

# بررسی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی چند سازه هیبریدی پلی اتیلن سنگین / آرد چوب / نانو سیلیس

کاظم فیضی دولت آبادی<sup>1</sup>، سید محمد جواد سپیده دم<sup>2</sup>، امیر نوربخش<sup>3</sup>، وحیدرضا صفدری<sup>4</sup>

تاریخ دریافت: 92/3/5 تاریخ پذیرش: 92/6/15

## چکیده

در این تحقیق تأثیر پرکننده معدنی (نانوسیلیس) و پرکننده سلولزی (آردچوب راش) بر خصوصیات فیزیکی و مکانیکی چندسازه چوب پلاستیک مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور، نمونه‌های آزمون با استفاده از اختلاط آردچوب در سه سطح 30، 40 و 50% و نانو سیلیس در سه سطح 0، 3 و 6% و همچنین 2% انیدرید مالئیک پیوند یافته با پلی اتیلن به عنوان جفت کننده، بوسیله فرآیند قالب گیری تزریقی تهیه گردید. پس از ساخت نمونه‌های آزمون، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی شامل خصوصیات خمشی، خصوصیات کششی، مقاومت به ضربه، سختی، جذب آب و واکنشیدگی ضخامت بررسی شدند. نتایج حاصل از آزمون‌های مکانیکی نشان داد که با افزایش نانو سیلیس، مدول خمشی، مدول کششی و سختی افزایش و مقاومت کششی و مقاومت به ضربه کاهش یافت همچنین مقاومت خمشی چندسازه نیز تا سطح 3% نانو سیلیس افزایش یافت. با افزایش درصد آردچوب، مقاومت‌های خمشی و کششی، مدول خمشی و کششی و سختی چندسازه‌ها افزایش یافت. همچنین مقاومت به ضربه چندسازه چوب پلاستیک با افزودن آردچوب تا سطح 40% افزایش و پس از آن کاهش یافت. نتایج حاصل از آزمون‌های فیزیکی نشان داد که با افزایش درصد نانو سیلیس تا سطح 3% از میزان جذب آب و واکنشیدگی ضخامت 24 ساعته کاسته شد. با افزایش درصد آرد چوب، جذب آب 2 و 24 ساعته و واکنشیدگی ضخامت 24 ساعته افزایش یافت.

**واژه‌های کلیدی:** چندسازه چوب پلاستیک، نانو سیلیس، آردچوب، خواص مکانیکی، خواص فیزیکی

---

1- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و صنایع چوب و کاغذ دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، نویسنده مسوول

[k\\_dowlatabadi@yahoo.com](mailto:k_dowlatabadi@yahoo.com)

2- استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

3- عضو هیأت علمی موسسه تحقیقات جنگل ها و مراتع

4- استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

## مقدمه

باتوجه به کمبود شدید چوب در کشور، چند سازه چوب پلاستیک می‌تواند جایگزین مناسبی برای چوب باشد. در ساخت چندسازه چوب-پلاستیک محدوده وسیعی از پلیمرها مانند پلی-اتیلن، پلی‌پروپیلن، پلی‌وینیل‌کلراید، پلی‌استر و غیره همراه با پرکننده‌های سلولزی شامل آرد چوب، کتان، کنف، بامبو، کاه، کلش و سایر مواد لیگنوسلولزی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این میان با توجه به کمبود منابع سلولزی می‌توان ماده سومی را نیز به چندسازه‌های چوب پلاستیک اضافه نمود. این ماده می‌تواند یک ماده معدنی باشد. همچنین امروزه با ورود فناوری نانو در عرصه علم مواد، پلیمرهای تقویت‌شده با فاز نانو مورد توجه جوامع علمی و صنعتی قرار گرفته است. از دیدگاه صنعتی، آنچه باعث جلب توجه بسیاری از صنایع به این موضوع شده، بهبود چشمگیر خواص پلیمرها است. از این‌رو نانوکامپوزیت‌ها در واقع طبقه جدیدی از کامپوزیت‌های پلیمری را تشکیل می‌دهند که در ساختار آنها ذرات با ابعاد نانو مورد استفاده قرار می‌گیرد که از جمله این نانوذرات می‌توان به نانوسیلیس<sup>1</sup>، نانورس<sup>2</sup> و نانوکربن‌ها اشاره کرد که به‌علت ابعاد خاص و ضریب ظاهری بالا در مقایسه با سایر پرکننده‌ها، در مقادیر بسیار اندک موجب بهبود خواص کامپوزیت‌های پلیمری می‌گردند[11]. به‌همین دلیل در این تحقیق از سیلیس در ابعاد نانو به‌عنوان یک ماده معدنی در

ترکیب چندسازه چوب پلاستیک استفاده شد که مصرف مقادیر اندکی از آن سبب افزایش مدول، مقاومت و سختی، بهبود ثبات ابعاد، کاهش جذب آب، مقاومت در برابر اشتعال، مقاومت به سایش و بهبود کیفیت سطح می‌گردد.

