



دانشگاه گوارن کوهنری و صنایع چوب و جنگل

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

جلد بیستم و یکم، شماره چهارم، ۱۳۹۳

<http://jwfst.gau.ac.ir>

## بررسی کارایی نانو اکسید روی و میکرو بورات روی بر مقاومت به پوسیدگی

### چندسازه چوب- پلی اتیلن

\* داود رسولی<sup>۱</sup>، مهدی فائزی پور<sup>۲</sup> و محمدرضا ماستری فراهانی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> استادیار گروه تکنولوژی و مهندسی چوب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، استاد گروه علوم و صنایع

چوب، دانشگاه تهران، <sup>۲</sup> دانشیار گروه تکنولوژی و مهندسی چوب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۲/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۷/۲۳

### چکیده

در این تحقیق اثر نانو اکسید روی و میکرو بورات روی به عنوان ماده حفاظتی جهت بهبود مقاومت به پوسیدگی سفید چندسازه چوب- پلی اتیلن مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور از ۰، ۱، ۲ و ۴ درصد نانو اکسید روی و میکرو بورات روی در ترکیب چندسازه چوب- پلی اتیلن محتوی مقدار ۵۰ و ۷۰ درصد چوب استفاده شد. نمونه‌ها به کمک مخلوط کن داخلی و پرس آزمایشگاهی ساخته شدند. سپس آزمون مقاومت به پوسیدگی در برابر قارچ رنگین کمان (*Trametes versicolor*) بر روی آنها انجام شد. نتایج به دست آمده حاکی از آن بود که هیچکدام از چندسازه‌های محتوی میکرو بورات روی کاهش وزن معنی داری نداشتند. استفاده از نانو اکسید روی به میزان ۲ و ۴ درصد در ترکیب چندسازه‌های محتوی ۵۰ و ۷۰ درصد چوب، به طور معنی داری از کاهش وزن و پوسیدگی آنها جلوگیری کرد. مقایسه نتایج حاصل از افت مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته با کاهش وزن نمونه‌ها قبل و بعد از پوسیدگی، نشان داد که انطباق مناسبی بین این نتایج در نمونه‌های حاوی ۵۰ درصد چوب وجود داشته، در حالی که در چندسازه‌های حاوی ۷۰ درصد چوب، نتایج حاصل از مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته با نتایج حاصل از کاهش وزن نمونه‌ها مطابقت خوبی نداشتند.

**واژه‌های کلیدی:** چندسازه چوب- پلی اتیلن، نانو اکسید روی، میکرو بورات روی، پوسیدگی سفید،

مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته

\*مسئول مکاتبه: [rasouli@gau.ac.ir](mailto:rasouli@gau.ac.ir)

## مقدمه

چندسازه‌های چوب-پلاستیک امروزه به‌طور گسترده در محیط‌های داخلی و بیرونی استفاده می‌شوند. این چندسازه‌ها از اختلاط ۴۰ تا ۷۰ درصد ذرات چوب با ۳۰ تا ۶۰ درصد پلی‌الفین‌ها ساخته می‌شوند (ناومن و همکاران، ۲۰۱۲). پیش‌فرض اصلی به‌هنگام تولید چندسازه چوب-پلاستیک بر این اساس بود که ذرات چوب به‌وسیله پلاستیک پوشانده شده و به‌این وسیله جذب آب توسط این ذرات کاهش، و در نتیجه از پوسیدگی آن‌ها جلوگیری می‌شود. این در حالی است که تحقیقات انجام شده، نشان می‌دهند که ذرات چوب به‌طور کامل توسط پلاستیک‌ها پوشیده نمی‌شوند و در نتیجه رطوبت آن‌ها می‌تواند به مقدار رطوبت بهینه جهت فعالیت اکثر قارچ‌های مولد پوسیدگی برسد، مخصوصاً زمانی که استفاده از مقادیر بیشتر چوب جهت کاهش هزینه‌ها و افزایش کارایی و سفتی محصول ضروری باشد که در این صورت محصولات فوق در معرض پوسیدگی بیشتری خواهند بود (موریس و کوپر، ۱۹۹۸). راهکار ارائه شده برای جلوگیری از پوسیدگی این چندسازه‌ها، استفاده از قارچ‌کش‌های مناسب از جمله بورات‌روی در ترکیب آن‌ها می‌باشد (شرپ و همکاران، ۲۰۰۸).

محصولات چوب-پلاستیک مورد استفاده در محیط‌های بیرونی علاوه‌بر قرار گرفتن در معرض تخریب بیولوژیکی، مستعد تخریب نوری و هوازدگی نیز می‌باشند. هوازدگی از دلایل اصلی تغییر رنگ و افت مقاومت مکانیکی چندسازه‌های چوب-پلاستیک می‌باشد. حفظ شکل ظاهری، زیبایی و مقاومت مکانیکی محصولات چوب-پلاستیک مورد استفاده در زمان مصرف بسیار مهم بوده و دستیابی به ترکیبی که بتواند به‌طور همزمان مقاومت به تخریب بیولوژیکی و هوازدگی را در چندسازه‌ها افزایش دهد، از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد.

در سال‌های اخیر، مطالعات زیادی درباره مقاومت به پوسیدگی و هوازدگی چندسازه‌های چوب-پلاستیک و بهبود آن‌ها صورت گرفته است. استفاده از بورات‌روی در ترکیب چندسازه‌های چوب-پلاستیک توانسته به‌خوبی از تخریب بیولوژیکی آن‌ها جلوگیری نماید (سیمونس و همکاران، ۲۰۰۴). اما این ماده هیچ‌گونه تأثیری در افزایش مقاومت به هوازدگی این چندسازه‌ها نداشته است، لذا در این چندسازه‌ها جهت بهبود مقاومت به هوازدگی استفاده از ترکیبات آلی هالز و جاذب‌های نوری پیشنهاد شده است (رسولی و همکاران، ۲۰۱۳)، اما از آنجایی که این ترکیبات آلی نیز به مرور زمان تخریب شده و از بین می‌روند، استفاده از ماده معدنی مؤثر و مناسب می‌تواند گزینه مناسب‌تری باشد.

