اصلاح پلیمری کامپوزیت های بر پایه گل رس تقویت شده با الیاف طبیعی

علیرضا مجرد[×]، حمید رحیمی[×]، سید محمد باقر علوی، نوشین مشفق

تهران، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، گروه کامپوزیت و چسب

صندوق پستی ۱۴۹۶۵/۱۵۵

H.Rahimi@ippi.ac.ir

Alirezamojarrad@yahoo.ca

نهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران

دانشگاه علم و صنعت ایران

۳-۵ آذر ماه ۱۳۸۳

چکیده

در این پژوهش، اصلاح، تقویت و فرآورش سیستم گل رس تقویت شده با پلیمر طبیعی بررسی شد. برای اصلاح خواص فیزیکی و مکانیکی نمونه های بر پایه گل رس از روغن بزرک، رزول و پلیمر طبیعی استفاده شد، پخت نمونه ها توسط مایکروویو انجام گرفت. تست فیزیکی میزان جذب آب، جذب روغن بَزرک، در شرایط مختلف دما و فشار (شرایط محیطی، آون، راکتور) مورد بررسی قرار گرفت. همچنین میزان توزیع طول به قطر الیاف(Aspect Distribution of Ratio)، و آماده سازی آن توسط پلی وینیل استات (چسب چوب) بررسی شد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از روغن بزرک، رزول و موی بز، در خواص فیزیکی و مکانیکی سازه تهیه شده بر پایه گل رس، تاثیر بسزائی دارد، همچنین خواص مکانیکی (مدول خمشی) سیستم گل رس – پلیمر طبیعی – رزول بررسی شد.

کلمات کلیدی: گل رس، الیاف طبیعی، پلی‌ساکارید، روغن بـزرک، پلی وینیل استات، رزول

مقدمه

خشک شدن گل رس باعث ایجاد ترک هائی در ساختار نمونه شده و این هم به نوبه خود حاصل جمع شوندگی کششی و غیر یکنواخت بودن فرآیند خشک شدن و توزیع اندازه ذرات گرانولومتریک خاک و مقدار آب بکار رفته در حین فرآیند تهیه ملات ماتریس می‌باشد[۳]. نمونه های بر پایه گل رس بعد از اعمال بار نهائی، تغییر شکل داده و ترک های ریزی در سطح نمونه ظاهر می‌گردد و سرانجام شکست آنی در سازه اتفاق می‌افتد. بنابراین برای توسعه و بهبود این خواص از الیاف طبیعی استفاده می‌گردد با این عمل ظرفیت بار بری خاک، بطور قابل ملاحظه افزایش می‌یابد. برای ممانعت از ایجاد چنین ترک هایی، از الیاف طبیعی با طول ۵۰ میلیمتر و مقدار بهینه ۴ در صد وزنی در ماتریس گل رس استفاده می‌گردد. در چنین شرایطی الیاف از طریق برقرار کردن پیوند (واندروالسی) از ایجاد چنین ترک ها در ساختار ماتریس ممانعت می‌کند. عوامل اصلی که بر روی چسبندگی بین الیاف تقویت کننده و ماتریس تاثیر عمده‌ای دارند عبارتند از:

۱- نیروهای اصطکاک فشاری که در سطح الیاف بعلت جمع شوندگی ظاهر می‌گردند.

۲- مقاومت برشی خاک رس که به شکل، سطح و ناهمواری الیاف بستگی دارد[۳]. برای بهبود چسبندگی بین خاک رس و الیاف طبیعی از مواد مختلف، از قبیل پلی وینیل استات و قطران ذغال سنگ می‌توان استفاده نمود. جهت آبگریز کردن سطح و همچنین افزایش چسبندگی بین ماتریس و تقویت‌کننده، از قطران ذغال سنگ که نوعی قیر طبیعی می باشد استفاده می‌شود که این ماده از نفتالین و فنانترن سنتز می‌گردد و در ساختار آن بیش از ۷۰ حلقه آروماتیک وجود دارد که الیاف کربن از همین ماده تحت شرایط دمائی بالا تهیه می‌شود. اما در این پژوهش برای بهبود خواص بین الیاف طبیعی (کنف) و ماتریس خاک رس از پلی ونیل استات (چسب چوب) استفاده شد. در این پژوهش از الیاف طبیعی بعلت داشتن خواص ویژه از قبیل زیست تخریب پذیر بودن، دانسیته پایین، مقاومت سایش بالا، خواص مکانیکی بالا و قیمت پایین، استفاده شده است. طبیعت آبدوستی مشکل اصلی تمام الیاف سلولوزی، که به عنوان تقویت کننده پلاستیک ها مورد استفاده قرار می‌گیرند می‌باشد. مقدار رطوبت الیاف طبیعی وابسته به مقدار قسمت های غیرکریستالی و یا مقدار حفرات ریزی که مجموعاً ۱۰ در صد وزنی الیاف را تحت شرایط استاندارد تشکیل می‌دهد می‌باشد. بطور کلی طبیعت آبدوستی الیاف روی خواص های فیزیکی و مکانیکی تاثیر بسزایی دارند که در نهایت تاثیر عمده ای روی خواص کامپوزیت ها خواهد گذاشت. هدف اصلی در این پژوهش، بکارگیری الیاف طبیعی به عنوان تقویت کننده کامپوزیت های بر پایه گل رس – پلیمر در سازه های مهندسی سبک و کارهای زیربنائی به خصوص در مناطقی که روی گسل زلزله قرار گرفته‌اند، می باشد. همچنین بعلت زیست تخریب پذیر بودن این مواد، در سازه های صنعت ساختمان از اهمیت فوق‌العاده ای برخوردار می‌باشد[۲و۱].

