



Woodiconf-03

بررسی اثر نانو ژل ولاستونیت بر روی خواص کاربردی چوب سیمان ساخته شده از پوست گردو

میثم رضوی^{۱*}، علی حسن پور تیچی^۲

۱- استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه فنی و حرفه ای، تهران، ایران.

۲- استادیار، گروه صنایع چوب، دانشگاه فنی و حرفه ای، تهران، ایران.

چکیده

در این مطالعه اثر نانو ژل ولاستونیت در سه سطح (۰، ۵ و ۱۰ درصد وزنی سیمان) و نسبت اختلاط پوست گردو به سیمان در سه سطح ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ به ۷۰ بر خواص ریزساختاری، مکانیکی، فیزیکی و بیولوژیکی چند سازه ساخته شده از پوست گردو مورد بررسی قرار گرفته است. به این ترتیب با احتساب ۹ تیمار، در مجموع ۲۷ تخته آزمایشگاهی ساخته شد. خواص مکانیکی و فیزیکی نمونه ها مطابق استاندارد ۶۳۴-DIN-EN شامل مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته، چسبندگی داخلی، جذب آب پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه وری در آب و دانسیته اندازه گیری شدند. نتایج نشان داد با افزایش غلظت نانو ژل ولاستونیت در تخته ها MOR، MOE، چسبندگی داخلی و دانسیته به طور معنی داری افزایش یافت. همچنین با افزایش نانو ژل ولاستونیت، ثبات ابعادی تخته ها در مقایسه با نمونه بدون نانو افزایش یافت. نتایج بر این اساس بوده که با افزایش پوست گردو مقاومت های مکانیکی و فیزیکی کاهش یافت.

واژه های کلیدی: سیمان، پوست گردو، دانسیته، نانو ژل ولاستونیت.

مقدمه

توسعه فناوری پانل های چوب سیمان در هر منطقه به قابلیت در تأمین مواد اولیه مورد نیاز آن یعنی چوب یا مواد لیگنوسلولزی و سیمان مربوط می شود. با توجه به افزایش جمعیت و تقاضا برای مواد مرکب چوبی به ویژه در کشورهای در حال توسعه که با محدودیت منابع جنگلی مواجه اند، لزوم بکارگیری سایر منابع لیگنوسلولزی مانند مواد حاصل از پسماند گیاهان کشاورزی در ساخت این گونه فراورده ها امری اجتناب ناپذیر است (Karade, 2010; Rowell, et al., 1991). به طوری که استفاده از پسماند گیاهان کشاورزی در ساخت فراورده های مرکب چوبی با توجه به دوره رشد کوتاه، امکان برداشت سالانه، سهولت عمل آوری و هزینه پایین آن نسبت به درختان جنگلی باعث کاهش هزینه تولید می گردد (Rowell, et al., 1991). هدف اصلی تولید پانل های چوب سیمان یا فراورده کامپوزیت با اتصال معدنی، ترکیب ذرات آلی مانند چوب و مواد لیگنوسلولزی با اتصال دهنده های معدنی از قبیل سیمان، گچ و غیره است. فراورده های چوب سیمان که امروزه در بیشتر کشورهای جهان تولید می گردد دارای خواص کاربردی



مطلوبی مانند مقاومت به عوامل جوی، آتش و عوامل بیولوژیکی و سبکی وزن در مقایسه با سایر مصالح ساختمانی بوده و از پایداری ابعاد بالایی برخوردار هستند. همچنین در ابعاد بزرگتر تولید می گردند، دارای سطوح صاف و متراکم، فاقد معایب متمرکز، ویژگی و خواص کاربردی آنها در قسمت های مختلف یک صفحه یکنواخت است. یکی دیگر از عواملی که باعث شده چندسازه با اتصال معدنی توجه صنعت ساختمان و محققین و صنعتگران قرار گرفته است، عدم انتشار گاز فرم آلدئید که یک گاز سرطانزا می باشد است. به علاوه، تولید این چندسازه ها به کشورهای فاقد امکانات لازم برای تولید رزین های سنتزی امکان تولید فراورده های کامپوزیتی با اتصال معدنی را می دهد. علاوه بر تولید پانل های مسطح در پرس های معمولی، با استفاده از قالب های مناسب می توان محصولات دیگری از قبیل بلوک های سیمانی، آجر و قطعات فرم دار را نیز تولید نمود. سابقه تولید صفحه های چوب سیمان به سال ۱۹۱۴ می رسد. به همین منظور، تحقیقات گسترده ای در جهت استفاده از مواد افزودنی مختلف برای افزایش سازگاری مواد لیگنوسلولزی با سیمان پرتلند انجام شده است.

از لحاظ شیمیای نانو ولاستونیت یک کلسیم متاسیلیکات با فرمول CaSiO_3 می باشد که در دهه ۱۹۵۰ شناخته شده و به سرعت مورد استفاده گوناگون قرار گرفته است. ویژگی اصلی نانو ولاستونیت که آن را برای پلاستیک مناسب ساخته است، شامل رنگ سفید، جذب رطوبت اندک، پایداری حرارتی مناسب، ضریب انبساط حرارتی اندک، سختی نسبتاً زیاد و PH و ۹/۸ می باشد.