هان و همکاران<sup>3</sup> (2008) تأثیر استفاده از نانوکلی و ماده سازگارکننده را بر ویژگی‌های مکانیکی و حرارتی کامپوزیت‌های حاصل از الیاف بامبو- پلی‌اتیلن سنگین را مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعات آنها نشان داد که به هنگام افزودن 1% نانورس، مدول خمشی و مدول کششی افزایش یافت، درحالی‌که مقاومت به ضربه نمونه‌ها کاهش یافت[4]. تورنگ جیت پورنکل و همکاران<sup>4</sup> (2007)، خصوصیات مکانیکی و ریخت‌شناسی چندسازه آردچوب و PVC<sup>5</sup> تقویت شده با الیاف سیلیس را مورد بررسی قرار دادند. آنها بیان نمودند که مدول خمشی و کششی چند سازه‌های آردچوب/PVC با افزایش مقادیر الیاف سیلیس افزایش می‌یابد[12]. لی و همکاران<sup>6</sup> (2007)، تأثیر نانوکلی را بر خصوصیات مکانیکی و فیزیکی چندسازه کاج و HDPE<sup>7</sup> بررسی کردند. آنها بیان نمودند که با افزودن 1% نانوکلی مقاومت و مدول خمشی و کششی افزایش می‌یابد. اما وقتی مقدار آن به 3% می‌رسد، مقادیر فوق‌اندکی کاسته می‌شود. همچنین مقاومت به ضربه با افزودن 1% نانوکلی 5/7% کاسته می‌شود اما وقتی میزان نانوکلی از

<sup>3</sup> - Han et al

<sup>4</sup> - Turngjitpornknkull et al

<sup>5</sup> - Polyvinyl Chloride

<sup>6</sup> - Lei et al

<sup>7</sup> - High Density Polyethylene

<sup>1</sup> - Nano Silica

<sup>2</sup> - Nano Clay

پتروشیمی تبریز تهیه شد. همچنین در این تحقیق از آرد چوب راش با دانه‌بندی بین 40 و 60 مش<sup>2</sup> به عنوان پرکننده سلولزی در ترکیب چندسازه استفاده گردید. در این تحقیق از نانوسیلیس به عنوان پرکننده معدنی استفاده شد که دارای درجه خلوص 99/9%، جرم ویژه  $2/2 \text{ g/cm}^3$  و سختی  $6/5 \mu$  بوده و از شرکت دگوسا<sup>3</sup> آلمان تهیه شد. از پلی‌اتیلن پیوندیافته با انیدرید مالئیک (MAPE) به عنوان عامل جفت‌کننده در این تحقیق استفاده شد. این عامل جفت‌کننده تحت عنوان Karabond E2LM ساخت شرکت کرانگین<sup>4</sup> می‌باشد. شاخص جریان مذاب آن  $61 \text{ g/10min}$ ، میزان دانسیته آن  $0/91 \text{ g/cm}^3$  و میزان انیدرید مالئیک آن در حدود 6% است.

### آماده سازی مواد اولیه

ابتدا چوب راش پوست کنی و به پوشال تبدیل شد، سپس توسط آسیاب کوچک آزمایشگاهی، آرد چوب تهیه گردید. برای به-دست آوردن آردچوب‌های با دانه‌بندی بین 40 و 60 مش از الک آزمایشگاهی استفاده شد. همچنین جهت تهیه نمونه‌های آزمونی، رطوبت آرد چوب را در دمای  $103 \pm 2$  درجه سانتی‌گراد (به مدت 24 ساعت)، توسط دستگاه اتوو به زیر 2 درصد رسید، سپس آردچوب‌ها را به منظور عدم تبادل رطوبت با محیط، در کیسه‌های نایلونی قرار داده شد.

1% به 3% افزایش می‌یابد، این روند کاهش بیشتری پیدا نمی‌کند [6]. وو و همکاران<sup>1</sup> (2007) دریافتند که با اضافه نمودن تنها 2% پرکننده ذرات نانورس به نانوکامپوزیت حاصل از آردچوب کاج و HDPE، مقاومت خمشی از 19/6% به 24% و مقاومت کششی از 11/8% به 13% افزایش می‌یابد. در صورتی که مقدار جذب آب و واکنشیدگی ضخامت به میزان 5-7% کاهش می‌یابد [13]. مرادپور (1387)، در یک بررسی اثر پرکننده معدنی دولومیت را بر خواص کاربردی چندسازه چوب راش/HDPE مورد آزمایش قرار داد. طبق مشاهدات، با افزایش ماده معدنی تا سطح 30% در ساختار چند سازه، مقاومت خمشی و کششی کاهش، سختی افزایش و جذب آب و واکنشیدگی ضخامت کاهش می‌یابند [3].

همچنین اهداف این تحقیق به شرح زیر می‌باشد:

- 1- تعیین مناسب‌ترین سطح استفاده از نانوسیلیس و آردچوب جهت دستیابی به خواص مکانیکی و فیزیکی مناسب.
- 2- بررسی بهبود ثبات ابعاد چندسازه چوب-پلاستیک هنگام استفاده از نانوسیلیس در ترکیب چندسازه.
- 3- بررسی افزایش سختی هنگام استفاده از نانوسیلیس در ترکیب چندسازه.

### مواد و روش‌ها

پلیمر مصرفی در این تحقیق، پلی‌اتیلن (HDPE) با دانسیته  $0/95 \text{ g/cm}^3$  و شاخص جریان مذاب  $6 \text{ g/10min}$  بود که از مجتمع

<sup>2</sup>- Mesh

<sup>3</sup>- Degussa

<sup>4</sup>- Karangin

<sup>1</sup>- Wu et al

هرچه بهتر نتایج و برای بدست آوردن نمونه‌های شاهد، مواد حاصل با نسبت‌های مشخص شده در جدول 2 به صورت خشک با یکدیگر ترکیب شدند.

برای بدست آوردن تیمارهای مورد نظر، مواد حاصل بر اساس درصد وزنی و با نسبت‌های مشخص شده در جدول 1، به صورت خشک با یکدیگر مخلوط شدند. همچنین به منظور بررسی

جدول 1- اجزای تشکیل دهنده ترکیبات مختلف بر اساس درصد وزنی

شماره تیمار	%MAPE	%HDPE	آردچوب% %	نانوسیلیس%
1	2	68	30	0
2	2	65	30	3
3	2	62	30	6
4	2	58	40	0
5	2	55	40	3
6	2	52	40	6
7	2	48	50	0
8	2	45	50	3
9	2	42	50	6

جدول 2- اجزای تشکیل دهنده ترکیبات نمونه شاهد بر اساس درصد وزنی

شماره	%MAPE	%HDPE	آردچوب% %	نانوسیلیس%
1	0	100	0	0
2	2	98	0	0

(اکستروژن) بدین ترتیب بود که دمای ماریچ (اکسترودر از منطقه تغذیه تا منطقه خروجی به ترتیب 140، 145، 150، 150، 155 و 160 درجه سانتی‌گراد و دور موتور (سرعت ماردون) RPM 80 در نظر گرفته شد. مواد خروجی از دستگاه مخلوط کن، توسط دستگاه آسیاب نیمه صنعتی ساخت شرکت ویزر<sup>2</sup> به صورت گرانول درآمد.