اکسیدروی (ZnO) ماده‌ای سفید رنگ، تقریباً نامحلول در آب، دارای خاصیت قارچ‌کشی و آنتی‌باکتریایی بوده و در صنایع نساجی، رنگ، بهداشتی و آرایشی کاربردهای فراوانی دارد. همچنین این ماده جزو اکسیدهای نیمه‌هادی بوده و قابلیت بلوکه کردن نور فرابنفش تا حد ۳۸۰ نانومتر را دارا می‌باشد (آمالا و همکاران، ۲۰۱۱). به‌طور کلی با کوچک‌سازی ابعاد مواد، سطح ویژه آن‌ها افزایش یافته که این امر به معنی افزایش تعداد اتم‌های در دسترس ماده و در نتیجه برهمکنش بیشتر این مواد با سایر مواد می‌باشد (کاهرو و دبورگور، ۲۰۱۰). نانوذرات اکسید روی خواص بهتری را نسبت به حالت توده‌ای<sup>۱</sup> از خود نشان می‌دهد به‌طوری که با افزایش سطح ویژه، خاصیت جذب نوری (ویچلت و همکاران، ۲۰۱۰؛ ژاو و لی، ۲۰۰۶)، فعالیت قارچ‌کشی و ضد باکتریایی (لی و همکاران، ۲۰۱۰) آن‌ها بیشتر می‌گردد. بر اساس تحقیقات صورت گرفته، نانواکسید روی قابلیت کاربرد به‌عنوان یک ماده حفاظتی در چوب را دارا بوده و می‌تواند باعث افزایش مقاومت به پوسیدگی چوب‌آلات تیمار شده گردد (کلاسن و همکاران، ۲۰۱۰؛ کارتال، ۲۰۰۹). از سوی دیگر استفاده از ذرات نانواکسید روی در ساختار چندسازه چوب- پلی‌اتیلن می‌تواند به نحو مؤثری از تخریب نوری این چندسازه جلوگیری نماید (رسولی و همکاران، ۲۰۱۳). با توجه به توضیحات بالا، به‌نظر می‌رسد استفاده از نانواکسید روی بتواند به‌طور همزمان علاوه بر کاهش تخریب نوری چندسازه‌های چوب- پلاستیک، از تخریب بیولوژیک آن‌ها نیز جلوگیری نماید. به‌همین خاطر در این تحقیق، اثر نانواکسید روی بر مقاومت به پوسیدگی چندسازه چوب- پلی‌اتیلن و مقایسه آن با بورات‌روی بررسی شده است و از آنجایی که گونه چوبی به‌کار برده شده در ساخت چندسازه‌ها، گونه راش بود از عامل پوسیدگی سفید (*Trametes Versicolor*) استفاده شد که یکی از متداول‌ترین عوامل پوسیدگی است که به چوب‌آلات تمامی پهن برگان بدون توجه به گونه چوبی آن‌ها حمله می‌کند (همزه و همکاران، ۲۰۱۲).

### مواد و روش‌ها

در این تحقیق از پلیمر پلی‌اتیلن دانسیته بالا با نام تجاری HD۵۶۲۰ محصول مجتمع پتروشیمی اراک با شاخص جریان مذاب ۲۰ گرم بر ۱۰ دقیقه در دمای ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد و دانسیته  $g/cm^3$  ۰/۹۵۶ به‌عنوان ماده زمینه استفاده گردید. از آرد چوب گونه راش با اندازه ذرات ۶۰ تا ۸۰ مش که به

مدت یک روز در دمای ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد خشک شده بودند، به‌عنوان پرکننده استفاده گردید. میکرو بورات‌روی (ZB) با اندازه ذرات کوچکتر از ۵ میکرومتر از شرکت والاس<sup>۱</sup> انگلیس و نانو ذرات اکسید روی (ZnO) با ابعاد متوسط ۶۷ نانومتر و سطح ویژه  $16 \text{ m}^2/\text{g}$  از شرکت آلفا ایسر<sup>۲</sup> آمریکا تهیه گردید.

**ساخت نمونه‌های آزمونی:** جهت ساخت چندسازه چوب- پلی‌اتیلن از مخلوط کن داخلی<sup>۳</sup> برابندر<sup>۴</sup> مدل ۳۳۰ استفاده گردید. به‌این ترتیب که ابتدا پلیمر پلی‌اتیلن به‌مدت ۲ دقیقه در داخل محفظه مخلوط‌کن داخلی با دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و با سرعت چرخش ۷۰ دور بر دقیقه ذوب شد. سپس آرد چوب و ماده حفاظتی به محفظه مخلوط‌کن اضافه و عمل اختلاط به‌مدت ۳ دقیقه ادامه پیدا کرد. نمونه‌ها به کمک قاب فلزی و با استفاده از پرس آزمایشگاهی کور<sup>۵</sup> در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۲۰ مگاپاسکال به‌مدت ۴ دقیقه پرس شد. در نهایت دمای پرس به‌وسیله آب به زیر ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد رسید. لازم به ذکر است که همه نمونه‌ها با ضخامت ۳ میلی‌متر تولید شدند. در این تحقیق از دو سطح ۵۰ و ۷۰ درصد چوب در کنار ۵۰ و ۳۰ درصد پلی‌اتیلن دانسته بالا استفاده شد. از ماده حفاظتی نانو اکسید روی و میکرو بورات‌روی به مقدار ۱، ۲ و ۴ درصد بر اساس درصد وزنی چندسازه‌ها استفاده گردید. جهت سهولت در بررسی نتایج، نمونه‌های محتوی نانو اکسید روی با کد NZ و میکرو بورات‌روی با کد ZB مشخص و درصد استفاده از آن‌ها نیز در کنار این کدها آورده شد به‌عنوان مثال کد NZ4 نشان‌دهنده چندسازه محتوی ۴ درصد نانو اکسید روی می‌باشد. در ضمن نمونه‌های فاقد ماده حفاظت کننده نیز با کد WPC مشخص گردیدند.

