



## بررسی فناوری بتن های الیافی در سبک سازی سازه ها

غلامرضا هوائی<sup>۱</sup>، زهرا زارعی<sup>۲</sup>، محمد علی طهرانی زمانی<sup>۳</sup>

۱- عضو هیأت علمی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، havaei@aut.ac.ir

۲ و ۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

### چکیده

بهره مندی از مواد تکنولوژیک و ایجاد ترکیبات مختلف در مواد و مصالح ساخت، موضوعی است که تازگی ندارد اما در سال های اخیر توجه بسیاری از محققین و مهندسين را به خود جلب نموده است. دلیل این توجه روزافزون به مواد جدید و فناوری های ارائه شده در خصوص آنها می تواند به عوامل متعددی ارتباط داشته باشد. در نظر داشتن پیامدهای اقتصادی یکی از اصلی ترین دغدغه های محققین برای ایجاد تغییر در ساختار مواد و مصالح می باشد. از طرفی سبک سازی و در عین حال مقاوم سازی سازه ها برای رویارویی با عوامل طبیعی مانند سیل و زلزله از مسائل مهم دیگری است که برای ایجاد تغییرات مذکور در ساختار مواد به آنها اشاره می گردد. توسعه مدرن FRC ها و یا بتن های مسلح الیافی در اوایل دهه ۶۰ آغاز شد. در این جستار محقق قصد دارد تا به نقش استفاده از تکنولوژی سبک سازی سازه های بتنی با کاربرد الیاف در ساختار بتن بپردازد. برای این منظور نگاهی اجمالی به ادبیات پیشین در حوزه بتن های الیافی و روند تکوین آنها نموده و در ادامه تعدادی از آزمایش های لابراتواری که برای تعیین چگالی بتن های الیافی با بهره گیری از الیاف های مختلف انجام گردیده اند را معرفی می نمایم.

**کلمات کلیدی:** بتن، الیاف، ماده سبک، سازه، آزمایش

### ۱. مقدمه:

افزایش در دغدغه های محیطی و تخلیه منابع نفت ارائه دهنده نیاز به مواد سبز و دوستار محیط می باشد. از بین پلیمرهای طبیعی مختلف، فیبرهای طبیعی سلولزی به عنوان یکی از گزینه های مناسب برای حل مشکل مخصوصا در زمینه مسائل محیطی مطرح هستند. پتانسیل استفاده از این مواد به عنوان تقویت کننده ها از مدت ها پیش مورد بررسی و ارزیابی قرار داده شده است.

به عنوان مثال پومیک که از مواد طبیعی اسفنجی است و منشائی آتشفشانی دارد و از خنک شدن سریع و به دام افتادن میلیون ها حباب هوا ایجاد می شود در ساخت بتن های سبک وزن بکار برده شده است. پومیک تنها سنگی است که می تواند بر روی آب شناور باقی بماند اگر چه با اشباع شدن نهایی می توان شاهد ته نشین شدن آن بود.

بتن فومی با الیاف کاغذی و مسلح دارای کاربردهای بسیار زیادی در زمینه ساخت اجزای ساختمانی است زیرا این ماده علاوه بر سبک بودن در کشش نیز رفتار بسیار بهتری را از خود نشان می دهد. در این میان می توان در بتن های الیافی فومی مشخصه عایق صدائی خوبی را نیز شاهد بود. PFRPC ها می توانند به عنوان ماده ای بسیار ایده آل در زمینه اجرای مولفه های سازه ای مطرح باشند زیرا علاوه بر مزایای اشاره شده در بالا هزینه های اقتصادی کمی را نیز در بر خواهند داشت. کاغذهایی که در این نوع بتن به کار می روند عمدتاً از باطله های روزنامه ها، مجلات، کاغذهای نامه و مالیات بدون استفاده و تاریخ گذشته تامین می شود. انواع مختلفی از کامپوزیت های فیبری مختلف مانند پوسته نارگیل، ساقه کتان و برنج می توانند در این نوع بتن در سازه ها و با کاربردهای مختلف به کار برده شوند. این نوع بتن به دلیل وزن سبک، به همراه مقاومت و سختی بالا و خوردگی کم و تاثیر حداقل بر روی محیط زیست توجه بسیاری از صاحبان صنایع رابه خود جلب نموده است.

سالانه حجم بسیار قابل توجهی کاغذ در کشورهای مختلف مخصوصاً در ایالات متحده آمریکا کارائی مفید خود را از دست می دهند. از این حجم بسیار قابل توجه به طور متوسط تنها ۴۵ درصد بازیافت می شوند و بقیه منهدم می شوند. استفاده از این حجم عظیم کاغذ در صنعت بتن علاوه بر پیامدهای بسیار قابل توجهی که در زمینه کاهش هزینه های بتن دارد می تواند به عنوان عاملی در کاهش آلودگی محیط زیست ناشی از سوزاندن کاغذها نیز نقش داشته باشد.