تجربی

مواد

در این پژوهش خاک رس تهیه شده از جنوب تهران با ترکیبات (Sio_2، $CaSo_4.2H_2o$ ، $CaCo_3$ ، $(CaHPo_4.2H_2o$)[۱]. روغن بذرک، سریش، موی بز و پلی وینیل استات (چسب چوب) از محصولات موجود در بازار. رزول پایه الکلی از شرکت رزیتان، استفاده شده‌است.

دستگاه ها

آون معمولی مدل JP20 ساخت شرکت ژاپنی برای پخت نمونه ها، از میکسر مدل RZR 2102 ساخت هیدولف آلمان با ۲۰۰۰ دور در ثانیه برای مخلوط کردن نمونه‌ها، دستگاه مایکرویو مدلNN- C2002 ساخت شرکت پاناسونیک ژاپن، راکتور ۵ لیتری ساخت پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، برای مخلوط کردن اجزای آمیزه ازمخلوط‌کن دو غلتکی ساخت آلمان با نام Polymix مدل 200L، دستگاه اینسترون مدل ۶۰۲۵ برای آزمون خمش نمونه ها، استفاده شده‌است.

روشها

قالبگیری

قالبگیری این ترکیبات در فشار ۲ بار، دمای$^{\circ}C$ ۱۵۰ و زمان های متفاوت برحسب نمونه با فرمول بندی خاص، در قالب تفلونی به ابعاد ۱×۲×۱۶۰mm انجام شد.

روش تهیه نمونه ها

در این مرحله با توجه به حجم نمونه و چگالی مواد اولیه مقدار هر ماده با توجه به فرمولبندی ارائه شده در جدول ۱ توزین شد. نمونه های مختلف با درصد های متفاوت از سریش و مطابق جدول ۱ تهیه شد. جذب روغن نمونه های بدست آمده به ابعاد ۱×۲×۱۶۰mm در شرایط مختلف دما و فشار (شرایط محیطی، آون، راکتور پنج لیتری) با فرمولبندی مشخص برای هر نمونه بدست آمده‌است.

نمونه های مختلف با درصد های متفاوت از سریش و مطابق جدول ۱ تهیه شد. برای اختلاط مواد هر فرمولبندی، سرعت مخلوط کن روی ۴۰۰rpm و دمای بدنه مخلوط کن در ۲۵ درجه سانتیگراد تنظیم گردید. پخت تمام نمونه ها توسط دستگاه مایکروویو با زمانمبندی خاص برای هر نمونه انجام شد. همچنین تست فیزیکی خواص جذب روغن، در شرایط مختلف دمای و فشار (شرایط محیطی، آون، مایکروویو) بررسی شد. همچنین برای بهبود چسبندگی الیاف موی بز به ماتریس خاک رس، از پلی وینیل استات (چسب چوب) استفاده شد. جهت این کار چند تار از الیاف موی بز بطور جداگانه برداشته شد و با پلی وینیل استات آغشته گردید سپس در شرایط مختلف دمایی خشک شد.

جدول ۱ – نمونه های مختلف بر پایه خاک رس با ترکیب درصد متفاوت سریش و رزول. C : خاک رس، A: سریش، R: رزول، W: آب

کد نمونه	درصد وزنی سریش	در صد وزنی خاک رس	میزان درصد آب	میزان درصد رزول
C100A5W50	۵	۱۰۰	۵۰	۰
C100A5W60	۵	۱۰۰	۶۰	۰
C100A5W70	۵	۱۰۰	۷۰	۰
C100A5W80	۵	۱۰۰	۸۰	۰
C100A10W60	۱۰	۱۰۰	۶۰	۰
C100A10W70	۱۰	۱۰۰	۷۰	۰
C100A10W80	۱۰	۱۰۰	۸۰	۰
C100A10W90	۱۰	۱۰۰	۹۰	۰
C100A15W70	۱۵	۱۰۰	۷۰	۰
C100A15W80	۱۵	۱۰۰	۸۰	۰
C100A15W90	۱۵	۱۰۰	۹۰	۰
C100A15W100	۱۵	۱۰۰	۱۰۰	۰
C100A20W80	۲۰	۱۰۰	۸۰	۰
C100A20W90	۲۰	۱۰۰	۹۰	۰
C100A20W100	۲۰	۱۰۰	۱۰۰	۰
C100A20W110	۲۰	۱۰۰	۱۱۰	۰
C100A30W100	۳۰	۱۰۰	۱۰۰	۰
C100A40W120	۴۰	۱۰۰	۱۲۰	۰
C100A50W140	۵۰	۱۰۰	۱۴۰	۰
C100A5W50R(A)	۵	۱۰۰	۵۰	۵
C100A10W60R(A)	۱۰	۱۰۰	۶۰	۵
C100A15W70R(A)	۱۵	۱۰۰	۷۰	۵
C100A20W80R(A)	۲۰	۱۰۰	۸۰	۵