## ترکیب مواد اولیه

### الف) فرآیند اختلاط (اکستروژن) و گرانول سازی:

به منظور مخلوط نمودن مواد چندسازه از دستگاه مخلوط‌کن اکسترودر دوماردون (دوماریچ) ناهمسوگرد، ساخت شرکت کولین<sup>1</sup> آلمان استفاده گردید. شرایط فرآیند اختلاط

2-Wieser, Type WG-LS 200/200

<sup>1</sup>- Dr. Collin , Type GMBH , D-8017 Ebersberg

گیری جذب آب و واکنشیدگی ضخامت، نمونه‌ها بعد از 2 و 24 ساعت از آب برداشته شدند، سطح آنها به وسیله دستمال کاغذی خشک و مقدار وزن و ضخامت آنها مجدداً اندازه گیری شد. در نهایت درصد جذب آب و واکنشیدگی ضخامت با استفاده از روابط زیر به دست آمد.

$$\text{WA}(t) = \frac{W_t - W_0}{W_0} \times 100 \quad \text{رابطه 1:}$$

WA(t) = جذب آب در زمان غوطه‌وری t (%)

$W_t$  = وزن نمونه‌ها در زمان غوطه‌وری t (g)

$W_0$  = وزن نمونه‌ها در حالت خشک (g)

$$\text{TS}(t) = \frac{T_t - T_0}{T_0} \times 100 \quad \text{رابطه 2:}$$

TS(t) = واکنشیدگی ضخامت در زمان غوطه‌وری t (%)

$T_t$  = ضخامت نمونه‌ها در زمان غوطه‌وری t (mm)

$T_0$  = ضخامت نمونه‌ها در حالت خشک (mm)

در این تحقیق کلیه تیمارها با 3 تکرار، مورد آزمون قرار گرفت. بررسی آماری با استفاده از آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام و مقایسه میانگین‌های مربوط به هر فاکتور، بر اساس آزمون دانکن صورت پذیرفت.

3- بررسی ریخت‌شناسی: ریخت‌شناسی چندسازه به وسیله عکسبرداری با میکروسکوپ الکترونی پویشی (SEM)<sup>3</sup> مورد مطالعه قرار گرفت. بدین منظور از نیتروژن مایع (°C -196) تولید شده توسط دستگاه مولد نیتروژن، برای تهیه نمونه‌های شکست استفاده گردید. سپس برای رسانا کردن نمونه‌ها، سطح آنها با لایه نازکی از طلا<sup>4</sup> پوشش داده شد.

## تهیه نمونه های آزمونی

ساخت نمونه‌های آزمونی، توسط دستگاه اکسترودر تک‌مادون مجهز به سیستم قالب‌گیری فشاری (دستگاه تزریق) صورت پذیرفت. دمای سیلندر تزریق به ترتیب 160، 170 و 180 درجه سانتیگراد، دمای قالب 50 درجه سانتیگراد و فشار تزریق 110 Bar در نظر گرفته شد.

## اندازه‌گیری خواص مکانیکی، فیزیکی و ریخت‌شناسی

1- خواص مکانیکی: آزمون خمش سه‌نقطه‌ای طبق استاندارد ASTM-D790 و همچنین آزمون کشش طبق استاندارد ASTM-D638 توسط دستگاه اینسترون<sup>1</sup> مدل 4486 با سرعت بارگذاری 5 mm/min در دمای محیط انجام شد. آزمون مقاومت به ضربه فاقدار به روش آیزود<sup>2</sup> مطابق با استاندارد ASTM-D256 و توسط دستگاه آزمون ضربه دیجیتالی ساخت شرکت سنتام در دمای محیط انجام شد. آزمون سختی به روش Shore D مطابق با استاندارد ASTM-D2240 و توسط دستگاه سختی سنج، ساخت شرکت سنتام در دمای محیط انجام شد.

2- خواص فیزیکی: در رابطه با آزمون جذب آب و واکنشیدگی ضخامت ابتدا سه نمونه از هر تیمار انتخاب و به مدت 24 ساعت، در دمای  $2 \pm 103$  درجه سانتیگراد در اتوو خشک شدند. وزن و ضخامت نمونه‌های خشک شده به ترتیب با ترازوی دیجیتالی با دقت 0/0001g و میکرومتر با دقت 0/01mm اندازه گیری و در آب مقطر (در دمای محیط) قرار داده شدند. برای اندازه-