در این مطالعه در مرحله اول برخی از خصوصیات مربوط به بتن های الیافی شامل خصوصیت مکانیکی و هندسی آنها را معرفی می نمائیم. پس از آن نگاهی اجمالی به ادبیات پیشین در حوزه بتن های الیافی و روند تکوین آنها نموده و در نهایت تعدادی از آزمایش های لابراتواری که برای تعیین چگالی بتن های الیافی با بهره گیری از الیاف های مختلف انجام گردیده اند را معرفی می نمائیم. این الیاف های مختلف شامل کاغذ، فولاد، گیاه و الیاف ترکیبی می باشند (شکل ۱).

## ۱-۱ انواع فیبرها

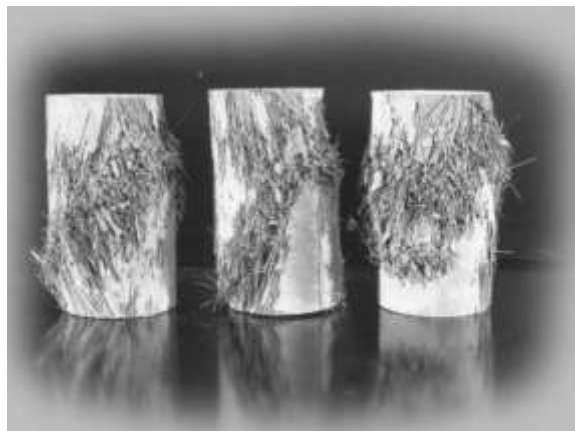
فیبرهای فولادی: مستقیم، مارپیچی، حلقوی و یا انتهایی پهن هستند که قطری بین ۰,۲۵ تا ۰,۷۶ میلیمتر دارند.

فیبرهای شیشه ای: مستقیم هستند و قطر آنها بین ۰,۰۰۵ تا ۰,۰۱۵ میلیمتر می باشد.

فیبرهای آلی و معدنی طبیعی: چوب، آزیست، بامبو، کتان از نمونه هایی از این فیبرها هستند که در طیف وسیعی از اندازه های مختلف در دست هستند.

فیبرهای پلی پروپیلن: مسطح و پیچ خورده با انتهایی دکمه دار. در این میان کولار Kevlar، نایلون، پلی استر با قطری بین ۰,۰۲ تا ۰,۳۸ میلی متر از دیگر انواع فیبرها به شمار می روند.

بهترین پارامتری که می توان با استفاده از آن به توصیف فیبرها پرداخت نسبت مشخصه آن یا  $L/D$  است که به عنوان طول فیبر به روی قطر معادل آن تعریف می شود. نسبت مشخصه معمول فیبرها بین ۳۰ تا ۱۵۰ است.



شکل ۱. بتن الیافی مسلح

## ۲-۱ برخی از خواص FRCها (بتن های الیافی)

اضافه کردن فیبرها به بتن منجر به تاثیر بر روی خصوصیات مکانیکی بتن می شود که این مقدار تاثیر به شکل بسیار زیادی به نوع و درصد فیبرها ارتباط دارد. فیبرها دارای لنگرهای انتهایی و نسبت مشخصه بالا در این میان به نظر تاثیرات بهتری را از خود نشان می دهند. نشان داده شده است که در صورتی که فیبرهایی با طول و قطر یکسان داشته باشیم، فیبری که دارای انتهایی چین خورده است می تواند خصوصیتی مشابه با فیبرهایی مستقیمی داشته باشد که به میزان ۴۰ درصد کمتر در بتن به کار برده شده اند. در تعیین خصوصیات مکانیکی FRCها، از همان ابزارها و تجهیزات آزمایشی استفاده می شود که در مورد بتن در آزمایشگاه استفاده می شود. در زیر به برخی از آنها اشاره شده است:

### ۱-۲-۱ مقاومت فشاری:

حضور فیبرها می تواند منجر به تغییر در حالت شکست استوانه ها گردد اما تاثیر فیبر از نظر بهتر ساختن مقادیر مربوط به مقاومت فشاری بتن بسیار کم است (بین ۰ تا ۱۵ درصد).

### ۲-۲-۱ مدول الاستیسته:

مدول الاستیسته بتن های الیافی با افزایش در مقدار فیبر به میزان کمی افزایش از خود نشان می دهد. اثبات شده است که برای هر یک درصد افزایش در مقدار فیبر به شکل حجمی، افزایشی سه درصدی در مدول الاستیسته را شاهد خواهیم بود.

### ۳-۲-۱ انعطاف:

در ادبیات گزارش داده شده است که مقاومت انعطافی می تواند با حضور الیاف در بتن بین ۲ تا ۴,۵ درصد افزایش داشته باشد.