نتایج و بحث

خواص فیزیکی

میزان جذب آب و روغن طبیعی نمونه های بر پایه گل رس

در کلیه فرمول بندی ها نتایج میزان جذب آب با اعمال شرایط زمانمبندی نشان می‌دهد که زمان تخریب تمام نمونه های بر پایه ماتریس گل رس در داخل آب به یک میزان می‌باشد[۱].

جدول ۲ – زمان تخریب نمونه های بر پایه ماتریس خاک رس. C: خاک رس W: آب

کد نمونه	زمان تخریب نمونه (دقیقه)
C100W30	۱.۰۸
C100W35	۱.۰۴
C100W40	۱.۰۱
C100W45	۱.۰۱
C100W50	۱.۰۳
C100W55	۱.۰۵

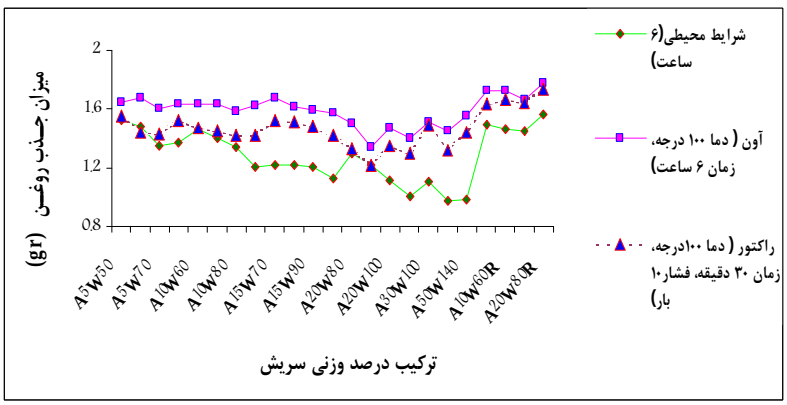
با توجه به پژوهش انجام شده، برای آبگریز کردن نمونه های بر پایه ماتریس گل رس، از روغن بزرک (Linseed oil) در دو شرایط مختلف دمایی، استفاده شده‌است. نتایج حاصل از بررسی های انجام شده نشان می‌دهند که میزان جذب روغن طبیعی نمونه های بر پایه گل رس در شرایط دمایی آون بیشتر از شرایط محیطی است. بنابراین مقدار جذب آب نمونه های داخل آون نسبت به نمونه های قرار گرفته در شرایط محیطی کمتر می‌باشد[۱].

بررسی میزان جذب آب سیستم گل رس – پلیمر طبیعی

نتایج بررسی های انجام شده حاکی از آن است که میزان جذب آب نمونه های بر پایه ماتریس خاک رس، با افزایش درصد وزنی سریش، افزایش چشمگیری داشته‌است [۲].

بررسی میزان جذب روغن طبیعی (بزرک) در سیستم گل رس – پلیمر طبیعی

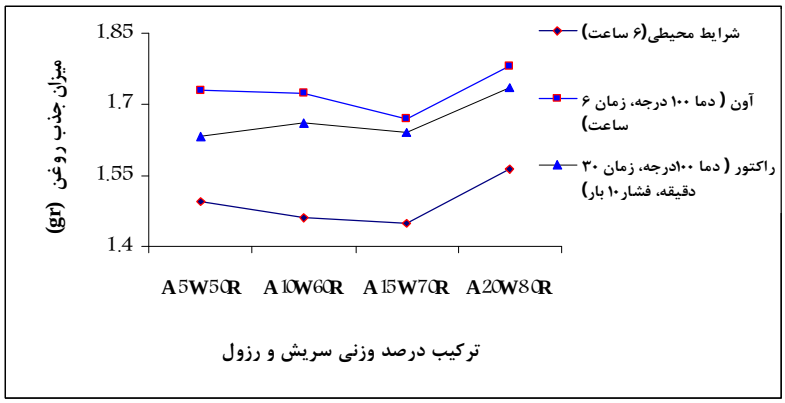
میزان جذب روغن طبیعی نمونه های بر پایه ماتریس گل رس، در شرایط مختلف دما و فشار (شرایط محیطی، آون، راکتور) بررسی شده‌است. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که میزان جذب روغن نمونه های بر پایه گل رس در داخل آون (دما ۱۰۰°C، زمان۶ ساعت)، بیشتر از راکتور (دما ۱۰۰°C، زمان ۳۰ دقیقه، فشار ۱۰ بار) و آن هم بنوبه خود بیشتر از شرایط محیطی (دما ۲۵°C ، زمان ۶ ساعت) می‌باشد. با توجه به نتایج بالا بهترین ترکیب درصد برای میزان جذب روغن، ترکیب درصد با فرمول بندی A10 وA15 می‌باشد. در نمودار شکل ۱ نتایج حاصل نشان داده شده‌است.