1- Scanning Electron Microscope

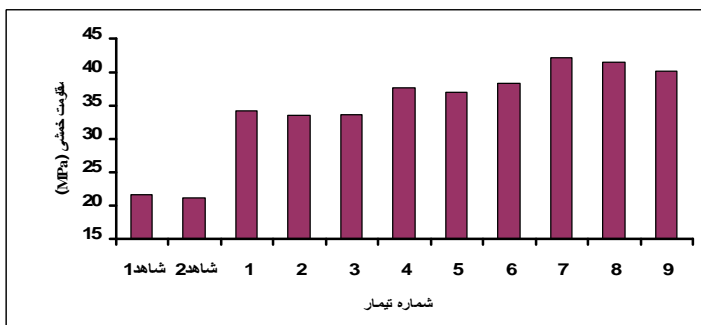
4- Gold Coating

1- Instron

2- Izod

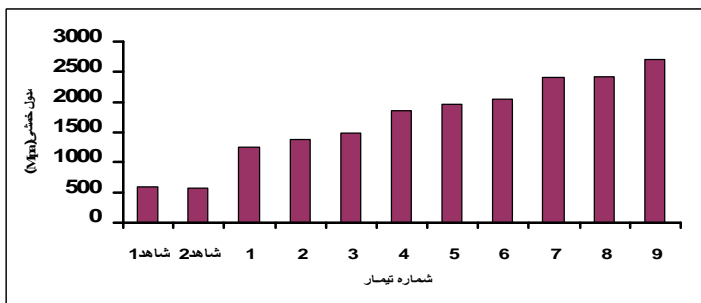
## نتایج

## ۱- خصوصیات مکانیکی (خمش، کشش، ضربه و سختی)



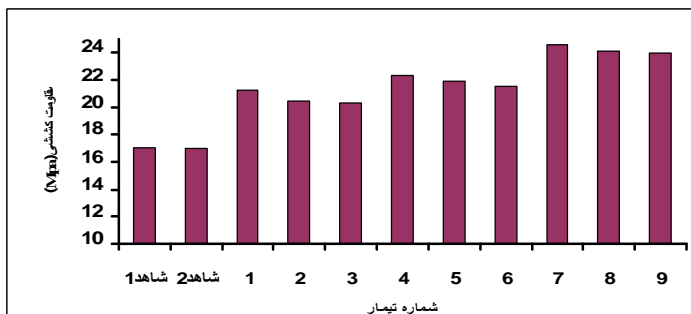
شکل ۱- مقاومت خمشی چندسازه‌های چوب پلاستیک

با توجه به شکل ۱ نتایج نشان می‌دهد، مقاومت خمشی چندسازه با افزودن پرکننده سلولزی (آردچوب) افزایش می‌یابد ولی با افزودن پرکننده معدنی (نانوسیلیس) روند مشخصی را نشان نداده است.



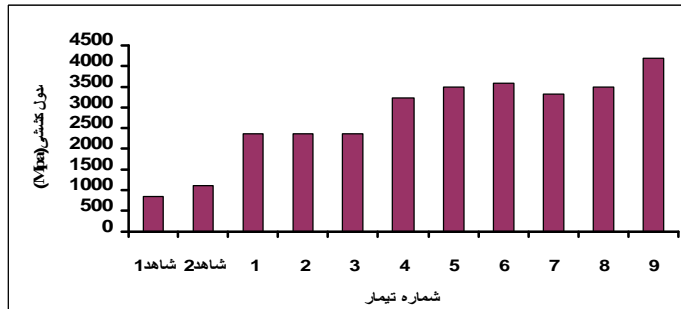
شکل ۲- مدول خمشی چندسازه‌های چوب پلاستیک

با توجه به شکل ۲ نتایج نشان می‌دهد، مدول خمشی چندسازه با افزایش پرکننده سلولزی (آردچوب) و پرکننده معدنی (نانوسیلیس) افزایش یافته است.



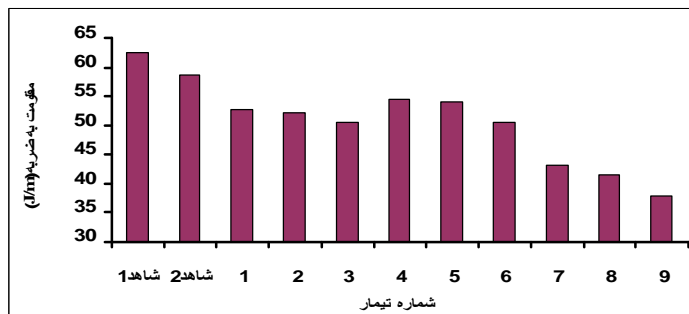
شکل ۳- مقاومت کششی چندسازه‌های چوب پلاستیک

با توجه به شکل 3 نتایج نشان می‌دهد، مقاومت کششی چندسازه با افزایش پرکننده سلولزی (آردچوب) افزایش اما با افزایش پرکننده معدنی (نانوسیلیس) کاهش می‌یابد.



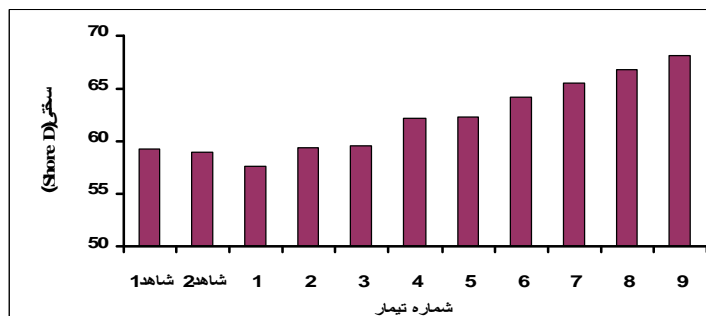
شکل 4- مدول کششی چندسازه‌های چوب پلاستیک

با توجه به شکل 4 نتایج نشان می‌دهد، مدول کششی چندسازه با افزودن پرکننده سلولزی (آردچوب) و پرکننده معدنی (نانوسیلیس) افزایش می‌یابد.