### ۴-۲-۱ سختی:

سختی برای FRC ها تقریباً بین ۱۰ تا ۴۰ برابر بتن مسطح است.

### ۱-۲-۵ مقاومت کششی:

حضور ۳ درصد حجمی فیبر در بتن منجر به افزایش مقاومت کششی تا ۲,۵ برابر بتن های مسلح می شود.

### ۱-۲-۶ مقاومت خستگی:

اضافه کردن فیبرها منجر به افزایش ۹۰ درصدی مقاومت در برابر خستگی می شود.

### ۱-۲-۷ خوردگی در بتن الیافی:

آزمایش های انجام شده در این زمینه بر روی نمونه ها نشان دهنده هیچگونه تاثیر مخربی خاصی نبوده است.

به طور خلاصه استفاده از الیاف ها در بتن مسلح منجر به افزایش در شکل پذیری، مقاومت کششی، ظرفیت ممان و سختی در این سازه ها می شود. الیاف ها می توانند منجر به بهتر شدن کنترل ترک در سازه ها و حفظ انسجام بیشتر در آنها شوند. همچنین حضور الیاف می تواند منجر به حذف مشخصه های شکست ناگهانی در تیرهای بتنی شود. از بتن های الیافی به طور عمده در گاراژ های هوایمائی، باندهای فرودگاه ها و پیاده روها، استفاده می شود و دلیل آن قابلیت در نظر گرفتن ضخامتی کمتر (تا حدود نصف) برای دال است. این بتن ها در حوزه هایی مانند پایدار کردن شیب ها و تونل ها، سازه های مقاوم در برابر انفجار، لوله ها و یا دیوارهای باریک، سدها و سازه های هیدرولیکی نیز استفاده می شود.

## ۲. سابقه موضوع

انگیزه ساختن مصالح مهندسی نوین ابتدا با توجه به تقاضای بالا برای تکنولوژی و نیازهای اقتصادی می باشد. گذشته از این در دست داشتن مصالح بهتر و خصوصیات مکانیکی تولید شده با بازده بالاتر از دیگر انگیزه های مهم در این زمینه می باشد. انتخاب مصالح برای این اهداف به دسترس پذیر بودن مصالح، فرآیند شکل دهی روی خصوصیات مصالح و هزینه مصالح می باشد (Charles و همکاران، ۱۹۹۷). بتن از مصالحی می باشد که با تغییر و یا بهبودی در خصوصیات اجزاء متشکله جداگانه آن می توان بسیاری از خصوصیاتش را ارتقا بخشید. اساس اجزاء متشکله بتن سیمان سنگدانه و آب می باشد. به تدریج می توان از انواع زیادی از سیمان و مواد قابل جایگزین با آن سازگاری بیشتر به همراه کیفیت بالاتر را حاصل نمود.

از این رو آنچنان که در بالا اشاره شد در چند دهه گذشته، از اشکال فلزی کوتاه، پلی مر، شیشه و الیاف آلی به عنوان تسلیح کننده پیشرفته استفاده شده است (Bentner و mindness، ۱۹۹۰). همانطور که اشاره شد، ایده بکارگیری مصالح سبک در ساخت بتن به سبب دلایل اقتصادی مورد پسند واقع شده است. اگر همزمان با تولید بتن سبک، شکل پذیری و مقاومت کافی نیز 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.

علاوه بر سبک شدن سازه، کاهش انرژی یا مصرف سوخت در طول بهره برداری از ساختمان ها به عنوان یک ضرورت نیز تامین می شود. لذا تقاضا برای بتن سبک در حال افزایش است (Neville, 1995). اصولاً بتن سبک را به دو نوع طبقه بندی می کنیم: بتن با سنگدانه سبک و بتن اسفنجی (هوادر).

از آنجا که بتن مصالحی ترد دارد، بکارگیری الیافی قوی ملات ماتریس ترد نسبتاً ضعیف (در کشش) شکل پذیری ماتریس آنرا افزایش می دهد. وقتی که بتن سبک در معرض بارهای خمشی در حال افزایشی باشد، ترک خوردگی در ناحیه کشش ناشی از تغییر شکل را در آن شاهد خواهیم بود. در بتن الیافی تا زمانی که الیاف پاره گردند، این ترک خوردگی به تعویق می افتد.

الیاف می توانند فلزی، پلی مری یا طبیعی باشند الیاف فلزی دارای مقاومت و مدول بالایی می باشند و 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. اساساً الیاف را بکار می گیرند تا مشخصات بتن سبک را بهبود ببخشید. به سبب خصوصیات ضعیف مواد سبک ساز (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 کنند.