شکل ۱ – میزان جذب روغن طبیعی با تغییرات ترکیب درصد سریش، در شرایط مختلف دمایی. A: سریش،W: آب،R : رزول

بررسی میزان جذب روغن طبیعی در سیستم گل رس – پلیمر طبیعی – رزول

نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که افزایش رزین فنولیک (رزول) به سیستم بر پایه گل رس – پلیمر طبیعی باعث کاهش مقدار جذب آب به میزان قابل توجهی می‌شود.

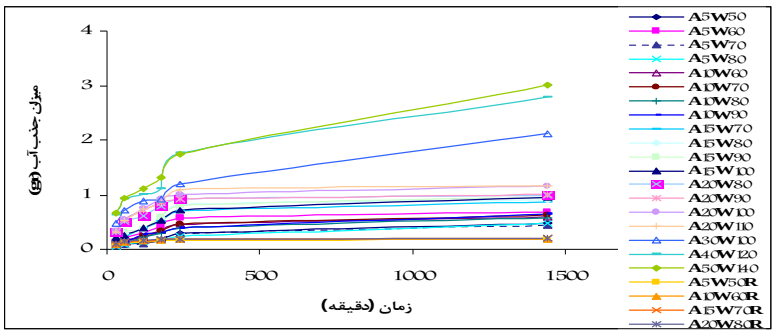


شکل ۲ – منحنی میزان جذب روغن با تغییرات ترکیب درصد وزنی سریش – رزول در شرایط مختلف دما و فشار.

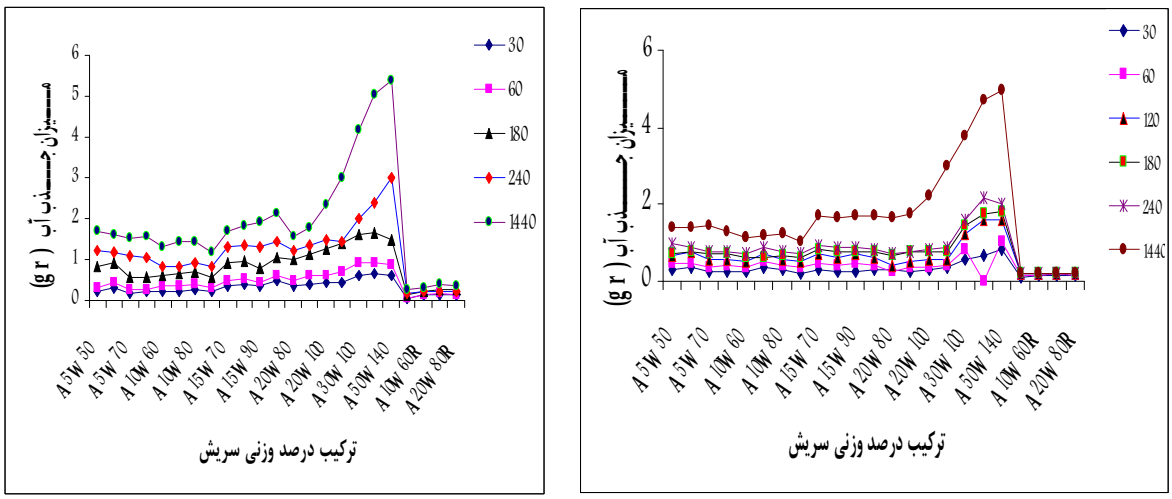
همان طور که از شکل ۲ پیداست میزان جذب روغن بزرک سیستم گل رس – پلیمر طبیعی – رزول در شرایط مختلف دما و فشار (شرایط محیطی، آون، راکتور) در منحنی بالا آمده‌است. با توجه به منحنی شکل ۲ میزان جذب روغن در شرایط دمایی آون بیشتر از راکتور، و آن هم به نوبه خود بیشتر از شرایط محیطی می‌باشد. پس بدین ترتیب نتیجه گیری می‌شود که با افزایش روغن بزرک و رزول به سیستم حاضر میزان جذب آب بطور چشمگیری کاهش پیدا می‌کند.

بررسی میزان جذب آب نمونه های برپایه گل رس روغن جذب کرده

با توجه به اهمیت و کاربرد ماده بدست آمده ضروری است که میزان جذب آب نمونه های بدست آمده از ماتریس گل رس مورد بررسی قرار گیرد که در این قسمت از تحقیق رفتار جذبی آنها مورد آزمون قرار گرفت [۲و۱]. از روی نتایج شکل ۳ مشخص می‌شود که میزان جذب آب نمونه ها با افزایش زمان افزایش پیدا کرده‌است که دلیل این کار بعلت وجود پلی ساکارید در سیستم خاک رس – پلیمر طبیعی می‌باشد که هرچه قدر مقدار پلی ساکارید افزایش یابد متقابلاً میزان جذب آب نمونه به همان میزان افزایش نشان می دهد. پلی ساکارید با توجه به داشتن گروه های OH زیاد در ساختارش با مولکول های آب محیط، براحتی پیوند هیدروژنی تشکیل داده، و با سپری شدن زمان رطوبت زیاد جذب نموده، و در نهایت بطور چشمگیری متورم می‌گردد. در شکل ۳ منحنی میزان درصد جذب آب (گرم) با تغییرات زمان، تا ۲۴۰ دقیقه افزایش نشان داده بعد از آن تقریباً به یک مقدار ثابت می‌رسد.