**آزمون پوسیدگی:** با اعمال تغییراتی در استاندارد EN۱۱۳، از آن جهت انجام آزمون پوسیدگی سفید (*Trametes Versicolor*) استفاده شد و سپس میزان پوسیدگی توسط مقاومت خمشی و تغییرات وزنی مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور تعداد ۵ نمونه برای هر تیمار با ابعاد  $100 \times 13 \times 3$  میلی‌متر تهیه و به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد خشک و مقدار وزن اولیه آن‌ها

- 1- Wallace FR Ltd
- 2- Alfa aesar
- 3- Internal mixer
- 4- Brabender
- 5- Cavour

به وسیله توزین با ترازوی دیجیتال و با دقت ۰/۰۰۱ گرم به دست آمد. سپس نمونه‌ها پس از سرد شدن، جهت بالا بردن میزان رطوبت‌شان به مدت ۲ هفته در آب مقطر غوطه‌ور گردیدند.

جهت انجام آزمون پوسیدگی، از ظروف پتری دیش شیشه‌ای ۱۵ سانتی‌متری و محیط کشت مالت اکسترکت آگار استفاده شد. برای این کار پس از آماده‌سازی محیط کشت، استریل آن به همراه ظروف پتری دیش به وسیله بخار آب به مدت ۲۱ دقیقه در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱ بار انجام شد. سپس از محیط کشت آماده شده به مقدار لازم در درون ظروف پتری دیش ریخته شد (محلول محیط کشت به ضخامت ۴-۵ میلی‌متر در هر ظرف پتری دیش) در نهایت این ظروف پس از ۴۸ ساعت قرار گرفتن در انکوباتور و اطمینان از عدم الودگی آماده انتقال پایه‌های قارچ پوسیدگی سفید گردید. پایه‌های قارچ *Trametes Versicolor* از نمونه‌های خالصی که از تجدید کشت آن‌ها بیش از یکماه نمی‌گذشت، تهیه شد. انتقال پایه‌های قارچ بر روی محیط کشت، در زیر هود استریل مجهز به لامپ فرابنفش و هواکش انجام شد و در نهایت با قرار دادن آن‌ها در داخل انکوباتور و پوشش تمام سطح محیط کشت توسط مسیلیوم قارچ، انتقال نمونه‌های چوب-پلاستیک صورت گرفت.

نمونه‌ها قبل از انتقال به ظروف پتری دیش، در اتوکلاو در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۱۵ دقیقه استریل شدند. لازم به ذکر است جهت جلوگیری از تماس مستقیم نمونه‌ها با محیط کشت، از دو نوار شیشه‌ای استفاده گردید. جهت تبادل اکسیژن و رطوبت با محیط انکوباتور از فیلتر سیگار استریل شده در بین دو محفظه پتری دیش استفاده و در پایان به غیر از محل فیلتر سیگار، از پارافیلیم جهت ایزوله کردن ظروف پتری دیش استفاده شد. سپس این ظروف به داخل انکوباتور با دمای ۲۴ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۷۰ درصد منتقل و به مدت ۱۶ هفته در شرایط فوق نگهداری شدند. نمونه‌ها پس از خارج شدن و تمیز شدن سطح‌شان از مسیلیوم در دمای ۱۰۳، به مدت ۲۴ ساعت خشک و توزین گردیدند. جهت بررسی تأثیر پوسیدگی بر مقاومت خمشی نمونه‌ها، نمونه‌های شاهد نیز بعد از غوطه‌وری در آب و استریل در ظروف پتری دیش حاوی محیط کشت و فاقد قارچ، به مدت ۱۶ هفته در انکوباتور قرار و پس از خارج شدن و خشک شدن در آون و متعادل‌سازی، جهت آزمون خمشی مورد استفاده قرار گرفتند.

همچنین مطابق استاندارد EN۱۱۳ بر روی نمونه‌های چوبی راش (۱۵×۲۵×۵۰ میلی‌متر) نیز آزمون پوسیدگی سفید جهت اطمینان از شرایط مناسب فعالیت قارچ پوسیدگی انجام شد.

مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته نمونه‌های شاهد و پوسیده طبق استاندارد ASTM D ۷۹۰ با آزمون سه نقطه‌ای و طول دهانه ۷۰ میلی‌متر و سرعت بارگذاری ۳ میلی‌متر در دقیقه توسط دستگاه اینسترون ۴۴۸۶ صورت گرفت.

جهت بررسی اثر پوسیدگی بر مرفولوژی سطح نمونه‌ها از میکروسکوپ الکترونی روبشی (Seron-Technology مدل AIS2100) استفاده شد.

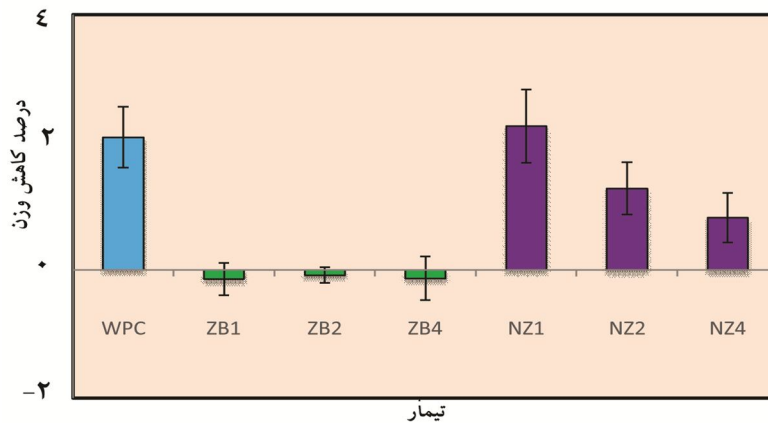
جهت مقایسه آزمون خمشی قبل و بعد از پوسیدگی آزمون t-student استفاده شد. همچنین جهت سهولت در بررسی و مقایسه میانگین میزان کاهش وزنی تیمارها در نمودارهای ارائه شده، از روش بصری استفاده شد. برای این منظور میزان نوار خطای نمودارها در فاصله اطمینان ۹۵ درصد به کمک جدول t محاسبه گردید. عدم همپوشانی میزان نوارخطها<sup>۱</sup> بیان‌کننده اختلاف معنی‌دار بین میانگین دو تیمار مقایسه شده در سطح ۹۵ درصد می‌باشد (کالتن باچ، ۲۰۱۲؛ کامین و همکاران، ۲۰۰۷).