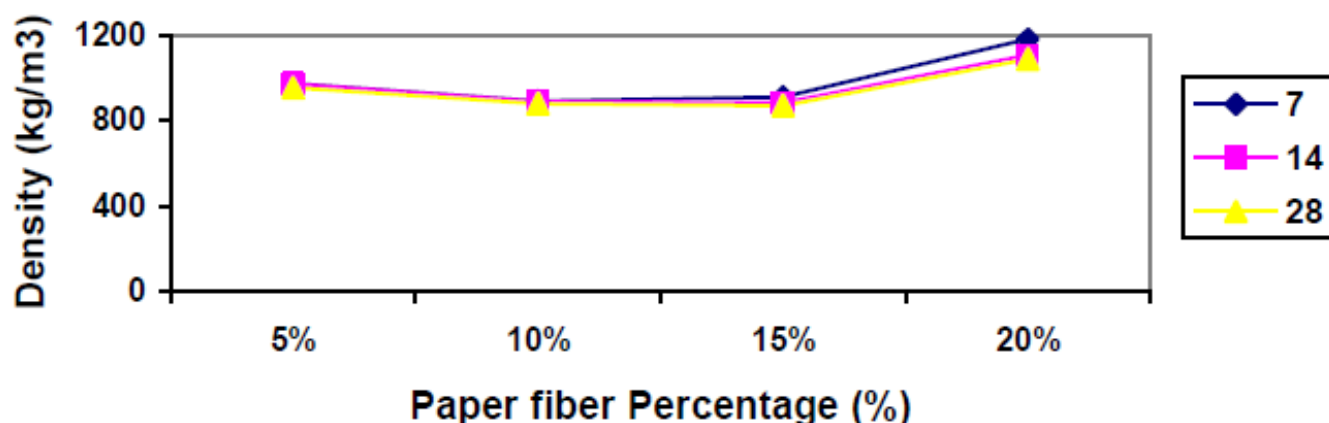
Balaguru , Rjmakirishna (1987) بتن سبک وزنی با محتوی هوا و بکارگیری الیاف فولادی کوتاه و ماسه به جای سنگدانه را بررسی کردند. نتایج اولیه شان سختی بتن سبک الیافی را در حدودی نظیر سختی بتن الیافی معمولی نشان می داد. بتن الیافی معمولی در مقایسه با بتن الیافی سبک مقاومت خمشی کمتری دارد. باقرزاده و همکاران (2012) برای اضافه کردن خصوصیات مقاومتی بتن های سبک سیمانی از الیاف های پلی پروپیلن استفاده نمودند. آنها الیاف های مورد نظر خود را در دو اندازه مختلف 6 و 12 میلی متری (طول) به کار بردند. آنها نتیجه گیری نمودند که افزایش این ترکیبات به ترکیب بتن علاوه بر سبک سازی آن منجر به افزایش در خصوصیات فیزیکی و مکانیکی آن گردید.

Awang و همکاران (2012) به ارزیابی خصوصیات مکانیکی و دوام پذیری بتن اضافه نمودن الیاف فولادی پرداختند. آنها در مطالعه آزمایشی خود به این نتیجه رسیدند که اضافه سازی الیاف های فولادی در ساختار بتن می تواند علاوه بر سبک سازی سازه منجر به افزایش در خصوصیات مکانیکی آن مانند مقاومت خمشی و کششی و انعطاف گردد. Fadila و همکاران (2008) از الیاف کاغذی برای ساخت بتن مصرفی در دیوار استفاده نمودند. آنها این مطالعه را به شکل آزمایشی انجام دادند و در نهایت به این نتیجه رسیدند که مقاومت بتن های الیافی کاغذی PFRFC نسبت به بتن های معمولی بدون فیبر کاغذ در سیستم های دیوار بهتر می باشد. این بتن ها علاوه بر سبکی و خصوصیات مکانیکی بهتر، در جذب صدا نیز کارکرد بهتری از خود نشان دادند. چگالی آنها از بتن های معمولی بسیار کمتر است و در دامنه 800 تا 900 کیلوگرم بر متر مکعب قرار دارد.

### ۳. الیاف کاغذی در بتن

فرض کنید که برای ساخت بتن الیاف کاغذی از سیمان پرتلند معمولی نوع یک ASTM استفاده نمائیم. برای ساخت بتن از ماسه رودخانه ای با حداکثر قط ۵ میلیمتر و نسبت سیمان به ماسه برابر با یک به یک و نیم استفاده می نمائیم. نسبت آب به سیمان نیز ۰,۴۵ می باشد. اسلامپ نمونه طراحی شده را بین ۱۵ تا ۲۰ سانتی متر تنظیم می نمائیم. مکعبی برای نمونه گیری با ابعاد ۱۰۰\*۱۰۰\*۱۰۰ میلیمتر را در نظر داشته و الیاف های کاغذی را در نسبت های حجمی مختلف به نمونه اضافه می نمائیم. نمونه های ایجاد شده تا روز آزمایش در فضای باز نگهداری و کیورینگ بر روی آنها انجام شد. نتایج بدست آمده از نظر چگالی بر اساس استاندارد انگلیس BS 5669 در شکل زیر نشان داده شده اند:

نتایج نشان دهنده این هستند که افزایش در میزان الیاف های کاغذی منجر به سبک شدن بیشتر بتن می شود. این روند تا زمانی ادامه دارد که چگالی PFRFC ۲۰ درصد داشته باشیم و در این حالت وزن بتن افزایش یافت. این موقعیت می تواند تحت تاثیر میزان آب جذب شده با الیاف های کاغذی در درصدهای بالا باشد (شکل ۲). با افزایش درصد فیبرهای کاغذی از یک حد به بعد، آب جذب شده در نمونه ها خشک نشده و منجر به بدست آمدن نمونه هایی با چگالی بالا و در نتیجه سنگین تر می گردد.



شکل ۲. درصد الیاف های بکار برده شده در ساختار بتن و تاثیر آن بر روی وزن نمونه ها

### ۴. الیاف گیاهی در بتن

در آزمایشی دیگر از سیمان پرتلند معمولی نوع ۱ استفاده شد. در جدول ۱ خصوصیات شیمیائی و ساختار سیمان استفاده شده ارائه شده است. دانه بندی بتن های تولید شده شامل ماسه طبیعی، با حداکثر اندازه ۵ میلیمتر بودند. در این میان از تکه های آجر با وزن سبک نیز به عنوان جایگزین نمودن آن به جای ماسه استفاده شد. دانه بندی درشت دانه با حداکثر اندازه ۲۰ میلی متر برای نمونه ها به کار برده شد و در مورد برخی از آنها از خورده های آجر نیز استفاده شد (جدول ۲). الیاف بدست آمده از برگ های گیاه خرما نیز به نمونه ها اضافه شد تا بتنی الیافی داشته باشیم. مشخصه های این الیاف در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۱. خصوصیات شیمیائی سیمان پرتلند معمولی

| Constituent                    | Component of OPC (%) |
|--------------------------------|----------------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 21.31                |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 5.89                 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2.67                 |
| CaO                            | 62.2                 |
| MgO                            | 3.62                 |
| SO <sub>3</sub>                | 2.6                  |
| Loss of ignition               | 1.59                 |
| Insoluble residue              | 0.24                 |
| Free CaO                       | 1.74                 |
| L.S.F.                         | 0.88                 |
| C <sub>3</sub> S               | 33.37                |
| C <sub>2</sub> S               | 35.92                |
| C <sub>3</sub> A               | 11.09                |
| C <sub>4</sub> AF              | 8.12                 |

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی مواد افزوده شده

| Aggregate Type                   | Absorption % | Specific gravity |
|----------------------------------|--------------|------------------|
| Sand                             | 2.1          | 2.62             |
| Fine lightweight crushed brick   | 18.2         | 2.0              |
| Coarse lightweight crushed brick | 15.4         | 1.8              |

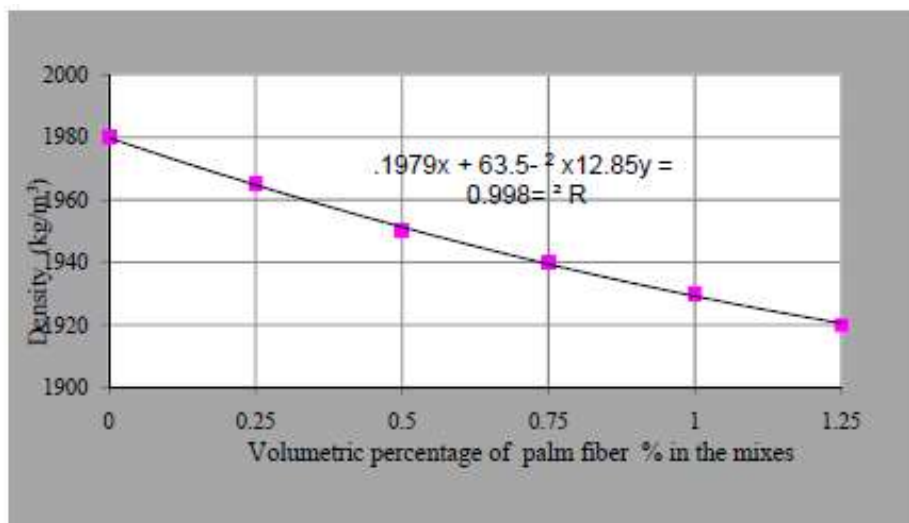
جدول ۳. مشخصات الیاف گیاه خرما

| Fiber Properties             | Quantity |
|------------------------------|----------|
| Average fiber length,(mm)    | 30       |
| Average fiber width ,(mm)    | 0.021    |
| Tensile strength(MPa)        | 21.2     |
| Elongation at break (%)      | 0.04     |
| Specific gravity             | 2.14     |
| Water absorption %, 24/48hrs | 0.6      |