شکل 5- مقاومت به ضربه چندسازه‌های چوب پلاستیک

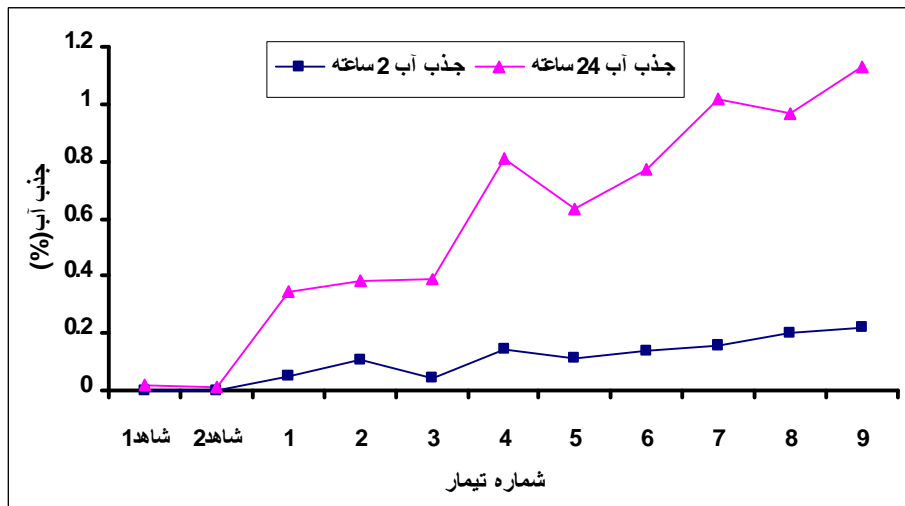
با توجه به شکل 5 نتایج نشان می‌دهد، مقاومت به ضربه چندسازه با افزودن پرکننده سلولزی (آردچوب) تا سطح 40%، افزایش اما با بیشتر شدن پرکننده سلولزی کاهش می‌یابد. همچنین مقاومت به ضربه چندسازه با افزایش پرکننده معدنی (نانوسیلیس) کاهش یافته است.



شکل 6- سختی چندسازه‌های چوب پلاستیک

با توجه به شکل 6 نتایج نشان می‌دهد، به- سلولزی (آردچوب) و پرکننده معدنی (نانو طورکلی سختی چندسازه با افزودن پرکننده سیلیس) افزایش یافته است.

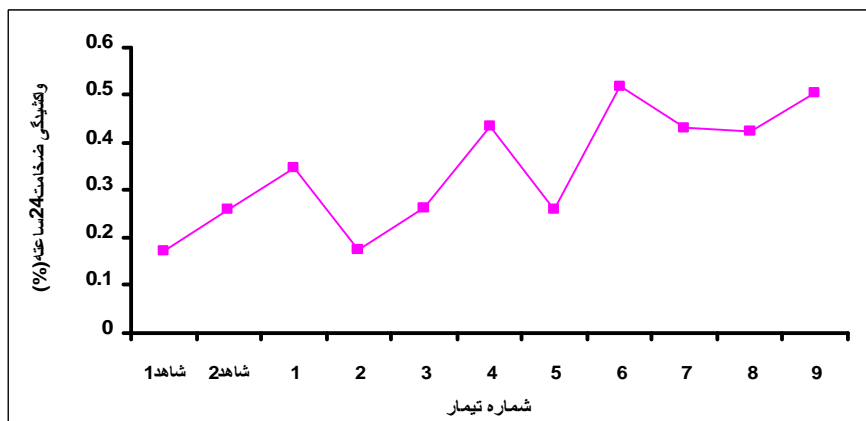
## 2- خصوصیات فیزیکی (جذب آب و واكشیدگی ضخامت)



شکل 7- جذب آب 2 و 24 ساعته چندسازه‌های چوب پلاستیک

میزان جذب آب 24 ساعته کاسته سپس با افزایش بیشتر پرکننده معدنی (تا سطح 6%) بر میزان آن افزوده می‌شود. جذب آب 2 ساعته با افزایش پرکننده معدنی روند مشخصی را نشان نمی‌دهد.

با توجه به شکل 7 نتایج نشان می‌دهد که با افزایش پرکننده سلولزی (آردچوب)، جذب آب 2 و 24 ساعته افزایش می‌یابد. همچنین با افزودن پرکننده معدنی (نانوسیلیس) ابتدا (تا سطح 3%) از



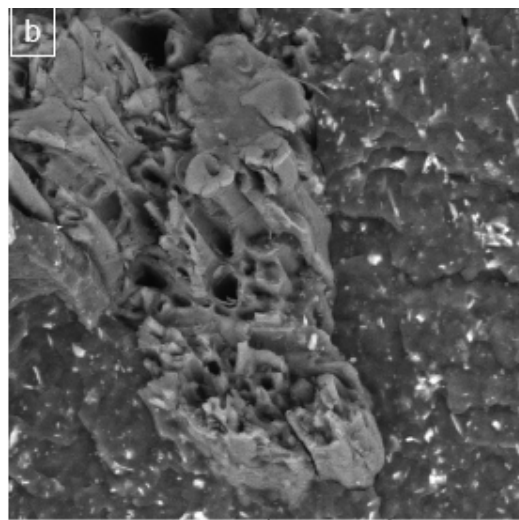
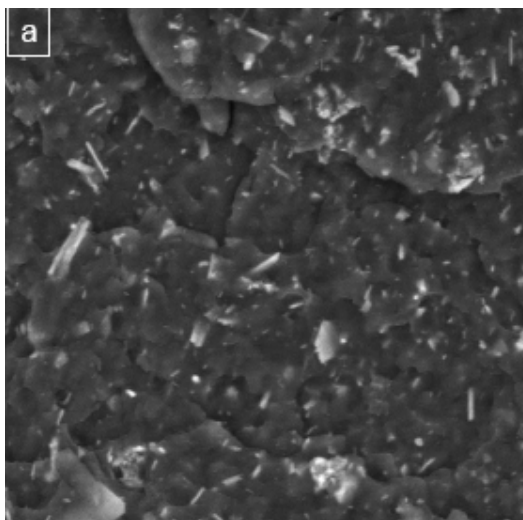
شکل 8- واكشیدگی ضخامت 24 ساعته چندسازه‌های چوب پلاستیک