Hassanpoortichi و همکاران (۲۰۱۵) اثر نانو ولاستونیت بر روی کامپوزیت چوب سیمان ساخته شده از الیاف کرافت را مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد با افزایش نانو ولاستونیت مقاومت فشاری، چسبندگی داخلی و دانسیته افزایش یافته است.

Boshehrian و Hosseini (۲۰۱۱) در پژوهشی تحت عنوان تأثیر ذرات نانو سیلیس بر خواص ملاط سیمان قابل استفاده برای بتون آرمه بیان نمودند که نانو سیلیس سبب بهبود رفتارهای فیزیکی و مکانیکی بتون های حاصله در مقایسه با نمونه های بدون این ذرات گردیده است.

Hassanpoortichi و همکاران (۲۰۱۵) تأثیر نانو ولاستونیت بر خواص بیولوژیکی چوب سیمان را مورد پژوهش قرار داده است. نتایج او نشان داد با افزایش نانو ولاستونیت کاهش وزن نمونه های که در معرض قارچ قرار گرفته اند کاهش یافته است. Haghighi و همکاران (۲۰۱۳) قابلیت کندسوزکنندگی نانولاستونیت در چوب نراد را مورد مطالعه قرار داده است. نتایج او نشان می دهد که با افزایش غلظت نانو ولاستونیت مقاومت به آتش و ثبات ابعادی تخته ها افزایش یافته است.

Khosrviyan (۲۰۰۹) اثر ولاستونیت در ابعاد میکرو و نانو را بر خواص مکانیکی، فیزیکی، حرارتی و ریخت شناسی چند سازه ی چوب پلاستیک مورد بررسی قرار داد. نتایج او نشان داد که با افزایش درصد میکرو ولاستونیت و همین طور نانو ولاستونیت در چند سازه، واکنشیدگی ضخامت و جذب آب کاهش یافت ولی پایداری حرارتی، درصد کریستالی شدن و مقاومت در برابر آتش چند سازه با افزایش درصد ولاستونیت در هر دو اندازه آن افزایش یافت.

Mohammad Kazemi (۲۰۱۰) در تحقیقی اثر نانو سیلیس در چهار سطح ۰، ۱، ۲ و ۳ درصد (نسبت به وزن سیمان) بر خواص کاربردی صفحات چوب-سیمان ساخته شده از کارتن کهنه و پوست برنج را بررسی و نشان داد که تخته های ساخته شده از پوسته برنج با ۲ درصد نانوسیلیس بهترین خواص کاربردی را داشتند.



Doosthoseini و Yazdi (۱۹۹۶) در بررسی تاثیر چهار نوع ماده افزودنی شامل کلرید کلسیم، آب شیشه، سولفات آلومینیوم و سولفات آهن بر روی خواص کاربردی صفحه های چوب صنوبر با سیمان گزارش کرد که تخته های ساخته شده با ۵ درصد کلرید کلسیم دارای خواص فیزیکی و مکانیکی مطلوبی بوده اند.

Luyt و همکاران (۲۰۰۹) نانولاستونیت را به عنوان پرکننده در ساخت نانو کامپوزیت استفاده کردند و مشاهده نمودند که نانولاستونیت دمای کریستالی شدن را در ماتریکس کاهش داده و باعث بهبود پایداری حرارتی می شود.

Sandermann و Kohler (۱۹۶۴) در تحقیقی عنوان نمود زمانی که آب به سیمان اضافه می شود طی واکنش های هیدراتاسیون، حرارت تولید می شود. در مرحله اولیه هیدراتاسیون، دی و تری سیلیکات کلسیم به $\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ و هیدروکسید کلسیم تبدیل می شوند. هنگامی که آب و چوب به سیمان افزوده می شوند PH مخلوط چوب و سیمان تقریباً تا ۱۲/۵ افزایش می یابد که تجزیه و انحلال اجزای تشکیل دهنده چوب به ویژه کربوهیدرات های با وزن مولکولی پایین و مواد استخراجی درون چوب امکان پذیر می کند. این ترکیبات مانع گیرایی و هیدراتاسیون سیمان شده و باعث کاهش مقاومت چندان سازه الیاف- سیمان می شوند.

Wen و همکاران (۲۰۰۶) بر اساس نتایج حاصل از بررسی خواص مکانیکی تخته خرده چوب- گچ تقویت شده با نانو سیلیس، افزودن ۳ درصد نانو سیلیس برای بهبود مدول گسیختگی تخته ها در ۳۰ یا ۴۰ درجه سانتی گراد را بهترین مقدار می داند. همچنین این مقدار برای بهبود مقاومت چسبندگی داخلی تخته ها در ۳۰ درجه سانتی گراد و مقدار نانو سیلیس در ۴۰ درجه سانتی گراد بهترین مقادیر بودند.

هدف از این تحقیق بررسی و مقایسه ی خواص کاربردی صفحات چوب سیمان ساخته شده از پوست گردو نیز تعیین مقدار بهینه ی نانولاستونیت در ساخت این پانل هاست.

مواد و روش ها

در این تحقیق پوست گردو از باغات شهرستان بابل جمع آوری شده و در هوای آزاد خشک شده است (شکل ۱). همچنین سیمان استفاده شده در این تحقیق، سیمان پرتلند نوع ۲ محصول شرکت آبیگ قزوین بوده که آزمون های لازم برای شناخت ویژگی های آن بر اساس استاندارد ۳۹۸ ایران انجام و مورد تأیید قرار گرفت. مواد افزودنی شامل نانو ژل ولاستونیت و کلرید کلسیم که به ترتیب از شرکت تولید فرآورده های صنعتی و معدنی ورد و MERK آلمان تهیه شده است.