## نتایج

نتایج حاصل از پوسیدگی نمونه‌های چوبی راش نشان داد که این نمونه‌ها کاهش وزن ۳۴/۶ درصدی داشته‌اند. این میزان کاهش وزن نشان‌دهنده شرایط مناسب رشد قارچ، در طی آزمون پوسیدگی بوده است. لازم به ذکر است که طبق استاندارد EN۱۱۳ نمونه‌های کنترل چوب راش در طی آزمون پوسیدگی ۱۶ هفته‌ای توسط قارچ *Trametes Versicolor* بایستی حداقل ۲۰ درصد کاهش وزن داشته باشند تا آن آزمون از نظر استاندارد مذکور مورد تأیید باشد.

در شکل ۱ میزان کاهش وزن چندسازه‌های حاوی ۵۰ درصد چوب ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد بیشترین کاهش وزن مربوط به نمونه‌های شاهد و نمونه‌های حاوی ۱ درصد نانو اکسید روی می‌باشد (به ترتیب ۲/۱ و ۲/۲۵ درصد). استفاده از مقادیر بالاتر نانو اکسید روی تا حدودی از کاهش وزن نمونه‌ها جلوگیری کرد به طوری که در نمونه‌های حاوی ۲ و ۴ درصد نانو اکسید روی به ترتیب کاهش وزن ۱/۲ و ۰/۸ درصدی مشاهده شد. میکرو بورات روی عملکرد بسیار خوبی را در مقاومت به پوسیدگی از خود نشان داد به نحوی که در نمونه‌های حاوی میکرو بورات روی هیچ‌گونه کاهش وزنی در اثر پوسیدگی مشاهده نگردید.

1- Error bar



شکل ۱- اثر مواد حفاظتی بر کاهش وزن چندسازه‌های محتوی ۵۰ درصد چوب در معرض پوسیدگی سفید.

در جدول ۱ کاهش مقاومت خمشی نمونه‌های محتوی ۵۰ درصد چوب در طی آزمون پوسیدگی ارائه شده است. همان‌گونه که مشخص است نمونه‌های شاهد، ۱۳ درصد کاهش مقاومت داشته‌اند که این میزان کاهش از نظر آماری در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار می‌باشد. همچنین در نمونه‌های حاوی ۱ و ۲ درصد نانوآکسید روی نیز مقاومت خمشی به‌طور معنی‌داری (به‌ترتیب به‌میزان ۱۲/۶ و ۹/۵ درصد) کاهش یافت. افت مقاومت خمشی در نمونه‌های حاوی ۴ درصد نانوآکسید روی نیز اتفاق افتاد که در سطح ۹۴ درصد معنی‌داری بود. در نمونه‌های محتوی میکرو بورات‌روی کاهش معنی‌داری در مقاومت خمشی به‌خاطر پوسیدگی مشاهده نشد.

جدول ۱- تغییرات مقاومت خمشی چندسازه‌های محتوی ۵۰ درصد چوب در معرض پوسیدگی سفید.

مقدار P	درصد کاهش مقاومت	مقاومت خمشی بعد از پوسیدگی (MPa)	مقاومت خمشی قبل از پوسیدگی (MPa)	تیمار
۰/۰۲	۱۳	۲۱/۴۵ (۱/۲۵)	۲۴/۶۷ (۰/۷۱)	WPC
۰/۸۹۴	-۰/۲۹	۲۳/۶۵ (۱/۰۹)	۲۳/۵۸ (۰/۶)	ZB1
۰/۷	۲/۹	۲۲/۴۸ (۱/۷۷)	۲۳/۱۶ (۰/۷۷)	ZB2
۰/۵۵۴	۳/۴	۲۲/۶ (۰/۵۲)	۲۳/۴ (۱/۴۱)	ZB4
۰/۰۳۴	۱۲/۶	۲۰/۴۱ (۱/۵۸)	۲۳/۳۷ (۱/۰۴)	NZ1
۰/۰۴۹	۹/۵	۲۰/۳۲ (۱/۱۴)	۲۲/۴۶ (۱/۰۴)	NZ2
۰/۰۵۸	۵/۷	۱۹/۹۸ (۱/۳۹)	۲۱/۲ (۰/۴۴)	NZ4

(انحراف معیار در داخل پارانتر)

تأثیر پوسیدگی بر میزان مدول الاستیسیته نمونه‌های محتوی ۵۰ درصد چوب در جدول ۲ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشخص است در نمونه‌های شاهد و نمونه‌های محتوی نانوآکسید روی، کاهش مدول از نظر آماری معنی‌دار بوده و بیشترین کاهش آن در نمونه‌های حاوی ۱ درصد نانوآکسید روی و شاهد مشاهده می‌شود. استفاده از سطوح ۲ و ۴ درصد نانوآکسید روی باعث شد که کاهش مدول کمتری نسبت به نمونه‌های شاهد را داشته باشیم. نمونه‌های حاوی ۴ درصد میکرو بورات روی میزان افت ۶/۲ درصدی در مدول الاستیسیته داشتند که از نظر آماری این کاهش معنی‌دار نبود.