شکل ۳-پایه خاک رس، با افزایش زمان. C : خاک رس، R : رزول

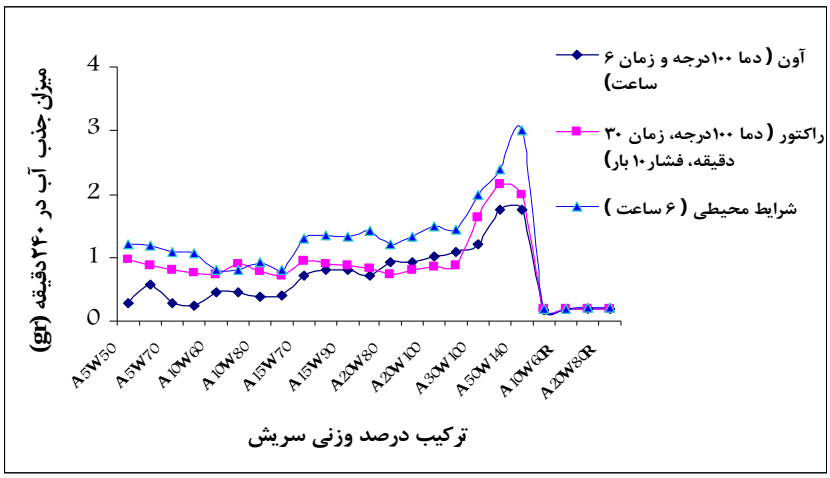


شکل ۴و ۵ – تغییرات میزان درصد جذب آب (گرم) با ترکیب درصد سریش نمونه های روغن جذب کرده (آون، مایکروویو)

از روی منحنی شکل ۴ و ۵ معلوم می‌شود که با افزایش میزان درصد سریش در سیستم خاک رس میزان جذب آب، افزایش پیدا کرده‌است. ترکیب درصد نمونه های بررسی شده در شکل ۴ و ۵ معلوم شده‌است.

مقایسه میزان جذب آب بعد از ۲۴۰ دقیقه در سه شرایط مختلف دمایی

هدف از اجرای این قسمت پژوهش، مقایسه خواص جذب آب نمونه های بر پایه گل رس بعد از ۲۴۰ دقیقه، در شرایط مختلف دمایی (شرایط محیطی، آون، راکتور) می باشد. از روی نتایج حاصل از شکل ۶ ملاحظه می‌شود که هرچه قدر نفوذ روغن به ساختار ماده بدست آمده، زیاد گردد به همان اندازه میزان جذب آب کاهش می‌یابد. که این عملیات در منحنی شکل ۶ اثبات شده‌است. یعنی میزان جذب آب بعد از ۲۴۰ دقیقه برای نمونه روغن جذب کرده در داخل آون (با دمای ۱۰۰°C ، زمان ۶ ساعت) بیشتر از دو شرایط دیگر است.

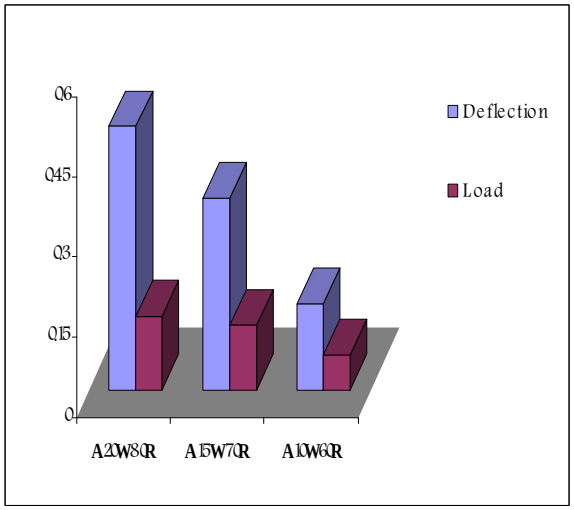


شکل ۶ – خواص جذب آب در ۲۴۰ دقیقه برای ترکیب درصدهای مختلف سریش در سه شرایط متفاوت.