اجزای تشکیل دهنده در جدول ۱ و شکل میکروسکوپی نانو ژل ولاستونیت به کار رفته در شکل ۲ نشان داده شده است.



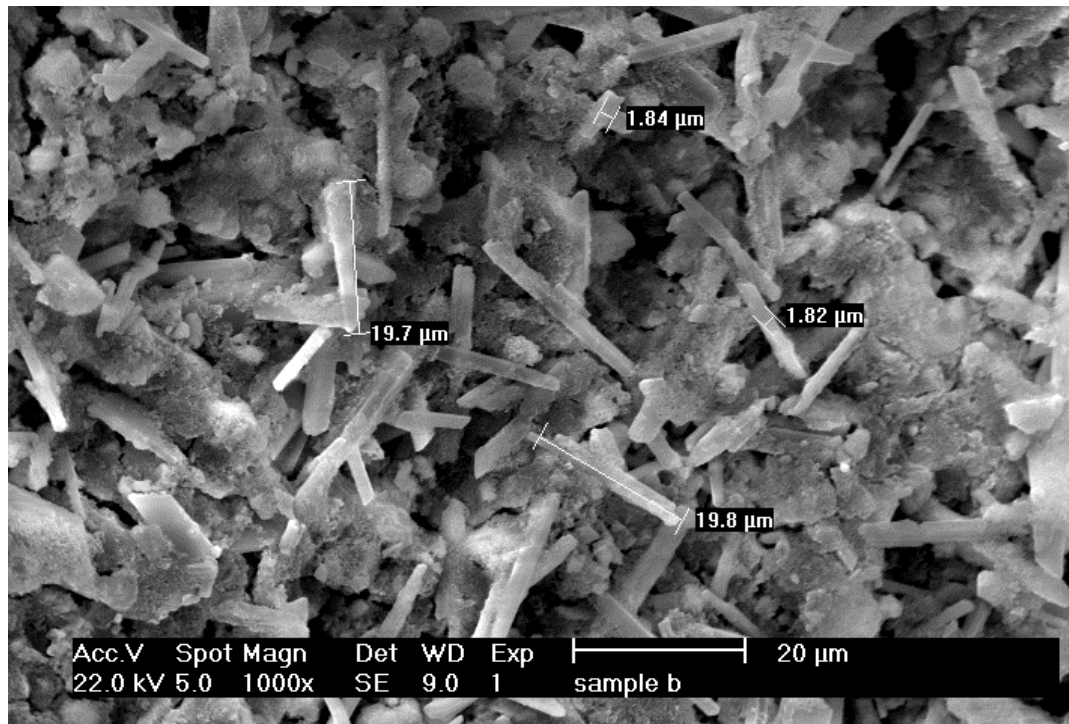
شکل ۱- پوست گردو برای ساخت کامپوزیت سیمانی

عوامل متغیر در این بررسی شامل:

نسبت پوست گردو به سیمان در سه سطح (۱۰:۹۰، ۲۰:۸۰ و ۳۰:۷۰ درصد) و مقدار نانو ژل ولاستونیت در سه سطح (۰، ۵ و ۱۰ درصد وزن سیمان) بود.

جدول ۱- اجزای تشکیل دهنده نانو ژل ولاستونیت

ترکیبات نانو ژل ولاستونیت	نسبت اختلاط (٪)
SiO ₂	۴۶/۹۶
CaO	۳۹/۷
PH	۹/۸
Fe ₂ O ₃	۲/۷۹
Al ₂ O ₃	۳/۹۵
TiO ₂	۰/۲۲
K ₂ O	۰/۰۴
MgO	۱/۳۹
Na ₂ O	۰/۱۶
SO ₃	۰/۰۵



شکل ۲- میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از نانو ژل ولاستونیت

در ساخت تخته‌های، کلرید کلسیم به مقدار ۵ درصد وزنی سیمان استفاده شد. آب، نانولاستونیت و کلرید کلسیم با نسبت‌های مشخص با دستگاه مخلوط‌کن ترکیب و به پوست گردو و سیمان افزوده شدند. سپس کیک به‌طور یکنواخت داخل قالبی با ابعاد $35 \times 27 \times 4$ سانتیمتر ریخته شد و سپس با پرس نوع Burkle- LA ۱۶۰ در شرایط سرد به مدت ۱۰ دقیقه در فشار ۳۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع تا رسیدن به ضخامت نهایی ۱۲ میلیمتر تحت قید فشرده گردید. شایان ذکر است دانسیته‌ی کلیه‌ی تخته‌ها $1/1$ گرم بر سانتیمتر مکعب در نظر گرفته شد. پس از پرس، تخته‌ها به مدت ۲۴ ساعت تحت قید قرار گرفتند. بعد از گیرایی اولیه، به منظور گیرایی نهایی و به حداقل رساندن سرعت خشک شدن، تخته‌ها در اتاقک مخصوصی با دمای حدود ۲۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی بالای ۹۰ درصد به مدت ۲۰ روز نگهداری شدند. پس از این مدت تخته‌ها کناره‌بری شدند و به مدت ۲۸ روز در اتاق کلیما با دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۶۵ درصد قرار گرفتند.