#### ۴-۱ نسبت های میکس:

مخلوط بتن بر اساس روش حجم مطلق که توسط موسسه بتن آمریکا ارائه شده است ترکیب شد. میزان بتن در ترکیب ۳۶۰ کیلوگرم در هر متر مکعب و نسبت آب به سیمان ۰,۴۵ انتخاب شدند. در این میان الیاف درخت نخل با نسبت های حجمی مختلف در ترکیب به کار برده شد تا نقش آن در زمینه سبک سازی بتن بررسی شود. سه مکعب یا اندازه های ۱۰۰\*۱۰۰\*۱۰۰ میلی متر برای هر یک از ترکیبات و به منظور آزمایش چگالی به کار برده شدند. چگالی در این آزمایش با استفاده از روش ASTM C642 تعیین شد. نمونه های مکعبی به مدت ۲۴ ساعت و در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد در قالب نگهداری شدند. بعد از در آوردن نمونه ها از قالب، نمونه ها در شرایط کیورینگ با نگهداری شدند تا آنکه زمان

تست بر روی آنها فرا رسد. جدول زیر نشان دهنده نتایج بدست آمده از نظر چگالی نمونه های ساخته شده به روش فوق است. همانطور که در بخش قبلی نیز ذکر شد، کاهش در میزان وزن نمونه ها در اثر اضافه سازی الیاف های درخت نخل مشاهده گردید. نقش الیاف های درخت نخل بر روی کاهش در میزان وزن نمونه های بتنی در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳. درصد حجمی گیاه خرما در برابر وزن نمونه ها

در جدول ۴ نتیجه آزمایش های دیگر انجام شده علاوه بر تعیین وزن نمونه ها ارائه شده است. از این خصوصیات مکانیکی می توان به مواردی مانند مقاومت فشاری، کششی، مدول الاستیسیته و در نهایت سختی اشاره داشت. در این جدول اندیس های CF0 تا CF5 به ترتیب به میزان اضافه سازی الیاف های درخت نخل از مقدار صفر تا ۱,۲۵ درصد اشاره دارد.

### ۵. استفاده ترکیبی از مواد سبک ساز در بتن

Wang و Li (۲۰۰۳) در آزمایشی دیگر چهار ماده مختلف برای سبک سازی بتن به نام های حباب شیشه شماره S38، و S60 به همراه حباب های توخالی میکرو MHK و ماسه های پرلیت گسترده مورد ارزیابی قرار داده شدند. حباب های شیشه و MHK دارای اندازه های متوسط زیر ۱۰۰ میکرون بودند در حالی ماسه پرلیت دارای اندازه متوسط بالاتر تا ۱,۵ میلیمتر نیز بود. در جدول ۴ خصوصیات هر یک از نمونه های اضافه شده به بتن برای سبک سازی آن ارائه شده است.



جدول ۴. خصوصیات نمونه های سبک وزن

|  | Density<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Size Distribution<br>(μm) | Mean Size<br>(μm) |
|--|---------------------------------|---------------------------|-------------------|
| Glass Bubble S38                       | 380                             | 10-80                     | 40                |
| Glass Bubble S60                       | 600                             | 10-60                     | 30                |
| Micro-hollow-bubble MHK <sup>(1)</sup> | 16.7                            | 40-120                    | 80                |
| Expanded perlite                       | 1400                            | 500-2000                  | 1500              |

(1) Polyvinylidenechloride-acrylonitril polymer

این محققین در مطالعه خود از PVA REC15 که به طور خاص برای بتن های سبک طراحی شده است نیز به میزان دو درصد حجمی در نمونه های خود استفاده نمودند. خصوصیات این نوع الیاف بتنی نیز در جدول ۵ ارائه شده است:

جدول ۵. خصوصیات فیبر REC 15 PVA

| Nominal Strength (MPa) | Apparent Strength (MPa) | Diameter (μm) | Length (mm) | Modulus of Elasticity (GPa) |
|------------------------|-------------------------|---------------|-------------|-----------------------------|
| 1620                   | 1092                    | 39            | 12          | 42.8                        |

آنها علاوه بر موارد اصلی ذکر شده برای داشتن بتن هایی با وزن سبک تر از دیگر مواد افزودنی در نمونه ها استفاده نمودند. از این مواد می توان به سیلیکای ریز، OPC نوع یک و HMPC اشاره داشت که عامل ویسکوز کننده از جنس متیل سلولز هیدروکسی پروپیلن است. جدول ۶ ترکیبات به کار برده شده برای ساخت این بتن را نشان می دهد. همانگونه که از این جدول قابل مشاهده است، ترکیبات ساخته شده با توجه به درصد ترکیب هر یک از مواد ۱۵ نوع ترکیب می باشند که مطالعه آزمایشی آنها بر روی وزن و چگالی به همراه مقاومت کششی و فشاری بر روی این نمونه ها انجام شده است.