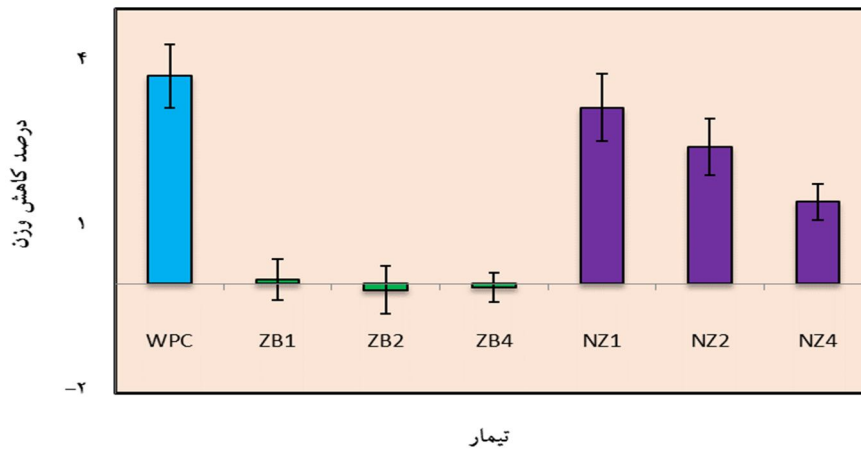
جدول ۲- تغییرات مدول الاستیسیته چندسازه‌های محتوی ۵۰ درصد چوب در معرض پوسیدگی سفید.

تیمار	مدول الاستیسیته قبل از پوسیدگی (MPa)	مدول الاستیسیته بعد از پوسیدگی (MPa)	درصد کاهش مدول	مقدار P
WPC	۲۲۹۶/۶ (۱۰۳/۴)	۱۹۱۳/۸ (۱۳۰/۷)	۱۶/۶	۰/۰۱۴
ZB1	۲۲۳۲/۸ (۹۴/۳)	۲۲۲۳ (۴۸/۲)	۰/۴	۰/۸۶
ZB2	۲۰۷۸ (۵۵)	۲۱۳۰ (۷۷/۶)	-۲/۵	۰/۱۶۲
ZB4	۲۱۵۴/۲ (۷۱/۶)	۲۰۱۹/۷ (۱۸۹/۵)	۶/۲	۰/۱۱۸
NZ1	۲۲۲۴/۶ (۱۷۱/۶)	۱۸۲۱ (۱۶۹/۴)	۱۸/۱	۰/۰۱۱
NZ2	۲۰۹۲/۷ (۱۶۳/۱)	۱۸۷۳/۸ (۱۰۱/۱)	۱۰/۴	۰/۰۴۲
NZ4	۲۰۵۵/۵ (۱۳۶/۹)	۱۸۲۸/۲ (۲۱۶/۱)	۱۱	۰/۰۱۲

(انحراف معیار در داخل پاراتنز)

میزان کاهش وزن نمونه‌های محتوی ۷۰ درصد چوب در اثر پوسیدگی در شکل ۲ ارائه شده است. در بین تیمارها، بیشترین کاهش وزن در نمونه‌های شاهد و نمونه‌های حاوی ۱ درصد نانوآکسید روی مشاهده شد (به ترتیب میزان ۳/۸ و ۳/۲ درصد). کاهش وزن برای نمونه‌های محتوی ۲ درصد نانوآکسید روی ۲/۴ درصد بود که به‌طور معنی‌داری کمتر از نمونه‌های شاهد می‌باشد. استفاده از ۴ درصد نانوآکسید روی به مقدار بیشتری از کاهش وزن نمونه‌ها جلوگیری کرد (کاهش وزن ۱/۵). این در حالی بود که در نمونه‌های محتوی میکرو بورات روی هیچ‌گونه کاهش وزنی مشاهده نگردید.





شکل ۲- اثر مواد حفاظتی بر کاهش وزن چندسازه‌های محتوی ۷۰ درصد چوب در معرض پوسیدگی سفید.

در جدول ۳ میزان مقاومت خمشی نمونه‌ها قبل و بعد آزمون پوسیدگی قارچی ارائه شده است. از بین تیمارها تنها تغییرات مقاومت خمشی تیمار NZ2 از نظر آماری معنی‌دار بوده و کاهش ۲۴/۷ درصدی در مقاومت خمشی داشته است. در حالی که کاهش وزن در تیمارهای NZ1 و NZ4 از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد. در نمونه‌های محتوی ۱ و ۴ درصد میکرو بورات روی افزایش مقاومت خمشی مشاهده شد اما این افزایش نیز از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد.

جدول ۳- تغییرات مقاومت خمشی چندسازه‌های محتوی ۷۰ درصد چوب در معرض پوسیدگی سفید.

مقدار P	درصد کاهش مقاومت	مقاومت خمشی بعد از پوسیدگی (MPa)	مقاومت خمشی قبل از پوسیدگی (MPa)	تیمار
۰/۶۹۴	-۲	۱۲/۱۱ (۲/۳۴)	۱۱/۸۷ (۳/۱۳)	WPC
۰/۰۹	-۱۰/۷	۱۱/۲۵ (۱/۶۹)	۱۰/۱۶ (۰/۷)	ZB1
۰/۳۴	-۱/۸	۱۰/۵۱ (۱/۷۵)	۱۰/۳۲ (۱/۵۸)	ZB2
۰/۴۳۴	-۷/۸	۱۱/۰۷ (۱/۱۵)	۱۰/۲۶ (۱/۵۴)	ZB4
۰/۰۷۹	۲۰/۸	۷/۸۶ (۱/۴)	۹/۸۶ (۱/۱۹)	NZ1
۰/۰۲۲	۲۴/۷	۷/۶۷ (۱/۳)	۱۰/۱۹ (۰/۸۴)	NZ2
۰/۰۹۵	۲۷/۷	۷/۵۹ (۲/۶۶)	۱۰/۵ (۱/۵۱)	NZ4

(انحراف معیار در داخل پاراتز)

جدول ۴ تغییرات مدول الاستیسیته چندسازه‌های محتوی ۷۰ درصد چوب در معرض پوسیدگی قارچی را نشان می‌دهد. در بین تیمارها، تنها نمونه‌های حاوی ۴ درصد نانواکسید روی، کاهش

معنی‌داری را در مدول الاستیسیته داشتند به طوری که بعد از آزمون پوسیدگی ۱۴ درصد از مدول الاستیسیته نمونه‌های مذکور کاسته شد.

جدول ۴- تغییرات مدول الاستیسیته چندسازه‌های محتوی ۷۰ درصد چوب در معرض پوسیدگی سفید.