سپس نمونه‌های آزمون بر اساس استاندارد DIN EN ۶۳۴، Part ۱, ۲ تهیه و خواص فیزیکی و مکانیکی آن‌ها شامل مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته، چسبندگی داخلی و جذب آب اندازه‌گیری شدند.

تجزیه و تحلیل آماری

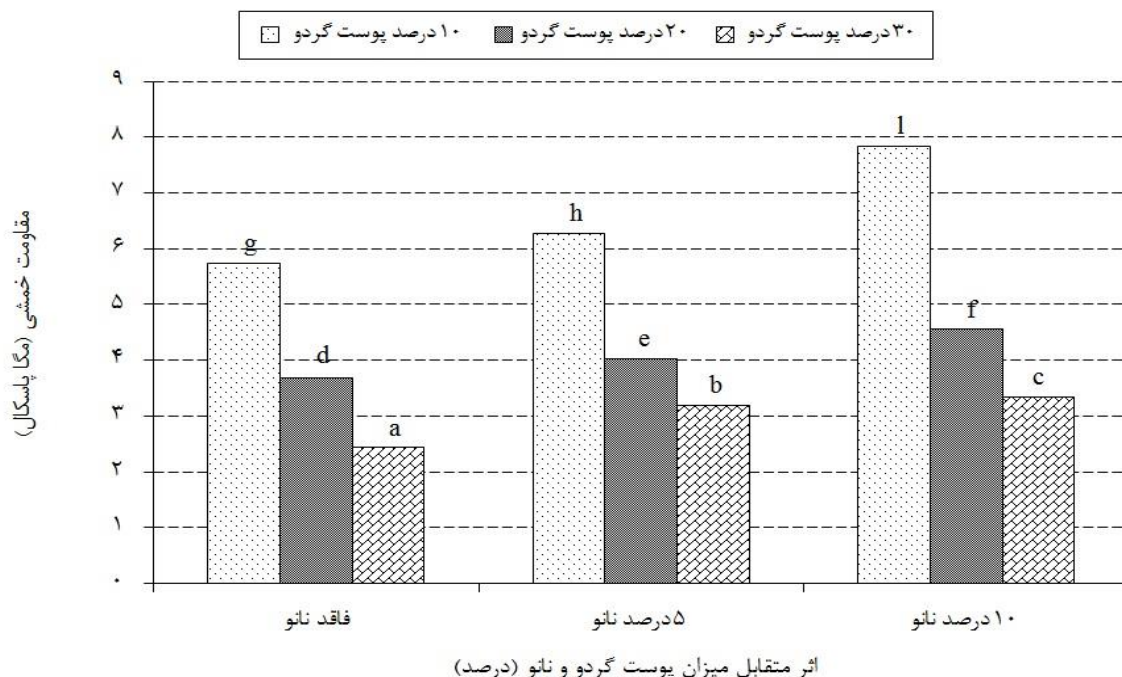
برای تحلیل و بررسی داده‌ها از آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی (CRD) و نرم‌افزار SPSS استفاده شد. گروه‌بندی میانگین‌ها نیز با آزمون چند دامنه دانکن (DMRT) انجام شد.