جدول ۶. خصوصیات ترکیبی مواد سبک وزن

| Mix No. | Cement | Water | Sand               | Lightweight aggregates | HPMC   | SP    | Fiber by volume |
|---------|--------|-------|--------------------|------------------------|--------|-------|-----------------|
| 1       | 1      | 0.45  | 1.0                | S38 0.05               | 0.0015 | 0.030 | 0.02            |
| 2       | 1      | 0.47  | 1.0                | S38 0.10               | 0.0015 | 0.030 | 0.02            |
| 3       | 1      | 0.47  | 1.0                | S38 0.20               | 0.0015 | 0.030 | 0.02            |
| 4       | 1      | 0.45  | 0.6                | S60 0.40               | 0.0015 | 0.035 | 0.02            |
| 5       | 1      | 0.48  | 1.0                | S60 0.20               | 0.0015 | 0.040 | 0.02            |
| 6       | 1      | 0.45  | 0                  | S60 0.20               | 0.0015 | 0.030 | 0.02            |
| 7       | 1      | 0.60  | 0                  | S60 0.50               | 0.0015 | 0.040 | 0.02            |
| 8       | 1      | 0.75  | 0                  | S38 0.50               | 0.0015 | 0.040 | 0.02            |
| 9       | 1      | 0.45  | 1.0                | AE 0.02 <sup>(1)</sup> | 0.0010 | 0.020 | 0.02            |
| 10      | 1      | 0.45  | 1.0                | AE 0.04 <sup>(1)</sup> | 0.0010 | 0.020 | 0.02            |
| 11      | 1      | 0.45  | 1.0                | AE 0.06 <sup>(1)</sup> | 0.0010 | 0.020 | 0.02            |
| 12      | 1      | 0.54  | 1.0                | AE 0.06 <sup>(1)</sup> | 0.0010 | 0.020 | 0.02            |
| 13      | 1      | 0.45  | 1.0                | MHK 0.05               | 0.0010 | 0.030 | 0.02            |
| 14      | 1      | 0.45  | 1.0                | MHK 0.10               | 0.0010 | 0.020 | 0.02            |
| 15      | 1      | 0.50  | 0.6 <sup>(2)</sup> | S38 0.15               | 0.0015 | 0.030 | 0.02            |

نتایج بدست آمده نشان داد که اگر چه با بکار گیری حباب شیشه ای در برخی نمونه ها چگالی کمتر شده است و در نتیجه ساخت سازه با این ترکیب منجر به سبک وزن شدن نهایی آن می شود، با این حال مقاومت کششی مخصوصا مقاومت در برابر اولین ترک در سازه تغییرات کمی داشته اند. در این جدول می توان شاهد کاهش مقاومت فشاری با کمتر شدن چگالی بود اما در چگالی ۱,۴۶ گرم بر سانتی متر مکعب می توان شاهد بالا بودن مقاومت فشاری (۳۹,۲ مگاپاسکال) بود که این مقاومت حتی از بتن های معمولی نیز بیشتر است. جدول ۷ نتایج بدست آمده در این آزمایش برای ۱۵ نمونه ترکیب شده را نشان می دهد:

جدول ۷. خواص بتن های سبک وزن ساخته شده

| Mix No. | Density (g/cm <sup>3</sup> ) | Tensile first cracking strength (MPa) | Tensile ultimate strength (MPa) | Tensile strain capacity (%) | Compressive strength (MPa) |
|---------|------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| 1       | 1.78                         | 3.28                                  | 4.25                            | 3.68                        | 46.4                       |
| 2       | 1.61                         | 3.20                                  | 3.94                            | 3.62                        | 42.3                       |
| 3       | 1.46                         | 3.12                                  | 4.02                            | 3.71                        | 39.2                       |
| 4       | 1.42                         | 2.95                                  | 3.80                            | 3.71                        | 36.7                       |
| 5       | 1.67                         | 3.90                                  | 4.56                            | 3.42                        | 43.2                       |
| 6       | 1.45                         | 2.74                                  | 4.31                            | 4.24                        | 41.7                       |
| 7       | 1.10                         | 2.18                                  | 3.17                            | 3.41                        | 26.2                       |
| 8       | 0.93                         | 2.01                                  | 2.85                            | 3.70                        | 21.8                       |
| 9       | 1.80                         | 2.66                                  | 3.27                            | 1.40                        | 28.7                       |
| 10      | 1.48                         | 2.60                                  | 3.34                            | 1.39                        | 22.4                       |
| 11      | 1.38                         | 2.42                                  | 2.89                            | 2.37                        | 18.3                       |
| 12      | 1.22                         | 1.93                                  | 2.38                            | 1.26                        | 14.2                       |
| 13      | 1.78                         | 3.12                                  | 3.73                            | 1.63                        | 28.4                       |
| 14      | 1.36                         | 1.64                                  | 1.91                            | 1.49                        | 11.8                       |
| 15      | 1.47                         | 3.11                                  | 3.50                            | 0.35                        | 39.0                       |