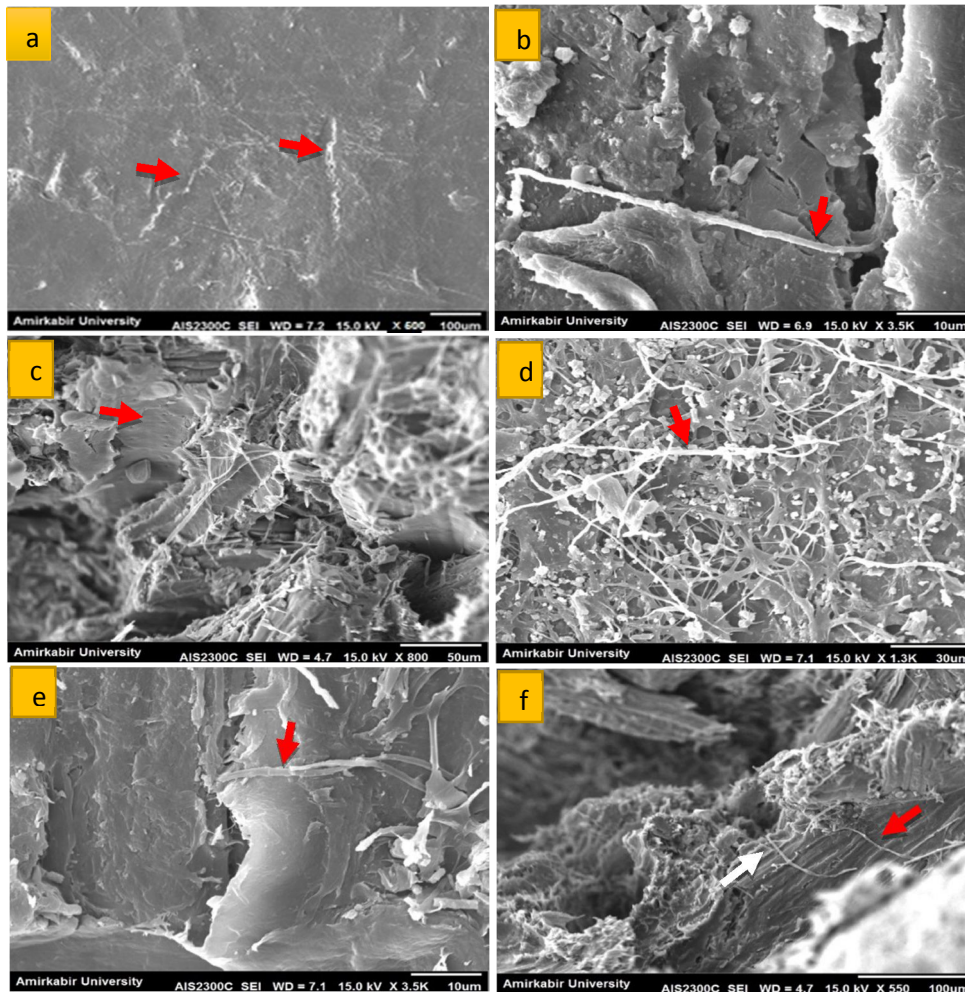
مقدار P	درصد کاهش مدول	مدول الاستیسیته بعد از پوسیدگی (MPa)	مدول الاستیسیته قبل از پوسیدگی (MPa)	تیمار
۰/۴۰۱	-۳/۱	۱۶۱۷/۷ (۱۳۹/۳)	۱۵۶۸/۸ (۱۱۸/۴)	WPC
۰/۱۵	۱/۷	۱۵۲۸ (۶۷۹)	۱۵۵۵/۳ (۲۰۷/۷)	ZB1
۰/۹۰۶	-۱/۲	۱۴۰۵/۳ (۹۶)	۱۳۸۷/۲ (۲۳۴/۵)	ZB2
۰/۲۵	۶/۴	۱۴۵۷ (۱۲۱)	۱۵۵۷ (۹۹/۸)	ZB4
۰/۸۹۷	-۱/۲	۱۴۹۶/۶ (۲۵۵)	۱۴۷۸ (۱۷۷)	NZ1
۰/۳۹	۶/۹	۱۴۱۴/۷ (۱۱۹/۳)	۱۵۲۰/۵ (۱۴۶/۳)	NZ2
۰/۰۲۸	۱۴/۳	۱۳۰۴/۶ (۱۲۶/۸)	۱۵۲۲/۲ (۱۰۲/۶)	NZ4

(انحراف معیار در داخل پاراتز)