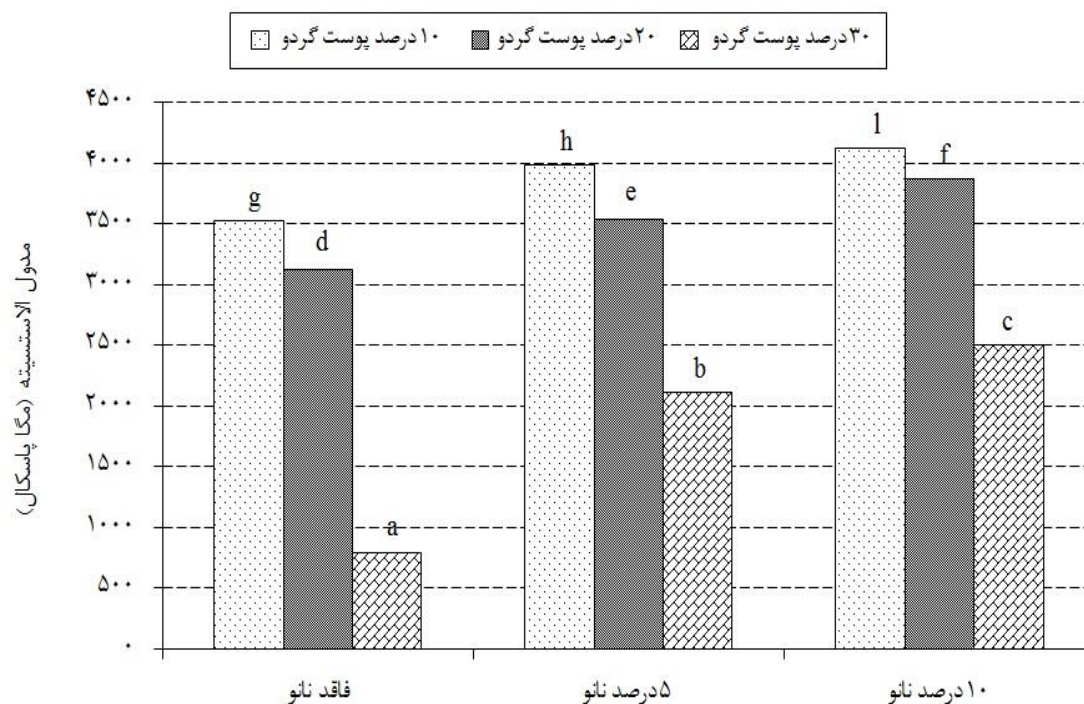
نتایج

خواص مکانیکی

تاثیر مستقل و متقابل درصد اختلاط پوست گردو به سیمان و نانو ولاستونیت بر روی مقاومت مکانیکی در سطح ۱٪ معنی دار می باشد. شکل های ۳، ۴ و ۵ تاثیر متقابل درصد اختلاط پوست گردو با سیمان و نانو ولاستونیت به ترتیب بر روی مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته و چسبندگی داخلی نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود بیشترین مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته و چسبندگی داخلی مربوط به تخته هایی ساخته شده با ۱۰٪ نانو ژل و ۱۰ درصد پوست گردو با ۹۰٪ سیمان بوده که مقدار آن برای مقاومت خمشی ۸/۸ مگاپاسگال، مدول الاستیسیته ۱۳۴۳۲/۳ مگاپاسگال و چسبندگی داخلی ۲/۳۲ مگاپاسگال می باشد. کمترین مقاومت مکانیکی در تخته های ساخته شده با ۰٪ نانو ولاستونیت و ۳۰٪ پوست گردو با ۷۰٪ سیمان مشاهده شده است. جدول ۲ تجزیه واریانس اثر عوامل متغیر بر خواص مکانیکی و فیزیکی تخته ها را نشان می دهد.

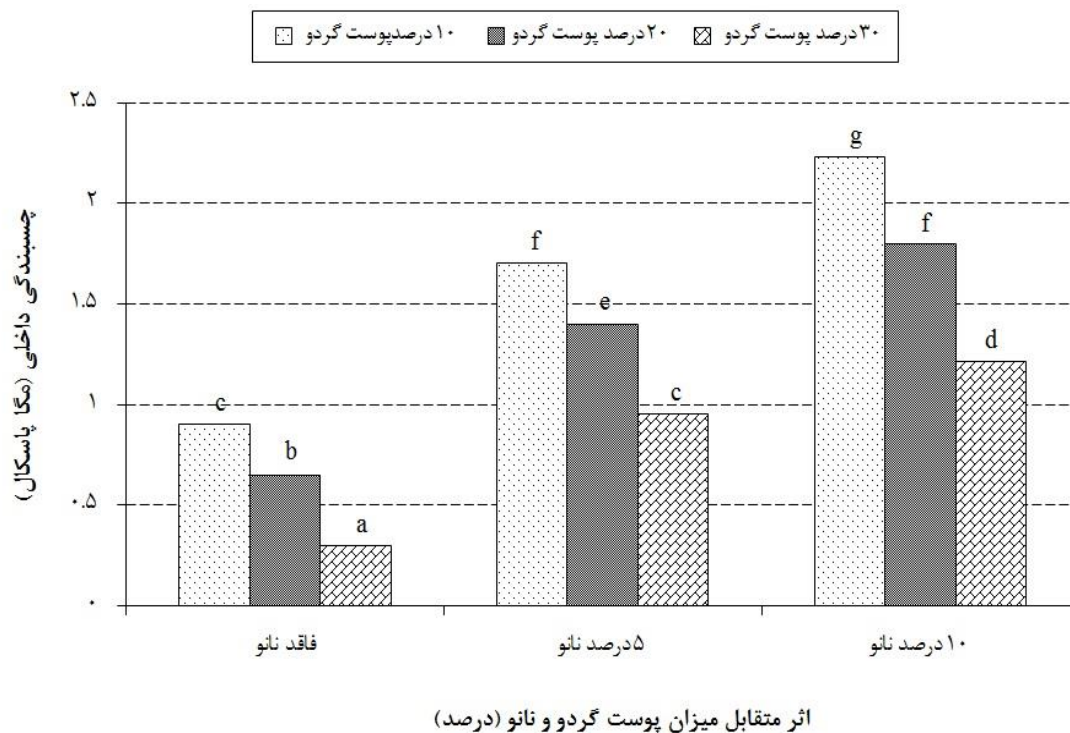


شکل ۳- اثر متقابل درصد پوست گردو و غلظت نانو ولاستونیت بر روی مقاومت خمشی به همراه گروه بندی دانکن



اثر متقابل میزان پوست گردو و نانو (درصد)

شکل ۴- اثر متقابل درصد پوست گردو و غلظت نانو و لاستونیت بر روی مدول الاستیسیته به همراه گروه بندی دانکن