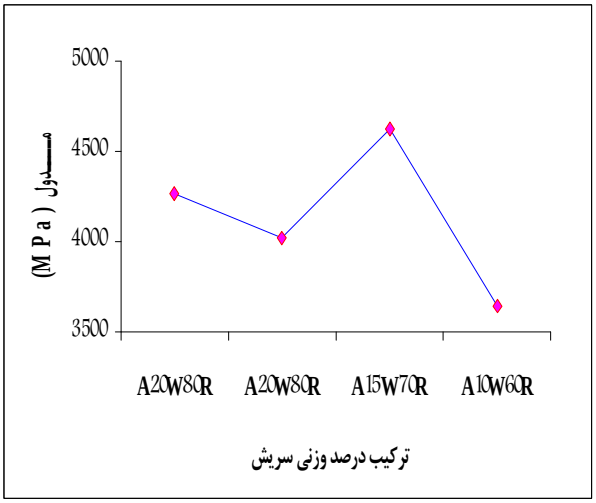
خواص مکانیکی

آزمون خمش

برای بررسی اثر افزایش رزین فنولی (رزول) بر خواص آمیزه های گل رس – پلیمر طبیعی، مقدار گل رس و رزول با توجه به فرمول بندی ارائه شده در بالا ثابت بوده و فقط میزان درصد پلیمر طبیعی تغییر کرده‌است. همانطور که شکل ۷ نشان می‌دهد، میزان درصد پلیمر طبیعی در این آمیزه ها از ۵ تا ۵۰phr (۵ تا ۲۵ درصد وزنی) تغییر کرده‌است. نتایج حاصل از تست خمش شکل ۷ نشان می‌دهد که میزان نیرو برحسب خمش از آمیزه A20W80R به A10W60R، در سیستم گل رس – پلیمر طبیعی کاهش پیدا کرده‌است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش پلیمر طبیعی(۵ تا ۲۰ درصد وزنی) به سیستم بر پایه گل رس، مدول افزایش می‌یابد[۲]. نتایج حاصل این پژوهش نشان می‌دهد که با افزایش رزول به سیستم بر پایه گل رس – پلیمر طبیعی با فرمول بندی A20W80R، مدول کاهش پیدا می‌کند. علت این امر بدلیل فومی شدن نمونه بر پایه گل رس، با افزایش درصد وزنی سریش و رزول، می‌باشد در حالیکه در آمیزه های با ترکیب در صد A10W60Rو A15W70R با افزایش رزول مدول افزایش پیدا کرده‌است که این امر ناشی از بهبود خواص مکانیکی نمونه توسط رزول و پلیمر طبیعی می‌باشد که نتایج در منحنی شکل ۷ و ۸ آمده‌است.



شکل ۷ – میزان نیرو (KN) بر حسب خمش.

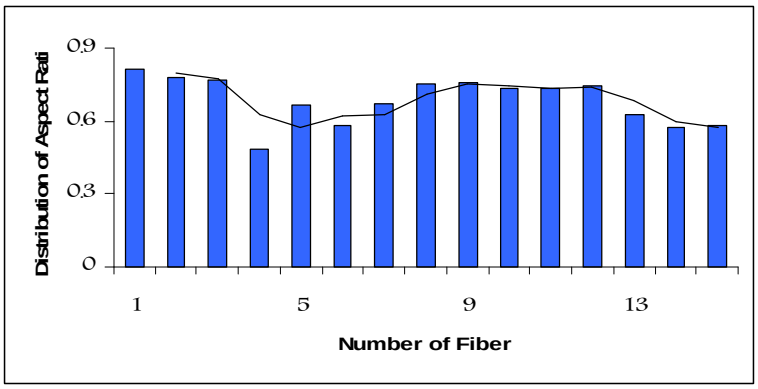


شکل ۸ – مدول بر حسب ترکیب درصد وزنی سریش و رزول.
A: سریش، R: رزول

بررسی آماده سازی الیاف تقویت کننده ماتریس گل رس – پلیمر طبیعی

تعیین میزان طول به قطر الیاف طبیعی (موی بز)

برای بررسی روند تغییرات میزان توزیع طول به قطر الیاف از دستگاه میکروسکوپ نوری استفاده شد که منحنی توزیع در شکل ۹ آمده‌است.



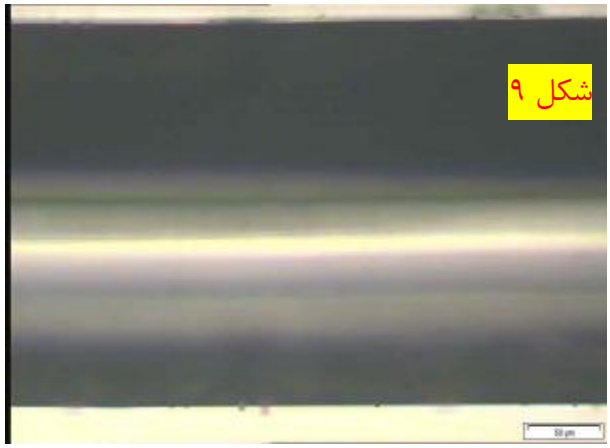
شکل ۹ – اندازگیری توریع طول به قطر الیاف موی بز به طول ۵ سانتیمتر.

نتیجه اندازگیری توزیع Aspect Ratio الیاف طبیعی (موی بز)، به طول ۵ سانتیمتر و قطرهای متفاوت در شکل بالا نشان داده شده‌است.