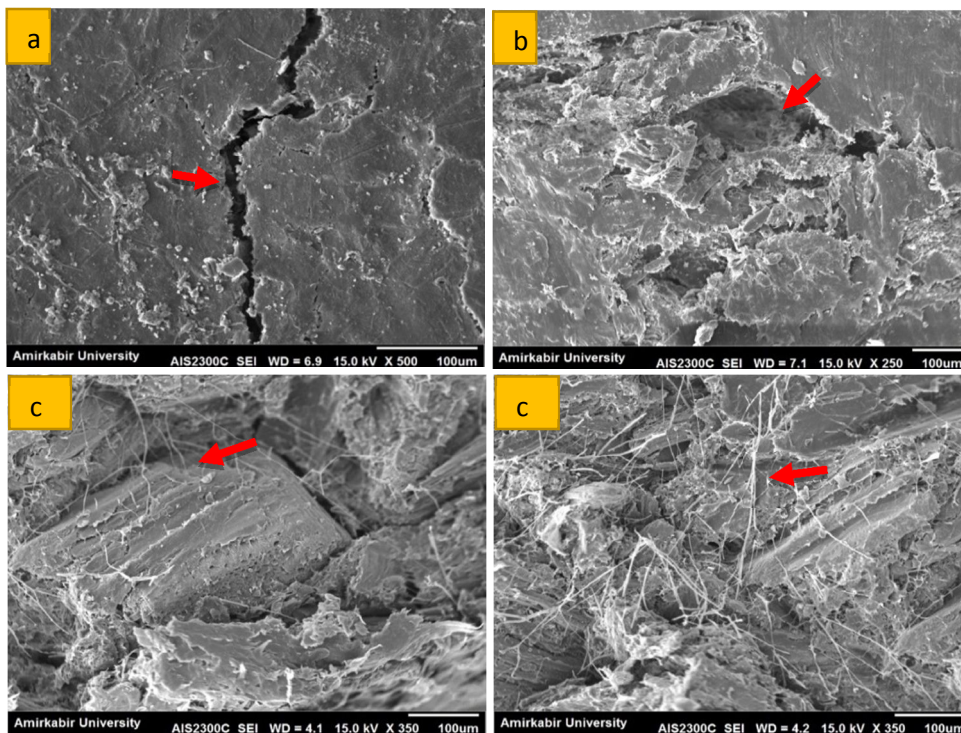
**تصاویر میکروسکوپ الکترونی:** تصویر a در شکل ۳ از سطح نمونه چندسازه چوب- پلی اتیلن مورد استفاده به عنوان نمونه شاهد تهیه شده است. همان‌گونه که قبلاً نیز اشاره شد، این نمونه‌ها علاوه بر قرار گرفتن در اتوکلاو جهت استریل، به مدت ۱۶ هفته نیز در روی محیط کشت بدون عامل پوسیدگی قارچی، در انکوباتور قرار گرفته بودند. به خاطر تغییرات رطوبتی و تنش‌های وارده در طول این مدت، ترک‌های بسیار ریزی در سطح نمونه‌ها ایجاد شده است (شکل a). در شکل b و e تصویر سطح نمونه در معرض پوسیدگی ارائه شده که در آن ریشه قارچ از ترک موجود به قسمت‌های عمیق‌تر چندسازه وارد می‌شود. شکل c تصویر آوند چوبی و ریشه‌های قارچ پوسیدگی در اطراف آوند را نشان می‌دهد. شکل d تجمع ریشه‌های مولد قارچ پوسیدگی سفید در سطح نمونه محتوی ۲ درصد میکرو بورات روی را نشان می‌دهد. در شکل f مقطع عرضی نمونه NZ2 و نفوذ ریشه قارچ به درون ذره چوبی ارائه شده است.

در شکل ۴ تصاویر مربوط به نمونه‌های WPC محتوی ۷۰ درصد چوب ارائه شده است. در سطح نمونه شاهد قرار گرفته در محیط کشت بدون عامل پوسیدگی، وجود ترک بزرگ و عمیق کاملاً بارز می‌باشد (شکل a). در شکل b تصویری از سطح نمونه بعد از پوسیدگی قارچی ارائه شده است. همان‌گونه که مشخص است لایه غنی از پلیمر تخریب‌شده و ذرات چوب موجود در زیر آن نیز متلاشی گردیده است. شکل c1 تصویر ذره چوب در داخل ماتریکس پلی اتیلن را نشان می‌دهد که مورد هجوم ریشه‌های قارچ پوسیدگی سفید قرار گرفته و این ریشه‌ها در بخش‌هایی توانسته‌اند به

داخل ذره چوبی نفوذ کنند. در شکل 2 ذرات چوب تخریب شده نشان داده شده که در آن بخشی از ذرات چوب متلاشی و ریشه‌های قارچ به داخل ذرات چوب نفوذ کرده‌اند.



شکل ۳- تصاویر میکروسکوپ الکترونی از نمونه‌های محتوی ۵۰ درصد چوب در معرض پوسیدگی (a): سطح نمونه WPC قرار گرفته در محیط کشت بدون عامل پوسیدگی (b): سطح نمونه WPC بعد از آزمون پوسیدگی (c): مقطع عرضی نمونه WPC بعد از آزمون پوسیدگی (d): سطح نمونه ZB2 بعد از آزمون پوسیدگی (e): سطح نمونه NZ2 بعد از آزمون پوسیدگی (f): مقطع عرضی نمونه NZ2 بعد از آزمون پوسیدگی.



شکل ۴- تصاویر میکروسکوپ الکترونی از نمونه‌های WPC حاوی ۷۰ درصد چوب (a): سطح نمونه قرار گرفته در محیط کشت بدون عامل پوسیدگی (b): سطح نمونه بعد از آزمون پوسیدگی (c): مقطع عرضی نمونه WPC بعد از آزمون پوسیدگی.

### بحث و نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از کاهش وزن نمونه‌های محتوی ۵۰ و ۷۰ درصد چوب و مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته نمونه‌های محتوی ۵۰ درصد چوب نشان داد که از استفاده از ۲ و ۴ درصد نانو اکسید روی می‌تواند از میزان پوسیدگی سفید چندسازه چوب- پلی اتیلن جلوگیری نماید. هم‌چنین در این تحقیق، کارایی میکرو بورات روی به‌عنوان ماده حفاظتی مناسب در چندسازه چوب- پلاستیک مورد بررسی و تأکید مجدد قرار گرفت.

در چندسازه‌های حاوی ۷۰ درصد چوب، انطباق مناسبی بین کاهش وزن نمونه‌ها با افت مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته آنها در اثر آزمون پوسیدگی مشاهده نشد. در واقع در نمونه‌های WPC و NZ1 بیشترین کاهش وزن را در اثر پوسیدگی داشتیم در حالی‌که کاهش مقاومت خمشی و

مدول الاستیسیته در آن‌ها معنی‌دار نبود. در این نوع چندسازه‌ها به دلیل بالا بودن میزان چوب، در اثر جذب آب (غوطه‌وری در آب، بخاردهی در اتوکلاو و قرار گرفتن در محیط کشت) تنش‌های بیشتری تولید شد که این امر باعث ایجاد ترک‌های بزرگ و عمیق در سطح نمونه‌ها گردید. نمونه‌ای از این ترک‌ها در تصویر میکروسکوپ الکترونی به خوبی مشخص می‌باشد (شکل ۴). ترک‌های ایجاد شده باعث کاهش مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته در نمونه‌های شاهد (بدون آزمون پوسیدگی) و نمونه‌های تحت پوسیدگی شد. از آنجایی که ترک‌ها نسبت به پوسیدگی نقش بیشتر و بارزتری در کاهش مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته داشته‌اند، باعث شد پوسیدگی نقش معنی‌داری در کاهش مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته نمونه‌ها نداشته باشد. سیمونسن و همکاران (۲۰۰۴) اعلام کردند تغییرات مقاومت خمشی و مدول الاستیسیته نمی‌تواند ملاک خوبی برای بررسی میزان پوسیدگی در چندسازه چوب-پلاستیک حاوی ۶۰ درصد چوب باشد.