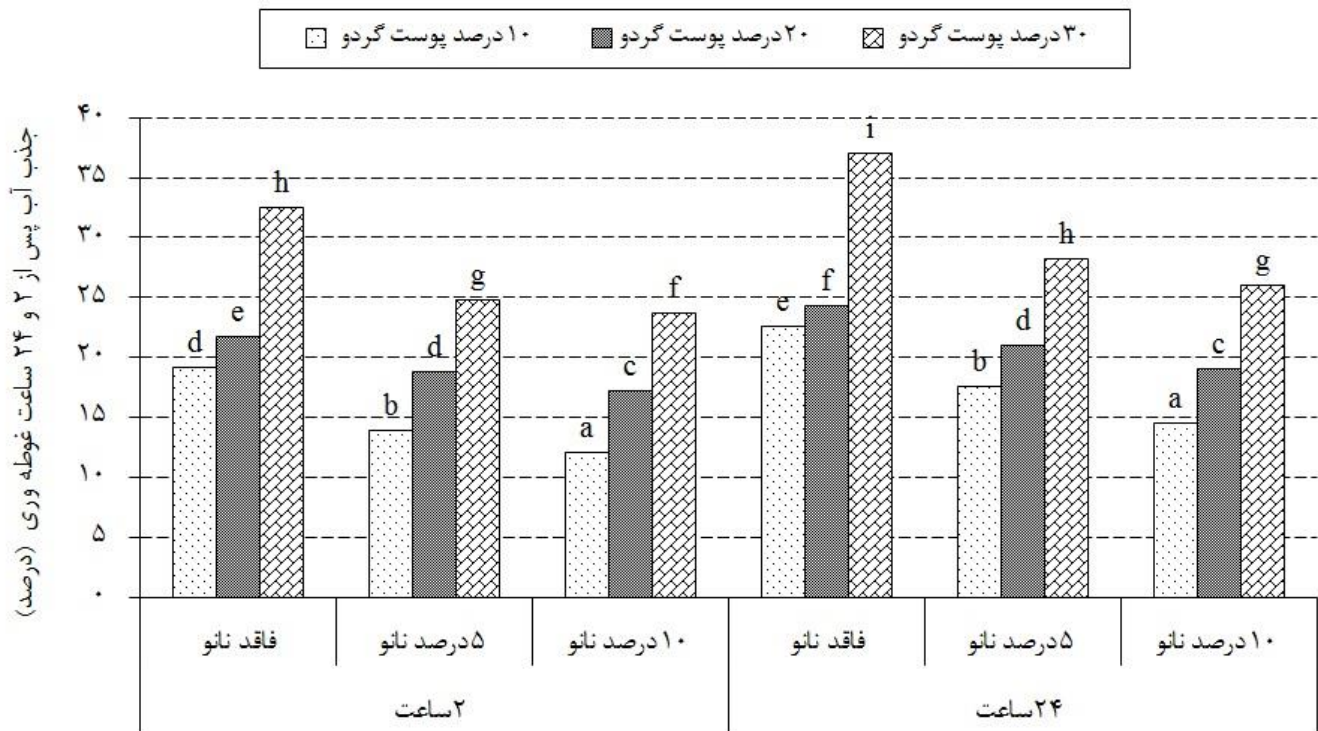


شکل ۵- اثر متقابل درصد پوست گردو و غلظت نانو و لاستونیت بر روی چسبندگی داخلی به همراه گروه بندی دانکن

مقاومت فیزیکی

جذب آب

بر اساس نتایج تجزیه واریانس و شکل ۶ و همچنین میانگین جذب آب ۲ و ۲۴ ساعت نمونه های تیمارهای مختلف، مشخص شد که اثر نانو و لاستونیت بر میزان جذب آب معنی دار است. نمونه های حاوی ۱۰ درصد نانو و لاستونیت دارای کمترین جذب آب بودند و با کاهش مقدار نانو و لاستونیت از ۱۰ به ۵ و بعد ۰ درصد جذب آب به طور معنی داری افزایش می یابد. با توجه به شکل ۶ کمترین مقدار جذب آب مربوط به نمونه های آزمونی ساخته شده با ترکیب ۱۰ درصد نانو و لاستونیت، ۹۰ درصد سیمان و ۱۰ درصد پوست گردو است.