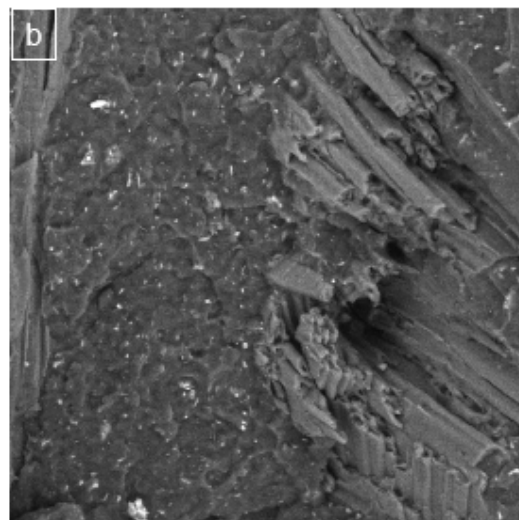
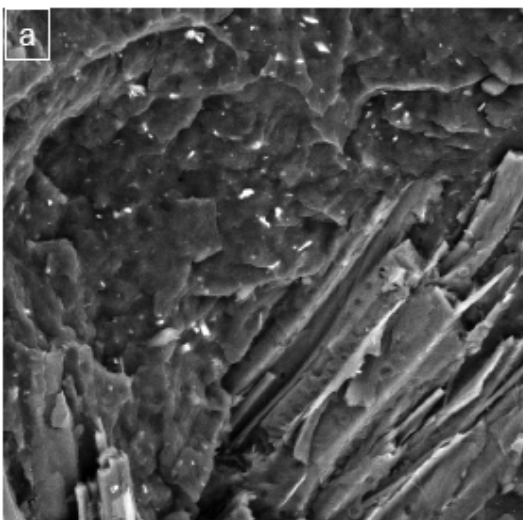
واکسیدگی ضخامت کاهش و سپس روند رو به افزایشی را طی می‌کند. لازم به ذکر است که ضخامت 2 ساعته هیچ تغییری نسبت به ضخامت اولیه نداشته است.

با توجه به شکل 8 نتایج نشان می‌دهد که به-طور کلی با افزایش پرکننده سلولزی (آردچوب)، واکسیدگی ضخامت 24 ساعته افزایش می‌یابد. با افزایش پرکننده معدنی (نانوسیلیس) تا سطح 3%

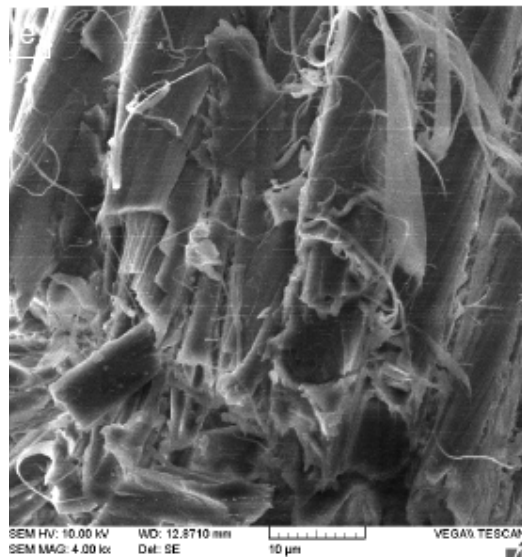
### 3- بررسی ریخت‌شناسی



شکل 9- SEM چند سازه چوب پلاستیک (30% آردچوب، 65% HDPE، 2% MAPE و 3% نانوسیلیس)



شکل 10- SEM چند سازه چوب پلاستیک (40% آردچوب، 55% HDPE، 2% MAPE و 3% نانوسیلیس)



شکل 11- SEM چند سازه چوب پلاستیک (50% آردچوب، 45% HDPE، 2% MAPE و 3% نانوسیلیس)

## بحث و نتیجه گیری

همچنین به دلیل کاهش سطح مشترک بین پلیمر و ذرات آردچوب که با حضور ماده معدنی ایجاد می‌شود، مقاومت خمشی چندسازه کاهش می‌یابد. در این تحقیق نیز با افزایش نانوسیلیس تا سطح 3%، این روند را شاهد بودیم. اما در سطوح بالاتر نانوسیلیس، (سطح 6%) روند مشخصی را مشاهده نکردیم. شاید این موضوع به دلیل سطح مشترک کم بین ذرات نانوسیلیس و ماتریس باشد که سبب ایجاد تخلخل و فضاهای خالی در ماتریس می‌گردد.

2- خصوصیات کششی: عموماً افزودن نانوسیلیس به چندسازه سبب کاهش شکل پذیری و شکننده شدن چندسازه می‌گردد. همچنین با قرار گرفتن ذرات نانوسیلیس در محل اتصال پرکننده سلولزی با پلیمر، علاوه بر کاهش چسبندگی، باعث اختلال در انتقال تنش از پلیمر به آردچوب و ایجاد شکست در محل مذکور در اثر تجمع و تمرکز تنش می‌شود. در نتیجه با افزایش پرکننده معدنی، مقاومت کششی کاهش

1- خصوصیات خمشی: در این تحقیق ملاحظه گردید که استفاده از پرکننده سلولزی در ماتریس چندسازه، سبب افزایش مقاومت خمشی خواهد شد. هان و همکاران (2008) و وو و همکاران (2007) نیز در تحقیقات خود این مطلب را تأیید می‌کنند [4 و 13]. همچنین حضور آردچوب و نانوسیلیس در ماتریس چندسازه به سبب سفتی ذاتی آنها باعث افزایش مدول خمشی چندسازه می‌گردد. به همین دلیل در این تحقیق، با افزودن آردچوب و نانوسیلیس، مدول خمشی چندسازه افزایش پیدا کرده است. ناشتیگال و همکاران<sup>1</sup> (2007) و تورنگ جیت پرنکل و همکاران (2007) نیز مؤید این مطلب می‌باشند [8 و 12]. از سوی دیگر عموماً هنگامی که از ذرات نانو به عنوان پرکننده معدنی در ترکیب چندسازه‌ها استفاده می‌شود، به دلیل تجمع ذرات نانو و ناسازگاری ذرات با ماتریس چندسازه و

