بازاری نشان می دهد که این نوع بتن دامنه تغییرات وسیعی از کاربرد پتانسیلی را در بر می گیرد.

۵,۴ عملکرد پانلی بتن سبک الیافی

در حال حاضر چندین عملکرد پانلی دیوار کاربرد در بتن سبک الیافی دارد. پانل های دیوار معمولاً در نظر گرفته می شوند برای استفاده نمودن به عنوان اعضای غیر سازه ای.

لیکن در بسیاری از مناطقی آنها باید در مقابل بادهای قوی توفان و بارهای ضربه ای مقاومت کنند. هم این بارهای طراحی در معرض طبیعت عملکرد آب و هوا و سازگاری با ناحیه می باشند ۱۵۶.

اندازه استاندارد برای پانل ها در US دارای عرض $1,28m(4R)$ به بالا و طول $m(1GR)$ و ضخامت $20m(75/8\text{ in})$ می باشد نوعی از پانل $1,2*24m$ (پا $4*8$) دانستیه (۴pct تا ۳۵) $64k/m^3$ تا ۵۶ و وزن حدود $315kg(680\text{ lb})$ می باشد وزن کم پانل ها آسانی در محل و نقل و نصب و قرارگیری را ایجاد می کند اندازه پانل ممکن خیلی وابسته به طرح باشد. تصاویر زیر (شکل ۶,۱) نمونه ای از سنگدانه سبک، الیاف مصنوعی و متن سبک الیافی می باشد. بخش های ذیل بازبینی روی بتن سبک الیافی ساخته شده و تولید شده را مهیا می سازد.

۶,۴,۱ بازبینی پانل های دیوار بتن الیافی قابل دسترسی به طور تجاری

پانل های بتنی خارجی فوق سبک (شکل ۶,۲) را شرکت takenaka ژاپن تولید کرده است. پانل ها بستن سنگدانه سبک الیافی را در بر می گیرند. اندازه پانل ممکن تغییر کردن اش وابسته به مشخصات طرح باشد. برای نمونه؛ در دانشگاه Meiji برج Anniversary Hall liberty (شکل ۴,۳.a) ابعاد پانلی $170*380*4300m$ می باشد و کل وزن پانل ها $6000kg$ می باشد. برای (شکل ۶,۳b) ابعاد پانل $200*240*4200mm$ می باشد و وزن پانل $3900kg$ می باشد.

خاصیت مصالح اصلی پانل های فوق سبک g مقاومت فشاری میان ۳۰ تا ۳۲ Mpa و مقاومت خمشی ۲ تا ۳ Mpa می باشد.

SteelCrete (USA): این سیستم ساختمان کامپوزیتی را ثبت کرده است. گل یخ های فلزی را بکار می گیریم (شکل ۶,۴) پانل های نازک برای ساخت کار گذاشته می شود. پانل ها قوی ترانه اما سبک تر از بتن صلب قالب بتنی یا هر روشن ساخت قرار دادی دیگری می باشد چسبندگی بتن و فولاد خیلی قوی می باشد که این سیستم ساخت بیشتر از مجموع بخش های دیگر است.

ابعاد پانل عرض ۲,۴۵m ارتفاع ۴m تا ۳ ضخامت ۵۰mm تا ۳۸ می باشد. پانل ها مقاومت فشاری ۶۴Mpa تا ۱۰ را در بر دارند. مقاومت خمشی قابل دسترس نیست، وزن پانل $\frac{989}{c^3}$ می باشد.

Advanced Building Materials llc; Rhin ICF این مصالح را تولید می کند (بکارگیری آن در شکل ۶,۵a نشان داده شده است) Rhino Icf بلوک عایق حرارتی می باشد (شکل ۶,۵.b,c) هر بلوک عرض ۱۲۰cm ارتفاع ۴۱cm و وزن تقریبی ۳kg می باشد؛ مقاومت خمشی قابل دسترس نیست. دانستیه بتن تقریباً $1800k/m^3$ می باشد.

Spancrete دیوارهای پانلی در هر دو شکل عایق و غیر عایق پیشنهاد می شوند و می توان برای نیازهای طراحی استفاده کرد. پانل دیوار استاندارد عرض ۲۰۵m طول ۳ تا ۴,۵m ضخامت ۳۰cm تا ۲۰ دارد. مقاومت فشاری ۴۸Mpa تا ۴۰ دارد. وزن تقریبی پانل $\frac{50g}{c^3}$ می باشد.

Eflex ، Eternit-Eflex (شکل ۶,۷) توسعه می دهیم تا در کاربردهای داخلی و خارجی مورد نیاز بیشتری و در ساخت صنعتی اجزاء تولید شده صنعتی بکار گرفته شود در جای که از پانل ها بر مبنای پنبه نسوز قبلاً استفاده می کردیم. Elfex دانستیه بزرگی دارد؛ پانل اتو کلاوه شده کامل در برگیرنده سیمان ، الیاف طبیعی و پر کننده های معدنی می باشد. هر پانل عرض ۱۲۲cm طول ۳,۵cm تا ۲۲۴ و ضخامت ۰,۸cm و وزن $\frac{1.39}{c^3}$ می باشد. مقاومت فشاری پانل ۱۸Mpa می باشد.

در حقیقت بسیاری از پانل های دیوار FRLWC به طور تجاری در دسترس می باشند هزینه صنعتی شان طبق مصالح بکار گرفته شده است

در جدول ۶,۱ بعضی از سازنده ها محصولاتشان مصالح و خاصیت مکانیکی و قیمت ها را آورده اند.

۶,۴,۲ پانل دیوار بتنی LWA با الیاف WSU PVA:

موضوع اصلی بتن سنگدانه سبک الیافی با عملکرد بالا (FRLWAC) و بتن اسفنجی را در دانشگاه Wayne state توسعه داده ایم. سیمان بکار گرفته شده سیمان پر تیپ I می باشد. سنگدانه سبک با قطر ۳۰۰m دانستیه $450 \frac{k}{m^3}$ و جرم حجمی ۰,۸ را توسط sphere services in تولید می شود. ماده محبوس کننده هوا ریز بن های چوبی طبیعی ویژه MB-VR می باشد.