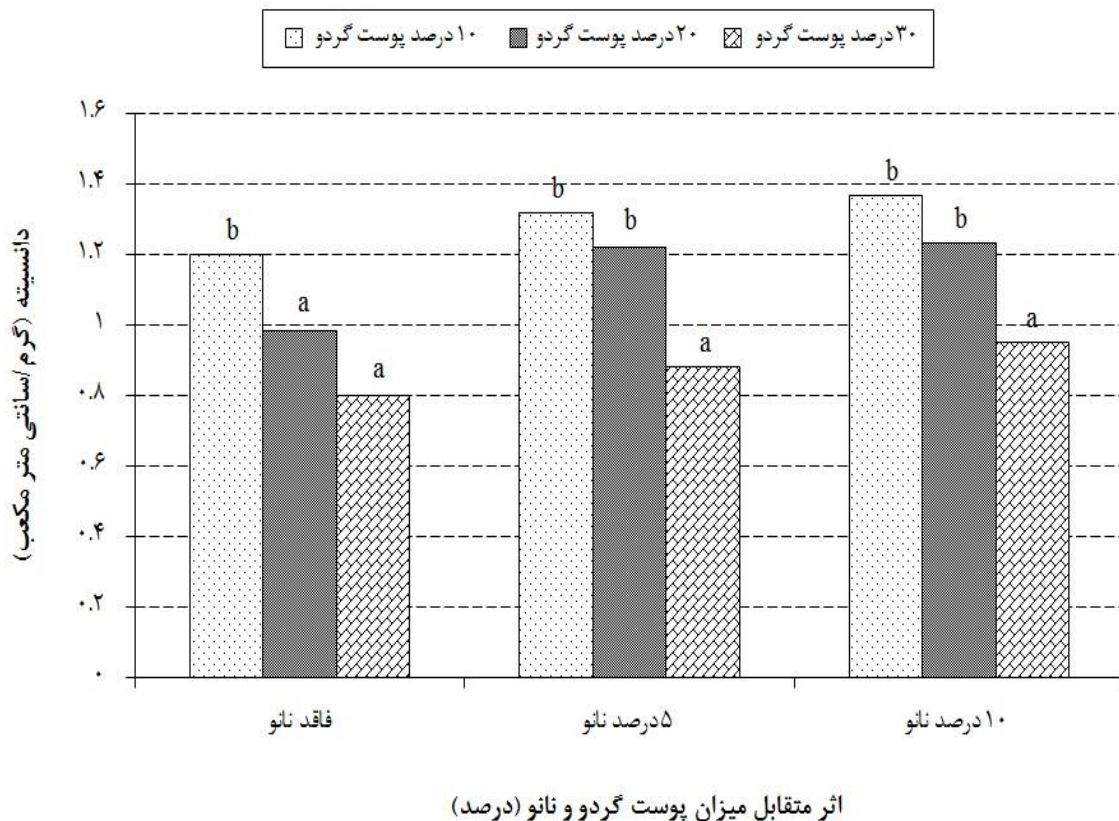
اثر متقابل میزان پوست گردو و نانو

شکل ۶- اثر متقابل درصد پوست گردو و غلظت نانو و لاستونیت بر روی جذب آب پس از ۲ و ۲۴ ساعت غوطه وری به همراه

گروه بندی دانکن

دانسیته

نتایج مربوط به تجزیه واریانس نشان می دهد که اثر مستقل الیاف و نانو بر روی دانسیته به ترتیب در سطح ۱ درصد و ۵ درصد معنی دار و اثر متقابل عوامل متغیر بر روی دانسیته تخته ها معنی دار نمی باشد. نتایج نشان داد با افزایش غلظت نانو و لاستونیت، دانسیته تخته های ساخته شده با این ماده افزایش می یابد. بیشترین مقدار دانسیته تخته ها مربوط به تخته های حاوی ۱۰ درصد نانو و لاستونیت می باشد؛ که در مقایسه با نمونه بدون نانو ۱۲ درصد افزایش یافت. همچنین کمترین مقدار دانسیته در تخته های بدون نانو که حاوی ۳۰ درصد پوست گردو و ۷۰ درصد سیمان است، مشاهده شده است (شکل ۷).



شکل ۷- اثر متقابل درصد پوست گردو و غلظت نانو و لاستونیت بر روی دانسیته به همراه گروه بندی دانکن

بحث

در این تحقیق، به بررسی تأثیر نانو و لاستونیت بر خواص کامپوزیت های چوب سیمان ساخته شده از پوست گردو و سیمان پرداخته شد.

نتایج نشان داد که مقاومت های مکانیکی تخته ها با افزایش نانو و لاستونیت افزایش یافتند. با اضافه کردن پوست گردو به خمیر سیمان واکنش هیدراتاسیون سیمان کاهش و زمان گیرایی افزایش می یابد. به عبارت دیگر حضور ذرات پوست گردو مانع فرایند هیدراتاسیون سیمان می شود. با توجه به اینکه طبیعت مواد استخراجی موجود در ذرات لیگنوسولوزی اسیدی می باشد، بنابراین باعث کاهش pH محیط سیمان شده و تغییراتی در پایداری و انحلال ترکیبات هیدراته (سیلیکات های کلسیم) به وجود می آید که سبب کاهش واکنش هیدراتاسیون سیمان و افزایش زمان گیرایی می شود (Rangavar et al., 2016). نتایج این بررسی نشان داد که با افزایش میزان نانو و لاستونیت در تخته ها سبب بهبود خواص مکانیکی آنها گردید.

هنگامی که از نانو و لاستونیت در اختلاط استفاده می شود به علت وجود سیلیس (SiO_2) زیاد باعث ایجاد تشکیل ژل کلسیم سیلیکات هیدراته شده و در نتیجه سبب افزایش حرارت هیدراتاسیون، سرعت گیرایی سیمان و مقاومت مکانیکی می گردد (Li et al., 2004). همچنین سیلیس، هیدروکسید کلسیم آزاد شده در اثر هیدراتاسیون را به کربنات کلسیم تبدیل می کند و واکنش گرمایی هیدراتاسیون سیمان را تسریع می بخشد (Doosthoseini, 2007). از سوی دیگر، نانو و لاستونیت به دلیل دارا بودن سطح



ویژه بالا باعث ایجاد یک شبکه قوی و کار آمد بین ذرات سیمان و پوست گردو می گردد که موجب بهبود مقاومت خمشی و چسبندگی داخلی چندسازه الیاف - سیمان می شود. این نتایج با بررسی های انجام شده توسط Hassanpoor Tichi و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت دارد.

همچنین نتایج نشان می دهد که با افزایش نانو ولاستونیت جذب آب تخته ها کاهش یافته است. Khosraviyan (۲۰۰۹) در تحقیقی صورت گرفته بر روی چوب پلاستیک به نتایج مشابهی دست یافته است ، که دلیل آن را می توان به آب دوست نبودن نانو ولاستونیت نسبت داد (ciullo, 1997)، که موجب کاهش جذب آب تخته ها ساخته شده با نانو ولاستونیت می گردد. نتایج حاصل از تحقیق Hassanpoor Tichi و همکاران (۲۰۱۵) نیز نشان داده است که به کارگیری نانو ولاستونیت در سطح ۶٪ در کامپوزیت چوب سیمان، سبب کاهش ترک های ریز و تخلخل گردیده و راه برای ورود آب به فضای داخلی تخته کم می کند که منجر به کاهش جذب آب تخته ها می شود. در این رابطه تحقیقات انجام شده توسط Haghighi و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد، چوب نرادی که با نانو ولاستونیت اشباع شده اند دارای ثبات ابعادی بالاتری نسبت به نمونه های فاقد نانو می باشند که نتایج این تحقیق را مورد تأیید قرار می دهد.