<sup>1</sup>- Nachtigall et al

ضربه به دلیل کاهش چقرمگی و افزایش تردی نمونه‌ها، کاهش پیدا می‌کند. این روند را در این تحقیق نیز شاهد بودیم. البته هنگامی که از 40% آردچوب استفاده گردید، افزایش مختصری در مقاومت به ضربه مشاهده شد اما مجدداً با افزایش پرکننده سلولزی دوباره روند رو به کاهش مقاومت به ضربه را شاهد بودیم. ابوالفتحی (1387) نیز در تحقیق خود این مطلب را تأیید می‌کند [1].

4- سختی: به‌طور کلی حضور پرکننده سلولزی در ترکیب چندسازه چوب‌پلاستیک، به دلیل وجود فشردگی الیاف بیشتر و تخلخل کمتر، باعث کاهش چقرمگی می‌گردد لذا سختی چندسازه چوب‌پلاستیک افزایش می‌یابد که این روند در این تحقیق نیز مشاهده شد. تجویدی (1377) نیز در تحقیقات خود به این نتیجه رسید [2]. از سوی دیگر به دلیل سختی طبیعی و دانسیته بالای پرکننده معدنی، به هنگام استفاده از این ماده در ترکیب چندسازه، به سختی آن افزوده می‌شود. سختی ماده معدنی مورد استفاده در این تحقیق  $6/5 \text{ t}$  می‌باشد به همین دلیل در این تحقیق با افزودن نانوسیلیس، سختی چندسازه چوب‌پلاستیک افزایش یافته است. جیانگ و همکاران<sup>4</sup> (2004) و مرادپور (1387) نیز در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند [3 و 5].

5- خصوصیات فیزیکی: مواد پلیمری که در ترکیب چندسازه‌ها استفاده می‌شوند (به سبب خاصیت آب‌گریز بودن آنها)، جذب رطوبت بسیار کمی دارند (0/01 تا 0/001 %). همچنین

می‌یابد. در این تحقیق نیز با افزایش نانوسیلیس، مقاومت کششی کاهش یافت. یانگلی و همکاران<sup>1</sup> (2008) نیز در تحقیق خود به این نتیجه رسیدند [14]. همچنین با افزایش آردچوب، مقاومت کششی چندسازه افزایش یافت. سینگلتون و همکاران<sup>2</sup> (2003) و هان و همکاران (2008) نیز مؤید این مطلب می‌باشند [9 و 4]. همانطور که در بخش خصوصیات خمشی بیان شد، استفاده از پرکننده سلولزی و پرکننده معدنی در ماتریس چندسازه، به سبب سفتی ذاتی آنها، باعث افزایش مدول کششی چندسازه می‌گردد. در نتیجه در این تحقیق نیز با افزودن آردچوب و نانوسیلیس، مدول کششی افزایش یافت. میسرا و لویت<sup>3</sup> (2007) و یانگلی و همکاران (2008) نیز این نتیجه را در تحقیقات خود به دست آوردند [7 و 14].

3- مقاومت به ضربه: مقاومت به ضربه چندسازه چوب‌پلاستیک، سفتی و چقرمگی (ضربه‌پذیری) آن را بیان می‌کند که در حقیقت مرتبط با مقاومت چندسازه در برابر شکسته شدن آن می‌باشد. مقاومت در برابر شکسته شدن آنی چندسازه‌ها به عوامل مختلفی بستگی دارد که بعضی از آنها شامل خصوصیات ماتریس، میزان پراکندگی مؤلفه‌های چندسازه، تجمع و جهت-گیری ذرات پرکننده و مهمترین آنها برهم‌کنش بین ذرات پرکننده و ماتریس چندسازه می‌باشد. اصولاً با افزودن پرکننده سلولزی و پرکننده معدنی به ترکیب چندسازه، میزان مقاومت به

<sup>1</sup> - Young Lee et al

<sup>2</sup> - Singleton et al

<sup>3</sup> - Mishra & Luyt

<sup>4</sup> - Jiang et al

پلاستیک تقویت شده با ذرات، به نوع ماده تقویت کننده، آرایش ذرات و چگونگی اتصال ذرات به فاز پلیمری بستگی دارد [12]. در این تحقیق بررسی ریزساختار چندسازه‌ها بر روی سطوح نمونه‌های شکسته شده در نیتروژن مایع با استفاده از عکسبرداری با میکروسکوپ الکترونی (SEM) نشان داد، در چندسازه‌ها وجود 2% جفت کننده، محیط پیوسته‌ای را نشان می‌دهد که ذرات آردچوب بیرون آمده از متن ماده زمینه پلیمری بر اثر شکست به مراتب کمتر می‌باشد و همواره اتصال ذرات آردچوب با پلیمر اطراف خود نمایان است و اتصال خوب ماده زمینه پلیمری با پرکننده سلولزی در سطوح مشترک آنها کاملاً مشهود است. همچنین ریزنگارها، جهت گیری، پخش و پراکندگی تقویت کننده‌ها را نشان دادند و مشخص شد وجود جفت کننده، انتقال تنش بین ماده زمینه و پرکننده سلولزی و همچنین پخش و پراکندگی تقویت کننده‌ها را در ماده زمینه بهبود می‌بخشد. همچنین بررسی ریخت شناسی نشان می‌دهد، ذرات نانوسیلیس که به شکل نقطه‌های ریز سفیدرنگ در تصاویر نمایان است به خوبی در ماده زمینه پراکنده شده و با پرکردن خلل و فرج باعث بهبود سطوح مشترک دو فاز ماده زمینه و پرکننده سلولزی و همچنین افزایش مدول خمشی و کششی و سختی چندسازه شده است.