با توجه به نتایج به دست آمده نانو اکسید روی می‌تواند به عنوان بخشی از ماده حفاظتی در کنار سایر مواد حفاظتی ترکیب چندسازه چوب- پلی اتیلن مورد استفاده در محیط‌های بیرونی به کار برده شود و موجب افزایش مقاومت بیولوژیکی در کنار مقاومت به هوازدهی (رسولی، ۲۰۱۳) چندسازه مذکور گردد.

#### منابع

1. Ammala, A., Hill, A., Meakin, P., Pas, S., and Turney, T. 2002. Degradation studies of polyolefins incorporating transparent nanoparticulate zinc oxide UV stabilizers. *Journal of Nanoparticle Research*, 4: 167-174.
2. Clausen, C.A., Green, F., and Kartal, S.N. 2010. Weatherability and leach resistance of wood impregnated with nano-zinc oxide. *Nanoscale research letters*, 5: 1464-1467.
3. Cumming, G., Fidler, F., and Vaux, D.L. 2007. Error bars in experimental biology. *The Journal of Cell Biology*. 177: 7-11.
4. Hamzeh, Y., Ashori, A., Marvast, E.H., Rashedi, K., and Olfat, K. 2012. A comparative study on the effects of *Coriolus versicolor* on properties of HDPE/wood flour/paper sludge composites. *Composites Part B: Engineering* 43(5): 2409-2414.
5. Kahru, A., and Dubourguier, H.C. 2010. from ecotoxicology to nanoecotoxicology. *Toxicology*. 269: 105-119.
6. Kaltenbach, H.M. 2012. *Concise Guide to Statistics*, Hansmichael Kaltenbach.

7. Kartal, S., Green, III, F., and Clausen, C.A. 2009. Do the unique properties of nanometals affect leachability or efficacy against fungi and termites? *International biodeterioration and biodegradation*. 63: 490-495.
8. Li, S.C., and Li, Y.N. 2010. Mechanical and antibacterial properties of modified nano-ZnO/high-density polyethylene composite films with a low doped content of nano-ZnO. *Journal of Applied Polymer Science*. 116: 2965-2969.
9. Morris, P., and Cooper, P. 1998. Recycled plastic/wood composite lumber attacked by fungi. *Forest products journal* 48.
10. Naumann, A., Seefeldt, H., Stephan, I., Braun, U., and Noll, M. 2012. Material resistance of flame retarded wood-plastic composites against fire and fungal decay. *Polymer Degradation and Stability*. 97: 1189-1196.
11. Rasouli, D., Faezipour, M., Masteri Farahani, M.R., and Tajvidi, M. 2013. The effect of zinc borate and additives on weathering performance of wood plastic composite. *J. of Wood and Forest Science and Technology*. 20(2): 41-58.
12. Rasouli, D. 2013. The effect of nano zinc oxide and zinc borate on weathering of wood-HDPE composite and improving its stability by photostabilizers. Ph.D. thesis. Natural Resources Faculty, University of Tehran.
13. Schirp, A., Ibach, R.E., Pendleton, D.E., and Wolcott, M.P. 2008. Biological degradation of wood-plastic composites (WPC) and strategies for improving the resistance of WPC against biological decay. *Development of commercial wood preservatives*. ACS Symposium Series.
14. Simonsen, J., Freitag, H., Silva, A., and Morrell, J.J. 2004. Wood/plastic ratio: Effect on performance of borate biocides against a brown rot fungus. *Holzforschung*. 58: 205-208.
15. Weichelt, F., Emmler, R., Flyunt, R., Beyer, E., Buchmeiser, M.R., and Beyer, M. 2010. ZnO-Based UV Nanocomposites for Wood Coatings in Outdoor Applications. *Macromolecular Materials and Engineering*. 295: 130-136.
16. Zhao, H., and Li, R.K. 2006. A study on the photo-degradation of zinc oxide (ZnO) filled polypropylene nanocomposites. *Polymer* 47(9): 3207-3217.



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Wood & Forest Science and Technology*, Vol. 21 (4), 2015  
<http://jwfst.gau.ac.ir>

## Effects of nano zinc oxide and micro zinc borate on the durability of wood flour/HDPE composite

**\*D. Rasouli<sup>1</sup>, M. Faezipour<sup>2</sup> and M.R. Masteri Farahani<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Assistant Prof, Dept. of Wood Engineering and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran, <sup>2</sup>Professor, Dept. of Wood and Paper Science and Technology, University of Tehran, Iran, <sup>3</sup>Associate Prof., Dept. of Wood Engineering and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

Received: 05/10/2014 ; Accepted: 10/15/2014

### Abstract

In this study, the efficiency of nano-zinc oxide and zinc borate with four mixing ratios of 0, 1, 2, 4 wt% on the biodegradation resistance of wood plastic composite (containing 50 and 70 wt% wood flour) were investigated. Briefly, the composite samples were manufactured using internal mixer and compression molding, followed by exposing to the white rot fungus, *Trametes versicolor*.

The obtained results indicated that there was no significant reduction in the weight of the composites containing zinc borate. But, the addition of nano zinc oxide with loading fraction of 2 and 4% to the structure of composites containing 50 and 70 percent wood, significantly reduced weight loss. In the composites containing 50% wood, the loss of flexural strength and modulus of elasticity matched with weight loss at the end of the decay experiment, while the composites containing 70% wood, the loss of flexural strength and modulus of elasticity was not in good agreement with the results of the weight loss.

**Keywords:** Wood/HDPE composite, Nano zinc oxide, Zinc borate, White rot, Flexural strength, Modulus of elasticity

---

\*Corresponding author: [rasouli@gau.ac.ir](mailto:rasouli@gau.ac.ir)