نتایج همچنین نشان می دهد با افزایش نانو ولاستونیت از ۰٪ به ۱۰٪، دانسیته تخته ها افزایش یافته است که دلیل آن را می توان به سطح ویژه زیاد نانو ولاستونیت نسبت داد که سبب فشردگی بیشتر و در نهایت منجر به دانسیته بالای تخته می گردد. بنابراین با اندازه گیری دانسیته تخته ها به این نتیجه رسیده ایم که تخته های دارای دانسیته بالا از مقاومت های مکانیکی و فیزیکی بالایی برخوردارند که دلیل این امر را می توان به فشردگی و اتصال محکم تر و قوی تر بین پوست گردو و سیمان نسبت داد (Hassanpoor Tichi et al., 2015).



- Boshehrian, A. and Hosseini, P., 2011. Effect of nano-SiO₂ particles on properties of cement mortar applicable for ferrocement elements. *Concrete Research Letters*, 2(1): 15-20.
- Doosthoseini, K. and Yazdi, M., 1996. The effects of chemical additives on the binding quality of Portland cement and aspen particles. *Iranian Journal of Natural Resources*, 48 (1): 47-58.
- Doosthoseini, K., 2007. Wood composite materials manufacturing, applications. University of Tehran, Tehran, 648p.
- DIN EN standard, NO. 634, 1995. Cement-bonded Particleboards. Specifications- general requirements; German version.
- Haghighi, A., Taghiyari, H.R. and Karimi, A.N., 2013. Study on fire-retardant properties of nano-wollastonite in fir wood (*Abies alba*). *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 28(2): 258-265.
- Hosseinpourpia, R., Varshoe, A., Soltani, M., Hosseini, P. and Ziaei Tabari. H., 2011. Production of waste bio-fiber cement-based composites reinforced with nano-SiO₂ particles as a substitute for asbestos cement composites. *Journal Construction and Building Materials*, 31: 105–111.
- Hassanpoortichi, A., Bazyar, B., Khademieslam, H., Rangavar, H. and Talaeipour, M., 2016. The effect of nano wollastonite on biological, mechanical, physical, and microstructural properties of the composite made of wood-cement fiber. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 8(35): 1466–1479.
- Hassanpoortichi, A., Bazyar, B., Khademieslam, H., Rangavar, H. and Talaeipour, M., 2015. Effect of nano-wollastonite on microscopic, mechanical and physical properties of cement-wood fibers composite. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*. 3(4): 567–577. (In Persian).
- Ciullo, P, A., 1997. Industrial minerals and their uses. Noyes, United States of America, 640p.
- Karade, S.R., 2010. Cement-bonded composites from lignocellulosic wastes. *Construction and building materials*, 24(8): 1323-1330.
- Khosrviyan, B., 2009. The study of mechanical, physical, thermal and morphological properties of hybrid multi-structures and nano hybrid polypropylene wood flour/ wollastonite multi- structures. M.S. thesis, Department of Natural Resource, The University of Tehran, karaj, 103p.
- Li, H., Xiao, H. and Ou, J., 2004. A study on mechanical and pressure-sensitive properties of cement mortar with nanophase materials. *Cement and Concrete Research*, 34(3): 435-438.
- Luyt, A.S., Dramicanin, M.D., Antic, Z. and Djokovic, V., 2009. Morphology, mechanical and thermal properties of composites of polypropylene and nanostructured wollastonite filler. *Polymer testing*, 28: 348-356.
- Mohammad Kazemi, F., 2010. Investigation of the effect of nano- SiO₂ on applied properties of wood-cement boards manufactured by old corrugated container(OCC) and rice husk. M. S. thesis, Department of Natural Resource, The University of Tehran, karaj, 84p.



- Rangavar, H., Kargarfard, A., and Hoseiny Fard, MS., 2016. Investigation on Effect of cement Types on the cement hydration and properties of wood-cement composites manufactured using sunflower stalk (*Helianthus Annuus*) Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 31 (2), 336 – 348. (In Persian)
- Rowell, P.M., Youngquist, J.A. and McNatt, D., 1991. Agricultural fibers in composition panels. In Proceedings of the 27th International Particleboard Composite Materials Symposium. USA, 9-11 April:301-314.
- Sandermann, W. and Kohler, R., 1964. Studies on inorganic- bonded wood materials. Part 4: A short test of the aptitudes of woods for cement-bonded materials. *Holzforschung*, 18: 53-59.
- Soliman, A. M., 2011. Effect nano wollastonite for compression strength of concrete. Ph.D. thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, The University of Western Ontario London, Canada, 410p.
- Wen, L., Yu-he, D., Mei, Z., Ling, X. and Qian, F., 2006. Mechanical properties of nano-sio₂ filled gypsum particleboard. *Trans. Nonferrous Metals Society of China* 16s. 361-364.