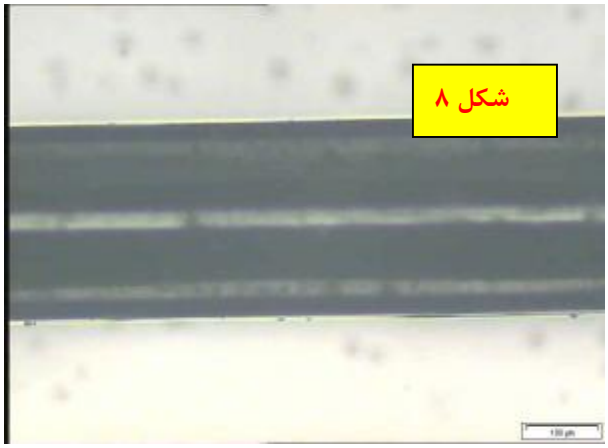
آماده سازی سطحی موی بز توسط پلی وینیل استات (چسب چوب)

هدف از این قسمت کار پژوهشی، بررسی ساختار الیاف طبیعی (موی بز)، و آماده سازی آن جهت بهبود خواص مکانیکی(میزان ترک خوردگی، استحکام کششی، استحکام خمشی) نمونه های بر پایه ماتریس گل

رس – پلیمر طبیعی می‌باشد. برای بهبود چسبندگی الیاف موی بز، به ماتریس خاک رس از پلی وینیل استات (چسب چوب) استفاده شد.

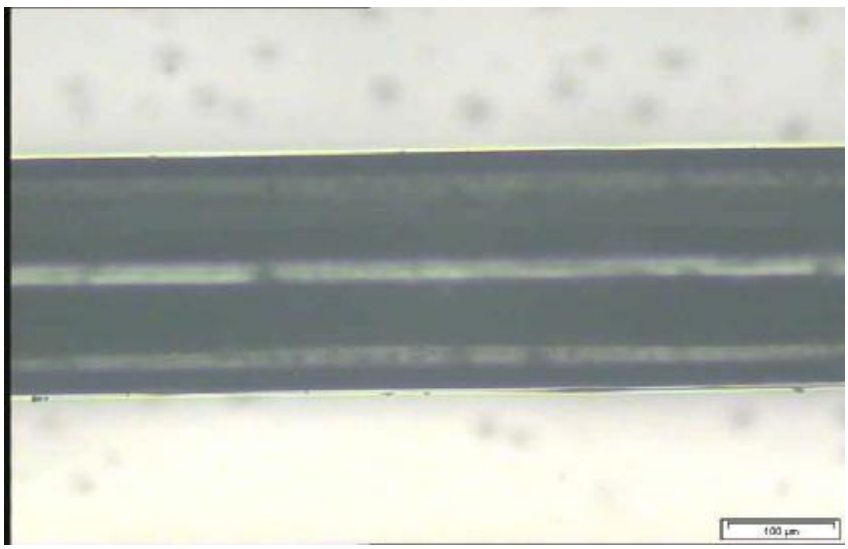


شکل ۹ – موی بز آماده سازی شده با پلی وینیل استات (چسب چوب) دردمای محیط

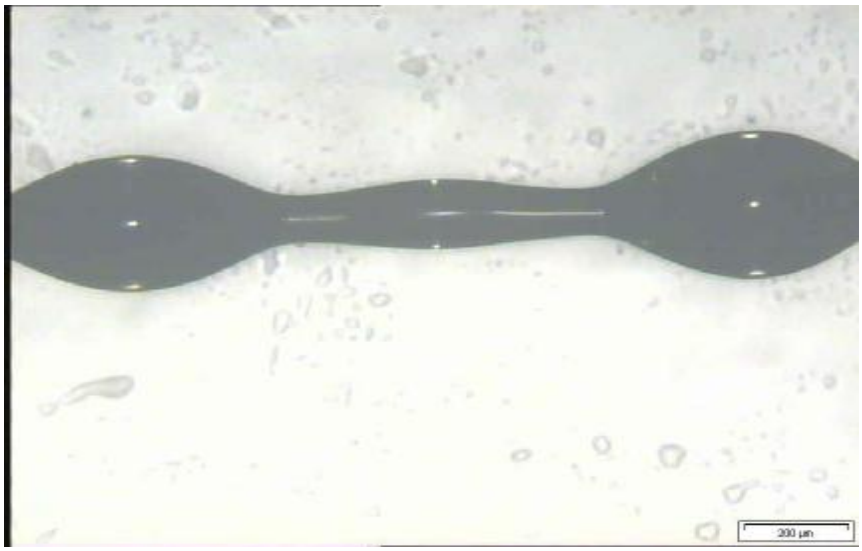


شکل ۸ – ساختار موی بز آماده سازی نشده

نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که آماده سازی موی بز با چسب چوب در دمای محیط به خوبی انجام گرفته است همان طور که در شکل ۹ مشخص است، در نتیجه آماده سازی با محلول پلی وینیل استات (چسب چوب)، زوایای تماس کاهش یافته که این هم بدلیل افزایش نسبی در میزان قابلیت ترشدن زیرآیند، و یا به عبارتی افزایش چسبندگی آن است. دلیل این امر را می توان به وجود گروه های قطبی روی سطح الیاف نسبت داد.