پرکننده‌های سلولزی به سبب وجود گروه هیدروکسیل در ساختار شیمیایی خود، آب دوست می‌باشند لذا در حدود 200% و یا بالاتر، رطوبت جذب می‌کنند. در نتیجه با افزایش درصد پرکننده سلولزی در ترکیب چندسازه، به سبب طبیعت آب دوست بودن آن، جذب آب و واکنشیدگی ضخامت چندسازه چوب پلاستیک افزایش می‌یابد. در این تحقیق نیز شاهد چنین روندی بودیم. تجویدی و همکاران (2006) نیز مؤید این مطلب می‌باشند [10]. مواد معدنی به سبب طبیعت آب گریز بودن آنها، جذب رطوبت اندکی دارند لذا با افزایش مواد معدنی در ترکیب چندسازه، جذب آب و واکنشیدگی ضخامت کاهش پیدا می‌کند. در این تحقیق نیز شاهد بودیم که با افزایش نانوسیلیس تا سطح 3%، از میزان جذب آب و واکنشیدگی ضخامت کاسته شده است زیرا نانوسیلیس، خاصیت ناچیز جذب آب در حدود 0/1% داشته و همچنین استفاده از ذرات نانوسیلیس در ترکیب چندسازه به سبب سطح ویژه بالا و ایجاد پیوستگی زیاد در چندسازه، تأثیر زیادی بر خصوصیات فیزیکی چندسازه گذاشته است. اما با افزودن بیشتر نانوسیلیس (تا سطح 6%) عکس این روند را مشاهده کردیم زیرا اثر کاهش ماده پلیمری و افزایش پرکننده سلولزی در افزایش جذب آب و واکنشیدگی ضخامت، بیشتر از اثر ماده معدنی در کاهش این ویژگی‌ها است.

6- بررسی ریخت شناسی: بین خواص مکانیکی و فیزیکی چندسازه و ریزساختار آنها همبستگی نزدیکی وجود دارد. خواص هر

4. Han, G., Lei, Y., Wu, Q., Kojima, Y., & S, Suzuki. 2008. Bamboo- fiber filled high density polyethylene composites; effect of coupling treatment and nanoclay. *Journal of Polymer Environment*, Vol 21, Pages 1567-1582.

5. Jiang, H., Pascal Kamdem, D., Bezubic, B., & P, Ruede. 2004. Mechanical Properties of Poly(Vinyl Chloride) / Wood Flour / Glass Fiber Hybrid Composites. *Journal of Vinyl and Additive Technology*. Volume 9, Issue 3, Pages 138-145.

6. Lei, Y., Wu, Q., Clemons, C.M., Yao, F., & Y, Xu. 2007. Influence of Nanoclay on Property of HDPE/ Wood Composites. *Journal of Applied Polymer Science*.

7. Mishra, A.K., & A.S, Luyt. 2007. Effect of Sol-Gel Derived Nano-Silica and Organic Peroxide on The Thermal and Mechanical Properties of Low-Density Polyethylene/ Wood Flour Composites.

8. Nachtigall, S., Cerveira, G., & S, Rosa. 2007. New Polymeric-Coupling Agent for Polyethylene-Wood-Flour Composites, *Science Direct*, vol : 619-628.

9. Singleton, A.C.N., Bailline, C.A., Beaumont, P.W.R., & T, Peigs. 2003. On the mechanical properties, deformation and fracture of a natural fiber/ recycled. *Polymer Composites. Composites: Part B* 34 519-526.

10. Tajvidi, M., Kazemi Najafi, S., & N, Moteei. 2006. Long-Term Water Uptake Behavior of Natural Fiber-Polypropylene Composite. *Wiley Inter Science*, vol 99, 2199-2203.

11. Tjong, S.C. 2006. Structural and mechanical properties of polymer nanocomposites; A review. *Journal of materials science and engineering*, Vol 53, pages 73-197.

12. Turngjitpornkull, S., Chaochanchaikul, K., & N, Sombatsompop. 2007. Mechanical Characterization E-Chopped Strand Glass Fiber Reinforced Wood/PVC/Composites. *Journal of Thermoplastic Composite Material*.

13. Wu, Q., Lei, Y., Clemons, C.M., Yao, F., XU, Y., & K, Lian. 2007. Properties of HDPE/Clay/Wood Nanocomposites, *Journal of Plastic Technology* 27(2), Pages 108-115.

14. Young Lee, S., Aeh Kang, I., Hyun Doh, G., Gyu Yoon, H., Dae Park, B., & Q, Wu. 2008. Thermal and Mechanical Property of Wood Flour/ Talc-filled Polylactic Acid Composites. Effect of Filler Content and Coupling Treatment. *Journal of Thermoplastic Composite Material*.

## منابع

1. ابوالفتحی، ع. 1387. بررسی اثر افزودن مواد سرامیکی بر خواص فیزیکی و مکانیکی و کیفیت سطح چندسازه‌های الیاف RMP- پلی- پروپیلن و آردچوب- پلی پروپیلن. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.
2. تجویدی، م. 1377. مواد مرکب الیاف سلولزی و پلاستیک. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.
3. مرادپور، پ. 1387. بررسی اثر پرکننده معدنی بر خواص فیزیکی و مکانیکی و کندسوز شدن چندسازه آردچوب راش- پلی اتیلن. پایان- نامه کارشناسی ارشد. دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.