## ۶. نتیجه گیری:

استفاده از افزودنی های بتن باعث بهبود خواص مطلوب بتن، همچون مقاومت آن می گردد و در بعضی موارد با کاهش وزن بتن، مصالح بسیار سبکی را فرا راه مهندسین بنا قرار می دهد. از سال ۱۹۶۰ میلادی به بعد نوع جدیدی از بتن های الیافی وارد عرصه صنعتی شد. در این راه بتن های الیافی جدا از هم با توزیع تصادفی به عنوان فاز جدیدی علاوه بر فازهای بتن معمولی به کار گرفته شده است. مقاومت کششی و برشی بتن الیافی نسبت به بتن معمولی بیشتر می باشد. ضخامت نهایی بتن الیافی علاوه بر کفایت در برابر بارهای استاتیکی و دینامیکی ضریب اطمینان بسیار بالایی در اجرا ایجاد می کند. از بتن های الیافی برای پوشش های موقت و کم میلگرد استفاده می کنند. در این صورت از نظر مقاومتی و همچنین مصرف بتن صرفه جویی می شود و همچنین دوام و عمر بتن های الیافی بسیار بیشتر از بتن های معمولی است خصوصاً در سازه های زیرزمینی که در مصرف آب و رطوبت و خوردگی بیشتر قرار دارند اهمیت بالاتری دارد. علاوه بر این موارد بتن های الیافی در برابر بارهای دینامیکی مانند زلزله، و ضربه به دلیل خصوصیات جذب انرژی مناسب، عملکرد بسیار مناسب تری از خودشان نشان می دهند. در نتیجه می توان به بیان خلاصه گفت که

بکارگیری بتن غیر مسلح به علت تردی آن بغیر از سازه‌های وزنی در سایر سازه‌ها کاربرد ندارد. این عیب عمده بتن در عمل با مسلح کردن آن بوسیله میلگردهای فولادی یا آرماتور برطرف می‌گردد. اما از آنجا که آرماتور منحصراً بخش کوچکی از مقطع را تشکیل می‌دهد تصور اینکه مقطع بتن یک مقطع ایزو تروپ و هموزن است چندان صحیح نخواهد بود. به منظور ایجاد شرایط ایزوتروپی و نیز کاهش ضعف شکنندگی و تردی جسم بتن تا حد ممکن در چند دهه اخیر از رشته‌های نازک و نسبتاً دراز که در تمام حجم بتن بطور همگن و درهم پراکنده می‌گردد استفاده می‌شود.

کشف مواد تکنولوژیک جدید در به عنوان الیاف در بتن مبحثی است که توجه محققین بویژه در سال‌های اخیر را به خود جلب نموده است. لذا توصیه می‌شود افراد علاقمند به تحقیق در این حوزه، به بررسی آزمایشی چگالی مواد جدید الیافی برای بدست آوردن بتن‌هایی اقدام نمایند که معیارهای فیزیکی و مکانیکی لازم را تامین نماید.

مراجع

Roohollah Bagherzadeh, Ph.D, Hamid Reza Pakravan, Abdol-Hossein Sadeghi, Masoud Latifi, Ali Akbar Merati, An

Investigation on Adding Polypropylene Fibers to Reinforce Lightweight Cement Composites (LWC). *Journal of Engineered Fibers and Fabrics* 13 <http://www.jeffjournal.org> Volume 7, Issue 4 – 2012.

Hanizam Awang and Muhammad Hafiz Ahmad, The effect of steel fibre inclusion on the mechanical properties and durability of lightweight foam concrete. *Advanced Engineering Informatics. Elixir Adv. Engg. Info.* 48 (2012) 9348-9351.

rahyan fadila<sup>1</sup>, mohd zailan suleiman<sup>2</sup>, and norizal md. noordin, paper fiber reinforced foam concrete wall paneling system. 2nd international conference on built environment in developing countries (icbedc 2008).

Cheng-Hsin C., Huang R., Wu J.K. et al., *Constr. Build. Mater.*, 20, 706–712 (2006).

Harja M., B̃arbut, ̃a M., Rusu L., *J. Appl. Sci.*, 9, 88–96 (2009).

T. U. Ganiron Jr, Recycled Window Glass for Non-Load Bearing Walls, *International Journal of Innovation, Management and Technology*, vol. 3, (2012), pp. 725-730.