شکل ۱۰ – ناحیه ای از موی بز آماده سازی شده با پلی وینیل استات (چسب چوب) در داخل مایکروویو



شکل ۱۱- ناحیه ای از موی بز آماده سازی شده با رزول پایه الکلی

از شکل ۱۱ معلوم می‌گردد که آماده سازی موی بز با رزول پایه الکلی بخوبی انجام نمی‌گیرد.
در این پژوهش چسب چوب، به عنوان حدواسط بین ماتریس و الیاف طبیعی استفاده شد. بدین ترتیب، می‌توان بطور کلی نتیجه گیری کرد که استفاده از موی بز اصلاح سطحی شده با چسب چوب(پلی وینیل استات) به عنوان تقویت کننده، خواص مکانیکی نمونه های بر پایه ماتریس خاک رس را بنحو مطلوبی افزایش می‌دهد.

نتیجه گیری

از نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت.

- میزان جذب روغن نمونه های بر پایه گل رس در شرایط دمایی آون (دما ۱۰۰°C، زمان۶ ساعت)، بیشتر از راکتور (دما ۱۰۰°C، زمان ۳۰ دقیقه، فشار ۱۰ بار) و آن هم بنوبه خود بیشتر از شرایط محیطی (دما ۲۵ °C، زمان ۶ ساعت)، می باشد.
- افزایش رزین فنولیک (رزول) به سیستم بر پایه گل رس – پلیمر طبیعی باعث کاهش مقدار جذب آب به میزان قابل توجهی می‌شود.
- هرچه قدر نفوذ روغن به ساختار ماده بدست آمده، زیاد گردد به همان اندازه میزان جذب آب کاهش می‌یابد.
- میزان درصد جذب آب (گرم) در نمونه های روغن جذب کرده با تغییرات زمان تا ۲۴۰ دقیقه افزایش نشان داده بعد از آن تقریباً به یک مقدار ثابت می‌رسد.
- میزان نیرو برحسب خمش از آمیزه A20W80R به A10W60R، سیستم گل رس – پلیمر طبیعی کاهش پیدا کرده‌است. علت این امر بدلیل فومی شدن نمونه بر پایه گل رس با افزایش درصد سریش و رزول، می‌باشد.

- با افزایش رزول به سیستم گل رس – پلیمر طبیعی با فرمول بندی A20W80R، مدول کاهش پیدا می‌کند. در حالیکه در آمیزه های با ترکیب در صد A10W60R و A15W70R با افزایش رزول، مدول افزایش پیدا کرده‌است.
- آماده سازی موی بز با چسب چوب در دمای محیط به خوبی انجام گرفته‌است. در نتیجه آماده سازی با محلول پلی وینیل استات (چسب چوب)، زوایای تماس کاهش یافته که این هم بدلیل افزایش نسبی در میزان قابلیت ترشدن زیرآیند، و یا به عبارتی افزایش چسبندگی آن است. دلیل این امر را می‌توان به وجود گروه های قطبی روی سطح الیاف نسبت داد.
- آماده سازی موی بز با رزول پایه الکلی بخوبی انجام نمی‌گیرد.
- استفاده از موی بز اصلاح سطحی شده، با چسب چوب(پلی وینیل استات) بعنوان تقویت کننده، خواص مکانیکی نمونه های بر پایه ماتریس خاک رس را بنحو مطلوبی افزایش می‌دهد.

منابع و مراجع

۱. علیرضا مجرد، حمید رحیمی، سید محمد باقر علوی، بررسی خواص فیزیکی گل رس اصلاح شده با روغن بزرک(Linseed oil)، نهمین کنگره مهندسی شیمی ایران، سال نهم، تیر (۱۳۸۳).

۲. علیرضا مجرد، حمید رحیمی، سید محمد باقر علوی، اصلاح خواص فیزیکی و مکانیکی سیستم های بر پایه گل رس با پلیمر طبیعی(Asphodel)، نهمین کنگره مهندسی شیمی ایران، سال نهم، تیر(۱۳۸۳).

3. K. Ghavami, R. D. Toledo Filho, N. P. Barbosa, “Behavior of Composite Soil reinforced with Natural fibers”, Cement and Concrete Composite; 21: 39-48, (1999).

4. B. G. Lee, James S. Han and et al., “Oil Sorption by Lignocellulosic Fiber”, Composite Structures.

5. M. Wollerdorfer, H. Bader, “Influence of natural fiber on the mechanical properties of biodegradable polymers”, Industrial Crops and Production; 8: 105-1, (1998).

6. M.S. Sreekala, S Thomas, “Effect of fiber surface modification on water- sorption characteristics of oil palm fibers”, Composite Science and Technology; 63: 861-869, (2003).

7. . A. Valadez-Gonzaliz, J. M. Cervantes-Uc, “Chemical modification of henequen fibers with an organosilane coupling agent”, Composites: Part B; 30: 321-331, (1999).